



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Πληροφορική»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Νέες τεχνολογίες στις ασύρματες επικοινωνίες και οι επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Κωνσταντίνος Παππάς
Πατρώνυμο	Πέτρος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΠΛ/ 06055
Επιβλέπων	Δημήτριος Βέργαδος, Λέκτορας

Πρωτοτυπο	001/02
Αρ. Σειρ.	62115 F CD
Συνολ.	43971
ΦΑΞ	363.189 ΠΑΠ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΒΕΡΓΑΔΟΣ



00162115

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Χρήστος Δουληγερης
Καθηγητής

Δημήτριος Βέργαδοσ
Λέκτορασ

Χαρ. Κωνσταντόπουλοσ
Λέκτορασ

ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΙΣ ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Περίληψη Οι πρόσφατες εξελίξεις στις τηλεπικοινωνίες και την ασύρματη τεχνολογία έχουν αυξήσει τις νέες συσκευές και τα συστήματα που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική (EM) ενέργεια ραδιοσυχνότητας (RF). Η εφαρμογή αυτών των εξελίξεων έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλος αριθμός ατόμων να εκτίθεται σε ραδιοσυχνότητες και ηλεκτρομαγνητικά πεδία στον εργασιακό του χώρο ή γενικότερα σε δημόσιους χώρους.

Περιγράφονται οι νέες τεχνολογίες (που έχουν αναπτυχθεί ή είναι υπό ανάπτυξη), στις ασύρματες επικοινωνίες καθώς και διάφοροι τύποι κεραίων, που μπορεί να προκαλούν αυξανόμενα επίπεδα έκθεσης σε μη ιονίζουσες ακτινοβολίες (NIR) στον εργασιακό χώρο ή στη καθημερινή ζωή.

Ακολούθως εξετάζονται οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τόσο από θερμικά αποτελέσματα, όσο και από διαφορετικούς ενδεχόμενους κινδύνους ασθενειών.

Οι κατευθύνσεις της Διεθνούς Επιτροπής για την Προστασία από μη - Ιονίζουσα Ακτινοβολία (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP) παρέχουν συμβουλές για τα επιτρεπτά επίπεδα έκθεσης που καλύπτουν ολόκληρο το φάσμα της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας (non ionizing radiation-NIR), συμπεριλαμβανόντας τις ραδιοσυχνότητες (RFs) που χρησιμοποιούνται στις νέες τεχνολογίες.

Στη συνέχεια περιγράφεται το νομικό πλαίσιο στην Ελλάδα και διεθνώς και ενδεχόμενα νέα μέτρα πρόληψης, ενώ παρουσιάζονται και αποτελέσματα μετρήσεων.

Όμως, υπάρχουν ερωτήσεις για τις επιπτώσεις στην υγεία που συνδέονται με την έκθεση σε αυτά τα νέα συστήματα και τις συσκευές, τα οποία δεν έχουν εξεταστεί αυτά καθ' αυτά από την άποψη των κινδύνων για την υγεία. Μπορεί να έχουν χαρακτηριστικά σημάτων που είναι μοναδικά και διαφορετικά από τις χρησιμοποιούμενες αυτήν την περίοδο τεχνολογίες, και μπορεί επίσης να τροκαλέσουν την άνοδο του συνολικού επιπέδου έκθεσης λόγω της υπέρ-έκθεσης στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (electromagnetic fields-EMFs) που εκπέμπονται τόσο από τις νέες όσο και από τις υπάρχουσες τεχνολογίες.

(Abstract) The recent developments in the telecommunications and the wireless technology have increased the new appliances and the systems that emit electromagnetic (EM) energy of radiofrequency (RF). The application of these developments has as result big number of individuals exposed in radiofrequencies and electromagnetic fields in their labour space or more generally in public spaces.

The new technologies (developed or under development) in the wireless communications are described, as well as various types of antennas, that can cause increasing levels of exposure in non-ionizing radiation (NIR) in the workplace or in general public. Following, the effects in human health are examined, not only the thermal effects, but also potential different dangers of illnesses. The guidelines of the International Commission on Non - Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) provide advice for the permissible levels of exposure that cover the entire spectrum of non ionizing radiation (NIR), including the radiofrequencies (RFs) that are used in the new technologies.

The legal frame in Greece and internationally is described and potential new measures of prevention, and results from measurements are presented.

However, questions do exist about the effects in health connected with the exposure in these new systems and appliances, which haven't been examined thoroughly from the point of dangers for the health. They might have characteristic signals that are unique and different from those used in present technologies, but they can also cause rise in the total level of exposure due to over-exposure in electromagnetic fields (EMFs) that are emitted by the new and by existing technologies.

Λέξεις κλειδιά: Νέες τεχνολογίες, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, έκθεση σε ραδιοσυχνότητες, ρυθμός απορρόφησης, μέτρα προστασίας.

Δείτε το παράρτημα για καταλόγους τεχνικών και οργανωτικών αρκτικόλεξων

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου

Στη σύζυγό μου Ουρανία
και στα παιδιά μου Μαρία και Πέτρο-Βασίλειο,
για την υπομονή τους
και για το χρόνο που τους στέρησα

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Περιεχόμενα

Περίληψη (Abstract).....	iii
1. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	1
1.1. Γενικά.....	1
1.2. Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.....	2
1.3. Ασύρματες επικοινωνίες και δίκτυα (WWAN – WMAN –WLAN – WPAN – BAN).....	2
1.4. Κινητή επικοινωνία και ασύρματες τεχνολογίες.....	5
2. Ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (Wireless WANs) - Κινητή τηλεφωνία.....	6
2.1. Συστήματα πρώτης γενιάς (1G).....	6
2.2. Συστήματα δεύτερης γενιάς (2G).....	6
2.2.1. GSM.....	7
2.2.2. IS-95.....	7
2.2.3. PDC.....	7
2.3. Συστήματα 2,5G.....	7
2.3.1. GPRS.....	7
2.3.2. HSCSD.....	8
2.3.3. EDGE.....	8
2.3.4. i-mode.....	8
2.4. Συστήματα 3G.....	8
2.4.1. CDMA2000.....	9
2.4.2. W-CDMA (Παγκόσμιο Σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών, Universal Mobile Telecommunications System - UMTS).....	10
2.4.3. HSDPA.....	12
2.5. Πέρα από την Τρίτη γενιά (Beyond 3G).....	12
3. Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (Wireless MANs) - Ασύρματες μη-κυβελωτές επικοινωνίες.....	14
3.1. Γενικά.....	14
3.2. WiMAX.....	14
3.3. WiBro (Wireless Broadband).....	14
4. Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LANs).....	16
4.1. Γενικά.....	16

4.2.	WiFi.....	16
5.	Ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless PAN).....	18
5.1.	Γενικά.....	18
5.2.	Τεχνολογίες RFID.....	18
5.3.	Bluetooth.....	21
5.4.	Επικοινωνία εγγύς πεδίου(Near Field Communication -NFC).....	22
5.5.	Τεχνολογία UWB.....	22
5.6.	ZigBee.....	24
6.	Δίκτυα Σώματος (Body Area Network – BAN).....	26
6.1.	Γενικά.....	26
6.2.	Φερόμενα δίκτυα σώματος (Wearable Wireless Body Area Networks - WBANs).....	27
6.3.	Εμφυτευόμενα (Implanted) WBANs.....	30
6.3.1.	Επαγωγική σύζευξη χαμηλής συχνότητας (Low-Frequency Inductive Coupling) ...	31
6.3.2.	Σύστημα Επικοινωνίας Ιατρικών Εμφυτευμάτων (Medical Implant Communication Service -MICS).....	31
6.3.3.	Ενδοσκοπικές κάψουλες.....	32
6.3.4.	Ασύρματη Υπηρεσία Ιατρικής Τηλεμετρίας (Wireless Medical Telemetry Service – WMTS).....	32
6.4.	Σύγκριση των τεχνολογιών των BAN.....	33
7.	Άλλες τεχνολογίες επικοινωνιών.....	37
7.1.	DECT.....	37
7.2.	Ψηφιακή τηλεοπτική αναμετάδοση (DVB).....	38
8.	Άλλες χρήσεις Η/Μ φάσματος (όχι για επικοινωνίες).....	39
8.1.	Ραντάρ διεισδύσεως εδάφους (Ground Penetrating Radars - GPRs).....	39
8.2.	Συσκευές μαγειρέματος με θέρμανση εξ επαγωγής (Induction Heating-IH).....	40
8.3.	Μαγνητικοί Τομογράφοι MRI.....	40
8.4.	Τα ηλεκτρικά τραίνα και τα μαγνητικά ανυψούμενα (Magnetically Levitated - MAGLEVs) οχήματα.....	41
8.4.1.	Ηλεκτροκίνητα τραίνα (Commuter στην Ιαπωνία και το TGV στη Γαλλία).....	42
8.4.2.	Προηγμένα κατευθυνόμενα επίγεια συστήματα μεταφορών Transrapid.....	42
8.4.3.	Υπεραγώγιμα MAGLEV.....	42
8.4.4.	Τραίνο HSST.....	42
8.5.	Ασύρματη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας.....	43

9.	Κεραίες	45
9.1.	Θεωρία Κεραίων	45
9.2.	Χρήση Κεραίων	49
9.3.	Στοιχεία κεραίας	51
9.4.	Κεραίες σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας	52
9.5.	Διαχείριση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος	54
9.6.	Νομικό πλαίσιο για τη διαχείριση του Η/Μ φάσματος	56
10.	Ακτινοβολίες – ιονισμός. Ιοντίζουσες και μη ιοντίζουσες Ακτινοβολίες	59
10.1.	Γενικά	59
10.2.	Μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (RF, MW, IR, UV)	59
10.3.	Αποτελέσματα της επίδρασης της ακτινοβολίας	60
10.4.	Αποτελέσματα ακτινοβολήσης ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη συχνότητα	61
10.5.	Αποτελέσματα ακτινοβολήσης σε ειδικές περιπτώσεις	62
10.6.	Ορισμοί –μονάδες μετρήσεως	62
10.7.	Βασικές αρχές ακτινοπροστασίας	63
11.	Βιολογική δράση της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας	64
11.1.	Γενικά	64
11.2.	Θερμικά αποτελέσματα	65
11.3.	Μη θερμικά βιολογικά αποτελέσματα	70
12.	Άλλες επιπτώσεις της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας	74
12.1.	Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές	74
12.2.	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	74
12.2.1.	Γενικά	74
12.2.2.	Φυσικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις	74
12.2.3.	Βιολογικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις	74
12.2.4.	Κοινωνικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις	75
12.3.	Λοιπές επιπτώσεις	75
13.	Όρια προστασίας	76
13.1.	Βασικοί περιορισμοί και επίπεδα αναφοράς	76
13.2.	Ιστορικό των ορίων	77
13.3.	Όρια στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ)	79
13.4.	Μείωση των ορίων στην Ελλάδα	81
14.	Νομικό πλαίσιο	84

14.1.	Διεθνώς.....	84
14.2.	Στην Ελλάδα.....	84
14.3.	Αρμοδιότητες της ΕΕΑΕ σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	86
15.	Ομάδες κινδύνου.....	88
15.1.	Εργαζόμενοι σε MRI.....	88
15.2.	Εργαζόμενοι κοντά σε συστήματα RADAR.....	88
15.3.	Προσωπικό που διενεργεί μετρήσεις των εκπεμπόμενων επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	88
15.3.1.	Πηγές κινδύνου που δεν σχετίζονται άμεσα με την διαδικασία ανεύρεσης των δυσμενέστερων σημείων (hot spots).....	89
15.3.2.	Προφυλάξεις κατά την διαδικασία ανεύρεσης των δυσμενέστερων σημείων (hot spots).....	90
15.4.	Διαμένοντες κοντά σε κεραιές.....	91
15.5.	Λοιποί Εργαζόμενοι.....	94
16.	Μελέτες για τις επιδράσεις της Η/Μ ακτινοβολίας.....	96
16.1.	Γενικές Μελέτες.....	96
16.2.	Μελέτες για τα κινητά τηλέφωνα.....	97
17.	Διαδικασία μετρήσεων.....	100
17.1.	Περιγραφή Εξοπλισμού.....	100
17.2.	Μεθοδολογία μετρήσεων.....	102
17.3.	Αποτελέσματα - επεξεργασία μετρήσεων.....	103
17.4.	Ευρυζωνικές μετρήσεις.....	104
17.5.	Επίδραση της ζώνης των FM.....	105
17.6.	Συγκριτικές μετρήσεις κινητού και σταθμού βάσης.....	107
18.	Αποστάσεις ασφαλείας.....	110
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....		111
Βιβλιογραφία.....		115
LIST OF TECHNICAL ACRONYMS.....		122
LIST OF ORGANIZATIONAL ACRONYMS.....		124
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....		125

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1 Το φάσμα συχνοτήτων	2
Εικόνα 2 Κατηγορίες Ασυρμάτων Δικτύων	3
Εικόνα 3 Οι βασικότερες τεχνολογίες ανά γενιά κινητής τηλεφωνίας.....	9
Εικόνα 4 Διακύμανση Ισχύος.....	11
Εικόνα 5 Εξέλιξη κινητής τηλεφωνίας και ασυρμάτων τεχνολογιών.....	12
Εικόνα 6 Τυποποίηση Προτύπου IEEE 802.....	18
Εικόνα 7 Λειτουργία RFID.....	19
Εικόνα 8 Συστήματα: Συμβατικό στενής ζώνης , απλωμένου φάσματος, εξαιρετικά ευρέος φάσματος.....	22
Εικόνα 9 Εμβέλεια BAN, PAN και LAN.....	26
Εικόνα 10 Είδη BAN για ασθενείς	27
Εικόνα 11 Αισθητήρες χειρός.....	27
Εικόνα 12 Συγκριτικό μέγεθος αισθητήρα	28
Εικόνα 13 Τυπική αρχιτεκτονική συστήματος ελέγχου υγείας.....	29
Εικόνα 14 Ροή δεδομένων από και προς τον ασθενή.....	29
Εικόνα 15 Εμφυτευόμενες συσκευές.....	30
Εικόνα 16 Σύστημα αυτόματης διαχείρισης διαβήτη (ασύρματος αισθητήρας και αντλία ινσουλίνης).....	30
Εικόνα 17 Ενδοσκοπική κάψουλα.....	32
Εικόνα 18 Ενδοσκοπική κάψουλα και ζώνη λήψεως.....	32
Εικόνα 19 Ασύρματη υπηρεσία ιατρικής τηλεμετρίας (WMTS)	33
Εικόνα 20 Συχνότητες λειτουργίας διαφόρων τεχνολογιών BAN.....	33
Εικόνα 21 Στόχοι για τα BAN (ρυθμός μετάδοσης σε σχέση με την κατανάλωση).....	35
Εικόνα 22 Μελλοντικά BAN.....	36
Εικόνα 23 Διαστημικοί ηλιοσυλλέκτες.....	43
Εικόνα 24 Ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο στο Ηλεκτρομαγνητικό κύμα.....	45
Εικόνα 25 Διάφοροι τύποι κεραιών	46
Εικόνα 26 Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας.....	47
Εικόνα 27 Γειωμένο δίπολο.....	48
Εικόνα 28 Γειωμένα δίπολα με διαφορετικά μήκη (α) και το αντίστοιχο διάγραμμα ακτινοβολίας (b).....	48
Εικόνα 29 Κεραία με top-loading	49
Εικόνα 30 Κεραία Yagi-Uda με ανακλαστήρα και αναδιπλωμένο δίπολο (βέλος).....	49
Εικόνα 31 Cassegrain feed.....	49
Εικόνα 32 Κεραία τύπου χοάνης.....	50
Εικόνα 33 Ρομβική κεραία.....	50
Εικόνα 34 Ελικοειδής κεραία.....	50
Εικόνα 35 Λογαριθμική (Log-periodic) κεραία.....	50
Εικόνα 36 Κεραία πλαισίου.....	51
Εικόνα 37 Τύποι κεραιών και αντίστοιχα διαγράμματα ακτινοβολίας	52
Εικόνα 38 Κεραία βάσης κινητής τηλεφωνίας.....	53
Εικόνα 39 Σχηματική απεικόνιση πυλώνια κινητής τηλεφωνίας και πραγματική φωτογραφία.....	54

Εικόνα 40 Μαγνητικό και ηλεκτρικό πεδίο τηλεφώνου	64
Εικόνα 41 Μηχανισμός αύξησης θερμοκρασίας.....	66
Εικόνα 42 Τρισδιάστατη κατανομή SAR σε ομοίωμα κεφαλιού από ακτινοβολία κινητού.....	68
Εικόνα 43 Διαφορά στην κατανομή SAR ανάλογα με την ηλικία	69
Εικόνα 44 Εγγύτητα κινητού τηλεφώνου	69
Εικόνα 45 Τα κατώτερα όρια διαφόρων αποτελεσμάτων και κινδύνων εκφραζόμενα ως συνάρτηση του χρόνου.	79
Εικόνα 46 Επίπεδα αναφοράς της ΕΕ για την ένταση Ηλεκτρικού, Μαγνητικού πεδίου και πυκνότητας ισχύος	82
Εικόνα 47 Πάρκο κεραίων	89
Εικόνα 48 Διενέργεια μετρήσεων	89
Εικόνα 49 Κατεύθυνση και σχήμα λοβών ακτινοβολίας κεραίας.....	91
Εικόνα 50 Ακτινοβολία κεραίας ανάμεσα σε δύο κτήρια.....	92
Εικόνα 51 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος	96
Εικόνα 52 Μεταβολή SAR σε σχέση με την απόσταση κινητού από το αυτί.....	98
Εικόνα 53 Διασπορά SAR στο κεφάλι από το κινητό τηλέφωνο.....	98
Εικόνα 54 Διενέργεια μετρήσεων στο Περιστερί Αττικής.....	100
Εικόνα 55 Η κεραία με το κάλυμμα και χωρίς το κάλυμμα	100
Εικόνα 56 Η κεντρική μονάδα SRM 3000 στη θήκη της.....	101
Εικόνα 57 Σύνδεση SRM 3000 με την κεραία και με laptop	101
Εικόνα 58 Κατανομή φάσματος	104
Εικόνα 59 Φασματική ανάλυση έντασης ηλεκτρικού πεδίου	105
Εικόνα 60 Συνεισφορά κάθε υποπεριοχής φάσματος στη συνολική ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση στο σημείο 2	106
Εικόνα 61 Συνεισφορά κάθε υποπεριοχής φάσματος στη συνολική ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση στο σημείο 6	107
Εικόνα 62 Διενέργεια μετρήσεων κοντά σε κεραία σταθμού βάσης	108
Εικόνα 63 Σύγκριση ισχύος κινητού και κεραίας βάσης.....	108

Πίνακας 1 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης.....	6
Πίνακας 2 Εξέλιξη χαρακτηριστικών ανά γενιά κινητής τηλεφωνίας.....	9
Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά μετάδοσης κατά τύπους.....	11
Πίνακας 4 Τα χαρακτηριστικά του προτύπου IEEE 802.11.....	16
Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά WiFi.....	17
Πίνακας 6 Κατηγορίες Ισχύος συσκευών Bluetooth.....	21
Πίνακας 7 Μέσοι όροι εκπομπής για τα συστήματα UWB (EIRP μετρούμενη σε dB).....	23
Πίνακας 8 Σύγκριση τεχνολογιών BAN.....	34
Πίνακας 9 Χαρακτηριστικά DECT.....	37
Πίνακας 10 Χαρακτηριστικά συστημάτων ασύρματης μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.....	44
Πίνακας 11 Σχέση συχνότητας και μήκους κύματος.....	46
Πίνακας 12 Στοιχεία κεραιών.....	52
Πίνακας 13 Είδη ακτινοβολίας και τα βιολογικά αποτελέσματα που επιφέρουν.....	60
Πίνακας 14 Βασικοί περιορισμοί (όρια) για το γενικό πληθυσμό και τους εργαζομένους σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων.....	76
Πίνακας 15 Επίπεδα αναφοράς (μετρούμενα μεγέθη) για το γενικό πληθυσμό και τους εργαζομένους σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων.....	77
Πίνακας 16 Σύγκριση βασικών περιορισμών του SAR μεταξύ προτύπων.....	78
Πίνακας 17 Βασικοί περιορισμοί στις χώρες της ΕΕ σε σχέση με την οδηγία της ΕΕ.....	80
Πίνακας 18 Επίπεδα αναφοράς στις χώρες της ΕΕ.....	81
Πίνακας 19 Βασικοί περιορισμοί της σύστασης της Ε.Ε. για την περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10MHz για την πυκνότητα του επαγόμενου ρεύματος.....	81
Πίνακας 20 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10GHz.....	82
Πίνακας 21 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην περιοχή συχνοτήτων 10-300 GHz.....	82
Πίνακας 22 Επίπεδα αναφοράς, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, για το γενικό πληθυσμό σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων (70% και 60% των τιμών των ορίων της οδηγίας της ΕΕ).....	83
Πίνακας 23 Βασικοί περιορισμοί, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, για το γενικό πληθυσμό σε συνήθεις εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων (70% και 60% των ορίων της οδηγίας της ΕΕ).....	83
Πίνακας 24 Τιμές αποδεκτής έκθεσης στην ακτινοβολία από κεραιές βάσης κινητής τηλεφωνίας σε διάφορες χώρες.....	94
Πίνακας 25 Οριακές τιμές για Η/Μ πεδία.....	95
Πίνακας 26 Οριακές τιμές για τα επαγωγικά και τα εξ επαφής ρεύματα ραδιοσυχνότητας.....	95
Πίνακας 27 Σύγκριση επιπέδων έκθεσης στην ακτινοβολία κινητών τηλεφώνων και σταθμών βάσης.....	99
Πίνακας 28 Επίπεδα αναφοράς στις συχνότητες από 1 kHz -300 GHz με συντελεστή 70% ...	102
Πίνακας 29 Επίπεδα αναφοράς στις συχνότητες από 1 kHz-300 GHz με συντελεστή 60% ...	102

Πίνακας 30 Όρια αναφοράς για τις μετρούμενες περιοχές συχνοτήτων	103
Πίνακας 31 Μετρήσεις Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου και Πυκνότητας Ροής Ισχύος	103
Πίνακας 32 Τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνοτήτων	104
Πίνακας 33 Αποτελέσματα ευρυζωνικών μετρήσεων για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου και την Πυκνότητα Ροής Ισχύος	105
Πίνακας 34 Αναλυτική επισκόπηση φάσματος 75 MHz-3 GHz για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, την Πυκνότητα Ροής Ισχύος, τον λόγο έκθεσης για τις μετρήσεις που έγιναν στο σημείο 2	106
Πίνακας 35 Αναλυτική επισκόπηση φάσματος 75 MHz-3 GHz για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, την Πυκνότητα Ροής Ισχύος, τον λόγο έκθεσης για τις μετρήσεις που έγιναν στο σημείο 6	107
Πίνακας 36 Σχέση ισχύος και απόστασης	110

1. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

1.1. Γενικά

Η φυσική Ηλεκτρομαγνητική (Η/Μ) ακτινοβολία υπάρχει, υπάρχει και θα υπάρχει στη φύση. Αυτό σημαίνει ότι τα μορφολειτουργικά χαρακτηριστικά των ζώων είναι προσαρμοσμένα στις φυσικές συνθήκες του πλανήτη μας, άρα και στην ακτινοβολία αυτή από εκατομμύρια χρόνια. Τα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα ελκυστικά προϊόντα υψηλής τεχνολογίας και μεγάλης κοινωνικής προσφοράς, εξελίσσονται και διαδίδονται ραγδαία. Ωστόσο, όπως και άλλα προϊόντα της σύγχρονης τεχνολογίας, δημιουργήσαν ένα νέο είδος ρύπανσης την ακτινο-ρύπανση, που οφείλεται στη συνεχώς αυξανόμενη στο περιβάλλον τεχνητή Η/Μ ακτινοβολία. Η συγκεκριμένη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία είναι τεχνητή και δεν υπάρχει κατά τη διάρκεια της εξέλιξης των ειδών στον πλανήτη μας. Κατά συνέπεια οι οργανισμοί δεν είχαν την ευκαιρία να αναπτύξουν κάποιο μηχανισμό άμυνας όπως π.χ. έχει συμβεί με την υπεριώδη ακτινοβολία (η οποία προέρχεται από τον ήλιο), όπου η σύνθεση μελανίνης από τα κύτταρα της επιδερμίδας προστατεύει στη συνέχεια από τη διείσδυσή της στα βαθύτερα στρώματα όπου και θα ήταν επικίνδυνη.

Ο άνθρωπος μπορεί να δέχεται ακτινοβολία από διάφορες πηγές ανάλογα με το χώρο που ζει και εργάζεται, όπως:

- α) Γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης (συνήθως πάνω από 20 000 βολτ) του ηλεκτρικού ρεύματος της Δ.Ε.Η. από μαγνητικό και ηλεκτρικό πεδίο 50 κύκλων ανά δευτερόλεπτο (Hz).
- β) Ασύρματα και κινητά τηλέφωνα που χρησιμοποιούμε στα στήθια μας.
- γ) Ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας ηλεκτρονικών υπολογιστών.
- δ) Ασύρματη τηλεκατεύθυνση παιχνιδιών όπως αυτοκινήτων, αεροπλάνων και λοιπών.
- ε) Φούρνοι μικροκυμάτων οικιακής και επαγγελματικής χρήσης.
- στ) Ακτινοβολία από τους ραδιοηλεκτρικούς σταθμούς οι οποίοι συνήθως βρίσκονται σε λόφους (πάρκα κεραίων) γύρω από τα αστικά κέντρα.
- ζ) Ακτινοβολία από τις κεραιές κινητής τηλεφωνίας.

Μη ιοντίζουσες λέγονται οι ηλεκτρομαγνητικές εκείνες ακτινοβολίες που είναι σε συχνότητες που μεταφέρουν σχετικά μικρή ενέργεια, μη ικανή να προκαλέσει ιοντισμό, ικανή όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στον οργανισμό, που μπορούν να αποβούν άλλοτε επιβλαβείς και άλλοτε ευεργετικές για τη λειτουργία του.

Στις ακτινοβολίες αυτές εντάσσονται:

- τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία
- τα χαμηλόσυχνά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στο περιβάλλον διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας.
- τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραιές επικοινωνιών (π.χ. σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας).
- κεραιές ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, συστημάτων ραντάρ κ.ά.
- η υπεριώδη ακτινοβολία
- η ορατή ακτινοβολία
- η υπέρυθη ακτινοβολία

Οι βιολογικές επιδράσεις των μη ιοντίζουσών ακτινοβολιών διαφέρουν ουσιαστικά από αυτές της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και εξαρτώνται κυρίως από την ένταση και τη συχνότητα τους. Έτσι, τα χαμηλόσυχνά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία επδρούν στο ανθρώπινο σώμα, επάγοντας πεδία και ρεύματα στο εσωτερικό του, ενώ τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα θερμαίνοντας τα κύτταρα και τους ιστούς.

Για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία έχουν καθιερωθεί «βασικοί περιορισμοί» και «επίπεδα αναφοράς» που η τήρησή τους προστατεύει την υγεία από τις αποδεδειγμένες βλαβερές επιδράσεις. Οι «βασικοί περιορισμοί» έχουν προκύψει λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές περι-

βαλλόντικες συνθήκες και το γεγονός ότι η κατάσταση της υγείας και της ηλικίας των μελών του γενικού πληθυσμού ποικίλλει, έχουν υιοθετηθεί δηλαδή μεγάλοι συντελεστές ασφαλείας.

Τα «επίπεδα αναφοράς» που αποτελούν τα άμεσα μετρήσιμα μεγέθη στο περιβάλλον διατάξεων εκπομπής προέρχονται από τους βασικούς περιορισμούς και παρέχουν το μέγιστο βαθμό προστασίας, καθώς έχουν ληφθεί υπόψη οι δυσμενέστερες συνθήκες σύζευξης της ακτινοβολίας των πεδίων με το εκτιθέμενο άτομο.

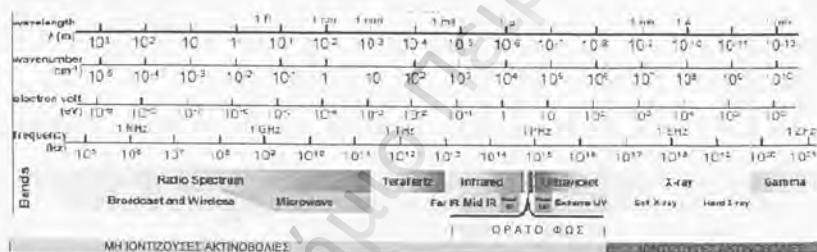
Για να αντιληφθούμε την Η/Μ ακτινοβολία, ας εξηγήσουμε τη βασική σχέση της κυματικής σε σχέση με το Η/Μ φάσμα.

1.2. Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Η βασική σχέση της κυματικής:

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

(όπου f είναι η συχνότητα, c είναι η ταχύτητα του φωτός και λ είναι το μήκος κύματος) μας δείχνει ότι για δεδομένα μέσο μετάδοσης τα υψηλής συχνότητας ραδιοκύματα έχουν μικρό μήκος κύματος, και κατά συνέπεια και μεγαλύτερη ενέργεια. Η εικόνα 1 μας δείχνει την σχέση αυτή στο Η/Μ φάσμα. [Z-16]



Εικόνα 1 Το φάσμα συχνότητας

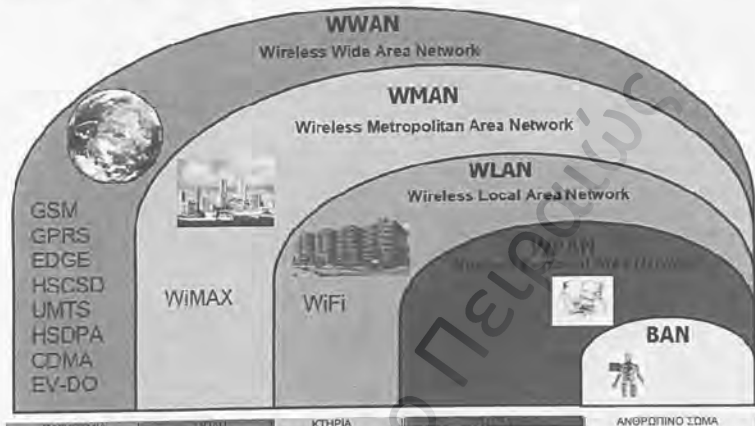
Εμείς θα μελετήσουμε το τμήμα των συχνοτήτων στις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες που αφορούν ραδιοσυχνότητες (Radio Frequency - RF), θα κάνουμε μια περιγραφή των συσκευιών που χρησιμοποιούν αυτή την περιοχή του Η/Μ φάσματος (Radio spectrum) και ακολούθως τις συνέπειες αυτών των ακτινοβολιών στον άνθρωπο.

1.3. Ασύρματες επικοινωνίες και δίκτυα (WWAN – WMAN – WLAN – WPAN – BAN)

Η επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου, και σχεδόν μέρα με τη μέρα εμφανίζονται νέες μορφές επικοινωνίας που είναι αποτέλεσμα των νέων αναγκών που ανακύπτουν από το σύγχρονο τρόπο ζωής και την εξέλιξη της τεχνολογίας. Ο σημερινός άνθρωπος αναζητά συνεχώς τρόπους για γρηγορότερη και ακριβέστερη επικοινωνία όχι μόνο φωνής αλλά και δεδομένων με πολλούς αποδέκτες (ανθρώπους και μηχανήματα) ενώ βρίσκεται σε κίνηση σε διάφορα μέρη του κόσμου. Οι συμβατικές επικοινωνίες με τα σταθερά δίκτυα τηλεφωνίας έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον και τείνουν να φτάσουν στα όριά τους. Τώρα πλέον τα ασύρματα δίκτυα έχουν μπει στη ζωή μας και αναπτύσσονται με απίστευτους ρυθμούς. Οι ασύρματες επικοινωνίες είναι ένα καθημερινό γεγονός που συνεχώς βελτιώνεται. Θεωρούνται πλέον ως κάτι το δεδομένο αλλά ο απλός χρήστης δεν συνειδητοποιεί την τεχνολογία που υπάρχει από πίσω. Στα σπίτια υπάρχουν ασύρματα τηλέφωνα, ακόμη και μικρά παιδιά χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα για ομιλία ή αποστολή μηνυμάτων, χρησιμοποιούν Bluetooth για μεταφορά αρχείων, ενώ πλέον ο συνηθισμένος τρόπος πρόσβασης στο Διαδίκτυο γίνεται με τη βοήθεια ασύρματου router. Επίσης η παρακολούθηση ζωτικών σημείων ασθενών με χρόνια ή σοβαρά προβλήματα γίνεται με ασύρματα μέσα.

Γίνεται χρήση όλων αυτών των συσκευών (και πολλών άλλων) που κοινό τους γνώρισμα είναι η ασύρματη επικοινωνία, αλλά πίσω από το καθένα υπάρχει διαφορετική τεχνολογία.

Για να περιγράψουμε τις διαφορετικές αυτές τεχνολογίες θα χρησιμοποιήσουμε την κατηγοριοποίηση που φαίνεται στην εικόνα 2 [Z-19] που εφαρμόζεται για τα ασύρματα δίκτυα σε σχέση με την περιοχή που καλύπτουν, και η οποία περιλαμβάνει:



Εικόνα 2 Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων

- Ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (**Wireless Wide Area Network-WWAN**)
- Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (**Wireless Metropolitan Area Network-WMAN**)
- Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (**Wireless Local Area Network-WLAN**)
- Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα (**Wireless Personal Area Network-WPAN**)
- Ασύρματα Δίκτυα Σώματος (**Body Area Network-BAN**)

Από αυτά, τα Ασύρματα δίκτυα Ευρείας Περιοχής (**WWAN**), περιλαμβάνουν τις παγκόσμιες επικοινωνίες που γίνονται σήμερα με την κινητή τηλεφωνία, ενώ οι άλλες κατηγορίες ασυρμάτων δικτύων περιλαμβάνουν νέες ασύρματες τεχνολογίες, όπως το **WiMAX** για τα Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (**WMAN**), το **WiFi** για τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (**WLAN**), το **Bluetooth**, το **ZigBee**, η **RFID**, η **UWB** για τα Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα (**WPAN**). Χαρακτηριστικό όλων είναι η χρήση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για τη μετάδοσή τους.

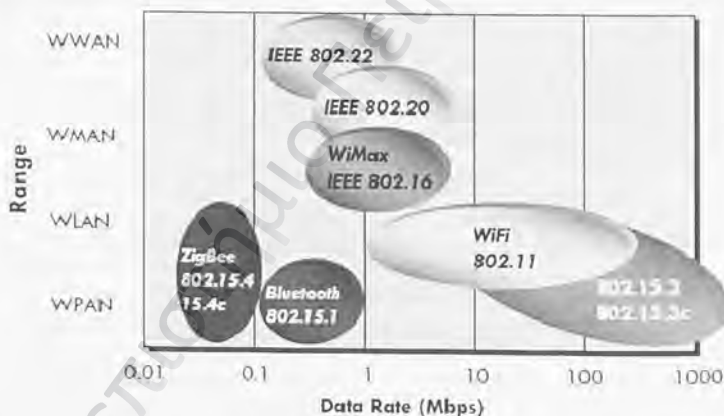
Ειδικότερα για τα ασύρματα δίκτυα θα ακολουθήσουμε την κατηγοριοποίηση και τα πρότυπα της σειράς 802 που έχουν τυποποιηθεί μέσω του Οργανισμού τυποποίησης (Standard Organization) του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronic Engineers-IEEE) για τα δίκτυα.

Τα δίκτυα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με τρεις τρόπους: σε σχέση με την απόσταση που καλύπτουν, με τη συχνότητα που χρησιμοποιούν και με την χρήση που έχουν. Πιο αναλυτικά:

Οι πιο συνηθισμένοι όροι που χρησιμοποιούνται για τα δίκτυα επικοινωνίας είναι δίκτυο ευρείας περιοχής (Wide Area Network - WAN) και τοπικό δίκτυο (Local Area Network - LAN), με το ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless LAN - WLAN) να είναι ένα συγκεκριμένο υποσύνολο του LAN. Η απόσταση είναι αυτή που καθορίζει τη διαφορά. Το τοπικό δίκτυο (LAN) θεωρείται γενικά ότι είναι μια ευδιάκριτη ομάδα, όπως τα γραφεία μιας μικρής εταιρίας, ή ένα ενιαίο κτήριο σε μια μεγάλη επιχείρηση. Το WAN εξυπηρετεί έναν μεγαλύτερο τομέα, όπως μια πανεπιστημιακή ή ένα συγκρότημα κτηρίων μιας εταιρίας ένα σύνολο κτηρίων γραφείων διασκορπισμένα σε μια κοινότητα. Το ασύρματο WAN (WWAN) μπορεί να σημαίνει ένα αστικό ή περιφερειακό a-

σύρματο δίκτυο, συνήθως στα πλαίσια ενός συστήματος ένα προς πολλά (point-to-multipoint), ή ένα ειδικό δίκτυο που επεκτείνει την πρόσβαση σε μια μεγαλύτερη περιοχή. Σήμερα, τα προσωπικά δίκτυα (Personal Area Network - PAN) αναφέρονται αποκλειστικά σε ασύρματες επικοινωνίες επομένως μιλάμε αποκλειστικά για WPAN (Wireless Pan), σε αντιδιαστολή με το WLAN. Το WLAN έχει εμβέλεια λίγες εκατοντάδες μέτρα σε κανονική χρήση (αν και μπορεί να ληφθεί μεγαλύτερη εμβέλεια όταν χρειαστεί), ενώ το WPAN μόνο λίγες δεκάδες μέτρα (αναφέρονται τα 10 μέτρα ως χαρακτηριστική εμβέλεια). Γενικά, το WLAN μπορεί να οριστεί ότι καλύπτει ένα ολόκληρο σπίτι ή ένα σύνολο γραφείων, αλλά όχι απαραίτητα ένα ολόκληρο κτήριο. Το WPAN είναι ένα δίκτυο μεγέθους δωμάτιου, που καλύπτει την περιοχή εργασίας ενός ατόμου ή μια ομάδα εργαζομένων.

Άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης είναι από το εύρος ζώνης (και συνεπώς και το ρυθμό μετάδοσης). Αν και υπάρχουν εξαιρέσεις, είναι γενικά σωστή η διαίρεση των δικτύων WAN, LAN (και WLAN) και PAN ανάλογα με το ρυθμό μετάδοσης, ή το εύρος ζώνης. Γενικά, το WAN είναι ένα σύστημα μέγιστου ρυθμού μετάδοσης με τη χρήση Gigabit Ethernet ή με οπτικές ίνες για μετάδοση από 1 έως 40 Gbps. Το LAN είναι το συνηθισμένο Ethernet των 10/100 Mbps, ενώ το WLAN είναι ένα σύστημα του προτύπου IEEE 802.11a/b/g με ρυθμό μετάδοσης από 2 έως 54 Mbps. Για το WPAN υπάρχουν τεχνολογίες όπως το Bluetooth με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, αλλά οι νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν απλωμένο φάσμα (spread spectrum) ή εξαιρετικά ευρεία ζώνη (UWB) έχουν εμβέλεια WPAN με μεγάλο ρυθμό μετάδοσης.



Επίσης μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα δίκτυα ανάλογα με τη χρήση τους. Κατ' αρχάς, το WAN είναι μια περιφερειακή υποδομή, μέρος ενός δικτύου υψηλής χρήσης. Τα τοπικά LAN και WLAN χρησιμοποιούνται κυρίως για την κοινή χρήση αρχείων και για τη δρομολόγηση πρόσβασης (routing) στο Διαδίκτυο. Το PAN μπορεί να είναι δύο ειδών. Τα συστήματα χαμηλού ρυθμού μετάδοσης είναι για τον έλεγχο και την πρόσβαση σε ένα μεγαλύτερο σύστημα, (συνήθως στον προσωπικό ΗΥ ή στο κινητό τηλέφωνο του χρήστη) και οι χρήσεις περιλαμβάνουν ασύρματα συστήματα ήχου, πληκτρολόγια, ποντίκια και διασυνδέσεις μεταξύ συστημάτων (τηλέφωνο - ΗΥ). Τα PAN υψηλού ρυθμού μετάδοσης χρησιμοποιούνται συνήθως για την διανομή στο σπίτι τηλεοπτικού και ακουστικού σήματος, σαν να χρησιμοποιείται ένα LAN ή ένα WLAN για δρομολόγηση σύνδεσης στο Διαδίκτυο.

Ενδεχομένως, αν συνδυάσουμε τις κατηγοριοποιήσεις ως προς την απόσταση, ως προς το εύρος ζώνης και ως προς την προοριζόμενη χρήση κάθε δικτύου, μπορούμε να αντιληφθούμε καλύτερα την διάκριση μεταξύ τους.

1.4. Κινητή επικοινωνία και ασύρματες τεχνολογίες

Θα εστιαστούμε στις νέες τεχνολογίες κινητών και ασύρματων επικοινωνιών καθώςον υπάρχει μια ταχεία ανάπτυξη της βιομηχανίας κυψελοειδούς κινητής τηλεφωνίας και πλέον κυριαρχεί η χρήση των ασύρματων συσκευών σε όλες τις κοινωνικές τάξεις. Επομένως θα αρχίσουμε με μια παρουσίαση που αφορά την εξέλιξη των τεχνολογιών κυψελοειδούς κινητής επικοινωνίας, αν και η διάκριση μεταξύ των διάφορων γενεών της είναι θολή. Μια περιγραφή των προηγούμενων γενεών είναι χρήσιμη, ειδικά για τις επιδημιολογικές μελέτες εκθέσεως στα κινητά τηλέφωνα, καθώςον η χρήση των κινητών τηλεφώνων είναι πλέον καθολική. Οι διάφορες επιδημιολογικές μελέτες αναφέρονται είτε στις συσκευές είτε στους σταθμούς βάσης. [A-15]

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

2. Ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (Wireless WANs) - Κινητή τηλεφωνία

2.1. Συστήματα πρώτης γενιάς (1G)

Τα κινητά τηλέφωνα πρώτης γενιάς (1G) ήταν αναλογικά συστήματα που λειτουργούσαν τυπικά στους 450 MHz και χρησιμοποιούσαν τη διαμόρφωση συχνότητας. Τα αναλογικά συστήματα που αναπτύχθηκαν στα διάφορα μέρη του κόσμου ήταν ελαφρώς διαφορετικά: δηλαδή, η σκανδιναβική κινητή τηλεφωνία (NMT) κυρίως στις βόρειες ευρωπαϊκές χώρες, η αμερικανική κινητή τηλεφωνική υπηρεσία (AMPS) στις ΗΠΑ, και η JTACS (ή Hicap) από τη Nippon Τηλέγραφοι και Τηλέφωνα (NTT) στην Ιαπωνία. Η ισχύς εκπομπής των συστημάτων 1G είναι χαρακτηριστικά 600 mW. Αυτή τη στιγμή, αυτές οι υπηρεσίες είτε έχουν σταματήσει είτε έχουν ένα χαμηλό επίπεδο κυκλοφορίας στα περισσότερα μέρη του κόσμου. Εκτός από τα κινητά τηλέφωνα και τους σταθμούς βάσης, τα αναλογικά συστήματα χρησιμοποιούνται επίσης για τα ασύρματα τηλέφωνα. Αυτές οι συσκευές 1G είναι σημαντικές για τις επιδημιολογικές μελέτες επί των μακροπρόθεσμων εκθέσεων ή οποιασδήποτε επίδρασης που συνδέεται με τη μακρά χρονική καθυστέρηση (latency). [A-15]

2.2. Συστήματα δεύτερης γενιάς (2G)

Η μεγάλη έκρηξη στις κινητές επικοινωνίες άρχισε με τα ψηφιακά συστήματα δεύτερης γενιάς (2G). Αυτά έχουν γίνει πλέον η επικρατούσα υπηρεσία με περισσότερους από ένα δισεκατομμύρια χρήστες παγκοσμίως. Όμως τα συστήματα 2G διαφέρουν ανά τον κόσμο, ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα πολλαπλής επικοινωνίας και στο αν η πρόσβαση βασίζεται στα κανάλια ή στα πακέτα. Στον πίνακα 1 αναγράφονται οι ονομασίες των διαφόρων πρωτοκόλλων που έχουν καθιερωθεί για την ασύρματη επικοινωνία και μερικά από αυτά εφαρμόζονται σε διάφορα μέρη του κόσμου. [A-15]

Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης		
Βασίζόμενα στα κανάλια (Channel based)	FDMA (Frequency Division Multiple Access)	OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
		WDMA (Wavelength Division Multiple Access)
		SC-FDMA (Single carrier FDMA)
	TDMA (Time Division Multiple Access)	MF-TDMA (Multi-Frequency TDMA)
		STDMA (Self-organized TDMA)
	CDMA (Code Division Multiple Access)	W-CDMA (Wavelength CDMA)
		TD-CDMA (Time Division CDMA)
		TD-SCDMA (Time Division SCDMA)
		DS-CDMA (Direct Sequence CDMA)
		FH-CDMA (Frequency-hopping CDMA)
SDMA (Space Division Multiple Access)	MC-CDMA (Multi-carrier CDMA)	
	OFHMA (Orthogonal Frequency-hopping Multiple Access)	
	HC-SDMA	
	Hc-SDMA (Hi-capacity Spatial Division Multiple Access)	
PDMA (Polarization Division Multiple Access)		
PAMA (Pulse Address Multiple Access)		
Βασίζόμενα στα πακέτα (packet based)	Collision recovery	ALOHA - Slotted ALOHA - R-ALOHA
	Collision avoidance	MACA - MACAW - CSMA - CSMA/CD - CSMA/CA - DCF - PCF - HCF - CSMA/CARP
	Collision free	Token ring - Token bus
	Delay & disruption tolerant	DTN - Mobile Ad-Hoc Networking --Dynamic Source Routing

Πίνακας 1. Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης

2.2.1. GSM

Στην Ευρώπη και σε μέρη της Ασίας και της Αμερικής κυριαρχεί το παγκόσμιο σύστημα για κινητές επικοινωνίες (Global System for Mobile Communications - GSM). Χαρακτηρίζεται από φέροντες συχνότητες στα 900 και 1800 MHz (1900 MHz στις ΗΠΑ). Το εύρος ζώνης είναι γύρω στα 250 kHz με ένα ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στα 9,6 kbits/s. Χρησιμοποιεί την τεχνική διαίρεσης χρόνου πολλαπλής πρόσβασης (Time Division Multiple Access – TDMA), όπου κάθε χρήστης βρίσκεται σε λειτουργία («on») για $4,615/8 = 0,58\text{ms}$, κατόπιν επιστρέφει περιοδικά σε μια συχνότητα 217 Hz. Το υπόλοιπο κλάσμα του χρόνου χρησιμοποιείται για άλλους χρήστες. Κατά συνέπεια, από την άποψη της ισχύος των ραδιοσυχνότητων χρησιμοποιεί ξεαπάσματα για μετάδοση. Εκτός από τη συχνότητα πρόσβασης των 217 Hz και τις αρμονικές της, υπάρχουν επιπλέον διαφορετικά σήματα για τον έλεγχο και για το σύστημα που προκαλούν διαφθοροποιήσεις ισχύος στις συχνότητες των 2 και 8 Hz.

Οι πληροφορίες (φωνή ή δεδομένα) φέρονται από το σήμα ραδιοσυχνότητας με ένα τρόπο συνεχούς φάσης μόνο, έτσι εφ' όσον ο χρήστης είναι ανοικτός («on»), η ισχύς είναι σταθερή. Αυτό καλείται επίσης διαμόρφωση σταθερού φακέλου. Όπως θα δούμε αργότερα, τα περισσότερα άλλα εξελισσόμενα συστήματα δεν έχουν αυτήν την ιδιότητα του σταθερού φακέλου.

2.2.2. IS-95

Το IS-95 είναι η βορειοαμερικανική εκδοχή του προτύπου πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κωδικών (Code Division Multiple Access-CDMA) γνωστού ως CDMAOne. Το πρότυπο CDMA είναι σημαντικό διαφορετικό από το πρότυπο GSM. Το IS-95 είναι (όπως αποκαλείται) ένα σύστημα απλωμένου φάσματος άμεσου ακολουθίας, όπου οι χρήστες είναι «on» ταυτόχρονα, αλλά χωρίζονται με διαφορετικούς κώδικες, οι οποίοι «απλώνονται» στο φέρον σήμα σε ένα ευρύτερο εύρος ζώνης (από ότι γίνεται στο μη-απλωμένο σύστημα μετάδοσης). Η ταχύτητα μετάδοσης είναι γνωστή ως chiprate, η οποία για το IS-95 είναι 1,2288 Mcchip/s σε ένα εύρος ζώνης 1,25 MHz. Μια άμεση συνέπεια είναι η έλλειψη του χαρακτηριστικού παλμού που συναντάται στα συστήματα διαίρεσης χρόνου TDMA (όπως το GSM παραπάνω). Περαιτέρω συζήτηση για την τεχνική CDMA αναφέρεται στα 3G συστήματα.

2.2.3. PDC

Το προσωπικό ψηφιακό κυψελοειδές σύστημα (Personal Digital Cellular-PDC) είναι ένα σύστημα TDMA που λειτουργεί στις ζώνες των 800 MHz και 1,5 GHz και χρησιμοποιείται πρωτίστως στην Ιαπωνία. Το σύστημα έχει επίσης την ικανότητα μετάδοσης πακέτων, που ονομάζεται προσωπικό ψηφιακό κυψελοειδές σύστημα πακέτων (PDC-P), το οποίο εισήχθη το 1997. Δεδομένου ότι το PDC-P είναι βασισμένο στο σύστημα PDC, τα ραδιο χαρακτηριστικά του είναι παρόμοια, δηλ. χρησιμοποιεί 3 κανάλια διαίρεσης χρόνου TDMA. Με μια μόνο σχισμή χρόνου TDMA, το PDC-P μπορεί να παρέχει 9,6 Kbit/s πρόσβαση πακέτων, ενώ με τρεις σχισμές χρόνου παρέχει 28,8 Kbit/s. Επιπλέον, η υπηρεσία i-mode είναι διαθέσιμη στα κανάλια PDC-P.

2.3. Συστήματα 2,5G

Η δημοτικότητα του Διαδικτύου και των προσωπικών Η/Υ δημιούργησε μια ανάγκη για υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στα ασύρματα δίκτυα από ότι ήταν διαθέσιμα με τα 2G συστήματα, τα οποία ήταν σχεδιασμένα κυρίως για τις εφαρμογές ομιλίας. Ο όρος «2,5G» χρησιμοποιείται για να δείξει ένα ενισχυμένο σύστημα GSM με υπηρεσίες δεδομένων υψηλής ταχύτητας. [A-15]

2.3.1. GPRS

Σε μια προσπάθεια να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (data rate) στα υπάρχοντα συστήματα και ενώ περιμέναμε να αναπτυχθούν τα συστήματα 3G, ξητήθηκε η γενική υπηρεσία ραδιο-πακέτων (General Packet Radio Service-GPRS). Το GPRS υποστηρίζει ένα πολύ καλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (μέχρι 140,8 Kbit/s το μέγιστο) και είναι βασισμένο

στα πακέτα παρά προσανατολισμένο προς τη σύνδεση. Αναπτύσσεται σε πολλά μέρη του κόσμου όπου χρησιμοποιείται το GSM. Το GPRS επιτυγχάνει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων συνδυάζοντας διάφορες χρονοσχιμές (timeslots) που στην πράξη είναι 2-3.

2.3.2. HSCSD

Μια εξελιγμένη τεχνολογία GSM, λέγεται δεδομένα υψηλής ταχύτητας με μεταγωγείς κυκλώματος (High-Speed Circuit Switched Data - HSCSD) και συνδυάζει μεταγωγείς κυκλώματος (circuit-switched) για συνδυασμένες χρονικές σχισμές. Η τεχνολογία HSCSD ανεβάζει το ρυθμό των μετάδοσης (bit rate) και επιτρέπει στο σύστημα να συνδυάσει χρονικές σχισμές TDMA, φτάνοντας σε ταχύτητες δεδομένων μέχρι και έξι φορές γρηγορότερες από τα τυποποιημένα συστήματα GSM.

Γενικά υποτίθεται ότι υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για το κατέβασμα δεδομένων (downloading) παρά για τη διαβίβαση (upload), έτσι οι δυνατότητες είναι ασύμμετρες. Για παράδειγμα 14 Kbit/s για το ανέβασμα με μια χρονική σχισμή και 28 - 64 Kbit/s για το κατέβασμα. Δεδομένου ότι το σύστημα βασίζεται στα πακέτα με το χρήστη πάντα ανοιχτό, αυτό που μετράει περισσότερο είναι η ποσότητα των δεδομένων που διαβιβάζονται και λαμβάνονται παρά ο χρόνος που παρέχεται.

Πρέπει να τονιστεί ότι η έκθεση στην Η/Μ ακτινοβολία μπορεί να διαφέρει αρκετά για τις εφαρμογές μετάδοσης δεδομένων, δεδομένου ότι το κινητό τηλέφωνο μπορεί πλέον να μην κρατιέται κοντά στο αυτί.

2.3.3. EDGE

Υπάρχει επίσης μια άλλη εξέλιξη στις συσκευές δεύτερης γενιάς (2G) με την ονομασία ενισχυμένους ρυθμούς δεδομένων για την εξέλιξη GSM (Enhanced Data-rate for GSM Evolution - EDGE) που χρησιμοποιεί διαμορφώσεις υψηλότερης τάξης. Όμως, η ισχύς των σημάτων στην EDGE μπορεί να διαφέρει από σύμβολο σε σύμβολο, δηλαδή δεν είναι διαμόρφωση σταθερού φακέλου. Απαιτεί μια καλή ραδιο-σύνδεση, ώστε να χρησιμοποιούνται προσαρμοστικές τεχνικές για να ελέγχουν τις διαφοροποιήσεις ισχύος όταν αυτό είναι δυνατόν. Η ισχύς του σήματος (του φέροντος την πληροφορία σχετικά με τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων) δεν είναι σταθερή, και είναι από βιολογική άποψη ένα πραγματικά διαμορφωμένο κατά πλάτος σήμα. Μπορεί να προσφέρει ασύρματες υπηρεσίες που βασίζονται στο πολυμεσικό πρωτόκολλο Διαδικτύου (internet protocol - IP) καθώς και εφαρμογές με θεωρητικές μέγιστες ταχύτητες στα 384 Kbit/s με ρυθμό μετάδοσης από 48 μέχρι 69,2 Kbit/s ανά χρονική σχισμή, υπό καλές συνθήκες μετάδοσης. Τα σήματα ελέγχου ισχύος επηρεάζουν επίσης τις διαφοροποιήσεις ισχύος.

2.3.4. i-mode

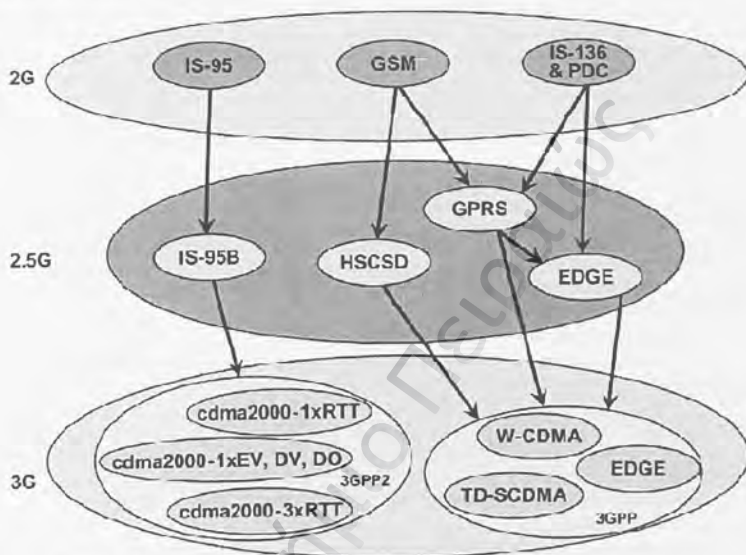
Πρέπει να σημειωθεί ότι το i-mode ήταν η πρώτη υπηρεσία που επέτρεψε στα κυψελοειδή τηλέφωνα να έχουν πρόσβαση και πλοήγηση στον παγκόσμιο ιστό (world wide web - www). Ήταν μια επικάλυψη στο ιαπωνικό σύστημα PDC-P. Κατά συνέπεια, αντίθετα από τη φωνητικές κλήσεις που γίνονται με μεταγωγείς κυκλώματος (circuit-switched) και λειτουργούν μόνο μετά από διεπιλογή (dial-up), οι επικοινωνίες i-mode είναι πάντα «on», υπό τον όρο ότι είστε σε μια περιοχή όπου υπάρχουν σήματα i-mode. Δίνει στο χρήστη στιγμιαία πρόσβαση στη αποστολή μηνυμάτων κειμένου, στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και σε άλλες πληροφορίες βασισμένες στο διαδίκτυο, σε ψυχαγωγία και σε περιεχόμενο πολυμέσων μέσω της τεχνολογίας υψηλής ταχύτητας GPRS.

2.4. Συστήματα 3G

Ενώ η πρόθεση της διεθνούς ένωσης τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union ITU) ήταν να καθιερωθεί ένα αληθινά παγκόσμιο σύστημα, εμπορικοί παράγοντες απέτρεψαν να συμβεί αυτό. Υπάρχουν παρόλα αυτά καινούρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα, με την έννοια ότι το απλωμένο φάσμα (όπως στο IS-95) είναι ένα κυρίαρχο σχήμα πρόσβασης για πολλαπλούς χρήστες. Αυτό ήταν πάλι ο τρόπος για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, συνή-

θως 384 Kbit/s μέχρι 2 Mbit/s σε εσωτερικά περιβάλλοντα. Συγχρόνως, απελευθερώθηκαν νέες ζώνες συχνοτήτων γύρω στα 2 GHz για τη νέα υπηρεσία.

Στην εικόνα 3 βλέπουμε σχηματικά τις βασικότερες τεχνολογίες ανά γενιά και την εξέλιξή τους στην επόμενη γενιά.



Εικόνα 3 Οι βασικότερες τεχνολογίες ανά γενιά κινητής τηλεφωνίας

Στον πίνακα 2 βλέπουμε συγκριτικά χαρακτηριστικά των κύριων εκπροσώπων σε κάθε μια από τις παραπάνω γενιές

	GSM (2G)	GPRS (2,5G)	W-CDMA (UMTS) (3G)
Ταχύτητα μετάδοσης	9,6 kbps	53,6 έως 114 kbps	114 kbps έως 2 Mbps
Χρόνος για αποκατάσταση σύνδεσης	15 s	<1 s	<1 s
Πληρωμή	Ανά χρόνο σύνδεσης	Data	Data
Υπηρεσίες	Φωνή, SMS, Fax	Φωνή, SMS, Fax, chat, data, WAP	Φωνή, SMS, Fax, chat, WAP, πολυμέσα

Πίνακας 2 Εξέλιξη χαρακτηριστικών ανά γενιά κινητής τηλεφωνίας

2.4.1. CDMA2000

Το CDMA2000 είναι η νοτιοαμερικανική έκδοση του δικτύου CDMA 3G Διαφέρει από W-CDMA κυρίως στη δικτυακή αρχιτεκτονική. Υπάρχουν μερικές διαφορές στις κατανομές συχνότητας και το chiprate

2.4.2. W-CDMA (Παγκόσμιο Σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών, Universal Mobile Telecommunications System - UMTS)

Το παγκόσμιο πρότυπο για τις ασύρματες επικοινωνίες τρίτης γενιάς (3G), το IMT-2000, είναι μια οικογένεια προτύπων 3G, η οποία περιλαμβάνει το W-CDMA και το UMTS. Όταν συνδυάζονται, το W-CDMA και το UMTS αναφέρονται ως UTRA. Το W-CDMA είναι το πρότυπο βάσης και το W-CDMA λειτουργεί ως διεπαφή αέρα για το UMTS. Οι συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων που καθορίστηκαν αρχικά είναι από 1.885 έως 2.025 MHz για uplink (από το χρήστη στο σταθμό βάσης) και από 2.110 έως 2.200 MHz για downlink. Το W-CDMA χρησιμοποιεί δύο κανάλια των 5 MHz, ένα στην περιοχή των 1.900 MHz για uplink και ένα στην περιοχή των 2.100 MHz για downlink. Αντίθετα, το CDMA-2000 χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα κανάλια των 1,25 MHz για κάθε κατεύθυνση μετάδοσης. Κατά συνέπεια, το W-CDMA έχει απαίτηση για μεγαλύτερο εύρος ζώνης.

Το W-CDMA υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι 2 Mbit/s, αν και οι τυπικοί χρήστες μπορεί να αναμένουν απόδοση περίπου στα 64 Kbit/s σε ένα βαρυφορτωμένο πραγματικό σύστημα. Πάντως, και αυτό ακόμα είναι πολύ μεγαλύτερο από τα 14,4 Kbit/s ενός μονού καναλιού GSM με διόρθωση λαθών δεδομένων ή από πολλαπλάσια κανάλια των 14,4 Kbit/s σε HSCSD, και προσφέρει την προοπτική της πρακτικά ανέξοδης πρόσβασης στον παγκόσμιο ιστό με μια κινητή συσκευή καθώς και γενική χρήση της υπηρεσίας μηνυμάτων πολυμέσων (Multimedia Messaging Service - MMS).

Χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές μέθοδοι:

α. η διπλή διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Duplex - FDD), όπου οι επικοινωνίες στην uplink και στην downlink σύνδεση διαχωρίζονται σε διαφορετικά εύρη συχνοτήτων.

β. η διπλή διαίρεση χρόνου (Time Division Duplex-TDD), όπου οι ίδιες συχνότητες χρησιμοποιούνται και για τις δύο επικοινωνίες, αλλά διαχωρίζονται σε διαφορετικές σχισμές χρόνου. Αυτό έχει ως περαιτέρω πλεονέκτημα την ασύμμετρη μετάδοση, όπως τη χρησιμοποίηση σχετικά περισσότερων χρονοσχιμών για την downlink σύνδεση από την uplink.

Για το W-CDMA έχουν διατεθεί οι ακόλουθες συχνότητες:

- Μέθοδος FDD:

Για τη σύνδεση uplink: 1.920 - 1.980 MHz και 1.850 - 1.910 MHz,

Για τη σύνδεση downlink 2.110 - 2.170 MHz και 1.930- 1.990 MHz

- Μέθοδος TDD:

Για σύνδεση downlink και uplink: 1.900 - 1.920 και 2.010 - 2.025 MHz

Για σύνδεση downlink και uplink: 1.850 - 1.910 και 1.930 - 1.990 MHz.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος πρόσβασης που εφαρμόζεται είναι η FDD. Οι χρήστες διαχωρίζονται με διαφορετικούς κώδικες, με μια διαμόρφωση υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων πάνω από την πληροφορία. Αυτό σημαίνει ότι το πραγματικό εύρος ζώνης είναι πολύ μεγαλύτερο από το απαιτούμενο για το ρυθμό μετάδοσης της βασικής πληροφορίας, και έτσι στο παρόν σύστημα είναι περίπου 5 MHz. Ο βασικός ρυθμός μετάδοσης κωδικών καλείται chiprate, και για W-CDMA το chiprate είναι 3,84 Mbit/s. Για την FDD οι ζώνες συχνότητας των 60 MHz διαιρούνται σε ζώνες των 5 MHz, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από έναν χρήστη ή από διαφορετικούς χρήστες, ανάλογα με τους κανονισμούς στη συγκεκριμένη περιοχή ή χώρα. Αυτό το γεγονός πρέπει να εξετάζεται όταν αξιολογείται η συνολική ακτινοβολία από τις κεραιές σταθμών βάσης.

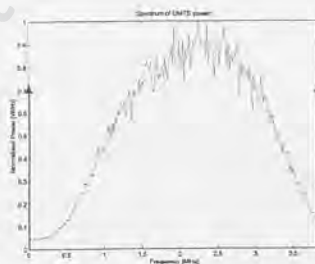
Τα χαρακτηριστικά μετάδοσης (συχνότητες σταθμού και δέκτη, ευαισθησία δέκτη και ισχύς μετάδοσης συνδρομητή) των διαφόρων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σε Β. Αμερική, Ευρώπη και Ιαπωνία φαίνονται στον πίνακα 3. [Α-15]

Τόπος	Τύπος	Μετάδοση συσκευής (MHz)	Μετάδοση σταθμού βάσης (MHz)	Ευαισθησία δέκτη συνδρομητή (dBm)	Ισχύς μετάδοσης συνδρομητή (dBm)
Ευρώπη	GSM 900	880-915	925-960	-102	33
	DCS 1800 (GSM)	1710-1785	1805-1880	-102	30
	UMTS (W-CDMA)	1920-1980	2110-2170	-116	24
ΗΠΑ	AMPS	824-849	869-894	-116	34,77
	PCS 1900 (GSM)	1850-1910	1930-1990	-102	30
Ιαπωνία	CDMAOne	887-901	832-846		23
	PDC	940-956	810-826	-100	Class I=34,77 Class II=33 Class III=29 Class IV=24,77
		1429-1453	1477-1501	-100	Class I=34,77 Class II=33 Class III=29 Class IV=24,77
	W-CDMA	1920-1980	2110-2170	-116	24

Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά μετάδοσης κατά τόπους

Μια απαίτηση για τη σωστή χρήση ενός συστήματος CDMA είναι ότι τα σήματα από όλους τους χρήστες φθάνουν στο σταθμό βάσης με το ίδιο επίπεδο ισχύος, διαφορετικά η παρεμβολή μεταξύ των χρηστών θα τα καταστήσει άχρηστα. Κατά συνέπεια για κάθε σήμα εφαρμόζεται ένας αυστηρός και γρήγορος έλεγχος ισχύος στην περιοχή των 1.500 Hz με μικρά βήματα (μέχρι 1 dB). Αυτό σημαίνει ότι η ισχύς του ακτινοβολείται από ένα κινητό τηλέφωνο, (άρα και η προσλαμβανόμενη από τον άνθρωπο ακτινοβολία) θα έχει ένα τμήμα 1.500 Hz.

