



Ε.Μ.Π., Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών  
Εργαστήριο Βιοϊατρικών Προσομοιώσεων και Απεικονιστικής Τεχνολογίας

# Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία Ραδιοσυχνοτήτων και Υγεία: Η Περίπτωση των Τερματικών Συσκευών Κινητών Επικοινωνιών

Κωνσταντίνα Σπ. Νικήτα, Ph.D., M.D.

# Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

## Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

Συμπεράσματα



# Φύση της μη-ιοντίζουσας ακτινοβολίας

## Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

Συμπεράσματα

- Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
  - Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία      ELF, VLF, IF, RF (100 kHz-300 GHz) – IR
  - $8 \times 10^{14}$  Hz      UV
  - Ιοντίζουσα ακτινοβολία      Ακτίνες X - ακτίνες γ
- Ιοντίζουσα ακτινοβολία:
  - καταστροφή της ενδομοριακής δομής
  - διάσπαση διαμοριακών δεσμών
  - καρκινογενετικά φαινόμενα
- Μη-Ιοντίζουσα ακτινοβολία:
  - δεν προκαλεί χημικές μεταβολές στα ακτινοβολούμενα βιολογικά συστήματα



# Εμπειρία

## Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

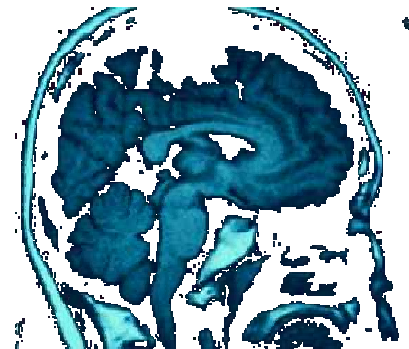
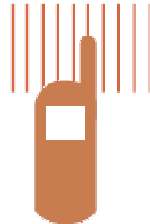
Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

Συμπεράσματα

- Χρήση η/μ κυμάτων κυρίως μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο
  - Ραντάρ
  - Τηλεπικοινωνιακά συστήματα
- Χρήση η/μ κυμάτων για διαγνωστικούς σκοπούς
  - MRI
- Χρήση η/μ κυμάτων για θεραπευτικούς σκοπούς
  - Υπερθερμία



# Βιολογικά αποτελέσματα RF πεδίων (100 kHz-300 GHz)

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

Συμπεράσματα

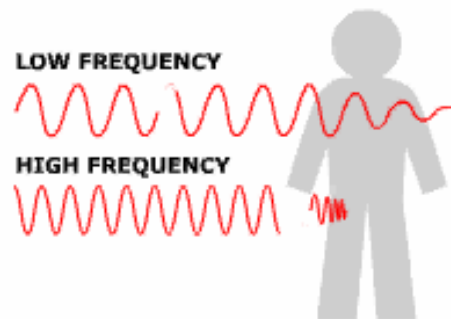
- Θερμικά
  - σημαντική απορρόφηση ενέργειας
  - αύξηση θερμοκρασίας
- Μη-θερμικά
  - μη ανιχνεύσιμη αύξηση θερμοκρασίας
  - έκθεση σε χαμηλά επίπεδα η/μ ισχύος



# Θερμικά αποτελέσματα

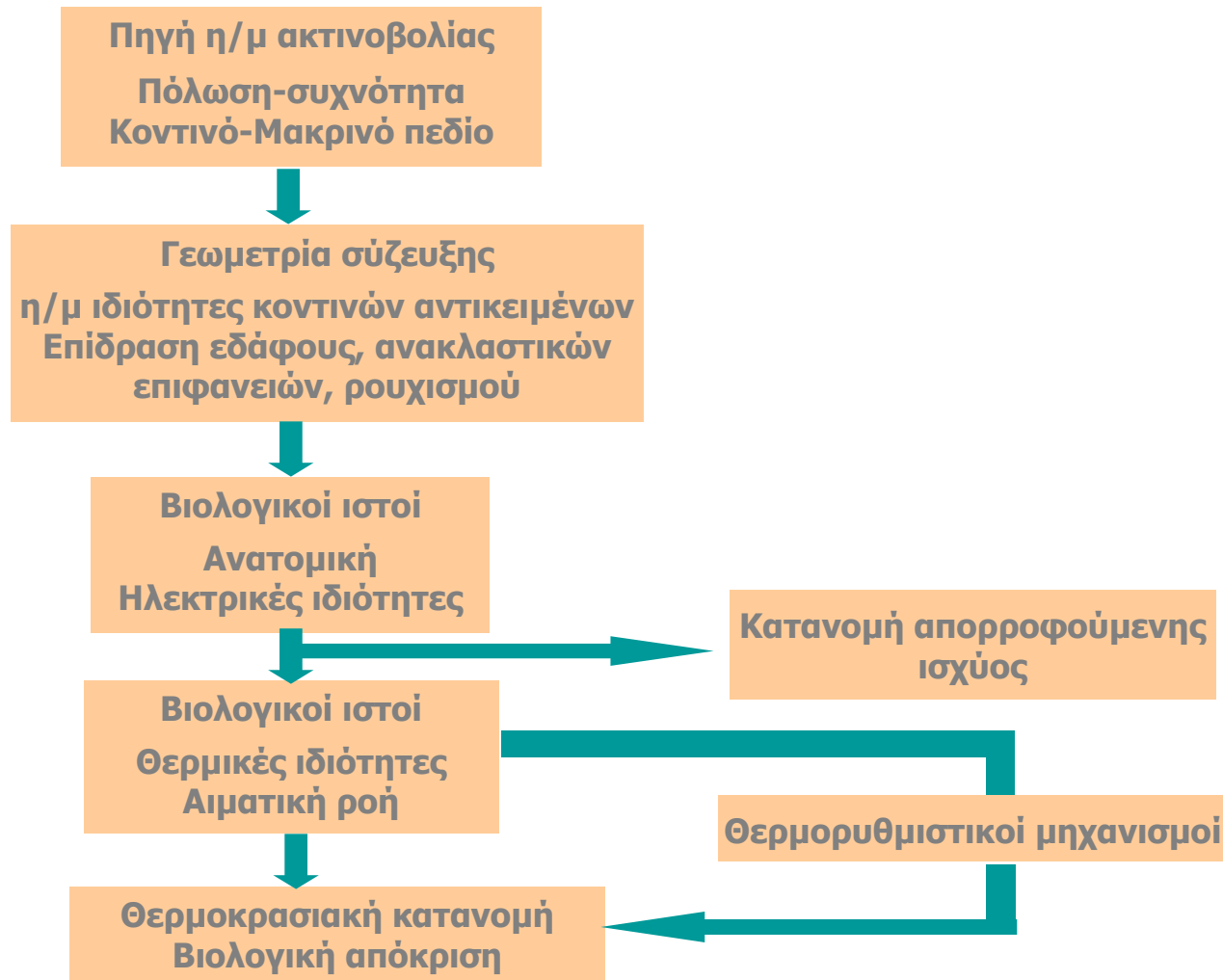
Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών  
Συμπεράσματα

- Ηλεκτρικό πεδίο  $\Rightarrow$  αύξηση της κινητικής ενέργειας των μορίων νερού, αμινοξέων, πρωτεϊνών, σακχάρων, λιπιδίων κ.λπ.
  - αύξηση της ταχύτητας δόνησης ή περιστροφής των διπόλων μορίων που τείνουν να προσανατολιστούν κατά τη φορά του επιβαλλόμενου ηλεκτρικού πεδίου
  - τοπική ή συνολική (σε όλο το σώμα) αύξηση της θερμοκρασίας



# Σχηματικό διάγραμμα αλληλεπίδρασης

Εισαγωγή  
Βιολογικά αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά μεγέθη  
Οδηγίες για τον περιορισμό της έκθεσης  
Συστήματα κινητών επικοινωνιών  
Συμπεράσματα



# Πειραματικές μελέτες

## Καταρρακτογένεση

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

Συμπεράσματα

- Πρόκληση καταρράκτη σε πειραματόζωα που ακτινοβολήθηκαν με υψηλή πυκνότητα ισχύος
- Σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας, εξαιτίας της αδυναμίας του οφθαλμού να απάγει την επιπλέον θερμότητα





# Παλμικά πεδία

## Μικροκυματικό ακουστικό φαινόμενο

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

Συμπεράσματα

- Παλμική ακτινοβολία (200 MHz-6.5 GHz) γίνεται αντιληπτή από άτομα με φυσιολογική ακοή ως ήχος
  - Θερμοελαστική αλληλεπίδραση στον ακουστικό φλοιό του εγκεφάλου
  - Μικρή αλλά απότομη αύξηση της θερμοκρασίας



# Πεδία διαμορφωμένα κατά πλάτος

## Μετακίνηση ιόντων ασβεστίου

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

Συμπεράσματα

- Μετακίνηση **ιόντων ασβεστίου** στις κυτταρικές μεμβράνες
  - Φέροντα κύματα ραδιοσυχνότητας διαμορφωμένα κατά πλάτος σε συχνότητες εγκεφαλικών κυμάτων  $\Rightarrow$  αυξημένη εκροή ιόντων ασβεστίου από τον εγκεφαλικό ιστό
  - Φαινόμενα συντονισμού
    - συχνότητα περιβάλλουσας 6-20 Hz (16 Hz)
    - πυκνότητα ισχύος 1 mW/cm<sup>2</sup>



