



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
«ΘΕΟΦΡΑΣΤΕΙΟ» ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ»

Πρόδρομος Π. Ελευθερίου

**Στατιστική μοντελοποίηση της έντασης του ηλεκτρικού πε-
δίου της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο περιβάλλον.
Η περίπτωση της πόλης της Μυτιλήνης.**

Μεταπτυχιακή διατριβή

Επιβλέπων
Επίκουρος Καθηγητής
ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΤΣΙΝΟΣ

Μυτιλήνη 2005

*..... στην Κατερίνα
τη Μαρία
τον Ορφέα.....*

Ευχαριστίες

Είναι μακρύς ο κατάλογος εκείνων που συντέλεσαν στην ολοκλήρωση της Μεταπτυχιακής μου διατριβής. Νοιώθω, λοιπόν, χρέος μου, αλλά και χαρά μου να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου, ξεχωριστά στον καθένα, σε όλους εκείνους που στάθηκαν αρωγοί στην προσπάθειά μου.

– Κατ’ αρχήν, στον κ. Γιάννη Ματσίνο, Επίκουρο καθηγητή του τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, επειδή όχι μόνο μου εμπιστεύθηκε το θέμα της Μεταπτυχιακής μου διατριβής, αλλά, επιπλέον, με καθοδήγησε με υπομονή και προθυμία σε όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

– Στον κ. Γιώργο Κόκκορη, Λέκτορα του Πανεπιστημίου Αιγαίου του τμήματος Επιστημών Θάλασσας, για την πολύτιμη συμβολή του σε θέματα που σχετίζονταν με τη στατιστική και το Mathematica, για τα σχόλιά του στο τέταρτο κεφάλαιο της διατριβής μου και, φυσικά, για τη συμμετοχή του στην 3μελή εξεταστική επιτροπή.

– Στον κ. Στρατή Βογιάννη, Διδάσκοντα του τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου και συνάδελφο Φυσικό καθηγητή, για την προθυμία που έδειξε να μου επιλύσει πολλές απορίες μου σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, για την υπόδειξη κατάλληλης βιβλιογραφίας, για τον κριτικό σχολιασμό των τριών πρώτων κεφαλαίων και, επίσης, για τη συμμετοχή του στην 3μελή εξεταστική επιτροπή.

– Στον κ. Κώστα Χαλβαδάκη Καθηγητή του τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για την παραχώρηση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη διατριβή.

– Στον κ. Νικόλαο Σουλακέλλη Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Αιγαίου του τμήματος Γεωγραφίας, για την προσφορά ενός ψηφιοποιημένου χάρτη της Μυτιλήνης με τις καρτεσιανές συντεταγμένες των θέσεων μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

– Επιπροσθέτως, νιώθω την ανάγκη να αναφερθώ ιδιαίτερα στον κ. Ντικράν Ματσσιάν, υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, συνάδελφο Μαθηματικό καθηγητή, γιατί αφιέρωσε σημαντικό μέρος του πολύτιμου χρόνου του για να με μυήσει, με τον πλέον εύληπτο και απλό τρόπο στο Mathematica.

– Τέλος ευχαριστώ τη σύζυγό μου Κατερίνα και το γιο μου Ορφέα για την απεριόριστη κατανόηση και συμπαράσταση που έδειξαν κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Μεταπτυχιακό. Ειδικότερα, μάλιστα, η Κατερίνα έδειξε υπερβάλλοντα ζήλο και προθυμία για τη γλωσσική επιμέλεια του κειμένου της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Καθημερινά βομβαρδιζόμαστε από ενέργεια σε μορφή ακτινοβολίας. Πρόκειται για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ένα μέρος της είναι το ορατό φως. Το μεγαλύτερο, όμως, τμήμα της είναι αόρατο.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκπέμπεται από τον ήλιο, τα αστέρια, τους γαλαξίες, παράγεται, όμως, και τεχνητά. Ορισμένες μορφές αυτής είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες, οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες γ. Όλες αυτές οι μορφές ταξιδεύουν στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός.

Αν και κάποια είδη της είναι επικίνδυνα, μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε προς όφελός μας, όπως στις τεχνολογικές διατάξεις, στις τηλεπικοινωνίες, στις οικιακές συσκευές, στην ιατρική κ.λ.π. Για παράδειγμα, η μεταφορά ήχου και εικόνας μέσω κινητών τηλεφώνων οφείλεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, και, ειδικότερα, στα ραδιοκύματα.

Η αλματώδης, όμως, ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών και η διάδοση της χρήσης της κινητής τηλεφωνίας είχαν ως συνέπεια την εγκατάσταση μεγάλου αριθμού σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας (κεραιών), οι οποίες εκπέμπουν υψίσυχνη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Βέβαια, δεν είναι άγνωστη η επικινδυνότητα που συνεπάγεται η έκθεση στη λεγόμενη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ηλιοθεραπεία, ακτινογραφίες, ραδιενέργεια γενικότερα). Άλλωστε σ' αυτή οφείλονται οι ιστορικές καταστροφές (Χιροσίμα, πυρηνικές δοκιμές, Τσέρνομπιλ κ.λ.π). Αντίθετα, δεν είναι ακόμα γνωστές οι βιολογικές επιδράσεις της υψίσυχνης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, λεγόμενης μη ιονίζουσας, όπως είναι εκείνη που εκπέμπεται από τα κινητά τηλέφωνα, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τα σύρματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ) κ.λ.π., με συνέπεια την έντονη ανησυχία των πολιτών.

Η ανησυχία αυτή υπαγορεύεται τόσο από την πιθανολόγηση δυσμενών και μη αναστρέψιμων επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, όσο και από την ελλιπή πληροφόρηση, που παρέχεται στο κοινό από τους αρμόδιους φορείς. Άλλωστε, ορισμένοι επιστήμονες δέχονται ότι, εξαιτίας της έκθεσης του ανθρώπινου οργανισμού στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, προκαλείται αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, με αποτέλεσμα ιστολογικές αλλαγές, αύξηση των αποβολών εγκύων γυναικών και διάφορες ψυχιατρικές παθήσεις (π.χ. κατάθλιψη, ακουστικές παραισθήσεις, απορύθμιση καρδιακών βηματοδοτών).

Μέχρι στιγμής, όμως, επειδή τα μόνα ασφαλή επιστημονικά δεδομένα που υπάρχουν είναι τα θερμικά αποτελέσματα, δεν υφίστανται επιστημονικά δεδομένα από τα οποία να προκύπτει, κατά τρόπο βάσιμο και αναμφισβήτητο, το ενδεχόμενο πρόκλησης βλάβης στον ανθρώπινο οργανισμό από την εκπομπή των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών. Βέβαια, ένα τέτοιο ενδεχόμενο δεν αποκλείεται στο μέλλον, αφού το όλο θέμα ερευνάται από πολλούς επιστήμονες παγκοσμίως.

Από τη μελέτη επιστημονικών δεδομένων προκύπτει ότι η επιστημονική γνώση για τους κινδύνους που συνεπάγεται η πρόσκαιρη ή η μακροχρόνια έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως αυτή που εκπέμπεται από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας, είναι ακόμα ελλιπής. Ειδικότερα, παρατηρείται επιστημονική αβεβαιότητα ως προς το εύρος και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των κινδύνων από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, καθώς και ως προς την ανεκτή ποσότητα έκθεσης και τις αναγκαίες αποστάσεις από τις πηγές ακτινοβολίας.

Η επισκόπηση του διεθνούς και κοινοτικού δικαίου απέδειξε ότι η εκ μέρους των οργάνων της Πολιτείας ανάληψη προστατευτικής δράσης στο πεδίο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δεν προϋποθέτει απαραίτητα επιστημονική βεβαιότητα για την ύπαρξη κινδύνων, δηλαδή αποδεδειγμένες βλαπτικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Αντίθετα, τόσο στο διεθνές, όσο και στο κοινοτικό δίκαιο περιβάλλοντος, αναγνωρίζεται η υποχρέωση λήψης μέτρων προφύλαξης για την αποτροπή του αβέβαιου μεν αλλά, όμως, πιθανού και ενδεχόμενου κινδύνου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο άνθρωπος βομβαρδίζεται καθημερινά από ολοένα και υψηλότερα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας η οποία προέρχεται από τη φύση ή τις τεχνολογικές εφαρμογές, όπως τηλεπικοινωνίες, οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, ιατρικές εφαρμογές κ.λ.π. Είναι, λοιπόν, απαραίτητο να γίνει γνωστό τι είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ποια τα είδη της, ποιες οι πηγές της, ποιες οι επιπτώσεις της στην υγεία κατά την έκθεση σε αυτή, αν υπάρχουν ασφαλή όρια έκθεσης, και αν ναι, τότε ποια είναι αυτά τα όρια.

Στο πρώτο κεφάλαιο της διατριβής δόθηκαν απαντήσεις στα ερωτήματα:

- Τι είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία;
- Ποια είναι τα είδη της;
- Ποιες είναι οι πηγές της;

Στο δεύτερο κεφάλαιο έγινε προσπάθεια να δοθούν απαντήσεις, μέσω υπάρχουσας βιβλιογραφίας, ελληνικής και ξένης, για τις επιπτώσεις της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στην υγεία ζώντων οργανισμών εξαιτίας της έκθεσής τους σε αυτή.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα όρια ασφαλείας της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύχθηκε μεθοδολογία κατασκευής κατάλληλου στατιστικού μοντέλου για την εκτίμηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E (Volt/m) σε οποιοδήποτε σημείο της πόλης της Μυτιλήνης με γνωστές συντεταγμένες.

Τέλος προτάθηκαν στατιστικά μοντέλα εκτίμησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε κάθε σημείο της πόλης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μετρήσεις εντάσεων του ηλεκτρικού πεδίου σε σημεία της πόλης καθώς και οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων αυτών.

Εν κατακλείδι, μπορεί να ειπωθεί ότι η δυνατότητα εκτίμησης πρόβλεψης του στατιστικού μοντέλου αυξάνει όταν η γεωγραφική περιοχή μελέτης γύρω από την κύρια πηγή εκπομπής μειώνεται και όταν ο αριθμός των επαναλαμβανόμενων τιμών της έντασης του πεδίου ελαττώνεται.

ABSTRACT

Every single day people are being bombarded by ever-increasing high levels of electromagnetic radiation which comes from nature or technological applications such as telecommunications, house hold appliances, medical applications, etc. It is, therefore, necessary to define what electromagnetic radiation is, what its types and sources are, what its effects on health are, whether there are safety limits of exposure to it and, if yes, what these limits are.

In the first chapter of this project the following questions have been addressed:

- What is electromagnetic radiation?
- What are its types?
- What are its sources?

In the second chapter an effort was made to provide answers through the existing bibliography, Greek and foreign, about the effects of non-ionizing electromagnetic radiation on the health of living organisms because of their exposure to it.

In the third chapter are produced the limits of security against the non-ionizing radiation.

In the fourth chapter a methodology for the construction of a proper statistical model was developed for assessing the volume of the electrical field E (volt/m) in a randomly chosen location in the city of Mytilene with known co-ordinates.

Finally, statistical models for assessing the volume of electromagnetic radiation was suggested for every location in Mytilene. The data used were assessments of the volume of the electrical field in different locations in the city as well as cartesian co-ordinates of these locations.

In conclusion, it is thought that the potential for evaluating the prediction of this statistical model is higher when the geographical area under study around the main source of emission decreases as well as the number of the repeated rates of volume in the field decreases.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελίδα
1 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Μορφές ακτινοβολίας	2
1.3 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	3
1.4 Κατηγορίες ΗΜΑ	4
1.4.1 Ιονίζουσα ΗΜΑ	5
1.4.2 Μη-ιονίζουσα ΗΜΑ	5
1.5 Διαχωρισμός του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με βάση την περιβαλλοντική του επικινδυνότητα	6
1.6 Πηγές εκπομπής μη ιονίζουσας ακτινοβολίας (0-300 GHz)	7
1.7 Δοσιμετρικά μεγέθη	8
1.7.1 Εισαγωγή	8
1.7.2. Μεγέθη για έλεγχο της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας (ΗΜΑ)	8
1.7.3 Σύγκριση ΕΡΑ και έντασης ηλεκτρομαγνητικού πεδίου	10
1.8 Κινητή τηλεφωνία	11
1.8.1 Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας GSM 900-1800-1900 MHz	11
1.8.2 Ακτινοβολία κινητών τηλεφώνων	11
2 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ	13
2.1 Ιστορικό των βιολογικών επιδράσεων των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων	13
2.2 Βιολογικές και Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ΗΜΑ	14
2.3 Χρήσιμα ιατρικά αποτελέσματα	15
2.4 Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων	17
2.5 Πιθανές επιπτώσεις από κινητά τηλέφωνα	19
2.6 Ομάδες αυξημένου κινδύνου	21
2.7 Σχόλια για τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων	21
2.8 Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των ζώων	22
2.9 Συμπεράσματα	24
3 ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΗΣ ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	25
3.1 Διεθνή όρια ασφαλείας	25
3.2 Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας	27
3.3 Όρια ασφαλείας για την ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων	29
3.4 Συμπεράσματα	29

4	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	30
4.1	Η ανάγκη για στατιστική ανάλυση	30
4.2	Μαθηματικά μοντέλα	31
4.2.1	Γενικά	31
4.2.2	Ντετερμινιστικά-Στοχαστικά μοντέλα	32
4.2.3	Μέθοδοι επίλυσης ενός μοντέλου	33
4.2.4	Προσδιορισμός ακροτάτων τιμών συνάρτησης με δύο μεταβλητές	33
4.2.5	Συντελεστής προσδιορισμού	35
4.3	Αντικείμενο-σκοπός του τετάρτου κεφαλαίου.	36
4.3.1	Γενικά	36
4.3.2	Μοντέλα μέτρησης της ακτινοβολίας για όλη την πόλη της Μυτιλήνης	39
4.3.3	Μοντέλο μέτρησης της έντασης της ακτινοβολίας για τον κυκλικό δίσκο με κέντρο την Κ.Π.Ε. και ακτίνα $\rho=1160\text{m}$	54
4.3.4	Μοντέλο μέτρησης της έντασης της ακτινοβολίας για τον κυκλικό δίσκο με κέντρο την Κ.Π.Ε. και ακτίνα $\rho= 580 \text{ m}$	59
4.3.5	Μοντέλο μέτρησης της έντασης της ακτινοβολίας για τον κυκλικό δίσκο με κέντρο την Κ.Π.Ε και ακτίνα $\rho=290\text{m}$	64
4.3.6	Συμπεράσματα	69
4.3.7	Συζήτηση	70
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	71
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄	75
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄	79
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄	91
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ΄	95
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε΄	99

1. ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

1.1 Εισαγωγή

Η πρώτη μορφή ακτινοβολίας που διερευνήθηκε ήταν το ορατό φως. Αν και οι αρχαίοι έλληνες φιλόσοφοι είχαν ασχοληθεί με το φως, τα πρώτα σύγχρονα πειράματα έγιναν από τον άγγλο φυσικό και μαθηματικό Ισαάκ Νεύτωνα (Isaac Newton), ξεκινώντας το 1666. Ο Νεύτωνας υποστήριξε ότι το φως είναι σωματιδιακής φύσης. Την ίδια περίοδο ο ολλανδός επιστήμονας Christian Huygens παρουσίασε την κυματική θεωρία του φωτός. Η κυματική θεωρία για το φως ενισχύθηκε το 1864, όταν ο σκοτσέζος φυσικός Τζέιμς Μάξγουελ (James Clark Maxwell) θεμελίωσε την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του. Η θεωρία αυτή, εκτός από το ορατό φως προέβλεπε και ύπαρξη πρόσθετων μορφών ακτινοβολιών, όπως αυτές που ανακάλυψε το 1887 ο γερμανός φυσικός Heinrich Hertz (ραδιοκύματα) και τις ακτίνες X, που ανακάλυψε το 1895 ο γερμανός Wilhelm Conrad Roentgen. Μερικά χρόνια αργότερα ο γερμανός φυσικός Max Planck πρότεινε μία κβαντική θεωρία για την ακτινοβολία, για να εξηγήσει κάποια προβλήματα που προέκυπταν από την κυματική θεωρία, και το 1905 ο Einstein υποστήριξε ότι το φως αποτελείται από κβάντα, που στη συνέχεια αποκαλέστηκαν φωτόνια. Πρόσθετα, σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας, η ταχύτητα του φωτός είναι σταθερή και αμετάβλητη ανεξάρτητα από την ταχύτητα του πομπού, των απορροφούντων μέσων ή κάποιου φαινομενικά ανεξάρτητου παρατηρητή, κάτι που ισχύει για γνωστά και κοινά φαινόμενα κυματικής διαταραχής, όπως είναι ο ήχος.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η εξέλιξη σε ότι αφορά τη φύση του φωτός κινήθηκε από σωματίδια (Newton), που συμπεριφέρονται σαν κύμα (Huygens), σε κύματα (Maxwell), που συμπεριφέρονται σαν σωματίδια (Einstein), με φαινομενική ταχύτητα που δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα της πηγής (πομπού) ή την ταχύτητα του δέκτη.

Σήμερα, δεχόμεθα ότι η ακτινοβολία αποτελείται από ροή ατομικών και υποατομικών σωματιδίων και κυμάτων, όπως εκείνα που χαρακτηρίζουν θερμικές ακτίνες, ακτίνες φωτός και ακτίνες X. Όλη η μάζα της βιόσφαιρας βομβαρδίζεται συνέχεια με ακτινοβολία από κοσμικές και επίγειες πηγές. Οι επιδράσεις της ακτινοβολίας στα διάφορα τμήματα της βιόσφαιρας και ο τρόπος με τον οποίο μεταφέρεται ενέργεια με ακτινοβολία αποτελούν θέματα που απασχολούν τους περιβαλλοντολόγους. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στις επιδράσεις της ακτινοβολίας τόσο σε φυσιολογικές διεργασίες (φωτοσύνθεση φυτών, όραση ζώων) όσο και στις δυσμενείς επιδράσεις, που είναι δυνατό να έχει, όταν έμβια όντα ακτινοβολούνται από ασυνήθεις μορφές ή αυξημένα επίπεδα έντασης ακτινοβολίας [1].

Στο κείμενο που ακολουθεί θα δοθεί έμφαση στις δυσμενείς επιδράσεις που έχουν διαπιστωθεί κατά την έκθεση ανθρώπων και ζώων σε επικίνδυνες μορφές και δόσεις συγκεκριμένης ακτινοβολίας.

1.2 Μορφές Ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία θεωρείται σαν ενέργεια σε κίνηση είτε με ταχύτητες ίσες με αυτήν του φωτός στον ελεύθερο χώρο (3×10^8 m/s) είτε με ταχύτητες μικρότερες εκείνης του φωτός αλλά κατά πολύ μεγαλύτερες των θερμικών ταχυτήτων (π.χ. ταχύτητες των μορίων του αέρα).

Η πρώτη μορφή αποτελεί το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και περιλαμβάνει τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, τις υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως, τις υπεριώδεις ακτίνες, τις ακτίνες X και γ, καθώς και το σωματίδιο νεutrino (neutrino).

Η δεύτερη μορφή περιλαμβάνει σωματίδια όπως τα ηλεκτρόνια, τα πρωτόνια και τα νετρόνια. Σε κατάσταση αδράνειας, αυτά τα σωματίδια έχουν μάζα και είναι τα συστατικά ατόμων και ατομικών πυρήνων. Όταν τέτοιες μορφές σωματιδιακής μάζας κινούνται με μεγάλες ταχύτητες, θεωρούνται σαν ακτινοβολία.

Πριν το 1900, μόνο οι ηλεκτρομαγνητικές ακτίνες θεωρούνταν από τη φύση τους κυματικές, ενώ οι ακτίνες σωματιδίων ότι έχουν σωματιδιακή συμπεριφορά. Στις αρχές όμως του 1900, σημαντικά νέα πειράματα απέκάλυψαν ότι όλες οι μορφές ακτινοβολίας, κάτω από κατάλληλες συνθήκες, μπορούν να συμπεριφερθούν είτε σαν κύματα είτε σαν σωματίδια. Η κυματική συμπεριφορά της ακτινοβολίας είναι εμφανής στη διάδοση της μέσω του χώρου, ενώ η σωματιδιακή της συμπεριφορά ανακαλύπτεται από τη φύση των αλληλεπιδράσεων της με την ύλη [1].

✓ Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ΗΜΑ) αποτελεί μία μορφή μη-σωματιδιακής ακτινοβολίας. Είναι κύματα ηλεκτρικής και μαγνητικής ενέργειας, που ταξιδεύουν μαζί στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός. Η πλέον γνωστή και αντιληπτή με τις αισθήσεις μορφή ΗΜΑ είναι το ορατό φως. Τη νοιώθουμε ακόμα σαν θερμότητα με όλο μας το σώμα [1].

✓ Ηλεκτρικό πεδίο- Μαγνητικό πεδίο

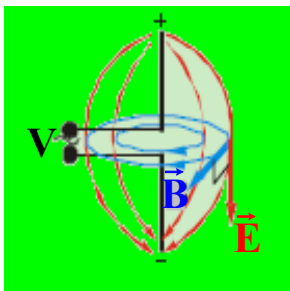
Το ηλεκτρικό πεδίο είναι χώρος στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά φορτία ενώ Μαγνητικό πεδίο είναι χώρος στον οποίο ασκούνται δυνάμεις σε ηλεκτρικά ρεύματα [2].

✓ Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

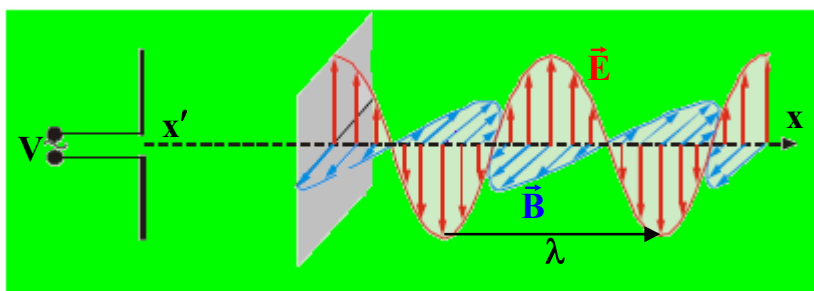
Ας θεωρήσουμε μια κεραία, δηλαδή ένα συρμάτινο αγωγό, η οποία τροφοδοτείται από εναλλασσόμενη τάση V . Η κεραία διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα σ' αυτήν εκτελούν αρμονική ταλάντωση. Γύρω από την κεραία δημιουργείται ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο (Σχήμα 1).

Οι εντάσεις \vec{E} και \vec{H} του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου αντίστοιχα μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά ακολουθώντας το νόμο του ημιτόνου. Αυτή η μεταβολή διαδίδεται, απομακρυνόμενη από την κεραία, κατά μήκος της ευθείας $x'x$, που αποτελεί και τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Η διάδοση αυτή της διαταραχής ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητικό κύμα**. Δηλαδή τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι στην ουσία ταλαντώσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων.

Οι εντάσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετες μεταξύ τους, καθώς επίσης και προς τη διεύθυνση διάδοσης και παίρνουν συγχρόνως τη μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή τους (Σχήμα 2).



Σχήμα 1



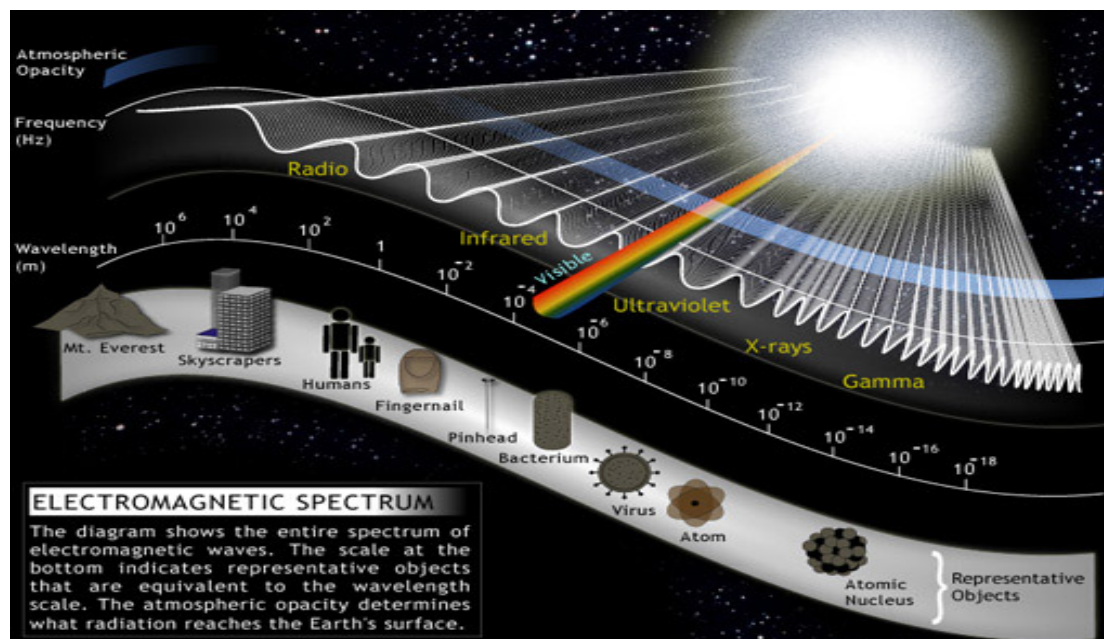
Σχήμα 2

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα δε χρειάζεται κάποιο ελαστικό μέσο για να διαδοθεί. Διαδίδεται ακόμα και στο κενό και, μάλιστα, με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα διάδοσης του φωτός ($3 \cdot 10^8$ m/sec) [3].

1.3 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Είναι η περιοχή των συχνοτήτων που καλύπτεται από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Δηλαδή το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Σχήμα 3) προκύπτει από την ταξινόμηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σύμφωνα με την συχνότητα τους ή ισοδύναμα με το μήκος του κύματός τους. Ένα μικρό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος καταλαμβάνεται από το ορατό φως. Το γνωστό σήμερα συνολικό φάσμα φαίνεται ότι είναι ατέρμονο, δηλαδή δίχως σαφείς ακραίες τιμές. Τα μέχρι σήμερα γνωστά όρια του δεν είναι παρά αποτέλεσμα των οργάνων μέτρησης, που έχουν χρησιμοποιηθεί. Αυτό, εξ άλλου, φαίνεται, όταν κάποιος εξετάσει το πως ανακαλύφθηκαν τα διάφορα

τμήματα του φάσματος ιστορικά. Ο διαχωρισμός του φάσματος σε περιοχές και αντίστοιχες ονομασίες (π.χ. ορατό, ραδιοκύματα, μικροκύματα κ.λ.π.) είναι απόρροια αυτής της ιστορικής εξέλιξης και, σύμφωνα με τη σύγχρονη κβαντοθεωρία, δεν έχουν νόημα. Χρησιμοποιούνται, όμως, ακόμα και σήμερα λόγω κοινής χρήσης [1]. Οι διάφορες μορφές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ακτίνες-γ, ακτίνες-X, υπεριώδης, ορατή, υπέρυθρη, ραδιοκύματα κ.ά.), διαφέρουν μεταξύ τους μόνο στη συχνότητα ή ισοδύναμα στο μήκος του κύματός τους.



Σχήμα 3. Το φάσμα της Η/Μ ακτινοβολίας και οι πρωταρχικές αλληλεπιδράσεις με έμβια και άβια ύλη.
Πηγή: <http://users.att.sch.gr/kassetas/educ44c.htm>

1.4 Κατηγορίες ΗΜΑ

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι:

- Το μήκος κύματος,
- Η συχνότητα,
- Η ενέργεια που μεταφέρουν.

Το μήκος κύματος είναι αλληλένδετο με τη συχνότητα. Συγκεκριμένα ισχύει: $\lambda = \frac{v}{f}$, όπου λ το μήκος κύματος, f η συχνότητά του και v η ταχύτητα του φωτός. Οπότε, όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος, τόσο πιο ψηλή είναι η συχνότητα.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, λοιπόν, χαρακτηρίζεται από κυματικές παραμέτρους, όπως το μήκος κύματος και η συχνότητα. Ενεργειακά χαρακτηρίζεται από τις σωματιδιακές της παραμέτρους, όπως είναι η ενέργεια που περιέχει κάθε φωτόνιο συγκεκριμένης ΗΜΑ σε eV/φωτόνιο. Τονίζεται ότι το φάσμα της ΗΜΑ είναι συνεχές και ατέρμονο, αλλά χωρίζεται σε δύο κύρια μέρη, που διαχωρίζονται με βάση το μήκος κύματος και την ενέργεια ανά φωτόνιο. Έτσι, έχουμε την ιονίζουσα ακτινοβολία (Ionizing Radiation, IR) και τη μη-ιονίζουσα ακτινοβολία (Non Ionizing Radiation, NIR) [1].

1.4.1 Ιονίζουσα ΗΜΑ

Ονομάζουμε την ΗΜΑ που έχει την ιδιότητα να ιονίζει τα άτομα της ύλης από τα οποία απορροφάται.

Η **ιονίζουσα** ΗΜΑ αφαιρεί από τα άτομα της ύλης ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια και έτσι διαταράσσεται η δομή τους. Έχει ενέργεια ανά φωτόνιο $>12,4$ eV/φωτόνιο και μήκος κύματος <100 nm ή ισοδύναμα συχνότητα $> 3 \times 10^{15}$ Hz. Περιλαμβάνει την κοσμική ακτινοβολία, τις ακτίνες γ και X και ένα μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV).

Μη ιονίζουσες ακτινοβολίες χρησιμοποιούνται στην ιατρική, όπως, για παράδειγμα οι ακτίνες X στις ακτινογραφίες και οι ακτίνες γ στα σπινθηρογραφήματα [4].

1.4.2 Μη-ιονίζουσα ΗΜΑ

Ονομάζουμε την ΗΜΑ η οποία δεν είναι ιονίζουσα, και, προφανώς, περιλαμβάνει το υπόλοιπο φάσμα, ξεκινώντας από τις UV, και επεκτείνεται στην ορατή περιοχή, τις υπέρυθρες ακτίνες, τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, τα κύματα πολύ χαμηλής και υπερχαμηλής συχνότητας. Έχει ενέργεια ανά φωτόνιο $\leq 12,4$ eV/φωτόνιο και μήκος κύματος ≥ 100 nm ή ισοδύναμα συχνότητα $\leq 3 \times 10^{15}$ Hz [1]. Ειδικότερα, οι ακτινοβολίες με συχνότητες 0,3MHz-300GHz ονομάζονται ραδιοσυχνότητες (RadioFrequencies, RF).

Οι μη ιονίζουσες ακτινοβολίες δεν μπορούν να προκαλέσουν ιονισμό της ύλης. Τέτοιες είναι αυτές που δημιουργούνται από τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης, τις εγκαταστάσεις μεταβίβασης ραδιοφωνικών, τηλεφωνικών και τηλεοπτικών επικοινωνιών, τις δορυφορικές επικοινωνίες, τα ραντάρ, τους βιομηχανικούς φούρνους, την κάθε ηλεκτρική συσκευή, τις οικιακές συσκευές μικροκυμάτων, τα διάφορα θερμαντικά σώματα, τις συσκευές διαθερμιών, τους λαμπτήρες πυρακτώσεως υψηλής έντασης, τους λαμπτήρες φθορίου, τα τόξα συγκόλλησης μετάλλων

κ.λ.π. [4]. Γνωστότερες μη ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι η ορατή, η υπέρυθη, η υπεριώδης, τα μικροκύματα, τα ραδιοκύματα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, που εκπέμπουν οι ηλεκτρικές συσκευές, και η ακτινοβολία LASER [5],[6].

1.5 Διαχωρισμός του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με βάση την περιβαλλοντική του επικινδυνότητα

Από περιβαλλοντική σκοπιά, αν θέλαμε να διαχωρίσουμε το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με βάση την περιβαλλοντική του επικινδυνότητα, θα λέγαμε ότι για δεδομένη ένταση ακτινοβολίας η επικινδυνότητα μειώνεται με τη συχνότητα και με την ενέργεια ανά φωτόνιο. Εδώ θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι όση περισσότερη ενέργεια περιέχει το φωτόνιο τόσο περισσότερο μπορεί να διεισδύσει εντός της μάζας και, άρα, τόσο περισσότερο μπορεί να προκαλέσει βλάβη στους βιολογικούς ιστούς. Επομένως, η ιονίζουσα ΗΜΑ, η οποία χαρακτηρίζεται από πάρα πολύ υψηλές συχνότητες και ενέργειες ανά φωτόνιο, είναι επικίνδυνη. Από άποψη, λοιπόν, επικινδυνότητας η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι περισσότερη κρίσιμη [1]. Η ραδιενέργεια π.χ. είναι εκπομπή ιονίζουσας ακτινοβολίας. Όταν η έκθεση ενός οργανισμού σ' αυτή υπερβεί κάποιο όριο, μπορεί να προκληθούν αλλοιώσεις του γενετικού κώδικα του DNA, καρκινογενετικά φαινόμενα στα βιολογικά συστήματα και άλλες σοβαρές ασθένειες. Να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει καμία σχέση μεταξύ ραδιενέργειας και μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών. Η τηλεόραση, τα radars και το κινητό τηλέφωνο δεν εκπέμπουν ραδιενέργεια, αφού είναι πηγές μη ιονίζουσας ακτινοβολίας. Αυτό, βέβαια, δε σημαίνει ότι οι μη ιονίζουσες ακτινοβολίες είναι και «αθώες». Υπάρχουν, για παράδειγμα, υπόνοιες για σχέση συνδρόμου Down (μογγολισμός) και ακτινοβολίας μικροκυμάτων (radars) [4].

Πρέπει να τονίσουμε ότι, όπως υποδηλώνει ο όρος, οι ιονίζουσες ΗΜΑ έχουν την ιδιότητα να ιονίζουν χημικά είδη, όταν προσπίπτουν και απορροφώνται από αυτά σε αντίθεση με τις μη-ιονίζουσες ακτινοβολίες, που δεν έχουν αυτήν την ιδιότητα [1].

Οι μη ιονίζουσες ακτινοβολίες έχουν ενέργειες φωτονίων χαμηλότερες από 12 eV, το οποίο θεωρείται και το όριο με τις ιονίζουσες ακτινοβολίες. Αυτή η ενέργεια είναι πολύ χαμηλή, για να προκαλέσει ιονισμό των μορίων και να σπάσει ακόμα και τον ασθενέστερο χημικό δεσμό, προκαλεί όμως θερμικές, χημικές επιδράσεις στα κύτταρα, άλλοτε ευεργετικές και άλλοτε επιβλαβείς για την λειτουργία τους.

1.6 Πηγές εκπομπής μη ιονίζουσας ακτινοβολίας (0-300 GHz)

Πίνακας 1

Ζώνες συχνότητας της μη ιονίζουσας περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Όνομασία περιοχών φάσματος	Ζώνη συχνοτήτων Προσδιορισμός	Εύρος συχνοτήτων	Μήκος κύματος	Πηγές εκπομπής
	ELF Extremely Low Frequency	0-3 kHz	Άπειρο-100 km	Αγωγοί υψηλής τάσης.
	VLF Very Low Frequency	3-30 kHz	100km-10 km	Ραδιοτηλεγράφος.
	LF Low Frequency	30-300 kHz	10km-1 km	<ul style="list-style-type: none"> • Ραδιόφαρος. • Ραδιοεπικοινωνία ναυσιπλοΐας. • Επικοινωνίες
RF (Radiofrequencies)	MF Medium Frequency	0,3-3 MHz	1km-0.1 km	<ul style="list-style-type: none"> • AM Ράδιο. • Ραδιοεπικοινωνίες ναυσιπλοΐας. • Ερασιτεχνικοί ραδιοσταθμοί.
	HF High Frequency	3-30 MHz	100m-10m	<ul style="list-style-type: none"> • Βραχεία Ράδιο. • Διεθνείς επικοινωνίες, έλεγχος αεροπλοΐας.
	VHF Very High Frequency	30-300 MHz	10m-1m	<ul style="list-style-type: none"> • FM Ράδιο. • VHF-TV. • Αστυνομία. • Αεροπλοΐα και ναυσιπλοΐα.
MW (Microwaves)	UHF Ultra High Frequency	0,3-3 GHz	1m-10cm	<ul style="list-style-type: none"> • Φούρνοι μικροκυμάτων • Κινητή και ασύρματη τηλεφωνία. • Αστυνομία • Ραδιοταξί, • Ιατρικές διαθερμίες,
	SHF Super High Frequency	3-30 GHz	10cm-1cm	Ραντάρ.
MmW (Millimeter waves)	EHF Extremely High Frequency	30-300 GHz	1cm-1mm	Τηλεπικοινωνίες.

(Πηγή: 1,2,4)

1.7 Δοσιμετρικά μεγέθη

1.7.1 Εισαγωγή

Ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορούν να ευθύνονται τόσο για αποτελέσματα επικίνδυνα για την υγεία όσο και για θεραπευτικά αποτελέσματα σε ανθρώπους, που εκτίθενται σε αυτά. Ο προσδιορισμός της έντασης των Rf ηλεκτρομαγνητικών πεδίων είναι απαραίτητος, όταν μελετώνται οι βιολογικές επιδράσεις. Ακόμη, η ποσοτικοποίηση της ανθρώπινης έκθεσης τόσο των εργαζομένων όσο και του γενικού πληθυσμού είναι απαραίτητη για τον έλεγχο της συμβατότητας της με τα διεθνή πρότυπα μη επικινδυνότητας [7].

Η φύση των πεδίων έκθεσης και η προκαλούμενη απόκριση των βιολογικών συστημάτων είναι εξαιρετικά πολύπλοκη. Γι' αυτό η μέτρηση των πεδίων έκθεσης και η ηλεκτρομαγνητική δοσιμέτρηση με πειραματικές μεθόδους πρέπει να συμπληρώνει τις υπολογιστικές μεθόδους.

1.7.2 Μεγέθη για έλεγχο της μη ιονίζουσας HMA

Για τον έλεγχο της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας (κινητά τηλέφωνα, σταθμοί βάσης, ραντάρ κ.λ.π.) χρησιμοποιούνται τρία μεγέθη, τα οποία μπορούν να μετρηθούν επιτόπου με κατάλληλες συσκευές μέτρησης:

- Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου, που εκφράζεται σε volt ανά μέτρο (v/m).
- Η ένταση μαγνητικού πεδίου, που εκφράζεται σε Αμπέρ ανά μέτρο (A/m).
- Η πυκνότητα ισχύος του ισοδύναμου επιπέδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος, που εκφράζεται σε bat ανά τετραγωνικό μέτρο (W/m^2).

Σε συνθήκες μακρινού πεδίου (δηλαδή του πεδίου που εκτείνεται από την αντένα πέρα από την απόσταση $r = \frac{2a^2}{\lambda}$ και μέχρι το άπειρο, όπου a είναι η μέγιστη διάσταση της αντένας και λ το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας), για την πυκνότητα ισχύος P ισχύουν :

- $P = \frac{E^2}{377}$,

όπου, αν η ένταση μετρηθεί σε V/m, τότε η πυκνότητα προκύπτει σε W/m^2 .

$$P = \frac{N}{4\pi r^2} 10^{10} \left(\frac{W}{m^2} \right), \text{ όταν και η εκπομπή είναι συνεχής.}$$

όπου, N η ισχύς εξόδου του πομπού και G η απολαβή της κεραίας (σε dB) [2].

Επομένως στο μακρινό πεδίο η ισχύς ακολουθεί το νόμο $\frac{1}{r^2}$, δηλαδή εξασθενεί «εκθετικά» με την απόσταση r .

Στο κοντινό πεδίο, (δηλαδή του πεδίου που εκτείνεται από την αντένα μέχρι την απόσταση $r = \frac{2\alpha^2}{\lambda}$, τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου μεταβάλλονται πολύ γρήγορα και η μεταξύ τους σχέση είναι εξαιρετικά πολύπλοκη. Έτσι, κατά την έκθεση σε ΗΜΑ προερχόμενη από κοντινές πηγές, η πυκνότητα της ισχύος του προσπίπτοντος κύματος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος δοσιμετρίας [8].

• Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης (ΕΡΑ)

Οι οποιεσδήποτε επιπτώσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην ανθρώπινη υγεία εξαρτώνται από το βαθμό απορρόφησης τους από τους διάφορους ιστούς του σώματος.

Οι μηχανισμοί μεταφοράς ενέργειας από ένα κύμα σε ένα ζωικό ιστό είναι οι εξής:

α) Διέγερση των ελευθέρων ηλεκτρονίων των ατόμων.

β) Εξαναγκασμένη πόλωση των ατόμων και μορίων των ιστών από το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος.

γ) Ευθυγράμμιση υπαρχόντων διπόλων ατόμων ή μορίων με το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος.

Όλοι οι παραπάνω μηχανισμοί έχουν ως τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του ιστού [2].

Η ποσοτικοποίηση των αλληλεπιδράσεων ακτινοβολίας και μάζας παρέχεται με τον Ειδικό Ρυθμό Απορρόφησης (ΕΡΑ) [1], ή, όπως διεθνώς καθιερώθηκε, SAR (Specific Absorption Rate), που εκφράζει το ρυθμό μεταφοράς ενέργειας ανά μονάδα μάζας του απορροφούντος υλικού:

$$EPA = \frac{d}{dt}(\Delta E / \Delta m) = \frac{d}{dt}(\Delta E / \rho \Delta V)$$

Ο ΕΡΑ έχει μονάδες W/Kg, αφού ενέργεια ανά χρόνο (J/s) δεν είναι παρά η ισχύς (W=J/s).

Ο αρχικός ρυθμός αύξησης θερμοκρασίας λόγω απορρόφησης ακτινοβολίας, αν οι θερμικές απώλειες θεωρηθούν αμελητέες, είναι ευθέως ανάλογος του ΕΡΑ:

$$dT/dt = EPA/c,$$

όπου T είναι η θερμοκρασία, t είναι ο χρόνος και c είναι η θερμοχωρητικότητα της απορροφούσας μάζας.

Ο Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης εξαρτάται από [8]:

- τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας (συχνότητα, πόλωση, ένταση),

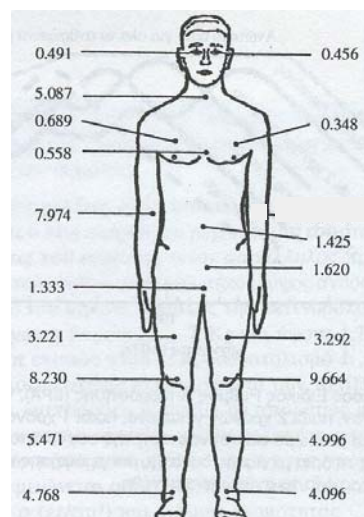
- τα χαρακτηριστικά του βιολογικού αντικειμένου, τη γεωμετρία του (μέγεθος και σχήμα) και την εσωτερική του δομή,
- την απόσταση της πηγής εκπομπής της ακτινοβολίας και του βιολογικού αντικειμένου (κοντινό ή μακρινό πεδίο) και
- τις ιδιότητες του περιβάλλοντα χώρου.

Στις παραμέτρους αυτές οφείλεται και η χωρική κατανομή του EPA εντός του σώματος που ποικίλει από σημείο σε σημείο.

Ο EPA μπορεί να υπολογιστεί από τις παραπάνω σχέσεις ή να μετρηθεί από την ανύψωση της θερμοκρασίας στο εκτεθειμένο υποκείμενο. Παρ' όλα αυτά, η δοσιμετρία παραμένει μια πολύ δύσκολη υπόθεση, καθώς εξαρτάται από τις διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες των διαφόρων ιστών [9,10].

Θεωρητικές μελέτες αλλά και πειράματα σε ανθρώπους έδειξαν ότι ο EPA παίρνει τη μέγιστη τιμή του, όταν ο μεγάλος άξονας του σώματος είναι παράλληλος με το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος και έχει μήκος (ύψος ανθρώπου) ίσο με τα 4/10 του μήκους κύματος της ακτινοβολίας. Έτσι, η μέγιστη απορρόφηση εκπεμπόμενης ακτινοβολίας για το ανθρώπινο σώμα συμβαίνει στα 70-80 MHz [2]. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται, όταν βρισκόμαστε σε αυτές τις συχνότητες, γιατί τότε η απορροφούμενη ισχύς είναι μεγαλύτερη από αυτή που κανείς υπολογίζει πολλαπλασιάζοντας την εκπεμπόμενη ισχύ (W/m^2) επί την επιφάνεια του σώματος (m^2). Τέλος, για άτομο γειωμένο σε πεδίο ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων και μικροκυμάτων, η συχνότητα συντονισμού του είναι 30-40 MHz και ο αντίστοιχος EPA αυξάνεται περίπου στο διπλάσιο [1].

Όπως αναφέρθηκε ο EPA εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του βιολογικού αντικειμένου. Επομένως η κατανομή της απορροφούμενης κυματικής ισχύος στις διάφορες περιοχές του ανθρωπίνου σώματος ποικίλει. Μέγιστη απορρόφηση ανά είδος ιστού εμφανίζουν σημεία του σώματος, όπως ο λαιμός, τα πόδια, οι αγκώνες και η κοιλιακή χώρα, όπου ο τοπικός EPA παίρνει τιμές πολύ μεγαλύτερες (έως και 10 φορές) από το μέσο EPA ολόκληρου του σώματος (Σχήμα 4). Συνεπώς, τα σημεία αυτά πρέπει να εκτίθενται όσο γίνεται λιγότερο στην κυματική ενέργεια [2].



Σχήμα 4

Σχήμα 4. Κατανομή της απορροφούμενης κυματικής ισχύος στους διάφορους ιστούς ανθρωπίνου σώματος. Οι αριθμοί εκφράζουν το σχετικό EPA του τοπικού ιστού ως προς το μέσο EPA ολόκληρου του σώματος. Ο αριθμ. π.χ. 5,087 του λαιμού, σημαίνει ότι ο τοπικός EPA είναι πάνω από 5 φορές μεγαλύτερος από το μέσο όρο ολόκληρου του σώματος. Οι μετρήσεις έγιναν για πυκνότητα ισχύος $10mW/cm^2$ και μήκος κύματος λ , τέτοιο ώστε $(L/\lambda) = 0,417$, όπου L το μήκος του μεγάλου άξονα (ύψος) του σώματος το οποίο είναι παράλληλο με το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος [2].

1.7.3 Σύγκριση EPA και έντασης ηλεκτρομαγνητικού πεδίου

Το μέγεθος που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σ' ένα σημείο ή σε μια περιοχή είναι η πυκνότητα ισχύος η οποία εκφράζεται συνήθως σε W/m^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 ομοίμορφα. Η τιμή ενέργειας που απορροφάται εκφράζεται από το μέσο EPA για ολόκληρο το σώμα και ορίζεται σαν την ενέργεια που μεταφέρεται στο σώμα ανά μονάδα χρόνου διαιρούμενη δια της ολικής μάζας του σώματος, και από έναν τοπικό EPA που αντιστοιχεί σε κάποιο μικρότερο όγκο και χρησιμοποιείται στην περίπτωση συγκεκριμένων οργάνων του σώματος.

1.8 Κινητή τηλεφωνία

1.8.1 Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας GSM 900-1800-1900 MHz

Το GSM (Global System for Mobile communications) είναι η ψηφιακή τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας που κυριαρχεί αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη, στη Μέση Ανατολή, στην Αφρική, στην Ασία και σε τμήματα των ΗΠΑ και του Καναδά. Εμφανίστηκε το 1991 και εφαρμόστηκε σε τρεις συχνότητες: στα 900 MHz, στα 1800 MHz και στα 1900 MHz.

- **GSM 900**

Το πιο εκτενώς χρησιμοποιούμενο ψηφιακό δίκτυο στον κόσμο, το οποίο λειτουργεί σήμερα σε περισσότερες από 100 χώρες, κυρίως στην Ευρώπη και στην Ασία. Χρησιμοποιείται από τις εταιρίες Vodafone και TIM.

- **GSM 1800/1900**, γνωστό και σαν DCS 1800/1900 ή PCN (Digital Cellular System).

- Το GSM 1800 είναι ένα ψηφιακό δίκτυο που λειτουργεί στη συχνότητα των 1800 MHz. Χρησιμοποιείται στην Ευρώπη, στην Ασία στην Αυστραλία και στην Ελλάδα από την Cosmote.

- Το GSM 1900 λειτουργεί στη συχνότητα των 1900 MHz. Χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ και στον Καναδά, σε χώρες της Λατινικής Αμερικής και της Αφρικής [11].

1.8.2 Ακτινοβολία κινητών τηλεφώνων

Από θεωρητικό υπολογισμό του EPA της ακτινοβολίας φορητού τηλεφώνου ισχύος $1W^*$, από το μάτι, το αυτί και τον εγκέφαλο [12] για δυο θέσεις του τηλεφώνου ως προς το κεφάλι (κατακόρυφη και υπό κλίση 45°) σε απόσταση 0,5 cm από αυτό προέκυψαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα 2.

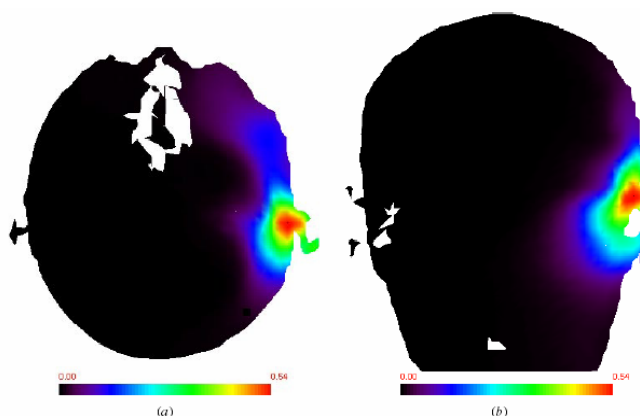
Πίνακας 2

Μελέτη SAR για ισχύ 1 Watt

Είδος ιστού.	Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης (W/kg)	
	Κινητό τοποθετημένο κατακόρυφα.	Κινητό τοποθετημένο με κλίση 45° από την κατακόρυφο.
Μάτι	1.82	2.48
Εγκέφαλος	0.178	0.21
Αυτί	10.11	4.97

Από τον πίνακα 2 συμπεραίνεται ότι ο βαθμός διείσδυσης της ακτινοβολίας του φορητού τηλεφώνου είναι διαφορετική για το μάτι, το αυτί και τον εγκέφαλο και εξαρτάται και από την κλίση της τηλεφωνικής συσκευής (Σχήμα 5).

Ιδιαίτερα μεγάλη εμφανίζεται η απορρόφηση από το αυτί για κατακόρυφη θέση. Αυτό συμβαίνει, γιατί το αυτί είναι το κοντινότερο σημείο επαφής με την κεραία του κινητού. Ειδικότερα μάλιστα, όταν κρατάμε το κινητό τηλέφωνο με το χέρι, αυτό γίνεται προέκταση της κεραίας του κινητού, με αποτέλεσμα να δεχόμαστε ακόμα περισσότερη ακτινοβολία..



Σχήμα 5. Απεικόνιση βαθμού διείσδυσης της ακτινοβολίας φορητού τηλεφώνου. Προφίλ θερμοκρασίας για κινητό 1W στα 1800 MHz (α) κατακόρυφα (β) πλάγια.

Πηγή: <http://vino.physics.uoc.gr/~gts/classes/reports05/lykou.doc>

* Στην Ελλάδα τα φορητά τηλέφωνα εκπέμπουν ισχύ 2W

2. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

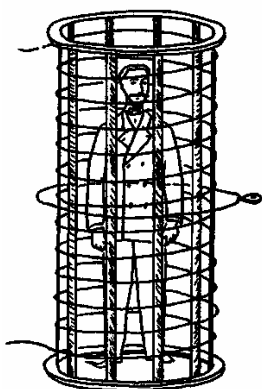
2.1 Ιστορικό των βιολογικών Επιδράσεων των Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων

Πατέρας τους βιοηλεκτρομαγνητισμού πρέπει να θεωρηθεί ο Ιπποκράτης, που πρώτος επιχείρησε να θεραπεύσει τον καρκίνο του στήθους με έκθεση στην ηλιακή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ηλιοθεραπεία).

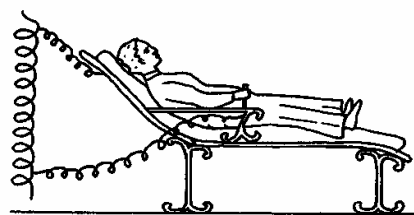
Το 18^ο αιώνα, ο Luigi Galvani επιχείρησε να θεραπεύσει όγκους, ανευρίσματα και αιμορραγίες, διοχετεύοντας ηλεκτρικό ρεύμα στους ιστούς.

Το 1840, οι Recamier και Pravaz επέδειξαν μια μέθοδο καταστροφής του καρκίνου της μήτρας με ηλεκτρικό ρεύμα.

Το 1891 ο d' Arsonval, προχώρησε σε πειράματα αυτεπαγωγής, ή χωρητικής σύζευξης, τοποθετώντας τους ασθενείς στα περιβόητα πηνία (Σχήμα 6) ή σε κρεβάτια (Σχήμα. 7). Ανακοίνωσε ότι οι περισσότεροι τύποι υστεριών και νευραλγιών δεν παρουσίασαν βελτίωση, ενώ, αντίθετα, παρουσιάστηκε σημαντική βελτίωση ασθενών που υπέφεραν από ρευματισμούς και αρθριτικά.



Σχήμα 6. Το πηνίο για επαγωγή ρευμάτων υψηλής συχνότητας στο σώμα η οποία «δώνει όλα τα κύτταρα και φέρνει ισχυρά οργανικά αποτελέσματα».



Σχήμα 7 Το χωρητικό κρεβάτι .

Οι αναζητήσεις για ευεργετικές επιδράσεις των υψίσυχων ρευμάτων συνεχίστηκαν, και από το 1926 οι χειρουργοί άρχισαν να χρησιμοποιούν τις ραδιοσυχνότητες στις εγχειρήσεις ευαίσθητων οργάνων όπως ο εγκέφαλος, το συκώτι, ο προστάτης, κ.ά. για την αντιμετώπιση των αιμορραγιών και τον έλεγχο βλαβερών πολλαπλασιασμών των κυττάρων.

Οι ανησυχίες για πιθανές ανεπιθύμητες επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων δημιουργήθηκαν λίγο πριν τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο με την ανακάλυψη του ραντάρ. Στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του 40 άρχισαν τα πρώτα πειράματα με κουνέλια, που ανέπτυξαν γλαύκωμα μέσα σε 10 λεπτά όταν δέχτηκαν στα μάτια δέσμη μικροκυμάτων πυκνότητας ισχύος 3000 mW/cm^2 . Τον Οκτώβρη του 1951 εμφανίστηκαν τα πρώτα περιστατικά οξείας φλεγμονής του αμφιβληστροειδούς και γλαυκώματος σε τεχνικούς ραντάρ.

Το 1953 τα 100 mW/cm^2 θεωρούνται γενικά καταστροφικά και το Νοέμβριο του ίδιου έτους ομάδα μηχανικών της εταιρείας Bell προτείνει ως όριο ασφαλείας τα $0,1 \text{ mW/cm}^2$. Αντίθετα η General Electric, το 1954, θεωρεί το 1 mW/cm^2 ακίνδυνο και το 1955 θεσπίζονται, στις ΗΠΑ, ως όριο ασφαλείας τα 10 mW/cm^2 , όριο που ασπάζονται 14 χώρες, μεταξύ των οποίων όλα τα μέλη του NATO.

Το 1960 έγινε γνωστό στις ΗΠΑ ότι το όριο ασφαλείας που είχαν θεσπίσει οι Σοβιετικοί ήταν $10 \mu\text{W/cm}^2$ δηλαδή χίλιες φορές μικρότερο από το Δυτικό όριο. Η αποκάλυψη αυτή και τα συνεχώς αυξανόμενα κρούσματα ασθενειών σε χώρους κυρίως τηλεπικοινωνιών, ανάγκασαν τους επιστήμονες της Δύσης, καθυστερημένα, να ξεκινήσουν τη συστηματική μελέτη των βιολογικών επιδράσεων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων [2].

2.2 Βιολογικές και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της ΗΜΑ

Η παρουσία ΗΜΑ στο περιβάλλον, η οποία προκύπτει από τις διάφορες καθημερινές εφαρμογές, είναι ένα σημαντικό κομμάτι της ανθρώπινης κοινωνίας. Οι πηγές της ΗΜΑ είναι τα καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι κεραίες βάσης κινητής τηλεφωνίας, τα κινητά τηλέφωνα, οι κεραίες TV κ.ά. Αυτό προξενεί όλο και μεγαλύτερη ανησυχία των πολιτών για τις ενδεχόμενες επιπτώσεις στην υγεία. Συγκεκριμένα η ενδεχόμενη σχέση της ΗΜΑ με τη δημιουργία κάποιων μορφών καρκίνου σε ανθρώπους έχει προκαλέσει πολλές συζητήσεις μεταξύ των ειδικών.

Η έρευνα για τις ενδεχόμενες επιπτώσεις στην υγεία, που προκύπτουν από την έκθεση στην ΗΜΑ ξεκίνησαν μετά το 1950. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 70 η ανησυχία εστιαζόταν στα πεδία των Rf συχνοτήτων. Τα επόμενα χρόνια μετατοπίστηκε στα ιδιαίτερα χαμηλής συχνότητας πεδία, που δημιουργούνται από τα καλώδια μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος 50-60MHz. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας η ανησυχία έχει αυξηθεί και εστιάζεται στην έκθεση της RF ΗΜΑ, που προέρχεται από τα κινητά τηλέφωνα.

Το ανθρώπινο σώμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στα υψηλής συχνότητας Η/Μ πεδία. Στις υψηλές συχνότητες το σώμα ενδέχεται να απορροφήσει σημαντική ποσότητα

εκπεμπόμενης ενέργειας. Σ' αυτή την περίπτωση το σώμα θερμαίνεται και τα αποτελέσματα γίνονται πιο σημαντικά απ' ότι στις χαμηλές συχνότητες, όπου οι θερμικές επιπτώσεις συνήθως θεωρούνται αμελητέες [13-15].

Το ζήτημα των βιολογικών και περιβαλλοντικών επιδράσεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχει απασχολήσει μεγάλο μέρος της διεθνούς και της ελληνικής επιστημονικής κοινότητας.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων (Rf) έχουν ιδιαίτερη βιολογική σημασία, αφού είναι δυνατό να διαδίδονται διαμέσου βιολογικών ιστών, να απορροφούνται από αυτούς και να ανακλώνται σε διαχωριστικές επιφάνειες τους σε διαφορετικό βαθμό, εξαρτώμενο από τις γεωμετρικές και ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες τους, καθώς και από τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής πηγής. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να προκαλέσει είτε χρήσιμα ιατρικά αποτελέσματα -θεραπευτικά και διαγνωστικά- είτε βιολογική καταστροφή και ανεπιθύμητα αποτελέσματα, ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες [13].

2.3 Χρήσιμα ιατρικά αποτελέσματα

Στην ιατρική ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές χρησιμοποιούνται:

- για την τομογραφική απεικόνιση του ανθρώπινου σώματος,
- για την ανίχνευση καρκινικών όγκων,
- για τη θεραπεία κακοηθών όγκων,
- για την επούλωση τραυμάτων.

Εκτός όμως από τις ιατρικές εφαρμογές των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων, αυξημένη ανησυχία έχει δημιουργηθεί τόσο στο κοινό όσο και στην επιστημονική κοινότητα για τις πιθανές αρνητικές επιδράσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας στην υγεία του ανθρώπου, εξαιτίας της καθημερινής έκθεσης του γενικού πληθυσμού στην ακτινοβολία αυτή η οποία χρησιμοποιείται για ραδιοφωνική εκπομπή AM, FM και βραχέων κυμάτων, για τηλεοπτική εκπομπή VHF και UHF, για κινητή τηλεφωνία, για ραντάρ, για δορυφορικές επικοινωνίες [8]. Για παράδειγμα, υπάρχουν αναφορές ότι άτομα που εκτίθενται επαγγελματικά σε μικροκυματική ακτινοβολία παρουσιάζουν σύνολο υποκειμενικών εκδηλώσεων που χαρακτηρίζεται ως «σύνδρομο μικροκυμάτων» και περιλαμβάνει πονοκεφάλους [16-19], διαταραχές ύπνου [20,21], ναυτία, ζάλη, κόπωση [22]. Έχει επίσης αναφερθεί αύξηση της επιληπτικής δραστηριότητας των παιδιών [23] και μείωσης της δυνατότητας απομνημόνευσης [24-26].

Παρά την ύπαρξη ισχυρών ενδείξεων για αρνητικές επιπτώσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, δεν υπάρχουν προς το παρόν ασφαλή συμπεράσματα και, επομένως, το ζήτημα των επιπτώσεων της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας παραμένει εριζόμενο στην επιστημονική κοινότητα.

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.

Για την εξέταση των βιολογικών αποτελεσμάτων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός τους σε θερμικά και μη-θερμικά.

✓ **Θερμικά αποτελέσματα**

Συνοδεύονται από αύξηση της θερμοκρασίας μεγαλύτερη από $0,1^{\circ}\text{C}$ και οφείλονται σε έκθεση σε υψηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ισχύος.

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 - το 70% του ανθρωπίνου σώματος αποτελείται από νερό-, με αποτέλεσμα τη μεταφορά ενέργειας από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στους ιστούς των βιολογικών οργανισμών [14-15]. Αυτό έχει ως άμεσο επακόλουθο την αύξηση της θερμοκρασίας είτε τοπικά είτε ακόμη και συνολικά σε όλο το ανθρώπινο σώμα.

Ο οργανισμός του ανθρώπου διαθέτει θερμορυθμιστικούς μηχανισμούς που κρατούν τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή μεταξύ 36 και 37 βαθμών Κελσίου. Όταν τα παραγόμενα ποσά θερμότητας είναι σχετικά μικρά, οι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί μπορούν να απάγουν αυτήν τη θερμότητα και να κρατούν σταθερή τη θερμοκρασία στους $36-37^{\circ}\text{C}$. Αντίθετα, όταν τα ποσά θερμότητας υπερβούν κάποια τιμή, τότε οι μηχανισμοί αυτοί δεν μπορούν να λειτουργήσουν σωστά, κάτι που οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας σε ιστούς ή όργανα του σώματος άνω των 37 βαθμών. Επίσης είναι ευνόητο ότι αυτοί οι μηχανισμοί θα ανταποκριθούν αποτελεσματικότερα κάτω από ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες (όχι πολύ υψηλή θερμοκρασία και υγρασία, ελαφρά ενδυμασία κ.λ.π.). Κάτω από τέτοιες συνθήκες ένα υγιές άτομο εκτεθειμένο σε Η/Μ ακτινοβολία είναι σε θέση να αντιμετωπίσει απορροφημένη ισχύ 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 απορροφούμενη ισχύς μέχρι 4 W/Kg μπορεί να προκύψει, κάτω από ορισμένες συνθήκες έκθεσης, από ένα πεδίο με ένταση περίπου 10 mW/cm^2 .

Η αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στους βιολογικούς οργανισμούς είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται, όταν:

- η διείσδυση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα στο ανθρώπινο σώμα είναι ισχυρή και
- η απορροφούμενη ισχύς ανά μονάδα μάζας είναι μεγάλη.

Ο θερμικός χαρακτήρας της βιολογικής επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επιβεβαιώνεται στην πράξη από ιατρικές εφαρμογές, όπως η διαθερμία και η μικροκυματική υπερθερμία, που εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση του καρκίνου [8,15].

Μελέτες που διενεργήθηκαν πάνω σε ζώα δείχνουν ότι μια πληθώρα διαταράξεων της συμπεριφοράς και της φυσιολογίας τους μπορεί να οφείλονται σε άνοδο της θερμοκρασίας μικρότερη από 1°C , υπό λιγότερο επικίνδυνες συνθήκες έκθεσης [27].

✓ **Μη θερμικά (αθερμικά) αποτελέσματα**

Συνοδεύονται από αύξηση της θερμοκρασίας μικρότερης από 0,1°C. Σ' αυτή τη μικρή αύξηση πιθανολογείται ότι οφείλονται αρκετά προβλήματα υγείας που παρουσιάζονται σε οργανισμούς που εκτίθενται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

2.4 Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων

✓ **Επιπτώσεις στον εγκέφαλο**

Οι περισσότερες πειραματικές μελέτες, για την ανίχνευση των βλαβών που προκαλούν οι ΗΜΑ, αφορούν τον εγκέφαλο. Η ακτινοβολία επηρεάζει ποικίλες λειτουργίες του εγκεφάλου [28].

Τα κυριότερα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν είναι μεταβολές στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και στη δέσμευση και απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου στον εγκέφαλο, όταν οι οργανισμοί εκτίθενται στην ΗΜΑ [25]. Εργαστηριακές μελέτες έχουν καταγράψει μεταβολές στο αίμα του εγκεφάλου [26].

✓ **Εκροή ασβεστίου**

Τα ιόντα ασβεστίου είναι εξαιρετικής σημασίας για τη μεταφορική σύζευξη ενός ευρέως φάσματος ανοσολογικών, ενδοκρινολογικών και νευροβιολογικών φαινομένων στην εξωτερική επιφάνεια της κυτταρικής μεμβράνης [26]. Οι Adey και Bawin [27] στην αρχή της δεκαετίας του 1980, παρατήρησαν ότι η παρουσία παλμικά διαμορφωμένων σημάτων ραδιοσυχνότητας (Rf) επάγει την εκροή ιόντων ασβεστίου (Ca) σε ιστούς πειραματόζωων, χωρίς να απαιτείται αισθητή αύξηση της θερμοκρα-

σίας στους ιστούς ($<0,1^{\circ}\text{C}$). 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).

Επιπλέον, έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα συντονισμού, που σχετίζονται με αυξημένη εκροή ιόντων Ca, όταν η περιβάλλουσα των διαμορφωμένων σημάτων έχει συνιστώσα 16 Hz. Το γεγονός ότι το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται για πεδία χαμηλών συχνοτήτων μπορεί να πιθανολογηθεί ότι οφείλεται σε μηχανισμό «ανόρθωσης» μέσα στους ιστούς.

✓ ***Επιπτώσεις στην ακοή***

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 [32]. Σύμφωνα με τη σημερινή γνώση, πρόκειται για θερμικό φαινόμενο και οφείλεται σε απότομη μικρή αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών.

✓ ***Επιπτώσεις στην πίεση***

Το 1998, οι Braune et al κατέγραψαν αυξήσεις στην αρτηριακή πίεση κατά την έκθεση σε ραδιοσυχνότητες [33].

✓ ***Επίπτωση στη δημιουργία όγκων***

Σημαντική αύξηση των νευροεπιθηλιακών όγκων [34], όπως βρέθηκε σε μια αμερικάνικη έρευνα [35], συνδέεται όχι μόνο με την γενοτοξικότητα της ακτινοβολίας GSM [36] αλλά και με την επίπτωση στη δημιουργία όγκων. Εντούτοις, όπως δείχνει η μελέτη του Rothman [37], η ολική επιδημιολογική απόδειξη σύνδεσης με τη χρήση κινητών τηλεφώνων δεν ευσταθεί αρκετά. Παρ' όλα αυτά, δεν μπορεί κανείς να αρνηθεί ότι οι μη θερμικές επιπτώσεις της ακτινοβολίας (Rf), που χρησιμοποιείται στην κινητή τηλεφωνία, έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν τέτοιου είδους παρενέργειες στην υγεία και αυτή η πιθανότητα δε θα έπρεπε να αγνοηθεί, ακόμη και αν κινδυνεύει μια μικρή μειονότητα ανθρώπων.

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 έρευνες μεγάλης κλίμακας, που παρουσιάζουν δυσκολίες στον έλεγχό τους και συχνά είναι δύσκολη η ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους.

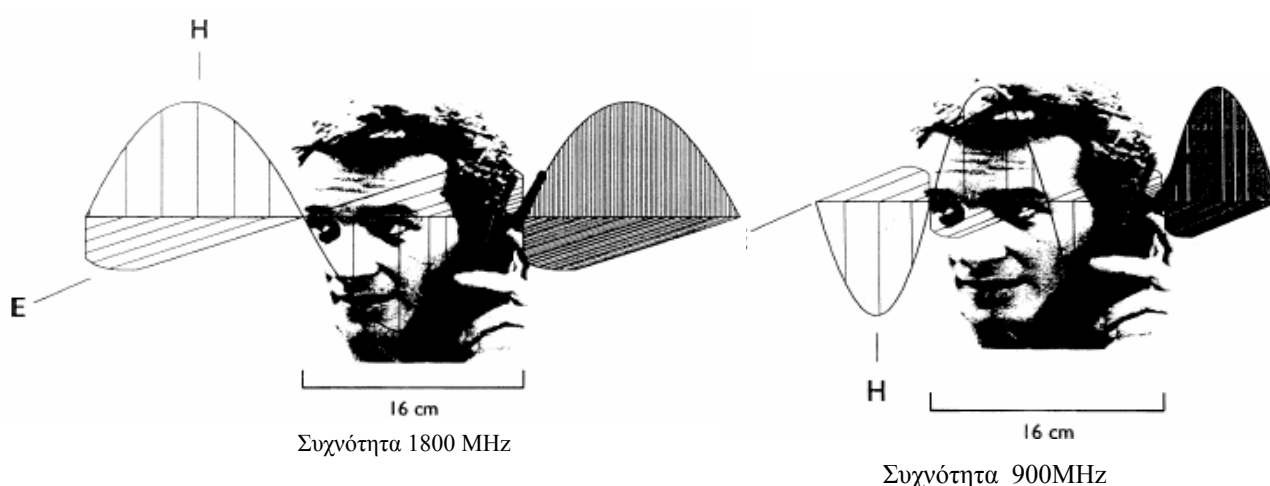
2.5 Πιθανές επιπτώσεις από κινητά τηλέφωνα

Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει συμφωνία για ένα γενικά παραδεκτό μηχανισμό ο οποίος να εξηγεί τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία που προκύπτουν από την ΗΜΑ των κινητών τηλεφώνων [38], αφού η ενέργεια που μεταφέρει αυτή η ΗΜΑ είναι χαμηλή συγκριτικά με την μεταφερόμενη ενέργεια από την ιονίζουσα ακτινοβολία και η αύξηση της θερμοκρασίας στον εγκέφαλο, οφειλόμενη στην μη ιονίζουσα θερμοκρασία, είναι $0,1^{\circ}\text{C}$ [19].

Ο Frohlich έχει προτείνει ότι τα εγκεφαλικά κύτταρα κάθε άλλο παρά βρίσκονται σε κατάσταση ισορροπίας. Ακόμα και η χαμηλής ενέργειας μη ιονίζουσα ακτινοβολία, σε κατάλληλες συχνότητες, μπορεί να προκαλέσει αρκετά σημαντικά προβλήματα στη λειτουργία του εγκεφάλου [39].

Οι μη ραδιοφωνικές (un-modulated) MW ακτινοβολίες, σε αντίθεση με τις Rf/MW, δε δημιουργούν διαταραχές στη λειτουργία του εγκεφάλου [38,39].

Οι ΗΜΑ για εκπομπή και λήψη σημάτων από τα κινητά τηλέφωνα με συχνότητες 800-900MHz και 1800MHz έχουν μήκη κύματος από 33-35 cm και 16-17cm αντίστοιχα. Οι ανθρώπινες κεφαλές είναι ωοειδείς και κοντά στα αυτιά υπάρχει μια τομή με έναν άξονα με μήκος είτε το $\frac{1}{2}$ του μήκους κύματος για τις ακτινοβολίες με συχνότητα 800-900MHz ή ίσες με το μήκος κύματος για τις ακτινοβολίες με συχνότητα 1800MHz. Οπότε η ανθρώπινη κεφαλή, η οποία λειτουργεί ως κεραία, μπορεί να συμπεριφερθεί ως δέκτης για την ΗΜΑ που εκπέμπεται από τα κινητά τηλέφωνα (Σχήμα 8).



Σχήμα 8. Μήκη κύματος της ΗΜΑ των κινητών τηλεφώνων σε σχέση με τη διάμετρο του κεφαλιού για 900 και 1800 MHz: E, ηλεκτρικό πεδίο H, μαγνητικό πεδίο. Πηγή: <http://www.idealibrary.com>

Έχουν γίνει πολλές έρευνες με τη χρήση πλασματικών κρανίων (Phantoms), προκειμένου να εκτιμηθεί ο ρυθμός με τον οποίο η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται στο κεφάλι κατά τη χρήση ενός κινητού τηλεφώνου [40].

Από την επεξεργασία των στοιχείων που προέκυψαν από πειραματικές μελέτες σε μοντέλα κεφαλιών, προέκυψε ότι το κεφάλι ενός ενήλικα απορροφά το 80% της ΗΜΑ η οποία εκπέμπεται από τα κινητά τηλέφωνα, ενώ το κεφάλι ενός 7χρονου παιδιού απορροφά το 69%. Η διαφορά αυτή της απορρόφησης αποδίδεται στη διαφορά του μεγέθους της κεφαλής του ενήλικα σε σχέση με το μέγεθος της κεφαλής ενός παιδιού. Όπως αναφέρθηκε η ΗΜΑ με συχνότητα 900 MHz έχει μήκος 33-35 cm, οπότε το μισό του είναι γύρω στα 16-17cm και, όπως προκύπτει από το σχήμα 8, η κεφαλή του ενήλικα θα απορροφήσει ΗΜΑ, ενώ του παιδιού ίσως όχι, λόγω των μικρότερων διαστάσεων του κεφαλιού του [41].

✓ *Επιπτώσεις στη μνήμη*

Η έκθεση στην ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων μειώνει τις λειτουργίες σε ορισμένες περιοχές του εγκεφάλου και επηρεάζει τη μνήμη [32].

✓ *Επίπτωση στη δημιουργία όγκων*

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 [22]. 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.

✓ *Επιδράσεις σε κυτταρικό επίπεδο*

Επιδράσεις στο DNA και καρκινογενετικά φαινόμενα έχουν μελετηθεί εκτενώς από πολλούς ερευνητές σε διάφορες συνθήκες έκθεσης [42-44]. Δεν προέκυψε όμως με βεβαιότητα ότι υπάρχει κάποια άμεση βλάβη στο DNA λόγω της έντονης ή χρόνιας έκθεσης βιολογικών συστημάτων στις ακτινοβολίες με συχνότητες που χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα [45].

2.6 Ομάδες αυξημένου κινδύνου

Σε σχέση με το μέσο πληθυσμό, αυξημένη ευαισθησία κατά την έκθεση σε μη ιονίζουσα ΗΜΑ 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 [46]. 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.

2.7 Σχόλια για τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων

Το αν ένας άνθρωπος μπορεί να προσβληθεί από την ακτινοβολία ή όχι εξαρτάται, για παράδειγμα, από τα επίπεδα του άγχους πριν την έκθεση: αν είναι αρκετά υψηλά, η έκθεση σ' αυτή μπορεί να είναι αρκετή, για να προκληθεί μια ανωμαλία που κάτω από άλλες συνθήκες δεν θα είχε εκδηλωθεί. Συχνά, διατυπώνονται αντιρρήσεις για την αποσιώπηση των συμπερασμάτων ανέκδοτων ερευνών που αφορούν προβλήματα υγείας. Εν τούτοις, λαμβάνοντας υπόψη την έλλειψη επιδημιολογικών ερευνών για τις επιπτώσεις της (Rf) ακτινοβολίας στην υγεία των ανθρώπων, τέτοιου είδους μελέτες είναι μια απαραίτητη πηγή πληροφόρησης [47].

Οι προέφηβοι θεωρούνται πιο ευπρόσβλητοι από την ακτινοβολία (Rf) σε σχέση με τους ενήλικες, γιατί:

- Η απορρόφηση της ακτινοβολίας (Rf) είναι μεγαλύτερη εξαιτίας του «συντονισμού» των κεφαλιών τους και της μεγάλης ευκολίας με την οποία η ακτινοβολία διαπερνά το λεπτό κρανίο τους.
- Η δραστηριότητα του ανοσοποιητικού τους συστήματος υποβαθμίζεται από αυτού του είδους την ακτινοβολία [20,48].

Τα παιδιά είναι λιγότερο ικανά να αντιμετωπίσουν οποιοδήποτε πρόβλημα υγείας μπορεί να προκληθεί από χρόνια έκθεση όχι μόνο στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία μι-

κροκυμάτων αλλά και στα χαμηλής εντάσεως μαγνητικά πεδία, που συνδέονται με τα εκπεμπόμενα κύματα από την μπαταρία του φορητού τηλεφώνου.

Οι επιδημιολογικές μελέτες σε ανθρώπινο πληθυσμό που εκτίθεται επαγγελματικά σε RF πεδία είναι περιορισμένες σε αριθμό και σε ποιότητα και αναφέρονται, κυρίως, σε εργαζόμενους σε στρατιωτικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Μερικές μελέτες αναφέρουν ότι ο κίνδυνος καρκίνου είναι υψηλότερος στα επαγγέλματα εκείνα, στα οποία συνυπάρχουν έκθεση σε ΗΜΑ και χημικοί παράγοντες.

2.8 Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των ζώων

Υπάρχουν ενδείξεις για τη βλαπτικότητα της ακτινοβολίας (Rf) στα ζώα [20]. Ανάπτυξη καρκίνου του εγκεφάλου έχει αναφερθεί σε ποντίκια, που εκτέθηκαν σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία που χρησιμοποιούνται σε ασύρματες επικοινωνίες [45]. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά δεν έχουν επιβεβαιωθεί από άλλα ανεξάρτητα εργαστήρια [49].

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει μια δημοσίευση για τα βοοειδή που αναφέρει σοβαρή μείωση γάλακτος, αποσκέλευση, αποβολές και θνησιγένεια. Όταν τα βοοειδή απομακρύνονται από τα βοσκοτόπια, αρκετά μακριά από την κεραία, τότε οι συνθήκες βελτιώνονται, όμως η κατάσταση επιδεινώνεται, όταν πηγαίνουν πίσω. Οι επιπτώσεις εκδηλώθηκαν, αφού είχαν εγκατασταθεί GSM κεραίες σε έναν πυλώνα που διαβίβαζε μόνο μη εκπεμπόμενα τηλεοπτικά και ραδιοφωνικά σήματα. [34],

✓ Τερατογεννητικότητα

Πολλές μελέτες έδειξαν ότι η σημαντικά αυξημένη θερμοκρασία του σώματος είναι τερατογονική σε ένα αριθμό θηλαστικών, στο οποίο περιλαμβάνονται και τα πρωτεύοντα θηλαστικά [50-52].

Τα μικροκύματα και οι ραδιοσυχνότητες προκαλούσαν τερατογενετικές επιδράσεις, που συνήθως συνοδεύονταν από μια σημαντική αύξηση στη θερμοκρασία του σώματος της μητέρας· έτσι η τερατογένεση αποδιδόταν σ' αυτή τη θερμική επίδραση [53]. Παρ' όλα αυτά τα αποτελέσματα που αναφέρονταν σε αποβολές εμβρύων, προκαλούμενες από μικροκύματα και δημιουργία δυσμορφιών κατά την ανάπτυξη ήταν ασυνεπή από μελέτη σε μελέτη. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στη διαφορετικότητα των ειδών που χρησιμοποιήθηκαν ως πειραματόζωα και κυρίως στο διαφορετικό βαθμό ευαισθησία τους στις αλλαγές της θερμοκρασίας. Για παράδειγμα τα ποντίκια είναι περισσότερο πιθανό να αποβάλλουν τα έμβρυα που έχουν προσβληθεί από τη θερμότητα και να μη γεννήσουν δυσμορφικά μικρά [50], ενώ σε άλλα θηλα-

στικά παρατηρείται μια ευρύτερη διαφορά ανάμεσα στην τερατογενετική έκθεση και τη θανάσιμη έκθεση στην ακτινοβολία.

Συμπερασματικά, λοιπόν, είναι δυνατόν να ειπωθεί ότι τα στοιχεία υποδηλώνουν ότι μόνο εκθέσεις που έχουν θερμικές επιδράσεις μπορούν να επηρεάσουν το έμβρυο αρνητικά.

✓ *Κρίσιμα όργανα και ιστοί*

Τα όργανα του σώματος τα οποία θεωρούνται περισσότερο ευάλωτα από τα υπόλοιπα είναι μάτια (πρόκληση καταρράκτη) και οι όρχεις (μείωση σπέρματος) [1]. Το φαινόμενο αποδίδεται σε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας κατά την έκθεση σε RF ακτινοβολία, εξαιτίας της αδυναμίας του οφθαλμού να απάγει τη θερμότητα [54]. Οι ανεκτές τιμές είναι για ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα 39°C, για τα μάτια 45°C και για τους όρχεις 37°C. Οι αντίστοιχες ισχύεις για να μην υπερβούμε αυτές τις θερμοκρασίες, είναι 1000, 1550 και 50 W/m².

Πειράματα σε μάτια κουνελιών, που μοιάζουν σε μέγεθος και δομή με εκείνα του ανθρώπου, έδειξαν ότι η μικροκυματική ακτινοβολία έχει συγκεκριμένες επιδράσεις στο φακό του ματιού. Θόλωμα του φακού παρατηρήθηκε 1-7 μέρες μετά την έκθεση των πειραματόζωων σε ακτινοβολία. Κακώσεις, όπως καταρράκτης ματιών, αναμένονται σε εκθέσεις >>100 W/m², 5-20 χρόνια μετά την έκθεση [1].

Ανάλογα πειράματα σε όρχεις ζώων είχαν ως αποτέλεσμα μείωση σπέρματος, χωρίς, όμως, επίδραση στο σεξ και την αναπαραγωγή.

Οι περισσότερες από τις μελέτες πάνω στην αναπαραγωγή και ανάπτυξη μικρών θηλαστικών, που εκτίθεντο σε ραδιοσυχνότητες και μικροκυματική ακτινοβολία, έδειξαν επιδράσεις που σχετίζονται με άνοδο της θερμοκρασίας. Πολλές μελέτες έδειξαν, για παράδειγμα, ότι έντονες εκθέσεις σε μικροκύματα μπορούν να επηρεάσουν το σπερματογονικό επιθήλιο και μ' αυτό τον τρόπο τη γονιμότητα των αρσενικών μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας των όρχεων [53,55]. Τα αρχικά σπερματοκύτταρα (κύτταρα πριν γίνουν σπερματοζωάρια) συχνά αναγνωρίστηκαν ως ένα ιδιαίτερα ευαίσθητο στάδιο και η αντίδραση που αυτά είχαν στα μικροκύματα ήταν παρόμοια με την επίδραση της συμβατικής θέρμανσής τους. Μερικές έρευνες έγιναν πάνω σε αναισθητοποιημένους αρουραίους και ποντίκια [55-58] και γι' αυτό το λόγο έχουν μικρή αξία σχετικά με τον καθορισμό αποδεκτών ορίων της ανθρώπινης έκθεσης. Αυτό συμβαίνει, γιατί τα αναισθητοποιημένα ζώα ανεβάζουν μόνα τους τη θερμοκρασία του συστήματός τους. Έτσι, η έκθεση ζώων, που δεν τελούν υπό αναισθησία, δείχνει καθαρότερα τις επιπτώσεις της ακτινοβολίας στα ζώα [58]. Πειράματα έδειξαν ότι η έντονη και χρόνια έκθεση μη αναισθητών ποντικών και αρουραίων σε πολλές περιπτώσεις άλλαξε τη λειτουργία των όρχεων ή τη γονιμότητα. Επιδράσεις παρατη-

ρήθηκαν μόνο σε ακραίες καταστάσεις (π.χ υπερβολική αύξηση στην πρωκτική θερμοκρασία ή στη θερμοκρασία των όρχεων).

Έκθεση, όμως, ποντικών για 2-5 λεπτά της ώρας στα 1230 W/m² και 2450 MHz είχε ως αποτέλεσμα νεκρά νεογνά, μείωση της ανάπτυξης τους και φαινόμενα εξωεγκεφαλίτιδας [59].

2.9 Συμπεράσματα

Σήμερα δεν είναι ακόμα ξεκάθαρο το πόσο επιβλαβής είναι η χρήση της Rf ακτινοβολίας από τους ανθρώπους. Πολλές έρευνες διεξήχθησαν και πολλές υποθέσεις διερευνήθηκαν. Μελέτες πάνω σε σχετιζόμενες με γενετικές ή καρκινικές επιδράσεις είναι ανάμεσα σ' αυτές. Αναμφισβήτητα βρέθηκε ότι οι βιολογικές επιδράσεις της έντονης έκθεσης της Rf ακτινοβολίας οφειλόταν στις επιδράσεις της υπερθέρμανσης, που συντελεί σε αύξηση της θερμοκρασίας των κυττάρων κατά 1°C ή και περισσότερο. Αυτό είναι αποτέλεσμα μιας ακτινοβολίας με ένταση 1 έως 2 W/kg. Συχνά, βέβαια, οι πειραματικές (θερμικές) συνθήκες δε συναντώνται σε φυσιολογικές συνθήκες της καθημερινότητας ή αντιστοιχούν σε ακραία σενάρια, που σπάνια μπορεί να συμβούν για ένα μικρό ή μικρά χρονικά διαστήματα. Παρ' όλα αυτά στην περίπτωση μικρής έντασης έκθεσης η απόθεση ενέργειας μπορεί να είναι τέτοια που να προκληθεί μικροθέρμανση. Μερικά αποτελέσματα δε δίνουν ξεκάθαρες απαντήσεις, οπότε οι επιδράσεις που παρατηρήθηκαν κάτω από μη θερμικές συνθήκες απαιτούν περαιτέρω έρευνα. Υπάρχει, επομένως, ανάγκη για καλύτερη κατανόηση αυτού του τύπου αλληλεπίδρασης. Πιο συγκεκριμένα συνεργιστικές επιδράσεις και μηχανιστικές έρευνες πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη. Προς το παρόν τα δεδομένα για τις πιθανές επιδράσεις στην υγεία της ΗΜΑ, όπως εκείνης των κινητών τηλεφώνων, είναι αντικρουόμενα. Θα πρέπει να γίνουν περισσότερες μελέτες, ώστε να μπορεί να βγουν κάποια έγκυρα και επομένως καθολικά αποδεκτά συμπεράσματα.

3. ΟΡΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΗΣ ΜΗ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

3.1 Διεθνή όρια ασφαλείας

Η καθιέρωση ορίων ασφαλείας για τη μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τους πλέον σοβαρούς διεθνείς οργανισμούς ή κράτη, είναι η πλέον κραυγαλέα ομολογία της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας για τις επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού από την έκθεση στην ακτινοβολία αυτή.

Τα όρια που προτείνονται 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. Τα όρια επικινδυνότητας διαφέρουν από κράτος σε κράτος και από οργανισμό σε οργανισμό. Αυτή η διαφορά οφείλεται στη 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 μη θερμικές επιδράσεις προτείνουν πολύ χαμηλότερα όρια. Στον πίνακα 3 (συντάχθηκε το Φεβρουάριο του 2000), παρουσιάζονται συγκριτικά πρότυπα που αφορούν την έκθεση του κοινού στην ΗΜΑ (ραδιοσυχνότητες), τα οποία έχουν θεσπιστεί από διάφορες χώρες ή οργανισμούς.

Πίνακας 3

Όρια ασφαλείας

Όρια έκθεσης κοινού	Συχνότητα MHz	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E) V/m	Πυκνότητα ισχύος ισοδυνάμου επιπέδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος W/m ²	Πυκνότητα ισχύος ισοδυνάμου επιπέδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος μW/cm ²
NRPB, 1993	900	112	33	3300
	1800	194	100	10000
FCCOET65: 1997-01 (USA), ANSI/IEEEC95.1-1992	900	47	6	600
	1800	61	10	1000
ΚΑΝΑΔΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	900	47	6	600
	1800	61	10	1000

Κεφάλαιο 3. Όρια ασφαλείας της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

ICNIRP, 1998 (WHO)	900	41	4,5	450
CENELEC, 1995 (EU)	1800	58	9	900
ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ 1988 (επρόκειτο να αναθεωρηθεί)	900/1800	27	2	200
ΔΥΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΙΣ ΗΠΑ (1995)	30-100000	19	1	100
ΠΟΛΩΝΙΑ, Κοινό σε κίνηση	300-300000	19	1	100
Ακίνητο		6	0,1	10
ΡΩΣΙΑ (1988)	300 – 300000	6	0,1	10
ΙΤΑΛΙΑ, ΔΙΑΤΑΓΜΑ 381/1999	30-30000	6	0,1	10
ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΥΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΤΟΡΟΝΤΟ, 2000	900	5	0,06	6
	1800	6	0,1	10
ΕΛΒΕΤΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΟΡΝΙ (για σταθμούς βάσης), 1 Φεβρ. 2000	900	4	Δεν καθορίστηκε	Δεν καθορίστηκε
	1800	6		
ΕΕ & ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ Μ. ΒΡΕΤΑΝΙΑΣ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ	30-2000	3	Δεν καθορίστηκε	Δεν καθορίστηκε
Τυπικές μέγιστες τιμές σε περιοχές κοντά σε σταθμούς βάσης (μπορεί να είναι πολύ υψηλότερα)	900 & 1800	2	0,01	1
Τρέχουσα πρόταση Δρ. Cherry (Νέα Ζηλανδία), με στόχο να καθιερωθεί το όριο μέχρι το 2010	300-300000	0,15	0,0005	0,05
		0,06	0,0001	0,01
Μέσο US (EPA 1980)	Approx.	<0,13	<0,00005	<0,005
Μεγ. Για κάτοικους πόλεων	30-300000	<2	<0,01	<1
Φυσικό υπόβαθρο «ευρέως φάσματος»	300 - 3000	<0,00003	<0,00000001	<0,000001
Τυπικά επίπεδα κοντά στην κεραία του κινητού τηλεφώνου	900 & 1800	50-300	2-50	200-500
ΕΛΛΑΔΑ	900	33	3,6	360
	1800	46,672	7,2	720

Πηγή: <http://www.emfguru.org/CellPhone/cell-health/cellphone-health.html> και <http://www.land-sbg.gv.at/celltower>.

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα, αρκετές χώρες, λαμβάνοντας υπόψη την υπό εξέλιξη έρευνα και τις επιδημιολογικές μελέτες, μειώνουν συνεχώς τα όρια επικινδυνότητας, με σκοπό την πρόληψη βλαπτικών επιπτώσεων και την προστασία της δημόσιας υγείας. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι η Ελβετία, ήδη από την 1-2-2000, έχει θεσπίσει όρια 4 V/m, ενώ, σύμφωνα με τους αρμόδιους της πολιτείας του Salzburg στην Αυστρία (1998) [60], η εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τους σταθμούς βάσης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,001 W/m². Το όριο αυτό είναι εκατοντάδες φορές μικρότερο απ' αυτό που ισχύει στην Ελλάδα [61].

3.2 Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ)

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), στο ενημερωτικό φυλλάδιο που διανέμει με τίτλο «Μη Ιονίζουσες Ακτινοβολίες Κινητής Τηλεφωνίας, Φεβρουάριος 2001», αναφέρει σχετικά: *«Οι επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην υγεία μας εξαρτώνται προπάντων από την ένταση, τη συχνότητα και τη διάρκεια της. Η έκθεση σε μεγάλες τιμές ακτινοβολίας υψηλών συχνοτήτων έχει θερμικές επιδράσεις. Αν η απορροφούμενη ισχύς ακτινοβολίας είναι τόσο μεγάλη, ώστε η θερμοκρασία του σώματος ν' αυξηθεί πάνω από 1-2° C, τότε προκύπτουν οι ίδιες επιδράσεις, όπως στην περίπτωση πυρετού ή θερμοπληξίας, δηλαδή επέρχεται μείωση των νοητικών δραστηριοτήτων, αποκλίσεις σε διάφορες σωματικές λειτουργίες μέχρι και διαταραχές της αναπαραγωγής. Επίσης όργανα με κακή αιμάτωση και κατά συνέπεια κακή απαγωγή θερμότητας, όπως π.χ τα μάτια, θερμαίνονται γρηγορότερα γι' αυτό κινδυνεύουν περισσότερο. Τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού έχουν καθοριστεί έτσι ώστε να μη μπορούν να προκύψουν τέτοιες θερμικές επιδράσεις.*

Αντίθετα με τις θερμικές επιδράσεις της υψίσυχνης ακτινοβολίας, οι βιολογικές επιδράσεις σε μικρές τιμές ακτινοβολίας υψηλών συχνοτήτων δεν είναι ακόμα εντελώς γνωστές. Σήμερα είναι εξακριβωμένο ότι η υψίσυχνη ακτινοβολία μπορεί να έχει και άλλες επιδράσεις εκτός από τις θερμικές. Παρατηρήθηκαν π.χ φυσιολογικές μεταβολές σε κυτταρικές καλλιέργειες, σε ζώα, καθώς και επηρεασμός του ανθρώπινου εγκεφάλου από την ηλεκτρική δραστηριότητα. Δεν είναι, όμως, γνωστό πώς προκύπτουν αυτές οι επιδράσεις. Χρειάζεται περαιτέρω έρευνα, για να διαγνωσθούν ενδεχόμενες επιδράσεις της υψίσυχνης ακτινοβολίας μικρής ισχύος στην υγεία. Οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις δεν κατέστη δυνατό ως σήμερα να ερευνηθούν καθόλου».

Επίσης, σημειώνεται ότι: *«Αποτελεί θεμελιώδη αρχή για την προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος το γεγονός ότι για προληπτικούς λόγους οι τιμές ακτινοβολίας πρέπει να κρατιούνται όσο γίνεται χαμηλότερες, ακόμα και εάν δεν έχει αποδειχθεί (μέχρι σήμερα) κάποιος κίνδυνος για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, σύμφωνα με το γνωστό ρητό η πρόληψη είναι καλύτερη από τη θεραπεία. Αυτή η θεμελιώδης αρχή βρίσκει εφαρμογή και στην κινητή τηλεφωνία, ακριβώς επειδή ακόμη γνωρίζουμε πολύ*

λίγα σχετικά με τις μακροπρόθεσμες επιδράσεις της ακτινοβολίας μικρής εντάσεως. Προληπτικά, λοιπόν, καλό θα είναι να αποφεύγεται κάθε μη απαραίτητη επιβάρυνση με ακτινοβολία. Στους σταθμούς βάσης το δραστικότερο προληπτικό μέτρο είναι η τοποθέτησή τους σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόσταση από τα μέρη όπου παραμένουν άνθρωποι για μεγάλο χρονικό διάστημα. Μακροπρόθεσμες επιδράσεις δεν μπορούν πάντως να αποκλεισθούν επί του παρόντος».

Σε ότι αφορά τις οριακές τιμές ασφαλείας για την ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας αναφέρεται ότι: «Για τις εκπομπές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχει εκδοθεί μία Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, με την οποία θεσπίζονται βασικοί περιορισμοί (*basic restrictions*) και επίπεδα αναφοράς (*reference levels*) για τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που επάγουν οι κεραιές αυτές. Η σύσταση αυτή αποτέλεσε και τη βάση για την ΚΥΑ 53571/3839, (ΦΕΚ 1105/Β/6-9-2000) που καθορίζει τα όρια ασφαλούς έκθεσης του κοινού στις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σύμφωνα με την προαναφερθείσα ΚΥΑ, δεν πρέπει να υπάρχουν χώροι γύρω από την κεραιά 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 δύο ζώνες συχνοτήτων κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιούνται στη χώρα μας:

Πίνακας 4

Όρια τιμών στα 900 και στα 1800MHz

Μέγεθος μέτρησης	80% των τιμών που αποτελεί το όριο έκθεσης
Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (E)	
41,25 V/m για τη ζώνη συχνοτήτων στα 900 MHz	33,00 V/m
58,34 V/m για τη ζώνη συχνοτήτων στα 1800 MHz	46,672 V/m
Ένταση μαγνητικού πεδίου (H)	
0,111 A/m για τη ζώνη συχνοτήτων στα 900 MHz	0,0888 A/m
0,157 A/m για τη ζώνη συχνοτήτων στα 1800 MHz	0,1256 A/m
Πυκνότητα ισχύος ισοδυνάμου επιπέδου ηλεκτρομαγνητικού κύματος (Seq)	
4,5 W/m ² για τη ζώνη συχνοτήτων στα 900 MHz	3,6 W/m ²
9 W/M ² για τη ζώνη συχνοτήτων στα 1800MHz	7,2 W/m ²

3.3 Όρια ασφαλείας για την ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων

Ενώ υπάρχει γενική παραδοχή από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα ότι η ακτινοβολία των κεραιών των σταθμών βάσης της κινητής τηλεφωνίας έχει ασήμαντη επίδραση στην υγεία του ανθρώπου, διαφορετική εμφανίζεται η εικόνα για την ακτινοβολία των φορητών (κινητών) τηλεφωνικών συσκευών.

Σύμφωνα με τα μέτρα του IRPA, που συμπληρώνονται και από την οδηγία IEEE, C95.1-1991 την οποία υιοθέτησε και το ANSI, για τις συχνότητες της κινητής τηλεφωνίας προβλέπονται τα εξής:

- α) Για ολόσωμη 24ωρη έκθεση (γενικός πληθυσμός) καθορίζεται όριο ασφαλείας τα $0,6 \text{ mW/cm}^2$ και ως μέγιστο επιτρεπόμενο EPA τα $0,8 \text{ W/Kg}$.
- β) Οι υπερβάσεις των ορίων αυτών επιτρέπονται, αν μπορεί να αποδειχθεί ότι ο EPA είναι μικρότερος από $1,6 \text{ W/Kg}$ κατά μέσο όρο για κάθε γραμμάριο οποιουδήποτε ιστού της κεφαλής.
- γ) 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, φορητό τηλέφωνο του συστήματος GSM ($f=900\text{MHz}$) μπορεί να θεωρηθεί ασφαλές αν η ισχύς του είναι μικρότερη από $0,7 \text{ Watts}$ και εφ' όσον, σύμφωνα με την οδηγία, απέχει από το σώμα απόσταση μεγαλύτερη από $2,5\text{cm}$ [2].

3.4 Συμπεράσματα

Από όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα, προκύπτει σαφώς ότι, σε επιστημονικό επίπεδο, υπάρχει αμφιβολία ως προς το είδος και την έκταση των επιδράσεων της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον, καθώς οι σχετικές έρευνες δεν έχουν ακόμα ολοκληρωθεί. Ως εκ τούτου, απαιτείται περαιτέρω έρευνα, για να εξακριβωθούν οι πραγματικές επιδράσεις από την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τους σταθμούς βάσης. Παρά την παρατηρούμενη επιστημονική αβεβαιότητα, η συνεχώς αυξανόμενη ανησυχία του κοινού οδήγησε πολλά κράτη στη λήψη πρόσθετων μέτρων για την προστασία του πληθυσμού από τις ενδεχόμενες αρνητικές επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι σχετικές ρυθμίσεις, που έχουν εισαχθεί στο εσωτερικό δίκαιο επιμέρους κρατών, αποδεικνύουν ότι υπάρχει ευρεία διακύμανση των ορίων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στην οποία επιτρέπεται να εκτίθεται το κοινό.

4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

Η περίπτωση της πόλης της Μυτιλήνης.

4.1 Η ανάγκη για στατιστική ανάλυση

Σε κάθε σύστημα, στο οποίο οι τιμές των μεταβλητών αλλάζουν, έχει ενδιαφέρον να εξεταστούν οι επιδράσεις που ασκούν (ή φαίνεται ότι ασκούν) κάποιες από αυτές στις υπόλοιπες. Μπορεί, τελικά, να υπάρχει μία απλή συναρτησιακή σχέση μεταξύ όλων των μεταβλητών. Στις φυσικές διαδικασίες, η ύπαρξη μιας τέτοιας απλής σχέσης αποτελεί μάλλον την εξαίρεση παρά τον κανόνα. Συνήθως, υπάρχει μια συναρτησιακή σχέση, η οποία είναι τόσο πολύπλοκη, ώστε δε μπορεί να γίνει κατανοητή ή να περιγραφεί με απλούς όρους. Σε μια τέτοια περίπτωση ο επιδιωκόμενος στόχος είναι να προσεγγιστεί αυτή η πολύπλοκη συναρτησιακή σχέση με μια κάπως απλή μαθηματική συνάρτηση (μοντέλο), όπως ένα πολυώνυμο, που να περιλαμβάνει τις κατάλληλες μεταβλητές και να προσεγγίζει την πραγματική συνάρτηση για κάποιο περιορισμένο εύρος μεταβλητών, που εμπλέκονται στη διαδικασία.

Ο ερευνητής, εξετάζοντας αυτή την απλή μαθηματική συνάρτηση (μοντέλο), μπορεί να καταφέρει να μάθει περισσότερα για την υπάρχουσα αληθινή σχέση και να εκτιμήσει τις ξεχωριστές αλλά και τις κοινές επιδράσεις που παράγονται από τις αλλαγές σε συγκεκριμένες σημαντικές μεταβλητές. Ακόμα και όταν λογικά δεν υπάρχει φυσική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, μπορεί να θέλει να τις συσχετίσει με κάποια μαθηματική εξίσωση. Ενώ η εξίσωση μπορεί να στερείται φυσικής έννοιας, εντούτοις μπορεί να είναι εξαιρετικά πολύτιμη για την πρόβλεψη των τιμών κάποιων μεταβλητών από τις διαθέσιμες γνώσεις άλλων μεταβλητών, όταν ίσως ισχύουν κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες.

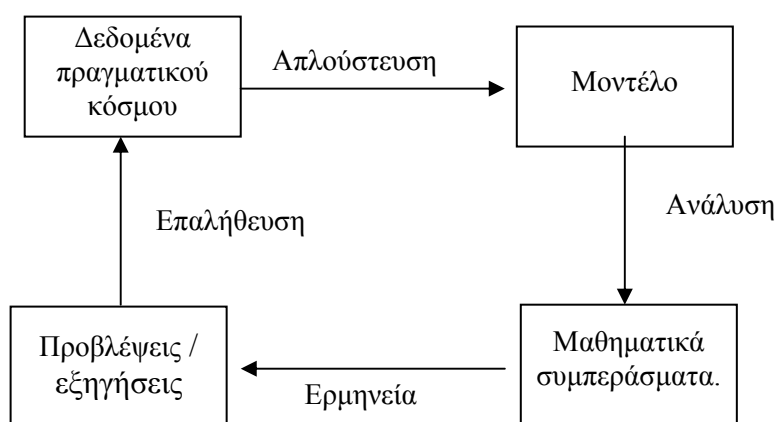
Για την κατασκευή του μοντέλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε όλες τις τιμές των μεταβλητών είτε ένα υποσύνολο αυτών. Γι παράδειγμα, μπορεί να γίνει χρήση των μισών δεδομένων για την κατασκευή του μοντέλου ενώ τα υπόλοιπα να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της εγκυρότητας του μοντέλου. Η διαδικασία αυτή καλείται Μέθοδος «μισού και μισού» [62].

4.2 Μαθηματικά μοντέλα [63]

4.2.1 Γενικά

Για να αποκτηθεί πληρέστερη κατανόηση του κόσμου που μας περιβάλλει, περιγράφονται (όπου αυτό είναι δυνατό) τα φαινόμενα που ενδιαφέρουν με μαθηματικό τρόπο (δηλαδή μέσω μιας συνάρτησης ή μιας εξίσωσης). Ένα τέτοιο μαθηματικό μοντέλο δεν είναι μια απόλυτα ακριβής περιγραφή, αλλά μια εξιδανίκευση (απλούστευση) του πραγματικού φαινομένου. Παρόλο που κάθε μοντέλο έχει τους περιορισμούς του, ένα καλό μοντέλο μπορεί να μας προσφέρει χρήσιμα αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Όταν πραγματοποιείται η μοντελοποίηση, δηλαδή η κατασκευή μοντέλων για τον κόσμο που μας περιβάλλει, εκείνο που ενδιαφέρει συχνά είναι η πρόβλεψη ή η εκτίμηση της τιμής μιας μεταβλητής πέραν αυτών που ήδη διατίθενται, για παράδειγμα: να προβλεφτεί η τιμή της μεταβλητής σε κάποια μελλοντική χρονική στιγμή. Η μεταβλητή αυτή μπορεί να είναι ένας πληθυσμός, η αξία ενός ακινήτου, ο αριθμός των ασθενών με συγκεκριμένη μεταδοτική νόσο, η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε μια περιοχή κ.λ.π. Συχνά ένα μαθηματικό μοντέλο βοηθά στην καλύτερη κατανόηση μιας δεδομένης συμπεριφοράς, ή στον καλύτερο προγραμματισμό του μέλλοντος. Θεωρείται λοιπόν κάθε μαθηματικό μοντέλο ως μια μαθηματική κατασκευή σχεδιασμένη με σκοπό τη μελέτη ενός συγκεκριμένου πραγματικού συστήματος ή μιας συμπεριφοράς που ενδείκνυται για μελέτη. Το μοντέλο επιτρέπει την εξαγωγή μαθηματικών συμπερασμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά αυτή, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 9. Η ανάλυση και η ερμηνεία τέτοιων συμπερασμάτων μπορεί να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων και στο σχεδιασμό μελλοντικών ενεργειών.



Σχήμα 9. Η διαδικασία κατασκευής ενός μοντέλου ξεκινά με την προσεκτική εξέταση δεδομένων του πραγματικού κόσμου.

Για να κατασκευαστεί ένα μαθηματικό μοντέλο, πρώτα εξετάζεται το τμήμα εκείνο του πραγματικού κόσμου που πρόκειται να μελετηθεί και συγκροτείται ένα σύστημα μαθηματικών μεταβλητών και σχέσεων, οι οποίες προσομοιώνουν («μιμούνται») μερικά από τα σημαντικά χαρακτηριστικά του συστήματος που αποτελεί το αντικείμενο του ενδιαφέροντος. Δηλαδή πραγματοποιείται μια μαθηματική «μεταφορά» του πραγματικού κόσμου: Κατόπιν γίνεται εφαρμογή μαθηματικών γνώσεων στις μεταβλητές και στις μεταξύ τους σχέσεις, επιλύοντας έτσι το μοντέλο και συνάγοντας συμπεράσματα για τις μεταβλητές του. Έπειτα μεταφράζονται τα μαθηματικά συμπεράσματα σε πληροφορίες για το σύστημα που αποτελεί το αντικείμενο μελέτης. Τέλος, συγκρίνονται οι πληροφορίες αυτές με τις παρατηρήσεις πάνω στο πραγματικό σύστημα για να διαπιστωθεί αν το μοντέλο έχει προβλεπτική αξία. Μπορεί, λοιπόν, να ειπωθεί ότι η διαδικασία κατασκευής ενός μαθηματικού μοντέλου περιλαμβάνει συνήθως τέσσερα στάδια:

Βήμα 1. Παρατήρηση της συμπεριφοράς του υπό μελέτη συστήματος.

Βήμα 2. Προσπάθεια να βρεθούν μέσω παραδοχών οι μεταβλητές που παίζουν ουσιώδη ρόλο και οι μεταξύ τους σχέσεις. Γίνεται, έτσι η κατασκευή ενός μοντέλου.

Βήμα 3. Με την επίλυση του μοντέλου εξάγονται μαθηματικές λύσεις.

Βήμα 4. Ερμηνεία του μοντέλου και επιβεβαίωση ότι αυτό είναι συνεπές προς τις παρατηρήσεις του πραγματικού κόσμου.

Τα καλύτερα μοντέλα είναι αυτά που οδηγούν σε συμπεράσματα συνεπή με την παρατήρηση, που έχουν προβλεπτική αξία και ευρείες εφαρμογές, και που δεν είναι δύσκολα στο χειρισμό τους.

4.2.2 Ντετερμινιστικά - Στοχαστικά μοντέλα

Ένα μοντέλο ονομάζεται:

- **Ντετερμινιστικό**, αν εκφράζει μια ακριβή σχέση μεταξύ μετρούμενων και παραγόμενων μεταβλητών χωρίς τον παράγοντα της αβεβαιότητας.

- **Στοχαστικό**, αν περιέχει ποσότητες που αναπαρίστανται με στοχαστικές μεταβλητές και υπακούει σε στοχαστικές διαδικασίες, δηλαδή υπεισέρχεται στο μοντέλο η έννοια της αβεβαιότητας.

4.2.3 Μέθοδοι επίλυσης ενός μοντέλου [64]

• Αναλυτικές - Αναλυτικές προσεγγιστικές Μέθοδοι

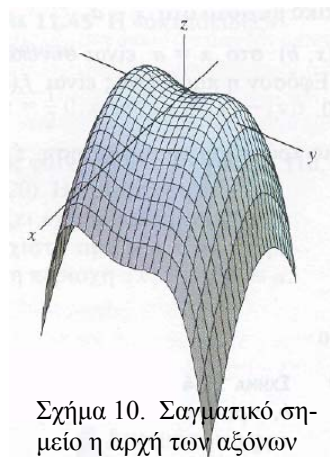
Η αναλυτική επίλυση ενός μοντέλου έπεται της ποιοτικής μελέτης. Η εύρεση της λύσης μπορεί να γίνει αναλυτικά (εύρεση της λύσης σε κλειστή μορφή, κάτι που δεν είναι συχνά εφικτό) ή με αναλυτικές προσεγγιστικές μεθόδους (εύρεση ορισμένων όρων του αναπτύγματος της λύσης σε σειρά, χρήση μεθόδων διαταραχών, κανονικών και ιδιόμορφων, ασυμπτωτική ανάλυση, κ.λ.π.).

• Αριθμητικές Μέθοδοι

Η επίλυση ενός μοντέλου δεν είναι δυνατή συχνά ούτε με αναλυτικές, ούτε με αναλυτικές προσεγγιστικές μεθόδους. Συνήθως η επίλυση γίνεται με διακριτοποίηση του μοντέλου, επιλογή κατάλληλης αριθμητικής μεθόδου και μελέτη των βασικών ιδιοτήτων της με χρήση υπολογιστή.

4.2.4 Προσδιορισμός ακροτάτων τιμών συνάρτησης με δυο μεταβλητές

Για να βρεθούν τα ακρότατα μιας συνάρτησης $z = f(x, y)$, αν υπάρχουν, ερευνάται η ύπαρξη σημείων όπου η επιφάνεια $z = f(x, y)$ έχει οριζόντιο εφαπτόμενο επίπεδο. Κατόπιν εξετάζεται αν στα σημεία αυτά η συνάρτηση παρουσιάζει τοπικό μέγιστο, τοπικό ελάχιστο, η σαγματική συμπεριφορά. (Το σημείο $(\alpha, \beta, f(\alpha, \beta))$ πάνω στην επιφάνεια $z = f(x, y)$ καλείται σαγματικό σημείο αν σε κάθε ανοιχτό κυκλικό δίσκο με κέντρο το (α, β) υπάρχουν σημεία (x, y) του πεδίου ορισμού για τα οποία ισχύει $f(x, y) > f(\alpha, \beta)$ και σημεία (x, y) του πεδίου ορισμού για τα οποία ισχύει $f(x, y) < f(\alpha, \beta)$)



Σχήμα 10. Σαγματικό σημείο η αρχή των αξόνων

Τα μόνα σημεία όπου μια συνάρτηση $f(x, y)$ μπορεί να εμφανίζει ακρότατα είναι:

- τα κρίσιμα σημεία, δηλαδή τα εσωτερικά σημεία του πεδίου ορισμού της συνάρτησης όπου τόσο η f_x όσο και η f_y μηδενίζονται, ή όπου τουλάχιστον μία εκ των f_x και f_y δεν υπάρχει και
- τα συνοριακά (ακραία) σημεία.

Η αναζήτηση των τοπικών ακροτάτων γίνεται με το παρακάτω θεώρημα, γνωστό ως κριτήριο δεύτερης παραγώγου.

✓ **Κριτήριο δεύτερης παραγώγου για τοπικά ακρότατα**

Αν οι μερικές παράγωγοι πρώτης και δεύτερης τάξεως της f είναι παντού συνεχείς σε έναν κυκλικό δίσκο με κέντρο το σημείο (α, β) και $f_x(\alpha, \beta) = f_y(\alpha, \beta) = 0$, τότε:

- Η f έχει τοπικό μέγιστο στο (α, β) αν $f_{xx} < 0$ και $f_{xx}f_{yy} - f_{xy}^2 > 0$ με $x, y \in (\alpha, \beta)$
- Η f έχει τοπικό ελάχιστο στο (α, β) αν $f_{xx} > 0$ και $f_{xx}f_{yy} - f_{xy}^2 > 0$ με $x, y \in (\alpha, \beta)$
- Η f έχει σαγματικό σημείο στο (α, β) αν $f_{xx}f_{yy} - f_{xy}^2 < 0$ με $x, y \in (\alpha, \beta)$
- Δε μπορεί κανείς να αποφανθεί για τη φύση του σημείου (α, β) αν $f_{xx}f_{yy} - f_{xy}^2 = 0$. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να βρεθεί άλλος τρόπος μελέτης της συμπεριφοράς της f στο (α, β) .

✓ **Ολικά (απόλυτα) μέγιστα και ελάχιστα σε κλειστές φραγμένες περιοχές**

Η διαδικασία διερεύνησης για ολικά (ή απόλυτα) ακρότατα συνεχούς συναρτήσεως $f(x, y)$ σε ένα κλειστό και φραγμένο χωρίο R μπορεί να παρουσιαστεί σε τρία βήματα.

Βήμα 1: Καταγράφονται τα εσωτερικά σημεία του R όπου η f ενδέχεται να έχει τοπικά μέγιστα και ελάχιστα και υπολογίζονται οι τιμές της f στα σημεία αυτά. Πρόκειται για τα σημεία όπου $f_x = f_y = 0$ ή όπου τουλάχιστον μία εκ των f_x και f_y δεν υπάρχει (κρίσιμα σημεία της f).

Βήμα 2: Καταγράφονται τα συνοριακά σημεία του R όπου η f έχει τοπικά μέγιστα και ελάχιστα και υπολογίζονται οι τιμές της f στα σημεία αυτά

Βήμα 3: Από τα σημεία που έχουν καταγραφεί, απομονώνονται εκείνα που αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη και στη μικρότερη τιμή της f . Στα σημεία αυτά η f εμφανίζει ολικά ακρότατα στο R . Εφόσον ένα ολικό ακρότατο είναι και τοπικό ακρότατο, το μόνο που μένει να γίνει είναι ο εντοπισμός, από τον κατάλογο των σημείων που δημιουργήθηκε στα βήματα 1 και 2, της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της f .

✓ **Προσδιορισμός ακροτάτων αριθμητικά (Μέθοδος Newton-Raphson)**

Όταν δεν είναι εφικτή η ακριβής επίλυση μιας εξίσωσης, τότε χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι για την επίλυσή τους. Εν γένει, οι αριθμητικές μέθοδοι παρέχουν ταχύτητα υπολογισμών και ακρίβεια και χρησιμοποιούνται πολύ συχνά, όταν οι ακρι-

βείς τύποι των λύσεων είτε δε χρειάζονται είτε δεν είναι διαθέσιμοι είτε είναι υπερβολικά περίπλοκοι.

Η μέθοδος Newton-Raphson είναι ίσως η ευρύτερη διαδεδομένη αριθμητική μέθοδος για την εύρεση λύσεων εξίσωσης.

4.2.5. Συντελεστής προσδιορισμού

Η ακρίβεια ενός γραμμικού μοντέλου εκτιμάται από τον αριθμό:

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2},$$

όπου $\hat{Y}_i - \bar{Y}$ είναι η απόκλιση της προβλεπόμενης τιμής της i παρατήρησης από το μέσο και $Y_i - \bar{Y}$ είναι η απόκλιση της i παρατήρησης από το μέσο.

Το R^2 μετρά την αναλογία της συνολικής μεταβλητότητας γύρω από τη μέση τιμή \bar{Y} . Η αναλογία αυτή συχνά εκφράζεται ως ένα ποσοστό επί της εκατό και είναι πάντοτε $0 \leq R^2 \leq 1$. Αν υπάρχει σφάλμα, τότε το R^2 είναι αδύνατο να πετυχαίνει πραγματικά την τιμή 1. Το R^2 συχνά χρησιμοποιείται ως ένα κατάλληλο μέτρο της επιτυχίας του μοντέλου. Όσο το R^2 πλησιάζει τη μονάδα τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα [62].

4.3 Αντικείμενο-σκοπός του τετάρτου κεφαλαίου.

4.3.1 Γενικά

Το αντικείμενο του τετάρτου κεφαλαίου είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την κατασκευή κατάλληλου μοντέλου για εκτίμηση, σε οποιοδήποτε σημείο της πόλη της Μυτιλήνης, της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου E (Volt/m) της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ή ισοδύναμα της πυκνότητας ισχύος P (Watt/m²) (αφού τα μεγέθη E και P συνδέονται με τη σχέση $E = \sqrt{0,377 \cdot P}$, E (Volt/m) και P (mWatt/m²), με δεδομένα σημειακές μετρήσεις των αντίστοιχων μεγεθών.

Προτιμήθηκε η αναζήτηση μοντέλου για την ένταση και όχι για την πυκνότητα, γιατί οι διαθέσιμες τιμές της έντασης είχαν μικρότερες διακυμάνσεις από τις αντίστοιχες της πυκνότητας. Η ελάχιστη ένταση ήταν $E_{\min}=0,2$ Volt/m και η μέγιστη $E_{\max}=5,6$ Volt/m, δηλαδή $\frac{E_{\max}}{E_{\min}} = 28$, ενώ για τις αντίστοιχες τιμές της πυκνότητας

ίσχυε $\frac{p_{\max}}{p_{\min}} = \left(\frac{E_{\max}}{E_{\min}}\right)^2 = 784$. Για επιβεβαίωση της ορθότητας επιλογής για μοντελοποίηση της έντασης έγινε προσπάθεια και για τη μοντελοποίηση της πυκνότητας ισχύος.

➤ Πηγή δεδομένων

Από το Ξενίδης (2004) ελήφθησαν τα παρακάτω στοιχεία:

- Χάρτης (Χάρτης 1) του δήμου της Μυτιλήνης, στον οποίο είχαν απεικονισθεί οι θέσεις 224 σημείων μέτρησης της ακτινοβολίας.
- Ένα φύλλο δεδομένων, στο οποίο ήταν καταχωρημένες οι μετρηθείσες εντάσεις του ηλεκτρικού πεδίου E (Volt/m) για καθένα από τα 224 σημεία μέτρησης.

Από τη ψηφιοποίηση του χάρτη (2) προέκυψαν οι καρτεσιανές συντεταγμένες των 224 σημείων μέτρησης.

➤ Μεθοδολογία

Για την κατασκευή του κατάλληλου μοντέλου ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία:

Αναζητήθηκε το μοντέλο που προσαρμοζόταν καλύτερα στις μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας των 224 σημείων μέτρησης. Η κύρια πηγή εκπομπής Κ.Π.Ε. ήταν στο σημείο Ο με συντεταγμένες (461536, 4328601), ενώ στα υπόλοιπα σημεία οι περισσότερες τιμές της έντασης ήταν πολύ μικρότερες. Γι' αυτό έγιναν προσπάθειες μοντελοποίησης των μετασχηματισμένων τιμών $\log(z)$, $\ln(z)$, $1+\text{ArcTan}(z)$, όπου z οι εντάσεις της ακτινοβολίας V/m.

Εφαρμόστηκε επίσης η ιδέα του «μισού και μισού». Για την επιλογή των μισών δεδομένων διατάχθηκαν οι θέσεις μέτρησης σε φθίνουσα σειρά με κριτήριο τις αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε. Επιλέχθηκαν τα σημεία περιττής τάξης και έγινε χρήση των δεδομένων τους. Επιλέχθηκαν τα περιττής τάξης για να συμπεριληφθεί σ' αυτά και η Κ.Π.Ε.

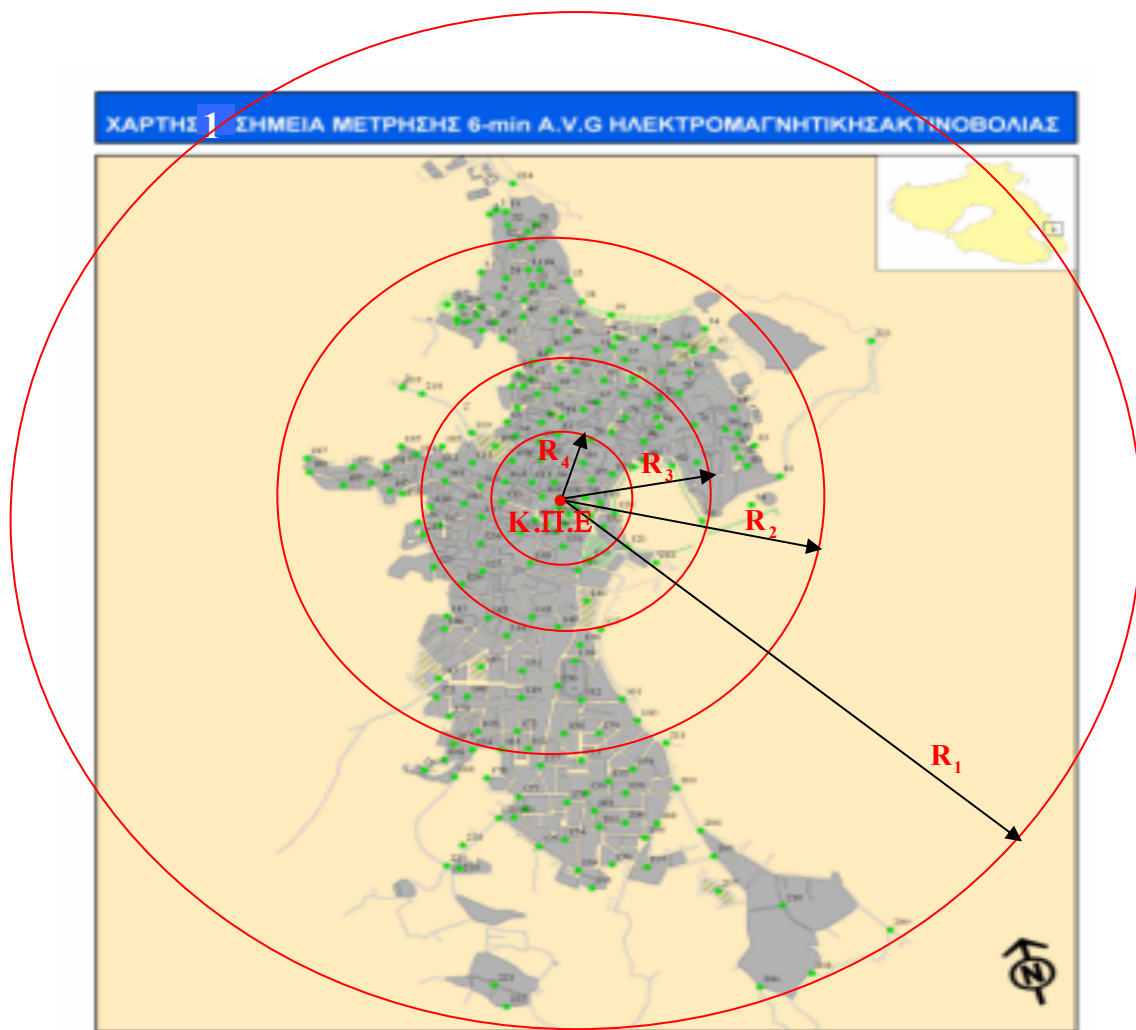
Από ένα μεγάλο αριθμό μοντέλων, τα οποία εξετάστηκαν, επιλέχθηκε για περαιτέρω διερεύνηση, εκείνο που προσαρμοζόταν καλύτερα.

Για να εξεταστεί η αξιοπιστία της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε σχέση με την επίδραση της απόστασης από το σημείο Ο(461536, 4328601) και του ποσοστού των ίδιων τιμών της ακτινοβολίας (το 69,4% των εντάσεων του ηλεκτρικού πεδίου ήταν ίδιες), η συνολική έκταση της υπό μελέτης περιοχής χωρίστηκε σε τέσσερις ομόκεντρους κυκλικούς δίσκους με κέντρο το σημείο της κύριας πηγής εκπομπής Κ.Π.Ε.

και ακτίνες $R_1 = 2320\text{m}$, $R_2 = \frac{R_1}{2} = 1160\text{m}$, $R_3 = \frac{R_1}{4} = 580\text{m}$ και $R_4 = \frac{R_1}{8} = 290\text{m}$

αντίστοιχα. Στο «μικρότερο» κυκλικό δίσκο (ακτίνας 290m) περιέχονται σχολεία, τα οποία απέχουν μόλις μερικές δεκάδες μέτρων από το Κ.Π.Ε, ένα πάρκο, καθώς και αρκετές δημόσιες υπηρεσίες. Στους υπόλοιπους κυκλικούς δίσκους περιέχονται επιπλέον σχολεία, πάρκα και δημόσιες υπηρεσίες. Ειδικότερα στον τέταρτο, ο οποίος καλύπτει όλη την περιοχή μελέτης, και στον πέμπτο, που προέκυψε από την ιδέα του «μισού και μισού», περιέχεται το Νοσοκομείο της Μυτιλήνης.

Η προσέγγιση της δεύτερης παραγράφου επαναλήφθηκε και διερευνήθηκαν τα κάθε φορά προτεινόμενα μοντέλα με την καλύτερη προσαρμογή.



Χάρτης 1: Οι τέσσερις ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο την Κ.Π.Ε

Η αρχή του συστήματος συντεταγμένων είναι το σημείο τομής του ισημερινού και του κεντρικού μεσημβρινού 24°

Πίνακας 5

Στο συγκεκριμένο πίνακα φαίνονται οι ακτίνες των κυκλικών δίσκων, το πλήθος των ευαίσθητων περιοχών (σχολεία, πάρκα, δημόσιες υπηρεσίες, γήπεδα, κ.λ.π.), το πλήθος των σημείων μέτρησης που περιέχονται σ' αυτούς καθώς και διάφορες ακόμα πληροφορίες.

a/a	Ακτίνα κυκλικού δίσκου (m)	Πλήθος ευαίσθητων περιοχών	Πλήθος σημείων μέτρησης της ακτινοβολίας	Ποσοστό % σημείων μέτρησης της ακτινοβολίας επί του συνόλου των σημείων	Ποσοστό % των σημείων με ίδια ένταση ακτινοβολίας
1	290	8	28	12,5	53,5
2	580	18	78	34,8	62,8
3	1160	42	175	78	66,8
4	2320	50	224	100	69,4
5	2303	50	112	50	72,3

4.3.2 Μοντέλα μέτρησης της έντασης της ακτινοβολίας για όλη την πόλη της Μουτιλήνης

► Μοντέλο 1

$$f(x, y) = \frac{a + b \ln x + c \ln y}{1 + d \ln x + e \ln y},$$

όπου:

x, y , είναι οι συντεταγμένες των σημείων μέτρησης και $f(x,y)$ η αντίστοιχη εκτιμώμενη ένταση της ακτινοβολίας.

$$a = 9,2142497011623547 \times 10^{18},$$

$$b = -6,6938489469597917 \times 10^{19}$$

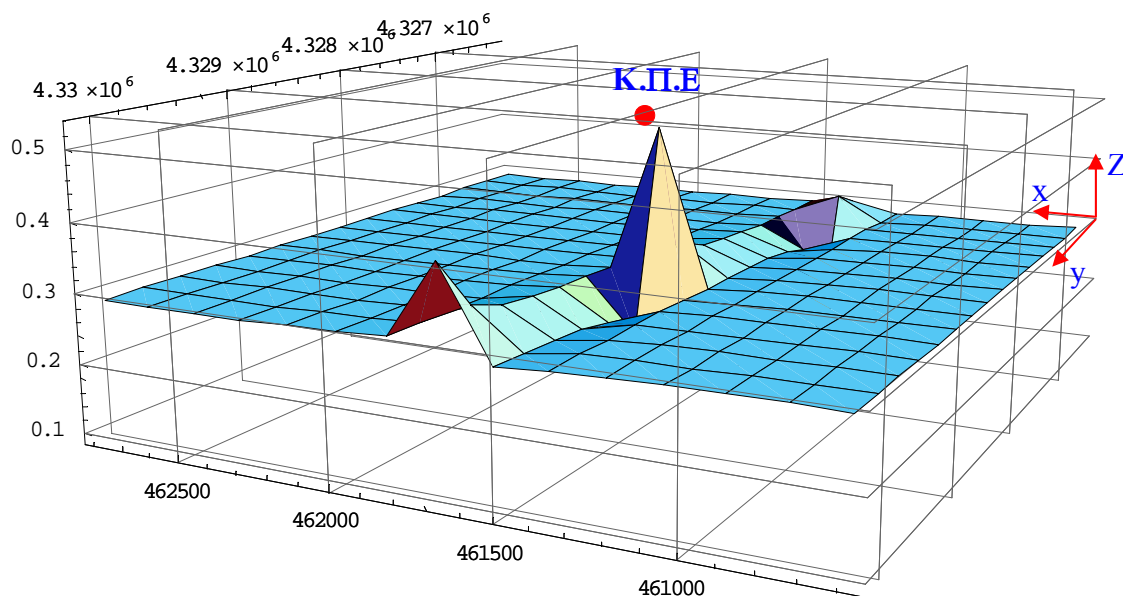
$$c = 5,6529801850741481 \times 10^{19},$$

$$d = -2,3291366474733421 \times 10^{20}$$

$$e = 1,9879472858417057 \times 10^{20}$$

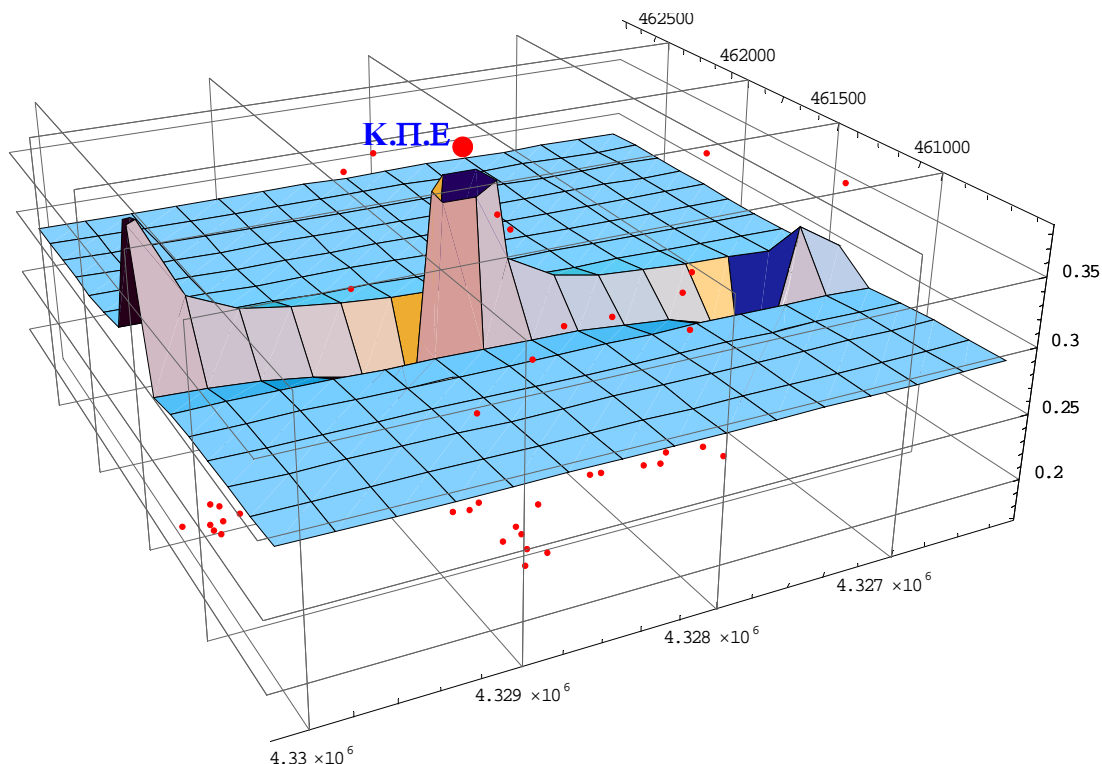
► Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε.

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) σχεδιάστηκε η επιφάνεια $z = f(x, y)$, ώστε να υπερκαλύπτεται η περιοχή των σημειακών μετρήσεων της ακτινοβολίας.



Σχήμα 11. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε

- Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$, απεικόνιση των σημείων μέτρησης (x,y,z) και η θέση της Κ.Π.Ε



Σχήμα 12. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$, τα σημεία μέτρησης (x,y,z) και η θέση της Κ.Π.Ε

- Ακρότατα

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) υπολογίστηκε ότι η συνάρτηση $z = f(x, y)$ παρουσιάζει ακρότατο «κοντά» στο σημείο $(x_0, y_0) = (461138,44, 4324231,27)$, το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων, αφού για τις συντεταγμένες (x,y) των σημείων μέτρησης ισχύει:

$$x_{\min} = 460600,53, \quad x_{\max} = 462774,48 \quad y_{\min} = 4326334,54, \quad y_{\max} = 4330071,32$$

Η τιμή του ακροτάτου είναι $z = 0,25$

```
data = {}; For[i = 1, i <= Length@data, i++,
  If[data[[i, 1]] Reals && data[[i, 2]] Reals, a = Append[a, {data[[i, 1]], data[[i, 2]]}];
  data = a
```

➤ Προσδιορισμός ακροτάτων αριθμητικά (Μέθοδος Newton-Raphson)

Με σημείο «εκκίνησης» $(x, y) = (462450, 4326000)$ η μέθοδος Newton-Raphson δίνει ακρότατο στο σημείο $(x_0, y_0) = (462450, 4326000)$, το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων. Η τιμή του ακροτάτου είναι $f(x_0, y_0) = 0,288107$.

➤ Υπολογισμός συντελεστή προσδιορισμού

Για να εκτιμηθεί πόσο «καλά» προσαρμόζεται η επιφάνεια $z = f(x, y)$ στα δεδομένα (x, y, z) , υπολογίστηκε με το Mathematica ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 .

```

zihat=8<; For[i=1, i 224, i++, zihat=Append[zihat, f@makisdata@@i, 1DD, makisdata@@i, 2DDDD];
zaverage=0; For[i=1, i 224, i++, zaverage=zaverage+set3@@iDDD; zaverage=zaverage/224;
regressionss=0; totalss=0;
For[i=1, i 224, i++, regressionss=regressionss+(zihat@@iDD-zaverage)^2;
totalss=totalss+(set3@@iDD-zaverage)^2; rsquare=regressionss/totalss;
Print[StyleForm["R^2 = ", FontWeight->"Bold", FontSize->16, FontColor Hue@DE,
StyleForm@rsquare, FontWeight->"Bold", FontSize->16, FontColor Hue@DE];
Print[StyleForm["R = ", FontWeight->"Bold", FontSize->16, FontColor Hue@DD,
StyleForm@rsquare, FontWeight->"Bold", FontSize->16, FontColor Hue@DE];
    
```

Βρέθηκε ότι: $R^2=0,581122$

➤ Τιμές $z=f(x,y)$ σε χαρακτηριστικά σημεία

Με τον τύπο $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$, που δίνει την ευκλείδια απόσταση δυο σημείων, υπολογίστηκαν οι αποστάσεις όλων των σημείων μέτρησης της ακτινοβολίας από το σημείο Κ.Π.Ε.

Υπολογίστηκαν οι τιμές της $z=f(x,y)$:

- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε.
- στα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε.
- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε. με τις μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας.

Οι παραπάνω τιμές της $z = f(x,y)$, οι αντίστοιχες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας, οι συντεταγμένες των αντίστοιχων σημείων, καθώς και οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε έχουν καταχωρηθεί στον πίνακα 6.

Πίνακας 6

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες των δυο πλησιέστερων σημείων στην Κ.Π.Ε. και των δύο πλέον απομακρυσμένων, οι αποστάσεις τους απ' την Κ.Π.Ε, οι μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμούμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου f(x,y)	Τιμές μέτρησης
(461544, 4328645)	44	0,58	0,92
(461576, 4328570)	51	0,3	0,72
(462288, 4362424)	2303	0,28	0,2
(462482, 4326488)	2315	0,28	0,2

Από τον πίνακα 6 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου για τα κοντινά σημεία στην Κ.Π.Ε είναι περιορισμένη, σε αντίθεση με τα απομακρυσμένα σημεία όπου η προγνωστική ισχύς είναι ισχυρότερη.

Πίνακας 7

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες τεσσάρων σημείων, στα οποία είχαν παρουσιαστεί οι μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, οι τιμές της μετρηθείσας ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμούμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου f(x,y)	Τιμές μέτρησης
(461536,39, 4328601,23)	0	5,6	5,6
(461161,88, 4329441,84)	920,3	0,28	2,76
(461200,40, 4329445,45)	908,6	0,28	2,54
(461168,84, 4326963,02)	1678,9	0,28	1,62

Από τον πίνακα 7 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου στην Κ.Π.Ε είναι ισχυρή, σε αντίθεση με τα απομακρυσμένα σημεία των οποίων η μετρηθείσα ένταση ήταν υψηλή.

Από τα σημεία, που αποτελούν το 69,4% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχτηκαν τα δυο πλησιέστερα στην Κ.Π.Ε. καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα και, αφού υπολογίστηκαν οι τιμές της $z = f(x,y)$ σ' αυτά, καταχωρήθηκαν στον πίνακα 8.

Πίνακας 8

Από τα σημεία, που αποτελούν το 69,4% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχθηκαν τα δυο πλησιέστερα καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι συντεταγμένες τους, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές της συνάρτησης $z = f(x, y)$.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461478,17, 4328649, 60)	75,7	0,27	0,2
(461638,37, 4328644,72)	110,9	0,3	0,2
(462287,93, 4326424,34)	2303	0,288	0,2
(462482,35, 4326487,61)	2315,7	0,2879	0,2

Από τον πίνακα 8 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου είναι ισχυρή στα σημεία στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν χαμηλή.

► Μοντέλο 2 (Μετασχηματισμένων τιμών $\text{Log}(z)$)

$$f(x, y) = 10^{\frac{a+b\ln x+c\ln y}{1+d\ln x+e\ln y}},$$

όπου:

x, y , είναι οι συντεταγμένες των σημείων μέτρησης και $f(x,y)$ η αντίστοιχη εκτιμώμενη ένταση της ακτινοβολίας.

$$a = 2,7334691051181455 \times 10^{18},$$

$$b = 6,8076094837299970 \times 10^{19}$$

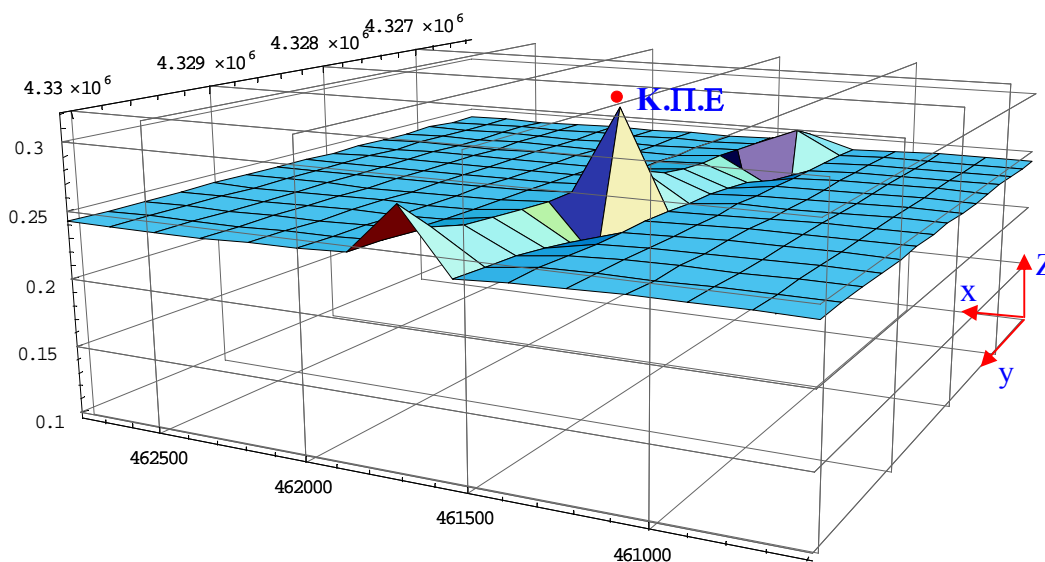
$$c = -5,8282693536882016 \times 10^{19},$$

$$d = -1,1056260821088302 \times 10^{20}$$

$$e = 9,4366561812233388 \times 10^{19},$$

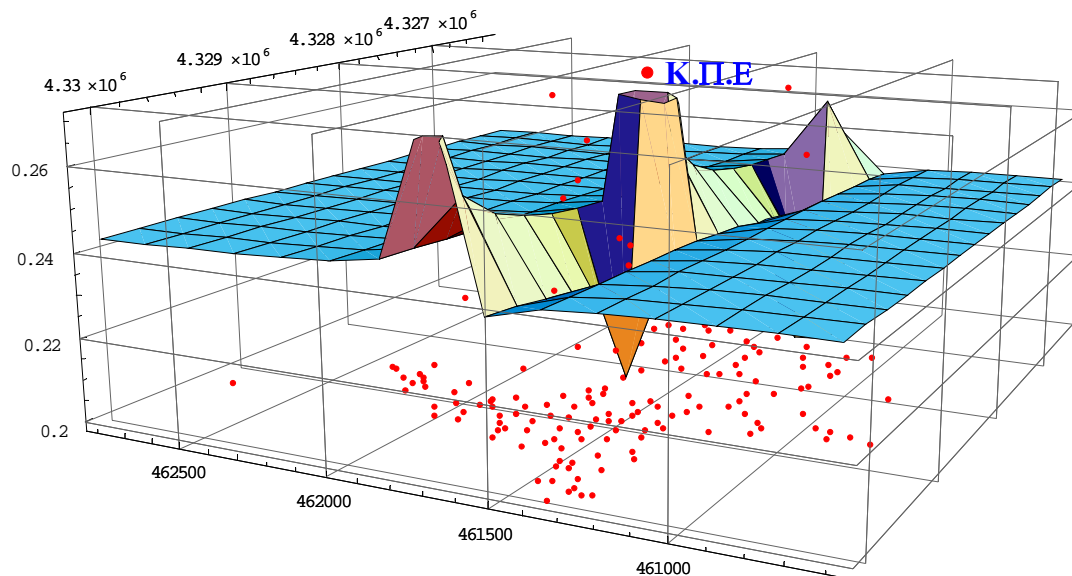
► Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε.

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) σχεδιάστηκε η επιφάνεια $z = f(x, y)$ ώστε να υπερκαλύπτεται η περιοχή των σημειακών μετρήσεων της ακτινοβολίας.



Σχήμα 13. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε

- Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$, απεικόνιση των σημείων μέτρησης (x,y,z) και η θέση της Κ.Π.Ε



Σχήμα 14. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$, τα σημεία μέτρησης (x,y,z) και η θέση της Κ.Π.Ε

- **Ακρότατα**

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) υπολογίστηκε ότι η συνάρτηση $z = f(x, y)$ παρουσιάζει ακρότατο «κοντά» στο σημείο $(x_0, y_0) = (460983,2, 4322011,2)$ το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων αφού για τις συντεταγμένες (x,y) των σημείων μέτρησης ισχύει:

$$x_{\min} = 460600,53, \quad x_{\max} = 462774,48 \quad y_{\min} = 4326334,54, \quad y_{\max} = 4330071,32$$

```
data = 8x, y < ε. Solve@D@f@x, yD, xD = 0, D@f@x, yD, yD = 0 <, 8x, y < D;
a = 8 <; For@i = 1, i Length@dataD, i ++,
If@data@i, 1DD Reals && data@i, 2DD Reals, a = Append@a, 8data@i, 1DD, data@i, 2DD < DDD;
data = a
```

Η τιμή του ακροτάτου είναι $z = 0,14$.

- Προσδιορισμός ακροτάτων αριθμητικά. (Μέθοδος Newton-Raphson)

Με σημείο «εκκίνησης» $(x, y) = (461000, 4326000)$, η μέθοδος Newton-Raphson δίνει ακρότατο στο σημείο $(x_0, y_0) = (461248, 4313980)$ το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων. Η τιμή του ακροτάτου είναι $f(x_0, y_0) = 0,241468$.

➤ Υπολογισμός συντελεστή προσδιορισμού

Για να εκτιμηθεί πόσο «καλά» προσαρμόζεται η επιφάνεια $z = f(x, y)$ στα δεδομένα (x, y, z) υπολογίστηκε, με το Mathematica, ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 .

```

zihat = 8<; For@i = 1, i 224, i++, zihat = Append@zihat, f@makisdata@@i, 1DD, makisdata@@i, 2DDDD;
zaverage = 0; For@i = 1, i 224, i++, zaverage = zaverage + set3@@iDD; zaverage = zaverage / 224;
regressionss = 0; totalss = 0;
For@i = 1, i 224, i++, regressionss = regressionss + H zihat@@iDD - zaverage L2;
totalss = totalss + H set3@@iDD - zaverage L2; rsquare =  $\frac{\text{regressionss}}{\text{totalss}}$ ;
Print@StyleForm@R2 = ", FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DE,
StyleForm@rsquare, FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DE;
Print@StyleForm@R = ", FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DD,
StyleForm@rsquare, FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DEE;

```

Βρέθηκε ότι: $R^2=0,626295$

➤ Τιμές $z=f(x,y)$ σε χαρακτηριστικά σημεία

Με τον τύπο $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$, που δίνει την ευκλείδια απόσταση δυο σημείων, υπολογίστηκαν οι αποστάσεις όλων των σημείων μέτρησης από το σημείο Κ.Π.Ε.

Υπολογίστηκαν οι τιμές της $z=f(x,y)$:

- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε.
- στα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε.
- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε. με τις μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας.

Οι παραπάνω τιμές της $z = f(x,y)$, αντίστοιχες σημειακές μετρήσεις, οι συντεταγμένες των αντίστοιχων σημείων, καθώς και οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε. έχουν καταχωρηθεί στον πίνακα 9.

Πίνακας 9

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες των δυο πλησιέστερων σημείων στην Κ.Π.Ε. και των δύο πλέον απομακρυσμένων, οι αποστάσεις τους απ' την Κ.Π.Ε, οι μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμώμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461544, 4328645)	44	0,41	0,92
(461576, 4328570)	51	0,26	0,72
(462288, 4362424)	2303	0,24	0,2
(462482, 4326488)	2315	0,24	0,2

Από τον πίνακα 9 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου για τα κοντινά σημεία στην Κ.Π.Ε είναι περιορισμένη, σε αντίθεση με τα απομακρυσμένα σημεία όπου η προγνωστική ισχύς είναι ισχυρότερη.

Πίνακας 10

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες τεσσάρων σημείων, στα οποία είχαν παρουσιαστεί οι μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, οι τιμές της μετρηθείσας ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμώμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461536,39, 4328601,23)	0	5,76	5,6
(461161,88, 4329441,84)	920,3	0,24	2,76
(461200,40, 4329445,45)	908,6	0,24	2,54
(461168,84, 4326963,02)	1678,9	0,24	1,62

Από τον πίνακα 10 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου στην Κ.Π.Ε είναι ισχυρή, σε αντίθεση με τα απομακρυσμένα σημεία των οποίων η μετρηθείσα ένταση ήταν υψηλή.

Από τα σημεία, που αποτελούν το 69,4% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχθηκαν τα δυο πλησιέστερα στην Κ.Π.Ε. καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα και, αφού υπολογίστηκαν οι τιμές της $z = f(x,y)$ σ' αυτά, καταχωρήθηκαν στον πίνακα 11.

Πίνακας 11

Από τα σημεία, που αποτελούν το 69,4% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία μετρήθηκε η ελάχιστη ένταση, επιλέχτηκαν τα δυο πλησιέστερα καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένων από την Κ.Π.Ε, και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι οι συντεταγμένες, αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές της συνάρτησης $z = f(x, y)$

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461478,17, 4328649, 60)	75,7	0,23	0,2
(461638,371, 4328644,72)	110,9	0,58	0,2
(462287,93, 4326424,34)	2303	0,24	0,2
(462482,35, 4326487,61)	2315,7	0,24	0,2

Από τον πίνακα 11 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου είναι ισχυρή στα σημεία στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν χαμηλή.

✓ Η ιδέα του «μισού και μισού»

$$f(x, y) = \frac{a + bx + cy}{1 + dx + ey} ,$$

όπου:

x, y , είναι οι συντεταγμένες των σημείων μέτρησης και $f(x,y)$ η αντίστοιχη εκτιμώμενη ένταση της ακτινοβολίας.

$$a = -4,7098667082670137 \times 10^{22},$$

$$b = 1,6330619707702013 \times 10^{18}$$

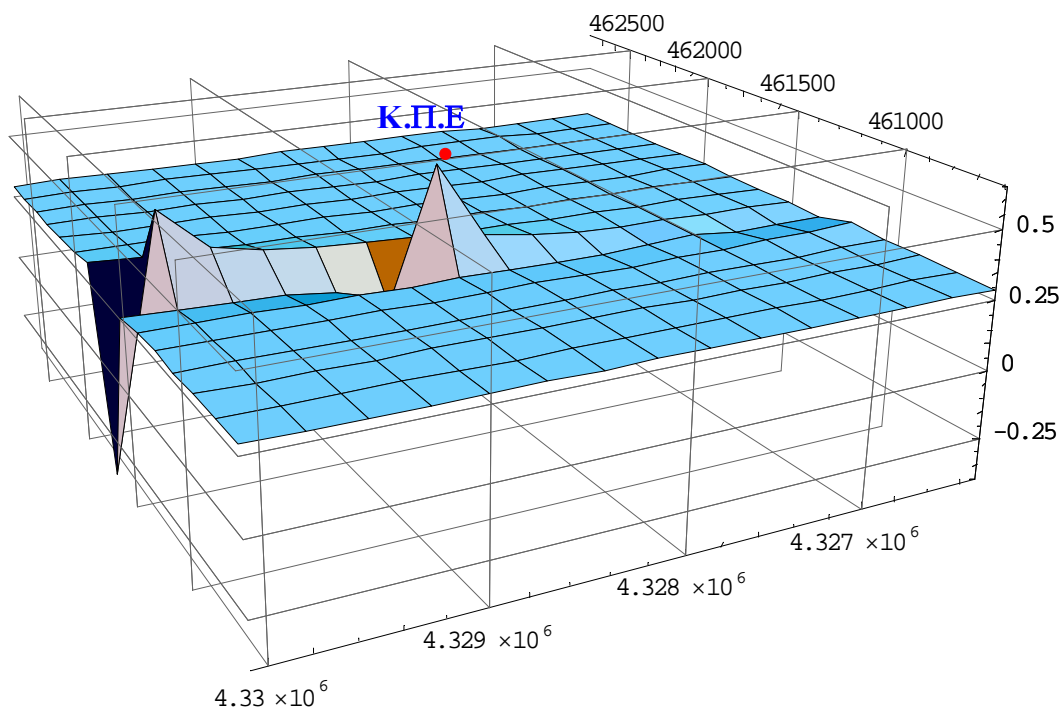
$$c = -1,6324019231117709 \times 10^{17},$$

$$d = 5,6398154178961367 \times 10^{18}$$

$$e = -6,0134367874099661 \times 10^{17}$$

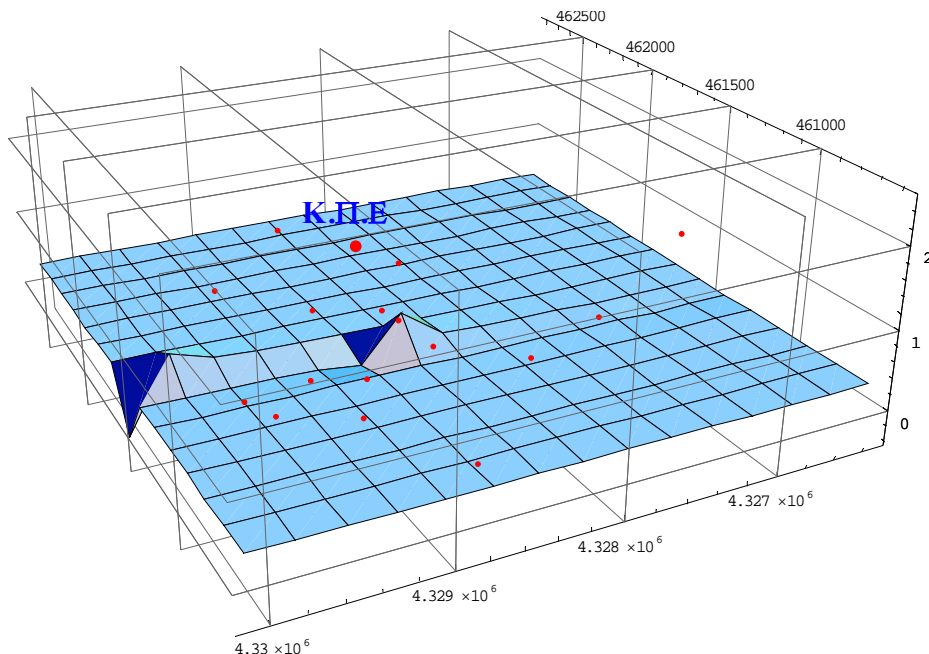
► Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε.

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) σχεδιάστηκε η επιφάνεια $z = f(x, y)$, ώστε να υπερκαλύπτεται η περιοχή των σημειακών μετρήσεων της ακτινοβολίας.



Σχήμα 15. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε

- ▶ Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$, απεικόνιση των σημείων μέτρησης (x,y,z) και η θέση της Κ.Π.Ε



Σχήμα 16. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$, τα σημεία μέτρησης (x,y,z) και η θέση της Κ.Π.Ε

- ▶ **Ακρότατα**

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) υπολογίστηκε ότι η συνάρτηση $z = f(x, y)$ παρουσιάζει ακρότατο «κοντά» στο σημείο $(x_0, y_0) = (461138,44, 4324231,27)$, το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων, αφού για τις συντεταγμένες (x,y) των σημείων μέτρησης ισχύει:

$$x_{\min} = 460600,53, \quad x_{\max} = 462774,48 \quad y_{\min} = 4326334,54, \quad y_{\max} = 4330071,32$$

```
data = {x, y} & . Solve[D[f[x, y], x] == 0, D[f[x, y], y] == 0, {x, y}];
a = {}; For[i = 1, i < Length[data], i++,
  If[data[[i, 1]] Reals && data[[i, 2]] Reals, a = Append[a, {data[[i, 1]], data[[i, 2]]}];
data = a
```

Η τιμή του ακροτάτου είναι $z = 0,2$.

- **Προσδιορισμός ακροτάτων αριθμητικά. (Μέθοδος Newton-Raphson)**

Με σημείο «εκκίνησης» $(x, y) = (462450, 4326000)$ η μέθοδος Newton-Raphson δίνει ακρότατο στο σημείο $(x_0, y_0) = (465671, 4322268)$, το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων. Η τιμή του ακροτάτου είναι $f(x_0, y_0) = 0,288107$.

➤ Υπολογισμός συντελεστή προσδιορισμού

Για να εκτιμηθεί πόσο «καλά» προσαρμόζεται η επιφάνεια $z = f(x, y)$ στα δεδομένα (x, y, z) , υπολογίστηκε με το Mathematica ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 .

```

zihat = 8<; For@i = 1, i 112, i++, zihat = Append@zihat, f@makisdata@@i, 1DD, makisdata@@i, 2DDDD;
zaverage = 0; For@i = 1, i 112, i++, zaverage = zaverage + set3@@iDDD; zaverage = zaverage / 112;
regressionss = 0; totalss = 0;
For@i = 1, i 112, i++, regressionss = regressionss + Hzihat@@iDD - zaverage2;
totalss = totalss + Hset3@@iDD - zaverage2E; rsquare =  $\frac{\text{regressionss}}{\text{totalss}}$ ;
Print@StyleFormA"R2 = ", FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DE,
StyleForm@rsquare, FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DE;
Print@StyleForm@R = ", FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DD,
StyleFormAe rsquare, FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DEE;

```

Βρέθηκε ότι: $R^2=0,756707$

➤ Τιμές $z=f(x,y)$ σε χαρακτηριστικά σημεία

Με τον τύπο $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$, που δίνει την ευκλείδεια απόσταση δυο σημείων, υπολογίστηκαν οι αποστάσεις όλων των σημείων μέτρησης της ακτινοβολίας από το σημείο Κ.Π.Ε.

Υπολογίστηκαν οι τιμές της $z=f(x,y)$:

- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε.
- στα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε.
- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε. με τις μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας.

Οι παραπάνω τιμές της $z = f(x,y)$, οι αντίστοιχες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας, οι συντεταγμένες των αντίστοιχων σημείων, καθώς και οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε έχουν καταχωρηθεί στον πίνακα 12.

Πίνακας 12

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες των δυο πλησιέστερων σημείων στην Κ.Π.Ε. και των δύο πλέον απομακρυσμένων, οι αποστάσεις τους απ' την Κ.Π.Ε, οι μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμώμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου f(x,y)	Τιμές μέτρησης
(461576,23, 4328569,5)	50,9	0,31	0,3
(461478,17, 4328649,6)	75,7	0,24	0,2
(461342,99, 4326334,54)	2274,9	0,25	0,2
(462287,93, 4326424,34)	2303	0,28	0,2

Από τον πίνακα 12 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου για όλα τα σημεία είναι ικανοποιητική

Πίνακας 13

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες τεσσάρων σημείων, στα οποία είχαν παρουσιαστεί οι μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, οι τιμές της μετρηθείσας ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμώμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου f(x,y)	Τιμές μέτρησης
(461536,39, 4328601,23)	0	5,6	5,6
(461200,40, 4329445,45)	908,6	0,27	2,54
(461168,84, 4326963,02)	1678,9	0,3	1,62
(461528, 34, 4328491,79)	109,7	0,9	1,37

Από τον πίνακα 13 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου στην Κ.Π.Ε είναι ισχυρή, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα σημεία των οποίων η μετρηθείσα ένταση ήταν υψηλή.

Από τα σημεία, που αποτελούν το 72,3% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχθηκαν τα δυο πλησιέστερα στην Κ.Π.Ε. καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα, και αφού υπολογίστηκαν οι τιμές της $z = f(x,y)$ σ' αυτά καταχωρήθηκαν στον πίνακα 14.

Πίνακας 14

Από τα σημεία, που αποτελούν το 72,3% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχθηκαν τα δυο πλησιέστερα καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι συντεταγμένες τους, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές της συνάρτησης $z = f(x, y)$.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461478,17, 4328649, 60)	75,7	0,24	0,2
461522,48, 4328713, 99	113,6	0,18	0,2
(462287,93, 4326424,34)	2303	0,28	0,2
(461342.99, 4326334,54)	2274,9	0,25	0,2

Από τον πίνακα 14 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου είναι ισχυρή στα σημεία στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν χαμηλή.

4.3.3 Μοντέλο μέτρησης της έντασης της ακτινοβολίας για τον κυκλικό δίσκο με κέντρο την Κ.Π.Ε και ακτίνα $\rho=1160m$

$$f(x, y) = \frac{a + b \ln x + c \ln y}{1 + d \ln x + e \ln y},$$

όπου:

x, y , είναι οι συντεταγμένες των σημείων μέτρησης και $f(x,y)$ η αντίστοιχη εκτιμώμενη ένταση της ακτινοβολίας.

$$a = -2,9202791452264874 \times 10^{22},$$

$$b = 5,1296258256463477 \times 10^{23},$$

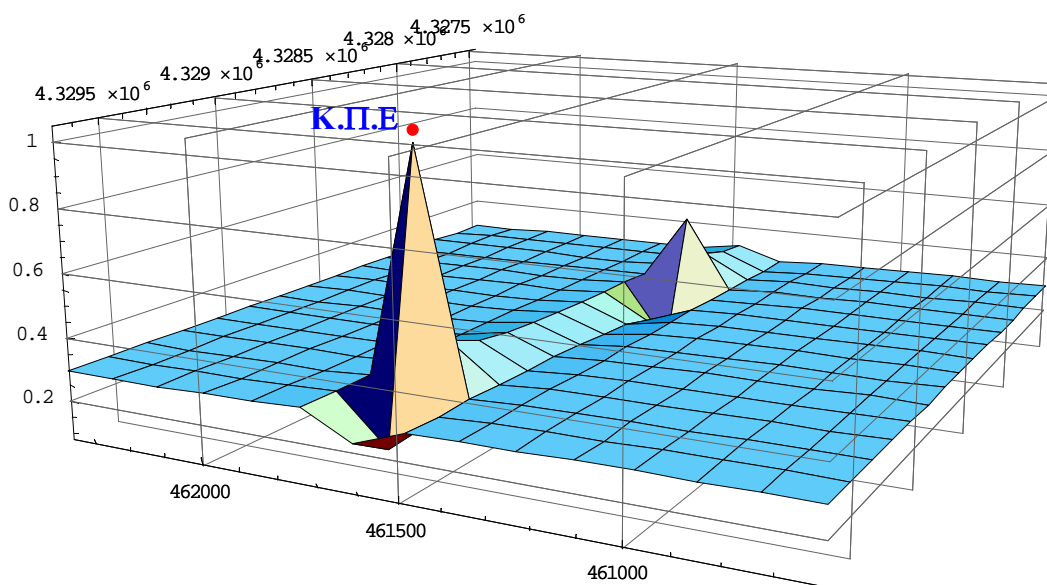
$$c = -4,3590849755229270 \times 10^{23},$$

$$d = 1,7477609245479915 \times 10^{24},$$

$$e = -1,4917358093954130 \times 10^{24}.$$

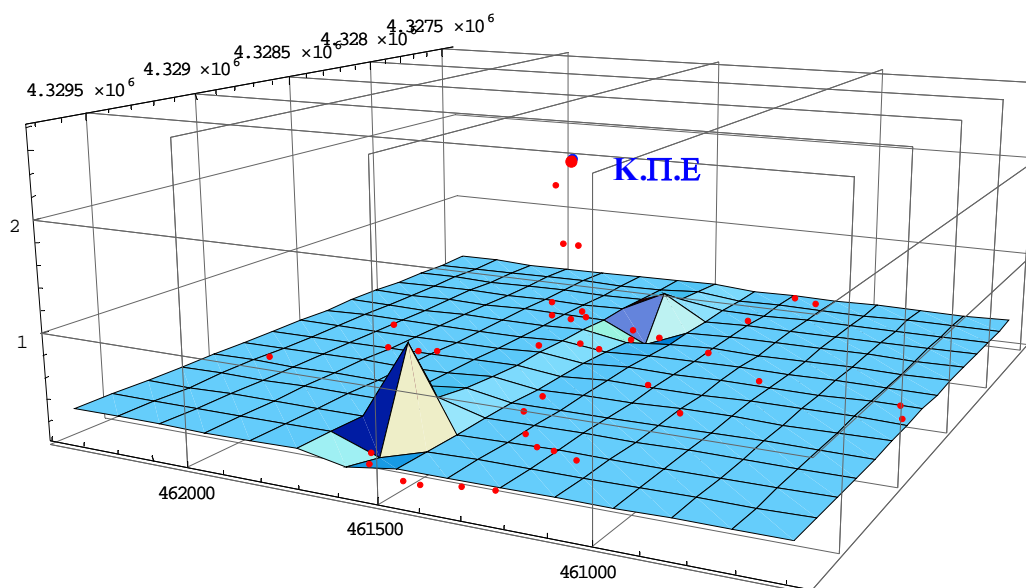
► Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε.

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) σχεδιάστηκε η επιφάνεια $z = f(x, y)$, ώστε να υπερκαλύπτεται η περιοχή των σημειακών μετρήσεων της ακτινοβολίας.



Σχήμα 17. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε.

- ▶ Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$, απεικόνιση των σημείων μέτρησης (x,y,z) και η θέση της Κ.Π.Ε



Σχήμα 18. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$, τα σημεία μέτρησης (x,y,z) και θέση της Κ.Π.Ε

- ▶ Ακρότατα

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) υπολογίστηκε ότι η συνάρτηση $z = f(x, y)$ παρουσιάζει ακρότατο «κοντά» στο σημείο $(x_0, y_0) = (4609279,4, 4868245,1)$, το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων, αφού για τις συντεταγμένες (x,y) των σημείων μέτρησης ισχύει:

$$x_{\min} = 460600,5, \quad x_{\max} = 462362,81747,4 \quad y_{\min} = 4327455,7, \quad y_{\max} = 4329678,9$$

```
data = {x, y} < ε. Solve[Df@x, yD, xD = 0, Df@x, yD, yD = 0 <, {x, y} < D;
a = {8}; For[i = 1, i < Length@data, i++,
  If[data[[i], 1]D Reals && data[[i], 2]D Reals, a = Append@a, {data[[i], 1]D, data[[i], 2]D} < DDD;
data = a
```

Η τιμή του ακροτάτου είναι $z = 0,25$

- Προσδιορισμός ακροτάτων αριθμητικά. (Μέθοδος Newton-Raphson)

Με σημείο «εκκίνησης» $(x, y) = (460605, 4327540)$ η μέθοδος Newton-Raphson δίνει ακρότατο στο σημείο $(x_0, y_0) = (461589,4, 436596,8)$, το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων. Η τιμή του ακροτάτου είναι $f(x_0, y_0) = 0,29$

➤ Υπολογισμός συντελεστή προσδιορισμού

Για να εκτιμηθεί πόσο «καλά» προσαρμόζεται η επιφάνεια $z = f(x, y)$ στα δεδομένα (x, y, z) , υπολογίστηκε με το Mathematica ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 .

```

zihat = 8<; For@i = 1, i 175, i++, zihat = Append@zihat, f@makisdata@@i, 1DD, makisdata@@i, 2DDDD;
zaverage = 0; For@i = 1, i 175, i++, zaverage = zaverage + set3@@iDDD; zaverage = zaverage/175;
regressionss = 0; totalss = 0;
For@i = 1, i 175, i++, regressionss = regressionss + Hzihat@@iDD - zaverageL^2;
totalss = totalss + Hset3@@iDD - zaverageL^2 E; rsquare =  $\frac{\text{regressionss}}{\text{totalss}}$ ;
Print@StyleForm@R^2 = ", FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DE,
StyleForm@rsquare, FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DEE;
Print@StyleForm@R = ", FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DD,
StyleForm@rsquare, FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DEE;

```

Βρέθηκε ότι: $R^2=0,628478$

➤ Τιμές $z=f(x,y)$ σε χαρακτηριστικά σημεία

Με τον τύπο $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$, που δίνει την ευκλείδια απόσταση δυο σημείων, υπολογίστηκαν οι αποστάσεις όλων των σημείων μέτρησης της ακτινοβολίας από το σημείο Κ.Π.Ε.

Υπολογίστηκαν οι τιμές της $z=f(x,y)$:

- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε.
- στα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε.
- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε. με τις μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας.

Οι παραπάνω τιμές της $z = f(x,y)$, οι αντίστοιχες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας, οι συντεταγμένες των αντίστοιχων σημείων, καθώς και οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε έχουν καταχωρηθεί στον πίνακα 15.

Πίνακας 15

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες των δυο πλησιέστερων σημείων στην Κ.Π.Ε. και των δύο πλέον απομακρυσμένων, οι αποστάσεις τους απ' την Κ.Π.Ε, οι μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμούμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461544, 4328645)	44	0,68	0,92
(461576, 4328570)	51	0,33	0,72
(461217, 327501)	1145	0,28	0,31
(461622, 4327455)	1148	0,3	0,21

Από τον πίνακα 15 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου για τα κοτινά σημεία στην Κ.Π.Ε καθώς και για τα απομακρυσμένα είναι ισχυρή.

Πίνακας 16

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες τεσσάρων σημείων, στα οποία είχαν παρουσιαστεί οι μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, οι τιμές της μετρηθείσας ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμούμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461536,39, 4328601,23)	0	5,6	5,6
(461161.8, 4329441.8)	920,3	0,29	2,76
(461200.4, 4329445,45)	908,6	0,29	2,54
(461160,8, 4329458,69)	936,4	0,29	1,51

Από τον πίνακα 16 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου στην Κ.Π.Ε είναι ισχυρή, ενώ στα υπόλοιπα σημεία η εκτίμηση αποκλίνει σημαντικά.

Από τα σημεία, που αποτελούν το 66,8% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχθηκαν τα δυο πλησιέστερα στην Κ.Π.Ε. καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα και, αφού υπολογίστηκαν οι τιμές της $z = f(x,y)$ σ' αυτά, καταχωρήθηκαν στον πίνακα 17.

Πίνακας 17

Από τα σημεία, που αποτελούν το 66,84% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχθηκαν τα δυο πλησιέστερα καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι συντεταγμένες τους, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές της συνάρτησης $z = f(x, y)$.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461478,17, 4328649, 60)	75,7	0,26	0,2
(461638,37, 4328644,72)	110,9	0,3	0,2
(461425,46, 4327506,13)	1100,7	0,15	0,2
(461938,98, 4327532,75)	1141.8	0,29	0,2

Από τον πίνακα 17 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου είναι ισχυρή στα σημεία στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν χαμηλή.

4.3.4 Μοντέλο μέτρησης της έντασης της ακτινοβολίας για τον κυκλικό δίσκο με κέντρο την Κ.Π.Ε και ακτίνα $\rho=580m$

$$f(x, y) = \frac{a + b \ln x + c \ln y}{1 + d \ln x + e \ln y},$$

όπου:

x, y , είναι οι συντεταγμένες των σημείων μέτρησης και $f(x,y)$ η αντίστοιχη εκτιμώμενη ένταση της ακτινοβολίας.

$$a = 4,8430875634693784 \times 10^{16},$$

$$b = 5,9139507876987085 \times 10^{17}$$

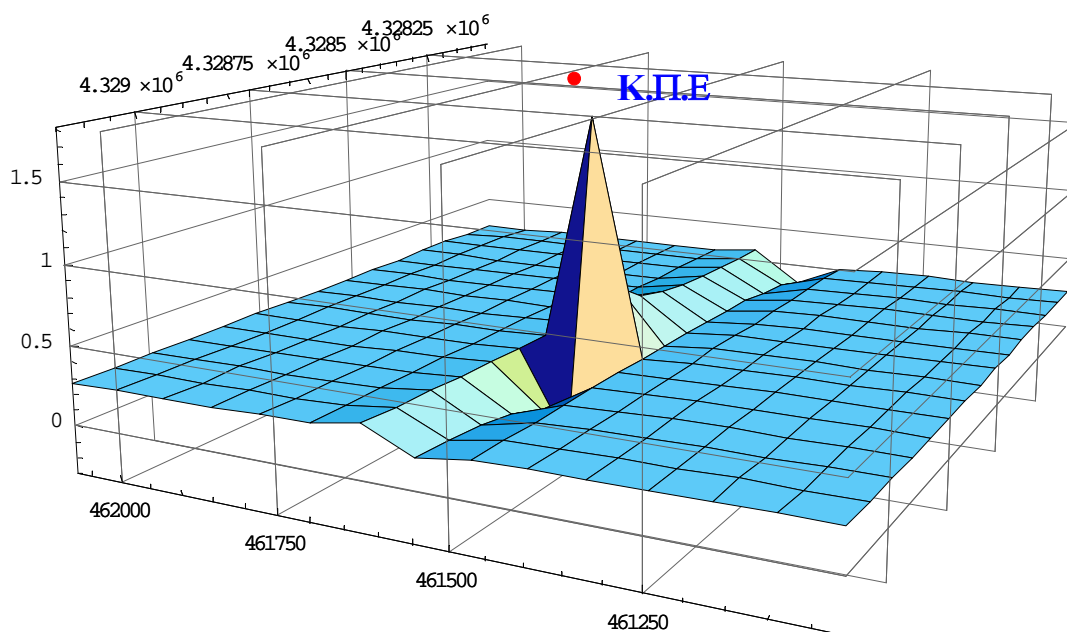
$$c = -5,0793159995182054 \times 10^{17},$$

$$d = 2,2356872759145810 \times 10^{18}$$

$$e = -1,9081869840595159 \times 10^{18}$$

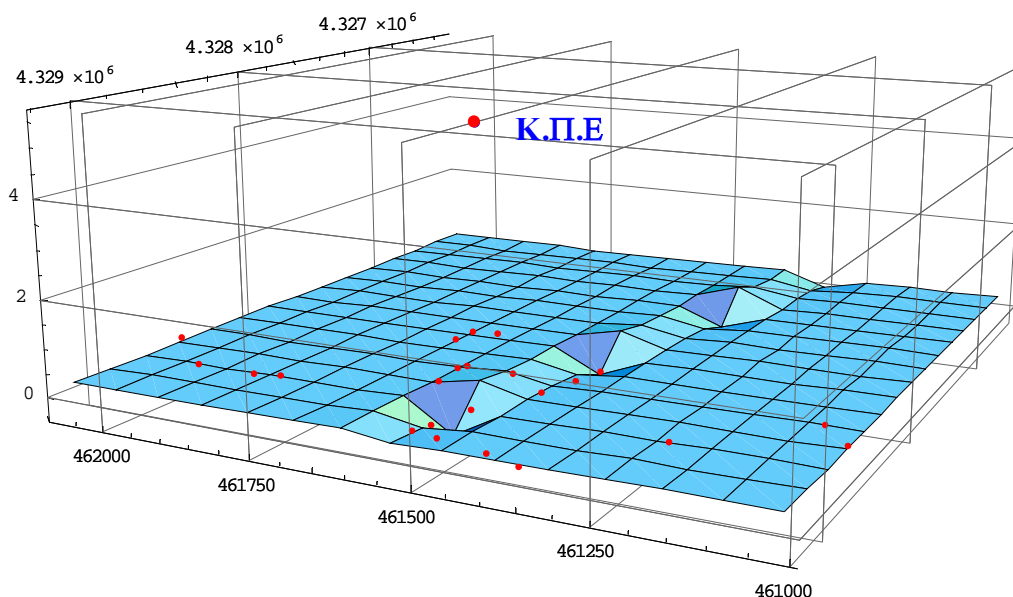
► Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) σχεδιάστηκε η επιφάνεια $z = f(x, y)$, ώστε να υπερκαλύπτεται η περιοχή των σημειακών μετρήσεων της ακτινοβολίας.



Σχήμα 19. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε

- Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$, απεικόνιση των σημείων μέτρησης (x,y,z) και η θέση της Κ.Π.Ε



Σχήμα 20. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$, τα σημεία μέτρησης (x,y,z) και θέση της Κ.Π.Ε

- Ακρότατα

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) υπολογίστηκε ότι η συνάρτηση $z = f(x, y)$ παρουσιάζει ακρότατο «κοντά» στο σημείο $(x_0, y_0) = (463214,8, 4340747,6)$, το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων, αφού για τις συντεταγμένες (x,y) των σημείων μέτρησης ισχύει:

$$x_{\min} = 461250,6, \quad x_{\max} = 461747,4, \quad y_{\min} = 4328347,9, \quad y_{\max} = 4330071,3$$

```
data = 8x, y < ε. Solve@8Df@x, yD, xD = 0, Df@x, yD, yD = 0<, 8x, y<D;
a = 8<; For@i = 1, i Length@dataD, i++,
If@data@i, 1DD Reals && data@i, 2DD Reals, a = Append@a, 8data@i, 1DD, data@i, 2DD<DDD;
data = a
```

Η τιμή του ακροτάτου είναι $z = 0,26$

- Προσδιορισμός ακροτάτων αριθμητικά. (Μέθοδος Newton-Raphson)

Με σημείο «εκκίνησης» $(x, y) = (462900, 4338000)$ η μέθοδος Newton-Raphson δίνει ακρότατο στο σημείο $(x_0, y_0) = (326794, 2777820)$, το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων. Η τιμή του ακροτάτου είναι $f(x_0, y_0) = 0,262719$.

➤ Υπολογισμός συντελεστή προσδιορισμού

Για να εκτιμηθεί πόσο «καλά» προσαρμόζεται η επιφάνεια $z = f(x, y)$ στα δεδομένα (x, y, z) , υπολογίστηκε με το Mathematica ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 .

```

zihat=8<; For@i=1, i 78, i++, zihat=Append@zihat, f@makisdata@i, 1DD, makisdata@i, 2DDDD;
zaverage=0; For@i=1, i 78, i++, zaverage=zaverage+set3@iDDD; zaverage=zaverage/78;
regressionss=0; totalss=0;
For@i=1, i 78, i++, regressionss=regressionss+Hzihat@iDD-zaverage^2;
totalss=totalss+Hset3@iDD-zaverage^2E; rsquare=
regressionss
totalss
;
Print@StyleFormA"R^2 = ", FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DE,
StyleForm@rsquare, FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DE;
Print@StyleForm@R = ", FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DD,
StyleFormA rsquare, FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DEE;

```

Βρέθηκε ότι: $R^2=0,939622$

➤ Τιμές $z=f(x,y)$ σε χαρακτηριστικά σημεία

Με τον τύπο $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$, που δίνει την ευκλείδεια απόσταση δυο σημείων, υπολογίστηκαν οι αποστάσεις όλων των σημείων μέτρησης της ακτινοβολίας από το σημείο Κ.Π.Ε.

Υπολογίστηκαν οι τιμές της $z=f(x,y)$:

- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε.
- στα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε.
- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε. με τις μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας.

Οι παραπάνω τιμές της $z = f(x,y)$, οι αντίστοιχες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας, οι συντεταγμένες των αντίστοιχων σημείων, καθώς και οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε έχουν καταχωρηθεί στον πίνακα 21.

Πίνακας 18

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες των δυο πλησιέστερων σημείων στην Κ.Π.Ε. και των δύο πλέον απομακρυσμένων, οι αποστάσεις τους απ' την Κ.Π.Ε, οι μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμούμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461544, 4328645)	44	0,89	0,92
(461576, 4328644)	51	0,33	0,72
(461362, 4329150)	576,2	0,25	0,2
(461695, 4328046)	577	0,27	0,33

Από τον πίνακα 18 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου για τα κοκτινά σημεία στην Κ.Π.Ε καθώς και για τα απομακρυσμένα είναι ισχυρή.

Πίνακας 19

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες τεσσάρων σημείων, στα οποία είχαν παρουσιαστεί οι μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, οι τιμές της μετρηθείσας ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμούμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461536,39, 4328601,23)	0	5,6	5,6
(461560,42, 4328528,39)	76,7	0,35	1,4
(461528,34, 4328491,79)	109,7	1,4	1,37
(461544,2, 4328644,8)	44,3	0,89	0,92

Από τον πίνακα 19 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου στην Κ.Π.Ε είναι ισχυρή, ενώ στα υπόλοιπα σημεία είναι ασθενέστερη.

Από τα σημεία, που αποτελούν το 62,8% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχθηκαν τα δυο πλησιέστερα στην Κ.Π.Ε. καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα και, αφού υπολογίστηκαν οι τιμές της $z = f(x,y)$ σ' αυτά, καταχωρήθηκαν στον πίνακα 20.

Πίνακας 20

Από τα σημεία, που αποτελούν το 62,8% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχθηκαν τα δυο πλησιέστερα καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι συντεταγμένες τους, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές της συνάρτησης $z = f(x, y)$.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461478,17, 4328649, 60)	75,7	0,25	0,2
(461638,37, 4328644,72)	110,9	0,35	0,2
(461780,211, 4329115,73)	569,3	0,28	0,2
(461362,21, 4329150,43)	576,2	0,25	0,2

Από τον πίνακα 20 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου είναι ισχυρή στα σημεία στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν χαμηλή.

4.3.5 Μοντέλο μέτρησης της έντασης της ακτινοβολίας για τον κυκλικό δίσκο με κέντρο την Κ.Π.Ε και ακτίνα $\rho=290m$

$$f(x, y) = \frac{a + b \ln x + c \ln y}{1 + d \ln x + e \ln y},$$

όπου:

x, y , είναι οι συντεταγμένες των σημείων μέτρησης και $f(x,y)$ η αντίστοιχη εκτιμώμενη ένταση της ακτινοβολίας.

$$a = 4,8430875634693784 \times 10^{16},$$

$$b = 5,9139507876987085 \times 10^{17}$$

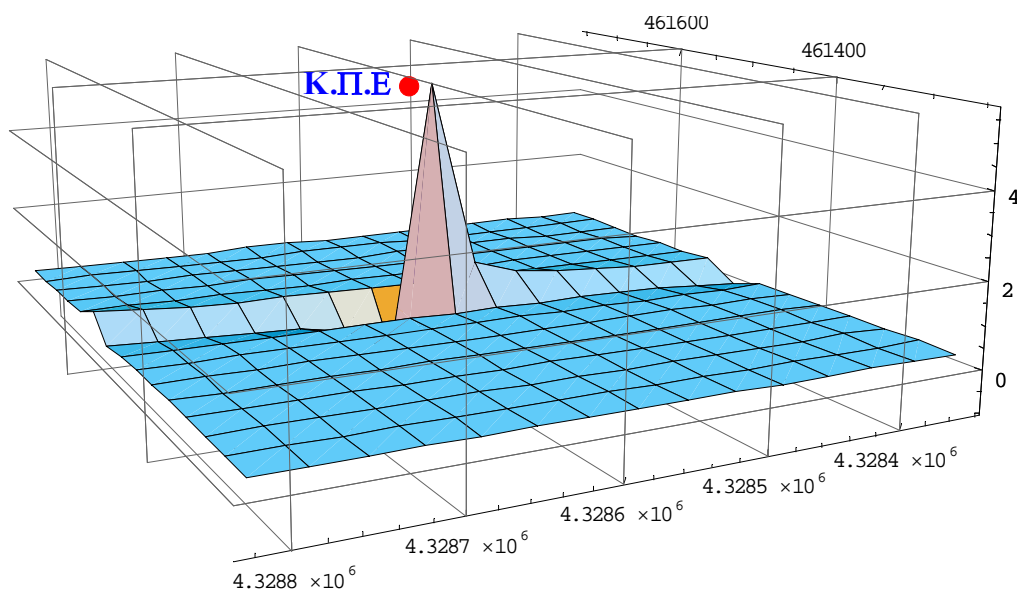
$$c = -5,0793159995182054 \times 10^{17},$$

$$d = 2,2356872759145810 \times 10^{18}$$

$$e = -1,9081869840595159 \times 10^{18}$$

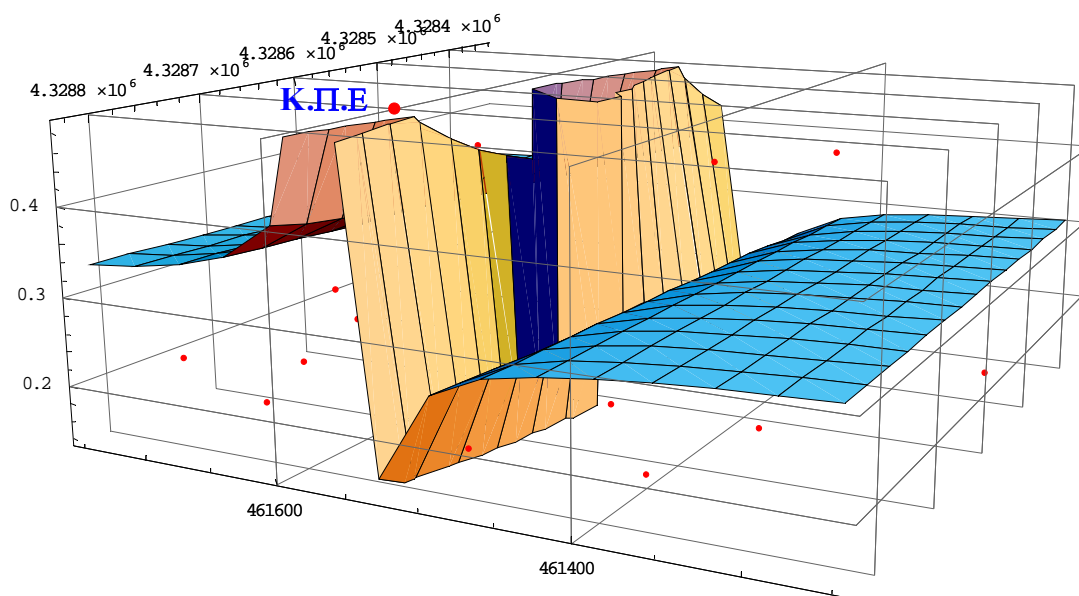
► Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) σχεδιάστηκε η επιφάνεια $z = f(x, y)$, ώστε να υπερκαλύπτεται η περιοχή των σημειακών μετρήσεων της ακτινοβολίας.



Σχήμα 21. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$ και η θέση της Κ.Π.Ε

- Γραφική παράσταση της επιφάνειας $z = f(x, y)$, απεικόνιση των σημείων μέτρησης (x,y,z) και η θέση της Κ.Π.Ε



Σχήμα 22. Η επιφάνεια $z = f(x, y)$, τα σημεία μέτρησης (x,y,z) και θέση της Κ.Π.Ε

- Ακρότατα

Με τη βοήθεια του λογισμικού Mathematica (Wolfram, 2004) υπολογίστηκε ότι η συνάρτηση $z = f(x, y)$ παρουσιάζει ακρότατο «κοντά» στο σημείο $(x_0, y_0) = (460936,2, 43222011,7)$, το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων, αφού για τις συντεταγμένες (x,y) των σημείων μέτρησης ισχύει:

$$x_{\min} = 461250,6, \quad x_{\max} = 461747,4 \quad y_{\min} = 4328347,9, \quad y_{\max} = 4330071,3$$

```
data = {x, y} < ε. Solve[Df[x, y], x] == 0, Df[x, y], y] == 0 <, {x, y} < D;
a = {}; For[i = 1, i < Length[data], i++,
If[data[[i, 1]] Reals && data[[i, 2]] Reals, a = Append[a, {data[[i, 1]], data[[i, 2]]}];
data = a
```

Η τιμή του ακροτάτου είναι $z = 0,19$

- Προσδιορισμός ακροτάτων αριθμητικά. (Μέθοδος Newton-Raphson)

Με σημείο «εκκίνησης» $(x, y) = (461450, 4326995)$ η μέθοδος Newton-Raphson δίνει ακρότατο στο σημείο $(x_0, y_0) = (326794, 2777820)$, το οποίο δεν ανήκει στην περιοχή των σημειακών μετρήσεων. Η τιμή του ακροτάτου είναι $f(x_0, y_0) = 0,278511$.

➤ Υπολογισμός συντελεστή προσδιορισμού

Για να εκτιμηθεί πόσο «καλά» προσαρμόζεται η επιφάνεια $z = f(x, y)$ στα δεδομένα (x, y, z) , υπολογίστηκε με το Mathematica ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 .

```

zihat = 8<; For@i = 1, i 28, i++, zihat = Append@zihat, f@makisdata@i, 1DD, makisdata@i, 2DDDD;
zaverage = 0; For@i = 1, i 28, i++, zaverage = zaverage + set3@iDDD; zaverage = zaverage ê 28;
regressionss = 0; totalss = 0;
ForAi = 1, i 28, i++, regressionss = regressionss + Hzihat@iDD - zaverage2;
totalss = totalss + Hset3@iDD - zaverage2E; rsquare =  $\frac{\text{regressionss}}{\text{totalss}}$ ;
PrintAStyleFormA"R2 = ", FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DE,
StyleForm@rsquare, FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DE;
PrintAStyleForm@"R = ", FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DD,
StyleFormAê rsquare, FontWeight -> "Bold", FontSize -> 16, FontColor Hue@0DEE;

```

Βρέθηκε ότι: $R^2=0,969195$

➤ Τιμές $z=f(x,y)$ σε χαρακτηριστικά σημεία

Με τον τύπο $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$, που δίνει την ευκλείδεια απόσταση δυο σημείων, υπολογίστηκαν οι αποστάσεις όλων των σημείων μέτρησης της ακτινοβολίας από το σημείο Κ.Π.Ε.

Υπολογίστηκαν οι τιμές της $z=f(x,y)$:

- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε.
- στα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε.
- στα δυο πλησιέστερα σημεία στην Κ.Π.Ε. με τις μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας.

Οι παραπάνω τιμές της $z = f(x,y)$, οι αντίστοιχες μετρηθείσες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας, οι συντεταγμένες των αντίστοιχων σημείων, καθώς και οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε έχουν καταχωρηθεί στον πίνακα 21.

Πίνακας 21

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες των δυο πλησιέστερων σημείων στην Κ.Π.Ε. και των δύο πλέον απομακρυσμένων, οι αποστάσεις τους απ' την Κ.Π.Ε, οι μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμούμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461544, 4328645)	44	0,89	0,92
(461576, 4328570)	51	0,33	0,72
(461433, 4328347)	273,3	0,33	0,37
(461250, 4328557)	289,1	0,25	0,2

Από τον πίνακα 21 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου για τα κοτινά σημεία στην Κ.Π.Ε καθώς και για τα απομακρυσμένα είναι ισχυρή.

Πίνακας 22

Στον πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες τεσσάρων σημείων, στα οποία είχαν παρουσιαστεί οι μεγαλύτερες μετρηθείσες τιμές της ακτινοβολίας, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, οι τιμές της μετρηθείσας ακτινοβολίας σ' αυτά και οι αντίστοιχες εκτιμούμενες τιμές.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461536,39, 4328601,23)	0	5,6	5,6
(461560,42, 4328528,39)	76,7	0,4	1,4
(461528,34, 4328491,79)	109,7	1	1,37
(461544,2, 4328644,8)	44,3	1,2	0,92

Από τον πίνακα 22 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου στην Κ.Π.Ε είναι ισχυρή, ενώ στα υπόλοιπα σημεία είναι ασθενέστερη.

Από τα σημεία, που αποτελούν το 53,5% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχθηκαν τα δυο πλησιέστερα στην Κ.Π.Ε. καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα και, αφού υπολογίστηκαν οι τιμές της $z = f(x,y)$ σ' αυτά, καταχωρήθηκαν στον πίνακα 23.

Πίνακας 23

Από τα σημεία, που αποτελούν το 53,5% των σημειακών μετρήσεων, και στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν ελάχιστη, επιλέχθηκαν τα δυο πλησιέστερα καθώς και τα δύο πλέον απομακρυσμένα από την Κ.Π.Ε και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι συντεταγμένες τους, οι αποστάσεις τους από την Κ.Π.Ε, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές της συνάρτησης $z = f(x, y)$.

Συντεταγμένες σημείων μέτρησης	Απόσταση από Κ.Π.Ε.(m)	Ένταση ακτινοβολίας (V/m)	
		Τιμές μοντέλου $f(x,y)$	Τιμές μέτρησης
(461478,17, 4328649, 60)	75,7	0,25	0,2
(461638,37, 4328644,72)	110,9	0,35	0,2
(461364,57, 4328813,02)	272,7	0,29	0,2
(461250,66, 4328557,48)	289,1	0,3	0,2

Από τον πίνακα 23 προκύπτει ότι η προγνωστική ισχύς του μοντέλου είναι ισχυρή στα σημεία στα οποία η μετρηθείσα ένταση ήταν χαμηλή.

4.3.6 Συμπεράσματα

Από τη σύγκριση:

- 1) των γραφικών παραστάσεων των μοντέλων,
- 2) των συντελεστών προσδιορισμού και
- 3) των λόγων των τιμών του μοντέλου προς τις αντίστοιχες τιμές των εντάσεων του ηλεκτρικού πεδίου των σημειακών μετρήσεων, συμπεραίνεται ότι:

- **Για την πόλη της Μυτιλήνης**

- Το μοντέλο που προέκυψε με την ιδέα του «μισού και μισού» έδωσε τις καλύτερες εκτιμήσεις.

- Από τα μοντέλα των μετασχηματισμένων τιμών $\log(z)$, $\ln(z)$, $1+\text{Arctan}(z)$, όπου z οι εντάσεις του ηλεκτρικού πεδίου σε V/m, το καλύτερο ήταν εκείνο που προέκυψε από το μετασχηματισμό $\log(z)$.

- **Για τις υποπεριοχές (κυκλικοί δίσκοι)**

- Όσο η περιοχή μελέτης περιορίζεται πιο κοντά στην Κ.Π.Ε τόσο καλύτερο μοντέλο προκύπτει.

- Τα μοντέλα που προέκυψαν από τις μετασχηματισμένες τιμές $\log(z)$, $\ln(z)$, $1+\text{ArcTan}(z)$, όπου z οι εντάσεις της ακτινοβολίας V/m, δεν είχαν καλή προσαρμογή.

Θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς ότι οι αποστάσεις των σημείων μέτρησης από την Κ.Π.Ε, καθώς και η συχνότητα των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου επηρεάζουν, το πόσο καλό μοντέλο θα βρεθεί.

4.3.7 Συζήτηση

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

- Δημιουργία βάσης δεδομένων, με ορίζοντα τουλάχιστον εικοσαετίας:
 - για τις ακριβείς θέσεις των υπαρχόντων πηγών κύριας ρύπανσης, όπως σταθμών βάσεων κινητής τηλεφωνίας, κεραιών εκπομπής τηλεοπτικού και ραδιοφωνικού σήματος, ραντάρ κ.ά.
 - για τα τεχνικά χαρακτηριστικά των παραπάνω πηγών ακτινοβολίας.
 - για την ένταση της ακτινοβολίας σε διάφορα αντιπροσωπευτικά σημεία της πόλης της Μυτιλήνης.

Προκειμένου να δημιουργηθεί η βάση αυτή προτείνεται:

- Η χρήση GPS για τη χωρική ταυτοποίηση των σημείων μέτρησης της ακτινοβολίας
- Η επανάληψη των μετρήσεων της έντασης σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια του 24ώρου, καθώς επίσης και σε διαφορετικές εποχές, λόγω της μεταβλητότητας των πηγών εκπομπής ακτινοβολίας.
- Έλεγχος της εκτιμητικής ικανότητας των προτεινομένων στη μεταπτυχιακή διατριβή μοντέλων μετά την κατασκευή της βάσης δεδομένων.
- Κατασκευή νέων μοντέλων και σύγκριση αυτών με τα προτεινόμενα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Χαλβαδάκης Κ.Π., Περιβαλλοντική φυσική, Μυτιλήνη 1998
- [2] Λιολιούσης Κ., «Βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Εκδόσεις Δίαυλος. Αθήνα 1997
- [3] Γεωργακάκος Π., Σακλωμένος Α., Σφαρνάς Ν., Χριστακόπουλος Ι., Φυσική Γ. Λυκείου Αθήνα 1999
- [4] Δεληγά Μ.Γ. Περιοδικό Υγιεινή και ασφάλεια της εργασίας. Τριμηνιαία έκδοση του ελληνικού ινστιτούτου υγιεινής και ασφάλειας της εργασίας. Τεύχος 13 Ιανουάριος-Φεβρουάριος- Μάρτιος 2003
- [5] ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*, Health Phys. 74, 494–522 , (1998).
- [6] ICNIRP, *General Approach to protection against non-ionising radiation*, Health Physics Society, (2002)
- [7] IRPA, "Guidelines on limits of exposure to radio frequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz," *Health Physics*, vol. 54, pp. 115-140, 1988
- [8] Nikita K.S., Maratos N. and Uzunoglu N.K., "Optimum Excitation of Phases and Amplitudes in a Phased Array Hyperthermia System", *International Journal of Hyperthermia*, vol. 8, pp. 515-528, 1992.
- [9] Guy A.W., The starting point: wireless technology research, L.L.C.'s dosimetry risk evaluation research, Hum. Ecol. Risk Assess. 3 1997 25–50.
- [10] Kuster N., Balzano Q., Experimental and numerical dosimetry., in: N. Kuster, Q. Balzano, J.C. Lin Eds. , *Mobile Communication Safety*, Chapman and Hall, London, 1997, pp. 13–64.
- [11] http://www.techlife.gr/reviews-show.asp?rid=124&rid_or=121&typid=9
- [12] «Η επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από την κινητή τηλεφωνία» Ουζούνουλου. Πρακτικά ημερίδας ΤΕΕ, 23/3/95.
- [13] Gandhi P.O., *Biological effects and medical applications of electromagnetic energy*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
- [14] Stuchly M.A., "Fundamentals of the Interactions of Radiofrequency and Microwave Energies with Matter", *Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation*, M. Grandolfo, S.M. Michaelson, A. Rindi (eds), pp. 75-84, Plenum Press, New York, 1983.
- [15] Gandhi O.P., "Biological Effects and Medical Applications of RF Electromagnetic Fields", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 30, pp. 1831-1847, 1982.
- [16] Persson BRR, Salford LG, Brun A, et al. Blood-brain barrier permeability in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless communication. *Wireless Networks* 1997; 3: 455–61.

- [17] Frey AH, ed. On the nature of electromagnetic field interactions with biological systems. Austin, TX: RG Landes, 1994.
- [18] Winkler T, Sharma HS, Stalberg E, Olsson Y, Dey PK. Impairment of blood-brain barrier function by serotonin induces desynchronization of spontaneous cerebral cortical activity: experimental observations in the anaesthetized rat. *Neuroscience* 1995; 68: 1097–104.
- [19] Barbanti P, Bronzetti F, Ricci A, et al. Increased density of dopamine D5 receptor in peripheral blood lymphocytes of migraineurs: a marker of migraine? *Neurosci Lett* 1996; 207: 73–76.
- [20] Youbicier-Simo BJ, Bastide M. Pathological effects induced by embryonic and postnatal exposure to EMFs radiation by cellular mobile phones (written evidence to IEGMP). *Radiat Protect* 1999; 1: 218–23.
- [21] Mann K, Roschke J. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996; 33: 41–47.
- [22] Lin J.C., “Health Aspects of Wireless Communications”, *ACM Mobile Computing and Communications Review*, vol. 3(1), pp. 14-20, 1999.
- [23] Sidorenko AV, TEPAyk VV. Electrophysiological characteristics of the epileptic activity in the rat brain upon microwave treatment. In: Proceedings of Conference on Electromagnetic Fields and Human Health (Moscow, September, 1999): 283–84.
- [24] Hermann D. M., Hossmann K. A. Neurological effects of microwave exposure related to mobile communication. *J Neurol Sci* 1997; 152: 1–14.
- [25] Maier M., Blakemore C., Iovisto M. The health hazards of mobile phones. *Br Med J* 2000; 320: 1288–1289.
- [26] Chia S.-E., Chia H.-P., Tan J.-S. Prevalence of headache among handheld cellular telephone users in Singapore: a community study. *Environ Health Perspect* 2000; 108: 1059–1062.
- [27] Anon. Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 1998; 74: 494–522.
- [28] Lancet 2000; 356: 1833–36 See Commentary page 1782 Department of Physics, University of Warwick, Coventry, UK; and International Institute of Biophysics, Neuss-Holzheim, Germany (G J Hyland PhD) Correspondence to: Dr G J Hyland, Department of Physics, University of Warwick, Coventry CV4 4AL, UK
- [29] Adey W.R. and Bawin S.M., "Binding and Release of Brain Calcium by Low-Level Electromagnetic Fields: A Review", *Radio Science*, vol. 17, pp. 1495-1575, 1982.
- [30] B.R.R. Persson, L.G. Salford, A. Brun, “Blood-Brain Barrier Permeability in Rats Exposed to Electromagnetic Fields Used in Wireless Communication”, *Wireless Networks*, vol. 3, pp. 455-461, 1997.

- [31] Federal Communications Commission, Office of Engineering and Technology. Information on Human Exposure to Radio-frequency Fields from Cellular and PCS Radio Transmitters Jan 1998 pp 1 and 4, Washington DC.
- [32] Lin J.C., Meltzer R.J., Redding F.K, "Comparison of Measured and Predicted Characteristics of Microwave-Induced Sound", *Radio Science*, vol. 17, pp. 1595-1635, 1982.
- [33] Braune S, Wrocklage C, Raczek J Gailus T, Lüching CH. Resting blood pressure increase during exposure to radio-frequency electromagnetic field. *Lancet* 1998; 351: 1857–58.
- [34] Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Finnie J, Harris AW. Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 1997; 147: 631–40.
- [35] Carlo GL. Wireless telephones and health: WTR Final Report. Presented to the French National Assembly, June 19, 2000.
- [36] Lai H, Singh NP. Single and double-strand DNA breaks after acute exposure to radiofrequency radiation. *Int J Radiation Biol* 1996; 69:13–521.
- [37] Rothman KJ. Epidemiological evidence on health risks of cellular telephones. *Lancet* 2000; 356: 1837–40
- [38] Hyland G. Physics and biology of mobile telephony. *Lancet* 2000; 356: 1833–1836.
- [39] Frohlich H. The biological effects of microwaves and related questions. *Adv Electron Electron Phys* 1980; 53: 85–152.
- [40] Frey A. H. Hold the (cell) phone. *Science* 2002; 295(5554):440–441.
- [41] Weinberger Z., Richter E. D., *Medical Hypotheses* (2002) 59(6), 703–705 2002
- [42] Salford L.G., Brun A., Persson B.R.R., “Brain Tumor Development in Rats Exposed to Electromagnetic Fields Used in Wireless Cellular Communication”, *Wireless Networks*, vol. 3, pp. 463-469, 1997.
- [43] Malyapa R.S., Ahern A.W., Straube W.L., Moros E.G., Pickard W.F., Roti-Rori J.L., “Measurement of DNA Damage After Exposure to Electromagnetic Radiation in the Cellular Phone Communication Frequency Band”, *Radiation Research*, vol. 148, pp. 618-627, 1997.
- [44] J.C. Lin, “Health Aspects of Wireless Communications”, *ACM Mobile Computing and Communications Review*, vol. 3(1), pp. 14-20, 1999.
- [45] WHO, Electromagnetic fields 300 Hz to 300 GHz , Environmental Health Criteria 137, WHO, Geneva, 1993, pp.290
- [46] Caputa K., Stuchly M.A., Skopec M., Bassen H.I., Ruggera P., Kanda M., “Evaluation of Electromagnetic Interference from a Cellular Telephone with a Hearing Aid”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 48 (11), pp. 2148-2154, November 2000.
- [47] Scientific Advisory System: mobile phones and health. London: Stationery Office 1999: vol I, para 36.

- [44] Lyle B, et al. Suppression of T-lymphocyte cytotoxicity following exposure to sinusoidally amplitude-modified fields. *Bioelectromagnetics* 1983; 4: 281–92
- [49] Foster K.R., Moulder J.E., “Are Mobile Phones Safe?”, *IEEE Spectrum*, pp. 23–28, August 2000.
- [50] M.J. Edwards, R.A. Wanner, in: J.G. Wilson, F. Clark, . Eds. , *Handbook of Teratology, Vol. 1. General Principles and Ethiology*, Plenum, New York, 1977, p. 421.
- [51] Edwards M.J., Congenital effects due to hyperthermia, *Adv. Vet. Comp. Med.* 22 (1978) 29–52.
- [52] Poswillo D., Nunnerly H., Sopher D., Keith J., Hyperthermia as a teratogenic agent, *Ann. R. Soc. Coll. Surgeons* 55 (1974) 171–174.
- [53] M.E. O’Connor, Mammalian teratogenesis and radiofrequency fields, *Proc. IEEE* 68 (1980) 56–60.
- [54] Birenbaum L., Kaplan I.T., Metlay W., Rosenthal S.W., Schmidt H., Zaret M.M., “Effect of Microwaves on the Rabbit Eye”, *J. Microwave Power*, vol. 44, pp. 232–242, 1969.
- [55] Kowalczyk C.I., Saunders R.D., Stapleton H.R., Sperm count and sperm abnormality in mice after exposure to 2.45 GHz microwave radiation, *Mutation Res.* 122 (1983) 155–161.
- [56] Gunn S.A., Gould T.C., Anderson W.A.D., The effect of microwave radiation on morphology and function of rat testis, *Lab. Invest.* 10 (1961) 301–314
- [57] Saunders R.D., Kowalczyk C.I., Effects of 2.45 GHz microwave radiation and heat on mouse spermatogenic epithelium, *Int. J. Radiat. Biol.* 40 (1981) 623–632.
- [58] Verschaeve L., Maes A., VITO, Environmental Toxicology Unit, Boeretang 200, B-2400 Mol, Belgium Received 9 November 1996; accepted 15 August 1997
- [59] Beechey C.V., Brooker D., Kowalczyk D., Saunders C.I., Searle A.G., Cytogenetic effects of microwave irradiation on male germ cells of the mouse, *Int. J. Radiat. Biol.* 50 (1986) 909–918.
- [60] www.land-sbg.gv.at/celltower
- [61] Συνήγορος του Πολίτη, *Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, μακροχρόνια έκθεση στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία*. Ειδική έκθεση ν. 3094/2003, Αρ. 3 § 5) Το κείμενο είναι διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.synigoros.gr>
- [62]. Draper N., Smith H., (1977). *Εφαρμοσμένη ανάλυση παλινδρόμησης*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.
- [63]. Finey R., Weir M., Girdano F., (2004). *Απειροστικός λογισμός τόμοι Ι,ΙΙ*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- [64] <http://www.hms.gr>

Ιστορικά στοιχεία

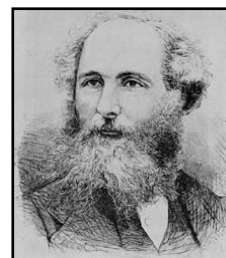
Ερευνητές του ηλεκτρομαγνητισμού με χρονολογική σειρά [1]

- Θαλής ο Μιλήσιος, 636-546 π.Χ.: Δημιουργία και περιγραφή ηλεκτρικών φαινομένων με χρήση ηλέκτρου και μαγνητικών φαινομένων με χρήση του μαγνητίτη λίθου.
- William GILBERT, 1540-1603: Ανακάλυψη του γήινου μαγνητικού πεδίου, καταγραφή πειραμάτων στο βιβλίο De Magnete.
- Benjamin FRANKLIN, 1706-1790: Ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός, αλεξικέραυνο, θετικό-αρνητικό φορτίο, αρχή διατηρήσεως φορτίου.
- Henry CAVENDISH, 1731-1810: Μελέτη φορτίων και ηλεκτρικών δυνάμεων.
- Charles de COULOMB, 1736-1806: Μέτρηση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων, εισαγωγή του αντίστροφου τετραγώνου αποστάσεως στον τύπο της δυνάμεως.
- Alessandro VOLTA, 1745-1827: Κατασκευή βολταϊκής στήλης, ηλεκτροχημική σειρά των στοιχείων.
- Karl-Friedrich GAUSS, 1777-1855: Μελέτη θεμάτων μαθηματικών και αστρονομίας, διατύπωση θεωρημάτων αποκλίσεως.
- Hans C. OERSTED, 1777-1851: Δημιουργία μαγνητισμού από ηλεκτρικό ρεύμα.
- Andre-Marie AMPERE, 1775-1836: Συσχετισμός εντάσεως ρεύματος και μαγνητικού πεδίου (νόμος διαρρέυματος), σωληνοειδές πηνίο.
- Jean-Baptiste BIOT, 1774-1862 και Felix SAVART, 1791-1841: Υπολογισμός μαγνητικού πεδίου από ένταση ρεύματος και μορφή ρευματοφόρου αγωγού.
- Georg Simon OHM, 1789-1854: Σχέση τάσης-ρεύματος στην αντίσταση.
- Michael FARADAY, 1791-1867: Επαγωγή, δημιουργία ηλεκτρισμού από μεταβολή μαγνητικού πεδίου, μελέτη θεμάτων ηλεκτροχημείας.
- Joseph HENRY, 1797-1878: Πρωτοποριακές μελέτες ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων, ανακάλυψη αυτεπαγωγής.
- Wilhelm E. WEBER, 1804-1891: Μελέτες γήινου μαγνητισμού, μελέτη φωτός και ηλεκτρομαγνητισμού.
- Werner von SIEMENS, 1816-1892: Εφευρέτης διαφόρων ηλεκτρομαγνητικών συσκευών (κινητήρες, τηλεγράφοι κ.ά.) και εμπορική αξιοποίησή τους.
- Gustav R. KIRCHHOFF, 1824-1887: Νόμοι κόμβων και βρόχων ηλεκτρικών κυκλωμάτων, μελέτη θεμάτων μηχανικής και θερμότητας.
- James CLERK-MAXWELL, 1831-1879: Ηλεκτρομαγνητική θεωρία, ηλεκτρομαγνητική φύση του φωτός, κορυφαίος ερευνητής στον τομέα του ηλεκτρομαγνητισμού.

- Heinrich HERTZ, 1857-1894: Πειραματική επιβεβαίωση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, μελέτη θεμάτων μηχανικής.
- Thomas Alva EDISON, 1847-1931: Εφευρέτης σημαντικών ηλεκτρομαγνητικών συσκευών (λάμπα πυρακτώσεως, φωνογράφος κ.ά.)
- Albert EINSTEIN, 1879-1955: Γενίκευση εξισώσεων Maxwell μέσω θεωρίας της σχετικότητας

James Clerk-Maxwell (1831-1879):

Καταγόταν από εύπορη οικογένεια της Σκωτίας. Το πατρώνυμό του ήταν Clerk, έγινε όμως διάσημος με το επώνυμο Maxwell της μητέρας του. Λόγω της οικονομικής ανέσεως της οικογένειάς του, ο Maxwell είχε πολυετή και πλήρη κλασική και φυσικομαθηματική μόρφωση. Ήδη το 1855 δημοσίευσε την εργασία του "*On Faraday's Lines of Force*", με την οποία μαθηματοποίησε τις εικόνες των πεδιακών γραμμών του Faraday. Ο ίδιος ο Faraday, διάσημος ερευνητής πια, τον ενεθάρρυνε σ' αυτές τις εργασίες του. Το 1872 δημοσιεύτηκε το βιβλίο που έκανε τον Maxwell διάσημο, "*A Treatise on Electricity and Magnetism*", στο οποίο παρουσιάζονται οι ονομαζόμενες έκτοτε *Εξισώσεις Maxwell*. Στο βιβλίο αυτό κατάφερε να συμπεριλάβει μέσα σε τέσσερις εξισώσεις το σύνολο της νομοτέλειας του Ηλεκτρομαγνητισμού. Η ανακάλυψή του, σύμφωνα με τον Einstein, ήταν ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα στην ιστορία της Επιστήμης.



Σ' αυτή την εργασία μεταξύ άλλων:

- συνενώνονται όλες οι γνώσεις της εποχής περί ηλεκτρομαγνητισμού, δηλαδή τα πορίσματα μίας περιόδου πειραματισμών και εμπειρικής γνώσης 150 ετών, σε μία ομάδα απλών εξισώσεων,
- θεμελιώνεται θεωρητικά για πρώτη φορά η ύπαρξη του φυσικού φαινομένου που σήμερα ονομάζουμε *ηλεκτρομαγνητικά κύματα*,
- γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας του *φωτός* και εξηγείται η *διάδοσή* του ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι την εποχή εκείνη δεν είχαν ακόμα αναπτυχθεί οι μαθηματικοί συμβολισμοί (διανυσματική ανάλυση κ.τ.λ.), γι' αυτό οι εξισώσεις Maxwell δεν είχαν την *απλή* μορφή που γνωρίζουμε σήμερα. Οι φυσικοί νόμοι δίνονταν με τις συνιστώσες των διανυσμάτων, πράγμα που μόνο εξειδικευμένοι και έμπειροι μαθηματικοί ήταν σε θέση να διαβάσουν και να κατανοήσουν. Ένας από αυτούς, ο Boltzmann, λέγεται ότι αναφώνησε, όταν μελέτησε τις πολυπλοκότερες μαθηματικές παραστάσεις στο βιβλίο του Maxwell: "*Αυτές τις εξισώσεις μόνο ένας θεός μπορεί να τις έγραψε*". Αλλά και γενικότερα, η αναγνώριση του Maxwell ως θεμελιωτή της θεωρίας του ηλεκτρομαγνητισμού ήταν καθολική. Σε δημοσίευση της εποχής αναφέρεται ότι "*το έργο του Maxwell προβλέπει τις αρχές για όλα τα ηλεκτρομαγνητικά μηχανήματα*" ! Φυσικά, έκτοτε έχουν γίνει σημαντικές βελτιώσεις

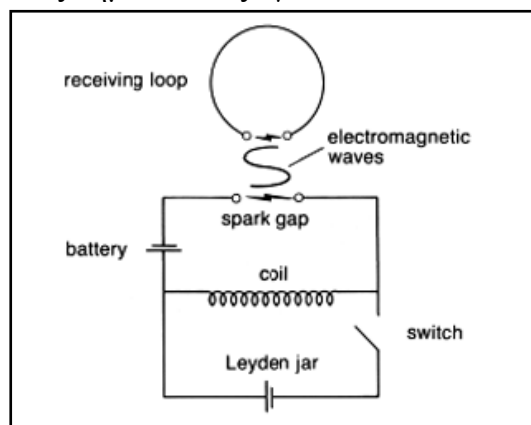
στις αντιλήψεις εκείνης της εποχής για τον ηλεκτρομαγνητισμό. Σε ανάλογο βαθμό σημαντικές με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία είναι οι εργασίες του Maxwell για την κινητική θεωρία των αερίων, τη γενική Στατιστική αλλά και οι καθαρά μαθηματικές εργασίες του. Πέθανε σε ηλικία 48 ετών στο Καίμπριτζ, όπου δίδασκε ως καθηγητής [1-2].

Χάινριχ Χερτς, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894)

Γεννήθηκε στο Αμβούργο. Πρώτα σπούδασε μηχανικός στο Μόναχο, αργότερα ασχολήθηκε με τη Φυσική. Έγινε βοηθός Πανεπιστημίου (Assistant) δίπλα στον Helmholtz, ο οποίος και υπέδειξε στον Hertz να ασχοληθεί με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell. Το αρχικό πρόβλημα προς διευκρίνιση ήταν, αν "η ηλεκτρική δύναμη οδεύει με απεριόριστη ταχύτητα", όπως υπεστήριζε ο Weber και παλαιότερα ο Faraday, ή συμπεριφερόταν "ως κύμα", όπως έλεγε ο Maxwell. Αποτέλεσμα αυτής της έρευνας ήταν να επιβεβαιωθεί πειραματικά η ηλεκτρομαγνητική θεωρία και η ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Για την ολοκλήρωση των ερευνών του παρήγαγε ο Hertz με τα πρωτόγονα μέσα της εποχής ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητες μέχρι 1 GHz!



Ο Heinrich Hertz παρατήρησε ότι, όποτε δημιουργούσε ένα μεγάλο σπινθήρα κοντά σε διάκενο μιας συρμάτινης περιέλιξης, ένας μικρός παλμός πήδαγε το διάκενο και ταξίδευε πάνω στο σύρμα. Ο σπινθήρας προκαλούσε ραδιοκύματα που γεννούσαν ηλεκτρικούς παλμούς στην περιέλιξη. Οι σχετικές δημοσιεύσεις έγιναν το 1888. Στο πλαίσιο των ίδιων ερευνών διαπιστώθηκε ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ανακλώνται σε μεταλλικές επιφάνειες, αλλά "διαπερνούν ξύλινες πόρτες", όπως γράφτηκε τότε εντυπωσιακά στις εφημερίδες. Ο Hertz είχε εντυπωσιακή ικανότητα να συνδυάζει τη θεωρία με το πείραμα. Δημοσίευσε σημαντικές εργασίες για πολλά θέματα Ηλεκτρομαγνητισμού, καθώς επίσης και για θέματα Θερμότητας και Μηχανικής. Δίδαξε για μικρό χρονικό διάστημα στο Κίελο και μετά έγινε καθηγητής στην Καρλσρούη. Το 1889 έγινε καθηγητής στη Βόννη, όπου και δημοσίευσε το βιβλίο "Αρχές Μηχανικής". Πέθανε την πρωτοχρονιά του 1894 σε ηλικία μόλις 37 ετών! [1-2].



Guglielmo Marconi

Βασιζόμενος στην ανακάλυψη του Hertz κατασκεύασε σταθμούς, οι οποίοι εξέπεμπαν τηλεγραφικά σήματα. Ο Μορς, όπως πολλοί ισχυρίζονται, ήταν ο άνθρωπος που ανακάλυψε τον ασύρματο, ενώ άλλοι ισχυρίζονται ότι η ανακάλυψη αυτή οφείλεται στον Nikola Tesla [7-8]. Ο ασύρματος δε μπορούσε να μεταδώσει την ανθρώπινη φωνή. Ακολούθησαν μια σειρά από εφευρέσεις - δίοδος λυχνία (Φλέμινγ, 1904), σήματα σταθερού πλάτους (Φεσεντέν, 1906), τρίοδος λυχνία (Ντε Φόρεστ, 1906) - που οδήγησαν στην ανακάλυψη του ραδιοφώνου. Το 1910 για πρώτη φορά η ανθρώπινη φωνή θα μεταδοθεί μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στους αιθέρες [3].



ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] <http://sfr.ee.teiath.gr/htmSELIDES/Electrotechnics/Biograf.htm>

[2] <http://users.att.sch.gr/kassetas/educ44c.htm>

[3] Ψυχογιός Δ. Κ., Τα Έντυπα Μέσα Επικοινωνίας, σελ. 599-608. Εκδόσεις Καστανιώτη. Αθήνα 2004

Επιστημονικές απόψεις για τις επιδράσεις της ΗΜΑ [1]

► Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΟΠ)

Το θέμα των επιπτώσεων στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον από την ΗΜΑ έχει απασχολήσει τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) σε πρόσφατη έκθεσή του με τίτλο “Late lessons from early warnings : the precautionary principle 1896-2000” [2]. Στην έκθεση αυτή, ο ΕΟΠ επιχειρεί μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των κινδύνων τα τελευταία 100 χρόνια, για να αναδείξει την κρισιμότητα της προφυλακτικής δράσης όχι μόνον στις περιπτώσεις εκείνες που υπάρχει επιστημονική αβεβαιότητα για τις ενδεχόμενες επιβλαβείς συνέπειες, αλλά ακόμη και όταν υπάρχει άγνοια για τον κίνδυνο βλάβης. Η έκθεση, ανάλογα με το επίπεδο της διαθέσιμης επιστημονικής γνώσης, διακρίνει ανάμεσα σε : α) κινδύνους (risks), όταν υφίσταται γνώση των επιβλαβών συνεπειών, οπότε επιβάλλεται προληπτική δράση (prevention), β) αβεβαιότητα (uncertainty), όταν υπάρχουν γνωστές επιπτώσεις, αλλά άγνωστες πιθανότητες, οπότε για τον περιορισμό των ενδεχόμενων συνεπειών επιβάλλεται προληπτική προφύλαξη (precautionary prevention) και γ) άγνοια (ignorance), όταν οι επιπτώσεις και, κατ’ επέκταση, οι πιθανότητες είναι άγνωστες, οπότε για τον περιορισμό των εκπλήξεων, επιβάλλεται η λήψη μέτρων προφύλαξης (precaution).

Σε όλο τον κόσμο, διεθνείς οργανισμοί και χώρες έχουν προχωρήσει στη σύσταση ορίων ασφαλείας για την έκθεση σε μη-ιονίζουσα 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-ιονίζουσα ακτινοβολία, σε συνεργασία με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (World Health Organization, WHO). Το 1992 δημιουργήθηκε ανεξάρτητη επιστημονική επιτροπή, η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη-Ιονίζουσα 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 [3] δημοσιεύτηκαν το 1998 και έχουν υιοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CENELEC (Commitee Europeen de Normalisation Electrotechnique) και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατά τη σύνταξη του ισχύοντος προτύπου για την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Στις ΗΠΑ, τα όρια ασφαλείας για την έκθεση σε RF ακτινοβολία βασίζονται στις οδηγίες του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) και έχουν υιοθετηθεί από το Αμερικανικό Ινστιτούτο Τυποποίησης (American National Standards Institute, ANSI).

Σε συχνότητες υψηλότερες του 1 MHz, η θέσπιση ορίων ασφαλούς έκθεσης βασίζεται αποκλειστικά στα θερμικά αποτελέσματα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων [4]. Η θέσπιση ορίων ασφαλείας από τη CENELEC και άλλες επιτροπές τυποποίησης για ολόσωμη έκθεση σε ΗΜΑ έχει βασιστεί στην πρόληψη διαταραχών συμπεριφοράς 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 $EPA = 4 \text{ W/kg}$ σωματικού βάρους, υπολογισμένο ως

μέση τιμή σε ολόκληρο το σώμα. Θέτοντας ένα συντελεστή ασφαλείας, ίσο με 10, καθορίστηκε η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του EPA 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. Με παρόμοιο σκεπτικό, προκύπτουν αντίστοιχα όρια για έκθεση μέρους του σώματος σε HMA [4].

► Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ - World Health Organization [WHO])

- Σε κείμενο του Π.Ο.Υ., με τίτλο Ηλεκτρομαγνητικά πεδία και Δημόσια Υγεία [5] (Μάρτιος 2000), αναφέρεται ότι : *«Η εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία από ηλεκτρομαγνητικά πεδία, χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας. Συγκεκριμένα, μια σειρά από επιδημιολογικές μελέτες υποδεικνύουν την ύπαρξη ασθενούς συσχέτισης μεταξύ της έκθεσης σε HMA και ανθρώπινης ασθένειας. Οι μελέτες συμπεριλαμβάνουν ποικίλες ασθένειες και συνθήκες έκθεσης (στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία). Άλλα επιστημονικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένου μεγάλου αριθμού μελετών σε ζώα, δεν υποστηρίζουν αυτό το συμπέρασμα, ενώ πολλές επιδημιολογικές μελέτες παρουσιάζουν προβλήματα, όπως ανεπαρκή εκτίμηση της έκθεσης. Καμία αρμόδια επιτροπή δεν έχει συμπεράνει ότι υπάρχει κίνδυνος από πεδία χαμηλών επιπέδων. Όμως, είναι σαφές ότι υπάρχει σημαντική επιστημονική αβεβαιότητα, καθώς και μεγάλη ανησυχία του κοινού για το θέμα αυτό».*

Σε ό,τι αφορά τη λήψη μέτρων προφύλαξης αναφέρει ότι: *«Η κύρια δυσκολία είναι η έλλειψη σαφών αποδείξεων για τον προκαλούμενο κίνδυνο από την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία».*

- Τον Ιούνιο του 2000, ο ΠΟΥ εξέδωσε έκθεση με τίτλο Ηλεκτρομαγνητικά πεδία και Δημόσια Υγεία, κινητά τηλέφωνα και οι κεραίες βάσης τους [6]. Στην έκθεση γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στη διάχυτη ανησυχία, που προκαλείται στο κοινό, από τις ενδεχόμενες επιπτώσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στη δημόσια υγεία.

Η έκθεση καταλήγοντας αναφέρει ότι: *«Καμία από τις πρόσφατες εκτιμήσεις δεν έχει καταλήξει ότι η έκθεση σε πεδία από ραδιοσυχνότητες κινητών τηλεφώνων ή κεραιών βάσης προκαλεί ανεπιθύμητες συνέπειες στην υγεία. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν κενά στην γνώση, τα οποία έχουν εντοπιστεί, και χρήζουν περαιτέρω έρευνας, ώστε να εκτιμηθούν καλύτερα οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία. Θα απαιτηθούν περίπου 3 με 4 χρόνια για την ολοκλήρωση της έρευνας για τις ραδιοσυχνότητες, την εκτίμηση και τη δημοσίευση των τελικών αποτελεσμάτων σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους για την υγεία».*

Απόψεις των εταιρειών παροχής υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας

Σε ιστοσελίδα ελληνικής εταιρείας κινητής τηλεφωνίας (Vodafone) καταγράφονται οι ακόλουθες απόψεις ως προς το ζήτημα της επικινδυνότητας των σταθμών βάσης : *«Τα τρέχοντα επιστημονικά στοιχεία υποδεικνύουν ότι η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, όπως αυτά που εκπέμπονται από τα κινητά τηλέφωνα και από τους σταθμούς βάσης, είναι απίθανο να προκαλεί ή να προάγει τον καρκίνο. Όλες οι Διεθνείς Οδηγίες που έχουν αναπτυχθεί, για να προσφέρουν κατάλληλη προστασία στο*

ευρύ κοινό από την έκθεση σε ΗΜΑ, έχουν εισάγει μεγάλα περιθώρια ασφαλείας, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες που υπάρχουν όσο αφορά την ατομική ευαισθησία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και τις διαφορές ηλικίας (ηλικιωμένοι, μικρά παιδιά) και κατάστασης της υγείας του κοινού. Στο επίπεδο του εδάφους, καθώς και στα γειτονικά κτίρια, η ένταση του σήματος από τις κεραιές κινητής τηλεφωνίας είναι πολύ χαμηλή και δεν επιδρά σε τέτοιου είδους συσκευές. Αξίζει να σημειωθεί ότι το επίπεδο του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου των κεραιών κινητής τηλεφωνίας είναι αρκετά χαμηλότερο εντός των κατοικιών από εκείνο που δημιουργούν πολλές οικιακές συσκευές. Επίσης, δεν υπάρχουν επιστημονικά στοιχεία που να αποδεικνύουν ότι οι κεραιές των σταθμών βάσης προκαλούν παρεμβολή στους καρδιακούς βηματοδότες ή σε άλλη εμφυτευμένη ιατρική συσκευή, όσο τα επίπεδα έκθεσης παραμένουν εντός των ορίων ασφαλείας. Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας GSM 900 και GSM 1800 έχουν σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να λειτουργούν μέσα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Γι' αυτόν το λόγο, το κάθε κεραιοσύστημα σε αστική περιοχή λειτουργεί συνολικά σε πολύ μικρή ισχύ (10-15 Watts). Μάλιστα, όσο πιο πυκνά είναι τοποθετημένες οι κεραιές, τόσο χαμηλότερη είναι η ισχύς τους. Διεθνείς Επιστημονικοί Οργανισμοί, όπως η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη-Ιονίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP) και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), αξιολογώντας όλες τις επιστημονικές έρευνες, έχουν εκδώσει αυστηρές οδηγίες προστασίας του κοινού από την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, (ICNIRP "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, & electromagnetic fields (up to 300GHz)", Health Physics, April 1998, Vol.74).Τις συγκεκριμένες οδηγίες έχει υιοθετήσει και η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) με τη σύσταση που εξέδωσε στις 12 Ιουλίου 1999.

Στην Ελλάδα υπάρχει σύγχρονο νομοθετικό πλαίσιο εγκατάστασης των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας (Κοινή Υπουργική Απόφαση), το οποίο υιοθετεί τη Σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), λαμβάνοντας ειδική μέριμνα για τα θέματα ασφαλούς εκπομπής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ελληνική νομοθεσία θέτει αυστηρή διαδικασία ελέγχου ασφαλούς λειτουργίας των κεραιών, μέρος της οποίας αποτελεί η εκπόνηση ειδικών θεωρητικών μελετών ακτινοπροστασίας για κάθε κεραία, καθώς και η διεξαγωγή περιοδικών μετρήσεων.

Έως σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από ανεξάρτητους επιστημονικούς φορείς, όπως το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. Οι έλεγχοι αυτοί πραγματοποιούνται όποτε ζητηθεί, ώστε να παρέχεται άμεση ενημέρωση στο κοινό. Επίσης, η εταιρεία διενεργεί τακτικούς περιοδικούς ελέγχους και μετρήσεις των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στους σταθμούς βάσης της. Σε όλες τις μετρήσεις έως σήμερα τόσο σε αγροτικές όσο και σε αστικές περιοχές (ταράτσες), οι τιμές έκθεσης έχουν βρεθεί δεκάδες έως και πολλές χιλιάδες φορές κάτω από τα όρια που θέτει η ελληνική νομοθεσία. Έχουν πραγματοποιηθεί δεκάδες μετρήσεις (περίπου 100) σε σταθμούς βάσης της εταιρείας από ανεξάρτητους επιστημονικούς φορείς, όπως οι Α.Π.Θ., Ε.Μ.Π. και ΕΕΑΕ., οι οποίες όχι μόνο επιβεβαίωσαν τη συμμόρφωση της λειτουργίας των κεραιών σύμφωνα με τα όρια μέγιστης έκθεσης, αλλά, επιπλέον, έδειξαν ξεκάθαρα ότι η ακτινοβολούμενη ισχύς είναι δεκάδες έως και χιλιάδες φορές χαμηλότερη από τα όρια που θέτει η ελληνική νομοθεσία.

Η ανησυχία και, κατ' επέκταση, η αντίδραση των πολιτών για τις κεραίες της κινητής τηλεφωνίας οφείλεται στις ανεξέλεγκτες φήμες από ανθρώπους «μη ειδικούς», σε δημοσιεύματα που αναφέρονται σε μη επιστημονικά τεκμηριωμένες μελέτες, στο γεγονός ότι η κινητή τηλεφωνία είναι μία καινούργια, άγνωστη τεχνολογία και, τέλος, στην έλλειψη, συστηματικής επίσημης ενημέρωσης επί του θέματος.

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) είναι υπεύθυνη για την προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος από μη ιονίζουσες ακτινοβολίες και φροντίζει για την παροχή σχετικής πληροφόρησης σε κάθε ενδιαφερόμενο. Επιπλέον, οι συναρμόδιες Υπηρεσίες των Υπουργείων ΠΕΧΩΔΕ, Υγείας και Πρόνοιας, Μεταφορών και Επικοινωνιών μαζί με την ΕΕΑΕ, εκτός από τις συντονισμένες πρωτοβουλίες για την αποτελεσματική παρακολούθηση των διεθνών εξελίξεων και την εκπόνηση ερευνητικών μελετών, αναλαμβάνουν και τη σχετική ενημέρωση του γενικού πληθυσμού για θέματα προστασίας της υγείας από την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών.

Η κινητή τηλεφωνία δεν αποτελεί την εφαρμογή της πρώτης τεχνολογίας όπου χρησιμοποιείται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Για αρκετές δεκαετίες, οι κεραίες των ραδιοτηλεοπτικών σταθμών, τα ραντάρ, οι κεραίες επικοινωνίας της Αστυνομίας, της Πυροσβεστικής, κ.α. χρησιμοποιούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Πολύ συχνά οι εκπομπές από αυτά τα συστήματα είναι πολύ πιο κοντά στα όρια της ICNIRP από ότι οι εκπομπές από τους σταθμούς βάσης.

Παρ' όλα αυτά, οι μελέτες των τελευταίων δεκαετιών δεν έχουν δείξει κάποιο δυσμενές αποτέλεσμα για την υγεία. Οι κεραίες εγκαθίστανται σύμφωνα με τις υποδείξεις της ΕΕΑΕ, οι οποίες είναι βασισμένες στις συστάσεις της ICNIRP. Μερικά μέτρα μπροστά από την κεραία, για σταθμούς βάσης τοποθετημένους στις οροφές των κτηρίων, τα επίπεδα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που επάγονται από την κεραία είναι αρκετές φορές κάτω από τα όρια ασφαλείας. Οι σταθμοί βάσης σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε σε χώρους που είναι δυνατή η ανθρώπινη πρόσβαση να μην υπερβαίνουν τα όρια ασφαλείας. Έρευνα η οποία πραγματοποιήθηκε στη Μεγάλη Βρετανία, με επικεφαλής τον Sir William Stewart, κατέληξε στο εξής συμπέρασμα: "Η πλειοψηφία των στοιχείων δείχνει ότι δεν υπάρχει κίνδυνος για την υγεία των ανθρώπων που διαμένουν κοντά στους σταθμούς βάσης, δεδομένου ότι οι εκθέσεις αυτές είναι αρκετές φορές κάτω από τα όρια ασφαλείας».

Εκθέσεις Επιτροπών Εμπειρογνώμων [1]

- ▶ Έκθεση επιτροπής εμπειρογνώμων προς τον Γενικό Διευθυντή Υγείας της Γαλλίας, σχετικά με τα Κινητά Τηλέφωνα, τους Σταθμούς Βάσης και την Υγεία. Η υπάρχουσα γνώση και οι σχετικές προτάσεις, 16 Ιανουαρίου 2001 [7] [Translate from the original French text by MCL, June 2002]

Η έκθεση αναφέρεται σε πληθώρα μελετών και προτείνει μέτρα για τη μείωση της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Σύμφωνα με την έκθεση, «Τα υπάρχοντα επιστημονικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι μια ποικιλία βιολογικών επιδράσεων λαμβάνουν χώρα σε ενεργειακά επίπεδα, τα οποία δεν προκαλούν καμία επικεντρωμένη αύξηση της θερμοκρασίας. Από την υπάρχουσα γνώση σχετικά με τις μη θερμικές επιδράσεις, δεν είναι δυνατόν, προς το παρόν, να εξακριβωθεί αν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Είναι δυνατόν να υποστηριχθεί ότι δεν υπάρχουν κίνδυνοι για την υγεία; Όχι: Παρότι λίγα επιστημονικά δεδομένα υπάρχουν για να υποστηρίξουν

αυτή την άποψη, δεν είναι δυνατόν με την υπάρχουσα επιστημονική γνώση, να μηδενιστεί η πιθανότητα για κίνδυνο στην υγεία που μπορεί να προκληθεί από τα μη θερμικά φαινόμενα, τα οποία σχετίζονται με χαμηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας».

Μεταξύ των κυριότερων προτάσεων της επιτροπής συμπεριλαμβάνονται και τα ακόλουθα: «Συνιστάται η υιοθέτηση της αρχής της προφύλαξης [“precautionary approach”], με γενικό στόχο τη μείωση της μέσης έκθεσης του κοινού στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο (ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας) που είναι συμβατό με την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών (από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας).

Τα παρακάτω θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην εφαρμογή αυτής της αρχής:

– Εντατικότερη έρευνα στις βιολογικές επιδράσεις από την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

– Η μείωση της έκθεσης του κοινού να είναι ιδιαίτερα σημαντική για τις ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού, συμπεριλαμβανομένων των παιδιών και των ασθενών. Για το λόγο αυτό, προτείνεται από την επιτροπή εμπειρογνομόνων τα «ευαίσθητα κτίρια» (νοσοκομεία, νηπιαγωγεία, σχολεία κλπ), τα οποία είναι τοποθετημένα σε απόσταση μικρότερη των 100 μέτρων από σταθμό βάσης, να μην είναι σε ευθεία (στην ίδια ισούψη) με την εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Η επιτροπή εμπειρογνομόνων θεωρεί ότι, αν οι εταιρείες εφαρμόσουν αυτά τα μέτρα, οι φόβοι του κοινού, και ειδικά των γονιών που ανησυχούν για την έκθεση των παιδιών τους σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, θα εξαιρεθούν, λαμβανομένου ειδικότερα υπόψη του γεγονότος ότι, λόγω των χαμηλών επιπέδων έκθεσης που παρατηρούνται, η επιτροπή δεν υποστηρίζει την θέση ότι υπάρχει κίνδυνος υγείας για τον πληθυσμό που ζει σε περιοχές που έχουν τοποθετηθεί σταθμοί βάσης. Η επιτροπή εμπειρογνομόνων επισημαίνει ότι η προσεκτική προσέγγιση που προτείνει, με δεδομένη την υπάρχουσα γνώση και την αβεβαιότητα, δεν συνιστά επικύρωση της υπόθεσης για κίνδυνο στην υγεία. Οι συστάσεις που υποδεικνύονται προκύπτουν από την κοινή λογική, δικαιολογούνται από την ύπαρξη «εύλογων αμφιβολιών» [reasonable doubt], και προϋποθέτουν περαιτέρω επιστημονική διερεύνηση».

► Έκθεση της Ανεξάρτητης Επιτροπής Εμπειρογνομόνων για τα Κινητά Τηλέφωνα και την Υγεία στη Μ. Βρετανία, (U.K. Independent Expert Group on Mobile Phones and Health, [IEGMP] “Stewart report” [8], πρώτη έκδοση 11 Μαΐου 2000)

Στην έκθεση, σχετικά με τις πιθανές επιδράσεις (πιθανά αποτελέσματα) της τεχνολογίας της κινητής τηλεφωνίας στην ανθρώπινη υγεία, αναφέρεται ότι: «Παρά την ανησυχία του κοινού για την ασφάλεια των κινητών τηλεφώνων και των σταθμών βάσης τους, περιορισμένα ερευνητικά συμπεράσματα έχουν δημοσιευθεί σχετικά στην επιστημονική βιβλιογραφία. Τούτο αντανακλά το γεγονός ότι μόνον πρόσφατα η κινητή τηλεφωνία χρησιμοποιείται εκτενώς από το κοινό, και έτσι έχει υπάρξει μικρή δυνατότητα να διαπιστωθούν και καταγραφούν οι οποιεσδήποτε εμφανείς επιρροές στην υγεία. Η στάθμιση των μέχρι σήμερα δεδομένων υποδεικνύει ότι η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, σε επίπεδα χαμηλότερα από τα συνιστώμενα [στις οδηγίες των National Radiological Protection Board “NRPB” και International Commission on NON-Ionizing Radiation Protection “ICNIRP”], δεν προκαλεί

ανεπιθύμητες επιδράσεις στο γενικό πληθυσμό. Υφίστανται, όμως, σήμερα νέα επιστημονικά δεδομένα, τα οποία υποδηλώνουν ότι μπορεί να προκαλούνται βιολογικές επιδράσεις που λαμβάνουν χώρα ακόμα και κάτω από τα συνιστώμενα όρια και πρότυπα. Ο πληθυσμός στο σύνολό του δεν είναι γενετικά ομογενοποιημένος, και έτσι η δεκτικότητα των ανθρώπων στους περιβαλλοντικούς κινδύνους διαφέρει. Συμπεραίνουμε, επομένως, ότι προς το παρόν, δεν είναι δυνατόν να υποστηριχθεί η άποψη ότι η έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ακόμη και σε επίπεδα κατώτερα από τις εθνικές οδηγίες, στερείται καθ' ολοκληρίαν αρνητικών επιδράσεων στην υγεία. Συνιστούμε να υιοθετηθεί η προσέγγιση με βάση την αρχή της προφύλαξης [“precautionary approach”] στην χρήση της τεχνολογίας της κινητής τηλεφωνίας, μέχρι να υπάρξουν λεπτομερή και πιο τεκμηριωμένα επιστημονικά δεδομένα σχετικά με τις οποιεσδήποτε επιδράσεις μπορεί να υπάρξουν στην υγεία. Σημειώνουμε ότι η χρήση της αρχής της προφύλαξης [“precautionary approach”] δεν είναι χωρίς κόστος. Θεωρούμε όμως, ότι είναι η απαραίτητη προσέγγιση σε αυτό το αρχικό στάδιο της γνώσης μας για την τεχνολογία της κινητής τηλεφωνίας και τις πιθανές επιπτώσεις της στα βιολογικά συστήματα και στην ανθρώπινη υγεία».

Απόψεις Ανεξάρτητων Εμπειρογνομόνων και Ερευνητών [1]

► Κ. Λιολιούσης (Καθηγητής ηλεκτρονικής φυσικής στο Πανεπιστήμιο Αθηνών)

Αναφέρει στο βιβλίο του [9] ότι: «Ο σημερινός άνθρωπος εξαιτίας του τεχνικού πολιτισμού που ο ίδιος δημιούργησε λούζεται κυριολεκτικά συνεχώς από ολοένα αυξανόμενα ποσά ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αυτών των συχνοτήτων. Πηγές τέτοιων πεδίων: τηλεφωνικά καλώδια, σύρματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ), πομποί ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών, πομποί ραντάρ, όλες οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές σπιτιού ή χώρου εργασίας. Σήμερα, είναι λίγοι οι επιστήμονες που διατηρούν ακόμα επιφυλάξεις ως προς την επικινδυνότητα της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας.

Σχετικά με τα αποτελέσματα των μεθόδων μελέτης (επιδημιολογικές έρευνες, μελέτες με πειραματόζωα, μελέτη αιφνίδιων θανάτων βρεφών, μελέτες με καλλιέργειες κυττάρων) για τις επιπτώσεις των τεχνητών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην υγεία, ο συγγραφέας αναφέρει ότι περιλαμβάνονται ευρήματα που αφορούν περιπτώσεις όγκων, καρκίνου, λευχαιμίας και προσθέτει ότι «οι επιδημιολογικές μελέτες δεν ανέδειξαν ακόμη μία απόδειξη, αλλά μία σοβαρή ένδειξη της επικινδυνότητας της μη ιονίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα παραπάνω ευρήματα από την ακτινοβολία ιστών ή καλλιιεργειών κυττάρων ενισχύουν τις ενδείξεις για την επικινδυνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας». Επίσης, ο κ. Λιολιούσης παραθέτει τις «αναμφισβήτητες βιολογικές επιδράσεις των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων (καταρρακτογένεση, επίδραση στους καρδιακούς βηματοδότες, μικροκυματικά ακούσματα)». Ειδικότερα, αναφέρει ότι «τα πειράματα αποκάλυψαν ενδείξεις ότι και η μη ιονίζουσα ΗΜΑ πιθανόν να δρα προσθετικά, όπως και η ιονίζουσα (ραδιενέργεια) κατά δεύτερον, από τα πειράματα αυτά προέκυψε μία επιπλέον ισχυρή ένδειξη αθερμικών επιπτώσεων της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας».

Σχετικά με τους μηχανισμούς βιολογικών επιδράσεων των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, αναφέρει ότι «πειράματα, τόσο σε ζώα όσο και σε ανθρώπους, έδειξαν ότι τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία (μη ιονίζουσες ακτινοβολίες) καταστέλλουν τη

λειτουργία της επίφυσης, μειώνοντας τα επίπεδα μελατονίνης στον οργανισμό. Έχει ήδη επιδειχθεί η ικανότητα της μελατονίνης να καταστέλλει την ανάπτυξη των καρκινικών κυττάρων. Η μελατονίνη αποτρέπει μεταβολές στο μοριακό επίπεδο, πιθανόν η έλλειψή της να διευκολύνει εκφυλιστικά φαινόμενα όπως η στεφανιαία νόσος, η νόσος του Πάρκινσον, του Αλτσχάιμερ κλπ». Τέλος, τονίζει ότι «θα χρειαστούν δεκαετίες ακόμα εντατικής έρευνας ώστε να αποκτηθεί επαρκής γνώση των συνεπειών της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας».

Σχετικά με την καθιέρωση ορίων επικινδυνότητας για τη μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ο ίδιος αναφέρει ότι «είναι η πλέον κραυγαλέα ομολογία της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας για τις επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού από την έκθεση στην ακτινοβολία αυτή» και ότι «πρόκειται για όρια επικινδυνότητας και όχι ασφαλείας, δεδομένου ότι καμία δόση ακτινοβολίας, ιονίζουσας ή μη, δεν μπορεί να θεωρηθεί ασφαλής, οσονδήποτε μικρή και αν είναι». Η διαφορά των ορίων μεταξύ κρατών «οφείλεται στη διαφορετική εκτίμηση του μηχανισμού επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας». Όρια επικινδυνότητας, με βάση τις θερμικές μόνον επιδράσεις, έχει ορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ τα όρια των ανατολικών κρατών, που έχουν καθοριστεί με βάση και τις αθερμικές επιδράσεις, είναι μέχρι και διακόσιες φορές μικρότερα από εκείνα των δυτικών χωρών για το γενικό πληθυσμό. Το όριο επικινδυνότητας στη «Δύση» είναι περίπου 1 mW/cm^2 ενώ στην «Ανατολή» $10 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ (εκατό φορές μικρότερο) για επαγγελματική απασχόληση (εργαζόμενους), ενώ για το γενικό πληθυσμό είναι $200 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ και $1 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ (διακόσιες φορές μικρότερο) αντίστοιχα. Αυτή η τεράστια διαφορά οφείλεται στο ότι στη Δύση τα όρια επικινδυνότητας προσδιορίστηκαν με το σκεπτικό «όχι άμεσες επιπτώσεις στην υγεία», ενώ στην Ανατολή στη βάση «καμία επίπτωση στην υγεία, άμεση ή μακροπρόθεσμη». Όπως ανακοινώθηκε στο συνέδριο του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization, Geneva 1981 “Environmental Health Criteria in Radiofrequency and Microwaves”) «τα όρια επικινδυνότητας των ανατολικών χωρών καθιερώθηκαν με κριτήριο την πλήρη πρόληψη οποιωνδήποτε επιπτώσεων για την υγεία». Ο κ. Λιολιούσης τονίζει για το θέμα αυτό ότι «τα ευρήματα των ερευνών έχουν, κατά συνέπεια υποσκάψει προ πολλού τα θεμέλια των διεθνών ορίων ασφαλείας της Δύσης».

Αναφέρεται, επίσης, ότι «Όλοι οι διεθνείς οργανισμοί ή κράτη που καθόρισαν όρια επικινδυνότητας για την ΗΜΑ συμφωνούν πως η περιοχή συχνοτήτων από 1 έως 1000 MHz είναι η πλέον επικίνδυνη. Κατά ατυχή όμως συγκυρία, σ’ αυτή ακριβώς την περιοχή συχνοτήτων λειτουργούν σήμερα η κινητή τηλεφωνία», καθώς και ότι «οι ραδιοσυχνότητες που εκπέμπονται από κεραίες ραδιοτηλεοράσεων, κινητής τηλεφωνίας κλπ, επηρεάζουν κυρίως τους εργαζόμενους στους χώρους αυτούς, εκτός κι αν κάποιες κεραίες είναι εγκατεστημένες μέσα σε κατοικημένες αστικές περιοχές όπως στην περίπτωση της κινητής τηλεφωνίας, οπότε εκτίθενται ευρύτερες ομάδες πολιτών».

Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι «τα όρια επικινδυνότητας που καθιέρωσε η Ευρωπαϊκή Ένωση πρέπει να θεωρηθούν υψηλά. Τα όρια των υπολοίπων δυτικών οργανισμών ή κρατών είναι χαμηλότερα, ενώ η πρόταση της Αμερικανικής Επιτροπής [National Council of Radiation Protection, NCRP] προσεγγίζει τα όρια των ανατολικών κρατών και δημιουργεί κάποιες ελπίδες για μεγαλύτερη ευαισθησία στην προστασία των πολιτών από τη μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία» .

Τέλος, σχετικά με την προστασία από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, ο κ. Λιολιούσης τονίζει ότι η επιλογή της λήψης όλων των επιβαλλόμενων μέτρων, έστω και αν δεν έχει επιβεβαιωθεί ο κίνδυνος, είναι «η πλέον υπεύθυνη, δεδομένου ότι οι μέχρι σήμερα ενδείξεις αφορούν σε σοβαρότατες ασθένειες, όπως ο καρκίνος». Αυτή είναι η πολιτική της «συνετής αποφυγής» είναι ταυτόσημη με την πολιτική ALARA (As Low As Reasonably Achievable), που υποδεικνύει η έκθεση της επιτροπής NCRP (National Council of Radiation Protection).

- ▶ **Δ. Κουτσούρης**, Καθηγητής του Εργαστηρίου Βιοϊατρικής Τεχνολογίας, του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου

Στην από 25.07.94 γνωμοδότησή του προς το Συνήγορο του Πολίτη, αναφέρει ότι : *«Κατά την προσωπική μας γνώμη, μέχρι εξαγωγής των τελικών συμπερασμάτων, θα πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές ή σε περιοχές με δέκτες κατοίκους που ανήκουν σε ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού, όπως παιδιά (προσχολικής και σχολικής ηλικίας), έγκυες γυναίκες, ηλικιωμένοι κτλ.»*

- ▶ **Ι.Α. Τσουκαλάς**, Καθηγητής και Πρόεδρος του Τμήματος Πληροφορικής της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Στην από 30.09.94 γνωμοδότησή του προς το Συνήγορο του Πολίτη, αναφέρει ότι: *«Γενικώς, υπό τις παρούσες συνθήκες κατανομής Rf συχνοτήτων και συχνοτήτων κινητής τηλεφωνίας στο λεκανοπέδιο της Αττικής, θα θεωρούσαμε επικίνδυνο να υπάρχουν κεραιές κινητής τηλεφωνίας σε απόσταση μικρότερη των 100 μέτρων από κατοικημένες περιοχές, δοθέντος του ότι η αθροιστική επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από διάφορες πηγές και για όρια, όπως αυτά περιγράφονται από τους κανονισμούς ANSI, είναι βλαπτικές για τον άνθρωπο και, φυσικά, για τους νέους οργανισμούς εντελώς. Λεπτομερείς μετρήσεις του συνολικού φάσματος της ΗΜΑ θα απεδείκνυαν την παρούσα θέση μας.»*

- ▶ **Λ. Μαργαρίτης**, Καθηγητής Κυτταρικής Βιολογίας και Ραδιοβιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών

Στην από 14.01.97 γνωμοδότησή του προς το Συνήγορο του Πολίτη αναφέρει ότι: *«Η ΗΜΑ είναι αναμφίβολα επιβλαβής για τον ανθρώπινο οργανισμό. Το ποσοστό βλάβης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, π.χ ένταση πεδίου, συχνότητα, απόσταση κλπ. Το θέμα δεν έχει εξαντληθεί πλήρως από πλευράς επιστημονικής έρευνας. Σχετικά με την εγκατάσταση βάσεως κινητής τηλεφωνίας, η γνώμη μου είναι, ότι θα πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν πιο μακριά από μόνιμες κατοικίες, ώστε να αποφεύγεται η συνεχής έκθεση στην Η/Μ ακτινοβολία ευπαθών ομάδων ατόμων όπως γυναίκες σε κατάσταση εγκυμοσύνης, μικρά παιδιά, άτομα που υποβάλλονται σε φαρμακευτική αγωγή κλπ.»*

Σημειώνεται περαιτέρω ότι σε μελέτη των **Λ. Μαργαρίτη** και **Δ. Παναγόπουλου**, με τίτλο «Βιολογικές Επιπτώσεις από την Ακτινοβολία των Κινητών Τηλεφώνων», [10] αναφέρεται ότι: *« Η ΗΜΑ προκαλεί μη θερμικές επιπτώσεις, οι οποίες αναφέρονται στην επίδραση της ακτινοβολίας στη λειτουργία των κυτταρικών συστατικών. 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. Από βιολογικής σκοπιάς, επειδή η μόνη ασφαλής δόση, όχι μόνο ακτινοβολίας από κινητό τηλέφωνο αλλά και από κάθε άλλο είδος «μόλυνσης», είναι η μηδενική, θα πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν περιορισμένη χρήση των κινητών τηλεφώνων».

► **Σ. Τσιτομενέας**, Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Ηλεκτρονικής του ΤΕΙ Πειραιά.

Σε κείμενό του σχετικό με τις εγκαταστάσεις κεραιών κινητής τηλεφωνίας, αναφέρει [1]:

Α. «Οι λειτουργικές επιπτώσεις από τους σταθμούς βάσης της κυψελωτής τηλεφωνίας προέρχονται από τις πάσης φύσης αλληλεπιδράσεις του σταθμού και των λειτουργιών του με το περιβάλλον. Οι οφθαλμοφανείς λειτουργικές επιπτώσεις είναι οι αισθητικές επιδράσεις που εμφανίζονται ως υποβιβασμός της αισθητικής του τοπίου από τους πυλώνες και τις κεραιές της κυψελωτής τηλεφωνίας. Για το λόγο αυτό τα κριτήρια επιλογής των κεραιών και της θέσης που θα εγκατασταθούν πρέπει να μην είναι μόνο ραδιοηλεκτρικά, αλλά να έχουν και ως κύριο στόχο την ελαχιστοποίηση της αισθητικής ενόχλησης. Οι μη ορατές λειτουργικές επιπτώσεις είναι οι πάσης φύσης ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις με το γήινο ηλεκτρικό πεδίο ή με άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις. Τα τεκμηριωμένα στοιχεία για τις λειτουργικές επιπτώσεις από τους σταθμούς βάσης είναι λίγα. Η έρευνα συνεχίζεται και στοχεύει αρχικά στην ανάδειξη των παραμέτρων της τυχόν επικινδυνότητας, που ενέχουν οι επιδράσεις σε ηλεκτρονικές διατάξεις, από τις οποίες εξαρτάται η ζωή ή η υγεία (αυτοματισμοί, διαγνωστικά, βηματοδότες κλπ)».

Β. «Οι βιολογικές επιπτώσεις, που συνεπάγεται η έκθεση σε ισχυρές NIR, οφείλονται στην απορρόφηση ακτινοβολίας, που προκαλεί μεταβολές και αλλοιώσεις των κυττάρων ή γενικότερα του βιολογικού υλικού. Οι τυχόν βλάβες μπορεί να είναι μη αναστρέψιμες. Οι βιολογικές επιδράσεις διακρίνονται στις θερμικές (thermal), που εκδηλώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών, και στις μη θερμικές («non-thermal, a-thermal») που εκδηλώνονται ποικιλότροπα. Η έκθεση του πληθυσμού σε ασθενείς NIR είναι συνεχής, χωρίς βιολογική επίδραση να έχει προφανείς συνέπειες, ενώ η έκθεση σε ισχυρές επιφέρει βιολογικές επιδράσεις αποδεδειγμένα ή ενδεχόμενα επικίνδυνες για την υγεία. Αναφέρονται επιδράσεις δερματικές, κυτταρολογικές, αναπαραγωγικές, αισθητηριακές, νευρολογικές, γενετικές κλπ». Συμπληρώνεται επίσης ότι: «Η επιστημονική γνώση για τους κινδύνους που συνεπάγεται η πρόσκαιρη ή η μακροχρόνια έκθεση στις NIR, είναι ελλιπής. Οι λειτουργικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και πιθανόν στην υγεία εξαρτώνται από πολλές τοπικές ή ειδικές παραμέτρους και δεν προκύπτουν ευθέως με τους υπολογισμούς ή τις άμεσες μετρήσεις. Συχνά απαιτούνται διαχρονικές παρατηρήσεις-μετρήσεις για την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων. Οι βιολογικές επιπτώσεις στην υγεία εξαρτώνται από την έκθεση και την απορρόφηση της ακτινοβολίας». Τέλος, τονίζεται ότι «πολλές χώρες της Ανατολικής Ευρώπης στηριζόμενες σε παρατηρήσεις μη θερμικών επιδράσεων, έχουν θέσει αυστηρότερα όρια αποδεκτής έκθεσης».

▶ **Ο Δρ. Ν. Cherry** σε άρθρο του, με τίτλο «Επιδράσεις στην υγεία, που σχετίζονται με τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας, σε κατοικημένες περιοχές: η ανάγκη για έρευνα επί των επιπτώσεων στην υγεία» (8 Ιουνίου 2000) [11], αναφέρει ότι: *«Μέχρι σήμερα, οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας, καθώς και κυβερνητικά όργανα, συνεχίζουν να ισχυρίζονται ότι δεν υπάρχουν δεδομένα που να υποστηρίζουν ότι η ακτινοβολία από τα κινητά τηλέφωνα είναι επιβλαβής. Παρ' όλα αυτά υπάρχει μεγάλος αριθμός επιστημονικών μελετών, που ολοένα αυξάνεται, που υποδεικνύει ότι αυτό δεν είναι αληθές. Έρευνες σχετικά με την υγεία των ανθρώπων που διαμένουν κοντά σε σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας, πρέπει να διενεργούνται συνεχώς για τις επόμενες δύο δεκαετίες. Κατά την εκπόνηση των μελετών αυτών, οι ερευνητές θα πρέπει να λάβουν υπόψη την πραγματική μορφή της ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από τους σταθμούς βάσης, και να μην κάνουν το λάθος να υποθέσουν την ύπαρξη μίας απλής, ομοιόμορφης ακτινοβολίας. Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι οι σταθμοί βάσης είναι παράγοντες κινδύνου για καρκίνο, καρδιακή αρρυθμία, νευρολογικές διαταραχές, επιδράσεις στην αναπαραγωγή (εγκυμοσύνη κλπ) και μολυσματικές αρρώστιες. Ένα προτεινόμενο όριο για τη μέση χρόνια έκθεση του κοινού με στόχο την μείωση της επικινδυνότητας είναι, το $10\text{nW}/\text{cm}^2$ ».*

▶ **Ο Δρ. R. Santini**, σε σχετική παρουσίασή του ενώπιον επιτροπής του Γαλλικού Κοινοβουλίου (Μάρτιος 2002) για την εκτίμηση εναλλακτικών τεχνολογιών [12], αναφέρει ότι: *«Σύμφωνα με έκθεση της Αυστραλιανής κυβέρνησης, το κοινό που διαμένει σε απόσταση 200 μέτρων από σταθμούς βάσης διαμαρτύρεται για συμπτώματα, που περιγράφονται σε αρρώστιες που προκαλούνται από έκθεση σε ραδιοσυχνότητες. Η μόνη μελέτη που υφίσταται προς το παρόν έχει πραγματοποιηθεί στην Γαλλία και αφορά 530 άτομα, που διαμένουν σε περιοχές όπου έχουν εγκατασταθεί σταθμοί βάσης. Σε σύγκριση με τα άτομα που διαμένουν σε απόσταση μεγαλύτερη από 300 μέτρα από σταθμούς βάσης, προκύπτουν στοιχεία που δηλώνουν σημαντική αύξηση της συχνότητας των διαμαρτυριών, ανάλογα με την απόσταση. Συνιστάται η εφαρμογή της προφύλαξης, για να αντισταθμιστούν οι επιπτώσεις από τους σταθμούς βάσης της κινητής τηλεφωνίας. Σύμφωνα με την αρχή της προφύλαξης, σταθμοί βάσης δεν πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση μικρότερη των 300 μέτρων από κατοικημένες περιοχές. Όσοι διαμένουν σε περιοχές, όπου έχουν εγκατασταθεί σταθμοί βάσης, δε θα πρέπει να εκτίθενται σε μέση ετήσια ένταση ηλεκτρικού πεδίου μεγαλύτερη από $0.62\text{ m}/\text{V}$ ».*

▶ **Δρ. G. J. Hyland** (Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου “Warwick”, στο Κόβεντρι της Μ. Βρετανίας):

Σύμφωνα με τον **Δρ. G. J. Hyland**: *«Τα υπάρχοντα όρια ασφαλείας, για την έκθεση του κοινού στην ακτινοβολία που χρησιμοποιείται στην κινητή τηλεφωνία, είναι παντελώς ανεπαρκή, ενώ η φιλοσοφία με την οποία υπολογίσθηκαν είναι θεμελιωδώς λανθασμένη. Αποτυγχάνουν τελείως να λάβουν υπόψη την πιθανότητα δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία, που συνδέονται με το γεγονός ότι ζώντες οργανισμοί – και μόνον ζώντες - έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται (αντιδρούν) και σε άλλα «χαρακτηριστικά» της τεχνολογικά παραγόμενης ακτινοβολίας, εκτός από την ένταση, και έτσι μπορούν να αντιδράσουν και σε εντάσεις πολύ πιο χαμηλές από αυτές που θεσπίζονται από τους κώδικες ασφαλείας. Πολλά μέτρα μπορούν να ληφθούν, με σκοπό την άρση των μη αναγκαίων κινδύνων που προκαλούνται από τους σταθμούς βάσης, όπως να διασφαλισθεί ότι τα πεδία, στα οποία εκτίθεται αδιακρίτως και χωρίς την*

θέληση του το κοινό, είναι πολύ χαμηλότερα από τα επιτρεπόμενα όρια που προαναφέρθηκαν, τα οποία είναι 1000 φορές χαμηλότερα από τα επίπεδα - όρια των θερμικών, στην τάξη μεγέθους των "microwatts/cm² (= mW/cm²"). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με την τοποθέτηση των κεραιών σε πολύ υψηλότερους ιστούς ή με την θέσπιση μιας «απαγορευτικής» ζώνης, σαν αυτή των 500 μέτρων που πρότεινε η Ένωση των Τοπικών Κυβερνήσεων της Νέας Νότιας Ουαλίας, (ΟΤΑ) στην Αυστραλία. Το ύψος του ιστού μπορεί να αντικαταστήσει την απαγορευτική ζώνη. Να απαγορευτεί η τοποθέτηση πολλών ιστών στην ίδια περιοχή-στο ίδιο σημείο, και να απαιτηθεί η αντικατάσταση των υπάρχοντων «ομάδων» ιστών από ένα πολύ υψηλό ιστό, ο οποίος θα εξυπηρετεί όλες τις εταιρείες. Κατά τη χωροθέτηση των κεραιών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η τοπογραφία της περιοχής, η ύπαρξη κατοικιών, σχολείων, νοσοκομείων και οποιωνδήποτε άλλων δημόσιων κτηρίων. Η κεραιά πρέπει να τοποθετείται στον ιστό έτσι ώστε η οποιαδήποτε εκπεμπόμενη ακτινοβολία προς οποιαδήποτε κατεύθυνση σε περιοχές πρόσβασης του κοινού να είναι πολύ χαμηλότερη από 1 microwatt/cm². Να μη χρησιμοποιούνται στα ψηφιακά σήματα χαμηλές συχνότητες (amplitude) που συμπίπτουν με τα ανθρώπινα εγκεφαλικά κύματα». Επίσης, σε μεταγενέστερο άρθρο του [2], ο ίδιος επιστήμων αναφέρει ότι: « Η τοποθέτηση των ιστών σταθμών βάσης (κεραιών) σε περιοχές σχολείων νηπιαγωγείων πρέπει να παρεμποδίζεται δυναμικά. Σε σχέση με την έκθεση από σταθμούς βάσης δεν μπορεί να θεσπισθεί μια «απόσταση ασφαλείας» για όλες τις περιπτώσεις. Η μόνη προσέγγιση, που έχει πραγματικό αποτέλεσμα προς το παρόν, είναι να απαιτείται σε περιοχές πρόσβασης του κοινού η ένταση της ακτινοβολίας να είναι χαμηλότερη από 10nW/cm² (10⁻⁴ W/m² – ισοδύναμο με 0,2 V/m)» [13,14]

Οι απόψεις του Δρ. G. J. Hyland έχουν περιληφθεί σε έκθεση, που δημοσιεύθηκε το Μάρτιο 2001 από τη Γενική Διεύθυνση Έρευνας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (STOA) [15]

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Συνήγορος του Πολίτη, *Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, μακροχρόνια έκθεση στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία*. Ειδική έκθεση ν. 3094/2003, Αρ. 3 § 5) Το κείμενο είναι διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.synigoros.gr>
- [2] Environmental Issue Report No 22/2001; <http://reports.eea.eu.int>
- [3] ICNIRP Guidelines, “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)”, *Health Physics*, vol. 74, n° 4, pp. 494-522, 1998.
- [4] CENELEC, ENV 50166-2, European Prestandard ENV 50166-2, *Human Exposure to Electromagnetic Fields High-Frequency: 10 kHz - 300 GHz*, Jan. 1995.
- [5] http://www.who.int/docstore/peh-emf/publications/facts_press/EMF-Precaution.htm
- [6] <http://www.who.int/inf-fs/en/fact193.html>
- [7] <http://www.mcluk.org/zmirou/zmirou.pdf>
- [8] <http://www.iegmp.org.uk/report/text.htm>.
- [9] Λιολιούσης Κ., «Βιολογικές επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Εκδόσεις Δίαυλος. Αθήνα 1997
- [10] <http://kyttariki.biol.uoa.gr>
- [11] <http://pages.britishlibrary.net/orange/cherryonexplevel.htm>
- [12] <http://emrnetwork.org/research/research.htm>, <http://emrnetwork.org/research>
- [13] http://www.e-smog.ch/gsm_oesterreich/nachrichten/phones.htm.,
- [14] http://www.risiko-mobilfunk.at/rmf_hyland.html.
- [15] http://www.europarl.eu.int/stoa/publi/pdf/summaries/00-07-03sum_en.pdf.

Η εφαρμογή της αρχής της προφύλαξης στην ΗΜΑ

► Η Σύσταση 1999/519 του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης [1]

Η επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην ανθρώπινη υγεία έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών τα τελευταία χρόνια, χωρίς, όμως, οι επιστήμονες να έχουν καταλήξει σε συγκεκριμένα αποτελέσματα. Σε σημαντικό αριθμό επιστημονικών ερευνών πιθανολογείται η πρόκληση σοβαρών και μη αναστρέψιμων κινδύνων βλάβης στην υγεία και το περιβάλλον από την έκθεση στην ΗΜΑ της περιοχής των ραδιοσυχνότητων, ιδίως στις περιπτώσεις των κεραιών κινητής τηλεφωνίας. Με βάση τις επιστημονικές αυτές απόψεις, πρέπει να καθιερωθούν προληπτικές κανονιστικές ρυθμίσεις, τουλάχιστον μέχρι να επιβεβαιωθούν οι ισχυρισμοί περί του αντιθέτου [2]. Το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης ανταποκρινόμενο στις απαιτήσεις του άρθρου 3 της Συνθήκης, (σύμφωνα με το οποίο η δράση της Κοινότητας πρέπει να περιλαμβάνει τη συμβολή στην επίτευξη υψηλού επιπέδου προστασίας της υγείας), καθώς και στο από 5.5.1994 Ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (σχετικά με την καταπολέμηση των βλαβερών συνεπειών που προκαλούνται από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία [3]), υιοθέτησε στις 12.07.1999 τη Σύσταση 1999/519 «Περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία» [4]. Η σύσταση αυτή εισάγει πλαίσιο βασικών περιορισμών και επιπέδων αναφοράς για τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, το οποίο έχει καταρτισθεί σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της Διεθνούς Επιτροπής για την προστασία από τις μη ιονίζουσες ακτινοβολίες (ICNIRP) και έχει βασισθεί μόνον σε αποδεδειγμένες επιπτώσεις [5]. Υπό την έννοια αυτή, η Σύσταση φαίνεται μάλλον να ανταποκρίνεται στην αρχή της πρόληψης παρά σε αυτήν την προφύλαξης. Όπως, μάλιστα, ανέφερε χαρακτηριστικά ο εκπρόσωπος της Επιτροπής κατά τη συζήτηση της **E-1275/02** ερώτησης στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο [6]: *«Δεν υπάρχει προς το παρόν κοινοτική νομοθεσία, που να εναρμονίζει τους κανόνες χωροθέτησης των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας. Η Σύσταση του Συμβουλίου 1999/519/ΕΚ της 12^{ης} Ιουλίου 1999 παρέχει κατευθύνσεις για τα όρια ασφαλείας, που πρέπει να γίνουν σεβαστά από τα κράτη μέλη. Τα κράτη μέλη, σε συμφωνία με τη Συνθήκη, μπορούν να καθιερώσουν ανώτερο επίπεδο προστασίας... Έχοντας αντιμετωπίσει τα πιθανά θέματα υγείας από τους σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας [7], η Επιτροπή δε σχεδιάζει προς το παρόν να προτείνει μια ευρύτερη κοινοτική διαδικασία εναρμόνισης ως προς την επιλογή θέσης σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας...»*.

Η συνεργασία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του Π.Ο.Υ για τον περιορισμό των επιπτώσεων από την έκθεση στην ΗΜΑ [1]

Παρά την επιφυλακτικότητα με την οποία αντιμετωπίστηκε στη Σύσταση 1999/519 η εφαρμογή της αρχής της προφύλαξης στο πεδίο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, οι πιο πρόσφατες εξελίξεις αποδεικνύουν ότι η Επιτροπή προσανατολίζεται πλέον σε μια πιο δυναμική προσέγγιση για το ζήτημα αυτό, ιδίως μέσω της συνεργασίας της με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας [90]. Στο πλαίσιο της συνεργασίας αυτής, κοινή επιδίωξη αποτελεί η διαμόρφωση ενός πλαισίου για

την εφαρμογή της αρχής της προφύλαξης στον τομέα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και τη διαμόρφωση τρόπων διαχείρισης του κινδύνου. Κατά τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, [8] η αρχή της προφύλαξης, ως εργαλείο διαχείρισης του κινδύνου, απαιτεί την τήρηση των αρχών της αναλογικότητας, της μη διάκρισης, της συνέπειας (ως προς την λήψη συναφών μέτρων), καθώς και την αξιολόγηση του κόστους της δράσης ή της έλλειψης δράσης και του οφέλους υπέρ της υγείας. Τέλος, απαραίτητη κρίνεται και η συνεχής εκτίμηση των μέτρων που λαμβάνονται κάτω από το φως των νέων επιστημονικών δεδομένων.

Μέχρι τον Ιούνιο του 2000, καμία έρευνα, σε παγκόσμιο επίπεδο, δεν είχε αποδείξει με βεβαιότητα ότι η έκθεση στην ΗΜΑ έχει σοβαρές και μη αναστρέψιμες συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, οι σοβαρότατες ενδείξεις σχετικά με τους μείζονες και μη αναστρέψιμους κινδύνους οδήγησαν τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας στη διεξαγωγή επιδημιολογικής μελέτης ευρείας κλίμακας, για να διαπιστωθούν οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον από την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, στο πλαίσιο της συνεργασίας του με την Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα θέματα υγείας, πρότεινε τη λήψη μέτρων προφύλαξης, με σκοπό την αποφυγή σοβαρών και μη αναστρέψιμων βλαβών στην ανθρώπινη υγεία από την έκθεση του πληθυσμού στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ακόμα και πριν από την ολοκλήρωση της πιο πάνω μελέτης [9,10]. Με την πρόσφατη ανακοίνωσή της για την Ευρωπαϊκή Στρατηγική για το περιβάλλον και την υγεία, η Επιτροπή αναφέρει, μεταξύ άλλων, ότι:

- θα στηρίζει την έρευνα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για τους κινδύνους στην υγεία που προέρχονται από τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, η οποία θα ολοκληρωθεί έως το 2005,
- θα λάβει όλα τα αναγκαία μέτρα προκειμένου να μελετήσει οποιοσδήποτε πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία,
- θα δώσει ιδιαίτερη προσοχή στην προστασία των παιδιών και των εφήβων, ως ευάλωτης ομάδας που εκτίθεται ιδιαιτέρως [11].

Ο έλεγχος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην Ελλάδα υπό το πρίσμα της αρχής της προφύλαξης

Στην Ελλάδα, το βασικό νομικό πλαίσιο για την προστασία από την έκθεση στην ΗΜΑ είναι η ΚΥΑ 53571/3839 της 1.9.2000 (ΦΕΚ Β' 1105/6.9.00). Η ΚΥΑ αυτή, κινούμενη σε ανάλογη κατεύθυνση με αυτήν της Σύστασης 1999/519 του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, θεσπίζει όρια για την ασφαλή έκθεση του πληθυσμού στην ΗΜΑ με βάση τις αποδεδειγμένες μόνον επιδράσεις, χωρίς να περιλαμβάνει περιπτώσεις, για τις οποίες ο κίνδυνος είναι απλώς πιθανολογούμενος αλλά όχι αποδεδειγμένος [12]

Αν και το προοίμιο της Σύστασης 1999/519 του Συμβουλίου αναφέρεται ρητώς στην αρχή της προφύλαξης, που πρέπει να διέπει τη δράση των κρατών μελών στον τομέα της διαχείρισης των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, καμία σχετική διάταξη στην ΚΥΑ 53571/3839/00 δεν παραπέμπει στη λήψη μέτρων στο πλαίσιο της αρχής αυτής. Θα πρέπει να υπενθυμιστεί ότι η αρχή της προφύλαξης βρίσκεται σε πλήρη αρμονία με το άρθρο 24 του Συντάγματος, σύμφωνα με το οποίο το Κράτος έχει υποχρέωση

να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας [13]. Στο πλαίσιο αυτό, η αρχή της προφύλαξης απαιτεί τη ρυθμιστική παρέμβαση του νομοθέτη με την υποχρέωση λήψης θετικών, ως επί το πλείστον, μέτρων, προκειμένου να αποτραπούν βλαβερές ή/ και μη αναστρέψιμες συνέπειες σε βάρος του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας, ακόμη και στην περίπτωση που ο κίνδυνος είναι ενδεχόμενος [14]

Στον τομέα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, και ιδίως στην περίπτωση των κεραιών κινητής τηλεφωνίας, οι εν λόγω προληπτικοί μηχανισμοί μπορούν να ενεργοποιηθούν κατά τη διαδικασία έκδοσης της άδειας εγκατάστασης της κεραίας, που χορηγείται από την Ελληνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ). Η ένταξη της επιστημονικής αβεβαιότητας κατά την εκπόνηση των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, καθώς και των μελετών επικινδυνότητας, και η συμμετοχή επιστημόνων υγείας σε αυτές, ειδικευμένων στο αντικείμενο, αποτελούν ένα μηχανισμό διαχείρισης του ενδεχόμενου κινδύνου από την εγκατάσταση και λειτουργία των κεραιών της κινητής τηλεφωνίας, στο πλαίσιο της εφαρμογής των αρχών της προφύλαξης και της αειφορίας. Η ενδυνάμωση του εν λόγω προληπτικού ελέγχου μπορεί να επιτευχθεί με την πρόβλεψη υποχρεωτικής έγκρισης της μελέτης των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών από την Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) πριν από τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης από την ΕΕΤΤ. Η πρόβλεψη αυτή καθίσταται επιτακτικότερη δεδομένου ότι, σύμφωνα με το ισχύον νομικό καθεστώς, αν παρέλθει χρονικό διάστημα ενός (1) μηνός από την παραλαβή της σχετικής μελέτης, η άδεια εγκατάστασης χορηγείται ακόμα και χωρίς τη σύμφωνη γνώμη της ΕΕΑΕ. Είναι προφανές ότι η έλλειψη γνωμοδότησης της ΕΕΑΕ οδηγεί στην έκδοση της άδειας εγκατάστασης κεραίας, χωρίς προηγουμένως να έχει γίνει ουσιαστικός έλεγχος των επιπτώσεων αυτής, αφού δεν είναι δυνατόν να διαπιστωθούν τυχόν πλημμέλειες ή ανεπάρκειες, που θα μπορούσαν να αποτελέσουν λόγο απόρριψης της αιτούμενης άδειας.

Επιπροσθέτως, η πιο πάνω απαιτούμενη μελέτη επικινδυνότητας, η οποία υποβάλλεται προς έγκριση στην ΕΕΑΕ, δεν αναφέρεται σε όλες τις επιστημονικές απόψεις που έχουν διατυπωθεί στο συγκεκριμένο ζήτημα, ούτε επισημαίνει κρίσιμα πραγματικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα σε πόση απόσταση από την κεραία βρίσκονται οικίες, σχολεία, παιδικοί σταθμοί κλπ. Οι ελλείψεις αυτές είναι δυνατόν, υπό το πρίσμα της αρχής της προφύλαξης, να εμποδίζουν τη διοίκηση να σχηματίσει ορθή κρίση για τη χορήγηση ή μη τη άδειας εγκατάστασης [1, 15]. Με τα δεδομένα αυτά, η διοίκηση, εν προκειμένω η ΕΕΤΤ, δεν μπορεί να σταθμίσει, με τις υπάρχουσες απαιτήσεις, όπως προκύπτουν από τη σχετική νομοθεσία, αν η χορήγηση της άδειας έρχεται σε αντίθεση με την προστασία των θεμελιωδών δικαιωμάτων του περιβάλλοντος και της υγείας, όπως αυτά προσδιορίζονται στο Σύνταγμα [16]. Δεδομένου ότι πολλοί από τους κινδύνους για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία, όπως αυτοί που συνδέονται με τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, δεν είναι γνωστοί, ούτε μετρήσιμοι, αλλά ενδεχόμενοι και πιθανοί, η υιοθέτηση και εφαρμογή προληπτικών μηχανισμών ελέγχου στο πλαίσιο της αρχής της προφύλαξης κρίνεται καθοριστικής σημασίας για την προστασία του περιβάλλοντος και της υγείας [1,17]. Άλλωστε, πρέπει να υπενθυμιστεί ότι, υπό το πρίσμα της αρχής της προφύλαξης, η επιστημονική αβεβαιότητα σχετικά με τους πιθανολογούμενους κινδύνους από τις εν λόγω ακτινοβολίες δημιουργεί τεκμήριο υπέρ της υγείας και του περιβάλλοντος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Συνήγορος του Πολίτη, *Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, μακροχρόνια έκθεση στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία*. Ειδική έκθεση ν. 3094/2003, Αρ. 3 § 5) Το κείμενο είναι διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.synigoros.gr>
- [2] Μπάλιας Γ., Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, όπ.π. σελ. 46 επ., Santini et al., *Pollutions electromagnetiques de l'environnement*, M.Pietteur éditeur, Belgique, 2000
- [3] ΕΕ C 205 της 25.7.1994, σ. 439
- [4] L 199/59 της 30.07.1999.
- [5] 10η αιτιολογική σκέψη της Σύστασης του Συμβουλίου.
- [6] OJ C 229 E, 26/09/2002 (p. 199).
- [7] Μέσω των Οδηγιών 99/5/EK και 97/33/EK και της Σύστασης 1999/519/EK
- [8] Application of the Precautionary Principle to Electromagnetic Fields, Conference of 24-26 February 2002, Luxemburg, Organized by European Commission and World Health Organization, Rapporteur Report.
- [9] European Commission and World Health Organization announcement for their cooperation, Press Release, Brussels, 14.12.2000. Το κείμενο είναι διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://europa.eu.int/comm/dgs/health-consumer>
- [10] OMS, *Champs electromagnetiques et santé publique. Politiques de précaution*, Γενεύη, Μάρτιος 2000. Το κείμενο είναι διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts>
- [11] Ευρωπαϊκή Στρατηγική για το Περιβάλλον και την Υγεία, όπ.π σελ. 22
- [12] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. *Οι επιπτώσεις της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον*, Βρυξέλλες, Μάρτιος 2001
- [13] Πρακτικά Ημερίδας, "Το άρθρο 24 του Συντάγματος μετά την αναθεώρησή του, Εκδόσεις Αντ. Σάκκουλα, Αθήνα - Κομοτηνή 2002.
- [14] Καράκωστα Ι., "Περιβάλλον και Δίκαιο", Εκδόσεις Αντ. Σάκκουλα, Αθήνα 2000, σελ. 21 επ, Μπάλιας Γ., Τα Ηλεκτρομαγνητικά πεδία, όπ.π σελ 44
- [15] No 194348 in Conseil d' Etat, Rapport public 1999, L' intérêt général, La documentation française, Mars 1999, σελ 44 επ.
- [16] Μπάλιας Γ. Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία, όπ.π. σελ. 53
- [17] Santini R. et al., *Guide Pratique Européen des Pollutions Electromagnetiques de l'environnement*, όπ.π σελ. 70

Η νομολογία των πολιτικών δικαστηρίων [1]

Οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας και οι επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον έχουν απασχολήσει μέχρι σήμερα επανειλημμένως τα πολιτικά δικαστήρια, ιδίως στο πλαίσιο της παροχής προσωρινής δικαστικής προστασίας (ασφαλιστικά μέτρα). Η σχετική νομολογία παραμένει κυμαινόμενη, αποτυπώνοντας με σαφήνεια την επιστημονική αμφιβολία ως προς το ζήτημα αυτό. Περαιτέρω, ο μεγάλος αριθμός αποφάσεων μαρτυρεί τη διάχυτη ανησυχία των πολιτών -ιδίως αυτών που διαμένουν σε κτήρια γειτονικά με εκείνα πάνω στα οποία έχουν εγκατασταθεί ή πρόκειται να εγκατασταθούν κεραίες- ως προς τις πιθανολογούμενες ζημιογόνες συνέπειες από την έκθεση του πληθυσμού στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ανησυχία αυτή ενισχύεται από την έλλειψη πλήρους γνώσης των επιβλαβών για την υγεία συνεπειών, αλλά και την επιστημονική διχογνωμία που υφίσταται για το συγκεκριμένο ζήτημα.

▶ Με την **2260/1998** απόφαση του Μονομελούς Πρωτοδικείου Πατρών απορρίφθηκε αίτημα περί απαγόρευσης εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας, με την αιτιολογία ότι οι αιτούντες δεν πιθανολόγησαν συγκεκριμένη βλάβη της υγείας τους από τις επικείμενες εγκαταστάσεις των επίμαχων κεραιών *«πλην της αναφοράς γενικώς και αορίστως επιβλαβών συνεπειών από την τοποθέτησή τους»*.

▶ Το Μονομελές Πρωτοδικείο Πάτρας, με τη 1558/1998 απόφασή του, έκανε δεκτή την αίτηση κατοίκων περιοχής περί απαγόρευσης εγκατάστασης κεραίας κινητής τηλεφωνίας σε ακίνητο, το οποίο βρισκόταν σε Κοινότητα του Ν. Αχαΐας, πιθανολογώντας την ύπαρξη σοβαρών επιπτώσεων στην υγεία των περιοίκων. Το Πρωτοδικείο αναφέρθηκε, αρχικά, στο μεγάλο αριθμό εργασιών που υπάρχει στη διεθνή βιβλιογραφία, σύμφωνα με τις οποίες τα άτομα που έχουν εκτεθεί σε πεδίο ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας έχουν αυξημένο κίνδυνο να εμφανίσουν ορισμένα νοσήματα και βιολογικές διαταραχές, ενώ στη συνέχεια μνημόνευσε την ύπαρξη επιστημονικών μελετών με αντίθετο περιεχόμενο. Το γεγονός, όμως, αυτό δεν μπορεί να εμποδίζει, κατά το Πρωτοδικείο, τη λήψη μέτρων προστατευτικών για την ανθρώπινη υγεία, ιδίως εν όψει των επιστημονικών δημοσιεύσεων, από τα οποία προκύπτει ότι τα ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία προδιαθέτουν στην εμφάνιση νόσων, οι οποίες είναι πάντοτε οι ίδιες. Με τις σκέψεις αυτές, το Πρωτοδικείο έκρινε ότι, προκειμένου να προστατευθεί η υγεία των πολιτών, θα πρέπει οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας να μην τοποθετούνται σε γειτνίαση με κατοικίες. Επικαλούμενο μάλιστα και παραδείγματα άλλων χωρών, υπέδειξε την τοποθέτηση των εγκαταστάσεων κινητής τηλεφωνίας σε απόσταση 300 μέτρων από κατοικημένες περιοχές, κυρίως μάλιστα από νοσοκομεία και σχολεία, ενώ επεσήμανε και τη δυνατότητα των εταιρειών, με κάποιο επιπλέον κόστος, να κατασκευάζουν πύργους τουλάχιστον 500 μέτρα από κατοικίες και να χρησιμοποιήσουν κεραίες μεγάλης απολαβής.

▶ Το Μονομελές Πρωτοδικείο Ηρακλείου, με την **802/2003** απόφασή του, έκανε δεκτή την αίτηση κατοίκου όμορου ακινήτου, πάνω στο οποίο είχαν αρχίσει οι εργασίες εγκατάστασης σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας, χωρίς ο κάτοχος να διαθέτει σχετική άδεια, και απαγόρευσε τη σχετική εγκατάσταση. Σημειωτέον ότι το Δικαστήριο δεν περιορίστηκε μόνο στο γεγονός ότι η επιχειρούμενη εγκατάσταση δεν διέθετε άδεια κατασκευής, αλλά έκρινε περαιτέρω ότι η γνωμάτευση της ΕΕΑΕ, την

οποία είχε λάβει προηγουμένως ο κάτοχος της κεραίας και σύμφωνα με την οποία δεν υφίστατο ενδεχόμενο έκθεσης του γενικού πληθυσμού σε επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας πέραν των ορίων ασφαλούς έκθεσης, δεν μπορεί να πιστοποιήσει ότι δεν υφίστανται κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία. Ειδικότερα, κατά το Δικαστήριο: «*Η έκδοση της ΚΥΑ 53577/3839/1.9.00, η οποία θεσπίζει τα όρια της έκθεσης του πληθυσμού στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, υπαγορεύτηκε, κυρίως, από την ανάγκη κάλυψης των τεχνολογικών απαιτήσεων της κινητής τηλεφωνίας εις εκπλήρωση των υποχρεώσεων που το Ελληνικό Δημόσιο έχει αναλάβει τόσο απέναντι στις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας με τους όρους παραχωρήσεως της άδειας, όσο και απέναντι στην ΕΟΚ για ταχεία λειτουργία του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Οι λόγοι αυτοί, όμως, δεν μπορούν να άγουν το Δικαστήριο σε ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τις επιδράσεις της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που εκπέμπει μια κεραία κινητής τηλεφωνίας, στην υγεία των ανθρώπων που κινούνται και δραστηριοποιούνται σε χώρους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το σημείο που είναι εγκατεστημένη η κεραία, δεδομένου ότι το όριο έκθεσης, εξαρτάται από τη θέση στην οποία βρίσκονται τα άτομα.*». Επιπροσθέτως, το Δικαστήριο τόνισε ότι η γνωμάτευση της ΕΕΑΕ στηρίχθηκε σε θεωρητική μελέτη ειδικών, χωρίς να γίνουν επιτόπιες μετρήσεις για τη διαπίστωση των προϋποθέσεων εγκατάστασης της κεραίας στη συγκεκριμένη περιοχή. *"Πέραν τούτου όμως, δεν έχει διασφαλιστεί έλεγχος τήρησης των ορίων έκθεσης του πληθυσμού στην ΗΜΑ που εκπέμπουν οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας, που τοποθετούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές της πόλεως του Ηρακλείου και αυτό γιατί η εκπομπή αυτών ευχερώς μεταβάλλεται, χωρίς να υπάρχει δυνατότητα μέτρησης από ειδικούς, αφού δεν υπάρχει προς τούτο ειδική υπηρεσία στην πόλη του Ηρακλείου, η επιμέλεια δε και η δαπάνη της διαπίστωσης αυτής είναι βέβαιο ότι αναίτια θα βαρύνει τους αιτούντες, οι οποίοι είναι βέβαιο ότι κάτω από αυτές τις συνθήκες, αισθάνονται ανήσυχoi και ανασφαλείς με τις επιπτώσεις που θα έχει στο μέλλον τους και την υγεία τους η καθ' υπέρβαση των ορίων εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία διαχέεται στο περιβάλλον που καθημερινά ζουν και κινούνται".* Άλλωστε, κατά το Πρωτοδικείο: *"το αγαθό της υγείας του ανθρώπου είναι ανεκτίμητο και δεν επιδέχεται πειραματισμό ή αντιπαράθεση με αμφίβολα υλικά αγαθά της σύγχρονης τεχνολογίας, των οποίων η εξασφάλιση συνήθως προϋποθέτει τη διακινδύνευσή της (της υγείας).*». Με το σκεπτικό αυτό το Δικαστήριο κατέληξε ότι πιθανολογείται ότι συντρέχει επικείμενος κίνδυνος από τη λειτουργία του σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας και, ρυθμίζοντας προσωρινά την κατάσταση, απαγόρευσε την εγκατάσταση και τη λειτουργία αυτού.

▶ Το **Μονομελές Πρωτοδικείο Θεσσαλονίκης**, με τη **4598/2003** απόφασή του, απαγόρευσε την εγκατάσταση και λειτουργία κεραίας κινητής τηλεφωνίας στην περιοχή Πράσινο Λόφος Φιλυρού Θεσσαλονίκης. Είναι χαρακτηριστικό ότι, αν και ο κάτοχος της κεραίας διέθετε άδεια εγκατάστασης της αρμόδιας αρχής και είχε λάβει και τις λοιπές εγκρίσεις, το Δικαστήριο δε δίστασε να απαγορεύσει την εγκατάσταση και λειτουργία της, εν όψει του γεγονότος ότι η επίμαχη κεραία κινητής τηλεφωνίας, η οποία επρόκειτο να εγκατασταθεί σε αναδασωμένη περιοχή, στην οποία επιτρέπονται μόνο αναψυκτήρια και εν γένει πολιτιστικές εγκαταστάσεις, καθώς και χώροι συνάθροισης κοινού, βρισκόταν σε απόσταση μόλις 5 μέτρων από το στρατόπεδο της περιοχής, 25 μέτρων από την εκκλησία του Προφήτη Ηλία, 150 μέτρων από το μεγάλο φυσικό δάσος, όπου κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού τα σχολεία πραγματοποιούν ημερήσιες εκδρομές, 150 μέτρων από το

Παιδικό Χωριό ΣΟΣ Βορείου Ελλάδος και 80-100 μέτρων από τις κατοικίες των αιτούντων. Με τα δεδομένα αυτά, το Δικαστήριο κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι περίοικοι θα έχουν άμεση έκθεση στις εκπεμπόμενες ΗΜΑ και, ως εκ τούτου, ενδέχεται να υπάρχει κίνδυνος για την υγεία τους. Το Δικαστήριο αιτιολόγησε τη θέση του αυτή επικαλούμενο σχετικό έγγραφο του Υπουργείου Υγείας (Υ2/3328/13.10.97), σύμφωνα με το οποίο θα πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάσταση των βάσεων κεραιών κινητής τηλεφωνίας σε απόσταση μικρότερη των 58-100 μέτρων, καθώς και μεγάλο αριθμό μελετών και ερευνών έγκριτων επιστημόνων και Καθηγητών Πανεπιστημίου, σύμφωνα με τις οποίες οι ΗΜΑ είναι αναμφίβολα επιβλαβείς για τον ανθρώπινο οργανισμό και για το λόγο αυτό θα πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν πιο μακριά από κατοικημένες περιοχές, ώστε να αποφεύγεται η συνεχής έκθεση στην ΗΜΑ ευπαθών ατόμων. Το γεγονός ότι η επιστήμη δεν έχει ακόμα καταλήξει σε ασφαλή και οριστικά συμπεράσματα σχετικά με την επικινδυνότητα των ακτινοβολιών αυτών στην υγεία, δικαιολογεί, κατά το Δικαστήριο, επιφυλακτικότητα για την εγκατάσταση σταθμών πλησίον κατοικιών, αφού έτσι πιθανολογείται ότι η έκθεση των κατοίκων στην ακτινοβολία θα θέσει σε κίνδυνο την υγεία τους. Κατά συνέπεια, *"η επιστημονική αβεβαιότητα δημιουργεί τεκμήριο υπέρ της υγείας και του περιβάλλοντος με βάση την αρχή της προφύλαξης"*.

Παρατηρήσεις επί της νομολογίας [1]

Η διακύμανση της νομολογίας των πολιτικών δικαστηρίων είναι ανάλογη με τη σημαντική διαφοροποίηση που επικρατεί ως προς την αντιμετώπιση του ζητήματος της εγκατάστασης σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας σε κατοικημένες περιοχές. Το γεγονός ότι η επιστήμη δεν έχει καταλήξει σε ασφαλή και οριστικά συμπεράσματα σχετικά με την επικινδυνότητα των ακτινοβολιών αυτών, δικαιολογεί, όπως έχει κριθεί με σειρά αποφάσεων, μεγαλύτερη επιφυλακτικότητα για την εγκατάσταση σταθμών πλησίον κατοικιών, αφού έτσι πιθανολογείται ότι η έκθεση των κατοίκων θα θέσει σε κίνδυνο την υγεία τους.

Έτσι, σε περίπτωση επιστημονικής αμφιβολίας, η νομολογία δέχεται το τεκμήριο υπέρ της προστασίας της υγείας, το οποίο εδράζεται στον πυρήνα της αρχής της προφύλαξης. Είναι μάλιστα χαρακτηριστικό ότι τα πολιτικά δικαστήρια, με πρόσφατες αποφάσεις τους, απαγόρευαν την εγκατάσταση και λειτουργία κεραιών κινητής τηλεφωνίας, αν και οι κάτοχοι διέθεταν άδεια της αρμόδιας αρχής ή τη σύμφωνη γνώμη της ΕΕΑΕ για τη μελέτη επικινδυνότητας, αμφισβητώντας, με τον τρόπο αυτό, την αξιοπιστία των ορίων ασφαλούς έκθεσης που τίθενται στην ΚΥΑ 53571/3839/2000, αλλά και την πληρότητα της διαδικασίας που ακολουθείται σύμφωνα με αυτήν, εφόσον *"το ζήτημα παραμένει ανοικτό στην επιστημονική έρευνα, χωρίς οριστική και βέβαιη απάντηση, όχι τόσο ως προς την επικινδυνότητα, ως προς την οποία συγκλίνουν οι περισσότερες απόψεις, αλλά ως προς τα όρια και τις τιμές αυτής"*.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι όλες οι αποφάσεις, με τις οποίες απαγορεύτηκε η εγκατάσταση και λειτουργία σταθμών βάσης κεραιών κινητής τηλεφωνίας, εκδόθηκαν στο πλαίσιο της διαδικασίας ασφαλιστικών μέτρων, όπου ο δικαστής οφείλει μόνο να πιθανολογήσει και όχι να εξαγάγει με βεβαιότητα συμπεράσματα για την απειλούμενη βλάβη στην ανθρώπινη υγεία από τις επίμαχες εγκαταστάσεις. Είναι προφανές ότι η φύση της διαδικασίας προσωρινής δικαστικής προστασίας

εναρμονίζεται πλήρως με την πιθανολόγηση του κινδύνου από τις ΗΜΑ και την επιστημονική αβεβαιότητα, που υφίσταται για το ζήτημα, γεγονός που βοήθησε τον πολιτικό δικαστή να συμβάλει, έστω και προσωρινά, στην προστασία της υγείας των αιτούντων κατοίκων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Συνήγορος του Πολίτη, *Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, μακροχρόνια έκθεση στη μη ιονίζουσα ακτινοβολία*. Ειδική έκθεση ν. 3094/2003, Αρ. 3 § 5) Το κείμενο είναι διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.synigoros.gr>

ΔΕΔΟΜΕΝΑ:

Στο πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων μέτρησης της έντασης της ακτινοβολίας και οι αντίστοιχες τιμές της.

Κατηγορία Περιοχής	ID	POINT_X	POINT_Y	E-field 6 min AVG c.i.s
ΠΑΡΚΟ	1	461306.931986	4329949.96734	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	2	461279.514476	4329931.97460	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	3	461249.071402	4329666.28715	0.25
ΠΑΡΚΟ	4	461245.535386	4329511.65472	0.56
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	5	461160.082517	4329458.69801	1.51
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	6	461161.887859	4329441.84815	2.76
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	7	461200.401828	4329445.45884	2.54
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	8	461233.499771	4329473.14075	0.43
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	9	461313.536614	4329558.59362	0.25
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	10	461409.219756	4329540.54020	0.27
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	11	461425.467837	4329678.94978	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	12	461392.177137	4329813.76277	0.26
ΓΗΠΕΔΟ	13	461342.060670	4329943.96976	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	14	461624.108862	4329533.56424	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	15	461577.508487	4329628.70667	0.22
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	16	461478.929277	4329609.96944	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	17	461440.406301	4329608.72676	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	18	461467.745187	4329678.31666	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	19	461436.678271	4329777.73079	0.24
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	20	461423.008827	4329853.53407	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	21	461451.590391	4329884.60098	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	22	461349.360818	4329882.09621	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	23	461366.835959	4329785.98294	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	24	461342.564930	4329641.32761	0.2

ΠΑΡΚΟ	25	461123.304643	4329521.41612	0.43
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	26	461179.982135	4329510.82219	0.46
ΠΑΡΚΟ	27	461755.155432	4329371.86929	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	28	461856.280117	4329368.04295	0.23
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	29	461902.196190	4329331.96604	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	30	461924.607607	4329216.08261	0.2
5Ο ΔΗΜΟΤΙΚΟ	31	462038.304550	4329307.91476	0.25
ΠΕΙΡΑΜ. ΓΥΜΝΑΣΙΟ	32	462007.147215	4329337.97885	0.69
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	33	461979.816219	4329341.25857	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	34	462083.127383	4329411.22592	0.29
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	35	462113.191479	4329320.48702	0.21
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	36	462025.185672	4329211.70965	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	37	461784.672907	4329271.29122	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	38	461740.943314	4329330.87280	0.2
ΠΑΡΚΟ	39	461733.290635	4329473.54059	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	40	461571.543227	4329366.37143	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	41	461500.979128	4329314.18957	0.2
8Ο ΔΗΜΟΤΙΚΟ	42	461543.080397	4329230.58001	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	43	461527.070055	4329136.88986	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	44	461442.274542	4329262.00772	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	45	461329.609174	4329366.37143	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	46	461249.557465	4329403.72889	0.78
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	47	461300.553368	4329441.67933	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	48	461405.510053	4329465.39836	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	49	461521.140299	4329452.35289	0.2
ΠΑΡΚΟ	50	461579.844886	4329440.49338	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	51	461680.057766	4329313.00362	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	52	461604.156886	4329218.12752	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	53	461536.127472	4328931.07880	0.2
ΠΡΟΑΥΛΙΟ ΣΧΟΛΕΙΟΥ	54	461548.469669	4329009.62005	0.2

ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	55	461506.955008	4329027.57233	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	56	461475.538508	4328985.49666	0.2
ΠΑΡΚΟ	57	461383.945590	4329053.42023	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	58	461387.460105	4329208.77822	0.24
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	59	461362.214703	4329150.43329	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	60	461407.095418	4329150.99430	0.34
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	61	461435.145864	4329184.65483	0.22
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	62	461458.147231	4329115.08973	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	63	461344.262417	4328988.30171	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	64	461378.483962	4328924.34669	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	65	461468.245391	4328899.10129	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	66	461629.595872	4329044.29263	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	67	461681.731918	4329078.08451	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	68	461705.868976	4329177.52919	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	69	461780.211114	4329115.73832	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	70	461874.763475	4329074.72723	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	71	461903.890211	4329009.48334	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	72	461914.958370	4329092.78581	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	73	461984.862535	4329118.99987	0.2
ΠΑΡΚΟ	74	462044.281076	4328974.53126	0.2
ΠΑΡΚΟ	75	462053.601631	4328804.43112	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	76	461657.167188	4328908.36709	0.2
2Ο ΓΥΜΝΑΣΙΟ	77	461736.374190	4328941.91858	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	78	461785.852022	4329010.29567	0.2
ΠΑΡΚΟ	79	461815.368840	4329185.27307	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	80	462240.391761	4328788.73933	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	81	462362.879811	4328742.95497	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	82	462213.634662	4328827.38848	0.2
ΠΑΡΚΟ	83	462267.148859	4328880.90267	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	84	462191.039779	4329052.74270	0.2

ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	85	462207.859886	4328936.93085	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	86	462159.758947	4328954.58815	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	87	462194.150738	4328870.92287	0.2
ΠΛΑΤΕΙΑ	88	461858.809944	4328812.03746	0.41
ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΣ	89	461817.679831	4328784.61738	0.4
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	90	461856.067936	4328898.86770	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	91	461914.564097	4328966.50388	0.2
ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΣ	92	461961.178225	4328791.01540	0.37
ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΣ	93	462073.600535	4328538.75070	0.37
ΠΑΡΚΙΝΓΚ	94	462257.315040	4328611.87091	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	95	461628.924909	4328802.59108	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	96	461522.488922	4328713.99939	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	97	461662.094310	4328724.70597	0.2
ΠΡΟΑΥΛΙΟ ΝΑΟΥ (ΑΓ. ΘΕΡΑΠΩΝ)	98	461638.371891	4328644.72153	0.2
ΠΡΟΑΥΛΙΟ ΣΧΟΛΕΙΟΥ	99	461655.951691	4328561.31866	0.2
ΠΑΔΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	100	461599.278696	4328608.36294	0.43
ΠΕΙΡΑΜ. ΛΥΚΕΙΟ	101	461576.235708	4328569.50613	0.72
ΙΟ ΔΗΜΟΤΙΚΟ	102	461560.421893	4328528.39021	1.4
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	103	461495.773444	4328525.44391	0.7
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	104	461449.432268	4328543.53386	0.41
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	105	461528.342440	4328491.79253	1.37
ΠΡΟΑΥΛΙΟ ΜΠΙΝΕΙΟΥ	106	461536.390809	4328601.23825	5.6
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	107	461472.783370	4328819.09657	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	108	461364.574384	4328813.02769	0.2
ΠΡΟΑΥΛΙΟ ΣΧΟΛΕΙΟΥ	109	461302.367685	4328877.44776	0.23
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	110	461213.484873	4328939.83343	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	111	461216.964719	4328803.36477	0.39
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	112	461478.177089	4328649.60199	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	113	461438.209884	4328715.18245	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	114	461339.820766	4328717.35793	0.2

ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	115	461246.961213	4328697.81284	0.21
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	116	461185.232623	4328618.38872	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	117	461250.664929	4328557.48318	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	118	461544.209763	4328644.85979	0.92
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	119	461693.053160	4328623.73853	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	120	461747.374319	4328578.47090	0.21
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	121	461793.876524	4328423.32638	0.25
ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΣ	122	461738.320793	4328752.54553	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	123	461395.130527	4328486.21353	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	124	461246.548714	4328436.86506	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	125	461071.683474	4328330.65857	0.26
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	126	461177.565032	4328251.21058	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	127	461254.196311	4328310.25435	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	128	461433.840129	4328347.94186	0.37
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	129	461610.343321	4328316.53560	0.21
ΠΑΡΚΟ	130	461651.799586	4328361.13249	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	131	461553.812049	4328423.31689	0.33
ΠΑΡΚΟ	132	461703.933981	4328513.76693	0.22
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	133	461327.474458	4328626.33874	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	134	461061.404557	4328604.02592	0.23
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	135	460956.576385	4328663.38645	0.2
6Ο ΔΗΜΟΤΙΚΟ	136	461642.651468	4328175.06353	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	137	461695.330503	4328046.57808	0.33
ΠΑΡΚΟ	138	461618.881660	4327976.55351	0.2
ΑΘΛΗΤΙΚΟ ΓΥΜΝΑΣΙΟ	139	461599.503804	4327903.30442	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	140	461535.872768	4328057.69434	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	141	461439.152848	4328103.06912	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	142	461276.161872	4328100.08394	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	143	461121.529407	4328107.24838	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	144	461344.764339	4328019.95320	0.2

4Ο ΓΥΜΝΑΣΙΟ	145	461248.057102	4327878.30416	0.3
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	146	461112.525792	4328050.07127	0.2
ΤΕΕ-2Ο-3Ο ΛΥΚΕΙΟ	147	461089.466646	4327824.65635	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	148	461196.997564	4327741.36107	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	149	461399.588636	4327736.41982	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	150	461533.472864	4327790.77352	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	151	461401.706313	4327859.24507	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	152	461623.817574	4327727.61384	0.2
ΠΑΡΚΟ	153	461622.052535	4327455.79777	0.21
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	154	461813.559311	4327413.87808	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	155	461723.542301	4327357.39682	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	156	461640.585448	4327303.12186	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	157	461470.259145	4327429.76343	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	158	461558.511116	4327575.37919	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	159	461688.682773	4327577.14423	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	160	461831.650965	4327634.50801	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	161	461776.052224	4327730.70266	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	162	461425.464966	4327506.13847	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	163	461322.768250	4327502.33489	0.27
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	164	461217.535813	4327501.06703	0.31
ΠΑΡΚΟ	165	461147.169544	4327528.32604	0.29
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	166	461112.303375	4327456.69191	0.2
ΠΑΡΚΟ	167	461036.865664	4327408.51320	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	168	461149.705266	4327377.45061	0.21
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	169	461235.919793	4327584.74584	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	170	461130.053425	4327651.94245	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	171	461081.874719	4327740.69270	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	172	461384.259493	4327584.74584	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	173	461568.470901	4327263.20663	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	174	461561.121008	4327093.49092	0.2

ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	175	461465.572400	4327061.41866	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	176	461314.565509	4327191.04404	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	177	461388.732610	4327285.25630	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	178	461270.466151	4327372.78685	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	179	461414.515290	4327232.15305	0.3
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	180	461371.115048	4327194.65053	1.38
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	181	461671.313265	4327223.06153	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	182	461091.267415	4328792.24358	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	183	461104.069043	4328876.73432	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	184	461007.061153	4328841.74321	0.28
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	185	460950.449511	4328876.73432	0.29
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	186	460770.942243	4328784.27812	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	187	460600.538355	4328822.39853	0.56
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	188	460608.219331	4328761.80416	0.38
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	189	460735.666647	4328700.92530	0.21
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	190	460840.071032	4328711.16661	0.2
ΠΑΡΚΟ	191	460898.389558	4328782.00228	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	192	460910.053264	4328675.32205	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	193	461115.163787	4328721.40791	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	194	461610.996397	4326954.23283	0.37
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	195	461662.474791	4326872.84131	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	196	461737.953245	4326980.66768	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	197	461866.997055	4326968.14591	0.2
ΠΑΡΚΟ	198	461858.997035	4327102.40712	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	199	461787.453612	4327303.97922	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	200	461785.067784	4327170.37283	0.2
ΠΑΡΚΟ	201	461689.634650	4327151.28620	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	202	461905.154476	4327167.19173	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	203	461977.524602	4327326.24695	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	204	462066.461949	4327134.80840	0.2

ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	205	462116.963597	4327017.16609	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	206	462287.935062	4326424.34509	0.2
5Ο ΛΥΚΕΙΟ	207	462134.228082	4326860.57500	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	208	462482.359172	4326487.61100	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	209	462774.486250	4326683.68151	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	210	462372.631636	4326794.84810	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	211	461938.987498	4327532.75313	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	212	461900.313039	4328349.41380	0.27
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	213	460954.842222	4329144.55566	1.09
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	214	461029.233832	4329116.39262	0.5
ΠΑΡΚΟ	215	461032.433269	4328477.79597	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	216	461015.784070	4328533.72020	0.31
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	217	461095.614845	4328520.05932	0.24
ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ	218	461180.270995	4327068.32470	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	219	461168.864414	4326963.02916	1.62
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	220	461120.464346	4326974.73436	0.24
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	221	461299.445003	4326431.84838	0.36
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	222	461342.990638	4326334.54629	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	223	462703.979886	4329355.22529	0.2
ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	224	461366.923530	4330071.32970	0.2