Ένας πρόσθετος παράγοντας που συμβάλλει στις διακυμάνσεις ισχύος (ή τις διακριτές συχνότητες) είναι το χαρακτηριστικό γνώρισμα του μη-σταθερού φακέλου. Σε αντίθεση με το GSM, οι υψηλοί ρυθμοί δεδομένων φαίνονται στο φάσμα της ισχύος με μια φασματική αιχμή στα 3,84 MHz και ένα συνεχές φάσμα κάτω από αυτό. Ένα παράδειγμα διακύμανσης ισχύος παρουσιάζεται στην εικόνα 4.[A-15]



Εικόνα 4 Διακύμανση Ισχύος

Η μέγιστη ισχύς που εκπέμπεται από μια τηλεφωνική συσκευή κατατάσσεται σε διαφορετικές κατηγορίες. Η πιο συνηθισμένη κατηγορία είναι η κατηγορία (κλάση) 4, όπου η μέγιστη εκπεμπόμενη ισχύς είναι 125 mW. Σημειώνουμε ότι είναι υποδιπλάσια από την μέγιστη μέση ισχύ για τα GSM. Για ένα μικρό αστικό κελί, η εκπεμπόμενη μέση ισχύς της συσκευής ενός κινητού τηλεφώνου είναι περίπου 0,25 mW, ενώ για ένα μεγαλύτερο αγροτικό κελί ένα πολύ μεγαλύτερο μέρος των ισχύων θα ήταν κοντά στη μέγιστη τιμή. Πάντως, οι απορροφώμενες ακτινο-

βολίες αναμένονται να βρίσκονται εντός των επιτρεπόμενων ορίων. Πάντως, μπορεί να απαιτηθούν περισσότερες πληροφορίες για τα διαφορετικά chipsets και τα υψηλότερα ποσοστά διακυμάνσεων ισχύος που συνδέονται με το χαρακτηριστικό γνώρισμα του αυτομάτου ελέγχου επιπέδου ισχύος (Automatic Power Control - APC).

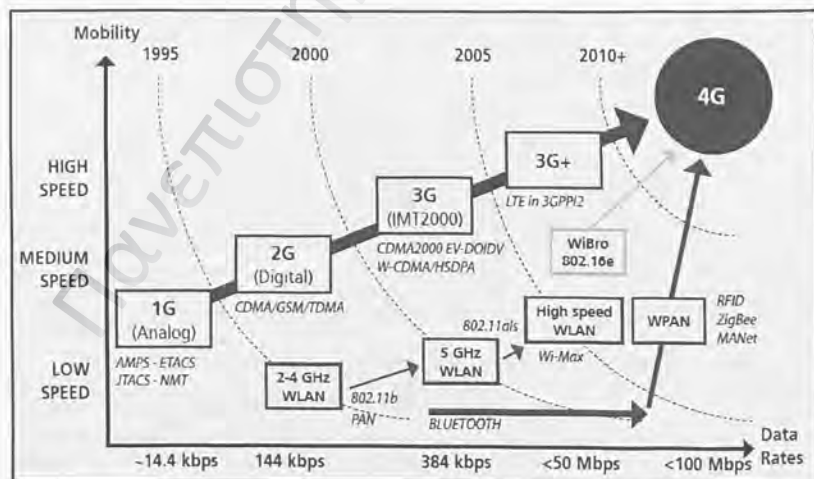
Ένας άλλος λόγος για τη μικρή ισχύ είναι το αποκαλούμενο επεξεργασμένο κέρδος, το οποίο ισούται με τον λόγο μεταξύ του εύρους ζώνης συστήματος και του εύρους ζώνης πληροφορίας. Για την ομιλία αυτός ο λόγος είναι μεγάλος, ενώ για την επιβαρυνόμενη μετάδοση δεδομένων μπορεί να είναι κοντά στο ένα, οπότε το όφελος εξαφανίζεται.

2.4.3. HSDPA

Συγκρινόμενος με τα σταθερά δίκτυα, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων των 384 Kbit/s είναι μάλλον μικρός, έτσι έχουν καταβληθεί προσπάθειες για να αυξηθούν οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων του W-CDMA με τη χρησιμοποίηση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης υπό ευνοϊκούς όρους. Επίσης χρησιμοποιούνται «εκρήξεις» μεταδόσεων πακέτων, ώστε και άλλοι χρήστες να μπορούν να χρησιμοποιούν το κανάλι όταν ένας χρήστης έχει μια μικρή διακοπή. Το σύστημα καλείται πρόσβαση πακέτων κατιουσών συνδέσεων υψηλής ταχύτητας (High Speed Downlink Packet Access - HSDPA) και επιτρέπει τη μετάδοση μέχρι 14 Mbit/s πάνω σε ένα κανάλι εύρους ζώνης 5 MHz, ενώ αναμένεται να φθάσει μέχρι τα 42 Mbit/s. Φυσικά, αυτό δίνει ακόμα υψηλότερες διακυμάνσεις ισχύος από το βασικό W-CDMA.

2.5. Πέρα από την Τρίτη γενιά (Beyond 3G)

Στην εικόνα 5 φαίνονται σχηματικά με χρονολογική σειρά οι γενιές της κινητής τηλεφωνίας και οι λοιπές ασύρματες επικοινωνίες (με ονομασίες από τις χαρακτηριστικές τεχνολογίες κάθε μιας) που μαζί κινούνται στην τέταρτη γενιά επικοινωνίας (4G). Όλα αυτά παρουσιάζονται ως συνάρτηση της κινητικότητας (mobility) σε σχέση με το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (data rate). Οι διακεκομμένες γραμμές μας βοηθούν να δούμε κατά προσέγγιση το έτος αναπτύξεως της κάθε τεχνολογίας.



Εικόνα 5 Εξέλιξη κινητής τηλεφωνίας και ασυρμάτων τεχνολογιών

Η αναζήτηση για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων συνεχίζεται, και η διεθνής ένωση τηλεπικοινωνιών (ITU) έχει θέσει στόχους τα 100 Mbit/s για τα γενικά περιβάλλοντα και το 1 Gbit/s (1.000 Mbit/s) για τα εσωτερικά. Αυτό θα απαιτούσε μεγαλύτερα εύρη ζώνης και υψηλότερες συχνότητες φερόντων, καθώς επίσης και προηγμένες τεχνολογίες κεραιών και προσαρμοστικές διαμορφώσεις, όπως για την 3G. Είναι δύσκολο να προβλεφθεί ακριβώς ποιές τεχνολογίες και σχήματα πρόσβασης θα εφαρμοστούν, αλλά μια πιθανή υποψηφιότητα είναι το σύστημα πολυπλευξής διάρθρωσης ορθογώνιας συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM). Το OFDM είναι ουσιαστικά ένα σύστημα πολύ-μεταφοράς, όπου το ευρύ εύρος ζώνης διαιρείται σε μεγάλο αριθμό φερόντων περιορισμένου εύρους, και έτσι αποφεύγεται η παρεμβολή λόγω συμβολής που είναι χαρακτηριστική των συστημάτων μεγάλου εύρους ζώνης. Όπως και τα άλλα αναφερθέντα συστήματα, και αυτό πάσχει από τις διακυμάνσεις ισχύος, που συχνά μνημονεύεται ως λόγος αιχμής προς μέσο όρο (peak-to-mean ratio). Οι συχνότητες φερόντων θα είναι χαρακτηριστικά κάτω από 6 GHz, δεδομένου ότι είναι δύσκολο να γίνουν αποδεκτές οι συχνότητες Doppler για υψηλότερες συχνότητες φερόντων.

Στην κινητή τηλεφωνία οι εξελίξεις κινούνται από το σύνθεσης διαβίβαση της φωνής στο κυρίως διαβίβαση της φωνής και ενσωματωμένων υπηρεσιών δεδομένων, ενώ στους υπολογιστές η αναπτυξιακή τάση είναι από τη διαβίβαση δεδομένων στη διαβίβαση δεδομένων και ενσωματωμένων φωνητικών υπηρεσιών. Και οι δύο εξελίξεις θα μπορούσαν πιθανώς να συγκλίνουν για να επιφέρουν νέες απαιτήσεις και τεχνολογικές προκλήσεις. Γίνεται όλο και περισσότερο προφανές ότι τα σημαντικότερα κυψελοειδή κινητά συστήματα θα εξελιχθούν σε ένα περιβάλλον τέταρτης γενιάς (4G), με μεγαλύτερο εύρος ζώνης, με πιο σύντομη χρονική καθυστέρηση (latency) και σε δίκτυα βασισμένα στο διαδικτυακό πρωτόκολλο (Internet Protocol-IP). Σε όλες τις περιπτώσεις, οι υπάρχουσες διεπαφές αέρα θα αντικατασταθούν χρησιμοποιώντας το σύστημα πολλαπλής πρόσβασης με διάρθρωση ορθογώνιας συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiple Access - OFDMA) για την downlink σύνδεση και το OFDM για την uplink, παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται στο WiMAX που περιγράφεται παρακάτω. Ένας συνδυασμός έξυπνων τεχνολογιών κεραιών και του εξελικτικού (scalable) OFDM (SOFDMA) θα ενισχύσει την αποτελεσματική φασματική αποδοτικότητα μέσω της επαναχρησιμοποίησης φάσματος και των έξυπνων σχημάτων δικτύωσης. Η χρήση τεχνικών για την εκμετάλλευση συχνοτήτων θα δώσει τη δυνατότητα σε σχεδιασμούς που χρησιμοποιούν τους αλγορίθμους πολλαπλής εισόδου - πολλαπλής εξόδου (Multiple-Input Multiple-Output - MIMO) να φτιάξουν αποτελεσματικότερα συστήματα.

Υπάρχουν υπό εξέταση χιλιοστομετρικές συχνότητες για διάφορες συγκεκριμένες εφαρμογές, αλλά για κανένα κινητό σύστημα αυτή την περίοδο.

3. Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (Wireless MANs) - Ασύρματες μη-κυψελωτές επικοινωνίες

3.1. Γενικά

Μια τελευταία εξέλιξη των ασύρματων δικτύων είναι η ανάπτυξη των μητροπολιτικών δικτύων, που αναφέρονται σε μια μεγάλη πόλη. Εκτός από αρκετές πόλεις του εξωτερικού και κυρίως των ΗΠΑ, έχει αναπτυχθεί και στην Αθήνα ένα WMAN από ιδιώτες που το παρέχουν δωρεάν.

Οι ασύρματες μη-κυψελωτές επικοινωνίες έχουν τυποποιηθεί μέσω του Οργανισμού τυποποίησης (Standard Organization) του Ινστιτούτου ηλεκτρολόγων και ηλεκτρονικών μηχανικών (Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE) με τα πρότυπα IEEE 802. Τα πρότυπα IEEE 802 με την προσθήκη αριθμών εξειδικεύουν τις ασύρματες επικοινωνίες. Έτσι υπάρχουν οι παρακάτω οικογένειες προτύπων 802:

- 802.11 για τα WLAN (WiFi)
- 802.15 για τα WPAN (Bluetooth, ZigBee, UWB)
- 802.16 για τα WMAN (WiMAX, WiBro)

Εδώ θα αναφερθούμε στις υποδιαιρέσεις του 802.16.

3.2. WiMAX

Το όνομα WiMAX εισήχθη το 2001 ως τεχνολογία διεπαφών αέρα για την ασύρματη μετάδοση στοιχείων για μεγάλες αποστάσεις. Είναι το αρκτικόλεξο για παγκόσμια διαλειτουργικότητα για την πρόσβαση μικροκυμάτων (Worldwide Interoperability for Microwave Access) και είναι βασισμένη στα πρότυπα IEEE 802.16. Παρέχει συνδεσιμότητα από συνδέσεις σημείου προς σημείο (point to point) με πλήρη πρόσβαση κινητού (κυψελοειδούς τύπου). Επιτρέπει, παραδείγματος χάριν, το ασύρματο ξεφύλλισμα του διαδικτύου σε έναν φορητό προσωπικό υπολογιστή. Το WiMAX παρέχει την τεχνολογία για την παράδοση της ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης τελευταίου μιλίου ως εναλλακτική λύση στο καλώδιο. Από πολλές απόψεις, είναι πιο κοντά στο Wi-Fi (που θα περιγράψουμε παρακάτω) παρά στις κυψελοειδείς κινητές τεχνολογίες τρίτης γενιάς (3G).

Τα πρότυπα 802.16d και 802.16e είναι τα πλέον ευρέως υιοθετημένα πρότυπα WiMAX, που καλύπτουν το φάσμα συχνότητας από 2 έως 11 GHz. Το IEEE 802.16e χρησιμοποιεί το SOFDM αντί της έκδοσης του OFDM με 256 υπο-κανάλια στο 802.16d. Η ανανεωμένη έκδοση του 802.16e επίσης χρησιμοποιεί την υποστήριξη πολλαπλών κεραιών μέσω επικοινωνίας MIMO και τεχνολογίας επεξεργασίας σήματος. Δεν υπάρχει κανένα παγκόσμια συμφωνηθέν φάσμα για το WiMAX, αν και για την οικονομία του φάσματος οδηγείται προς τα 2,3 GHz, τα 2,5 GHz και τα 3,5 GHz για τα κινητά τηλέφωνα και τους φορητούς προσωπικούς υπολογιστές. Το χαρακτηριστικό εύρος καναλιών είναι μεταξύ 3,5 MHz και 10 MHz. Υπό ιδανικούς όρους λειτουργίας, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν συμμετρικές ταχύτητες στα 70 Mbit/s για συνδέσεις uplink και downlink. Όμως, οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται στην πράξη είναι περίπου 10 Mbit/s στα 10 χλμ. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα του WiMAX είναι η αποδοτικότητα του φάσματος. Η έκθεση στα πεδία ραδιοσυχνοτήτων (RF) αναμένεται να είναι στα ίδια ή χαμηλότερα επίπεδα από τα όρια έκθεσης στις εφαρμογές 3G. [A-15]

3.3. WiBro (Wireless Broadband)

Το WiBro είναι μια ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία Διαδικτύου που αναπτύσσεται από τη νοτιοκορεατική βιομηχανία τηλεπικοινωνιών. Το WiBro είναι το νοτιοκορεατικό όνομα υπηρεσιών για το διεθνές πρότυπο IEEE 802.16e (κινητό WiMAX).

Το WiBro χρησιμοποιεί TDD για duplexing, και OFDMA για πολλαπλή πρόσβαση καθώς και τα 8,75 MHz ως εύρος ζώνης. Το WiBro επινοήθηκε για να υπερνικήσει τους περιορισμούς ρυθμού μετάδοσης δεδομένων των κινητών τηλεφώνων (όπως π.χ. CDMA 1x) και για να

προσθέσει κινητικότητα στην ευρυζωνική πρόσβαση διαδικτύου (παραδείγματος χάριν ADSL ή ασύρματο τοπικό LAN).

Τον Φεβρουάριο του 2002, η κορεατική κυβέρνηση διέθεσε 100 MHz του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στη ζώνη 2,3 – 2,4 Ghz, και στα τέλη του 2004 η φάση 1 του WiBro τυποποιήθηκε από τον οργανισμό τυποποίησης της Κορέας ώστε στα τέλη του 2005 η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) όρισε ότι το WiBro ανταποκρίνεται στο πρότυπο IEEE 802.16e (κινητό WiMAX). Δύο νοτιοκορεατικές εταιρίες τηλεπικοινωνιών (KT, SKT) προώθησαν την εμπορική υπηρεσία από τον Ιούνιο 2006, και το κόστος χρήσης είναι γύρω στα US\$30.

Οι σταθμοί βάσης του WiBro θα προσφέρουν ένα συνολικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 30 έως 50 Mbps ανά φέρον σήμα και θα καλύπτουν μια ακτίνα 1-5 χλμ που επιτρέπει τη χρήση της φορητής χρήσης διαδικτύου. Λεπτομερέστερα, θα παράσχει κινητικότητα για συσκευές που κινούνται μέχρι 120 km/h, συγκρινόμενο με το ασύρματο τοπικό LAN που έχει κινητικότητα μέχρι την ταχύτητα περπατήματος και το κινητό τηλέφωνο που έχει κινητικότητα μέχρι 250 km/h. Μετά από επίσημη δοκιμή κατά τη διάρκεια της Συνόδου Κορυφής του APEC (Asia Pacific Economic Cooperation) στο Busan στα τέλη του 2005, διαπιστώθηκε η πραγματική απόσταση και το εύρος ζώνης ήταν λίγο χαμηλότερα από αυτούς τους αριθμούς.

Η τεχνολογία θα προσφέρει επίσης ποιότητα εξυπηρέτησης (Quality of Service-QoS). Η ύπαρξη της QoS επιτρέπει στο WiBro την συνεχή μετάδοση με αξιόπιστο τρόπο περιεχόμενου βίντεο και άλλων δεδομένων ευαίσθητων στην απώλεια. Όλα αυτά φαίνονται να είναι (και μπορεί να είναι) τα ισχυρότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με το σταθερό πρότυπο WiMAX (802.16a). Σε πολλές χώρες, ορισμένες εταιρίες τηλεπικοινωνιών προσπαθούν να εμπορευματοποιήσουν αυτό το ασύρματο WiMAX (ή WiBro), όπως η Tj στην Ιταλία, η TVA στη Βραζιλία, η Omnicision στη Βενεζουέλα, η PORTUS στην Κροατία, και η Aerialink στο Μίτσιγκαν. Ενώ το WiBro είναι αρκετά ακριβές στις απαιτήσεις του από τη χρήση φάσματος μέχρι στο σχεδιασμό εξοπλισμού, το WiMAX αφήνει ένα μεγάλο μέρος αυτού στον προμηθευτή εξοπλισμού, ενώ παρέχει αρκετή λεπτομέρεια που εξασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών σχεδίων.



4. Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LANs)

4.1. Γενικά

Ταυτοχρόνως με την κυψελοειδή κινητή επικοινωνία, σημαντικές εξελίξεις έχουν πραγματοποιηθεί στον τομέα των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN), με μάλλον μικρής απόστασης επικοινωνία μεταξύ ενός σημείου πρόσβασης (σταθμός βάσης) και ενός ή περισσότερων χρηστών. Η διαφορά από τις διάφορες γενεές των κυψελοειδών κινητών συστημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι η έλλειψη γενικής υποδομής δικτύου, κινητικότητας, και παράδοσης μεταξύ των σημείων πρόσβασης. Τα δίκτυα περιοχής είναι ειδική οργάνωση συστημάτων σε σπίτια, ξενοδοχεία, καφέ, κτίρια γραφείων, αερολιμένες, πάρκα πόλεων, σε εταιρικούς χώρους και πανεπιστημιοπόλεις ως δυναμικές ζώνες (hotspot), και είναι συνήθως συνδεδεμένα με το Διαδίκτυο μέσω της βασικής σύνδεσης του σημείου πρόσβασης, ως επέκταση σε ενσύρματα LANs. Επιτρέπει την κινητικότητα των τερματικών σε μια σαφώς προκαθορισμένη περιοχή. Δεδομένου ότι η δημοτικότητα των φορητών συσκευών όπως οι φορητοί προσωπικοί υπολογιστές (laptops) και οι προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (Personal Digital Assistants - PDAs) συνεχώς αυξάνονται, τα WLAN έχουν επιλεγεί ως η υποδομή επικοινωνίας.

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα στηρίζονται στο πρότυπο IEEE 802.11, το οποίο είναι μια σύνθετη οικογένεια προτύπων, που επιτρέπει τη λειτουργία στις υψηλότερες ταχύτητες και σε πρόσθετες ζώνες συχνότητας. Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα στις διαφορετικές επεκτάσεις των προτύπων IEEE 802.11, (που συνήθως προσδιορίζονται με τα γράμματα της αγγλικής αλφαβήτου), συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα 4:

Πρότυπο	Περιγραφή	Συχνότητα (GHz)	Ρυθμός μετάδοσης (Mbit/s)	Έτος
IEEE 802.11	Αρχικό πρότυπο, εκμεταλλεύεται την ζώνη ISM (Βιομηχανία-Επιστήμη-Ιατρική)	2.4	2	1997
IEEE 802.11a	Γρηγορότερη έκδοση του προτύπου, εκμεταλλεύεται τη ζώνη UNII	5.7	54	1999
IEEE 802.11b	Βελτιωμένο data rate στη ζώνη ISM	2.4	11	1999
IEEE 802.11g	Όπως το 802.11a στην ταχύτητα, αλλά στη ζώνη ISM	2.4	54	2003
IEEE 802.11h	Τροποποίηση του 802.11a εξασφάλιση δυνατότητας χρήσης στην Ευρώπη	5.7	54	2003

Πίνακας 4 Τα χαρακτηριστικά του προτύπου IEEE 802.11.

Η εφαρμογή του 802.11 για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα εκφράζονται με το WiFi

4.2. WiFi

Το εμπορικό όνομα Wi-Fi (αρκτικόλεξο για **Wireless Fidelity** - ασύρματη πιστότητα) χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να πιστοποιήσει συσκευές συμμορφούμενες προς το πρότυπο IEEE 802.11b για να εξασφαλίσει τη διαλειτουργικότητά τους. Εντούτοις, χρησιμοποιείται τώρα από τη συμμαχία Wi-Fi (Wi-Fi Alliance) για να πιστοποιήσει όλες τις συμμορφούμενες με το IEEE 802.11 συσκευές, ανεξάρτητα από την χρησιμοποιούμενη επέκταση τυποποιήσεως (a, b, g ή h). Σημειώστε ότι οι ζώνες ISM (Industrial, Scientific Medical - βιομηχανικές, επιστημονικές, και ιατρικές) χρησιμοποιούνται ελεύθερα για επικοινωνίες (χωρίς αδειοδότηση), σε αντίθεση με τις τιμές που πληρώνονται στις περισσότερες χώρες για χρήση του φάσματος που χρησιμοποιεί η τηλεφωνία τρίτης γενιάς (3G). Αυτή είναι επίσης η ίδια περίπτωση για το δημοφιλές Bluetooth, το σύστημα αντικατάστασης καλωδίων περιορισμένης ακτίνας που λειτουργεί στη ζώνη των 2,4 GHz.

Τα πρότυπα IEEE 802.11 δεν επιβάλλουν οποιοδήποτε όριο στη μέγιστη ακτινοβολούσα ισχύ, επειδή τέτοια όρια, μαζί με τις διαθέσιμες ζώνες συχνότητας, αποφασίζονται από διαφορετικούς ρυθμιστικούς οργανισμούς, όπως η FCC (Federal Communications Commission - Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών) στις ΗΠΑ και CEPT (ευρωπαϊκή διάσκεψη ταχυδρομι-

κών και τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών) στην Ευρώπη. Οι παραχωρημένες ζώνες συχνότητας και η επιτρεπόμενη μέγιστη ακτινοβολούσα ισχύς για τις ΗΠΑ και την Ευρώπη συνοψίζονται στον πίνακα 5, όπου και παρουσιάζονται μαζί με το όριο της ιστροπικά αποτελεσματικής ακτινοβολούσας ισχύος (Effective Isotropically Radiated Power -EIRP). Η πλειοψηφία των συστημάτων Wi-Fi που είναι διαθέσιμες στην αγορά είναι συσκευές σύμφωνα με το IEEE 802.11b που λειτουργούν με ένα μέγιστο EIRP των 100 mW (20dBm). Οι διαμορφώσεις που υιοθετούνται από τα WLANs περιλαμβάνουν την αναπήδηση συχνότητας ,το απλωμένο φάσμα άμεσης ακολουθίας στη ζώνη των 2,4 GHz και το OFDM στη ζώνη των 5 GHz. Οι μεταδόσεις των WLAN είναι διαλείπουσες, το οποίο οδηγεί σε διακυμάνσεις ισχύος στους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Επομένως, η ισχύς αναγκαστικά στον χρόνο είναι χαμηλότερη και εξαρτάται μόνον από την ποσότητα των δεδομένων που διαβιβάζονται.

Ζώνη συχνότητας (MHz)	ΗΠΑ (FCC)		Ευρώπη(CEPT)	
	Εκπεμπόμενη Ισχύς (dBm)	EIRP (dBm)	Εκπεμπόμενη Ισχύς (dBm)	EIRP (dBm)
2.400 – 2.483,5	30	36	—	20
5.150 – 5.250	17	23	—	23
5.250 – 5.350	24	30	—	23
5.470 – 5.725	24	30	—	30
5.725 – 5.850	30	36	Μη διαθέσιμη	

Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά WiFi



5. Ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless PAN)

5.1. Γενικά

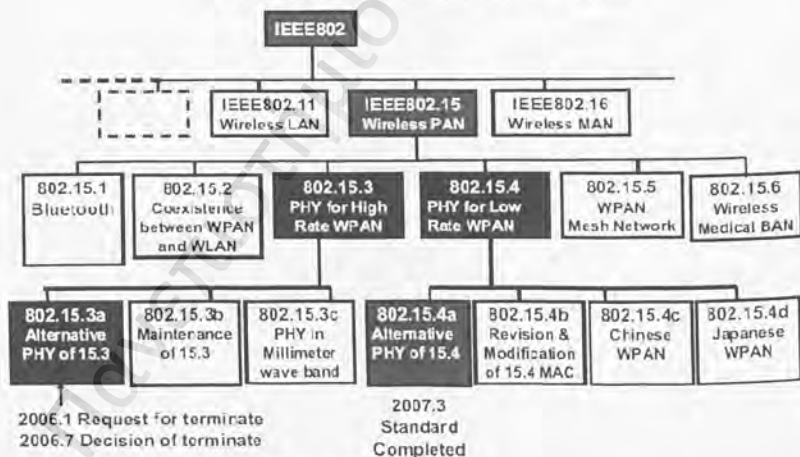
Λέγοντας προσωπικό δίκτυο εννοούμε το δίκτυο εκείνο που συνδέει τις κινητές συσκευές που φέρονται από τους χρήστες με άλλες κινητές και στασιμες συσκευές και έχοντας ακτίνα εμβέλειας συνήθως μέχρι 10 μέτρα, καλύπτει τον προσωπικό μας χώρο, το χώρο του σπιτιού ή του γραφείου μας ή και με τα ιατρικά δίκτυα σώματος. Συνήθως λειτουργούν στην περιοχή των 2,4 Ghz και χρησιμοποιούν απλωμένο φάσμα για τη μείωση των παρεμβολών.

Για τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα η IEEE έχει καθιερώσει το πρότυπο 802.15. Πιο συγκεκριμένα, τα πρότυπα που υπάρχουν είναι τα παρακάτω που φαίνονται εστωπικά στο επόμενο σχήμα (εικόνα 6):

IEEE802.15 –Wireless Personal Area Network (WPAN)

- IEEE802.15.1: Bluetooth
- IEEE802.15.2 Συμβατότητα μεταξύ WPAN και WLAN
- IEEE802.15.3 Υψηλής ταχύτητας (High-rate) WPAN (λέγεται και WiMedia)
- IEEE802.15.4 Χαμηλής ταχύτητας (Low-rate) WPAN - εφαρμογή ZigBee
- IEEE802.15.5 Mesh Network for WPAN
- IEEE802.15.6 Ιατρικό δίκτυο σώματος (Body Area Network - BAN)

IEEE802 Standardization



Εικόνα 6 Τυποποίηση Πρότυπου IEEE 802

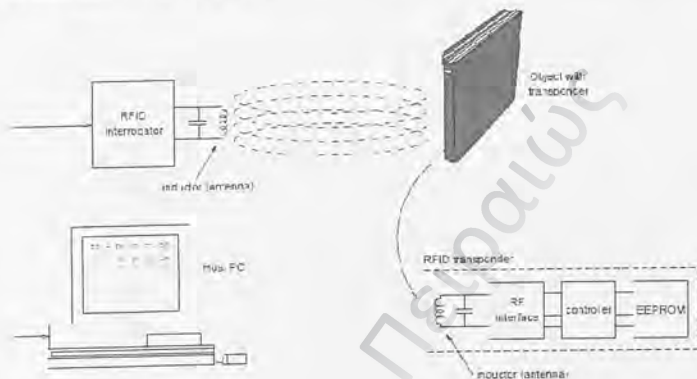
Επίσης στην περιοχή αυτή των ασύρματων δικτύων υπάγονται και άλλες εφαρμογές όπως οι επικοινωνίες με τηλέφωνα DECT καθώς και η τεχνολογία RFID.

5.2. Τεχνολογίες RFID

Η τεχνολογία προσδιορισμού ραδιοσυχνότητας (Radio Frequency Identification - RFID) εφαρμόζεται σε ποικίλες εφαρμογές όπως η διοικητική μέριμνα (Logistics) και η διαχείριση καταγραφής σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένων της λιανικής, των κατασκευών, της αεροδιαστημικής, των αυτοκινήτων, του φαρμακευτικού, του ιατρικού/υγειονομικής περιθαλψής, των μεταφορών, και της τεχνολογίας πληροφοριών. Η χρησιμοποίηση της ασύρ-

ματς αυτόματης τεχνολογίας προσδιορισμού είναι ένα σημαντικό κίνητρο για να βελτιώσει τις διαδικασίες στην επιχείρηση.

Τα πλεονεκτήματα του RFID έναντι άλλου αυτόματου συστήματος προσδιορισμού είναι ότι είναι σταθερό, φορητό, χωρίς επαφή, επανεγγράψιμο, έρχεται σε μικρές και λεπτές μορφές, ανθεκτικό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, με δυνατότητα επιστρώσεως, πολλαπλών αναγνώσεων και μεμονωμένου προσδιορισμού.



Εικόνα 7 Λειτουργία RFID

Τα συστήματα RFID αποτελούνται από τις ετικέτες ραδιοσυχνότητας (RF tags) και τους αναγνώστες RF. Η σχηματική τους λειτουργία φαίνεται στην εικόνα 7. Οι ετικέτες RF είναι συνημμένες ή εμφυτευμένες στα αντικείμενα που ανιχνεύονται ή που ακολουθούνται από τους αναγνώστες RF. Οι ενεργητικές ετικέτες RF με μπαταρίες ακτινοβολούν μεγαλύτερης ισχύος σήματα ραδιοσυχνότητας, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλους χώρους π.χ., εργοστάσια ή πάρκα εμπορευματοκιβωτίων. Οι παθητικές ετικέτες RF είναι αναμεταδότες που δεν έχουν καμία μπαταρία αλλά λειτουργούν με την ισχύ των ραδιοσυχνότητων που διαβιβάζονται χωρίς επαφή από έναν οποιοδήποτε αναγνώστη RF. Η ευκολία των παθητικών συστημάτων ετικετών RF έχει επιλεγεί ως τεχνολογία για τις εφαρμογές που απαιτούν τους μεγάλους αριθμούς προσδιορισμών ή όταν επιζητείται το χαμηλότερο κόστος έναντι των ενεργών συστημάτων ετικετών RF. Επομένως, εστιαζόμαστε στα παθητικά συστήματα ετικετών RF.

Έχουν αναπτυχθεί πολλοί τύποι παθητικών ετικετών RF. Ο τύπος ετικέτας RF με μορφή κάρτας είναι πολύ δημοφιλής σε αυτόματες πύλες εισιτηρίων, (παράδειγματος χάριν στους σιδηροδρομικούς σταθμούς). Άλλοι τύποι περιλαμβάνουν τον ανθεκτικό στη θερμότητα τύπο για τις εγκαταστάσεις στεγνού καθαρισμού, τον εμφυτεύσιμο τύπο από γυαλί για τα ζώα, τον τύπο αυτοκόλλητου χαρτιού για τις ενδυμασίες και για τα βιβλία στις βιβλιοθήκες και άλλους τύπους εξωτερικού χώρου για τα εμπορευματοκιβώτια μεταφορών.

Οι αναγνώστες RF τύπου σήραγγας ή πύλης έχουν αναπτυχθεί για τη χρήση στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Οι τύποι πυλών χρησιμοποιούνται επίσης για την ηλεκτρονική επίτηρηση ειδών (Electronic Article Surveillance - EAS) στα μαγαζιά λιανικής πώλησης και στις βιβλιοθήκες. Οι φορητοί αναγνώστες RF χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η επικοινωνία με μακρινές αποστάσεις δεν είναι απαραίτητη, όπως στη διοικητική μέριμνα (logistics) για την αποθήκευση, καταγραφή και μετακίνηση ειδών, καθώς και στην καταγραφή και τη διαχείριση πελατών. Οι αναγνώστες RF τύπου πίνακα εγκαθίστανται στους πάγκους των βιβλιοθηκών ή στα σημεία ελέγχου στις καφετέριες για αντικείμενα όπου ενσωματώνεται μια ετικέτα RF.

Τα περισσότερα συστήματα RFID λειτουργούν στις συχνότητες από 100 KHz μέχρι 2,45 GHz ή υψηλότερες (π.χ. 5,8 GHz). Διαφορετικές μέθοδοι ασύρματης επικοινωνίας χρησιμοποιούνται για τις χαμηλότερες και υψηλότερες συχνότητες:

α. Η επαγωγική σύζευξη χρησιμοποιείται στα 13,56 MHz ή χαμηλότερες συχνότητες. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (EMF) από ένα πηνίο ή πολλά πηνία σε έναν αναγνώστη RF έρχεται σε σύζευξη με μια κεραία ενσωματωμένη στην ετικέτα RF. Η λαμβανόμενη ενέργεια ραδιοσυχνότητας (RF) αλλάζει το φορτίο της κεραίας στην ετικέτα RF και ο αναγνώστης RF αντιλαμβάνεται αυτή την αλλαγή. Αυτή η μέθοδος ταιριάζει περισσότερο για σχετικά μικρές αποστάσεις επικοινωνίας (μέχρι 1 μέτρο) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γρήγορη επεξεργασία με πολλαπλή ανάγνωση. Η ικανότητα αυτής της μεθόδου θα επιδεινωόταν εάν μια ετικέτα RF είναι συνδεδεμένη με ένα μεταλλικό αντικείμενο.

β. Η σύζευξη διάδοσης χρησιμοποιείται στις υψηλότερες συχνότητες, ειδικότερα περίπου στα 1 GHz (που συνήθως αναφέρεται ως UHF) και στα 2,45 GHz. Κατά τη λειτουργία, ο αναγνώστης RF διαβιβάζει ένα ηλεκτρομαγνητικό (EM) κύμα. Η ετικέτα RF συλλαμβάνει την ενέργεια ραδιοσυχνότητας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από τον αναγνώστη RF. Η ετικέτα RF παράγει και εκπέμπει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, χρησιμοποιώντας την απορροφημένη ενέργεια, η οποία λαμβάνεται από τον αναγνώστη RF. Αυτή η μέθοδος παρέχει μια μεγαλύτερη απόσταση επικοινωνίας (1-5 μ). Όμως, η απόσταση επικοινωνίας μπορεί να επηρεαστεί λόγω απορρόφησης νερού/ατμού και ηλεκτρομαγνητικής παρέμβασης (Electromagnetic Interference - EMI) από άλλο εξοπλισμό.

Οι προδιαγραφές RFID έχουν τυποποιηθεί διεθνώς σε αρκετά έγγραφα του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (International Organization for Standardization - ISO) και της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (International Electrotechnical Commission - IEC) της ISO (όπως για παράδειγμα τα ISO 11785, ISO 14223-1, ISO/IEC 10536-2, ISO/IEC 1443-2, -3, -4, ISO/IEC 15693-2, -3, ISO 10374, ISO/IEC 18000). Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία από τις συσκευές RFID που χρησιμοποιούνται στο δημόσιο περιβάλλον είναι γενικά χαμηλότερα από τις Οδηγίες της Διεθνούς Επιτροπής Προστασίας από μη-Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες - ICNIRP). Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία στην περιοχή γύρω των κεραίων των αναγνωστών RF μπορεί όμως να είναι τοπικά υψηλότερα από το επίπεδο αναφοράς της ICNIRP. Παραδείγματος χάριν, το επίπεδο λειτουργίας του μαγνητικού πεδίου για μια ετικέτα RF καθορίζεται στο ISO/IEC 15693-2 από 0,15 έως 5 A/m στα 13,56 MHz, ενώ το αντίστοιχο επίπεδο αναφοράς της ICNIRP για το γενικό πληθυσμό στα 13,56 MHz είναι 0,073 A/m. Επειδή τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία από RFID μειώνονται πολύ με την απόσταση και εκπέμπονται περιοδικά, πρέπει να εφαρμοστεί κατά την αξιολόγηση ηλεκτρομαγνητικής έκθεσης ο χωρικός και χρονικός υπολογισμός μέσου όρου. Σημειώστε ότι μια λεπτομερής αριθμητική προσομοίωση έχει δείξει ότι η προκληθείσα πυκνότητα ρεύματος σε ένα ανθρώπινο σώμα σε έναν αναγνώστη RF τύπου πύλης (EAS) είναι χαμηλότερη από το βασικό περιορισμό της ICNIRP. Η επίδραση του συστήματος RFID τύπου επαγωγικών συζεύξεων όπως και των EAS και των συστημάτων ασφαλείας έχουν περιγραφεί σε μια άλλη δήλωση της ICNIRP το 2004.

Η ισχύς εξόδου των αναγνωστών RF κυμαίνεται από αρκετές εκατοντάδες mW έως λίγα Watt, η οποία είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή μιας τυπικής κεραίας σταθμού βάσης αλλά υψηλότερη από αυτή ενός κινητού τηλεφώνου. Εάν ένας αναγνώστης RF βρίσκεται εγγύς σε ένα άνθρωπο σώμα μπορεί να απαιτείται τοπική αξιολόγηση της μονάδας έκθεσης (SAR) για σύγκριση με τον βασικό περιορισμό της ICNIRP.

Δεδομένου ότι περισσότερα συστήματα RFID εφαρμόζονται σε διάφορα στάδια διαδικασιών σε μια επιχείρηση, η ανθρώπινη έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία λόγω RFID μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Τα επίπεδα έκθεσης από κάθε συσκευή είναι πολύ χαμηλά ενώ ο αριθμός ταυτόχρονων εκθέσεων από άγνωστες θέσεις πηγών μπορεί να είναι πολύ μεγάλος. Αυτό το σενάριο έκθεσης διαφέρει πολύ από άλλο διαφορετικό εξοπλισμό RF. Επομένως μπορεί να είναι απαραίτητες πρακτικές μέθοδοι για την αξιολόγηση της έκθεσης του ανθρώπινου σώματος σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από συσκευές RFID.

RFID

5.3. Bluetooth

Η πιο γνωστή και διαδεδομένη ασύρματη συνδεσιμότητα μικρής ακτίνας επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση του συστήματος αντικατάστασης καλωδίων Bluetooth, το οποίο λειτουργεί περίπου στα 2,45 GHz. Λειτουργεί σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.15.1. Οι συσκευές που ενσωματώνουν τη ασύρματη τεχνολογία Bluetooth περιλαμβάνουν τις κινητές τηλεφωνικές συσκευές, κεφαλιού και εξαρτήματα υπολογιστών όπως εκτυπωτές, πληκτρολόγια, ποντίκια και PDAs. Αυτή η τεχνολογία όλο και περισσότερο χρησιμοποιείται και στην επιχείρηση και στο σπίτι. Η ενδιαφερόμενη ομάδα ειδικών για το Bluetooth (Bluetooth Specialist Interest Group -SIG), που είναι εμπορική ένωση, απαριθμεί πάνω από 500 προϊόντα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία Bluetooth (μερικά αντιπροσωπευτικά προϊόντα δίνονται παρακάτω):

- Σημείο πρόσβασης (Access point)
- Προσωπικός υπολογιστής
- Εκτυπωτής
- Πληκτρολόγιο και ποντίκι
- Εξοπλισμός γραφείου
- Ακουστικά
- Συσκευές επικοινωνίας αυτοκινήτου
- Κινητή τηλεφωνία
- Τηλεφωνικές συσκευές κεφαλής
- Ιατρική
- Μουσική
- Παιχνίδια
- GPS
- Συσκευές χειρός
- Οικιακό περιβάλλον.
- Εξειδικευμένες υπηρεσίες και εργαλεία
- Εξειδικευμένα προϊόντα

Η τεχνολογία αυτή μπορεί να υποστηρίξει μικρά δίκτυα, γνωστά σαν piconets, με μια δι-αμόρφωση σημείο προς πολλά σημεία (point-to-multipoint). Ένα δίκτυο Bluetooth ανήκει στα multi-access δίκτυα, όπου ένας σταθμός έχει το ρόλο του κυρίου (master), και όλοι οι άλλοι σταθμοί Bluetooth είναι σκλάβοι (slaves). Ο κύριος αποφασίζει ποιος σκλάβος έχει πρόσβαση στο κανάλι. Οι συσκευές που μοιράζονται το ίδιο κανάλι (δηλ., είναι συγχρονισμένες στον ίδιο κύριο) διαμορφώνουν ένα piconet, που είναι η θεμελιώδης δομική μονάδα ενός δικτύου Bluetooth. Ένα piconet περιέχει τον κύριο σταθμό και μέχρι επτά ενεργούς σκλάβους (που συμμετέχουν δηλαδή στην ανταλλαγή στοιχείων). Οι σταθμοί σε κατάσταση στάθμευσης (parking state) είναι σταθμοί που είναι συγχρονισμένοι με τον κύριο αλλά δεν συμμετέχουν σε οποιαδήποτε ανταλλαγή δεδομένων. Η επικοινωνία σταματά πέρα από πολύ μικρές αποστάσεις, από λίγα μέτρα μέχρι λίγες δεκάδες μέτρα (η συνήθης εμβέλεια Bluetooth των κινητών τηλεφώνων είναι 10 μέτρα).

Οι συσκευές για αυτές τις εφαρμογές έχουν πολύ χαμηλή ισχύ εξόδου, μόνο λίγα mW, περίπου εκατό φορές χαμηλότερα από τα κινητά τηλέφωνα. Οι απαιτήσεις ισχύος δίνονται ως επίπεδα ισχύος στον σύνδεσμο της κεραίας και καθορίζονται τρεις κατηγορίες ισχύος (όπως φαίνονται στον πίνακα 6). [A-15]

Ισχύς	Κλάση ισχύος 1	Κλάση ισχύος 2	Κλάση ισχύος 3
Μέγιστη ισχύς εξόδου (Pmax)	100 mW (20 dBm)	2.5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)
Ονομαστική ισχύς εξόδου	-	1 mW (0 dBm)	-
Ελάχιστη ισχύς εξόδου στην μέγιστη ρύθμιση ισχύος	1 mW (0 dBm)	0,25 mW (-6 dBm)	-
Εύρος υποχρεωτικού ελέγχου ισχύος	-4 dBm μέχρι Pmax	-	-

Πίνακας 6. Κατηγορίες Ισχύος συσκευών Bluetooth

Η ονομαστική ισχύς εξόδου των συσκευών κατηγορίας 2 και 3 είναι περίπου 1 mW, αν και είναι δυνατή επιπλέον μείωση της ισχύος (μέσω πρόσθετου ελέγχου ισχύος). Ο έλεγχος ισχύος μέχρι τα -4 dBm είναι υποχρεωτικός για τις συσκευές της κατηγορίας 1 με μέγεθος βήματος από 2 έως 8 dB. Ο έλεγχος σε χαμηλότερη ισχύ για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ισχύος και την ελαχιστοποίηση της γενικής παρέμβασης είναι προαιρετικός για τις συσκευές της κατηγορίας 1. Ο έλεγχος ισχύος είναι επίσης επιλογή για τις συσκευές κατηγορίας 2 και 3. Ένα χαμηλότερο όριο ισχύος (λιγότερο από τα -30 dBm) προτείνεται για όλες τις κατηγορίες ισχύος, αλλά δεν είναι υποχρεωτικό. Οι συσκευές Bluetooth σε αυτές τις κατηγορίες προορίζονται για επικοινωνία σε μικρές αποστάσεις. Οι εξοδοί χαμηλής ισχύος θα δώσουν αφορμή για αντίστοιχα χαμηλές εκθέσεις, αρκετά κάτω από τα επίπεδα της οδηγίας.



5.4. Επικοινωνία εγγύς πεδίου(Near Field Communication -NFC)

Η επικοινωνία NFC είναι μια επέκταση της τεχνολογίας RFID, που συνδυάζει σε μια συσκευή έναν αναγνώστη RFID με την έξυπνη (μη – επαφτόμενη) κάρτα. Η συσκευή αυτή μπορεί να επικοινωνεί ταυτόχρονα με έξυπνες κάρτες και RFID, ή με άλλες συσκευές NFC (point to point) ή με την επικοινωνιακή υποδομή για την πληρωμή και χρήση δημόσιας επικοινωνίας (όπου υπάρχει). Η τεχνολογία αυτή ενσωματώνεται κυρίως σε συσκευές κινητής τηλεφωνίας, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ειδικά δίκτυα σώματος (BAN), αφού μπορεί να εκμεταλλευθεί το γεγονός ότι μπορεί να επικοινωνεί χωρίς να βρίσκεται η ίδια η συσκευή σε επαφή με το ανθρώπινο σώμα.

Συγκριζόμενη η τεχνολογία NFC με την Bluetooth που επίσης ενσωματώνεται στα κινητά τηλέφωνα, διαπιστώνουμε ότι έχει μικρό ρυθμό μετάδοσης (424 kbps) σε σχέση με το Bluetooth (2,1 Mbps), ενώ παρέχει μικρότερο χρόνο πραγματοποίησης σύνδεσης (<1 msec) από το Bluetooth (6 sec). Επίσης έχει μικρότερη εμβέλεια και χαμηλότερη ισχύ από το Bluetooth, αλλά μπορεί να λειτουργήσει ακόμη και αν το κινητό τηλέφωνο είναι κλειστό (πχ με τη χρήση έξυπνης κάρτας, έξυπνου πόστερ κλπ).

5.5. Τεχνολογία UWB

Η τεχνολογία εξαιρετικά ευρέος ζώνης φάσματος (Ultra Wide Band - UWB) χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα απεικόνισης, αίσθησης και επικοινωνιών. Παραδείγματα των συστημάτων απεικόνισης και αίσθησης περιλαμβάνουν: τα ραντάρ αυτοκινήτων, τα ραντάρ που διαπερνούν το έδαφος (Ground Penetrating Radars - GPRs), την αίσθηση μέσω τοίχου (through-wall sensing), και την ιατρική απεικόνιση, ενώ τα συστήματα επικοινωνιών περιλαμβάνουν τους φορητούς πομπόδεκτες, δίκτυα αισθητήρων, ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Networks - WPAN), κ.λπ.

Σχηματικά η διαφορά της τεχνολογίας αυτής από την συμβατική της στενής ζώνης και του απλωτού φάσματος φαίνεται στην εικόνα 8.



Εικόνα 8. Συστήματα: Συμβατικό στενής ζώνης, απλωμένου φάσματος, εξαιρετικά ευρέος φάσματος

Τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας UWB που την κάνουν ιδανική για εφαρμογές στο ανθρώπινο σώμα είναι:

- Η πυκνότητα ισχύος φάσματος είναι εξαιρετικά χαμηλή (χαμηλότερη και από τον θόρυβο), επομένως είναι ελάχιστες ή μηδενικές οι βλάβες και οι παρεμβολές στο ανθρώπινο σώμα.
- Η χρονική διάρκεια του παλμού είναι εξαιρετικά σύντομη (λίγα psec) πράγμα που είναι ιδανικό για υψηλή ανάλυση και τοποθέτηση εμπνευσμένων αισθητήρων
- Το κατεχόμενο εύρος ζώνης συχνότητας είναι εξαιρετικά μεγάλο (μεγέθους GHz) και επομένως παρέχει εξαιρετικά ψηλή ταχύτητα και χωρητικότητα μετάδοσης ζωντανών δεδομένων (in vivo) και εργαστηριακών (in vitro)

Η FCC ορίζει ως συσκευή UWB κάθε συσκευή που το κλασματικό εύρος ζώνης είναι μεγαλύτερο του 0,20 ή καλύπτει 0,50 GHz. Αποτέλεσμα αυτού του ορισμού είναι ότι συστήματα UWB με κεντρική συχνότητα μεγαλύτερη των 2,5 GHz πρέπει να έχει ένα εύρος ζώνης -10 dB των (τουλάχιστον) 500 MHz, ενώ τα συστήματα UWB που λειτουργούν με μια κεντρική συχνότητα κάτω από 2,5 GHz απαιτείται να έχουν ένα κλασματικό εύρος ζώνης τουλάχιστον 0,20. Η FCC βάσει τον καθορισμό μιας συσκευής UWB στο εύρος ζώνης -10 dB. (αντί του εύρους ζώνης -20 dB που χρησιμοποιούνται παλιότερα), επειδή οι συσκευές UWB λειτουργούν τόσο κοντά στο πάτωμα θορύβου ώστε σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να μην είναι δυνατό να μετρηθεί το εύρος ζώνης -20 dB. Η FCC επίσης πρότεινε να καθορισθεί το εύρος ζώνης χρησιμοποιώντας την κεραία που έχει σχεδιαστεί να χρησιμοποιείται με τη συσκευή UWB. Συγκεκριμένα, για τις εφαρμογές UWB, η FCC επιτρέπει τη χρήση του φάσματος συχνότητας κάτω από το 0,96 GHz, μεταξύ των 1,99 και 10,6 GHz, και μεταξύ των 22 και 29 GHz στις ΗΠΑ. Ειδικότερα, η FCC έχει ορίσει τους ακόλουθους ορισμούς:

- τα συστήματα απεικόνισης χαμηλής συχνότητας είναι εκείνα των οποίων το εύρος ζώνης -10 dB περιλαμβάνεται κάτω από τα 960 MHz
- τα συστήματα απεικόνισης μέσης συχνότητας, είναι εκείνα που αποτελούνται από συστήματα παρακολούθησης και συστήματα απεικόνισης μέσω-τοιχών, τα οποία λειτουργούν με εύρος ζώνης -10 dB μέσα στη ζώνη συχνότητας 1.990 ως 10.600 MHz (1,9-10,6 GHz)
- τα συστήματα απεικόνισης υψηλής συχνότητας, είναι ο εξοπλισμός που λειτουργεί αποκλειστικά σε κλειστός χώρος, καθώς και οι φορητές συσκευές UWB που μπορούν να λειτουργήσουν οπουδήποτε (συμπεριλαμβανομένου εξωτερικών χώρων και για εφαρμογές peer to peer), που λειτουργούν με ένα εύρος ζώνης -10 dB μέσα στη ζώνη συχνότητας 3,1 – 10,6 GHz. Τα συστήματα ραντάρ αυτοκινήτων λειτουργούν με εύρος ζώνης -10 dB μέσα στη ζώνη συχνότητας 22 έως 29 GHz και με μια συχνότητα φέροντος μεγαλύτερη από 24,075 GHz.

Οι μέσοι όροι εκπομπής για τα συστήματα UWB (εκφραζόμενοι ως ιστροπική αποτελεσματική ακτινοβολούσα ισχύς – EIRP) μετρούμενοι σε dBm, με ανάλυση εύρους ζώνης ανά 1 MHz, δίνονται στον πίνακα 7. Πρέπει να σημειωθεί ότι η υψηλότερη τιμή στον πίνακα είναι –41,3 dBm /MHz, που αντιστοιχεί σε 75 nW/MHz. [A-15]

Συχνότητα (MHz)	Απεικόνιση κάτω από 960 MHz	Απεικόνιση μέσα συχνότητα (1,99-10,6 GHz)	Απεικόνιση υψηλή συχνότητα 22-29 GHz)	Εφαρμογές εσωτερικού χώρου	Φορητά (& εξωτερικού χώρου)	Ραντάρ αυτοκινήτων
0,009– 960	-41,3	-41,3	-41,3	-41,3	-41,3	-41,3
960– 1,610	-65,3	-53,3	-65,3	-75,3	-75,3	-75,3
1.610– 1.990	-53,3	-51,3	-53,3	-53,3	-63,3	-61,3
1.990– 3.100	-51,3	-41,3	-51,3	-51,3	-61,3	-61,3
3.100– 10.600	-51,3	-41,3	-41,3	-41,3	-41,3	-61,3
10.600–22.000	-51,3	-51,3	-51,3	-51,3	-61,3	-61,3
22.000–29.000	-51,3	-51,3	-51,3	-51,3	-61,3	-41,3
> 29.000	-51,3	-51,3	-51,3	-51,3	-61,3	-51,3

Πίνακας 7 Μέσοι όροι εκπομπής για τα συστήματα UWB (EIRP μετρούμενη σε dB)

Όπως στα περισσότερα UWB συστήματα, οι μέσες εκπομπές από τα συστήματα ραντάρ αυτοκινήτων (που βρίσκονται στα συστήματα βοήθειας οδηγών) είναι χαμηλές, αλλά η δια-

δεδομένη υιοθέτηση αυτών και η σχετικά υψηλή πυκνότητα κυκλοφορίας σε πολλά αστικά περιβάλλοντα θα μπορούσε ενδεχομένως να οδηγήσει σε ένα αυξανόμενο περιβαλλοντικό επίπεδο RF ισχύος.

Όσον αφορά τα συστήματα απεικόνισης, τα σήματα UWB είναι ελκυστικά λόγω της χαμηλής πιθανότητας ανασχευής τους, των μη παρεμβαλλόμενων κυματοειδών σημάτων τους, της κυμαινόμενης ακριβείας τους, και της εντοπιότητας. Έτσι, το ραντάρ UWB έχει τη δυνατότητα να εξετάσει την κίνηση εσωτερικών οργάνων του ανθρώπινου σώματος με μακρινή προσέγγιση (μη επαφής). Για παράδειγμα, ένα ραντάρ UWB είναι σε θέση να ανιχνεύσει (όχι επεμβατικά) τις κινήσεις του τοιχώματος της καρδιάς. Στην πράξη, οι φωνητικές χορδές, τα αγγεία, τα έντερα, η καρδιά, οι πνεύμονες, το στήθος, η κύστη, το έμβρυο, και οποιοδήποτε μέλος του σώματος επαρκούς μεγέθους μπορούν να ελεγχθούν από ένα ραντάρ UWB. Πρόσφατα, τα συστήματα UWB χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την ανίχνευση όγκων στήθους.

Όσον αφορά στα συστήματα επικοινωνιών, η επικοινωνία με UWB είναι μια τεχνολογία μετάδοσης που υπόσχεται λιγότερο πολύπλοκο υλικό. Η μετάδοση πραγματοποιείται σε μια βασική ζώνη, δηλ., δεν απαιτείται υλικό για μείκτες και ταλαντωτές ραδιοσυχνότητας, που θα ήταν απαραίτητοι στα συστήματα στενής ζώνης. Σε αυτήν την περιοχή, τα σήματα UWB χρησιμοποιούνται για εφαρμογές που απαιτούν είτε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (bit-rate) για μικρές αποστάσεις είτε χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης (bit-rate) για μέσες προς μεγάλες αποστάσεις. Η περίπτωση του υψηλού ρυθμού μετάδοσης για μικρές αποστάσεις περιλαμβάνει το WPAN για κυκλοφορία πολυμέσων, αντικατάσταση καλωδίων (όπως ασύρματα συσκευές USB), και συσκευές που φοριούνται (όπως ασύρματα ακουστικά). Η περίπτωση χαμηλού ρυθμού μετάδοσης για μέσες προς μεγάλες αποστάσεις εφαρμόζεται για τα δίκτυα αισθητήρων μεγάλης ακτίνας όπως διανεμημένα συστήματα παρακολούθησης εσωτερικού/εξωτερικού χώρου, εφαρμογές δεδομένων μη-πραγματικού-χρόνου όπως π.χ. το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail) και το στιγμιαίο μήνυμα (instant messaging), και γενικά όλες οι μεταφορές δεδομένων που είναι συμβατές με ένα ρυθμό μετάδοσης της τάξεως του 1 Mbit/s για πάνω από αρκετές δεκάδες μέτρα.

Στα συστήματα UWB, μια ακτινοβολούσα κεραία θα μπορούσε να είναι τοποθετημένη πολύ κοντά στο ανθρώπινο σώμα (φορητό ραδιόφωνο, ασύρματα ακουστικά, κ.λπ.) την ίδια στιγμή που μια άλλη ακτινοβολούσα κεραία θα εξέπεμπε. Έτσι, κατ' αρχήν, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί ταυτόχρονα ανθρώπινη έκθεση και σε κοντινά και σε απομακρυσμένο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Αφού τα πεδία που ακτινοβολούνται από τα συστήματα UWB είναι είτε ευρυζωνικά ή πολλαπλής συχνότητας, σύμφωνα με τις οδηγίες της ICNIRP, η αξιολόγηση της έκθεσης γίνεται με βάση τον τύπο του αθροίσματος στο εύρος συχνότητας των συστημάτων UWB (όπου η σχετική δοσιμετρική παράμετρος είναι το SAR).

Τέλος, μια πτυχή του UWB που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι ότι αυτή είναι μια μορφή ευρυζωνικής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία μπορεί να αυξήσει το επίπεδο πατώματος θορύβου για τις υπηρεσίες ραδιοεπικοινωνίας ή να μπλοκάρει τα ακραία σημεία των δεκτών. Συστήματα επικοινωνιών όπως τα κινητά τηλέφωνα, τα WLANs, κ.λπ., χρησιμοποιούν συχνά τον προσαρμοστικό έλεγχο ισχύος. Όταν τέτοια συστήματα βρίσκουν ότι η ποιότητα εξυπηρέτησης υποβιβάζεται, ανεβάζουν κλιμακωτά την ισχύ των τομπών τους για να αντισταθμίσουν. Έτσι, είναι κατανοητό ότι μια έμμεση συνέπεια των συστημάτων UWB θα μπορούσε να είναι μια άνοδος στη μέση SAR δεδομένου ότι τα κινητά τηλέφωνα και οι άλλες συσκευές προκαλούνται να χρησιμοποιήσουν αυξανόμενη ισχύ.

5.6. ZigBee

Το ZigBee είναι μια προδιαγραφή για μια σειρά πρωτοκόλλων επικοινωνίας υψηλού επιπέδου που χρησιμοποιούν μικρά, χαμηλής ισχύος ψηφιακά ραδιοσήματα και βασίζεται στο πρότυπο 802.15.4-2003 της IEEE για τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPANs). Η τεχνολογία που καθορίζεται από την προδιαγραφή ZigBee προορίζεται να είναι απλούστερη και λιγότερο ακριβή από τα άλλα WPANs (όπως το Bluetooth). Το ZigBee στοχεύει στις εφαρμογές ραδιοσυχνότητας (RF) που απαιτούν χαμηλό ρυθμό δεδομένων, μακρά διάρκεια ζωής μπαταρίας, και ασφαλή δικτύωση. Το χαμηλότερο κόστος επιτρέπει στην τεχνολογία αυτή να επεκταθεί ευρέως σε ασύρματες εφαρμογές ελέγχου και παρακολούθησης, αφού η χρήση με χαμηλή ισχύ επιτρέπει μακρύτερη ζωή με μικρότερες μπαταρίες, και η δικτύωση πλέγματος παρέχει υψηλή αξιοπιστία και μεγαλύτερη εμβέλεια. Μπορούμε να δούμε εφαρμογές ZigBee στα παρακάτω:

- Αυτοματισμός σπιτιών (Οικιακή ψυχαγωγία και έλεγχος όπως έξυπνος φωτισμός, προηγμένος έλεγχος θερμοκρασίας, ασφάλεια, Home cinema και μουσική)
- Ασφάλεια σπιτιών (αισθητήρες νερού, αισθητήρες δύναμης, καπνός και ανιχνευτές πυρκαγιάς, έξυπνες συσκευές και αισθητήρες πρόσβασης)
- Αυτοματισμός Εμπορικών κτηρίων (ενεργειακός έλεγχος, θέρμανση –ψύξη - HVAC, φωτισμός, έλεγχος προσπέλασης)
- Εφαρμογές τηλεπικοινωνιών κινητής τηλεφωνίας: m-payment, m-monitoring and control, m-security and access control
- Προσωπική, οικιακή και νοσοκομειακή φροντίδα: m-healthcare and tele-assist
- Βιομηχανικές εγκαταστάσεις: έλεγχος διεργασιών, διαχείριση μέσων, περιβαλλοντική διαχείριση, διαχείριση της ενέργειας, βιομηχανικός έλεγχος συσκευών
- Παιχνίδια

Το ZigBee λειτουργεί στις βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές (ISM) ραδιο-ζώνες (868 MHz στην Ευρώπη, 915 MHz στις ΗΠΑ και την Αυστραλία, και 2.4 GHz στις υπόλοιπες χώρες παγκοσμίως). Επειδή το Zigbee μπορεί να ενεργοποιηθεί (από κατάσταση ύπνου σε ενεργοποίηση) σε 15 msec ή λιγότερο, η καθυστέρηση (latency) είναι πολύ μικρή και οι συσκευές μπορούν να έχουν άμεση ανταπόκριση (συγκρινόμενες με τις καθυστερήσεις του Bluetooth οι οποίες είναι περίπου 3 sec). Επειδή το Zigbee μπορεί να βρίσκεται σε κατάσταση ύπνου τον περισσότερο χρόνο, η μέση κατανάλωση ισχύος μπορεί να είναι πολύ μικρή, με συνέπεια τη μακριά διάρκεια ζωής μπαταρίας. Οι μεμονωμένες συσκευές πρέπει να έχουν μια διάρκεια ζωής μπαταρίας τουλάχιστον δύο ετών για να περάσουν την πιστοποίηση ZigBee

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι συσκευών ZigBee:

- Συντονιστής ZigBee (Zigbee Coordinator-ZC): Η ικανότερη συσκευή, ο συντονιστής που διαμορφώνει τη ρίζα του δέντρου δικτύων και μπορεί να γεφυρώσει και άλλα δίκτυα. Υπάρχει ακριβώς ένας συντονιστής ZigBee σε κάθε δίκτυο δεδομένου ότι είναι η συσκευή που άρχισε το δίκτυο αρχικά.
- Δρομολογητής ZigBee (ZigBee Router-ZR): Ένας δρομολογητής μπορεί να τρέξει μια λειτουργία εφαρμογής, και επίσης μπορεί να ενεργήσει ως ενδιάμεσος δρομολογητής, περνώντας στοιχεία από άλλες συσκευές.
- Τελική συσκευή ZigBee (ZENT): Περιέχει την ελάχιστη λειτουργικότητα μόνο για να μιλήσει στον κόμβο που ανήκει (είτε είναι συντονιστής είτε δρομολογητής) και δεν μπορεί να αναμεταδώσει τα στοιχεία από άλλες συσκευές. Αυτή η σχέση επιτρέπει στον κόμβο να είναι κοιμισμένος για τον περισσότερο χρόνο και έτσι πετυχαίνει τη μακριά διάρκεια της ζωής της μπαταρίας. Ένα ZENT απαιτεί το λιγότερο ποσό μνήμης, και επομένως είναι λιγότερο ακριβό να κατασκευαστεί από ZR ή ένα ZC.



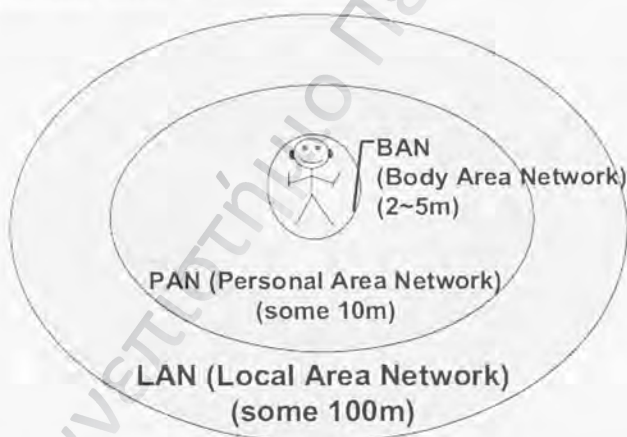
6. Δίκτυα Σώματος (Body Area Network – BAN)

6.1. Γενικά

Ένα δίκτυο σώματος (BAN) συσχετίζεται έντονα με τους φερόμενους (wearable) υπολογιστές. Τα συστατικά ενός φερόμενου υπολογιστή διανέμονται στο σώμα (π.χ., αθόνες ενδείξεων, μικρόφωνα, ακουστικά, κ.λπ.), και ένα BAN παρέχει τη συνδεσιμότητα μεταξύ αυτών των συσκευών. Οι κύριες απαιτήσεις ενός BAN είναι:

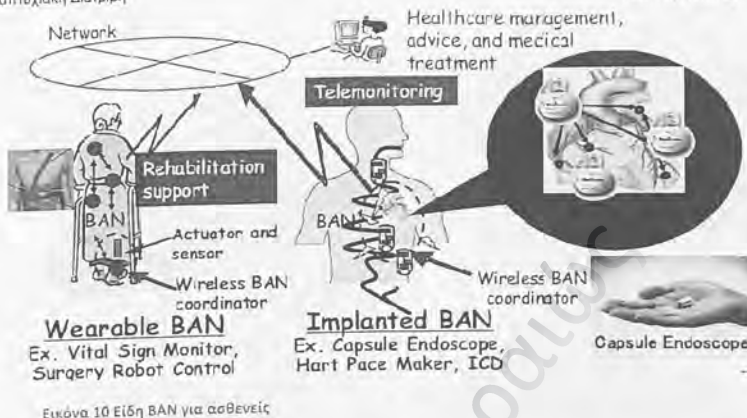
- Η δυνατότητα να διασυνδεθούν ετερογενείς συσκευές, (που κυμαίνονται από πλήρεις συσκευές όπως ένα κινητό τηλέφωνο) με μέρη μιας συσκευής (μικρόφωνο, αθόνη, κλπ.)
- Η ικανότητα αυτο-ρύθμισης (autoconfiguration) δηλαδή η προσθήκη ή η αφαίρεση μιας συσκευής από ένα BAN πρέπει να είναι διαφανής στο χρήστη.
- Η ολοκλήρωση υπηρεσιών (η μεταφορά δεδομένων ήχου και βίντεο πρέπει να συνυπάρχει με δεδομένα μη-πραγματικού χρόνου, όπως π.χ. σε συμφόρηση δεδομένων από το Διαδίκτυο.)
- Η δυνατότητα διασύνδεσης με άλλα BAN (για να ανταλλάξει στοιχεία με άλλους ανθρώπους) ή PAN (π.χ., για να έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο)

Στην εικόνα 9 βλέπουμε σχηματικά την εμβέλεια που έχει ένα BAN με ενδεικτικές αποστάσεις μεταξύ BAN, PAN και LAN



Εικόνα 9 Εμβέλεια BAN, PAN και LAN

Οι αισθητήρες σώματος ανάλογα με το που βρίσκονται καθορίζουν τον τύπο BAN. Αν δηλαδή φοριούνται (φέρονται) ή εμφυτεύονται ή δίνονται ενδοσκοπικά (σαν κάψουλες), το BAN λέγεται φερόμενο, εμφυτευμένο ή ενδοσκοπικό. Οι τύποι BAN που εφαρμόζονται για ασθενείς εμφανίζονται στην εικόνα 10. Το κοινό τους γνώρισμα είναι ότι ανάλογα με τον τόπο που βρίσκεται ο άνθρωπος (ασθενής), το BAN πρέπει να συνδεθεί με κάποιο προσωπικό ή τοπικό δίκτυο (ακόμη και με το internet) για να επιτευχθεί η επικοινωνία με το ιατρικό-νοσηλευτικό προσωπικό που είναι αρμόδιο για την παρακολούθηση (monitoring), την υποστήριξη ανάρρωσης (rehabilitation support), τον έλεγχο και τελικά τη θεραπεία του ασθενούς.