# Πειραματικές μελέτες

## Επίδραση στο DNA

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

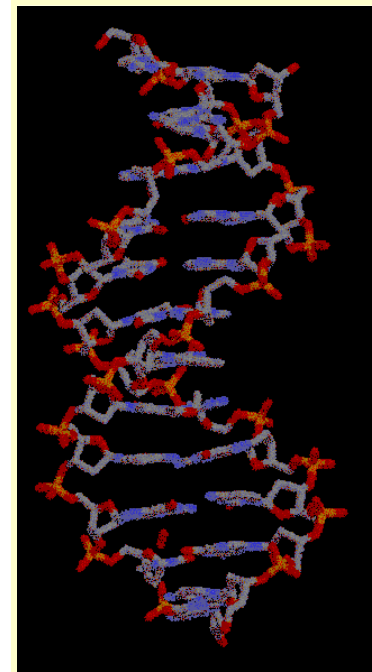
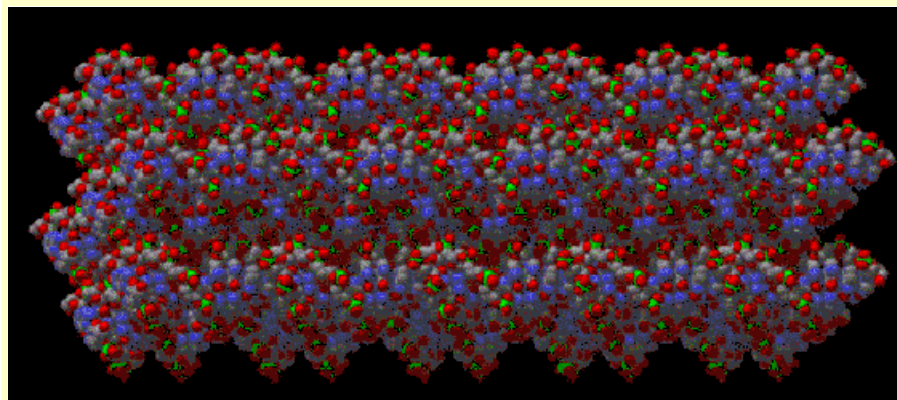
Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

Συμπεράσματα

- Δεν έχει παρατηρηθεί σε σειρά μη-θερμικών πειραμάτων *in vitro* και σε πειραματόζωα για υψίσυχνα παλμικά πεδία.
- Έχει παρατηρηθεί ρήξη στις αλυσίδες DNA εγκεφαλικών ιστών σε πειραματόζωα για έκθεση σε μικροκυματικά πεδία (SAR~1W/kg)



# Βιολογικά αποτελέσματα και Επιπτώσεις στην υγεία

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

Συμπεράσματα

- **Βιολογικά αποτελέσματα**

Μετρήσιμες αποκρίσεις του οργανισμού ή των κυττάρων σε μια διέγερση ή αλλαγή του περιβάλλοντος

- **Επιπτώσεις στην υγεία**

Βιολογικά αποτελέσματα τα οποία προκαλούν βλάβη στην υγεία ή την καλή φυσική κατάσταση

- παρατεταμένη έκθεση
- ανεπαρκείς αντιρροπιστικοί μηχανισμοί



# Μεγέθη η/μ δοσιμετρίας

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών  
Συμπεράσματα

- Βασικοί περιορισμοί

- Ρυθμός ειδικής απορρόφησης SAR (W/kg)

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (W / Kgr)$$

**σ:** ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα ιστών (Si/m)

**E:** ενεργή τιμή ηλεκτρικού πεδίου μέσα στον βιολογικό ιστό (V/m)

**ρ:** πυκνότητα μάζας ιστών (kg/m<sup>3</sup>)

- Συνθήκες έκθεσης (χαρακτηριστικά πηγής, απόσταση, ...)
- Εκτιθέμενο σώμα

- Επίπεδα αναφοράς

- Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (V/m)
- Ένταση μαγνητικού πεδίου (A/m)
- Πυκνότητα ισχύος ισοδύναμου επίπεδου κύματος (W/m<sup>2</sup>)

$$P(W / m^2) = \frac{E^2}{Z_0}$$

**E :** ενεργή τιμή προσπίπτοντος ηλεκτρικού πεδίου

**Z<sub>0</sub>=377 Ω:** σύνθετη αντίσταση ελευθέρου χώρου

- Χαρακτηριστικά πηγής
- Ανεξαρτησία από το εκτιθέμενο σώμα



# Οδηγίες για τον περιορισμό της έκθεσης

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών  
Συμπεράσματα

- Προστασία απέναντι σε όλα τα αναγνωρισμένα αποτελέσματα των πεδίων ραδιοσυχνοτήτων
  - Μεγάλα περιθώρια ασφάλειας
- Καλά τεκμηριωμένα αποτελέσματα μελετών
  - Λαμβάνονται υπόψη **μόνο** βραχυπρόθεσμες, άμεσες επιδράσεις στην υγεία (θερμικά αποτελέσματα)
- Ανεπάρκεια διαθέσιμων δεδομένων για πιθανές μακροπρόθεσμες επιδράσεις και μη-θερμικής φύσης βιολογικά αποτελέσματα
  - Δεν λαμβάνονται υπόψη πιθανές μακροπρόθεσμες επιδράσεις, όπως η αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης καρκίνου



# Όρια Ρυθμού Ειδικής Απορρόφησης

## Βασικοί περιορισμοί (100 kHz-10 GHz)

Εισαγωγή  
Βιολογικά αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά μεγέθη  
Οδηγίες για τον περιορισμό της έκθεσης  
Συστήματα κινητών επικοινωνιών  
Συμπεράσματα

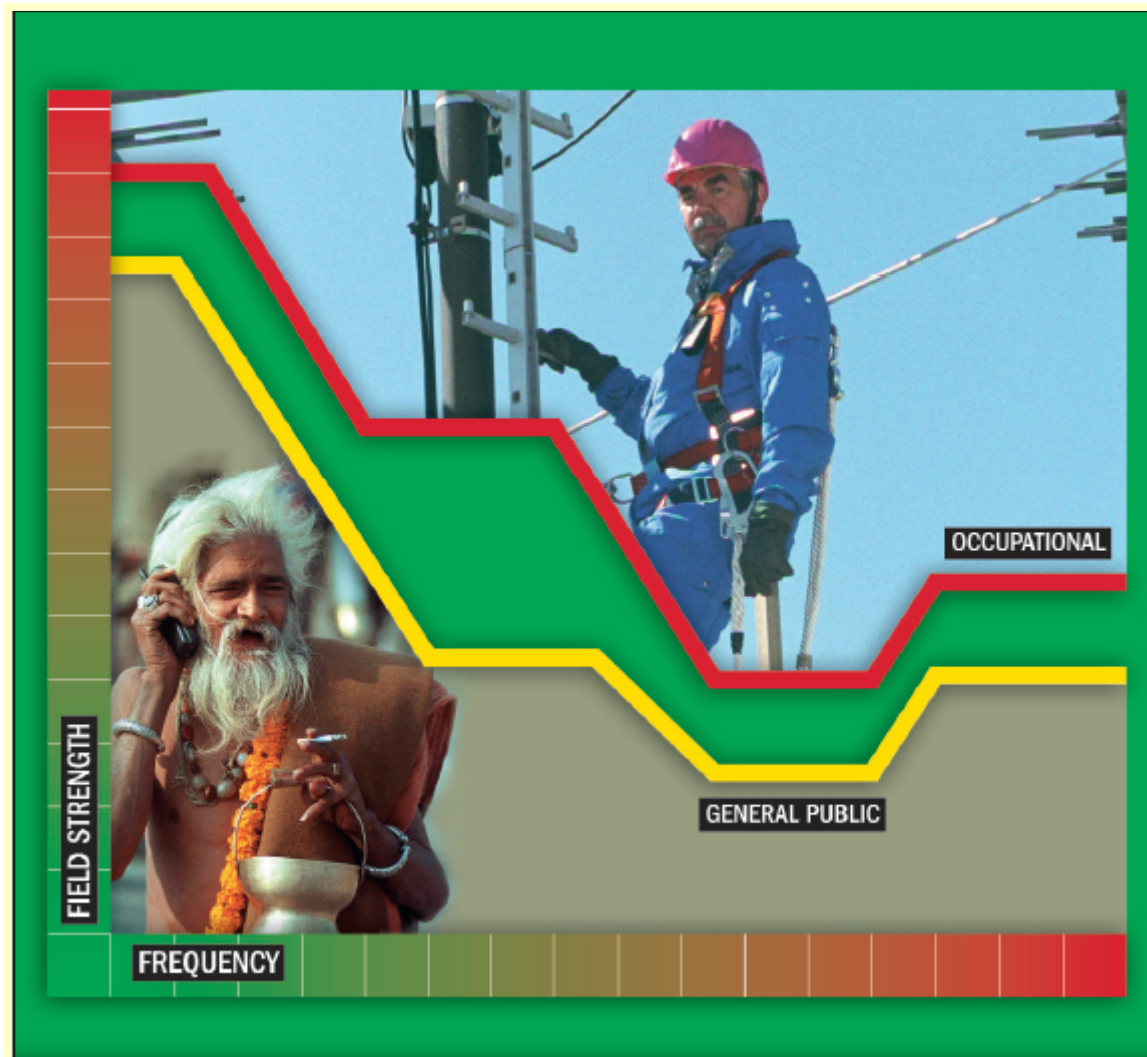
ICNIRP 1998/IEEE

|                   | SAR<br>(μέση τιμή για<br>όλο το σώμα και<br>για διάστημα<br>μέτρησης<br>6 min) | SAR<br>(μέση τιμή για 10 g<br>ιστού της κεφαλής ή<br>του κορμού και για<br>διάστημα μέτρησης<br>6 min) | SAR<br>(μέση τιμή για 10 g<br>ιστού των άκρων και<br>για διάστημα μέτρησης<br>6 min) |
|-------------------|--|--|--|
| Γενικός πληθυσμός | 0.08 W/kg  | 2 W/kg   | 4 W/kg   |
| Εργαζόμενοι       | 0.4 W/kg   | 10 W/kg  | 20 W/kg  |



# Επίπεδα αναφοράς

Εισαγωγή  
Βιολογικά αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά μεγέθη  
Οδηγίες για τον περιορισμό της έκθεσης  
Συστήματα κινητών επικοινωνιών  
Συμπεράσματα





# Επίπεδα αναφοράς

Εισαγωγή  
Βιολογικά αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά μεγέθη  
Οδηγίες για τον περιορισμό της έκθεσης  
Συστήματα κινητών επικοινωνιών  
Συμπεράσματα

| Εφαρμογή                             | Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου | Ένταση Μαγνητικού Πεδίου | Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επίπεδου Κύματος |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
|                                      | E (V/m)                  | H (A/m)                  | P (W/m <sup>2</sup> )                        |
| Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM 900)   | 41                       | 0.11                     | 4.5  |
| Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (GSM 1800) | 58                       | 0.16                     | 9  |
| Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)     | 61                       | 0.16                     | 10   |
| Ασύρματα δίκτυα 2.4 GHz (WiFi)       | 61                       | 0.16                     | 10   |
| Ασύρματα δίκτυα 3.5 GHz (WiMax)      | 61                       | 0.16                     | 10   |

Ευρωπαϊκή Ένωση



Ελλάδα



**70% των ορίων της Ε.Ε.**  
**60% των ορίων της Ε.Ε.\***  
(σταθμός βάσης σε απόσταση μικρότερη των 300 m από βρεφονηπιακούς σταθμούς, νοσοκομεία κλπ.)

| Εφαρμογή                             | Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου | Ένταση Μαγνητικού Πεδίου | Πυκνότητα Ισχύος Ισοδύναμου Επίπεδου Κύματος |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
|                                      | E (V/m)                  | H (A/m)                  | P (W/m <sup>2</sup> )                        |
| Κινητή τηλεφωνία 900 MHz (GSM 900)   | 28.7/24.6*               | 0.08/0.066*              | 3.15/2.7*                                    |
| Κινητή τηλεφωνία 1800 MHz (GSM 1800) | 40.6/34.8*               | 0.11/0.096*              | 6.3/5.4*                                     |
| Κινητή τηλεφωνία 2100 MHz (UMTS)     | 42.7/36.6*               | 0.11/0.096*              | 7/6*   |
| Ασύρματα δίκτυα 2.4 GHz (WiFi)       | 42.7/36.6*               | 0.11/0.096*              | 7/6*   |
| Ασύρματα δίκτυα 3.5 GHz (WiMax)      | 42.7/36.6*               | 0.11/0.096*              | 7/6*   |



# Κινητή τηλεφωνία και υγεία

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία

- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας  
- Τερματικές  
συσκευές

Συμπεράσματα

- Συνεχώς αυξανόμενο πλήθος χρηστών
  - 383 εκατομμύρια χρήστες κινητών τηλεφώνων στην Ευρώπη
  - 84% μέση διείσδυση στην Ευρώπη
  - 1.6 δισεκατομμύρια συνδρομητές κινητών τηλεφώνων παγκόσμια
  - Εξάπλωση της χρήσης σε παιδιά
- Αξίζει να ερευνηθεί παγκόσμια;
  - Δεδομένης της ευρύτατης χρήσης κινητών τηλεφώνων, ακόμα και ανεπαίσθητα αποτελέσματα για την υγεία, ενδεχομένως να ενέχουν σημαντικές κοινωνικές επιπτώσεις

**Με κινητό τηλέφωνο  
το 74% των δωδεκάχρονων**



**Εθισμένοι στα... κινητά οι νέοι**

Αποκαλυπτικά στοιχεία για τα Ελληνόπουλα 12 έως 22 ετών  
και την απόλυτη εξάρτησή τους από το τηλέφωνο



# Μελέτες σε πειραματόζωα

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών  
- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία  
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας  
- Τερματικές  
συσκευές  
Συμπεράσματα

- **Μελέτες καρκινογένεσης**
  - Διπλασιασμός εμφάνισης λεμφώματος σε ποντίκια προδιαθετειμένα σε λέμφωμα μετά από μακρά έκθεση σε GSM ακτινοβολία (Αυστραλία).
  - Βλάβες στο DNA λόγω έκθεσης των πειραματοζώων σε μικροκυματική ακτινοβολία σε συχνότητες κινητών επικοινωνιών (Πανεπιστήμιο Washington)
- **Επιδράσεις στην πρόσφατη μνήμη** (Πανεπιστήμιο Washington)
- **Επιδράσεις στον αιματοεγκεφαλικό φραγμό** (Πανεπιστήμιο Lund)
  - Διάνοιξη αιματοεγκεφαλικού φραγμού σε πρωτεΐνες (αλβουμίνη)
  - Πιθανή συσχέτιση με ασθένειες όπως η Alzheimer



# Μελέτες σε ανθρώπους

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών  
- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία  
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας  
- Τερματικές  
συσκευές  
Συμπεράσματα

- **Βράχυνση του χρόνου αντίδρασης σε εξωτερικά ερεθίσματα**  
Έκθεση 35 εθελοντών σε συνεχή και παλμική μικροκυματική ακτινοβολία, Πανεπιστήμιο Bristol.
- **Επιδράσεις στον ύπνο και τη γνωσιακή λειτουργία**  
Διαταραχή των φυσιολογικών EEG ύπνου, μετά από έκθεση σε GSM ακτινοβολία διάρκειας 30 min, Πανεπιστήμιο Zurich.
- **Καρκίνος οφθαλμού**  
Ανάλυση ερωτηματολογίων που δόθηκαν σε 118 ασθενείς με μελάνωμα, σε σχέση με αντίστοιχα ερωτηματολόγια που δόθηκαν σε 475 υγιείς μάρτυρες, Πανεπιστήμιο Essen.



# Μελέτη INTERPHONE<sup>1</sup>

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών  
- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία  
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας  
- Τερματικές  
συσκευές  
Συμπεράσματα

Συνεργασία 13 χωρών\* με σκοπό τη διερεύνηση πιθανής  
συσχέτισης μεταξύ του κινδύνου ανάπτυξης ενδοκρανιακών  
όγκων και της χρήσης κινητών τηλεφώνων



*Ακουστικό Νευρίνωμα*  
(καλοήθης όγκος  
ακουστικού νεύρου)

*Γλοίωμα, μηνιγγίωμα*  
(κακοήθεις όγκοι εγκεφάλου)

*\*Cardis E, Kilkenny M. "International case-control study of adult brain, head and neck tumours: results of the feasibility study", Radiat Prot Dosimetry 1999;83:179-83*



# Μελέτη INTERPHONE<sup>2</sup>

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία

- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας  
- Τερματικές  
συσκευές

Συμπεράσματα

- **Σκοπός:** Αποτίμηση κινδύνου εμφάνισης **ακουστικού νευρινώματος** σε σχέση με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου
- **Σχεδιασμός:** Επιδημιολογική πληθυσμιακή έρευνα σε 5 χώρες της Ευρώπης: Φινλανδία, Δανία, Σουηδία, Νορβηγία, Ηνωμένο Βασίλειο
- **Συμμετέχοντες:** Ασθενείς με ακουστικό νευρίνωμα ηλικίας 20–69 ετών, περίοδος παρακολούθησης 1999–2004, 678 ασθενείς, 3553 άτομα ελέγχου
- **Αποτελέσματα:**
  - Δεν παρατηρήθηκε αυξημένος κίνδυνος εμφάνισης ακουστικού νευρινώματος
  - Δεν βρέθηκε καμία σύνδεση κινδύνου με τη διάρκεια χρήσης, τις αθροιστικές ώρες χρήσης ή το συνολικό αριθμό κλήσεων
  - Αύξηση του κινδύνου ανάπτυξης νευρινώματος στην πλευρά που το άτομο συνηθίζει να κρατά το κινητό, για χρήση 10 ή περισσότερων ετών
  - Δεν μπορεί να αποκλειστεί συνολικά αυξημένος κίνδυνος μετά από υπερδεκαετή χρήση

\* “Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Interphone case-control study in five North European counties”, *British Journal of Cancer*, 2005



# Μελέτη INTERPHONE<sup>3</sup>

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία

- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας  
- Τερματικές  
συσκευές

Συμπεράσματα

- **Σκοπός:** Διερεύνηση πιθανής συσχέτισης κινδύνου εμφάνισης **γλοιώματος** στους ενήλικες με τη χρήση κινητών τηλεφώνων
- **Σχεδιασμός:** Επιδημιολογική πληθυσμιακή έρευνα με συγκέντρωση δεδομένων από προσωπική συνέντευξη\*
- **Τοποθεσία:** Πέντε περιοχές του Ηνωμένου Βασιλείου
- **Συμμετέχοντες:** 966 άτομα (18 - 69 ετών) με διάγνωση γλοιώματος στο διάστημα 12/2000-02/2004 και 1716 μάρτυρες
- **Αποτελέσματα:**
  - Δεν παρατηρήθηκε σύνδεση του κινδύνου για γλοίωμα με τη βραχυρόθεσμη ή μεσοπρόθεσμη χρήση του κινητού
  - Παρατηρήθηκε συσχετισμός σημαντικά μεγαλύτερου κινδύνου για ανάπτυξη όγκου στην πλευρά χρήσης του κινητού, που συνοδεύτηκε από μειωμένο κίνδυνο για την άλλη πλευρά.
  - Οι συμπληρωματικοί θετικοί και αρνητικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με τη ομόπλευρη και την ετερόπλευρη χρήση του κινητού τηλεφώνου σε σχέση με την εντόπιση του όγκου ενδεχομένως να οφείλονται σε στατιστική απόκλιση ανάκλησης πληροφορίας.

