

Εκτίμηση της Έκθεσης από Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών

Ιωάννης Ν. Σάχαλος
Καθηγητής Ραδιοεπικοινωνιών Α.Π.Θ.

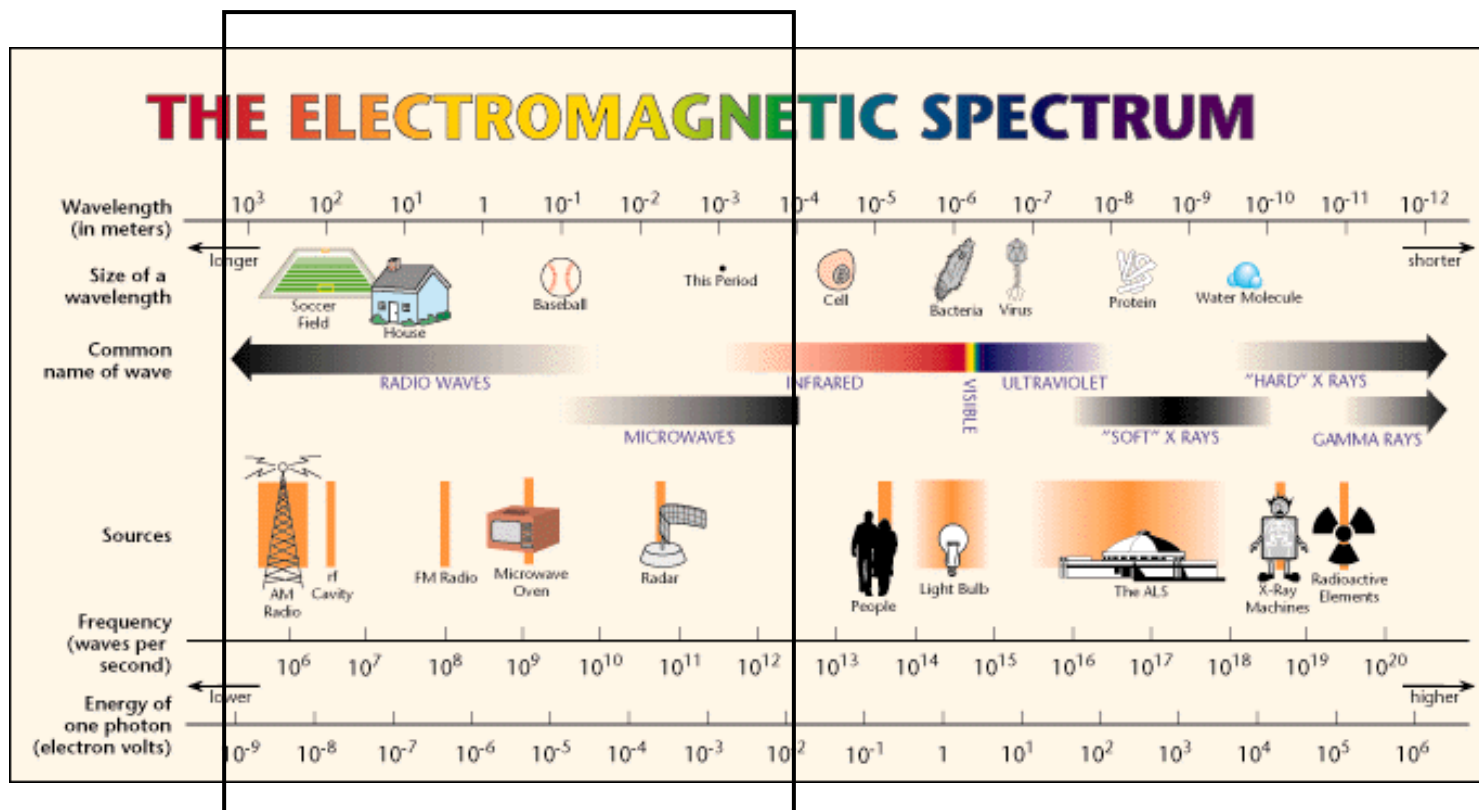


Εργαστήριο Ραδιοεπικοινωνιών
Τμήμα Φυσικής

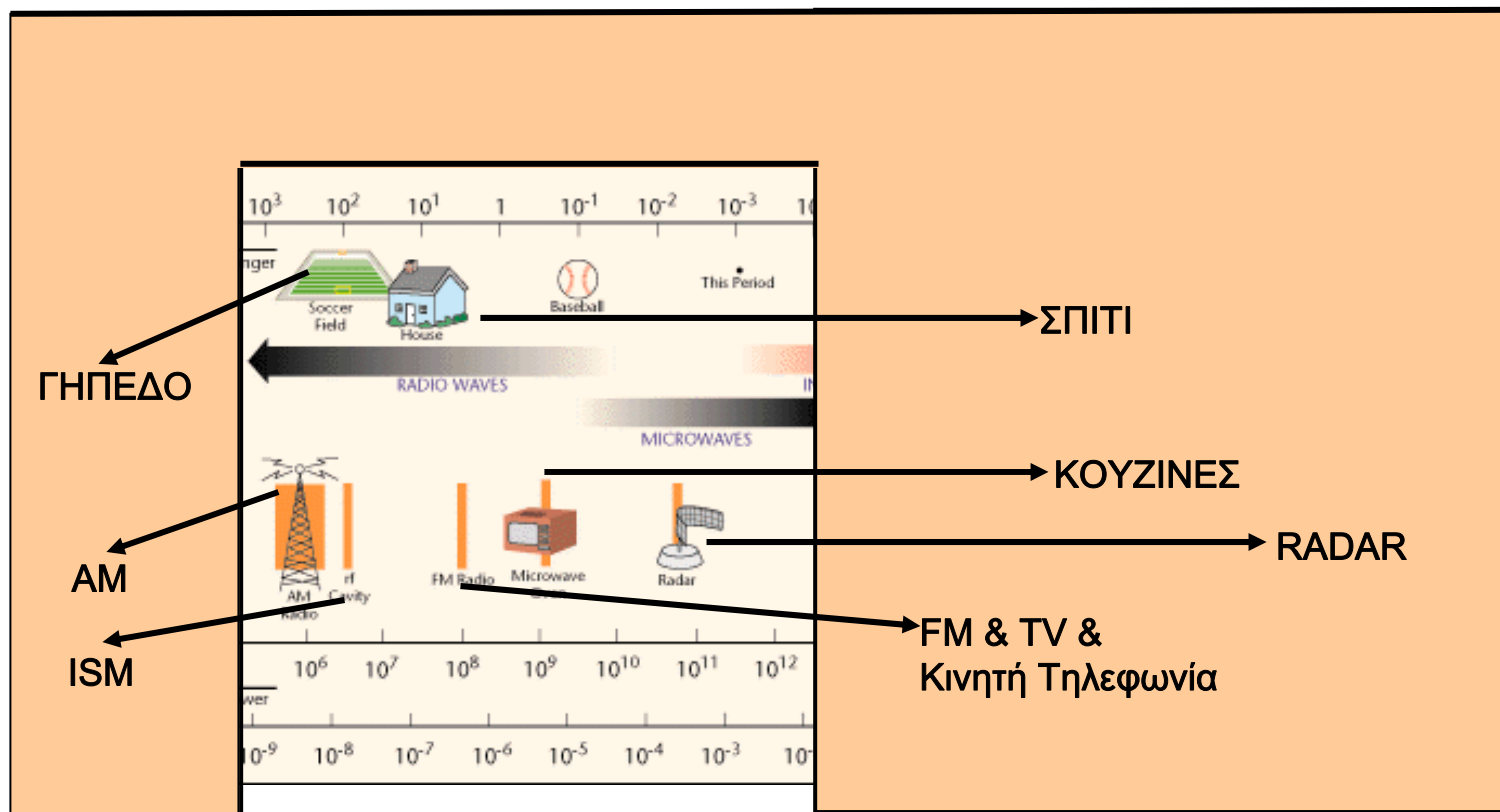


Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης

Ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RF)



Ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RF)

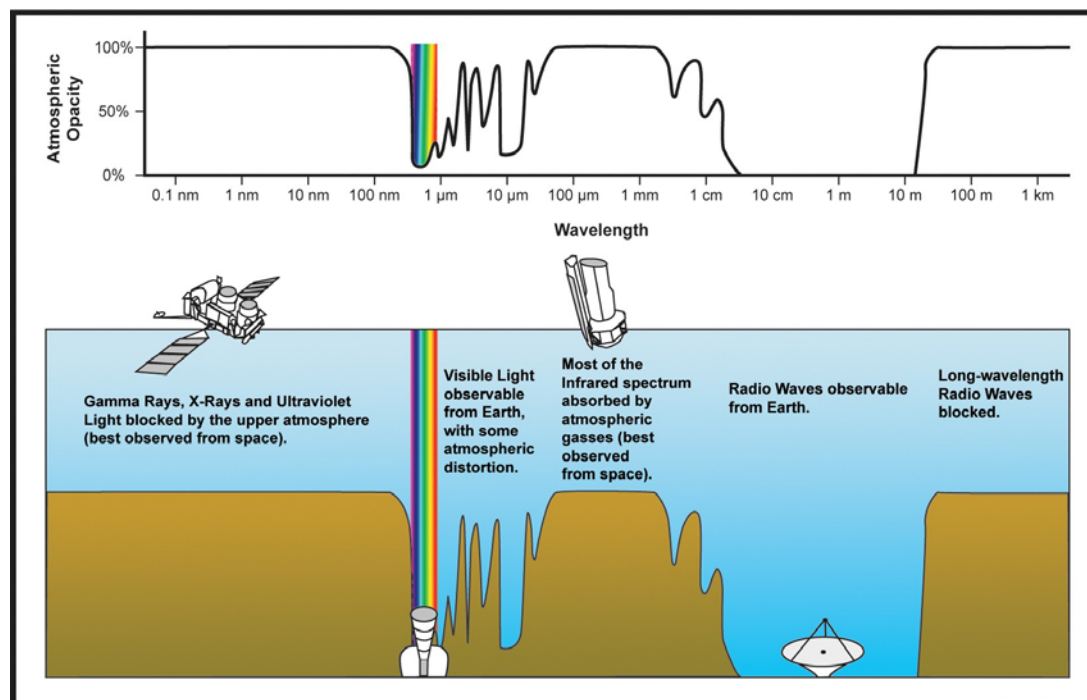


Πηγές ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων

- Κρατικά δίκτυα (ΕΚΑΒ, αστυνομία, πυροσβεστική)
- Ιδιωτικά δίκτυα (εταιρείες μεταφορών, ΟΑΣΘ)
- Ραδιοφωνία (FM)
- Τηλεόραση
- **Κινητή τηλεφωνία**
- Φούρνοι μικροκυμάτων
- Ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές
- Ραντάρ
- Δορυφορικές επικοινωνίες
- Φυσικές πηγές (ήλιος)



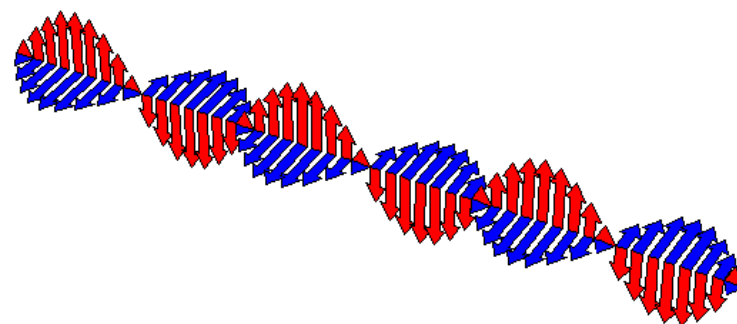
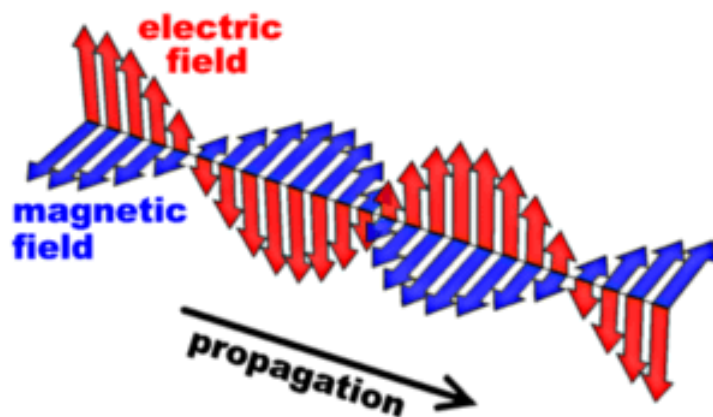
Πηγές ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων



- Ηλιακή ακτινοβολία: $< 100 \text{ mW/m}^2$
- 15 πόλεις Η.Π.Α. (1980), διάμεση έκθεση: $50 \text{ } \mu\text{W/m}^2$
- Θεσσαλονίκη (2005), μέση τιμή: $\sim 9 \text{ mW/m}^2 = 9000 \text{ } \mu\text{W/m}^2$

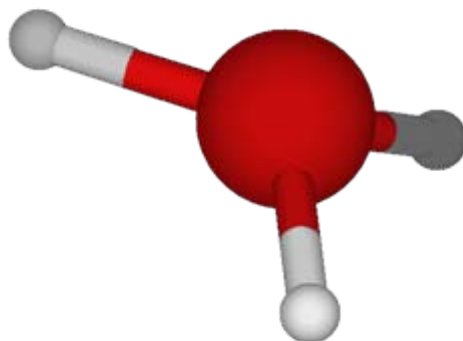
Μη ιοντίζουσα ακτινοβολία

- Το φωτόνιο δεν έχει αρκετή ενέργεια, ώστε να προκαλέσει ιονισμό της βιολογικής ύλης
- Η αλληλεπίδραση με τη βιολογική ύλη εξαρτάται από την ένταση, τη συχνότητα, την πόλωση και τη διαμόρφωση
- Η έννοια της «δόσης» αντικαθίσταται από το ρυθμό ειδικής απορρόφησης (SAR) (W/kg) και την πυκνότητα ισχύος (S) (W/m^2)



Βιολογικά φαινόμενα

- Θερμικά
Φυσικός μηχανισμός: *ταλάντωση και περιστροφή των μορίων*
Βιολογικός μηχανισμός: *αύξηση θερμοκρασίας*



- Μη θερμικά
Φυσικοχημικοί μηχανισμοί: *?????*
Βιολογικοί μηχανισμοί: *?????*



Ελληνική Νομοθεσία (Κ.Υ.Α. 53571/3839 Φ.Ε.Κ. 1105Β/6.9.2000)

Βασικοί περιορισμοί για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία
(0 Hz — 300 GHz)

Ζώνη συχνοτήτων	Πυκνότητα μαγνητικής ροής (mT)	Πυκνότητα ρεύματος (mA/m ²) (rms)	Μέση ταχύτητα ειδικής απορρόρησης για όλο το σώμα (W/kg)	Τοπική ταχύτητα ειδικής απορρόρησης (κεφάλι και κορμός) (W/kg)	Τοπική ταχύτητα ειδικής απορρόρησης (άκρα) (W/kg)	Πυκνότητα ισχύος S (W/m ²)
0 Hz	40	—	—	—	—	—
>0-1 Hz	—	8	—	—	—	—
1-4 Hz	—	8/f	—	—	—	—
4-1 000 Hz	—	2	—	—	—	—
1 000 Hz-100 kHz	—	f/500	—	—	—	—
100 kHz-10 MHz	—	f/500	0,08	2	4	—
10 MHz-10 GHz	—	—	0,08	2	4	—
10-300 GHz	—	—	—	—	—	10

Ελληνική Νομοθεσία (Ν. 3431 Φ.Ε.Κ. 13Α/3.2.2006)

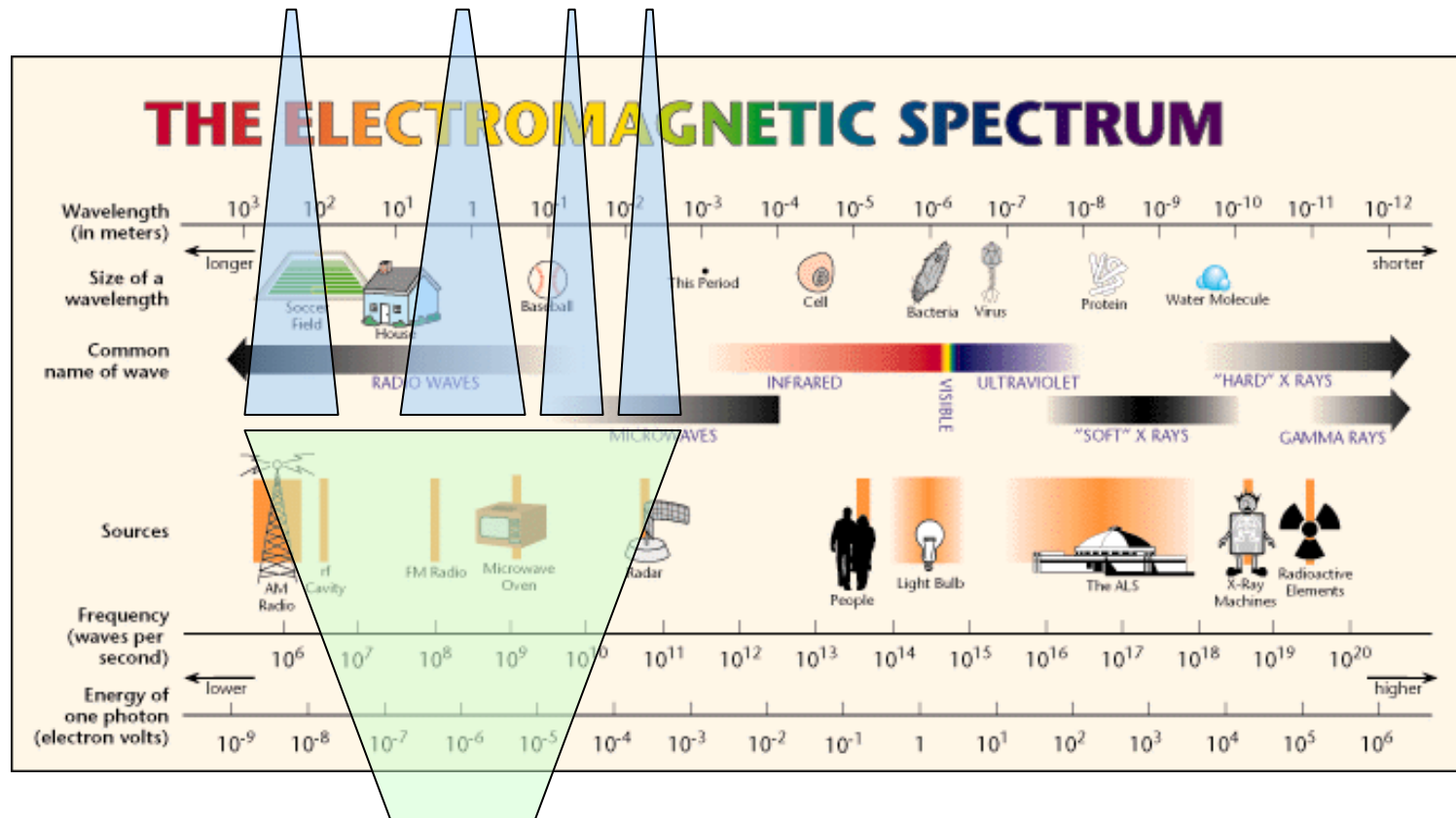
Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 60% των παρακάτω τιμών

Επίπεδα αναφοράς για ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία
(0 Hz — 300 GHz, σταθερές τιμές rms)

Ζώνη συχνοτήτων	Ένταση ηλεκτρονικού πεδίου-E (V/m)	Ένταση μαγνητικού πεδίου-H (A/m)	Πυκνότητα μαγνητικής ροής πεδίου-B (μT)	Ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος επιπέδου κύματος S_{eq} (W/m ²)
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2 000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Είδη μετρήσεων