6.2. Φερόμενα δίκτυα σώματος (Wearable Wireless Body Area Networks - WBANs)

Ένα φερόμενο ασύρματο δίκτυο σώματος (WBAN) που αποτελείται από αισθητήρες φυσιολογικών λειτουργιών, που ενσωματώνονται σε ένα τηλειατρικό σύστημα φαίνεται ότι μπορεί να γίνει στο μέλλον ένα βασικό στοιχείο υποδομής στην μακρόχρονη ανάρρωση ασθενών με απομακρυσμένη εποπτεία. Αποτελεί μια καλύτερη και λιγότερο ακριβή εναλλακτική λύση και μπορεί να παρέχει όφελος στους ασθενείς, στους γιατρούς και στην κοινωνία μέσω συνεχούς ελέγχου των κινήσεων των ασθενών είτε στο νοσοκομείο είτε σε περιβάλλοντα χωρίς συνεχόμενη επίβλεψη (οικία, χώρος φιλοξενίας ηλικιωμένων) προκειμένου:

- να ανιχνευθεί έγκαιρα τυχόν πτώση ασθενή. Ως γνωστόν, η πτώση αποτελεί την κύρια αιτία σοβαρού τραυματισμού σε μεγάλες ηλικίες. Επίσης μπορεί να επιφέρει απώλεια των αισθήσεων και αδυναμία έκκλησης σε βοήθεια.
- να γίνει μελέτη της κίνησης (κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης κινητικών προβλημάτων)
- να ανακαλυφθεί πιθανή γνώση της ανάλυσης δεδομένων (data mining) όλων των συγκεντρωμένων πληροφοριών

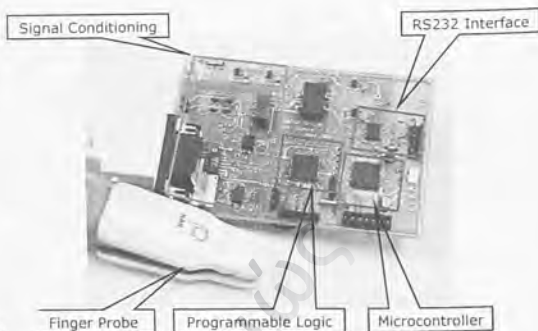
Ο συνεχής έλεγχος με την έγκαιρη ανίχνευση παρέχει στους ασθενείς ένα αυξανόμενο επίπεδο εμπιστοσύνης, το οποίο μπορεί στη συνέχεια να βελτιώσει τη ποιότητα ζωής τους. Επιπλέον, ο έλεγχος κινήσεων (βαδίσματος) θα επιτρέψει στους ασθενείς να συμμετέχουν στις κανονικές δραστηριότητες της καθημερινής ζωής, παρά να μείνουν στο σπίτι ή κοντά σε ειδικευμένες ιατρικές μονάδες. Επιπλέον, ο συνυπολογισμός των στοιχείων συνεχούς ελέγχου σε ιατρικές βάσεις δεδομένων θα επιτρέψει στην ολοκληρωμένη ανάλυση όλων των στοιχείων για να βελτιστοποιήσει την εξατομικευμένη φροντίδα ασθενούς και να παρέχει ανακάλυψη γνώσης μέσω της ολοκληρωμένης ανάλυσης δεδομένων.

Σύντομα θα έχουμε ευφείς αισθητήρες μεγέθους νομίσματος. Θα εφαρμόζονται ως δερματικά επιθέματα, που ενσωματώνονται χωρίς τομή σε ένα προσωπικό σύστημα παρακολούθησης, και θα φοριούνται για εκτεταμένες χρονικές περιόδους.

Ένα WBAN μπορεί να περιλάβει διάφορους αισθητήρες φυσιολογικών λειτουργιών ανάλογα με την απαίτηση του τελικού χρήστη. Στις επόμενες εικόνες φαίνονται διάφοροι τύποι φερόμενων ασύρματων αισθη-



τήρων με τις μονάδες μετάδοσης.

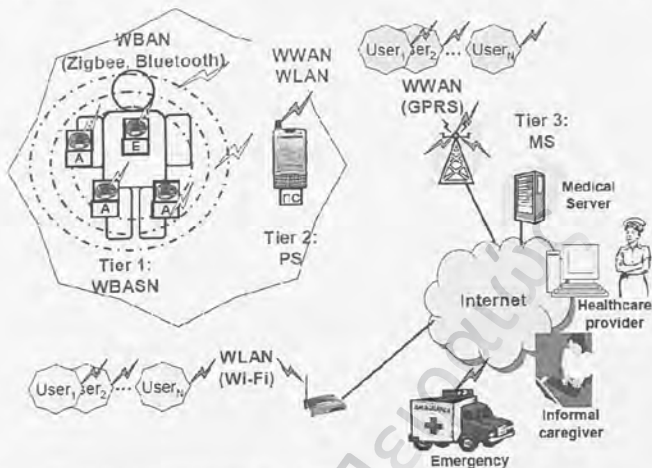


Εικόνα 12 Συγκριτικό μέγεθος αισθητήρα

Οι πληροφορίες των διάφορων αισθητήρων μπορούν να συνδυαστούν για να παραγάγουν τις νέες πληροφορίες όπως τις συνολικές ενεργειακές δαπάνες. Ένα εκτενές σύνολο αισθητήρων φυσιολογικών λειτουργιών μπορεί να περιλάβει τα εξής:

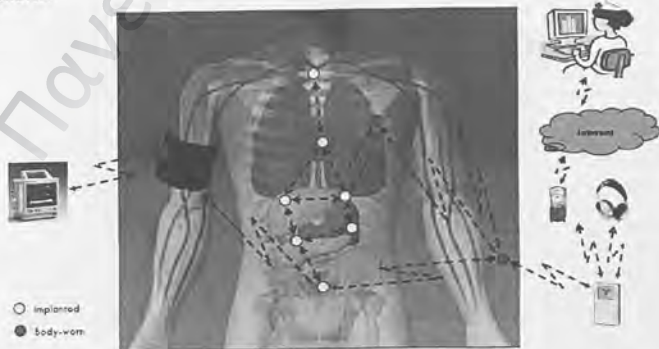
- έναν αισθητήρα ECG (ηλεκτροκαρδιογραφήματος) για τον έλεγχο της δραστηριότητας της καρδιάς
- έναν αισθητήρα EMG (ηλεκτρομυογραφίας) για τον έλεγχο της δραστηριότητας μυών
- έναν αισθητήρα EEG (ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος) για τον έλεγχο της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου
- έναν αισθητήρα πίεσης του αίματος
- έναν αισθητήρα κλίσης για τον έλεγχο θέσης του κορμού
- έναν αισθητήρα αναπνοής για τον έλεγχο της αναπνοής
- ένα ή περισσότερους αισθητήρες μετακίνησης που χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τη δραστηριότητα του ασθενούς
- έναν αισθητήρα «έξυπνο sock» ή μια σόλα παπουτσιών εξοπλισμένη με αισθητήρα που χρησιμοποιείται για να αποτυπώσει τις φάσεις μεμονωμένων βημάτων

Αυτοί οι αισθητήρες φυσιολογικών λειτουργιών παράγουν συνήθως αναλογικά σήματα που διασυνδέονται στις τυποποιημένες πλατφόρμες ασύρματων δικτύων που παρέχουν δυνατότητες υπολογιστικές, αποθηκευτικές, και επικοινωνιακές. Μια τυπική αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου υγείας φαίνεται στην εικόνα 13.



Εικόνα 13 Τυπική αρχιτεκτονική συστήματος ελέγχου υγείας

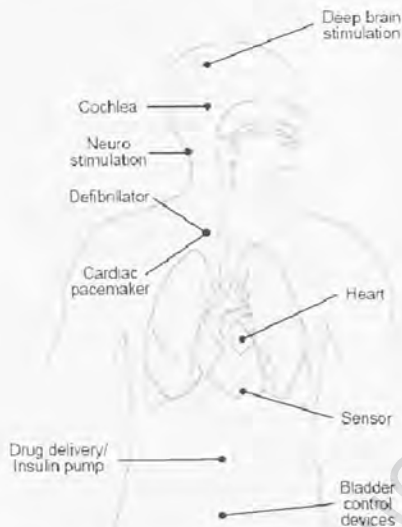
Πολλαπλοί αισθητήρες (A) μπορούν να μοιραστούν έναν ενιαίο κόμβο (E) ασύρματου δικτύου. Επιπλέον, οι αισθητήρες φυσιολογικών λειτουργιών μπορούν να διασυνδεθούν με έναν ευφυή πίνακα αισθητήρων που παρέχει την ικανότητα επεξεργασίας των αισθητήρων και επικοινωνίας με μια τυποποιημένη πλατφόρμα ασύρματου δικτύου μέσω σειριακών διεπαφών. Οι συνεχείς τεχνολογικές πρόοδοι στα ολοκληρωμένα κυκλώματα, την ασύρματη επικοινωνία και τους αισθητήρες επιτρέπουν την ανάπτυξη μικροσκοπικών αισθητήρων που επικοινωνούν ασύρματα με έναν προσωπικό κεντρικό υπολογιστή (personal server-PS) και στη συνέχεια μέσω του Διαδικτύου με ένα μακρινό νοσοκομείο, έναν σταθμό καιρικής πρόβλεψης ή έναν κεντρικό υπολογιστή ιατρικό βάσεων δεδομένων. Έτσι, χρησιμοποιώντας τη βασική γραμμή (ιατρική βάση δεδομένων), τον αισθητήρα (WBAN) και τις περιβαλλοντικές πληροφορίες (πρόβλεψη έκτακτης ανάγκης ή καιρού), συγκεκριμένοι αλγόριθμοι μπορούν να καταλήξουν σε συστάσεις για τον συγκεκριμένο ασθενή. Ο προσωπικός κεντρικός υπολογιστής (PS), που τρέχει σε ένα PDA ή ένα τηλέφωνο 3^{ης} γενιάς, παρέχει την διεπαφή ανθρώπου-υπολογιστή και επικοινωνεί με το μακρινό κεντρικό υπολογιστή. Η ροή δεδομένων από και προς τον ασθενή φαίνεται στην εικόνα 14 παρακάτω.



Εικόνα 14 Ροή δεδομένων από και προς τον ασθενή

6.3. Εμφυτευόμενα (Implanted) BANs

Οι εμφυτευόμενες ιατρικές συσκευές χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια και εφαρμόζονται σε αρκετούς τομείς της ιατρικής. Όπως φαίνεται στην εικόνα 15, υπάρχουν βηματοδότες και απινιδωτές για την καρδιά, καρδιακοί αισθητήρες, διάφοροι τύποι εμφυτευόμενων ακουστικών, διεγέρτες εγκεφάλου και νευροδιεγέρτες, καθετήρες για έλεγχο της κύστης, συσκευές για έγχυση φαρμάκων στο σώμα και αντλίες ινσουλίνης.



Εικόνα 15 Εμφυτευόμενες συσκευές

Οι συσκευές αυτές μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούνταν αυτόνομα, για το σκοπό που εμφυτεύθηκαν. Με την χρήση των ασύρματων τεχνολογιών μπορούμε να συνδυάσουμε ασύρματο αισθητήρα με εμφυτευόμενη συσκευή προκειμένου να ελέγξουμε τη συμπεριφορά της. Ένα παράδειγμα αυτής της χρήσης είναι η αυτόματη διαχείριση του διαβήτη σε ινσουλινοεξαρτώμενους ασθενείς (εικόνα 16).

Η αυτόματη έγχυση ινσουλίνης είναι συνδυασμός μιας ηλεκτρονικά ελεγχόμενης αντλίας έγχυσης ινσουλίνης, με αισθητήρα ελέγχου σακχάρου αίματος που έχει ασύρματο πομποδέκτη. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει τα παρακάτω: έναν αισθητήρα, έναν πομπό, μια «έξυπνη» αντλία ινσουλίνης και έναν μετρητή γλυκόζης.

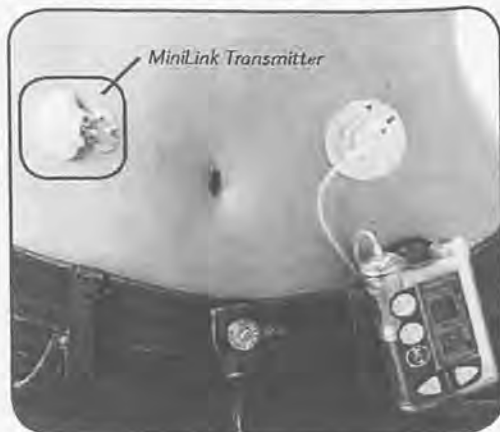
Ο αισθητήρας είναι ένα μικρό ηλεκτρόδιο που φοριέται από τον ασθενή μέχρι 3 ημέρες. Εισάγεται στον υποδόριο ιστό με

ευκολία, με τη βοήθεια μιας αυτόματης συσκευής εισαγωγής. Ο αισθητήρας μετατρέπει τις τιμές της γλυκόζης από το μεσοκυττάριο υγρό σε ένα ηλεκτρονικό σήμα, το οποίο αναπαριστά την ποσότητα γλυκόζης που βρίσκεται εκείνη τη στιγμή στο αίμα.

Ο ελεγκτής (controller) της αντλίας προσαρμόζει την ποσότητα ινσουλίνης που πρέπει να εγχυθεί στο αίμα σύμφωνα με τις ενδείξεις επιπέδου σακχάρου στο αίμα που του στέλνει ο αισθητήρας.

Εικόνα 16 Σύστημα αυτόματης διαχείρισης διαβήτη (ασύρματος αισθητήρας και αντλία ινσουλίνης)

Ο πομπός συνδέεται με τον αισθητήρα και επικολλάται στο δέρμα με αυτοκόλλητη ταινία. Στέλνει τις τιμές γλυκόζης που λαμβάνει από τον αισθητήρα μέσω ραδιοσυχνότητας στη συσκευή παρακολούθησης κάθε πέντε (5) λεπτά. Οι ασθενείς μπορούν να κάνουν ντους, μπάνιο ή και να κολυπήσουν φορώντας τον αισθητήρα και τον πομπό, καθώς είναι αδιάβροχα.



Η αντλία ινσουλίνης λαμβάνει τα δεδομένα από τον πτυσσό και με το πτόημα ενός κομπιού εμφανίζει τις τιμές της γλυκόζης κάθε 5 λεπτά. Μπορούν να εμφανιστούν γραφήματα που παρουσιάζουν τις τιμές 3ώρων ή 24ώρων, καθώς και βέλη που παρουσιάζουν πόσο γρήγορα και προς ποια κατεύθυνση κινείται η γλυκόζη. Συναγερμένοι (ήχος ή βόμβου) θα ειδοποιηθούν τους ασθενείς για πιθανά επικίνδυνα υπογλυκαιμικά ή υπεργλυκαιμικά επεισόδια. Ένας ειδικός υπολογιστής, μέσα στην αντλία, απλοποιεί τα σύνθετα μαθηματικά προβλήματα και αυτιστά δόσεις ινσουλίνης βασισμένοι σε πληροφορίες που έχουν ήδη δοθεί από το χρήστη.

Η αντλία υπολογίζει πόση ινσουλίνη είναι ακόμα «ενεργή» στο σώμα και αποτρέπει τους ασθενείς να χορηγήσουν περισσότερη ινσουλίνη, πράγμα που μπορεί να προκαλέσει υπογλυκαιμία.

Ο συνδυασμός όλων αυτών των συσκευών συνιστά την κατασκευή ενός «τεχνητού παγκρέατος», το οποίο με μικρές βελτιώσεις στο μέλλον θα μπορούσε να υποκαταστήσει πλήρως τη λειτουργία του φυσικού οργάνου.

6.3.1. Επαγωγική σύζευξη χαμηλής συχνότητας (Low-Frequency Inductive Coupling)

Οι χαμηλής συχνότητας επαγωγικές συνδέσεις χρησιμοποιούν την ηλεκτρομαγνητική σύζευξη για να παρέχουν μια σύνδεση επικοινωνίας με τις εμφυτευμένες συσκευές. Ένα εξωτερικό πηνίο κρατιέται πολύ κοντά στον άνθρωπο που κάνει ζεύξη με ένα πηνίο εμφυτευμένο κάτω από την επιφάνεια του δέρματός του. Το συζευγμένο μαγνητικό πεδίο δίνει ενέργεια στο εμφύτευμα και χρησιμοποιείται για να μεταφέρει δεδομένα στο εμφύτευμα. Τα δεδομένα μεταφέρονται από τις εμφυτευμένες συσκευές με την αλλαγή της σύνθετης αντίστασης του εμφυτευμένου βρόχου που ανιχνεύεται από το εξωτερικό πηνίο και ηλεκτρονικά.

Οι χαμηλής συχνότητας επαγωγικές συζεύξεις είναι η επικρατούσα μέθοδος στις επικοινωνίες εμφυτευμάτων από τις αρχές της δεκαετίας του '70. Λειτουργούν χαρακτηριστικά στις δεκάδες έως στις εκατοντάδες kHz του ραδιοφάσματος, με ρυθμό μετάδοσης από 1 - 30 kBit/s. Αυτά τα χαμηλής ισχύος συστήματα, που λειτουργούν με μια μικρή κουλουριασμένη κεραία στο εμφύτευμα, έχουν αποδοτικότητα και για την διάρκεια ζωής της μπαταρίας των μοσχευμάτων καταλήγουν σε ένα πολύ χαμηλό λαμβανόμενο σήμα ραδιοσυχνότητας κατά την επικοινωνία του μοσχεύματος με έναν εξωτερικό σταθμό βάσης. Επομένως, οι επαγωγικές συνδέσεις μπορούν να εκπέμπουν μόνο σε πολύ περιορισμένη απόσταση και συχνά απαιτούν η εξωτερική συσκευή να βρίσκεται σε επαφή με το δέρμα του ασθενούς ακριβώς πάνω από το εμφύτευμα.

6.3.2. Σύστημα Επικοινωνίας Ιατρικών Εμφυτευμάτων (Medical Implant Communication Service -MICS)

Τα ενεργά ιατρικά εμφυτεύσιμα υπερ-χαμηλής ισχύος αποτελούν μέρος ενός συστήματος επικοινωνιών ιατρικών εμφυτευμάτων (MICS) για χρήση σε εμφυτεύσιμες ιατρικές συσκευές, όπως βηματοδότες, εμφυτεύσιμους σπινδιωτές, διεγέρτες νευρών και άλλους τύπους εμφυτευόμενων συσκευών. Το MICS χρησιμοποιεί υπομονάδες πομποδεκτών UHF για τη ραδιοεπικοινωνία μιας εξωτερικής συσκευής (που αναφέρεται ως προγραμματιστής/ελεγκτής) και ενός ιατρικού εμφυτεύματος τοποθετημένου μέσα στο ανθρώπινο σώμα. Η τεχνολογία MICS εργάζεται στην ζώνη συχνοτήτων 402-405 MHz όπου δεν απαιτείται ειδική αδειοδότηση. Η ζώνη αποδόθηκε από την FCC το 1999, ενώ είχε ζητηθεί μια πενταετία νωρίτερα (ίσως γιατί στην ίδια ζώνη λειτουργούν τα μετεωρολογικά αερόστατα).

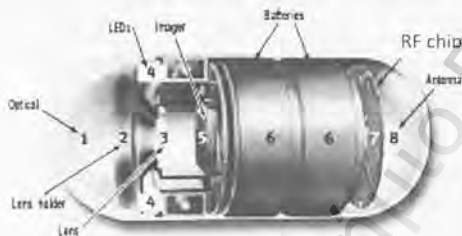
Είναι μια σύνδεση μικρής εμβέλειας, που συνδέει εμφυτευμένες σε ανθρώπους ιατρικές συσκευές χαμηλής ισχύος με εξοπλισμό παρακολούθησης και ελέγχου. Οι εμφυτευμένες συσκευές (Implanted Medical Devices-IMD) μπορεί να είναι βηματοδότες, καρδιακή απινιδωτής (Implantable cardioverter defibrillator - ICD), νευροδιεγέρτες (neurostimulators), κοχλιακό (ακουστικά) εμφυτεύματα, αντλίες ινσουλίνης, συσκευές ελέγχου της κύστης και πολλά άλλα. Επιπρέπει αμφίδρομη ραδιο-επικοινωνία ανάμεσα στο εμφύτευμα και τη συσκευή ελέγχου. Η μέγιστη ισχύς μετάδοσης είναι πολύ μικρή, μόνο 25 mWatt, ώστε να περιοριστεί η πιθανότητα παρεμβολών από άλλους χρήστες της ίδιας ζώνης. Το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης κάθε φορά είναι

300 kHz, γεγονός που κάνει το MICS ένα σύστημα χαμηλού ρυθμού μετάδοσης συγκρινόμενο με το WiFi ή το Bluetooth.

Τα συστήματα MICS χρησιμοποιούνται με πολλούς τρόπους, για παράδειγμα: Ρύθμιση των παραμέτρων της συσκευής (π.χ. τροποποίηση των παραμέτρων του βηματοδότη), μετάδοση της αποθηκευμένης πληροφορίας (π.χ. ηλεκτροκαρδιογραφήματα χρονικά αποθηκευμένα ή καταγραμμένα κατά τη διάρκεια ιατρικού συμβάντος), και μετάδοση (σε πραγματικό χρόνο) ε-πποπτευόμενων ζωτικών σημείων σε μικρές χρονικές περιόδους.

Η MICS είναι μια τεχνολογία που αφαιρεί τους περιορισμούς που σχετίζονται με επαγωγικούς συνδέσµους μικρής ακτίνας που έχουν χαμηλό ρυθµό µετάδοσης δεδοµένων και απαιτούν σωματική επαφή. Έτσι µπορούν να αναπτυχθούν νέες εφαρµογές και να βελτιωθεί η ιατρική φροντίδα. Απαιτεί εκτός από το εμφύτευµα και µια µονάδα βάσης, που πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση µέχρι 2 µέτρα από τον ασθενή. Η µονάδα βάσης επικοινωνεί ασύρµατα µε τον γιατρό (ή το νοσοκοµείο) µε συνηθισµένες ασύρµατες τεχνολογίες. Δεν επιτρέπεται επικοινωνία µεταξύ παρόµοιων συσκευών, µε µόνη εξαίρεση την επικοινωνία εµφυτευµένου αισθητήρα γλυκόζης και εµφυτευµένης αντλίας εκχύσεως ινσουλίνης σε διαβητικούς. Μια ειδική εφαρµογή MICS αποτελούν οι ενδοσκοπικές κάψουλες.

6.3.3. Ενδοσκοπικές κάψουλες



Εικόνα 17 Ενδοσκοπική κάψουλα

Μια µορφή ενδοσκοπικού ΒΑΝ αποτελεί ο συνδυασµός συσκευής (που χορηγείται από το στόµα) τύπου κάψουλας (µεγέθους 11x 26 mm, βάρους <4 gr) που περιέχει φωτογραφική µηχανή που λαµβάνει περίπου 57.000 φωτογραφίες του εντέρου σε 8 ώρες, τις οποίες αποστέλλει ασύρµατα σε µια συσκευή λήψης µορφής ζώνης που φορά ο ασθενής (όπως φαίνονται στις εικόνες 17 και 18)

Λειτουργούν (όπως όλες οι συσκευές MICS) στην περιοχή συχνοτήτων 402 έως 405 MHz. Προτιμήθηκε αυτή η ζώνη, γιατί έχει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά µετάδοσης σήµατος (propagation) στο ανθρώπινο σώµα, έχει σχετικά µικρή κεραία και έχει ήδη γίνει αποδεκτή και στην Ευρώπη και αλλού.

Camera pill with
ultra-low power
RF transmitter

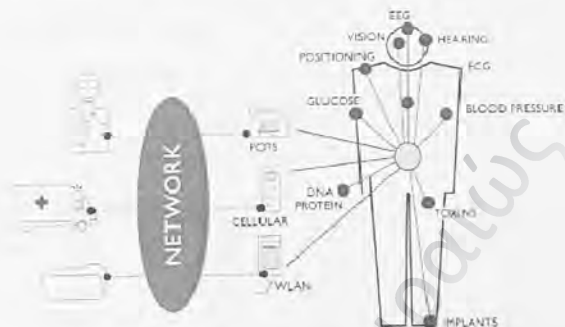


Εικόνα 18 Ενδοσκοπική κάψουλα και ζώνη λήψεως

6.3.4. Ασύρµατη Υπηρεσία Ιατρικής Τηλεµετρίας (Wireless Medical Telemetry Service – WMTS)

Η ασύρµατη υπηρεσία ιατρικής τηλεµετρίας (WMTS) χρησιµοποιείται γενικά για να ελέγξει τις φυσιολογικές παραµέτρους του ασθενή (π.χ. καρδιακά σήµατα) σε απόσταση µέσω των επικοινωνιών ραδιοσυχνότητας (RF), µεταξύ µιας συσκευής αποστολής σηµάτων που φοριέται

από τον ασθενή και ενός κεντρικού σταθμού ελέγχου. Αυτές οι συσκευές έχουν το πλεονέκτημα να μπορεί να μετακινείται ο ασθενής χωρίς να αναγκάζεται να μένει καθηλωμένος στο κρεβάτι εξαιτίας καλωδίων σύνδεσης των συσκευών.

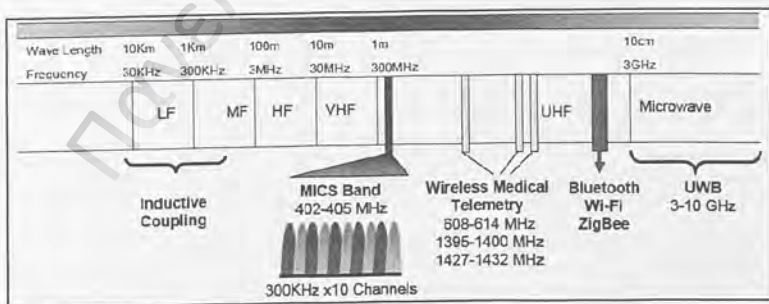


Εικόνα 19 Ασύρματη υπηρεσία ιατρικής τηλεμετρίας (WMTS)

Μέχρι πρόσφατα, πολλά ιατρικά συστήματα τηλεμετρίας λειτουργούσαν στις ζώνες 460 έως 470 MHz. Όμως, ο Αμερικανικός Οργανισμός Φαρμάκων και Τροφίμων (FDA) έχει διαπιστώσει ότι η παρεμβολή από άλλες συσκευές που λειτουργούν στην ίδια περιοχή ραδιοσυχνότητας μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα κατά τον έλεγχο ασθενών και σε λανθασμένους συναγερμούς, θέτοντας σε κίνδυνο την ασφάλεια των ασθενών. Για να μειώσει αυτόν τον κίνδυνο, η FCC καθιέρωσε το έτος 2000 για τις ασύρματες ιατρικές υπηρεσίες τηλεμετρίας (WMTS) τις ζώνες από 608 έως 614 MHz, από 1.395 έως 1.400 MHz, και από 1.427 έως 1.432 MHz.

6.4. Σύγκριση των τεχνολογιών των BAN

Στην εικόνα 20 φαίνονται σχηματικά οι χρησιμοποιούμενες σε BAN ασύρματες τεχνολογίες σε σχέση με το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και βλέπουμε τις διαφορές στο εύρος ζώνης των συχνοτήτων λειτουργίας των τεχνολογιών αυτών.



Εικόνα 20 Συχνότητες λειτουργίας διαφόρων τεχνολογιών BAN

Οι υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες περιορισμένου φάσματος για τα BAN περιλαμβάνουν την οικογένεια προτύπων IEEE 802 των ασύρματων προσωπικών δικτύων (WPANs),

των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLANs), το Bluetooth, και και το ZigBee. Από αυτές, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η τεχνολογία Wi-Fi (για το WLAN από το πρότυπο IEEE 802.11b) είναι υψηλής πολυπλοκότητας και απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ισχύος. Η τεχνολογία WPAN (IEEE 802.15.4) και Bluetooth (IEEE 802.15.1) ταιριάζουν πολύ καλύτερα στα BAN που λειτουργούν με μπαταρίες. Το Bluetooth είναι λιγότερο εύκαμπτο στη δικτύωση, έχει περιορισμένη δυνατότητα χρησιμοποίησης για συνεχείς (μη-διακοπτόμενες) μεταφορές δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, και έχει μεγαλύτερη μέση κατανάλωση ισχύος.

Αντίθετα, το ZigBee φτιάχτηκε πάνω στα πρότυπα IEEE 802.15.4 (Low rate WPAN) που παρέχουν 20Kbits/s (στους 868 MHz) ή 250Kbits/s (στους 2,4 GHz). Το IEEE 802.15.4 καθορίζει δύο φυσικά στρώματα συν ένα στρώμα MAC μικρής πολυπλοκότητας. Το στρώμα MAC είναι σχεδιασμένο για χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος συσκευές, αλλά είναι αρκετά εύκαμπτο για την μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Το φυσικό στρώμα στα 2,4 GHz φαίνεται κατάλληλο για τα BAN δεδομένου του ρυθμού μετάδοσής του και της παγκόσμιας διαθεσιμότητας του φάσματός του. Τα δύο μειονεκτήματα της ζώνης συχνότητας ISM στα 2,4 GHz είναι η σημαντική εξασθένιση εξ αιτίας του σήματος και το ενδεχομένως υψηλό επίπεδο παρεμβολών. Αυτό όμως μπορούν να ξεπεραστούν με τη χρήση του IEEE 802.15.4, που καθορίζει διαφορετικού τύπου συσκευές ZigBee για τη δικτύωση.

Συμπερασματικά, το IEEE 802.15.4 καταναλώνει μικρότερος πόρους ισχύος, επεξεργασίας και μνήμης ενώ σε συνδυασμό με το ZigBee, παρέχει γρηγορότερη, πιο εύκαμπτη και κλιμακωτή δικτύωση όπως τυποποιημένη ασφάλεια, προσαρμοζόμενη δικτύωση, και το στρώμα υποστήριξης της εφαρμογής. Η ικανότητα πολλαπλής δρομολόγησης του ZigBee επιτρέπει επίσης την ασύρματη συνδεσιμότητα των διαφόρων αισθητήρων. Για την ώρα, το πλαίσιο ZigBee/IEEE 802.15.4 εμφανίζεται να είναι το καταλληλότερο πρωτόκολλο για τα BAN.

Η αυστηρή απαίτηση για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας στα μελλοντικά BAN δεν μπορεί να καλυφτεί από τις σημερινές τεχνολογίες χαμηλής ισχύος και μικρής εμβέλειας όπως το Bluetooth και το ZigBee. Πρόσφατα, η FCC άνοιξε τη ζώνη από 3 - 10 GHz στις ΗΠΑ για χρήση από τους χαμηλής ισχύος πομποδέκτες UWB, υπό τον όρο ότι τα σήματα UWB θα είναι μέσα στη ζώνη από 3,1 έως 10,6 GHz, με ένα ελάχιστο εύρος ζώνης 500 MHz, και θα έχουν μια φασματική πυκνότητα ισχύος κάτω από -41,25 dBm/MHz.

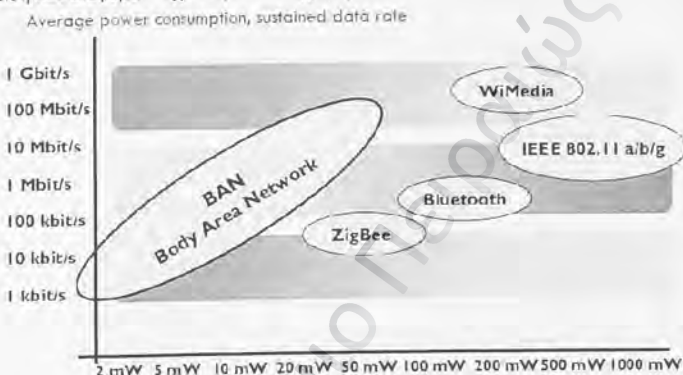
Η τεχνολογία εξαιρετικά ευρείας ζώνης (UWB) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως στα PAN. Με αυτή μπορούν να επιτευχθούν πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης (480 Mbit/s) σε μικρές αποστάσεις (λίγων μέτρων). Το ιδιαίτερα ευρυζωνικό του σήμα (εύρος ζώνης 528 MHz ή 2736 MHz) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές ροής βίντεο. Το UWB συζητείται και τυποποιείται σε διάφορες επιτροπές της IEEE. Το πρότυπο IEEE 802.15.3a έχει δύο προτάσεις: (1) πολλαπλή πολλαπλής ζώνης ορθογωνίας διαίρεσης συχνότητας (MB-OFDM) UWB, που υποστηρίζεται από τη συμμαχία WiMedia, και (2) την άμεση ακολουθία - UWB (DS-UWB), που υποστηρίζεται από το φόρουμ UWB.

	MICS	WMTS	UWB	Zigbee	Bluetooth	WLANs
Πρότυπο IEEE			802.15.6	802.15.4	802.15.1	802.11b/g
Ζώνες συχνοτήτων	402-405 MHz	608-614 MHz, 1395-1400 MHz, 1429-1432 MHz	3-10 GHz	2,4 GHz, (868/915 MHz Eur/US)	2,4 GHz	2,4GHz
Εύρος ζώνης	3 MHz	6 MHz	>500MHz	5 MHz	1 MHz	20 MHz
Ρυθμός μετάδοσης	16 kbps (AMIS)*	76 kbps*	850 kbps	250 kbps (2,4 GHz)	1 Mbps	>11 Mbps
Πολλαπλή πρόσβαση	CSMA/CA, Polling	CSMA/CA, Polling	ALOHA	CSMA/CA	FHSS	OFDMA, CSMA/CA
Ισχύς	-16 dBm (25μW)	≥10 dBm και <1,8dBm (1,5 watt)	-41dBm	0 dBm	4 dBm, 20 dBm	250 mW
Εμβέλεια	0-10 m	>100 m	2 m	0-10m	10, 100m	0-100 m

Πίνακας 8 Σύγκριση τεχνολογιών BAN

Το IEEE 802.15.3a είναι σε θέση να παρέχει ρυθμοαπόδοση (throughput) εκατοντάδων Mbit/s. Για τα BAN, το IEEE 802.15.3a σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να είναι μεγάλου μεγέθους παρά τους κλιμακούμενους ρυθμούς δεδομένων του. Ενώ η ενέργεια ανά bit στο IEEE 802.15.3a έχει εντυπωσιακό νούμερο, το αποτέλεσμα για τα πολύ μικρά πακέτα του BAN μπορεί να αμφισβητήσει τη γενική αποδοτικότητα. Μπορεί, όμως, να είναι πολύ χρήσιμο όταν πρέπει να διαβιβάσθούν πληροφορίες από το περιβάλλον, (όπως π.χ. από μια βιντεοκάμερα και μικρόφωνα, η εάν τα δεδομένα διαβιβάζονται κατά ριπές).

Διαπιστώνουμε ότι για τα BAN έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες που εφαρμόζονται ανάλογα με την περίπτωση. Για το λόγο αυτό έχουμε διαφορές στην εμβέλεια, στο εύρος ζώνης, στις χρησιμοποιούμενες συχνότητες, στο ρυθμό μετάδοσης κλπ. Στον πίνακα 8 γίνεται σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στα WBAN.



Εικόνα 21 Στόχοι για τα BAN (ρυθμός μετάδοσης σε σχέση με την κατανάλωση)

Ο μελλοντικός στόχος για τα BAN, όπως τον έχει καθορίσει η IEEE, φαίνεται στην εικόνα 21, όπου συσχετίζεται η μέση κατανάλωση ισχύος με τον υποστηριζόμενο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για τις διάφορες εφαρμοζόμενες τεχνολογίες. Το αναγραφόμενο IEEE 802.11 a/b/g αναφέρεται στις εξελίξεις του WiFi. Διαπιστώνουμε ότι όλες οι τεχνολογίες έχουν χαρακτηριστικά όρια τόσο του ρυθμού μετάδοσης, όσο και στην κατανάλωση ενέργειας, εκτός από τις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες των BAN, όπου υπάρχει μεγάλο εύρος και οι τάσεις είναι τόσο ως προς την μικρότερη κατανάλωση όσο και προς τον μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

Υπάρχουν διάφορα σενάρια για τη μελλοντική χρήση των BAN (εικόνα 22). Αναφέρουμε ενδεικτικά ορισμένα με τα βασικά τους χαρακτηριστικά:

- **Body sensor network** (για ιατρικές εφαρμογές). Δυνατότητα ύπαρξης 5 διαφορετικών δικτύων ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή, με ελάχιστο χρόνο ανταπόκρισης, με δυνατότητα ευρείας γκάμας εφαρμογών και συνολικό όγκο δεδομένων ανά ασθενή μικρότερο των 10 kbps.
- **Fitness monitoring** (έλεγχος φυσικής κατάστασης για αθλούμενους). Η κεντρική συσκευή είναι μια συσκευή MP3 player με ακουστικά για τη μουσική. Ελέγχει ταχύτητα, απόσταση, καρδιακό ρυθμό, αναπνοές, έχει αισθητήρα θερμοκρασίας, και μπορεί να δίνει πληροφορίες για το ρυθμό τρεξίματος, για την θέση που βρίσκεται κλπ σε μια μικρή οθόνη που φοριέται στον καρπό σαν ρολόι. Το σύστημα χειρίζεται δεδομένα μέχρι 500 kbps, με αυξανόμενες δυνατότητες.
- **Wearable Audio** (Δίκτυο Ακουστικό) Η κεντρική συσκευή είναι ένα ακουστικό (και για τα δύο αυτιά) μαζί με μικρόφωνο. Πάνω του μπορούν να συνδεθούν διάφορες συσκευές όπως κινητό τηλέφωνο, Mp3 player και CD player για μουσική, προσωπικός ψηφιακός βοηθός (PDA), hands free για το αυτοκίνητο, καθώς και οποιαδήποτε συσκευή ελέγχου από μακριά (remote control). Απαιτεί ένα μηχανισμό προτεραιότητας και μπορεί να χειρίζεται δεδομένα μέχρι 500 kbps.
- **Mobile device centric** (Δίκτυο με βάση το κινητό τηλέφωνο) Η κεντρική συσκευή είναι το κινητό τηλέφωνο, στο οποίο μπορούν να συνδεθούν σωματικοί αισθητήρες, ακουστικά

και άλλες περιφερειακές συσκευές. Έχει την δυνατότητα να διαβιβάζει το ίδιο τα δεδομένα σε απόσταση αλλά και αυτό απαιτεί ένα μηχανισμό προτεραιοτήτων και μπορεί να χειρίζεται δεδομένα μέχρι 500 kbps.



Εικόνα 22 Μελλοντικά BAN

7. Άλλες τεχνολογίες επικοινωνιών

7.1. DECT

Τα ασύρματα τηλέφωνα της σταθερής τηλεφωνίας αποτελούν τις Βελτιωμένες ψηφιακές τηλεπικοινωνίες με ασύρματα τηλέφωνα (Digital Enhanced Cordless Telecommunication - DECT) που είναι μια ψηφιακή τεχνολογία που δημιουργήθηκε στην Ευρώπη, και υιοθετείται τώρα παγκοσμίως. Η τεχνολογία DECT είναι ένα εύκαμπτο ψηφιακό ασύρματο σύστημα πρόσβασης για τις επικοινωνίες στο σπίτι, το γραφείο και τα δημόσια περιβάλλοντα. Οι DECT είναι κυρίως γνωστές για τις επικοινωνίες φωνής υψηλής ποιότητας, αλλά έχουν και άλλες διαδεδομένες εφαρμογές όπως η πρόσβαση στο Διαδίκτυο και η σύνδεση μέσω δικτύων με άλλες σταθερές ή ασύρματες υπηρεσίες. Πράγματι, συσκευές με μετάδοση βασισμένη στα DECT έχουν εισαχθεί για υπηρεσίες κατ' απαίτηση (on demand). Το πρότυπο DECT χρησιμοποιεί το ραδιοφάσμα για ασύρματη επικοινωνία στη ζώνη 1.880 έως 1.900 MHz χρησιμοποιώντας την γκασουσιανή διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας (Gaussian Frequency Shift Keying - GFSK). Τα λοιπά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα 9. [Α-15]

DECT parameters	Range
Συχνότητα	1.880-1.900 MHz
Αποστάσεις φερόντων	1,728 MHz
Διαμόρφωση	GFSK
Ασύρματη πρόσβαση	FDMA TDMA TDD
Αριθμός σχισμών χρόνου	12
Αριθμός φερόντων	10
Συνολικά κανάλια duplex	120
Ρυθμός μετάδοσης	1,15 Mbit/s
Διάρκεια πλαισίου	10 ms
Κωδικοποίηση ομιλίας	32 kbit/s ADPCM
Εκχώρηση καναλιών	Dynamic channel selection
Ταχύτητα κινητικότητας	20 km/h
Μέγιστη ισχύς	250 mW
Μέση ισχύς	10 mW
Εμβέλεια DECT	300 m

Πίνακας 9 Χαρακτηριστικά DECT

Οι συσκευές DECT έχουν ως σκοπό να είναι συμβατές με οποιοσδήποτε τύπο δικτύου τηλεπικοινωνιών. Οι εφαρμογές DECT περιλαμβάνουν το οικιακό, το δημόσιο τηλεφωνικό Δίκτυο (Public Switched Telephone Network - PSTN), ψηφιακά δίκτυα ολοκληρωμένων υπηρεσιών (Integrated Services Digital Network - ISDN), GSM, φωνή, φάξ, μόντεμ, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, Διαδίκτυο, και άλλα.

Ένα απλό σύστημα DECT αποτελείται από ένα σταθερό μέρος συνήθως γνωστό ως βάση και ένα φορητό μέρος γνωστό ως ασύρματο μικροτηλέφωνο, το οποίο είναι συνηθισμένο σε ένα οικογενειακό σύστημα ικανό για μετάδοση φωνής. Η βάση DECT διαβιβάζει συνεχώς, τουλάχιστον σε ένα κανάλι, για να παρέχει ένα αναγνωριστικό σήμα για τα τηλέφωνα DECT. Τα μικροτηλέφωνα στην περιοχή κάλυψης της βάσης θα επιβεβαιώσουν την ταυτότητά τους και θα κλειδώσουν προς τη βάση. Αυτή η μετάδοση μπορεί να είναι μέρος της ενεργού μετάδοσης ή μιας εικονικής μετάδοσης φέροντος. Η μετάδοση αναγνωριστικών σημάτων από τη βάση μεταφέρει τις πληροφορίες εκπομπής σε μια πολυπλεκτική δομή πολλαπλών πλαισίων, για την ταυτότητα της βάσης, την δυνατότητα του συστήματος, την κατάσταση εκπομπής σταθερών μερών (Radio Fixed Parts - RFP) καθώς και πληροφορίες σελιδοποίησης για την οργάνωση εισερχόμενης κλήσης. Το εύρος ζώνης DECT διαιρείται σε 10 ίσες υπο-ζώνες. Μέσα σε ένα κανάλι συχνότητας, τα κανάλια εκπομπής και λήψης χωρίζονται από τις σχισμές χρόνου μέσω ενός σχήματος TDMA.

7.2. Ψηφιακή τηλεοπτική αναμετάδοση (DVB)

Τα συστήματα ψηφιακής τηλεοπτικής αναμετάδοσης (Digital Video Broadcasting -DVB) διαβιβάζουν προγράμματα μέσω διαφορετικών τεχνικών, όπως ο δορυφόρος-satellite (DVB-S), οι επίγειες - terrestrial κεραιές (DVB-T), και η επίγειος φορητή - hand (DVB-H). Αντικαθιστά την αναλογική αναμετάδοση με ψηφιακά συστήματα. Στην περίπτωση του DVB-T, τα συμβατικά αναλογικά σήματα που χαρακτηρίζονται από τη διαμόρφωση πλάτους αντικαθίσταται με ολοκληρωμένους ψηφιακούς παλμούς και επαναλαμβανόμενες περιοδικές διαμορφώσεις μοιάζοντας με το WLAN που εξαπλώνεται σε πολλές μεμονωμένες συχνότητες

Τα χρησιμοποιούμενα σχήματα διαμόρφωσης ποικίλλουν με τις διαφορετικές υπηρεσίες. Παραδείγματος χάριν, το DVB-S χρησιμοποιεί την τετραγωνισμένη μετατόπιση φάσης κλειδιού (Quadrature Phase Shift Keying - QPSK), και το DVB-T χρησιμοποιεί την QPSK σε συνδυασμό με την πολύπλεξη διαίρεσης ορθογωνίας συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) και την ιεραρχική διαμόρφωση για να επιτρέψει την περισσότερο αποδοτική χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων. Επομένως, οι συχνότητες για τη συμβατική αναλογική αναμετάδοση είναι διαθέσιμες για πρόσθετες αναμεταδόσεις και άλλες υπηρεσίες. Πράγματι, η κινητή τηλεόραση DVB-H έχει γίνει πραγματικότητα σε μερικά μέρη όπου υπάρχει διαθεσιμότητα φορητών δεκτών. [A-15]



8. Άλλες χρήσεις Η/Μ φάσματος (όχι για επικοινωνίες)

8.1. Ραντάρ διεισδύσεως εδάφους (Ground Penetrating Radars - GPRs)

Ραντάρ διεισδύσεως εδάφους (Ground Penetrating Radars - GPRs), ραντάρ που διαπερνούν την επιφάνεια ή ραντάρ υπεδάφους, είναι ονόματα που αναφέρονται στην ίδια τεχνική που χρησιμοποιείται για να εντοπίσει αντικείμενα και (ή) διεπαφές που βρίσκονται σε μια περιοχή μη διαπερατή από τα μάτια. Το GPR είναι παρόμοιο με το συμβατικό ραντάρ ανοιχτού χώρου που χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει την ανακλώμενη ακτινοβολία ενός στόχου για να αξιολογήσει τη θέση και την ταχύτητά του. Τα συστήματα GPR αποτελούνται από το μέρος εκπομπής (πηγή και κεραία) που διαβιβάζει την Ηλεκτρομαγνητική ισχύ στην υπό έρευνα περιοχή, και το μέρος λήψης που συλλέγει την ανακλώμενη ισχύ και, μέσω τεχνικών επεξεργασίας σήματος, την διαμορφώνει για να εξαγάγει τις ζητούμενες πληροφορίες. Η παρουσία διεπαφής μεταξύ του αέρα όπου βρίσκεται η κεραία και της υπό έρευνα περιοχής, και η επίρροή της στο ανακλώμενο σήμα, είναι οι θεμελιώδεις διαφορές μεταξύ του GPR και του συμβατικού ραντάρ.

Το GPR χρησιμοποιείται ως εναλλακτική τεχνική σε σεισμικές μεθόδους, σε σόναρ, ή σε άλλες συγκεκριμένες τεχνικές, έχοντας ως κύριο πλεονέκτημα του (από αυτές τις τεχνικές), τις γενικές αρχές λειτουργίας του (για κάθε σκοπό) και τη χρήση απομακρυσμένων μετατροπών μη-επαφής, που εκπέμπουν και λαμβάνουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Επιπλέον, έχει την υψηλότερη ανάλυση στην απεικόνιση υπεδάφους από οποιαδήποτε άλλη γεωφυσική μέθοδο, με προσέγγιση εκατοστόμετρου υπό κατάλληλες συνθήκες.

Ο σχεδιασμός των συστημάτων GPR είναι κατά ένα μεγάλο μέρος προσανατολισμένος στις εφαρμογές και η γενική φιλοσοφία σχεδιασμού, καθώς και οι λεπτομέρειες, εξαρτώνται από τον τύπο του στόχου και το υλικό που αποτελείται το υπόβαθρο. Το εύρος ζώνης του λαμβανόμενου σήματος συνδέεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα (γεωλογικά στρώματα ή βαθμμένα αντικείμενα) που θα αναζητηθούν. Αφού το βάθος διείσδυσης μειώνεται με τη συχνότητα, συνήθως τα συστήματα GPR εργάζονται με συχνότητες μικρότερες από 1 GHz. Σε έρευνες μεγάλου βάθους έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης συχνότητες τόσο χαμηλές όσο μερικές δεκάδες MHz. Όμως, η ανάλυση είναι μεγαλύτερη στις υψηλότερες συχνότητες. Συνεπώς, οι χαμηλής συχνότητας κεραίες (10-120 MHz) ακτινοβολούν ηλεκτρομαγνητικά πεδία μεγάλου μήκους κύματος, που μπορούν να διαπεράσουν μέχρι 50 μέτρα ή και περισσότερο υπό ορισμένες συνθήκες, αλλά είναι σε θέση να τὰ κάνουν μόνο για πολύ μεγάλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα υπεδάφους. Αντίθετα, το βάθος διείσδυσης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου των 900 MHz είναι περίπου 1 μέτρο, (και συχνά λιγότερο στο συνηθισμένο έδαφος), αλλά οι παραγόμενες αντανακλάσεις μπορούν ανακλάψουν χαρακτηριστικά γνωρίσματα διαμέτρου λίγων εκατοστόμετρων.

Συνήθως, τα συστήματα GPR χρησιμοποιούν πολύ στενούς παλμούς (π.χ. διάρκεια παλμού 1 ns) με χαμηλή μέση ισχύ (Για παράδειγμα ανώτερη ισχύς παλμού 50 W, μέση ισχύς παλμού 50 mW). Η λαμβανόμενη ισχύς είναι τότε τουλάχιστον μια τάξη μεγέθους κάτω από την εκπεμπόμενη. Πιθανό να σημειωθεί ότι τα συστήματα GPR, βάσει της ταξινόμησης της FCC που έγινε το 2002, ανήκουν στην κατηγορία συστημάτων απεικόνισης και κατά συνέπεια, η εκπεμπόμενη ισχύς τους (τουλάχιστον στις ΗΠΑ) πρέπει να προσαρμόζεται στον προαναφερόμενο πίνακα 7. [A-11],[A-15]

Δεδομένου ότι η συχνότητα κεραίων, το σχήμα ακτινοβολίας και η ακτινοβολούσα ισχύς εξαρτώνται έντονα από την εφαρμογή, είναι πολύ δύσκολο να καθοριστούν γενικοί όροι έκθεσης που να αφορούν τα συστήματα GPR συνολικά. Ιδιαίτερα, για να αξιολογηθεί η έκθεση των χειριστών στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία των GPR, πρέπει να θεωρηθεί ότι ο χειριστής θα είναι στην εγγύς περιοχή της εκπεμπουσας κεραίας, έτσι ώστε η αξιολόγηση έκθεσης να πραγματοποιηθεί εξετάζοντας τον δείκτη έκθεσης (SAR) σύμφωνα με τον τύπο για την έκθεση σε πολλαπλές συχνότητες όπως έχει προτείνει η ICNIRP. [A-5],[A-15]

8.2. Συσσκευές μαγειρέματος με θέρμανση εξ επαγωγής (Induction Heating-IH)

Πρόσφατα, οι οικιακές συσκευές μαγειρέματος με θέρμανση εξ επαγωγής (στόφες ή εστίες κουζίνας) έχουν γίνει δημοφιλείς στις ευρωπαϊκές χώρες και την Ιαπωνία, αν και εισήχθησαν στην αγορά πριν από καιρό.

Όταν ηλεκτρικά αγώγιμα υλικά βυθίζονται σε ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, μπορούν να θερμαίνονται ως αποτέλεσμα των απωλειών ρευμάτων στρόβιλου (Φαινόμενο Τζάουλ). Αυτή η τεχνική θέρμανσης έχει εφαρμοστεί κυρίως για βιομηχανικούς σκοπούς, όπως στους φούρνους μετάλλων. Η επαγωγική θέρμανση χρησιμοποιείται επίσης ως μαγειρικό εργαλείο. Εκτός από τον υψηλό ισχύος (5-10 kW) εξοπλισμό για εμπορική χρήση στον τομέα εστίασης, παράγονται και χαμηλής ισχύος (1-3 kW) εστίες επαγωγικής θέρμανσης ως οικιακές συσκευές κουζίνας. Τα πλεονεκτήματα των εστιών επαγωγικής θέρμανσης είναι η καθαρότερη λειτουργία και η μείωση των πιθανοτήτων από κινδύνους πυρκαγιάς. Έχει υπολογιστεί ότι πωλούνται τουλάχιστον 300.000 μονάδες το χρόνο μόνο στην Ευρώπη.

Οι εστίες επαγωγικής θέρμανσης λειτουργούν σε συχνότητες από 20 έως 50 kHz για να εκμεταλλευτούν την αποδοτική ενεργειακή χρήση αλλά και για να αποφύγουν τον ευδιάκριτο θόρυβο που δημιουργείται από τα εργαλεία μαγειρέματος (κατσαρόλες, τηγάνια, και άλλα δοχεία) που είναι φτιαγμένα από χυτοσίδηρο και ανοξείδωτο ατσάλι και έτσι έχουν υψηλή μαγνητική διαπερατότητα. Πιο πρόσφατες βελτιώσεις στις εστίες επαγωγικής θέρμανσης έχουν επιτρέψει χρήση μαγειρικών δοχείων από αλουμίνιο σε υψηλότερες συχνότητες (πάνω από 60 kHz).

Η ισχύς του ηλεκτρικού πεδίου κοντά στις εστίες επαγωγικής θέρμανσης είναι πολύ χαμηλότερη (μερικές δεκάδες βολτ ανά μέτρο σε μια απόσταση 10 εκατ. από την άκρη της κουζίνας) από τη ισχύ του μαγνητικού πεδίου. Μια τυπική κυματομορφή του μαγνητικού πεδίου αποτελείται από ένα κύμα φέροντος (26,1 kHz για παράδειγμα), διαμορφωμένο κατά πλάτος σε μια συχνότητα 100 Hz (για ρεύμα 50 Hz) ή 120 Hz (για ρεύμα 60 Hz). Γενικά, οι παραγόμενες αρμονικές είναι πολλές, και η συχνότητα λειτουργίας εξαρτάται από τις ρυθμίσεις της παραγόμενης ισχύος. Για μια δεδομένη ρύθμιση ισχύος, οι δυνάμεις του μαγνητικού πεδίου γύρω από τις εστίες εξαρτώνται από το υλικό και το μέγεθος των εργαλείων μαγειρικής. Τα μαγνητικά πεδία μειώνονται πολύ με την απόσταση, και μοιάζουν με τη διασπορά των μαγνητικών πεδίων ενός μαγνητικού διπόλου ή ενός βρόχου ρεύματος.

Στην πράξη, η δύναμη του μαγνητικού πεδίου που εφαρμόζεται από το χρήστη εξαρτάται από τη θέση του χρήστη, δηλ., που είναι πιθανό να στέκεται ο χρήστης, εάν γέρνει ή όχι πάνω από την εστία. Αριθμητικοί υπολογισμοί επαγωγικού ρεύματος έδειξαν ότι μόνο μέρη του σώματος του χρήστη (ειδικότερα τα χέρια) εκτίθενται σε μαγνητικά πεδία επάνω από το επίπεδο αναφοράς. Επίσης, το μέγιστο των επαγωγικών ρευμάτων (κατά μέσο όρο) σε μια επιφάνεια σώματος 1 cm^2 , κάθετα στην διεύθυνση του ρεύματος είναι χαμηλότερο από τους βασικούς περιορισμούς της ICNIRP, ενώ το μέγιστο μαγνητικό πεδίο μπορεί να υπερβαίνει τα επίπεδα αναφοράς.

Σημειώστε ότι για σύνθετα πεδία πολλαπλών συχνοτήτων, με σύνθετες μη-ημιτονοειδείς κυματομορφές όπως εκείνες που παράγονται από τις εστίες επαγωγικής θέρμανσης, οι οδηγίες της ICNIRP παρέχουν μια διαδικασία αθροίσματος για τα διάφορα τμήματα συχνοτήτων. Επιπλέον, οι οδηγίες παρέχουν μια εναλλακτική μέθοδο αξιολόγησης βασισμένη σε μια λειτουργία στάθμισης. [A-15]

8.3. Μαγνητικοί Τομογράφοι MRI

Η απεικόνιση μαγνητικής αντήχησης (Magnetic Resonance Imaging - MRI) είναι μια τεχνική απεικόνισης που χρησιμοποιεί ισχυρά μαγνητικά πεδία συνεχούς ρεύματος, ταχέως μεταστρεφόμενα κλιμακούμενα μαγνητικά πεδία, και ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων. Μπορεί να απεικονίσει μαλακούς ιστούς – χωρίς να εμποδίζεται από τα οστά – με ενισχυμένη αντίθεση, συγκρινόμενη με την υπολογιστική τομογραφία των ακτίνων Χ. Επιπλέον, η δυνατότητα να παρέχονται εικόνες σε πλήθος ελεύθερα επιλέξιμων πλάνων (από την άποψη του αριθμού και του προσανατολισμού) χωρίς να απαιτείται επανατοποθέτηση του ασθενούς, έχει κάνει την MRI ένα πολύ αποτελεσματικό και σημαντικό εργαλείο στην ιατρική απεικόνιση μαλακού

ιστού. Πράγματι, αποτελεί πλέον τη συνηθισμένη ραδιολογική επιλογή για ένα μεγάλο αριθμό διαγνωστικών διαδικασιών.

Εξ αιτίας του σχεδιασμού του, ένα συμβατικό σύστημα MRI που λειτουργεί στα 1 T (Tesla) είναι απίθανο να εκθέσει το ραδιολογικό προσωπικό του σε επίπεδα πεδίου πάνω από τους βασικούς περιορισμούς. Μερικά νεώτερα ανοικτά συστήματα MRI στα 0,7 T επιτρέπουν στο ιατρικό προσωπικό να διενεργεί παρεμβατικές διαδικασίες στους ασθενείς υπό τη καθοδήγηση της μαγνητικής απεικόνισης. Παρά την επιτυχία αυτή, οι διαγνωστικές πιθανότητες απέχουν πολύ από το να εξαντληθούν. Υψηλότερα στατικά πεδία και συνεπώς υψηλότερα πεδία ραδιοσυχνότητας προσφέρουν νέες δυνατότητες απεικόνισης που στοχεύουν πλέον τα μόρια. Συνεπώς, οι συσκευές πρέπει να καταρτιστούν σε συμβατικές συσκευές μέχρι 2 T, σε συσκευές που απαιτούν έλεγχο του ασθενούς (>2 T και μέχρι 4 T) και σε συσκευές όπου οι εφαρμογές πρέπει να κατευθύνονται από ηθικές εκτιμήσεις κινδύνου/ωφελειών (> 4 T). Ανάλογα με την κατηγορία, δεν βεβαιώνεται πλέον ότι εκπληρώνονται οι βασικές προϋποθέσεις κατά τη διάρκεια της επαγγελματικής έκθεσης, και ιδιαίτερα σχετικά με την μερική έκθεση σώματος (των χεριών, του κεφαλιού ή του κορμού). Είναι πιθανό ότι χέρια, κεφάλια ή κορμοί που εκτέθηκαν υπό τέτοιους όρους μπορεί να υπερβαίνουν τις τρέχουσες οδηγίες ασφαλείας, ειδικά για τα κλιμακούμενα πεδία. Το κλιμακούμενο πεδίο είναι χαμηλότερο από το στατικό μαγνητικό πεδίο αλλά πάλλεται γρηγορότερα στο χρόνο και είναι μια λειτουργία της τεχνικής απεικόνισης και του σχεδιασμού του συστήματος MRI. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το χρονικό ποσοστό αλλαγής του κλιμακούμενου μαγνητικού πεδίου είναι στενά συνδεδεμένο με την ισχύ του ηλεκτρικού πεδίου που επάγεται μέσα στο σώμα. [A-15] [A-20]

Πρόσφατα, η απαίτηση για αυξανόμενη χωρική ανάλυση και ο υψηλός λόγος σήματος προς θόρυβο (signal to noise ratio - SNR) των οργάνων MRI καθώς και η στοχευόμενη απεικόνιση μορίων έχουν προτρέψει τη χρήση όλο και υψηλότερων μαγνητικών πεδίων (μέχρι 11 T). Αυτή η ανάπτυξη απαιτεί πραγματικά υψηλότερες ραδιοσυχνότητες για τα MRI, οι οποίες, σε γενικές γραμμές, μπορεί όχι μόνο να αυξήσουν το ποσό απόθεσης ισχύος ραδιοσυχνότητας μέσα στο σώμα του ασθενή, αλλά και αυξάνει την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία για τους εργαζόμενους που χρησιμοποιούν τον εξοπλισμό MRI στο περιβάλλον του νοσοκομείου και τους λοιπούς εργαζόμενους που ασχολούνται στην υποστήριξη, τη συντήρηση, την ανάπτυξη και την κατασκευή αυτού του εξοπλισμού. Έχει υπάρξει ιδιαίτερα ενδιαφέρον για την έκθεση του κεφαλιού, του κορμού, και των άκρων στα κλιμακούμενα πεδία, η οποία μπορεί να είναι ουσιαστική σε συγκεκριμένα λειτουργικά περιβάλλοντα. Μερικές πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι η έκθεση στο υπάρχον μαγνητικό πεδίο ενός ολόσωμου MRI των 7 T μπορεί να έχει επιπτώσεις στην νευρολογική συμπεριφορά όπως στην οπτική αντίληψη και στο συντονισμό χέρι-μάτι, αλλά δεν υπήρξε καμία επίδραση στη λειτουργική μνήμη. Η επίδραση εμφανίζεται να εξαρτάται από το τμήμα του δυναμικού πεδίου που παράγεται από τις κινήσεις της κεφαλής (περίπου 150 έως 300 mT/s) και όχι από το στατικό μαγνητικό πεδίο.

Στο κοντινό μέλλον μπορεί να είναι απαραίτητο να ταξινομηθούν τα συστήματα MRI, όπως ταξινομούνται τα συμβατικά συστήματα ως σωρωτές με μαγνητικά πεδία μέχρι 2 T, ως σωρωτές που απαιτείται έλεγχος του ασθενούς (2 T μέχρι 4 T), και ως σωρωτές όπου η εφαρμογή τους πρέπει να κατευθύνεται από ηθικές εκτιμήσεις κινδύνου/ωφελειών (> 4 T). Ανάλογα με την κατηγορία και τη χρήση, οι βασικοί περιορισμοί μπορεί να μην εκπληρώνονται κατά τη διάρκεια της επαγγελματικής έκθεσης, και ιδιαίτερα σχετικά με την μερική έκθεση σώματος (των χεριών, του κεφαλιού ή του κορμού). [A-1],[A-20]

8.4. Τα ηλεκτρικά τραίνα και τα μαγνητικά ανυψούμενα (Magnetically Levitated - MAGLEVs) οχήματα

Τα συστήματα μεταφοράς εδάφους μεγάλης ταχύτητας για επιβατικά ταξίδια μεγάλων αποστάσεων ή μέσα στις πόλεις ήταν σε ενεργό ανάπτυξη πριν γίνουν προφανείς οι περιορισμοί των υπαρχόντων τρόπων μεταφοράς. Αυτή τη στιγμή, αρκετά από τα μεγάλης ταχύτητας ηλεκτρικά συστήματα μεταφορών (συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτροκίνητου τραίνου και του μαγνητικά ανυψούμενου οχήματος) έχουν τεθεί σε εμπορική λειτουργία σε διάφορα μέρη του κόσμου. Αυτά τα μεγάλης ταχύτητας ηλεκτρικά συστήματα μεταφοράς παράγουν σύνθετα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που περιέχουν διάφορες συχνότητες και έχουν μια σύνθετη χωρική διασπορά. Λόγω του μοναδικού τους χαρακτήρα, αυτά είναι δύσκολο να περιγραφθούν πλήρως

τα περιβαλλοντικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία αυτών των συστημάτων. Επομένως, σε αυτό το τμήμα, παρουσιάζονται παραδείγματα από τα εμπορικά συστήματα μαζί με μια περιγραφή του συστήματος MAGLEV που αποτελεί ένα προηγμένο κατευθυνόμενο σύστημα επίγειας μεταφοράς. [A-15]

8.4.1. Ηλεκτροκίνητα τρέινα (Commuter στην Ιαπωνία και το TGV στη Γαλλία)

Στα ηλεκτροκίνητα συστήματα τρέινων, οι μηχανές, οι αναστροφείς (inverters) μεταβλητής τάσης και μεταβλητής συχνότητας (Variable Voltage variable Frequency -VVVF), οι επαγωγείς και άλλες ηλεκτρικές συσκευές είναι οι σημαντικότερες πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Οι πηγές ηλεκτρομαγνητικών πεδίων βρίσκονται κάτω από το πάτωμα του οχήματος των τρέινων και παράγει σύνθετα μαγνητικά πεδία σε συχνότητα και σε διάσπορά. Επιπλέον, η συχνότητα και η διάσπορά του μαγνητικού πεδίου αλλάζουν ανάλογα με τις συνθήκες των οχημάτων όπως ο τρόπος τρέξιματος (επιτάχυνση, σταθερή ταχύτητα, επιβράδυνση, ή ελεύθερο τρέξιμο). Υπάρχει μικρή βιβλιογραφία που περιγράφει τη διάσπορά των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στα ηλεκτρικά συστήματα μεταφορών. Εκεί φαίνεται ότι, σε ηλεκτροκίνητα τρέινα συνεχούς ρεύματος, μέγιστα στατικά μαγνητικά πεδία μέχρι 1,5 mT παρουσιάστηκαν στο πάτωμα επάνω από τον επαγωγέα, αλλά το μαγνητικό πεδίο μειώνεται κάτω από 1 mT στα 20 εκατ. επάνω από το επίπεδο του πατώματος. Σε ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, η μέγιστη πυκνότητα είναι 50 μT στο πάτωμα επάνω από έναν αναστροφέα VVVF.

Ηλεκτρομαγνητικά πεδία που μετρήθηκαν σε ένα εμπορικό όχημα TGV έδειξαν ότι η χωρική μέση πυκνότητα στατικών μαγνητικών πεδίων μέσα στο όχημα ήταν 54,5 μT και η μέγιστη ήταν 96,2 μT . Στα 50 έως 60 Hz, το μέσο μαγνητικό πεδίο ήταν 3,05 μT και το μέγιστο ήταν 16,5 μT . [A-15]

8.4.2. Προηγμένα κατευθυνόμενα επίγεια συστήματα μεταφορών Transrapid

Το Transrapid είναι ένα γερμανικό σύστημα MAGLEV που λειτουργεί στη Σαγγάη της Κίνας από το 2003. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία μετρήθηκαν στα πρωτότυπα οχήματα του Transrapid (TR-07) από το αμερικανικό Υπουργείο Μεταφορών. Στα οχήματα TR-07, η μέση πυκνότητα των στατικών μαγνητικών πεδίων ήταν 49,8 μT και η μέγιστη ήταν 98,1 μT σε ένα σημείο 175 εκατ. επάνω από το πάτωμα. Κάτω από αυτό το ύψος, το στατικό μαγνητικό πεδίο υπερέβαινε τα 500 μT και καμία αξιόπιστη μέτρηση δεν έχει αναφερθεί σε αυτό το σημείο. Σε 50 έως 60 Hz, το μέσο μαγνητικό πεδίο ήταν 1,6 μT και το μέγιστο ήταν 4,3 μT σε ένα σημείο 12 εκατ. επάνω από το πάτωμα.