\* "Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study", *British Medical Journal*, January 2006



# Μελέτη INTERPHONE<sup>4</sup>

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών  
- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία  
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας  
- Τερματικές  
συσκευές  
Συμπεράσματα

- **Σκοπός:** Διερεύνηση πιθανής συσχέτισης κινδύνου εμφάνισης **γλοιώματος** και **μηνιγγιώματος** στους ενήλικες με τη χρήση κινητών τηλεφώνων
- **Σχεδιασμός:** Επιδημιολογική πληθυσμιακή έρευνα στη Γερμανία\*
- **Συμμετέχοντες:** Ασθενείς (30–69 ετών), περίοδος παρακολούθησης 2000–2003, 366 άτομα με γλοίωμα, 381 άτομα με μηνιγγίωμα, 1535 άτομα ελέγχου
- **Αποτελέσματα:**
  - Καμία ένδειξη συνολικού αυξημένου κινδύνου για γλοίωμα ή μηνιγγίωμα στους τακτικούς χρήστες κινητών τηλεφώνων
  - Αυξημένος κίνδυνος για γλοίωμα σε άτομα που είχαν χρησιμοποιήσει κινητά τηλέφωνα για 10 ή περισσότερα χρόνια.
  - Καμία σχέση μεταξύ χρήσης ασύρματων τηλεφώνων και κινδύνου εμφάνισης γλοιώματος ή μηνιγγιώματος
- **Σημείωση:** Ο αριθμός των χρηστών κινητών τηλεφώνων για 10 ή περισσότερα χρόνια ήταν χαμηλός. Δεν μπορούν να αποκλειστούν οι επιπτώσεις στατιστικής απόκλισης ανάκλησης πληροφορίας.

*“Cellular phones, cordless phones, and the risks of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany)”, American Journal of Epidemiology, October 2006*





# Επιδημιολογικές μελέτες

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών  
- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία  
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας  
- Τερματικές  
συσκευές  
Συμπεράσματα

- **Δυσκολίες διεξαγωγής μελετών**

- Χρειάζονται χρόνια για να παρατηρηθούν τυχόν βλάβες
- π.χ. για παρατήρηση αύξησης σε περιστατικά καρκίνων από κινητά (διερεύνηση πιθανής συσχέτισης) χρειάζονται τουλάχιστον 10 χρόνια.
- Όμως σε αυτό το χρονικό διάστημα το υπό παρατήρηση δείγμα αλλάζει συνήθειες

- **Απαιτήσεις για την αξιοπιστία των μελετών**

- Μεγάλο δείγμα με αμετάβλητα χαρακτηριστικά
- Συγκριτικό δείγμα που θα αποτελεί τον έλεγχο για την εξαγωγή οποιωνδήποτε συμπερασμάτων
- Δοσιμετρικές πληροφορίες



# Κυψελοειδής δομή

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

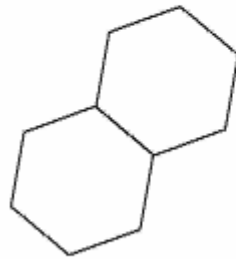
Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας
- Τερματικές  
συσκευές

Συμπεράσματα



Ικανοποιητική κάλυψη

- Κυψελοειδής δομή δικτύου
- Στρατηγική θέση σταθμού βάσης

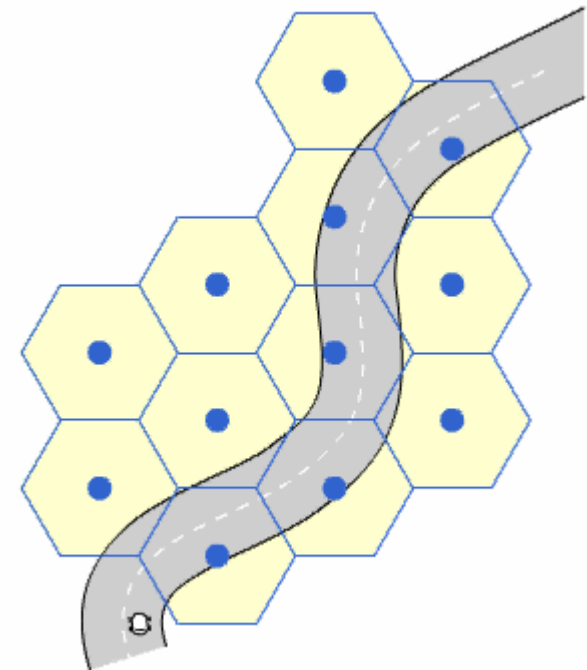
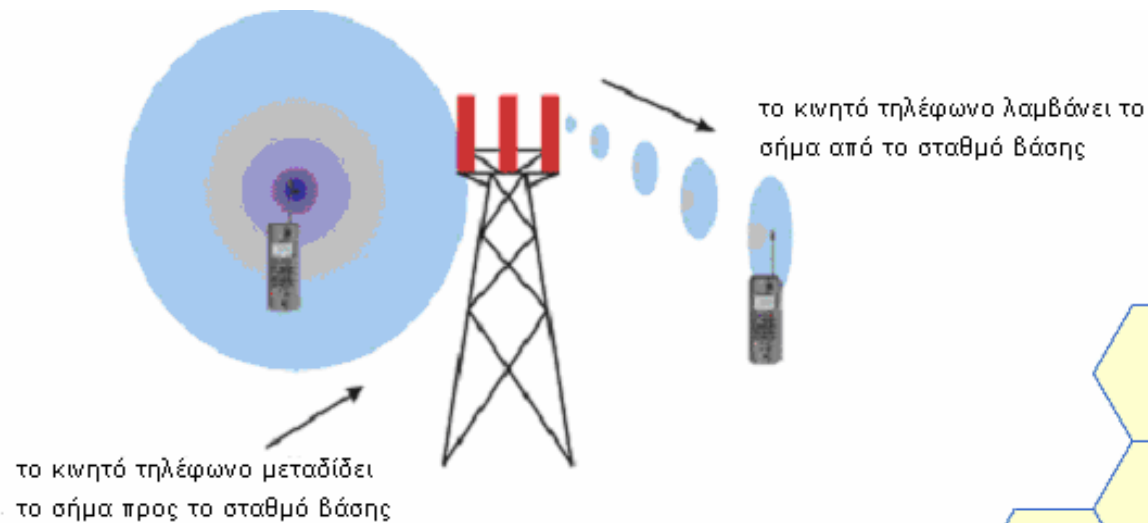


# Κλήση από το κινητό ...

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

Συμπεράσματα



<http://www.hpa.org.uk>



# Σταθμός βάσης

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

Συμπεράσματα

- Κάλυψη
- Χωρητικότητα: Δυνατότητα ταυτόχρονης εξυπηρέτησης ενός μέγιστου αριθμού κλήσεων σε κάθε κυψέλη
  - Αύξηση αριθμού συνδρομητών
  - Πύκνωση δικτύου σταθμών βάσης



# Τερματική συσκευή

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

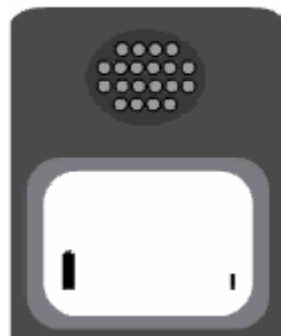
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

Συμπεράσματα

- Αυτόματος έλεγχος ισχύος για τη μείωση στο ελάχιστο της εκπεμπόμενης ισχύος, με παράλληλη διατήρηση της ποιότητας επικοινωνίας
- Παράταση διάρκειας ζωής της μπαταρίας και του χρόνου ομιλίας



# Ακτινοβολία σταθμού βάσης

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

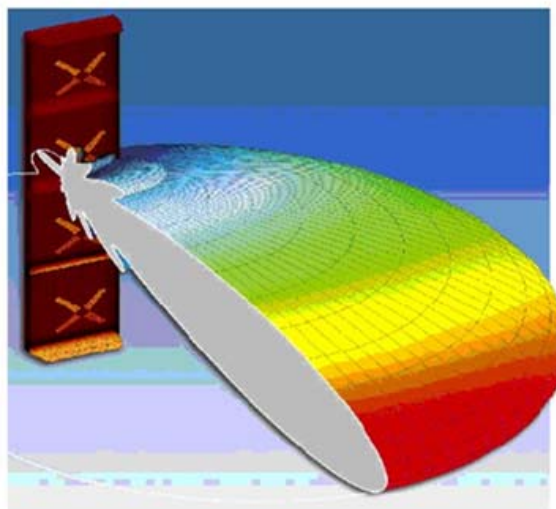
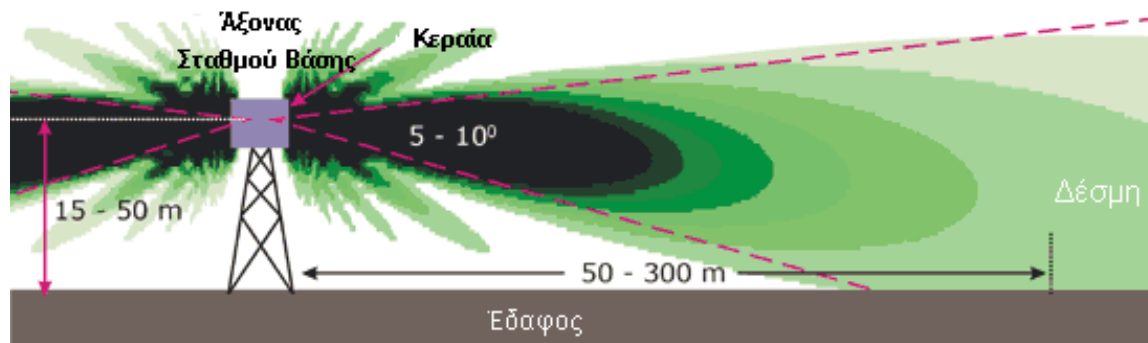
Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

Συμπεράσματα



# Ακτινοβολία τερματικής συσκευής

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

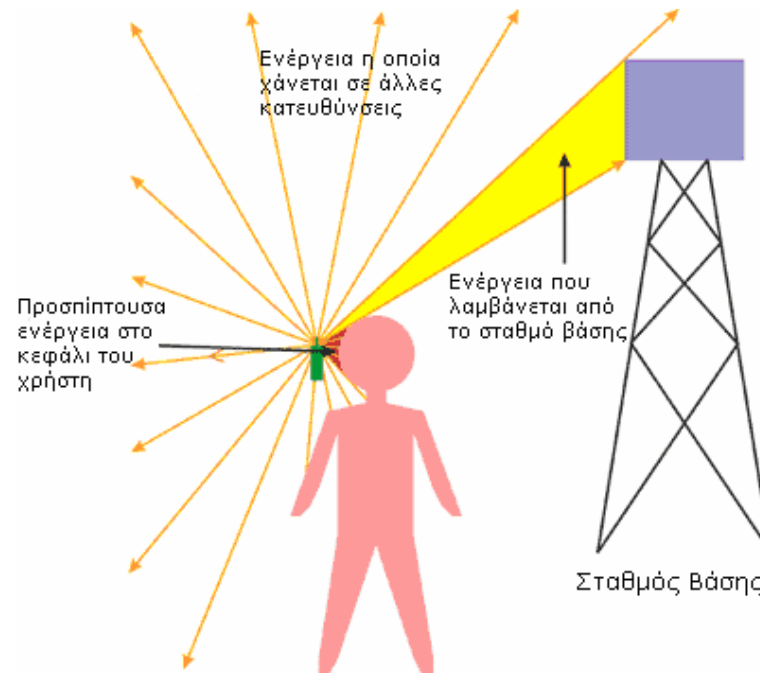
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

Συμπεράσματα

- Η ισχύς εξόδου του κινητού ρυθμίζεται ανάλογα με την ποιότητα επικοινωνίας με το σταθμό βάσης



# Τερματικές συσκευές - Σταθμοί βάσης

## Εισαγωγή

Βιολογικά αποτελέσματα

Δοσιμετρικά μεγέθη

Οδηγίες για τον περιορισμό της έκθεσης

Συστήματα κινητών επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

Συμπεράσματα

| Κινητό Τηλέφωνο  | Σταθμός Βάσης   |
|--|---|
| Ακτινοβολεί ισχύ περί το $\frac{1}{4}$ (900 MHz) ή $\frac{1}{8}$ (1800 MHz) watt.  | Ακτινοβολεί ισχύ από μερικά watts έως 100 watts.  |
| Κρατιέται με την κεραία του σε απόσταση περίπου 1-2 εκατοστά από το κεφάλι του χρήστη.   | Τυπικά, οι κεραίες βρίσκονται σε απόσταση δεκάδων μέτρων από το γενικό πληθυσμό.  |
| Κυρίως εκθέτει τους ιστούς του κεφαλιού στην περιοχή κοντά στην κεραία του κινητού.  | Η έκθεση αναφέρεται σε ολόκληρο το σώμα αλλά σε πολύ χαμηλότερο επίπεδο σε σχέση με αυτή του κινητού.                   |
| Η τοπική έκθεση μετράται με το Ρυθμό Ειδικής Απορρόφησης (SAR) της ενέργειας στο κεφάλι.   | Η πυκνότητα ισχύος των ραδιοκυμάτων που προσπίπτει στο σώμα αποτελεί καλό μέτρο εκτίμησης της έκθεσης όλου του σώματος. |
| Οι οδηγίες συμβουλεύουν ότι οι τοπικές μέσες τιμές του SAR για μάζα ιστού 10g δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα 2W/kg, για οποιαδήποτε χρονική περίοδο 6 λεπτών. | Οι οδηγίες συμβουλεύουν επίπεδα αναφοράς 4.5 ή 9 W/m <sup>2</sup> για συχνότητα 900 MHz ή 1800 MHz, αντίστοιχα.         |





# Εκτίμηση της έκθεσης σε η/μ πεδία

## Πειραματικές μέθοδοι

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

Συμπεράσματα

- Πειραματικά μοντέλα – Ομοιώματα κεφαλιού
  - Απλά κανονικά σχήματα (κύβος, σφαίρα)
    - Πλαστικό κέλυφος, υγρό υλικό που προσομοιάζει τον εγκέφαλο
  - Πιο πιστά-λεπτομερή μοντέλα
    - Αποτελούνται από 5 ή και περισσότερους ιστούς
- Μετρήσεις με αισθητήρες και ρομποτικά συστήματα



APREL SAR Assessment System ALSAS 10 Universal



# Εκτίμηση της έκθεσης σε η/μ πεδία

## Υπολογιστική προσομοίωση

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα

Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

Συμπεράσματα

## Τρισδιάστατα Μοντέλα Κεφαλιού / Τερματικής συσκευής

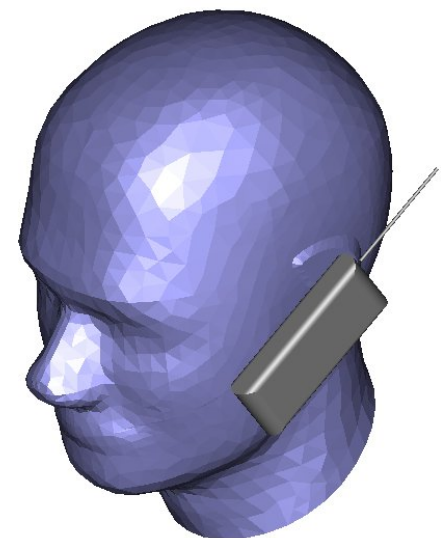
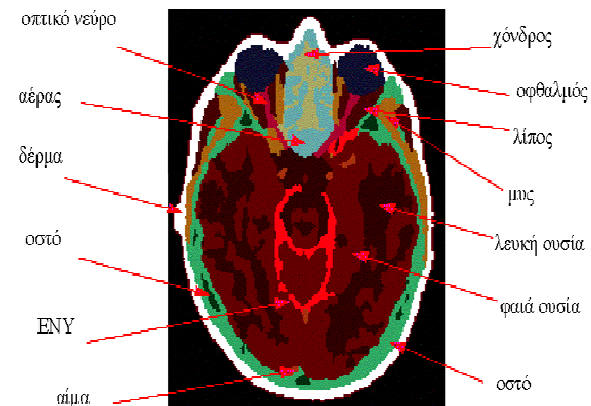
### ■ Μοντέλα κεφαλιού

- Απλά κανονικά μοντέλα (σφαίρες, ελλειψοειδή)
- Λεπτομερή αριθμητικά μοντέλα προερχόμενα από CT, MRI
  - Κυβικές κυψέλες ακμής 1mm, 2mm
  - Διηλεκτρικές ιδιότητες από μετρήσεις σε αντίστοιχους ιστούς

### ■ Μοντέλα τερματικών συσκευών

- Διπολικές γραμμικές ή ελικοειδείς κεραίες
- Αριθμητικά μοντέλα από αρχεία CAD

### ■ Επίλυση του προβλήματος αλληλεπίδρασης με προσεγγιστικές αριθμητικές μεθόδους και κυρίως FDTD



# Αριθμητικό παράδειγμα

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα

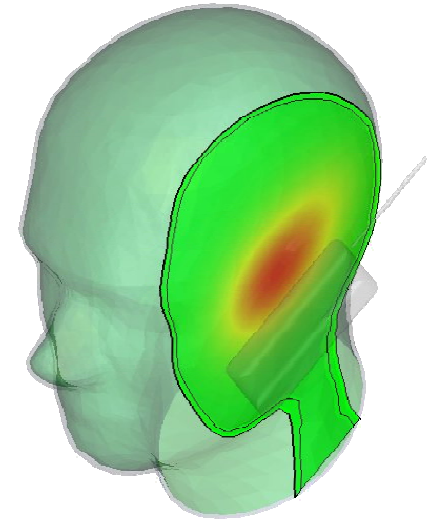
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

Συμπεράσματα

- Τερματική συσκευή  
Μονοπολική ελικοειδής/γραμμική κεραία
- Αριθμητικό μοντέλο κεφαλιού
  - Ενήλικας / Παιδί 10 ετώνΡεαλιστικό (13 ιστοί)
- Επίλυση με τη μέθοδο FDTD
- Απόσταση χρήστη-τερματικής συσκευής
- Αριθμητικά αποτελέσματα
  - Μέγιστες τιμές σημειακού SAR και μέσης τιμής SAR σε μάζα 1g και 10g
  - Κατανομές σημειακού SAR
  - Συνολική απορροφούμενη ισχύς



# Ρεαλιστικό μοντέλο κεφαλιού/ Τερματικής συσκευής

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

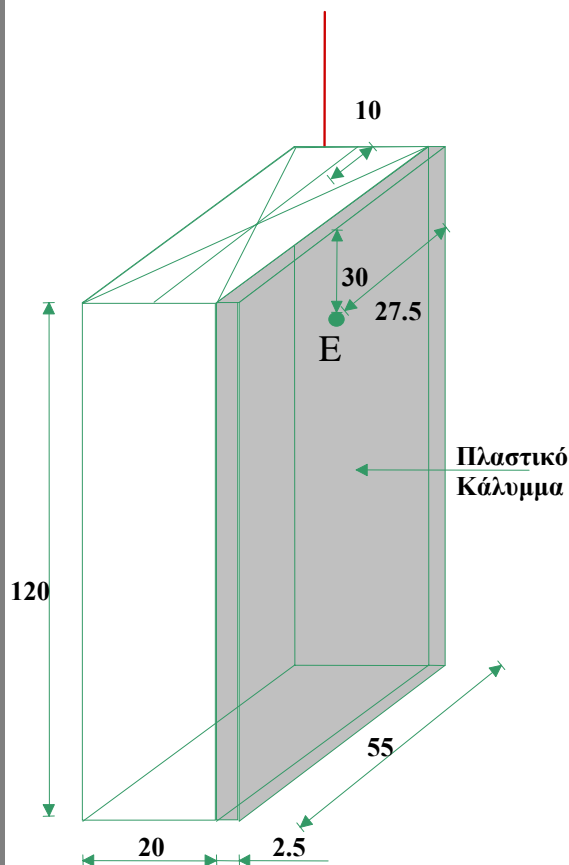
Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

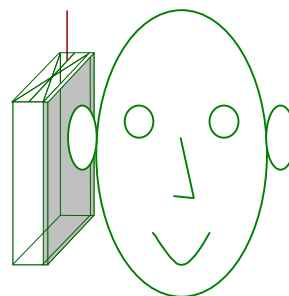
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

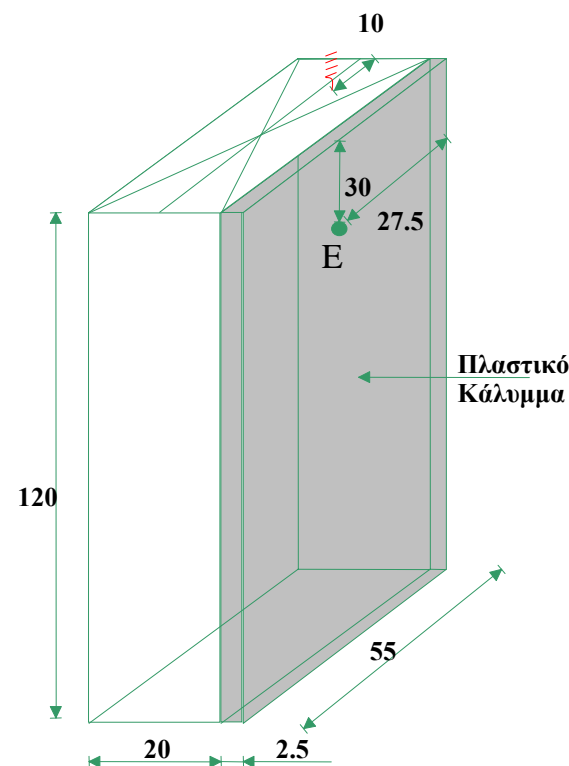
Συμπεράσματα



Μοντέλο κεφαλιού  
13 διαφορετικοί τύποι ιστών  
Διακριτοποίηση 1.25 mm



$f=1800 \text{ MHz}$



Τερματική Συσκευή  
Με ελικοειδή ή γραμμική κεραία  
Σε κατακόρυφη θέση

# Μέγιστη τιμή σημειακού SAR

Εισαγωγή

Βιολογικά  
αποτελέσματα

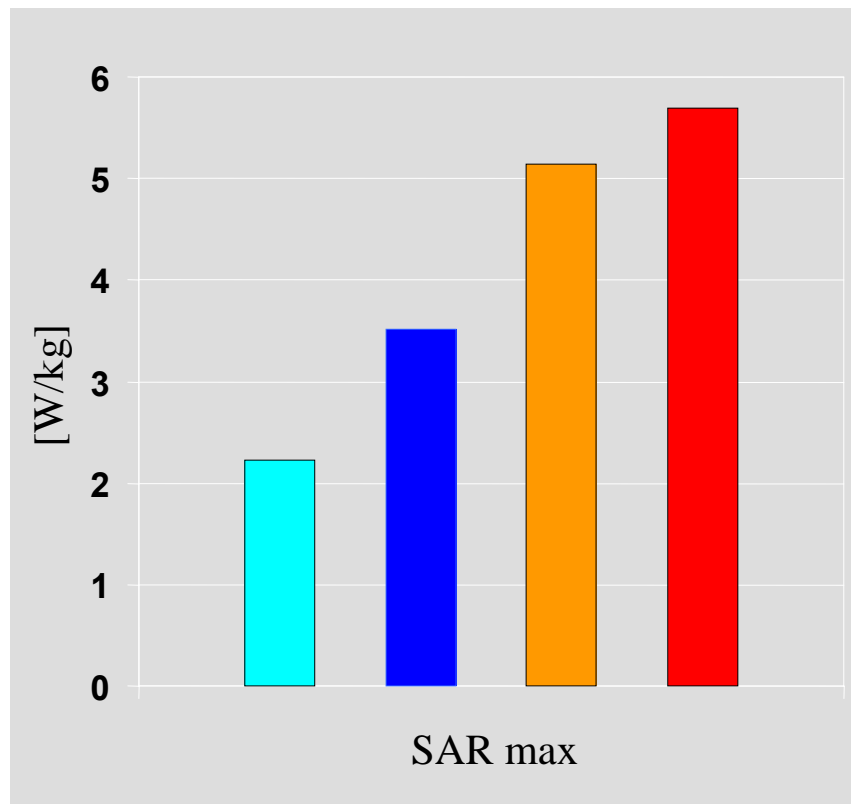
Δοσιμετρικά  
μεγέθη

Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης

Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες επιπτώσεων στην υγεία
- Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- Τερματικές συσκευές

Συμπεράσματα



- Γραμμικό Μονόπολο / Παιδί
- Γραμμικό Μονόπολο / Ενήλικας
- Ελικοειδές Μονόπολο / Παιδί
- Ελικοειδές Μονόπολο / Ενήλικας

$P_{in} = 125 \text{ mW}$

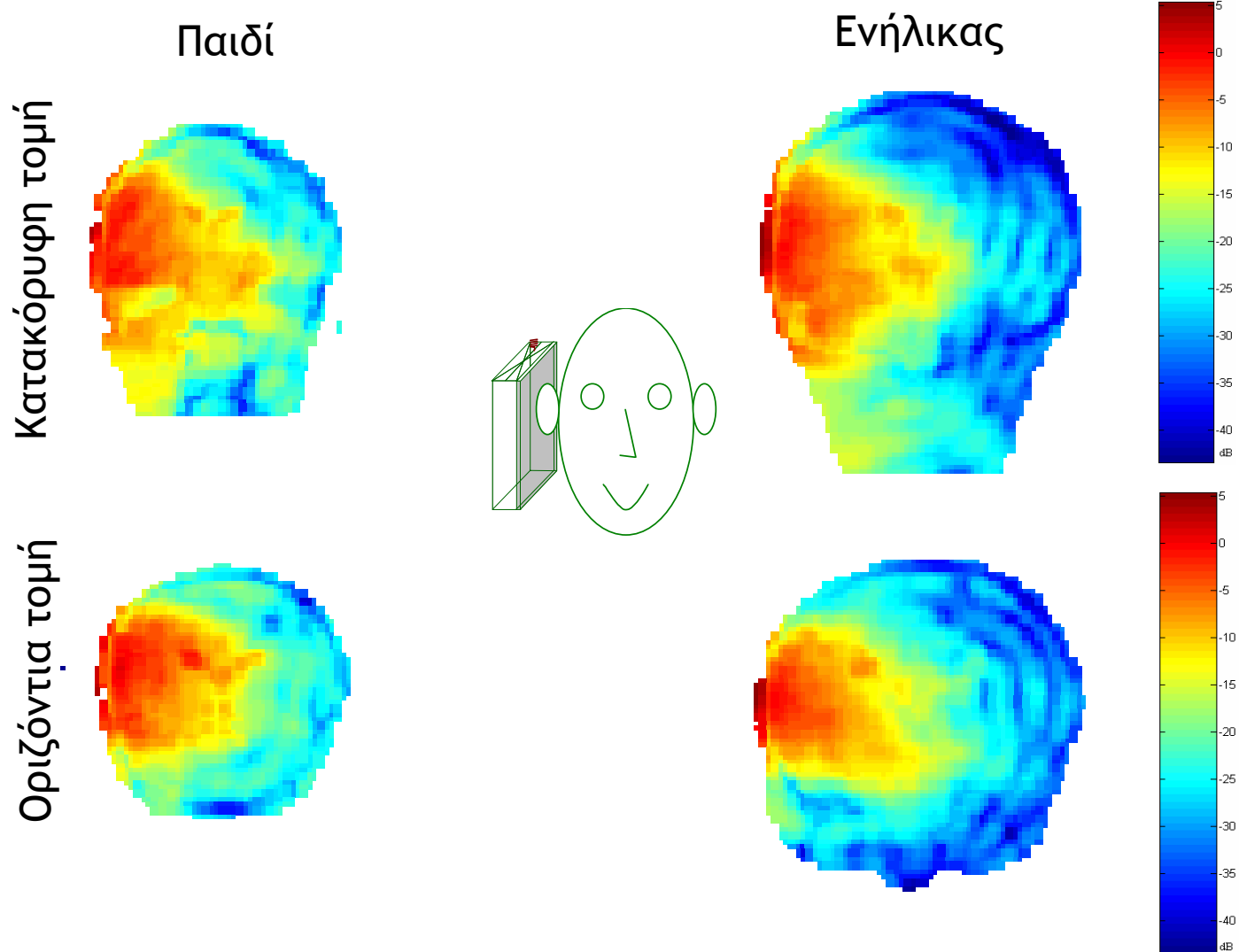


# SAR – Γραμμική κεραία

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας
- Τερματικές  
συσσκευές

Συμπεράσματα



# SAR – Ελικοειδής κεραία

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

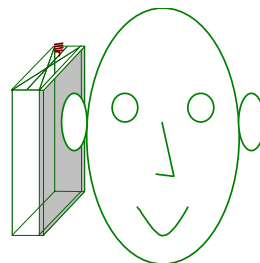
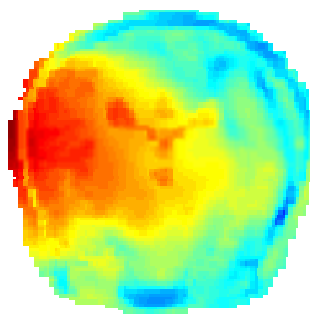
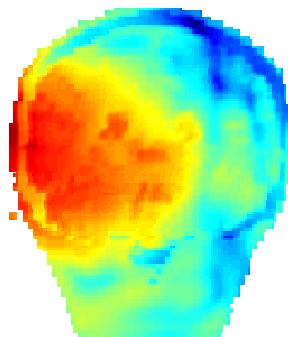
- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας
- Τερματικές  
συσσκευές

Συμπεράσματα

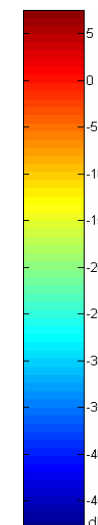
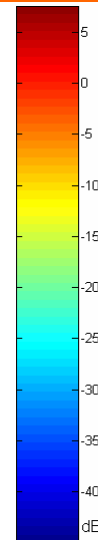
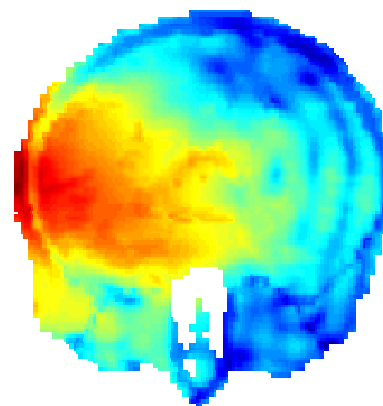
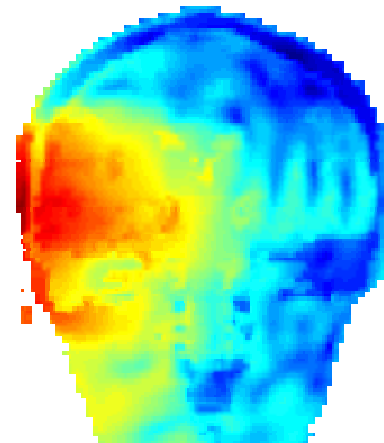
Κατακόρυφη τομή

Οριζόντια τομή

Παιδί



Ενήλικας



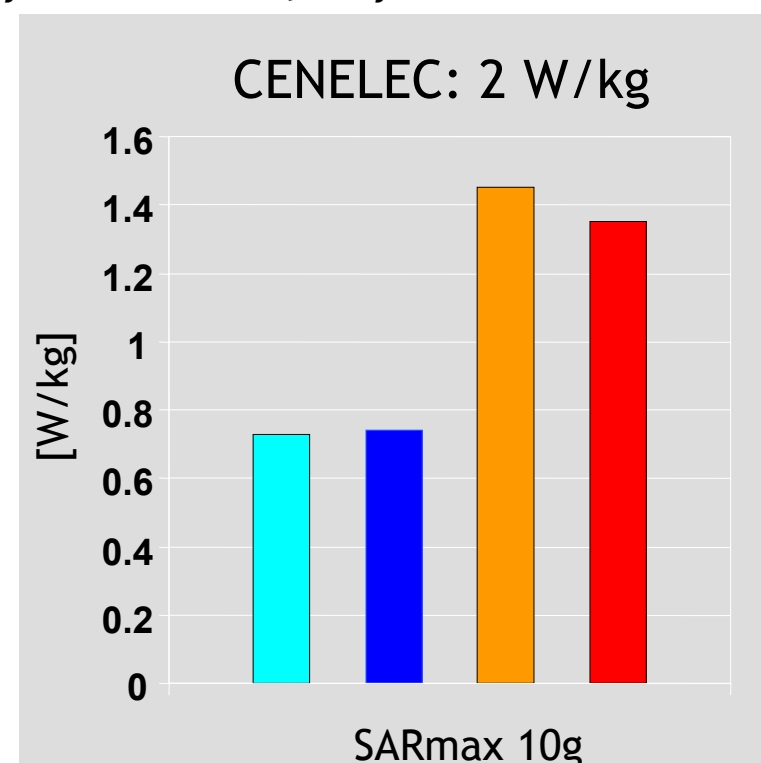
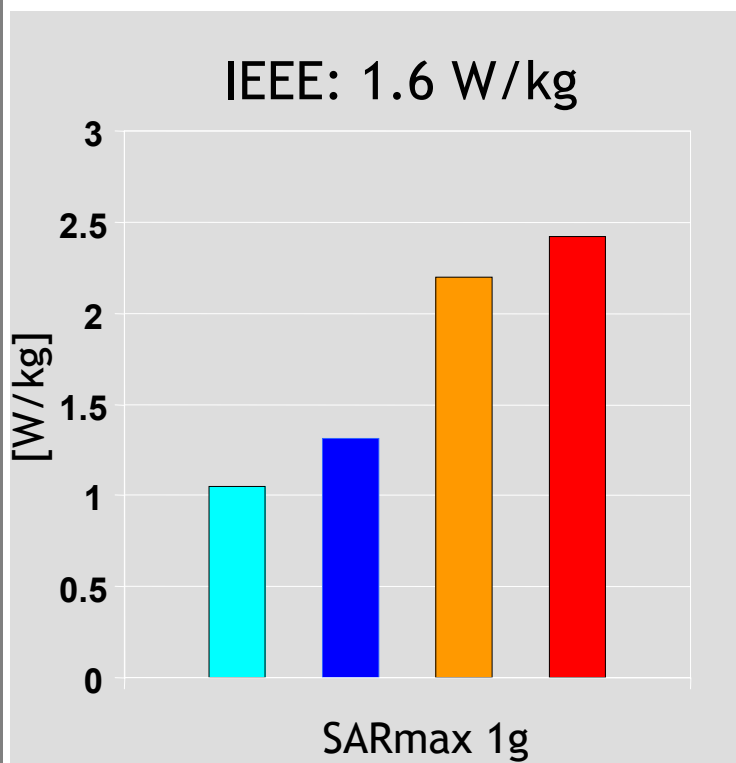
# Μέγιστη τιμή SAR σε μάζα 1g & 10g

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας
- Τερματικές  
συσσκευές

Συμπεράσματα

- Γραμμικό Μονόπολο / Παιδί
- Γραμμικό Μονόπολο / Ενήλικας
- Ελικοειδές Μονόπολο / Παιδί
- Ελικοειδές Μονόπολο / Ενήλικας



$P_{in} = 125 \text{ mW}$



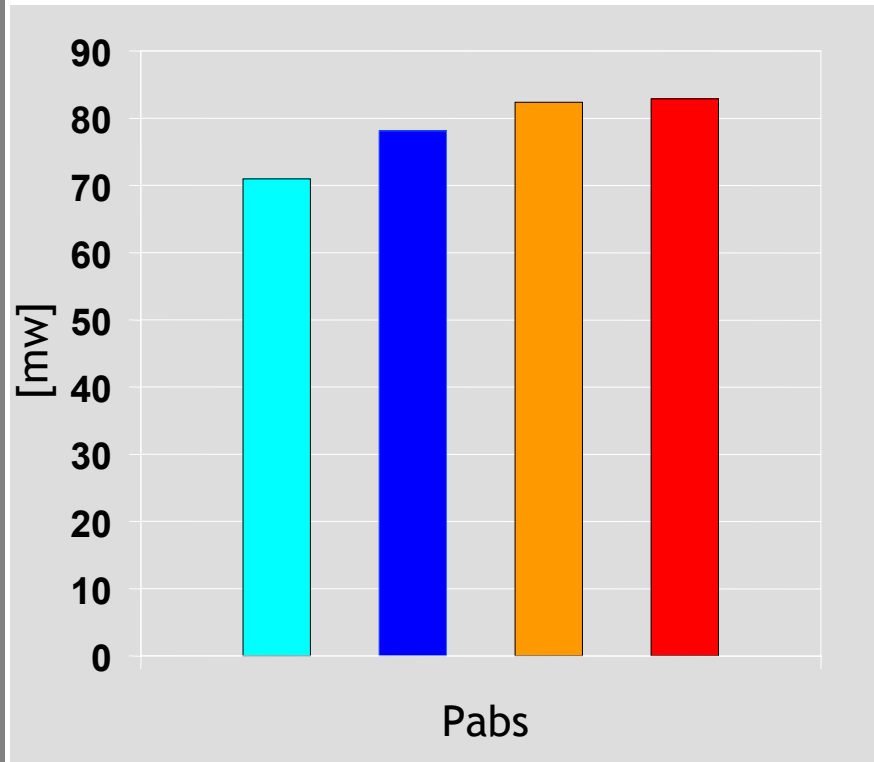


# Απορροφούμενη ισχύς

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας
- Τερματικές  
συσκευές

Συμπεράσματα



- Γραμμικό Μονόπολο / Παιδί
- Γραμμικό Μονόπολο / Ενήλικας
- Ελικοειδές Μονόπολο / Παιδί
- Ελικοειδές Μονόπολο / Ενήλικας

$$P_{in} = 125 \text{ mW}$$



# Μέγιστη τιμή SAR:

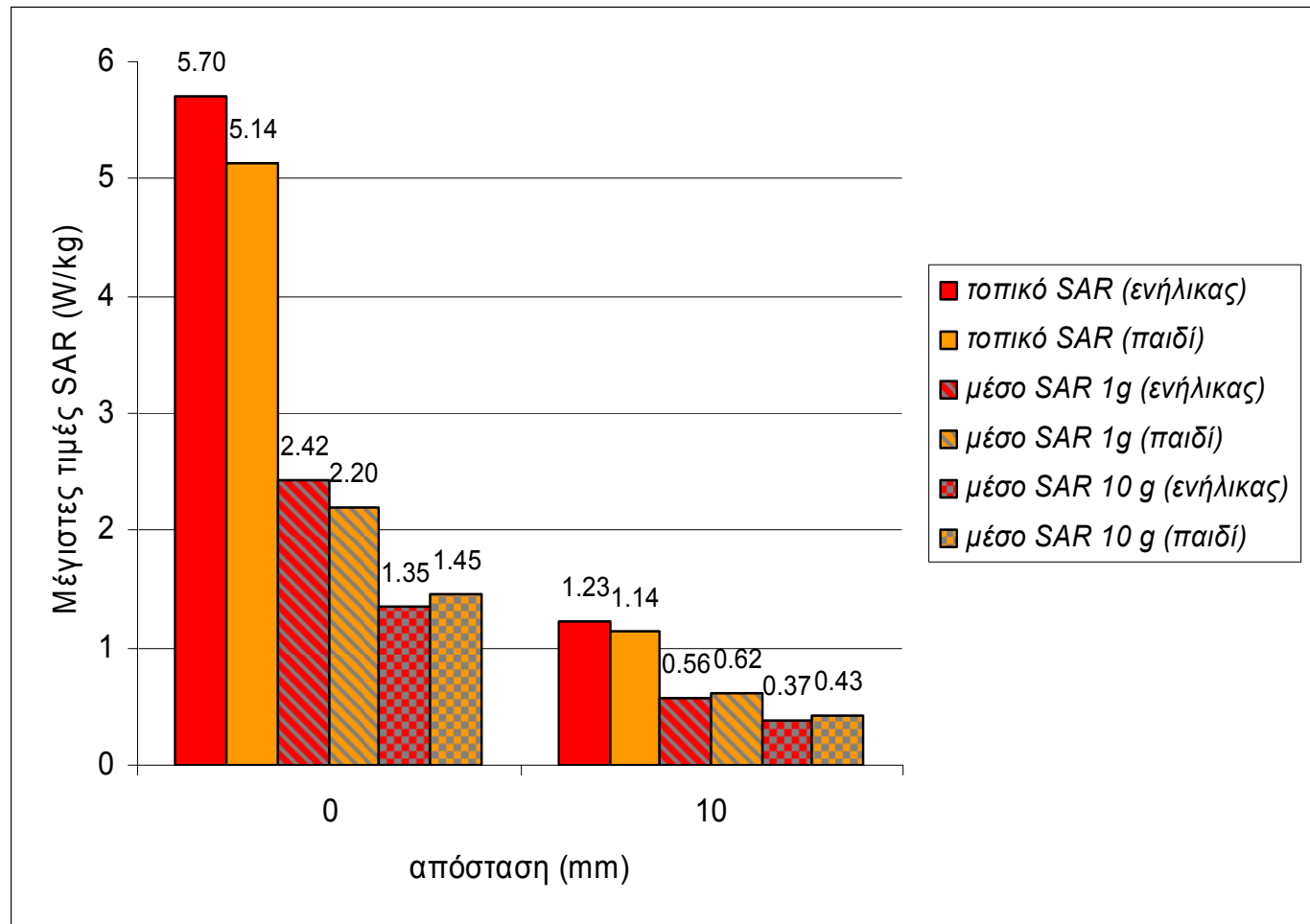
## Μεταβολή απόστασης

$P_{in} = 125 \text{ mW}$

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας
- Τερματικές  
συσκευές

Συμπεράσματα



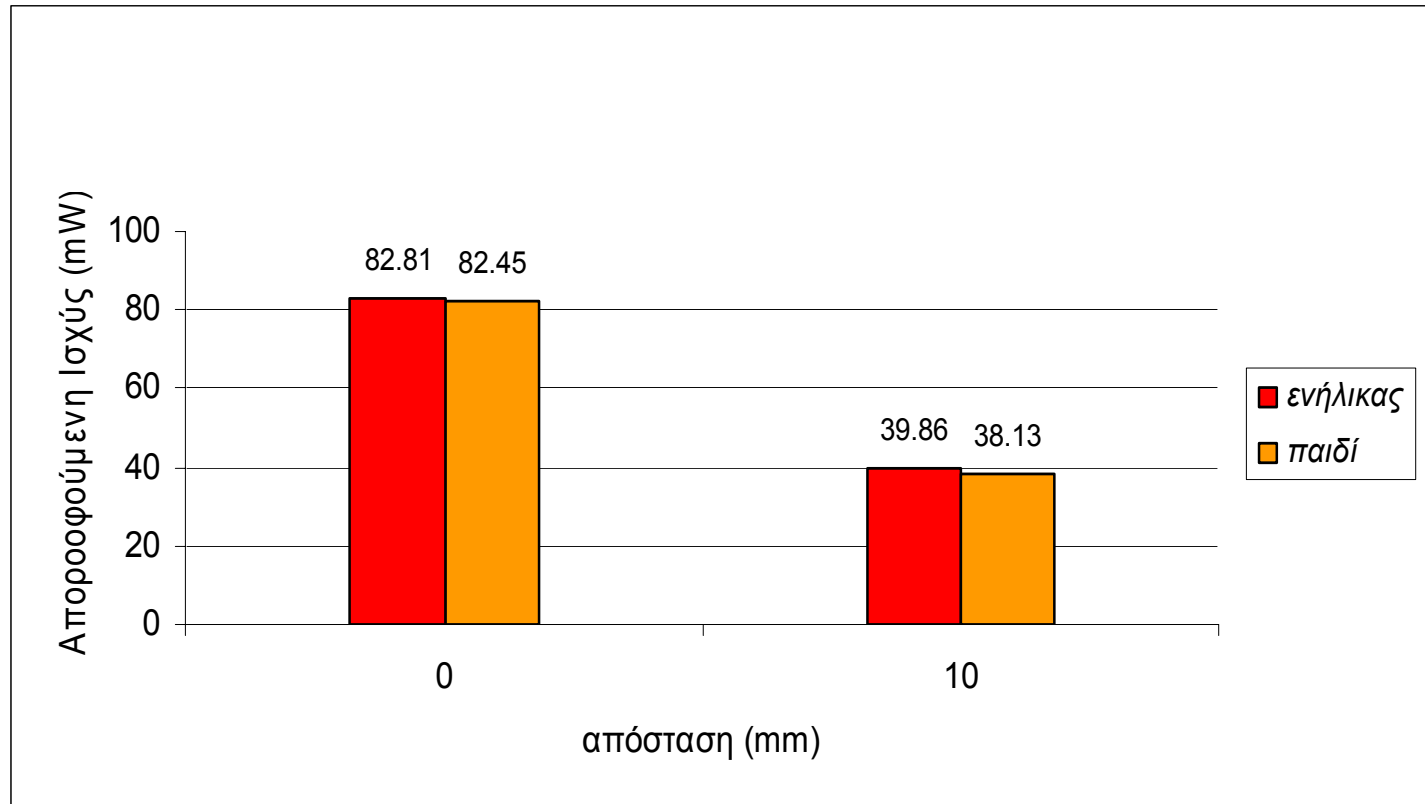
# Απορροφούμενη ισχύς: Μεταβολή απόστασης

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

- Μελέτες  
επιπτώσεων  
στην υγεία
- Δίκτυο  
κινητής  
τηλεφωνίας
- Τερματικές  
συσκευές

Συμπεράσματα

$P_{in} = 125 \text{ mW}$



# Συμπεράσματα

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

## Συμπεράσματα

- Απορρόφηση ισχύος πολύ κοντά στα όρια επιτρεπτής έκθεσης ή και πάνω από αυτά κατά τη χρήση τερματικών συσκευών
- Υψηλή απορρόφηση ισχύος κατά τη χρήση τερματικών συσκευών από παιδιά
  - Αναπτυσσόμενο νευρικό σύστημα
  - Μεγαλύτερη μακροπρόθεσμη έκθεση
- Δραστική ελάττωση απορρόφησης κατά την αύξηση της απόστασης μεταξύ συσκευής/κεφαλιού χρήστη
- Η ελικοειδής κεραία, συγκριτικά με τη γραμμική οδηγεί σε υψηλότερες τιμές SAR



# Προτάσεις

Εισαγωγή  
Βιολογικά  
αποτελέσματα  
Δοσιμετρικά  
μεγέθη  
Οδηγίες για τον  
περιορισμό της  
έκθεσης  
Συστήματα κινητών  
επικοινωνιών

## Συμπεράσματα

- Ενθάρρυνση σχεδιασμού, ανάπτυξης και χρήσης τερματικών συσκευών που δημιουργούν χαμηλά επίπεδα έκθεσης
- Αυστηροί έλεγχοι συμμόρφωσης τερματικών συσκευών με τις διεθνείς οδηγίες
- “Αρχή της Προφύλαξης”
  - υψηλός βαθμός επιστημονικής αβεβαιότητας
  - επαρκής επιστημονική ένδειξη (όχι απαραίτητα απόλυτη απόδειξη)
- Αποφυγή μη απαραίτητων, συχνών και μακράς διάρκειας κλήσεων
- Αποφυγή χρήσης κινητού τηλεφώνου από παιδιά
- Αποφυγή χρήσης κινητού τηλεφώνου μέσα στο αυτοκίνητο χωρίς εξωτερική κεραία
- Απόσταση τερματικής συσκευής από το κεφάλι
- Χρήση ακουστικών (‘hands-free’)