μέτρηση κατά περιοχή συχνοτήτων



ευρυζωνική μέτρηση

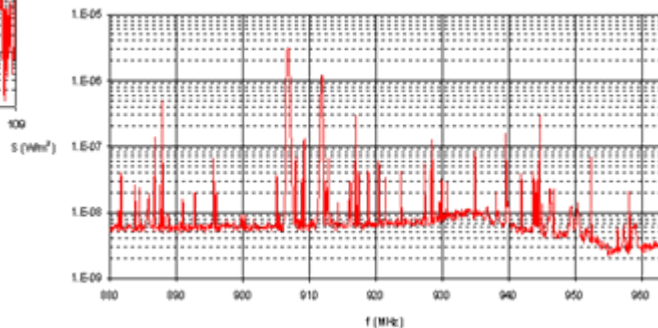
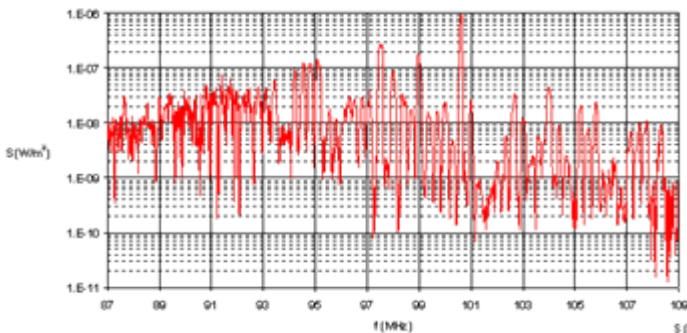
Ευρυζωνική μέτρηση (broadband)

- Απλός εξοπλισμός και γρήγορη διαδικασία
- Αδυναμία ταυτοποίησης πηγών και προσδιορισμού συνεισφοράς τους



Μέτρηση κατά περιοχή συχνοτήτων (narrowband)

- Χρονοβόρα διαδικασία, πολύπλοκος εξοπλισμός
- Ταυτοποίηση των πηγών σε κάθε θέση και προσδιορισμός συνεισφοράς τους



Προγράμματα Εργαστηρίου Ραδιοεπικοινωνιών Α.Π.Θ. (ΕΡα)

- Ευρυζωνικές μετρήσεις
Πρόγραμμα Ερμής
Πρόγραμμα φάσμα
- Μετρήσεις κατά περιοχή συχνότητας
Πρόγραμμα φάσμα
Πρόγραμμα Ερμής

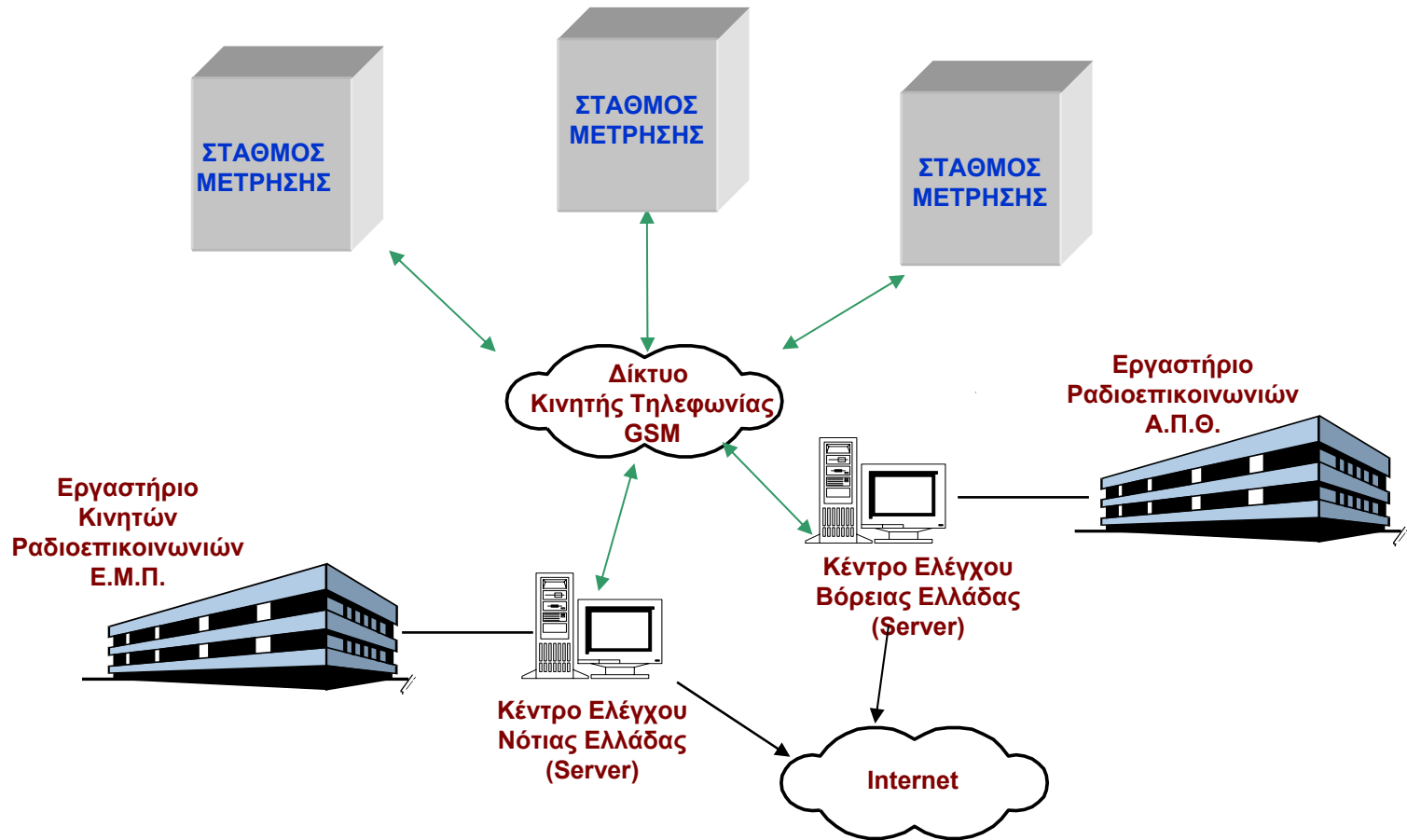


Ευρυζωνικές μετρήσεις

Πρόγραμμα Ερμής (<http://www.hermes-program.gr>)

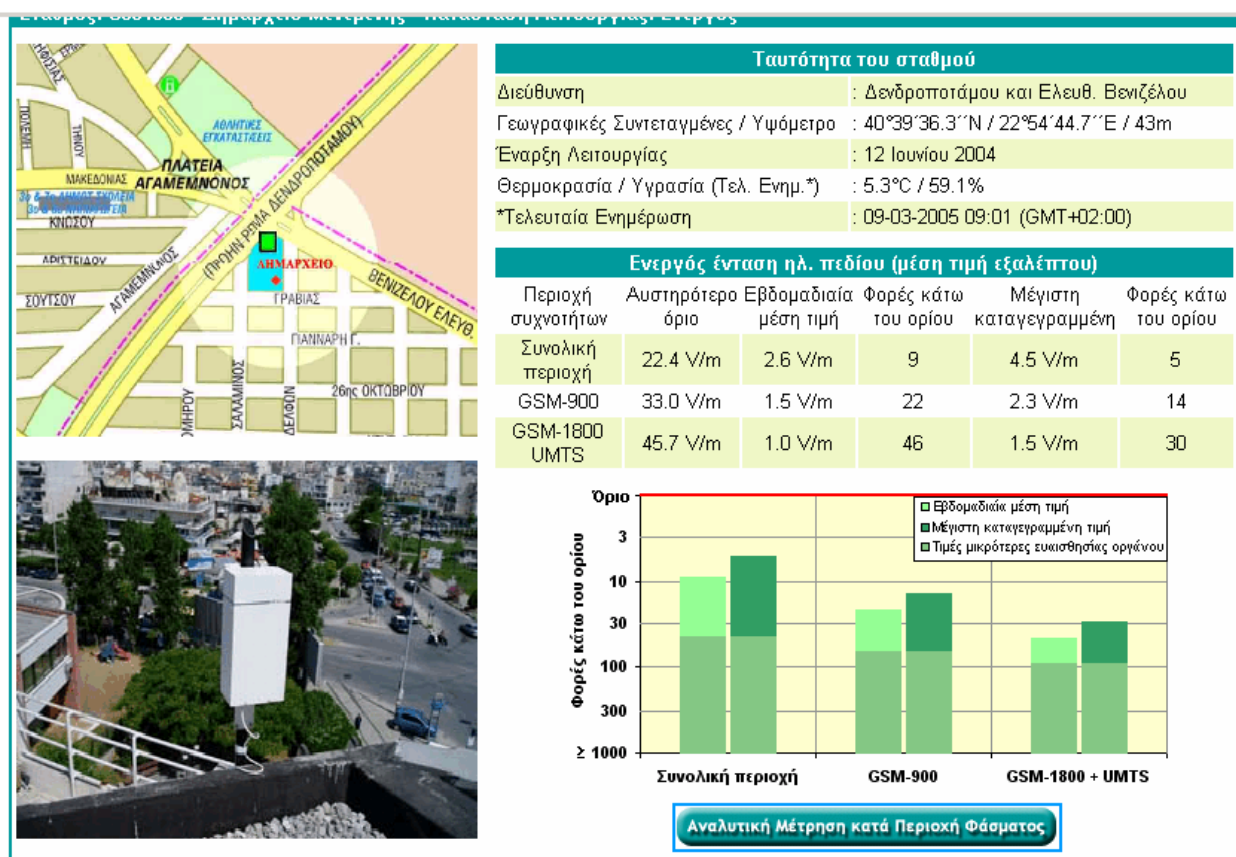
- Χρησιμοποιεί εξοπλισμό που πιστοποιείται από πανεπιστημιακά εργαστήρια
- Καταγράφει σε 24ωρη βάση τις τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου
- Καλύπτει τη συχνотική περιοχή (100kHz-3GHz) των κυριότερων τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών και πηγών
- Σε ορισμένους σταθμούς καταγράφει ξεχωριστά την ακτινοβολία που προέρχεται από σταθμούς βάσης
- Δημοσιεύει τα αποτελέσματα για το κοινό και συγκρίνει με τα θεσμοθετημένα από την Ελληνική νομοθεσία όρια

Ευρυζωνικές μετρήσεις- Πρόγραμμα Ερμής



Ευρυζωνικές μετρήσεις- Πρόγραμμα Ερμής

Συνοπτική παρουσίαση των στοιχείων του σταθμού μέτρησης και των αποτελεσμάτων του



- **Προέλεγχος** - Ευρυζωνικές μετρήσεις
- Μετρήσεις στενής ζώνης συχνοτήτων
Έλεγχος – Ταυτοποίηση Πηγών.



Μετρήσεις κατά περιοχή συχνοτήτων

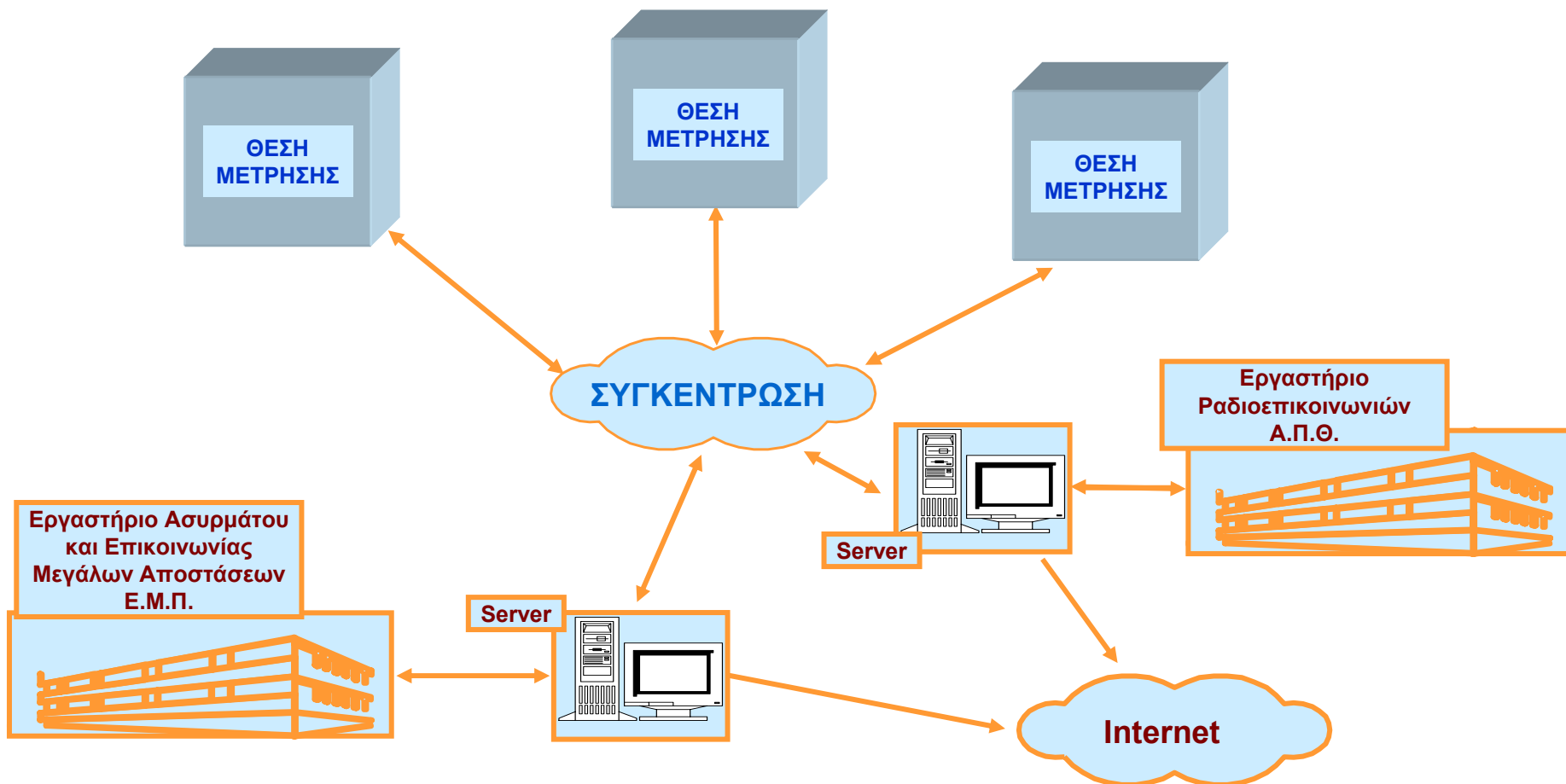
Πρόγραμμα φάσμα (<http://emf.physics.auth.gr>)

- Καταγράφει στιγμιότυπα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (20MHz-3GHz) στην περιοχή της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας
- Μετρήσεις σε χώρους όπου έχει πρόσβαση το ευρύ κοινό, όπως σχολεία, πλατείες, πάρκα κ.ο.κ.
- Διακρίνει τις πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τη συνεισφορά τους στη συνολική έκθεση
- Δημοσιεύει τα αποτελέσματα για το κοινό και συγκρίνει με τα θεσμοθετημένα από την Ελληνική νομοθεσία όρια

<http://www.fasma-program.gr>

φάσμα

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ+ΕΛΕΓΧΟΥ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ



Μετρήσεις στενής ζώνης συχνοτήτων

<http://emf.physics.auth.gr>

Καταγραφή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος σε σημεία της Θεσσαλονίκης



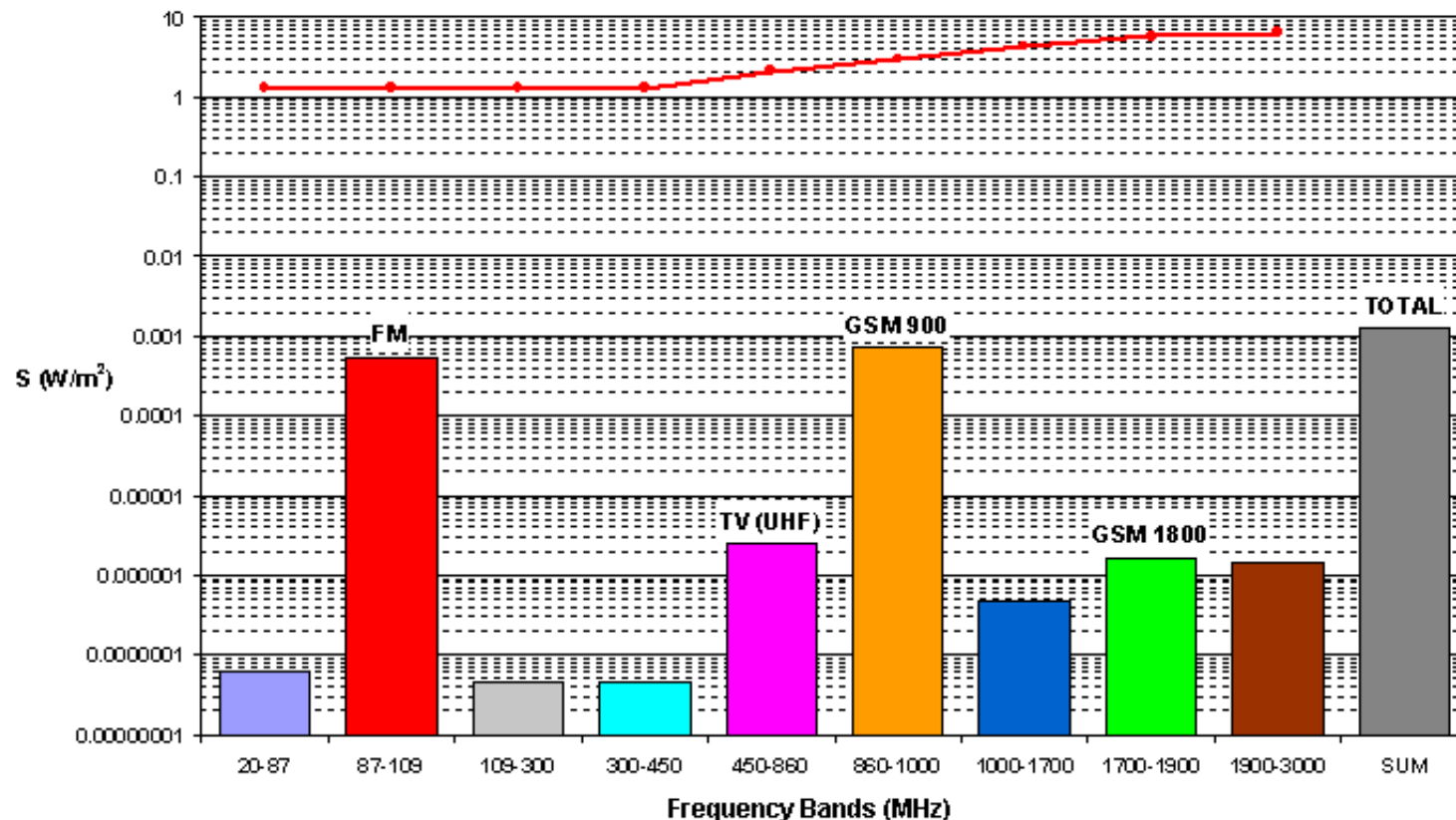
Μετρήσεις στενής ζώνης συχνοτήτων



Μετρήσεις στενής ζώνης συχνοτήτων

<http://emf.physics.auth.gr>

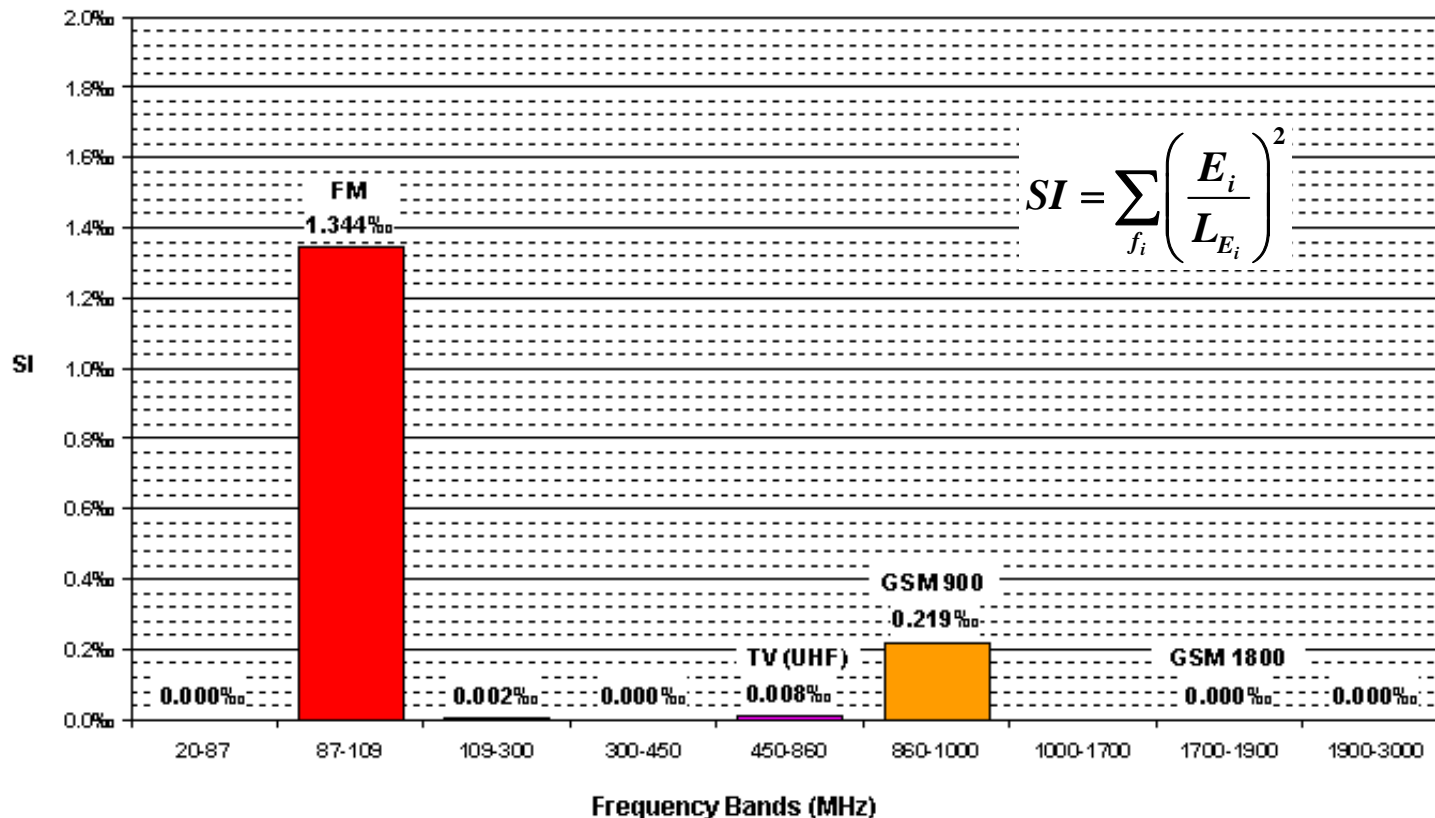
Παρουσίαση πυκνότητας ισχύος κατά συχνοτική περιοχή (ή εφαρμογή)



Μετρήσεις στενής ζώνης συχνοτήτων

<http://emf.physics.auth.gr>

Παρουσίαση δείκτη ασφαλείας (= δείκτη έκθεσης) κατά συχνοτική περιοχή

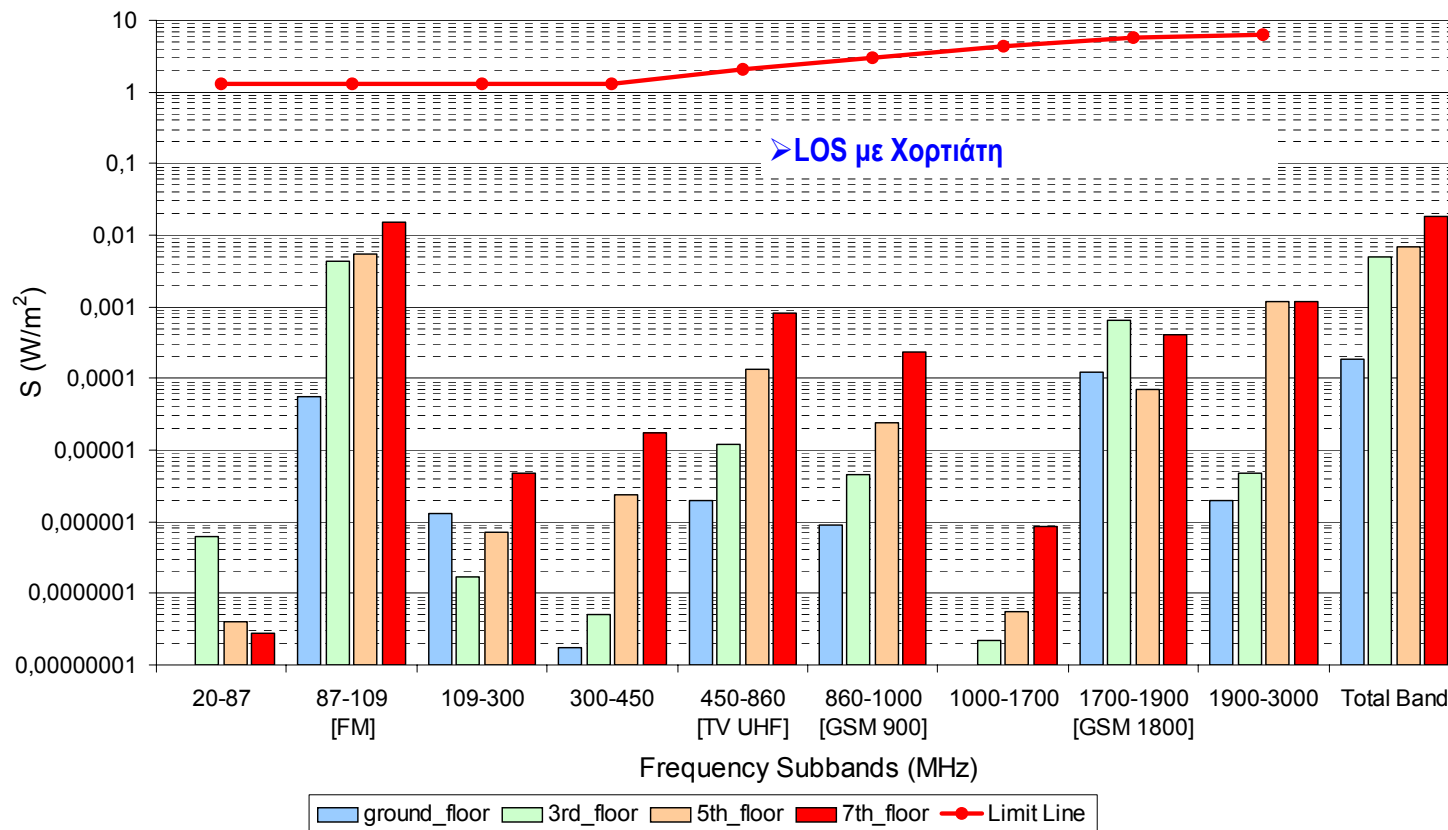


Μετρήσεις στενής ζώνης συχνοτήτων καθύψος

φάσμα

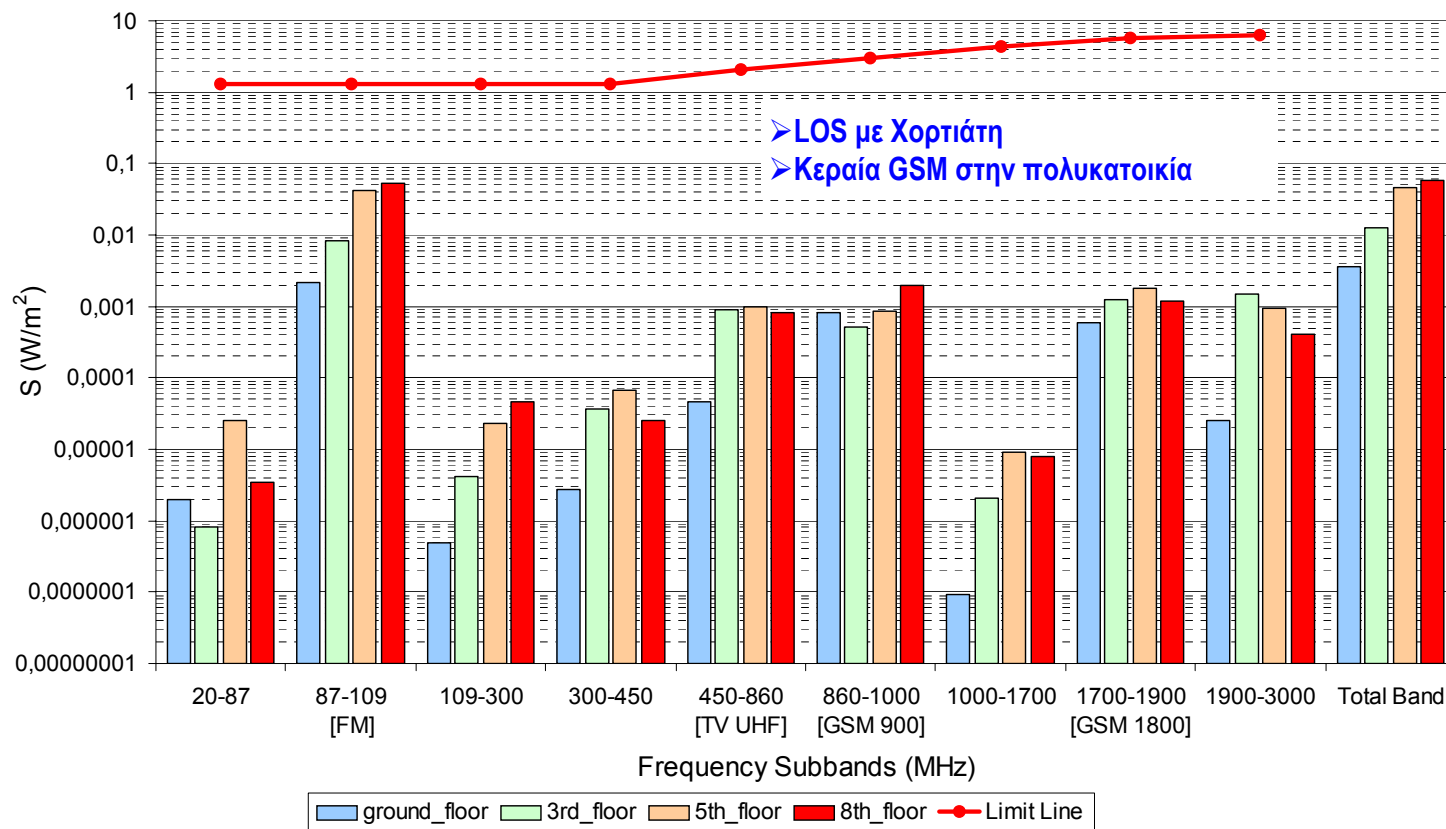
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΡΗΣΗΣ+ΕΛΕΓΧΟΥ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Παρουσίαση πυκνότητας ισχύος κάθε συχνοτικής περιοχής σε διαφορετικά ύψη



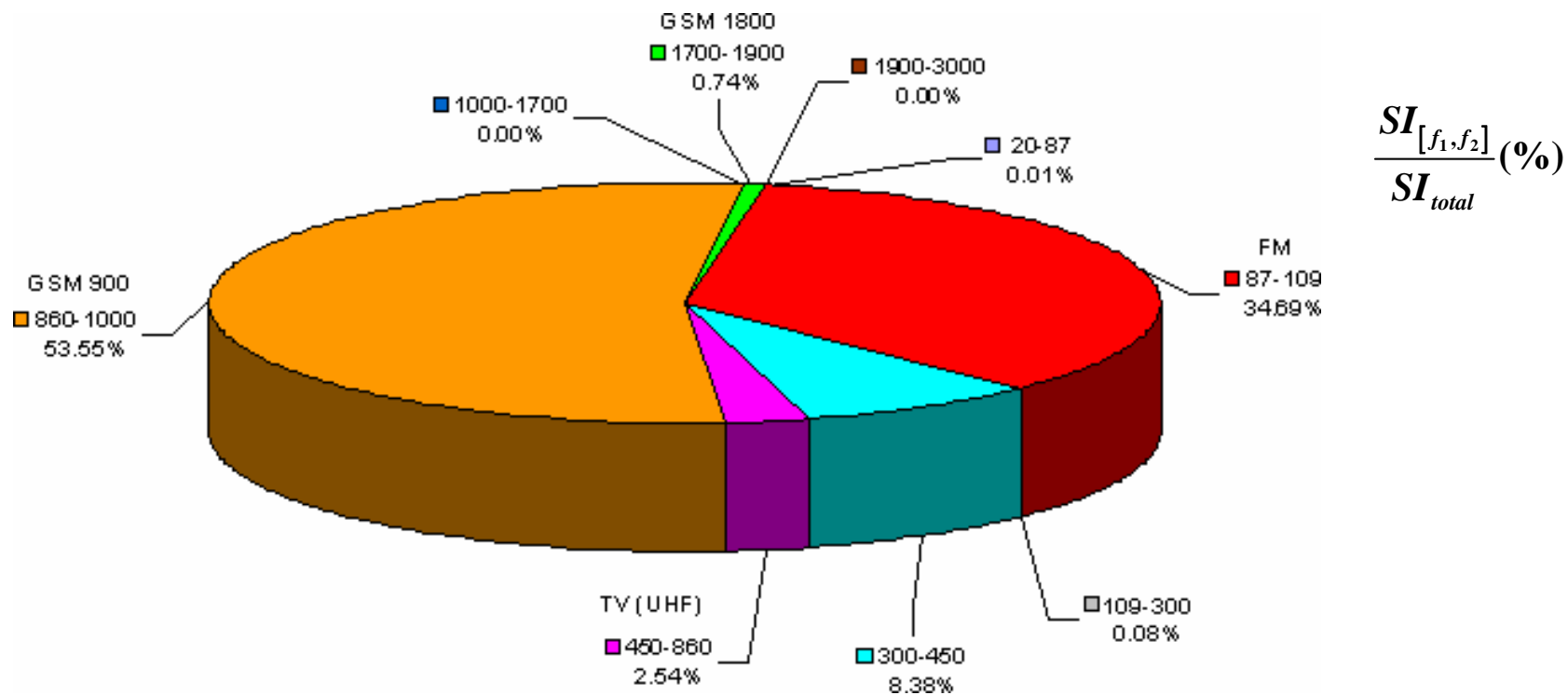
Μετρήσεις στενής ζώνης συχνοτήτων

Παρουσίαση πυκνότητας ισχύος κάθε συχνοτικής περιοχής σε διαφορετικά ύψη



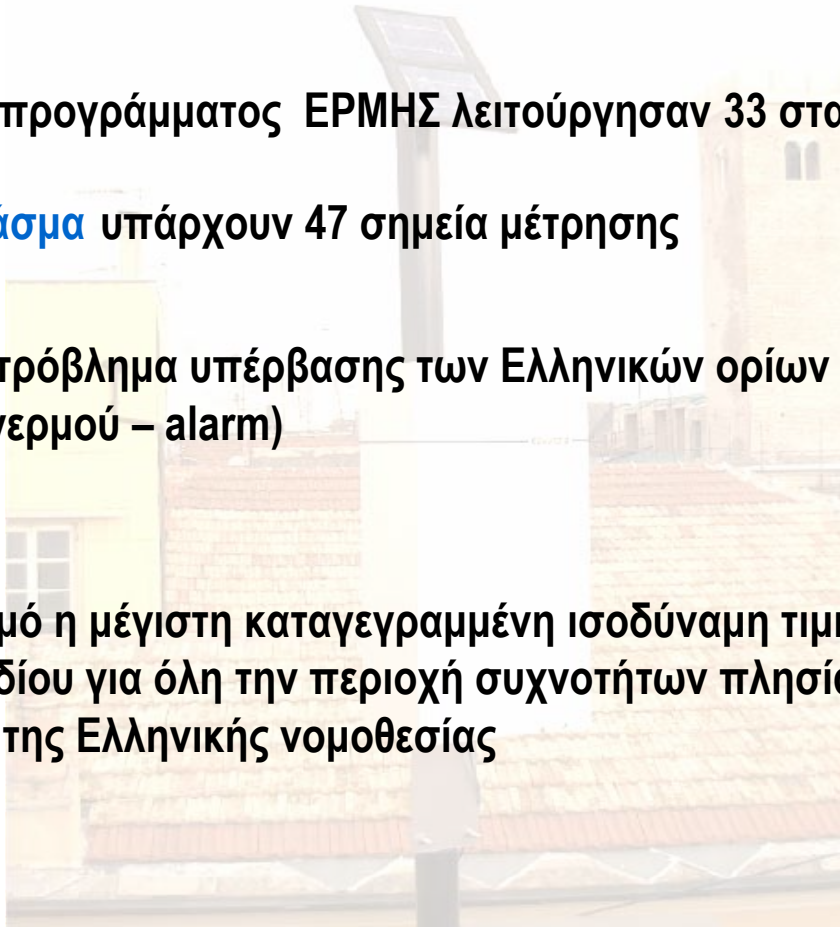
Μετρήσεις κατά περιοχή συχνοτήτων

Παρουσίαση συνεισφοράς κάθε συχνοτικής περιοχής στο δείκτη ασφαλείας



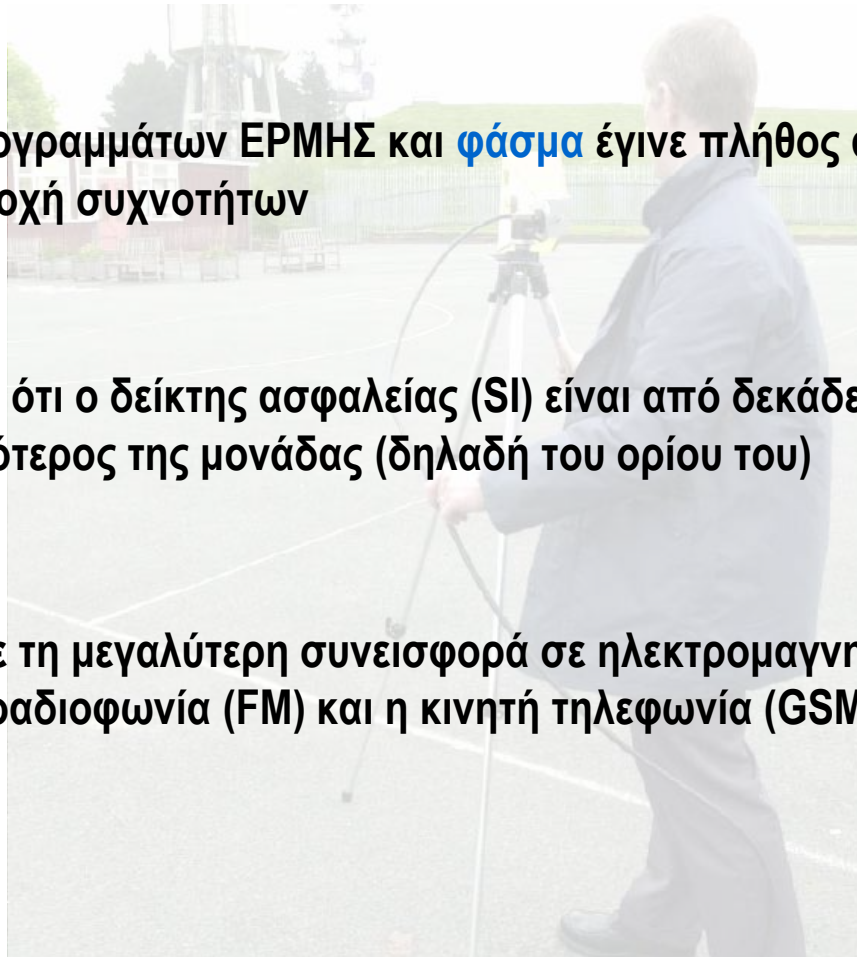
Ευρυζωνικές μετρήσεις – Συνολικά Αποτελέσματα

- Από την αρχή του προγράμματος ΕΡΜΗΣ λειτούργησαν 33 σταθμοί μέτρησης
- Στο πρόγραμμα **φάσμα** υπάρχουν 47 σημεία μέτρησης
- Δε διαπιστώθηκε πρόβλημα υπέρβασης των Ελληνικών ορίων (περίπτωση συναγερμού – alarm)
- Σε έναν μόνο σταθμό η μέγιστη καταγεγραμμένη ισοδύναμη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για όλη την περιοχή συχνοτήτων πλησίασε το αυστηρότερο όριο της Ελληνικής νομοθεσίας



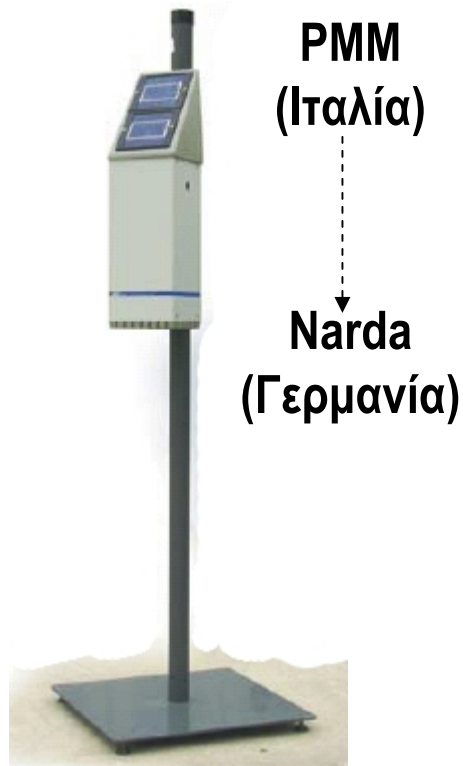
Μετρήσεις κατά περιοχή συχνοτήτων - Αποτελέσματα

- Στα πλαίσια των Προγραμμάτων ΕΡΜΗΣ και **φάσμα** έγινε πλήθος από μετρήσεις κατά περιοχή συχνοτήτων
- Οι μετρήσεις έδειξαν ότι ο δείκτης ασφαλείας (SI) είναι από δεκάδες μέχρι και χιλιάδες φορές μικρότερος της μονάδας (δηλαδή του ορίου του)
- Οι δύο εφαρμογές με τη μεγαλύτερη συνεισφορά σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η ραδιοφωνία (FM) και η κινητή τηλεφωνία (GSM).



Ευρυζωνικές μετρήσεις

Σταθμοί μέτρησης



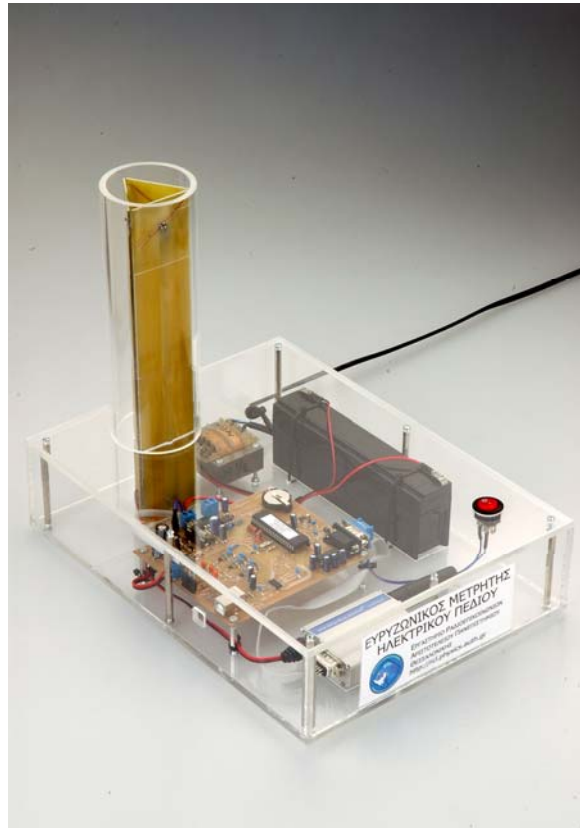
**E.I.T.
(Ιταλία)**

**ANTENNESSA
(Γαλλία)**



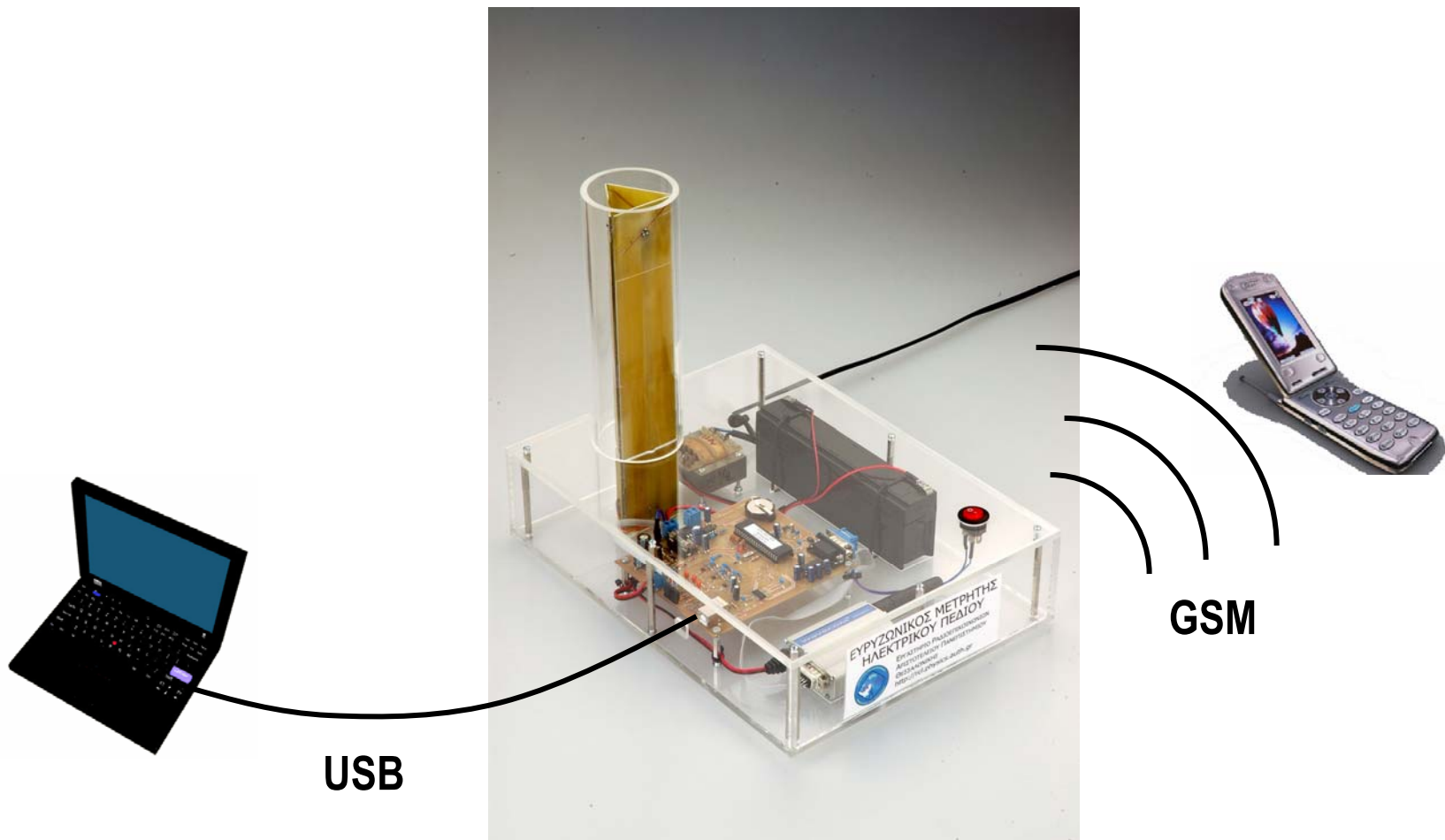
Ευρυζωνικές μετρήσεις

Ο πρώτος ελληνικός σταθμός μέτρησης

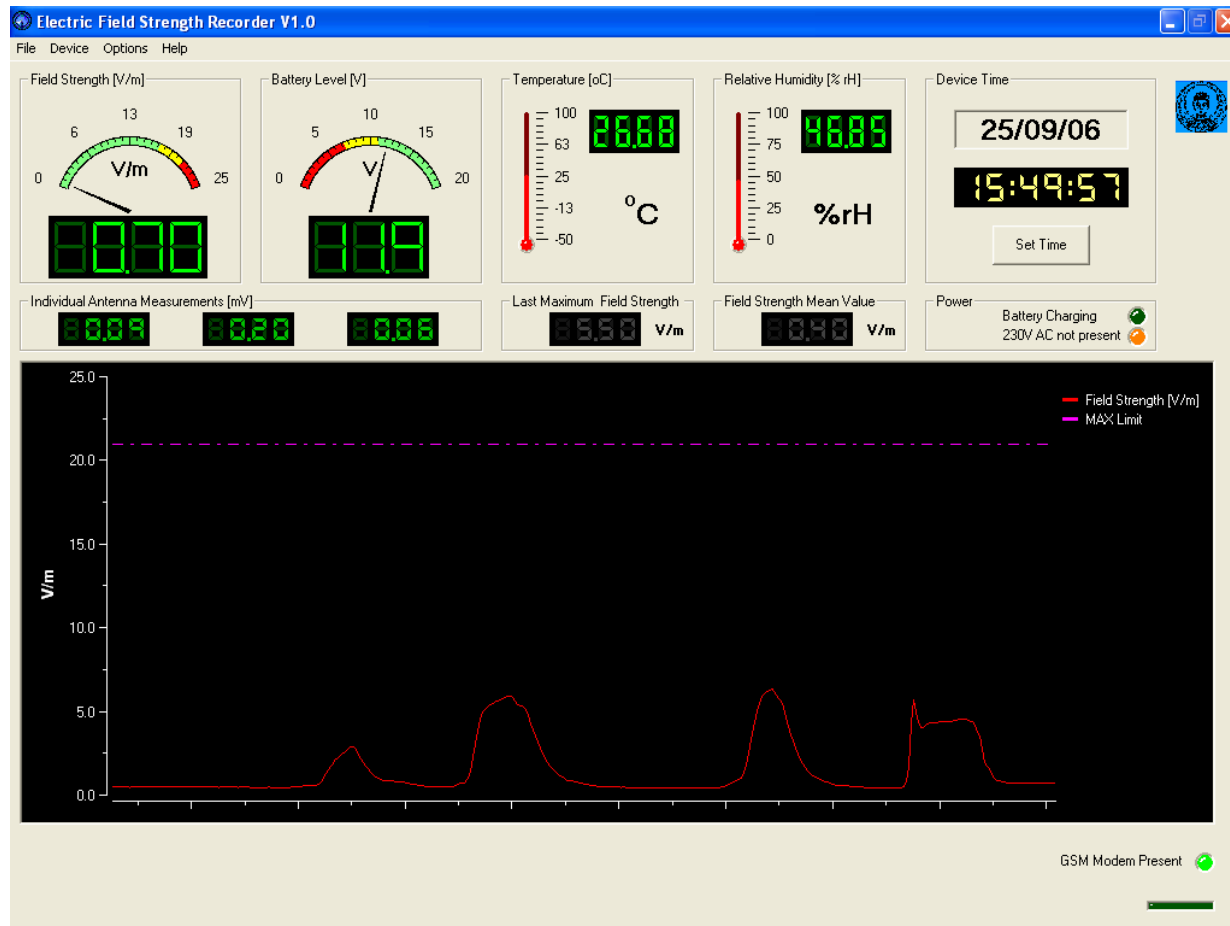


ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ

Τρόποι λειτουργίας



Λογισμικό Η/Υ



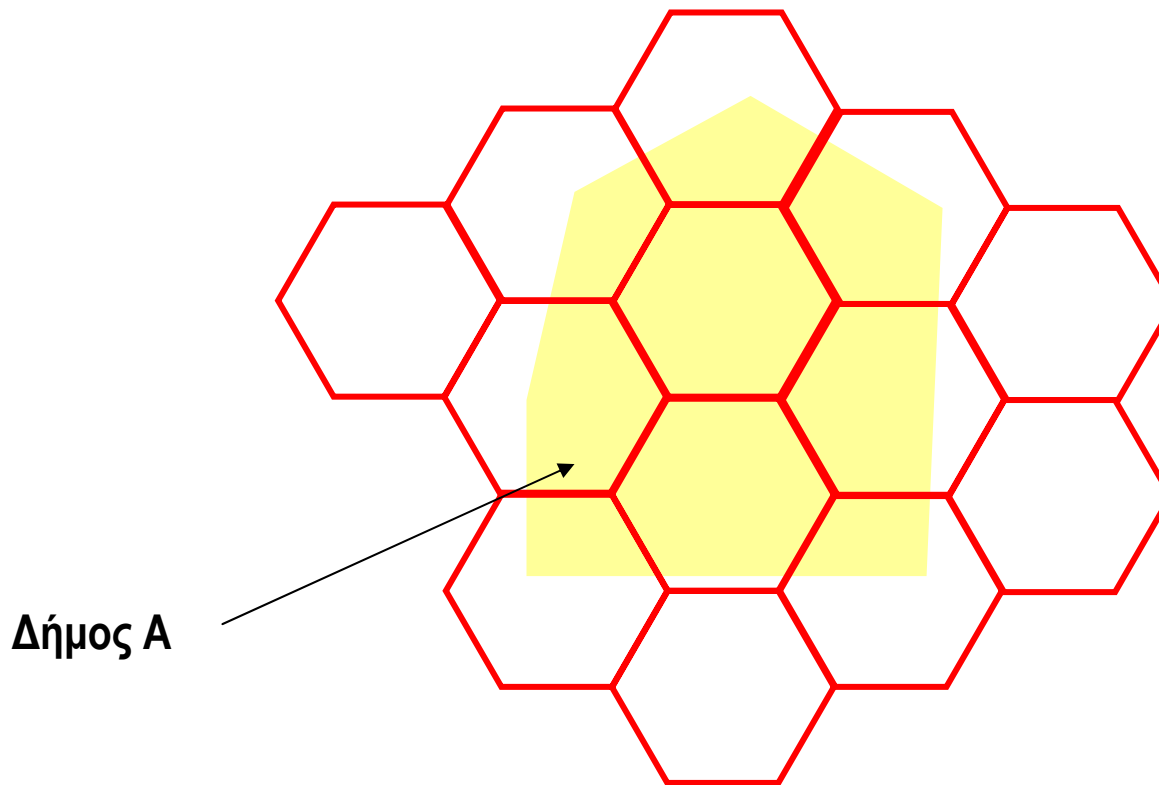
ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ

Ενημέρωση με SMS



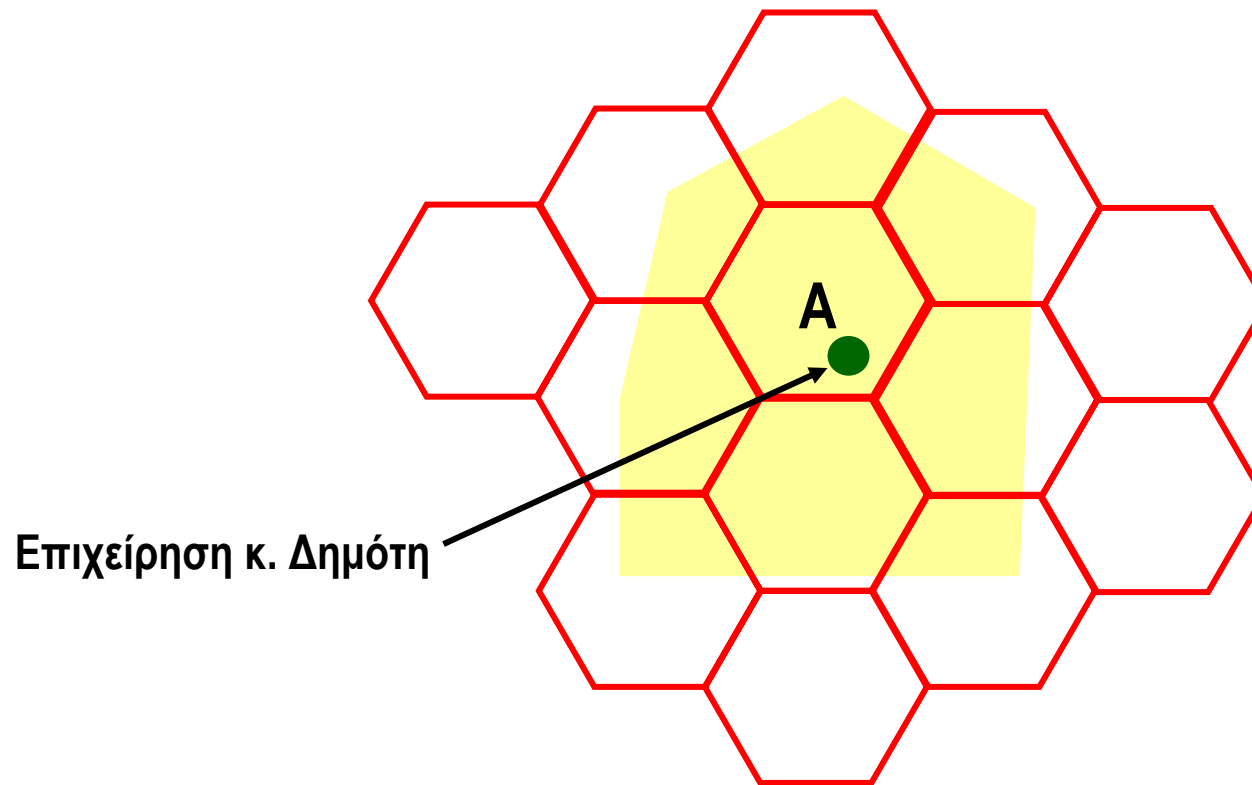
Υποτιθέμενο σενάριο (1)

Έστω ότι ο Δήμος Α απαγορεύει την εγκατάσταση κεραιών κινητής τηλεφωνίας στο χώρο του.



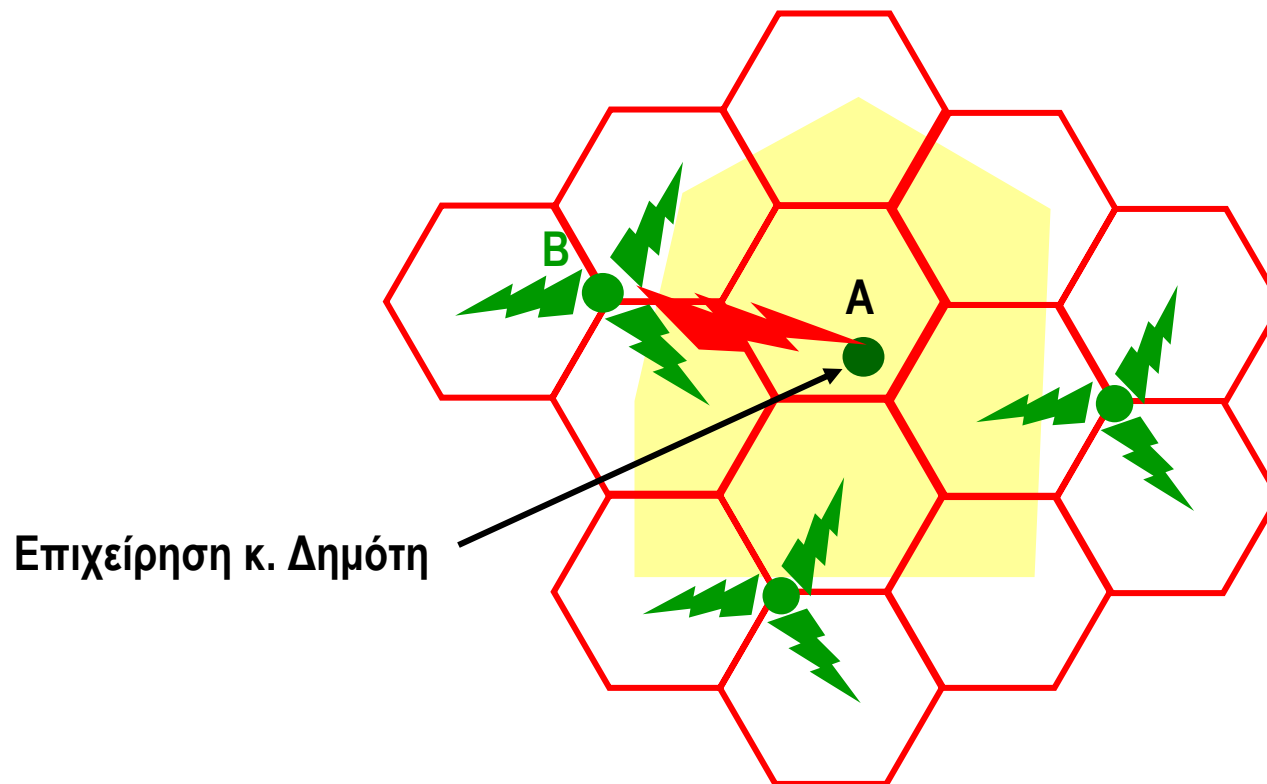
Υποτιθέμενο σενάριο (2)

Ο κ. Δημότης του Α, έχει την επιχείρησή του στην καρδιά του Δήμου και θέλει να χρησιμοποιήσει το κινητό του τηλέφωνο.



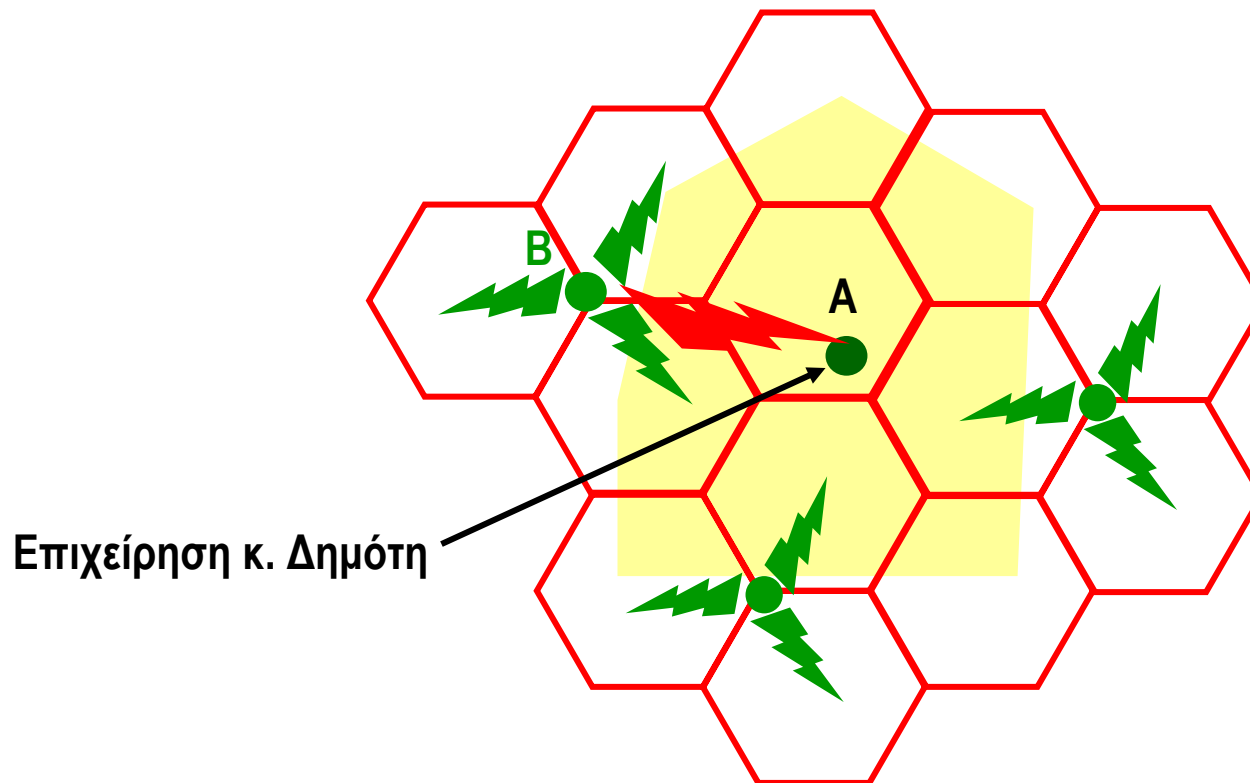
Υποτιθέμενο σενάριο (3)

Το κινητό τηλέφωνο επικοινωνεί με το σταθμό βάσης B, στο γειτονικό Δήμο.



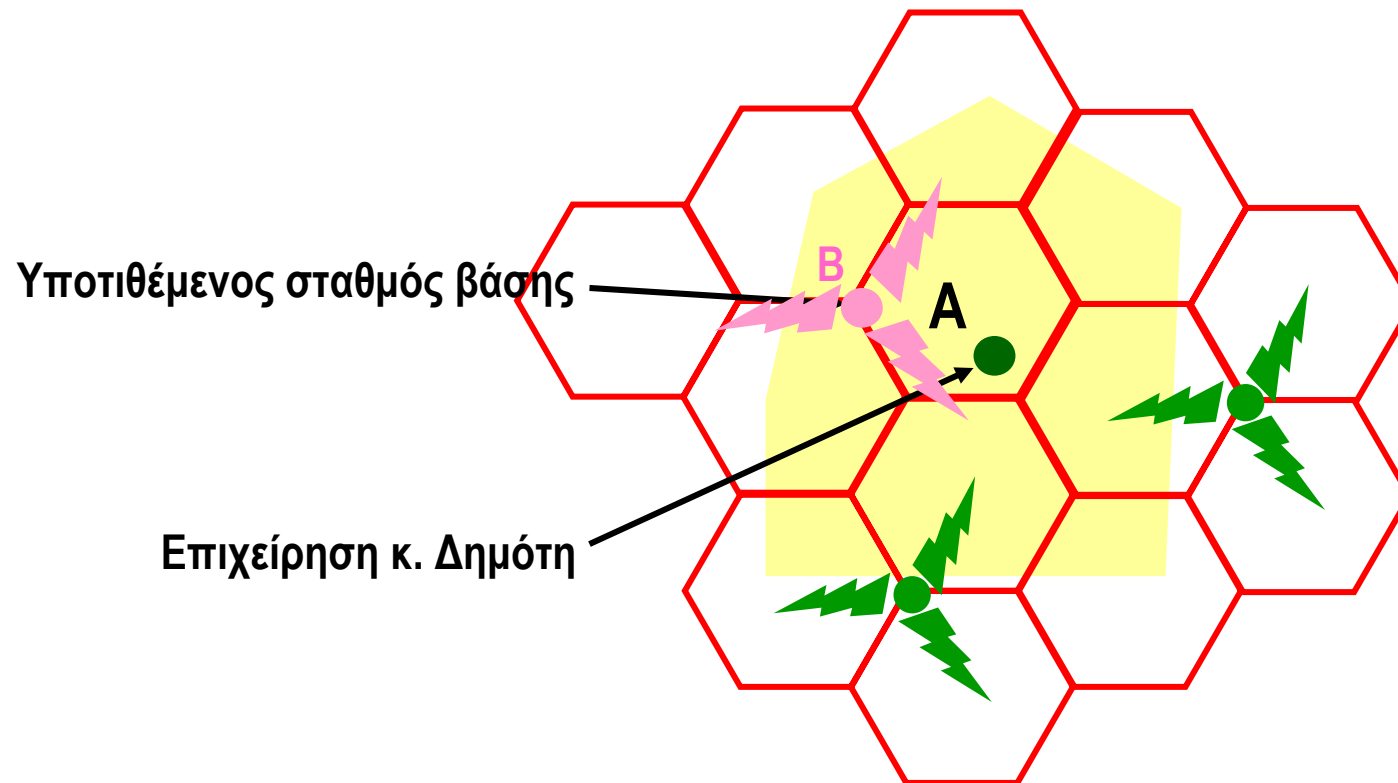
Υποτιθέμενο σενάριο (4)

Το κινητό λόγω απόστασης αναγκάζεται να λειτουργεί με μέση ισχύ 250mW .
Το κεφάλι του κ. Δημότη απορροφά περίπου 160mW .



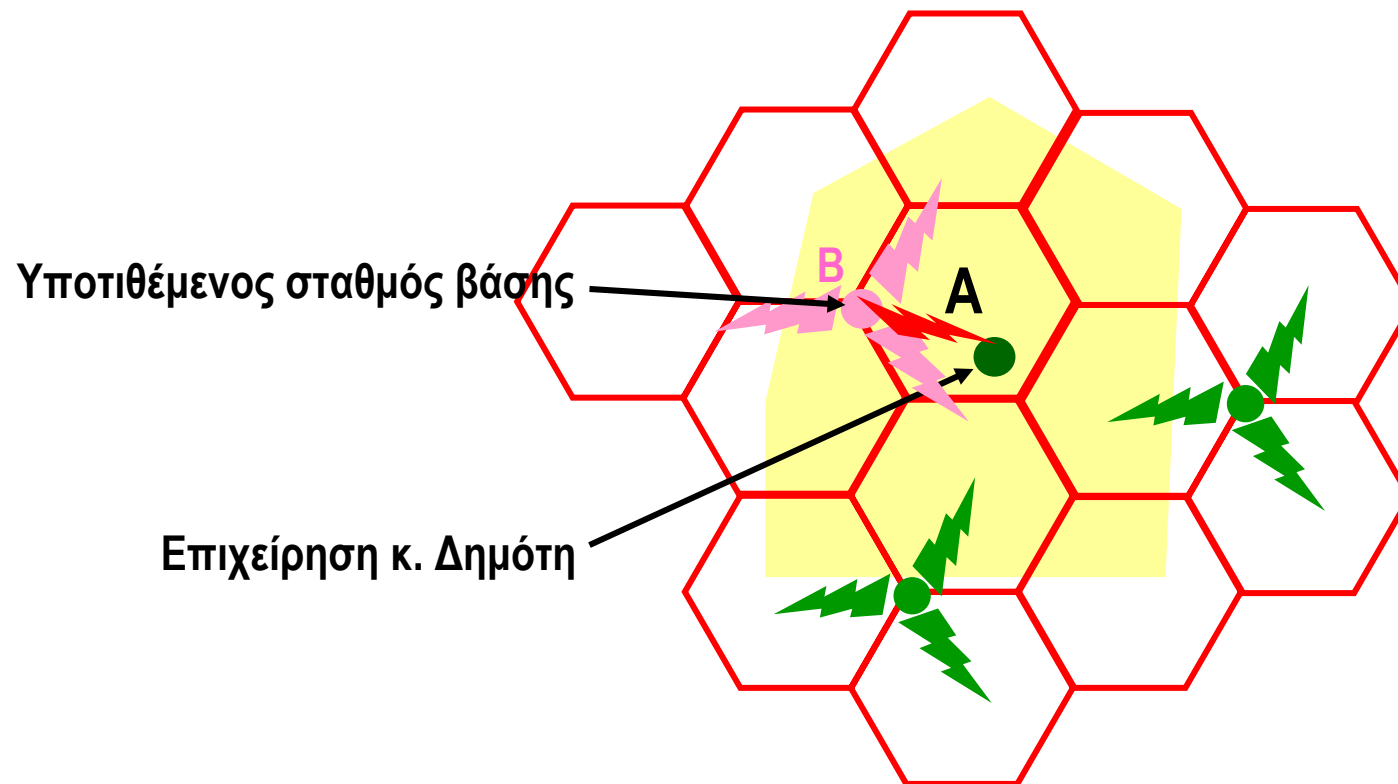
Υποτιθέμενο σενάριο (5)

Αν υπήρχε σταθμός στο Δήμο A και στη μισή απόσταση από την επιχείρηση του κ. Δημότη (σε σχέση με το σταθμό βάσης του γειτονικού Δήμου)...

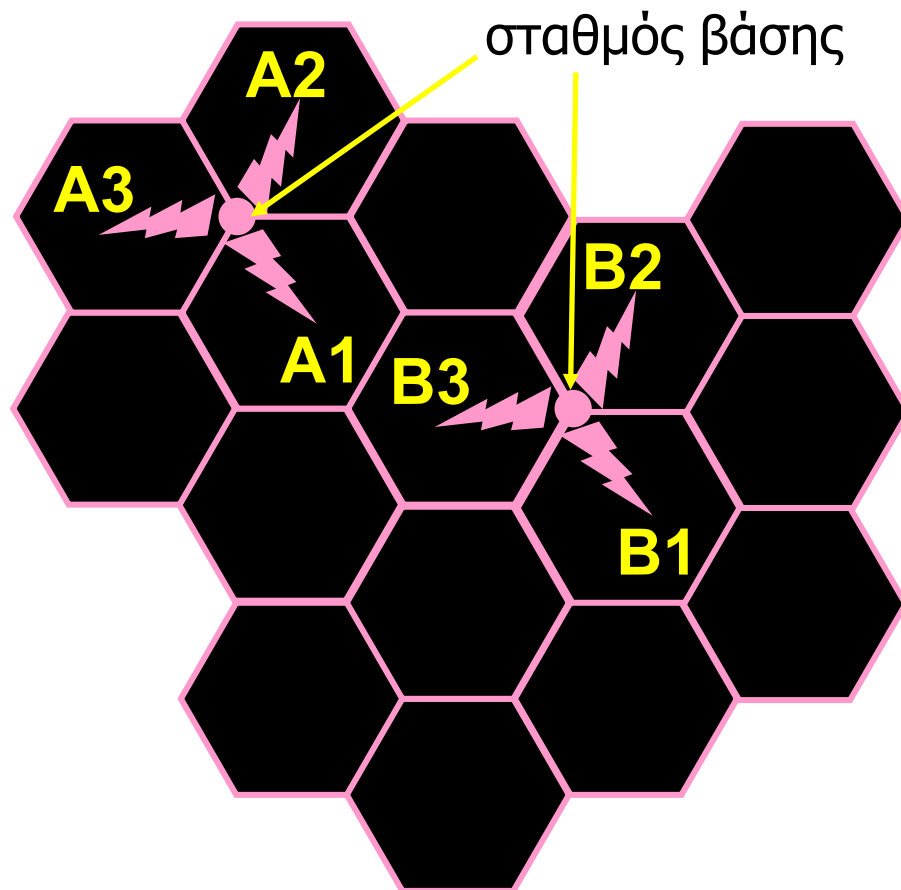


Υποτιθέμενο σενάριο (6)

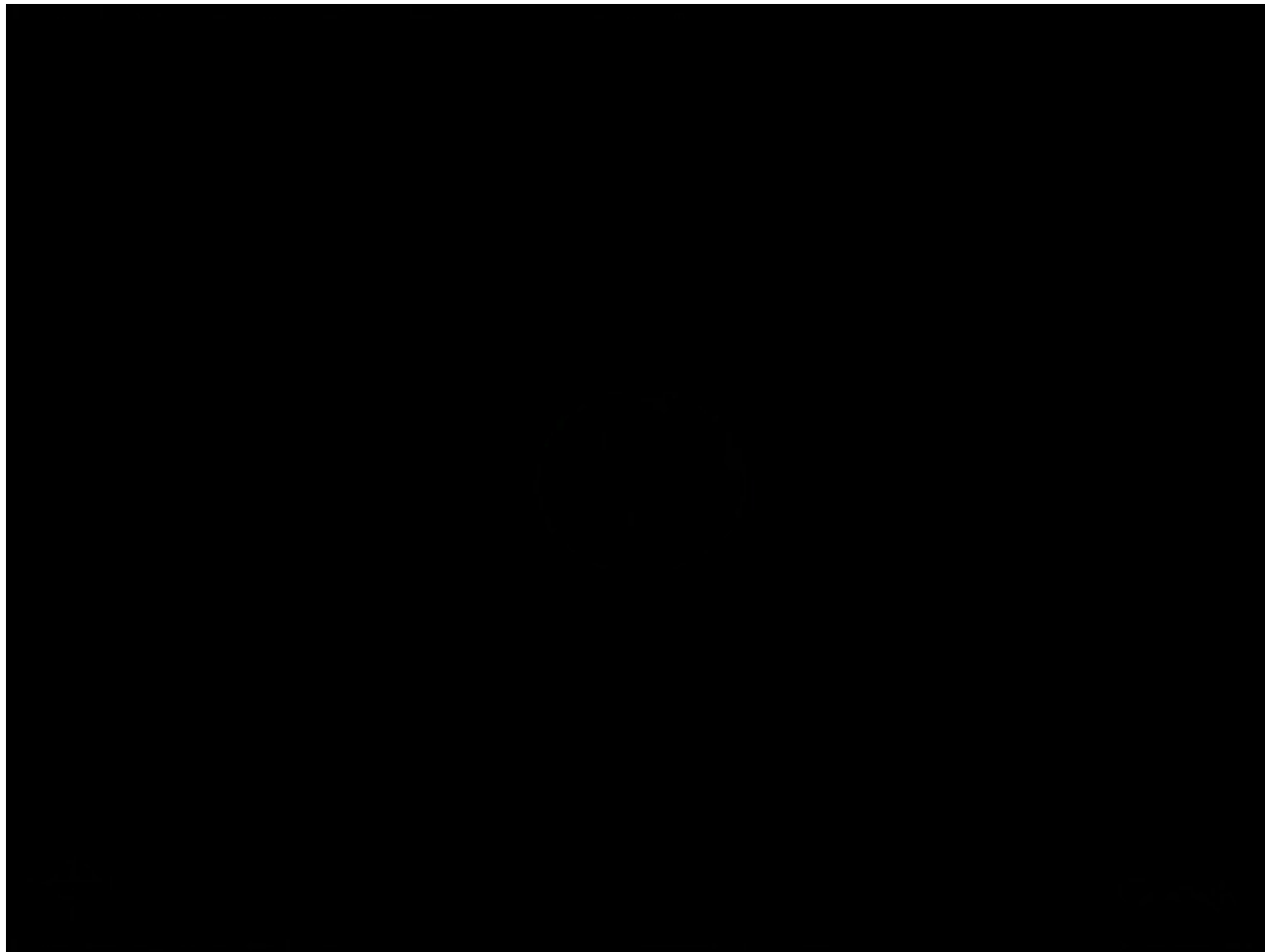
...τότε το τηλέφωνό του θα λειτουργούσε με μέση ισχύ $62,5\text{mW}$ και το κεφάλι του κ. Δημότη θα απορροφούσε 40mW , δηλαδή τέσσερις φορές λιγότερη ενέργεια.



Κυψελωτά συστήματα

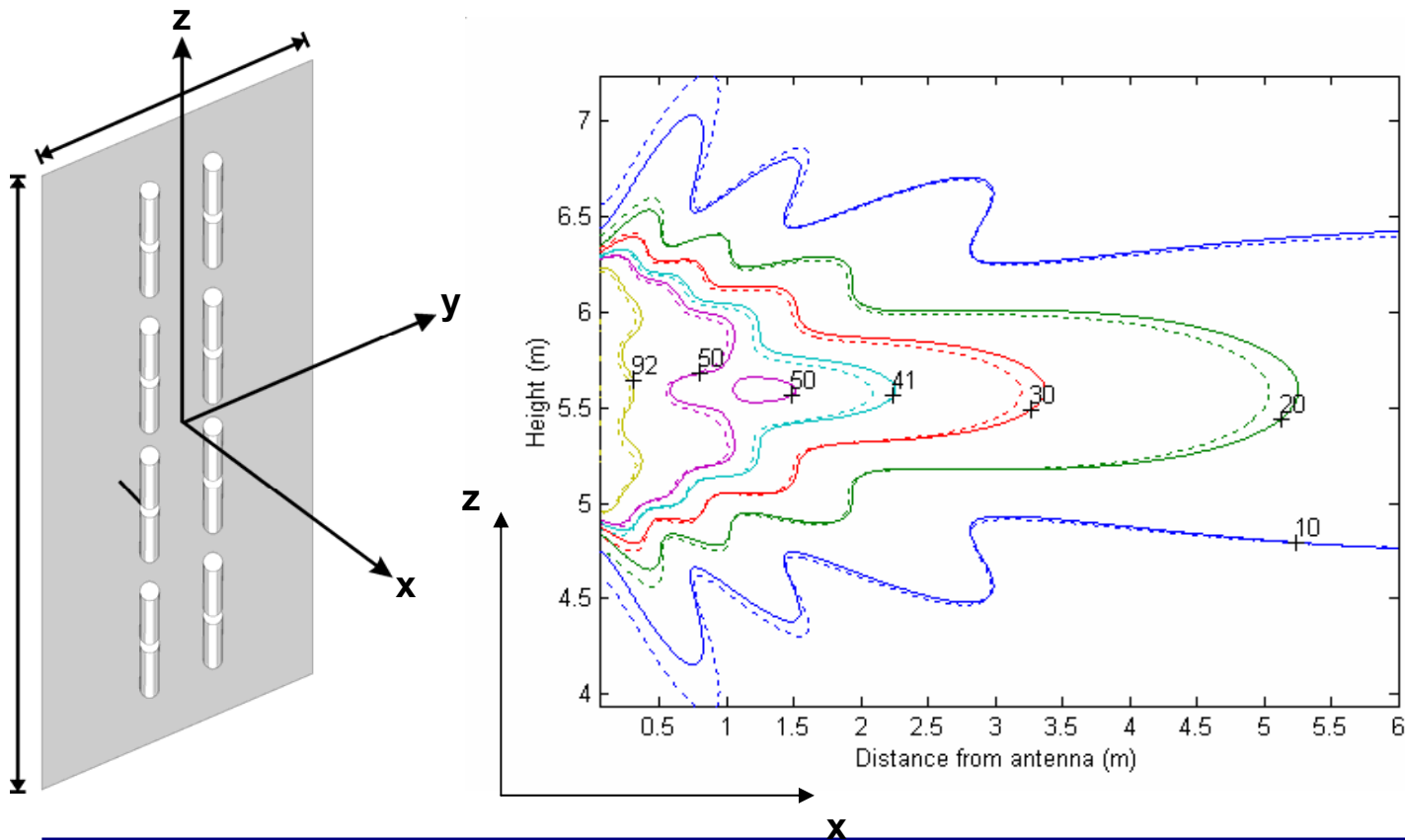


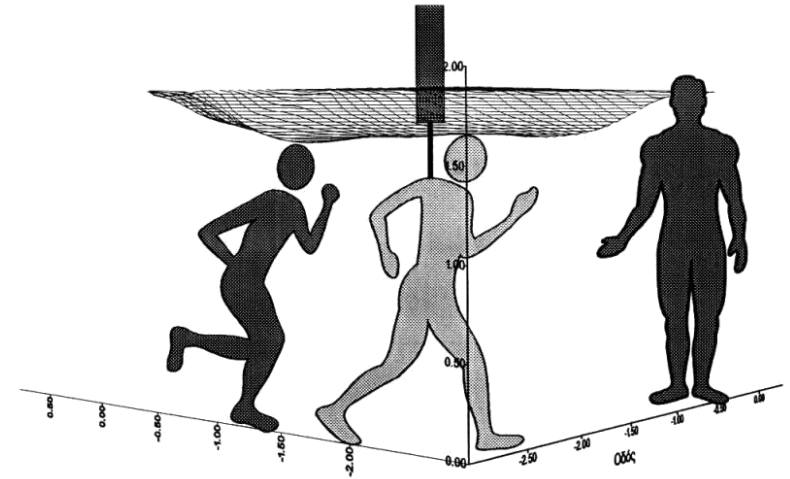
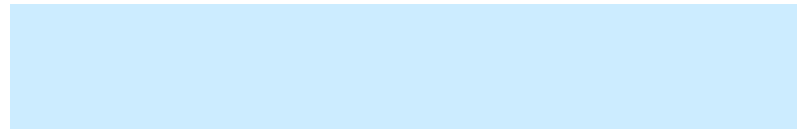
Κυψελωτά συστήματα



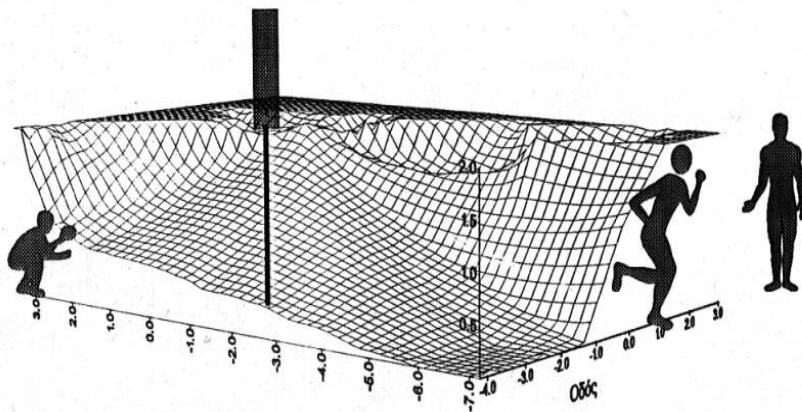
Εκτίμηση ΗΜ ακτινοβολίας

Σταθμοί βάσης **κινητής τηλεφωνίας**



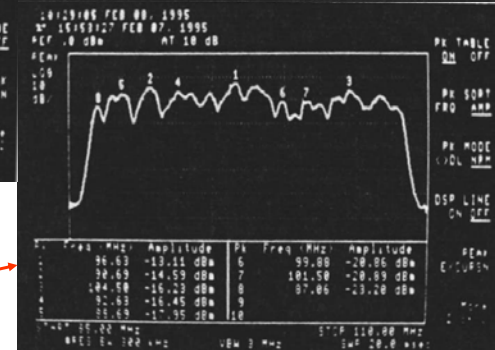
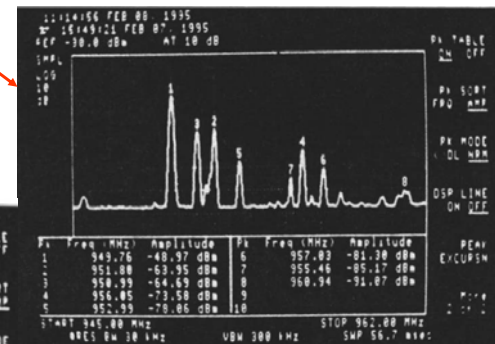
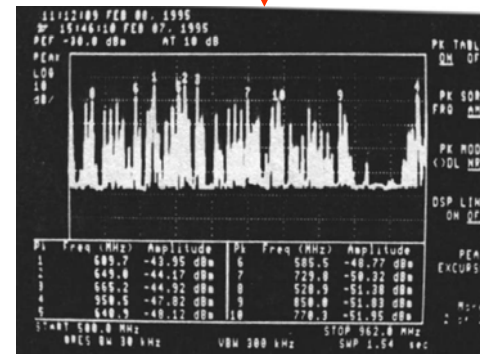


ΚΑΤΑ ΤΟ ΑΥΣΤΗΡΟΤΕΡΟ ΠΡΟΤΥΠΟ



GSM -49dBm

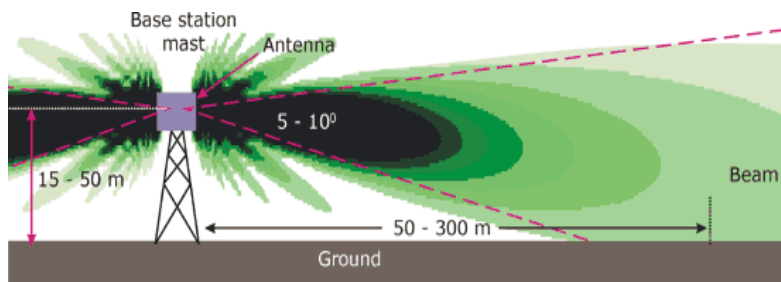
UHF -42dBm



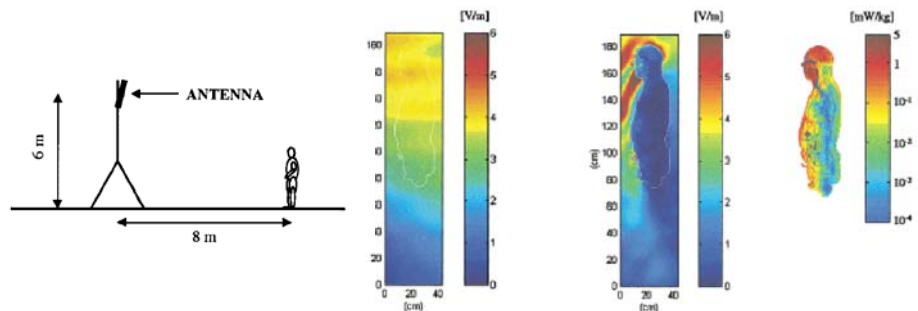
FM -13dBm

Έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

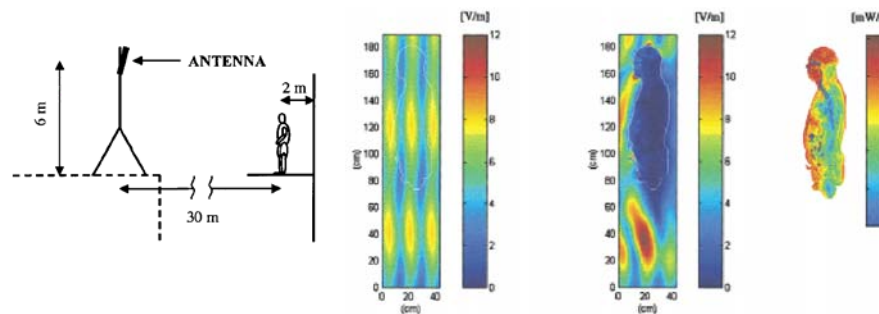
Ακτινοβολία κεραίας σταθμού βάσης



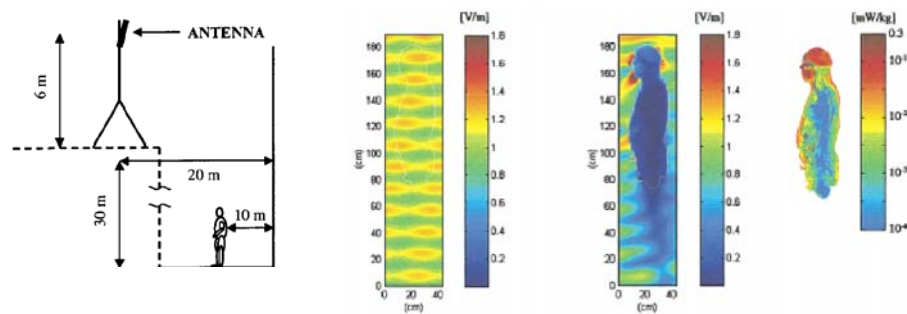
Έκθεση μπροστά από την κεραία



Έκθεση στο απέναντι μπαλκόνι



Έκθεση στο δρόμο



Παράδειγμα έκθεσης σε κεραία σταθμού βάσης

	E_{max}^{inc} (V/m)	E_{ave}^{inc} (V/m)	SAR_{10g} (W/kg)	SAR_{WB} (W/kg)	Θεσμοθετημένο όριο για SAR_{WB} (W/kg)
μπροστά από την κεραία	4,2	2,8	0,00300	0,00012	0,048
απέναντι από την κεραία	8,1	2,2	0,00850	0,00046	
στο δρόμο	1,3	1,1	0,00017	0,00001	

Έκθεση από σταθμό βάσης ανάλογα με την απόσταση

(Mann et al. 2000)

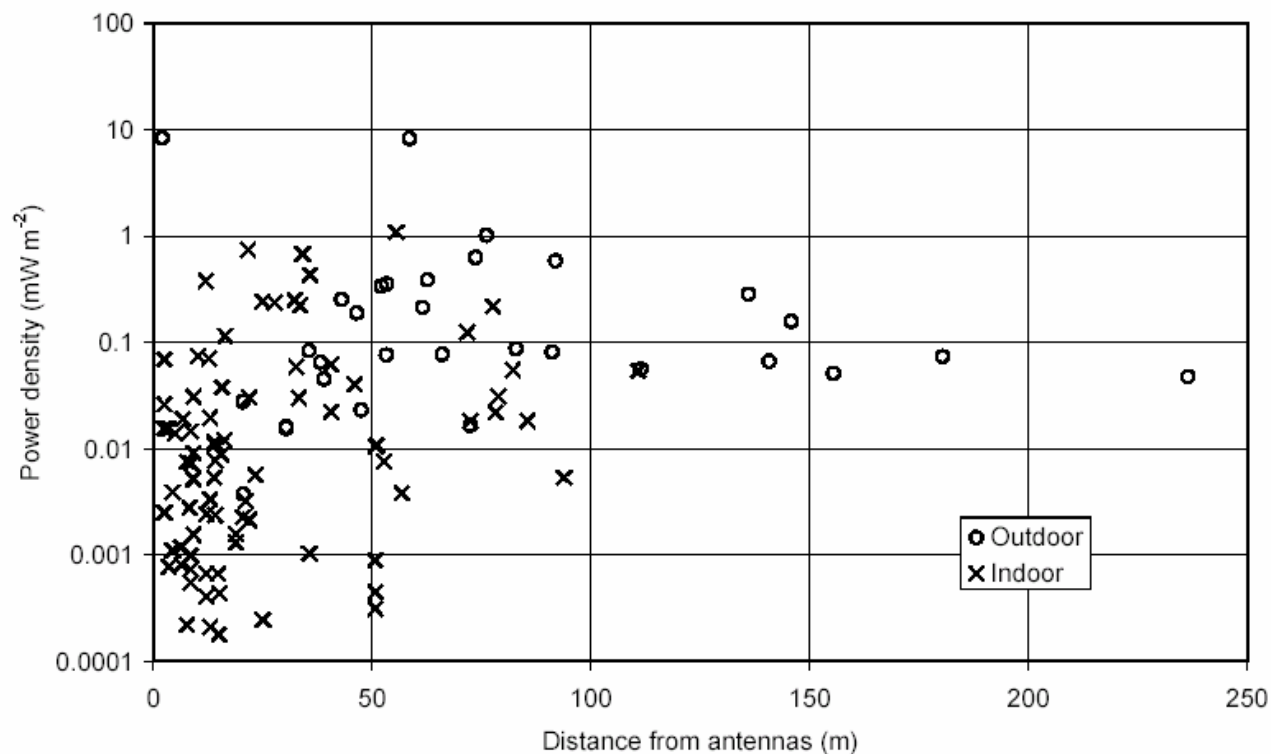
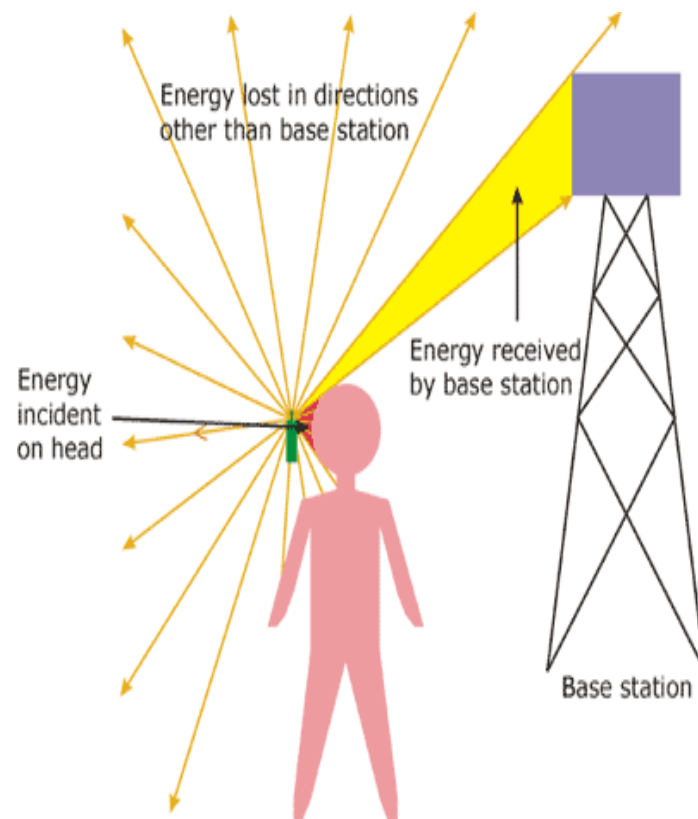


FIGURE 16 Total power densities measured at 118 locations due to signals arising from the base stations of interest

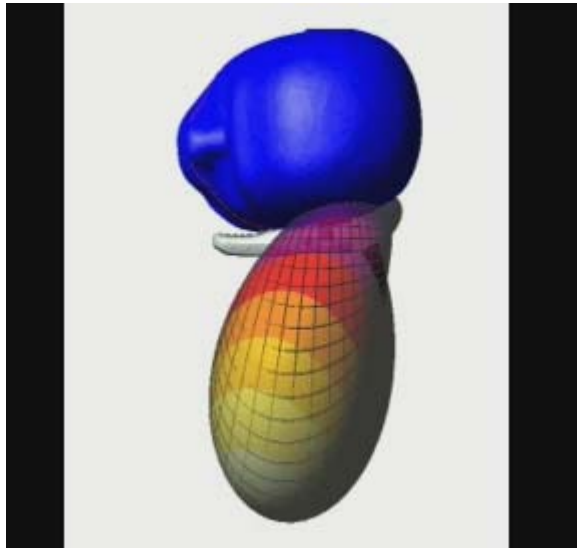
Ακτινοβολία κινητού τηλεφώνου

- Μέχρι και το 65% της ισχύος του κινητού απορροφάται στο κεφάλι
- Το κινητό λειτουργεί με προσαρμογή ισχύος (power adaptation) σε ένα εύρος τιμών που διαφέρουν περίπου 1000 φορές
- Η ενέργεια που απορροφάται εξαρτάται από την ισχύ που εκπέμπεται, την απόσταση από το κεφάλι, τη συχνότητα και το χρόνο κλήσης

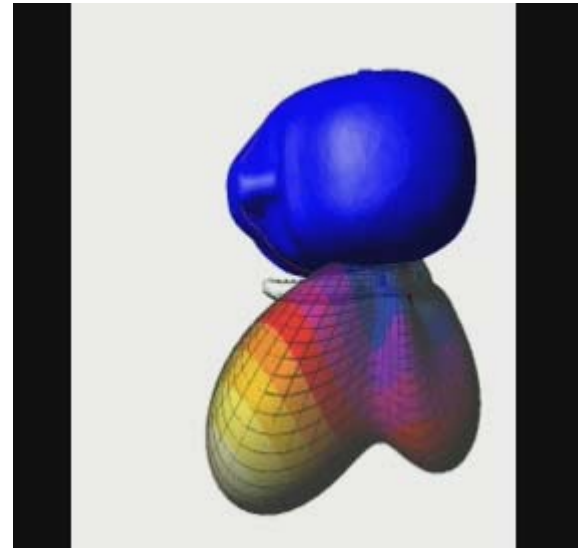


Έκθεση σε κινητό τηλέφωνο

900MHz



1800MHz

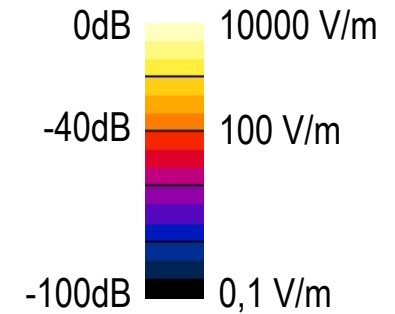
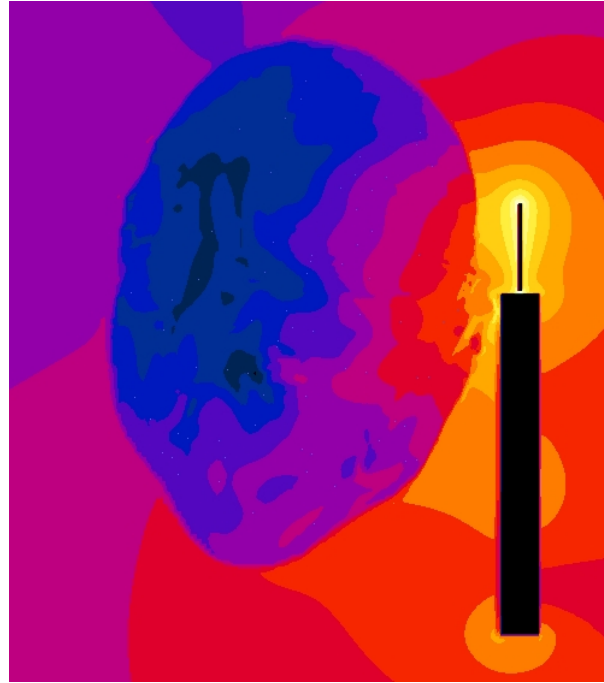


Έκθεση σε κινητό τηλέφωνο

900MHz

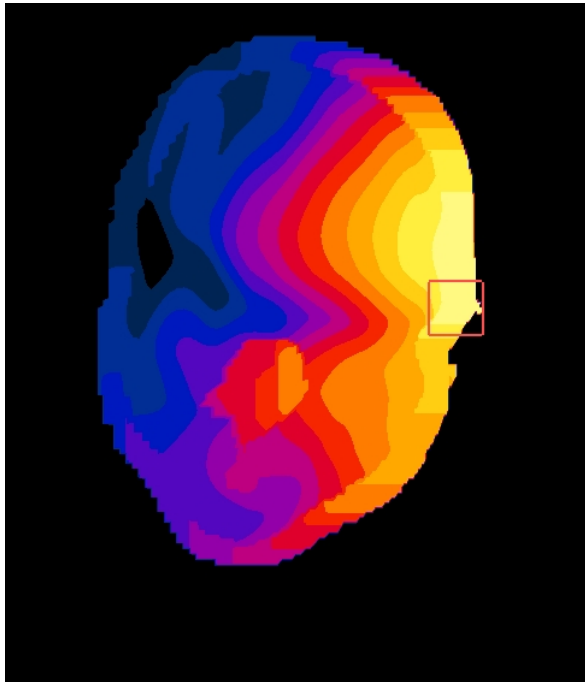


1800MHz

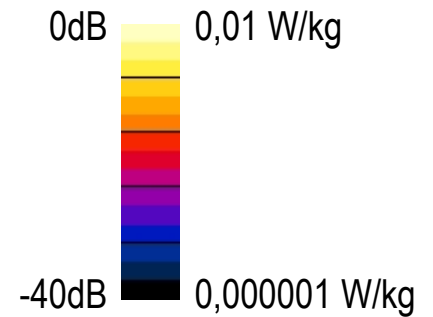
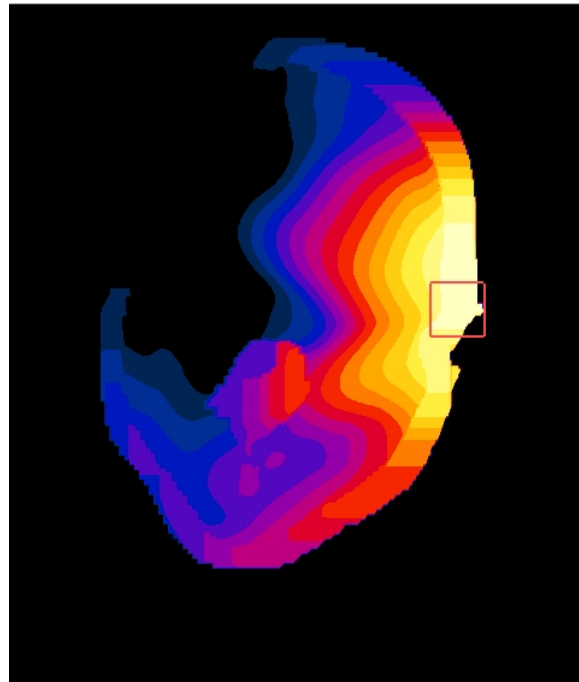


Έκθεση σε κινητό τηλέφωνο

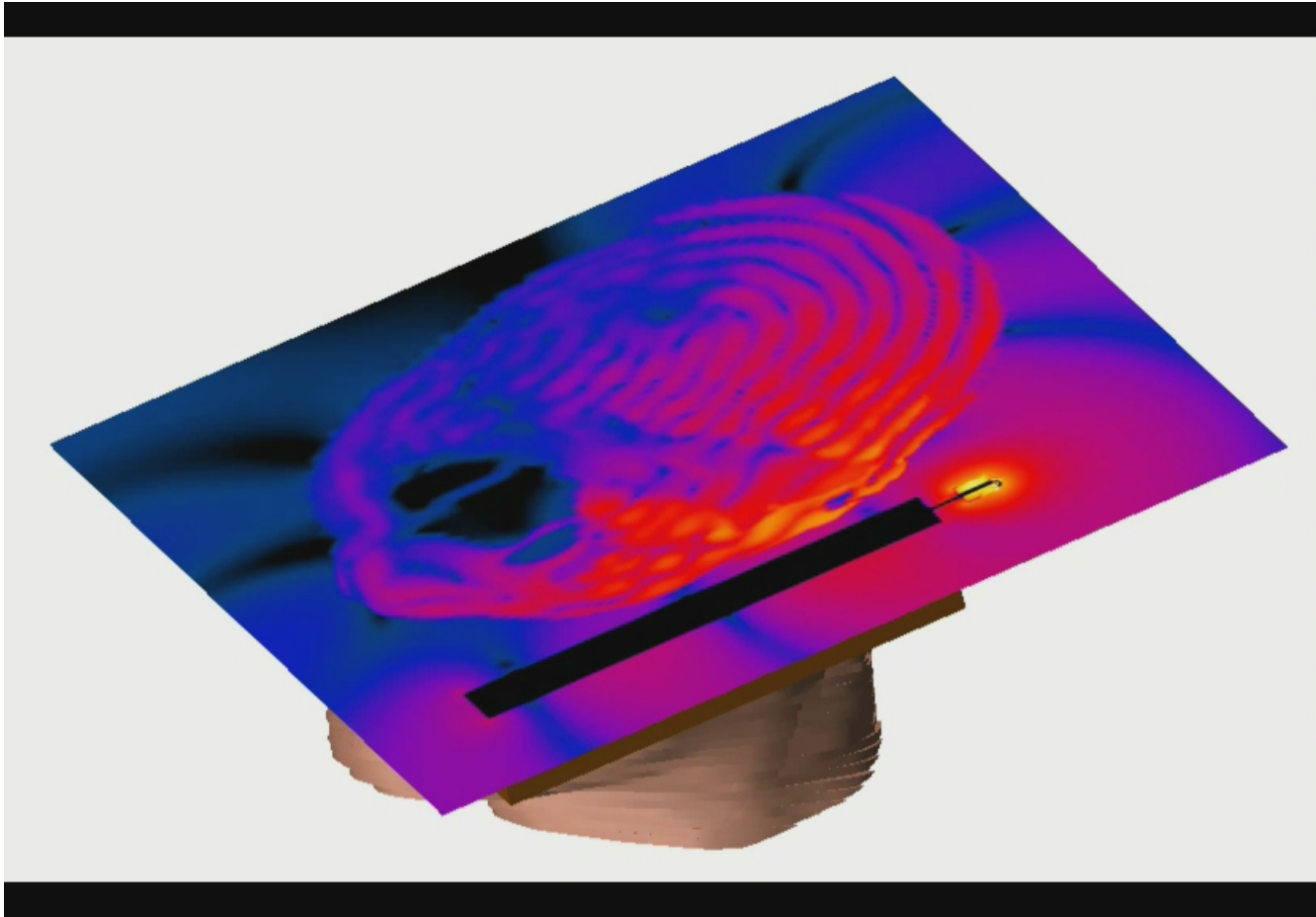
900MHz



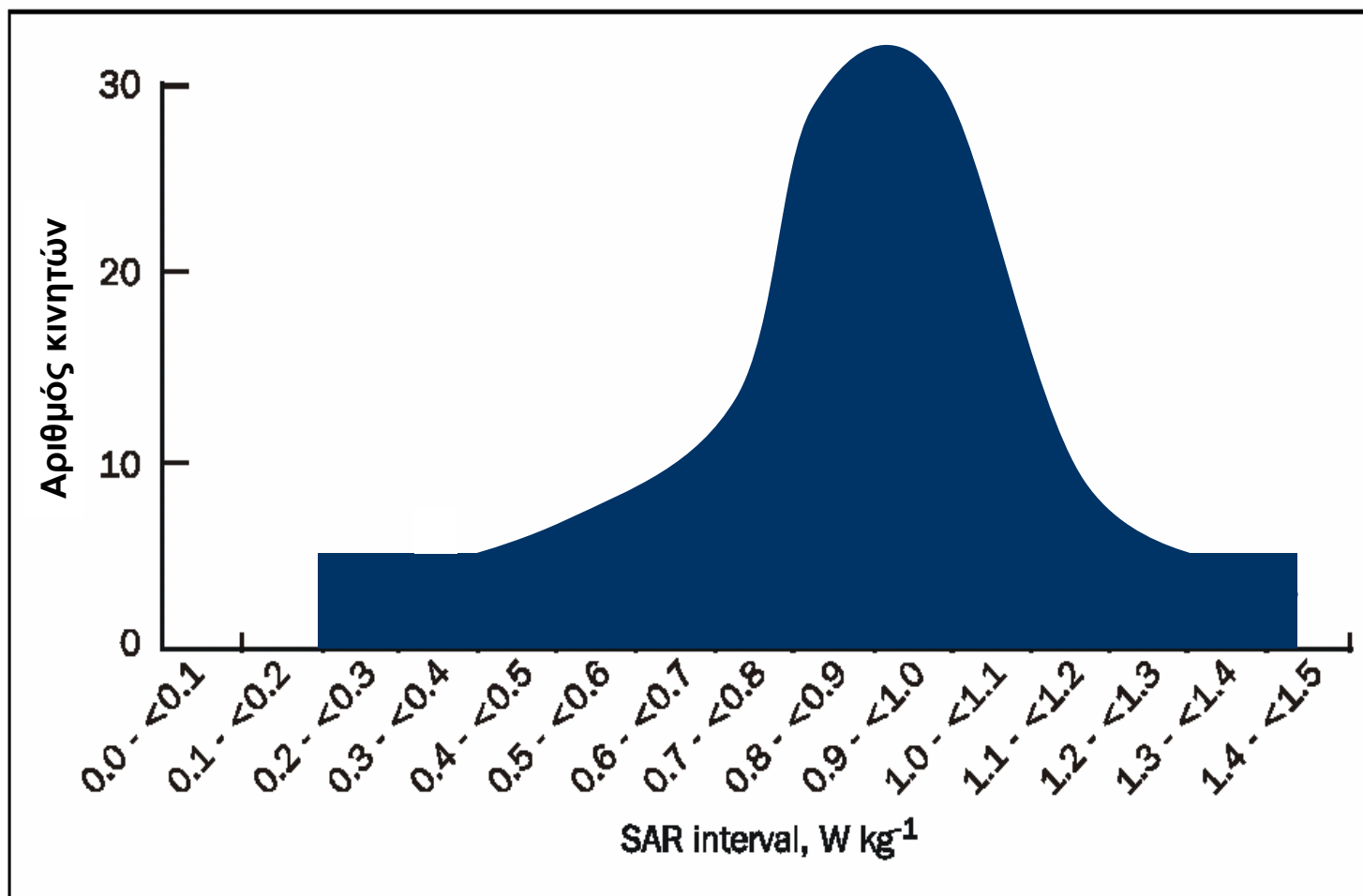
1800MHz



Έκθεση σε κινητό τηλέφωνο



Έκθεση από κινητό τηλέφωνο



Βασικά σημεία

Κινητά τηλέφωνα

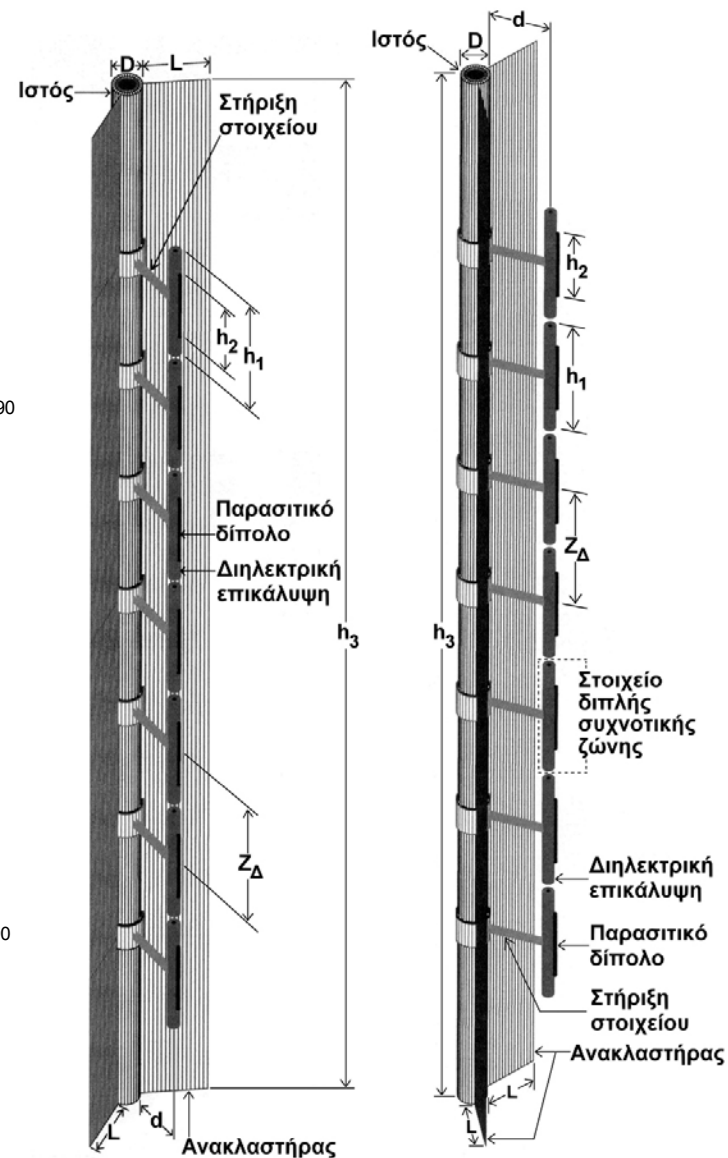
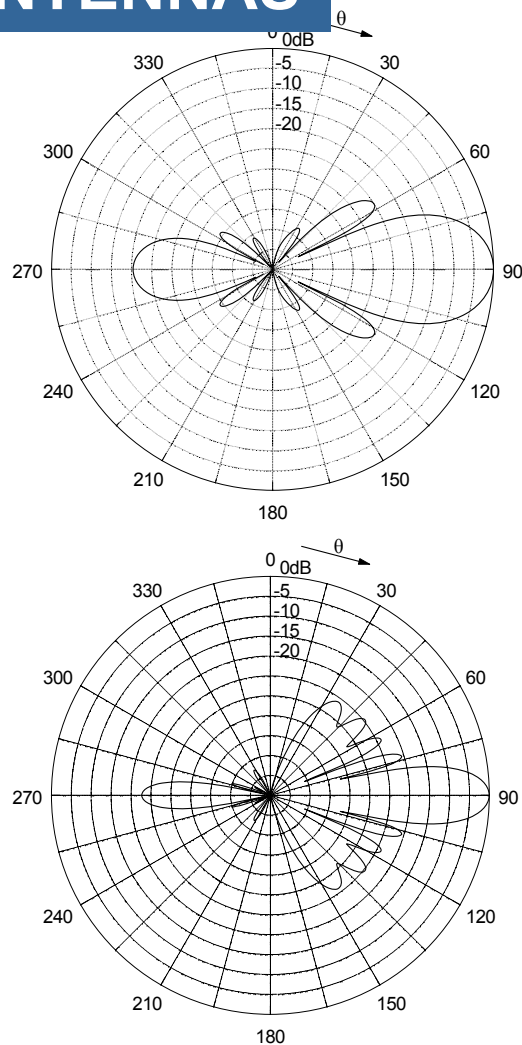
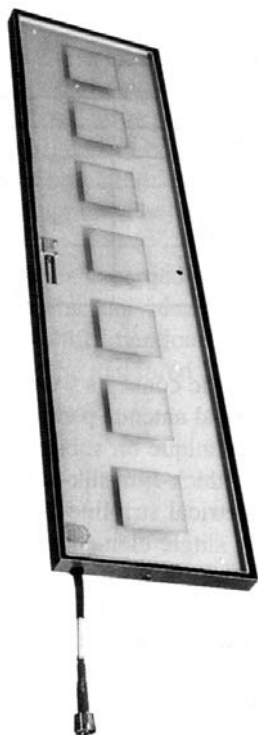
- Εκπέμπουν με μέση ισχύ ως $\frac{1}{4}$ του watt (W)
- Χρησιμοποιούνται σε απόσταση 2cm από το κεφάλι του χρήστη
- Εκθέτουν σε ακτινοβολία κυρίως τους ιστούς που είναι εγγύτερα στην κεραία τους
- Η τοπική έκθεση μετριέται με βάση τον SAR (ρυθμό ειδικής απορρόφησης)
- Οι οδηγίες έκθεσης προσδιορίζουν όριο στον SAR ίσο με 2W/kg για κάθε 10g ιστού και 6 λεπτά
- Όλα τα τηλέφωνα με την ένδειξη CE που κυκλοφορούν στην Ελλάδα πρέπει να συμμορφώνονται με την παραπάνω τιμή
- Οι τιμές του SAR για τα κινητά (υπάρχουν στο Internet) κυμαίνονται μέχρι 1,5W/kg.

Σταθμοί βάσης

- Εκπέμπουν με ισχύ μέχρι περίπου 100W
- Οι κεραίες τους είναι συνήθως μερικές δεκάδες μέτρα μακριά από το γενικό πληθυσμό
- Η έκθεση αφορά σε όλους του ιστούς αλλά σε επίπεδα πολύ μικρότερα του κινητού τηλεφώνου
- Η πυκνότητα ισχύος S της προσπίπτουσας ακτινοβολίας θεωρείται καλό μέτρο της ολόσωμης έκθεσης
- Οι οδηγίες έκθεσης προσδιορίζουν όριο στην S είτε 2,7W/m² είτε 5,4W/m² στις συχνότητες GSM
- Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας υποχρεώνονται στη διεξαγωγή και την έγκριση μελέτης μη ιοντιζουσών ακτινοβολιών πριν τεθεί σταθμός βάσης σε λειτουργία
- Οι τυπικές τιμές του S στη Θεσσαλονίκη είναι εκατοντάδες ως χιλιάδες φορές μικρότερες των επιτρεπόμενων

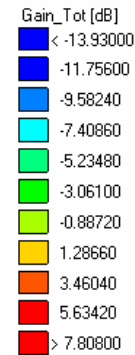
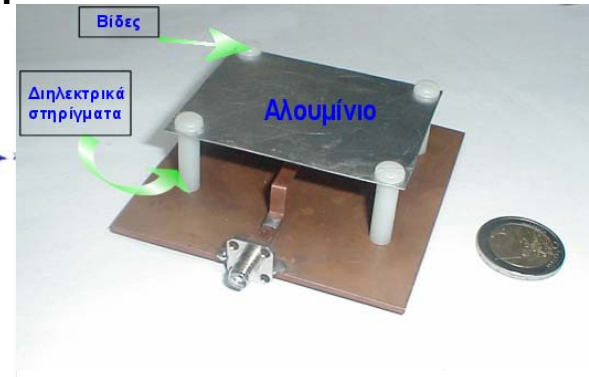
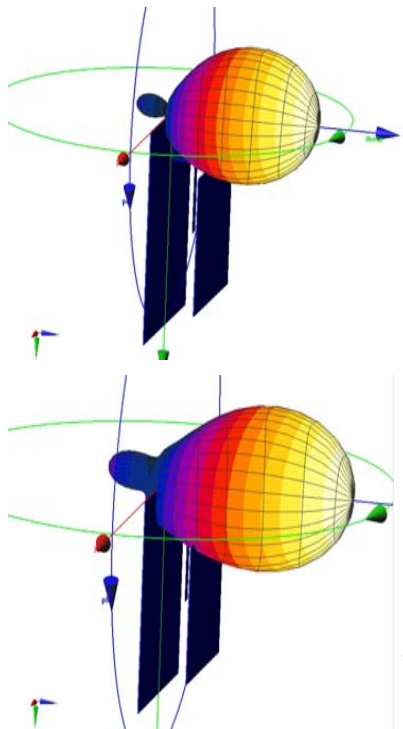
ORAMA

BASE STATION ANTENNAS



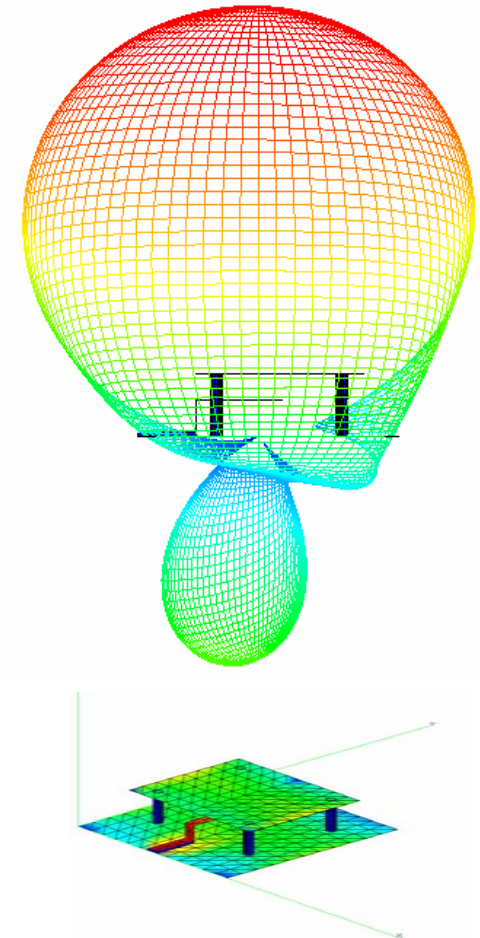
Broadband antenna for base stations (1700-2200MHz)

Far-field investigation



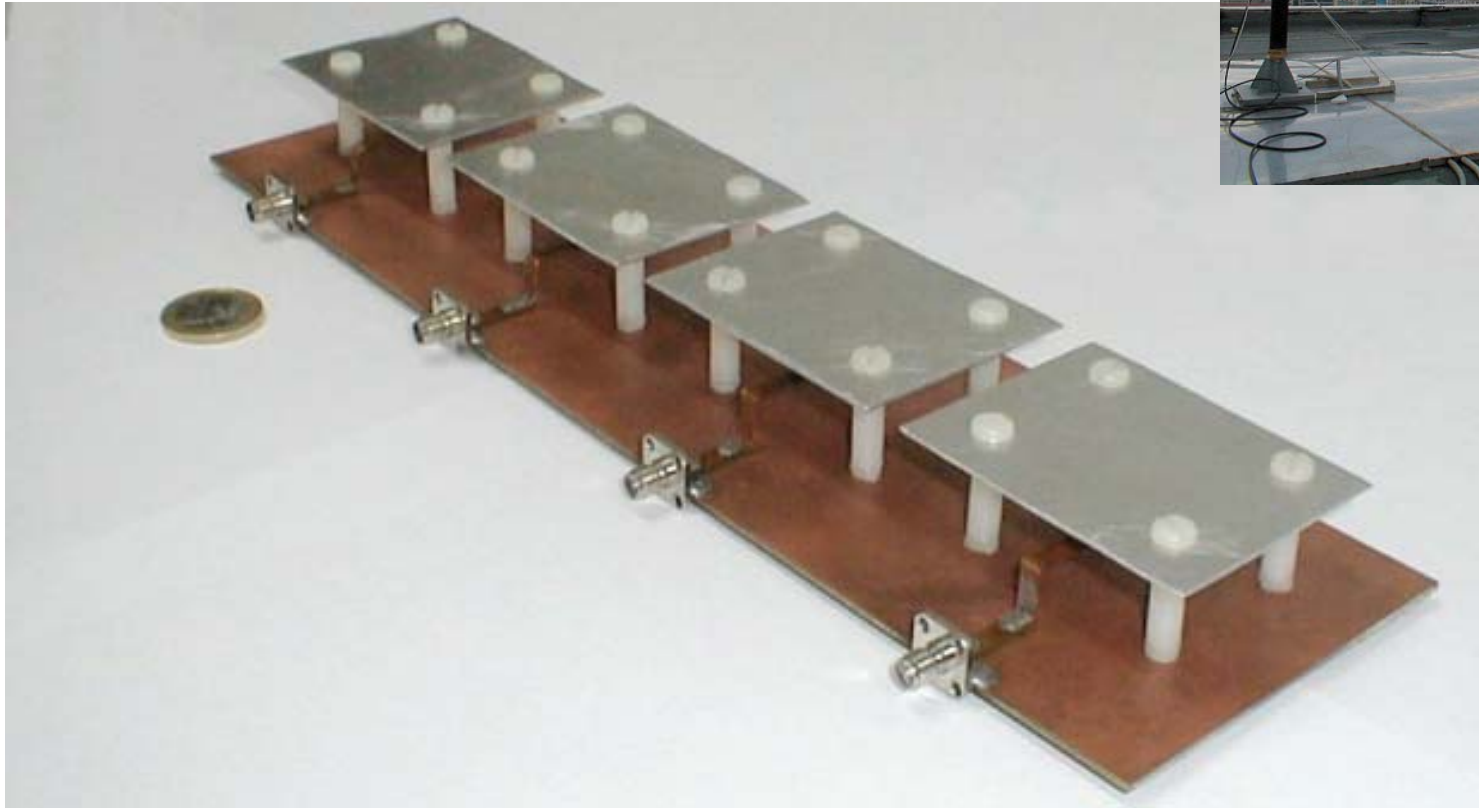
2000MHz

2300MHz



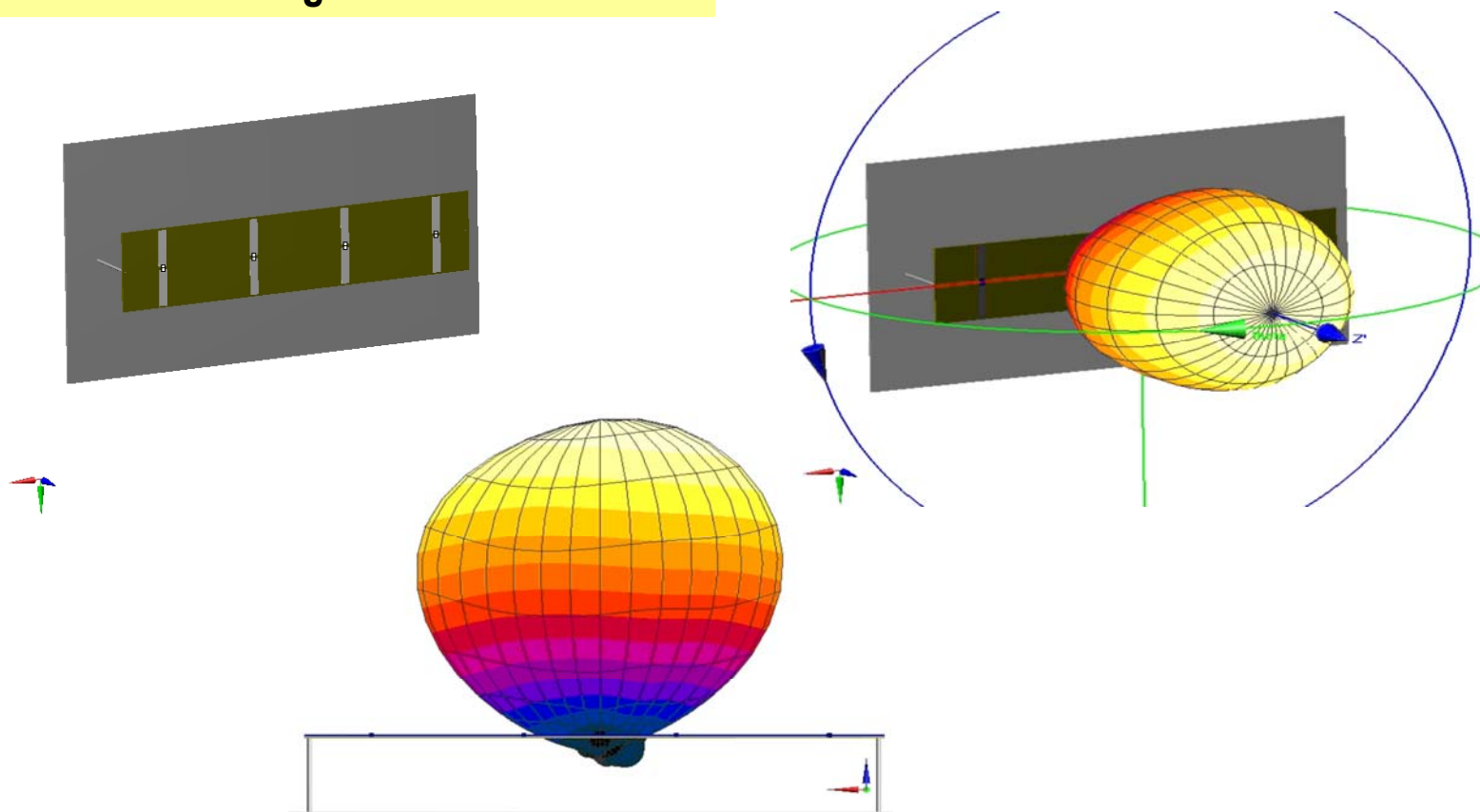
Broadband array for base stations

Construction

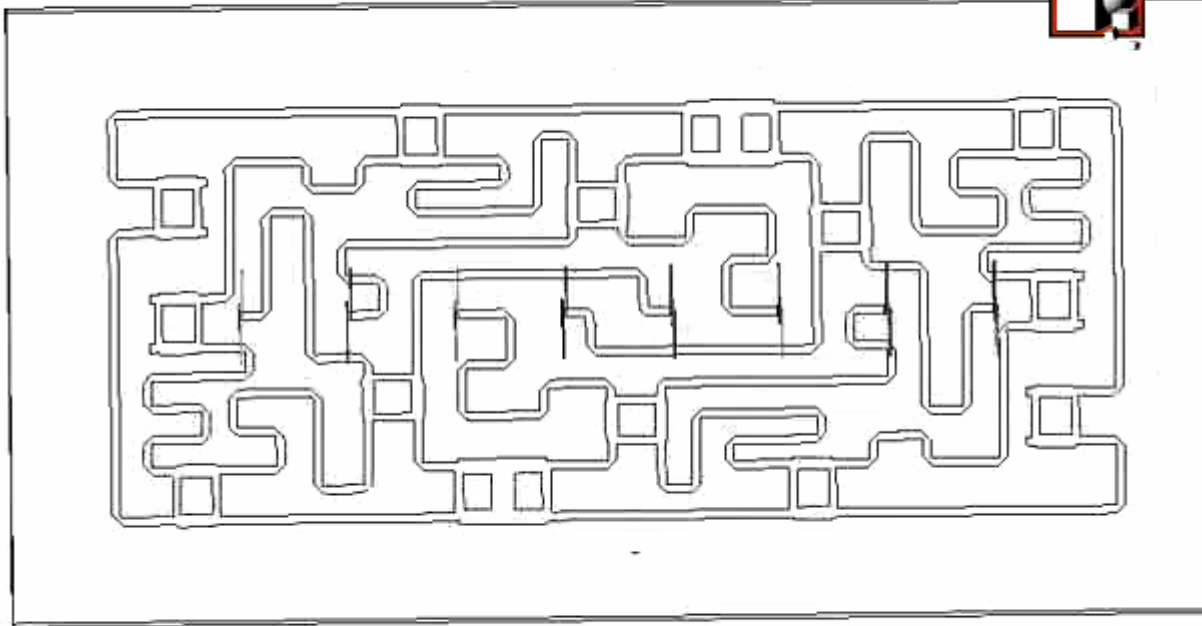


Printed dipole array (2400MHz)

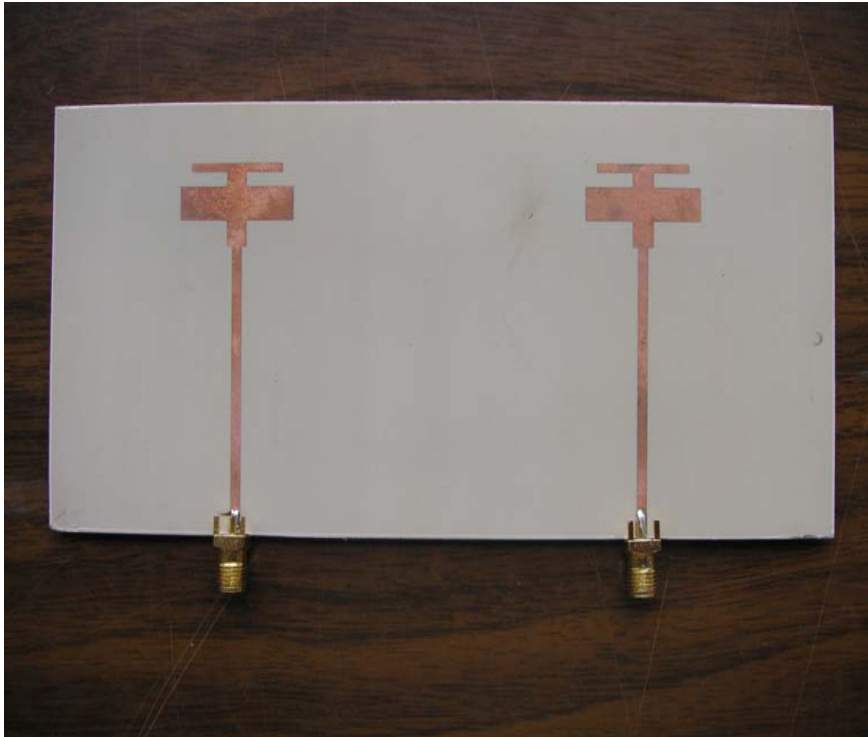
Beam forming Networks



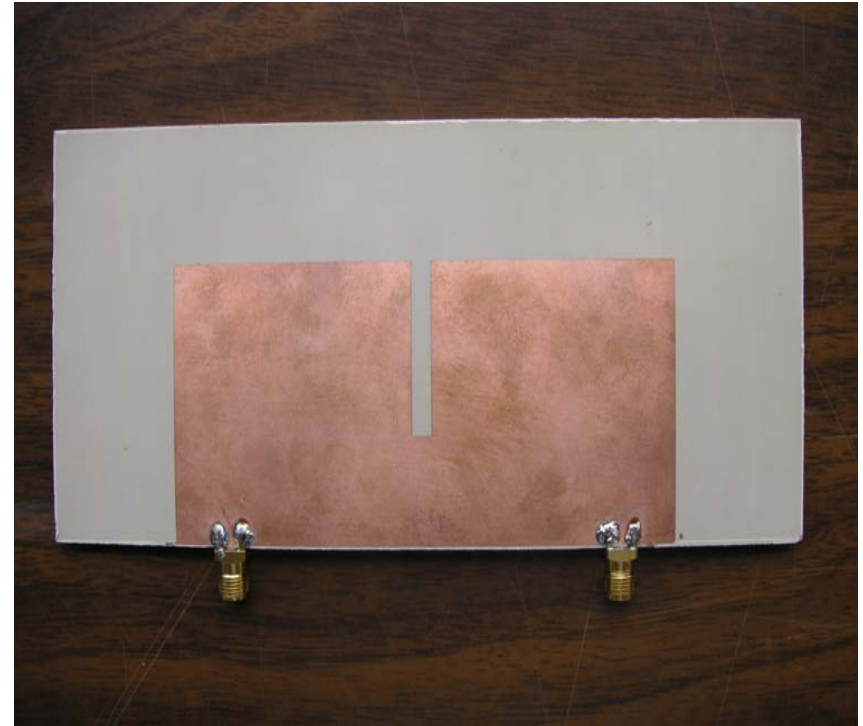
CST
Computer Simulation
Technology



A Spatial Diversity Two-branch Antenna for Wireless Devices

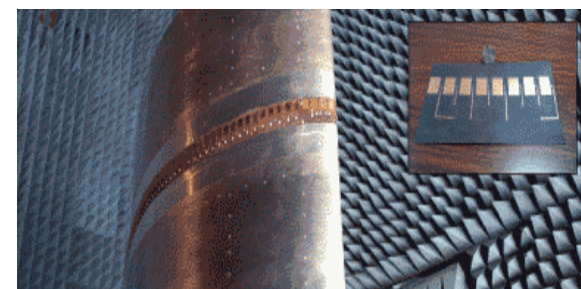
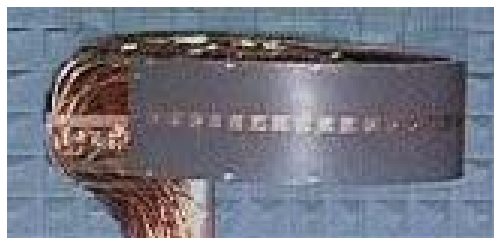
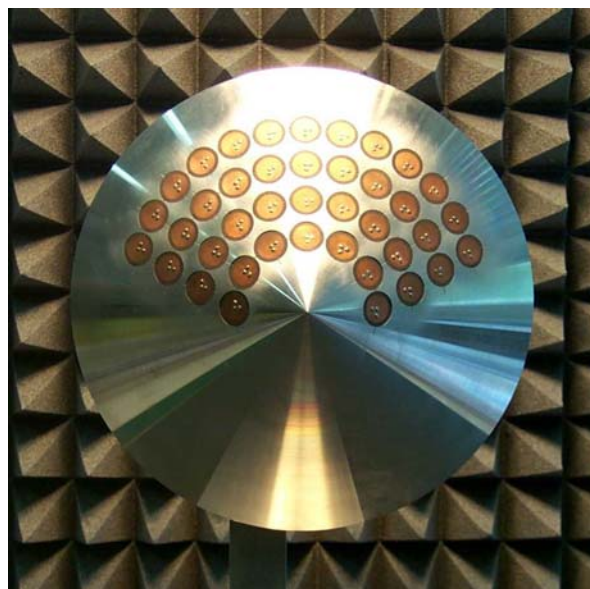
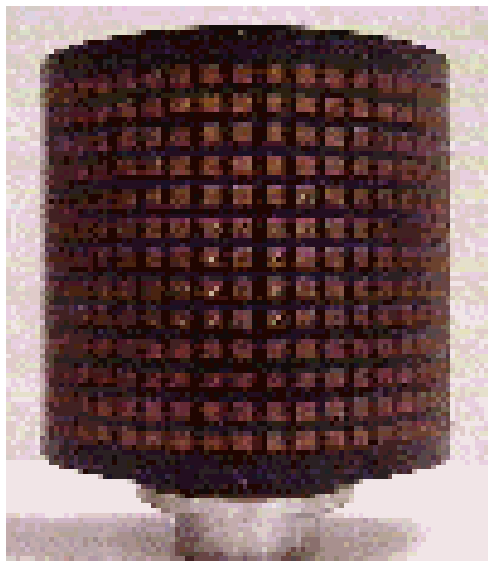


(a)



(b)

a) The upper (printed monopoles) and b) the bottom layer (ground plane) of the constructed prototype diversity antenna with the corrugated ground plane



Συμπεράσματα για τους σταθμούς βάσης

1. **Δεν** βρέθηκε σταθμός με υπέρβαση των ορίων στις θέσεις μέτρησης
2. Επιλογή θέσεων σταθμών να γίνεται με βάση την επιβάρυνση
3. **Αυστηρή τήρηση των ορίων και ΟΧΙ αμέτοχη Πολιτεία**
4. **Διαφάνεια και δημοσιότητα μετρήσεων**. Πνεύμα αμοιβαίας εμπιστοσύνης πολιτών και θεσμοθετημένων οργάνων
5. Ομοιόμορφη χωροθέτηση σταθμών και εφαρμογή **νέων συστημάτων (έξυπνων)**
6. Απαγόρευση **δε σημαίνει** υποχρεωτικά **χαμηλή επιβάρυνση**

Συμπεράσματα για τα κινητά τηλέφωνα

1. Προκαλούν επιβάρυνση μεγαλύτερη των σταθμών βάσης και σε ορισμένες περιπτώσεις **κοντά στα όρια (τα κινητά 3G → ?)**
2. Για άτομα μικρής ηλικίας θα πρέπει **ίσως** να υπάρχουν μόνον hands free τηλέφωνα χωρίς άλλο ακουστικό
3. Τα τηλέφωνα να γίνουν πιο **ευαίσθητα και έξυπνα**
4. Ο πολίτης να γίνει πιο **έξυπνος στη χρήση του κινητού**

Συμπεράσματα – Προτάσεις

1. Απόκτηση από συνδέσμους ΟΤΑ **εξοπλισμού ελέγχου**
2. **Κανονισμοί** – Ευθύνη πολιτείας και επιστημόνων
3. **Μέτρα** για ανήλικους χρήστες
4. **Η ραγδαία εξέλιξη** – απαιτεί επαγρύπνηση

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