8.4.3. Υπεραγώγιμα MAGLEV

Τα υπεραγώγιμα συστήματα MAGLEV είναι αυτήν την περίοδο υπό ανάπτυξη στην Ιαπωνία. Ενώ έχουν εγκριθεί τεχνικά, αυτά τα συστήματα δεν έχουν τεθεί σε εμπορική χρήση. Χρησιμοποιούν υπεραγώγιμους μαγνήτες (Superconducting Magnets - SCM) για την ανύψωση, την καθοδήγηση και την προώθηση του οχήματος. Επομένως, ένα μοναδικό εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο υπό μορφή εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας, διαλείποντος παλλόμενου μαγνητικού πεδίου παράγεται κοντά στις ράγες από τους κινούμενους υπεραγώγιμους μαγνήτες που βρίσκονται στο όχημα. Λίγες μετρήσεις στα MAGLEV έχουν γίνει μέχρι τώρα. Μια αναφορά έδειξε ότι τα μαγνητικά πεδία ήταν μεταξύ 45 μT (19,3 μT από τους υπεραγώγιμους μαγνήτες SCM) και 268 μT (7,5 μT από τους SCM), έξω από το όχημα. Η συχνότητα του μαγνητικού πεδίου μπορεί να φθάσει μέχρι τα 6,4 Hz σε ταχύτητα 500 χλμ ανά ώρα.

8.4.4. Τρέινο HSST

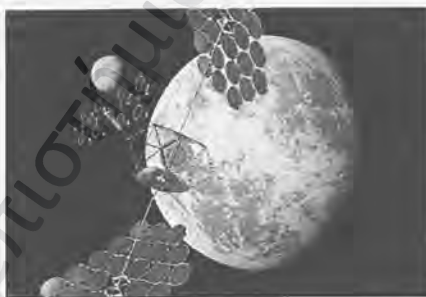
Το τρέινο HSST χρησιμοποιεί ανθεκτικούς μαγνήτες για ανύψωση και προώθηση. Η πρώτη εμπορική γραμμή, με την ονομασία "Linimo" είναι σε λειτουργία από το 2005 στο Αϊτσι

της Ιαπωνίας. Δεν υπάρχει αναφορά για μετρήσεις εντός αχήματος Linimo. Σε ένα όχημα-πρόγονο (τύπου H-200), τα επίπεδα των μαγνητικών πεδίων ήταν μέχρι $1 \mu\text{T}$ για το στατικό μαγνητικό πεδίο στα 10 εκατ. επάνω από το πάτωμα και $100 \mu\text{T}$ στα 10 - 20 Hz επάνω από τον αναστροφέα VVVF του.

Παρατηρούμε ότι τα επίπεδα μαγνητικών πεδίων στα μεταφορικά συστήματα εδάφους μεγάλης ταχύτητας κυμαίνονται πάνω σε πολλές τάξεις μέγεθους (από λίγα μT μέχρι πολλά mT). Συγκεκριμένα για το προαναφερθέν σύστημα, τα στατικά μαγνητικά πεδία ποικίλλουν από $1 \mu\text{T}$ μέχρι $1,5 \text{ mT}$, ενώ τα μαγνητικά πεδία εναλλασσόμενου ρεύματος κυμαίνονται από 1 έως $100 \mu\text{T}$. Μια συγκρίσιμη παρατήρηση έγινε για ολόκληρη τη σειρά των συστημάτων μεταφοράς. Είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η έκταση και η διασπορά των μαγνητικών πεδίων που σχετίζονται με τα συστήματα μεταφορών ποικίλλουν αρκετά ανάλογα με τη θέση μέσα ή έξω από το όχημα. Σημαντικότερο είναι ότι η έκταση και η διασπορά της έκθεσης μέσα στο σώμα του προσώπου που λαμβάνει την έκθεση ποικίλλει αρκετά. Όμως, για το ευρύ κοινό, είναι συγκρίσιμη η έκταση της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία στα υπάρχοντα και στα αναπτυσσόμενα συστήματα μεταφορών μεγάλων ταχυτήτων και οι εκθέσεις μπορεί να διαφέρουν πολύ ανάλογα με τις περιεχόμενες συχνότητες. Η συνολική έκθεση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. [A-5], [A-15]

8.5. Ασύρματη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας

Η έννοια της ασύρματης μετάδοσης ισχύος (Wireless Power Transmission - WPT) από τους λειτουργούντες με ηλιακή ενέργεια δορυφόρους (Solar-Power satellites - SPS) προβλέπει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τη ηλιακή ενέργεια στο διάστημα για χρήση επάνω στη Γη. Το σύστημα θα περιελάμβανε την τοποθέτηση ενός αστερισμού δορυφόρων ηλιακής ισχύος σε γεωστατικές τροχιές. Στην εικόνα 23 υπάρχει μια φανταστική απεικόνιση ενός ηλιακού συλλέκτη στο διάστημα. Κάθε δορυφόρος θα παρείχε ισχύ μεταξύ 1 και 6 GW στο έδαφος, χρησιμοποιώντας μια ακτίνα μικροκυμάτων $2,45$ ή $5,8 \text{ GHz}$ (δείτε τον πίνακα 10). [A-15]



Εικόνα 23 Διαστημικοί ηλιοσυλλέκτες

Η κεραία λήψης της ισχύος (Power receiving rectenna) στο έδαφος θα ήταν μια κατασκευή με διάμετρο $1,0$ έως $3,4$ χιλιόμετρα. Η υψηλότερη συχνότητα ($5,8 \text{ GHz}$) έχει προταθεί δεδομένου ότι έχει μια παρόμοια ατμοσφαιρική διαφάνεια.

Αν και, σε γενικές γραμμές, η υψηλότερη συχνότητα θα μπορούσε να περιλάβει ένα μειωμένο μέγεθος κεραιών εκπομπής και λήψης, όπως κανείς μπορεί να δει από τον πίνακα 10, τα τρέχοντα σχέδια έχουν επιλέξει μεγαλύτερες κεραιές εκπομπής και μικρότερες περιοχές λήψης, αλλά με μια μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος στο έδαφος για να συντηρήσουν τη χρήση γης, ειδικά στην Ιαπωνία.

Μια κοινή προσπάθεια μεταξύ του Υπουργείου Ενέργειας (DoE) και της εθνικής αεροδιαστημικής διοίκησης (NASA) στις ΗΠΑ ερεύνησε εκτενώς τη δυνατότητα υλοποίησης ασύρματης μεταφοράς ισχύος μέσω δορυφόρων (SPS-WPT) από το 1976 έως το 1980. Η προσπάθεια παρήγαγε μια έννοια συστημάτων αναφοράς για τους λειτουργούντες με ηλιακή ενέργεια δορυφόρους. Το σύστημα DoE-NASA περιελάμβανε την τοποθέτηση ενός αστερισμού

δορυφόρων ηλιακής ενέργειας (5x10x0,5 χλμ βάθος) σε γεωστατικές τροχιές, κάθε μια από τις οποίες θα παρείχε 5 GW ισχύος σε μεγάλες πόλεις επάνω το έδαφος, χρησιμοποιώντας μια ακτίνα μικροκυμάτων 2,45 GHz. Οι 60 τέτοιοι δορυφόροι του συστήματος αναφοράς προβλέφθηκαν για να παραδίδουν συνολικά 300 GW παραγωγικής ικανότητας. Η κεραία εκπομπής ήταν περίπου 1 χλμ σε διάμετρο, ενώ η κεραία λήψης ισχύος (rectenna) στο έδαφος ήταν μια κατασκευή 10x13 χλμ.

Το Υπουργείο Οικονομίας της Ιαπωνίας, τμήμα Εμπορίου και Βιομηχανίας (METI) ανακοίνωσε σχέδια για να προωθήσει την έρευνα για έναν δορυφόρο παραγωγής ισχύος από ηλιακή ενέργεια και για να αρχίσει έναν γιγάντιο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από ηλιακή ενέργεια μέχρι το 2040. Αυτό το πρόγραμμα αναμένεται να σχεδιάσει και να ενεργοποιήσει ένα σύστημα SPS-WPT που θα εξασφαλίζει ότι τα μικροκύματα δεν θα διέκοπταν τις επικοινωνίες με τα κυψελοειδή κινητά τηλέφωνα ή άλλες ασύρματες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Η Ιαπωνική αεροδιαστημική υπηρεσία εξερεύνησης (Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA) έχει προτείνει και έχει αξιολογήσει διάφορες διαμορφώσεις συστημάτων για λειτουργία στα 5,8 GHz. Παραδείγματος χάριν, το πρότυπο JAXA-2 θα είχε μια μέγιστη πυκνότητα ισχύος 1.000 W/m² στο έδαφος. Ένα μικρότερο σύστημα εκπομπής θα είχε 260 W/m² στην περιοχή λήψης στο έδαφος.

Παράμετροι συστήματος	NASA	JAXA	JAXA-2
Συχνότητα	2,45 GHz	5,8 GHz	5,8 GHz
Συνολική εκπεμπόμενη ισχύς	6,72 GW	1,3 GW	1,3 GW
Μέγιστη πυκνότητα ισχύος στην ακτίνα	22.000 W m ⁻²	630 W m ⁻²	1.140 W m ⁻²
Ελάχιστη πυκνότητα ισχύος	2.200 W m ⁻²	63 W m ⁻²	114 W m ⁻²
Μέγιστη ισχύς/στοιχείο	185 W	0,95 W	1,7 W
Αριθμός στοιχείων κεραίας	97 million	3.450 Million	1.950 million
Απόσταση στοιχείων (Element spacing)	0,75 λ	0,75 λ	0,75 λ
Μέγεθος κεραίας εκπομπής (διάμετρος)	1,0 km	2,6 km	1,93 km
Μέγεθος κεραίας λήψης (διάμετρος)	1,0 km	2,0 km	2,45 km
Μέγιστη πυκνότητα ισχύος πάνω από την κεραία λήψης	230 W m ⁻²	1.800 W m ⁻²	1.000 W m ⁻²

Πίνακας 10 Χαρακτηριστικά συστημάτων ασύρματης μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Οι οδηγίες της ICNIRP είναι 50 W/m² για επαγγελματικά εκτεθειμένα πρόσωπα ή 10 W/m² για το ευρύ κοινό, είτε στα 2,45 GHz είτε στα 5,8 GHz. Η μέση απορρόφηση παραμένει αρκετά σταθερή για συχνότητες επάνω από 2 GHz, εκτός όταν η συχνότητα γίνεται πολύ ψηλότερη, (π.χ. στα 10 GHz), οπότε εμφανίζεται επίδραση στο δέρμα (skin effect). Πάντως η μέγιστη ανεχόμενη έκθεση στα 5,8 GHz θα ήταν βασικά η ίδια όπως στα 2,45 GHz. [A-5],[A-15]

Όπως μπορούμε να δούμε από τον πίνακα 10, στο κέντρο της μικροκυματικής ακτίνας, όπου η πυκνότητα ισχύος θα είναι μέγιστη, οι προτεινόμενες πυκνότητες ισχύος κυμαίνονται από 23 μέχρι 180 mW/cm² (230 έως 1.800 W/m²) επάνω στην κεραία λήψης. Στα 2,45 GHz, η πυκνότητα ισχύος σχεδιάζεται να είναι 1,0 W/m² στην περιμετρο της κεραίας λήψης. Πέρα από την περιμετρο της περιοχής της κεραίας λήψης (ή 15 χλμ), οι κορυφές των δευτερευόντων λοβών της ακτινοβολίας της κεραίας θα ήταν λιγότερο από 0,1 W/m². Σαφώς, πέρα από την περιμετρο της κεραίας λήψης, η πιθανή έκθεση θα ήταν αρκετά κάτω από την επιτρεπτή αυτόν τον καιρό για το ευρύ κοινό.

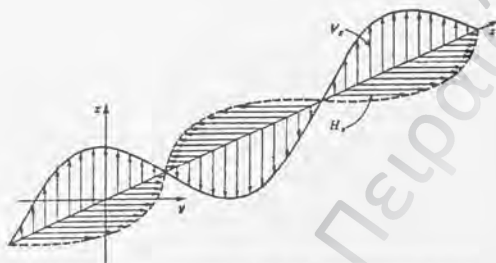
Ο κίνδυνος της απώλειας ελέγχου των καλά εστιασμένων ακτίνων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τεχνικές στενού συντονισμού - σειράς συγχρονισμού και με αυτόματη αφεστίαση της ακτίνας για να διασκορπίσει την ισχύ σε περίπτωση που συμβεί. Η αφεστίαση θα υποβιβάζει την ακτίνα προς ένα πιάο ιστροπικό σχέδιο ακτινοβολίας, το οποίο θα απέδιδε ακόμα χαμηλότερη πυκνότητα ισχύος στο έδαφος.

Κοντά στο κέντρο της μικροκυματικής ακτίνας, οι πυκνότητες ισχύος θα ήταν μεγαλύτερες από τα επαγγελματικά επίπεδα αναφοράς της ICNIRP. Εκτός από το προσωπικό συντήρησης, η ανθρωπινή έκθεση κανονικά δεν θα επιτρεπόταν σε αυτή τη θέση. Στην περίπτωση της επαγγελματικά απαραίτητης παρουσίας, τα προστατευτικά μέτρα όπως τα γυαλιά, τα γάντια και τα ενδύματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να μειώσουν την έκθεση μέσα στα επίπεδα της οδηγίας. [A-5],[A-15]

9. Κεραίες

9.1. Θεωρία Κεραίων

Μιλώντας για ασύρματες επικοινωνίες πρέπει να αναφερθούμε και στον τρόπο μετάδοσής τους. Ουσιαστικά η ασύρματη μετάδοση είναι η μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι ταλαντώσεις που μεταδίδονται στον ελεύθερο χώρο με την ταχύτητα του φωτός. Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετα μεταξύ τους, όπως φαίνεται στην εικόνα 24.



Εικόνα 24 Ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο στο Ηλεκτρομαγνητικό κύμα

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που εκπέμπεται από μια σημειακή πηγή διαδίδεται στον ελεύθερο χώρο ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις και η διάδοση του κύματος είναι σφαιρική. Η πώλωση αναφέρεται στο φυσικό προσανατολισμό του εκππεμπόμενου κύματος στο χώρο. Τα κύματα ονομάζονται πολωμένα (γραμμικά πολωμένα) αν έχουν τον ίδιο προσανατολισμό στο χώρο.

Το μέσο διάδοσης των Η/Μ σημάτων τόσο για την εκπομπή όσο και για τη λήψη, είναι οι κεραίες. Είναι η δομή που σχετίζεται με την περιοχή μετάβασης μεταξύ ενός κύματος που καθοδηγείται από μία γραμμή μεταφοράς και ενός κύματος στον ελεύθερο χώρο, ή και το αντίστροφο. Η κεραία είναι μια (μεταλλική συνήθως) κατασκευή σχεδιασμένη ώστε να παρέχει ζεύξη μεταξύ του κενού και της εξόδου του πομπού ή της εισόδου στον δέκτη. Ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία (είτε είναι κινητό τηλέφωνο, είτε ασύρματος αισθητήρας είτε οτιδήποτε άλλο), υπάρχει η ανάλογη κεραία. Ανάλογα με την κατασκευή της κεραίας ή τη χρήση της, μπορεί να έχουμε τα παρακάτω είδη κεραίων: κεραίες σύρματος, κεραίες ανοίγματος, κεραίες μικροταινίας, στοιχειοκεραίες, κεραίες ανακλαστήρα και φακοειδείς κεραίες.

Κύρια είδη κεραίων σύρματος είναι το ευθύγραμμο σύρμα (δίπολο), ο βρόχος και η έλικα. Η πιο κοινή από αυτές είναι ο κυκλικός βρόχος, επειδή είναι απλούστερος στην κατασκευή.

Οι κεραίες ανοίγματος απαντώνται σήμερα πιο συχνά απ' ό,τι στο παρελθόν, επειδή αυξάνεται η απαίτηση για πολυπλοκότερες κεραίες και επειδή αυξάνεται διαρκώς η συχνότητα λειτουργίας τους. Οι κεραίες αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικροκυματικές ζεύξεις. Η πιο σημαντική από αυτές, η κεραία χοάνης, χρησιμοποιείται σαν στοιχείο τροφοδοσίας μεγάλων παραβολικών κατόπτρων.

Οι κεραίες μικροταινίας αποτελούνται από μία μεταλλική λωρίδα πάνω σε ένα γειωμένο υπόστρωμα. Η μεταλλική λωρίδα παίρνει διάφορες μορφές. Η ορθογώνια και η κυκλική είναι οι πιο δημοφιλείς. Κατασκευάζονται εύκολα στοποθεούνται εύκολα στην επιφάνεια αεροσκαφών, διαστημοπλοίων, πυραύλων, αυτοκινήτων ακόμα και κινητών τηλεφώνων.

Μερικές φορές τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ακτινοβολίας δε μπορούν να επιτευχθούν με ένα μόνο στοιχείο ακτινοβολίας, οπότε χρησιμοποιούνται ομάδες τέτοιων στοιχείων, που συνδέονται με ένα ορισμένο ηλεκτρικό ή γεωμετρικό τρόπο (στοιχειοσειρά) που αποτελεί τη στοιχειοκεραία. Τα στοιχεία μπορεί να συνδέονται με τρόπο ώστε η στοιχειοσειρά να δίνει ένα μέ-

γιστο ακτινοβολίας σε μία ορισμένη διεύθυνση ή διευθύνσεις, ελάχιστο σε άλλες ή οποιοδήποτε άλλο επιθυμητό χαρακτηριστικό ακτινοβολίας. Η γνωστή μας κεραία τηλεοράσεως είναι μια στοιχειοκεραία.

Η ανάγκη επικοινωνίας σε μεγάλες αποστάσεις επέβαλε τη χρήση πολύπλοκων κεραιών ικανών να λαμβάνουν και να εκπέμπουν αντανακλώντας σήματα που ταξιδεύουν σε εκατομμύρια χιλιόμετρα. Αυτές είναι οι κεραίες ανακλαστήρα. Ο κοινός τύπος τέτοιων κεραιών είναι ο παραβολικός ανακλαστήρας, ενώ ένας ακόμη τύπος είναι ο γωνιακός ανακλαστήρας.

Όπως στην οπτική οι φακοί αλλάζουν την κατεύθυνση του φωτός, οι φακοειδείς κεραίες χρησιμοποιούνται για τη συγκέντρωση μίας αποκλίνουσας ενεργειακής δέσμης, αποτρέποντας τη διασπορά της σε ανεπιθύμητες κατευθύνσεις. Με το κατάλληλο σχήμα και υλικό, οι φακοειδείς κεραίες μπορούν να μετασχηματίσουν διάφορες μορφές αποκλίνουσας ενέργειας σε επίπεδα κύματα, και να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές όπως και οι παραβολικοί ανακλαστήρες, προπαντός στις μεγάλες συχνότητες. Οι φακοειδείς κεραίες ταξινομούνται είτε με βάση το υλικό κατασκευής τους, είτε με βάση τη γεωμετρία τους.



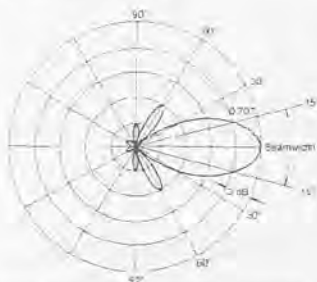
Εικόνα 25 Διάφοροι τύποι κεραιών

Υπάρχουν διαφορετικού τύπου κεραίες (εικόνα 25) των οποίων το μέγεθος και το σχήμα εξαρτάται βασικά από τη συχνότητα λειτουργίας των διαφόρων συσκευιών. Στον πίνακα 11 βλέπουμε την αντιστοίχιση μεταξύ συχνότητας και μήκους κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Συχνότητα	Συμβολισμός	Ονομασία	Μήκος κύματος
3-30 kHz	VLF	Very Low Frequency	100 - 10 km
30-300 kHz	LW	Long Waves	10 - 1 km
300-3000 kHz	MW	Medium Waves	1 - 0,1 km
3-30 MHz	SW	Short Waves	100 - 10 m
30-300 MHz	VHF	Very High Frequency	10 - 1 m
300-3000MHz	UHF	Ultra High Frequency	100 - 10 cm
3-30 GHz	SHF	Super High Frequency	10 - 1 cm
30-300 GHz	EHF	Extreme High Frequency	10 - 1 mm

Πίνακας 11 Σχέση συχνότητας και μήκους κύματος

Για να παρατηρήσουμε τη συμπεριφορά της κεραίας χρησιμοποιούμε το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας (ή απλώς διάγραμμα κεραίας) το οποίο είναι η γραφική παράσταση (ή η μαθηματική συνάρτηση) των ιδιοτήτων ακτινοβολίας της κεραίας σε συνάρτηση με τον χώρο. Περισσότερο μας ενδιαφέρει η δισδιάστατη ή τρισδιάστατη χωρική κατανομή της ακτινοβολούμενης ενέργειας σε σχέση με την θέση του παρατηρητή κατά μήκος μίας γραμμής ή επιφάνειας σταθερής ακτίνας. Παράδειγμα διαγράμματος κεραίας φαίνεται στην εικόνα 26.



Εικόνα 26 Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας

κός λοβός (side lobe) είναι «ένας λοβός ακτινοβολίας που προσανατολίζεται κατά μία διεύθυνση διαφορετική από την επιθυμητή». Οπίσθιος λοβός (back lobe) είναι «ο λοβός ακτινοβολίας που ο άξονας του σχηματίζει γωνία περίπου 180° ως προς τη δέσμη μίας κεραίας».

Για να περιγράψουμε τις ιδιότητες των κεραίων θα χρησιμοποιήσουμε τις λεγόμενες κεραίες συγκρίσεως, οι οποίες μπορεί να μην είναι εξ' ολοκλήρου φανταστικές, αλλά έχουν ιδιότητες που είναι εύκολο να συλληφθούν νοερά.

Μια από τις πιο σημαντικές κεραίες συγκρίσεως είναι η ιστροτροπική κεραία, η οποία δεν είναι δυνατό να υπάρξει στην πράξη. Παρόλα αυτά, εφαρμόζεται με την ιδιότητα της συνολικά μη κατευθυντικής ακτινοβολίας (δηλαδή έχει ένα τέλεια σφαιρικό διάγραμμα ακτινοβολίας), γεγονός που την καθιστά άκρως χρήσιμη για να περιγράψει το κέρδος των πρακτικών κεραίων.

Μια άλλη χρήσιμη κεραία συγκρίσεως είναι το στοιχειώδες δίπολο. Αυτό ορίζεται ως ένα κομμάτι ενός άπειρου λεπτού σύρματος, με μήκος που είναι αμελητέο συγκρινόμενο με το μήκος κύματος του σήματος που ακτινοβολείται, και έχοντας σταθερό ρεύμα κατά μήκος του. Αυτή η κεραία είναι πολύ χρήσιμη στο ότι οι ιδιότητές της βοηθούν στην κατανόηση των ιδιοτήτων των πρακτικών διπόλων, (δηλαδή των μακρικών, λεπτών συρμάτων που χρησιμοποιούνται συχνά στην πράξη).

Τα δίπολα μπορεί να είναι συντονισμένα, που σημαίνει ότι το μήκος τους είναι πολλαπλάσιο του μισού μήκους κύματος του σήματος, ή μη συντονισμένα, όταν δεν υπάρχει ανακλώμενο κύμα (για παράδειγμα τερματίζοντας την κεραία σε μια αντίσταση σε πιο μακρινό σημείο από το σημείο τροφοδοσίας). Ενώ τα διαγράμματα ακτινοβολίας των συντονισμένων κεραίων είναι δικατευθυντικά, λόγω τόσο των απευθείας όσο και των ανακλώμενων κυμάτων, αυτά των μη συντονισμένων είναι μονοκατευθυντικά, αφού δεν υπάρχει ανακλώμενο κύμα.

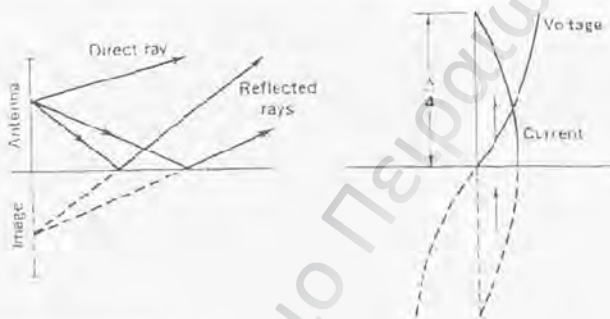
Η κεραία έχει δύο εύρη ζώνης, και τα δύο μετρούμενα μεταξύ των σημείων ημίσειας ισχύος. Το ένα σχετίζεται με την αντίσταση ακτινοβολίας και το άλλο με το διάγραμμα ακτινοβολίας. Η αντίσταση ακτινοβολίας είναι η ωμική συνιστώσα εναλλασσομένου ρεύματος της σύνθετης αντίστασης εισόδου της κεραίας. Το εύρος δέσμης ακτινοβολίας μιας κεραίας είναι η γωνία μεταξύ των σημείων ημίσειας ισχύος του κύριου λοβού του διαγράμματος ακτινοβολίας. Επειδή τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ακτινοβολούνται από μια κεραία έχουν τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου σε ορθές γωνίες μεταξύ τους και με τη σειρά τους κάθεται στην διεύθυνση διάδοσής, λέγεται ότι είναι πολωμένα, όπως είναι και η ίδια η κεραία. Η διεύθυνση της πόλωσης θεωρείται ότι είναι η ίδια με τον προσανατολισμό του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου του ακτινοβολούντος κύματος. Απλές κεραίες μπορούν λοιπόν να είναι οριζόντια ή κατακόρυφα πολωμένες (δηλαδή οι ίδιες οριζόντιες ή κατακόρυφες), αντίστοιχα. Πιο πολύπλοκες κεραίες μπορούν να είναι κυκλικά πολωμένες, τόσο κατακόρυφα όσο και οριζόντια πολωμένα κύματα ακτινοβολούνται, με ίση ισχύ και τα δύο. Αν οι δύο συνιστώσες δεν έχουν την ίδια ισχύ, τότε η κεραία λέγεται ότι είναι ελλειπτικά πολωμένη.

Οι διαστάσεις, το μέγεθος και το σχήμα των κεραίων σχετίζεται άμεσα και εξαρτώνται από το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου σήματος πχ το μηχανικό μήκος (mechanical length) μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα της συχνότητας του κύματος αφού ως γνωστόν ισχύει η σχέση:

$L = c/f$ όπου L : το μήκος της κεραίας, c : η ταχύτητα του φωτός και f η συχνότητα

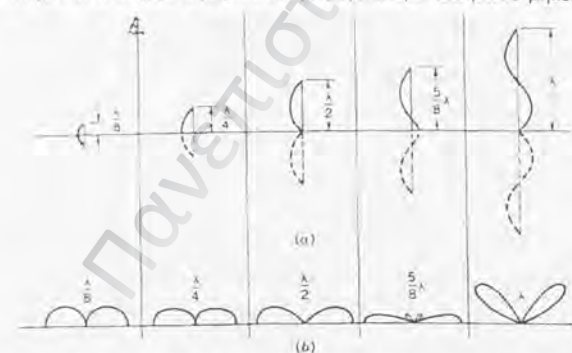
Συνεπώς, στην περίπτωση της κεραίας διπόλου η οποία λειτουργεί στα 50 MHz, το μήκος της θα πρέπει να είναι 6m.

Πολλές κεραίες τοποθετούνται κοντά στο έδαφος, το οποίο σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, θα ανακλά τα ραδιοκύματα αφού λειτουργεί σαν αγωγός, (εικόνα 27). Επομένως, οι κεραίες που βασίζονται στην παρουσία εδάφους πρέπει να είναι κατακόρυφα πολωμένες, διαφορετικά το έδαφος θα βραχυκυκλώσει τις ακτινοβολήσεις τους. Όταν το έδαφος είναι καλός αγωγός, μετατρέπεται ένα δίπολο εδάφους σε ένα διπλάσιου μήκους, ενώ μετατρέπει ένα δίπολο που βρίσκεται σε κάποιο ύψος από το έδαφος σε μια στοιχειοκεραία δύο διπόλων. Αν το έδαφος είναι ένας φτωχός ανακλαστήρας αλλά εμείς θέλουμε να το χρησιμοποιήσουμε για να μειώσουμε το μήκος του διπόλου, θα πρέπει να χρησιμοποιείται εναλλακτικά μια οθόνη εδάφους, αποτελούμενη από ένα δίκτυο κρυμμένων συρμάτων που ακτινοβολούν από την βάση της κεραίας.



Εικόνα 27 Γειωμένο δίπολο

Για κατακόρυφα γειωμένα δίπολα, που λειτουργούν σε συχνότητες μέχρι την MF ζώνη, το βέλτιστο ενεργό ύψος είναι λίγο μεγαλύτερο του μισού μήκους κύματος, παρόλο που διαγράμματα ακτινοβολίας κεραίων με ύψη μεταξύ ενός τετάρτου και μισού



Εικόνα 28 Γειωμένα δίπολα με διαφορετικά μήκη (α) και το αντίστοιχο διάγραμμα ακτινοβολίας (β)

ήνονται για διαφορετικές τιμές του μήκους κύματος τα διαφορετικά διαγράμματα ακτινοβολίας.

Μια μέθοδος για να ξεπεραστούν τα παραπάνω προβλήματα είναι ο εφοδιασμός της με το top loading. Αυτό είναι ένα οριζόντιο τμήμα στην κορυφή της κεραίας, του οποίου η παρουσία αυξάνει το ρεύμα κατά μήκος του κάθετου τμήματος. Μαζί με το περιορισμένο πάχος της κεραίας, το top loading επηρεάζει το ενεργό ύψος της κεραίας, κάνοντάς το λίγο μεγαλύτερο από το πραγματικό. Στην εικόνα 29 φαίνεται μια κεραία με top-loading.

Τα δίκτυα αντίδρασης, γνωστά ως συζεύκτες κεραίων, χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τις κεραίες με τους πομπούς ή τους δέκτες. Οι κύριες λειτουργίες τους είναι να «αποκόψουν» την συνιστώσα αντίδρασης της σύνθετης αντίστασης της κεραίας, να μετασχηματίσουν την υπολειπόμενη ωμική συνιστώσα σε μια κατάλληλη τιμή και να βοηθήσουν στο να αποκοπούν οι ανεπιθύμητες συχνότητες, κυρίως στις κεραίες εκπομπής. Ο συζεύκτης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει μια κεραία εδάφους με μια ισοροπημένη γραμμή μεταφοράς ή ακόμα για να εξασφαλίσει ότι η κεραία εκπομπής είναι απομονωμένη για το συνεχές ρεύμα από την έξοδο του πομπού.



Εικόνα 29 Κεραία με top-loading

9.2. Χρήση Κεραίων

Οι επικοινωνίες σημείο προς σημείο (point to point) είναι η επικρατέστερη απαίτηση στην ζώνη MF, αξιωνόντας κεραίες με καλές ιδιότητες κατευθυντικότητας. Κατευθυντικές MF κεραίες είναι γενικά στοιχειοκεραίες, όπου οι ιδιότητες των δίπολων συνδυάζονται για να παράγουν το επιθυμητό διάγραμμα ακτινοβολίας. Γραμμικές διπολικές στοιχειοκεραίες χρησιμοποιούνται συχνά, με μετωπικά ή αξονικά διαγράμματα ακτινοβολίας, ανάλογα από το πώς τροφοδοτούνται τα δίπολα στην στοιχειοκεραία. Οποιοδήποτε δίπολο της στοιχειοκεραίας δεν τροφοδοτείται απευθείας ονομάζεται παρασιτικό στοιχείο. Αυτά τα στοιχεία λαμβάνουν ενέργεια από το πεδίο επαγωγής που περιβάλλει τα διεγερόμενα στοιχεία: είναι γινώστα ως κατευθυντήρες όταν το μήκος τους είναι μικρότερο του διεγερόμενου στοιχείου και ανακλαστήρες όταν είναι μεγαλύτερο. Η κεραία Yagi-Uda (εικόνα 30) χρησιμοποιεί ένα αναδιπλωμένο δίπολο και παρασιτικά στοιχεία για να αποκτήσει ένα λογικό κέρδος στις HF και VHF ζώνες. Μια πολύ μεγαλύτερη κεραία, η ρομβική, είναι μια μη συντονισμένη κεραία που επιτυγχάνει

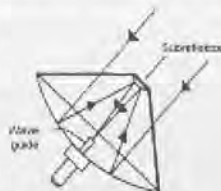


Εικόνα 30 Κεραία Yagi-Uda με ανακλαστήρα και αναδιπλωμένο δίπολο (βέλος)

μια αντίσταση τοποθετημένη στην άλλη άκρη απορροφά την ενέργεια που θα μπορούσε διαφορετικά να ανακλαστεί.

υψηλό κέρδος στην HF ζώνη. Αποτελείται από τέσσερα συρμάνια δίπολα διευθετημένα σε επίπεδο ρόμβου, με τον πομπό ή τον δέκτη τοποθετημένο στο ένα άκρο, ενώ

Από τις μικροκυματικές κεραίες ειδικά απαιτούνται υψηλά κέρδη και στενά εύρη δέσμης. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για αυτό, με τον κυριότερο να είναι ο λαμβανόμενος θόρυβος, μειώνοντας την ισχύ εξόδου για κάθε συσκευή καθώς αυξάνεται η συχνότητα, και η επιθυμία να ελαχιστοποιήσουμε την ισχύ που ακτινοβολείται σε ανεπιθύμητες διευθύνσεις. Επειδή σε αυτές τις συχνότητες είναι εφικτές οι κεραίες πολλαπλών μηκών κύματος, οι παραπάνω απαιτήσεις μπορούν εύκολα να ικανοποιηθούν. Ένας μεγάλος αριθμός μικροκυματικών κεραίων συγχωνεύονται τον παραβολικό ανακλαστήρα στην κατασκευή τους. Ένας τέτοιος ανακλαστήρας κατασκευάζεται από μέταλλο και έχει για τα ραδιοκύματα τις ίδιες ιδιότητες με αυτές που έχει ένας οπτικός καθρέπτης για τα κύματα φωτός. Δηλαδή αν η πηγή τοποθετηθεί στην εστία του παραβολοειδούς, οι ανακλόμενες ακτίνες ευθυγραμμίζονται, ανακλώνται δηλαδή παράλληλες, και αποκτάται ένας πολύ ισχυρός λοβός. Αρκετές διαφορετικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται προκειμένου να τροφοδοτηθεί ο παραβολικός ανακλαστήρας, συμπεριλαμβανομένου της τροφοδοσίας Cassegrain (εικόνα 31), όπου η πηγή είναι πίσω από τον ανακλαστήρα, και ένας δευτερεύων, υπερβολοειδής ανακλαστήρας, τοποθετημένος μπροστά από τον κύριο, χρησιμοποιείται για να παράγει την επιθυμητή ακτινοβολία. Επειδή οι παραβολικοί ανακλαστήρες μπορεί να είναι ογκώδεις, κυρίως στο χαμηλότερο άκρο της μικροκυματικής ζώνης, τμήματα παραβολοειδών ή παραβολικοί κύλινδροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανακλαστήρες. Παρόλο



Εικόνα 31 Cassegrain feed

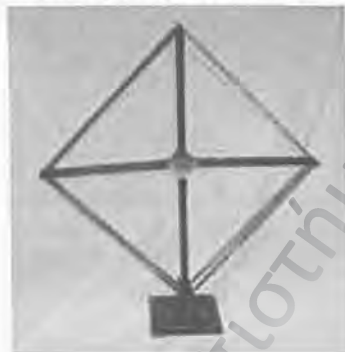
που αυτό μειώνει την κατευθυντικότητα σε κάποιες διευθύνσεις, γενικά δεν δημιουργεί πρόβλημα, για παράδειγμα, σε κάποιες εφαρμογές ραντάρ.



Εικόνα 32 Κεραία τύπου χοάνης

Εκτός από τις παραπάνω, σε χρήση είναι επίσης και άλλες μικροκυματικές κεραίες. Οι κυριότερες είναι οι χοάνες και οι φακοί. Η χοάνη (εικόνα 32) αποτελεί μια ιδανική κεραία για να τερματίσει έναν κυματοδηγό και μπορεί να είναι κωνική, ορθογώνια ή τομέας. Υπάρχουν και πιο πολύπλοκες μορφές χοανών, όπως η τοξοειδής και η χοάνη Cass, οι οποίες είναι στην πραγματικότητα συνδυασμοί χοανών και παραβολοειδών ανακλαστήρων. Οι διηλεκτρικοί φακοί λειτουργούν στην μικροκυματική ζώνη όπως λειτουργούν οι κανονικοί φακοί στο φως. Λόγω του όγκου τους, μπορούν να γίνουν κλιμακωτοί (stepped) ή κατά ζώνες (zoned), αλλά σε κάθε περίπτωση είναι πιο πιθανό να χρησιμοποιηθούν σε πολύ υψηλές συχνότητες. Όπως και οι χοάνες, έχουν καλές ευρείας ζώνης ιδιότητες, εκτός και αν είναι zoned.

Ευρείας ζώνης κεραίες απαιτούνται είτε όταν οι εκπομπές είναι από μόνους τους ευρείας ζώνης (π.χ η τηλεόραση) είτε όταν η κύρια εφαρμογή απαιτεί χρήση στενών καναλιών πάνω σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, όπως στις HF επικοινωνίες. Οι χοάνες, το αναδιπλωμένο δίπολο (και κατά συνέπεια η Yagi-Uda κεραία) και η ρομβική (εικόνα 33) έχουν όλες καλές ιδιότητες ευρείας ζώνης. Το ίδιο ισχύει και για την ελικοειδή κεραία (εικόνα 34), η οποία αποτελείται από έναν χαλαρό έλικα υποστηριζόμενο από



Εικόνα 33 Ρομβική κεραία

μια μεταλλική βάση. Αυτή η κεραία έχει το επιπλέον χαρακτηριστικό ότι είναι κυκλικά πολωμένη και επομένως ιδανική για επικοινωνίες μέσω της ιονόσφαιρας.



Εικόνα 35 Λογαριθμική (Log-periodic) κεραία

Η αρχή της λογαριθμικής περιόδου εφαρμόζεται για την επίτευξη πολύ μεγάλων ευρών ζώνης με σχετικά καλή κατευθυντικότητα. Σε μια λογαριθμική (log-periodic) κεραία (εικόνα 35), τα δίπολα ή τα άλλα βασικά στοιχεία διευθετούνται σε κάποια μορφή σταθερής-γωνίας στοιχειοκεραία στην οποία το ενεργό τμήμα της κεραίας μετακινείται αποτελεσματικά από το ένα άκρο στο άλλο, καθώς αλλάζει η συχνότητα λειτουργίας.



Εικόνα 34 Ελικοειδής κεραία

Μικρές κεραίες πλαισίου (εικόνα 36) χρησιμοποιούνται συχνά στα ραδιογυμνόμετρα, επειδή δεν ακτινοβολούν σε (ή δεν λαμβάνουν ακτινοβολία από) μια κατεύθυνση κάθετη στο επίπεδο του πλαισίου. Επομένως ένα μηδενικό λαμβάνεται σε αυτήν την κατεύθυνση. Τα πλαίσια μπορεί να έχουν διάφορα σχήματα και γενικά αποτελούνται από μια μοναδική στροφή καλωδίου. Μπορεί επίσης

να αποτελούνται από πολλές στρόφες με πυρήνα σιδήρου και κατά συνέπεια αποτελούν την καλύτερη επιλογή για φορητούς δέκτες.



Εικόνα 36 Κεραία πλαίσιο

9.3. Στοιχεία κεραίας

Εξετάζοντας μια κεραία θα πρέπει να έχουμε υπόψη τις βασικές παραμέτρους της, που είναι: Η ένταση ακτινοβολίας της, η κατευθυντικότητα της, η απολαβή (κέρδος) της, η διακριτική της ικανότητα, η θερμοκρασία της και η ενεργός της επιφάνεια.

Ένταση ακτινοβολίας καλείται η ισχύς που ακτινοβολείται από μία κεραία ανά μονάδα στερεάς γωνίας (μετριέται σε watts ανά στερεακτίνο). Η ένταση ακτινοβολίας είναι ανεξάρτητη της απόστασης από την κεραία. Η συνολική ισχύς μιας σημειακής πηγής εξαπλώνεται καλύτερα σε τετραπλάσια περιοχή (σφαιρική) για κάθε διπλασιασμό της απόστασης. Έτσι αν ορίσουμε ως πυκνότητα ισχύος την ακτινοβολούμενη ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας, τότε η πυκνότητα ισχύος ελαττώνεται στο $\frac{1}{4}$ της τιμής της όταν η απόσταση από την πηγή διπλασιάζεται.

Η κεραία μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας δέκτης θορύβου, αφού κάθε αντικείμενο που έχει κάποια θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν ακτινοβολεί. Η ποσότητα της ακτινοβολούμενης ισχύος παριστάνεται από μία ισοδύναμη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία της κεραίας ή θερμοκρασία της αντίστασης ακτινοβολίας της κεραίας προσδιορίζεται από τη θερμοκρασία του χώρου ή αντικείμενου προς το οποίο η κεραία είναι προσανατολισμένη.

Η ενεργός επιφάνεια μιας κεραίας σε μία ορισμένη διεύθυνση, ορίζεται ως ο λόγος της διαθέσιμης ισχύος στους ακροδέκτες μιας κεραίας λήψης, προς την πυκνότητα ροής ισχύος ενός επιπέδου κύματος που προσπίπτει στην κεραία από τη διεύθυνση αυτή.

Συγκεκριμένοι τύποι κεραίων εστιάζουν το διάγραμμα ακτινοβολίας τους σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση συγκριτικά με τις πανκατευθυντικές κεραίες. Ένας διαφορετικός τρόπος περιγραφής της ικανότητας της κεραίας να συγκεντρώνει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία αποτελεί το μέγεθος του κέρδους της κεραίας (μετρούμενο σε decibels). Το κέρδος μιας κεραίας είναι ο λόγος ισχύος μεταξύ μιας πανκατευθυντικής και μιας μονοκατευθυντικής κεραίας. Η μαθηματική έκφραση μέσω της οποίας εκφράζεται και υπολογίζεται είναι η ακόλουθη

$$A(dB) = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

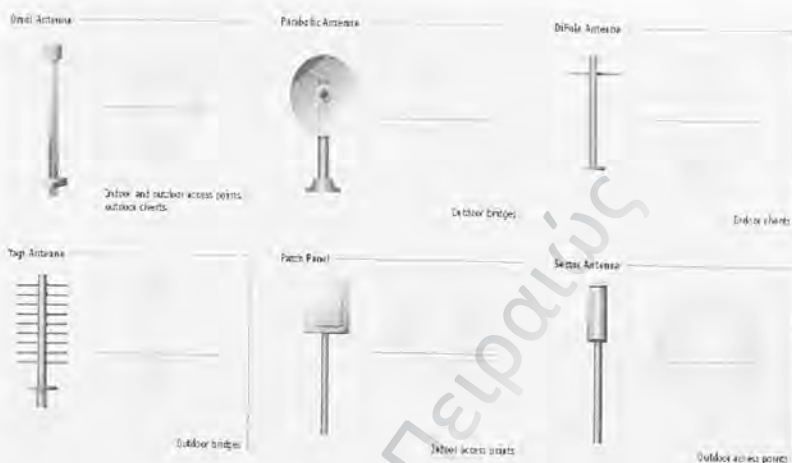
όπου $A(dB)$: το κέρδος της κεραίας σε decibels, P_1 : η εκπεμπόμενη ισχύς της μονοκατευθυντικής κεραίας, P_2 η εκπεμπόμενη ισχύς της ισοτροπικής κεραίας.

Κατευθυντικό κέρδος ορίζεται ο λόγος της πυκνότητας της εκπεμπόμενης ισχύος της κεραίας προς την πυκνότητα ισχύος η οποία θα εκπεμπόταν από μία ισοτροπική κεραία. Η πυκνότητα ισχύος και των δύο τύπων κεραίων μετριέται σε συγκεκριμένη κατεύθυνση και επομένως υπολογίζεται ένας συγκριτικός λόγος.

Σε πραγματική βάση το κέρδος του δίπολου Hertz, σε σχέση πάντοτε με μία πανκατευθυντική κεραία, υπολογίζεται 1,76 dB, ενώ με όμοιο τρόπο η αντίστοιχη τιμή του κέρδους της δίπολης κεραίας μισού κύματος υπολογίζεται 2,15 dB. Αναφορικά με τις κεραίες σύρματος, το κέρδος τους ποικίλει από 2,15 dB (δίπολο μισού κύματος) έως 8,51 dB (στην περίπτωση της δίπολης κεραίας μήκους $l=8\lambda$). Στην περίπτωση δε των παρόμοιων (ως προς το μήκος) μη συντονισμένων κεραίων, οι τιμές κέρδους τους είναι 5,05 dB έως 12,4 dB αντίστοιχα.

Από την σύγκριση των παραπάνω τιμών προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Πρώτον, όταν αυξάνεται το μήκος της κεραίας αυξάνεται η τιμή του κέρδους της κεραίας. Δεύτερον, συγκρίνοντας τα κέρδη των συντονισμένων κεραίων με τα αντίστοιχα των μη συντονισμένων

νων προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι μη συντονισμένες κεραίες παρουσιάζουν μεγαλύτερο κέρδος (γεγονός αναμενόμενο).



Εικόνα 37 Τύποι κεραίων και αντίστοιχα διαγράμματα ακτινοβολίας

Στην εικόνα 37 φαίνονται σχηματικά οι πιο συνηθισμένοι τύποι κεραίας για οικιακή χρήση με τα αντίστοιχα διαγράμματα ακτινοβολίας τους, ενώ στον πίνακα 12 σημειώνονται τα τυπικά τους στοιχεία.

Είδος Κεραίας	Κατακόρυφη	Παραβολική	Διπολική	Yagi-Uda	Μικροταινίας	Γωνιακή
Τύπος	Πανκατευθυντική	Κατευθυντική	Πανκατευθυντική	Κατευθυντική	Κατευθυντική	Κατευθυντική
Κέρδος	5 dBi	20 dBi	2 dBi	10 dBi	5 dBi	12 dBi
Πλάτος Δέσμης	360°	12,5°	360°	55°	75°	90°

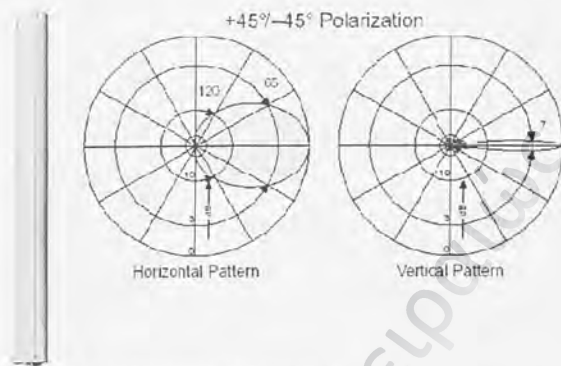
Πίνακας 12 Στοιχεία κεραίων

9.4. Κεραίες σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας

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

Οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας δεν εκπέμπουν σφαιρικά γύρω τους με τον ίδιο τρόπο, αλλά ακτινοβολούν σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις για να επικοινωνούν με τα κινητά τηλέφωνα που βρίσκονται στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί να καλύπτει ο σταθμός βάσης. Είναι, δηλαδή, κατευθυντικές και στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Οι κεραίες αυτές ακτινοβολούν περισσότερο προς την κατεύθυνση του οριζοντία όπου κατευθύνεται η κύρια δέσμη τους και πολύ λιγότερο στις υπόλοιπες. Στην εικόνα 38 φαίνεται αριστερά η όψη και δεξιά τα διαγράμματα ακτινοβολίας (οριζόντιο και κατακόρυφο) κεραίας κινητής τηλεφωνίας της εταιρείας

Kathrein τύπου 739630 που εκπέμπει στη συχνότητα των 900MHz, όπως δίνονται από τον κατασκευαστή.



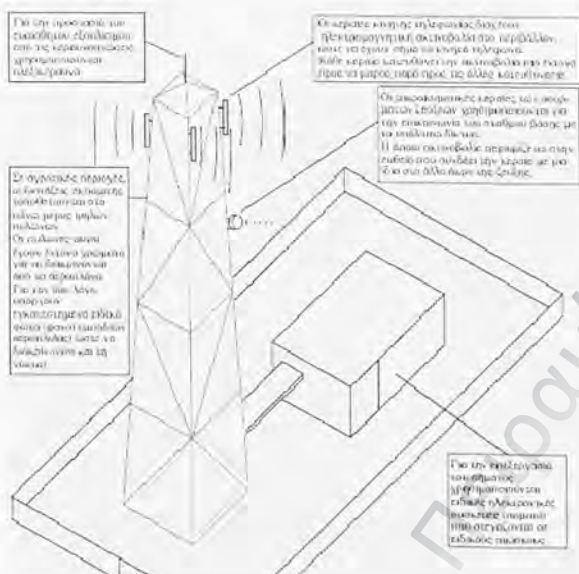
Εικόνα 38 Κεραία βάσης κινητής τηλεφωνίας

Οι μικροκυματικές κεραίες των ασύρματων ζεύξεων είναι υπερκατευθυντικές, εκπέμποντας μια πολύ στενή δέσμη και χρειάζονται δύο όμοιες κεραίες (από μία σε κάθε άκρο της σύνδεσης) για να αποκατασταθεί μια ζεύξη.

Όλη η ακτινοβολία συγκεντρώνεται στη κατεύθυνση της ευθείας που συνδέει τις δύο κεραίες και η ακτινοβολία που διαφεύγει εκτός αυτής είναι σχεδόν μηδενική. Για να αποκατασταθεί η σύνδεση απαιτείται να μην παρεμβάλλεται τίποτα στη νοητή ευθεία μεταξύ των δύο κεραίων.

Μερικές φορές είναι αδύνατο να δημιουργηθεί μια απευθείας σύνδεση μεταξύ ενός σταθμού βάσης και του κέντρου του και έτσι χρησιμοποιείται κάποιος άλλος σταθμός βάσης ως ενδιάμεσος. Στις περιπτώσεις αυτές ο ενδιάμεσος σταθμός βάσης θα έχει περισσότερες από μία μικροκυματικές κεραίες. Υπάρχουν, επίσης, περιπτώσεις που οι σταθμοί βάσης μεταδίδουν τις κλήσεις τους στο κέντρο ενσύρματα π.χ. με κάποιο μισθωμένο κύκλωμα και δεν έχουν καμία μικροκυματική ζεύξη. Οι μικροκυματικές κεραίες χρησιμοποιούνται ευρύτατα και σε άλλες εφαρμογές όπως στις ασύρματες ζεύξεις του ΟΤΕ μεταξύ πόλεων για τα σταθερά τηλέφωνα, σε υπηρεσίες διαδικτύου κλπ.

Στην εικόνα 39 φαίνεται σχηματικά ένας πυλώνας στον οποίο έχουν στηριχθεί μια μικροκυματική κεραία ασυρμάτων ζεύξεων και κεραίες κινητής τηλεφωνίας. [ΣΤ-1]



Εικόνα 39 Σχηματική απεικόνιση πύλωνα κεντρικής τηλεφωνίας και πραγματική φωτογραφία

9.5. Διαχείριση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Το είδος της κεραίας που αναπτύσσεται σε κάθε τεχνολογία έχει άμεση σχέση τόσο με την ισχύ εκπομπής, όσο και με την χρησιμοποιούμενη ραδιοσυχνότητα. Το φάσμα ραδιοσυχνότητας είναι από τη φύση του ένας περιορισμένος πόρος. Πλήθος υπηρεσιών που παρέχονται στον πολίτη καθημερινά βασίζονται στην εκπομπή ραδιοσημάτων (ραδιοφωνία, τηλεόραση, κινητή τηλεφωνία, ευρυζωνικό internet, δίκτυα on-line, αεροπλοΐα, ναυσιπλοΐα, ραδιοταξί, κτλ). Νέες τεχνολογίες εμφανίζονται που στηρίζονται στη χρήση ασύρματων ραδιοσυστημάτων (UMTS, WiFi, WiMax, Ψηφιακή τηλεόραση). Η οικονομία των ανεπτυγμένων κρατών βασίζεται σε σημαντικό βαθμό στις ασύρματες επικοινωνίες (περίπου 5% του ΑΕΠ). Όλα τα παραπάνω δημιουργούν την απαίτηση να υπάρχει συνεχώς διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων, καθαρό από ανεπιθύμητες παρεμβολές. Απαιτείται λοιπόν κρατικοί φορείς να διαχειρίζονται το φάσμα. Η διαχείριση του φάσματος έχει σκοπό την ανάπτυξη μεθόδων ορθολογικής εκχώρησης του φάσματος και την επίλυση προβλημάτων παρεμβολών. Συμβάλλει μεταξύ άλλων στην εξασφάλιση αποδοτικών ασύρματων επικοινωνιών για προσωπική και επιχειρηματική χρήση, στην προώθηση της ανάπτυξης ασύρματων τηλεπικοινωνιακών υποδομών και την παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας, στην ενίσχυση της οικονομικής και κοινωνικής προόδου, στη διασφάλιση των ασύρματων δικτύων των σωμάτων ασφαλείας και των ενόπλων δυνάμεων, στην υποστήριξη των εθνικών και διεθνών συγκοινωνιών και γενικά στην προώθηση της επιστημονικής έρευνας.

Η διαχείριση φάσματος σε διεθνές επίπεδο είναι αρμοδιότητα των παρακάτω φορέων:

- **ITU** - Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union)
- **ICAO** - Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας (International Civil Aviation Organization)
- **IMAO** - Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (International Maritime Organization)
- **WMO** - Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας (World Meteorological Organization)

- **IARU** - Διεθνής Ένωση Ραδιοερασιτεχνών (International Amateur Radio Union)
- **CEPT** - Ευρωπαϊκή Διάσκεψη Διοικήσεων Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (Conférence Européenne des administrations des Postes et des Télécommunications)
- **ERG** – Ομάδα Ευρωπαϊκών Ρυθμιστικών Αρχών (European Regulators Group)
- **IRG** – Ομάδα Ανεξάρτητων Ρυθμιστικών Αρχών (Independent Regulators Group)

Την αντίστοιχη αρμοδιότητα στην Ελλάδα έχει η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ), η οποία είναι μια ανεξάρτητη Αρχή. Είναι υπεύθυνη για τον Εθνικό Κανονισμό Κατανομής Ζωνών Συχνοτήτων(ΕΚΚΖΣ), στον οποίο προβλέπονται:

- Πίνακας Ζωνών Συχνοτήτων
- Διαδικασίες για αποφυγή παρεμβολών
- Μέτρα για βέλτιστη χρήση του φάσματος
- Κανόνες για τη λειτουργία ναυτικής και αεροναυτικής υπηρεσίας
- Έκδοση προτύπων για συστήματα και εξοπλισμό
- Συστάσεις και συμβουλές

Μερικές από τις Υπηρεσίες Ραδιοεπικοινωνιών οι οποίες περιγράφονται στον κανονισμό είναι οι παρακάτω:

- Σταθερή (δορυφορική) υπηρεσία
- Διαδορυφορική υπηρεσία
- Κινητή (δορυφορική) υπηρεσία ξηράς / ναυτιλιακή / αεροναυτική
- Υπηρεσία (δορυφορικής) ευρυεκπομπής
- Ερασιτεχνική (δορυφορική) υπηρεσία
- Υπηρεσία (δορυφορικής) ραδιοπλοήγησης
- Υπηρεσία ναυτιλιακής (δορυφορικής) ραδιοπλοήγησης
- Υπηρεσία αεροναυτικής (δορυφορικής) ραδιοπλοήγησης
- Υπηρεσία (δορυφορικής) ραδιοεπισήμανσης
- Υπηρεσία (δορυφορικού) ραδιοεντοπισμού
- Υπηρεσία λιμενικών λειτουργιών
- Υπηρεσία κίνησης πλοίων
- Υπηρεσία μετεωρολογικών βοηθημάτων
- Υπηρεσία δορυφορικής εξερεύνησης της Γης
- Υπηρεσία δορυφορικής μετεωρολογίας
- (Δορυφορική) Υπηρεσία πρότυπης συχνότητας και σημάτων χρόνου
- Υπηρεσία διαστημικής έρευνας
- Υπηρεσία διαστημικής εκμετάλλευσης
- Υπηρεσία ραδιοαστρονομίας
- Υπηρεσία ασφάλειας

Η ΕΕΤΤ είναι αρμόδια επίσης να προτείνει στο Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών την εκχώρηση δικαιώματος Χρήσης Συχνοτήτων και συγκεκριμένα μπορούν να εκχωρηθούν

- δικαιώματα χρήσης ζώνης ραδιοσυχνοτήτων (π.χ. για τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, για τα συστήματα TETRA, σταθερής ασύρματης πρόσβασης, κτλ.). Η εκχώρηση γίνεται μέσω διαδικασίας πλειστηριασμού ή πλειοδοτικού διαγωνισμού. Ο χρήστης που επιλέγεται διαχειρίζεται μόνος του τη εκχωρούμενη ζώνη συχνοτήτων, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην άδειά του. Τα τέλη χρήσης προκύπτουν μέσα από τη διαδικασία επιλογής.

- δικαιώματα χρήσης μεμονωμένων συχνοτήτων (π.χ. ραδιοδικτυα, ραδιοζεύξης). Η εκχώρηση γίνεται με χρονική προτεραιότητα. Ο χρήστης χρησιμοποιεί μόνο τις εκχωρηθείσες μεμονωμένες συχνότητες, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην άδειά του. Η διαχείριση του γει-

τονικού φάσματος γίνεται από τη Ρυθμιστική Αρχή. Τα τέλη χρήσης ορίζονται μέσα από το υφιστάμενο κανονιστικό πλαίσιο.

Έχοντας την εποπτεία του φάσματος, είναι αρμόδια για την επίλυση προβλημάτων παρεμβολών σε νόμιμους χρήστες, για τον εντοπισμό παράνομων εκπομπών και παροχή τεχνικής συνδρομής στις δικωτικές αρχές για την καταστολή τους, για τον έλεγχο των τεχνικών χαρακτηριστικών εκπομπής για τους αδειοδοτημένους χρήστες και για μετρήσεις κατάληψης φάσματος.

9.6. Νομικό πλαίσιο για τη διαχείριση του Η/Μ φάσματος

Στην Ελλάδα το νομικό πλαίσιο που αφορά τη διαχείριση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και την κατασκευή κεραιών για εκπομπή ή/και λήψη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, έχει εναρμονισθεί με τις διατάξεις της νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πιο συγκεκριμένα, έχουν ενσωματωθεί στο ελληνικό δίκαιο με τις παρακάτω νομοθετικές πράξεις:

Ο νόμος υπ' αριθμ. 2801 «Ρυθμίσεις θεμάτων αρμοδιότητας του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών», που δημοσιεύθηκε στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, (ΦΕΚ 46Α/3 Μαρτίου 2000) καθορίζει ότι για την κατασκευή κεραιάς σταθμού στην ξηρά, που χρησιμοποιείται για την εκπομπή ή/και λήψη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, απαιτείται άδεια, η οποία χορηγείται από το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών. [Γ-5]

Στο ΦΕΚ 739Β/20 Ιουνίου 2006 δημοσιεύεται η απόφαση της ΕΕΤΤ ότι οι κεραιές για τοπικά δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών (WAS/RLAN) που χρησιμοποιούν συσκευές μικρής εμβέλειας (Short Range Devices-SRD) δεν απαιτούν αδειοδότηση, δηλαδή υπάγονται στις διατάξεις του Ν. 2801/2000, όπου δεν απαιτείται άδεια για κατασκευή μικρών κεραιών που προορίζονται για χρήση μεταφοράς δεδομένων τοπικής εμβέλειας (πχ. Εντός βιομηχανικών εγκαταστάσεων, γηπέδων συγκροτημάτων κηρίων κλπ). [Γ-19]

Ο νόμος 3431/2006 «Περί ηλεκτρονικών Επικοινωνιών και άλλες διατάξεις» που δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 13 Α/ 3 Φεβρουαρίου 2006, προβλέπει τα παρακάτω:[Γ-]

- Για τη Διαχείριση Φάσματος σε Εθνικό Επίπεδο, έχουν καθοριστεί οι αρμοδιότητες για τους διάφορους φορείς. Έτσι, το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών (ΥΜΕ) καθορίζει την Εθνική Στρατηγική, διαμορφώνει τον Εθνικό Κανονισμό Κατανομής Ζωνών Συχνότητας (ΕΚΚΖΣ), φροντίζοντας να υπάρχει διεθνής συντονισμός, διαχειρίζεται τα κρατικά δίκτυα, καθορίζει τον ραδιοηλεκτροπτικό χάρτη συχνοτήτων και είναι υπεύθυνο για τα ζητήματα ραδιοερασιτεχνών.
- Η ΕΕΤΤ είναι αρμόδια για τη διαχείριση και εποπτεία του φάσματος στο σύνολο του (με εξαίρεση τα δίκτυα Ραδιοερασιτεχνών και τα δίκτυα για ερευνητικούς σκοπούς, τη διαχείριση των κρατικών δικτύων και τη διαχείριση του ραδιοηλεκτροπτικού φάσματος), για τον έλεγχο αγοράς τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού και για εισηγήσεις στρατηγικού χαρακτήρα.
- Το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας είναι αρμόδιο για τη διαχείριση των δικτύων των Ενόπλων Δυνάμεων και τη διαμόρφωση του ΕΚΚΖΣ.
- Το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας κάνει εισηγήσεις στα ΥΜΕ σχετικά με δίκτυα ναυσιπλοΐας.
- Η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (που ανήκει στο ΥΜΕ) είναι αρμόδια για τη διαχείριση των δικτύων αεροναυτιλίας.
- Το Υπουργείο Δημόσιας Τάξης κάνει εισηγήσεις στο ΥΜΕ σχετικά με δίκτυα Σωμάτων Ασφαλείας.
- Το Εθνικό Συμβούλιο Ραδιοηλεκτρονικής (ΕΣΡ) είναι αρμόδιο για την αδειοδότηση και τον έλεγχο των Ραδιοηλεκτροπτικών Μέσων

Άλλο ένα νομοθέτημα που αφορά τον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό είναι το ΠΔ 44/2002 (ΦΕΚ 44 Α/7 Μαρτίου 2002) «Ραδιοεξοπλισμός και τηλεπικοινωνιακός θερματικός εξοπλισμός και αμοιβαία αναγνώριση της συμμόρφωσης των εξοπλισμών αυτών. Προσαρμογή της ελληνικής νομοθεσίας στην οδηγία 99/5/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 9 Μαρτίου 1999». [Γ-8]

Στο ΦΕΚ 1262 Β/26 Σεπ 2002 δημοσιεύεται η απόφαση 262/107 της ΕΕΤΤ, που αφορά «Ειδικά μέτρα προστασίας των σταθμών εποπτείας του Εθνικού Συστήματος Διαχείρισης και Εποπτείας Φάσματος Ραδιοσυχνοτήτων από επιζήμιες παρενοχλήσεις.[Γ-23]

Επίσης πρέπει να αναφέρουμε τις διεθνείς-Ευρωπαϊκές αποφάσεις με τις οποίες συμφωνούν τα παραπάνω νομοθετήματα

- Την Κοινή Πολιτικοστρατιωτική Συμφωνία ΝΑΤΟ επί Συχνοτήτων 2002 [ΝΑΤΟ Joint Civil/Military Frequency Agreement (NJFA) 2002], 2 Dec.2002.
- Την υπ' αριθμ. 2002/676/ΕΚ απόφαση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 7ης Μαρτίου 2002 σχετικά με ένα κανονιστικό πλαίσιο για την πολιτική του ραδιοφάσματος στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα (απόφαση ραδιοφάσματος).
- Την υπ' αριθμ. 2004/545/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 8ης Ιουλίου 2004, σχετικά με την εναρμόνιση ραδιοφάσματος στην περιοχή των 79 GHz για χρήση ραντάρ μικρής εμβέλειας για οχήματα στην Κοινότητα.
- Την υπ' αριθμ. 2004/50/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής, της 17ης Ιανουαρίου 2005, σχετικά με την εναρμόνιση ραδιοφάσματος στην περιοχή των 24 GHz για χρονικά περιορισμένη χρήση ραντάρ μικρής εμβέλειας για αυτοκίνητα στην Κοινότητα.
- Την υπ' αριθμ. 2005/513/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής, της 11ης Ιουλίου 2005, σχετικά με την εναρμονισμένη χρήση ραδιοφάσματος στη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz για την υλοποίηση συστημάτων ασύρματης πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένων τοπικών δικτύων ραδιοεπικοινωνιών (WAS/RLAN).
- Την υπ' αριθμ. Ε 2005/5503/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 20.12.2005 για την εναρμόνιση της ζώνης συχνοτήτων 169,4 – 169,8125 MHz στην Κοινότητα.
- Την υπ' αριθμ. 2006/771/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 9.11.2006 σχετικά με την εναρμόνιση της χρήσης ραδιοφάσματος από συσκευές μικρής εμβέλειας (SRD).
- Την υπ' αριθμ. 2006/804/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 23.11.2006 σχετικά με την εναρμόνιση του ραδιοφάσματος για συσκευές ραδιοσυχνικής αναγνώρισης (RFID) οι οποίες λειτουργούν στην ζώνη υπερυψηλών συχνοτήτων (UHF).
- Την υπ' αριθμ. 2007/90/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 12.2.2007, για την τροποποίηση της υπ' αριθμ. 2005/513/ΕΚ απόφασης της Επιτροπής της 11.7.2005 σχετικά με την εναρμονισμένη χρήση του ραδιοφάσματος στην ζώνη συχνοτήτων των 5GHz για την υλοποίηση συστημάτων ασύρματης πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένων τοπικών δικτύων ραδιοεπικοινωνιών (WAS/RLAN).
- Την υπ' αριθμ. 2007/98/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 14.2.2007 σχετικά με την εναρμονισμένη χρήση του ραδιοφάσματος στην ζώνη συχνοτήτων των 2 GHz, για την υλοποίηση συστημάτων που παρέχουν κινητές δορυφορικές υπηρεσίες.
- Την υπ' αριθμ. 2007/131/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 21.2.2007 σχετικά με την έγκριση εναρμονισμένης χρήσης του ραδιοφάσματος για εξοπλισμό τεχνολογίας υπερευρείας ζώνης (UWB) στην Κοινότητα.
- Την υπ' αριθμ. 2008/294/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 7.4.2008 σχετικά με εναρμονισμένους όρους χρήσης του ραδιοφάσματος για τη λειτουργία υπηρεσιών κινητών επικοινωνιών σε αεροσκάφη (MCA) στην Κοινότητα.
- Την υπ' αριθμ. 2008/411/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 21.5.2008 σχετικά με την εναρμόνιση της ζώνης συχνοτήτων 3400–3800 MHz για επίγεια συστήματα ικανά να παρέχουν υπηρεσίες ηλεκτρονικών επικοινωνιών στην Κοινότητα.
- Την υπ' αριθμ. 2008/432/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 23.5.2008 για την τροποποίηση της απόφασης 2006/771/ΕΚ σχετικά με την εναρμόνιση της χρήσης ραδιοφάσματος από συσκευές μικρής εμβέλειας.

- Την υπ' αριθμ. 2008/477/ΕΚ απόφαση της Επιτροπής της 13.6.2008 σχετικά με την εναρμόνιση της ζώνης συχνοτήτων 2500–2690 MHz για επίγεια συστήματα παροχής υπηρεσιών ηλεκτρονικών επικοινωνιών στην Κοινότητα.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

10. Ακτινοβολίες – ιονισμός. Ιοντίζουσες και μη ιοντίζουσες Ακτινοβολίες

10.1. Γενικά

Η ύλη αποτελείται από στοιχειώδη «τμήματα»: τα άτομα. Τα άτομα αποτελούνται από ένα κεντρικό πυρήνα, στον οποίο περιέχονται πρωτόνια (θετικά φορτισμένα) και νετρόνια (ουδέτερα). Γύρω από τον πυρήνα περιφέρονται ηλεκτρόνια (αρνητικά φορτισμένα σωματίδια), ίσου αριθμού με τα πρωτόνια, σε καθορισμένες στοιβάδες (ηλεκτρονικούς φλοιούς). Η απόσπαση ενός ή περισσότερων από τα περιφερειακά ηλεκτρόνια του ατόμου, καλείται Ιονισμός. Ο βομβαρδισμός της ύλης με ορισμένα είδη ακτινοβολιών προκαλεί τον ιονισμό της. Οι ακτινοβολίες που έχουν αυτή την ιδιότητα, ονομάζονται ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Οι ιοντίζουσες ακτινοβολίες διαχωρίζονται σε άμεσα ή έμμεσα ιοντίζουσες, καθώς και σε σωματιδιακές ή ηλεκτρομαγνητικές φύσης, όλες δε εκπέμπονται από τα άτομα ή τους πυρήνες των διαφόρων στοιχείων της φύσης.

10.2. Μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες (RF, MW, IR, UV)

Οι μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες που συναντά κανείς πιο συχνά στους εργασιακούς χώρους είναι οι ακτινοβολίες μικροκυμάτων (MW) και ραδιοσυχνοτήτων (RF), καθώς και οι υπεριώδεις (UV) και υπέρυθρες (IR) ακτινοβολίες. Όλες οι παραπάνω είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσης. Ως ηλεκτρομαγνητικές χαρακτηρίζονται οι ακτινοβολίες που έχουν (συνίστανται από) «στατικά», χρονικά μεταβαλλόμενο, ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο.

Οι Η.Μ. ακτινοβολίες ραδιοσυχνοτήτων (RF) εκτός από την προφανή χρήση τους στις τηλεπικοινωνίες, χρησιμοποιούνται συχνότατα και στη βιομηχανία, π.χ. σε επαγωγικούς φούρνους, σε διάφορες συσκευές ελέγχου κατά την παραγωγική διαδικασία κ.α.

Ακτινοβολίες μιας συγκεκριμένης περιορισμένης περιοχής της ευρύτερης κατηγορίας των ραδιοσυχνοτήτων ονομάζονται ακτινοβολίες μικροκυμάτων (MW) και χρησιμοποιούνται κυρίως σε ειδικούς φούρνους, για επαγγελματική, αλλά και για οικιακή χρήση. Η ονομασία αυτή (μικροκύματα) τους δόθηκε λόγω του γεγονότος ότι το μήκος κύματος τους είναι της τάξης των μικρών του μέτρου (μm).

Οι υπέρυθρες (IR) και οι υπεριώδεις (UV) ακτινοβολίες, -οι οποίες στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα βρίσκονται εκατέρωθεν της περιοχής του ορατού-, παράγονται δευτερογενώς και από κοινού σε πάρα πολλές εργασίες, όπως στις κοινές ηλεκτροσυγκολλήσεις, στις ηλεκτροσυγκολλήσεις με πλάσμα, κατά τη δημιουργία ηλεκτρικών τόξων (Arc) κ.ά.

Ειδικά οι IR εκπέμπονται και από τα υπέρθερμα μέταλλα, τη λιωμένη υαλόμαζα, τις λυχνίες IR κ.λπ., ενώ οι UV εκπέμπονται και από τις λυχνίες υπεριώδων, τις λυχνίες φθορισμού κ.λπ.

Στον πίνακα 13 φαίνονται συγκεντρωτικά τα διάφορα είδη ακτινοβολιών, οι συνηθισμένες πηγές παραγωγής τους, τα όρια μήκους κύματός τους και συχνότητων, καθώς και τα σημαντικότερα βιολογικά αποτελέσματα που επιφέρουν



RF Safety Signage

Είδος ακτινοβολίας	Πηγή	Μήκος κύματος	Συχνότητα	Βιολογικά αποτελέσματα
Υπεριώδης UV-A	Υπέυροθρο, ηλιακό φως	318 nm - 400 nm	750 THz - 950 THz	Φωτοχημικός καταρράκτης στο μάτι, ερύθημα και χρωματισμός στο δέρμα
Ορατό φως	Ηλιακό φως, λαμπτήρες, LED, λέιζερ, φωτιά	400 nm - 780 nm	385 THz - 750 THz	Φωτογήρανση δέρματος, Φωτοχημικός & θερμικός τραυματισμός αμφιβληστροειδούς ματιού
Υπέυροθρη IR-A	Λέιζερ, τηλεκοντρόλ	780 nm - 1,4 μm	215 THz - 385 THz	Θερμικός τραυματισμός αμφιβληστροειδούς, θερμικός καταρράκτης, έγκαυμα στο δέρμα
Υπέυροθρη IR-B	Λέιζερ, τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων	1,4 μm - 3 μm	100 THz - 215 THz	Έγκαυμα κερατοειδούς ματιού, καταρράκτης, έγκαυμα στο δέρμα
Υπέυροθρη IR-C	Υπέυροθρα λέιζερ	3 μm - 1 mm	300 GHz - 100 THz	Έγκαυμα κερατοειδούς ματιού, καταρράκτης, θέρμανση της επιφάνειας του σώματος
Μικροκύματα	Wi-Fi, ραντάρ, ανιχνευτές κίνησης, ασύρματα τηλέφωνα, φούρνοι μικροκυμάτων, κινητά τηλέφωνα	1 mm - 33 cm	1 GHz - 300 GHz	Θέρμανση του ιστού του σώματος
Ραδιοσυχνότητες	Κινητά/κιυμελωτά τηλέφωνα, τηλεόραση, ραδιοφωνία(AM, FM, βραχεία), CB, ασύρματα τηλέφωνα	33 cm - 3 km	100 kHz - 1 GHz	Θέρμανση του ιστού του σώματος, αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος
Χαμηλές συχνότητες	Γραμμές ρεύματος υψηλής τάσεως	> 3 km	< 100 kHz	Συσσωρευση φορτισεις στην επιφάνεια του σώματος, διαταραχή των νευρών και των αντανακλαστικών των μυών
Στατικά πεδία	Μαγνητικός τομογράφος, ισχυροί μαγνήτες	(άπειρο)	0 Hz	Μαγνητικά: Ίλιγγος, ζαλάδες, ναυτία Ηλεκτρικά: φόρτιση στην επιφάνεια του σώματος

Πίνακας 13 Είδη ακτινοβολίας και τα βιολογικά αποτελέσματα που επιφέρουν

10.3. Αποτελέσματα της επίδρασης της ακτινοβολίας

Όταν μια ακτινοβολία περνά μέσα από έναν ιστό, μέρος ή το σύνολο της ενέργειάς της μεταφέρεται, με μια τυχαία κατανομή, στα μόρια που συναντά στη διαδρομή της, προκαλώντας αποτελέσματα θερμικά και μη-θερμικά, δηλ. η ενέργεια της ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα ή όχι μέσα στο ανθρώπινο σώμα. Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια μια σειρά από βλάβες κυττάρων, τα οποία αποτελούν δομικά στοιχεία ζωτικών ιστών του ανθρώπινου οργανισμού, όπως των μυϊκών ιστών, των νευρικών ιστών, των γεννητικών ιστών κ.ά. Οι βλάβες μπορεί να συμβούν με δύο μηχανισμούς:

- Με άμεση απορρόφηση της ενέργειας της ακτινοβολίας και μετατροπή της σε θερμότητα, οπότε δημιουργείται μεγάλη τοπική αύξηση της θερμοκρασίας, -με συνέπεια το «πήξιμο» λευκωμάτων, την εξάτμιση του νερού κ.λπ.- και αποτέλεσμα την καταστροφή του κυττάρου, και
- Με έμμεση δράση (ο μηχανισμός της οποίας δεν είναι ακόμη απόλυτα εξακριβωμένος), κατά την οποία το κύτταρο δεν απορροφά ως σύνολο την ενέργεια από την ακτινοβολία, αλλά η ενέργεια της ακτινοβολίας «παραλαμβάνεται έμμεσα» από δομικά στοιχεία του κυττάρου (με φυσικό ή χημικό τρόπο).

Τα αποτελέσματα της επίδρασης της ακτινοβολίας είναι δύο ειδών: Σωματικά και Γενετικά. Και τα δύο είδη επηρεάζονται από ορισμένους χαρακτηριστικούς παράγοντες όπως:

- το είδος της ακτινοβολίας (συχνότητα, πεδίο κ.τ.λ.),
- την ποσότητα της ακτινοβολίας που απορροφήθηκε,

- το ρυθμό της ακτινοβολήσεως,
- την έκταση της περιοχής,
- το όργανο ή μέλος του σώματος που ακτινοβολήθηκε.

Ειδικότερα στα σωματικά αποτελέσματα περιλαμβάνονται Αιματολογικές αλλοιώσεις, Νευρολογικές αλλοιώσεις, Ερύθημα ή έγκαυμα του δέρματος, Καταρράκτης στα μάτια, Ηλεκτροεγκεφαλικές διαταραχές και Ογκογένεση.

Ενώ τα γενετικά αποτελέσματα αφορούν κατά κύριο λόγο το αντρικό φύλο και σφειλούνται στο ότι τα ανδρικά γεννητικά όργανα, τα οποία παράγουν το γενετικό υλικό, έχουν σχετικά ατελές «σύστημα ψύξης» (δίκτυο αιμοφόρων αγγείων) και δεν μπορούν να απαγάγουν αυξημένες, -πάνω από ένα όριο-, ποσότητες θερμότητας. Έτσι, αυξάνεται τοπικά υπερβολικά η θερμοκρασία ευαίσθητων ιστών με συνέπεια τη βλάβη τους, προσωρινή ή και μόνιμη και ως εκ τούτου την κακή ποιότητα ή μείωση της παραγωγής σπερματοζωαρίων.

Ανάλογα με το χρόνο εμφανίσεως, έχουμε πρώιμα και όψιμα αποτελέσματα. Πρώιμα λέγονται, όταν εμφανίζονται αμέσως ή μέσα στις πρώτες εβδομάδες και μπορεί να είναι εγκαύματα ή αλλοιώσεις ιστών, ενώ όψιμα λέγονται, όταν εκδηλώνονται μετά από πολλούς μήνες ή χρόνια και είναι ογκογένεση, καταρράκτης και στείρωση.

Ανάλογα με την απορρόφηση, μπορεί να έχουμε άμεσα και έμμεσα αποτελέσματα. Έτσι, οι υπέρυθρες ακτινοβολίες απορροφώνται πλήρως από τους επιφανειακούς ιστούς (δέρμα) και προκαλούν έγκαυμα αμέσως ενώ οι υπεριώδεις, εκτός από το έγκαυμα, την καρκινογένεση κ.α. προκαλούν και έμμεσα αποτελέσματα, όπως η δημιουργία όζοντος και οξειδίων του αζώτου τα οποία διαφεύγουν στο περιβάλλον, εργασιακό και γενικό, συμβάλλοντας στη «φωτοχημική» ρύπανση του, με όλες τις γνωστές συνέπειες.

Εξαιτίας της επικινδυνότητας των μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών είναι φανερό ότι η χρήση τους πρέπει να είναι λογική και να γίνεται κάτω από έλεγχο. Εθνικοί οργανισμοί, καθώς και η Ευρωπαϊκή Ένωση καθόρισαν, έπειτα από πολυετείς παρατηρήσεις και μελέτες, όρια επιτρεπτών «εκθέσεων» ή «ρυθμών» απορρόφησης ακτινοβολιών εργαζόμενους σε χώρους με μη ιοντιζουσες ακτινοβολίες (M.I.A.) Με την τήρηση των επιτρεπτών ορίων, θεωρείται ότι ο κίνδυνος από τις M.I.A. περιορίζεται σε επίπεδα αναστρεψιμότητας των σωματικών βλαβών που προκαλούνται από τις ακτινοβολίες ή τουλάχιστον μειώνεται σε σχέση με τα οφέλη που απολαμβάνει ο άνθρωπος από τη χρήση τους.

Ακόμη δεν έχει επιτευχθεί παγκοσμίως σαφής συσχέτιση ανάμεσα στην ποσότητα της απορροφούμενης ενέργειας ή της συχνότητας της ακτινοβολίας και στα αναμενόμενα βιολογικά αποτελέσματα (όπως έχει ήδη γίνει για τις ιοντιζουσες) Για τις μη-ιοντιζουσες ακτινοβολίες χρησιμοποιούνται άλλες ποσότητες, πλην της «δόσης», όπως η ένταση του πεδίου, η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας, ο ρυθμός ειδικής απορρόφησης της ενέργειας της κ.ά.

10.4. Αποτελέσματα ακτινοβολήσεως ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη συχνότητα

Ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη συχνότητα, τα αποτελέσματα ακτινοβολήσεως διαφέρουν. Έτσι:

Για χρονικά μεταβαλλόμενα πεδία κάτω του 1 Hz, τα αποτελέσματα της έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες παρατηρούνται στο καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα.

Για πεδία από 1 Hz - 10 MHz τα αποτελέσματα αφορούν και πάλι το νευρικό σύστημα. Η ποσότητα που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό οριακής τιμής είναι ο SAR.

Για πεδία από 100 kHz - 10 GHz τα αποτελέσματα της έκθεσης είναι το ολόσωμο θερμικό στρες και η τοπική υπερθέρμανση ιστών. Σημειώνεται ότι τα πεδία αυτά είναι στην περιοχή της μικροκυματικής εκπομπής (MW). Η ποσότητα που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό οριακής τιμής είναι πάλι ο SAR.

Τέλος για πεδία από 10 GHz - 300 GHz τα αποτελέσματα της έκθεσης είναι η τοπική υπερθέρμανση ιστών, καθώς και των επιφανειών που βρίσκονται πολύ κοντά στο σώμα. Η ποσότητα που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό οριακής τιμής είναι η πυκνότητα ισχύος (S).

10.5. Αποτελέσματα ακτινοβολήσεως σε ειδικές περιπτώσεις

Ειδική μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για να αποφεύγονται δυσμενείς επιδράσεις σε άτομα όπου υπάρχουν ηλεκτρονικές ιατρικές συσκευές, όπως βηματοδότες, απινιδωτές, αλλά και άλλα ειδικά εμφυτεύματα και προσθήκες. Οι συσκευές αυτές είναι δυνατόν να επηρεαστούν σε επίπεδα ακτινοβολίας (πεδίου) κατώτερα από τις οριακές τιμές.

Σε περιπτώσεις όπου μπορεί να υπάρχει πιθανότητα φωτιάς ή έκρηξης, (λόγω ανάφλεξης εύφλεκτων υλικών από σπινθήρες που οφείλονται σε επαγόμενα πεδία ή εκφόρτιση κ.λπ.), πρέπει να λαμβάνεται επίσης ειδική μέριμνα.

Τέλος, σε περιπτώσεις όπου μπορεί να υπάρχουν συσκευές ηλεκτρικά επαγόμενης έκρηξης (πυροκροτητές) πρέπει να αποφεύγεται οποιαδήποτε χρήση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

10.6. Ορισμοί –μονάδες μετρήσεως

Για την κατανόηση τόσο των επιδράσεων των ακτινοβολιών όσο και για τη μέτρησή τους, δίνονται οι ορισμοί συγκεκριμένων βασικών εννοιών και οι μονάδες μετρήσεώς τους.

ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ. Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E) αντιστοιχεί στη δύναμη που ασκείται από το πεδίο πάνω σε ένα φορτισμένο σωματίδιο. Εκφράζεται σε volts ανά μέτρο (V/m).

ΕΝΤΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ. Η ένταση μαγνητικού πεδίου (H) καθορίζει, μαζί με την πυκνότητα μαγνητικής ροής, το μαγνητικό πεδίο σε κάθε σημείο του χώρου. Εκφράζεται σε amperes ανά μέτρο (A/m).

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ (ή Μαγνητική Επαγωγή πεδίου). Η πυκνότητα μαγνητικής ροής (B) αντιστοιχεί στη δύναμη που ασκείται από το πεδίο πάνω σε κάθε κινούμενο φορτίο. Εκφράζεται σε Tesla (T).

Στον ελεύθερο χώρο και στα βιολογικά υλικά, η πυκνότητα μαγνητικής ροής και η ένταση του μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιούνται εναλλακτικά σύμφωνα με την ισοδυναμία: $1 \text{ A/m} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}$.

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΙΣΧΥΟΣ. Η πυκνότητα ισχύος (S) είναι η ποσότητα που χρησιμοποιείται για πολύ υψηλές συχνότητες ακτινοβολίας, όπου το βάθος διείσδυσης στο σώμα είναι μικρό. Αντιστοιχεί με την ισχύ που εισέρχεται κάθετα σε μια επιφάνεια, διαιρεμένη με το εμβαδόν της επιφάνειας. Εκφράζεται σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο (W/m^2).

ΕΙΔΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. Η ειδική απορρόφηση (ενέργειας) (AR) ορίζεται ως η ενέργεια που απορροφάται ανά μονάδα μάζας του βιολογικού ιστού. Εκφράζεται σε joule ανά χιλιόγραμμο μάζας (J/kg). Συνήθως χρησιμοποιείται για περιορισμένα μη-θερμικά αποτελέσματα από παλμική ακτινοβολία μικροκυμάτων.

ΕΙΔΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ. Ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης (Specific Absorption Rate - SAR) ορίζεται ως ο ρυθμός με τον οποίο απορροφάται η ενέργεια της ακτινοβολίας ανά μονάδα μάζας του ιστού και εκφράζεται σε watt ανά χιλιόγραμμο μάζας (W/kg). Δηλαδή

$$\text{SAR} = \frac{1}{10^3} \frac{\sigma}{\rho} E^2$$

όπου σ = αγωγιμότητα του ιστού σε s/m ,

ρ = πυκνότητα μάζας του ιστού σε g/cm^3 ,

E = ένταση ηλεκτρικού πεδίου σε V/m (μέση τετραγωνική ένταση, rms).

Ως ειδικός ρυθμός απορρόφησης λαμβάνεται ο μέσος όρος για όλο το σώμα ή για ένα συγκεκριμένο μέρος του σώματος. Ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης για όλο το σώμα (ολόσωμος) είναι ευρέως αποδεκτή ποσότητα για τη συσχέτιση δυσμενών θερμικών αποτελεσμάτων με την αντίστοιχη έκθεση σε ακτινοβολίες ραδιοσυχνότητας. π.χ. σε εργαζόμενους κοντά σε κεραίες ραδιοπομπών που εκπέμπουν στην περιοχή μερικών MHz.

Από τις παραπάνω ποσότητες, η πυκνότητα της μαγνητικής ροής, η ένταση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου και η πυκνότητα ισχύος μπορούν να μετρηθούν άμεσα με ειδικά

προς ταύτα όργανα. Κατόπιν γίνονται οι κατάλληλοι υπολογισμοί (Οδηγία 2004/40/EC/29-4-2004 της Ε.Ε.) και με βάση αυτούς εκτιμάται, για τον συγκεκριμένο χώρο εργασίας, η έκθεση των εργαζομένων στις Η/Μ ακτινοβολίες.

10.7. Βασικές αρχές ακτινοπροστασίας

Οι βασικές αρχές προστασίας από τις Μ.Ι.Α. είναι:

- η απόσταση,
- η θωράκιση,
- ο χρόνος και
- ο εξοπλισμός ατομικής προστασίας.

Η αύξηση της απόστασης από την πηγή της ακτινοβολίας (π.χ. κεραία κ.λπ.) είναι ο πιο απλός και ανέξοδος τρόπος για τη μείωση της έκθεσης στην ακτινοβολία. Η ένταση της δέσμης (μετεφερόμενη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας διατομής) και επομένως η συνολική 'έκθεση', για ορισμένο χρονικό διάστημα, ελαττώνεται με την απόσταση (R). Ο νόμος αυτός, ισχύει μόνο στην περίπτωση «ευρείας», σε σχέση με τις διαστάσεις του ανθρώπινου σώματος, δέσμης ακτινοβολίας -και όχι δέσμης με συγκεκριμένη κατεύθυνση- ή και για περίπου σημειακή «πηγή».

Η θωράκιση είναι ο πιο ασφαλής τρόπος μείωσης του ρυθμού απορρόφησης, αλλά όχι ανέξοδος. Η αποτελεσματικότητα της θωράκισης εξαρτάται από το είδος, την πυκνότητα και το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται και πρέπει να επιλέγεται κατάλληλα ώστε να έχει ικανοποιητικό συντελεστή απορρόφησης των ακτίνων. Με τη θωράκιση, όπως χρησιμοποιείται στην πράξη, δεν επιδιώκεται ο μηδενισμός της έντασης της δέσμης, αλλά η μείωση της στα επιτρεπτά όρια εντός του χώρου εργασίας. Αν δεν είναι δυνατή η θωράκιση αυτής καθεαυτής της πηγής, για την προστασία των εργαζόμενων (στον ίδιο και στους γειτονικούς χώρους), πρέπει να θωρακίζεται ο χώρος εργασίας, έτσι ώστε η ένταση της ακτινοβολίας μέσα στο χώρο να μειώνεται στα επιτρεπτά όρια.

Ο χρόνος εργασίας μέσα σε ένα χώρο όπου υπάρχουν Μ.Ι.Α. είναι αποφασιστικός παράγοντας. Για δέσμη ακτινοβολίας ορισμένης έντασης η τελική έκθεση ελαττώνεται ανάλογα με την ελάττωση του χρόνου εργασίας. Επομένως, όσο μικρότερος είναι π.χ. ο χρόνος λειτουργίας ενός μηχανήματος εκπομπής ακτινοβολίας ή το χρονικό διάστημα εργασίας κοντά σ' αυτό, τόσο μικρότερη είναι η ολική έκθεση των εκεί εργαζόμενων.

Σε περιπτώσεις όπου όλα τα προηγούμενα μέτρα και αρχές δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν, πρέπει να χρησιμοποιείται κατάλληλος Ε.Α.Π. για την προστασία των εργαζόμενων, όπως ειδικές στολές, μάσκες, γάντια κ.λπ.

Με βάση τα παραπάνω είναι φανερό ότι, εκτός από την τήρηση των βασικών κανόνων προστασίας από τις ακτινοβολίες, πρέπει να αποφεύγεται κάθε άσκοπη έκθεση των εργαζόμενων και να περιορίζεται η έκθεσή τους σ' αυτές όσο είναι λογικά δυνατό.

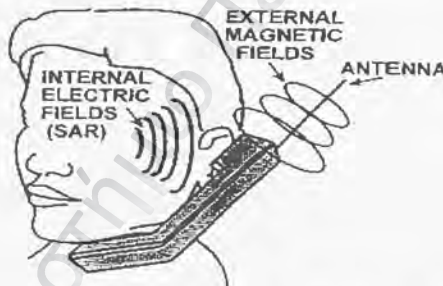
11. Βιολογική δράση της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας

11.1. Γενικά

Η ενέργεια ραδιοσυχνότητας (ΡΣ) είναι μια εναλλακτική ονομασία για τα ραδιοκύματα. Αποτελεί μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που περιλαμβάνει κύματα με συχνότητα από περίπου 3000 κύματα ανά δευτερόλεπτο (3 kHz) μέχρι 300 δισεκατομμύρια κύματα ανά δευτερόλεπτο (300 GHz). Τα μικροκύματα αποτελούν ένα υποσύνολο των ραδιοκυμάτων με συχνότητες που κυμαίνονται περίπου μεταξύ των 300 εκατομμυρίων κυμάτων ανά δευτερόλεπτο (300 MHz) και των τριών δισεκατομμυρίων κυμάτων ανά δευτερόλεπτο (3 GHz).

Το μήκος κύματος των ραδιοκυμάτων ποικίλει μεταξύ των τιμών 1 mm και 10 km. Τα ραδιοκύματα δημιουργούνται από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων στις κεραίες και αναφέρονται και ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ΡΣ, γιατί «ακτινοβολούνται» ταξιδεύοντας στο χώρο απομακρυνόμενα από την πηγή τους (κεραία).

Τα ραδιοκύματα απαρτίζονται από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Μπορούν να ακτινοβολούνται προς όλες τις κατευθύνσεις για ευρυεκπομπή, προς συγκεκριμένες περιοχές του χώρου όπου ενδεχομένως βρίσκεται ένας μετακινούμενος δέκτης, ή προς σταθερούς δέκτες που βρίσκονται σε γνωστές θέσεις. Η κεραία είναι συσκευή σχεδιασμένη για να εκπέμπει και να λαμβάνει ραδιοκύματα. Στην εικόνα 40 φαίνονται σχηματικά τα ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία ενός κινητού τηλεφώνου.



Εικόνα 40 Μαγνητικό και ηλεκτρικό πεδίο τηλεφώνου

Η πλέον σημαντική χρήση της ενέργειας ΡΣ είναι για τις τηλεπικοινωνίες. Οι ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές, τα κινητά τηλέφωνα, τα ασύρματα τηλέφωνα, το σύστημα επικοινωνιών του στρατού, της αστυνομίας και της πυροσβεστικής, τα ασύρματα δίκτυα όλων των μεγεθών, οι δορυφορικές επικοινωνίες πραγματοποιούνται μεταδίδοντας την ενέργεια ΡΣ.

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

Ηλεκτρικά ρεύματα υπάρχουν φυσικά και μέσα στο ανθρώπινο σώμα και είναι απαραίτητα για τις φυσιολογικές σωματικές λειτουργίες. Όλες οι δομές του νευρικού συστήματος λειτουργούν μεταδίδοντας παλμικά ηλεκτρικά σήματα. Οι περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις, από εκείνες που σχετίζονται με την πέψη μέχρι εκείνες που σχετίζονται με την εγκεφαλική λειτουργία, περιλαμβάνουν ηλεκτρικές διεργασίες. Τα βιολογικά αποτελέσματα της έκθεσης του ανθρώπι-

νου σώματος και των κυττάρων του σε εξωτερικά πεδία ΡΣ εξαρτώνται κυρίως από τη συχνότητα και την ένταση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Στις ραδιοσυχνότητες, η ακτινοβολία απορροφάται μερικώς και διεισδύει σε μικρό μόνο βάθος μέσα στο σώμα. Η ενέργεια των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων αυτών απορροφάται και προκαλεί την κίνηση των μορίων. Η τριβή και οι κρούσεις μεταξύ των ταχέως κινουμένων μορίων έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Δύο περιοχές του σώματος, τα μάτια και οι όρχις, είναι ιδιαίτερες ευπαθείς στη θέρμανση ΡΣ διότι χαρακτηρίζονται από χαμηλή αιματική κυκλοφορία και, συνεπώς, ανεπαρκή απαγωγή της αυξημένης θερμότητας.

Τα επίπεδα έντασης των πεδίων ΡΣ στα οποία συνήθως εκτίθεται το κοινό στο καθημερινό περιβάλλον του είναι πολύ ασθενέστερα σε σχέση με αυτά που απαιτούνται για να προκληθεί αξιοσημείωτη τοπική θέρμανση ή αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος. Εκτός, όμως, από τα γνωστά θερμικά αποτελέσματα, υπάρχει σήμερα αυξημένο ενδιαφέρον για τη μελέτη ύπαρξης και άλλων μη θερμικών μηχανισμών αλληλεπίδρασης των ραδιοκυμάτων με τους βιολογικούς ιστούς. Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι τα ραδιοκύματα, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, μπορούν να προκαλέσουν μη θερμικές βιολογικές επιδράσεις σε καλλιέργειες κυττάρων ή πειραματόζωα, χωρίς, ωστόσο, αυτές οι επιδράσεις να σχετίζονται άμεσα με την πρόκληση κάποιας βλάβης στον ανθρώπινο οργανισμό. Επιπλέον, σε μερικές από τις μελέτες αυτές, τα αποτελέσματα εμφανίζονται αντιφατικά, ενώ σε κάποιες άλλες δεν έγινε δυνατό να επαναληφθούν. Είναι φανερό ότι υπάρχει αβεβαιότητα και ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των μηχανισμών που σχετίζονται με μη-θερμικά φαινόμενα και τη συσχέτισή τους με επιβλαβείς βιολογικές επιδράσεις και πιθανά αποτελέσματα στην υγεία. Η έρευνα σε παγκόσμιο επίπεδο συνεχίζεται υπό το συντονισμό του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας.

Θα αναφερθούμε σε μελέτες που έχουν γίνει και θα εξηγήσουμε μονάδες μετρήσεων που θεσπίζονται από διεθνείς οργανισμούς. Έπειτα θα αναλύσουμε το νομικό πλαίσιο διεθνώς και στην Ελλάδα και θα καταλήξουμε στα μέτρα προστασίας που πρέπει να λαμβάνονται.

11.2. Θερμικά αποτελέσματα

Θα εξετάσουμε τα θερμικά αποτελέσματα όλων των Μ.Ι.Α αλλά ειδικότερα των μικροκυμάτων που χρησιμοποιούνται από τα ασύρματα δίκτυα (συχνότητας 2,4 GHz).

Το εύρος των 2,4 GHz είναι η συχνότητα που χρησιμοποιείται στις ασύρματες επικοινωνίες και αποτελούν μικροκύματα. Επειδή ανήκουν στην κατηγορία των μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών, δεν προκαλούν αλλαγές στο DNA αλλά προκαλούν παθήσεις που σχετίζονται με την μετάλλαξη του DNA (π.χ. καρκίνος). Από την άλλη τα μικροκύματα ασκούν ηλεκτρομαγνητική δύναμη στα μόρια του νερού, με αποτέλεσμα αυτά να ταλαντώνονται τόσο γρήγορα που στο τέλος δεν μπορούν να ακολουθήσουν τον ρυθμό και καθυστερούν. Το αποτέλεσμα είναι τα μόρια να απορροφούν μέρος της ισχύος του σήματος και να την απελευθερώνουν σε μορφή θερμότητας. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που τα μικροκύματα χρησιμοποιούνται από τους φούρνους μικροκυμάτων (πιο συγκεκριμένα αν και όλες οι συχνότητες άνω των 2 GHz μπορούν να θερμάνουν το νερό, τα 2,4 επιλέχθηκαν για λόγους σταθερότητας).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να κάνουμε μια σημαντική παρατήρηση. Οι φούρνοι μικροκυμάτων, που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα με τα ασύρματα δίκτυα, συγκεντρώνουν σήματα ισχύος 1 kW σε μια μικρή περιοχή, ενώ στα ασύρματα δίκτυα μιλάμε για σήματα ισχύος το πολύ 100 mW (σύμφωνα με τον ελληνικό νόμο), δηλαδή 10.000 φορές μικρότερη.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταφέρονται από τα σωματίδια που ονομάζονται κβάντα. Στην ψηλή συχνότητα (και άρα στα μικρά μήκη κύματος) η κβαντική ενέργεια είναι πολύ μεγάλη και αποτελεί μεταλλαξογόνο παράγοντα.

Όταν η μεταφερόμενη ενέργεια είναι μεγάλη, τότε σπάζουν οι δεσμοί μεταξύ των μορίων. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο. Προκαλούνται αλλοιώσεις του γενετικού κώδικα του DNA. Το αποτέλεσμα είναι η πρόκληση καρκίνου και άλλων σοβαρών ασθενειών. Ευτυχώς δεν είναι όλα τα είδη ΗΜ ακτινοβολίας που μπορούν να προκαλέσουν αλλοιώσεις στο DNA. Μόνο αυτά που χαρακτηρίζονται από ψηλή συχνότητα, μικρό μήκος κύματος και ψηλή ενέργεια μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στο DNA. Η ακτινοβολία που έχει αυτή τη δυνατότητα ονομάζεται ιοντίζουσα ακτινοβολία. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην οποία υποβαλλόμαστε συνήθως και καθημερινά είναι η μη ιοντίζουσα ακτινοβολία και δεν έχει τέτοιες δυνατότητες για κβάντους. Υπάρχει μόνο μια εξαίρεση στην καθημερινή ακτινοβολία που δεχόμαστε. Πρόκειται για

την ιοντίζουσα ακτινοβολία που προκαλείται από τις υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου. Η έκθεση στο ηλιακό φως και κατά συνέπεια στις υπεριώδεις ακτίνες, είναι αιτία καρκίνου του δέρματος (μελανώματος, ακανθοκυτταρικού και βασεοκυτταρικού καρκινώματος) και άλλων αλλοιώσεων και ρυτίδων. Τα διάφορα είδη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τα πεδία που προκύπτουν, έχουν διαφορετικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό.

Οι επιπτώσεις που προκαλούνται από την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εξαρτώνται κυρίως από δύο παράγοντες:

- Τη Συχνότητα Εκπομπής:
- Την Ισχύ Εκπομπής:

Όσον αφορά τις συχνότητες που ανήκουν στο ραδιοφάσμα (υψηλές ραδιοφωνίας, τηλεόρασης, κινητής τηλεφωνίας), η εκπεμπόμενη ακτινοβολία ονομάζεται «μη ιοντίζουσα», διότι δεν μπορεί να δημιουργήσει ιόντα μέσα στην ύλη, δηλαδή το φωτόνιο της δεν έχει αρκετή ενέργεια, ώστε να εκδιώξει ένα ηλεκτρόνιο από ένα άτομο της ύλης, όπως γίνεται στις πολύ υψηλές συχνότητες (π.χ. ακτίνες Χ), όπου η ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει ιονισμό, επομένως άμεση βλάβη στη βιολογική ύλη, και για το λόγο αυτό ονομάζεται «ιοντίζουσα». Στις ραδιοσυχνότητες, έχει διαπιστωθεί ότι οι κύριες επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι θερμικές.

Όσον αφορά την ισχύ εκπομπής, υπάρχουν διάφορα μεγέθη που ποσοτικοποιούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, με το πιο ευρέως διαδεδομένο στις ραδιοσυχνότητες την Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E (μετριέται σε Βολτ ανά μέτρο), Άλλα μεγέθη είναι η Ένταση του μαγνητικού πεδίου H (μετριέται σε Αμπέρ ανά μέτρο), η Μαγνητική Επαγωγή πεδίου (συμβολίζεται με B και μετριέται σε Τέσλα) και η Πυκνότητα Ροής Ισχύος (συμβολίζεται με S και μετριέται σε Βατ ανά τετραγωνικό μέτρο).

Η αλματώδης αύξηση της χρήσης ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών στην καθημερινή ζωή κατά τις τελευταίες δεκαετίες οδήγησε πολλούς επιστήμονες στην αναζήτηση του τρόπου αλληλεπίδρασης της μη ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την έμβια ύλη για τον καθορισμό ασφαλών ορίων έκθεσης σε αυτήν. Η γενικά αποδεκτή άποψη για τη βιολογική δράση της Η/Μ ακτινοβολίας ήταν ότι αυτή είναι μόνο θερμικού χαρακτήρα, όταν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο από 0,5 μm . Πρόσφατες έρευνες διερευνούν τυχόν μη θερμικά (αθερμικά) αποτελέσματα των Η/Μ κυμάτων με τα βιολογικά συστήματα.

Η ενέργεια της Η/Μ ακτινοβολίας απορροφάται από τους βιολογικούς σχηματισμούς και οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω αύξησης της κινητικής ενέργειας των βιομορίων (π.χ. του νερού), με τρεις κυρίως μηχανισμούς, που φαίνονται σχηματικά στην εικόνα 41 από την επίδραση στο κεφάλι της ακτινοβολίας από χρήση κινητού τηλεφώνου:

- αύξηση της κινητικής ενέργειας των φορέων ηλεκτρικού φορτίου (ιόντων),
- δημιουργία ηλεκτρικών διπόλων και επαγωγή πόλωσης στα μόρια,
- προσανατολισμός ήδη υπαρχόντων διπόλων προς μια κατεύθυνση.



Εικόνα 41 Μηχανισμός αύξησης θερμοκρασίας

Γεννάται όμως το ερώτημα: Πως είναι δυνατό η μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία από τα τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία, ενώ έχει μικρότερη συχνότητα από το φυσικό-ορατό φως να προκαλεί βιολογικά φαινόμενα που δεν μπορεί να προκαλέσει το φυσικό φως; Η απάντηση είναι απλή γιατί τα τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν διαδίδονται με μορφή φωτονίων (σε αντίθεση με το φυσικό φως).

Το φυσικό φως δεν είναι παλωμένο, δεν μπορεί να εμφανίζει φαινόμενα συμβολής, ούτε να προκαλέσει συντονισμό σε παλλόμενα ηλεκτρικά φορτία και εκπέμπεται ασυνεχώς υπό μορφή κυματοπακέτων-φωτονίων. Αντίθετα τα τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται από ηλεκτρικά κυκλώματα, μπορούν να εκπέμπονται συνεχώς και έχουν συγκεκριμένη πόλωση οπότε και μπορούν να προκαλούν φαινόμενα συμβολής, αλλά και να επάγουν εξαναγκασμένα ταλαντώσεις σε ελεύθερα ηλεκτρικά φορτία, όπως τα ελεύθερα ιόντα που βρίσκονται κατά μεγά-

λες συγκεντρώσεις στα κύτταρα παίζοντας καθοριστικό ρόλο στη πλειονότητα των βιολογικών διαδικασιών.

Τις τελευταίες 2-3 δεκαετίες συσσωρεύονται πάρα πολλά δεδομένα για βλαπτικές επιδράσεις στους ζωντανούς οργανισμούς των ΗΜ ακτινοβολιών γενικά, αλλά και ειδικά της μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας των ραδιοσυχνοτήτων και των μικροκυματικών που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας στην κινητή τηλεφωνία.

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει συνεχής-έντονη διεθνής ανησυχία για τις επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προέρχεται από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας και από τα κινητά τηλέφωνα, στην υγεία του ανθρώπου. Έχει μάλιστα διατυπωθεί η άποψη ότι η μαζική έκθεση εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο τα τελευταία χρόνια στα πεδία της κινητής τηλεφωνίας αποτελεί το μεγαλύτερο βιολογικό πείραμα που έχει ποτέ πραγματοποιηθεί.

Η απορρόφηση των Η/Μ κυμάτων και η κατανομή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στα βιολογικά συστήματα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- τις διηλεκτρικές ιδιότητες των ιστών,
- την προσπίπτουσα πυκνότητα ισχύος (W/m^2),
- τη γεωμετρία και τη μάζα του ιστού,
- την πόλωση του προσπίπτοντος κύματος,
- τη μορφή του ακτινοβολητή,
- το μήκος κύματος της ακτινοβολίας,
- τον χρόνο έκθεσης.

Ο ανθρώπινος οργανισμός διαθέτει θερμορρυθμιστικούς μηχανισμούς που κρατούν τη θερμοκρασία του σώματος, σταθερή μεταξύ $36 - 37^\circ C$. Όταν τα παραγόμενα κατά τον ανωτέρω τρόπο ποσά θερμότητας είναι σχετικώς μικρά, τότε οι θερμορρυθμιστικοί μηχανισμοί μπορούν και απάγουν αυτά τα ποσά της θερμότητας διατηρώντας τη θερμοκρασία του σώματος στους $36 - 37^\circ C$. Όταν όμως τα παραγόμενα ποσά θερμότητας υπερβουν κάποια τιμή, τότε οι μηχανισμοί αυτοί δεν μπορούν να ανταποκριθούν πλήρως και έτσι έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας σε ιστούς ή όργανα του σώματος άνω των $37^\circ C$. Είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς ότι οι θερμορρυθμιστικοί μηχανισμοί θα λειτουργήσουν περισσότερο αποτελεσματικά υπό ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες (όχι πολύ υψηλή θερμοκρασία και υγρασία, ελαφρά ενδυμασία κλπ.) Κάτω από τέτοιες συνθήκες ένα υγιές άτομο εκτεθειμένο σε ΗΜ ακτινοβολία είναι σε θέση να αντιμετωπίσει απορροφημένη ισχύ (SAR) μέχρι $4 W/Kg$ (κατά μέσο όρο σε όλο το σώμα) χωρίς να σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας του πάνω από ένα βαθμό.

Όπου υπάρχουν όρια έκθεσης βασίζονται στην πρόληψη της θερμικής βλάβης των ιστών από τη μη ιοντίζουσα ακτινοβολία. Η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από ακτινοβολίες προβλέπει τα ακόλουθα (όρια SAR /6 min, σε επαγγελματική έκθεση σε κινητή τηλεφωνία: για όλο το σώμα $0,4 W/Kg$, για άκρα $2 W/0,1Kg$, και για άλλα σημεία του σώματος, $1 W/0,1 gr$). Τα όρια μη επαγγελματικής έκθεσης είναι κατά 5 φορές χαμηλότερα. Ανάλογα όρια έκθεσης έχουν προταθεί από την Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η τιμή $SAR = 4 W/Kg$ λαμβάνεται ως βάση για τον προσδιορισμό των επιτρεπτών ορίων έκθεσης. Η απορρόφηση όμως της Η/Μ ακτινοβολίας δε γίνεται ομοιόμορφα, γεγονός που σημαίνει ότι για κάποιες περιοχές οι τιμές SAR μπορεί να έχουν μεγαλύτερη τιμή από ότι στο υπόλοιπο σώμα. Ανάλογα και με την ικανότητα ανταλλαγής θερμότητας, είναι δυνατόν να σημειωθεί τοπικά μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας (hot spots) και σε άλλες περιοχές μικρότερη όπως για παράδειγμα στην περιοχή του κεφαλιού όταν χρησιμοποιούμε hands – free.

Όπως προαναφέρθηκε, η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα. Από in vitro και in vivo μελέτες έχει δείξει ότι η ακτινοβολία αυτή προκαλεί διαταραχές της μεταφοράς των ιόντων στην κυτταρική μεμβράνη, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει αναστρέψιμες λειτουργικές διαταραχές στην λειτουργία του νευρικού ιστού και ίσως άλλων ιστών. Ειδικότερα σε άτομα που εκτίθενται επαγγελματικά σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει παρατηρηθεί ότι παρουσιάζουν υποκειμενικές εκδηλώσεις όπως πονοκέφαλο, ζάλη, ναυτία, κόπωση, ερεθιστικότητα ή αντικειμενικά ευρήματα όπως αλλοιώσεις στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και το ηλεκτροκαρδιογράφημα, αιματολογικές διαταραχές και ειδικότερα αύξηση των έμμορφων συστατικών του αίματος.

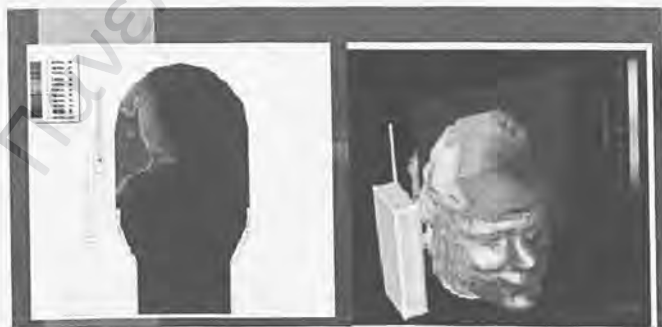
Υπάρχουν αναφορές από μελέτες ότι είναι πάρα πολλοί οι χρήστες κινητών τηλεφώνων παραπονιούνται για πονοκεφάλους, ζαλάδες, ναυτίες, κόπωση, γήρανση φαινόμενα τα οποία ακόμα ερευνώνται.

Μια τέτοια μελέτη πραγματοποιήθηκε στη Σαουδική Αραβία όπου μελετήθηκε η συσχέτιση της χρήσης κινητών τηλεφώνων με την εμφάνιση πονοκεφάλων, εξάντλησης, ζαλάδων και αύπνιων. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε το χρονικό διάστημα 2002 – 2003 σε 437 άτομα, άνδρες – γυναίκες, τα οποία είτε στο παρελθόν είτε τη δεδομένη στιγμή που η έρευνα ήταν σε εξέλιξη χρησιμοποιούσαν κινητό τηλέφωνο. Τα αποτελέσματα της έρευνας ήταν τα εξής: το 21,6% του δείγματος υπέφερε από πονοκεφάλους, το 4% από αύπνιες και ένα μικρότερο ποσοστό από ναυτία (2,4%) και εξάντληση (3%). Βάση αυτών των αποτελεσμάτων αποδείχθηκε ότι η χρήση κινητών τηλεφώνων αποτελεί παράγοντα κινδύνου για την εμφάνιση ορισμένων ή όλων αυτών των παθολογικών καταστάσεων.

Η ανησυχία όμως είναι για πιο σοβαρά πράγματα, καθώς υπάρχει ένας καταιγισμός από αποτελέσματα ερευνών τα οποία αποδεικνύουν μια πιθανή επικινδυνότητα των κινητών. Για παράδειγμα τώρα τελευταία υπάρχουν πολλές αναφορές για ταχεία αποβολή αιμογλοβίνης από τα ερυθρά αιμοσφαίρια, το οποίο είναι γνωστός παράγων καρδιοπάθειας και νεφροπάθειας.

Για κάποια όργανα του ανθρώπινου σώματος η αύξηση της θερμοκρασίας έχει μεγάλη σημασία. Το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στους φακούς των οφθαλμών, στο νευρικό ιστό, καθώς και στα έμβρυα. Η ακτινοβολούμενη ενέργεια κατά τη χρήση των κινητών τηλεφώνων είναι μικρή. Υπάρχει όμως, το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ότι η κεραία της συσκευής βρίσκεται πολύ κοντά στο κεφάλι του χρήστη με αποτέλεσμα οι οφθαλμοί, το εξωτερικό των αυτιών και ο εγκέφαλος να αποτελούν περιοχές που ακτινοβολούνται και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Οι φακοί των οφθαλμών και οι εμπρόσθιοι θάλαμοι αυτών βρίσκονται εξωτερικά, έχουν μικρή μάζα (0,2 gr) και δεν έχουν κυκλοφορία αίματος, που σημαίνει ότι τυχόν παραγόμενα ποσά θερμότητας δεν απάγονται εύκολα. Άνοδος της θερμοκρασίας αυτών κατά 1° C λόγω έκθεσης σε Η/Μ πεδία πρέπει να θεωρηθεί ως κατώφλι για πιθανό δυσμενές αποτέλεσμα.

Εάν η θερμοκρασία των φακών των ματιών από 37° C ανέλθει στους 42° C μπορεί να προκύψει μη αναστρέψιμη μετουσίωση της πρωτεΐνης των φακών με συνέπεια τη δημιουργία καταρράκτη. Αυτό βέβαια για να συμβεί πρέπει η προσπίπτουσα πυκνότητα ισχύος (δηλαδή η ένταση του Η/Μ πεδίου) να είναι αρκετά υψηλή. Έρευνες που έχουν γίνει σε πειραματόζωα έχουν καταλήξει στο σαφές συμπέρασμα ότι για να προκληθεί καταρράκτης από Η/Μ πεδία πρέπει να έχουμε ένα πεδίο με πυκνότητα ισχύος τουλάχιστο 120 mW/m² και έκθεση μεγαλύτερη των 20 λεπτών. Προς το παρόν όμως δεν υπάρχουν επιδημιολογικές μελέτες που να υποστηρίζουν την άποψη ότι χρόνιες εκθέσεις σε χαμηλής εντάσεως Η/Μ πεδία, μπορούν να προκαλέσουν καταρράκτη στον άνθρωπο.



Εικόνα 42 Τρισδιάστατη κατανομή SAR σε ομοίωμα κεφαλιού από ακτινοβολία κινητού

Κατά την έκθεση του εγκεφάλου στην εκπεμπόμενη από το κινητό τηλέφωνο ακτινοβολία η απορροφούμενη απ' αυτόν ενέργεια για διάφορους λόγους δεν είναι δεδομένη. Υπολογισμοί και κατάλληλη δοσομέτρηση σε ομοιώματα (εικόνες 42, 43) έδειξαν ότι είναι δυνατό μέχρι και

το 50% της εκπεμπόμενης ενέργειας ανάλογα και με τις συνθήκες έκθεσης, να απορροφηθεί από το κεφάλι. Προκειμένου για τον εγκέφαλο που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, η απορρόφηση της ενέργειας δεν γίνεται απαραίτητα ομοιόμορφα. Είναι δε γνωστό, ότι στον εγκέφαλο περιοχές με πολύ μικρή έκταση έχουν πολύ σημαντικές λειτουργίες όπως πχ τα διάφορα κέντρα (ομιλίας, κίνησης κλπ).



Εικόνα 43 Διαφορά στην κατανομή SAR ανάλογα με την ηλικία

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό της απορροφούμενης ενέργειας από τον εγκέφαλο και την κατανομή της στο εσωτερικό του κρανίου, απαιτούνται μετρήσεις των τιμών SAR στα σημεία ενδιαφέροντος και όχι απλώς μετρήσεις του προστίπτοντος H/M πεδίου, οι οποίες όμως είναι πολύ δύσκολες. Προς το παρόν, δεν υπάρχουν επιστημονικά στοιχεία για πιθανές βιολογικές επιπλοκές που συνδέονται με μικρές και ταχείες μεταβολές της θερμοκρασίας του εγκεφάλου.

Ένα άλλο όργανο του ανθρώπινου σώματος που είναι ευαίσθητο στις αυξήσεις της θερμοκρασίας είναι οι όρχεις. Είναι γνωστό ότι η παραμονή σε αρκετά ζεστό νερό προκαλεί ιστολογικές αλλαγές και προσωρινή στειρότητα, εάν έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας κατά μερικούς βαθμούς. Σε πειράματα που έχουν γίνει σε σκύλους έχει παρατηρηθεί ότι εκθέσεις σε 20 mW/cm² για αρκετές ώρες ημερησίως και για χρόνο μεγαλύτερο του ενός έτους δεν έχουν κανένα αποτέλεσμα στην αναπαραγωγική ικανότητά τους, ενώ κατά τις εκθέσεις σε πεδία ισχυρότερα των 50 mW/cm² παρατηρήθηκαν διάφορες βλάβες στους όρχεις. Στην εικόνα 44 φαίνεται η επίδραση της ακτινοβολίας του κινητού τηλεφώνου όταν το τοποθετούμε στη μέση.



Εικόνα 44 Εγγύτητα κινητού τηλεφώνου

Και στις δύο περιπτώσεις που αναφέρθηκαν (φακοί οφθαλμών, όρχεις) η απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας μέσω των θερμορρυθμιστικών μηχανισμών είναι πολύ μικρή.

Όπως προαναφέραμε, συνέπειες των θερμικών αποτελεσμάτων είναι και οι νεοπλασίες. Οι πρώτες επιδημιολογικές μελέτες που συνδέουν την αύξηση της επίπτωσης καρκίνου με την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι αυτές των Wertheimer και Leeper το 1979, και αργότερα του Milham (1982). Οι πρώτες αναφορές αφορούν στην αύξηση της επίπτωσης νεοπλασιών σε παιδιά που ζουν κοντά σε πυλώνες υψηλής τάσης. Ακολουθούν πολλές άλλες μελέτες μερικές από τις οποίες αποτελούν πληρέστερες ή συμπληρωματικές αναλύσεις του υλικού των παλαιότερων επιδημιολογικών μελετών. Οι μελέτες αυτές δείχνουν ότι η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία σχετίζεται με μικρή αύξηση της επίπτωσης μυελογενούς λευχαιμίας. Όμως, τα δεδομένα αυτά απέχουν πολύ από του να τεκμηριώσουν αιτιολογική έκθεση.

Γενικώς, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων των επιδημιολογικών μελετών είναι δύσκολο έργο και η αναζήτηση «αιτίου-αιτιατού» στη σχέση αυτή απαιτεί ευρύ σύνολο επιστημονικών αποδείξεων, δεδομένου ότι η παρουσία πολυάριθμων παραγόντων που δρουν από κοινού και προκαλούν διαταραχές, καθιστούν πιο αβέβαια τα αποτελέσματα.

Μετά από μελέτες και παρατηρήσεις που έχουν γίνει σε πειραματόζωα με έκθεση αυτών σε υψηλής ή μέτριας έντασης Η/Μ πεδία, οπότε και οι τιμές SAR ήταν αντιστοίχως υψηλές ή μέτριες και υπό διαφορετικές συνθήκες έκθεσης (ολόσωμης, μερικής εφάπαξ ή μακροχρόνιας ακτινοβολήσης) έχουν διαπιστωθεί τα ακόλουθα:

- Έκθεση σε Η/Μ πεδία ποντικών που κυοφορούν μπορεί να έχει ως συνέπεια τη μείωση του βάρους του εμβρύου.
- Μερική ή ολόσωμη έκθεση μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στο ανοσοποιητικό και αιμοποιητικό σύστημα. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να έχουν διεγερτικό ή περιοριστικό χαρακτήρα.
- Οξεία ή χρόνια έκθεση πειραματόζωων είναι δυνατό να προκαλέσουν μορφολογικές αλλαγές στο κεντρικό νευρικό σύστημα.
- Ολόσωμη και συνεχής έκθεση πειραματόζωων μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην κινητική συμπεριφορά. Οι αλλαγές αυτές είναι αναστρέψιμες, μετά τον τερματισμό της έκθεσης.

Έκθεση σε Η/Μ πεδία μέτριας έντασης δεν προκαλούν μεταλλάξεις. Μεταλλάξεις μπορεί να προκληθούν μόνο όταν η πυκνότητα ισχύος του πεδίου είναι πολύ υψηλή, οπότε μπορεί να έχουμε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας ευαίσθητων περιοχών.

Όσον αφορά τη μακροβιότητα και την εμφάνιση καρκίνου, δεν υπάρχουν πειστικές μαρτυρίες που να τα συσχετίζουν με τη μακροχρόνια έκθεση σε Η/Μ πεδία.

Έχει προκληθεί σημαντική ανησυχία για τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνότητας, ειδικά μετά από τη γρήγορη εισαγωγή των κινητών συστημάτων τηλεπικοινωνιών. Οι γονείς ενδιαφέρονται ιδιαίτερα για τη πιθανότητα ότι τα παιδιά να αναπτύξουν τον καρκίνο μετά από την έκθεση στις εκπομπές RF από τους σταθμούς βάσης κινητών τηλεφώνων που δημιουργήθηκαν σε ή κοντά στα σχολεία. Αυτές οι ερωτήσεις έχουν ακολουθήσει τις επιστημονικές εκθέσεις που προτείνουν ότι η κατοικία κοντά στα ηλεκτροφόρα καλώδια υψηλής τάσης μπορεί να συνδεθεί με έναν αυξανόμενο κίνδυνο λευχαιμίας παιδικής ηλικίας. Οι επιδημιολογικές μελέτες έχουν πληγεί από την χαμηλή αξιολόγηση της έκθεσης σε RF καθώς και τις διαφορές στη μεθοδολογία. Δεν υπάρχει καμία υψηλής ποιότητας επιδημιολογική μελέτη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει τους κινδύνους για την υγεία από την έκθεση σε RF. Οι εργαστηριακές μελέτες σε αυτήν την περιοχή είναι κάπως συγκεχυμένες. Μερικές μελέτες σε ζώα δείχνουν ότι τα πεδία RF επιταχύνουν την ανάπτυξη αποικιών σαρκωμάτων στον πνεύμονα, τους όγκους στο μαστό, τους όγκους στο δέρμα, στο ήπαρ (ηπατώματα) και τα σαρκώματα. Έχει αναφερθεί επίσης μια ουσιαστική αύξηση στα περιστατικά λεμφώματος σε ποντίκια που εκτίθενται σε RF μέχρι και 18 μήνες. Αντίθετα, άλλες μελέτες δεν έχουν βρει καρκινογόνα αποτελέσματα.

Αυτά τα συγκρουόμενα αποτελέσματα δείχνουν την ανάγκη για περισσότερες και καλύτερα οργανωμένες μελέτες σε πειραματόζωα, που θα συμπληρώνονται με υψηλής ποιότητας πειραματικές μελέτες (in vitro), ώστε να προσδιοριστούν αποτελέσματα που απαιτούν περαιτέρω έρευνα σε ζώντες οργανισμούς (in vivo), και να διακριθούν οι οποιοδήποτε μηχανισμοί ενεργοποίησης, ειδικά στα χαμηλά επίπεδα των πεδίων RF.

Όταν η RF ακτινοβολία θερμαίνει τους ιστούς, τότε αν ο θερμορρυθμιστικός μηχανισμός του σώματος δεν μπορεί να επαναφέρει την κανονική θερμοκρασία τους και γι' αυτό προξενούνται βλάβες. Όμως για να έχουμε παρατηρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας, πρέπει η πυκνότητα ισχύος να είναι πολύ μεγάλη (1mW/cm^2) ή η μέση τιμή ενέργειας που απορροφάται από όλο το σώμα (SAR) να είναι πάνω από 5W/kg .

11.3. Μη θερμικά βιολογικά αποτελέσματα

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

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, η δράση των Η/Μ κυμάτων με το ανθρώπινο σώμα μπορεί να προκαλέσει διέγερση κυττάρων του νευρικού και μυϊκού ιστού, που ανταποκρίνονται

σε ηλεκτρικά ερεθίσματα. Τα ηλεκτρικά αυτά ερεθίσματα προέρχονται από τα επαγόμενα στο σώμα ηλεκτρικά ρεύματα. Τα αποτελέσματα αυτά χαρακτηρίζονται ως μη θερμικά και συμβαίνουν περισσότερο για συχνότητες πεδίων κάτω των 10 MHz.

Για να φθάσουμε το κατώφλι διεγέρσεως των κυττάρων, απαιτούνται πολύ ισχυρά πεδία. Έχουν παρατηρηθεί όμως, ορισμένα πειραματικά αποτελέσματα, που προκύπτουν χωρίς να υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στη θερμοκρασία και για τιμές πεδίων κάτω από το κατώφλι διεγέρσεως. Τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να αποδοθούν σε μη θερμικούς μηχανισμούς σε μοριακό επίπεδο.

Με βάση τις μέχρι σήμερα επιστημονικές γνώσεις δεν υπάρχει ένδειξη, ότι τα μη θερμικά αποτελέσματα αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Παρόλα αυτά όμως, προτείνεται και από την Ευρωπαϊκή Ένωση ότι πρέπει να γίνει έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή, διότι μόνο με βάση τα αποτελέσματα από την έρευνα μπορεί να θεσπιστούν, αν απαιτηθεί, όρια ασφάλειας για τα μη θερμικά αποτελέσματα.

Παρ' όλα αυτά χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για να διαγνωσθούν ενδεχόμενες επιδράσεις στην υγεία της υψίσυνης ακτινοβολίας μικρής ισχύος, όπως αυτή που χρησιμοποιείται στην κινητή τηλεφωνία. Οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις της ακτινοβολίας μικρής ισχύος δεν κατέστη δυνατόν έως σήμερα να ερευνηθούν καθόλου.

Τα ισχύοντα «όρια αποδεκτής έκθεσης» έχουν θεσπισθεί λαμβάνοντας υπ' όψιν μόνον τις θερμικές επιδράσεις (αυτές που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση θερμοκρασίας του εκτιθέμενου οργανισμού), παρά το γεγονός ότι οι μηχανισμοί με τους οποίους δρουν οι μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες και τα ασθενή ηλεκτρομαγνητικά πεδία, στα κύτταρα, δεν είναι ακόμη σαφείς.

Όμως είναι πλέον αποδεδειγμένο το μεγάλο πλήθος των βιολογικών επιδράσεων από τα Η/Μ πεδία της ανθρώπινης τεχνολογίας στις συνήθεις τιμές έντασης που δέχεται ο μέσος άνθρωπος, είναι μη-θερμικά φαινόμενα, δεν συνοδεύονται δηλαδή από αύξηση θερμοκρασίας του εκτιθέμενου οργανισμού, [VELIZAROV ET AL., 1999], [HYLAND, 2000], [SALFORD ET AL., 2003], [ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΜΑΡΓΑΡΙΤΗΣ, 2003], [ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ET AL., 2004]. Τα μη θερμικά βιολογικά αποτελέσματα των Η/Μ κυμάτων που έχουν αναφερθεί στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία είναι για παράδειγμα:

- Δέσμευση και απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου (Ca⁺⁺) στον εγκέφαλο.
- Επιτάχυνση της συγκόλλησης καταγμάτων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία.
- Επαγωγή ιού από καρκινικά κύτταρα.

Υπάρχει πλήθος επιστημονικών - πειραματικών μελετών, δημοσιευμένων σε έγκυρα διεθνή επιστημονικά έντυπα, που καταδεικνύουν σοβαρές μη-θερμικές βιολογικές επιδράσεις, με επίπεδα έκθεσης εντός των ισχύοντων (δυστικών) «ορίων αποδεκτής έκθεσης», ή λίγα πάνω από τα όρια αυτά, όπως:

- αλλαγή συμπεριφοράς, (ως προς την λήψη τροφής και την κινητικότητα), καθώς και φαινόμενα συνέργειας με ψυχοφάρμακα, (αμφεταμίνες - δηλαδή διαφορετικές αντιδράσεις για την ίδια δόση φαρμάκου), σε ποντικούς, [GANDHI, 1982],
- μείωση της συγκέντρωσης ιόντων ασβεστίου σε εγκεφαλικά κύτταρα κοτόπουλων, [BAWIN ET AL., 1978],
- αυξημένο ποσοστό μονοκλωνικών και δικλωνικών θραύσεων DNA, σε εγκεφαλικά κύτταρα αρουραίων, μετά από in vivo ακτινοβολήση διάρκειας 2 ωρών, με συχνότητα 2450 MHz και μέση πυκνότητα ισχύος 2 mW/cm², [LAI AND SINGH, 1995, 1996]. Επίσης θραύσεις του DNA παρατηρήθηκαν σε ανθρώπινους ινοβλάστες μετά από διακοπτόμενη έκθεση 16 ωρών σε πεδίο ραδιοσυχνότητας συχνότητας 1800 MHz με τιμή SAR 1,2 ή 2 W/kg., [DIEM et al, 2005],
- επιδράσεις σε ολόκληρους οργανισμούς, όπως μείωση κατά 30 - 60 % της αναπαραγωγικής ικανότητας εντόμων, [Μαργαρίτης, Παναγόπουλος, 2000], [ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΜΑΡΓΑΡΙΤΗΣ 2003], [ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ, 2004],
- πρόκληση κυτταρικού θανάτου σε προβιτελλογενετικά και βιτελλογενετικά σάκδια ωσθυλακίων εντόμων, [ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ET AL., 2006].

- αλλοιώσεις στη μορφή ανθρώπινων ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων κατά τη διάρκεια συνομιλίας σε κινητό τηλέφωνο, (KRAUS ET AL, 2000),
- αυξημένη θνησιμότητα, καθυστέρηση ανάπτυξης και μορφολογικές αλλοιώσεις σε γονιμοποιημένα αγνά πoulινα, μετά από έκθεση σε πεδία ραδιοσυχνότητας χαμηλών εντάσεων και διαφόρων συχνοτήτων 108 - 1010 Hz, (XENOS AND MARGAS, 2003),
- μείωση 50-60%, στον αριθμό γεννήσεων αρουραίων, μετά από έκθεση λίγων ημερών κατά τη διάρκεια της εμβρυογένεσης - οργανογένεσης, σε πεδίο ραδιοσυχνότητας 3 Hz, έντασης 5 mW/cm², (στην περίπτωση αυτή η ένταση ήταν 5 φορές πάνω από τα όρια), (XENOS AND MARGAS, 2003),
- μείωση στο ρυθμό σύνθεσης μελατονίνης, μιας ορμόνης που ρυθμίζει τον ημερήσιο βιολογικό κύκλο και έχει αντικαρκινική δράση, βρέθηκε να προκαλεί στους χρήστες η παρατεταμένη χρήση των κινητών τηλεφώνων (περισσότερο από 25 λεπτά καθημερινής συνομιλίας), (BURCH ET AL, 2002),
- αλλοιώσεις σε νευρικά εγκεφαλικά κύτταρα αρουραίων, μετά από έκθεση 2 ωρών σε πεδίο κινητού τηλεφώνου 915MHz και αύξηση της διαπερατότητας της μεμβράνης αιματος-εγκεφαλικού ιστού, (SALFORD ET AL, 2003), φαινόμενα που εξηγεί τις κεφαλαλγίες και τα προβλήματα απώλειας βραχύχρονης μνήμης που πολύ συχνά αναφέρονται, (HYLAND, 2000), από παρατεταμένη έκθεση ανθρώπων στα πεδία των κινητών τηλεφώνων αλλά και των κεραιών βάσεων κινητής τηλεφωνίας.
- ενεργοποίηση του μονοπατιού μεταγωγής σήματος hsp27/p38MAPK και επαγόμενες αλλοιώσεις στη διαπερατότητα του αιματοεγκεφαλικού φραγμού μετά από πειράματα σε κυτταροκαλλιέργειες, (LESZCZYNSKI ET AL, 2002),
- μεταβολή στην έκφραση συγκεκριμένων γονιδίων σε ανθρώπινες κυτταρικές σειρές (NYLAND AND LESZCZYNSKI, 2006), (BELYAEV ET AL, 2006), (REMONDINI ET AL, 2006), καθώς και σε αδιαφοροποίητα εμβρυονικά κύτταρα, (CZYZ ET AL, 2004).

Ανησυχητικά είναι τα αποτελέσματα στατιστικών μελετών σε σχέση με την εκπεμπόμενη ακτινοβολία και από κεραιές ραδιοηλεκτρονικών σταθμών. Σε μια στατιστική μελέτη, (HALBERG AND JOHANSSON, 2002), διαπιστώνεται συσχέτιση μεταξύ του αριθμού περιπτώσεων εμφάνισης μορφής καρκίνου (μελάνωμα) σε ορισμένο τόπο και του αριθμού των λαμβανόμενων σημάτων από ραδιοφωνικούς σταθμούς στον τόπο αυτό. Στη μελέτη αυτή έγινε ανάλυση δεδομένων από τέσσερις διαφορετικές χώρες, (ΗΠΑ, Νορβηγία, Σουηδία, Δανία). Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής βρίσκονται σε συμφωνία με εκείνα προγενέστερης μελέτης, (DOLK ET AL, 1997), που διαπίστωσε ότι ο αριθμός των περιστατικών καρκίνου του δέρματος και του προστάτη, αυξάνεται ανάλογα με την μείωση της απόστασης από κεραιές ραδιοφωνικών σταθμών. Ακόμη νέα δεδομένα μιλούν για εμφάνιση διαφόρων μορφών ασθενειών νευροψυχιατρικής φύσεως σε κατοίκους περιοχής γύρω από εγκατεστημένους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας, (ABDEL RASSOUL ET AL, 2006).

Τέλος, όσο το πλήθος των κεραιών αυξάνεται τα τελευταία χρόνια, υπάρχουν συνεχώς αυξανόμενες μαρτυρίες για πονοκεφάλους, απώλεια μνήμης, αποβολές, χωρίς «εμφανείς» εξηγήσεις, από ανθρώπους που πλησιάζουν της κατοικίας ή του χώρου εργασίας τους εγκαταστάθηκαν κεραιές, κινητές τηλεφωνίες ή/και ραδιοηλεκτρονικών σταθμών. Αντίστοιχα, τα τελευταία χρόνια σε φάρμες όπου τα ζώα αναπτύσσονται πλησίον κεραιών, παρουσιάζονται με αύξουσα συχνότητα, περιστατικά όπως, μείωση της ποσότητας παραγόμενου γάλακτος, αποβολές και τοκετά νεκρών εμβρύων.

Αναφέρεται επίσης ότι τα φαινόμενα αυτά σε ζώα αναπέλλονται όταν απομακρυνθούν από τις περιοχές των κεραιών και εμφανίζονται πάλι με την επιστροφή των ζώων στις περιοχές αυτές, (HYLAND, 2000).

Οι μέχρι τώρα επιδημιολογικές μελέτες σε ανθρώπινο πληθυσμό, σε σχέση με ακτινοβολίες κινητής τηλεφωνίας έχουν καταγράψει συσχέτιση της έκθεσης στις ακτινοβολίες αυτές με καρκίνο (PICKL S, 2005), ενώ άλλη μελέτη κατέδειξε για πρώτη φορά, αμυδρή συσχέτιση με κάποιο είδος καρκίνου του ματιού, (STANG ET AL 2001).

Άλλες επιδημιολογικές μελέτες καταδεικνύουν για πρώτη φορά συσχέτιση μεταξύ χρήσης αναλογικών κινητών τηλεφώνων (παλαιότερης τεχνολογίας από τα σημερινά) και περιπτώσεων εμφάνισης εγκεφαλικών όγκων, (AUVINEN ET AL, 2002), (HARDELL ET AL, 2002).

Τέλος, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας σε διεθνές συνέδριο που πραγματοποιήσε για τις επιπτώσεις των μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών, στη Μόσχα τον Οκτώβριο του 2004, διατύπωσε την άποψη πως το ζήτημα της επικινδυνότητας χρήζει περαιτέρω έρευνας και καλό θα ήταν να συνεργαστούν επιστήμονες από διάφορες χώρες στις οποίες και ισχύουν διαφορετικά όρια ασφαλείας. Το ίδιο επισημαίνει και σε πρόσφατη δημοσίευση ο Dr Raracholli, επικεφαλής ερευνητικού προγράμματος της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας

Στο παράρτημα υπάρχουν πίνακες που παρουσιάζουν ενδεικτικά διάφορες μελέτες και τα αποτελέσματά τους. Οι μελέτες έχουν καταταχθεί αναλόγως με τον τρόπο διενέργειάς τους, δηλαδή προκλήθηκαν βιολογικά αποτελέσματα όταν υπήρχε αυξημένη πυκνότητα ισχύος και όταν αυξήθηκε η έκθεση (SAR), καθώς και μελέτες με τις υπάρχουσες ακτινοβολίας.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

12. Άλλες επιπτώσεις της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας

12.1. Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές

Όταν τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούνται κοντά σε κάποιες ιατρικές συσκευές όπως για παράδειγμα βηματοδότες, εμφυτεύσιμοι απινιδωτές, και ορισμένοι ενισχυτές ακρόασης και ακουστικά βαρηκοΐας, επηρεάζουν τα κυκλώματα ελέγχου αυτών των συσκευών από την παλμική ακτινοβολία που εκπέμπουν.

Οι διάφοροι τύποι βηματοδοτών διαφέρουν ως προς την ευαισθησία τους σε παρεμβολές. Η παρεμβολή είναι επίφοβη μόνο όταν κάποιος που έχει βηματοδότη χρησιμοποιεί ο ίδιος κινητό τηλέφωνο και ο κίνδυνος αυξάνεται με την μείωση της απόστασης του κινητού από το βηματοδότη. Θα πρέπει ο πιθανός χρήστης κινητού που έχει βηματοδότη να ενημερωθεί για την συμβατότητα του βηματοδότη του με την ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας.

Στα ακουστικά βαρηκοΐας, ακόμα και σε απόσταση ενός μέτρου, μπορεί να προκληθούν παρεμβολές. Οι παρεμβολές αυτές γίνονται αισθητές ως βουητό στο αυτί. Τα μικρά ακουστικά μέσα στο αυτί είναι λιγότερο ευαίσθητα από τα ακουστικά που φοριούνται πίσω από το αυτί. Οι κατασκευαστές προσφέρουν βοήθημα για να μην είναι υποχρεωμένο το άτομο να κρατά το κινητό τηλέφωνο σε επαφή με το αυτί.

Στα τμήματα εντατικής παρακολούθησης νοσοκομείων η χρήση των κινητών τηλεφώνων αποτελεί κίνδυνο για τους ασθενείς και για το λόγο αυτό απαγορεύεται η χρήση τους.

Επίσης και στα αεροσκάφη απαγορεύεται η χρήση των κινητών τηλεφώνων και γενικά όλων των ασύρματων συσκευών δεδομένου ότι μπορούν να παρεμποδίσουν τα συστήματα ναυσιπλοΐας τους ή επικοινωνίας τους ιδίως κατά την απογείωση και την προσγείωση.

12.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

12.2.1. Γενικά

Οι σημαντικότερες διατάξεις ακτινοβολίας είναι οι κεραίες, που εκπέμπουν ισχυρά σήματα. Όταν λοιπόν εξετάζεται η τοποθέτηση μιας κεραίας (πχ ενός σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας) θα πρέπει να προσδιορίζεται και η περιβαλλοντική επίπτωση. Τεχνικά πρότυπα και κριτήρια για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα πρέπει να εφαρμόζονται από τους αρμόδιους για το σχεδιασμό ενός τέτοιου εγχειρήματος.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε φυσικές, βιολογικές, κοινωνικές και λοιπές.

12.2.2. Φυσικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Αυτές είναι η διάβρωση του εδάφους και η μόλυνση των υδάτων.

Πολλοί σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας κτίζονται σε απομακρυσμένες περιοχές ή σε υψηλές κορυφές βουνών. Η κατασκευή ενός τέτοιου σταθμού και του δρόμου πρόσβασης προς το σταθμό ίσως προκαλέσει προβλήματα εδαφολογικής διάβρωσης για αυτό και κατάλληλα μέτρα θα πρέπει να εφαρμοστούν κατά τη διάρκεια της κατασκευής για να σταματήσει η όποια απώλεια

Επίσης ένας σταθμός βάσης κινητής τηλεφωνίας μπορεί να βρίσκεται σε μια περιοχή συλλογής νερού ή κοντά σε μια υδάτινη οδό και για το λόγο αυτό οποιοδήποτε απόβλητο υλικό του σταθμού εκπομπής θα πρέπει να διατίθεται σύμφωνα με την ασφαλή περιβαλλοντική πρακτική και να συμμορφώνεται βάση των κανονισμών.

12.2.3. Βιολογικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι βιολογικές επιπτώσεις αφορούν γενικά τα έμβια όντα, δηλαδή τη χλωρίδα και την πανίδα, τα εθνικά πάρκα, εθνικούς δρυμούς και δάση, τους βιότοπους και όλες τις Διατηρητέες

Νέες τεχνολογίες στις ασύρματες επικοινωνίες και οι επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία

και προστατευόμενες περιοχές, καθώς επίσης και τους χώρους όπου συγκεντρώνονται ευπαθείς ομάδες πληθυσμού (ασθενείς, παιδιά, ηλικιωμένοι) δηλαδή τα Σχολεία, τα νοσοκομεία, και οι παιδικοί σταθμοί.

Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η εξέταση της υπάρχουσας βλάστησης από άποψη τοπικού βιότοπου και οπτικής σημασίας συμπεριλαμβανομένης της χρήσης της υπάρχουσας βλάστησης για την κάλυψη της εγκατάστασης. Στην περίπτωση που η περιοχή για την εγκατάσταση σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας επιλεγεί είναι βιότοπος προστατευόμενων ειδών σπάνιας και μοναδικής χλωρίδας ή πανίδας, θα πρέπει να προετοιμαστεί από ειδικούς να προετοιμάζεται σχέδιο διαχείρισης και προστασίας που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις της σχετικής νομοθεσίας.

Γενικά δεν ενδείκνυται ένας τέτοιος χώρος για την εγκατάσταση σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας. Εάν όμως δεν υπάρχει άλλος χώρος τότε τα πρότυπα για την προστασία του περιβάλλοντος πρέπει να είναι αυστηρότερα από άλλες τοποθεσίες γι αυτό και πρέπει να γίνονται ουσιαστικές διαβουλεύσεις με τα αρμόδια ελεγκτικά όργανα.

Καλό είναι να αποφεύγεται η εγκατάσταση σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας κοντά σε σχολεία, νοσοκομεία και παιδικούς σταθμούς λαμβάνοντας υπ' όψη το γεγονός ότι παιδιά απορροφούν περισσότερη ενέργεια ανά κιλό βάρους από τους ενήλικες, στις συχνότητες των κινητών τηλεφώνων και ότι οι επιδράσεις, ανάλογα με τη συχνότητα, περιλαμβάνουν τη διέγερση των ηλεκτρικώς ευερέθιστων κυττάρων του νευρικού και μυϊκού ιστού, τη μεταβολή της διαβατότητας των κυτταρικών μεμβρανών καθώς και τη θέρμανση τους. Επίσης επηρεάζει τα εμφυτεύματα των ηλικιωμένων ασθενών.

12.2.4. Κοινωνικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Πολλά είναι τα κοινωνικά θέματα που πρέπει να εξετασθούν στα πλαίσια της τοπικής κοινότητας. Μερικά από αυτά είναι τα θέματα ασφάλειας καθώς και η γενικότερη αισθητική – οπτική επίπτωση:

Έτσι η γύρω περιοχή πρέπει να είναι ασφαλής από την εκπεμπόμενη ακτινοβολία και να υπάρχουν τα κατάλληλα παθητικά μέτρα πυρασφάλειας.

Οι κεραίες του σταθμού βάσης θα πρέπει να τοποθετούνται σε τέτοια θέση ώστε να περιορίζεται η ορατότητά του (όπου είναι πρακτικά δυνατό) και να μην προκύπτει αισθητική υποβάθμιση του τοπίου σε συνδυασμό πάντα με τον αρχικό στόχο της παροχής επικοινωνιών. Κατά την επιλογή του τύπου του ιστού ή του πυλώνα και των κεραιών, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην ποιότητα του αισθητικού αποτελέσματος, όπως ποικίλο υλικό, μορφές και χρώμα για την κατασκευή κτιρίων του εξοπλισμού που μπορεί να έχει καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα, προσθήκη δέντρων και θάμνων που θα συμβάλλει στην καλύτερη αισθητική ή χρήση φόντου για το συνδυασμό της εγκατάστασης με το περιβάλλον.

12.3. Λοιπές επιπτώσεις

Άλλες σοβαρές λειτουργικές επιπτώσεις μπορεί να προκαλούν οι κεραίες και το υλικό των σταθμών βάσης, επειδή αλλάζουν τις συνθήκες κεραυνόπτωσης επιδρώντας στο γήινο ηλεκτρικό πεδίο. Επίσης υπάρχουν αλληλεπιδράσεις των ραδιοηλεκτρικών ακτινοβολιών με άλλες γειτονικές ηλεκτρονικές διατάξεις και μπορεί να αναφέρονται ποικίλα φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας

13. Όρια προστασίας

13.1. Βασικοί περιορισμοί και επίπεδα αναφοράς

Διάφοροι εθνικοί και διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει όρια επικινδυνότητας για έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα οποία διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα και στους διάφορους επιστημονικούς οργανισμούς. Τα όρια επικινδυνότητας διαφοροποιούνται επίσης ανάλογα με το σε ποιους απευθύνονται, στον γενικό πληθυσμό ή στους επαγγελματικά απασχολούμενους. Έτσι, τα όρια έκθεσης για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα οποία καθιερώθηκαν το 1988 από τη Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας, (International Radiation Protection Association - IRPA) [IRPA, 1988] και ισχύουν έως τώρα, αφού επιβεβαιώθηκαν το 1998 από τη Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από τη Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection - ICNIRP) [ICNIRP, 1998], είναι:

(α) για τους επαγγελματίες εκτιθέμενους: μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος = 2,25 mW/cm², ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR) = 0,4 W/Kg. Οι μέσες τιμές αυτές αναφέρονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6 min κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

(β) για τον γενικό πληθυσμό: μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος = 0,45 mW/cm², ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR) = 0,08 W/Kg. Οι μέσες τιμές αυτές αναφέρονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6 min, κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

Τα όρια αυτά έχουν υιοθετηθεί και από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Άλλα όρια έκθεσης έχουν προταθεί από άλλες επιστημονικές οργανώσεις, όπως:

ANSI ("American National Standards Institute") [ANSI, 1982],

IEEE, ("Institute of Electrical and Electronic Engineers") [IEEE, 1992] και

NCRP, ("National Council on Radiation Protection and Measurements" - ΗΠΑ) [NCRP, 1995], με ελαφρά μεγαλύτερες τιμές ορίων έκθεσης.

Στον πίνακα 14 φαίνονται αναλυτικά οι βασικοί περιορισμοί (τα όρια έκθεσης) για το γενικό πληθυσμό και τους εργαζόμενους (επαγγελματίες εκτιθέμενους) για τις συνηθισμένες εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων

Εφαρμογή	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για όλο το σώμα)		Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού της κεφαλής ή του κορμού)		Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού των άκρων)	
	Γενική / ανεξέλεγκτη έκθεση	Ελεγχόμενη / επαγγελματική έκθεση	Γενική / ανεξέλεγκτη έκθεση	Ελεγχόμενη / επαγγελματική έκθεση	Γενική / ανεξέλεγκτη έκθεση	Ελεγχόμενη / επαγγελματική έκθεση
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	0,08	0,4	2	10	4	20
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)						
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)						
Ασύρματα Δίκτυα 2,4 GHz (WiFi)						
Ασύρματα Δίκτυα 3,5 GHz (WiMax)						

Πίνακας 14 Βασικοί περιορισμοί (όρια) για το γενικό πληθυσμό και τους εργαζόμενους σε συνθήκες εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων

Για τις περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η απευθείας εκτίμηση της απορροφούμενης ισχύος από τους ιστούς, ορίζονται από την ICNIRP επίπεδα αναφοράς που αντιστοιχούν σε μεγέθη, τα οποία μπορούν εύκολα να μετρηθούν, όπως είναι η ένταση του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου ή η πυκνότητα ισχύος. Ο υπολογισμός των πεδίων αναφοράς από τους αντίστοιχους βασικούς περιορισμούς έχει πραγματοποιηθεί με την υπόθεση μέγιστης σύζευξης του ανθρώπινου σώματος με το ΗΜ πεδίο (δυσμενέστερη περίπτωση). Τα επίπεδα αναφοράς

που προτείνονται από την ICNIRP για το γενικό πληθυσμό και τους εργαζόμενους για τις συνθήκες εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων φαίνονται στον πίνακα 15

Εφαρμογή	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)		Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)		Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επίπεδου ΗΜ κύματος (W/m ²)	
	Γενική / ανεξέλεγκτη έκθεση	Ελεγχόμενη / επαγγελματική έκθεση	Γενική / ανεξέλεγκτη έκθεση	Ελεγχόμενη / επαγγελματική έκθεση	Γενική / ανεξέλεγκτη έκθεση	Ελεγχόμενη / επαγγελματική έκθεση
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	41	90	0,11	0,24	4,5	22,5
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	58	127	0,16	0,34	9	45
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	61	137	0,16	0,36	10	50
Ασύρματα Δίκτυα 2,4 GHz (WiFi)						
Ασύρματα Δίκτυα 3,5 GHz (WiMax)						

Πίνακας 15 Επίπεδα αναφοράς (μετρούμενα μεγέθη) για τα γενικά πληθυσμό και τους εργαζόμενους σε συνθήκες εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων

13.2. Ιστορικό των ορίων

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '50, προτάθηκαν αρχικά και εφαρμόστηκαν όρια για την έκθεση του προσωπικού, κυρίως στις επαγγελματικές θέσεις. Έτσι, στις Ηνωμένες Πολιτείες διάφορες οργανώσεις πρότειναν και υιοθέτησαν όρια που εκφραζόνταν με τον όρο συναφής πυκνότητα ισχύος, η οποία κυμαίνεται από 1 W/m² (100 μW/cm²) ως 1000 W/m² (100 mW/cm²). Η πρώτη τιμή υποτίθεται ότι ήταν ασφαλής υπό όλες τις συνθήκες, ενώ η έκθεση επάνω από την τελευταία θεωρήθηκε επικίνδυνη. Καθώς διατέθηκαν νέα στοιχεία, τα πολύ ανώτερα όρια ασφαλείας άρχισαν να συγκλίνουν στην τιμή των 100 W/m² για τη συνεχή ολόσωμη έκθεση, μια τιμή που είχε προταθεί στο Υπουργείο Ναυτικού των ΗΠΑ το 1953 από X. Schwann. Αυτή η τιμή, που υπολογίστηκε με βάση ένα απλό θερμικό μοντέλο στο όριο της ανόδου της θερμοκρασίας, υποστηρίχθηκε από πειραματικά στοιχεία που έδειχναν ότι το κατώτερο όριο για τις μεμβράνες των φακών, ένα βιολογικό σημείο ιδιαίτερου ενδιαφέροντος τότε, ήταν μεγαλύτερο από 1000 W/m². Οι συστάσεις τότε συνήθως ίσχυαν για τις συχνότητες μεταξύ 10 MHz και 100 GHz [Z-1]

Το πρώτο επίσημο πρόγραμμα προτύπων άρχισε το 1960 όταν ενέκρινε η Αμερικανική Ένωση Προτύπων (τώρα Αμερικανικό Εθνικό Ίδρυμα Προτύπων -ANSI) το πρόγραμμα προτύπων για τους κινδύνους ακτινοβολίας. Η Επιτροπή C95 δημοσίευσε τα πρώτα πρότυπα της το 1966 [ASA, 1966]. Οι αναθεωρήσεις των προτύπων δημοσιεύθηκαν το 1974 [ANSI, 1974] και το 1982 [ANSI, 1982]. Τα πρότυπα και του 1966 και του 1974 βασίστηκαν σε ένα απλό θερμικό μοντέλο, που περιορίζει την «απορροφούμενη ισχύ» σε λιγότερο από 100 W, μια τιμή συγκρίσιμη με το μεταβολικό ποσοστό θέρμανσης ενός αναπαυόμενου ενήλικου ανθρώπου. Το συνιστώμενο όριο για την ολόσωμη έκθεση ήταν ακόμα 100 W/m², αλλά το πρότυπο του 1974 περιείχε επίσης τα ισοδύναμα όρια ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων επίπεδων κυμάτων για να αποτελέσουν τις εκθέσεις γγγύ πεδίου στις συχνότητες κάτω από μερικές εκατοντάδες MHz. Η τιμή των 100 W/m² ίσχυε για τις συνεχείς εκθέσεις. Για τις βραχυχρόνιες εκθέσεις τα όρια ήταν 10 mW/m², βασισμένα σε έναν υπολογισμό κατά μέσο όρο χρόνου 0,1 της ώρας (=6 min), δηλ., τα όρια είναι χαλαρά χρησιμοποιώντας απλούς κανόνες υπολογισμού χρόνου για εκθέσεις συντομότερες από τον μέσο όρο χρόνο έκθεσης. Το ένα δέκατο της ώρας ωρηθήκε η κατά προσέγγιση θερμική σταθερά χρόνων των σημαντικότερων οργάνων όπως τα μάτια και οι όρχεις.

Το πρότυπο του 1982 αναγνώρισε τη σημασία της δοσιμετρίας και ήταν το πρώτο που βάσισε τα όριά του στον ειδικό ρυθμό απορρόφησης (SAR) για τις συχνότητες όπου το SAR ισχύει, δηλ., μεταξύ περίπου 100 kHz και 6 GHz. [Z-1]

Επειδή το SAR είναι εξαρτώμενο από τη συχνότητα, και τα όρια είναι επίσης εξαρτώμενα από τη συχνότητα. Όπως στα πρότυπα του 1966 και του 1974, και στο πρότυπο του 1982 τα ίδια όρια εφαρμόζονταν και στον εργασιακό χώρο και για το κοινό.

Το προηγούμενο πρότυπο, IEEE C95.1-1991 [Δ-1], αναγνωρίζει τη σημασία της ηλεκτροδιέγερσης στις συχνότητες κάτω από την περιοχή του SAR και της θέρμανσης επιφάνειας στις συχνότητες επάνω από την περιοχή του SAR. Έχουν ενσωματωθεί ρεαλιστικότερες μέσες τιμές χρόνου στις συχνότητες χιλιοστομετρικού μήκους κύματος για να αποκλεισθεί η πιθανότητα εγκαυμάτων δέρματος για σύντομες εκθέσεις. Επίσης συμπεριλαμβάνονται και όρια για ρεύματα εξ επαφής ή εξ επαγωγής. Για πρώτη φορά σε ένα πρότυπο C95.1 περιέχονται δύο διαφορετικά όρια για το SAR, αλλά αντί να καθοριστούν οι εκθετιμώμενοι πληθυσμοί, καθορίστηκαν τα περιβάλλοντα έκθεσης για κάθε περίπτωση, δηλ., οι εκθέσεις σε ελεγχόμενα και σε ανεξέλεγκτα περιβάλλοντα. Αντίθετα από πολλά σύγχρονα πρότυπα και οδηγίες, το πρότυπο της C95.1 περιλαμβάνει λεπτομερείς κανόνες για εφαρμογή και έχει καθιερώσει επίσημες διαδικασίες για την ερμηνεία σε τυχόν αιτήματα που θα υποβάλλονται [Ζ-1]

Το τελευταίο πρότυπο IEEE C95.1-2005 διαφοροποιείται ακόμη περισσότερο από το ICNIRP 1998 σε διάφορες έννοιες, όπως έναντι ποιων επιδράσεων στην υγεία λαμβάνεται η προστασία, για τον χρόνο έκθεσης, για το εύρος εφαρμογής και για τον υπολογισμό του εκθετιμώμενου ιστού. Επίσης καθορίζει διαφορετικό τρόπο υπολογισμού για διαφορετικά μέρη του σώματος (πχ περύγιο αυτιού, άνω μέρη άκρων κλπ). Στον πίνακα 16 γίνεται μια παράθεση των διαφορών των δύο προτύπων

Πρότυπο	IEEE C95.1-2005 (2006)	ICNIRP (1998)
Η προστασία γίνεται έναντι	καθιερωμένων δυσμενών επιδράσεων στην υγεία	γνωστών δυσμενών επιδράσεων στην υγεία
Εύρος εφαρμογής	100 kHz – 3 GHz	100 kHz – 10 GHz
Μέσος υπολογισμός ιστού	Για 10 gr ιστού (σε κύβο)	Για 10 gr συναφούς ιστού
Μέσος χρόνος έκθεσης	30 λεπτά για το γενικό πληθυσμό και 6 λεπτά για ελεγχόμενο περιβάλλον	6 λεπτά
Όρια για το περύγιο αυτιού	Όπως για τα άκρα	Όπως για το σώμα
Όρια για το άνω μέρος βραχιόνων και για το άνω μέρος μηρών	Όπως για το σώμα	Όπως για τα άκρα

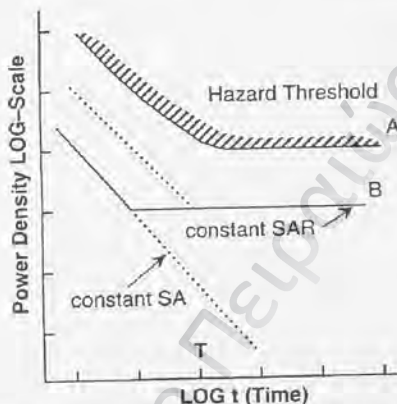
Πίνακας 16 Σύγκριση βασικών περιορισμών του SAR μεταξύ προτύπων

Το βιολογικό σημείο τέλους στο οποίο τα περισσότερα σύγχρονα πρότυπα βασίζονται, είναι η αναστάτωση της διδασκόμενης συμπεριφοράς στα ζώα. Το κατώτερο όριο SAR για την αναστάτωση της συμπεριφοράς έχει βρεθεί να εμφανίζεται σίγουρα μεταξύ 3 και 9 W/kg σε διάφορα ζωικά είδη και σε διάφορες συχνότητες. Για ολόσωμη έκθεση, μια μέση τιμή SAR 4 W/kg θεωρείται το κατώτατο όριο κάτω από το οποίο δεν θα αναμενόταν δυσμενή φαινόμενα. Για να εξασφαλιστεί ένα περιθώριο ασφαλείας, το κατώτατο όριο του SAR μειώνεται κατά έναν παράγοντα ασφαλείας 10 και 50 για να παραγάγει τους βασικούς περιορισμούς 0.4 W/kg και 0.08 W/kg για τις εκθέσεις στα ελεγχόμενα (επαγγελματικά) και ανεξέλεγκτα (δημόσια) περιβάλλοντα, αντίστοιχα.

Για πρακτικούς λόγους, τα όρια-συνήθως λέγονται «μέγιστες επιτρεπτές τιμές έκθεσης» (maximum permissible exposures -MPEs), ή επίπεδα αναφοράς- εκφράζονται σε ποσότητες που μετριούνται ευκολότερα έξω από το σώμα, σύμφωνα με τους βασικούς περιορισμούς. Τα MPEs είναι γενικά συντηρητικά, έτσι ώστε η υπέρβαση των επιπέδων MPEs (ή επιπέδων αναφοράς) δεν σημαίνει απαραίτητα ότι ξεπερνιούνται οι βασικοί περιορισμοί. Εάν τα MPEs ξεπερνιούνται, το πρότυπο μπορεί ακόμα να ισχύει εάν μπορεί να καταδειχθεί η συμμόρφωση με τους βασικούς περιορισμούς. Ακόμα κι αν οι βασικοί περιορισμοί SAR είναι οι ίδιοι για πολλά σύγχρονα πρότυπα και οδηγίες έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες, τα παραγόμενα όρια MPE μπορεί να διαφέρουν. Οι διαφορές σχετίζονται με το μοντέλο που χρησιμοποιείται για να αντλήσει τους συναφείς τομείς από τους βασικούς περιορισμούς και το ενσωματωμένο περιθώριο ασφαλείας.

Το σχήμα της εικόνας 45 παρουσιάζει μια υποθετική καμπύλη κατώτατων ορίων για ένα δυσμενές αποτέλεσμα (καμπύλη Α) και μια καμπύλη MPE (καμπύλη Β) που βρίσκεται κάτω από

το κατώτατο όριο κινδύνου από έναν κατάλληλο παράγοντα ασφάλειας. Αναφερόμενοι στο σχήμα, αξιωματικά θυμηθούμε ότι στις ΗΠΑ επιλέχθηκε αρχικά ένας απλός μέσος χρόνος 1/10 της ώρας επειδή προσέγγιζε την θερμική σταθερά χρόνου σημαντικών οργάνων όπως τα μάτια και οι όρχεις. Αυτό έκανε το όριο της ειδικής απορρόφησης (specific absorption-SA), δηλ., την ενεργειακή απορρόφηση μάζας για ολόσωμη έκθεση διπλά συντηρητική, δεδομένου ότι οι ολόσωμες θερμικές σταθερές χρόνου είναι περίπου μια ώρα ή περισσότερο. [Z-1]



Εικόνα 45 Τα κατώτερα όρια διαφόρων αποτελεσμάτων και κινδύνων εκφραζόμενα ως συνάρτηση του χρόνου.

Τα κατώτερα όρια από διάφορα αποτελέσματα και κινδύνους εκφράζονται ως συνάρτηση του χρόνου. Η τεταγμένη είναι μια αντότητα ισχύος όπως η πυκνότητα ισχύος ή το SAR. Η καμπύλη A είναι το κατώτατο όριο κινδύνου κάποιου δυσμενούς αποτελέσματος. Η καμπύλη B είναι το σύνθετο όριο σε ένα πρότυπο ασφάλειας που διευκρινίζει μια μέγιστη επιτρεπτή έκθεση (Maximum Permissible Exposure- MPE) όπως η πυκνότητα ισχύος ή το SAR, με έναν μέσο χρόνο ίσο με T για τον κλάδο SA (διακεκομμένη γραμμή) ή έναν μέσο χρόνο μικρότερο από T για τον κλάδο SA (με συνεχή γραμμή). Σημειώστε ότι εάν το πρότυπο καθορίζει μόνο ένα όριο SA, τότε η MPE θα μειώνεται επ' άπειρον στο χρόνο όπως φαίνεται από τη χαμηλότερη διακεκομμένη γραμμή.

Τελευταία η Ρωσία και η Ουκρανία έχουν θεσπίσει ένα δικό τους όριο έκθεσης, που λέγεται δόση και αποτελεί το γινόμενο των ωρών έκθεσης επί τον αριθμό 2 W/m^2 για επαγγελματικές εκθέσεις μέχρι 8 ώρες, ενώ για το κοινό υπάρχει διαφορετικός τύπος για τη δόση που επεκτείνεται μέχρι 24 ώρες.

Τελικά όλες οι χώρες προσπαθούν να επιβάλουν τα ανωτέρω όρια ασφαλείας του SAR, ενώ τα όρια μάλλον θεωρούνται αυθαίρετα και για το λόγο αυτό γίνονται συνεχώς μελέτες και έρευνες στα μη θερμικά βιολογικά αποτελέσματα επί των εμβίων όντων που ίσως καταδείξουν ότι πρέπει να μειωθούν τα όρια. Ιδιαίτερα συνηθισμένες είναι οι μελέτες που γίνονται στο πιο συνηθισμένο καθημερινό μέσο επικοινωνίας, το κινητό τηλέφωνο και τις κεραίες εκπομπής του.

13.3. Όρια στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ)

Αξίζει να σημειώσουμε ότι υπάρχει μια μεγάλη τάση σε όλες τις χώρες του κόσμου αλλά ειδικότερα στην ΕΕ για εφαρμογή αυστηρότερης πολιτικής τόσο στους βασικούς περιορισμούς όσο και στα επίπεδα αναφοράς για την έκθεση στις ακτινοβολίες. Στον πίνακα 17 βλέπουμε τους βασικούς περιορισμούς που εφαρμόζονται στις χώρες της ΕΕ σε σχέση με την Σύσταση του Συμβουλίου της ΕΕ «Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά

πεδία (0 Hz – 300 GHz)» που δημοσιεύτηκε την 30-7-1999 στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων L199 (1999/519/EC), και συνήθως αναφέρεται ως οδηγία της ΕΕ. [Γ-1]

	Αυστηρότεροι περιορισμοί	Περιορισμοί όπως οδηγία	Λιγότερο αυστηροί περιορισμοί
Αυστρία		X	
Βέλγιο	X		
Βουλγαρία		X	
Γαλλία		X	
Γερμανία			X
Δανία			X
Ελβετία		X	
Ελλάδα	X		
Εσθονία			?
Ηνωμένο Βασίλειο		X	
Ιρλανδία			X
Ισπανία		X	
Ιταλία		X	
Κύπρος			X
Λετονία		X	
Λιθουανία			X
Λουξεμβούργο		X	
Μάλτα		X	
Ολλανδία			X
Ουγγαρία		X	
Πολωνία			X
Πορτογαλία		X	
Ρουμανία		X	
Σλοβακία			X
Σλοβενία			X
Σουηδία		X	
Τσεχία		X	
Φιλανδία		X	

Πίνακας 17 Βασικοί περιορισμοί στις χώρες της ΕΕ σε σχέση με την οδηγία της ΕΕ

Ενώ στον προηγούμενο πίνακα φαίνονται μόνο 2 χώρες να εφαρμόζουν αυστηρότερους βασικούς περιορισμούς (θεωρητικό όριο), υπάρχουν περισσότερες που εφαρμόζουν αυστηρό-

	Αυστηρότερα επίπεδα αναφοράς	Επίπεδα αναφοράς όπως οδηγία	Λιγότερο αυστηρά επίπεδα αναφοράς
Αυστρία		X	
Βέλγιο	X		
Βουλγαρία	X		
Γαλλία		X	
Γερμανία		X	
Δανία			X
Ελβετία	X		
Ελλάδα	X		
Εσθονία		X	
Ηνωμένο Βασίλειο		X	
Ιρλανδία		X	
Ισπανία		X	

Ιταλία	X		
Κύπρος		X	
Λετονία		X	
Λιθουανία	X		
Λουξεμβούργο	X		
Μάλτα		X	
Ολλανδία	X		
Ουγγαρία		X	
Πολωνία	X		
Πορτογαλία		X	
Ρουμανία		X	
Σλοβακία		X	
Σλοβενία	X		
Σουηδία		X	
Τσεχία		X	
Φιλανδία		X	

Πίνακας 18 Επίπεδα αναφοράς στις χώρες της ΕΕ

τερα επίπεδα αναφοράς (μετρήσιμα μεγέθη), όπως φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 18. Διαπιστώνουμε ότι υπάρχουν 10 χώρες με αυστηρότερα επίπεδα αναφοράς και μόνο μία (η Δανία) έχει χαμηλότερα επίπεδα μεταξύ των 27 χωρών της ΕΕ και της Ελβετίας.

13.4. Μείωση των ορίων στην Ελλάδα

Η ελληνική πολιτεία, όσον αφορά τα όρια έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για την ελληνική επικράτεια, έχει θεσπίσει αυστηρότερους κανονισμούς σε σχέση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Έτσι, σε περίπτωση εγκατάστασης κατασκευής κεραιάς σε απόσταση μέχρι 300 μέτρων από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, τα όρια έκθεσης του κοινού απαγορεύεται να υπερβαίνουν το 60% των τιμών της οδηγίας της ΕΕ, ενώ σε περίπτωση που δεν ισχύουν τα παραπάνω, ως όρια ασφαλείας έκθεσης του κοινού θεωρούνται το 70% των τιμών αυτών. [Γ-7]

Στους Πίνακες 19 έως 21 παρουσιάζονται και οι βασικοί περιορισμοί στην Ελληνική Νομοθεσία, όπως προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών μείωσης 70% και 60% κατά περίπτωση, για τις περιοχές συχνότητας .100 kHz – 10 MHz, 10 MHz – 10 GHz, 10GHz – 300GHz (Σημείωση: f είναι η συχνότητα σε Hz)

Έτσι για την περιοχή 100 kHz – 10 MHz η πυκνότητα επαγομένου ρεύματος είναι:

Φυσικό μέγεθος	Συχνότητα	Τιμές ΕΕ (mA/m ²)	Ελληνική Νομοθεσία	
			70% τιμών ΕΕ (mA/m ²)	60% τιμών ΕΕ (mA/m ²)
Πυκνότητα επαγομένου ρεύματος	100 kHz – 10 MHz	$f / 500$	$f / 714$	$f / 833$

Πίνακας 19 Βασικοί περιορισμοί της σύστασης της Ε.Ε. για την περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10MHz για την πυκνότητα του επαγομένου ρεύματος

Για την περιοχή 100 kHz – 10 GHz, ο SAR είναι για κάθε ξεχωριστή περίπτωση (ολόκληρο το σώμα, στο κεφάλι ή τον κορμό και στα άκρα:

Φυσικό μέγεθος	Συχνότητα	Τιμές ΕΕ (W/kg)	Ελληνική Νομοθεσία	
			70% τιμών ΕΕ (W/kg)	60% τιμών ΕΕ (W/kg)
Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) ολόκληρου του σώματος	100 kHz - 10 GHz	0,08	0,056	0,048
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στο κεφάλι και στον κορμό		2	1,4	1,2

Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στα όκρα	4	2,8	2,4
---	---	-----	-----

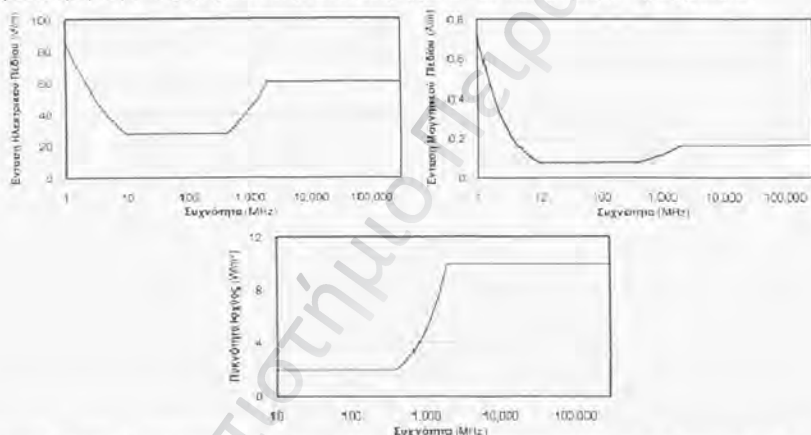
Πίνακας 20 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή συχνοτήτων 100kHz-10GHz

Για την περιοχή 10 GHz – 300 GHz η πυκνότητα ισχύος είναι:

Φυσικό μέγεθος	Συχνότητα	Τιμές ΕΕ (W/m ²)	Ελληνική Νομοθεσία	
			70% πμών ΕΕ (W/m ²)	60% πμών ΕΕ (W/m ²)
Πυκνότητα ισχύος	10 GHz – 300 GHz	10	7	6

Πίνακας 21 Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην περιοχή συχνοτήτων 10-300 GHz

Τα επίπεδα αναφοράς αφορούν τα μετρήσιμα φυσικά μεγέθη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (E), της έντασης του μαγνητικού πεδίου (H) και της ισοδύναμης πυκνότητας ισχύος επίπεδου κύματος (P). Στην εικόνα 46 παρουσιάζονται τα επίπεδα αναφοράς για τα τρία αυτά φυσικά μεγέθη όπως ορίζονται στην σύσταση της Ε.Ε., σε συνάρτηση με τη συχνότητα.



Εικόνα 46 Επίπεδα αναφοράς της ΕΕ για την ένταση Ηλεκτρικού, Μαγνητικού πεδίου και πυκνότητας ισχύος

Δεδομένου του ότι δεν είναι ισοδύναμη η εφαρμογή ενός συντελεστή μείωσης στις τιμές των μεγεθών που αφορούν τα επίπεδα αναφοράς και τους βασικούς περιορισμούς και επειδή η τήρηση των βασικών περιορισμών είναι το ζητούμενο σε κάθε περίπτωση, ενώ τα επίπεδα αναφοράς είναι ουσιαστικά ενδιάμεσα μετρήσιμα μεγέθη που διευκολύνουν πρακτικά την διαπίστωση της συμμόρφωσης με τους βασικούς περιορισμούς, προκύπτει ότι η εφαρμογή των συντελεστών μείωσης στο 60% και 70% κατά περίπτωση, αφορά αποκλειστικά τα μεγέθη των βασικών περιορισμών.

Με αυτόν τον τρόπο, άλλωστε, διασφαλίζεται ότι σε κάθε περίπτωση η μη υπέρβαση των επιπέδων αναφοράς συνεπάγεται και την μη υπέρβαση των βασικών περιορισμών, ενώ η υπέρβαση των επιπέδων αναφοράς, δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη και την υπέρβαση των βασικών περιορισμών. Τα επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας λοιπόν προκύπτουν έτσι ώστε να τηρούνται σε κάθε περίπτωση οι βασικοί περιορισμοί των πινάκων 17 έως 19. Δηλαδή, τα επίπεδα αυτά προκύπτουν από την εφαρμογή συντελεστή μείωσης 70% ή 60% ανάλογα με την περίπτωση, στα επίπεδα αναφοράς της Ε.Ε. για τα μεγέθη E και H όταν πρόκειται για την τήρηση των βασικών περιορισμών που αφορούν επαγόμενα ρεύματα και E₂, H₂ και P όταν πρόκειται για την τήρηση των βασικών περιορισμών που αφορούν SAR ή πυκνότητα ισχύος.

Στον πίνακα 22 παρουσιάζονται τα επίπεδα αναφοράς της ελληνικής νομοθεσίας για διάφορες περιοχές συχνότητας στις οποίες λειτουργούν βασικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. [Γ-7]

Εφαρμογή (Έκθεση γενικού πληθυσμού)	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)		Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)		Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επίπεδου ΗΜ κύματος (W/m ²)	
	70% τιμών ΕΕ	60% τιμών ΕΕ	70% τιμών ΕΕ	60% τιμών ΕΕ	70% τιμών ΕΕ	60% τιμών ΕΕ
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	28,7	24,6	0,08	0,066	3,15	2,7
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)	40,6	34,8	0,11	0,096	6,3	5,4
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)	42,7	36,6	0,11	0,096	7	6
Ασύρματα Δίκτυα 2,4 GHz (WiFi)						
Ασύρματα Δίκτυα 3,5 GHz (WiMax)						

Πίνακας 22 Επίπεδα αναφοράς, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, για το γενικό πληθυσμό σε συνθήκες εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων (70% και 60% των τιμών των ορίων της οδηγίας της ΕΕ)

Στον πίνακα 23 φαίνονται οι βασικοί περιορισμοί, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, για το γενικό πληθυσμό σε συνθήκες εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων. Οι βασικοί περιορισμοί που ισχύουν στην Ελλάδα αντιστοιχούν στο 70% (60%) των ορίων της ICNIRP.

Εφαρμογή (Έκθεση γενικού πληθυσμού)	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για όλο το σώμα)		Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού της κεφαλής ή του κορμού)		Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης-SAR (W/Kg) (μέση τιμή για 10g ιστού των άκρων)	
	70% τιμών ΕΕ	60% τιμών ΕΕ	70% τιμών ΕΕ	60% τιμών ΕΕ	70% τιμών ΕΕ	60% τιμών ΕΕ
Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM)	0,056	0,048	1,4	1,2	2,8	2,4
Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (DCS)						
Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)						
Ασύρματα Δίκτυα 2,4 GHz (WiFi)						
Ασύρματα Δίκτυα 3,5 GHz (WiMax)						

Πίνακας 23 Βασικοί περιορισμοί, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, για το γενικό πληθυσμό σε συνθήκες εφαρμογές ασυρμάτων δικτύων (70% και 60% των ορίων της οδηγίας της ΕΕ)

14. Νομικό πλαίσιο

14.1. Διεθνώς

Το δημοσίευμα "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Physics April 1998, Volume 74, Number 4: 494-522 - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, προτείνει συγκεκριμένες οδηγίες προφύλαξης από την έκθεση σε ΗΜ ακτινοβολία (0Hz – 300GHz) για το κοινό.[Α-5]

Η Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης "Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 Hz - 300 GHz" (L199, 1999/519/EC) περιλαμβάνει λεπτομέρειες των βασικών περιορισμών και επιπέδων αναφοράς για την έκθεση του ευρέως κοινού σε συχνότητες από 0 έως 300 GHz.[Γ-1]

Το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, κατόπιν σχετικής εισήγησης της επιστημονικής επιτροπής καθοδήγησης επί διεπιστημονικών θεμάτων, υιοθέτησε τα όρια για την προστασία του κοινού της ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection – Διεθνούς Επιτροπής για την Προστασία από τις Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες), όπως αυτά παρουσιάστηκαν στις σχετικές κατευθυντήριες γραμμές της. Η ICNIRP είναι μια ανεξάρτητη επιστημονική οργάνωση, μεγάλο κύρος που ασχολείται με την προφύλαξη των ανθρώπων από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες (όπως είναι αυτές που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας). Είναι επίσης αναγνωρισμένη μη κυβερνητική οργάνωση από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, το Διεθνές Γραφείο Εργασίας και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Έχει ως μέλη διεθνώς αναγνωρισμένους επιστήμονες που καλύπτουν τις επιστημονικές περιοχές της ιατρικής, της βιολογίας, της επιδημιολογίας, της φυσικής και της μηχανικής.

Πως προέκυψαν τα όρια της ICNIRP.[Α-15]

Η ICNIRP, αφού εξέτασε το σύνολο των δημοσιευμένων ερευνών σχετικά με τις βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ραδιοσυχνότητας, κατέληξε ότι οι μόνες επιδράσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την θέσπιση ορίων έκθεσης των ανθρώπων είναι αυτές που οφείλονται στην αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών από την απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από το σώμα. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι οι δυσμενείς βιολογικές επιδράσεις προκύπτουν με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος κατά 1° C. Η αύξηση αυτή γίνεται με την απορρόφηση ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα με ρυθμό μεγαλύτερο από 4 W/kg, δηλαδή για έναν άνθρωπο 80 kg με ρυθμό 2 W/kg. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ενδεχομένως κάποιες ομάδες πληθυσμού να είναι πιο ευπαθείς και ότι η δεν αποκλείεται η έκθεση να λαμβάνει χώρα σε ήδη επιβαρημένους χώρους με αυξημένη θερμοκρασία ή υγρασία ή κατά την διάρκεια έντονης άσκησης, επέλεξαν έναν συντελεστή ασφαλείας 50 στη θέσπιση των ορίων έκθεσης του κοινού. Έτσι, προέκυψε ο βασικός περιορισμός για την έκθεση του κοινού σε 0,08 W/kg, δηλαδή για έναν άνθρωπο 80 kg το όριο του ρυθμού απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι 6,4 W. Ταυτόχρονα, για να μην υπάρχουν περιοχές του σώματος στις οποίες να εμφανίζεται τοπικά υψηλή απορρόφηση ενέργειας προβλέπονται οι περιορισμοί και για τον μέγιστο τοπικό ρυθμό απορρόφησης σε 2 W/kg για το κεφάλι και τον κορμό του σώματος και 4 W/kg στα άκρα. Σε παρόμοια συμπεράσματα και όρια για την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχουν καταλήξει και άλλοι διεθνείς επιστημονικοί φορείς, όπως το IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers – Ίδρυμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών), το NRPB (National Radiological Protection Board – Εθνικό Συμβούλιο Ραδιολογικής Προστασίας) της Μεγάλης Βρετανίας, κ.ά.

14.2. Στην Ελλάδα

Αντίστοιχα στην Ελλάδα από το 1992 (με το Νόμο 2075) αρμόδια για την τηλεπικοινωνιακή αγορά είναι η ΕΕΤΤ (Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων). Η ανεξάρτητη αυτή αρχή είναι υπεύθυνη για την ρύθμιση και επίβλεψη των νόμων που αφορούν τις τηλεπικοινωνίες στην Ελλάδα.

Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων προβλέπονται στην κοινή υπουργική απόφαση (ΚΥΑ) 3060/238 που δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 512 Β, στις 25 Απριλίου 2002. [Γ-11] Αυτή είναι σε συμ-

φώνια με τη Σύσταση του Συμβουλίου της ΕΕ «Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz – 300 GHz)» που δημοσιεύτηκε στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων L199 (1999/519/EC) στις 30 Ιουλίου 1999.[Γ-1]

Σύμφωνα με την απόφαση της ΕΕΤΤ της 20ής Ιουνίου του 2002 (ΦΕΚ 895Β,16 Ιουλίου 2002) αποφασίστηκε η χρήση της συχνότητας που χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα των 2,4 GHz να είναι ελεύθερη και νόμιμη προς μη εμπορική εκμετάλλευση.[Γ-2]

Σύμφωνα, λοιπόν, με τον παραπάνω νόμο η ΕΕΤΤ έχει επιβάλει τις παρακάτω προδιαγραφές (σχετικές με την ασφάλεια της δημόσιας υγείας)

- Η εκπεμπόμενη ισχύ ενός κεραιοσυστήματος να μην υπερβαίνει τα 20 dBm (100mW).
- Όλες οι συσκευές που χρησιμοποιούνται πρέπει να συμφωνούν με το πρότυπο ETSI EN 300 328
- Όλες οι συσκευές πρέπει να φέρουν την σχετική έγκριση ασφαλείας CE της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την δημόσια υγεία.

Για την έκθεση του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, απαιτείται εκ των προτέρων μελέτη και έλεγχος, με τα οποία να αποδεικνύεται ότι τόσο πριν όσο και μετά από προσθήκη και τροποποίηση ακτινοβολούντων στοιχείων στο ραδιοσταθμότητα οι εκπομπές RF παραμένουν κάτω από τα όρια όπως εκάστοτε ισχύουν και αναφέρονται αμέσως παρακάτω.

Όσον αφορά την ελληνική επικράτεια, ισχύουν διαφορετικά από τα ευρωπαϊκά όρια έκθεσης σε Η/Μ ακτινοβολία, τα οποία περιγράψαμε παραπάνω. Οι ραδιοσταθμότητα χρειάζεται να σχεδιάζονται και να λειτουργούν έτσι ώστε να περιόριζον την έκθεση των εργαζομένων σε εκπομπές RF.

Το 2004 εξεδόθη η οδηγία 2004/40/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου περί των ελάχιστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας όσον αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (ηλεκτρομαγνητικά πεδία) (18η ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 16 παράγραφος 1 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ). [Γ-2] Για την έκθεση των εργαζομένων σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, απαιτείται έλεγχος, με τον οποίο να αποδεικνύεται ότι στο ραδιοσταθμότητα οι εκπομπές RF παραμένουν κάτω από τα όρια της ως άνω Οδηγίας ή και όπως εκάστοτε ισχύουν και αναφέρονται παρακάτω.

(α) «**οριακές τιμές έκθεσης**»: όρια έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τα οποία βασίζονται άμεσα σε διαπιστωμένες επιπτώσεις στην υγεία και σε βιολογικές μελέτες. Η τήρηση των ορίων αυτών εξασφαλίζει ότι οι εργαζόμενοι που εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία προστατεύονται από όλες τις γνωστές δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

(β) «**τιμές ανάληψης δράσης**»: το μέγεθος άμεσα μετρήσιμων παραμέτρων, και συγκεκριμένα της έντασης ηλεκτρικού πεδίου (E), της έντασης μαγνητικού πεδίου (H), της πυκνότητας μαγνητικής ροής (B) και της πυκνότητας ισχύος (S), στο οποίο πρέπει να λαμβάνονται ένα ή περισσότερα από τα μέτρα που καθορίζονται στην παρούσα οδηγία. Η τήρηση των τιμών αυτών διασφαλίζει ότι τηρούνται οι σχετικές οριακές τιμές έκθεσης.

Τα όρια έκθεσης για την προστασία του γενικού πληθυσμού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά, αρχικά, θεσπίστηκαν με την Κ.Υ.Α. 53571/3839 που δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 1105 Β/6 Σεπτεμβρίου 2000 [Γ-9]

Η απόφαση αυτή υιοθετούσε κατά το μεγαλύτερο μέρος τη σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Εντούτοις, στο άρθρο 6 "Μελέτη ραδιοεκπομπών κεραιάς", παράγραφος 5 της απόφασης, αναφέρονταν ότι: "Με τη μελέτη θα αποδεικνύεται ότι δεν υπάρχουν χώροι γύρω από την κεραία ελεύθερα προσπελάσιμοι από τον γενικό πληθυσμό στους οποίους τα όρια έκθεσης υπερβαίνουν το 80% των τιμών που καθορίστηκαν παραπάνω". Η απαίτηση αυτή ουσιαστικά θεσπίζει επίπεδα αναφοράς ("όρια έκθεσης"), τα οποία είναι χαμηλότερα από αυτά της σύστασης του Συμβουλίου.

Με την έκδοση, όμως, του Ν. 3431/2006 (ΦΕΚ13Α/ 3 Φεβρουαρίου 2006) [Γ-7] σύμφωνα με το άρθρο 31, παράγραφος 9, τα όρια αυτά της έκθεσης ορίζονται στο "70% των τιμών που καθορίζονται στα άρθρα 2-4 της προαναφερόμενης ΚΥΑ υπ αριθμ. 53571/3839/6.9.2000".

Έτσι τα Ελληνικά όρια για την έκθεση του κοινού τίθενται στο 70% των ορίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους σταθμούς κεραιών που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των

300 μέτρων από την περίμετρο των κτιριακών εγκαταστάσεων σχολείων, βρεφονηπιακών σταθμών, νοσοκομείων και γηροκομείων και στο 60% των ορίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους σταθμούς κεραιών που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 300 μέτρων από τις εγκαταστάσεις αυτές.

Επίσης, προβλέπεται ότι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), υποχρεούται να ελέγχει την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Ο τρόπος εφαρμογής των συντελεστών μείωσης (70% ή 60% κατά περίπτωση όπως προβλέπεται στις παραγράφους 9 και 10, αντίστοιχα, του άρθρου 31 του ν. 3431, ΦΕΚ 13/Α/3.2.2006) [Γ-7] στις τιμές που καθορίζονται στα άρθρα 2 και 4 της υπ' αριθ. 53571/3839 ΚΥΑ (ΦΕΚ. 1105/Β/6.9.2000) [Γ-9] και οι προκύπτουσες τιμές αναφέρονται αναλυτικά στην Εγκύκλιο της Ε.Ε.Α.Ε. «για τον καθορισμό ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο περιβάλλον σταθμών κεραιών σε εφαρμογή του Ν. 3431/2006 (ΦΕΚ 13/Α/03-02-2006)», της 12-01-2007 με Α.Π. Π/105/104, που εκδόθηκε κατόπιν σχετικής απόφασης του Διοικητικού Συμβουλίου της ΕΕΑΕ στην 183η Συνεδρίαση του της 30.6.2006.[Ε-7]

Με την ΚΥΑ των Υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών, Ανάπτυξης και Μεταφορών και Επικοινωνιών 8701/118 /7.3.2007 «Προσδιορισμός ύψους του παραβόλου το οποίο καταβάλλεται στην Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (Ε.Ε.Α.Ε.) για τον έλεγχο τήρησης των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.», [Γ-14] καθορίζεται το ύψος του παραβόλου που απαιτείται και τον τρόπο καταβολής του για τον έλεγχο ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Τέλος, με την αριθ 2/Β 435/29.03.2007 Απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων καθορίζεται το περιεχόμενο και εξειδικεύεται η διαδικασία των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για τις εγκαταστάσεις κεραιών σταθμών στην ξηρά.[Γ-15]

14.3. Αρμοδιότητες της ΕΕΑΕ σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Το Γραφείο Μη-ιοντίζουσών Ακτινοβολιών της ΕΕΑΕ είναι υπεύθυνο για την προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος από τις τεχνητά παραγόμενες μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες.

Στα πλαίσια των αρμοδιοτήτων του:

- Μεριμνά για την πραγματοποίηση εκπαιδευτικών προγραμμάτων για την κατάρτιση του προσωπικού όλων των ενδιαφερομένων φορέων σε θέματα προστασίας του κοινού από ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες.

- Αναλαμβάνει πρωτοβουλίες για την αποτελεσματική παρακολούθηση των διεθνών εξελίξεων, την εκπόνηση ερευνητικών μελετών και τη σχετική ενημέρωση του γενικού πληθυσμού για θέματα προστασίας της υγείας από την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών.

- Ελέγχει μέσω μετρήσεων την τήρηση των ορίων έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ΕΕΑΕ ή εξουσιοδοτημένα από αυτήν συνεργεία πραγματοποιούν αυτεπαγγέλτως δειγματοληπτικές μετρήσεις τουλάχιστον στο 20% των αδειοδοτημένων κεραιών, ετησίως, καθώς και κατόπιν αιτήματος οποιουδήποτε προσώπου που συνοδεύεται με την καταβολή σχετικού παραβόλου, εντός 20 εργάσιμων ημερών από την υποβολή του αιτήματος. Τα αποτελέσματα των ελέγχων αυτών δημοσιεύονται στην ιστοσελίδα της ΕΕΑΕ.

- Ρυθμίζει τις λεπτομέρειες που αφορούν την εξουσιοδότηση άλλων συνεργείων να πραγματοποιούν μετρήσεις και προσδιορίζει το σύστημα πραγματοποίησης μετρήσεων των επιπέδων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

- Αποστέλλει στην αρμόδια υπηρεσία για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης κεραιάς γνωματεύσεις συμμόρφωσης με τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού για κάθε εγκατάσταση μετά την εξέταση της σχετικής μελέτης ραδιοεκπομπών που υποβάλλεται από τον κάτοχο της κεραιάς.

- Δημοσιεύει υποδείγματα μελετών για διάφορες κατηγορίες κεραιών.

• Σύμφωνα με το Νόμο 3431/2006 για τις ηλεκτρονικές επικοινωνίες η σύμφωνη γνώμη της ΕΕΑΕ είναι προαπαιτούμενο και για την περιβαλλοντική αδειοδότηση των σταθμών κεραιών.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

15. Ομάδες κινδύνου

15.1. Εργαζόμενοι σε MRI

Τα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα όσον αφορά τα βιολογικά αποτελέσματα των στατικών μαγνητικών πεδίων είναι μάλλον περιορισμένα και αντιφατικά. Βάσει διάφορων προσεκτικά διεξαγμένων μελετών, οι ακόλουθες σημαντικές βιολογικές διαδικασίες εμφανίζονται να μην επηρεάζονται από τα στατικά μαγνητικά πεδία μέχρι περίπου τα 2 T:

- αύξηση και μορφολογία κυττάρων,
- Δομή DNA και έκφραση γονιδίων, (gene expression)
- αναπαραγωγή και ανάπτυξη,
- βιο-ηλεκτρικές ιδιότητες μεμονωμένων νευρώνων,
- ζωική συμπεριφορά,
- οπτική απάντηση σε φωτοερεθίσματα,
- καρδιαγγειακή δυναμική, (dynamics)
- αιματολογικοί δείκτες,
- άνοσοαντίδραση, (immune response),
- φυσιολογικός κανονισμός και κρκαδικοί ρυθμοί. (physiological regulation and circadian rhythms)

Όμως, αυτή τη στιγμή, η επιστημονική βάση δεδομένων δεν είναι επαρκής για να αξιολογήσει τον κίνδυνο έκθεσης σε υψηλότερα στατικά πεδία. Έχουν υπάρξει πολύ λίγες μελέτες σε ανθρώπους. Κάποια στοιχεία έχουν προκύψει που δείχνουν ότι επαγγελματικές εκθέσεις των ανθρώπων σε μαγνητικά πεδία μέχρι 2 T για διάρκεια μερικών ωρών δεν φαίνονται να προκαλούν οποιαδήποτε δυσμενή αποτελέσματα. Οι εκθέσεις σε πεδία μέχρι 0,5 T για παρατεταμένες χρονικές περιόδους δεν οδήγησαν σε οπιαδήποτε επιβλαβή αποτελέσματα. Αυτά τα συμπεράσματα προέρχονται από μια μελέτη εργαζομένων σε εργαστήρια πυρηνικής φυσικής. Όρια έκθεσης από 0,01 έως 0,03 T για 8 ώρες την ημέρα έχουν συστηθεί για τους εργαζομένους σε εργαστήρια πυρηνικής φυσικής σε διάφορες χώρες, και μπορούν επομένως να χρησιμεύσουν ως επίπεδο αναφοράς για τους χειριστές των μαγνητικών τομογράφων. Οι οδηγίες επιτρέπουν, πάντως, υψηλότερες εκθέσεις για μικρότερα χρονικά διαστήματα. [A-1],[A-13], [A-20]

15.2. Εργαζόμενοι κοντά σε συστήματα RADAR

Σύμφωνα με την σημείωση 8 του πίνακα 2 της ΚΥΑ 53571/3839/6-9-2000 στην περίπτωση των παλμικά διαμορφωμένων πεδίων, όπως είναι η ακτινοβολία από τα ραντάρ, προτείνεται ο μέσος όρος της πυκνότητας ισχύος εφ' όλου του εύρους παλμού να μην υπερβαίνει το 1000πλάσιο των επιπέδων αναφοράς, και οι εντάσεις των πεδίων να μην υπερβαίνουν το 32πλάσιο των επιπέδων αναφοράς. Έτσι, κατά την εκτίμηση της έκθεσης σε ένα σημείο στο περιβάλλον των ραντάρ πρέπει να γίνονται συγκρίσεις τόσο για την μέση τιμή της έκθεσης όσο και την τιμή κορυφής κατά την διάρκεια του παλμού.[Γ-8]

Η μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου αναφέρεται στη τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου (γεωμετρικός μέσος όρος) των μεγεθών και η μέση τιμή της πυκνότητας ισχύος αναφέρεται στον αριθμητικό μέσο όρο. Τα μεγέθη αυτά είναι συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα μεγέθη στους πίνακες της ΚΥΑ. [Γ-8]

15.3. Προσωπικό που διενεργεί μετρήσεις των εκπεμπόμενων επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Σε διάφορα διεθνή πρότυπα μετρήσεων παρέχονται διάφορες υποδείξεις που αφορούν τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνει το εξειδικευμένο προσωπικό που διενεργεί τις μετρήσεις επιπέδων Η/Μ ακτινοβολίας.[E-2]



Εικόνα 48 Διενέργεια μετρήσεων



Εικόνα 47 Πάρκο κερατιών

Τα σημεία στα οποία καταγράφονται οι τιμές των πεδίων είναι τα «δυσμενέστερα» σημεία από πλευράς επαγόμενης Η/Μ ακτινοβολίας (hot spots), και επιλέγονται από το προσωπικό κατόπιν διερευνητικού ελέγχου, (survey), στην περιοχή ενδιαφέροντος. Κατά την διαδικασία αυτή θα πρέπει να λαμβάνονται διάφορες προφυλάξεις για την αποφυγή ατυχημάτων.

Οι πηγές κινδύνου δεν σχετίζονται μόνο με τα συστήματα εκπομπής Η/Μ ακτινοβολίας. Συνεπώς οι απαιτούμενες προφυλάξεις που θα πρέπει να λαμβάνει κανείς κατά την διεξαγωγή μετρήσεων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Πηγές κινδύνου που δεν σχετίζονται άμεσα με την διαδικασία ανεύρεσης των δυσμενέστερων σημείων (hot spots),
- Προφυλάξεις κατά την διαδικασία ανεύρεσης των δυσμενέστερων σημείων (hot spots)

Στη συνέχεια εξετάζονται αναλυτικά οι παράγοντες επικινδυνότητας για κάθε μία κατηγορία.

15.3.1. Πηγές κινδύνου που δεν σχετίζονται άμεσα με την διαδικασία ανεύρεσης των δυσμενέστερων σημείων (hot spots)

Πέραν των προφυλάξεων που απαιτούνται κατά την διαδικασία ανεύρεσης των δυσμενέστερων σημείων, από πλευράς επαγόμενης Η/Μ ακτινοβολίας, είναι σημαντικό να εξετάσουμε πιθανές πηγές κινδύνου, πλέον αυτών της έκθεσης στα επαγόμενα Η/Μ πεδία, οι οποίες μπορεί να σχετίζονται με τον υπό εξέταση ηλεκτρονικό εξοπλισμό ή τα ηλεκτρονικά συστήματα.

α) Υψηλή τάση : Μερικές φορές ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός της υπό εξέταση εγκατάστασης μπορεί να παρουσιάζει υψηλή διαφορά δυναμικού και να προκαλέσει και θανατηφόρο ατύχημα από ηλεκτροπληξία. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να λαμβάνονται προληπτικά μέτρα. Τα πιο σημαντικά και συνήθη μέτρα που εφαρμόζονται είναι να μην τίθενται εκτός λειτουργίας τα τυχόν εσωτερικά συστήματα ασφαλείας που υπάρχουν.

β) Πηγές ακτίνων Χ : Σε συστήματα μεγάλης ισχύος όπου απαιτείται υψηλή τάση λειτουργίας, (συνήθως μεγαλύτερη των 20kV), υπάρχει γενικά η πιθανότητα εκπομπής ακτίνων-χ κοντά στις μονάδες των πομπών. Για το λόγο αυτό, είναι σκόπιμο να γίνεται ένας έλεγχος της περιοχής όσον αφορά τις εκπομπές ακτίνων-χ, πριν την διεξαγωγή του ελέγχου που αφορά τις τιμές των Η/Μ πεδίων. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει τα μηχανήματα ελέγχου των επιπέδων της ακτινοβολίας-χ να είναι συμβατά με τα υπάρχοντα πεδία.

γ) Μαγνητικό πεδίο συνεχούς ρεύματος : Τα συστήματα μεγάλης ισχύος αποτελούν πηγές ισχυρών στατικών πεδίων ή μαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις το προσωπικό που διεξάγει τους ελέγχους δεν θα πρέπει να προσεγγίζει τις πηγές αυτών των πεδίων.

δ) Έμμεσες πηγές κινδύνου RF : Εκτός από τους κινδύνους που σχετίζονται με την έκθεση του σώματος σε Η/Μ πεδία, το προσωπικό διεξάγει ελέγχους σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, κοντά σε πομπούς κινητής τηλεφωνίας, ακόμα και σε οικίες, όπου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη άλλοι παράγοντες όπως:

- Η πιθανή έκρηξη ή ανάφλεξη καυσίμων και άλλων εύφλεκτων υλικών λόγω της παρουσίας υψηλών τιμών Η/Μ πεδίων.
- Το φαινόμενο των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, το οποίο μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες όταν σχετίζεται με την επίδραση Η/Μ πεδίων σε μηχανήματα ιατρικής υποστήριξης, (π.χ σε βηματοδότες).

Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητη μια πλήρης εκτίμηση όλων των παραγόντων που μπορεί να αποτελέσουν πιθανά αίτια ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών πριν την διεξαγωγή του ελέγχου. Όλοι οι έλεγχοι πρέπει να πραγματοποιούνται με την τήρηση των κανόνων των διεθνών οργανισμών που αφορούν τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

ε) Εγκαύματα : Το προσωπικό που διεξάγει μετρήσεις θα πρέπει να αποφεύγει την χρήση αγώγιμων αντικειμένων που βρίσκονται εκτεθειμένα σε υψηλές τιμές Η/Μ πεδίων, όπως επίσης και καλωδίων με γυμνές επαφές.

στ) Ασυνήθιστη κατάσταση λειτουργίας : Η λειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων συχνά επηρεάζεται από την παρουσία εξαιρετικά υψηλών τιμών Η/Μ πεδίων. Σε αυτές τις περιπτώσεις παρουσιάζονται λανθασμένες ενδείξεις τιμών και λανθασμένη φασματική απόκριση των οργάνων. Για τον λόγο αυτό επιβάλλεται ο έλεγχος καλής λειτουργίας του εξοπλισμού πριν και μετά την διεξαγωγή των ελέγχων από το εξειδικευμένο προσωπικό.

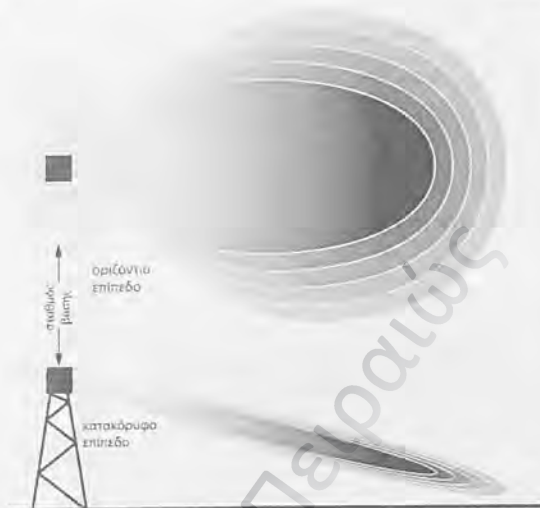
15.3.2. Προφυλάξεις κατά την διαδικασία ανεύρεσης των δυσμενέστερων σημείων (hot spots)

Τα μέτρα προφύλαξης που πρέπει να λαμβάνονται από το προσωπικό κατά την διάρκεια ενός ελέγχου μιας διάταξης που εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συνοψίζονται στα εξής:

α) Με βάση τις γνωστές παραμέτρους του συστήματος, η διαδικασία διεξαγωγής του ελέγχου θα πρέπει να προγραμματίζεται έτσι ώστε η έκθεση του προσωπικού να μην υπερβαίνει τα όρια που έχουν θεσπιστεί από τους διεθνείς οργανισμούς, τόσο όσο αφορά την πυκνότητα ισχύος όσο και την χρονική έκθεση για επαγγελματικά εργαζόμενους. Η μέθοδος που εφαρμόζεται για περιπτώσεις υψηλών τιμών Η/Μ πεδίων, είναι η καταγραφή των τιμών από απόσταση, με χρήση επιμήκους οπτικής ίνας που συνδέει το όργανο μέτρησης με τον φορητό υπολογιστή στον οποίο γίνεται η καταγραφή. Μια εξίσου χρήσιμη μέθοδος, είναι η έναρξη λειτουργίας του οργάνου μέτρησης, πριν την είσοδο του χρήστη στον υπό μέτρηση χώρο στον οποίο περιμένουμε μεγάλες τιμές πεδίων. Με αυτό επιτυγχάνεται η γνώση του ύψους των τιμών των πεδίων, καθώς πλησιάζει ο χειριστής του οργάνου προς την υπό μέτρηση κεραιοδιάταξη. Έτσι σε περίπτωση εμφάνισης τιμών μεγαλύτερης των αναμενόμενων, ο χειριστής έχει γνώση και μπορεί να προφυλαχτεί κατάλληλα.

β) Η διεξαγωγή ελέγχων πλησίον σταθερών ή περιστρεφόμενων κεραιοσυστημάτων θα πρέπει να γίνεται με τήρηση βασικών μέτρων ασφαλείας, που ποικίλουν ανάλογα με την περίπτωση. Θα πρέπει να αποφεύγεται η σωματική επαφή με τις κατασκευές, όπως επίσης να ελαχιστοποιείται η έκθεση του προσωπικού στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Για τον σκοπό αυτό το προσωπικό θα πρέπει να κινείται σε σημεία εκτός της κύριας δέσμης ακτινοβολίας κατά τον έλεγχο.

γ) Είναι σκόπιμο πριν την διεξαγωγή του ελέγχου να γίνεται μια θεωρητική μελέτη των διαγραμμάτων ακτινοβολίας που αφορούν τα υπό εξέταση συστήματα, ώστε να υπάρχει εκ των προτέρων μια άποψη για το που αναμένεται να βρίσκονται οι δυσμενέστερες περιοχές. (Παράδειγμα στην εικόνα 49) [ΣΤ-3]



Εικόνα 49 Κατεύθυνση και σχήμα λοβών ακτινοβολίας κεραίας

δ) Οι κεραίες γενικά δεν πρέπει να βρίσκονται πολύ κοντά ή να έχουν προσανατολισμό προς μεγάλες μεταλλικές κατασκευές και μεταλλικά αντικείμενα. Πέραν των πιθανών ανακλάσεων και σκεδάσεων που προκαλούν οι μεταλλικές επιφάνειες, είναι πιθανόν να προκληθούν εγκαύματα κατά την επαφή με τις επιφάνειες αυτές. Εντούτοις, αν υπό κανονικές συνθήκες εκπομπής υπάρχουν τέτοιου είδους μεταλλικά υλικά στην περιοχή, οι ελεγκοί πρέπει να διεξαχθούν παρουσία των υλικών. Η παρουσία δευτερευουσών κατασκευών, (φράχτες, ανακλαστικές επιφάνειες, καλώδια, κ.τ.λ), αυξάνει τις τιμές των πεδίων και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την διεξαγωγή των ελέγχων.

ε) Αν κατά την διάρκεια των μετρήσεων, ο χειριστής του οργάνου τοποθετηθεί σε λάθος θέση, όπως μεταξύ της πηγής ακτινοβολίας και του οργάνου μέτρησης (κρύβοιτας τον ανιχνευτή) ή πίσω από τα όργανα μέτρησης (δημιουργώντας ανάκλαση του πεδίου με το σώμα του), τότε τα αποτελέσματα έχουν μεγάλη απόκλιση από την πραγματικότητα. Η καλύτερη προετοιμασία για κάθε είδους μετρήσεων είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόκτηση εμπειρίας. Μια ικανοποιητικού βαθμού εμπειρία σε συνδυασμό με την κατάλληλη εκπαίδευση είναι απαιτούμενα από τα πρότυπα μέτρησης για τους χειριστές οργάνων για την πραγματοποίηση τέτοιου είδους μετρήσεων.

15.4. Διαμέροντες κοντά σε κεραίες

Στους σταθμούς βάσης υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που καθορίζουν τα επίπεδα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στις θέσεις που μπορεί να βρεθεί κάποιος άνθρωπος.

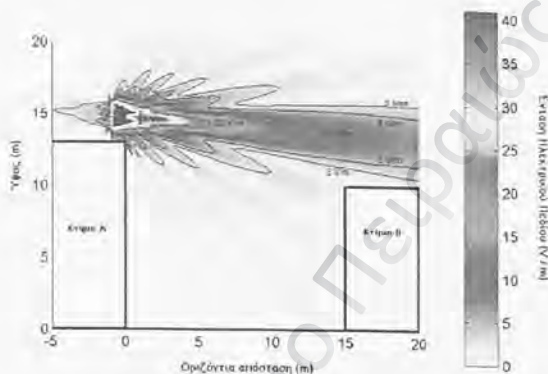
Η ισχύς εκπομπής, δηλαδή η συνολική ισχύς που εκπέμπεται από τα κεραιοσυστήματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς εκπομπής τόσο μεγαλύτερη είναι και η ακτινοβολία που προσπίπτει στις θέσεις που βρίσκονται οι άνθρωποι. Τυπικές τιμές ισχύος στην είσοδο των κεραίων των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας είναι από 10 W έως 40 W στις ορειοκατοικημένες αγροτικές περιοχές και κάτω από 10 W στις πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές.

Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας. Ανάλογα με την κατασκευή τους, οι κεραίες δεν εκπέμπουν την ακτινοβολία ομοιόμορφα (σφαιρικά) στο περιβάλλον τους, αλλά υπάρχουν κατευθύνσεις στις οποίες εκπέμπουν πολύ περισσότερο από άλλες. Η διαφορά στην ένταση της ακτινοβολίας μεταξύ δύο κατευθύνσεων μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 100 φορές. Οι κατα-

κευαστές των κεραιών παρέχουν διαγράμματα που δείχνουν πως μεταβάλλεται η ισχύς της ακτινοβολίας στο περιβάλλον των κεραιών συναρτήσει της κατεύθυνσης.

Η απόσταση από την κεραία. Η ακτινοβολουμένη ισχύς από μια κεραία προς μία κατεύθυνση δεν είναι σταθερή, αλλά μειώνεται πολύ γρήγορα με την απόσταση (με το αντίστροφο τετράγωνο της απόστασης δηλαδή σε διπλάσια απόσταση προσπίπτει το ένα τέταρτο της ακτινοβολίας και σε δεκαπλάσια απόσταση το ένα εκατοστό).

Τα παρεμβαλλόμενα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εξασθενεί πάρα πολύ στα σημεία που βρίσκονται πίσω από τοίχους ή κάτω από οροφές κτιρίων. Στην εικόνα 50 βλέπουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κεραιάς που είναι τοποθετημένη ανάμεσα σε κτήρια.



Εικόνα 50 Ακτινοβολία κεραιάς ανάμεσα σε δύο κτήρια

Συγκεκριμένα, σε ύψος 1 μέτρου από την ταράτσα του κτιρίου Α βρίσκεται τοποθετημένη μία κεραία κινητής τηλεφωνίας. Εδώ απεικονίζεται στο κατακόρυφο επίπεδο η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στη κατεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας της κεραιάς. Το όριο της σχετικής Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι 41,25 V/m για την συχνότητα στην οποία εκπέμπει η κεραία αυτή (900 MHz). Όπως φαίνεται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι κάτω από το όριο αυτό σε απόσταση λίγων μέτρων ακόμα και στη κατεύθυνση που ακτινοβολεί η κεραία. Στις άλλες κατευθύνσεις, πίσω, πάνω και κάτω από την κεραία η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι πολύ μικρότερη του ορίου σε απόσταση μόλις ενός μέτρου από την κεραία. Εντός του κτιρίου Α η ακτινοβολία είναι πολύ μικρότερη λόγω και της εξασθένησης που προκαλείται στην διάδοση της ακτινοβολίας από την ταράτσα. Στο σχήμα φαίνεται και ένα δεύτερο κτίριο, το κτίριο Β, που βρίσκεται σε οριζόντια απόσταση 15 μέτρων από το κτίριο Α, στην κατεύθυνση που ακτινοβολεί η κεραία.

Το κτίριο Β είναι μόλις έναν όροφο χαμηλότερο από το κτίριο Α, ωστόσο η κύρια δέσμη της ακτινοβολίας διέρχεται πάνω από αυτό, χωρίς να εμποδίζεται από την παρουσία του κτιρίου. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε ύψος 2 μέτρων πάνω από το επίπεδο της ταράτσας του κτιρίου Β (θέση του κεφαλιού ενός ιδιαίτερα ψηλού ανθρώπου) είναι 3 V/m έως 5 V/m. Στα μπαλκόνια του κτιρίου Β προς την πλευρά της κεραιάς η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι μικρότερη από 1 V/m και στο εσωτερικό του κτιρίου είναι πολλές φορές μικρότερη λόγω της εξασθένησης από τα δομικά υλικά. Τεχνικά στοιχεία κεραιάς: συνολική ισχύ στην είσοδο της 20 W, κέρδος κύριου λοβού 15,5 dBi και άνοιγμα στο οριζόντιο επίπεδο 90° (Πηγή: France Telecom)

Οι τιμές έντασης ακτινοβολίας που έχουν μετρηθεί σε χώρους διαβίωσης οικιών πλησίον κεραιών βάσης κινητής τηλεφωνίας, αν και ευρίσκονται εντός των ορίων της Πολιτείας, εντούτοις θεωρούμε ότι είναι δυνητικά επικίνδυνες για τη υγεία των κατοίκων που δέχονται την ακτινοβολία αυτή μέχρι και 24 ώρες το 24ωρο. Άλλωστε οι μελέτες για μακροπρόθεσμη βλάβη στην υγεία μέχρι και την πρόκληση όγκων έχει τεκμηριωθεί επιδημιολογικά. Οι άμεσες επιπτώ-

σεις με τη μορφή ποнокεφάλων έλλειψης συγκέντρωσης αϋπνίας, μείωση ανοσοποιητικού κλπ., αποτελούν καθημερινά συμπτώματα στους διαμένοντες πλησίον των κεραιών.

Αν και οι εν λόγω τιμές είναι εντός των ορίων που ακολουθεί η Ελλάδα σύμφωνα και με τον νόμο 3431/2006 εν τούτοις ευρίσκονται επάνω από τα αυστηρότερα όρια που ισχύουν σε άλλες χώρες όπως προαναφέρθηκε, και ιδιαίτερα στην πρώην Σοβιετική Ένωση όπου οι βιολογικές επιδράσεις των ΗΜΠ και τα μη-θερμικά φαινόμενα ήταν ήδη υπό διερεύνηση αρκετές δεκαετίες πριν αρχίσει η σχετική έρευνα στη Δύση. Το αντίστοιχο όριο που είχε θεσπιστεί είναι $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (περίπου $0.4 \text{ V}/\text{m}$). Το όριο αυτό που είχε θεσπισθεί στην πρώην Σοβιετική Ένωση, λάμβανε υπ' όψιν και τις μη-θερμικές επιδράσεις στους ζωντανούς οργανισμούς. Το αντίστοιχο όριο που ισχύει σήμερα στη Ρωσία είναι $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, (περίπου $3 \text{ V}/\text{m}$), ενώ παρόμοιο είναι τα όρια που ισχύουν στην Αυστρία, στη Νέα Ζηλανδία, στην Ιταλία στην Κίνα και πρόσφατα στη Γαλλία αλλά και στο Βέλγιο ($3 \text{ V}/\text{m}$ με απώτερο στόχο την τιμή $0.6 \text{ V}/\text{m}$ - απόφαση βελγικού κοινοβουλίου 16 Φεβρουαρίου 2007).

Είναι συνεπώς σαφές ότι αν και οι εντάσεις ακτινοβολίας που μετρήσαμε είναι εντός των ορίων που ισχύουν στη χώρα μας, εν τούτοις είναι πάνω από τα όρια άλλων χωρών, που στηρίζονται σε ολοένα αυξανόμενες επιδημιολογικές και πειραματικές μελέτες (βλέπε παρακάτω).

Προτείνεται η εξασφάλιση από τις αρμόδιες υπηρεσίες της πολιτείας, επιπέδου ηλεκτρικού πεδίου ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων από τις διάφορες πηγές, κινητής τηλεφωνίας, ραδιοηλεκτρικών σταθμών, κ.λπ. τιμής $0.2 \text{ V}/\text{m}$ σε χώρους όπου υπάρχουν ανθρώπινη δραστηριότητα ιδιαίτερα μικρών παιδιών. κάτι το οποίο άλλωστε ισχύει στην πόλη Salzburg της Αυστρίας.

Τόσο οι κυτταρικοί βιολόγοι όσο και οι βιοψυσικοί (που έχουν ιδιαίτερη γνώση του αντικειμένου της επιπτώσεως των ακτινοβολιών - ιοντιζουσών και μη-ιοντιζουσών), είναι ιδιαίτερα επιφυλακτικοί στα «όρια αποδεκτής έκθεσης» που έχουν θεσπιστεί κυρίως με πολιτικά-οικονομικά κριτήρια χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν οι αποδεδειγμένες πλέον μη-θερμικές επιπτώσεις, που είναι εξ ίσου σοβαρές με τις θερμικές.

Φαίνεται λοιπόν σωστό στην περίπτωση των Μη-ιοντιζουσών ακτινοβολιών, όπως είναι οι μικροκυματικές ακτινοβολίες της κινητής τηλεφωνίας, να ακολουθείται η αρχή της προφύλαξης, δηλαδή η αποφυγή κάθε έκθεσης σε τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία, εφόσον αυτό είναι εφικτό.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, θεωρούμε ότι η εγκατάσταση των εν λόγω κεραιών επάνω σε κτήρια σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και σε απόσταση μόλις λίγων μέτρων από παραπλήσια οικήματα-κτίρια αναλόγου ύψους, είναι επικίνδυνη και θα πρέπει να αποφεύγεται. Κατά συνέπεια, ανεξάρτητα από την ψήφιση του νέου νομοσχεδίου από τη Βουλή των Ελλήνων (Νόμος 3431/13/Α/3-2-2006) στο οποίο διατηρούνται, με μια μικρή μείωση 10% τα ήδη ισχύοντα «όρια ασφαλείας», πιστεύουμε ότι η πλειονότητα των κεραιών βάσης κινητής τηλεφωνίας (λειτούργουν περίπου 7.000 κεραιές στη χώρα μας) ενέχει κινδύνους για τους μονίμως διαμένοντες (24 ώρες το 24ωρο) στις πλησιον ευρισκόμενες πολυκατοικίες, αφού οι τιμές που έχουμε μετρήσει εντός οικιών (μέγιστο μέχρι και $8,0 \text{ V}/\text{m}$) είναι μεγαλύτερες από τα όρια που ισχύουν σε άλλες χώρες όπως αναλυτικά αναφέρθηκε.

Η πρόσφατη ελληνική νομοθεσία (νόμος 3431/2006 ΦΕΚ 13.Α', άρθρο 31) εφαρμόζει αυστηρότερα όρια, σε επίπεδα 70% (και κατά περίπτωση 60% για σχολεία, βρεφονηπιακούς σταθμούς, γηροκομεία και νοσοκομεία) εκείνων που έχει προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, δηλαδή περίπου $630 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ για συχνότητα 1.800 MHz. και $315 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ για συχνότητα 900 MHz. Παρόλα αυτά θεωρούμε ότι δεν προστατεύεται η δημόσια υγεία από τους δυνητικούς κινδύνους των μη θερμικών βλαβών, της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διότι μελέτες αποδεικνύουν ότι έχουμε βλάβες στους ανθρώπους και στο περιβάλλον ακόμα και όταν η ένταση της ακτινοβολίας είναι κάτω από αυτά τα όρια έκθεσης. Δεν είναι άλλωστε τυχαίο ότι σε αρκετές χώρες ισχύουν πολύ πιο αυστηρά «όρια αποδεκτής έκθεσης», όπως φαίνεται στον πίνακα 24. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του Βελγίου όπου ψηφίστηκε στη Βουλή, στις 16 Φεβρουαρίου 2007, δραστική μείωση των «ορίων αποδεκτής έκθεσης» από $27 \text{ V}/\text{m}$ σε $3 \text{ V}/\text{m}$.

Χώρα	Όριο Αποδεκτής Έκθεσης (V/m)	Παρατηρήσεις
Ελλάδα	22-33	
Ελβετία	4-6	
Αίγυπτος	4	
Κίνα	6	
Βουλγαρία	6	
Βέλγιο	3	απόφαση για μελλοντική μείωση σε 0,6
Παρίσι	2	
Αυστρία	0,2	(Σάλτσμπουργκ)
Ρωσία	1	

Πίνακας 24 Τιμές αποδεκτής έκθεσης στην ακτινοβολία από κεραίες βάσης κινητής τηλεφωνίας σε διάφορες χώρες.

Σε πολλές δημοσιεύσεις έχουν αναφερθεί συμπτώματα του συνδρόμου των μικροκυμάτων (OBRFELD G ET AL, 2004), δηλ. διαταραχή μνήμης, σύγκέντρωσης, ύπνου, εξάντληση, πονοκεφάλους (HUTTER ET AL 2006), ιδιαίτερα σε απόσταση 50 - 400 μέτρων από την κεραία (SANTINI R ET AL 2002) σε τιμές πυκνότητας ισχύος από 0,44 έως 0,025 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (δηλαδή 1432 έως 25200 φορές κάτω από τα ελληνικά όρια ασφαλείας. Κάτοικοι που διέμεναν εντός 400 μέτρων από κεραία κινητής τηλεφωνίας για τουλάχιστον 10 χρόνια παρουσίασαν αυξημένα ποσοστά καρκίνου σε σχέση με τους κατοίκους που ζούσαν μακρύτερα των 400 μέτρων (EGER H ET AL 2004). Σε πειραματικό επίπεδο οι MAGRAS END XENOS (1977) με τιμή έκθεσης 0,16 έως 1,053 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (δηλαδή 598-3938 φορές κάτω από τα ελληνικά όρια), διαπίστωσαν επιπτώσεις στην αναπαραγωγική ικανότητα ποντικών. Το ίδιο παρατηρήθηκε σε έντομα και μάλιστα με έκθεση στην ακτινοβολία κινητού τηλεφώνου για διάρκεια μόλις 6 λεπτά την ημέρα για 3 συνεχόμενες ημέρες (ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ET AL, 2004). Κάτω από τις ίδιες συνθήκες προκλήθηκε αύξηση του κυτταρικού θανάτου (ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ET AL, 2007), ενώ ο BALMONI (2005) διαπίστωσε πως όταν οι φωλιές των πουλιών ήταν εντός 200 μέτρων από κεραίες κινητής τηλεφωνίας, ήταν μειωμένη η αναπαραγωγή και ο ρυθμός ανάπτυξης και αυξημένη η εμβρυϊκή θνησιμότητα, σε σύγκριση με τα πουλιά που οι φωλιές τους ήταν σε απόσταση μεγαλύτερη των 300 μέτρων από τις κεραίες. Άλλωστé σε πολύ πρόσφατη επιδημιολογική μελέτη δείχθηκε χωρίς καμιά αμφιβολία η συσχέτιση ανάμεσα στην ανάπτυξη όγκων και στην έκθεση σε ακτινοβολία κινητής τηλεφωνίας (HARDEL L ET AL 2006) κάτι το οποίο καταγράφεται ολοένα και περισσότερο σε μεγαλουπόλεις ανά την υφήλιο. Έχει επίσης δημοσιευθεί πρόσφατη μελέτη (HARDEL L ET AL 2007) η οποία υποστηρίζει τη στενή σύνδεση ανάμεσα σε βιομηχανίες κινητής τηλεφωνίας και σε επιστημονικές δημοσιεύσεις.

15.5. Λοιποί Εργαζόμενοι

Οι παρούσες οριακές τιμές (Threshold Limited Values-TLVs) αναφέρονται σε ραδιοσυχνότητες και ακτινοβολία μικροκυμάτων στην περιοχή συχνότητας από 30 KHz μέχρι 300 GHz και παριστούν συνθήκες κάτω από τις οποίες πιστεύεται ότι σχεδόν όλοι οι εργαζόμενοι μπορούν επανειλημμένα να εκτίθενται χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις υγείας. Οι οριακές τιμές, σε όρους μέσης τετραγωνικής τιμής (rms) ισχύος ηλεκτρικού (E) και μαγνητικού (H) πεδίου, οι ισοδύναμες πυκνότητες ισχύος (PD) επιπέδων κυμάτων ελεύθερου χώρου, και τα επαγωγικά ρεύματα στο σώμα που μπορεί να σχετίζονται με την έκθεση σε αυτά τα πεδία ή με την επαφή με τα αντικείμενα που εκτίθενται σε αυτά τα πεδία, δίνονται στους πίνακες για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και για τα επαγωγικά και εξ επαφής ρεύματα ραδιοσυχνότητας. [E-2]

A. Για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία βλέπουμε τον πίνακα 25.

Συχνότητα	Πυκνότητα ισχύος (mW/cm ²)	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου (A/m)	Μέση τιμή χρόνου (λεπτά)
30 kHz- 100 kHz		614	163	6
100 kHz- 3 MHz		614	16,3/f	6
3 MHz- 30 MHz		1842/f	16,3/f	6
30 MHz-100 MHz		61,4	16,3/f	6
100 MHz-300 MHz	1	61,4	0,163	6
300 MHz- 3 GHz	f/300			6
3 GHz- 15 GHz	10			6
15 GHz-300 GHz	10			616000/f

Πίνακας 25 Οριακές τιμές για Η/Μ πεδία

Β. Για τα επαγωγικά και τα εξ επαφής ρεύματα ραδιοσυχνότητας έχουμε τον πίνακα 26.

Συχνότητα	Μέσω και των δύο ποδιών	Μέσω ενός ποδιού	Επαφή
30 kHz- 100 kHz	2000f	1000f	1000f
100 kHz- 3 MHz	200	100	100

Πίνακας 26 Οριακές τιμές για τα επαγωγικά και τα εξ επαφής ρεύματα ραδιοσυχνότητας

Για εκθέσεις κοντινών πεδίων σε συχνότητες χαμηλότερες από 300 MHz, η εφαρμοζόμενη οριακή τιμή δίνεται ως συνάρτηση της μέσης τετραγωνικής ισχύος του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Ισοδύναμες πυκνότητες ισχύος πεδίων (PD) επιπέδων κυμάτων μπορούν να υπολογίζονται από τα δεδομένα μετρήσεως των ισχύων πεδίων ως εξής:

$$PD \text{ (mW/cm}^2\text{)} = E^2 / 3770, \text{ όπου } E^2 \text{ εκφράζεται σε } V^2 / m^2 \text{ και}$$

$$PD \text{ (mW/cm}^2\text{)} = 37,7 H^2, \text{ όπου } H^2 \text{ εκφράζεται σε } A^2 / m^2$$

Πιστεύεται ότι οι εργαζόμενοι μπορούν να εκτίθενται κατ' επανάληψη σε πεδία έως αυτές τις οριακές τιμές χωρίς δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Ωστόσο, το προσωπικό δεν πρέπει να εκτίθεται χωρίς λόγο σε υψηλά επίπεδα ραδιοσυχνότητας που πλησιάζουν τις οριακές τιμές, όταν απλώς μπορούν να το αποφύγουν

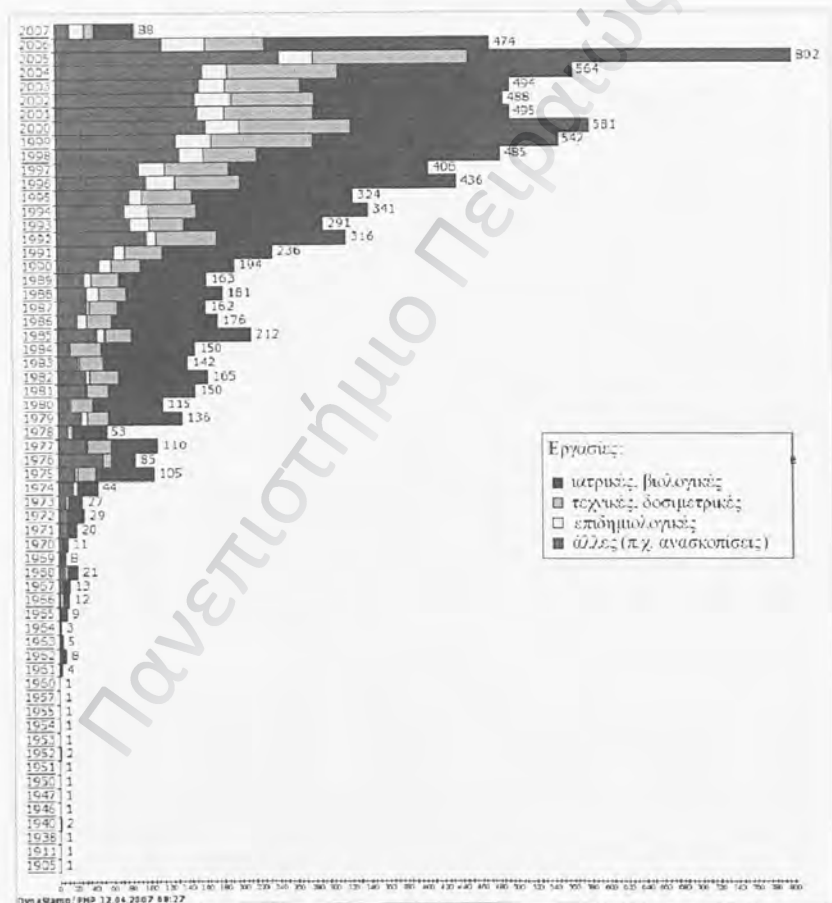
Για μικτά ή ευρέως φάσματος πεδία, σε έναν αριθμό συχνοτήτων για τις οποίες υπάρχουν διαφορετικές οριακές τιμές, πρέπει να καθορίζεται το κλάσμα των οριακών τιμών (ως συνάρτηση του D^2 , H^2 , ή της πυκνότητας ισχύος) που υφίσταται σε κάθε διάστημα συχνότητας και το άθροισμα όλων των κλασμάτων δεν πρέπει να υπερβαίνει την μονάδα.

Κατά παρόμοιο τρόπο, για μικτά ή επαγωγικά ρεύματα ευρέων φασμάτων σε έναν αριθμό συχνοτήτων για τις οποίες υπάρχουν διαφορετικές οριακές τιμές, πρέπει να καθορίζεται το κλάσμα των ορίων των επαγωγικών ρευμάτων (ως I^2) που συμβαίνει μέσα σε κάθε διάστημα συχνότητας και το άθροισμα όλων των κλασμάτων να μην υπερβαίνει την μονάδα.

16. Μελέτες για τις επιδράσεις της Η/Μ ακτινοβολίας

16.1. Γενικές Μελέτες

Υπάρχει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον και έχουμε πλήθος δημοσιεύσεων και εργασιών σχετικά με την επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην υγεία. Το Κεντρο Ερευνών για την βιο-ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση (Research Center for Bioelectromagnetic Interaction - Forschungszenrum Elektro-Magnetische Umweltvertrckheit - FEMU) του πανεπιστημιακού νοσοκομείου του Πανεπιστημίου Άσθεν της Γερμανίας, έχει καταχωρήσει πάνω από 10.000 δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά που αφορούν τις επιδράσεις των ηλεκτρικών, μαγνητικών και ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην υγεία ανά έτος. [Z-8]



Εικόνα 51 Αριθμός δημοσιεύσεων ανά έτος

Στην εικόνα 51 φαίνονται σχηματικά ανά έτος οι καταχωρημένες στο FEMU δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά που αφορούν τις επιδράσεις των ηλεκτρικών, μαγνητικών και η-

λεκτρομαγνητικών πεδίων στην υγεία ανά έτος από το 1905 έως τις 12 Απριλίου 2007. Οι δημοσιεύσεις μάλιστα κατατάσσονται κατά κατηγορίες, δηλαδή

- Ιατρικές και βιολογικές
- Τεχνικές και δοσιμετρικές
- Επιδημιολογικές
- Λοιπές (πχ ανασκοπήσεις)

Παρατηρούμε ότι τα τελευταία χρόνια αυξάνονται οι δημοσιεύσεις και αυτό πρέπει να οφείλεται στη συνεχή ανάπτυξη νέων τεχνολογιών καθώς και στην καθολική σχεδόν χρήση των κινητών τηλεφώνων με τη συνεπαγόμενη ανησυχία των απλών χρηστών. :

16.2. Μελέτες για τα κινητά τηλέφωνα

Πολλές από τις μελέτες αναφέρονται αποκλειστικά στα κινητά τηλέφωνα και στους σταθμούς βάσης και εστιάζονται κυρίως σε δύο θέματα: Στην απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής (ΗΜ) ακτινοβολίας από το ανθρώπινο σώμα και στην επίδραση του ανθρώπινου σώματος στις ιδιότητες (χαρακτηριστικά) της κεραίας του ασύρματου τερματικού (τηλεφώνου).

Ο Στόχος τους είναι η συμβολή στην ανάπτυξη ασύρματων τερματικών που θα είναι περισσότερο ασφαλή για το χρήστη και παράλληλα πιο αποδοτικά στη λειτουργία τους. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν μελέτες για τερματικά με διάφορους τύπους κεραίων, καθώς και προσομοιώσεις με ποικιλία αριθμητικών μεθόδων

Γίνονται μετρήσεις SAR στο εγγύς πεδίο (near field). Είναι μια πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία και γίνεται χρήση ομοιωμάτων (phantoms) ανθρώπινου σώματος (κεφαλιού) με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές. Οι γενικές απαιτήσεις μετρήσεων είναι

- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος να είναι μεταξύ 15°C και 30°C.
- Καμία αλληλεπίδραση του ασύρματου τερματικού με τα δίκτυα.
- Αποφυγή επίδρασης στις μετρήσεις από εξωτερικές ΗΜ πηγές και ανακλάσεις του χώρου

Το ομοίωμα κεφαλιού είναι ένα ανθρωπομορφικό μοντέλο (SAM) γεμάτο με υγρό, το κέλυφός του είναι από υλικό χαμηλών απωλειών και χαμηλής διαπερατότητας, ενώ το περιεχόμενο υγρό έχει συγκεκριμένες διηλεκτρικές ιδιότητες για κάθε συχνότητα. (εικόνα 53)

Κατά την μέτρηση ακτινοβολίας σε ομοίωμα κεφαλιού, το ασύρματο τερματικό και το ομοίωμα κεφαλιού επηρεάζουν την κατανομή ρευμάτων στο τερματικό και τελικά το SAR ως εξής:

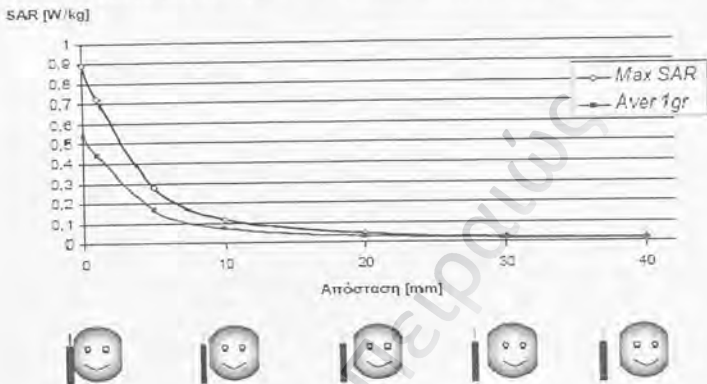
- το ασύρματο τερματικό (η κεραία του, το κάλυμμά του, η εσωτερική του σχεδίαση, και προσαρμογή της κεραίας του) επηρεάζουν την κατανομή ρευμάτων στο ίδιο το τερματικό
- αυτήν την κατανομή επηρεάζει το ομοίωμα κεφαλιού και η θέση του τερματικού σε σχέση με αυτό (δηλαδή το μέγεθος και το σχήμα του κεφαλιού, η ύπαρξη εξωτερικών αντικειμένων όπως γυαλιά ή ακουστικά, το χέρι που κρατά τη συσκευή και η κλίση της συσκευής)
- η κατανομή των ρευμάτων στο τερματικό επιφέρει σύζευξη του μαγνητικού πεδίου, γεγονός που επηρεάζει το SAR.
- Το SAR επίσης επηρεάζεται επίσης από άλλες παραμέτρους του ομοιώματος κεφαλιού (όπως το πάχος κελύφους του κεφαλιού, οι διηλεκτρικές του παράμετροι, και η απόστασή του από το τερματικό)

Οι τυπικές απαιτήσεις που απαιτούνται για μέτρηση SAR είναι:

- Calibration των οργάνων
- Τυπική διάρκεια μέτρησης < 30 λεπτά
- Εξαιρετικά ακριβής τοποθέτηση του E-field probe (<0.1mm)
- Μετρήσεις αριστερό και δεξί αυτί
- Θέση επαφής και θέση με 15ο κλίση, με δυνατότητα επαναληψιμότητας
- Μετρήσεις με μαζεμένη και σε έκταση κεραία
- Μέγιστη ισχύς εκπομπής τερματικού

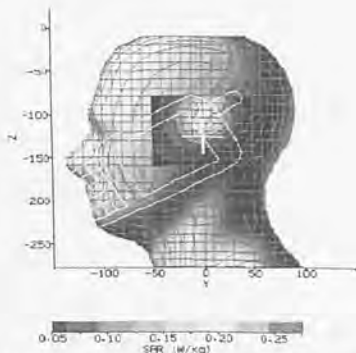
- Χρήση προσομοιωτή σταθμού βάσης
- Ακριβής μέτρηση διηλεκτρικών ιδιοτήτων για κάθε συχνότητα
- Ακριβής αποτίμηση της αβεβαιότητας
- Μεγάλη υπολογιστική ισχύ για επεξεργασία των δεδομένων

Οι μετρήσεις που παίρνουμε είναι εντυπωσιακές: Το SAR μεταβάλλεται ανάλογα με την απόσταση του τηλεφώνου από το κεφάλι. Αυτό φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 52.



Εικόνα 52 Μεταβολή SAR σε σχέση με την απόσταση κινητού από το αυτί

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 έχουμε 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 κ.λ.π. Οι μελέτες που έχουν γίνει σε κύτταρα και σε πειραματόζωα έχουν δείξει ότι οι επιπτώσεις μπορεί να είναι σοβαρές. Στον άνθρωπο δεν μπορούν να γίνουν πειραματικές μελέτες παρά μόνο σε εγκεφαλογραφήματα και στη ροή του αίματος, που έχουν δείξει αλλοιώσεις. Έχουν επίσης αναφερθεί πονοκέφαλοι, κόπωση, έλλειψη συγκέντρωσης, αϋπνίες ως άμεσες επιπτώσεις, ενώ μακροπρόθεσμα έχουν αναφερθεί περιπτώσεις καλοήθους όγκου του ακουστικού νεύρου και πολλές άλλες παθήσεις. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει πως όλοι όσοι χρησιμοποιούν κινητό θα εμφανίσουν κάποιο από τα συμπτώματα αυτά.



Εικόνα 53 Διασπορά SAR στο κεφάλι από το κινητό τηλέφωνο

Βέβαια τα επίπεδα έκθεσης των κινητών τηλεφώνων διαφέρουν πολύ από των σταθμών βάσης. Στον πίνακα 27 συγκρίνουμε τις δύο εκθέσεις [ΣΤ-3]

	Κινητά τηλέφωνα	Σταθμοί βάσης
Ισχύς	Ακτινοβολεί ισχύ 125 mW αν λειτουργεί σε συχνότητα 1800 MHz ή 250 mW αν λειτουργεί σε συχνότητα 900 MHz	Ακτινοβολεί ισχύ δεκάδων W
Απόσταση	Η κεραία του κινητού απέχει περίπου 1-2 cm από το κεφάλι του χρήστη	Τυπικά, οι κεραίες βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον δεκάδων μέτρων από το γενικό πληθυσμό
Συνθήκες έκθεσης	Κυρίως εκτίθενται οι ιστάι του κεφαλιού στην περιοχή κοντά στην κεραία του κινητού	Η έκθεση αναφέρεται σε ολόκληρο το σώμα αλλά σε πολύ χαμηλότερο επίπεδο σε σχέση με την έκθεση από το κινητό
Προστασιοποίηση της έκθεσης	Η τοπική έκθεση μετρείται μέσω του ρυθμού ειδικής απορρόφησης (SAR) της ενέργειας στο κεφάλι	Η πυκνότητα ισχύος των ραδιοκυμάτων που προσπίπτει στο σώμα αποτελεί καλό μέτρο για την εκτίμηση της ολόσωμης έκθεσης του κοινού
Οδηγίες αποδεκτής έκθεσης	Οι οδηγίες της INCIRP συμβουλεύουν ότι οι τοπικές μέσες τιμές του SAR για 10 gr μάζας ιστού δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2 W/kg, για οποιαδήποτε χρονική περίοδο 6 λεπτών. Στην Ελλάδα, οι κύριοι περιορισμοί είναι αυστηρότεροι, αντιστοιχώντας σε 1,4 και 1,2 W/kg.	Οι οδηγίες της INCIRP συμβουλεύουν επίπεδα αναφοράς 4,5 ή 9 W/m ² για τους σταθμούς βάσης που λειτουργούν σε συχνότητα 900 και 1800 MHz. Στην Ελλάδα διανησίοιχες στάθμες για την προστασία του κοινού είναι 3,15 και 6,3 /m ² . Σε περίπτωση εκτατάστωσης κατασκευής κεραίας σε απόσταση μικρότερη από 300 m από την περίμετρο κτιριακών εγκαταστάσεων βρεφονηπιακών σταθμών, σχολείων, γηροκομείων και νοσοκομείων, οι αντίστοιχες στάθμες είναι 2,7 και 5,4 W/m ²
Συμμόρφωση με τις οδηγίες	Όλα τα κινητά τηλέφωνα που πωλούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν ελεγχθεί για να διασφαλίσουν τιμές SAR εντός των επιτρεπτών ορίων, φέρουν τη σήμανση CE και στα συνοδευτικά έγγραφα υπάρχει η δήλωση συμμόρφωσης του κατασκευαστή.	Η τήρηση των ορίων επιτρεπτής έκθεσης ελέγχεται περιοδικά ή οποτεδήποτε κριθεί απαραίτητο από αρμόδιες υπηρεσίες του ΥΠΕΧΩΔΕ, του Υπουργείου Υγείας και Πρόνοιας, του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων ή της ΕΕΑΕ με μετρήσεις που διενεργούνται από συνεργεία των υπηρεσιών αυτών ή από άλλα εξουσιοδοτημένα από την ΕΕΑΕ συνεργεία (πχ. Εργαστήρια Πολυτεχνείων ή άλλων φορέων)
Επίπεδα πραγματικής έκθεσης	Οι τιμές του SAR για ειδικά μοντέλα κινητού τηλεφώνου μπορούν να βρεθούν στον δικτυακό τόπο της EETT (www.eett.gr) και φθάνουν μέχρι 1,4 W/kg.	Η τυπική έκθεση σε τοποθεσίες προσβάσιμες από το κοινό είναι χιλιάδες φορές χαμηλότερη από τα όρια των οδηγιών.

Πίνακας 27 Σύγκριση επιπέδων έκθεσης στην ακτινοβολία κινητών τηλεφώνων και σταθμών βάσης

17. Διαδικασία μετρήσεων

Με προσωπικό από το Εργαστήριο Διαδίκτυακών και Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων, Υπηρεσιών και Ασφαλείας του τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πειραιά συμμετείχαμε σε μετρήσεις για την αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κεραίας κινητής τηλεφωνίας στην περιοχή Περιστερίου Αττικής κατά τον μήνα Δεκέμβριο 2009.

Οι μετρήσεις που είχαν γίνει τον προηγούμενο μήνα (ενώ υπήρχε η κεραία) στη ίδια περιοχή είχαν καταδείξει ότι τα μετρούμενα καταγεγραμμένα μεγέθη ήταν εκατοντάδες φορές χαμηλότερα από τα όρια αναφοράς που καθορίζονται από τον Ν. 3431, ΦΕΚ Α 13 / 03-02-2006. Επιπλέον, ένα επιλεγέν σημείο ήταν έξω από τον περίβολο σχολείου όπου τα επιτρεπόμενα όρια είναι 70% χαμηλότερα (εικόνα 54)



Εικόνα 54 Διενέργεια μετρήσεων στο Περιστερί Αττικής

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκτέλεση των μετρήσεων, ενώ ταυτόχρονα περιγράφονται συνοπτικά οι δυνατότητες του εξοπλισμού.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την διενέργεια των μετρήσεων, χωρίς να παρουσιάζονται τα πλήρη στοιχεία των μετρήσεων, παρά μόνο η φασματική ανάλυση.

χωρίς να παρουσιάζονται τα πλήρη στοιχεία των μετρήσεων, παρά μόνο η φασματική ανάλυση.

17.1. Περιγραφή Εξοπλισμού

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με πεδίομετρο για τη ζώνη 100 KHz – 3 GHz σε επιλεγμένες από πριν θέσεις ως προς τη συχνότητα για την αποτύπωση της συνεισφοράς κάθε φασματικής ζώνης, σε καθεμία από αυτές τις θέσεις στην συνολική ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση.

Η βασική μονάδα μετρήσεων είναι η SRM – 3000 (Selective Radiation Meter), της εταιρείας Narda Safety Test Solutions. Ο επιλεκτικός μετρητής ακτινοβολίας SRM – 3000 είναι μια φορητή μετρητική συσκευή που χρησιμοποιείται για ανάλυση ασφαλείας των ραδιοσυχνοτήτων και των μικροκυματικών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

Η συσκευή SRM (εικόνα 56) αποτελείται από ένα αναλυτή φάσματος (75 MHz – 3 GHz) και μια ιστροπική κεραία μέτρησης (probe) η οποία χρησιμοποιεί 3 κάθετα μεταξύ τους δίπολα (Εικόνα 55). Η ιστροπική κεραία μέτρησης (probe) του SRM μετράει σε 3 κάθετους άξονες ταυτόχρονα.



Εικόνα 55 Η κεραία με το κάλυμμα και χωρίς το κάλυμμα

Η συσκευή SRM μπορεί να υπολογίσει αποτελέσματα που αφορούν:

- το επίπεδο της έντασης του πεδίου ή το ποσοστό του επιτρεπτού επιπέδου έκθεσης είτε από μία πηγή ή κανάλι είτε από λίστα πολλών πηγών ή καναλιών,
- τη συνεισφορά κάθε δεδομένης τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας,

- τη συνεισφορά του πεδίου από όλες τις υπηρεσίες και το ποσοστό τους στην συνολική έκθεση.

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



Εικόνα 56 Η κεντρική μονάδα SRM 3000 στη θήκη της

Η κεραία τριών διπλών εγκαθίσταται σε ένα ξύλινο τρίποδο και συνδέεται με την κύρια μονάδα του SRM - 3000 μέσω καλωδίου (Εικόνα 57). Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται, ρυθμίζοντας κατάλληλα την κύρια μονάδα του SRM -3000 για το είδος της μέτρησης που επιθυμούμε να πραγματοποιήσουμε (π.χ. time analysis ή spectrum analysis) και εν συνεχεία αποθηκεύονται στην κύρια μονάδα.



Εικόνα 57 Σύνδεση SRM 3000 με την κεραία και με laptop

Μετά την ολοκλήρωση όλων των μετρήσεων γίνεται αποθήκευση των μετρήσεων και άλλων δεδομένων για όλες τις θέσεις μέτρησης στον φορητό υπολογιστή. Αυτό επιτυγχάνεται με την σύνδεση της κύριας μονάδας του SRM - 3000 με τον φορητό υπολογιστή (με καλώδιο USB) και έπειτα μέσω κατάλληλου λογισμικού που είναι εγκατεστημένο στον υπολογιστή (SRM tools version 2.2.1) γίνεται η συλλογή και καταγραφή των μετρήσεων. Στον υπολογιστή πραγματοποιείται και η περαιτέρω ανάλυση των μετρήσεων έτσι ώστε να απεικονίζονται τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων και διαγραμμάτων.

17.2. Μεθοδολογία μετρήσεων

Για κάθε σημείο που επιλέχθηκε προς μέτρηση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ανάλυσης φάσματος. Σε κάθε περίπτωση πραγματοποιήθηκε σύγκριση των μετρούμενων μεγεθών με τα αντίστοιχα όρια μέγιστης επιτρεπόμενης έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως αυτά προσδιορίζονται από τον Ν. 3431, ΦΕΚ Α 13 / 03-02-2006. Στους πίνακες 28 και 29 παρουσιάζονται τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού μειωμένα στο 70% και 60% αντίστοιχα, όπως ορίζονται στον παραπάνω νόμο.

Ζώνη Συχνότη- των	Ένταση ηλεκ- τρικού πεδίου, E (V/m)	Ένταση μαγνη- τικού πεδίου, H (A/m)	Μαγνητική επα- γωγή πεδίου, B (μ T)	Ισοδύναμη πυκνό- τητα ισχύος επί- πεδου κύματος, Seq (W/ m ²)
1-3 kHz	$\frac{175}{f}$	3,5	4,375	-
3-174 kHz	60,9	3,5	4,375	-
0,174-1,43 MHz	60,9	$\frac{0,61}{f}$	$\frac{0,77}{f}$	-
1,43-10 MHz	$\frac{72,8}{\sqrt{f}}$	$\frac{0,61}{f}$	$\frac{0,77}{f}$	-
10-400 MHz	23,4	0,061	0,077	1,4
400-2000 MHz	$1,15 \cdot \sqrt{f}$	$0,0031 \cdot \sqrt{f}$	$0,0038 \cdot \sqrt{f}$	$\frac{f}{286}$
2-300 GHz	51	0,134	0,167	7

Πίνακας 28 Επίπεδα αναφοράς στις συχνότητες από 1 kHz -300 GHz με συντελεστή 70%

Ζώνη Συχνότη- των	Ένταση ηλεκ- τρικού πεδίου E (V/m)	Ένταση μαγνη- τικού πεδίου H (A/m)	Μαγνητική επα- γωγή πεδίου, B (μ T)	Ισοδύναμη πυκνό- τητα ισχύος επιπέ- δου κύματος, Seq (W/ m ²)
1-3 kHz	$\frac{150}{f}$	3,5	3,75	-
3-174 kHz	52,2	3,5	3,75	-
0,174-1,43 MHz	52,2	$\frac{0,565}{f}$	$\frac{0,71}{f}$	-
1,43-10 MHz	$\frac{67,3}{\sqrt{f}}$	$\frac{0,565}{f}$	$\frac{0,71}{f}$	-
10-400 MHz	21,7	0,0565	0,071	1,2
400-2000 MHz	$1,065 \cdot \sqrt{f}$	$0,00287 \cdot \sqrt{f}$	$0,00356 \cdot \sqrt{f}$	$\frac{f}{333}$
2-300 GHz	47,2	0,124	0,155	6

Πίνακας 29 Επίπεδα αναφοράς στις συχνότητες από 1 kHz-300 GHz με συντελεστή 60%

Βάσει των ορίων μέγιστης επιτρεπόμενης έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως αυτά προσδιορίζονται από τον παραπάνω νόμο, προκύπτουν τα όρια αναφοράς που φαίνονται στον Πίνακα 30 για τις μετρούμενες περιοχές συχνότητας. Οι τιμές σε κάθε στή-

λη αναφέρονται στα όρια αναφοράς μετά από εφαρμογή του συντελεστή 70% και 60% αντίστοιχα.

Αξίζει να τονιστεί ότι για τις περιπτώσεις που τα όρια αναφοράς εξαρτώνται από την συχνότητα (περιοχή συχνοτήτων 400 – 2.000 MHz) τότε σαν όριο αναφοράς στην κάθε υποπεριοχή συχνοτήτων χρησιμοποιείται το όριο που αντιστοιχεί στην χειρότερη περίπτωση, δηλαδή το πιο αυστηρό όριο.

Περιοχές Συχνοτήτων (MHz)	Κύρια χρήση συχνοτήτων	Όρια αναφοράς Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου E (V/m)		Όρια αναφοράς Πυκνότητας Ισχύος Πεδίου W (W/m ²)	
		70 %	60 %	70 %	60 %
75-87		23,4	21,7	1,4	1,2
87-109	FM	23,4	21,7	1,4	1,2
109-300	TV (VHF), CB	23,4	21,7	1,4	1,2
300-450		23,4	21,7	1,4	1,2
450-860	TV (UHF)	24,4	22,6	1,6	1,4
860-1000	GSM	33,7	31,2	3	2,6
1000-1700		36,4	33,7	3,5	3
1700-2200	GSM UMTS	47,4	43,9	6	5,1
2200-3000		51	47,3	7	6

Πίνακας 30 Όρια αναφοράς για τις μετρούμενες περιοχές συχνοτήτων

17.3. Αποτελέσματα - επεξεργασία μετρήσεων

Τα αποτελέσματα των ευρυζωνικών μετρήσεων που λήφθηκαν σε όλα τα σημεία παρουσιάζονται στον πίνακα 31 για κάθε σημείο που πραγματοποιήθηκε μέτρηση και αφορούν μετρήσεις για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου σε V/m και για την Πυκνότητα Ροής Ισχύος σε W/m². Για κάθε σημείο υπολογίζεται ο συνολικός λόγος έκθεσης καθώς και πόσες φορές είναι η τιμή αυτή κάτω από το όριο της επιτρεπόμενης έκθεσης που αναφέραμε παραπάνω.

Σημείο Μέτρησης	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου E (V/m)	Πυκνότητα Ροής Ισχύος (W/m ²)	Συνολικός Λόγος Έκθεσης	Φορές κάτω του ορίου (Μογάδα)
1	1,28750	0,00440	0,00325	308
2	0,67874	0,00122	0,00039	2584
3	0,67386	0,00087	0,00048	2096
4	1,39360	0,00515	0,00207	484
5	0,28385	0,00021	0,00009	10609
6	0,36918	0,00036	0,00029	3455

Πίνακας 31 Μετρήσεις Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου και Πυκνότητας Ροής Ισχύος

Σύμφωνα με τον παραπάνω νόμο και σε συνδυασμό με την υπ. αριθ. 2300 ΕΦΑ(493) Κ.Υ.Α., (ΦΕΚ 346 Β/3 Μαρτίου 2008), ο λόγος έκθεσης είναι ένας καθαρός αριθμός που χρησιμοποιείται για να σταθμιστεί η επιβάρυνση στην έκθεση του κοινού από διάταξη/διατάξεις που λειτουργούν σε μία σχετικά στενή περιοχή συχνοτήτων (π.χ. στην συχνότητα εκπομπής μιας συγκεκριμένης κεραιάς ή στην φασματική περιοχή που χρησιμοποιείται από μία συγκεκριμένη υπηρεσία) σε μία συγκεκριμένη θέση. Ο συνολικός λόγος έκθεσης είναι το άθροισμα των σχετικών λόγων έκθεσης που προκύπτουν για το ίδιο φυσικό μέγεθος και την ίδια επίδραση σε μία θέση μέτρησης μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο συνολικός λόγος έκθεσης χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί κατά πόσον υπερβαίνονται τα επίπεδα αναφοράς για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Από τον πίνακα 31 γίνεται εύκολα κατανοητό ότι την υψηλότερη Πυκνότητα Ροής Ισχύος και τον υψηλότερο Λόγο Έκθεσης λαμβάνουμε στα σημεία μέτρησης 1 και 4. Στο σημείο 4 πραγματοποιήθηκε αναλυτική επισκόπηση φάσματος για τον υπολογισμό του Λόγου έκθεσης

που συνεισφέρει η κάθε ζώνη συχνοτήτων ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

17.4. Ευρυζωνικές μετρήσεις

Πραγματοποιήθηκε επισκόπηση φάσματος στο σημείο 4. Οι μετρήσεις που κάνει η συσκευή γίνονται σε διάστημα 6 λεπτών (το 1/10 της ώρας) όπως προβλέπουν οι οδηγίες, οπότε γίνονται 86 κύκλοι μετρήσεων και εξάγεται ο μέσος όρος αυτών. Οι μετρήσεις της έντασης ηλεκτρικού πεδίου όπως εμφανίζονται στην οθόνη της κύριας μονάδας, φαίνονται στην εικόνα 58.



Εικόνα 58 Κατανομή φάσματος

Οι μετρήσεις της οθόνης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 32.

Κύρια χρήση συχνοτήτων	Περιοχές Συχνοτήτων (MHz)	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου E (V/m)	Ποσοστό
	75-87	0,02573	3,6 %
FM	87-109	0,1494	20,8 %
TV (VHF), CB	109-300	0,05933	8,3 %
	300-450	0,04102	5,7 %
TV (UHF)	450-860	0,07457	10,4 %
GSM	860-1000	0,03982	5,5 %
	1000-1700	0,06449	9,0 %
GSM UMTS	1700-2200	0,08392	11,7 %
	2200-3000	0,1804	25,1 %

Πίνακας 32 Τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου ανά ζώνη συχνοτήτων

Σύμφωνα με τις τιμές αυτές κατασκευάζουμε το διάγραμμα κατανομής συχνοτήτων στο σημείο αυτό για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (εικόνα 59).



Εικόνα 59 Φασματική ανάλυση έντασης ηλεκτρικού πεδίου

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό έντασης ηλεκτρικού πεδίου που προέρχεται από τις ζώνες συχνοτήτων κινητής τηλεφωνίας (800 - 1.000 MHz και 1.700 - 2.200 MHz) είναι μικρότερο από τις ζώνες που χρησιμοποιεί το Wi-Fi (2.200 - 3.000 MHz) αλλά και η ραδιοφωνία της ζώνης FM (87 - 109 MHz).

17.5. Επίδραση της ζώνης των FM

Το γεγονός του αυξημένου ποσοστού συμμετοχής της ζώνης των FM στο συνολικό φάσμα, μας έδωσε αφορμή για περαιτέρω μελέτη του θέματος αυτού. Έτσι, προσωπικό από το Εργαστήριο Διαδικτυακών και Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων, Υπηρεσιών και Ασφαλείας του τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πειραιά προέβη σε μετρήσεις για την αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην περιοχή Χαλανδρίου Αττικής, σε περιοχή όπου υπάρχει οπτική επαφή και με κεραίες ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών (εκτός από τις κεραίες κινητής τηλεφωνίας). Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 6 σημεία και έγινε αναλυτική επισκόπηση φάσματος για τον υπολογισμό του λόγου έκθεσης που συνεισφέρει η κάθε ζώνη συχνοτήτων ξεχωριστά σε δύο από αυτά τα σημεία (όπου παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες τιμές). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και της πυκνότητας ροής ισχύος και για τα 6 σημεία αυτά παρουσιάζονται παρακάτω αναλυτικά στον πίνακα 33.

Σημείο Μέτρησης	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου E (V/m)	Πυκνότητα Ροής Ισχύος (W/m ²)
1	1,378499985	0,00504
2	2,149699926	0,01226
3	1,534700036	0,00625
4	1,772600055	0,00833
5	0,608759999	0,00098
6	0,513199985	0,00070

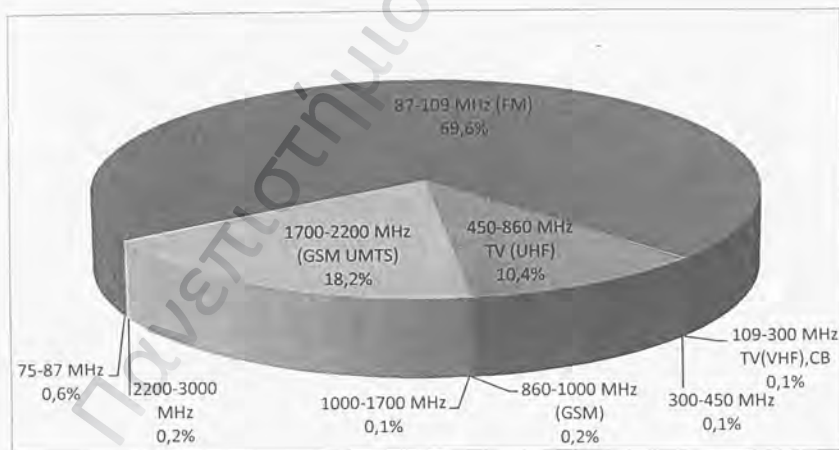
Πίνακας 33 Αποτελέσματα ευρωζωνικών μετρήσεων για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου και την Πυκνότητα Ροής Ισχύος.

Παρατηρούμε ότι το σημείο 2 έχει τις υψηλότερες μετρούμενες τιμές και για τα δύο μεγέθη και για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε αναλυτική επισκόπηση φάσματος στο σημείο αυτό. Οι μετρήσεις ανά περιοχή συχνοτήτων όπως παρουσιάζονται από τη συσκευή φαίνονται στον πίνακα 34.

Κύρια χρήση συχνοτήτων	Περιοχές Συχνοτήτων (MHz)	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου E (V/m)	Πυκνότητα Ροής Ισχύος (W/m ²)	Λόγος Έκθεσης
	75-87	0,130809993	0,0000454	0,000036
FM	87-109	1,424900055	0,0053855	0,004312
TV (VHF), CB	109-300	0,066694997	0,0000118	0,000009
	300-450	0,065811001	0,0000115	0,000009
TV (UHF)	450-860	0,583890021	0,0009043	0,000667
GSM	860-1000	0,111330003	0,0000329	0,000013
	1000-1700	0,066896997	0,0000119	0,000004
GSM UMTS	1700-2200	1,474400043	0,0057662	0,001128
	2200-3000	0,182480007	0,0000883	0,000015
Συνολικός λόγος έκθεσης				0,006193

Πίνακας 34 Αναλυτική επισκόπηση φάσματος 75 MHz-3 GHz για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, την Πυκνότητα Ροής Ισχύος, τον λόγο έκθεσης για τις μετρήσεις που έγιναν στο σημείο 2.

Σύμφωνα με τις τιμές αυτές κατασκευάζουμε το διάγραμμα κατανομής συχνοτήτων στο σημείο αυτό για τον λόγο έκθεσης (εικόνα 60). Σημειώνουμε ότι ο συνολικός λόγος έκθεσης είναι 0,006193, άρα 161 φορές μικρότερος του επιτρεπτού.



Εικόνα 60 Συνεισφορά κάθε υποπεριοχής φάσματος στη συνολική ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση στο σημείο 2

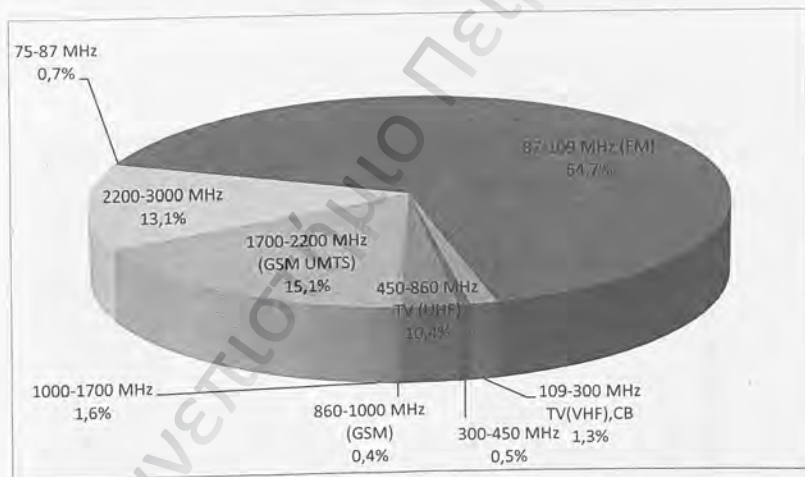
Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της επιβάρυνσης στο σημείο αυτό βρίσκεται στη ζώνη των FM (69,6%), επομένως αυτό είναι αποτέλεσμα της ακτινοβολίας των κεραιών των ραδιοφωνικών σταθμών που είναι αρκετά κοντά στο μετρούμενο σημείο. Παρ' ότι είναι ποσοστιαία μεγάλο, είναι 232 περίπου φορές χαμηλότερο από το επιτρεπτό όριο.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αναλυτική επισκόπηση φάσματος στο σημείο 6, όπου υπήρχε η χαμηλότερη συνολική επιβάρυνση. Οι μετρήσεις ανά περιοχή συχνοτήτων όπως παρουσιάζονται από τη συσκευή φαίνονται στον πίνακα 35.

Κύρια χρήση συχνοτήτων	Περιοχές Συχνοτήτων (MHz)	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου E (V/m)	Πυκνότητα Ροής Ισχύος (W/m ²)	Λόγος Έκθεσης
	75-87	0,044987001	0,0000054	0,000004
FM	87-109	0,412409991	0,0004511	0,000361
TV (VHF), CB	109-300	0,059181001	0,0000093	0,000007
	300-450	0,038596999	0,0000040	0,000003
TV (UHF)	450-860	0,085187003	0,0000192	0,000015
GSM	860-1000	0,028512999	0,0000022	0,000002
	1000-1700	0,066036999	0,0000116	0,000009
GSM UMTS	1700-2200	0,199029997	0,0001051	0,000084
	2200-3000	0,185010001	0,0000908	0,000073
Συνολικός λόγος έκθεσης				0,000558

Πίνακας 35 Αναλυτική επισκόπηση φάσματος 75 MHz-3 GHz για την Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου, την Πυκνότητα Ροής Ισχύος, τον λόγο έκθεσης για τις μετρήσεις που έγιναν στο σημείο 6.

Σύμφωνα με τις τιμές αυτές κατασκευάζουμε το διάγραμμα κατανομής συχνοτήτων στο σημείο αυτό για τον λόγο έκθεσης (εικόνα 61).



Εικόνα 61 Συνεισφορά κάθε υποπεριοχής φάσματος στη συνολική ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση στο σημείο 6

Παρ' όλο που ο συνολικός λόγος έκθεσης στο σημείο 6 είναι περίπου 11 φορές μικρότερος από ότι είναι στο σημείο 2, και εδώ η συνεισφορά της ζώνης των FM στη συνολική ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση είναι συντριπτική (64,7%), αλλά πάντοτε πολλές χιλιάδες φορές μικρότερη από την επιτρεπτή (περίπου 2770 φορές μικρότερη), ενώ ο συνολικός λόγος έκθεσης είναι 1792 φορές μικρότερος του επιτρεπτού.

17.6. Συγκριτικές μετρήσεις κινητού και σταθμού βάσης

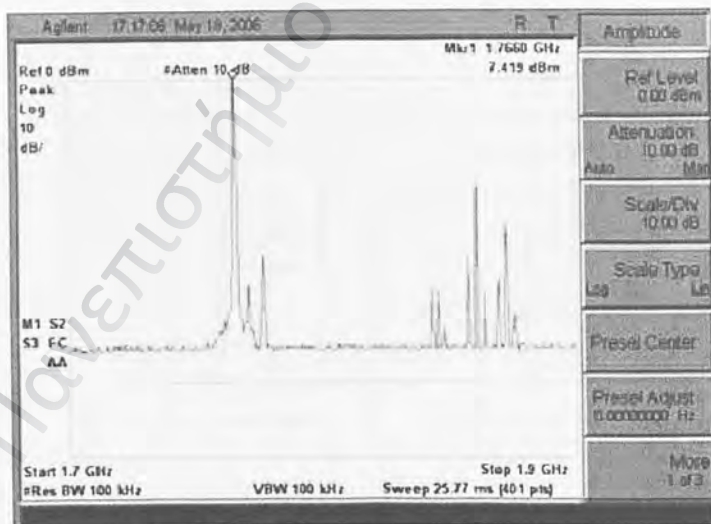
Το εργαστήριο μετρήσεων Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας του τμήματος εφαρμοσμένης πληροφορικής και πολυμέσων του ΤΕΙ Κρήτης πραγματοποίησε μετρήσεις στον Ξηρόκαμπο του Αγίου Νικολάου Κρήτης στις 18 Μαΐου 2006 σε απόσταση περίπου 80 μέτρων από κεραία

κινητής τηλεφωνίας (εικόνα 62), προκειμένου να διαπιστώσει τη σχέση ακτινοβολίας προερχόμενης από σταθμούς βάσης και τα κινητά τηλέφωνα που έχουμε πάνω μας.



Εικόνα 62 Διενέργεια μετρήσεων κοντά σε κεραία σταθμού βάσης

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάστηκαν στη Δημερίδα του Δήμου Ηρακλείου και του ΤΕΙ Κρήτης, στις 16 Ιουνίου 2006 με θέμα «Κινητή Τηλεφωνία: Οι επιδράσεις της στο ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον» (Z-14) και φαίνονται σχηματικά στην εικόνα .



Εικόνα 63 Σύγκριση ισχύος κινητού και κεραίας βάσης

Η γραφική απεικόνιση της εικόνας 63 είναι η φασματική ανάλυση στην περιοχή συχνοτήτων από 1.700 MHz έως 1.900 MHz και αριστερά φαίνεται η συνολική ισχύς του κινητού τηλεφώνου (σε κοντινή απόσταση από το μετρητή) και δεξιά της κεραίας βάσης (σε απόσταση 80 μέτρων). (Z-14)

Η συνολική ισχύς της κεραίας είναι κάτω από τα επίπεδα αναφοράς που θεσπίζονται με το νόμο 3431/2006, ενώ η ισχύς του κινητού είναι περίπου 50.000 φορές μεγαλύτερη από την ισχύ της αντίστοιχης κεραίας στο σημείο μέτρησης.

Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όσο μακρύτερα βρισκόμαστε από την κεραία του σταθμού βάσης, τόσο λιγότερη είναι η επίδραση της κεραίας, αλλά τόσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς που δεχόμαστε από τη συσκευή μας την οποία έχουμε στο αυτί (γιατί η συσκευή ανεβάζει την ισχύ της για να μπορέσει να έλθει σε επικοινωνία με την κεραία της κυψέλης που ανήκει). Στην περίπτωση αυτή η ακτινοβολία του κινητού ενδέχεται ακόμη και να ξεπερνάει τα όρια αν δεν χρησιμοποιούμε καλή συσκευή (συσκευή με μικρό δείκτη SAR).

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

18. Αποστάσεις ασφαλείας

Από τα πειράματα που έχουν γίνει πάνω σε ανθρώπινα ομοιώματα, μετρώντας την άνοδο της θερμοκρασίας που η ακτινοβολία προκαλούσε και συνυπολογίζοντας το SAR (δηλαδή το μέτρο που έχει καθορίσει η Federal Communications Commission - FCC για το ποσοστό απορρόφησης της ακτινοβολίας από το σώμα) βρέθηκαν τα ακόλουθα μεγέθη για την ένταση του πεδίου σε σχέση με τα όρια του ανθρώπινου οργανισμού:

1 μέχρι 10 mW/cm² : Είναι επιτρεπτή η έκθεση λίγες ώρες κάθε 24ωρο

Πάνω από 10 mW/cm²: ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ. Το προσωπικό δεν πρέπει να εκτίθεται σε ακτινοβολία αυτού του μεγέθους

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αν υπερβούμε το 1mW/cm² η άνοδος της θερμοκρασίας θα μας προκαλέσει μη αντιστρεπτή μεταβολή στα κύτταρα μας.

Επίσης άλλες έρευνες, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από την FCC, έχουν καταλήξει ότι μπορούμε να υπολογίσουμε μια απόσταση ασφαλείας για κάθε πηγή σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο :

$$R_{min} = \frac{\sqrt{N \cdot 10(G-L)}}{10 \cdot P \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot S}}$$

όπου G το κέρδος (gain) της κεραίας

P η ισχύς εισόδου στην κεραία

L οι απώλειες (σε dB) μεταξύ πομπού - κεραίας

N ο αριθμός πομπών συνδεδεμένων με την κεραία

S η μέγιστη επιτρεπόμενη πυκνότητα ισχύος (σε W/m²)

Υπολογίζοντας μάλιστα για κάποιες ενδεικτικές τιμές έχουμε τον παρακάτω πίνακα 33:

Ισχύς(W)	Επικίνδυνη Απόσταση(m)	Απόσταση Ασφαλείας(m)
1	0.2	0.3
4	0.2	0.6
10	0.3	0.95
40	0.6	2.0
400	1.9	6.0
1000	3.0	9.5

Πίνακας 36 Σχέση ισχύος και απόστασης

Έτσι, σε πραγματικές συνθήκες, ανάλογα με την περίπτωση, υπολογίζουμε ότι

- Ένα WiFi θερματικό, όπου η EIRP περιορίζεται εκ του νόμου στα 100 mW, (δηλαδή 0,1 Watt) έχει απόσταση ασφαλείας τα 10 cm
- Ένα κινητό GSM εκπέμπει 1 με 2 Watt (όταν είναι μακριά από το σταθμό βάσης του), άρα η απόσταση ασφαλείας είναι 30 cm
- Μία κεραία κινητής τηλεφωνίας στη χειρότερη περίπτωση έχει 40 Watt ισχύ, με κέρδος κεραίας 10 db, άρα EIRP = 400 Watt, άρα η ελάχιστη απόσταση είναι 6 μέτρα
- Ένας πομπός ραδιοφώνου ή τηλεόρασης με ισχύ 30.000 Watt έχει ελάχιστη απόσταση 30 μέτρα

Εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε πως η ισχύς εκπομπής καθώς και η απόσταση ασφαλείας των ασυρμάτων δικτύων είναι κατά πολύ μικρότερα αυτών των κινητών τηλεφώνων. Από τα παραδείγματα βλέπουμε πως μια κεραία ασυρμάτων δικτύων εκπέμπει στα 0,1 Watt, ενώ μια κεραία κινητής τηλεφωνίας στα 40 Watt, με αποστάσεις ασφαλείας 10 cm στα ασύρματα και 6 μέτρα στα κινητά !

Επιπρόσθετα, να σημειώσουμε ότι για μία απόσταση 1 μέτρου η ένταση πεδίου θα είναι 10.000 φορές μικρότερη από το όριο ασφαλείας και για μία απόσταση 10 μέτρων θα είναι 1.000.000 φορές μικρότερη. Άρα καταλαβαίνουμε ότι σε μία απόσταση ενός μέτρου από την κεραία ασυρμάτων δικτύων η ένταση πεδίου είναι ελάχιστη.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα πρότυπα ANSI/IEEE στηρίχθηκαν στην προσεκτική ερμηνεία ενός καταλόγου εγγραφών που επιλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία που κρίθηκαν ότι έχουν επιστημονική ισχύ στον τομέα της βιολογίας και της εφαρμοσμένης μηχανικής. Στην περιοχή συχνότητας από 100 kHz έως 6 GHz, η τιμή SAR 4 W/kg, υπολογισμένη κατά μέσο όρο χρονικά και χωρικά για τη μάζα ολόκληρου του σώματος, υιοθετήθηκε ως το κατώφλι εργασίας για τα δυσμενή βιολογικά αποτελέσματα στους ανθρώπους. Επάνω από αυτό το κατώτατο όριο, έχει καταδειχθεί η αναστάτωση των προγραμματισμένων εργασιών εν στα εκπαιδευμένα τρωκτικά και πθήκους, καθώς και άλλα δυσμενή βιολογικά αποτελέσματα. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι ο ρυθμός παραγωγής μεταβολικής θερμότητας των 4 W/kg είναι εντός των ορίων της κανονικής ανθρώπινης θερμοστατικής ικανότητας. Αναγνωρίζοντας ότι υπάρχει επιστημονική αβεβαιότητα, καθώς και βιολογική μεταβλητότητα στον ανθρώπινο πληθυσμό, ένα περιθώριο ασφάλειας της τάξης του 50 ενσωματώθηκε στα πρότυπα για να περιοριστεί η έκθεση του γενικού πληθυσμού σε 0.08 W/kg σε 1 γραμμάριο ιστού, όπως υπολογίζεται κατά μέσο όρο για ολόκληρο το σώμα, για περιόδους 15 έως 30 λεπτών. Σαφώς, το πρότυπο C95.1-1992 της ANSI/IEEE παρέχει συστάσεις για να αποτρέψει τις δυσμενείς θερμικές επιδράσεις στη λειτουργία του ανθρώπινου σώματος, αν και τα κριτήρια αξιολόγησης για τις εκθέσεις των βιολογικών αποτελεσμάτων δεν ελάμβαναν υπόψη τους μηχανισμούς αλληλεπίδρασης.

Για μια δεδομένη έκθεση, η διανομή SAR μέσα στο ανθρώπινο σώμα ποικίλλει από σημείο σε σημείο, και γι αυτό καθιερώθηκε ένα όριο για μέρος του σώματος (για όλα τα μέρη του σώματος). Έγινε γενικά αποδεκτό τότε ότι το μέγιστο τοπικά εντοπισμένο SAR θα μπορούσε να είναι τόσο υψηλό όσο 20 φορές το μέσο αωματικό SAR. Επομένως, για τις εντοπισμένες εκθέσεις μικρότερων περιοχών του ανθρώπινου σώματος εισήχθηκε μια μείωση του μέγιστου επιτρεπτού ορίου έκθεσης στο 1,6 W/kg σε οποιοδήποτε 1 γραμμάριο για μερική σωματική έκθεση.

Οι μελέτες που χρησιμοποιούν ζώα στην εγγύς περιοχή ακτινοβολίας, έχουν δείξει ότι το ελάχιστο SAR που απαιτείται για να παραγάγει έναν καταρράκτη σε φακό ματιού είναι περίπου από 100 μέχρι 150 W/kg για 100 λεπτά στο υαλώδες σώμα του ματιού. Επιπλέον, οι διαθέσιμες αριθμητικές και πειραματικές έρευνες έχουν δείξει ότι ήταν απαραίτητη μια θερμοκρασία 41 °C πίσω από το φακό για την παραγωγή μεταγενέστερων αδιαφανειών των φακών στα κουνέλια. Η άνοδος της θερμοκρασίας προκλήθηκε από ένα μέγιστο SAR στο μάτι που εμφανίστηκε δεξιά πίσω από το φακό στους όρους έκθεσης που ερευνηθήκαν (2.450 MHz στα κουνέλια). Εάν η πίσω από το φακό θερμοκρασία κρατηθεί από το να υπερβεί τους 41 °C (με τη βοήθεια ολόσωμης υποθερμίας), η ενδεχόμενη καταρρακτογενής έκθεση των μικροκυμάτων δεν παράγει καμία αδιαφάνεια στους φακούς των εκτεθειμένων ζώων. Αυτά τα συμπεράσματα υποστήριξαν την έννοια ενός θερμικού μηχανισμού για καταρρακτογένεση από μικροκύματα.

Πράγματι, η ευαισθησία του οπτικού οργάνου στη θερμότητα από ενέργεια ηλεκτρομαγνητικών ραδιοσυχνοτήτων αποτέλεσε τη βάση για τη CENELEC, στην προσπάθειά της να διαδώσει το όριο των 2 W/kg ανά 10 γραμμάρια ιστού για μερική έκθεση σώματος. Σαφώς, το κίνητρο ήταν να περιοριστεί η άνοδος της θερμοκρασίας στο μάτι, για να αποτρέψει το σχηματισμό καταρράκτη από την αδιαφάνεια των φακών. Συγκεκριμένα, ένα παράγοντας ασφάλειας της τάξεως του 10 εφαρμόστηκε για να μειώσει το κατώτατο όριο SAR από τα 100 στα 10 W/kg. Για να παρέχει ένα πρόσθετο περιθώριο ασφάλειας για το ευρύ κοινό, ένα πρόσθετος παράγοντας τάξεως 5 εισήχθη για να φθάσει τελικά στα 2 W/kg για κάθε 10 γραμμάρια του παρακείμενου ιστού, συμπεριλαμβανομένου του ματιού. Αυτό το όριο έκθεσης είναι περίπου 50 φορές κάτω από το SAR που αναφέρεται, μέσα στο μάτι, για σχηματισμό καταρράκτη. Είχε γίνει το αποδεκτό όριο ασφάλειας SAR για το κεφάλι χρήστη κυψελαιοδύς κινητού τηλεφώνου, στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, έως το 1999.

Το Συμβούλιο υγείας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) με την υποστήριξη της βρετανικής κυβέρνησης, συμφώνησε το 1999, σχετικά με μια σύσταση για τον περιορισμό της έκθεσης στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων, καθιερώνοντας με αυτόν τον τρόπο το κοινοτικό πρότυπο ασφαλείας για τις εκπομπές κυψελαιοδύς κινητών τηλεφώνων. Η σύσταση βασίστηκε στα όρια έκθεσης που συστήθηκαν από τη Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από μη ιοντίζουσα ακτινοβολία (ICNIRP), που η έδρα της που βρίσκεται κοντά στο Μόναχο της Γερμανίας.

Στην πραγματικότητα, οι οδηγίες της ICNIRP ορίζουν το ίδιο μέγιστο SAR των 2 W/kg σε οποιαδήποτε 10 γραμμάρια ιστού (κεφάλι και κορμός) μέχρι 10 GHz για 6 λεπτά. Όμως, ελαφρώς διαφορετικές επιστημονικές προσεγγίσεις φαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του βασικού περιορισμού έκθεσης. Αν και ο περιορισμός στο SAR προορίζεται να αποτρέψει την εντοπισμένη υπερβολική θέρμανση σε ιστούς όπως τα μάτια και οι όρχις, δόθηκε προσοχή στο SAR και στη ζημία ιστού ως αποτέλεσμα είτε της μερικής είτε της ολόσωμης έκθεσης που παράγουν άνοδο της θερμοκρασίας κατά 1 °C στους ανθρώπους και τα πειραματόζωα. Αλλά το έγγραφο της ICNIRP δεν αρθρώνει σαφώς τα βιολογικά τελικά σημεία, επάνω στα οποία βασίστηκε αυτή η λογική, για να υποστηρίξει την επιλογή των εντοπισμένων τιμών SAR για το κεφάλι και τον κορμό. Οι οδηγίες παρουσιάστηκαν με την απλή εξήγηση μιας επιθυμίας να αποτραπεί η τοπική υπερβολική θέρμανση ιστού. Κατά συνέπεια, για όλες τις χρήσεις, οι οδηγίες της ICNIRP είναι ουσιαστικά οι ίδιες με το ευρωπαϊκό πρότυπο (CENELEC) για τη μερική έκθεση σώματος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι – εκτός από την ποσοτική διαφορά μεταξύ των προτύπων έκθεσης (1.6 ή 2 W/kg) - η μάζα ιστού που χρησιμοποιείται για να καθορίσει τα SAR σε αυτά τα πρότυπα (1 γραμμάριο για 1.6 W/kg ή 10 γραμμάρια για 2 W/kg) μπορεί να επηρεάζει σοβαρά την πραγματική ποσότητα ενέργειας μικροκυμάτων που επιτρέπεται να πέσει στον ιστό σύμφωνα με αυτά τα πρότυπα έκθεσης. Είναι γνωστό ότι η διανομή της απορροφούμενης ενέργειας μικροκυμάτων ποικίλλει πολύ από σημείο σε σημείο στο σώμα, ή μέσα στο κεφάλι του χρήστη από την ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας ενός κυψελοειδούς τηλεφώνου. Μια μέση ποσότητα 10 γραμμάρων θα έτεινε να εξομαλύνει τεχνητά τη διασπορά του SAR, εάν υπολογιζόταν η μετριότητα. Και τείνει να χαμηλώσει την αριθμητική τιμή του SAR κατά δύο ή περισσότερες φορές. Κατά συνέπεια, 10 γραμμάρια ιστού με SAR στα 2 W/kg μπορεί να είναι ισοδύναμα με 1 γραμμάριο ιστού με SAR 4 W/kg ή υψηλότερα. Για να το θέσουμε απλά, η απορροφούμενη ενέργεια σε 10 γραμμάρια ιστού είναι πολύ πιο χαμηλή, από ότι σε 1 γραμμάριο ιστού.

Το SAR σε 1 γραμμάριο ιστού είναι μια ακριβέστερη αντιπροσώπευση της εντοπισμένης ενεργειακής απορρόφησης μικροκυμάτων και μια πιο σημαντική βιολογική μέτρηση της διασποράς του SAR μέσα στο σώμα ή στα κεφάλι. Για παράδειγμα, το σφαιρικό διαμορφωμένο ανθρώπινο μάτι έχει μια συνολική μάζα περίπου 10 γραμμάρων. Η χρήση ενός μέσου ιστού 10 γραμμάρων δεν αποδίδει οποιαδήποτε διάκριση ιστών μέσα στο μάτι, και αγνοεί εντελώς την μεγάλη διαφορά της διασποράς του SAR σε όλο το βολβό του ματιού. Επίσης, μειώνει τη περιθώριο ασφαλείας των 2 W/kg στο μάτι. Επίσης το πτερύγιο του αυτιού (ή έξω ους) έχει μια μάζα που υπολογίζεται κατά μέσο όρο λίγο πάνω από 10 γραμμάρια. Η υιοθέτηση των 2 W/kg για 10 γραμμάρια ιστού παραμελεί συνολικά τις ανατομικές λεπτομέρειες του αυτιού και την ανομοιομορφη διανομή του SAR στο πτερύγιο. Θα μπορούσε να επιτρέψει σε διαφορετικά μέρη του πτερυγίου την απόθεση ενέργειας ραδιοσυχνότητας ή μικροκυμάτων που υπερβαίνει κατά πολύ το ανώτατο επιτρεπτό SAR, ενώ το SAR για ολόκληρο το πτερύγιο να είναι κάτω από τα 2 W/kg. Επιπλέον, μέσα στον ανθρώπινο εγκέφαλο, οι τύποι και οι πληθυσμοί των κυττάρων και των νευρώνων είναι σημαντικά διαφορετικοί, ακόμη και σε 1 γραμμάριο ιστού. Μπορεί να υπάρξουν εκατομμύρια γειγματικά κύτταρα που επηρεάζονται σε έναν όγκο 10 γραμμάρων, συγκρινόμενα με ένα 1 γραμμάριο μέσου ιστού.

Οι ποσοτικές τιμές του SAR μπορούν να ληφθούν με έναν λεπτομερή αριθμητικό υπολογισμό, ή από άμεσες πειραματικές μετρήσεις. Η ακρίβεια και η αξιοπιστία των υπολογισμών αποτελεσμάτων εξαρτώνται από τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύσουν το συνδυασμό χρήστης-τηλέφωνο, και στις παραμέτρους που υποτίθενται για το κεφάλι ή το χρήστη. Τα παρόντα υπολογιστικά σχέδια και τα μέσα μπορούν να παρέχουν ακριβείς τιμές επαγωγικού ηλεκτρικού πεδίου με χωρική ανάλυση της τάξης του 1 mm. Η ευαισθησία και η ανάλυση των οργάνων μέτρησης, όπως οι εμφυτευόμενοι αισθητήρες ελέγχου ηλεκτρικών πεδίων ή οι αισθητήρες θερμοκρασίας, είναι ελαφρώς μεγαλύτερες, αλλά στην ίδια τάξη μεγέθους (μερικά χιλιοστόμετρα). Είναι σημαντικό να θυμηθούμε ότι το SAR είναι μια εντοπισμένη ποσότητα και η τιμή της ποικίλλει από μια θέση σε άλλη. Η χρησιμότητα, η ανάλυση, και η ευαισθησία μιας δεδομένης τιμής SAR εξαρτώνται από τον μέσο όγκο ή τη μάζα. Όσο μεγαλύτερα είναι ο μέσος όγκος ή η μάζα, τόσο χαμηλότερη η ανάλυση και η ευαισθησία του SAR, και τόσο λιγότερο χρήσιμο γίνεται αυτό ως μέτρηση για την ποσόστωση της εντοπισμένης έκθεσης και της βιολογικής απάντησης του οργανισμού.

Ο καθορισμός των οδηγιών ή των προτύπων για τα μέγιστα επιτρεπτά επίπεδα έκθεσης στην ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας και μικροκυμάτων είναι μια σωστή και έγκυρη προσέγγιση

πρακτικώς να διαχειριζόμαστε τον κίνδυνο τέτοιων εκθέσεων. Οι υπάρχουσες οδηγίες πάντως, είναι βασισμένες σε αποτελέσματα που επιτυγχάνονται από τις οξείες, βραχυπρόθεσμες μελέτες που δεν είναι τυπικές των εκθέσεων σε ραδιοσυχνότητες που αφορούν τις συσκευές των κυψελοειδών κινητών τηλεφώνων. Για πρώτη φορά στη ιστορία της ανθρωπότητας, μία πηγή ακτινοβολίας ραδιοσυχνότητας βρίσκεται ακριβώς δίπλα στο κεφάλι των εκατομμυρίων χρηστών των κυψελοειδών κινητών τηλεφώνων. Τα βιολογικά αποτελέσματα μετά από επαναλαμβανόμενες, παρατεταμένες, ή ισόβιες εκθέσεις στην ενέργεια ραδιοσυχνότητας που εκπέμπεται από αυτές τις ασύρματες συσκευές τηλεπικοινωνιών χαμηλής ισχύος, έχουν ερευνηθεί μόνο τα τελευταία χρόνια. Τα υπάρχοντα επιστημονικά αποτελέσματα είναι διφορούμενα και αμφισβητήσιμα από πολλά απόψεις. Συνεπώς, παραμένει μια διαδεδομένη δημόσια ανησυχία για την επάρκεια των υπάρχουσών οδηγιών στην προστασία του γενικού πληθυσμού ενάντια στην πιθανή ζημιά της ακτινοβολίας ραδιοσυχνότητας από τα κυψελοειδή κινητά τηλέφωνα.

Τα κυψελοειδή συστήματα κινητής επικοινωνίας του μέλλοντος θα συνεχίσουν πιθανώς να έχουν την ομίλια ως τη σημαντικότερη χρήση όπως τα παρόντα συστήματα. Εντούτοις, οι λειτουργίες τους θα διευρυνθούν σημαντικά από τις πρόσθετες υπηρεσίες όπως τα διαδραστικά παιχνίδια, οι νέες πληροφορίες, και οι υπηρεσίες ψυχαγωγίας όπως το κινητό βίντεο και η τηλεόραση. Η έκθεση από τα μελλοντικά μικροτηλέφωνα θα ήταν χαμηλότερη εξ αιτίας της μικρότερης ισχύος εξόδου απ' όλη στα παρόντα συστήματα, αλλά πιθανώς θα διαρκούσε περισσότερο ανά χρήση.

Για την χρήση μη-ομίλιας, η έκθεση θα είναι ακόμα χαμηλότερη λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων από το σώμα, αλλά θα διαρκεί πιθανώς περισσότερο ανά χρήση. Πάντως, το εύρος ζώνης θα αυξηθεί και με αυτό και οι διακυμάνσεις ισχύος σε όλο και υψηλότερες συχνότητες. Παραμένει μια ανοιχτή ερώτηση εάν η μη-σταθερές διαφοροποιήσεις ισχύος έχουν οποιαδήποτε σημαντική βιολογική επίδραση σε συνάρτηση με το χρόνο.

Η δημοτικότητα των κυψελοειδών κινητών τηλεφώνων και του Διαδικτύου ασκεί τεράστια επίδραση στα μελλοντικά ασύρματα συστήματα επικοινωνίας. Εκτός από τη φωνή, οι συσκευές που βασίζονται στο Internet θα χρησιμοποιούν τις διευθύνσεις IP και του Διαδικτύου για να εξασφαλίσουν επικοινωνία με σχεδόν οτιδήποτε ενδιαφέρον. Αυτό θα μπορούσε να είναι επικοινωνία μεταξύ μηχανών για λόγους ελέγχου, ή επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων στο περιβάλλον των τεραστίων δικτύων αισθητήρων, για τη ζωή, ασφάλεια και περιβαλλοντικό έλεγχο. Δεδομένου ότι αυτοί οι αισθητήρες είναι χαμηλής ισχύος και χαμηλής ενέργειας, ο αισθητήρας που λειτουργεί με μπαταρία μπορεί να εργαστεί για χρόνια χωρίς αντικατάσταση, ενώ η έκθεση θα ήταν πολύ χαμηλή.

Στην περίπτωση των συσκευών RFID, οι ασύρματες επικοινωνίες παίρνουν θέση ανάμεσα σε μια ενεργητική και μια παθητική συσκευή. Η τάση στην ασύρματη επικοινωνία είναι προς την αυξανόμενη χρήση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, αλλά γενικά σε χαμηλότερα επίπεδα ισχύος και σε μικρότερες αποστάσεις. Από άποψη υγείας, οι εκθέσεις θα είναι χαμηλότερου επιπέδου σε σχέση με τα μεγάλης ακτίνας συστήματα δεύτερης γενιάς (2G).

Ένας αριθμός σημαντικών άλλων χρήσεων μη-επικοινωνίας που χρησιμοποιεί την μη ιοντιζουσα ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, εμφανίζεται στους τομείς της μεταφοράς, της ενέργειας, των οικιακών συσκευών, και των ιδρυμάτων υγειονομικής περιθαλψής. Σε αντίθεση με τις επικοινωνίες, αυτές οι εφαρμογές τείνουν να βασίζονται σε υψηλότερη ισχύ και έτσι παράγουν υψηλότερη ισχύ πεδίων. Όμως, στις περισσότερες περιπτώσεις, η έκθεση των ανθρώπων περιορίζεται γενικά στα χαμηλότερα επίπεδα. Γενικά, το φάσμα ραδιοσυχνότητας θα χρησιμοποιείται και θα επαναχρησιμοποιείται πιο εντατικά σε όλη το εύρος συχνότητων. Προηγούμενα χάρματα όπως ενδιάμεσες συχνότητες θα γερμιαί πιθανώς με νέες εφαρμογές, και η χρήση επεκτείνεται προς τα πάνω ακόμα σε ακόμα υψηλότερες ραδιοσυχνότητες.

Η εμπειρία της βιομηχανίας κυψελοειδών κινητών τηλεφώνων έχει καταδείξει ότι μόλις αναπτυχθεί μια νέα τεχνολογία, το ποσοστό υιοθέτησης της θα μπορούσε εύκολα να εκραγεί μέσω της μεγάλης κλίμακας παραγωγής και της διανομής. Είναι επομένως σημαντικό να έχουμε επίγνωση της γρήγορης ανάπτυξης νέων πηγών μη ιοντιζουσας ακτινοβολίας και για να συνεχίσουμε την επιστημονική αξιολόγηση στις διάφορες πτυχές υγείας που αφορούν αυτές τις καινοτομίες. Αυτό θα περιελάμβανε διαφορετικά σενάρια έκθεσης από την άποψη της θέσης των σωμάτων, τη διάρκεια χρήσης, τον πληθυσμό που στοχεύει, και επίσης στην ταυτόχρονη έκθεση στο σύνθετο πολλαπλό φάσμα συχνότητων που είναι εκτείνονται σε μια ενδεχομένως μεγάλη ακτίνα συχνότητων.

Θα κλείσουμε με την άποψη που εκφράστηκε την 1 Σεπτεμβρίου 2008 από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στη δεύτερη αναφορά εφαρμογής (2002-2007) σχετικά με την εφαρμογή της οδηγίας του Συμβουλίου της 12 Ιουλίου 1999 (1999/519/EC) «για τον περιορισμό της έκθεσης του γενικού πληθυσμού στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία από 0 Hz μέχρι 300 GHz»:

«Για τον τομέα των ραδιοσυχνοτήτων καμία επίπτωση στην υγεία δεν έχει καταδειχθεί με συνέπεια σε επίπεδα έκθεσης κάτω από τα όρια που καθιέρωσε το 1998 η ICNIRP. Πάντως, η βάση δεδομένων για αξιολόγηση παραμένει περιορισμένη, ειδικά για τη μακροπρόθεσμη χαμηλού επιπέδου έκθεση.»

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Βιβλιογραφία

Α. Έγγραφα INCIRP:

1. IRPA/INIRC - International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection association Guidelines. Protection of the patient undergoing a magnetic resonance examination. Health Physics Vol. 1, No 6, December 1991
2. ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields, Health Physics January 1994, Volume 66, Number 1, p.100-106
3. ICNIRP Statement. Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters. Health Physics April 1996, Volume 70, Number 4, p.587-593
4. ICNIRP. Non-thermal Effects of RF Electromagnetic Fields. Proc Int Seminar on biological effects of non-thermal pulsed or amplitude-modulated RF electromagnetic fields and related health risks. Bernhardt JH, Matthes R, Repacholi MH (eds). ICNIRP 3/97. Märkel-Druck, München; 1997.
5. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (Up to 300 GHz). Health Physics April 1998, Volume 74, Number 4, p.494-522.
6. ICNIRP. Biological Effects, Health Consequences and Standards for Pulsed Radiofrequency Fields. Proc. Int. Seminar on biological effects, health consequences and standards for pulsed radiofrequency fields. Bernhardt JH, Matthes R, Repacholi MH (eds). ICNIRP 11/2001. Märkel-Druck, München; 2001.
7. ICNIRP Standing Committee on Epidemiology (Anders Ahlbom, Elisabeth Cardis, Adele Green, Martha Linet, David Savitz, and Anthony Swerdlow). Review of the Epidemiologic Literature on EMF and Health. Environmental Health Perspectives, December 2001, Volume 109, Supplement 6, p 911-933.
8. ICNIRP. Possible Health Risks to the General Public from the Use of Security and Similar Devices. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 2002.
9. ICNIRP Statement. General approach to protection against non-ionizing radiation. Health Physics April 2002, Volume 82, Number 4, p.540-548.
10. ICNIRP. Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0-100 kHz) - Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. Eds. Bernhardt J H, Matthes R, McKinlay A, Vecchia P, Veyret B. ICNIRP 13/2003. Märkel-Druck, München; 2003.
11. ICNIRP Statement. Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines. Health Physics, March 2003, Volume 84, Number 3, p. 383-387.
12. ICNIRP statement related to the use of security and similar devices utilizing electromagnetic fields. Health Physics August 2004, Volume 87, Number 2, p. 187-196
13. ICNIRP Statement. Medical magnetic resonance (MR) procedures: Protection of patients. Health Physics August 2004, Volume 87, Number 2, p.197-216.
14. ICNIRP Standing Committee on Epidemiology (Anders Ahlbom, Adele Green, Leeka Kheifets, David Savitz, and Anthony Swerdlow). Epidemiology of Health Effects of Radiofrequency Exposure. Environmental Health Perspectives, December 2004, Volume 112, Number 17, p.1741-1754
15. ICNIRP. Statement on EMF emitting new technologies. Health Physics April 2008, Volume 94, Number 4, p.376-392.
16. ICNIRP. Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz). Review of the scientific evidence on dosimetry, biological effects, epidemiological observations, and health consequences concerning exposure to high frequency electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Editors: Paolo Vecchia, Rüdiger Matthes, Gunde Ziegelberger, James Lin, Richard Saunders, Anthony Swerdlow. ICNIRP 16/2009
17. ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields, Health Physics April 2009, Volume 96, Number 4, p.504-514
18. ICNIRP. Fact sheet "on the guidelines on limits of exposure to static magnetic fields published on Health Physics, 96 (4): 504-514; 2009", March 2009.

19. ICNIRP Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and Electromagnetic fields (up to 300 GHz)". Health Physics, September 2009, Volume 97, Number 3, p. 257-258
20. ICNIRP Statement. Amendment to the ICNIRP "Statement on medical magnetic resonance (MR) procedures: Protection of patients". Health Physics, September 2009, Volume 97, Number 3, p. 259-261.

B. Έγγραφα Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization - WHO)

1. World Health Organization (WHO) Backgrounder. Electromagnetic fields and public health cautionary policies, March 2000
2. World Health Organization (WHO). Model Legislation for Electromagnetic Fields Protection, 2006
3. World Health Organization (WHO). Framework for Developing Health-Based EMF Standards, 2006
4. World Health Organization (WHO). Research Agenda for Radio Frequency Fields, 2006
5. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°181 Electromagnetic fields and public health. The International EMF Project May 1998
6. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°182 Electromagnetic fields and public health. Physical Properties and Effects on Biological Systems May 1998
7. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°183 Electromagnetic fields and public health. Health Effects of Radiofrequency Fields May 1998
8. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°184 Electromagnetic fields and public health. Public Perception of EMF risks May 1998
9. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°193 Electromagnetic fields and public health. Mobile telephones and their base stations June 2000
10. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°201 Electromagnetic fields and public health. Video Display Units (VDUs) July 1998
11. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°263 Electromagnetic fields and public health: extremely low frequency fields and cancer October 2001 και (μεταφρασμένο στα ελληνικά) Φύλλο Πρωτοκόλλου 263 του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ - World Health Organization - WHO) Διεθνές Πρόγραμμα για τα ΗΜΠ (EMF Project) Τα Ηλεκτρομαγνητικά πεδία και η δημόσια υγεία. Εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας πεδία & καρκίνος Οκτώβριος 2001
12. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°296 Electromagnetic fields and public health Electromagnetic Hypersensitivity December 2005
13. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°299 Electromagnetic fields and public health. Static electric and magnetic fields March 2006
14. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°304 Electromagnetic fields and public health Base stations and wireless technologies May 2006
15. World Health Organization (WHO). Fact sheet N°322 Electromagnetic fields and public health. Exposure to extremely low frequency fields June 2007

Γ Νομοθετικά κείμενα

1. Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 12ης Ιουλίου 1999 περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0 Hz – 300 GHz) 1999/519/ΕΚ. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L199, σελ. 59 – 70, 30 Ιουλίου 1999.
2. Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου (2004). Περὶ των ελαχίστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας όσον αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παραγοντες (ηλεκτρομαγνητικά πεδία). Οδηγία 2004/40/ΕΚ. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L184, σελ. 1 – 9, 24 Μαΐου 2004.

3. Πρόταση Ψηφίσματος του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου σχετικά με τα προβλήματα υγείας που σχετίζονται με τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (2008/2211(INI)) 2009
4. Ν. 2246 «Οργάνωση και λειτουργία του τομέα τηλεπικοινωνιών». ΦΕΚ 172 Α/20 Οκτωβρίου 1994
5. Ν. 2801 «Ρυθμιστικές θεμάτων αρμοδιότητας του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών». ΦΕΚ 46 Α/3 Μαρτίου 2000
6. Ν. 2867 «Οργάνωση και λειτουργία των τηλεπικοινωνιών και άλλες διατάξεις». ΦΕΚ 273 Α/19 Δεκεμβρίου 2000
7. Ν. 3431 «Περί ηλεκτρονικών Επικοινωνιών και άλλες διατάξεις». ΦΕΚ 13 Α/ 3 Φεβρουαρίου 2006
8. ΠΔ 44/2002 «Ραδιοεξοπλισμός και τηλεπικοινωνιακός τερματικός εξοπλισμός και αμοιβαία αναγνώριση της συμμόρφωσης των εξοπλισμών αυτών. Προσαρμογή της ελληνικής νομοθεσίας στην οδηγία 99/5/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 9 Μαρτίου 1999». ΦΕΚ 44 Α/7 Μαρτίου 2002
9. ΚΥΑ 53571/3839 «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην Ήρα». ΦΕΚ 1105 Β/6 Σεπτεμβρίου 2000
10. ΚΥΑ 2300 ΕΦΑ (493) «Τρόπος διενέργειας των μετρήσεων για την τήρηση των ορίων ασφαλείας έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κάθε κεραία». ΦΕΚ 346 Β/3 Μαρτίου 2008
11. ΚΥΑ 3060 (ΦΟΡ) 238 «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων». ΦΕΚ 512 Β/ 25 Απριλίου 2002
12. ΚΥΑ 17225/655 «Έγκριση Εθνικού Κανονισμού Κατανόμης Ζωνών Συχνότητας (ΕΚΚΖΣ)». ΦΕΚ 399 Β/3 Απριλίου 2006
13. ΚΥΑ 38980/1619 «Αναθεώρηση του Εθνικού Κανονισμού Κατανόμης Ζωνών Συχνότητων (ΕΚΚΖΣ)». ΦΕΚ 1979 Β/24 Σεπτεμβρίου 2008
14. ΚΥΑ 8701/118 «Προσδιορισμός ύψους του παραβόλου το οποίο καταβάλλεται στην Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) για τον έλεγχο τήρησης των ορίων ασφαλείας έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία». ΦΕΚ 302 Β/7 Μαρτίου 2007
15. Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΧΩΔΕ/126884 «Διαδικασία Περιβαλλοντικής Αδειοδότησης και Περιεχόμενο Περιβαλλοντικών Μελετών για τις Εγκαταστάσεις Κεραιών Σταθμών στην Ήρα, σύμφωνα με το άρθρο 31, παρ. 18 του ν. 3431/2006 (ΦΕΚ Α' 13)». ΦΕΚ 435 Β /29 Μαρτίου 2007
16. Απόφαση ΕΕΤΤ 390/3 «Κανονισμός Γενικών Αδειών». ΦΕΚ 748 Β/21 Ιουνίου 2006)
17. Απόφαση ΕΕΤΤ 207/2 «Κανονισμός Ειδικών Αδειών». (ΦΕΚ 195 Β/1 Μαρτίου 2001)
18. Απόφαση ΕΕΤΤ 406/22 «Κανονισμός αδειών κατασκευών κεραιών στην Ήρα, σύμφωνα με το Ν. 3431/2006». ΦΕΚ 1666 Β /14 Νοεμβρίου 2006
19. Απόφαση ΕΕΤΤ 384/4 «Υπαγωγή κατασκευών κεραιών στο άρθρο 1 παρ. 2 εδ. ζ' του Ν.2801/2000». ΦΕΚ 739 Β/20 Ιουνίου 2006
20. Απόφαση ΕΕΤΤ 227/86 «Κατασκευές κεραιών για τις οποίες δεν απαιτείται άδεια, σύμφωνα με το άρθρο 1 του Ν. 2801/2000». ΦΕΚ 1226 Β/20 Σεπτεμβρίου 2001
21. Απόφαση ΕΕΤΤ 254/72 «Κανονισμός εκχώρησης μεμονωμένων ραδιοσυχνότητων σε σταθμούς τηλεπικοινωνιών για ίδια χρήση». ΦΕΚ 895 Β/16 Ιουλίου 2002
22. Απόφαση ΕΕΤΤ 390/1 «Κανονισμός Χρήσης και Χορήγησης Δικαιωμάτων Χρήσης Ραδιοσυχνότητων υπό καθεστώς Γενικής Άδειας για την παροχή Δικτύων ή / και Υπηρεσιών Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών». ΦΕΚ 750 Β/21 Ιουνίου 2006
23. Απόφαση ΕΕΤΤ 262/107 «Ειδικά μέτρα προστασίας των σταθμών επασπείας του Εθνικού Συστήματος Διαχείρισης και Επασπείας Φάσματος Ραδιοσυχνότητων από επιζήμιες παρενοχλήσεις». ΦΕΚ 1262 Β/26 Σεπτεμβρίου 2002
24. Απόφαση ΕΕΤΤ 521/32 της 5 Μαΐου 2009 «Κανονισμός Ορίων Χρήσης Μεμονωμένων Ραδιοσυχνότητων ή Ζωνών Ραδιοσυχνότητων»

Δ. Πρότυπα

1. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 to 3 kHz. IEEE Standard C95.6-2002, Oct. 2002.

2. Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ 1422-3 (Hellenic Standard) Συνεγκατάσταση κεραιών ραδιοεπικοινωνιών- Μέρος 3: Τεχνικές δοκιμών και μετρήσεων - Όρια, ΕΛΟΤ 2006, Έκδοση 1η

Ε. Οδηγίες

1. World Health Organization (WHO)-Department of protection of the human environment, Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields radiation and environmental health, Geneva, Switzerland, 2002
2. Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.) 1996 Οριακές τιμές (TLVs) χημικών ουσιών και φυσικών παραγόντων και δείκτες βιολογικής έκθεσης (BEIs) της Αμερικανικής Εταιρείας Κυβερνητικών Υγειονολόγων Βιομηχανίας (ACGIH) Αθήνα 1997, Εκδόσεις Ν. Σαρρής - Α. Φούφα, ISBN 960-7678-18-9
3. Federal Communications Commission - Office of Engineering & Technology, Questions and answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields, (Authors R.F. Cleveland Jr., J.L. Ulcek) OET Bulletin 56, 4th Edition August 1999
4. Federal Communications Commission - Office of Engineering & Technology, Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, Supplement C (Edition 01-01) to OET Bulletin 65 (Edition 97-01)
5. National Radiological Protection Board (NRPB), Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0 - 300 GHz) Documents of NRPB, Volume 15 No 3, 2004
6. International Commission for Electromagnetic Safety (ICEMS) The Benevento Resolution, after the international conference entitled "The Precautionary EMF Approach: Rationale, Legislation and Implementation", February 22, 23 & 24 2006, Benevento, Italy
7. ΕΕΑΕ Π/105/014: «Καθορισμός ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο περιβάλλον σταθμών κεραιών σε εφαρμογή του Ν. 3431/2006 (ΦΕΚ 13 Α/03 Φεβρουαρίου 2006)» Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, 12 Ιανουαρίου 2007
8. Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE), Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF) and Microwave Radiation on human health, Expressed at the 27th CSTEE plenary meeting Brussels, 30 October 2001, European Commission, EMF/RF30102001/D(01)
9. Radio Standards Specification RSS-102, Issue 3, Radio Frequency (RF) Exposure Compliance of Radiocommunication Apparatus (All Frequency Bands), Canada Spectrum Management and Telecommunications, June 2009

ΣΤ. Ενημερωτικά δελτία

1. Κινητή Τηλεφωνία και Υγεία. Ερωτήσεις & Απαντήσεις. Υπουργείο Ανάπτυξης- Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ)
2. Χαμηλόσυχνα Ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Υπουργείο Ανάπτυξης- Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), 2005
3. Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία και Κινητή Τηλεφωνία. Τα επιστημονικά δεδομένα, Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ), 2006
4. Διάθεση Ζωνών Συχνότητας Φάσματος για Νέες Υπηρεσίες Κινητής Τηλεφωνίας, Ενημερωτικό δελτίο της Εθνικής Επιτροπής Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ), τεύχος Ν° 14, Σελ 10-11 Οκτώβριος 2007
5. An Assessment of Potential Health Risks from Exposures to PAVE PAWS Low-level Phased-array Radiofrequency Energy, Report in brief, The National Academy of Sciences, 2004
6. RF Exposure: SAR Standards and Test Methods, Honeywell Scanning and Mobility, 2008
7. Is RFID safe at the work place? RFID 4SME
8. Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας. Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία / Στοιχεία για την υγεία. Φόρουμ Κατασκευαστών Κινητών Τηλεφώνων (Mobile Manufacturers Forum - MMF) Ιούλιος 2004

9. Μαργαρίτης Λ., Παναγόπουλος Δ., Τρουγκάκος Ι., Χαβδούλα Ε., Πάσιου Ε., Βελέντζας Α., Μπάκου Β., Σουλάνδρου Α., Τριμανδήλη Μ., Παπαδήμας Γ., Ερευνητικό Πρόγραμμα Επίδραση ακτινοβολίας κινητής τηλεφωνίας: μετρήσεις – έρευνα προτάσεις για μείωση της επικινδυνότητας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βιολογίας Κυττάρου & Βιοφυσικής, Εργαστήριο Βιοφυσικής – Ακτινοβολιών, ιστοσελίδες: <http://multimedia.biol.uoa.gr>, <http://kyttariki.biol.uoa.gr>
10. Μάγρας Ν., (Καθηγητής Εμβρυολογίας-Γερατολογίας, Μικροσκοπικής και Μακροσκοπικής Ανατομικής) Η επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην εμβρυική ανάπτυξη Πειραματικές μελέτες στον Δήμο Χορτιάτη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Κτηνιατρική Σχολή.
11. RF Integrated Circuits for Medical Implants: Meeting the Challenge of Ultra Low Power Communication, Peter Bradley, Zarlink Semiconductor

Z. Δημοσιεύσεις

1. J.M. Osepchuk and R.C. Petersen, Historical Review of RF Exposure Standards and the International Committee on Electromagnetic Safety (ICES), Bioelectromagnetics Supplement 6:S7-S16 (2003)
2. Michael H. Repacholi World Health Organization, Radiofrequency Field Exposure and Cancer: What Do the Laboratory Studies Suggest?, Environmental Health Perspectives December 1997, Volume 105, Supplement 6, p. 1565-1568
3. Marcus Tadeu Pinheiro Silva, Flavio Henrique Vasconcelos, Guilherme Augusto Silva Pereira, RF Interface for Intelligent Arterial Pressure Sensor Based in RFID Technology, 16th IMEKO TC4 Symposium Exploring New Frontiers of Instrumentation and Methods for Electrical and Electronic Measurements Sept. 22-24, 2008, Florence, Italy.
4. André Vander Vorst, RF/Microwave Radiation Protection, TUTB Newsletter June 2003 N° 21, p. 12-16
5. IEEE, International Committee on Electromagnetic Safety, Subcommittee 4, (Co-Chairs C-K. Chou and J.A. D'Andrea), Reviews of Effects of RF Fields on Various Aspects of Human Health: Introduction, Bioelectromagnetics Supplement 6:p5-6 (2003)
6. M. Gaynor and D. Mathews, System-in-Package for WLAN/PAN Aids Coexistence with Digital Cellular, High Frequency Electronics January 2003, p.38 - 41
7. What is a "Personal Area Network" (PAN)? Tutorial, High Frequency Electronics March 2004, p. 42
8. Δ. Κ. Τσανάκας, Το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο γραμμών και υποσταθμών ηλεκτρικής ενέργειας ως περιβαλλοντικοί παράγοντες, Ημερίδα: Δίκτυα, διασυνδέσεις και προβλήματα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, ΤΕΕ, Παν. Πατρών, Ελληνική Επιτροπή Cigre, Πάτρα 16 Φεβρουαρίου 2009
9. J.C. Lin, Safety Standards for Human Exposure to Radio Frequency Radiation and their Biological Rationale, IEEE Microwave Magazine, December 2003 p.22-26
10. Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences, Proceedings WHO International Workshop on Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences, 15-16 June 2005, Geneva Switzerland, Editors: M. Repacholi, E. van Deventer, P. Ravazzani
11. C. Otto, A. Milenkovic, C. Savadas, E. Jovanov, System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring, Journal of Mobile Multimedia, Vol. 1, No.4 (2006), p.307-326
12. Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου συνεδρίου με διεθνή συμμετοχή: Οι επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας 24 - 25 Μαΐου 2008, Θεσσαλονίκη
13. Λ.Χ. Μαργαρίτης, Σ.Α. Ζηνέλης, Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κινητής τηλεφωνίας Αρχία Ελληνικής Ιατρικής Vol 25, No 4, p. 415-417, 2008
14. Δ. Στρατάκης, Κινητή τηλεφωνία. Οι επιδράσεις της στο ανθρώπινο γενεές και φυσικό περιβάλλον. Παρουσίαση στη Διημερίδα Δήμου Ηρακλείου και ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων, 16 και 17 Ιουνίου 2006
15. Ε. Καραμπέτσας, (υπεύθυνος Γραφείου Μη-Ιοντίζουσων Ακτινοβολιών της ΕΕΑΕ). «Τρόπος διενέργειας των μετρήσεων για την τήρηση των ορίων ασφαλούς έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από κάθε κεραία». Παρουσίαση στην Ημερίδα

Υ.Μ.Ε. – Ι.Τ.Υ.: Έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από ασύρματα συστήματα, Ιούνιος 2009

16. Αθανάσιος Παπαδόπουλος (ΕΕΤΤ/Διεύθυνση Φάσματος) Διαχείριση και Εποπτεία Φάσματος Ραδιοσυχνοτήτων, Διάλεξη στο Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Τμήμα Διοίκησης Τεχνολογίας, 3 Μαΐου 2007
17. Αθανάσιος Παπανδρέου, Κινητή Τηλεφωνία και Υγεία - Μύθοι και πραγματικότητες για τη μεταξύ τους σχέση, Στρατιωτική Επιθεώρηση, Vol.5. p.112-119, Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 2008
18. Cindy Sage, An Overview of Radiofrequency/Microwave Radiation Studies Relevant to Wireless Communications and Data, Proceedings International Conference on Cell Tower Siting, Linking Science & Public Health, Federal State of Salzburg, & University of Vienna, Salzburg, June 7-8, 2000, p 90-106
19. Janie Baños, RFID in the context of other wireless technologies, παρουσίαση στο Workshop της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission) Information Society and Media: RFID Frequency Spectrum – "Requirements and Recommendations", Brussels, 2 June 2006
20. Maila Hietanen, (Finnish Institute of Occupational Health), Establishing the health risks of exposure to radiofrequency fields requires multidisciplinary research, Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, vol 32, no 3, 2006, p.169-170

Η. Πανεπιστημιακές σημειώσεις

1. Χρήστος Ι. Μπούρας, Ευρωζωνικές τεχνολογίες, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις 2009, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής, Τομέας Εφαρμογών και Θεμελιώσεων της Επιστήμης των Υπολογιστών
2. Χρήστος Ι. Μπούρας, Δίκτυα δημόσιας χρήσης και διασύνδεση δικτύων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις 2008, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής, Τομέας Εφαρμογών και Θεμελιώσεων της Επιστήμης των Υπολογιστών
3. Εμ. Κουδουμάς, Σημειώσεις στο Εργαστήριο Δομών Μετάδοσης, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων, Τομέας Επικοινωνιών και Πολυμέσων 2005.
4. Κ. Γεωργακοπούλου, Τηλεματική - μέρος Γ', Τεχνολογίες Συγχρόνων Ασύρματων Δικτύων Δεδομένων, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Βιομηχανικής Πληροφορικής, 2007

Θ. Διπλωματικές εργασίες

1. Ι. Α. Τερζάκης- Δ. Κ. Τσαπάρας. Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για πρόσβαση και διασύνδεση. Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών δικτύου - Case Study. Πιλοτικά Συστήματα WiMAX Ο.Τ.Ε. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών. Επιβλέπων: Φίλιππος Κωνσταντίνου Καθηγητής Ε.Μ.Π. (Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 30η Απριλίου 2007)
2. Κ. Χρυσοβαλάντης. Προσομοίωση και εκτίμηση απόδοσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας τετάρτης γενιάς, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Ιούnius 2007
3. Κ. Ντελέζος, Κ. Σαραντοπούλου, Μ. Χαλκιάδακη, Κ. Φαρίδης, Κινητή Τηλεφωνία και Υγεία. Παρόν και μέλλον, Μ.Π.Σ. Υγιεινή & Ασφάλεια της Εργασίας, Υγεία – Νόσος, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Τμήμα Ιατρικής, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας Τμήματα Δημόσιας Υγιεινής & Νοσηλευτικής, Αθήνα 2006
4. Αντώνιος Μ. Πιταροκόλης, Μελέτη και Ανάλυση Σχημάτων Κωδικοποίησης για Ασύρματα Δίκτυα Υψηλών Ταχυτήτων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης, Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Επιβλέπων: Ν. Κ. Ουζούνογλου Καθηγητής Ε.Μ.Π., Ιούλιος 2008

5. Μαρία Κουιμτζή, Μελέτη και Προσομοίωση Ασύρματων Τοπικών Δικτύων Υπολογιστικών Συστημάτων (WLAN): Εφαρμογές σε δίκτυα IEEE 802.11, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μεταδοσης, Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Επιβλέπων: Φίλιππος Κωνσταντίνου Καθηγητής Ε.Μ.Π., Ιούλιος 2006
6. Βασίλειος Δ. Λακαφώσης, Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Ασύρματων Δικτύων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μεταδοσης, Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Επιβλέπων: Ν. Κ. Ουζούνουγκου Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αύγουστος 2006
7. Δημήτριος Β. Ιακωβάκης, Μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και οι βιολογικές της επιδράσεις - βιβλιογραφική έρευνα, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών. Επιβλέπων: Διονύσιος - Δημήτριος Κουτσούρης Καθηγητής Ε.Μ.Π., Ιούλιος 2008

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

LIST OF TECHNICAL ACRONYMS

- AC, Alternating Current
ADPCM, Adaptive Differential Pulse Code Modulation
AMPS, American Mobile Phone Service in the U.S.
APC, Automatic Power Control
CDMA, Code Division Multiple Access scheme
CRC, Cyclic Redundancy Codes
DVB, Digital Video Broadcasting systems
DVB-H, DVB terrestrial television for hand-helds
DVB-S, DVB by satellite
DVB-T, DVB by terrestrial antennas
EAS, Electronic Article Surveillance
EDGE, Enhanced Data rate for GSM Evolution
EIRP, Effective Isotropic Radiated Power
EM, Electromagnetic
EMF, Electromagnetic Field
FDD, Frequency Division Duplex
GFSK, Gaussian Frequency Shift Keying
GPR, Ground Penetrating Radars
GPRS, General Packet Radio Service
GSM, Global System for Mobile Communications
HSCSD, High-Speed Circuit Switched Data
HSDPA, High Speed Downlink Packet Access
HSST, Trains using resistive magnets for levitation and propulsion in Japan
IH, Induction Heating,
i-mode, overlay on Japanese PDC system to access and navigate the Web
IMT-2000, International Mobile Telecommunications-2000
IP, Internet Protocol
IS-95, North American version of the Code Division Multiple Access
ISDN, Integrated Services Digital Network
ISM, Industrial, Scientific, and Medical bands
MAGLEV, Magnetically Levitated Vehicle
MIMO, Multiple-Input Multiple-Output
MMS, Multimedia Messaging Service
MRI, Magnetic Resonance Imaging
NIR, Non Ionizing Radiation
OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PDA, Personal Digital Assistant
PDC, Personal Digital Cellular system
PSTN, Public Switched Telephone Network
QPSK, Quadrature Phase Shift Keying
RF, Radio Frequency
RFID, Radio Frequency Identification Technology

Μεταπτυχιακή Διατριβή

SAR, Specific Absorption Rate
SCM, Superconducting Magnets
SOFDMA, Scalable OFDMA
SNR, Signal-to-Noise Ratio
SPS, Solar Power Satellites
TDD, Time Division Duplex
TDMA, Time Division Multiple Access Technique
TGV, Electrified trains (in France)
UHF, Ultra High Frequency band
UMTS, Universal Mobile Telecommunications System
UTRA, combined, W-CDMA and UMTS
UWB, Ultra-Wide-Band signals
VVVF, Variable Voltage and Variable Frequency
W-CDMA, Wideband Coded Division Multiple Access
Wi-Fi, Wireless Fidelity, also a trademark of Wi-Fi Alliance
WiMAX, Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN, Wireless Local Area Networks
WPAN, Wireless Personal Area Networks
WPT, Wireless-Power Transmission

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

LIST OF ORGANIZATIONAL ACRONYMS

CEPT, European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
DECT, Digital Enhanced Cordless Telecommunication
DOE, Department of Energy (in the U.S.)
DOT, Department of Transportation (in the U.S.)
FCC, Federal Communications Commission in the U.S.
ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEC, International Electrotechnical Commission
IEEE, Institute of Electrical and Electronic Engineers
ISO, International Organization for Standardization
ITU, International Telecommunications Union
JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency
METI, Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry
NASA, National Aerospace Administration in the U.S.
NMT, Nordic Mobile Telephony
NTT, Nippon Telegraph and Telephone Corporation
URSI, International Scientific Radio Union

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο Παράρτημα αυτό παρατίθενται πίνακες απόδιάφορες μελέτες που έχουν γίνει και έχουν σχέση με τις επιδράσεις από τις ραδιοσυχνότητες.

Α. Μελέτες με αυξημένη πυκνότητα ισχύος

Πυκνότητα ισχύος	Αναφερόμενα βιολογικά αποτελέσματα	Αναφορές
0,1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Τα κύματα εγκεφάλου EEG αλλάζουν όταν εκτίθενται στο τηλεφωνικό σήμα	Van Klitzing, 1995
0,16 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	λειτουργία μηχανών, επηρεασμός μνήμης και προσοχής από τα παιδιά σχολείου (της Λετονίας)	Kolodynski, 1996
0,68 -1,053 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	αμετάκλητη στειρότητα στα ποντίκια μετά από 5 γενεές έκθεσης στα τηλεφωνικά σήματα από πάρκα κεραιών	Magras & Xenos, 1997
0,2 – 8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	διπλή αύξηση στη λευχαιμία παιδικής ηλικίας από έκθεση AM-FM	Hocking, 1996
1,3 - 5,7 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	διπλή αύξηση στη λευχαιμία στους ενήλικους από την έκθεση ραδιοσυχνοτήτων AM	Dolk, 1997
2,4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Παρεμβολές με ιατρικές συσκευές τουλάχιστον μέχρι 1000 MHz	Joyner, 1996
2 - 4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	άμεση επίδραση ακτινοβολίας RF στα ιονικά κανάλια στα κύτταρα/άνοιγμα του καναλιού acetylcholine	D' Inzeo, 1988
4 - 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Ο οπτικός χρόνος αντίδρασης στα παιδιά κάνει αργότερη/χαμηλότερη τη λειτουργία μνήμης στα τεστ	Chiang, 1989
5 - 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	εξασθένηση της δραστηριότητας νευρικών συστημάτων	Dumanski, 1974
10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	σημαντικές διαφορές στον οπτικό χρόνο αντίδρασης και μειωμένη λειτουργία μνήμης	Chiang, 1989
10 - 25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	αλλαγές στον ιππόκαμπο του εγκεφάλου	Belokrinitkiy, 1982
30 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (0,015 W/Kg SAR)	αποτελέσματα ανοσοποιητικών συστημάτων - αύξηση της αριθμητικής τιμής PFC (αντίσωμα που παράγει κύτταρα)	Veyret, 1991
50 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	μείωση 18% του ύπνου REM (σημαντικού στις λειτουργίες μνήμης και εκμάθησης)	Mann, 1996
100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	αλλαγές στη λειτουργία ανοσοποιητικών συστημάτων	Elekes, 1996
100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	πτώση 26% στην ινσουλίνη	A Navakatikian, 1994
120 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	παθολογική αλλαγή στο αιματοεγκεφαλικό φραγμό (915 MHz)	Salford, 1993

B. Μελέτες με αυξημένο το SAR

SAR	Αναφερόμενα βιολογικά αποτελέσματα	Αναφορές
0,000021 - 0,0021 W/Kg	αλλαγές στον κύκλο κυττάρων και τον πολλαπλασιασμό κυττάρων (τηλεφωνικό σήμα GSM 960 MHz)	Kwee, 1997
0,0004 W/Kg	Παλμοί κυψελοειδούς τηλεφώνου προκάλεσαν αλλαγές στο αιματοεγκεφαλικό φραγμό που προστατεύει τον εγκέφαλο από επιβλαβείς εξωτερικές χημικές ουσίες και τοξίνες (τηλέφωνο κύψελοειδές GSM 915 MHz)	Salford, 1997
0,001 W/Kg	EEG κύματα εγκεφάλου αλλάζουν όταν εκτίθενται στο τηλεφωνικό σήμα σε $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	Von Klitzing, 1995
0,0317 W/Kg	μείωση στο φαγητό και ποτό	Ray & Behari, 1990
0,005 έως 0,05 W/Kg	efflux ασβεστίου	Dutta και λοιποί, 1989
0,14 W/Kg	ανύψωση της άνοσο-αντίδρασης στα $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	Elekes, 1996
0,13 - 1,4 W/Kg	το ποσοστό καρκίνου λεμφώματος είναι 2,4 φορές πάνω από το κανονικό με δύο 1/2 ωρών εκθέσεις ανά ημέρα της τηλεφωνικής έκθεσης κυψελοειδούς (παλόμενο ψηφιακό κινητό τηλεφωνικό σήμα 900 MHz)	Repacholi, 1997
0,26 W/Kg	επιβλαβή αποτελέσματα στα μάτια /ορισμένα φάρμακα μπορούν να ευαισθητοποιήσουν τα μάτια σε ακτινοβολία RF	Kues, 1992
0,4 W/Kg	στατιστικά σημαντική αύξηση στους κακοήθεις όγκους στα $480 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	Guy, 1984
0,58 - 0,75 W/Kg	βιολογική επίδραση στην ανάπτυξη των όγκων στον εγκέφαλο κατά 18% τυποποιημένου (ψηφιακό τηλεφωνικό σήμα κυψελοειδούς 836 MHz TDMA)	Adey, 1996
0,6 και 1,2 W/Kg	Απλός και διπλός κλώνος DNA σπάει από την έκθεση RF (2450 MHz)	Lai, 1995
2,4 mW/Kg μέχρι 24 mW/Kg	Ψηφιακό κυψελωτό τηλέφωνο (836 MHz TDMA) σε πολύ χαμηλή ένταση προκαλεί αποτελέσματα DNA στα ανθρώπινα κύτταρα. Τα αποτελέσματα στο DNA είναι άμεση ζημιά στο DNA και ο ρυθμός με τον οποίο το DNA επισκευάζεται. Είναι περίπου ίσος με $800 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ στην πυκνότητα ισχύος	Phillips, 1998
2-3 W/Kg	επιτάχυνση καρκίνου στους όγκους δέρματος και στήθους κατά 50 - 75% από το κανονικό	Szmigielski, 1982

Γ. Μελέτες που παρουσιάζουν διαφορετικά προβλήματα υγείας

Μελέτη	Περιγραφή
Adey, WR., et. Al, 1996.	Επίπτωσηση όγκων στον εγκέφαλο στους αρουραίους που εκτίθενται χρόνια στους ψηφιακούς κυψελοειδείς τηλεφωνικούς τομείς σε ένα μοντέλο έναρξης-προώθησης. Bioelectromagnetics Society, 18η Ετήσια συνάντηση πρακτικά, περίληψη Α-7-3.
Belokhinitskiy, VS, 1982.	" Καταστρεπτικές και επαναλαμβανόμενες διαδικασίες στον ιππόκαμπο με μακροπρόθεσμη έκθεση σε μη ιοντίζουσα ακτινοβολία." Στο ΕΣΣΔ γενού, αποτελέσματα της μη ιοντίζουσας ακτινοβολίας μικροκυμάτων, αριθ. 7, JPRS 81865, Σ. 15-20.
Chiang, X., et. Al, 1989.	Επιπτώσεις στην υγεία των περιβαλλοντικών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Journal of Bioelectricity, 8:127-131
Chou, CK., & Guy, AW., 1992.	Μακροπρόθεσμη χαμηλού επιπέδου ακτινοβολία μικροκυμάτων στους αρουραίους. Bioelectromagnetics 13:469-496
Δ; Inzeo, Γ., et. Al, 1988.	Αποτελέσματα μικροκυμάτων στα acetylcholine-προκληθέντα κανάλια σε καλλιεργημένο νεοσσό myotubes. Bioelectromagnetics 9 363-372.
Dolk, X., et. Al, 1997.	Εμφάνιση καρκίνου κοντά σε πομπούς ραδιοφώνου και τηλεόρασης στη Μεγάλη Βρετανία. Am J Epidemiology 145 (1) Σελ 1-9 Ιανουάριος 1997
Dumanski, J.D., και Shandala, M.G., 1974	" Η βιολογική δράση και η σημασία υγιεινής των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων των υψηλών και υπερυψηλών συχνοτήτων στις πυκνοκατοικημένες περιοχές." από Biological Effects and Health Hazards of Microwave Radiation. Πρακτικά ενός διεθνούς συμποσίου, Βαρσοβία 15-18 Οκτωβρίου 1973, Polish Medical Publishers, Βαρσοβία, 1974.
Dutta, SK., et. Al, 1989.	αύξηση Efflux ιόντων ασβεστίου που επάγονται από ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας από ανθρώπινα και άλλα κύτταρα νευροβλαστώματος σε καλλιέργεια. Bioelectromagnetics 10:197-202.
Elekes, E., 1996.	Επίδραση στο ανοσοποιητικό σύστημα των ποντικών που εκτίθενται χρόνια σε 50 Hz διαμορφωμένα κατά πλάτος μικροκύματα 2.45 Ghz. Bioelectromagnetics 17:246-8.
Hocking, B., et. Al, 1996.	Εμφάνιση καρκίνου και θνησιμότητα και εγγύτητα σε πύργους τηλεόρασης -MED J Aust 165 (11-12) Σελ. 601-5, 2- 16 Δεκεμβρίου, 1996
Joyner, K., et. Al, 1996.	Τα κινητά τηλέφωνα παρεμβάλουν τον ιατρικό ηλεκτρικό εξοπλισμό. Australias Phys Eng Sci Med 1994 17 Μαρτίου (1). Σ 23-7.
Kolodynski, AA., Kolodynska VV, 1996.	Μηχανή και ψυχολογικοί ρόλοι των παιδιών σχολείου που ζουν στον τομέα του ραδιο σταθμού στη θέση Skrudna στη Λετονία. Sci Total Environ 1996 180: 87-93
Kues, HA, 1992.	Αυξανόμενη ευαισθησία του μη ανθρώπινου πρωτεύοντος ματιού στην ακτινοβολία μετά από προ-θεραπεία οφθαλμικών φαρμάκων. Bioelectromagnetics 13:379-93.
Kwee, 1997	τα βιολογικά αποτελέσματα της ακτινοβολίας μικροκυμάτων. Περίληψη στα πρακτικά του 2ου παγκόσμιου συνεδρίου για την ηλεκτρική ενέργεια και του μαγνητισμού στη βιολογία και την ιατρική, Μπολόνια, Ιταλία, Ιούνιος 1997.

L. Salford, 1993	Πειραματικές μελέτες της ανάπτυξης όγκων στον εγκέφαλο κατά τη διάρκεια της έκθεσης σε συνεχή και παλλόμενη ακτινοβολίας ραδιοσυχνότητας 915 MHz, <i>Bioelectrochemistry and Bioenergetics</i> Vol 30: Σελ. 313-318.
L. Von Klitzing, 1995	Χαμηλής συχνότητας παλλόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία επηρεάζουν το ανθρώπινο EEG. <i>Physica Medica</i> , Vol 11, No. 2, σ 77-80, Απρίλιος- Ιούνιος 1995.
Lai, X., και Singh, NP., 1995.	Οξεία χαμηλής έντασης έκθεση μικροκυμάτων αυξάνει τα σπασίματα μονόκλωνου DNA στα κύτταρα εγκεφάλου αρουραίων, <i>Bioelectromagnetics</i> 1995 16: 207-10.
Lai, X., & Singh, NP., 1996.	σπασίματα σε μονόκλωνα και δίκλωνα DNA στα κύτταρα εγκεφάλου αρουραίων μετά από οξεία έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας. <i>Int J Radiat Biol</i> 1996; 69: 513-21.
M.A. Navakati- kian και L.A. Tomashevskaya	Φασικά συμπεριφοριστικά και ενδοκρινή αποτελέσματα των μικροκυμάτων μη θερμικής έντασης, από τον Carpende Do και Ayrarelyan S. <i>Biological Effects of Electric and Magnetic Fields</i> . Τόμος 1, Academic Press
Magras, IN., & Zenos, TD., 1997.	αλλαγές στην προγενέθλια ανάπτυξη των ποντικών που οφείλονται στην ακτινοβολία ραδιοσυχνότητας. <i>Bioelectromagnetics</i> 18:455-461.
Mann, K., et. Al, 1996.	Αποτελέσματα των παλλόμενων υψηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στον ανθρώπινο ύπνο. <i>Neuropsychobiology</i> 1996 33: 41-7.
Phillips, J., et. Al, 1998,	Ζημία DNA σε pml-4 λεμφοβλαστωειδή κύτταρα που εκτίθενται τεχνητά σε πεδία κυψελοειδούς τηλεφωνικής ραδιοσυχνότητας. <i>Bioelectrochemistry and Bioenergetics</i> 45:103-110.
Ray, S., & Behari, J., 1990.	Φυσιολογικές αλλαγές στους αρουραίους μετά από έκθεση σε χαμηλά επίπεδα μικροκυμάτων. <i>Radiat Res</i> 123:190-202
Repacholi, M., et. Al, 1997.	Λεμψώματα em-Pim1 στα διαγενετικά ποντίκια που εκτίθενται σε παλλόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία 900 MHz. <i>Radiat Res</i> . 1997 147:31-40.
Salford, LG, 1997	διαπερατότητα του αιματοεγκεφαλικού φραγμού στους αρουραίους που εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από ασύρματο πομπό GSM. Περίληψη στα πρακτικά του 2ου παγκόσμιου συνεδρίου για τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό στη βιολογία και την ιατρική, Μπολόνια, Ιταλία, Ιούνιος 1997.
Salford, LG., et. Al, 1993.	Διαπερατότητα του αιματοεγκεφαλικού φραγμού που προκαλείται από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία 915 MHz; συνεχές κύμα και διαμορφωμένο σε 8, 16, 50 και 200 Hz. <i>Bioelectrochem Bioenerg</i> 1993; 30: 293-301.
Szmigielski, S., et. Al, 1982;	Επιταχυνόμενη ανάπτυξη του αυθόρμητου και του προκληθέντος με benzpyrene καρκίνου του δέρματος στα ποντίκια που εκτίθενται σε ακτινοβολία μικροκυμάτων 2350 MHz. <i>Bioelectromagnetics</i> 3:179-192.
Szmigielski, S., et. Al, 1982.	Νοσηρότητα καρκίνου στα άτομα που εκτίθενται επαγγελματικά στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υψηλής συχνότητας (ραδιοσυχνότητα και μικρο-

	κύματα). Sci Total Environ 1996; 180:9-17
Veyret, B., et. Al, 1991.	Αντιδράσεις αντισωμάτων των ποντικών που εκτίθενται σε χαμηλής ισχύος μικροκύματα κάτω από συνδυασμένα, διαμόρφωση παλμού και εύρους, Bioelectromagnetics 12: Π 47-56.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς