



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Πτυχιακή εργασία

με θέμα

Ηλεκτρομαγνητική Επιβάρυνση και Δοσιμετρία
από την Κινητή Τηλεφωνία και Άλλες Πηγές Ακτινοβολίας

από την **Αναστάσιο Κοντογιαννάτο.**

*Εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Δρ. **Ιωάννη Βαρδιάμπαση***
στα πλαίσια του “ΕΠΕΑΕΚ II – Αρχιμήδης: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα ΤΕΙ –
Μελέτη-Σχεδίαση ευφρών κεραιών με τεχνικές υπολογιστικού ηλεκτρομαγνητισμού και πιλοτική ανάπτυξη-
λειτουργία ψηφιακού ραδιοφωνικού σταθμού DAB στα Χανιά (SMART-DAB)”

Χανιά, Δεκέμβριος 2005

Αφιερώνεται στον αδερφό μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μικροκυματικών Επικοινωνιών και Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών του Παραρτήματος Χανίων του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης, με στόχο την μελέτη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από την κινητή τηλεφωνία και τις επιδράσεις της στον ανθρώπινο οργανισμό. Στην προσπάθεια αυτή ουσιαστική και ιδιαίτερα πολύτιμη ήταν η καθοδήγηση του επιβλέποντος καθηγητή κ. Ιωάννη Βαρδιάμπαση. Η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων για την πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας έγινε μέσω του διαδικτύου, της κεντρικής βιβλιοθήκης του Πολυτεχνείου Κρήτης και της βιβλιοθήκης του Παραρτήματος Χανίων Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Κλείνοντας τον πρόλογο αυτό, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου κ. Ιωάννη Βαρδιάμπαση και στην οικογένειά μου για την στήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια και συνεχίζει να μου παρέχει.

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

Κοντογιαννάτος Αναστάσιος

Χανιά, Δεκέμβριος 2005

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το κινητό τηλέφωνο αποτελεί ένα από τα επιτεύγματα της σύγχρονης τεχνολογίας των τηλεπικοινωνιών που έχει αναδειχθεί σε είδος πρώτης επιλογής από τους καταναλωτές. Οι λόγοι είναι πολλαπλοί, με κυριότερο εκείνον της εύκολης και άμεσης επικοινωνίας για λόγους επαγγελματικούς, κοινωνικούς αλλά και ψυχαγωγίας. Ιστορικά, η πρώτη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στις ΗΠΑ το 1970 στα Εργαστήρια Bell, και σταδιακά επεκτάθηκε σε όλες τις χώρες του κόσμου και σε όλα τα κοινωνικά στρώματα. Η εξάπλωση είναι τόσο μεγάλη που υπολογίζεται ότι σε πολλές χώρες αντιστοιχεί ένα κινητό τηλέφωνο για κάθε τρεις κατοίκους.

Έχει επισημανθεί εδώ και αρκετά χρόνια, από τους επιστήμονες τους σχετικούς με τις επιπτώσεις της ακτινοβολίας που προέρχεται από ραδιοσυχνότητες, ο κίνδυνος των δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία όσων εκτίθενται σε αυτές. Όμως επειδή είναι δύσκολη η άμεση απόδειξη των επιπτώσεων αυτών (για λόγους που θα εξηγηθούν παρακάτω) το θέμα παραμένει ανοιχτό, με τις Εταιρίες (κατασκευαστικές κινητών τηλεφώνων και παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας) να υποστηρίζουν ότι τηρούνται τα όρια ασφαλείας που έχουν θεσπιστεί και τους ερευνητές να επιμένουν (στην πλειοψηφία τους), ότι υπάρχουν ποικίλες επιπτώσεις στους χρήστες κινητών τηλεφώνων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα επιχειρήσουμε να παρουσιάσουμε το θέμα όσο πιο αντικειμενικά γίνεται χωρίς να αδικούμε την προσφορά της κινητής τηλεφωνίας στη βελτίωση της ποιότητας ζωής του σύγχρονου ανθρώπου αλλά και χωρίς να αγνοούμε τις πιθανές (και πολλές φορές ανιχνεύσιμες) βιολογικές επιπτώσεις που έχει αυτού του είδους η ακτινοβολία.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται Περιγραφή του προβλήματος και μια Ιστορική αναδρομή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο ορίζονται βασικές έννοιες και μεγέθη, μονάδες μέτρησης τους και γίνεται ο διαχωρισμός ανάμεσα στα φυσικά και τεχνητά Η/Μ πεδία.

Στο τρίτο κεφαλαίο γίνεται περιγραφή των ιδιοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αναφέρεται η βιολογική δράση των Η/Μ κυμάτων και των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων σε επίπεδο κυττάρων και ιστών, οι βιολογικές επιδράσεις της μη ιονίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας, γίνεται ο διαχωρισμός θερμικών και αθερμικών επιδράσεων και περιγράφονται διάφορες μέθοδοι μελέτης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα όρια επικινδυνότητας με βάση τις θερμικές επιδράσεις (όρια επικινδυνότητας της IRPA, του ANSI και Ευρωπαϊκής Ένωσης), τις αθερμικές επιδράσεις, τα όρια Ασφαλείας Κινητής Τηλεφωνίας καθώς επίσης και μετρήσεις που έγιναν για τον υπολογισμό της έντασης του πεδίου από κινητό τηλέφωνο.

Στο πέμπτο, έκτο, έβδομο και όγδοο κεφαλαίο γίνεται μια αναφορά για την ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από το δίκτυο διανομής και χρήσης του ηλεκτρικού ρεύματος, από κεραίες ραντάρ, από τις οικιακές συσκευές και από την κινητή Τηλεφωνία (κεραιών βάσης, φορητών - κινητών τηλεφώνων) αντίστοιχα.

Το ένατο κεφάλαιο είναι το κεφάλαιο της υπολογιστικής δοσιμετρίας. Η υπολογιστική δοσιμετρία υπολογίζει τη σχέση μεταξύ των εξωτερικών μη-διαταραγμένων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και των

πεδίων που προκαλούνται (δημιουργούνται) μέσα στο σώμα. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρεται ο ρόλος της δοσιμετρίας για τις κυτταρικές κινητές επικοινωνίες. Γίνεται υπολογιστική μοντελοποίηση του ανθρώπινου σώματος και μια θεωρητική προσέγγιση γύρω από τις βιολογικές επιδράσεις ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ραδιοσυχνοτήτων. Αναφέρονται τα δοσιμετρικά μεγέθη και όρια ασφαλούς έκθεσης και γίνεται εκτίμηση του ρυθμού ειδικής απορρόφησης με υπολογιστικές, πειραματικές και θερμοδομετρικές τεχνικές.

Στο δέκατο και τελευταίο κεφάλαιο δίνονται απαντήσεις σε συχνές απορίες.

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

ABSTRACT

Mobile phone is one of the achievements of modern technology in telecommunications that has become a kind of first choice of the consumers. There are multiple reasons, mainly for the simplicity and direct communication for professional, social and entertaining reasons as well. Historically the first implementation was achieved in the USA in 1970 in Bell's laboratories and it gradually expanded in other countries all over the world and at all social levels. This expansion is so rapid that it is estimated in many countries there is an equivalence of one mobile phone for every three citizens.

It is pointed out for several years from the scientists, who are relevant to the consequences of radiation which comes from the radio frequencies, the danger of unfavorable repercussions to those who are exposed to them. However because it is difficult to prove directly the results (for reasons that will be explained below) the issue remains open, with the Companies (mobile phones manufacturers and services) to support that the safety limits which have been defined are followed and the searchers to insist (in their majority) that there are varied results on mobile phone users.

In this diploma assignment we will try to present this issue as objectively as possible without being injustice to the offer of portable phones in the improvement of the quality in modern people lives but without ignoring the possible (and very often scouted) biological consequences that this type of radiation causes.

In the first chapter there is a Description of the problem and a historical retro gradation.

In chapter 2 some basic meanings and dimensions are determined, their units of measurement and electromagnetic fields are separated to physical and technological.

In chapter 3 there is a description of the utilities of electromagnetic radiation, it is mentioned that the biological action of electromagnetic waves and fields at the level of cells and tissues, the biological influence of the non-ion electromagnetic radiation causes the distinguish between thermal and non-thermal reactions and various methods of studying are described.

In chapter 4 the limits of danger based on thermal influences (IRPA's limits of danger of ANSI and European Union) the non thermal influences the safety limits of mobile phones whereas the measurements that took place to calculate the intensity of the field from the cell phone.

In chapters 5,6,7, and 8 there is a report on the electromagnetic deterioration from the distributional network and the use of the electricity from radar aerials, household devices and mobile phones (portable- mobile phones).

The ninth chapter is the one about the accounting dosimetria. The accounting dosimetria calculates the relation between the external non-disturbed electromagnetic field and the fields that are caused in the body. In this chapter the role of dosimetria is mentioned in relation to the cellular mobile communications. A computerized model of the human body and a theoretical approach on biological influences of electromagnetic waves and radio frequencies. The dose measurement sizes and limits of

safe exposure are mentioned and there is an estimation about the rhythm of special soaking by accounting, experimental and calories measurement techniques.

In chapter 10 which is the last one, common questions are answered.

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	6
1 Περιγραφή του προβλήματος - Ιστορική αναδρομή.....	9
2 Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και κύμα - Βασικές έννοιες και μεγέθη.....	11
2.1 Ορισμοί βασικών εννοιών και μεγεθών.....	11
2.2 Μονάδες μέτρησης.....	13
2.3 Φυσικά και τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία.....	13
3 Οι βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	15
3.1 Ιδιότητες της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	15
3.2 Βιολογική δράση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	17
3.3 Θερμικές και αθερμικές επιδράσεις.....	17
3.4 Μέθοδοι μελέτης.....	19
3.5 Οι βιολογικές επιδράσεις της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	22
3.6 Οι μηχανισμοί βιολογικών επιδράσεων.....	24
3.7 Βιολογική δράση κι επικινδυνότητα των Η/Μ πεδίων σε επίπεδο κυττάρων και ιστών.....	25
3.8 Συμπεράσματα.....	33
4 Όρια επικινδυνότητας της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	34
4.1 Τα όρια επικινδυνότητας με βάση τις θερμικές επιδράσεις.....	34
4.2 Όρια επικινδυνότητας με βάση και τις αθερμικές επιδράσεις.....	36
4.3 Όρια ασφαλείας κινητής τηλεφωνίας.....	36
4.4 Μετρήσεις έντασης πεδίου από κινητό τηλέφωνο.....	38
5 Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από το δίκτυο του ηλεκτρικού ρεύματος.....	39
5.1 Επιβάρυνση από καλώδια υψηλής τάσης.....	39
6 Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από κεραίες ραντάρ.....	41
6.1 Στρατιωτικά ραντάρ.....	41
6.2 Ραντάρ πολιτικών αεροδρομίων.....	41
7 Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από τις οικιακές συσκευές.....	43
7.1 Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από τις οικιακές ηλεκτρικές συσκευές.....	43
7.2 Ακτινοβολία τηλεοράσεων.....	44
7.3 Ακτινοβολία οθόνης υπολογιστών.....	44
8 Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από την κινητή τηλεφωνία.....	46
8.1 Ακτινοβολία κεραιών βάσης.....	47
8.2 Ακτινοβολία φορητών (κινητών) τηλεφώνων.....	47
9 Υπολογιστική Δοσιμετρία.....	50
9.1 Υπολογιστική μοντελοποίηση του ανθρώπινου σώματος.....	50
9.2 Θεωρητική προσέγγιση.....	50
9.3 Δοσιμετρικά μεγέθη και όρια ασφαλούς έκθεσης.....	54
9.4 Εκτίμηση ρυθμού ειδικής απορρόφησης.....	56
9.5 Ηλεκτρομαγνητική δοσιμετρία για κυτταρικές κινητές επικοινωνίες.....	58
9.6 Πειραματική προσέγγιση.....	62
10 Απαντήσεις σε συχνές απορίες.....	65
Παράρτημα.....	82
Βιβλιογραφία.....	88

Κεφάλαιο 1

1. Περιγραφή του προβλήματος - Ιστορική αναδρομή

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζεται το σύνολο των ακτινοβολιών που μεταφέρουν ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, δηλαδή τοπικών και χρονικών μεταβολών του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία καλύπτουν ένα αχανές φάσμα συχνοτήτων, το οποίο διαιρείται σε ζώνες, ανάλογα με τον τρόπο της παραγωγής ή της χρήσης τους. Αν και η περιοχή άνω των 300 GHz έχει μελετηθεί αρκετά (ακτίνες χ, ακτίνες γ), εντούτοις οι βιολογικές επιδράσεις των στατικών πεδίων και των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέχρι 300 GHz αγνοήθηκαν για πολλά χρόνια εντελώς, πράγμα ιδιαίτερα άσχημο νομίζουμε, αφού ο άνθρωπος δέχεται καθημερινά τέτοιου είδους ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή λέγεται μη ιονίζουσα, αφού δεν είναι ικανή να ιονίσει άτομα. Χαρακτηριστικές πηγές τέτοιας ακτινοβολίας είναι τα τηλεφωνικά καλώδια, τα σύρματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι πομποί ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σημάτων, οι πομποί ραντάρ, όλες οι ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού, οι φούρνοι μικροκυμάτων, οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές, οι ηλεκτρικές αντιστάσεις θέρμανσης, τα ηλεκτρονικά παιχνίδια, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οι ηλεκτρικές κουβέρτες κ.α.

Την πεποίθηση ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει βιολογικές επιδράσεις στον άνθρωπο τη συναντάμε στην προσπάθεια του Ιπποκράτη να θεραπεύσει όγκους στο στήθος με έκθεση του ασθενούς στην Η/Μ ακτινοβολία (ηλιοθεραπεία). Το 18^ο αιώνα ξεκινά μια συστηματική προσπάθεια θεραπείας όγκων, ανευρυσμάτων και αιμορραγιών διοχετεύοντας ηλεκτρικό ρεύμα στους προσβεβλημένους ιστούς, ενώ το 19^ο αιώνα οι προσπάθειες αυτές επεκτείνονται και είναι γνωστές οι θεραπείες του d' Arsonval, ο οποίος ξεπερνώντας το στάδιο της άμεσης ηλεκτρικής επαφής σε ιστούς, πρωτοπόρησε προχωρώντας σε πειράματα αντεπαγωγής τοποθετώντας τους ασθενείς στα περιβόητα πηνία ή κρεβάτιά του, που σώζονται στο μουσείο Welcome του Λονδίνου. Μεταξύ των ετών 1894-95, ο d' Arsonval πραγματοποίησε 2.500 τέτοιες θεραπείες των 20 λεπτών, με ρεύματα μέχρι και 450mA.

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

Όταν ανακαλύφθηκε το ραντάρ την εποχή του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, το οποίο λειτουργεί στη μικροκυματική περιοχή συχνοτήτων (GHz) και εκπέμπει ισχυρές κατευθυντικές δέσμες, δημιουργήθηκαν οι πρώτες ανησυχίες για πιθανές ανεπιθύμητες επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στον άνθρωπο. Μετά το τέλος του πολέμου άρχισαν τα πρώτα πειράματα σε κουνέλια, που όταν δέχθηκαν στα μάτια δέσμη μικροκυμάτων πυκνότητας ισχύος 3000 mW/cm². Αρχές του 1950 τα

100 mW/cm² θεωρούνται γενικά καταστροφικά και προτείνεται ως όριο ασφαλείας τα 0,1 mW/cm². Όμως, το 1955 θεσπίζονται στις ΗΠΑ ως όριο ασφαλείας τα 10mW/cm², όριο που ασπάζονται 14 χώρες, μεταξύ των οποίων όλα τα μέλη του NATO. Το 1960 έγινε γνωστό στις ΗΠΑ ότι το όριο ασφαλείας των Σοβιετικών ήταν 10 μW/cm² δηλ. 1000 φορές μικρότερο από το Δυτικό όριο! Ο λόγος ίσως να είναι ότι οι Σοβιετικοί μελετούσαν συστηματικά τις βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ήδη από τη δεκαετία του 1930! Παράλληλα στις Η.Π.Α πληθαίνουν κάποιες μελέτες που συσχετίζουν την εμφάνιση ασθενειών με την έκθεση σε Η/Μ πεδία χαμηλών συχνοτήτων.

Σήμερα, οι εργασίες με αυτό το θέμα βρίσκονται στην αιχμή της επιστημονικής έρευνας. Αυτό γιατί από τη μία μεριά η ραγδαία πρόοδος της τεχνολογίας οδηγεί σε μεγαλύτερη χρήση τέτοιων πηγών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και από την άλλη οι κοινωνίες των ενημερωμένων πολιτών επιτάσσουν την ορθολογική χρήση των επιστημονικών επιτευγμάτων.

Ο τεράστιος όγκος εργασιών που υπάρχει ήδη πάνω σ'αυτό το θέμα επιτρέπει την εξαγωγή των πρώτων συμπερασμάτων. Ωστόσο, θα χρειαστούν δεκαετίες ακόμα εντατικής έρευνας ώστε να αποκτηθεί επαρκής γνώση των συνεπειών της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας, ανάλογη με εκείνη της ιονίζουσας.

Κεφάλαιο 2

2. Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και κύμα - Βασικές έννοιες και μεγέθη

2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΩΝ

Ηλεκτρικό πεδίο: Ονομάζουμε τον χώρο μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά φορτία.

Μαγνητικό πεδίο: Είναι χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά ρεύματα.

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E): Είναι το διανυσματικό μέγεθος που αντιστοιχεί στη δύναμη που ασκείται σε ένα φορτισμένο σωματίδιο, ανεξάρτητα από την κίνησή του στο χώρο. Εκφράζεται σε βολτ ανά μέτρο (V/m). (εκφράζει πόσο ισχυρό είναι το ηλεκτρικό πεδίο σε ένα συγκεκριμένο σημείο του).

Ένταση μαγνητικού πεδίου (H): Είναι ένα διανυσματικό μέγεθος (H), το οποίο, σε συνδυασμό με την πυκνότητα μαγνητικής ροής, ορίζει ένα μαγνητικό πεδίο σε κάθε σημείο του χώρου. Εκφράζεται σε αμπέρ ανά μέτρο (A/m).

Τα πεδία αυτά, ανάλογα με τις εντάσεις τους E ή H, χαρακτηρίζονται σαν στατικά (όταν οι εντάσεις τους είναι χρονικά σταθερές), μεταβαλλόμενα και εναλλασσόμενα (όταν οι εντάσεις αλλάζουν μέτρο και φορά -ή αλλιώς πολικότητα- σε σχέση με τον χρόνο).

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

Πυκνότητα ροής ισχύος (S): Πρόκειται για την ισχύ ακτινοβολίας που προσπίπτει κάθετα προς μια επιφάνεια, διαιρούμενη δια το εμβαδόν της επιφάνειας, εκφράζεται δε σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο (W/m²). Για επίπεδα κύματα, η πυκνότητα ροής ισχύος S, η ενεργός τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και η ενεργός τιμή της έντασης του μαγνητικού πεδίου H συνδέονται με την εμπέδηση του ελεύθερου χώρου (377Ω) με την ακόλουθη σχέση: $S = E^2 / 377 = 377 H^2$.

Πυκνότητα ρεύματος (J): Ορίζεται ως το ρεύμα που διέρχεται από μοναδιαία διατομή τρισεδιάστατου αγωγού, όπως το ανθρώπινο σώμα, κάθετα από τη διεύθυνσή του και εκφράζεται σε αμπέρ ανά τετραγωνικό μέτρο (A/m²)

Τα ηλεκτρικά φορτία όταν ταλαντώνονται παράγουν **ηλεκτρομαγνητικά κύματα**, τα οποία είναι τοπικές και χρονικές μεταβολές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Τα παραγόμενα από τις συνήθεις ηλεκτρονικές διατάξεις ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι *αρμονικά*, διαδίδονται δηλαδή κατά επίπεδα μέτωπα, πράγμα που σημαίνει ότι οι εντάσεις E και H μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά ακολουθώντας τον νόμο του ημίτονου. Στα επίπεδα κύματα, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους και παίρνουν συγχρόνως την μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή τους (*συμφασικά*). Η απόσταση μέσα στην οποία τα E και H συμπληρώνουν μια πλήρη εναλλαγή λέγεται **μήκος κύματος (λ)**, ενώ ο αριθμός των πλήρων εναλλαγών στην μονάδα του χρόνου (1s) ονομάζεται **συχνότητα (ν)**,

του κύματος. Η σχέση $v = \lambda \cdot \nu$ είναι η συνδετική σχέση μεταξύ των λ και ν , όπου v είναι η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος και είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός, δηλαδή $v = 300.000 \text{ km/s}$. Η συχνότητα παίζει μεγάλο ρόλο στις μετρήσεις της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σε συχνότητες 0-500 Hz, τα E και H είναι ασύνδετα. Έτσι, είμαστε αναγκασμένοι σε τόσο χαμηλές συχνότητες να μετράμε την ένταση και των δυο πεδίων. Σε συχνότητες όμως πάνω από 3 MHz (υψηλές συχνότητες), τα E και H συνδέονται με απλές σχέσεις μεταξύ τους, όπως και με την **πυκνότητα ισχύος S** (δηλαδή την ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας). Έτσι, στις υψηλές συχνότητες αρκεί η μέτρηση ενός μόνο εκ των δυο για τον προσδιορισμό και του άλλου όπως επίσης για την πυκνότητα ισχύος.

Έκθεση: Προκύπτει όπου ένα άτομο υπόκειται σε ηλεκτρικά, μαγνητικά ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία ή ρεύματα επαφής διαφορετικά από αυτά που προέρχονται από φυσιολογικές διαδικασίες του σώματος και άλλα φυσικά φαινόμενα.

Πρότυπο Έκθεσης: Κανονισμοί, συστάσεις ή ένα πρότυπο που ασχολείται με όρια επιτρεπόμενης έκθεσης, που εκδόθηκε από μία υπεύθυνη Αρχή.

Μη ιονίζουσα ακτινοβολία: Οποιαδήποτε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που είναι ανίκανη να αποσπάσει ηλεκτρόνια από άτομα ή μόρια για να παράγει άμεσα ή έμμεσα ιόντα ή ιονισμένα μόρια.

Περιοχή μακρινού πεδίου: Ονομάζεται εκείνη η περιοχή του πεδίου μιας κεραίας όπου η γωνιακή πεδιακή κατανομή είναι ουσιαστικά ανεξάρτητη από την απόσταση από την κεραία. Σ' αυτήν την περιοχή, το πεδίο έχει επικρατέστερο χαρακτήρα επίπεδου κύματος, δηλαδή με ομοιόμορφες τοπικές κατανομές έντασης ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε επίπεδα εγκάρσια της διεύθυνσης της διάδοσης.

Περιοχή κοντινού πεδίου: Η περιοχή αυτή είναι γενικά κοντά σε μία κεραία, ή σε άλλη ακτινοβολούσα κατασκευή, όπου η γωνιακή πεδιακή κατανομή εξαρτάται από την απόσταση από την κεραία. Σ' αυτήν την περιοχή, τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία δεν έχουν χαρακτήρα επίπεδου κύματος. Η περιοχή κοντινού πεδίου διαιρείται περαιτέρω στην περιοχή αντιδραστικού κοντινού πεδίου, η οποία είναι κοντύτερα στην ακτινοβολούσα κατασκευή και η οποία περιέχει την περισσότερη ή σχεδόν όλη την αποθηκευμένη ενέργεια, και στην περιοχή ακτινοβολούμενου κοντινού πεδίου όπου το πεδίο ακτινοβολίας υπερισχύει του αντιδραστικού πεδίου, αλλά δεν έχει χαρακτήρα πραγματικού επιπέδου κύματος και είναι πολύπλοκο σε δομή.

Ειδική απορρόφηση ενέργειας (SA): Ορίζεται ως η ενέργεια που απορροφάται ανά μονάδα μάζας βιολογικού ιστού και εκφράζεται σε τζάουλ ανά χιλιόγραμμα (J/Kg).

Ρυθμός ειδικής απορρόφησης (ενέργειας) (SAR): Ο SAR είναι η ισχύς που απορροφάται ανά χιλιόγραμμα μάζας (W/Kg). Για έκθεση όλου του σώματος, ο SAR μπορεί να είναι μεσοτιμημένος σε εντοπισμένες περιοχές του σώματος, π.χ. το κεφάλι ή τα άκρα. Τα βασικά όρια για την έκθεση εκφράζονται συνήθως σε όρους SAR.

Συντελεστής έκθεσης πολλαπλών πηγών (Σ.Ε.Π.Π.-SI): Χρησιμοποιείται στην περίπτωση που εξετάζεται η έκθεση σε πολλές διαφορετικές ηλεκτρομαγνητικές πηγές των οποίων οι συχνότητες είναι μεγαλύτερες από 1MHz. Ο Σ.Ε.Π.Π. ορίζεται ως το άθροισμα των λόγων της μετρούμενης πυκνότητας

ροής ισχύος σε κάθε συχνότητα, προς την τιμή του επιπέδου αναφοράς για τη συχνότητα αυτή. Σ.Ε.Π.Π. μικρότερος της μονάδας δηλώνει συμμόρφωση με τις οδηγίες έκθεσης.

Συντελεστής έκθεσης μεμονωμένης πηγής (Σ.Ε.Μ.Π.): Ο Σ.Ε.Μ.Π. ορίζεται ως ο λόγος της μετρούμενης πυκνότητας ροής ισχύος σε μία συχνότητα, προς την τιμή του επιπέδου αναφοράς για τη συχνότητα αυτή. Σ.Ε.Μ.Π. μικρότερος της μονάδας δηλώνει συμμόρφωση με τις οδηγίες έκθεσης σε αυτήν την συχνότητα.

2.2 ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

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

ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου	E	Volts/meter (V/m)
Ένταση Μαγνητικού Πεδίου	H	Tesla (T) ή Gauss (G) *
Μήκος κύματος	λ	Meter (m)
Συχνότητα	ν ή f	Hertz (Hz)
Ισχύς	N	Watt (W)
Πυκνότητα ισχύος	S ή P	Watt/(meter) ² (W/m ²)
Χρόνος	t	Second (s)

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

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

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

2.3 ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι πεδία τα οποία προέρχονται από την ίδια την φύση και τα

οποία δεν μπορούν να αποφευχθούν από τους ζωντανούς οργανισμούς. Η φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται σε **στατική ή μη στατική**. Για παράδειγμα, μεταξύ της ιονόσφαιρας και της γης υπάρχει φυσικό ηλεκτρικό στατικό πεδίο το οποίο κυμαίνεται, σε συνθήκες καλοκαιρίας, από 0,1 KV/m έως 0,5 KV/m, ενώ σε συνθήκες καταιγίδας το ίδιο πεδίο παίρνει τιμές από 3 KV/m - 20 KV/m. Αντίστοιχα, το γήινο μαγνητικό πεδίο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και κυμαίνεται από 0,31 έως 0,62 Gauss. Κατά τις εκλάμψεις του ήλιου το μαγνητικό πεδίο της γης μπορεί να μεταβληθεί ως και 0.03 Gauss, οπότε έχουμε τις λεγόμενες **μαγνητικές καταιγίδες**.

Εκτός από τα στατικά της πεδία, η γη δέχεται και την επίδραση ηλιακών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ο ήλιος κατά την διάρκεια των εκλάμψεών του (εντεκάχρονης περιοδικότητας) εκπέμπει ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων, το οποίο περιλαμβάνει τα ραδιοκύματα, το ορατό φως, το υπεριώδες και φτάνει μέχρι και την περιοχή των ακτινών Roentgen. Από πολύ παλιά, υπήρχε η υπόνοια ότι η φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επηρεάζει την ψυχική διάθεση των ανθρώπων αλλά και την εξέλιξη ασθενειών. Την παραπάνω υπόνοια έρχεται τώρα να την επιβεβαιώσει η ίδια η επιστήμη με την έρευνα της πάνω στις βιολογικές επιδράσεις κατά την περίοδο ηλιακών εκρήξεων. Έτσι, σε μια περίοδο ενός περίπου αιώνα, μελετήθηκαν τα κρούσματα περιοδικού ή κυματοειδούς πυρετού στο Ευρωπαϊκό τμήμα της Σ.Ενωσης, και τα κρούσματα μηνιγγίτιδας στη Ν.Υόρκη. Από την μελέτη προέκυψε ότι ο αριθμός των κρουσμάτων μεγιστοποιείται στο μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας (11ετούς περιοδικότητας), με μεγαλύτερη έξαρση το 1910, όπου η ηλιακή δραστηριότητα παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα για αρκετό καιρό.

Τα ατμοσφαιρικά ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί στην ίδια περιοχή συχνοτήτων εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα και ο ίδιος μας ο εγκέφαλος. Μια βασική φασματική ανάλυση του ανθρώπινου εγκεφαλογραφήματος αναδεικνύει περιοχές συχνοτήτων των οποίων οι τιμές είναι κοντινές στις τιμές συχνοτήτων των ατμοσφαιρικών ηλεκτρομαγνητικών συμβάντων. Έτσι δικαιολογείται η ευαισθησία του εγκεφάλου στα συμβάντα αυτά. Αυτό έχει αποδειχθεί από πειράματα μέτρησης της επίδρασης των ατμοσφαιρικών ηλεκτρομαγνητικών συμβάντων στον χρόνο αντίδρασης οδηγών αυτοκινήτων στα φωτεινά σήματα της τροχαίας.

Ο άνθρωπος, πέρα από την επιβάρυνση που δέχεται από τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία, έχει να αντιμετωπίσει και τα τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία έχει δημιουργήσει ο ίδιος. Αυτά τα πεδία καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων. Το κυριότερο από τα τεχνητά πεδία που μας περιβάλλει είναι αυτό του δικτύου της Δ.Ε.Η. το οποίο είναι 50 Hz. Πέρα όμως από το πεδίο των 50 Hz, στο οικιακό περιβάλλον έχουν προστεθεί πεδία υψηλότερων συχνοτήτων της τάξης των MHz από τους υπολογιστές και τους φούρνους μικροκυμάτων. Άλλα πεδία στα οποία εκτιθέμεθα στην καθημερινή μας ζωή είναι αυτά των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών (300 KHz – 500 MHz), των σταθμών κινητής τηλεφωνίας (900 MHz), και των σταθμών ραντάρ και δορυφορικών επικοινωνιών (της τάξεως των GHz).

Στην εργασία αυτή θα μελετηθούν οι βιολογικές επιδράσεις αυτών των τεχνητών Η/Μ πεδίων στον ανθρώπινο οργανισμό.

Κεφάλαιο 3

3. Οι βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η έκθεση σε Η/Μ πεδία και ακτινοβολία έχει αυξηθεί ραγδαία τον τελευταίο αιώνα λόγω της τεχνολογικής και βιομηχανικής εξέλιξης. Αυτό μπορεί να το διαπιστώσει κανείς παρατηρώντας την εισβολή της τεχνολογίας στην καθημερινότητα, στην εργασία καθώς και στον τρόπο διασκέδασης του σύγχρονου ανθρώπου.

Παρόλο που οι τεχνολογικές εφαρμογές της Η/Μ ακτινοβολίας προσφέρουν αδιαμφισβήτητα πολλά πλεονεκτήματα και διευκολύνουν την καθημερινότητά μας, ωστόσο θεωρείται ότι η συνεχής και παρατεταμένη έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία προκαλεί βλάβες στους έμβιους οργανισμούς. Συγκεκριμένα, η εξέλιξη και η ευρεία χρήση της κινητής τηλεφωνίας, την τελευταία δεκαετία, έχει θορυβήσει την κοινή γνώμη όσον αφορά στην πρόκληση πονοκεφάλων, στην απώλεια μνήμης αλλά και στην δημιουργία εγκεφαλικών όγκων. Τα περισσότερα πειράματα για να διαπιστωθεί η επικινδυνότητα της Η/Μ ακτινοβολίας πραγματοποιούνται σε πειραματόζωα και λιγότερα σε εθελοντές. Ωστόσο τα αποτελέσματα και οι απόψεις των επιστημόνων διχάζονται.

3.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από παλλόμενα ηλεκτρικά φορτία των ατόμων της ύλης, περιλαμβάνει συχνότητες μεγαλύτερες από 300 GHz, (που είναι το κάτω όριο της υπέρυθρης ακτινοβολίας, και δεν έχει κάποιο χαρακτηριστικό επίπεδο πόλωσης. Εκπέμπεται ασυνεχώς, με τη μορφή ασυνεχών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - κυματοπακέτων που ονομάζονται φωτόνια. Η ενέργεια κάθε φωτονίου είναι ανάλογη της συχνότητάς του. Τα φωτόνια όλων των συχνοτήτων μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός.

Η τεχνητή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που παράγεται από παλλόμενα ηλεκτρικά δίπολα (κεραίες) ή κυκλώματα με μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία εν γένει, έχει συχνότητες μικρότερες από 300 GHz, μπορεί να εκπέμπεται συνεχώς και είναι πολωμένη. Και στην περίπτωση αυτή έχουμε ηλεκτρομαγνητικά κύματα που μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός.

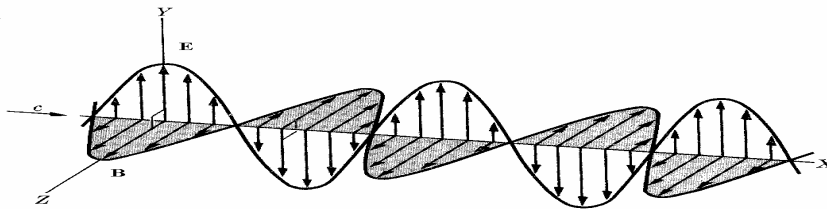
Κάθε χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί ένα αντίστοιχο παλλόμενο μαγνητικό πεδίο και αντίστροφα. Τα παλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία μεταδίδονται στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός (Σχήμα 3.1). Ο Hertz, με τα πειράματά του το 1888, προσδιόρισε το μέτρο της ταχύτητας αυτής, (c), που για το κενό ή τον αέρα, είναι περίπου 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο.

Στις χαμηλές συχνότητες, που ο ρυθμός μεταβολής των πεδίων είναι μικρός, τα δύο πεδία θεωρούνται ασύζευκτα και οι εντάσεις τους μετρώνται ξεχωριστά. Για συχνότητες άνω των 100 MHz, τα δύο πεδία συνιστούν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, οπότε μετράμε ένταση κύματος, (σε πυκνότητα

ισχύος ανά επιφάνεια κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης, π.χ. σε mW/cm^2).

Στο ηλεκτρομαγνητικό κύμα το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους και ταυτόχρονα κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, σε κάθε χρονική στιγμή. Τέλος, τα δύο πεδία βρίσκονται σε φάση κάθε χρονική στιγμή, παίρνουν δηλαδή ταυτόχρονα τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους (βλέπε σχήμα 3.1).

Η πιο απλή μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος, είναι το επίπεδο αρμονικό ηλεκτρομαγνητικό κύμα, η μορφή του οποίου φαίνεται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Αρμονικό, Επίπεδο Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα, μεταδιδόμενο κατά την κατεύθυνση του άξονα x, με ταχύτητα c. Τα μαγνητικό πεδίο διαδίδεται κάθετα ως προς το ηλεκτρικό πεδίο.

Το πεδίο μιας GSM κεραίας, (σταθμού βάσης ή κινητού τηλεφώνου), είναι παλμικό, (ασυνεχές), με παλμούς, (“Frames”), διάρκειας 4.615 msec, που είναι χωρισμένοι σε 8 διαστήματα, (“Time slots”), διάρκειας 0.577 msec το καθένα. Κάθε χρήστης καταλαμβάνει ένα τέτοιο διάστημα. Το σύστημα επικοινωνίας με το συγκεκριμένο παλμικό πεδίο, ονομάζεται TDMA (Time Division Multiple Access).

Οι κεραίες βάσης εκπέμπουν φέροντα συχνότητα 935-960 MHz (στην περίπτωση της PANAFON και της TELESTET). Το φέρον κύμα μέσα στους παλμούς είναι διαμορφωμένο κατά συχνότητα και συγκεκριμένα, ο χρησιμοποιούμενος τρόπος διαμόρφωσης συχνότητας ονομάζεται Gaussian Minimum Shift Keying Modulation (GMSK). Η διεύθυνση εκπομπής είναι οριζόντια, η πόλωση σε κατακόρυφο επίπεδο και η μέγιστη ισχύς των κεραιών βάσης είναι συνήθως 50W (με δυνατότητα μέχρι 500W).

Τα κινητά τηλέφωνα εκπέμπουν φέροντα συχνότητα 890-915 MHz (στην περίπτωση της PANAFON και της TELESTET), με διαμόρφωση 0.3 GMSK και μέγιστη ισχύ εκπομπής 2 Watt.

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

λειτουργεί ως πομπός ραδιοσυχνοτήτων φέροντας σε διαμόρφωση τη φωνή του χρήστη όταν φυσικά αυτός μιλάει. Παράλληλα όμως το κινητό τηλέφωνο λειτουργεί και ως δέκτης ραδιοσυχνοτήτων, ώστε να μπορεί να λαμβάνει την εκπομπή ραδιοσυχνοτήτων του πομπού βάσης (η κεραία ενός πομπού βάσης βρίσκεται συνήθως στην οροφή υψηλών κτιρίων, πολλές φορές και μέσα σε κατοικημένες περιοχές ώστε να ικανοποιηθεί η αναγκαιότητα της κυψελοειδούς κάλυψης).

3.2 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

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

Όπως κάθε μορφή ενέργειας έτσι και η ενέργεια που μεταφέρεται από τα ραδιοκύματα είναι δυνατόν να επιδρά σε βιολογικά συστήματα, το τελικό δε αποτέλεσμα μπορεί να είναι επιβλαβές σε διάφορο βαθμό ή μπορεί ακόμη να είναι και ευεργετικό. Αυτό εξαρτάται από τις συνθήκες έκθεσης (συχνότητα, πυκνότητα ισχύος, είδος κυματομορφής, διάρκεια έκθεσης κλπ) καθώς επίσης και από ορισμένους βιολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η δράση των Η/Μ κυμάτων με το ανθρώπινο σώμα ή με βιολογικά συστήματα συντελείται μέσω κάποιων φυσικών μηχανισμών που ανάλογα με την συχνότητα των κυμάτων είναι δυνατόν να προκαλέσουν διέγερση κυττάρων του νευρικού και μυϊκού ιστού ή να προκαλέσουν θέρμανση του σώματος ή των οργάνων. Οι παραπάνω μηχανισμοί έχουν σχέση με την επαγωγή ηλεκτρικών ρευμάτων στο σώμα του ατόμου που είναι εκτεθειμένο σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και με την απορρόφηση ενέργειας γενικότερα.

3.3 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

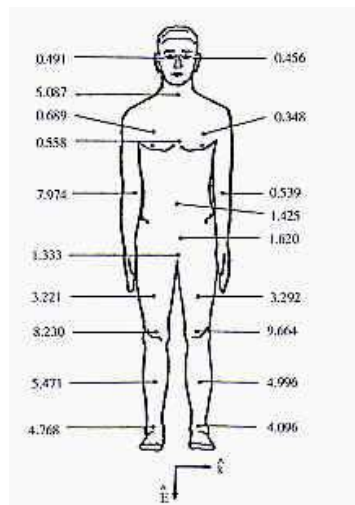
Θερμικές επιδράσεις

Θερμικές ονομάζονται εκείνες οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία. Οι βλάβες στον οργανισμό προξενούνται από τη θέρμανση των ακτινοβολουμένων ιστών και από την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διαφόρων ιστών στην αντιμετώπιση της ακτινοβολίας. Παρατηρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται από πυκνότητες ισχύος άνω του 1 mW/cm^2 . Οι θερμικές επιδράσεις είναι αυτές που -κατά κύριο λόγο- αποτελούν το αντικείμενο μελέτης στις δυτικές χώρες.

Όπως έχει προαναφερθεί, το μέγεθος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε ένα σημείο ή σε μια περιοχή είναι η πυκνότητα ισχύος η οποία εκφράζεται συνήθως σε mW/cm^2 . Η πυκνότητα ισχύος όμως, μας πληροφορεί έμμεσα μόνο για την

ποσότητα ενέργειας που θα απορροφήσει το σώμα μας, όταν βρεθεί στο ακτινοβολούμενο σημείο. Ουσιαστικά είναι ένα μέτρο των συνθηκών που επικρατούν σε ένα σημείο, πριν βρεθούμε σ' αυτό. Το σώμα μας, όμως, θα απορροφήσει ένα μέρος μόνο της ενέργειας αυτής και μάλιστα όχι απαραίτητα ομοιόμορφα.

Η μέση τιμή ενεργείας που απορροφάται από ολόκληρο το σώμα εκφράζεται από το δοσομετρικό όρο Specific Absorption Rate (SAR) και σημαίνει την ισχύ που απορροφάται ανά μονάδα βάρους του σώματος (W/Kg). Ο SAR είναι ένα μέγεθος που εκτός από τη συχνότητα της ακτινοβολίας και την αγωγιμότητα των ιστών εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως η “ένταση” του πεδίου, ο προσανατολισμός του ατόμου σε σχέση με την κατεύθυνση του κύματος, το μέγεθος του σώματος κ.α. (συνθήκες έκθεσης).



Λόγω της παρουσίας νερού και ιόντων, οι ιστοί απορροφούν ενέργεια. Όπως όλοι γνωρίζουμε, το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από 70% νερό. Το μόριο του νερού (H_2O) αποτελεί ένα ηλεκτρικό δίπολο με θετικό φορτίο μεταξύ των δύο ατόμων υδρογόνου και με αρνητικό στην άλλη άκρη του όπου βρίσκεται το άτομο του οξυγόνου. Έτσι λοιπόν όταν το σώμα μας βρεθεί μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο τα μόρια του νερού, που είναι δίπολα, θα αρχίσουν να περιστρέφονται ή να πάλλονται στο ρυθμό συχνότητας του κύματος. Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα παλμού και όσο η διάρκεια του φαινομένου είναι μεγαλύτερη τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας θα παραχθούν. Ο οργανισμός του ανθρώπου διαθέτει θερμορυθμιστικούς μηχανισμούς που κρατούν τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή μεταξύ 36 και 37 βαθμών Κελσίου. Όταν τα παραγόμενα ποσά θερμότητας είναι σχετικά μικρά, οι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί μπορούν να απάγουν αυτήν τη θερμότητα και να κρατούν σταθερή τη θερμοκρασία στους 36-37⁰C. Αντίθετα, όταν τα ποσά θερμότητας υπερβούν κάποια τιμή, τότε οι μηχανισμοί αυτοί δεν μπορούν να λειτουργήσουν σωστά κάτι που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας σε ιστούς ή όργανα του σώματος άνω των 37 βαθμών. Επίσης είναι ευνόητο ότι αυτοί οι μηχανισμοί θα ανταποκριθούν αποτελεσματικότερα υπό ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες (όχι πολύ υψηλή θερμοκρασία και υγρασία, ελαφρά ενδυμασία κλπ.). Κάτω από τέτοιες συνθήκες ένα υγιές άτομο εκτεθειμένο σε Η/Μ ακτινοβολία είναι σε θέση να αντιμετωπίσει απορροφημένη ισχύ (SAR) μέχρι 4 W/Kg (κατά μέσο όρο σ' όλο το σώμα) χωρίς να σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας του πάνω από ένα βαθμό.

Ενδεικτικά μόνο αναφέρεται ότι η τιμή $SAR = 4 \text{ W/Kg}$ μπορεί να προκύψει, υπό ορισμένες συνθήκες έκθεσης, από ένα πεδίο που έχει πυκνότητα ισχύος περίπου 10 mW/cm^2 . Η απορρόφηση όμως, της Η/Μ ακτινοβολίας δε γίνεται ομοιόμορφα. Έτσι οι τιμές SAR μπορεί να έχουν μεγαλύτερη τιμή σε κάποιες περιοχές από ό,τι στο υπόλοιπο σώμα. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας τοπικά, συγκριτικά με άλλες περιοχές του σώματος, είναι ανάλογη με την ικανότητα ανταλλαγής θερμότητας.

Αθερμικές επιδράσεις

Οι αθερμικές επιδράσεις προκαλούνται από μικρές πυκνότητες ισχύος (της τάξης των λίγων $\mu\text{W/cm}^2$), ώστε να μην παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών. Η δράση των Η/Μ κυμάτων με το ανθρώπινο σώμα μπορεί να προκαλέσει τη διέγερση κυττάρων του μυϊκού και νευρικού ιστού, που ανταποκρίνονται σε ηλεκτρικά ερεθίσματα. Αυτά προέρχονται από τα επαγόμενα στο σώμα ηλεκτρικά ρεύματα.

Οι επιδράσεις που χαρακτηρίζονται ως αθερμικές συμβαίνουν συνήθως για συχνότητες πεδίων κάτω των 10 MHz. Αθερμικές επιδράσεις μπορεί να έχουμε και σε υψηλότερες συχνότητες, εφόσον οι τιμές SAR είναι μικρότερες από τα όρια. Για να φτάσουμε στο κατώφλι διεγέρσεως των κυττάρων, απαιτούνται πολύ ισχυρά πεδία. Έχουν παρατηρηθεί όμως, ορισμένα πειραματικά αποτελέσματα, που προκύπτουν χωρίς την ύπαρξη σημαντικών αλλαγών στη θερμοκρασία και για τις τιμές πεδίων κάτω από το κατώφλι διεγέρσεως. Τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να αποδοθούν σε μη θερμικούς μηχανισμούς σε μοριακό επίπεδο. Σύμφωνα με τις μέχρι σήμερα επιστημονικές γνώσεις δεν είναι σαφής ο τρόπος με τον οποίο οι αθερμικές επιδράσεις αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Παρόλα αυτά όμως, έχει προταθεί και από την Ευρωπαϊκή Ένωση ότι πρέπει να γίνει έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή, διότι μόνο με βάση τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την έρευνα αυτή μπορεί να θεσπιστούν όρια ασφαλείας για τις αθερμικές επιδράσεις.

3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ

Επιδημιολογικές έρευνες

Με την μέθοδο αυτή ερευνάται το ιατρικό ιστορικό ενός δείγματος πληθυσμού (συνήθως χιλιάδων κατοίκων) που κατοικεί σε χώρους βεβαρημένους ηλεκτρομαγνητικά (κοντά σε πυλώνες υψηλής τάσης δικτύων διανομής ρεύματος, εγκαταστάσεις κεραιών, κλπ.) και η συχνότητα των ασθενειών του δείγματος αυτού συγκρίνεται με εκείνη ενός άλλου ανάλογου δείγματος πληθυσμού που κατοικεί σε χώρους ηλεκτρομαγνητικά καθαρούς. Υπάρχουν εκατοντάδες επιδημιολογικές μελέτες παγκοσμίως των οποίων τα ευρήματα συσχετίζουν την Η/Μ ακτινοβολία με περιπτώσεις καρκίνων σε παιδιά, αποβολών σε εγκύους, λευχαιμιών κ.ά. ασθενειών σε εργαζόμενους σε επιβαρυσμένους ηλεκτρομαγνητικά χώρους. Οι επιδημιολογικές έρευνες παρουσιάζουν κάποια σοβαρά μειονεκτήματα, καθώς:

- Είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιοριστεί επακριβώς η ακτινοβολία που δέχτηκε το δείγμα, ιδίως για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

- Είναι πολύπλοκο να εξαιρεθούν άλλοι επιβαρυντικοί παράγοντες που προκαλούν την εκδήλωση ίδιων ασθενειών (π.χ. κάπνισμα, κληρονομικότητα).

Οι επιστήμονες για να υπερβούν αυτές τις δυσκολίες δέχονται τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών ερευνών όταν εμφανίζουν μεγάλο παράγοντα κινδύνου (άνω του 10) στο επιβαρυνμένο δείγμα έναντι του "καθαρού". Προς το παρόν οι επιδημιολογικές έρευνες αναδεικνύουν μια σοβαρή ένδειξη περί επικινδυνότητας της Η/Μ ακτινοβολίας αλλά δεν αποτελούν απόδειξη.

Μελέτες με πειραματόζωα

Κατά τις μελέτες αυτές πειραματόζωα, όπως κουνέλια, ποντικοί, γάτες, κλπ. εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία και τα αποτελέσματα της ακτινοβόλησης ανιχνεύονται με κλινικές εξετάσεις ή νεκροτομή και ιστολογική εξέταση στο εργαστήριο, σε σύγκριση πάντα με μη εκτιθέμενα πειραματόζωα.

Πειράματα σε έντομα: Επίδραση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από GSM κινητά τηλέφωνα στην αναπαραγωγική ικανότητα του εντόμου *Drosophila Melanogaster*

Στο Εργαστήριο του Τομέα Βιολογίας Κυττάρου και Βιοφυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών πραγματοποιήθηκαν πειράματα ακτινοβόλησης εντόμων *Drosophila melanogaster* σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ενός κινητού τηλεφώνου GSM συχνότητας 890-915 MHz. Η ένταση του πεδίου (πυκνότητα ισχύος) ήταν παρόμοια με αυτή που υφίσταται ο χρήστης, και συγκεκριμένα στην περιοχή της κεφαλής που γειτνιάζει με την κεραία (βλέπε σχήμα 4). Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων υποδεικνύουν ότι η επίδραση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου έχει ως συνέπεια τη σημαντική μείωση της αναπαραγωγικής ικανότητας του εντόμου. Αναλυτικότερα, η πειραματική διαδικασία είχε ως εξής:

Χρησιμοποιήθηκαν «νεογέννητα» έντομα (δηλαδή αμέσως μετά το στάδιο της μεταμόρφωσης από νύμφη σε τέλειο έντομο) τα οποία διαχωρίστηκαν σε αρσενικά και θηλυκά και παρέμειναν σε ξεχωριστά, για κάθε φύλο, δοχεία (σωλήνες) καλλιέργειας για δύο 24ωρα. Ο χρόνος αυτός απαιτείται για την αναπαραγωγική τους ωρίμανση. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε δοχεία καλλιέργειας 10 θηλυκά και 10 αρσενικά έντομα και αφέθηκαν για ζευγάρωμα και εναπόθεση αυγών στο θρεπτικό υλικό, για τα τρία επόμενα 24ωρα. Ο χρόνος αυτός συμπίπτει με την περίοδο της μέγιστης ωοτοκίας του εντόμου.



Σχήμα 3.2. Η διάταξη της ακτινοβόλησης ενός δοχείου καλλιέργειας εντόμων *Drosophila*: Αριστερά από το δοχείο διακρίνεται η κεραία του κινητού τηλεφώνου.

Γενικά, τα πειράματα ακτινοβόλησης πραγματοποιήθηκαν με έκθεση καθενός από μια ομάδα δοχείων καλλιέργειας στο πεδίο ενός κινητού τηλεφώνου, επί 6 min σε μία δόση ανά 24ωρο και για τα

πέντε συνολικά 24ωρα που αναφέρθηκαν πιο πάνω (η διάρκεια των 6 min ημερήσιας έκθεσης επιλέχθηκε ώστε το χρονικό αυτό διάστημα να συμπίπτει με εκείνο στο οποίο αναφέρονται τα όρια ασφαλείας που έχουν θεσπισθεί. Κατά την ακτινοβολήση, η κεραία του κινητού τηλεφώνου ερχόταν σε επαφή (εξωτερικά) με το σωλήνα καλλιέργειας (Σχήμα 3.2).

Σε κάθε πείραμα, ένας αριθμός δοχείων καλλιέργειας κάτω από τις ίδιες συνθήκες δεν υφίστατο την επίδραση του πεδίου και αποτελούσε την εκάστοτε ομάδα αναφοράς (control ή «μάρτυρας»).

Πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές πειραμάτων. Στην πρώτη, το κινητό τηλέφωνο βρισκόταν σε κατάσταση «διαμορφωμένης εκπομπής» (ομιλία από το χρήστη), στη δεύτερη, σε κατάσταση «μη διαμορφωμένης εκπομπής» (ακρόαση), και τέλος, στην τρίτη σειρά πειραμάτων, το κινητό τηλέφωνο ήταν κλειστό. Σε κάθε μια από τις τρεις περιπτώσεις, η ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, σε mW/cm^2 προσδιορίστηκε με κατάλληλο πεδιόμετρο, ο ανιχνευτής του οποίου (probe) τοποθετούνταν στο εσωτερικό ενός δοχείου καλλιέργειας χωρίς έντομα. Στην πρώτη σειρά πειραμάτων η πυκνότητα ισχύος προσδιορίστηκε ίση με $0.668 \text{ mW}/\text{cm}^2$, στη δεύτερη $0.0318 \text{ mW}/\text{cm}^2$, ενώ στην τρίτη, (μη ακτινοβολημένα έντομα) η πυκνότητα ισχύος ήταν $0,000 \text{ mW}/\text{cm}^2$. Κατά συνέπεια, η πυκνότητα ισχύος ήταν της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτήν που διαπιστώνεται σε απόσταση περίπου 1 cm από την κεραία ενός κινητού τηλεφώνου στις αντίστοιχες περιπτώσεις που ο χρήστης ομιλεί ή μόνον ακούει. Μετά το πέρας του πέμπτου 24ωρου και την απομάκρυνση των εντόμων από τους σωλήνες καλλιέργειας (στη φάση αυτή περιέχουν αυγά εναποθετημένα στο θρεπτικό υλικό) ακολουθούσε η διατήρησή τους, χωρίς ακτινοβολήση, για άλλα έξι 24ωρα. Σε αυτό το χρονικό διάστημα, τα αυγά εκκολάπτονται και αφού περάσουν από το στάδιο της προνύμφης, καταλήγουν στο στάδιο της νύμφης (χρυσαλίδα, pupa). Με δεδομένο ότι ο αριθμός των απογόνων αποτελεί μέτρο της αναπαραγωγικής ικανότητας, πραγματοποιήθηκε καταμέτρηση του αριθμού των χρυσαλίδων που υπήρχαν σε κάθε σωλήνα.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της πρώτης σειράς πειραμάτων (πυκνότητα ισχύος $0.668 \text{ mW}/\text{cm}^2$, 6 min έκθεσης ανά 24ωρο, και για πέντε μόνο 24-ωρα), κατέδειξαν ελάττωση της αναπαραγωγικής ικανότητας κατά 50%-60% (σε σχέση με τα μη ακτινοβολημένα έντομα), ενώ η ελάττωση που διαπιστώθηκε στη δεύτερη σειρά πειραμάτων (πυκνότητα ισχύος $0.0318 \text{ mW}/\text{cm}^2$) ήταν της τάξης του 15%-20%. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέση τιμή της πυκνότητας ισχύος κατά την πρώτη σειρά πειραμάτων ($0.668 \text{ mW}/\text{cm}^2$), είναι μεγαλύτερη του «ορίου ασφαλείας» που έχει καθορίσει η IRPA για τον γενικό πληθυσμό των ανθρώπων ($0.45 \text{ mW}/\text{cm}^2$, μέση τιμή για 6 min έκθεσης ανά 24ωρο), αλλά βρίσκεται εντός του «ορίου ασφαλείας» που ισχύει για επαγγελματικά απασχολούμενα άτομα ($2.25 \text{ mW}/\text{cm}^2$, μέση τιμή για 6 min έκθεσης ανά 24ωρο).

Τα πιο πάνω αποτελέσματα είναι απολύτως επαναλήψιμα και έχουν επιβεβαιωθεί με στατιστική ανάλυση σε αλληλέλληλες σειρές πειραμάτων. Από βιολογική άποψη εκτιμάται ότι η επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επηρεάζει τη διαδικασία της ωογένεσης στις ωοθήκες των θηλυκών εντόμων. Αν και δεν είναι δυνατή η επέκταση των αποτελεσμάτων αυτών στον ανθρώπινο οργανισμό, εν τούτοις σε συνδυασμό με τα μέχρι σήμερα δεδομένα και από άλλες μελέτες σε διαφορετικά πειραματόζωα (βλέπε Βιβλιογραφία) μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η ακτινοβολία, που εκπέμπεται από κινητά τηλέφωνα GSM στη συγκεκριμένη συχνότητα των 900 MHz και κατά τη διάρκεια που ο

χρήστης ομιλεί («διαμορφωμένη εκπομπή»), μπορεί να επιφέρει σημαντικές αλλοιώσεις στη φυσιολογική λειτουργία των ζωντανών οργανισμών. Με άλλα λόγια, τίθενται ενδεχομένως υπό αμφισβήτηση τα υπάρχοντα διεθνή “όρια ασφαλείας” για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία των 900 MHz.

Μελέτη των αιφνίδιων θανάτων βρεφών

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

Μελέτες με καλλιέργειες κυττάρων

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

3.5 ΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

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

Επιδράσεις στους οφθαλμούς

Συνήθως η έρευνα για καταρακτογένεση αφορά απλές ή πολλαπλές οξείες εκθέσεις σε Η/Μ ακτινοβολίες με πυκνότητα ισχύος 80-500mW/cm². Έχει παρατηρηθεί θόλωση του φακού του ματιού σε πειραματόζωα που ακτινοβολήθηκαν τοπικά με συχνότητες ισχύος πάνω από 100mW/cm². Μικρότερες τιμές της πυκνότητας ακτινοβολίας δεν προκαλούν οποιοδήποτε φαινόμενο στους οφθαλμούς. Πρέπει να σημειωθεί ότι η έκθεση ολόκληρου του σώματος σε παρόμοιες τιμές πυκνότητας ισχύος θα ήταν θανατηφόρα. Έχουν αναφερθεί επίσης οφθαλμικές μεταβολές οφειλόμενες στην Η/Μ ακτινοβολία για χαμηλές πυκνότητες ισχύος, 7-13mW/cm² στα 2.45GHz, πάντα σε πειραματόζωα, για περιόδους 8 ωρών ανά ημέρα, 5 ημέρες ανά εβδομάδα και για 7-18 εβδομάδες.

Ακουστικό φαινόμενο

Άνθρωποι εκτιθέμενοι σε οξείες μικροκυματικούς παλμούς αναφέρουν ότι ακούν υπόκωφο ήχο με συχνότητα ίση προς την συχνότητα επανάληψης των παλμών. Το φαινόμενο έχει εξηγηθεί με τη

δημιουργία ακουστικών κυμάτων λόγω θερμοελαστικής διαστολής της εγκεφαλικής ουσίας υπό την έκθεση σε παλμική μικροκυματική ακτινοβολία. Το παραπάνω φαινόμενο είναι αντιπροσωπευτικό των μικροκυματικών επιδράσεων χαμηλής ισχύος και θεωρείται περισσότερο ως **φαινόμενο** παρά ως κίνδυνος για την υγεία.

Εκροή ασβεστίου

Αυξημένη εκροή ιόντων ασβεστίου $^{45}\text{Ca}^{2+}$ έχει παρατηρηθεί σε απομονωμένους εγκεφαλικούς αλλά και καρδιακούς ιστούς πειραματόζωων που εκτέθηκαν σε ημιτονοειδώς διαμορφωμένα Η/Μ πεδία. Τα ιόντα του ασβεστίου είναι εξαιρετικής σημασίας για την μεταφορική σύζευξη (transduktive coupling) μιας μεγάλης γκάμας ανοσολογικών, ενδοκρινολογικών και νευρολογικών φαινομένων στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης των κυττάρων. Το φαινόμενο εξαρτάται ισχυρά από την συχνότητα διαμόρφωσης και την πυκνότητα ισχύος της χρησιμοποιούμενης Η/Μ ακτινοβολίας. Το φαινόμενο της εκροής ιόντων ασβεστίου από τους ιστούς είναι από τις σημαντικότερες βιολογικές επιδράσεις των ραδιοκυμάτων λόγω των χαμηλών τιμών πυκνοτήτων ισχύος που απαιτούνται και αξίζει περαιτέρω μελέτης ιδιαίτερα στις περιοχές των ιδιοσυχνοτήτων των κρανιακών κοιλοτήτων, όπου η παρεχόμενη ενέργεια στα κύτταρα (κυρίως του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος) είναι αυξημένη.

Φαινόμενα συνεργίας με φάρμακα

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

Επιδράσεις στη συμπεριφορά

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

Γενετικές και αναπτυξιακές ανωμαλίες

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

Βιολογικές αλληλεπιδράσεις υπό χρόνια Η/Μ έκθεση

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

Πειράματα εξομίωσης του ανθρώπινου οργανισμού

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

3.6 ΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

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

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

Σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις, ο εγκέφαλος λειτουργεί όχι όπως ένας ψηφιακός (δυναδικός) ηλεκτρονικός υπολογιστής αλλά σαν ένας εξαιρετικά σύνθετος, μη γραμμικός ταλαντωτής, που παράγει τα δικά του ηλεκτρομαγνητικά κύματα χαμηλής συχνότητας (όπως εκείνα ανιχνεύονται στα εγκεφαλογραφήματα) και τα χρησιμοποιεί για να ολοκληρώσει τις λειτουργίες του και να επεξεργαστεί σήματα από τους αισθητήρες του (αισθήσεις). Έτσι, σήματα εισόδου από τους αισθητήρες μετατρέπονται σε χωροχρονικές κυματομορφές συχνοτήτων χαρακτηριστικών του εγκεφάλου και στη συνέχεια αποθηκεύονται στα εγκεφαλικά κύτταρα. Όταν νέα σήματα εισέρχονται, διεγείρουν τα εγκεφαλικά κύτταρα και, μέσα από φαινόμενα συντονισμού με τις ιδιοσυχνότητες του εγκεφάλου, αναδεικνύουν τις αποθηκευμένες κυματομορφές και συντελούν στην απόκτηση συνειδητής εμπειρίας. Το μη γραμμικό στοιχείο δεν μπορεί να είναι άλλο από την κυτταρική μεμβράνη, που θα μπορούσε να συμπεριφέρεται σαν μια κρυσταλλοδίοδος, μετατρέποντας εναλλασσόμενα πεδία (ac) σε συνεχή (dc) ή ενισχύοντάς τα, όπως γίνεται με τους κοινούς ενισχυτές του εμπορίου. Έχει αποδειχθεί ότι το σύνολο των κυτταρικών μεμβρανών του εγκεφάλου μπορεί να θεωρηθεί ως μια μεγάλη μεμβράνη-σύστημα ηλεκτρονικών δίπολων, που επηρεάζεται από την απουσία ή παρουσία ιόντων ασβεστίου. Η ισχυρή αυτή αλληλεπίδραση δίπολων και ιόντων αποτελεί το *ένασμα* μη γραμμικών ταλαντώσεων με συντονισμούς στην περιοχή των συχνοτήτων ELF (0-300Hz), οπότε η μεγαλομεμβράνη λειτουργεί σαν ένας ενισχυτής ικανός να ενισχύσει οποιοδήποτε εξωτερικό πεδίο, που η συχνότητά του (ή κάποια αρμονική του) εμπίπτει στην περιοχή των ιδιοταλαντώσεών της.

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

3.7 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΙ ΙΣΤΩΝ

Η παρακάτω μελέτη παρουσιάζει την επίδραση της H/M ακτινοβολίας σε επίπεδο κυττάρων και ιστών. Συγκεκριμένα, μελετώνται τα αποτελέσματα ευρέως φάσματος συχνοτήτων σε διαφορετικού σχήματος κυτταρικά μοντέλα και ιστούς. Απώτερος στόχος είναι η διεξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την βιολογική δράση της H/M ακτινοβολίας και κατά συνέπεια την επικινδυνότητά της στα κύτταρα και στους ιστούς ανθρώπων και ζώων.

Το σφαιρικό κυτταρικό μοντέλο

Η θεώρηση του κυττάρου ως μία ομογενής αγωγήμη σφαίρα είναι ένα πρόβλημα που έχει λυθεί αναλυτικά ^[1] και παρουσιάζεται συνοπτικά παρακάτω. Έστω σφαίρα ακτίνας a με διαπερατότητες ϵ_1 , μ_1 εμβαπτισμένη σε ομοιογενές μέσο με ϵ_2 , μ_2 . Προφανώς το μοντέλο αυτό είναι απλουστευτικό, καθώς θεωρεί ότι η κυτταρική μεμβράνη και το κυτταρόπλασμα έχουν κοινή σύσταση και ηλεκτρικές

ιδιότητες. Το προσπίπτον κύμα με χρήση του σφαιρικού συστήματος συντεταγμένων μπορεί να γραφεί ως:

$$E_i = E_0 e^{-i\omega t} \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (m_{0\ln}^{(1)} - i n_{e\ln}^{(1)})$$

$$H_i = -\frac{k_2 E_0}{\mu_2 \omega} e^{-i\omega t} \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (m_{e\ln}^{(1)} + i n_{0\ln}^{(1)})$$

όπου

$$m_{0\ln}^{(1)} = +\frac{1}{\sin \theta} j_n(k_2 R) P_n^l(\cos \theta) \cos \phi \hat{\theta} - j_n(k_2 R) \frac{\partial P_n^l}{\partial \theta} \sin \phi \hat{\phi} \quad (1)$$

$$m_{e\ln}^{(1)} = -\frac{1}{\sin \theta} j_n(k_2 R) P_n^l(\cos \theta) \sin \phi \hat{\theta} - j_n(k_2 R) \frac{\partial P_n^l}{\partial \theta} \cos \phi \hat{\phi}$$

$$n_{0\ln}^{(1)} = \frac{n(n+1)}{k_2 R} j_n(k_2 R) P_n^l(\cos \theta) \sin \phi \hat{r} + \frac{1}{k_2 R} [k_2 R j_n(k_2 R)]' \frac{\partial P_n^l}{\partial \theta} \sin \phi \hat{\theta} + \frac{1}{k_2 R \sin \theta} [k_2 R j_n(k_2 R)]' P_n^l(\cos \theta) \cos \phi \hat{\phi} \quad (1)$$

$$n_{e\ln}^{(1)} = \frac{n(n+1)}{k_2 R} j_n(k_2 R) P_n^l(\cos \theta) \cos \phi \hat{r} + \frac{1}{k_2 R} [k_2 R j_n(k_2 R)]' \frac{\partial P_n^l}{\partial \theta} \cos \phi \hat{\theta} - \frac{1}{k_2 R \sin \theta} [k_2 R j_n(k_2 R)]' P_n^l(\cos \theta) \sin \phi \hat{\phi} \quad (2)$$

Καθώς το Η/Μ κύμα προσπίπτει στη μεμβράνη του κυττάρου, ένα τμήμα του θα διαθλαστεί (θα περάσει δηλαδή στο κυτταρόπλασμα του κυττάρου) ενώ το άλλο θα ανακλαστεί, παραμένοντας στον εξωκυτταρικό χώρο. Το διαθλωμένο καθώς και το ανακλώμενο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο είναι τα εξής:

Ανακλώμενο κύμα:

$$E_r = E_0 e^{-i\omega t} \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n^r m_{0\ln}^{(2)} - i b_n^r n_{e\ln}^{(2)}) \quad (3.α)$$

$$H_r = -\frac{k_2 E_0}{\mu_2 \omega} e^{-i\omega t} \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (b_n^r m_{e\ln}^{(2)} + i a_n^r n_{0\ln}^{(2)}) \quad (3.β)$$

Διαθλωμένο κύμα:

$$E_t = E_0 e^{-i\omega t} \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (a_n^t m_{0\ln}^{(1)} - i b_n^t n_{e\ln}^{(1)}) \quad (4.α)$$

$$H_t = -\frac{k_1 E_0}{\mu_1 \omega} e^{-i\omega t} \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{2n+1}{n(n+1)} (b_n^t m_{e\ln}^{(1)} + i a_n^t n_{0\ln}^{(1)}) \quad (4.β)$$

Επίσης, οι συνοριακές συνθήκες στην κυτταρική μεμβράνη ($R = a$) είναι:

$$\hat{r} \times (\vec{E}_i + \vec{E}_r) = \hat{r} \times \vec{E}_t$$

$$\hat{r} \times (\vec{H}_i + \vec{H}_r) = \hat{r} \times \vec{H}_t$$

Από αυτές προκύπτουν οι συντελεστές:

$$a_n^t = \frac{j_n(\rho)}{j_n(N\rho)} + \frac{h_n^{(1)}(\rho)}{j_n(N\rho)} a_n^r \quad \text{και} \quad b_n^t = \frac{\mu_1 j_n(\rho)}{\mu_2 N j_n(N\rho)} + \frac{\mu_1 h_n^{(1)}(\rho)}{\mu_2 N j_n(N\rho)} b_n^r,$$

όπου

$$a_n^r = -\frac{\mu_1 j_n(N\rho)[\rho j_n(\rho)]' - \mu_2 j_n(\rho)[N\rho j_n(N\rho)]'}{\mu_1 j_n(N\rho)[\rho h_n^{(1)}(\rho)]' - \mu_2 h_n^{(1)}(\rho)[N\rho j_n(N\rho)]'}$$

$$b_n^r = -\frac{\mu_1 j_n(\rho)[N\rho j_n(N\rho)]' - \mu_2 N^2 j_n(N\rho)[\rho j_n(\rho)]'}{\mu_1 h_n^{(1)}(\rho)[N\rho j_n(N\rho)]' - \mu_2 N^2 j_n(N\rho)[\rho h_n^{(1)}(\rho)]'}$$

Με $\rho = k_2 a$ και $N = \frac{k_1}{k_2}$, ο συντελεστής διάθλασης.

Ωστόσο επειδή $|\rho| \ll 1$, οι σφαιρικές συναρτήσεις Bessel μπορούν να γραφούν:

$$j_n(\rho) = 2^n \frac{n!}{(2n+1)!} \rho^n \left(1 - \frac{n+1}{(2n+1)(2n+3)} \rho^2 + \dots \right), \quad h_n^{(1)}(\rho) = \frac{i}{2^n} \frac{(2n)!}{n!} \frac{1}{\rho^{n+1}} + \dots$$

Στους παρακάτω υπολογισμούς θα ληφθεί υπόψη μόνο ο πρώτος όρος των σφαιρικών συναρτήσεων Bessel και επιπλέον επειδή ο λόγος της ακτίνας του κυττάρου ($\sim 10^{-6}$ m) προς το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ($\sim 10^{-2}$ m για μικροκύματα) είναι μικρός, ο πρώτος όρος των αθροισμάτων των σχέσεων (3), (4) θεωρείται ικανοποιητική προσέγγιση για τα μεταδιδόμενα πεδία που αναζητούνται. Επομένως, για $n=1$ και κρατώντας δυνάμεις έως και τρίτου βαθμού ως προς ρ , οι σχέσεις (5), (6) γίνονται:

$$a_1^r \approx \frac{i}{3} \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{\mu_1 + 2\mu_2} \rho^3 \quad \text{και} \quad b_1^r \approx \frac{2i}{3} \frac{(\mu_1 - \mu_2 N^2)}{2\mu_1 + \mu_2 N^2} \rho^3$$

Από τους συντελεστές ανάκλασης a_1^r και b_1^r μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές διάδοσης a_1^t και b_1^t . Στη συνέχεια, αντικαθιστώντας τις σχετικές προσεγγίσεις των σφαιρικών συναρτήσεων Bessel στις σχέσεις (1), (2) προσδιορίζονται οι συντελεστές $n_{01}^{(1)}$, $n_{e1}^{(1)}$, $m_{01}^{(1)}$, $m_{e1}^{(1)}$. Τέλος, τοποθετώντας τα a_1^t , b_1^t , $n_{01}^{(1)}$, $n_{e1}^{(1)}$, $m_{01}^{(1)}$, $m_{e1}^{(1)}$ στις σχέσεις (3), (4) υπολογίζονται το επαγόμενο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο στη σφαίρα.

Συμπερασματικά, μεταβάλλοντας τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, μελετώντας το Η/Μ φάσμα από τις ραδιοσυχνότητες έως και τις ακτίνες γάμμα και παίρνοντας κάθε φορά τις κατάλληλες προσεγγίσεις, μπορούμε να υπολογίσουμε το επαγόμενο πεδίο στη σφαίρα-κύτταρο.

Προς ένα ρεαλιστικό μοντέλο

Η θεώρηση του κυττάρου ως αγωγίμη σφαίρα με μονό μεμβρανικό περίβλημα, επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό του επαγόμενου ηλεκτρικού πεδίου από Η/Μ κύμα, ωστόσο δεν αποτελεί ρεαλιστικό μοντέλο διότι παραβλέπει:

α) το γεγονός ότι τα κύτταρα δεν είναι απαραίτητα σφαιρικά.

β) το γεγονός ότι τα κύτταρα δεν υποβάλλονται στην ακτινοβολία μεμονωμένα, αλλά οργανωμένα σε ιστούς. Η απόσταση μεταξύ των κυττάρων, καθώς και τα μέγεθος, σχήμα και προσανατολισμός του ιστού επηρεάζουν σημαντικά το μέγεθος του επαγόμενου πεδίου.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα μοντέλων και πειραμάτων τα οποία λαμβάνουν υπόψιν τους παράγοντες που αναφέρθηκαν.

Μη σφαιρικά κυτταρικά μοντέλα

Σε μία συγκριτική εργασία πέντε διαφορετικών κυτταρικών μοντέλων, παρουσιάστηκαν τα μέγιστα επαγόμενα ηλεκτρικά πεδία για δύο διαφορετικές τιμές συχνότητας του προσπίπτοντος ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Οι τιμές αυτές – $f=900\text{MHz}$ και $f=2450\text{MHz}$ – αποτελούν συχνότητες TV, FM σημάτων και μικροκυμάτων αντίστοιχα. Αυτές είναι και οι συχνότητες στις οποίες οι άνθρωποι είναι συχνότερα εκτεθειμένοι μέσω ποικίλων βιομηχανικών εφαρμογών (όπως φούρνοι μικροκυμάτων, κινητή τηλεφώνια...).

Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν θεωρήθηκε πως περιβάλλονται από κυτταρική μεμβράνη πάχους 10nm , η οποία σχηματίζεται από διπλοστιβάδα φωσφολιπιδίων, δεν έχει αγωγιμότητα και χαρακτηρίζεται από σχετική διαπερατότητα μεγέθους $11,3$ που είναι ανεξάρτητη της συχνότητας. Τα σχηματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- Το σφαιρικό
- Το ελλειψοειδές
- Το ερυθροκύτταρο, που αναπαρίσταται ως μία αμφίκυβλη δομή
- Το ραβδοειδές, που αναπαρίσταται ως κυλινδρική δομή με στρογγυλεμένα άκρα
- Το κυλινδρικό

Και στις πέντε γεωμετρίες ο μεγάλος ημιάξονας διατηρήθηκε σταθερός στα $3,5\mu\text{m}$, και ο μικρός στο $1\mu\text{m}$, με εξαίρεση τη σφαίρα (ακτίνας $3,5\mu\text{m}$), και το ερυθροκύτταρο του οποίου το πάχος κυμαίνεται από $0,5$ έως $1\mu\text{m}$. Οι διαστάσεις αυτές είναι χαρακτηριστικές ενός τυπικού κυττάρου θηλαστικού. Το σφαιρικό μοντέλο παρουσιάζεται χάριν σύγκρισης. Τα κύτταρα αναπαρίστανται εμβλαπτισμένα σε συνεχές μέσο, που αποτελείται από ηλεκτρολύτες διαλυμένους σε νερό, γνωστών διηλεκτρικών ιδιοτήτων.

Πίνακας I: Μέγιστο επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο για προσπίπτουσα ακτινοβολία συχνότητας $f=900\text{MHz}$.

Σχήμα Κυττάρου	Μέγιστο Επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο (V/m)	
	Ηλεκτρική Πόλωση	Μαγνητική Πόλωση
Σφαιρικό	4,8	3,3
Ελλειψοειδές	4,6	3,9
Κυλινδρικό	4,9	3,1
Ερυθροκύτταρο	5,5	3,5
Ραβδοειδές	4,0	3,7

Πραγματοποιείται προσομοίωση έκθεσης των κυττάρων σε H/M πεδίο με τη χρήση υπολογιστή και το επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο υπολογίζεται με την αριθμητική μέθοδο finite element, η οποία

διατείνεται σε κατάλληλο λογισμικό πακέτο. Το Η/Μ κύμα θεωρείται επίπεδο και εξετάζονται τόσο η περίπτωση ο μεγάλος ημιάξονας του μοντέλου να είναι συγγραμμικός με τη συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου (ηλεκτρική πόλωση), όσο και να είναι συγγραμμικός με τη συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου (μαγνητική πόλωση). Η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας έχει την τιμή $E = 1 \text{ V/m}$. Στη συνέχεια παρατείνονται τα αριθμητικά αποτελέσματα της μελέτης αυτής, που αφορούν τη μέγιστη τιμή της έντασης του επαγόμενου ηλεκτρικού πεδίου η οποία παρατηρείται στην περιοχή της κυτταρικής μεμβράνης των μοντέλων που μελετήθηκαν.

Πίνακας II: Μέγιστο επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο για προσπίπτουσα ακτινοβολία συχνότητας $f=2450\text{MHz}$.

Σχήμα Κυττάρου	Μέγιστο Επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο (V/m)	
	Ηλεκτρική Πόλωση	Μαγνητική Πόλωση
Σφαιρικό	4,7	2,9
Ελλειψοειδές	4,5	3,6
Κυλινδρικό	4,7	2,4
Ερυθροκύτταρο	5,2	3,2
Ραβδοειδές	3,6	3,5

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρατίθενται όχι τόσο για την αριθμητική τους αξία, όσο για την πολυτιμότητα των συγκριτικών συμπερασμάτων που απορρέουν από αυτά. Αρχικά, παρατηρείται πως μεγαλύτερα πεδία επάγονται από χαμηλότερης συχνότητας ακτινοβολία. Επίσης, παρατηρούνται μεγαλύτερα επαγόμενα πεδία στην περίπτωση της ηλεκτρικής πόλωσης. Τέλος, στην περίπτωση της ηλεκτρικής πόλωσης το ερυθροκύτταρο αποδεικνύεται ως το πιο ευαίσθητο στην Η/Μ ακτινοβολία, ενώ το ραβδοειδές είναι αυτό που επηρεάζεται λιγότερο. Όσον αφορά στη μαγνητική πόλωση το ελλειψοειδές εμφανίζει υψηλότερο πεδίο, ενώ το κυλινδρικό εμφανίζει το χαμηλότερο.

Ιστοί και μικροκυματική ακτινοβολία

Πίνακας III: Παρατηρήσεις του πεδίου για διαφορετικούς τύπους κυτταρικών δυάδων

Τύπος κυτταρικής δυάδας	Παρατηρήσεις για	
	Ηλεκτρική Πόλωση	Μαγνητική Πόλωση
Σφαιρική	Αύξηση του πεδίου για μείωση της απόστασης d μεταξύ των κυττάρων. Για $d \rightarrow \infty$ το πεδίο τείνει στην αντίστοιχη τιμή του για μοναδικό κύτταρο	Μείωση του πεδίου για μείωση της απόστασης d μεταξύ των κυττάρων. Για $d \rightarrow \infty$ το πεδίο τείνει στην αντίστοιχη τιμή του για μοναδικό κύτταρο
Κυλινδρική	Αύξηση του πεδίου για μείωση της απόστασης d μεταξύ των κυττάρων.	Γραμμική μείωση του πεδίου για μείωση της απόστασης d μεταξύ των κυττάρων.
Ελλειψοειδής	Αύξηση του πεδίου για μείωση της απόστασης d μεταξύ των κυττάρων.	Γραμμική μείωση του πεδίου για μείωση της απόστασης d μεταξύ των κυττάρων.

Ως γνωστόν, στους έμβιους οργανισμούς τα κύτταρα, διαφοροποιούνται ώστε να τελούν διαφορετικές λειτουργίες. Τα κύτταρα που εκτελούν ίδιες λειτουργίες είναι οργανωμένα σε ιστούς. Ωστόσο οι διαφορετικοί ιστοί ποικίλλουν ως προς τη μορφολογία και την απόσταση μεταξύ των

κυττάρων τα οποία τους αποτελούν. Όταν ένας ιστός ακτινοβολείται, οι αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυττάρων είναι προφανές πως επηρεάζουν το συνολικό επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο. Σε μία προσπάθεια να ληφθεί ο παράγοντας αυτός υπόψη, στην έρευνα συμπεριλήφθηκε και η μελέτη μοντέλων που αποτελούνταν από δυάδες και τριάδες όμοιων κυττάρων. Τα αποτελέσματα κάθε μοντέλου περιλαμβάνονται στον Πίνακα III.

Επίσης, μελετήθηκε μοντέλο τριών σφαιρικών κυττάρων τοποθετημένων συγγραμικά με την ηλεκτρική συνιστώσα του κύματος. Το κεντρικό κύτταρο διατηρήθηκε σε σταθερό σημείο του χώρου και μελετήθηκε το επαγόμενο πεδίο μεταβάλλοντας κατά ισαπέχουσες αποστάσεις τα δύο πλευρικά κύτταρα. Παρατηρήθηκε πως σε σύγκριση με το δυαδικό μοντέλο, για ίδια τιμή της απόστασης d το πεδίο που επάγεται από τρία κύτταρα προκύπτει μεγαλύτερο. Ακόμα, όταν τα τρία κύτταρα εφάπτονται το πεδίο όχι μόνο παίρνει τη μέγιστη τιμή του, αλλά επιπλέον αυτή είναι περίπου η διπλάσια από την αντίστοιχη για μοναδικό κύτταρο.

Τα παραπάνω πραγματοποιήθηκαν και για τις δύο συχνότητες ($f=900\text{MHz}$ και $f=2450\text{MHz}$). Και πάλι παρατηρήθηκαν υψηλότερα πεδία για τη χαμηλότερη συχνότητα. Κατατάσσοντας τα μοντέλα με βάση την ευαισθησία τους στην Η/Μ ακτινοβολία, το πλέον ευαίσθητο αποδείχθηκε το δυαδικό κυτταρικό μοντέλο, ακολουθεί το κυλινδρικό και έπειτα το σφαιρικό. Είναι εντυπωσιακό το γεγονός ότι, ενώ το μονό σφαιρικό μοντέλο φαίνεται να αποτελεί ικανοποιητική προσέγγιση (αφού το μέγιστο επαγόμενο πεδίο που αποδίδει παίρνει μία μέση τιμή συγκρινόμενο με τα υπόλοιπα μοντέλα), ωστόσο η άποψη αυτή καταρρίπτεται εξ ολοκλήρου στα ρεαλιστικότερα δυαδικά μοντέλα (όπου το σφαιρικό αποδίδει πάντα τη χαμηλότερη τιμή πεδίου και μάλιστα με σημαντική απόκλιση).

Επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε έμβιους οργανισμούς

Ενώ έχει υπολογιστεί το πεδίο που επάγεται στις μεμβράνες διαφόρων κυτταρικών μοντέλων, από την ακτινοβολία αυτών, μένει να εξεταστεί η επίδραση του πεδίου αυτού στις κυτταρικές λειτουργίες. Το ερώτημα αυτό απασχολεί την επιστημονική κοινότητα, όχι μόνο για να καθοριστούν οι παθογόνες επιδράσεις της ακτινοβολίας που προέρχεται από βιομηχανικές εφαρμογές, αλλά και για να εντοπιστούν ευεργετικές ιατρικές εφαρμογές. Ήδη, διατυπώνεται η πρόθεση να μεταβληθεί η υπάρχουσα τεχνολογία στις ακτινογραφίες, με αντικατάσταση των ακτίνων X από μικροκυματική ακτινοβολία, ώστε να αποφεύγονται οι επιβλαβείς συνέπειες των ακτίνων X. Επίσης, τα τελευταία χρόνια στην πρώην Σοβιετική Ένωση, ασθενείς ακτινοβολούνται με χαμηλής ισχύος μικροκύματα για τη θεραπεία ασθενειών όπως το πεπτικό έλκος αλλά και καρκίνων. Ακόμα, επιτυχείς κλινικές εφαρμογές έχουν παρατηρηθεί και με χρήση χρονοεξαρτημένων μαγνητικών πεδίων εξαιρετικά χαμηλών συχνοτήτων (της τάξης των 10 Hz). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η αναγέννηση νεκρωμένων νεύρων καθώς και η επιτάχυνση της επούλωσης οστικών τραυμάτων.

Επίδραση μικροκυματικής ακτινοβολίας στο ρυθμό ανάπτυξης κυτταρικής αποικίας

Σύμφωνα με πείραμα που πραγματοποιήθηκε ^[3] σε κυτταρική αποικία του σακχαρομύκητα *Cerevisiae*, εκτεθειμένη σε ακτινοβολία 341 GHz για χρονικό διάστημα 2,5 ωρών, παρατηρήθηκε σαφής επίδραση του πεδίου στον ρυθμό ανάπτυξης της αποικίας. Πρέπει να σημειωθεί πως η αποικία του σακχαρομύκητα *Cerevisiae* αναπτύσσεται με εκθετικό ρυθμό. Τα αποτελέσματα μπορούν να

γενικευτούν και για ανθρώπινα κύτταρα καθώς ο σακχαρομύκητας αυτός είναι ευκαρυωτικός οργανισμός μεγάλης ομοιότητας με κύτταρα θηλαστικών. Επιπλέον έχει το προτέρημα πως το γονιδιώμα του είναι πλήρως χαρτογραφημένο.

Το πείραμα περιλαμβάνει δύο πανομοιότυπες αποικίες κυττάρων που προέρχονται από την ίδια καλλιέργεια. Η μία αποικία υποβλήθηκε σε ακτινοβολία, ενώ η άλλη όχι. Κάθε 30 min λαμβανόταν η μέτρηση της ανάπτυξης ανά mm^2 και των δύο αποικιών ταυτόχρονα. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για 20 όμοια ζεύγη αποικιών και βρέθηκε πως η ανάπτυξη της εκτεθειμένης αποικίας ήταν μεγαλύτερη καθ'όλη τη διάρκεια του πειράματος εκτός από την τελική μέτρηση (για $t=150$ min) όπου οι πληθυσμοί βρέθηκαν ίσοι. Επίσης, η πληθυσμιακή διαφορά ήταν περισσότερο έκδηλη για μικρούς χρόνους παρατήρησης, ενώ απαλοιοφόταν με την πάροδο του χρόνου.

Συμπερασματικά, φαίνεται πως η ακτινοβολία επιδρά περισσότερο στα κύτταρα όταν αυτά βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν πως η ακτινοβολία θα πρέπει να μετατοπίζει τη στιγμή της μιτωτικής εκκίνησης (επομένως και τη διάρκεια της φάσης προσαρμογής του κυττάρου), είτε να επιταχύνει το ρυθμό της εκθετικής αύξησης του πληθυσμού της αποικίας. Αξίζει να σημειωθεί πως το παραπάνω πείραμα πραγματοποιήθηκε για διάφορες τιμές συχνότητας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (200-350 GHz), χωρίς να παρατηρηθεί καμία μεταβολή στο ρυθμό ανάπτυξης της εκτεθειμένης αποικίας παρά μόνο για τη συχνότητα των 341 GHz.

Επίδραση Η/Μ ακτινοβολίας σε κύτταρα και ιστούς

Μεγάλη ανησυχία έχουν προκαλέσει στους επιστημονικούς κύκλους οι επιδράσεις της έκθεσης στην Η/Μ ακτινοβολία, τόσο ζωικών κυτταρικών αποικιών όσο και ανθρώπινων πληθυσμών που παρατηρήθηκαν σε επιδημιολογικές μελέτες. Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι η επιστημονική κοινότητα διχάζεται όσον αφορά την επικινδυνότητα της έκθεσης κάθε είδους έμβιου οργανισμού στην ακτινοβολία. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι βιολογικές επιδράσεις:

- της μικροκυματικής ακτινοβολίας
- της Η/Μ ακτινοβολίας με πολύ μικρή συχνότητα
- του στατικού μαγνητικού πεδίου

από μελέτες και πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε ζωικούς και ανθρώπινους ιστούς.

Έρευνες σε ζωικά κύτταρα και ιστούς

Οι πειραματικές μελέτες σε καλλιέργειες ζωικών κυττάρων και ιστών προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες που αφορούν πιθανές μακροπρόθεσμες επιδράσεις της ακτινοβολίας, όπως είναι η καρκινογένεση και οι γενετικές ανωμαλίες, τομείς που έχουν απασχολήσει ποικιλοτρόπως τα τελευταία χρόνια τους επιστήμονες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί για όλες σχεδόν τις λειτουργίες και ενδεικτικά παρουσιάζονται τα πλέον ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Αρχικά, παρατηρήθηκε ότι η έκθεση τρωκτικών σε πεδία πολύ μικρής συχνότητας επηρέαζε τη μεταφορά σημάτων-πληροφοριών μεταξύ γειτονικών νευρικών κυττάρων. Επίσης, σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε γάτες στην περιοχή του εγκεφάλου παρατηρήθηκε τοπική αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1-1.5 °C, όταν εκτέθηκαν σε μικροκυματική ακτινοβολία.

Όσον αφορά στην περιοχή του ματιού, διαπιστώθηκε ότι αυτή αποδεικνύεται ιδιαίτερα ευαίσθητη κατά την έκθεσή της σε μικροκυματική ακτινοβολία και αυτό διότι οι βλάβες που προξενούνται στα μάτια είναι αθροιστικές και δεν αποικοδομούνται από τον ίδιο τον οργανισμό. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε άνοδος της θερμοκρασίας του ματιού σε κουνέλια, η οποία μακροπρόθεσμα προκάλεσε καταρράκτη. Σε αντίστοιχα πειράματα σε πιθήκους παρατηρήθηκαν φλεγμονές στον κερατοειδή ιστό του ματιού. Ωστόσο, σε συγκριτική μελέτη των δύο ειδών, τα μάτια των πιθήκων βρέθηκαν λιγότερο ευαίσθητα στην Η/Μ ακτινοβολία καθώς προστατεύονται περισσότερο από το κρανίο και επίσης διότι ο φακός τους πραγματοποιεί καλύτερη διάχυση της θερμότητας.

Τέλος, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές απόπειρες σύνδεσης της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας τόσο με την καρκινογένεση όσο και με την αναστολή καρκινικών μεταστάσεων, οι οποίες όμως είχαν διαφορετικά και μη καταληκτικά αποτελέσματα. Έχει αποδειχτεί ότι η έκθεση σε ραδιοσυχνότητες, όταν αυτή παραμένει εντός των επιτρεπτών θερμοκρασιακών ορίων, δεν προκαλεί μεταλλάξεις και χρωμοσωμικές ανωμαλίες. Επομένως, είναι εξαιρετικά απίθανο να σχετίζεται με την καρκινογένεση. Επίσης για την περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων έχει ερευνηθεί η περίπτωση να ενθαρρύνεται η εξάπλωση ενός ήδη υπάρχοντος όγκου, λόγω καταστολής του ανοσοποιητικού συστήματος από την ακτινοβολία. Στον αντίποδα του επιχειρήματος αυτού βρίσκονται μελέτες που παρουσιάζουν παρατεταμένη επιβίωση και λιγότερες μεταστάσεις σε ποντίκια πάσχοντα από αυθόρμητη ογκογένεση τα οποία εκτέθηκαν σε μαγνητικά πεδία πολύ χαμηλών συχνοτήτων (ραδιοσυχνοτήτων).

Έρευνες σε ανθρώπινα κύτταρα και ιστούς

Ενδιαφέροντα πειράματα και μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε κύτταρα θηλαστικών ζώων αλλά και σε ανθρώπινους ιστούς, παρουσιάζουν τις ποικίλες επιδράσεις της Η/Μ ακτινοβολίας. Οι έρευνες αυτές πραγματοποιήθηκαν για διάφορες περιοχές συχνοτήτων, τόσο σε υγιείς ενήλικες όσο και σε εγκύους για να μελετηθούν πιθανές επιδράσεις στα έμβρυα.

Και πάλι οι απόψεις των επιστημόνων διαφοροποιούνται καθώς τα πειραματικά αποτελέσματα αποτελούν απλές ενδείξεις και όχι σαφείς αποδείξεις για την επικινδυνότητα ή μη της Η/Μ ακτινοβολίας. Τα πιο συχνά παρατηρούμενα αποτελέσματα της έκθεσης σε χαμηλής ενέργειας ακτινοβολία, παρατηρήθηκαν στην περιοχή του εγκεφάλου καθώς και στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Σημειώνεται, επίσης, ότι άμεση έκθεση σε ακτινοβολία μικρής ενέργειας μπορεί να προκαλέσει παροδική μείωση των καρδιακών παλμών ανά λεπτό, γεγονός που διαφοροποιείται εφόσον το άτομο βρίσκεται σε σωματική ή πνευματική εγρήγορση. Ακόμα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι θερμικές κυρίως επιδράσεις της μικροκυματικής ακτινοβολίας, εξαρτώνται και διαφοροποιούνται στους ανθρώπινους ιστούς ανάλογα με τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες.

Τέλος, μεγάλη ανησυχία προκαλείται από τις πιθανές επιδράσεις της ακτινοβολίας σε εγκύους χειριστές ιατρικών μηχανημάτων (όπως μαγνητικού τομογράφου), καθώς και σε γυναίκες που πραγματοποιούν ιατρικές εξετάσεις κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης τους. Η έκθεση των γυναικών αυτών σε μικροκυματική ακτινοβολία μπορεί να επηρεάσει το έμβρυο, καθώς λόγω των θερμικών φαινομένων, η διάχυση της θερμότητας στην προστατευμένη περιοχή της κοιλιάς της μητέρας μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο μέσω του πλακούντα. Έτσι, γίνεται φανερό πως η τοπική αύξηση της

θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει εντονότερα το έμβρυο από ότι τον ενήλικο οργανισμό.

3.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρακάτω θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα θέματα που μελετήθηκαν ήδη καθώς και τα αποτελέσματα των πειραμάτων και ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια. Αρχικά, μελετήθηκε το σφαιρικό κυτταρικό μοντέλο, όπου το κύτταρο θεωρείται μια ομογενής αγωγιμη σφαίρα, και παρουσιάστηκε η μέθοδος υπολογισμού του επαγόμενου ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου στο κύτταρο. Μεταβάλλοντας τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και με τη χρήση κατάλληλων συνοριακών συνθηκών καθώς και προσεγγίσεων, μπορεί να υπολογιστεί το αντίστοιχο επαγόμενο Η/Μ πεδίο. Ωστόσο, το σφαιρικό κυτταρικό μοντέλο δεν αποδεικνύεται αρκετά ρεαλιστικό καθώς παραβλέπει: α) πως τα κύτταρα παρατηρούνται σε διάφορα σχήματα και β) πως τα κύτταρα συναντώνται στους έμβριους οργανισμούς οργανωμένα σε ιστούς.

Μελετήθηκαν, λοιπόν, πέντε διαφορετικά κυτταρικά μοντέλα (σφαιρικό, ελλειψοειδές, ραβδοειδές, ερυθροκύτταρο, κυλινδρικό), για δύο τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ($f=900, 2450$ MHz), τόσο για ηλεκτρική όσο και για μαγνητική πόλωση. Παρατηρήθηκε, πως μεγαλύτερα πεδία επάγονται από χαμηλότερης συχνότητας ακτινοβολία. Επίσης, σημειώθηκαν μεγαλύτερα επαγόμενα πεδία στην περίπτωση της ηλεκτρικής πόλωσης. Ακόμα, στην περίπτωση της ηλεκτρικής πόλωσης το ερυθροκύτταρο αποδεικνύεται ως το πιο ευαίσθητο στην Η/Μ ακτινοβολία, ενώ το ραβδοειδές είναι αυτό που επηρεάζεται λιγότερο. Όσον αφορά στη μαγνητική πόλωση το ελλειψοειδές εμφανίζει υψηλότερο πεδίο, ενώ το κυλινδρικό εμφανίζει το χαμηλότερο.

Στη συνέχεια, μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές κυτταρικές δυάδες (σφαιρική, κυλινδρική, ελλειψοειδής) και μια τριάδα σφαιρικών κυττάρων (το κεντρικό κύτταρο διατηρείται σταθερό και μεταβάλλονται οι αποστάσεις μεταξύ των πλευρικών κυττάρων ως προς το κεντρικό). Κατατάσσοντας τα μοντέλα με βάση την ευαισθησία τους στην Η/Μ ακτινοβολία, το πλέον ευαίσθητο αποδείχθηκε το δυαδικό κυτταρικό μοντέλο, ενώ το κυλινδρικό και το σφαιρικό ακολουθούν. Παρατηρήθηκε, ακόμα, πως σε σύγκριση με το δυαδικό μοντέλο, για ίδια τιμή της απόστασης d το πεδίο που επάγεται από τρία κύτταρα προκύπτει μεγαλύτερο. Επίσης, παρουσιάστηκε πείραμα που πραγματοποιήθηκε σε κυτταρική αποικία του σακχαρομύκητα *Cerevisiae*, εκτεθειμένη σε ακτινοβολία 341 GHz για χρονικό διάστημα 2,5 ωρών και παρατηρήθηκε σαφής επίδραση του πεδίου στον ρυθμό ανάπτυξης της αποικίας. Συγκεκριμένα, η ακτινοβολία φαίνεται να επιδρά περισσότερο στα κύτταρα όταν αυτά βρίσκονταν σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης.

Τέλος, αναφέρονται οι βιολογικές επιδράσεις της Η/Μ ακτινοβολίας, διαφόρων συχνοτήτων, σε ζωικούς κι ανθρώπινους οργανισμούς. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της έκθεσης στην ακτινοβολία είναι βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα, στην περιοχή των ματιών και του εγκεφάλου και οφείλονται κυρίως στα θερμικά φαινόμενα που προκαλεί η έκθεση στην Η/Μ ακτινοβολία. Όσον αφορά στην καρκινογένεση αναφέρθηκε πως είναι εξαιρετικά απίθανο να σχετίζεται με την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες, όταν αυτή παραμένει εντός των επιτρεπτών θερμοκρασιακών ορίων, καθώς δεν προκαλούνται μεταλλάξεις και χρωμοσωμικές ανωμαλίες.

Κεφάλαιο 4

4. Όρια επικινδυνότητας της μη ιονίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας

Τα όρια ‘επικινδυνότητας’ πρέπει να τονιστεί ότι είναι όρια επικινδυνότητας **και όχι** όρια ασφαλείας, αφού μια οποιαδήποτε δόση ακτινοβολίας, οποιουδήποτε είδους και να είναι δεν μπορεί **ποτέ** να θεωρηθεί ασφαλής. Επίσης πρέπει να γίνει γνωστό ότι τα όρια επικινδυνότητας διαφέρουν από κράτος σε κράτος και από οργανισμό σε οργανισμό. Αυτή η διαφορά οφείλεται στην διαφορετική εκτίμηση του μηχανισμού επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και στο είδος της ακτινοβολίας. Έτσι όσοι δέχονται τις θερμικές επιδράσεις προτείνουν υψηλά όρια, ενώ όσοι πιστεύουν στις αθερμικές επιδράσεις προτείνουν πολύ χαμηλότερα όρια.

4.1 ΤΑ ΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

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

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

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

$$SAR = 4,166 \rho C \Delta T / \Delta t \text{ (Watts/cm}^3\text{)}$$

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

- α. Το ανθρώπινο σώμα απορροφά την κυματική ενέργεια κατά τρόπο εκλεκτικό, διαφορετικό δηλαδή για κάθε συχνότητα και είδος ιστού.
- β. Μέγιστη δεκτικότητα κατά συχνότητα (συντονισμός), εμφανίζεται στην περιοχή από 30MHz - 300MHz, όπου ο SAR παίρνει τις μέγιστες τιμές του.

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

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

Τα όρια επικινδυνότητας στις ραδιοσυχνότητες σύμφωνα με μερικούς οργανισμούς είναι τα εξής:

Όρια επικινδυνότητας της IRPA

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

Συχνότητα f (MHz)	Ηλεκτρικό πεδίο E σε V/m	Μαγνητικό πεδίο H σε A/m	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος επιπέδου κύματος P, σε mW/cm ²
0,1 – 1	614	1,6/f	-
> 1 – 10	614/f	1,6/f	-
> 10 – 400	61	0,16	1
> 400 – 2000	3f ^{1/2}	0.008f ^{1/2}	f/400
> 2000 - 300.000	137	0,36	5

Όρια επικινδυνότητας του ANSI

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

Όρια επικινδυνότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης

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

4.2 ΟΡΙΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΚΑΙ ΤΙΣ ΑΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

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

4.3 ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Τα πιο αυστηρά επιτρεπόμενα όρια έκθεσης για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στη συχνότητα των 900MHz, καθιερώθηκαν το 1988 από τη “Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας”, IRPA, (“International Radiation Protection Association”) και ισχύουν έως τώρα, αφού επιβεβαιώθηκαν το 1998 από τη “Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από τη Μη-Ιονίζουσα Ακτινοβολία”, ICNIRP, (“International Commission on Non-Ionising Radiation Protection”).

Τα όρια αυτά, για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους, είναι 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 6min κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

Τα αντίστοιχα όρια έκθεσης για τον γενικό πληθυσμό, είναι μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος: 0.45 mW/cm², ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR): 0.08 W/Kg. [Μέσες τιμές για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6min, κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου].

Τα όρια αυτά έχουν υιοθετηθεί και από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

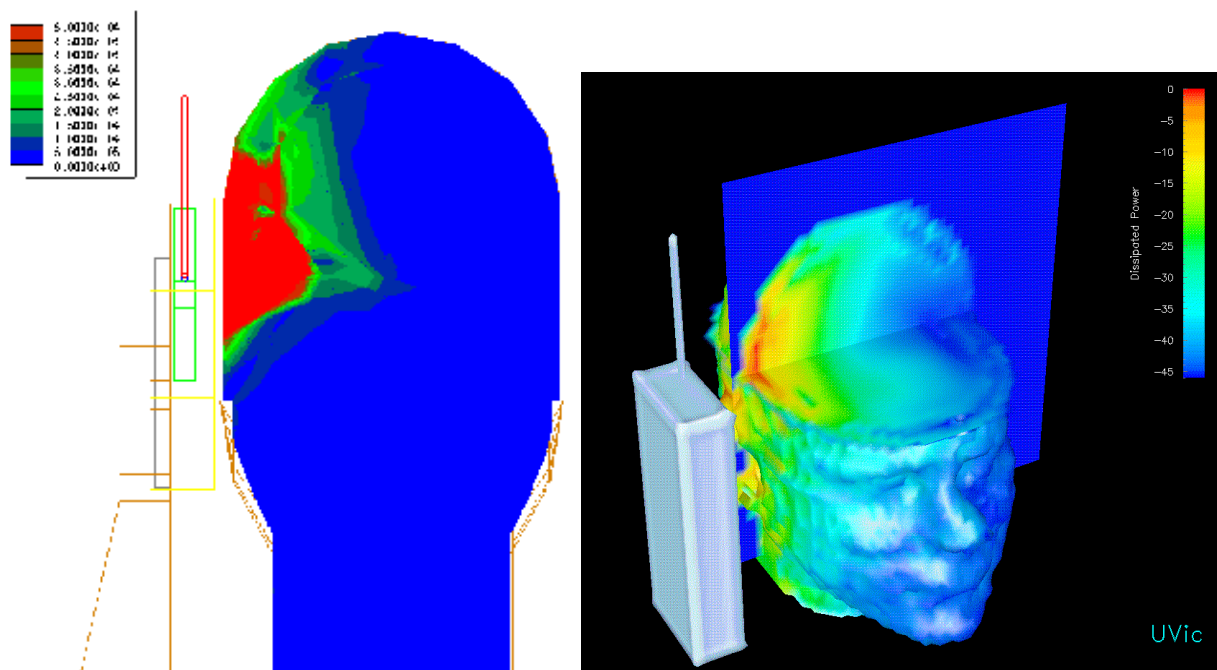
Μολονότι πρόκειται για ένα καταναλωτικό αγαθό, το κινητό τηλέφωνο δεν έχει καμία σχέση π.χ. με ένα στερεοφωνικό σύστημα (όπου ο καταναλωτής μπορεί ακουστικά να ελέγξει την ποιότητα του) ούτε με ένα όργανο γυμναστικής που επίσης μπορεί να το χρησιμοποιήσει σωστά και χωρίς κινδύνους.

Τι έχουν δείξει οι μέχρι τώρα μελέτες; Έχει διαπιστωθεί ότι γενικά η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προκαλεί τις λεγόμενες θερμικές επιπτώσεις (δηλαδή αύξηση της θερμοκρασίας του εκτιθέμενου ιστού – βλέπε φούρνο μικροκυμάτων ο οποίος βέβαια λειτουργεί με πολύ μεγάλη ισχύ ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Επιπλέον όμως η ΗΜΑ προκαλεί μη θερμικές επιπτώσεις οι οποίες αναφέρονται στην επίδραση της ακτινοβολίας στη λειτουργία των κυτταρικών συστατικών που αναφέραμε. Οι μη-θερμικές επιπτώσεις θεωρούνται και οι πιο σημαντικές από βιολογικής/ ιατρικής

σκοπιάς και δεν καλύπτονται από τα όρια ασφαλείας που έχουν θεσπισθεί, επειδή δεν είναι άμεσα μετρήσιμες με κάποιο όργανο. Με άλλα λόγια δεν υπάρχει απ' ευθείας συνάρτηση της έντασης της ακτινοβολίας, η οποία μπορεί να μετρηθεί με όργανο σε μονάδες π.χ. χιλιοστοβατ ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο (mW/cm^2).

Οι σχετικές μελέτες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι λεγόμενες επιδημιολογικές μελέτες στις οποίες μελετάται ένα μεγάλο δείγμα ανθρώπων που διαθέτουν κινητά τηλέφωνα για μερικά χρόνια σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο δείγμα που δεν διαθέτει τέτοιες συσκευές. Οι ερευνητές προσπαθούν να διαπιστώσουν με στατιστική ανάλυση αν κάποιες ασθένειες ή κάποια συμπτώματα είναι πιο συχνά στο πρώτο δείγμα. Πράγματι έχει διαπιστωθεί ότι τα άτομα στο πρώτο δείγμα έχουν πιο συχνά απώλεια μνήμης, πονοκεφάλους, κ.λ.π.

Στη δεύτερη κατηγορία μελετών ανιχνεύονται οι λειτουργίες του εγκεφάλου (αφού αυτή είναι η περιοχή του οργανισμού πλησιέστερα στην κεραία του κινητού τηλεφώνου – βλέπε σχήμα 4.1), συνήθως με τη βοήθεια εγκεφαλογραφήματος για να διαπιστωθεί η ενδεχόμενη διαταραχή των φυσιολογικών ηλεκτρικών κυμάτων που παράγει ο εγκέφαλος. Εδώ οι έρευνες είναι αμφιλεγόμενες και τα αποτελέσματα μη επαναλήψιμα. Δηλαδή σε άλλες μελέτες διαπιστώνεται αλλοίωση και σε άλλες όχι. Βέβαια από ερευνητικής σκοπιάς δεν είναι δυνατόν διαφορετικά πειράματα από διαφορετικές ερευνητικές ομάδες να διεξάγονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες και με τους ίδιους ανθρώπους-χρήστες οπότε ίσως είναι αναμενόμενη μια τέτοια απόκλιση.



Σχήμα 4.1. Γραφική αναπαράσταση με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή της δόσης που απορροφάται από τις διάφορες περιοχές της κεφαλής του χρήστη, κατά τη διάρκεια επικοινωνίας με κινητό τηλέφωνο (το κόκκινο χρώμα δείχνει μέγιστο απορροφούμενης ενέργειας, το πράσινο αντιπροσωπεύει μικρότερη δόση και το μπλε περίπου μηδενική δόση).

Στην τρίτη κατηγορία ερευνών χρησιμοποιούνται πειραματόζωα (συνήθως ποντίκια ή έντομα ή και άλλοι οργανισμοί) καθώς και καλλιέργειες κυττάρων. Στην περίπτωση αυτή γίνεται ακτινοβολήση με

ραδιοσυχνότητες κινητής τηλεφωνίας και με εντάσεις πολύ κοντά στα όρια ασφαλείας. Πολλές μελέτες έχουν δείξει σαφείς επιπτώσεις που σχετίζονται με τη φυσιολογική λειτουργία των μεμβρανών και ιδιαίτερα της διέλευσης ιόντων μέσα από αυτές. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η διαδικασία αυτή είναι ζωτικής σημασίας για τη φυσιολογική λειτουργία των κυττάρων και ιδιαίτερα των εγκεφαλικών. Έχει επίσης διαπιστωθεί η ανάπτυξη όγκων σε πειραματόζωα, καθώς και απώλεια προσωρινής μνήμης, ενώ σε άλλα πειράματα με ποντίκια παρατηρήθηκαν φαινόμενα συνέργειας με ψυχοφάρμακα (αμφεταμίνες), δηλ. διαφορετικές αντιδράσεις για την ίδια δόση φαρμάκου, μετά από έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έντασης 1 mW/cm^2 .

Εξάλλου, σε μια σειρά πειραμάτων, διαπιστώθηκε μέχρι και 60% μείωση στην αναπαραγωγή των εντόμων που βρίσκονταν δίπλα σε κεραία κινητού τηλεφώνου για 6 λεπτά την ημέρα για λίγες μόνο ημέρες. Η επίπτωση αυτή ήταν πολύ εντονότερη με “διαμορφωμένη εκπομπή” (δηλαδή όταν μιλούσε κάποιος κοντά στο κινητό τηλέφωνο), παρά όταν το κινητό τηλέφωνο λειτουργούσε ως πομπός, αλλά η εκπομπή δεν ήταν “διαμορφωμένη” από ομιλία.

4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΠΕΔΙΟΥ ΑΠΟ ΚΙΝΗΤΟ ΤΗΛΕΦΩΝΟ



ΤΙΜΕΣ: 0,039 mW/cm^2 όταν το κινητό επικοινωνεί, αλλά ο χρήστης δεν ομιλεί (“μη διαμορφωμένη εκπομπή”),
 0,157 mW/cm^2 όταν το κινητό επικοινωνεί και ο χρήστης ομιλεί (“διαμορφωμένη εκπομπή”),
 0,415 mW/cm^2 όταν το κινητό επικοινωνεί και ο χρήστης ομιλεί (η τιμή μετρήθηκε σε διαφορετική τοποθεσία όπου το σήμα ήταν ασθενές κι έτσι το κινητό εκπέμπει σε μεγαλύτερη ισχύ).



Πειραματική διάταξη μέτρησης της έντασης πεδίου από κινητό τηλέφωνο. Διακρίνεται αριστερά ο σφαιρικός ανιχνευτής και το κινητό τηλέφωνο με την κεραία του σε απόσταση 2 εκατοστών από τον ανιχνευτή. Δεξιά διακρίνεται το όργανο μέτρησης που δείχνει τιμή $0,207 \text{ mW/cm}^2$ σε κατάσταση ομιλίας.

Κεφάλαιο 5

5. Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από το δίκτυο του ηλεκτρικού ρεύματος

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

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

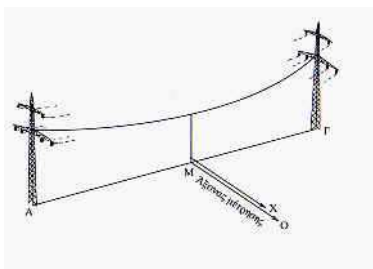
Ενώ παράλληλα προτείνει:

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

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

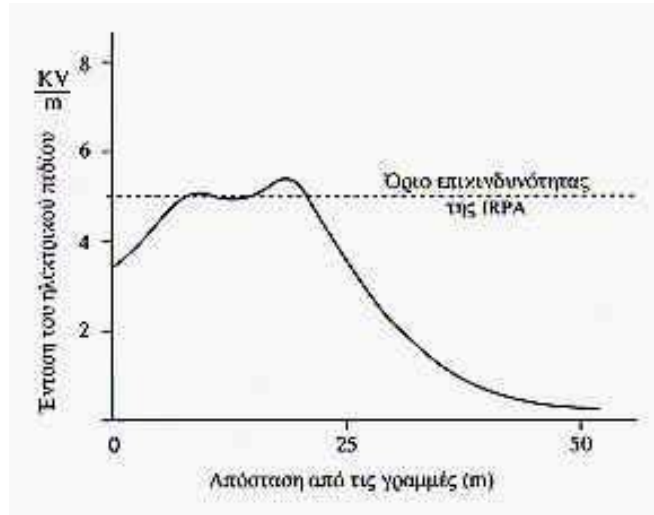
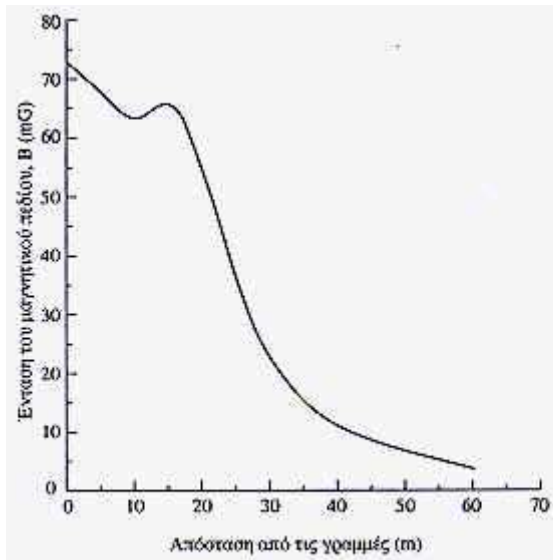
5.1 ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΚΑΛΩΔΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

Δυστυχώς, τα καλώδια υψηλής τάσης (πυλώνες) έχουν αποδειχθεί σχεδόν επικίνδυνα όσον αφορά την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για τον άνθρωπο. Αυτό φάνηκε σε μετρήσεις που έγιναν σε πλήθος γραμμών, όπου φάνηκε ότι το ηλεκτρικό πεδίο (E) στο μέσο της απόστασης δύο διαδοχικών πυλώνων



παίρνει τιμές ίσες ή και μεγαλύτερες από το όριο επικινδυνότητας και κατά συνέπεια πολύ μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας (σύμφωνα με τα προτεινόμενα όρια της αμερικανικής επιτροπής NCRP). Όσο

για το μαγνητικό πεδίο (B) στο ίδιο σημείο, τα πράγματα είναι καλύτερα, αφού οι τιμές που παίρνει είναι πολύ μικρότερες από το όριο επικινδυνότητας για τα 50Hz αλλά και μεγαλύτερες από το όριο ασφαλείας των 2mG. Σαν συμπέρασμα καταλήγουμε στο ότι ο άνθρωπος δέχεται υπερβολική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για την υγεία του σε απόσταση κάτω των 30 μέτρων από τις γραμμές υψηλής τάσης, ενώ ασφαλής απόσταση θεωρούνται τα 200 μέτρα. Τα συμπεράσματα αυτά απεικονίζονται στα παρακάτω διαγράμματα:



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

Κεφάλαιο 6

6. Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από κεραίες ραντάρ

Τα ραντάρ, γενικά, δεν επηρεάζουν μεγάλη μερίδα κόσμου, αλλά κυρίως ανθρώπους που εργάζονται σε αυτά ή κοντά σε αυτά, με εξαιρέσεις κάποιες παράνομα τοποθετημένες ιδιωτικές κεραίες ή σταθμούς οποιουδήποτε είδους οι οποίες είναι εγκατεστημένες σε κατοικημένες περιοχές. Όλα τα ραντάρ δεν συγκαταλέγονται σε μια γενική κατηγορία, αφού υπάρχουν πολλά είδη τα οποία διαφέρουν όσον αφορά την ηλεκτρομαγνητική εκπομπή τους.

6.1 ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΑ ΡΑΝΤΑΡ

- Ραντάρ έρευνας: Τα όρια επικινδυνότητας Ανατολής - Δύσης διαφέρουν όσον αφορά αυτού του τύπου τα ραντάρ, με αποτέλεσμα η πυκνότητα ισχύος τους σε απόσταση 250m να είναι πολύ μικρότερη από τα «Δυτικά» όρια, αλλά μεγαλύτερη από τα «Ανατολικά». Όσον αφορά όμως το εγγύς πεδίο, δεν μπορούμε να έχουμε σύγκριση τιμών αφού η πυκνότητα ισχύος υπολογίζεται με προσεγγιστικές μεθόδους μόνο. Παρ' όλα αυτά, η έκθεση ενός ανθρώπου στο εγγύς πεδίο δεν μπορεί να θεωρηθεί σε καμία περίπτωση ασφαλής.
- Ραντάρ επιτήρησης στρατηγικών χώρων: Το εκπεμπόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο αυτών των ραντάρ σε απόσταση 100m από τον πομπό έχει πυκνότητα ισχύος περίπου 4 φορές μεγαλύτερη των Δυτικών ορίων επικινδυνότητας και κατά συνέπεια πολύ μεγαλύτερη των Ανατολικών ορίων.

Σαν συμπέρασμα βλέπουμε ότι τα στρατιωτικά ραντάρ είναι επικίνδυνα όσον αφορά τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, αλλά δεν μπορούν να θεωρηθούν επιβαρυντικά για τον γενικό πληθυσμό, αφού βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές και το προσωπικό το οποίο εργάζεται σε αυτά είναι άκρως εκπαιδευμένο.

6.2 ΡΑΝΤΑΡ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ

Η μέση πυκνότητα ισχύος που εκπέμπουν τα σύγχρονα ελληνικά τερματικά σε απόσταση άνω των 500 μέτρων (μακρινό πεδίο), παίρνει τιμές μικρότερες όλων των ορίων. Οι αντίστοιχες τιμές στο εγγύς πεδίο πρέπει βέβαια να είναι πολύ μεγαλύτερες, αλλά όπως είπαμε παραπάνω δεν μπορούν να συγκριθούν με τα όρια επικινδυνότητας.

Όσον αφορά την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τα τερματικά αυτά, μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα εάν:

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

Έτσι, βλέπουμε ότι είναι πρακτικά αδύνατο μονάδες πληθυσμού να βρεθούν στη διεύθυνση μέγιστης ισχύος και κατά συνέπεια ο κίνδυνος από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι ελάχιστος έως ανύπαρκτος.

Μάλιστα, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι οι τιμές που παίρνει η πυκνότητα ισχύος σε συγκεκριμένα σημεία με το ραντάρ ανοικτό και έπειτα κλειστό, είναι οι ίδιες.

Κεφάλαιο 7

7. Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από τις οικιακές συσκευές

Η ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από τις οικιακές συσκευές είναι κάτι που μας αφορά άμεσα όλους, αφού είναι κάτι στο οποίο εκτιθέμεθα καθημερινά για πολύ χρόνο. Το φάσμα συχνοτήτων το οποίο καλύπτουν οι οικιακές συσκευές στο σύνολό τους είναι μεγάλο. Αρχίζει από τα 50 Hz και επεκτείνεται ως και την ζώνη των GHz. Από μετρήσεις που έχουν γίνει με πεδιόμετρα σε διάφορα σημεία μίας κατοικίας βλέπουμε ότι το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο ενός σπιτιού κυμαίνεται σε επίπεδα κάτω από το όριο ασφαλείας, εκτός από συγκεκριμένα σημεία όπως απάνω στους τοίχους (λόγω του δικτύου παροχής ρεύματος) ή δίπλα από ηλεκτρικές συσκευές. Οι οικιακές συσκευές που αξίζουν ιδιαίτερης μελέτης είναι οι οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών και οι τηλεοράσεις. Οι συσκευές αυτές είναι οι πιο πολύπλοκες όσον αφορά την συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου το οποίο εκπέμπουν, αφού έχουμε συνολικά τρεις περιοχές συχνοτήτων:

- Πεδία συχνοτήτων VLF: Παράγονται από τον μετασχηματιστή υψηλής τάσης (20.000 Volts), στη συχνότητα 15 - 20 kHz.
- Πεδία συχνοτήτων RF (ραδιοσυχνότητες): Πέραν της κεντρικής συχνότητας του μετασχηματιστή έχουμε την δημιουργία αρμονικών συχνοτήτων λόγω οξύτατων παλμών του ίδιου του μετασχηματιστή, της τάξεως των 300 kHz - 10 GHz.
- Ραδιενέργεια (που αποτελούσε σημαντικό πρόβλημα όταν πρωτοεμφανίστηκε η τηλεόραση, το οποίο σήμερα έχει σχεδόν εξαλειφθεί) από την οθόνη, ιονίζουσας συχνότητας, πέραν της συχνότητας του ορατού.

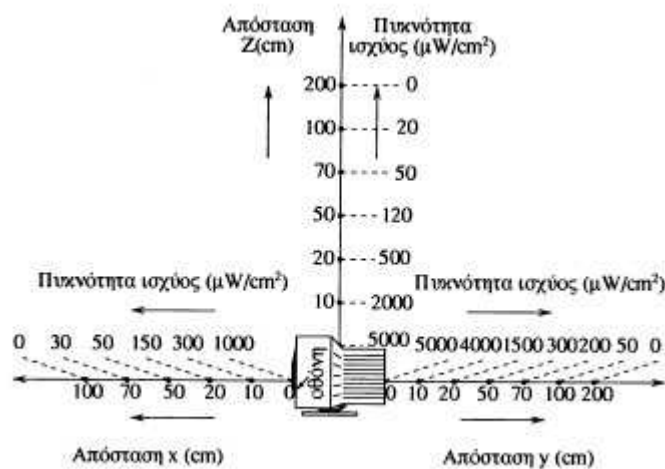
7.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Οι τιμές του ηλεκτρικού και προπαντός του μαγνητικού πεδίου των ηλεκτρικών οικιακών συσκευών παίρνουν πολύ μεγάλες τιμές σε επαφή με αυτές, που, μερικές φορές, ξεπερνούν το όριο επικινδυνότητας για 24ωρη έκθεση. Δεν πρέπει να υπάρχει όμως ανησυχία αφού ο χρήστης δεν έρχεται σχεδόν ποτέ σε επαφή με τέτοιου είδους οικιακές συσκευές (σεσουάρ, ξυριστική μηχανή, ανοιχτήρια κονσέρβας, ηλεκτρικά πριόνια κ.α.) και η χρήση τους είναι χρονικά περιορισμένη. Στη συνήθη απόσταση του χρήστη από τις συσκευές αυτές και ιδιαίτερα για το κεφάλι του, τα πεδία, ηλεκτρικά και μαγνητικά, είναι πολύ μικρότερα ακόμα και των ορίων ασφαλείας. Πεδία μεγαλύτερα από τα όρια ασφαλείας στην απόσταση του χρήστη δημιουργούν μερικά μοντέλα συσκευών, όπως: πιστολάκια μαλλιών, ηλεκτρική ξυριστική μηχανή, μίξερ, ηλεκτρική κουζίνα, φούρνος μικροκυμάτων, σκουπιδοφάγος, ηλεκτρική σκούπα, τρυπάνια, πριόνια ηλεκτρικά, επιτραπέζιοι λαμπτήρες φθορισμού. Ειδικά για το φούρνο μικροκυμάτων πρέπει να προστεθεί ότι εκτός από τα πεδία συχνότητας 50Hz του

δικτύου, εκπέμπει και ραδιοκύματα συχνότητας 2450MHz. Μετρήσεις έδειξαν ότι σε επαφή με το τζάμι, η πυκνότητα ισχύος των μικροκυμάτων κυμαίνεται από $180-700\mu\text{W}/\text{cm}^2$, ενώ σε απόσταση μισού μέτρου είναι μικρότερη και από το “ανατολικό” όριο επικινδυνότητας του $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Καλύτερα λοιπόν να τηρείται αυτή η απόσταση ασφαλείας και ο φούρνος να μην είναι προσιτός από τα μικρά παιδιά. Ακόμη οι φούρνοι αυτοί συνιστώνται περισσότερο για θέρμανση φαγητού παρά για μαγείρεμα και ο λόγος είναι ότι οι ζωικοί ιστοί απορροφούν διαφορετικά, όπως είδαμε, την μικροκυματική ακτινοβολία και έτσι κάποια μέρη των κρεάτων να μην ψήνονται σωστά με κίνδυνο διατήρησης παθογόνων μικροοργανισμών (π.χ. σαλμονέλα).

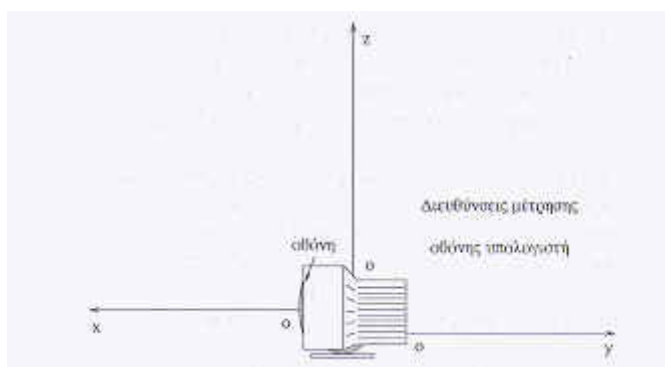
7.2 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΗΛΕΟΡΑΣΕΩΝ

Από μετρήσεις που έγιναν με ειδικά όργανα συμπεραίνουμε ότι το μαγνητικό πεδίο γύρω από μια τυπική έγχρωμη τηλεόραση είναι κάτω από τα όρια επικινδυνότητας, με αποτέλεσμα μία απόσταση μεγαλύτερη του μισού μέτρου να μπορεί να θεωρηθεί απόλυτα ασφαλής για τον άνθρωπο. Δυστυχώς, δεν συμβαίνει το ίδιο και με τις τιμές πυκνότητας ισχύος, αφού μετρώντας την επάνω στην συσκευή, βλέπουμε ότι είναι πολύ μεγαλύτερη από όλα τα όρια επικινδυνότητας. Γενικά όμως, μπορούμε να πούμε ότι μια απόσταση μεγαλύτερη των 2 μέτρων θα παρέχει την απαιτούμενη ασφάλεια. Οι μετρήσεις που έγιναν απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα:



7.3 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΘΘΟΝΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Οι οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών δεν μπορούν να θεωρηθούν όλες στην ίδια κατηγορία, αφού ο βαθμός θωράκισης του κάθε μοντέλου διαφέρει (η θωράκιση υπάρχει αφού ο χρήστης ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι αναγκασμένος να κάθεται πολύ κοντά στην οθόνη). Επομένως είναι αναμενόμενο οι τιμές του μαγνητικού πεδίου αλλά και της πυκνότητας ισχύος να είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες μίας τηλεόρασης. Οι μετρήσεις που φαίνονται στο παρακάτω πίνακα είναι τιμές ανάμεσα στις οποίες κινούνται πλήθος μοντέλων του εμπορίου:



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

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι:

- Κάθε χρήστης πρέπει να εργάζεται σε απόσταση από την οθόνη μεγαλύτερη των 50 cm.
- Καλό θα ήταν ο κάθε χρήστης να καθαρίζει την οθόνη του ή να την μετακινεί όταν αυτή είναι σβηστή
- Είναι σχεδόν απαγορευτικό για τον οποιονδήποτε να κάθεται πίσω από αναμμένη οθόνη.

Κεφάλαιο 8

8. Ηλεκτρομαγνητική επιβάρυνση από την κινητή τηλεφωνία

Το κινητό τηλέφωνο αποτελεί ένα από τα επιτεύγματα της σύγχρονης τεχνολογίας των τηλεπικοινωνιών που έχει αναδειχθεί σε είδος πρώτης επιλογής από τους καταναλωτές. Οι λόγοι είναι πολλαπλοί, με κυριότερο εκείνον της εύκολης και άμεσης επικοινωνίας για λόγους επαγγελματικούς, κοινωνικούς αλλά και ψυχαγωγίας. Η εξάπλωση είναι τόσο μεγάλη που υπολογίζεται ότι σε πολλές χώρες αντιστοιχεί ένα κινητό τηλέφωνο για κάθε τρεις κατοίκους.

Έχει επισημανθεί εδώ και αρκετά χρόνια, από τους επιστήμονες τους σχετικούς με τις επιπτώσεις της ακτινοβολίας που προέρχεται από ραδιοσυχνότητες, ο κίνδυνος των δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία όσων εκτίθενται σε αυτές. Όμως επειδή είναι δύσκολη η άμεση απόδειξη των επιπτώσεων αυτών το θέμα παραμένει ανοιχτό, με τις Εταιρίες (κατασκευαστικές κινητών τηλεφώνων και παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας) να υποστηρίζουν ότι τηρούνται τα όρια ασφαλείας που έχουν θεσπιστεί και τους ερευνητές να επιμένουν (στην πλειοψηφία τους), ότι υπάρχουν ποικίλες επιπτώσεις στους χρήστες κινητών τηλεφώνων.

Θα επιχειρήσουμε να παρουσιάσουμε το θέμα όσο πιο αντικειμενικά γίνεται χωρίς να αδικούμε την προσφορά της κινητής τηλεφωνίας στη βελτίωση της ποιότητας ζωής του σύγχρονου ανθρώπου αλλά και χωρίς να αγνοούμε τις πιθανές (και πολλές φορές ανιχνεύσιμες) βιολογικές επιπτώσεις που έχει αυτού του είδους η ακτινοβολία.

Η κινητή τηλεφωνία στη χώρα μας χρησιμοποιεί δύο περιοχές συχνοτήτων (βλέπε [σχήμα 4](#)): την περιοχή των 900 μεγακύκλων (MHz), οι εταιρείες PANAFON και TELESTET και την περιοχή των 1800 μεγακύκλων η εταιρεία COSMOTE.

Περιοχές συχνοτήτων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

0-20.000 HZ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛ. ΡΕΥΜΑΤΟΣ, ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

20kHz-100 kHz ΥΠΕΡΗΧΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

100 kHz-30 MHz ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ, ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

30 MHz-300 MHz ΣΤΑΘΜΟΙ FM, ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ, ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ VHF

0,3 GHz- 3 GHz ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ UHF, ΦΟΥΡΝΟΙ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ, **ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ**

3 GHz – 300 GHz ΡΑΝΤΑΡ, ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

>300 GHz ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

ΟΡΑΤΟ ΦΑΣΜΑ

ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

ΑΚΤΙΝΕΣ – X

ΑΚΤΙΝΕΣ -γ

ΚΟΣΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Οι συχνότητες της κινητής τηλεφωνίας, σε σχέση με τις άλλες συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, εντάσσονται στην ευρύτερη περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων μαζί με τις συχνότητες της

ραδιοφωνίας της τηλεόρασης και των συστημάτων ραντάρ. Τα χαρακτηριστικά των ραδιοσυχνοτήτων είναι η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ΗΜΑ) με συγκεκριμένες ιδιότητες.

8.1 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΕΡΑΙΩΝ ΒΑΣΗΣ

Η κεραία σταθμού βάσης εκπέμπει το μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος της οριζοντίως (κάθετα στο μεγάλο άξονα της κεραίας) και ελάχιστο ποσοστό κατακόρυφα. Κατά τη διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας, οι τιμές της πυκνότητας ισχύος γίνονται μικρότερες από όλα τα όρια επικινδυνότητας πέρα από απόσταση των 50 μέτρων.

Ύστερα από μετρήσεις σε σταθμούς βάσης σε απόσταση μόλις 10 μέτρων που έγιναν στην Ελλάδα και που απεικονίζουν την χειρότερη περίπτωση έκθεσης έχουμε τα εξής συμπεράσματα: Η μέγιστη μετρηθείσα πυκνότητα πεδίου βρέθηκε μικρότερη από το όριο προστασίας. Παρομοίως, εφαρμόζοντας και το συντελεστή έκθεσης από πολλαπλές πηγές, υπολογιστήκανε τιμές που είναι μικρότερες της μονάδας. Αφού λοιπόν στην ακραία περίπτωση απευθείας έκθεσης, σε απόσταση μόλις 10 μέτρων από την κεραία εκπομπής, το πεδίο αναπτύσσεται εντός ορίων επικινδυνότητας, τότε είναι εύκολα αντιληπτό, λαμβάνοντας υπόψη και τη σχέση διάδοσης σε ελεύθερο χώρο όπου το πεδίο αποσβέννεται με ρυθμό αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της αποστάσεως, ότι σε οποιοδήποτε άλλο σημείο πέραν της αποστάσεως των 10 μέτρων το πεδίο παίρνει τιμές σαφώς μικρότερες. Αυτό διαπιστώνεται και από τις μετρήσεις που έγιναν σε σχολεία της περιοχής του Ν. Ψυχικού όπου απείχαν από τις κεραίες εκπομπής από 20 έως 100 μέτρα περίπου και με ποικίλους προσανατολισμούς ως προς αυτές.

Συμπέρασμα: Η επιβάρυνση του πληθυσμού από την ακτινοβολία κεραιών σταθμών βάσης GSM μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουν και οι πιο πρόσφατες μελέτες που έγιναν από τους καθηγητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Ν. Ουζούνογλου και Κ. Νικήτα στα πλαίσια ερευνητικού ευρωπαϊκού προγράμματος (CEPHOS) με σκοπό την κατάρτιση προτύπων για συσκευές κινητής τηλεφωνίας.

8.2 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΦΟΡΗΤΩΝ (ΚΙΝΗΤΩΝ) ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ

Ενώ υπάρχει γενική παραδοχή από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα ότι η ακτινοβολία των κεραιών των σταθμών βάσης GSM έχει ασήμαντη επίδραση στην υγεία του ανθρώπου, διαφορετική εμφανίζεται η εικόνα όσον αφορά στην ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων.

Πρώτη ανησυχία για την πιθανή επικινδυνότητα των κινητών τηλεφώνων ξέσπασε το 1993. Κάποιος μιλώντας σε γνωστή εκπομπή του CNN ισχυρίστηκε ότι ο θάνατος της γυναίκας του από καρκίνο του εγκεφάλου προκλήθηκε από χρήση κινητού τηλεφώνου. Ο θόρυβος που προκλήθηκε από τα ΜΜΕ μείωσε τότε σημαντικά την τιμή των μετοχών των εταιριών κινητής τηλεφωνίας. Τότε ανακοινώθηκε ότι μέχρι στιγμής οι επιστημονικές έρευνες δεν έχουν αποδείξει σύνδεση του καρκίνου

του εγκεφάλου με την ακτινοβολία του φορητού τηλεφώνου και συνεπώς δεν υπάρχει λόγος λήψης πρόσθετων μέτρων ασφαλείας πέραν των ισχυόντων.

Ισχύοντα μέτρα προστασίας:

α) Για ολόσωμη 24ωρη έκθεση (γενικός πληθυσμός) όριο επικινδυνότητας είναι τα $0,6 \text{ mW/cm}^2$ ή $600 \mu\text{W/cm}^2$ και ως μέγιστο επιτρεπόμενο Ειδικό Ρυθμό Απορρόφησης (SAR) τα $0,8 \text{ W/kg}$.

β) Όταν η έκθεση είναι τοπική όπως και στα κινητά, υπερβάσεις των ορίων αυτών επιτρέπονται αν μπορεί να αποδειχθεί ότι ο SAR είναι μικρότερος από $1,6 \text{ W/kg}$ κατά μέσον όρο για κάθε γραμμάριο (1gr) οποιουδήποτε ιστού της κεφαλής.

γ) Οι πομποί συχνοτήτων 450-1500 MHz θεωρούνται ασφαλείς αν η ισχύς εκπομπής τους είναι μικρότερη από $1,4 (450/f)$, όπου f η συχνότητα σε MHz). Έτσι, το φορητό του GSM ($f=900\text{MHz}$), μπορεί να θεωρηθεί ασφαλές αν η ισχύς του είναι μικρότερη από $0,7 \text{ Watts}$ και εφόσον, σύμφωνα με την οδηγία, απέχει από το σώμα απόσταση μεγαλύτερη από $2,5 \text{ cm}$.

- Η ισχύς εκπομπής των κινητών του GSM στην Ελλάδα είναι 2 W .
- Οι περισσότεροι χρήστες χρησιμοποιούν το κινητό σε επαφή με το αυτί.

Οι επισημάνσεις αυτές είναι οι πρώτες στην προσπάθεια εκτίμησης του βαθμού επικινδυνότητας των φορητών τηλεφώνων του GSM.

Ο θεωρητικός υπολογισμός της πυκνότητας ισχύος στο περιβάλλον του κινητού τηλεφώνου για ισχύ εκπομπής $P=2 \text{ W}$, για τη διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας της κεραίας και για αποστάσεις από 5 μέχρι 20cm , δίνει τιμές από $10.000\mu\text{W/cm}^2$ μέχρι $650\mu\text{W/cm}^2$, που είναι πολύ μεγαλύτερες και των δυτικών ορίων επικινδυνότητας. Η σύγκριση όμως δεν είναι επιτρεπτή, επειδή τα όρια αυτά αφορούν ολόσωμη έκθεση ενώ η ακτινοβολία του κινητού εντοπίζεται μόνο στην κεφαλή.

Οι τιμές της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας του φορητού κυτταρικού τηλεφώνου GSM που προέκυψαν από τις μετρήσεις και τους θεωρητικούς υπολογισμούς, δεν μπορούν να αγνοηθούν. Για μια εγκυρότερη όμως εκτίμηση του βαθμού ασφαλείας των φορητών, πρέπει να υπολογιστεί ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης των μεμονωμένων ιστών της κεφαλής και να συγκριθεί με το όριο επικινδυνότητας των $1,6\text{W/kg}$ που θέτει η νέα οδηγία του IEEE C95.1-1991.

Ο Gandhi υπολόγισε ότι για να μειωθεί ο βαθμός απορρόφησης της ακτινοβολίας του κινητού σε όλους τους ιστούς της κεφαλής κάτω από το όριο επικινδυνότητας των $1,6\text{W/kg}$, θα πρέπει η ισχύς του κινητού τηλεφώνου να πέσει κάτω από $0,06\text{W}$.

Θεωρητικός υπολογισμός του SAR της ακτινοβολίας κινητού από το μάτι, το αυτί και τον εγκέφαλο με ισχύ εκπομπής φορητού 1W και για δύο θέσεις του φορητού ως προς το κεφάλι (κατακόρυφη και υπό κλίση 45°) σε απόσταση $0,5\text{cm}$ από αυτό, έδειξε τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα:

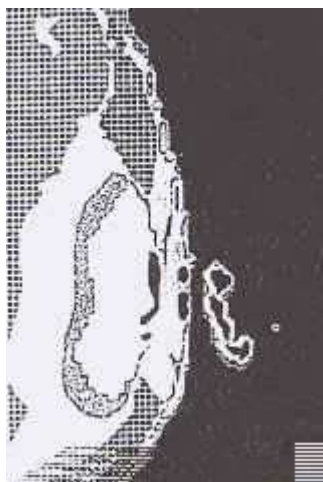
	Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης (W/kg)	
Είδος ιστού	Φορητό τηλέφωνο τοποθετημένο κατακόρυφα	Φορητό τηλέφωνο κεκλιμένο κατά 45° ως προς την κατακόρυφο
Μάτι	$1,82\text{W/kg}$	$2,48\text{W/kg}$

Εγκέφαλος	0,178W/kg	0,21W/kg
Αυτί	10,11W/kg	4,97W/kg

Οι τιμές που προκύπτουν είναι μεγάλες και υπερβαίνουν το όριο επικινδυνότητας των 1,6W/kg για μεμονωμένους ιστούς. Μεγαλύτερη εμφανίζεται, φυσιολογικά, η απορρόφηση από το αυτί, για κατακόρυφη θέση του κινητού, υπερβαίνοντας κατά 6 φορές περίπου το όριο επικινδυνότητας.

Ακόμη μεγαλύτερες τιμές του SAR αναμένονται για την ισχύ των 2W που εκπέμπουν τα κινητά του συστήματος GSM στην Ελλάδα!! Επομένως η ισχύς των φορητών κυτταρικών τηλεφώνων του GSM στην Ελλάδα πρέπει να μειωθεί κατ' αρχήν στα 0,5W, με μελλοντική προοπτική στα 0,25W.

Ωστόσο, οι μετρήσεις των προαναφερθέντων καθηγητών του ΕΜΠ για την απορρόφηση από το αυτί της Η/Μ ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τα κινητά των 0,5W ή 0,25W δίνει τα εξής αποτελέσματα:



Βαθμός διείσδυσης της ακτινοβολίας στους διάφορους ιστούς. Η λευκή κηλίδα δεξιά είναι η κεραία του κινητού. Ο μέγιστος βαθμός απορρόφησης αντιστοιχεί στις μαύρες κηλίδες κάτω από το δέρμα (άνω του ορίου), ενώ πέφτει γρήγορα προς το εσωτερικό του κρανίου.

<i>Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης (W/kg)</i>				
	Κεραία με κλίση 45° σε απόσταση 0,5cm από το αυτί		Κεραία κατακόρυφη σε απόσταση 0,5cm από το αυτί	
	1800MHz*	915MHz**	1800MHz*	915MHz**
0,5 W	1,5	2,4	4,5	5
0,25W	0,75	1,2	2,2	2,5

* Cosmote ** Telestet-Panafon

Κεφάλαιο 9

9. Υπολογιστική Δοσιμετρία

Η υπολογιστική δοσιμετρία υπολογίζει τη σχέση μεταξύ των εξωτερικών μη-διαταραγμένων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και των πεδίων που προκαλούνται (δημιουργούνται) μέσα στο σώμα. Αυτό παρέχει ένα δείκτη στην επιλογή των επιπέδων αναφοράς σε σχέση με τους βασικούς περιορισμούς. Οι υπολογιστικές τεχνικές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη συσχέτιση συγκεκριμένης τιμής ρυθμού ειδικής απορρόφησης (specific absorption rate, SAR) με την άνοδο της θερμοκρασίας μέσα στο σώμα, βοηθώντας με τον τρόπο αυτό να υποδειχθούν βασικοί περιορισμοί στο SAR, ώστε να αποφευχθούν δυσμενείς θερμικές επιδράσεις. Οι εξισώσεις του Maxwell περιγράφουν την αμοιβαία αλληλεπίδραση των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, και την αλληλεπίδρασή τους με τα υλικά στο χρόνο και στο χώρο. Η προσέγγιση στην παραγωγή των επιπέδων αναφοράς είναι να λυθούν αυτές οι εξισώσεις αριθμητικά σε ανατομικά ρεαλιστικά μοντέλα του σώματος καλής διακριτικής ικανότητας.

9.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

Τα ανατομικά ρεαλιστικά μοντέλα του σώματος προέρχονται συνήθως από δεδομένα ιατρικής απεικόνισης και αναφέρονται ως voxel (volume pixel) phantoms ή αριθμητικά ομοιώματα. Η δομή των αριθμητικών ομοιωμάτων είναι μία τρισδιάστατη σειρά από voxels ή στοιχεία όγκου, καθένα από τα οποία έχει μια ετικέτα προσδιορισμού που υποδεικνύει τον τύπο ιστού που περιέχεται σε αυτό ή τον περιβάλλοντα αέρα. Οι κύριες ερευνητικές ομάδες που εργάζονται στην ανθρώπινη δοσιμετρία για την ανάπτυξη αριθμητικών ομοιωμάτων που χρησιμοποιούνται στις οδηγίες έκθεσης βρίσκονται στο NRPB, το πανεπιστήμιο της Utah (ΗΠΑ), το πανεπιστήμιο της Victoria (Καναδάς) και τη Brooks Air Force Base (ΗΠΑ).

9.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Βιολογικές επιδράσεις ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ραδιοσυχνο-τήτων

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

μικροκυματικές ζεύξεις κ.λπ.. Στην περιοχή RF του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, η κβαντική ενέργεια δεν είναι ικανή να προκαλέσει χημικές μεταβολές και ιοντισμό στα βιολογικά υλικά και χαρακτηρίζεται ως μη-ιοντίζουσα. Η μη-ιοντίζουσα περιοχή εκτείνεται μέχρι την υπέρυθρη (Infrared, IR), την ορατή (Visible, VI) και την υπεριώδη (Ultraviolet, UV) ακτινοβολία, περίπου ως τη συχνότητα 8×10^{14} Hz. Η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με συχνότητα υψηλότερη από συχνότητα 8×10^{14} Hz, χαρακτηρίζεται ως ιοντίζουσα (ακτίνες X, ακτίνες γ, κ.λπ.), επειδή η κβαντική ενέργεια σε αυτή την περιοχή είναι αρκετή να προκαλέσει καταστροφή της ενδομοριακής δομής, διάσπαση διαμοριακών δεσμών και πρόκληση καρκινογενετικών φαινομένων στα βιολογικά συστήματα.

Είναι γνωστό ότι οι βιολογικοί ιστοί αποτελούνται από χημικές ενώσεις. Από ηλεκτρική άποψη τα μόρια τους εμφανίζονται ως ηλεκτρικά δίπολα. Κάτω από την επίδραση ισχυρού εξωτερικού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, τα δίπολα τείνουν να προσανατολιστούν κατά τη φορά του ηλεκτρικού πεδίου, και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ταλάντωση των μορίων. Στη συνέχεια, η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα. Σύμφωνα με τη γενικά παραδεκτή άποψη για την αλληλεπίδραση των υψίσυχων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με τους βιολογικούς οργανισμούς, η παρουσία του ηλεκτρικού πεδίου αυξάνει την κινητική ενέργεια κυρίως των μορίων νερού, με αποτέλεσμα τη μεταφορά ενέργειας από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στους ιστούς των βιολογικών οργανισμών. Εξαιτίας αυτής της αλληλεπίδρασης, παρουσιάζεται αύξηση της θερμοκρασίας είτε τοπικά ή ακόμη και συνολικά σε όλο το ανθρώπινο σώμα. Τα φαινόμενα που σχετίζονται με αυτό το μηχανισμό αλληλεπίδρασης ονομάζονται «θερμικά».

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

Πιο συγκεκριμένα, οι νόμοι που καθορίζουν την αύξηση της θερμοκρασίας μέσα σε βιολογικούς ιστούς εξαιτίας της έκθεσης σε RF κύματα αναλύονται στη συνέχεια.

1) Απορρόφηση ισχύος ανά μονάδα μάζας βιολογικού ιστού

Η απορρόφηση ισχύος ανά μονάδα μάζας ιστού είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που αναπτύσσεται στη θέση που μελετάται. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται «Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης» (Specific Absorption Rate, SAR), εκφράζεται σε μονάδες ισχύος ανά μονάδα μάζας ιστού (W/kg), και υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$SAR = \sigma \frac{|E|^2}{\rho} \quad (1)$$

όπου σ (Si/m) η ηλεκτρική αγωγιμότητα του ιστού, ρ (kg/m³) η πυκνότητα μάζας του ιστού και

$|E|(V/m)$ η ενεργή τιμή του ηλεκτρικού πεδίου.

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

2) Θερμική αντίδραση βιολογικών ιστών

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

Ερευνητικά αποτελέσματα

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

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

Εργαστηριακές μελέτες

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

Καταρρακτογένεση

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

Μικροκυματικό ακουστικό φαινόμενο

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

Επιδράσεις στο νευρικό σύστημα

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

Επιδράσεις σε κυτταρικό επίπεδο

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

Επιδημιολογικές μελέτες

Οι επιδημιολογικές μελέτες σε ανθρώπινο πληθυσμό που εκτίθεται επαγγελματικά σε RF πεδία είναι περιορισμένες σε αριθμό και σε ποιότητα, αναφέρονται δε κυρίως σε εργαζόμενους σε στρατιωτικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Έχει περιγραφεί ότι άτομα που εκτίθενται επαγγελματικά σε μικροκυματική ακτινοβολία παρουσιάζουν σύνολο υποκειμενικών εκδηλώσεων που χαρακτηρίζεται σαν «σύνδρομο μικροκυμάτων» και περιλαμβάνει πονοκέφαλο, ναυτία, ζάλη, κόπωση, διαταραχές ύπνου. Μερικές μελέτες αναφέρουν υψηλότερο κίνδυνο καρκίνου για επαγγέλματα στα οποία συνυπάρχουν έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και χημικοί παράγοντες.

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

Ο καρκίνος του εγκεφάλου χρειάζεται χρόνια ή ακόμα και δεκάδες χρόνια για να αναπτυχθεί. Η ανίχνευση μικρού ή μακροπρόθεσμου κινδύνου ανάπτυξης καρκίνου είναι εξαιρετικά δύσκολη. Η ανίχνευση μικρής αύξησης του κινδύνου απαιτεί μεγάλης κλίμακας έρευνες που παρουσιάζουν δυσκολίες στον έλεγχό τους και συχνά είναι δύσκολη η ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους. Επιπλέον,

μια έγκυρη μελέτη οφείλει να αξιολογεί τη χρήση φορητού τηλεφώνου από τα άτομα που συμπεριλαμβάνονται στη μελέτη για μια δεκαετία ή περισσότερο, γεγονός που δυσχεραίνεται από τη ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη στη βιομηχανία κυτταρικών επικοινωνιών.

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

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

Ομάδες αυξημένου κινδύνου

Αυξημένη ευαισθησία κατά την έκθεση σε μη ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε σχέση με το μέσο πληθυσμό μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή θερμορυθμιστική λειτουργία και στην παρουσία εμφυτευμένων ιατρικών συσκευών. Εμφυτευμένες μεταλλικές συσκευές έχουν σαν αποτέλεσμα την τοπική αύξηση της απορροφούμενης ισχύος, με συνέπεια τη θέρμανση των γύρω βιολογικών ιστών. Τέτοιες συσκευές είναι ορθοπεδικές μεταλλικές συσκευές, μεταλλικές καρδιακές βαλβίδες καθώς και εμφυτευμένα συστήματα χορήγησης φαρμάκων, όπως ινσουλίνης, που περιέχουν μεταλλικά μέρη. Για άλλες εμφυτευμένες συσκευές, όπως οι καρδιακοί βηματοδότες και τα κοχλιακά εμφυτεύματα, το κυριότερο πρόβλημα προκύπτει από φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής. Σύμφωνα με μελέτη του ανεξάρτητου οργανισμού για την Έρευνα Ασύρματων Επικοινωνιών (Wireless Technology Research, WTR), μερικοί τύποι βηματοδοτών είναι ευαίσθητοι σε εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία, και γι' αυτό άνθρωποι που φέρουν εμφυτευμένο βηματοδότη, πρέπει να κρατούν το φορητό τηλέφωνο, ακόμη και όταν βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής, σε απόσταση τουλάχιστον 15 cm από το βηματοδότη.

9.3 ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΟΥΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Σε όλο τον κόσμο, διεθνείς οργανισμοί και χώρες έχουν προχωρήσει στη σύσταση ορίων ασφαλείας για την έκθεση σε μη-ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το 1974 η Διεθνής Επιτροπή Ακτινοπροστασίας (International Radiation Protection Association, IRPA) συνέστησε ομάδα εργασίας για τη μελέτη προβλημάτων που σχετίζονται με τη μη-ιοντίζουσα ακτινοβολία, σε συνεργασία με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (World Health Organization, WHO). Το 1992 δημιουργήθηκε ανεξάρτητη επιστημονική επιτροπή, η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP), με σκοπό την παρακολούθηση όλων των επιστημονικών ερευνών και την αντικειμενική εξέτασή τους για την

καθιέρωση οδηγιών σχετικά με τα όρια ασφαλούς έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι πιο πρόσφατες οδηγίες της ICNIRP δημοσιεύθηκαν το 1998 και έχουν υιοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CENELEC (Commitee European de Normalisation Electrotechnique) και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατά τη σύνταξη του ισχύοντος προτύπου για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Στις ΗΠΑ, τα όρια ασφαλείας για την έκθεση σε RF ακτινοβολία βασίζονται στις οδηγίες του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) και έχουν υιοθετηθεί από το Αμερικανικό Ινστιτούτο Τυποποίησης (American National Standards Institute, ANSI).

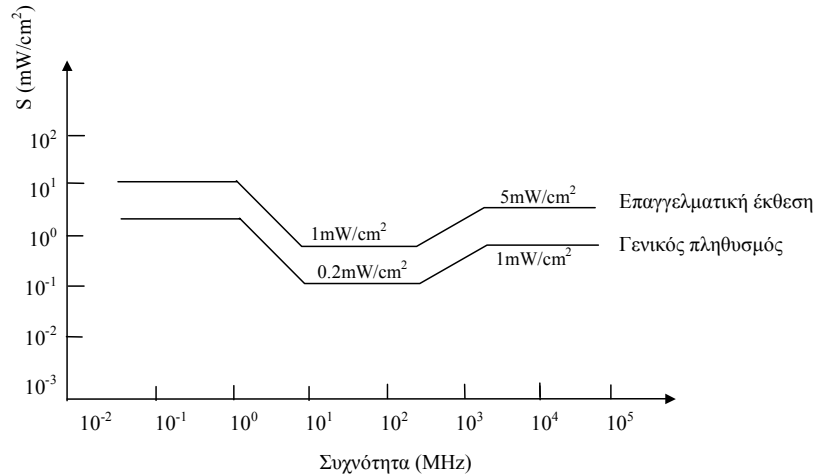
Σε συχνότητες υψηλότερες του 1 MHz, η θέσπιση ορίων ασφαλούς έκθεσης βασίζεται αποκλειστικά στα θερμικά αποτελέσματα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Το βασικό μέγεθος για την ποσοτικοποίηση των θερμικών επιδράσεων είναι ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης. Η θέσπιση ορίων ασφαλείας από τη CENELEC και άλλες επιτροπές τυποποίησης για ολόσωμη έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει βασιστεί στην πρόληψη διαταραχών στη συμπεριφορά που παρατηρούνται σε ζώα κατά την έκθεση τους σε χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας. Ο όρος «διαταραχές συμπεριφοράς» αναφέρεται στην τάση των ζώων να σταματούν την εκτέλεση μιας πολύπλοκης γνωσιακής λειτουργίας όταν εκτίθενται σε ορισμένη ποσότητα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Πρόκειται για θερμική επίδραση που παρατηρείται για Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης ίσο με 4 W/kg σωματικού βάρους, υπολογισμένο ως μέση τιμή σε ολόκληρο το σώμα. Θέτοντας ένα συντελεστή ασφαλείας ίσο με 10, καθορίστηκε η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης για τον άνθρωπο (επαγγελματική έκθεση) σε 0.4 W/kg και θέτοντας έναν επιπλέον συντελεστή ασφαλείας ίσο με 5 για το γενικό πληθυσμό καθορίστηκε αντίστοιχη μέγιστη τιμή του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης ίση με 0.08 W/kg, υπολογισμένη ως μέση τιμή για ολόκληρο το σώμα και για χρονικό διάστημα μέτρησης 6 min (Πίνακας 2). Με παρόμοιο σκεπτικό, προκύπτουν αντίστοιχα όρια για έκθεση μέρους του σώματος σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Πίνακας 2).

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

$$S = \frac{|E|^2}{Z_0} = Z_0 |H|^2 \quad (2)$$

όπου $|E|$ (V/m) η ενεργή τιμή του ηλεκτρικού πεδίου, $|H|$ (A/m) η ενεργή τιμή του μαγνητικού πεδίου και $Z_0 = 377 \Omega$ η κυματική αντίσταση του ελευθέρου χώρου. Επομένως, αρκεί η γνώση ενός από τα μεγέθη: ηλεκτρικό πεδίο, μαγνητικό πεδίο, πυκνότητα ισχύος του προσπίπτοντος κύματος, για

τον υπολογισμό των υπολοίπων δύο. Αυτό ισχύει μόνο στο μακρινό πεδίο, όπου το ηλεκτρομαγνητικό κύμα έχει τα χαρακτηριστικά επίπεδου κύματος -τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους και προς τη διεύθυνση διάδοσης και το κύμα εξασθενεί εκθετικά με την απόσταση. Τα όρια της πυκνότητας ισχύος για την αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία εξαιτίας της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παρουσιάζονται στο Σχ. 9. 1.



Σχ. 9.1: Πυκνότητα ισχύος (S) - Όρια ασφαλούς έκθεσης για τους εργαζόμενους και για το γενικό πληθυσμό.

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

9.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

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

Υπολογιστικές τεχνικές

Για τον υπολογισμό της κατανομής της απορροφούμενης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος από βιολογικούς ιστούς, χρησιμοποιούνται αναλυτικές μέθοδοι και γενικές αριθμητικές τεχνικές προσομοίωσης. Οι αναλυτικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση απλοποιημένων μοντέλων βιολογικών ιστών, όπως ομογενείς ή στρωματοποιημένες κανονικές (επίπεδες, κυλινδρικές, σφαιρικές) γεωμετρίες. Ακόμη η ανάλυση της έκθεσης στο μακρινό πεδίο πηγών, όπου η φύση του

ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι σχετικά απλή επιτρέπει την εφαρμογή αναλυτικών τεχνικών. Η εφαρμογή γενικών αριθμητικών τεχνικών (μέθοδος ροπών, μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων, μέθοδος πεπερασμένων διαφορών) επιτρέπει την ανάλυση πολύπλοκων ρεαλιστικών μοντέλων βιολογικών ιστών με ανομοιογένειες, ενώ είναι δυνατή η προσομοίωση σύνθετων ηλεκτρομαγνητικών πηγών. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να ληφθεί υπόψη η πολύπλοκη φύση του κοντινού πεδίου και η αλληλεπίδραση μεταξύ του βιολογικού αντικειμένου και της πηγής.

Πειραματικές τεχνικές

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

Μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου

Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης σε ομοίωμα βιολογικού ιστού που εκτίθεται σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, δίνεται από την (1). Το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να μετρηθεί άμεσα, χρησιμοποιώντας γραμμική κεραία (δίπολο), μικρών διαστάσεων σε σχέση με το μήκος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο ομοίωμα και απλό φωρατή, αποτελούμενο από μικροκυματική δίοδο και πυκνωτή. Η διπολική κεραία τοποθετείται στη θέση στην οποία επιθυμείται η μέτρηση του πεδίου. Αν η RF τάση εισόδου στο κύκλωμα του φωρατή είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του μέτρου της συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου που είναι παράλληλη στον άξονα της κεραίας, το σήμα εξόδου είναι μια συνεχής τάση (DC), η οποία θα είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του μέτρου του ηλεκτρικού πεδίου που είναι παράλληλο στον άξονα της κεραίας. Όταν η πόλωση του ηλεκτρικού πεδίου είναι άγνωστη, πρέπει να χρησιμοποιηθούν διάφοροι προσανατολισμοί διπόλων ή περισσότερα δίπολα για τη μέτρηση του συνολικού ηλεκτρικού πεδίου.

Οι κύριες απαιτήσεις από έναν αισθητήρα μέτρησης πεδίου είναι:

- Γραμμική απόκριση σ' ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων
- Ισοτροπία σε διαφορετικά μέσα
- Μικρό μέγεθος
- Όσο το δυνατόν μικρότερη πρόκληση διαταραχής στο μετρούμενο ηλεκτρικό πεδίο
- Υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα
- Υψηλή ευαισθησία

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

Θερμιδομετρική τεχνική

Η θερμιδομετρική τεχνική αποτελεί εναλλακτική τεχνική μέτρησης του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης και βασίζεται στη μέτρηση του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας μέσα σε ομοίωμα

βιολογικού ιστού κατά την επιβολή υψηλής ισχύος για σύντομο χρονικό διάστημα. Ο Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (SAR) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τη σχέση

$$SAR(W/kg) = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (3)$$

που αποτελεί προσεγγιστική έκφραση της εξίσωσης μεταφοράς θερμότητας,

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{k}{\rho c} \nabla^2 T = \frac{SAR}{c} \quad (4)$$

όπου ρ η πυκνότητα μάζας ομοιώματος βιολογικού ιστού (kg/m^3), c η ειδική θερμότητα υλικού ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$), k η θερμική αγωγιμότητα υλικού ($\text{W/m}^\circ\text{C}$), ΔT η αύξηση θερμοκρασίας ($^\circ\text{C}$), Δt η διάρκεια παλμού ισχύος (sec).

Αυτή η προσέγγιση ισχύει όταν ο δεύτερος όρος του αριστερού μέλους της εξίσωσης (4) που περιγράφει τη διάχυση θερμότητας, μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος. Η παραβίαση της αρχικής γραμμικής σχέσης μεταξύ του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας και του SAR αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου εφαρμογής ηλεκτρομαγνητικής ισχύος. Ο μέγιστος αποδεκτός χρόνος Δt εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η απαιτούμενη ακρίβεια μέτρησης του SAR, η θερμική αγωγιμότητα του ομοιώματος και η χωρική παράγωγος της κατανομής SAR, που με τη σειρά της εξαρτάται από τη συχνότητα, τα χαρακτηριστικά του ομοιώματος και την πηγή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Ο χρόνος Δt πρέπει να είναι αρκετά σύντομος, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα φαινόμενα θερμικής διάχυσης. Η θερμοκρασία μετριέται συνήθως με τη βοήθεια θερμοστοιχείων.

9.5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΓΙΑ ΚΥΤΤΑΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε ραγδαία αύξηση της χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων και μικροκυματικών συχνοτήτων, ιδιαίτερα στις επικοινωνίες (κινητές επικοινωνίες, συστήματα παρακολούθησης, τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι κ.λπ.), με συνέπεια την αυξημένη ανησυχία του κοινού για τις πιθανές βιολογικές επιδράσεις αυτών των συχνοτήτων. Οι ευρωπαϊκές κυτταρικές επικοινωνίες βασίζονται στο σύστημα GSM (Global System for Mobile Communications) και λειτουργούν στις περιοχές συχνοτήτων 900 και 1800 MHz. Στις ΗΠΑ, οι κυτταρικές επικοινωνίες λειτουργούν σε δύο κύριες περιοχές συχνοτήτων: τα παλαιότερα συστήματα στην περιοχή 850 MHz και οι νεότερες υπηρεσίες προσωπικών επικοινωνιών (Personal Communication Systems, PCS) στην περιοχή 1900 MHz.

Για την περίπτωση των σταθμών βάσης των κινητών επικοινωνιών, όπου αναφερόμαστε στο μακρινό πεδίο της κεραίας, η στάθμη 0.5 mW/cm^2 (Σχ. 9.1) εξασφαλίζει την προστασία του γενικού πληθυσμού.

Αντίθετα για την περίπτωση της έκθεσης στην ακτινοβολία φορητών τηλεφωνικών συσκευών (τοπική έκθεση), τα όρια ασφαλείας εκφράζονται με βάση το Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης. Ως κατώφλι για την αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία θεωρείται η απορρόφηση 2 W/kg , που υπολογίζεται ως μέση τιμή σε μάζα βιολογικού ιστού 10 gr (Πίνακας 2). Η εκτίμηση της συμμόρφωσης με τα όρια

ασφαλούς έκθεσης δεν είναι προφανής όταν πρόκειται για έκθεση στο κοντινό πεδίο ηλεκτρομαγνητικών πηγών, όπως είναι οι φορητές τηλεφωνικές συσκευές. Για το λόγο αυτό, τόσο η CENELEC στην Ευρώπη όσο και η FCC (Federal Communications Committee) στις ΗΠΑ έχουν προχωρήσει στη σύνταξη προκαταρκτικών κειμένων για τον έλεγχο συμμόρφωσης φορητών τηλεφωνικών συσκευών με τα όρια ασφαλείας.

Πίνακας 2: Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (SAR) - Όρια ασφαλούς έκθεσης.

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

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

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

Μετρήσεις σε ομοιώματα

Το κεφάλι αποτελείται από πολύπλοκους ιστούς (οστά, δέρμα, εγκεφαλική ουσία, οφθαλμούς κ.λπ.) με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, και διαφορετικό Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιούνται πολύπλοκα ομοιώματα του ανθρώπινου κεφαλιού που αποτελούνται από διαφορετικά υλικά με ηλεκτρικές ιδιότητες ανάλογες των βιολογικών ιστών του κεφαλιού. Μια ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος για τη δοσιμετρία είναι η σύσταση του ομοιώματος από πλευράς τύπων ιστών. Το Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) έχει προτείνει τη την οδηγία SCC34/SC2 στην οποία λαμβάνονται υπόψη διαφορετικές αναλογίες δέρματος, λίπους, μυός, οστού, λευκής και φαιάς ουσίας. Συχνά, χρησιμοποιούνται απλούστερα ομοιώματα του

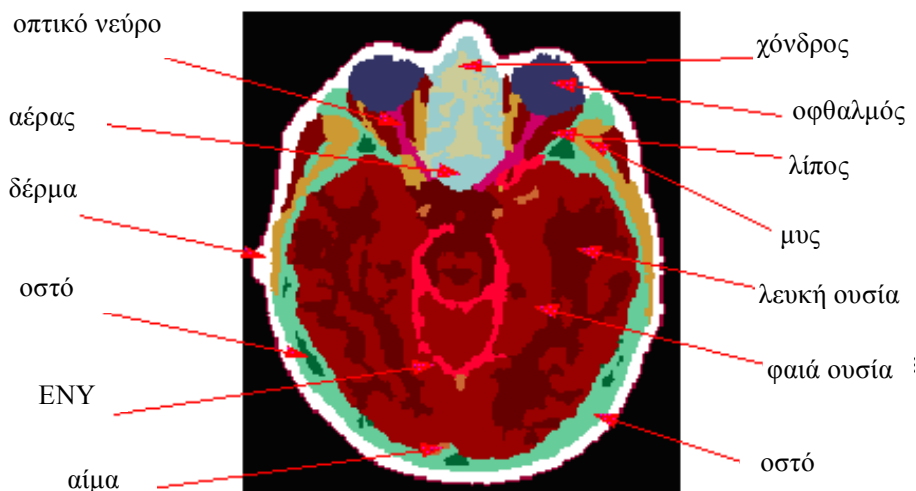
ανθρώπινου κεφαλιού που αποτελούνται από πλαστικό κέλυφος στο οποίο τοποθετείται υγρό υλικό με ιδιότητες ανάλογες με αυτές του εγκεφαλικού ιστού. Αυτά τα μοντέλα έχουν καθοριστεί από τη CENELEC για τον έλεγχο συμμόρφωσης φορητών τηλεφωνικών συσκευών με τα όρια ασφαλείας και αντιστοιχούν στη λεγόμενη «χειρότερη περίπτωση έκθεσης», οδηγώντας συνήθως σε υπερεκτίμηση των πραγματικών επιπέδων έκθεσης. Η μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό των ομοιωμάτων πραγματοποιείται με μικροσκοπικό αισθητήρα που κινείται με τη βοήθεια ρομποτικού συστήματος υψηλής ακριβείας. Στο Σχ. 9.2 παρουσιάζεται ένα σύνθετο ομοίωμα του ανθρώπινου κεφαλιού που αποτελείται από πέντε τύπους ιστών.



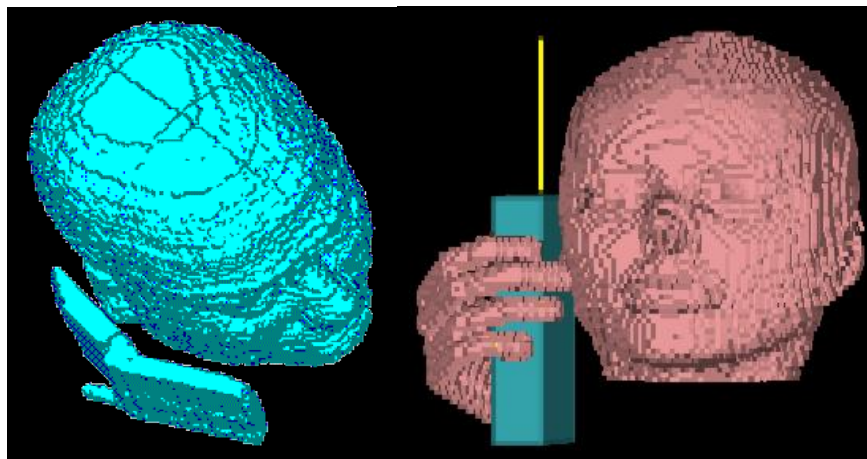
Σχήμα 9.2: Ομοίωμα ανθρώπινου κεφαλιού για πειραματικές μετρήσεις απορροφούμενης ισχύος.

Υπολογιστικές προσομοιώσεις

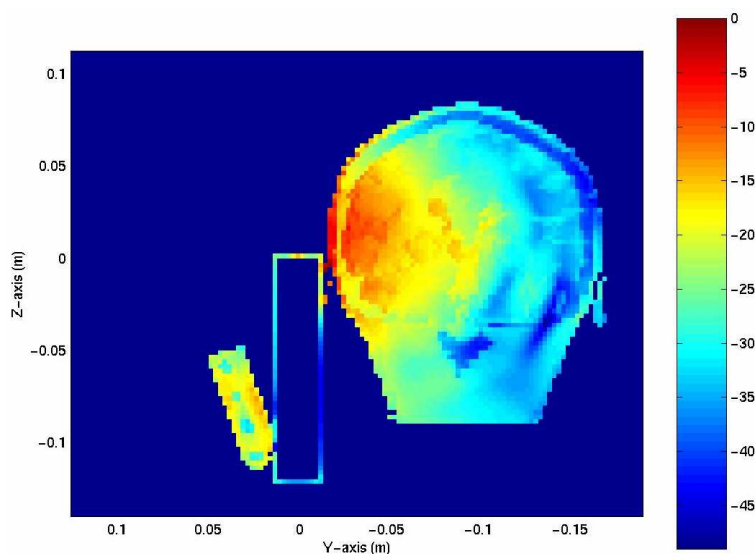
Για τους θεωρητικούς υπολογισμούς, χρησιμοποιούνται είτε απλά γεωμετρικά μοντέλα (π.χ. σφαιρικά) ή λεπτομερή ανατομικά μοντέλα του ανθρώπινου κεφαλιού που βασίζονται σε δεδομένα Αξονικής ή Μαγνητικής Τομογραφίας (Σχ. 9.3) υψηλής ευκρίνειας. Από τα δεδομένα Αξονικής ή Μαγνητικής Τομογραφίας κατασκευάζονται αριθμητικά μοντέλα του κεφαλιού που αποτελούνται από κυβικά συνήθως στοιχεία με μέγεθος ακμής που εξαρτάται από τη διακριτική ικανότητα της χρησιμοποιούμενης απεικονιστικής τεχνικής και μπορεί να φτάνει μέχρι 1 mm (Σχ. 9.4).



Σχήμα 9.3: Εγκάρσια τομή κεφαλιού από Μαγνητική Τομογραφία όπου σημειώνονται οι διάφοροι τύποι ιστών.



Σχήμα 9.4: Αριθμητικά μοντέλα κεφαλιού (χεριού) χρήστη και φορητού τηλεφώνου για δοσιμετρικούς υπολογισμούς.



Σχήμα 9.5: Ενδεικτική κατανομή SAR σε κατακόρυφη τομή ανατομικού μοντέλου κεφαλιού εξαιτίας της έκθεσης σε ακτινοβολία φορητής τηλεφωνικής συσκευής σε συχνότητα 900 MHz. Η χρωματική κλίμακα αναφέρεται σε dB ως προς τη μέγιστη τιμή SAR.

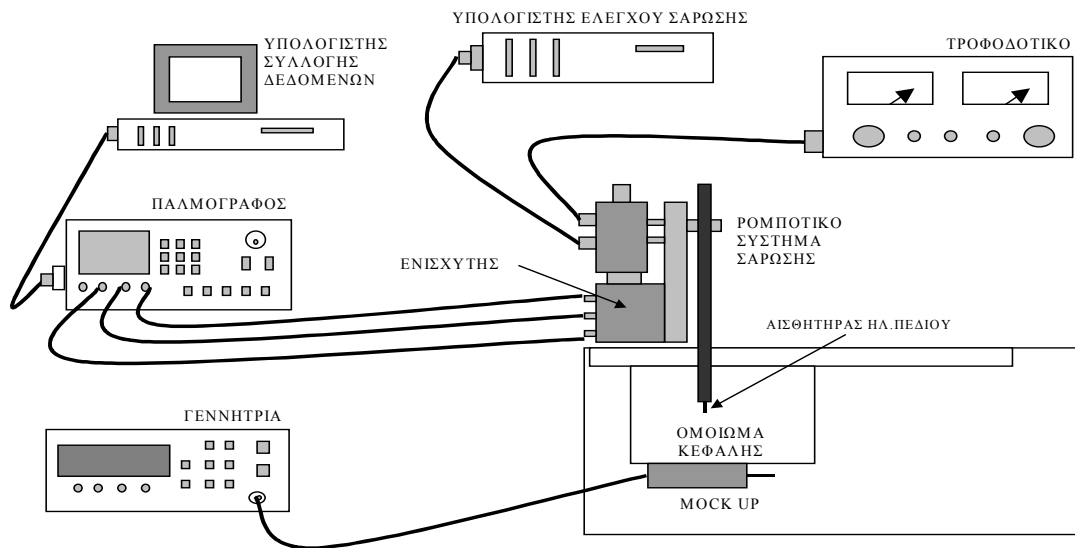
Επιπλέον, δημιουργούνται ακριβή αριθμητικά μοντέλα των φορητών τηλεφωνικών συσκευών, που βασίζονται συνήθως στα αρχεία CAD των κατασκευαστών (Σχ. 9.4). Για την επίλυση του εξαιρετικά σύνθετου αριθμητικού προβλήματος της αλληλεπίδρασης μεταξύ φορητής τηλεφωνικής συσκευής και χρήστη χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές αριθμητικές μέθοδοι και κυρίως η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών στο πεδίο του χρόνου (Finite Difference Time Domain, FDTD), ενώ απαιτούνται ιδιαίτερα ισχυρά υπολογιστικά συστήματα. Ενδεικτική κατανομή SAR σε ακριβές ανατομικό μοντέλο του κεφαλιού εξαιτίας της έκθεσης σε ακτινοβολία φορητής τηλεφωνικής συσκευής σε συχνότητα 900 MHz παρουσιάζεται στο Σχ. 9.5. Αξίζει να σημειωθεί ότι η λαμβανόμενη κατανομή SAR εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο της συσκευής, από τη συχνότητα λειτουργίας της, από τις ανατομικές λεπτομέρειες του κεφαλιού του χρήστη, καθώς και από την απόσταση και την τοποθέτηση της συσκευής σε σχέση με το κεφάλι του χρήστη.

9.6 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

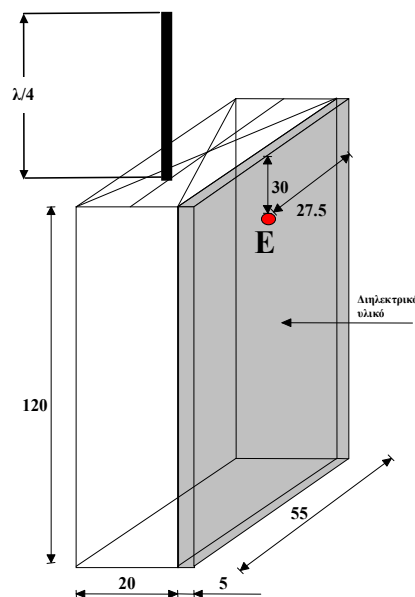
Για τη μελέτη της απορρόφησης της ακτινοβολίας τερματικής συσκευής κινητών επικοινωνιών από την κεφαλή του χρήστη, στα πλαίσια της παρούσας εργαστηριακής άσκησης, θα χρησιμοποιηθεί ομοίωμα της ανθρώπινης κεφαλής κυβικού σχήματος και τερματική συσκευή (mock-up) που λειτουργεί σε συχνότητα 1710 MHz. Ο προσδιορισμός του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης σε διάφορες θέσεις, μέσα στο ομοίωμα της κεφαλής, θα βασιστεί στη μέτρηση του ηλεκτρικού πεδίου, με τη βοήθεια ειδικού αισθητήρα.

Πειραματική διάταξη

Η διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης στο εσωτερικό του ομοιώματος του ανθρώπινου κεφαλιού φαίνεται στο Σχ. 9.6.



Σχήμα 9.6: Πειραματική διάταξη.

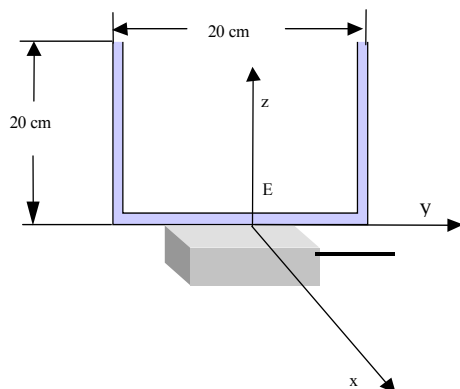


Σχήμα 9.7: Η γεωμετρία του mock-up στην οποία διακρίνεται το έκκεντρο μονόπολο μήκους $\lambda/4$ και το σημείο ωτός E (διαστάσεις σε mm).

Τα επιμέρους τμήματα της πειραματικής διάταξης περιγράφονται στη συνέχεια.

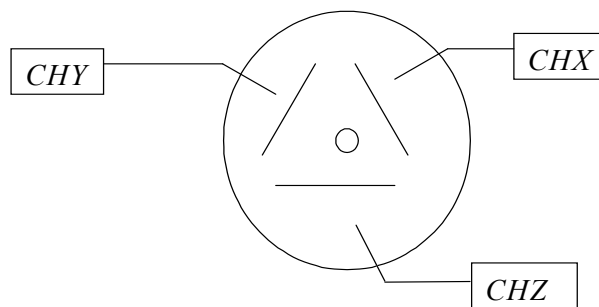
Τερματική συσκευή: Το mock-up της τερματικής συσκευής αποτελείται από μεταλλικό κουτί που στην πρόσθια επιφάνειά του φέρει επικάλυψη από διηλεκτρικό υλικό, όπως φαίνεται στο Σχ. 9.7. Στην άνω του επιφάνεια έχει τοποθετηθεί μονόπολο μήκους 4.39 cm, το οποίο διεγείρεται με συνεχές ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 1710 GHz από γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων μέσω ομοαξονικού καλωδίου. Στην πρόσθια επιφάνεια ορίζεται το λεγόμενο σημείο ωτός (ear point), σύμφωνα με τις αντίστοιχες συστάσεις της CENELEC, που αντιστοιχεί στην είσοδο του ακουστικού πόρου του χρήστη της συσκευής (Σχ. 9.7).

Ομοίωμα κεφαλής: Το κυβικό ομοίωμα της κεφαλής αποτελείται από κέλυφος plexiglass με μέγεθος ακμής 20 cm, που γεμίζεται με κατάλληλο υγρό το οποίο προσομοιώνει τις ηλεκτρικές ιδιότητες του εγκεφαλικού ιστού στη συχνότητα των 1710 MHz. Η άνω επιφάνεια είναι ανοικτή ώστε να επιτρέπει την είσοδο του αισθητήρα μέτρησης του ηλεκτρικού πεδίου. Το σημείο ωτός ορίζεται ως το κέντρο της κάτω επιφάνειας του κυβικού ομοιώματος, σύμφωνα με τις συστάσεις της CENELEC. Η τοποθέτηση της τερματικής συσκευής σε σχέση με το ομοίωμα φαίνεται στο Σχ. 9.8.



Σχήμα 9.8: Τοποθέτηση της τερματικής συσκευής σε σχέση με το κυβικό ομοίωμα του ανθρώπινου κεφαλιού. Το σημείο E αντιστοιχεί στο σημείο ωτός το οποίο πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένο κατά τον κατακόρυφο άξονα z με το αντίστοιχο σημείο ωτός που σημειώνεται στη βάση του ομοιώματος.

Αισθητήρας μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου: Πρόκειται για μικροσκοπικό αισθητήρα αποτελούμενο από τρία μικρά δίπολα διατεταγμένα σε τρία κανάλια CHX , CHY , CHZ τα οποία μετρούν τις τρεις συνιστώσες του ηλεκτρικού πεδίου (E_x , E_y , E_z).



Σχήμα 9.8: Κάτοψη του αισθητήρα μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου στην οποία διακρίνονται τα τρία δίπολα με τη βοήθεια των οποίων μετρώνται οι συνιστώσες του ηλεκτρικού πεδίου.

Τα μετρούμενα σήματα είναι σήματα τάσης (u_x , u_y , u_z) τα οποία μετατρέπονται σε τιμές ηλεκτρικού πεδίου με βάση τη σχέση:

$$E_i = \sqrt{\frac{u_i + (u_i^2 \cdot CF) / DCP}{Norm_i \cdot ConvF}} \quad (5)$$

όπου $i=X, Y, Z$, E_i η συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου (V/m), u_i η τάση του καναλιού i (μV), $Norm_i$ η ευαισθησία του καναλιού i (μV/(V/m)²), $ConvF$ ο παράγοντας μετατροπής (enhancement factor) στο υγρό ($ConvF=1$ για τον αέρα), DCP το σημείο συμπίεσης της διόδου (diode compression point) (μV), CF ο λόγος της ισχύος κορυφής προς τη μέση ισχύ (crest factor).

Οι παράμετροι $Norm$ και DCP για τα κανάλια X, Y, Z παίρνουν τις τιμές: $NormX = 2.15$, $DCPX = 100$ mV, $NormY = 1.92$, $DCPY = 100$ mV, $NormZ = 2.02$, $DCPZ = 100$ mV. Επιπλέον σε συχνότητα 1800 MHz ισχύει: $ConvFX = 4.1 \pm 10\%$, $ConvFY = 4.1 \pm 10\%$, $ConvFZ = 4.1 \pm 10\%$.

Τρικαναλικός ενισχυτής: Τροφοδοτείται με σταθερή τάση 6 V και ενισχύει τα πολύ ασθενή σήματα (της τάξης των μV) που ανιχνεύονται από τον αισθητήρα. Η ενίσχυση γίνεται ξεχωριστά για κάθε κανάλι με χρήση ρυθμιστικής αντίστασης R_i (trimmer), η οποία για καθένα από τα κανάλια X, Y, Z παίρνει τις τιμές: $RX=2.516K\Omega$, $RY=2.531K\Omega$, $RZ=2.506K\Omega$. Από τις τιμές αυτές μπορεί να υπολογιστεί το κέρδος ανά κανάλι με τη βοήθεια της σχέσης:

$$G_i = 20 \cdot \frac{400 + R_i (K\Omega)}{R_i (K\Omega)} \quad (6)$$

Με αυτό τον τρόπο τα μετρούμενα σήματα της τάξεως των μV μετατρέπονται σε σήματα της τάξεως των mV (ενίσχυση περίπου 3200 φορές), ώστε να είναι δυνατή η απεικόνισή τους με τη βοήθεια του παλμογράφου.

Παλμογράφος: Χρησιμοποιείται για την ανάγνωση των σημάτων εξόδου του ενισχυτή.

Υπολογιστής συλλογής δεδομένων: Πρόκειται για προσωπικό υπολογιστή, ο οποίος, με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού, αναλαμβάνει τη συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων.

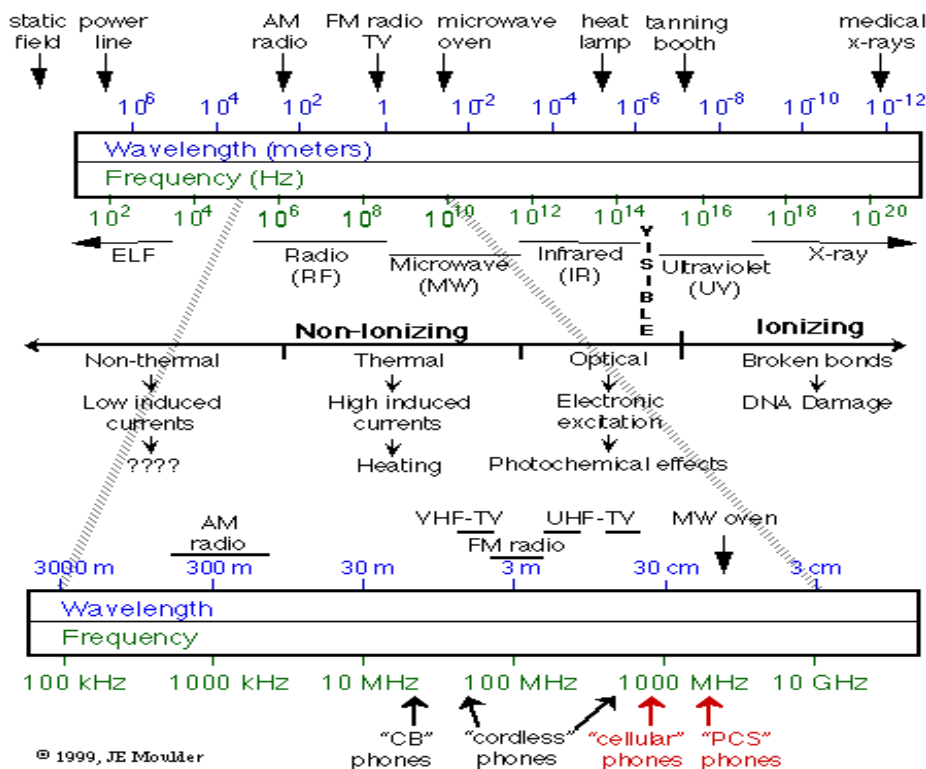
Ρομποτικός βραχίονας: Στο άκρο του προσαρμόζεται ο αισθητήρας μέτρησης του ηλεκτρικού πεδίου και μπορεί να κινείται κατά μήκος τριών ορθογώνιων αξόνων με τη βοήθεια τριών βηματικών κινητήρων. Παρέχει τη δυνατότητα σάρωσης συγκεκριμένης περιοχής ή και ολόκληρου του ομοιώματος για τη λήψη μετρήσεων. Η κίνηση του βραχίονα μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα μέσω μοχλοδιακοπών, ή ακόμα με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού σάρωσης που είναι εγκατεστημένο στον αντίστοιχο υπολογιστή.

Υπολογιστής ελέγχου σάρωσης: Ο υπολογιστής αυτός περιλαμβάνει κατάλληλο λογισμικό για τον έλεγχο της κίνησης του ρομποτικού βραχίονα (άξονες και βήμα κίνησης, χρόνος παραμονής στη θέση μέτρησης κ.λπ.), παρέχοντας τη δυνατότητα αυτόματης σάρωσης κατά ευθείες, επίπεδα κ.λπ.

Κεφάλαιο 10

10. Απαντήσεις σε συχνές απορίες

Σε ποια ζώνη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εκπέμπουν τα κινητά;



Όπως παρατηρούμε στην εικόνα (κάτω μέρος) τα κινητά τηλέφωνα εκπέμπουν στην ζώνη των ραδιοσυχνοτήτων (RF). Η ζώνη αυτή έχει συχνότητες πολύ μικρές της τάξης των 10⁹ Herz, άρα μη ιονίζουσες, ενώ οι ιονίζουσες ακτινοβολίες (ακτίνες-X, γάμμα, υπεριώδεις) έχουν μεγάλες συχνότητες της τάξης των 10¹⁸ - 10²⁰ Herz. Οι ιονίζουσες είναι αυτές που προκαλούν βιολογικές επιδράσεις (όγκους και μεταλλάξεις) γιατί σπάζουν τους δεσμούς στις χημικές ενώσεις και δημιουργούν ιόντα. Από τις μη-ιονίζουσες ακτινοβολίες (που λέγονται έτσι γιατί δεν δημιουργούν ιόντα στην ύλη) κάποιες πχ μαλακές υπεριώδεις ακτίνες ή ορατές μπορεί να έχουν βιολογική επίδραση. Αλλά οι συχνότητες της ζώνης των ραδιοσυχνοτήτων RF και MW (στους φούρνους των μικροκυμάτων της τάξης των 2,54*10⁹ Hz) μπορούν να προκαλέσουν θέρμανση στους ιστούς, η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα της πηγής το μέγεθος και τον προσανατολισμό του ιστού. Επειδή οι ιστοί περιέχουν κατά 70% νερό (που είναι σαν ένα ηλεκτρικό δίπολο), τότε η RF ακτινοβολία αναγκάζει τα μόρια του νερού να ταλαντώνονται ή να περιστρέφονται με τη συχνότητα της ακτινοβολίας. Οι ραδιοσυχνότητες στην περιοχή AM (10⁶ Hz), αλληλεπιδρούν πολύ ασθενώς με τους ανθρώπινους ιστούς και έτσι δεν προκαλούν θερμικά φαινόμενα. Όταν η RF ακτινοβολία θερμαίνει τους ιστούς, τότε αν ο θερμορυθμιστικός 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

($1\text{mW}/\text{cm}^2$) ή όταν η μέση τιμή ενέργειας που απορροφάται από όλο το σώμα (SAR) να είναι πάνω από $5\text{ W}/\text{kg}$. Πρέπει να σημειώσουμε ότι οι στατικές ηλεκτρομαγνητικές πηγές δεν παράγουν ακτινοβολία.

Ποιες είναι οι πηγές της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας;

Ακτινοβολία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας (ELF)

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

Ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RF)/Ακτινοβολία μικροκυμάτων (MW)

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

Υπέρυθρη ακτινοβολία (IR)

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

Ορατή ακτινοβολία.

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

Υπεριώδης ακτινοβολία (UV)

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

Κίνδυνοι λέιζερ

Τα λέιζερ εκπέμπουν UV, ορατές και IR ακτινοβολίες και πρώτιστα κινδυνεύουν τα μάτια και το δέρμα. Τα κοινά λέιζερ περιλαμβάνουν τα IR λέιζερ του CO₂, τα ορατά λέιζερ περιλαμβάνουν του ηλίου - νέου, νεοδμίου YAG, και τα κόκκινα ορατά λέιζερ, ενώ τα UV λέιζερ του αζώτου.

Πώς μετρείται η ακτινοβολία της ζώνης ραδιοσυχνοτήτων (RF) που εκπέμπουν τα κινητά;

Τα RF κύματα περιέχουν ως γνωστόν ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο. Η ένταση E του ηλεκτρικού πεδίου μετρείται με τη μονάδα βολτ ανά μέτρο (V/m), ενώ η μονάδα αμπέρ ανά μέτρο (A/m) χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ένταση H του μαγνητικού πεδίου (άλλες μονάδες είναι το 1 Tesla και το 1 Gauss - 1Tesla=10.000 Gauss). Σημειωτέον, ότι μόνο το μαγνητικό πεδίο εμφανίζεται να είναι κατάλληλο για να προκαλέσει προβλήματα υγείας. Γι' αυτό μας ενδιαφέρει μόνο η ένταση H του

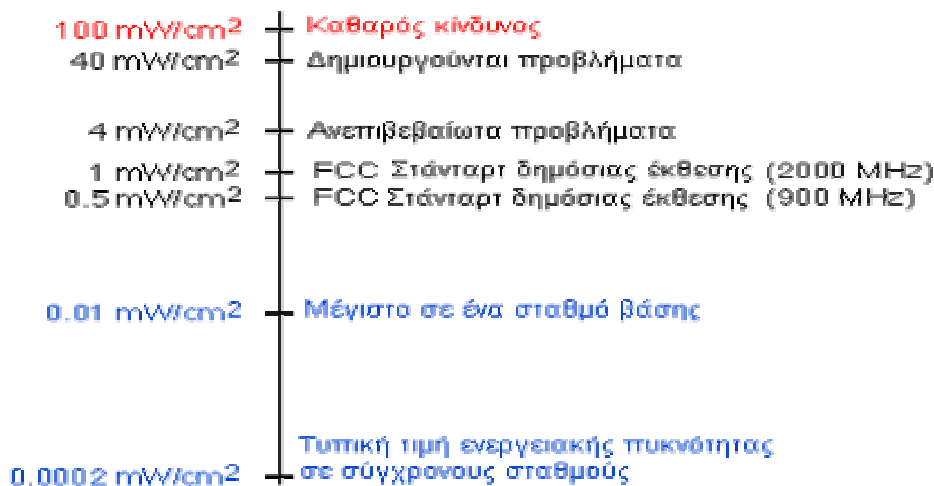
μαγνητικού πεδίου.

Από τα μαγνητικά πεδία είναι δύσκολο να προστατευθούμε, και εύκολα μπορούν διαπεράσουν κτήρια και ανθρώπους. Σε αντίθεση με τα μαγνητικά πεδία, τα ηλεκτρικά πεδία έχουν πολύ μικρή ικανότητα να διαπεράσουν το δέρμα ή τα κτήρια.

Επειδή τα στατικά ηλεκτρικά πεδία δεν διαπερνούν το σώμα, είναι γενικά παραδεκτό ότι η οποιαδήποτε βιολογική επίδραση από έκθεση σε στατικά πεδία, πρέπει να οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο ή στα ηλεκτρικά πεδία και ρεύματα που προκαλούν αυτά τα μαγνητικά πεδία στο σώμα.

Εκτός από τις εντάσεις των δύο πεδίων τι άλλο χρησιμοποιούμε για να μετρηθεί η ηλεκτρομαγνητική επίδραση;

Συνήθως όμως για τον χαρακτηρισμό ενός πεδίου RF, χρησιμοποιείται η ενεργειακή πυκνότητα. Η μονάδα της ενεργειακής πυκνότητας είναι η ισχύς ανά μονάδα εμβαδού. Παραδείγματος χάριν, η ενεργειακή πυκνότητα μπορεί να εκφραστεί σαν milliwatt ανά τετραγωνικό εκατοστό (mW/cm^2) ή σε μικrowatt ανά τετραγωνικό εκατοστό ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$).



Όπως φαίνεται και δίπλα η ενεργειακή πυκνότητα των προτύπων είναι περίπου 100 φορές μικρότερη από την τιμή των $40 \text{ mW}/\text{cm}^2$ που δημιουργεί προβλήματα. Για τους σταθμούς των κινητών με συχνότητες από 1800-2000 MHz (Cosmote), οι εκθέσεις του 1992 της ANSI/IEEE δίνουν ανεκτές τιμές για την ενεργειακή πυκνότητα $1.2 \text{ mW}/\text{cm}^2$. Για συχνότητες 900 MHz το όριο είναι $0.57 \text{ mW}/\text{cm}^2$ (εξαρτάται λοιπόν και από την συχνότητα). Τα πρότυπα της FCC και ICNIRP είναι ελαφρά χαμηλότερα. Οι τιμές αυτές ισχύουν για μικρά χρονικά διαστήματα των 30 λεπτών (ANSI/IEEE, NCRP, και FCC standards).

Όπου υπάρχουν πολλές κεραιές αυτά τα πρότυπα αφορούν τη συνολική ισχύ.

Επίσης, χρησιμοποιείται και μια άλλη ποσότητα για να μετρήσει πόση ενέργεια RF απορροφάται από το σώμα μας και ονομάζεται Specific Absorption Rate ή SAR. Η SAR είναι ένα μέτρο της ισχύος που απορροφάται ανά μονάδα βάρους του σώματος (W/Kg). Εκφράζεται συνήθως σε W/Kg ή mW/g . Η ποσότητα SAR είναι ένα μέγεθος που εκτός από τη συχνότητα f της ακτινοβολίας και την αγωγιμότητα

των ιστών εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως η “ένταση” του πεδίου, ο προσανατολισμός του ατόμου σε σχέση με την κατεύθυνση του κύματος, το μέγεθος του σώματος κ.α. (συνθήκες έκθεσης).

Ενδεικτικά μόνο αναφέρεται ότι η τιμή $SAR = 4 \text{ W/Kg}$ μπορεί να προκύψει, υπό ορισμένες συνθήκες έκθεσης, από ένα πεδίο που έχει πυκνότητα ισχύος περίπου 10 mW/cm^2 .

Πως βγαίνουν οι ασφαλείς τιμές που πρέπει να εκπέμπονται από τα κινητά ή τις βάσεις;

Ο τρόπος που βγαίνουν τα ασφαλή όρια από την ANSI/IEEE καθώς και την FCC είναι:

- Μειώνονται κατά 10 φορές τα ασφαλή όρια του μικρότερου ρυθμού της απορροφούμενης ενέργειας, που φαίνεται να έχει βιολογικές επιδράσεις.
- Τότε μειώνεται 5 φορές ακόμη το ασφαλές όριο αν πρόκειται για συνεχή έκθεση του κοινού.
- Τελικά, λεπτομερείς εκθέσεις δίνουν τη σχέση μεταξύ πυκνότητας ενέργειας και του ρυθμού απορρόφησης της ενέργειας (SAR), που υπάρχει πραγματικά.
- Το τελικό αποτέλεσμα για τα όρια που αφορούν το κοινό είναι μόνο το 2% του επιπέδου που προκαλεί παρατηρηθέντα βιολογικά αποτελέσματα.

Για περιοχές κοντά σε σχολεία του Καναδά τα ασφαλή επίπεδα της RF ακτινοβολίας από σταθμούς κεραιών κινητής τηλεφωνίας είναι πολύ μικρά και κυμαίνονται από $2,6 \mu\text{W/cm}^2$ έως $0,16 \mu\text{W/cm}^2$. Ενώ οι κανονικές τιμές στον Καναδά είναι 0.57 mW/cm^2 .

Ποια είναι τα επίπεδα της RF ενέργειας που θεωρούνται ασφαλή;

Διάφορες οργανώσεις και χώρες έχουν αναπτύξει ορισμένα στάνταρτ για την έκθεση στην ενέργεια της Η/Μ ακτινοβολίας στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (RF). Αυτά τα στάνταρτ συστήνουν ασφαλή επίπεδα έκθεσης στην RF ακτινοβολία και για το κοινό και για τους εργαζομένους. Πολλές χώρες στην Ευρώπη κάνουν χρήση των στάνταρτ που δόθηκαν από τη Διεθνή Επιτροπή για την Προστασία από τη Μη Ιονίζουσα ακτινοβολία (ICNIRP). Τα όρια ασφάλειας της ICNIRP είναι γενικά παρόμοια με αυτά που ισχύουν στις ΗΠΑ, με μερικές εξαιρέσεις. Παραδείγματος χάριν, η ICNIRP συστήνει διαφορετικά επίπεδα έκθεσης στις χαμηλότερες και υψηλότερες περιοχές των συχνοτήτων καθώς και για τα φορητά ασύρματα τηλέφωνα.

Αυτήν την περίοδο, η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας εργάζεται για να δώσει ένα γενικό πλαίσιο για όλα τα κράτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι Διεθνείς Επιτροπές έχουν προσδιορίσει τη τιμή των 4 W/kg (απορροφούμενη δόση SAR για όλο το σώμα), ως το επίπεδο πάνω από το οποίο μπορούν να εμφανιστούν επιβλαβή βιολογικά αποτελέσματα.

Ακολουθώντας, από αυτή την τιμή παίρνουμε τις μέγιστες τιμές του μαγνητικού, του ηλεκτρικού πεδίου όπως και της ενεργειακής πυκνότητας σε ορισμένο τμήμα του σώματος. Επιπλέον, οι οδηγίες των Επιτροπών (NCRP, IEEE και ICNIRP) ποικίλλουν ανάλογα με την συχνότητα f της ραδιοσυχνότητας RF. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ολόσωμη απορρόφηση της ενέργειας RF μεταβάλλεται με την συχνότητα f του Η/Μ RF σήματος. Στην περιοχή 30-300 MHz έχει βρεθεί ότι το ανθρώπινο σώμα απορροφά την ενέργεια RF πιο αποτελεσματικά γι' αυτό κι εκεί χρησιμοποιείται η ολόσωμη απορρόφηση.

Για τα κινητά τηλέφωνα, όμως, τα όρια έκθεσης προσδιορίζονται μόνο από τα επίπεδα SAR. Για τους πομπούς, που λειτουργούν στις συχνότητες από 300 kHz σε 100 GHz, χρησιμοποιούμε την ένταση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, το SAR και την ενεργειακή πυκνότητα. Τα ασφαλή όρια που έχουν καθοριστεί από όλες τις οργανώσεις, εξαρτώνται από τη συχνότητα. Έτσι για την περιοχή συχνοτήτων από 400 MHz έως 2000 MHz (που είναι η περιοχή συχνοτήτων των κινητών), για την ένταση E του ηλεκτρικού πεδίου είναι της τάξεως των $3f^{1/2}$ V/m, για την ένταση H του μαγνητικού πεδίου είναι $0.008f^{1/2}$ A/m και για την πυκνότητα ισχύος την τιμή $f/400$ mW/cm² (όπου f είναι η συχνότητα του RF κύματος σε MHz). Για το γενικό πληθυσμό, που εκτίθεται σε 24ωρη βάση και δεν είναι ενημερωμένος ώστε να λαμβάνει μέτρα ασφαλείας, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του ρυθμού απορρόφησης SAR (ολόσωμη απορρόφηση), ορίστηκε η τιμή SAR=0.08 W/Kg.

Ποια είναι τα μεγέθη που προσδιορίζουν τα επίπεδα της RF ακτινοβολίας (μη ιονίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας) των σταθμών βάσης των κινητών τηλεφώνων;

- α. Η ένταση E του ηλεκτρικού πεδίου της
- β. Η ένταση H του μαγνητικού πεδίου και
- γ. Η πυκνότητα ισχύος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Σύμφωνα με τους γενικούς κανονισμούς (Υπουργική Απόφαση (του Ελληνικού κράτους) για τα "Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία κεραιών εγκατεστημένων στην ξηρά Αριθ. 53571/3839, Φ.Ε.Κ. 1105/Β/6-9-2000), δεν πρέπει να υπάρχουν χώροι γύρω από την κεραία ελεύθερα προσπελάσιμοι από το γενικό πληθυσμό, στους οποίους τα όρια έκθεσης για τα τρία αυτά μεγέθη να υπερβαίνουν το 80% των κάτωθι τιμών των πινάκων της σύστασης της Ε.Ε. όσον αφορά και τις δυο ζώνες συχνοτήτων της κινητής τηλεφωνίας (900 και 1800 MHz) που χρησιμοποιούνται στη χώρα μας.

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E (V/m)
41,25 V/m για τη ζώνη συχνοτήτων στα 900MHz 58,34 V/m για τη ζώνη συχνοτήτων στα 1800MHz
Ένταση μαγνητικού πεδίου (B)
0,111 A/m για τη ζώνη συχνοτήτων στα 900MHz 0,157 A/m για τη ζώνη συχνοτήτων στα 1800MHz
Πυκνότητα ισχύος ισοδύναμου επίπεδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος (Seq)
4,5 W/m ² για τη ζώνη συχνοτήτων στα 900MHz 9 W/m ² για τη ζώνη συχνοτήτων στα 1800MHz

Ποια είναι τα όρια επικινδυνότητας που ισχύουν για τα ίδια τα κινητά τηλέφωνα;

Για ολόσωμη 24ωρη έκθεση (γενικός πληθυσμός) όριο επικινδυνότητας είναι τα 0,6 mW/cm² ή 600 μW/cm² και ως μέγιστο επιτρεπόμενο Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης (SAR) τα 0,08 W/kg.

Όταν η έκθεση είναι τοπική όπως και στα κινητά, υπερβάσεις των ορίων αυτών επιτρέπονται αν

μπορεί να αποδειχθεί ότι ο ρυθμός απορρόφησης SAR είναι μικρότερος από 1,6 W/kg κατά μέσον όρο για κάθε γραμμάριο (1gr) οποιουδήποτε ιστού της κεφαλής.

Οι πομποί συχνοτήτων 450-1500 MHz θεωρούνται ασφαλείς αν η ισχύς εκπομπής τους είναι μικρότερη από $1,4 * (450/f)$, όπου f η συχνότητα σε MHz). Έτσι, το φορητό του GSM (f=900MHz), μπορεί να θεωρηθεί ασφαλές αν η ισχύς του είναι μικρότερη από 0,7 Watts και εφόσον, σύμφωνα με την οδηγία, απέχει από το σώμα απόσταση μεγαλύτερη από 2,5 cm. Σημείωση: Η ισχύς εκπομπής των κινητών του δικτύου GSM που έχουμε στην Ελλάδα είναι περίπου 2 W.

Ακτινοβολίες RF και ύλη

Οι ραδιοσυχνότητες (RF) και οι ακτινοβολίες μικροκυμάτων (MW) είναι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες με συχνότητας από 3 kHz - 300 MHz, και 300 MHz - 300 GHz, αντίστοιχα. Η χρήση της ακτινοβολίας RF/M περιλαμβάνει τις εξής συσκευές: ραδιόφωνα, κυψελοειδή κινητά τηλέφωνα, επεξεργασία και μαγείρεμα των τροφίμων. Καθώς τα περισσότερα τρόφιμα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, τα μικροκύματα μπορούν να ψήσουν τα τρόφιμα γρήγορα.

Επίσης, έχουμε τους κλιβάνους επαγωγής, μηχανήματα συγκολλήσεως, μεταδότες σημάτων επικοινωνίας, ραντάρ, φούρνους μικροκυμάτων και άλλες συσκευές. Παράγονται από την ταλάντωση των ηλεκτρικών φορτίων στις κεραίες. Έτσι αν μια κεραία διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργούνται Η/Μ κύματα που ακτινοβολούν μακριά από την κεραία.

Όταν τα Η/Μ κύματα συναντούν ένα εμπόδιο τότε μπορεί μέρος αυτών να ανακλαστεί, να διαθλαστεί, να διαδοθεί μέσω του αντικειμένου ή να απορροφηθεί από το αντικείμενο.

Ποια από όλες αυτές τις διαδικασίες θα επικρατήσει και σε τι ποσοστό, εξαρτάται από τη συχνότητα του Η/Μ κύματος, τη γωνία πρόσπτωσης, από το πόσο καλός αγωγός του ηλεκτρισμού είναι το αντικείμενο και ακόμη από το σχήμα του αντικειμένου. Στο σώμα του ανθρώπου, που έχει μέτρια, αγωγιμότητα, μπορεί να συμβούν όλα τα παραπάνω.

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

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

Πως μεταφέρεται η ενέργεια της RF ακτινοβολίας στο σώμα;

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

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

Ο τύπος υπολογισμού του SAR για ένα ζωικό ιστό πυκνότητας ρ (g/cm) και ειδικής θερμοκρασίας C (cal/g.grad), για ορισμένη συχνότητα και προσανατολισμό, είναι

$$SAR = 4,166 \rho C \Delta T / \Delta t \text{ (Watts/cm}^3\text{)},$$

όπου Δt είναι ο χρόνος ακτινοβολήσης σε sec και ΔT η αύξηση της θερμοκρασίας του ιστού σε βαθμούς Κελσίου (grad).

Ποια όμως είναι η σχέση των ραδιοσυχνοτήτων με τον ανθρώπινο οργανισμό;

Καταρχάς ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται από βιομόρια (πρωτεΐνες, κ.λ.π.) τα οποία σχηματίζουν λειτουργικές δομές όπως είναι οι μεμβράνες, τα οργανίδια παραγωγής ενέργειας, που με τη σειρά τους σχηματίζουν τα κύτταρα.

Αυτά σχηματίζουν τους ιστούς (π.χ. επιθήλιο, νευρικός ιστός κ.λ.π.) οι οποίοι με τη σειρά τους σχηματίζουν τα όργανα, όπως είναι οι πνεύμονες, το συκώτι, ο εγκέφαλος, η καρδιά κ.λ.π. Οι λειτουργίες των διαφόρων οργάνων καθορίζονται από τις επί μέρους λειτουργίες των ιστών και των κυττάρων τους σε συνδυασμό πολλές φορές με άλλα κύτταρα και ιστούς ανταλλάσσοντας μηνύματα που είναι όχι μόνο χημικές ουσίες αλλά και ηλεκτρικά δυναμικά.

Πολλές σημαντικές λειτουργίες των κυττάρων και ειδικότερα του εγκεφάλου, στηρίζονται στη δημιουργία ηλεκτρικών δυναμικών (π.χ. λειτουργία συνάψεων στα νευρικά κύτταρα). Είναι συνεπώς προφανές ότι οποιαδήποτε παρέμβαση με κάποια εξωτερική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και στο βαθμό που αυτή θα είναι παραπλήσια ή και μεγαλύτερης έντασης με τα ενδογενή ηλεκτρικά πεδία, θα έχει ως αποτέλεσμα να επηρεαστεί το κυτταρικό σύστημα ως προς τη φυσιολογική του λειτουργία. Το θέμα αυτό έχει απασχολήσει τους ερευνητές για πολλές δεκαετίες όχι μόνο στην περίπτωση των συχνοτήτων της κινητής τηλεφωνίας αλλά και στην περίπτωση των άλλων ραδιοσυχνοτήτων που ευρίσκονται στην υπηρεσία του ανθρώπου επί μακρότερο χρονικό διάστημα. Όμως καμιά από αυτές τις ακτινοβολίες δεν έχει τόσο άμεση σχέση με τον απλό πολίτη όση η ακτινοβολία από την κινητή τηλεφωνία.

Για παράδειγμα, τα κύματα ραντάρ αφορούν μικρές ομάδες εργαζομένων, το ίδιο και οι ραδιοφωνικοί αλλά και οι τηλεοπτικοί σταθμοί. Οι δέκτες τηλεόρασης δεν εκπέμπουν ραδιοσυχνότητες αλλά μόνο λαμβάνουν. Με άλλα λόγια, το πρόβλημα που έχει δημιουργηθεί δεν έχει ανάλογό του στην ιστορία του ανθρώπινου γένους ως προς τη μαζικότητα της χρήσης αυτών των συσκευών εκπομπής. Ήταν συνεπώς αναμενόμενο να γίνεται μεγάλη προσπάθεια διερεύνησης των επιπτώσεων ειδικά στην περίπτωση της κινητής τηλεφωνίας, προσπάθεια που έχει ξεκινήσει εδώ και αρκετά χρόνια.

Μια άλλη ιδιομορφία της κινητής τηλεφωνίας είναι το γεγονός ότι ο χρήστης και κάτοχος μιας συσκευής κινητού τηλεφώνου δεν έχει τρόπο να διαπιστώσει αν το κινητό του τηλέφωνο λειτουργεί κάτω από τα όρια ασφαλείας.

Σχετίζεται η Η/Μ ακτινοβολία που εκπέμπουν οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας με τη ραδιενέργεια;

Όχι, γιατί αυτή η Η/Μ ακτινοβολία είμαι μη ιονίζουσα ακτινοβολία που δεν έχει καμιά σχέση με τη ραδιενέργεια. Φυσικά είναι ανυπόστατοι και οι ισχυρισμοί περί καρκινογόνου ακτινοβολίας.

Προκαλεί καρκίνο η ακτινοβολία των κινητών;

Σε πολλές έρευνες επιβεβαιώθηκε, ότι ακόμη και ακτινοβολία υψηλής συχνότητας πολύ μεγάλης ισχύος δεν μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στο γονότυπο. Γι' αυτό η υψίσυχη ακτινοβολία δεν θεωρείται καρκινογόνα. Αντίθετα, δεν μπορεί να αποκλεισθεί ότι η αύξηση όγκων, αφού δημιουργηθούν, θα μπορούσε να ευνοείται.

Σε μια αυστραλιανή έρευνα, γενετικά μεταλλαγμένα ποντίκια ανέπτυξαν με αυξημένη συχνότητα όγκους, όταν ήταν εκτεθειμένα για μακρύ χρονικό διάστημα σε ακτινοβολία κινητής τηλεφωνίας. Αν αυτό είναι επίφοβο και για τους ανθρώπους, δεν μπορεί ούτε να αποδειχθεί, ούτε να αποκλεισθεί βάσει αυτής της μιας έρευνας.

Τι εννοούμε όταν λέμε θερμικές επιδράσεις της RF ακτινοβολίας;

Η αρχική επίπτωση, όμως, στην υγεία από τις ακτινοβολίες RF/MW είναι οι θερμικές. Θερμικές ονομάζονται εκείνες οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που οφείλονται σε μετρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών που δέχονται ακτινοβολία.

Οι βλάβες στον οργανισμό προξενούνται από τη θέρμανση των ακτινοβολούμενων ιστών και από την αδυναμία των θερμορυθμιστικών μηχανισμών των διαφόρων ιστών στην αντιμετώπιση της ακτινοβολήσης. Παρατηρήσιμη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται από πυκνότητες ισχύος άνω του 1 mW/cm^2 . Οι θερμικές επιδράσεις είναι αυτές που -κατά κύριο λόγο- αποτελούν το αντικείμενο μελέτης στις δυτικές χώρες. Οι κανονισμοί της έκθεσης των Δυτικών χωρών βασίζονται στην αποφυγή των θερμικών προβλημάτων. Εντούτοις, η έρευνα συνεχίζεται σε πιθανά "μη-θερμικά" αποτελέσματα. Η απορρόφηση της ενέργειας των RF/MW μεταβάλλεται ανάλογα με τη συχνότητα. Η μικροκυματική ακτινοβολία απορροφάται κοντά στο δέρμα, ενώ η ακτινοβολία RF μπορεί να απορροφηθεί από τα όργανα βαθιά στο σώμα.

Λόγω της παρουσίας νερού και ιόντων, οι ιστοί απορροφούν ενέργεια. Όπως όλοι γνωρίζουμε, το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από 70% νερό. Το μόριο του νερού αποτελεί ένα ηλεκτρικό δίπολο (πολική ομοιοπολική ένωση). Έτσι λοιπόν όταν το σώμα μας βρεθεί μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο τα μόρια του νερού, που είναι δίπολα, θα αρχίσουν να περιστρέφονται ή να πάλλονται στο ρυθμό συχνότητας του κύματος. Όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα παλμού και όσο η διάρκεια του φαινομένου

είναι μεγαλύτερη τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας θα παραχθούν.

Ο οργανισμός του ανθρώπου διαθέτει θερμορυθμιστικούς μηχανισμούς που κρατούν τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή μεταξύ 36 και 37 βαθμών Κελσίου. Όταν τα παραγόμενα ποσά θερμότητας είναι σχετικά μικρά, οι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί μπορούν να απάγουν αυτήν τη θερμότητα και να κρατούν σταθερή τη θερμοκρασία στους 36-37⁰C. Αντίθετα, όταν τα ποσά θερμότητας υπερβούν κάποια τιμή, τότε οι μηχανισμοί αυτοί δεν μπορούν να λειτουργήσουν σωστά κάτι που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας σε ιστούς ή όργανα του σώματος άνω των 37 βαθμών.

Ποιες είναι δηλαδή οι επιδράσεις της RF ακτινοβολίας (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων) στην υγεία μας;

Η έκθεση σε μεγάλες τιμές ακτινοβολίας υψηλών συχνοτήτων έχει θερμικές επιδράσεις: η ακτινοβολούμενη ενέργεια απορροφάται από τους ιστούς και μετατρέπεται σε θερμότητα. Το σώμα έτσι θερμαίνεται. Τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού έχουν καθοριστεί έτσι ώστε να μην μπορούν να προκύψουν τέτοιες θερμικές επιδράσεις. Εφόσον αυτές οι οριακές τιμές τηρούνται σε όλους τους προσιτούς χώρους στους σταθμούς Βάσης καθώς και κατά τη συνομιλία με συσκευή κινητού τηλεφώνου, δεν πρέπει να φοβόμαστε θερμικές επιδράσεις.

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

Παρατηρήθηκαν π.χ. φυσιολογικές μεταβολές σε κυτταρικές καλλιέργειες και σε ζώα καθώς και επηρεασμός της ηλεκτρικής δραστηριότητας στον ανθρώπινο εγκέφαλο.

Επιδράσεις στους οφθαλμούς: Συνήθως η έρευνα για δημιουργία καταρράκτη αφορά απλές ή πολλαπλές οξείες εκθέσεις σε Η/Μ ακτινοβολίες με πυκνότητα ισχύος 80-500mW/cm².

Ακουστικό φαινόμενο: Άνθρωποι εκτιθέμενοι σε οξείες μικροκυματικούς παλμούς αναφέρουν ότι ακούν υπόκωφο ήχο με συχνότητα ίση προς την συχνότητα επανάληψης των παλμών.

Εκροή ασβεστίου: Αυξημένη εκροή ιόντων ασβεστίου ⁴⁵Ca²⁺ έχει παρατηρηθεί σε απομονωμένους εγκεφαλικούς αλλά και καρδιακούς ιστούς πειραματόζωων που εκτέθηκαν σε ημιτονοειδώς διαμορφωμένα Η/Μ πεδία. Τα ιόντα του ασβεστίου είναι εξαιρετικής σημασίας για την μεταφορική σύζευξη (transduktive coupling) μιας μεγάλης γκάμας ανοσολογικών, ενδοκρινολογικών και νευρολογικών φαινομένων στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης των κυττάρων. Το φαινόμενο εξαρτάται ισχυρά από την συχνότητα διαμόρφωσης και την πυκνότητα ισχύος της χρησιμοποιούμενης Η/Μ ακτινοβολίας.

Επιδράσεις στη συμπεριφορά: Η αλλαγή συμπεριφοράς πειραματόζωων που εκτέθηκαν σε Η/Μ ακτινοβολία βρέθηκε να είναι το φαινόμενο που παρουσιάζεται στις χαμηλότερες τιμές κατωφλίων από όλες τις υπόλοιπες βιολογικές επιδράσεις των ραδιοκυμάτων. Τα όρια αυτά βρέθηκαν σε γενικές

γραμμές να έχουν τιμές 4-8W/kg ανεξάρτητα από τη συχνότητα τη διαμόρφωση, την μέση ισχύ ή τον τρόπο που γινόταν η έκθεση.

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

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

Πώς προκύπτουν αυτές οι επιδράσεις, δεν είναι γνωστό. Η αξιολόγηση καθίσταται δύσκολη από το γεγονός ότι τα πειράματα κατά ένα μέρος δεν ήταν δυνατόν να επαναληφθούν ή υπάρχουν αντιφατικά αποτελέσματα. Χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για να διαγνωσθούν ενδεχόμενες επιδράσεις στην υγεία της υψίσυχνης ακτινοβολίας μικρής ισχύος, όπως αυτή που χρησιμοποιείται στην κινητή τηλεφωνία. Οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις της ακτινοβολίας μικρής ισχύος δεν κατέστη δυνατόν ως σήμερα να ερευνηθούν καθόλου.

Οι επιστήμονες ανησυχούν αρκετά για τους πιθανούς κινδύνους υγείας από τις κεραιές των σταθμών;

Όχι αρκετά. Υπάρχουν βέβαια μερικοί λόγοι για να ανησυχήσουν για τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων από τα κινητά τηλέφωνα (αν και δεν είναι σίγουρο ότι υπάρχουν πραγματικά οποιοδήποτε κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία). Αυτές οι ανησυχίες υπάρχουν επειδή οι κεραιές αυτών των τηλεφώνων δίδουν ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας της ακτινοβολίας τους σε πολύ μικρούς όγκους του σώματος του χρήστη. Οι κεραιές των σταθμών δεν δημιουργούν τέτοια "καυτά σημεία" (εκτός κι αν στέκεστε κατευθείαν μπροστά τους), έτσι τα πιθανά ζητήματα ασφάλειας σχετικά με τα τηλέφωνα δεν έχουν καμία πραγματική δυνατότητα εφαρμογής στις κεραιές σταθμών βάσεων.

Η ακτινοβολία RF από μερικούς σταθμούς βάσεων (π.χ. εκείνες για τα παλαιότερα κινητά τηλέφωνα 800 MHz που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ) μπορεί να απορροφηθεί από τους ανθρώπους

κάπως περισσότερο από την ακτινοβολία RF από άλλους τύπους σταθμών βάσεων (π.χ, εκείνες οι βάσεις για τα τηλέφωνα 1800-2000 MHz, που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ). Εντούτοις, μόλις απορροφηθεί η ενέργεια τα αποτελέσματα είναι τα ίδια.

Πόσος κίνδυνος υπάρχει από τα ασύρματα κινητά τηλέφωνα της σταθερής τηλεφωνίας;

Τα διαθέσιμα επιστημονικά στοιχεία δεν δείχνουν ότι οποιαδήποτε προβλήματα υγείας συνδέονται με τη χρήση των ασύρματων τηλεφώνων. Αλλά, δεν υπάρχει και καμία απόδειξη ότι τα ασύρματα τηλέφωνα είναι απολύτως ασφαλή. Τα ασύρματα τηλέφωνα εκπέμπουν Η/Μ ακτινοβολία στην περιοχή των μικροκυμάτων με χαμηλά επίπεδα ενέργειας όταν χρησιμοποιούνται ή όταν είναι σε αναμονή.

Ενώ τα υψηλά επίπεδα αυτής της ακτινοβολίας μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην υγεία (με τη θέρμανση των ιστών), η έκθεση στα χαμηλά επίπεδα των κινητών δεν παράγει θερμικά αποτελέσματα που να έχουν κάποια δυσμενή επίπτωση στην υγεία. Πολλές μελέτες που έχουν γίνει για τις επιπτώσεις σε χαμηλές εκθέσεις της περιοχής των RF δεν έχουν βρεί οποιαδήποτε βιολογικά αποτελέσματα. Μερικές μελέτες έχουν προτείνει ότι μερικά βιολογικά αποτελέσματα μπορούν να εμφανιστούν, αλλά τέτοια συμπεράσματα δεν έχουν επιβεβαιωθεί από επιπρόσθετες έρευνες. Σε μερικές περιπτώσεις, άλλοι ερευνητές είχαν δυσκολία στην αναπαραγωγή αυτών των μελετών, ή στο να καθορίσουν τις αιτίες για τα ασυμβίβαστα αποτελέσματα.

Προκαλεί η ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας πονοκέφαλο και διαταραχές ύπνου;

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

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

Τι δείχνουν οι έρευνες για την επίδραση στην υγεία;

Η έρευνα που έχει γίνει μέχρι σήμερα έδωσε συγκρουόμενα αποτελέσματα, και πολλές μελέτες έχουν κενά από τις ερευνητικές μεθόδους τους. Τα πειράματα σε ζώα, που ερεύνησαν τα αποτελέσματα της έκθεσης στην RF ακτινοβολία, έχουν δώσει συγκρουόμενα αποτελέσματα που δεν μπορούν συχνά να επαναληφθούν σε άλλα εργαστήρια.

Μερικές μελέτες σε ζώα, εντούτοις, έχουν προτείνει ότι χαμηλά επίπεδα της ακτινοβολίας RF θα μπορούσαν να επιταχύνουν την ανάπτυξη του καρκίνου στα πειραματόζωα. Όμως, πολλές από τις μελέτες που εμφάνισαν αυξανόμενη ανάπτυξη όγκων χρησιμοποίησαν ζώα που ήταν φτιαγμένα

γενετικά ή είχαν εκτεθεί σε καρκινογόνες χημικές ουσίες, έτσι ώστε να έχουν μια προδιάθεση στο να αναπτύξουν καρκίνο και χωρίς την παρουσία ακτινοβολίας RF των κινητών.

Άλλες μελέτες εξέθεσαν ζώα σε ακτινοβολία RF μέχρι και 22 ώρες την ημέρα. Αυτές οι συνθήκες δεν είναι όμοιες με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες οι άνθρωποι χρησιμοποιούν σήμερα τα ασύρματα κινητά τηλέφωνα. Έτσι, δεν ξέρουμε με βεβαιότητα τι τα αποτελέσματα τέτοιων μελετών κακών για την ανθρώπινη υγεία.

Τρεις μεγάλες επιδημιολογικές μελέτες έχουν δημοσιευθεί από το Δεκέμβριο του 2000. Μεταξύ αυτών, οι μελέτες ερευνήσαν οποιαδήποτε πιθανή σύνδεση μεταξύ της χρήσης των ασύρματων κινητών τηλεφώνων και του καρκίνου στον εγκέφαλο, του πρήξιμου σε νευρόγλια, της μηνιγγίτιδας, ή του ακουστικού νεύρου, των όγκων του εγκεφάλου ή του σιελογόνου αδένου, της λευχαιμίας, ή άλλων μορφών καρκίνων.

Καμία από τις μελέτες δεν κατέδειξε την ύπαρξη οποιωνδήποτε επιβλαβών επιδράσεων πάνω στην υγεία από την έκθεση στις RF συχνότητες των ασύρματων κινητών τηλεφώνων. Όμως, καμία από τις μελέτες δεν μπορεί να απαντήσει στις ερωτήσεις που γίνονται για τις μακροπρόθεσμες εκθέσεις στην ακτινοβολία, επειδή ο μέσος χρόνος χρήσης του τηλεφώνου σε αυτές τις μελέτες ήταν περίπου τρία χρόνια.

Και τα παιδιά που χρησιμοποιούν τα ασύρματα τηλέφωνα;

Τα επιστημονικά στοιχεία δεν εμφανίζουν κανέναν κίνδυνο για τους χρήστες των ασύρματων κινητών τηλεφώνων, συμπεριλαμβανομένων και των παιδιών και των εφήβων. Μια μείωση όμως του χρόνου χρήσης του κινητού από τα παιδιά καθώς και η αύξηση της απόστασης μεταξύ του χρήστη και του κινητού θα μειώναν ασφαλώς την έκθεση στην ακτινοβολία. Μερικές επιστημονικές ομάδες, που υποστηρίζονται από κυβερνήσεις, έχουν συμβουλέψει να αποθαρρύνονται τα παιδιά στη χρήση των κινητών. Παραδείγματος χάριν, η κυβέρνηση στη Βρετανία διένειμε φυλλάδια που περιέχουν μια τέτοια σύσταση τον Δεκέμβριο του 2000. Σημείωναν δε, ότι κανένα στοιχείο δεν υπάρχει ότι η χρησιμοποίηση ενός κινητού προκαλεί όγκο στον εγκέφαλο ή άλλα βλαβερά αποτελέσματα. Υπήρχε όμως σύσταση στο να περιορίσουν τα παιδιά τη χρήση του τηλεφώνου για προληπτικούς λόγους κι όχι γιατί βασίστηκαν σε επιστημονικά στοιχεία ότι υπάρχει οποιοσδήποτε κίνδυνος υγείας.

Ποια μέτρα μπορούν να ληφθούν για να μειώσει ο κόσμος την έκθεση στην RF ακτινοβολία;

Εάν υπάρχει κίνδυνος από τα κινητά - και σήμερα δεν ξέρουμε ότι υπάρχει - αυτός είναι πιθανώς πολύ μικρός. Αλλά εάν ενδιαφέρεστε να αποφύγετε έστω και τον παραμικρό πιθανό κίνδυνο, μπορείτε να λάβετε μερικά απλά μέτρα για να ελαχιστοποιήσετε την έκθεσή σας στην ενέργεια των ακτινοβολιών RF. Καθώς ο χρόνος έκθεσης είναι ένας βασικός παράγοντας στο πόση ακτινοβολία κάποιος παίρνει, η μείωση του χρόνου ομιλίας θα μειώσει την έκθεση στην ακτινοβολία.

Κάθε συνδιάλεξη με φορητό τηλέφωνο να είναι σύντομη (0,5-1 λεπτό) και να ακολουθεί πεντάλεπτη αναμονή, προκειμένου να ηρεμήσουν όσα κύτταρα απορρόφησαν ακτινοβολία. Σε

τηλεφωνήματα μεγαλύτερης διάρκειας, θα πρέπει να χρησιμοποιείται hands free και το κινητό να βρίσκεται τουλάχιστον ένα μέτρο μακριά από τον χρήστη. Εάν όμως πρέπει να κάνετε πολλά τηλεφωνήματα από το κινητό κάθε ημέρα, θα μπορούσατε να τοποθετήσετε το τηλέφωνο σε μεγαλύτερη απόσταση από το σώμα σας, επειδή το επίπεδο της έκθεσης πέφτει εντυπωσιακά με την αύξηση της απόστασης. Παραδείγματος χάριν, θα μπορούσατε να χρησιμοποιήσετε μια κάσκα και να μεταφέρετε το ασύρματο τηλέφωνο μακριά από το σώμα σας ή να χρησιμοποιήσετε ένα ασύρματο τηλέφωνο που συνδέεται με μια απομακρυσμένη κεραία.

Μπορούν τα hands-free να μειώσουν τους κινδύνους;

Δεν υπάρχει κανένας λόγος να θεωρηθεί ότι τα hands-free μειώνουν τους κινδύνους. Τα hands-free μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα κινητά τηλέφωνα για ευκολία και άνεση. Αυτά τα συστήματα μειώνουν την απορρόφηση της ενέργειας των ακτινοβολιών RF στο κεφάλι επειδή το τηλέφωνο, που είναι η πηγή των ακτινοβολιών, δεν τοποθετείται στο ύψος του κεφαλιού μας. Αφ' ετέρου, εάν το τηλέφωνο βρίσκεται στη μέση του σώματος ή σε άλλο μέρος του σώματος κατά τη διάρκεια της χρήσης (πχ κοντά στο στήθος), τότε αυτό το μέρος του σώματος θα απορροφήσει την περισσότερη RF ενέργεια. Τα κινητά τηλέφωνα που πωλούνται στις ΗΠΑ και την ΕΕ έχουν μικρές εκπομπές ακτινοβολίας ανεξάρτητα από το εάν τοποθετείται στο αυτί μας ή στο σώμα.

Επίσης κάποιες ασπίδες, που λένε ότι προστατεύουν το χρήστη από την απορρόφηση της ακτινοβολίας ίσως να μην είναι και τόσο ασφαλείς. Οι μελέτες έχουν δείξει ότι αυτά τα προϊόντα γενικά δεν δουλεύουν όπως διαφημίζονται. Αυτές οι αποκαλούμενες "ασπίδες" μπορούν να προκαλέσουν αντίθετα αύξηση της εκπεμπόμενης ισχύς του για να αντισταθμίσει την λειτουργία της ασπίδας, οδηγώντας σε μια αύξηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας. Τον Φεβρουάριο του 2002, η Αμερικανική Επιτροπή (FTC) τιμώρησε δύο εταιρείες που παραπλανούσαν το κοινό με τις συσκευές που πωλούσαν. Σύμφωνα με την FTC, αυτές οι εταιρείες δεν μπορούσαν να τεκμηριώσουν τον ισχυρισμό τους για τη μείωση της ακτινοβολίας.

Μπορούμε να μιλάμε στα αυτοκίνητα με ασφάλεια;

Πρέπει να τηλεφωνείτε, όταν είστε στο αυτοκίνητο, μόνο μέσω εξωτερικής κεραίας. Το μεταλλικό αμάξωμα του αυτοκινήτου σας εγκλωβίζει την ακτινοβολία και αφήνει μικρό μόνο μέρος της να εκπεμφθεί εξωτερικά. Έτσι λοιπόν το κινητό σας τηλέφωνο για να πετύχει ικανοποιητική ποιότητα επικοινωνίας, ανεβάζει αυτόματα την ισχύ εκπομπής του και έτσι σας επιβαρύνει σε μεγαλύτερη ακτινοβολία.

Ποιος είναι ο θεωρητικός υπολογισμός της πυκνότητας ισχύος;

Ο θεωρητικός υπολογισμός της πυκνότητας ισχύος στο περιβάλλον του κινητού τηλεφώνου για ισχύ εκπομπής $P=2\text{ W}$, για τη διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας της κεραίας και για αποστάσεις από 5 μέχρι 20cm, δίνει τιμές από $10.000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ μέχρι $650\mu\text{W}/\text{cm}^2$, που είναι πολύ μεγαλύτερες και των δυτικών ορίων επικινδυνότητας. Η σύγκριση όμως δεν είναι επιτρεπτή, επειδή τα όρια αυτά αφορούν ολόσωμη

έκθεση ενώ η ακτινοβολία του κινητού εντοπίζεται μόνο στην κεφαλή.

Έχει υπολογιστεί ότι για να μειωθεί ο βαθμός απορρόφησης της ακτινοβολίας του κινητού σε όλους τους ιστούς της κεφαλής κάτω από το όριο επικινδυνότητας των 1,6W/kg, θα πρέπει η ισχύς του κινητού τηλεφώνου να πέσει κάτω από 0,6W. Οι δε θεωρητικοί υπολογισμοί του SAR της ακτινοβολίας ενός κινητού από το μάτι, το αυτί και τον εγκέφαλο με ισχύ εκπομπής φορητού 1W και για δύο θέσεις του φορητού ως προς το κεφάλι (κατακόρυφη και υπό κλίση 45°) σε απόσταση 0,5cm από αυτό, έδειξε τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα:

Είδος ιστού	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (W/kg)	
	Φορητό τηλέφωνο τοποθετημένο κατακόρυφα	Φορητό τηλέφωνο κεκλιμένο κατά 45° ως προς την κατακόρυφο
Μάτι	1,82W/kg	2,48W/kg
Εγκέφαλος	0,178W/kg	0,21W/kg
Αυτί	10,11W/kg	4,97W/kg

Οι τιμές που προκύπτουν είναι μεγάλες και υπερβαίνουν το όριο επικινδυνότητας των 1,6W/kg για μεμονωμένους ιστούς. Μεγαλύτερη εμφανίζεται, φυσιολογικά, η απορρόφηση από το αυτί, για κατακόρυφη θέση του κινητού, υπερβαίνοντας κατά 6 φορές περίπου το όριο επικινδυνότητας.

Ποιες είναι οι τελευταίες μετρήσεις του ΕΜΠ;

Όμως πρόσφατες μετρήσεις μιας έρευνας του ΕΜΠ για την απορρόφηση από το αυτί, της Η/Μ ακτινοβολίας RF που εκπέμπεται από τα νέα κινητά των 0,5W ή 0,25W δίνει τα εξής αποτελέσματα που είναι πολύ κάτω από τα όρια, ιδίως για το δίκτυο της Cosmote (1800 MHz).

	Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης (W/kg)			
	Κεραία με κλίση 45° σε απόσταση 0,5cm από το αυτί		Κεραία κατακόρυφη σε απόσταση 0,5cm από το αυτί	
	1800MHz*	915MHz**	1800MHz*	915MHz**
0,5 W	1,5	2,4	4,5	5
0,25W	0,75	1,2	2,2	2,5

Επιτρέπεται να τοποθετούνται κεραίες κινητής τηλεφωνίας στις ταράτσες κτηρίων;

Η απάντηση είναι ότι οι κεραίες της κινητής τηλεφωνίας εκπέμπουν μικρή ισχύ και κατά τέτοιο τρόπο ώστε ακόμα και σε απόσταση λίγων μέτρων από το μέτωπο της κεραίας (και όχι της κατασκευής) τα επίπεδα της ακτινοβολίας να είναι αρκετές φορές χαμηλότερα από τα νομοθετημένα όρια ασφαλείας.

Οι κεραιές κινητής τηλεφωνίας εκπέμπουν περισσότερο σε σχέση με τις κεραιές της ραδιοφωνίας και της τηλεόρασης;

Η απάντηση εδώ είναι ότι οι κεραιές κινητής τηλεφωνίας εκπέμπουν ισχύ 100 έως 5000 φορές χαμηλότερα από τις κεραιές της ραδιοφωνίας και της τηλεόρασης και γι' αυτό τοποθετούνται μέσα στις πόλεις.

Οι κεραιές κινητής τηλεφωνίας μπορούν να επηρεάσουν ιατρικές συσκευές, όπως οι βηματοδότες;

Εφόσον τα επίπεδα εκπομπής είναι εντός των αντίστοιχων ορίων ασφαλείας, τα οποία είναι πολύ αυστηρότερα για τις συσκευές αυτές, δεν υπάρχουν στοιχεία που να αποδεικνύουν κάτι τέτοιο, σημειώνει η ίδια έρευνα.

Αν οι κεραιές κινητής τηλεφωνίας τοποθετούνταν εκτός κατοικημένων περιοχών, θα μειώνονταν τα επίπεδα έκθεσης;

Όχι, γιατί σε αυτή την περίπτωση θα χρειαζόταν μεγαλύτερη ισχύς εκπομπής, καθώς θα αυξανόταν η εμβέλεια των κεραιών, αναφέρει η έρευνα του ΕΜΠ.

Οι κεραιές πως τοποθετούνται;

Οι σταθερές κεραιές που χρησιμοποιούνται για τις ασύρματες τηλεπικοινωνίες αναφέρονται ως κυψελοειδείς σταθμοί βάσεων ή πύργοι τηλεφωνικών μεταφορών. Αυτοί οι σταθμοί αποτελούνται από τις κεραιές και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Επειδή οι κεραιές χρειάζονται να είναι ψηλά στον αέρα, βρίσκονται συχνά σε πύργους, σε βουνά, σε κολυμβητήρια, ή σε στέγες. Τα χαρακτηριστικά ύψη για τους πύργους των βάσεων είναι 15 - 60 μέτρα.

Μερικοί σταθμοί κινητών χρησιμοποιούν πανκατευθυντικές κεραιές μήκους 3 έως 5 μέτρων. Αυτοί οι τύποι των βάσεων βρίσκονται συνήθως στις αγροτικές περιοχές. Στις αστικές και ημιαστικές περιοχές, χρησιμοποιούνται πιο μικρές βάσεις, περίπου ενός μέτρου. Οι κεραιές διευθετούνται συνήθως σε τρεις ομάδες των τριών κεραιών η κάθε μία. Η μια κεραιά σε κάθε ομάδα χρησιμοποιείται για να διαβιβάσει τα σήματα στα ασύρματα κινητά τηλέφωνα, και οι άλλες δύο κεραιές σε κάθε ομάδα χρησιμοποιούνται για να λαβαίνουν τα σήματα από τα ασύρματα κινητά τηλέφωνα.

Το ποσό της ακτινοβολίας που παράγεται εξαρτάται από τον αριθμό των ραδιοκαναλιών ανά κεραιά και την ισχύ κάθε πομπού των σημάτων. Στην Αμερική, συνήθως υπάρχουν 21 τέτοια κανάλια ανά τμήμα των κεραιών. Άρα θεωρητικά την ίδια στιγμή μπορούν να συνδεθούν 63 κινητά (21 κανάλια επί 3 κεραιές). Εντούτοις, είναι απίθανο ότι όλες οι συσκευές θα συνδέονται συγχρόνως.

Όταν όμως χρησιμοποιούνται οι πανκατευθυντικές κεραιές, τότε ένας κυψελοειδής σταθμός βάσης θα μπορούσε θεωρητικά να χρησιμοποιήσει μέχρι και 96 συσκευές, αλλά αυτό θα ήταν πολύ ασυνήθιστο, γιατί είναι απίθανο ότι όλες αυτές οι συσκευές συγχρόνως αποστέλλουν ή παίρνουν σήματα.

Πόσο ασφαλής είναι η περιοχή των βάσεων των κεραιών;

Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (RF) μεταδίδονται από τις κεραιές των σταθμών βάσης προς τον ορίζοντα σε σχετικά στενές διαδρομές. Όπως και με όλες τις μορφές της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, η ισχύς μειώνεται γρήγορα με την απόσταση από την κεραία. Επομένως, η RF έκθεση στο έδαφος είναι πολύ μικρότερη από την έκθεση πολύ κοντά στην κεραία και στη διαδρομή που ακολουθεί το ραδιοσήμα. Στην πραγματικότητα, η έκθεση στο επίπεδο του εδάφους από τέτοιες κεραιές είναι χιλιάδες φορές μικρότερη από τα επίπεδα έκθεσης που συστήνονται σαν ασφαλή από τις ειδικές οργανώσεις. Έτσι η έκθεση στους κατοίκους που μένουν κοντά στις κεραιές θα ήταν σύμφωνα με τα περιθώρια ασφάλειας.

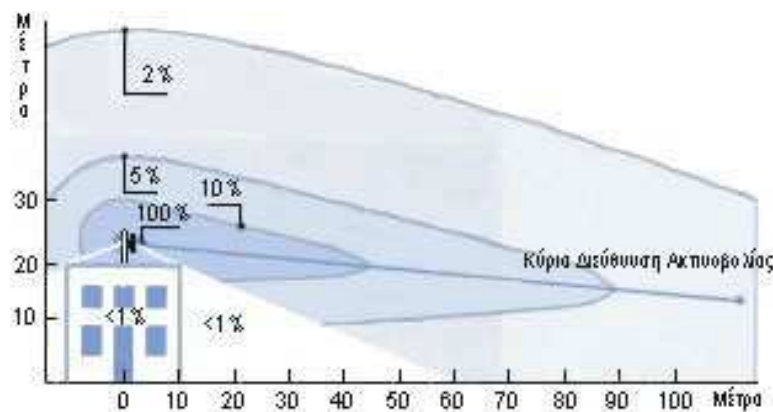
Στην πραγματικότητα, ένα άτομο προκειμένου να εκτεθεί στα επίπεδα ή κοντά στα όρια αυτά, που ορίζουν οι διεθνείς οργανώσεις για τις κεραιές αυτές, θα πρέπει ουσιαστικά να παραμείνει στη διαδρομή - στην ευθεία - του Η/Μ ραδιοσήματος (στο ύψος δηλαδή της κεραίας) και εντός λίγων μέτρων από την κεραία. Φυσικά, είναι πολύ απίθανο να συμβεί για κάποιον που μένει κοντά στην κεραία.

Υπάρχουν διαφορές μεταξύ κεραιών της κινητής και κεραιών του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης;

Ναι και Όχι. Η ακτινοβολία RF από μερικές κεραιές (ιδιαίτερα τις κεραιές των ραδιοφώνων FM και της τηλεόρασης VHF) απορροφάται περισσότερο από τους ανθρώπους από όσο η ακτινοβολία RF από τις κεραιές των σταθμών των κινητών τηλεφώνων, αλλά μόλις απορροφηθεί η ενέργεια τα αποτελέσματα είναι βασικά τα ίδια. Οι κεραιές FM και της TV στέλνουν 100 έως 5000 φορές περισσότερη ισχύ από ό,τι οι κεραιές των σταθμών των κινητών, αλλά όμως αυτές τοποθετούνται συνήθως σε πολύ υψηλότερους πύργους ή βουνά.

Αν μια κεραία είναι σε μια ταράτσα, πώς μειώνεται η ένταση της ακτινοβολίας με την απόσταση;

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μείωση ανάλογα με την απόσταση. Αλλά αν θέλετε ακριβέστερα στοιχεία, μπορείτε να απευθυνθείτε στην Ε.Ε.Α.Ε. για περαιτέρω ενημέρωση και να κάνετε αίτηση για την διεξαγωγή μετρήσεων.



Τι πρέπει να προσέχω κατά την αγορά κινητού τηλεφώνου ;

Πριν αποκτήσετε κινητό τηλέφωνο, ενημερωθείτε για την ισχύ της ακτινοβολίας που απορροφάται στο κεφάλι σας (μέγεθος SAR). Σύντομα, όλοι οι κατασκευαστές θα το αναγράφουν στο κουτί της κάθε συσκευής. Από αυτή την άποψη υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων μοντέλων συσκευών κινητών τηλεφώνων. Προτιμήστε μια συσκευή με χαμηλή επιβάρυνση ακτινοβολίας.

Συμπέρασμα

Και πάλι αναφέρουμε, ότι τα επιστημονικά στοιχεία δεν καταδεικνύουν ότι τα κινητά τηλέφωνα είναι επιβλαβή. Αλλά εάν θεωρείται ότι στο μέλλον ίσως αποδειχτούν επιβλαβή πάρτε τα μέτρα σας. Μειώστε το χρόνο ομιλίας, μην το βάζετε στη μέση σας (γιατί επηρεάζονται αρκετά τα γεννητικά όργανα) και αυξήστε την απόστασή όταν μιλάτε από το ακουστικό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Το SAR δείχνει την απορρόφηση ενέργειας από το ανθρώπινο σώμα σε βατ ανα κιλό (W/Kg). Το ανώτατο όριο που έχει θεσπιστεί από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας στην Συγκαπούρη είναι 2.0 W/Kg. Οι τιμές που παρατίθενται αντιπροσωπεύουν τον μέγιστο επίπεδο SAR με το τηλέφωνο δίπλα στο αυτί.

Μέχρι τώρα οι παρακάτω εταιρίες έχουν δημοσιεύσει πληροφορίες για τα κινητά τους:

Alcatel	511	0.30	Alcatel	531	0.86
Alcatel	512	0.30	Alcatel	Club	0.87
Alcatel	715	0.35	Alcatel	Easy	0.87
Alcatel	501	0.41	Alcatel	Gumm	0.87
Alcatel	332	0.43	Alcatel	Max	0.87
Alcatel	701	0.43	Alcatel	View	0.96
Alcatel	331	0.49	Alcatel	Max1	0.97
Alcatel	735	0.57	Alcatel	302	1.00
Alcatel	310	0.60	Alcatel	303	1.00
Alcatel	311	0.60	Alcatel	304	1.00
Alcatel	525	0.60	Alcatel	300	1.02
Alcatel	500	0.71	Alcatel	301	1.02
Alcatel	320	0.77	Alcatel	700	1.04
Alcatel	535	0.81			
Ascom	GD350	1.07	Ascom	Axento	1.25
Ascom	GDX350	1.07	Ascom	Elisto	1.33
Benefon	Twin Dual	1.01			
Bosch	GSM-909	1.13	Bosch	M-Com 906	1.32
Bosch	GSM 607	1.20			
LG	7100	0.32	LG	8110	1.07
LG	G5300i	0.427	LG	C1100	1.12
LG	1100	0.638	LG	C1200	1.15
LG	7050	0.638			
Mitsubishi	M341i	0.356	Mitsubishi	M320	0.868
Mitsubishi	Aria	0.44	Mitsubishi	Galaxy	0.93
Mitsubishi	Cosma	0.60	Mitsubishi	Eclipse	0.941
Mitsubishi	Neptune	0.713	Mitsubishi	Mars	0.994
Mitsubishi	Mondo	0.738	Mitsubishi	Mystral	1.12
Mitsubishi	Trium 110	0.746	Mitsubishi	Aurel	1.12

Mitsubishi	Sirius	0.748	Mitsubishi	Odyssey	1.12
Mitsubishi	M342i	0.785	Mitsubishi	MM21i	1.28
			Mitsubishi	MT 30	1.30
Motorola	MPX200	0.12	Motorola	8088	0.87
Motorola	U15	0.35	Motorola	C650	0.87
Motorola	130 Startac	0.38	Motorola	T192	0.87
Motorola	ACCOMPLI 009	0.38	Motorola	V51	0.87
Motorola	P8088	0.43	Motorola	E365	0.88
Motorola	T8088	0.445	Motorola	C350	0.90
Motorola	V60g	0.52	Motorola	V2088	0.90
Motorola	V60i	0.52	Motorola	V220	0.90
Motorola	T228	0.54	Motorola	V500	0.90
Motorola	V80	0.54	Motorola	V525	0.90
Motorola	A835	0.55	Motorola	C450	0.92
Motorola	T2288	0.62	Motorola	T190	0.92
Motorola	T180	0.64	Motorola	T205	0.93
Motorola	A925	0.65	Motorola	T720	0.93
Motorola	2288	0.66	Motorola	T720i	0.93
Motorola	A830	0.69	Motorola	T722i	0.93
Motorola	CD930	0.70	Motorola	V150	0.93
Motorola	C550	0.71	Motorola	V300	0.93
Motorola	C380	0.73	Motorola	V303	0.93
Motorola	C385	0.73	Motorola	97389i	0.95
Motorola	E380	0.73	Motorola	C300	0.95
Motorola	A920	0.75	Motorola	T260	0.95
Motorola	V8088	0.76	Motorola	A760	0.96
Motorola	C200	0.78	Motorola	T280	0.96
Motorola	T250	0.80	Motorola	T280i	0.96
Motorola	C331	0.81	Motorola	V70	0.96
Motorola	C332	0.81	Motorola	E398	1.01
Motorola	C333	0.81	Motorola	T191	1.01
Motorola	C336	0.81	Motorola	A008	1.02
Motorola	D160	0.81	Motorola	P7389	1.07
Motorola	M3888	0.815	Motorola	P789E	1.07
Motorola	V2288	0.82	Motorola	V66	1.17
Motorola	V600	0.82	Motorola	V66i	1.17
Motorola	C250	0.83	Motorola	V3688	1.19

Motorola	L7089	0.83	Motorola	V3690	1.19
Motorola	L7189	0.83	Motorola	V50	1.19
Motorola	TP250	0.83			
NEC	N223i	0.425	NEC	616	0.64
NEC	N22i	0.462	NEC	N400i	0.709
NEC	313	0.501	NEC	606	0.76
NEC	E525	0.506	NEC	E232	0.93
NEC	N341i	0.506	NEC	N331i	0.93
NEC	808n	0.515	NEC	DB7000	0.988
NEC	808s	0.515	NEC	N32i	0.988
			NEC	DB4000	1.23
Nokia	8890	0,26	Nokia	1100	0,67
Nokia	8910i	0,26	Nokia	5110	0,69
Nokia	9210	0,34	Nokia	6150	0,69
Nokia	9210i	0,34	Nokia	7600	0,71
Nokia	7650	0,35	Nokia	3650	0,72
Nokia	THR850	0,35	Nokia	6820	0,72
Nokia	7200	0,36	Nokia	8110	0,73
Nokia	8850	0,43	Nokia	8110i	0,73
Nokia	5100	0,48	Nokia	8810i	0,73
Nokia	3350	0,52	Nokia	5510	0,74
Nokia	8910	0,52	Nokia	3300	0,77
Nokia	THR880	0,52	Nokia	6600	0,8
Nokia	7610	0,54	Nokia	3210	0,81
Nokia	2100	0,55	Nokia	3410	0,81
Nokia	6250	0,55	Nokia	6310	0,81
Nokia	3200	0,56	Nokia	6510	0,81
Nokia	NGAUGE	0,57	Nokia	6210	0,82
Nokia	6230	0,59	Nokia	6810	0,82
Nokia	6100	0,6	Nokia	8310	0,82
Nokia	7250	0,6	Nokia	3510i	0,83
Nokia	7250	0,6	Nokia	2300	0,86
Nokia	6800	0,61	Nokia	6110	0,87
Nokia	5210	0,62	Nokia	7110	0,9
Nokia	6610	0,63	Nokia	3310	0,96
Nokia	7210	0,63	Nokia	3330	0,96

Nokia	6610I	0,63	Nokia	8210	1
Nokia	6650	0,64	Nokia	8810	1,14
Nokia	3510	0,66	Nokia	3110	1,24
Nokia	6220	0,66			
Panasonic	P341	0,459	Panasonic	GD93	0,72
Panasonic	X70	0,459	Panasonic	G600	0,732
Panasonic	Z70	0,459	Panasonic	A100i	0,737
Panasonic	G50	0,494	Panasonic	A100	0,743
Panasonic	G600	0,5	Panasonic	GD55	0,753
Panasonic	GD67	0,505	Panasonic	GD96	0,759
Panasonic	GD68	0,505	Panasonic	G70	0,77
Panasonic	X400	0,555	Panasonic	GD95	0,839
Panasonic	GD86A	0,576	Panasonic	GD350	0,856
Panasonic	G51E	0,582	Panasonic	X300	0,863
Panasonic	G51M	0,629	Panasonic	EB-G250	0,95
Panasonic	GD87	0,633	Panasonic	GD520	0,95
Panasonic	GD75	0,669	Panasonic	EB-GD92	0,97
Panasonic	GD76	0,669	Panasonic	EB-G500	0,98
Panasonic	X60	0,672	Panasonic	GD88	0,982
Philips	Azalis	0.50	Philips	Diga	1.06
Philips	Ozeo	0.61	Philips	Xennium	1.14
Philips	355	0.662	Philips	Genie 1800	1.41
Philips	Genie	1.05	Philips	Genie 900	1.52
Sagem	MYX7	0.57	Sagem	MYC2	0.93
Sagem	MYX1	0.64	Sagem	MYX3-2	0.93
Sagem	MYX2	0.64	Sagem	MYC3	0.99
Sagem	MYX5	0.64	Sagem	MYXC-3B	0.99
Sagem	959	0.65	Sagem	366	1.05
Sagem	MYX6	0.65	Sagem	840	1.05
			Sagem	MYC1	1.12
Samsung	SGH E800	0.32	Samsung	SGH X600	0.842
Samsung	SGH D410	0.37	Samsung	SGH S200	0.843
Samsung	SGH C100	0.458	Samsung	SGH N620	0.873
Samsung	SGH P510	0.518	Samsung	SGH E100	0.892
Samsung	SGH X400	0.597	Samsung	SGH C110	0.915
Samsung	SGH D415	0.619	Samsung	SGH T100	0.936

Samsung	SGH P100	0.659	Samsung	M100	0.94
Samsung	SGH V200	0.685	Samsung	SGH A800	0.961
Samsung	SGH Z105	0.699	Samsung	SGH X450	0.98
Samsung	SGH X430	0.711	Samsung	SGH S100	1.01
Samsung	SGH T400	0.718	Samsung	SGH A300	1.03
Samsung	SGH X100	0.758	Samsung	A110	1.13
Samsung	2200	0.78	Samsung	SGH S300	1.14
Samsung	SGH E700	0.795	Samsung	SGH 2400	1.17
Samsung	SGH T500	0.797	Samsung	SGH P400	1.18
Samsung	SGH E600	0.837	Samsung	N100	1.38
Sharp	TQ.G700	1.01			
Siemens	U15	0.35	Siemens	A40	0.85
Siemens	ST60	0.47	Siemens	M35i	0.85
Siemens	S40	0.48	Siemens	S35i	0.85
Siemens	S65	0.48	Siemens	CL50	0.88
Siemens	C55	0.49	Siemens	M65	0.88
Siemens	SX1	0.52	Siemens	S451	0.89
Siemens	S55	0.53	Siemens	SL42	0.89
Siemens	A55	0.56	Siemens	SL45	0.89
Siemens	A56	0.56	Siemens	SL45i	0.89
Siemens	CX65	0.59	Siemens	C45	0.93
Siemens	SL55	0.62	Siemens	S45	0.95
Siemens	M55	0.64	Siemens	S45i	0.95
Siemens	A57	0.67	Siemens	A50	0.97
Siemens	A60	0.67	Siemens	A52	0.97
Siemens	C60	0.67	Siemens	ME45	0.98
Siemens	M50	0.67	Siemens	U10	0.98
Siemens	C-25	0.72	Siemens	M50	1.01
Siemens	C62	0.72	Siemens	MT50	1.01
Siemens	C65	0.73	Siemens	A36	1.11
Siemens	ST55	0.74	Siemens	C35i	1.19
Siemens	CF62	0.75			
Sony/Ericsson	TZ600	0.16	Sony/Ericsson	T630	0.88
Sony/Ericsson	T2265	0.26	Sony/Ericsson	R600	0.89
Sony/Ericsson	T68i	0.38	Sony/Ericsson	T610	0.89
Sony/Ericsson	CMDX-1000	0.41	Sony/Ericsson	T618	0.89

Sony/Ericsson	SH888	0.42	Sony/Ericsson	P900	0.91
Sony/Ericsson	K700	0.48	Sony/Ericsson	P908	0.91
Sony/Ericsson	T68	0.49	Sony/Ericsson	SH688	0.91
Sony/Ericsson	T68M	0.49	Sony/Ericsson	R310s	0.94
Sony/Ericsson	K500i	0.53	Sony/Ericsson	R320s	0.94
Sony/Ericsson	CMD-C1	0.55	Sony/Ericsson	Z200	0.94
Sony/Ericsson	T18s	0.61	Sony/Ericsson	Z208	0.94
Sony/Ericsson	T200	0.63	Sony/Ericsson	GH688	0.95
Sony/Ericsson	P800	0.64	Sony/Ericsson	A3618S	0.96
Sony/Ericsson	P802	0.64	Sony/Ericsson	T65	0.98
Sony/Ericsson	T230	0.74	Sony/Ericsson	CMD27	0.99
Sony/Ericsson	T238	0.74	Sony/Ericsson	CMD-J7	0.99
Sony/Ericsson	S828	0.77	Sony/Ericsson	CMD-Z5	1.06
Sony/Ericsson	A2618s	0.79	Sony/Ericsson	R300D	1.13
Sony/Ericsson	T300	0.80	Sony/Ericsson	R300LX	1.13
Sony/Ericsson	T600	0.80	Sony/Ericsson	T28	1.27
Sony/Ericsson	T602	0.80	Sony/Ericsson	T28s	1.27
Sony/Ericsson	T310	0.81	Sony/Ericsson	A1228DSI	1.34
Sony/Ericsson	T312	0.81	Sony/Ericsson	1282D	1.35
Sony/Ericsson	T100	0.84	Sony/Ericsson	A1228D	1.35
Sony/Ericsson	T102	0.84	Sony/Ericsson	A1228C	1.38
Sony/Ericsson	T66	0.85	Sony/Ericsson	1200	1.39
Sony/Ericsson	A1228Di	0.86	Sony/Ericsson	2200	1.39
Sony/Ericsson	CMDJ70	0.86	Sony/Ericsson	3200	1.39
Sony/Ericsson	A1018s	0.88	Sony/Ericsson	T19LX	1.40
Sony/Ericsson	CMB-M25	0.88	Sony/Ericsson	R278D	1.41
Sony/Ericsson	R3002	0.88	Sony/Ericsson	Z1010	1.41
Sony/Ericsson	R300Z	0.88	Sony/Ericsson	LX-588	1.51
Sony/Ericsson	T628	0.88			

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κ.Θ. Λιολιούση, **Βιολογικές Επιδράσεις της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας**, Εκδ. Δίαυλος, Αθήνα, 1997.
2. Ι.Ο. Βαρδιάμπασης, **Κεραίες και Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων**, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Χανιά 2003.
3. Σ.Σ. Κουρής, **Στοιχεία Θεωρίας Κεραιών και Διαδόσεως Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων**, Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1994.
4. Ι.Γ. Φικιώρης, **Εισαγωγή εις την Θεωρία των Κεραιών και την Διάδοσιν Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων**, Ε.Μ.Π, Αθήνα 1987.
5. J.A. Stratton, **Electromagnetic Theory**, New York: Mc Graw Hill, 1941, sec. 9.25- 9.27.
6. J.L. Sebastian, S. Munoz, M. Sancho, J.M. Miranda, 2001, “Analysis of the influence of the cell geometry, orientation and cell proximity effects on the electric field distribution from direct RF exposure”, *Physics in Medicine and Biology*, 46, pp. 213-225.
7. Z. Sienkiewicz, 1998, “Biological effects of electromagnetic fields and radiation”, *J. Radiological Protection*, 18, pp. 185-193.
8. R.D. Saunders, Z.J. Sienkiewicz, 1991, “Biological effects of electromagnetic fields and Radiation”, *J. Radiological Protection*, 11, pp. 27-42.
9. N. Hassan, I. Chatterjee, N. Publicover, G.L. Craviso, 2003, “Numerical study of induced current perturbations in the vicinity of excitable cells exposed to extremely low frequency magnetic fields”, *Physics in Medicine and Biology*, 48, pp. 3277-3293.
10. Περιοδικό "Τεχνική Εκλογή".
11. Εφημερίδα "ΤΟ ΒΗΜΑ".
12. Εφημερίδα "ΤΑ ΝΕΑ".
13. Εφημερίδα "ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ".