



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Μελέτη της επίδρασης της ακτινοβολίας Wi-Fi στο  
ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεοφάνους Πέτρος

**Επιβλέπων:** Χρίστος Καψάλης

Καθηγητής

Αθήνα, Ιούνιος 2010





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Μελέτη της επίδρασης της ακτινοβολίας Wi-Fi στο  
ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεοφάνους Πέτρος

**Επιβλέπων:** Χρίστος Καψάλης

Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ... Ιουνίου 2010

.....

X. Καψάλης

Μέλος ΔΕΠ

Καθηγητής

.....

Π. Κωττής

Μέλος ΔΕΠ

Καθηγητής

.....

Φ.Κωνσταντίνου

Μέλος ΔΕΠ

Καθηγητής

.....

Πέτρος Θεοφάνους

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Θεοφάνους Πέτρος, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

# Πρόλογος

---

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χ. Καψάλη που μου εμπιστεύτηκε αυτή τη διπλωματική εργασία, καθώς επίσης και την υποψήφια διδάκτωρ Χ. Χουντάλα για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της καθ'όλη τη διάρκεια αυτής της διπλωματικής εργασίας.*

*Ευχαριστώ επίσης τον κ. Χ. Παπαγεωργίου που παρείχε το εργαστήριό του στο ΕΠΙΨΥ (Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Ψυχικής Υγιεινής) για τη διεκπεραίωση του πειράματος, καθώς και για τον πρωταρχικό του ρόλο στο πείραμα.*

*Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους όσους συμμετείχαν και βοήθησαν στο πείραμα αυτό, προσφέροντας οικειοθελώς το χρόνο τους.*

*Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου και την οικογένειά μου για την βοήθεια και τη συμπαράστασή τους κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας*

# Περίληψη

---

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της ακτινοβολίας Wi-Fi στα εγκεφαλικά σήματα που καταγράφονται από το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG). Η μελέτη και η ανάλυση που ακολουθεί βασίζεται σε μετρήσεις εγκεφαλικών σημάτων που λάβαμε από 30 άτομα κατά τη διάρκεια πειραμάτων που διεξήχθησαν στο ΕΠΠΨΥ (Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Ψυχικής Υγιεινής).

Αρχικά γίνεται μια παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου της μελέτης. Περιγράφονται γενικά στοιχεία νευροφυσιολογίας καθώς και ο μηχανισμός παραγωγής και διάδοσης των δυναμικών του εγκεφάλου, αναλύοντας τη δομή και τη λειτουργία των νευρώνων και της κυτταρικής μεμβράνης. Επιπλέον περιγράφονται εκτενώς η λειτουργία του ηλεκτροεγκεφαλογράφου, τα χαρακτηριστικά του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και οι διάφοροι ρυθμοί που καταγράφονται, καθώς και τα βιοματικά δυναμικά του εγκεφάλου. Τέλος αναλύεται η αρχιτεκτονική των ασύρματων τοπικών δικτύων και αναφέρονται οι βασικές μονάδες τους και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας τους.

Στη συνέχεια γίνεται εκτενής περιγραφή του πειραματικού μέρους, το οποίο αποτελεί και το κύριο μέρος της εργασίας. Παρουσιάζεται και αναλύεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε και η διαδικασία διεξαγωγής του πειράματος, καθώς και οι διάφοροι παράμετροι του πειράματος. Ακολούθως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος και η μέθοδος επεξεργασίας τους.

Τέλος γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων του πειράματος και εξαγωγή διαφόρων συμπερασμάτων.

**Λέξεις κλειδιά:** Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (HEG), δυναμικά εγκεφάλου, ρυθμοί εγκεφαλικού σήματος, ασύρματα τοπικά δίκτυα, συχνότητα 2,4 GHz, επίδραση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας Wi-Fi, φύλο, ραβδογράμματα, ταχύς μετασχηματισμός Fourier.

Πέτρος Θεοφάνους

# Abstract

---

The aim of this project is to study whether the electrical signals from the brain (EEG signals) are affected by the electromagnetic radiation emitted by a Wi-Fi router. The research that follows is based on the measurements of EEG signals taken from 30 persons during an experimental process, which took place at the EPIPSY (Research University Institute of Mental Health).

At the beginning, the theoretical part is presented. Some basic elements of the neurophysiology and the mechanism of the generation and propagation of the brain potentials are described - the structure and function of neurons and cellular membrane are analyzed. Moreover, the function of the encephalograph, the characteristics of the EEG signal, the basic brain rhythms, as well as the brain biomatic potentials are thoroughly described. Finally, the architecture of wireless local networks is described including their basic units and communication protocols.

To continue, the main part of this study, which is the experimental process, is thoroughly described. This includes the description of the experimental setup being used and the experiment along with the various variables of the process. The results that come up and their measurement process are presented.

Finally the study concludes with the discussion of the results and the presentation of the various conclusions.

**Key Words:** Electroencephalogram (EEG), brain potentials, brain waves, wireless local networks, 2.4 GHz frequency, effect of the electromagnetic radiation of Wi-Fi, gender, bar charts, fast Fourier transformation.

Petros Theophanous

# Περιεχόμενα

---

Πρόλογος.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract.....	7
Περιεχόμενα.....	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....</b>	<b>11</b>
<b>Νευροφυσιολογία.....</b>	<b>11</b>
1.1. Νευρικό σύστημα και νευρώνες.....	12
1.2. Κατηγορίες νευρώνων.....	13
1.3. Συνάψεις.....	14
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</b>	<b>16</b>
<b>Δυναμικά.....</b>	<b>16</b>
2.1. Δυναμικό μεμβράνης.....	17
2.2. Το Δυναμικό δράσης.....	21
2.3. Διάδοση του δυναμικού ενέργειας.....	23
2.4. Μεταβίβαση της νευρικής ώσης.....	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....</b>	<b>29</b>
<b>Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.....</b>	<b>29</b>
3.1. Ηλεκτροεγκεφαλογραφία.....	30
3.2. Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.....	31
3.3. Λειτουργία Ηλεκτροεγκεφαλογράφου.....	32
3.4. Χαρακτηριστικά Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.....	38
3.5. Βιοματικά Δυναμικά του Εγκεφάλου.....	41



3.5.1. Ενδογενή Προκλητά Δυναμικά.....	42
3.6. Μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.....	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</b>	<b>47</b>
<b>Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα.....</b>	<b>47</b>
4.1. Εισαγωγή.....	48
4.2. Αρχιτεκτονική ασύρματου δικτύου.....	48
4.2.1. Δομές ασύρματων δικτύων.....	49
4.3. Πρότυπα IEEE για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα.....	51
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>	<b>57</b>
<b>Πειραματικές Διατάξεις.....</b>	<b>57</b>
5.1. Περιγραφή τεχνικών χαρακτηριστικών.....	58
5.2. Γνωριμία με το χώρο και τις συσκευές του πειράματος.....	61
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>	<b>64</b>
<b>Πειραματική Διαδικασία- Διεξαγωγή Πειράματος.....</b>	<b>64</b>
6.1. Εισαγωγή.....	65
6.2. Μέτρηση ισχύος ακτινοβολητή.....	65
6.3. Καταγραφή EEG παρουσία και μη ακτινοβολίας Wi-Fi.....	66
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....</b>	<b>73</b>
<b>Επεξεργασία μετρήσεων, Αποτελέσματα και Συμπεράσματα.....</b>	<b>73</b>
7.1. Επεξεργασία μετρήσεων.....	74
7.1.1. Μετασχηματισμός Fourier του EEG.....	77
7.2. Συμπεράσματα.....	89

<b>Παράρτημα.....</b>	<b>91</b>
Μετασχηματισμός Fourier.....	91
Θεώρημα Parseval.....	94
Λευκός θόρυβος.....	95
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>96</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

---

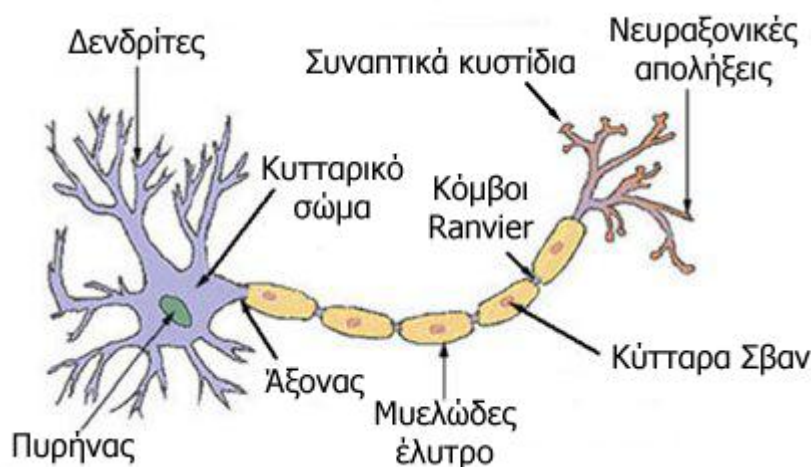
## Νευροφυσιολογία

## 1.1. Νευρικό σύστημα και νευρώνες

Το νευρικό σύστημα είναι το σύστημα το οποίο συντονίζει τη λειτουργία όλων των άλλων συστημάτων και το οποίο ρυθμίζει και ελέγχει την λειτουργία όλων των οργάνων του ανθρώπινου σώματος, καθώς επίσης και την μεταξύ τους αρμονική συνεργασία. Διακρίνεται σε δύο επί μέρους συστήματα:

- Το **Σωματικό Νευρικό Σύστημα** το οποίο ελέγχει τις συνειδητές λειτουργίες και περιλαμβάνει το **Περιφερικό Νευρικό Σύστημα** που αποτελείται από εγκεφαλικά και νωτιαία νεύρα, καθώς επίσης και το **Κεντρικό Νευρικό Σύστημα** που αποτελείται από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό.
- Το **Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα** το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διατήρηση σταθερού εσωτερικού περιβάλλοντος (υπεύθυνο για την ομοιόσταση). Το σύστημα αυτό λειτουργεί αυτόνομα, χωρίς την άμεση συμμετοχή της συνείδησης. Στο Αυτόνομο Νευρικό Σύστημα υπάρχουν δύο ανταγωνιστικά σκέλη, το **συμπαθητικό** και **παρασυμπαθητικό** σύστημα.

Η βασική μονάδα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος είναι ο **νευρώνες** (νευρικά κύτταρα), οι οποίοι αποτελούν τις δομικές και λειτουργικές μονάδες του συστήματος. Οι νευρώνες είναι κύτταρα ευερέθιστα στον ηλεκτρισμό που λειτουργούν για να επεξεργαστούν και να διαβιβάσουν πληροφορίες (μηνύματα). Ο νευρώνας, όπως φαίνεται και στο πιο κάτω σχήμα, αποτελείται από το **κυτταρικό σώμα**, τους **δενδρίτες**, το **νευροάξονα** και τα **προσυναπτικά άκρα** (απολήξεις του άξονα).



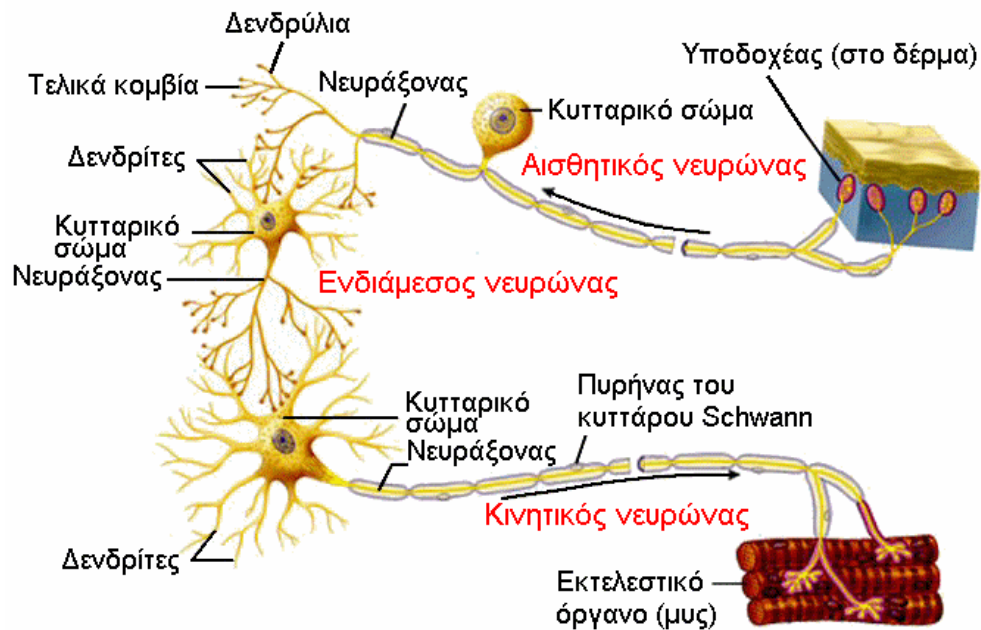
Σχήμα 1.1: Νευρώνας

Οι δενδρίτες είναι αποφυάδες του κυτταροπλάσματος και διακλαδίζονται εκτεταμένα. Μαζί με το σώμα αποτελούν την κύρια περιοχή υποδοχής μηνυμάτων. Το σώμα περιέχει τον πυρήνα του νευρώνα, ενώ το πιο εντυπωσιακό χαρακτηριστικό των νευρώνων είναι οι μεγάλοι μήκους ιώδεις προεξοχές, οι οποίες αυξάνουν σημαντικά την απόσταση στην οποία μπορεί να στείλει τα μηνύματα ο νευρώνας. Υπάρχουν δύο είδη τέτοιων προεξοχών, οι δενδρίτες που μεταφέρουν μηνύματα προς το σώμα και οι νευροάξονες που μεταφέρουν μηνύματα μακριά από το σώμα. Σε ορισμένους νευρώνες το μήκος των νευροαξόνων μπορεί να ξεπερνά το ένα μέτρο, ενώ η διάμετρος τους φθάνει και μέχρι 0,1 mm.

Πολλοί από τους νευρώνες έχουν νευροάξονες οι οποίοι περιβάλλονται από περίβλημα μυελίνης, μια λιπώδη μεμβρανική θήκη που σχηματίζεται από κύτταρα στήριξης περιελισσόμενα γύρω από τον άξονα, η οποία επιταχύνει τη διέλευση των ιατρικών σημάτων ( νευρικών ώσεων) κατά μήκος του άξονα. Ο χώρος μεταξύ των κυττάρων της μυελίνης που αποτελείται από μεμβράνη του άξονα, εκτίθεται σε εξωκυττάριο υγρό και ονομάζεται κόμβος του *Ranvier*.

## 1.2. Κατηγορίες νευρώνων

Ανάλογα με τη λειτουργία τους, οι νευρώνες διακρίνονται σε **αισθητικούς, κινητικούς και ενδιάμεσους**. Οι αισθητικοί νευρώνες μεταφέρουν μηνύματα από την περιφέρεια στο ΚΝΣ, ενώ οι κινητικοί μεταφέρουν εντολές-μηνύματα από το ΚΝΣ προς τα εκτελεστικά όργανα. Οι ενδιάμεσοι νευρώνες παρεμβάλλονται μεταξύ αισθητικών και κινητικών νευρώνων και ο ρόλος τους είναι να κατευθύνουν τα μηνύματα που προέρχονται από τους αισθητικούς νευρώνες στις κατάλληλες περιοχές του ΚΝΣ. Μεταφέρουν επίσης τα μηνύματα από περιοχή σε περιοχή του ΚΝΣ και τελικά στους κατάλληλους κινητικούς νευρώνες. Οι νευρικές ώσεις είναι στην ουσία ηλεκτρικά μηνύματα που παράγονται στην πλασματική μεμβράνη των νευρώνων. Τα είδη των νευρώνων φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα:



Σχήμα 1.2 : Είδη νευρώνων

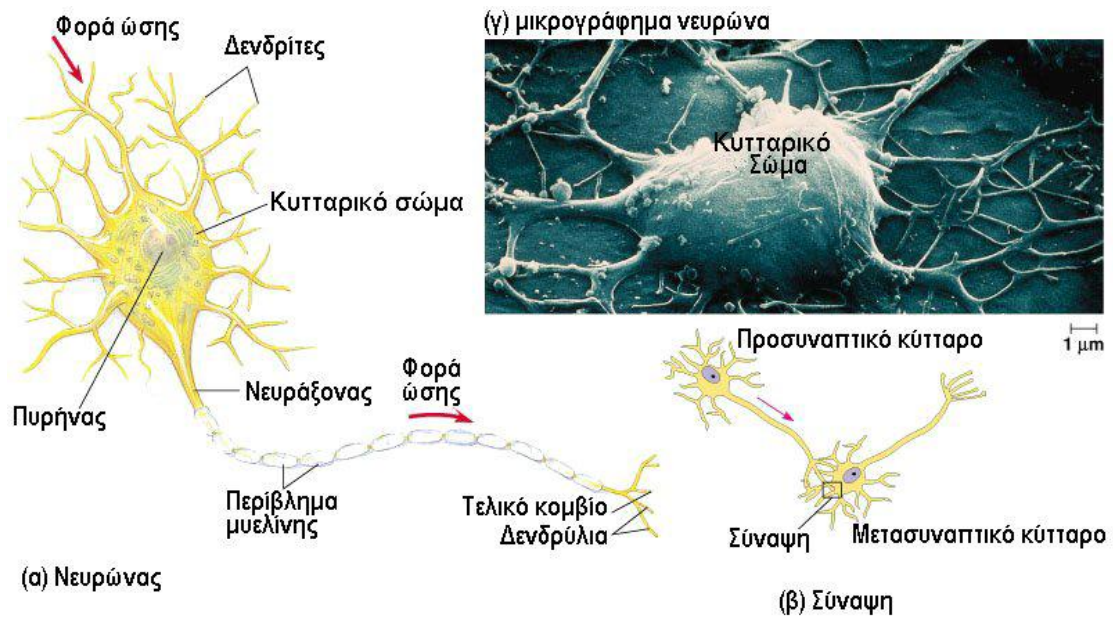
### 1.3. Συνάψεις

Σύναψη ονομάζεται η εξειδικευμένη επαφή μεταξύ δύο νευρώνων, όπου ο ένας επηρεάζει τη λειτουργία του άλλου. Στις θέσεις αυτές οι νευρώνες επικοινωνούν μεταξύ τους και με άλλα εκτελεστικά κύτταρα ή κύτταρα στόχους. Οι συνάψεις δημιουργούνται γενικώς μεταξύ των απολήξεων του άξονα του ενός νευρώνα και του κυτταρικού σώματος ή του δενδρίτη ενός άλλου, αλλά μπορούν να δημιουργηθούν και μεταξύ των δενδριτών, μεταξύ δενδρίτη και κυτταρικού σώματος ή ακόμη και μεταξύ των απολήξεων των δύο αξόνων. Οι συνάψεις είναι κρίσιμης σημασίας για τους βιολογικούς μηχανισμούς που κρύβονται κάτω από την αντίληψη και τη σκέψη, ενώ παρέχουν επίσης τον τρόπο μέσω του οποίου το νευρικό σύστημα συνδέεται και ελέγχει τα άλλα συστήματα.

Οι νευρώνες που άγουν σήματα προς μια σύναψη ονομάζονται προσυναπτικοί, ενώ οι νευρώνες που λαμβάνουν σήματα από μια σύναψη και τα οδηγούν μακριά από αυτή, ονομάζονται μετασυναπτικοί. Η επικοινωνία των νευρώνων αυτών γίνεται με τα συναπτικά κομβία, τα οποία βρίσκονται στις θέσεις των συνάψεων. Τα συναπτικά κομβία είναι οι τελικές απολήξεις νευρικών ινιδίων που ξεκινούν από πολλούς άλλους νευρώνες και συνήθως καθένα προέρχεται από ξεχωριστό προηγούμενο

νευρώνα. Μπορούν να είναι είτε διεγερτικά ή ανασταλτικά, ανάλογα αν εκκρίνουν ουσίες που διεγείρουν ή αναστέλλουν τη λειτουργία του νευρώνα.

Η θεμελιώδης διαδικασία που αποτελεί τη βάση για τη συναπτική μετάδοση είναι το δυναμικό δράσης, ένα ηλεκτρικό σήμα διάδοσης που παράγεται χρησιμοποιώντας την ηλεκτρικά ευερέθιστη μεμβράνη του νευρώνα.



Σχήμα 1.3 : Νευρώνες και Σύναψη

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

---

## **Δυναμικά**



## 2.1. Δυναμικό μεμβράνης

Το δυναμικό μεμβράνης είναι η διαφορά δυναμικού που παρατηρείται κατά μήκος των πλασματικών μεμβρανών και καθορίζεται από τις συγκεντρώσεις των ιόντων που βρίσκονται εκατέρωθεν αυτών. Το μέρος της μεμβράνης που είναι εκτεθειμένο στο κυτταρόπλασμα αποτελεί τον αρνητικό πόλο, ενώ η πλευρά που βρίσκεται σε επαφή με το εξωκυττάριο υγρό αποτελεί τον θετικό πόλο.

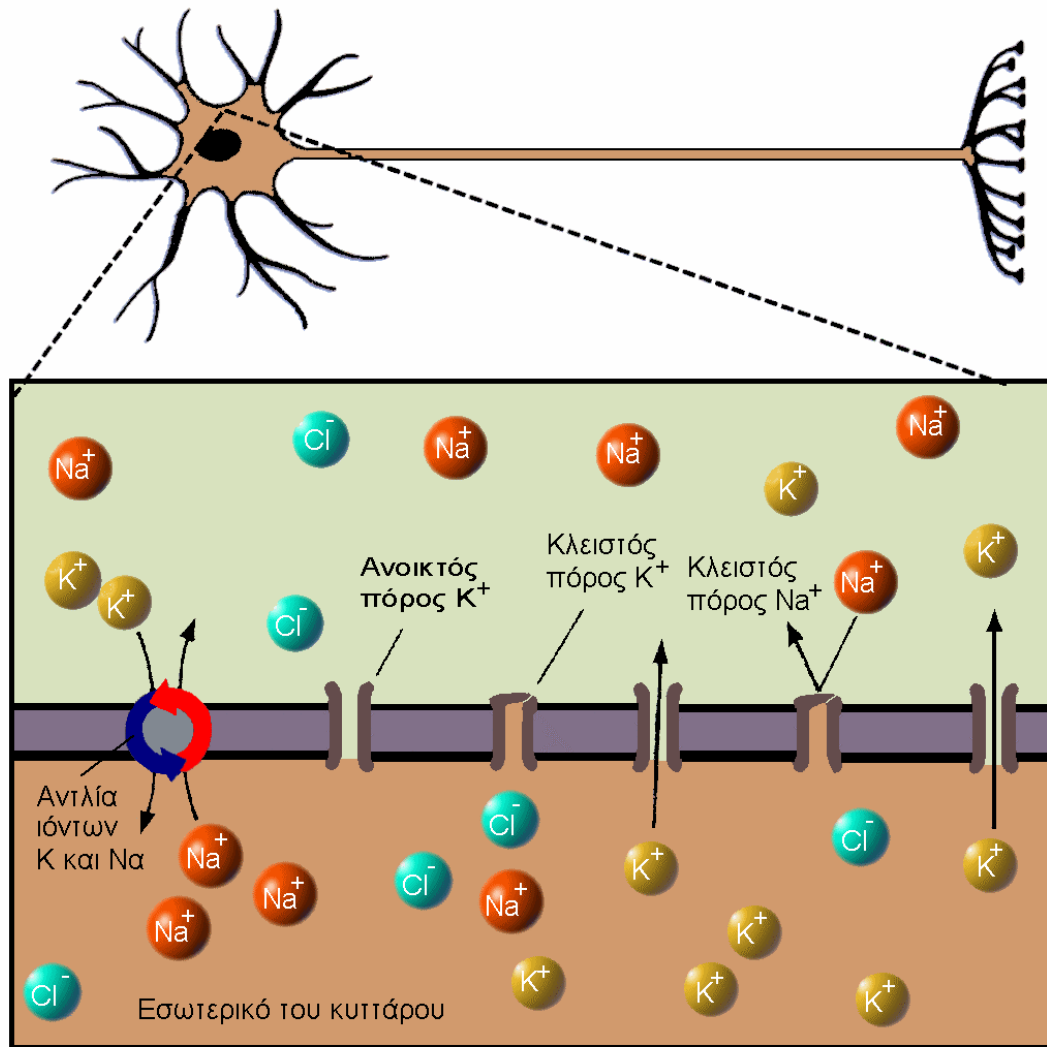
Σε συνθήκες ηρεμίας τα κύτταρα παρουσιάζουν μια διαφορά δυναμικού κατά μήκος των μεμβρανών. Το δυναμικό αυτό ονομάζεται **δυναμικό ηρεμίας** του νευρώνα και η τυπική του τιμή  $-70\text{ mV}$ , όπου το πλην εισέρχεται για να υποδείξει ότι το εσωτερικό της μεμβράνης είναι ηλεκτροαρνητικότερο σε σχέση με το εξωτερικό.

Το δυναμικό αυτό διαμορφώνεται από τρεις παράγοντες :

1. Τη δράση των αντλιών ιόντων νατρίου και καλίου
2. Τη διαφορά στη διαπερατότητας της μεμβράνης στα διάφορα ιόντα
3. Την παρουσία αρνητικά φορτισμένων ιόντων στο εσωτερικό των κυττάρων τα οποία λόγω μεγέθους δεν μπορούν να εξέλθουν από το κύτταρο

Οι τρεις πιο πάνω παράγοντες επικρατούν σ' όλα τα κύτταρα με αποτέλεσμα να έχουν όλα δυναμικό μεμβράνης.

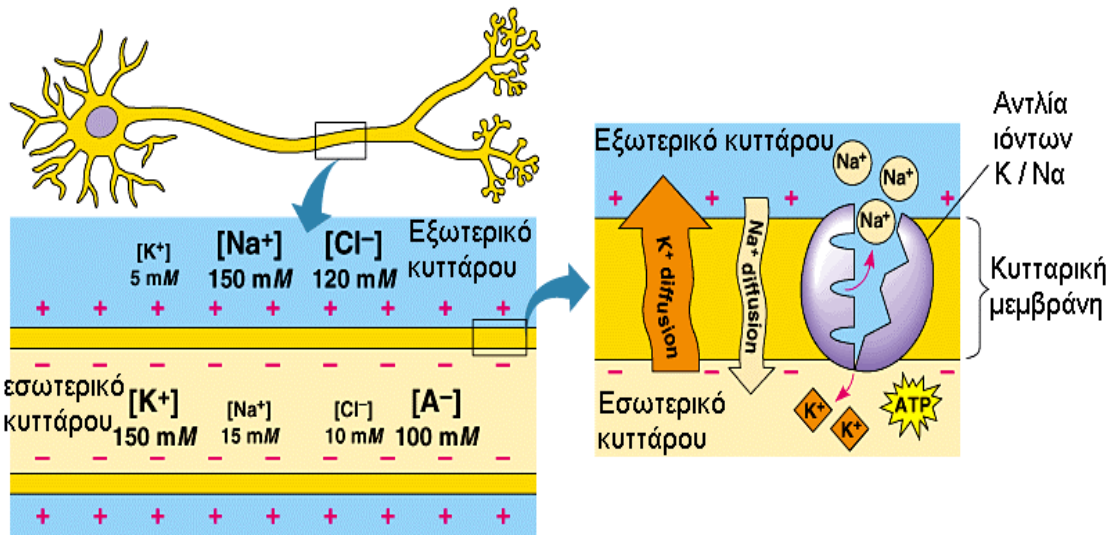
Η συγκέντρωση ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  είναι υψηλότερη στο εξωκυττάριο υγρό ενός νευρικού κυττάρου, ενώ η συγκέντρωση ιόντων  $\text{K}^+$  είναι υψηλότερη στο ενδοκυττάριο υγρό. Οι αντλίες  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  μεταφέρουν τρία ιόντα νατρίου έξω από το κύτταρο, ενώ μεταφέρουν δύο ιόντα καλίου μέσα στο κύτταρο. Η μεταφορά είναι ενεργητική και το αποτέλεσμα είναι να γίνεται άνιση κατανομή αυτών των ιόντων και το εσωτερικό των κυττάρων να διαθέτει λιγότερα θετικά φορτία από το εξωτερικό των κυττάρων.



Σχήμα 2.1 : Συγκεντρώσεις των ανιόντων και κατιόντων μέσα και έξω από την μεμβράνη

Οι αντλίες  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  ενισχύουν το αποτέλεσμα της παρουσίας των ανιόντων στο εσωτερικό των κυττάρων. Τα ανιόντα αυτά δεν μπορούν, λόγω μεγέθους, να εγκαταλείψουν το κύτταρο, αλλά ελκύουν κατιόντα από το εξωτερικό περιβάλλον. Η πλασματική μεμβράνη δεν παρουσιάζει την ίδια διαπερατότητα στα κατιόντα. Η πλασματική μεμβράνη ενός νευρώνα που βρίσκεται σε ηρεμία για παράδειγμα, είναι κατά πολύ πιο διαπερατή στα  $\text{K}^+$  παρά σε οποιαδήποτε άλλα κατιόντα, με αποτέλεσμα (αυτής της προτίμησης της μεμβράνης προς τα ιόντα καλίου) να παρατηρείται ισχυρή έλξη των ιόντων αυτών προς το εσωτερικό των κυττάρων. Ως αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού η συγκέντρωση των ιόντων καλίου στο εσωτερικό είναι 30 φορές μεγαλύτερη της συγκέντρωσης των ιόντων στο εξωτερικό των

κυττάρων. Σημειώνουμε ότι και άλλα κατιόντα, πέραν των ιόντων καλίου, μπορούν να περάσουν στο εσωτερικό των κυττάρων, αλλά ο ρυθμός με τον οποίο περνούν είναι σχετικά μικρός. Στο πιο κάτω σχήμα παρουσιάζεται περιληπτικά ο τρόπος δημιουργίας του δυναμικού ηρεμίας:

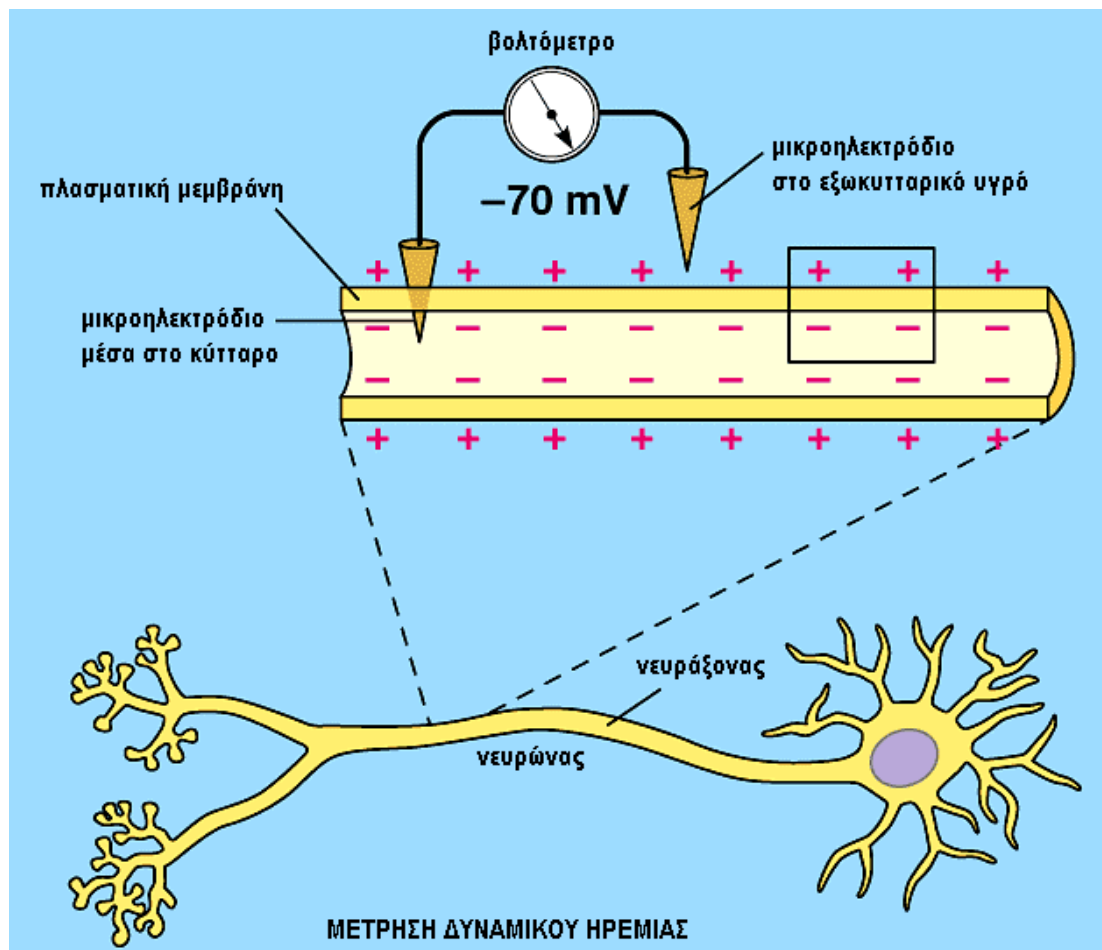


Σχήμα 2.2 : Δημιουργία του δυναμικού ηρεμίας

Συνεπώς το δυναμικό ηρεμίας οφείλεται σε άνιση κατανομή ιόντων, η οποία διατηρείται από τη μεταβολική δραστηριότητα του κυττάρου, μέχρι κάποιο είδος αναταραχής να διαταράξει αυτή την ισορροπία. Η ισορροπία αυτή διαταράσσεται από παροδικές μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης που προκαλούν ηλεκτρικά σήματα και μπορούν να αλλάξουν την κατάσταση της μεμβράνης και τις λειτουργίες του κυττάρου. Ανάλογα με τα σήματα αυτά μια μεμβράνη μπορεί να χαρακτηριστεί ως **αποπολωμένη** (εκπολωμένη) ή **υπερπολωμένη**.

**Αποπολωμένη** ονομάζεται μια μεμβράνη που το δυναμικό της είναι λιγότερο αρνητικό (δηλαδή πλησιέστερα στο 0) από το δυναμικό ισορροπίας της. Κατά σύμβαση, ο όρος αυτός περιλαμβάνει και καταστάσεις κατά τις οποίες το δυναμικό της μεμβράνης αντιστρέφεται. Ενώ **υπερπολωμένη** ονομάζεται όταν το δυναμικό της είναι περισσότερο αρνητικό από το δυναμικό ισορροπίας, ενώ η διαδικασία κατά την οποία το δυναμικό ισορροπίας μιας μεμβράνης που έχει είτε αποπολωθεί είτε υπερπολωθεί επιστρέφει προς την τιμή ηρεμίας, ονομάζεται **επαναπόλωση**.

Το δυναμικό ηρεμίας μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας παλμογράφο και δύο ηλεκτρόδια, ένα τοποθετημένο στο νευροάξονα του νευρώνα και ένα στο εξωκυττάριο περιβάλλον του νευρώνα και μπορεί να διαφοροποιηθεί ως αποτέλεσμα του ερεθίσματος. Αν παραδείγματος χάριν από  $-70\text{ mV}$  γίνει  $-60\text{ mV}$  (θετικότερο), τότε έχουμε εκπόλωση (αποπόλωση), ενώ αν από  $-70\text{ mV}$  γίνει  $-80\text{ mV}$  (αρνητικότερο) τότε έχουμε υπερπόλωση.



Σχήμα 2.3 : Μέτρηση δυναμικού ηρεμίας

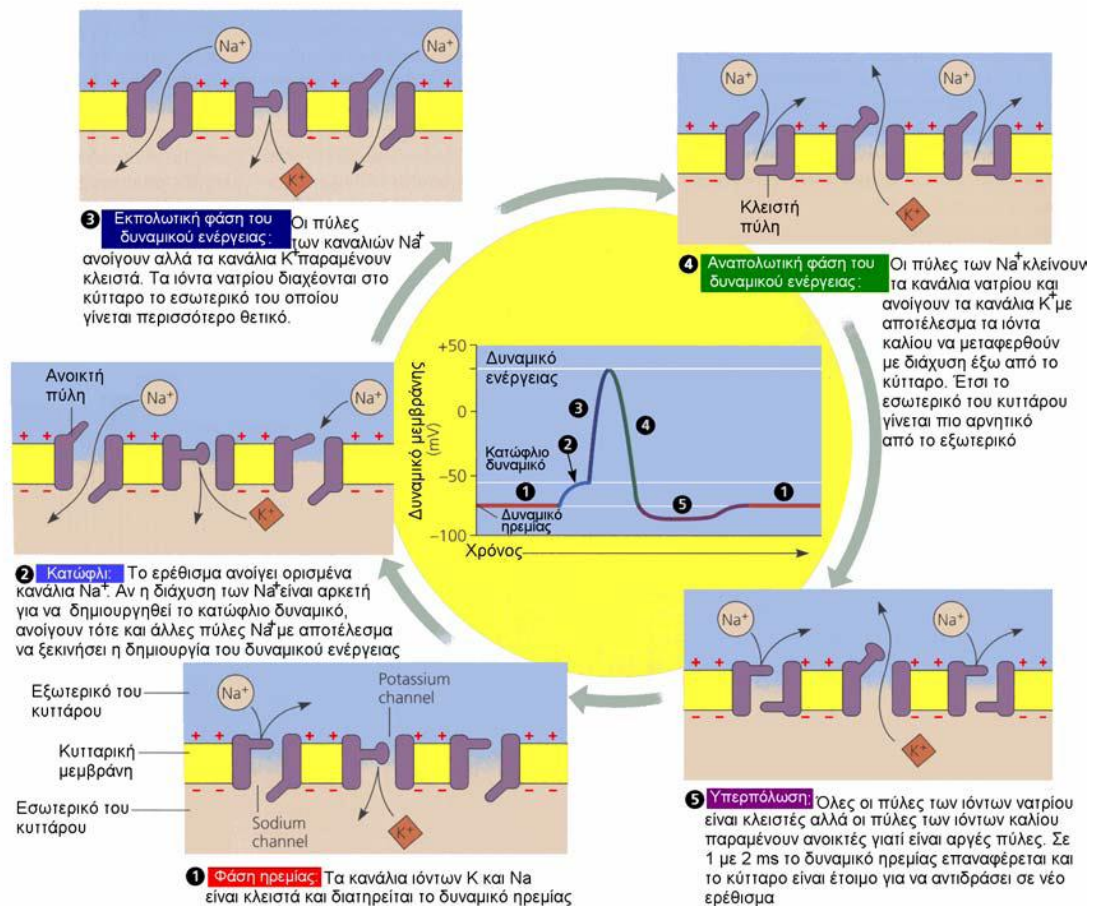
Τα ηλεκτρικά σήματα, που αναφέραμε πιο πάνω και τα οποία προκαλούν τις αλλαγές αυτές στο δυναμικό, μπορούν να εμφανιστούν με δύο μορφές : ως **βαθμοτά δυναμικά** και ως **δυναμικά δράσης**. Τα βαθμοτά δυναμικά μεταφέρουν ερεθίσματα σε μικρές αποστάσεις. Πρόκειται για μικρές μεταβολές στο δυναμικό της μεμβράνης που περιορίζονται σε μια μικρή περιοχή αυτής και εξασθενούν μετά από 1-2mm από το σημείο διέγερσης. Αντίθετα τα δυναμικά δράσης μπορούν να μεταβάλλουν το

δυναμικό της μεμβράνης μέχρι και κατά 100mV, από -70mV έως 40mV και μετά να επαναπολωθεί στο δυναμικό ηρεμίας. Η μεταβολή αυτή γίνεται σε πολύ μικρό χρόνο, κοντά στο 1ms και μόνο οι νευρώνες και ορισμένα κύτταρα αδένων έχουν μεμβράνες ικανές να παράγουν δυναμικά δράσης.

## 2.2. Το δυναμικό δράσης

Τα νευρικά και τα μυϊκά κύτταρα είναι κύτταρα **ηλεκτρικά διεγέρσιμα**. Τα κανάλια μέσα από τα οποία περνούν τα ιόντα νατρίου και καλίου διαθέτουν «πύλες» που ανοίγουν ή κλείνουν τους πόρους των καναλιών, διαδικασία η οποία εξαρτάται από το δυναμικό της μεμβράνης. Όταν το κύτταρο βρίσκεται σε ηρεμία, οι πύλες  $\text{Na}^+$  είναι κλειστές αλλά πολλές πύλες  $\text{K}^+$  είναι ανοικτές με αποτέλεσμα το κύτταρο να είναι περισσότερο διαπερατό στο  $\text{K}^+$  παρά στο  $\text{Na}^+$  και έτσι να δημιουργείται το δυναμικό ηρεμίας.

Στο *σχήμα 2.4* παρουσιάζονται οι διάφορες φάσεις που ακολουθεί το δυναμικό δράσης στην πλασματική μεμβράνη του νευρώνα. Στη φάση **1** τα κανάλια νατρίου και καλίου είναι κλειστά και έτσι διατηρείται το δυναμικό ηρεμίας, ενώ στη **2** το ερέθισμα φτάνει την κατώφλια τιμή. Στη φάση **3** έχουμε εκπόλωση και δημιουργία του δυναμικού ενέργειας καθώς ανοίγουν οι πύλες των  $\text{Na}^+$ . Στη **4** γίνεται επαναπόλωση καθώς οι πύλες  $\text{Na}^+$  κλείνουν και ανοίγουν οι πύλες  $\text{K}^+$ . Τέλος στη φάση **5** έχουμε υπερπόλωση διότι οι πύλες  $\text{K}^+$  είναι σχετικά αργές και κλείνουν λίγο πιο μετά από τις  $\text{Na}^+$ . Μετά από 2 msec αποκαθίσταται το δυναμικό ηρεμίας και το σύστημα μπορεί να ανταποκριθεί στο επόμενο ερέθισμα, πράγμα που φαίνεται στο συνοπτικό διάγραμμα στο μέσο του σχήματος:



Σχήμα 2.4 : Οι διάφορες φάσεις του δυναμικού δράσης και ο ρόλος των καναλιών που διαθέτουν πύλες

Ας εξηγήσουμε τώρα αναλυτικά πως δημιουργείται το δυναμικό δράσης (ενέργειας): όταν ο βαθμός εκπόλωσης της μεμβράνης φτάσει σε μια κρίσιμη τιμή που ονομάζεται **κατώφλιος τιμή** (ελάχιστη τιμή εντάσεως του ερεθίσματος) και κυμαίνεται από τα  $-55$  έως τα  $-50$  mV, παράγεται **δυναμικό δράσης** ή αλλιώς **νευρική ώση**. Η εκπόλωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα να ανοίξουν τα κανάλια  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$ , με τα κανάλια  $\text{Na}^+$  να ανοίγουν πρώτα. Ως αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού γίνεται ραγδαία διάχυση  $\text{Na}^+$  στο εσωτερικό του κυττάρου που διαρκεί 1ms και το δυναμικό μεμβράνης κινείται προς το θετικότερο. Αυτό που συμβαίνει στην πράξη είναι η αναστροφή της πολικότητας της μεμβράνης καθώς τα  $\text{Na}^+$  διαχέονται με ραγδαίους ρυθμούς στο εσωτερικό του κυττάρου. Καθώς κλείνουν οι πύλες στα κανάλια των ιόντων νατρίου και αρχίζουν να ανοίγουν οι πύλες των ιόντων  $\text{K}^+$ , το δυναμικό της μεμβράνης αγγίζει τα  $+30$  mV, γεγονός που διαρκεί και πάλι 1 ms. Το

δυναμικό ενέργειας φτάνει τα +30 mV πριν ανοίξουν οι πύλες των ιόντων καλίου και αρχίσει η διάχυση των ιόντων από τα μέσα προς τα έξω (επαναπόλωση). Η συνεχιζόμενη έξοδος των ιόντων καλίου προκαλεί πρώτα υπερπόλωση, ενώ στη συνέχεια, με τη βοήθεια της αντλίας νατρίου/καλίου, επανέρχεται το δυναμικό ηρεμίας.

Το δυναμικό ενέργειας ακολουθεί το νόμο του «όλο ή τίποτα», δηλαδή η εκπολωτική διέγερση θα προκαλέσει τη δημιουργία του δυναμικού ενέργειας αν και όταν φτάσει την κατώφλιο τιμή και μόνο τότε, ενώ διεγέρσεις μικρότερης έντασης δεν προκαλούν παραγωγή δυναμικού ενέργειας.

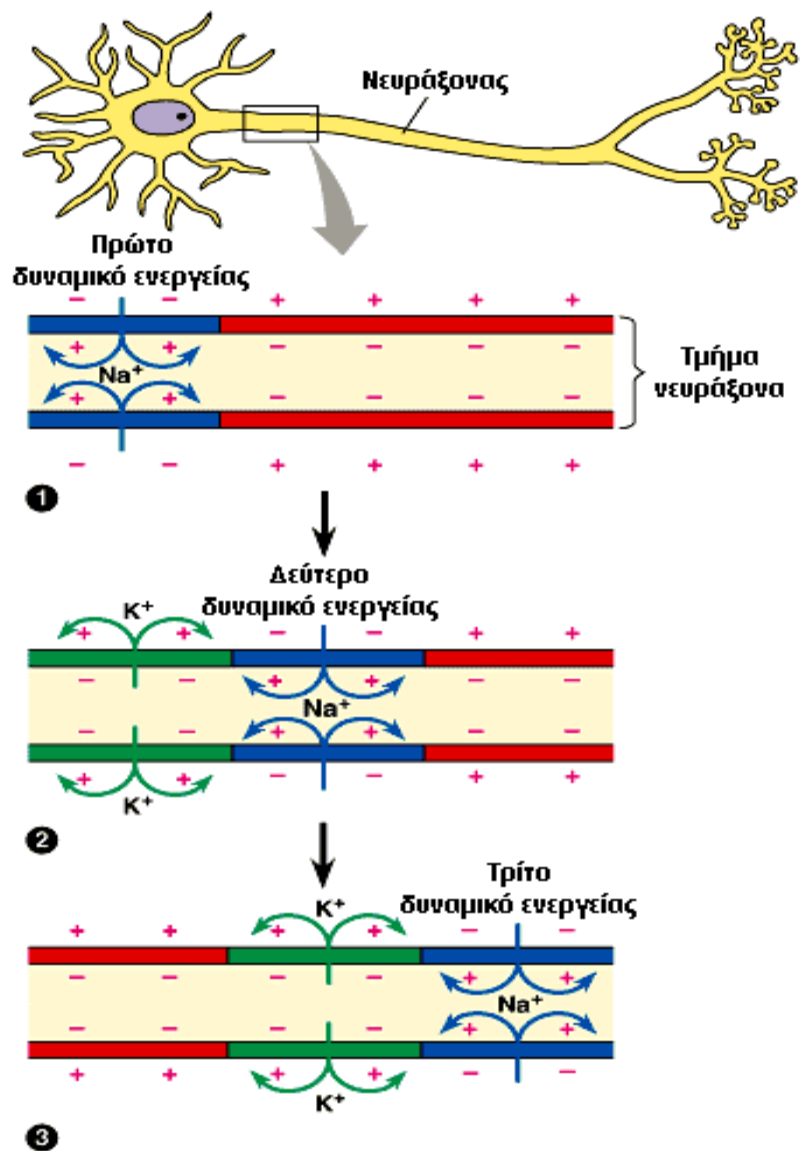
### **2.3. Διάδοση του δυναμικού ενέργειας**

Ένα ενεργό δυναμικό, αφότου δημιουργηθεί, δεν διαδίδεται από μόνο του κατά μήκος της μεμβράνης. Αντίθετα, κάθε ενεργό δυναμικό ενεργοποιεί ένα άλλο σε γειτονική περιοχή της μεμβράνης, μέσω της δημιουργίας ενός τοπικού ρεύματος. Η τοπική ροή ρεύματος είναι αρκετά μεγάλη ώστε να αποπολώσει τη γειτονική περιοχή της μεμβράνης στο δυναμικό κατωφλίου, να επικρατήσει ο κύκλος θετικής ανάδρασης του νατρίου και να δημιουργηθεί ένα νέο ενεργό δυναμικό σ' αυτή τη θέση. Το νέο ενεργό δυναμικό είναι θεωρητικά ταυτόσημο με αυτό που το προξένησε και παράγει τοπικά ρεύματα από μόνο του, τα οποία αποπολώνουν την περιοχή γύρω από αυτό και δημιουργούν ένα ακόμα ενεργό δυναμικό στη γειτονική περιοχή. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνέχεια κατά μήκος όλης της μεμβράνης. Οπότε, δεν υφίσταται παραμόρφωση και το ενεργό δυναμικό που φτάνει στο άκρο της μεμβράνης έχει το ίδιο σχήμα με το αρχικό.

Λόγω των τοπικών ρευμάτων που υπάρχουν ανάμεσα σε περιοχές διαφορετικού δυναμικού, ρέει επίσης φορτίο προς την αρχική θέση διέγερσης από τις νέες διεγειρόμενες γειτονικές περιοχές. Όμως επειδή οι περιοχές της μεμβράνης που έχουν μόλις δεχθεί ένα ενεργό δυναμικό είναι ανενεργές και δεν μπορούν να δεχθούν και άλλο, η μόνη διεύθυνση διάδοσης του ενεργού δυναμικού είναι μακριά από τη περιοχή της μεμβράνης, η οποία έχει πρόσφατα υποστεί ενεργό δυναμικό.

Οι διεγερόμενες μεμβράνες είναι ικανές να άγουν ενεργά δυναμικά προς κάθε κατεύθυνση διάδοσης, η οποία καθορίζεται μάλλον από τη θέση του ερεθίσματος, παρά από κάποια εγγενή ανικανότητα της μεμβράνης να άγει, προς την αντίθετη κατεύθυνση. Για παράδειγμα, τα ενεργά δυναμικά σε κύτταρα των σκελετικών μυών ξεκινούν κοντά στο μέσον αυτών των κυλινδρικών κυττάρων και διαδίδονται προς τα δύο άκρα, αλλά στα περισσότερα νευρικά κύτταρα, τα ενεργά δυναμικά ξεκινούν στο ένα άκρο του κυττάρου και διαδίδονται προς το άλλο άκρο.

Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται παραστατικά η διάδοση του δυναμικού ενέργειας μετά τη δημιουργία του:



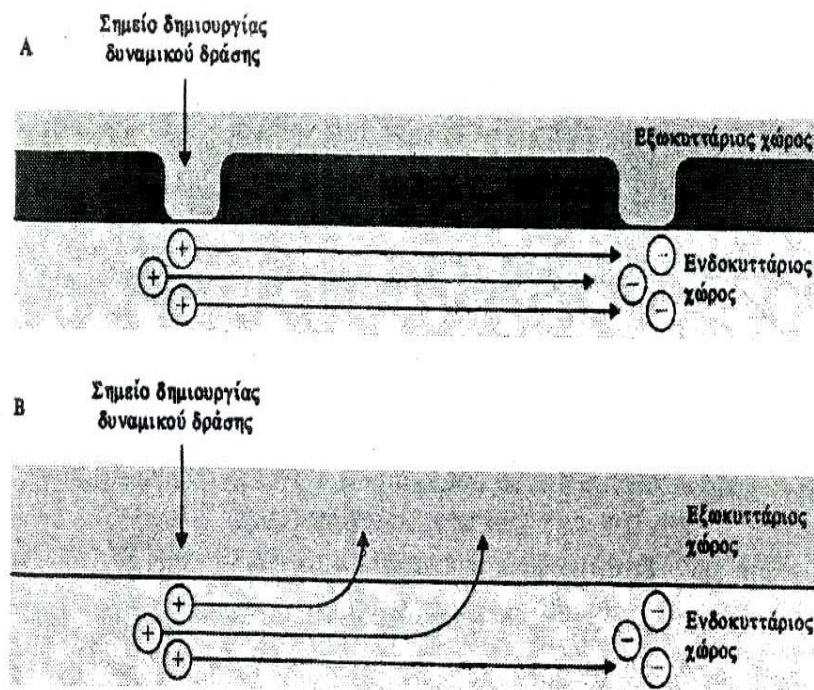
Σχήμα 2.5 : Η διάδοση του ενεργού δυναμικού



Τα ενεργά δυναμικά διαδίδονται πιο γρήγορα σε άξονες με μεγαλύτερη διάμετρο με ταχύτητες που ξεκινούν από τα 10 και φτάνουν μέχρι τα 100 μέτρα το δευτερόλεπτο. Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι η αντίσταση είναι μικρότερη στους άξονες με μεγαλύτερη διάμετρο, λόγω της αύξησης του λόγου της διατομής προς την επιφάνεια της μεμβράνης. Έτσι λόγω της μικρής αντίστασης της μεγαλύτερης ίνας σε τοπικά ρεύματα, γειτονικές περιοχές της μεμβράνης αποκτούν πιο γρήγορα την τιμή κατωφλίου.

Ο άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ταχύτητα του δυναμικού, είναι η ύπαρξη μυελίνης η οποία είναι μονωτής και καθιστά πιο δύσκολη τη ροή φορτίου ανάμεσα στα τμήματα του ενδοκυτταρικού και του εξωκυτταρικού υγρού. Η ύπαρξη λοιπόν της μυελίνης σε ορισμένα τμήματα της μεμβράνης παρεμποδίζει τη παρουσία ενεργών δυναμικών, με αποτέλεσμα τα ενεργά δυναμικά να υφίστανται μόνο όταν το περίβλημα της μυελίνης διακόπτεται στους κόμβους του Ranvier.

Λόγω αυτού του γεγονότος, στους άξονες που επικαλύπτονται από μυελίνη τα ενεργά δυναμικά διαδίδονται με μια διαδικασία που ονομάζεται **αλματώδης αγωγιμότητα** ή **διάδοση με άλματα** κατά την οποία τα δυναμικά αναπηδούν από κόμβο σε κόμβο κατά μήκος του άξονα όπως φαίνεται και στο πιο κάτω σχήμα:



Σχήμα 2.6 : Αλματώδης αγωγιμότητα

Η διάδοση με άλματα αυξάνει την ταχύτητα διάδοσης των δυναμικών γεγονόσ πολύ σημαντικό για τους οργανισμούς, γιατί με αυτό τον τρόπο δεν είναι αναγκαία η αυξημένη διάμετρος του άξονα, οπότε οι οργανισμοί δεν χρειάζονται μεγάλα νευρικά συστήματα για να λειτουργήσουν.

Όσο αφορά τη ταχύτητα διάδοσης σε άξονες ίδιας διαμέτρου, είναι μεγαλύτερη στους άξονες που περιβάλλονται από μυελίνη λόγω του ότι λιγότερο φορτίο διαρρέει προς τα έξω μέσω του τμήματος της μεμβράνης που έχει περίβλημα μυελίνης. Άρα σε δεδομένη χρονική στιγμή φτάνει περισσότερο φορτίο στο γειτονικό κόμβο του ενεργού, με αποτέλεσμα ο κόμβος αυτός να αποπολώνεται γρήγορα και να υφίσταται συντομότερα ένα ενεργό δυναμικό σε σχέση με τους άξονες χωρίς μυελίνη.

## 2.4. Μεταβίβαση της νευρικής ώσης

Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το σημείο όπου γίνεται η μεταβίβαση μιας ώσης από το ένα κύτταρο στο άλλο λέγεται **σύναψη**. Η κάθε σύναψη περιλαμβάνει την **προσυναπτική μεμβράνη** του ενός κυττάρου, τη **μετασυναπτική μεμβράνη** του επόμενου κυττάρου και τη **συναπτική σχισμή**, ένα μικρό διάστημα που χωρίζει τις δύο μεμβράνες και το οποίο έχει εύρος μόλις 20 nm.

Όταν η νευρική ώση φτάσει στο συναπτικό άκρο ενός νευρώνα, προκαλείται ένα χημικό μήνυμα το οποίο γεφυρώνει τη συναπτική σχισμή και αναδημιουργεί νευρική ώση στη μετασυναπτική μεμβράνη. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι οι πιο πολλές συνάψεις είναι χημικές, αλλά υπάρχουν και ορισμένες που είναι ηλεκτρικές και απαντώνται κυρίως σε ασπόνδυλους οργανισμούς.

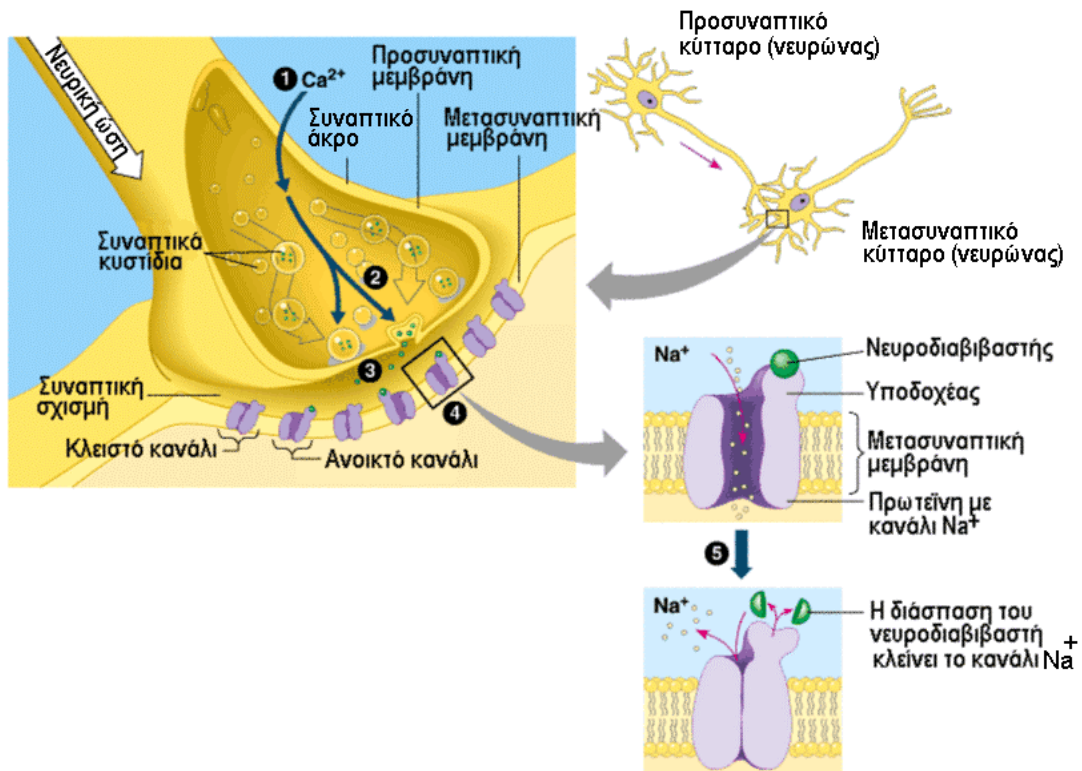
Στο κυτταρόπλασμα, λίγο πριν το συναπτικό άκρο, απαντώνται πολυάριθμα κυστίδια, τα οποία ονομάζονται **συναπτικά κυστίδια**. Κάθε συναπτικό κυστίδιο περιέχει χιλιάδες μόρια ειδικών χημικών ουσιών, των **νευροδιαβιβαστών**, όπως είναι η ακετυλοχολίνη, η επινεφρίνη και η σεροτονίνη. Ο νευροδιαβιβαστής εκκρίνεται στη συναπτική σχισμή και αποτελεί ένα είδος διακυτταρικού αγγελιαφόρου (χημικό μήνυμα). Όταν φτάσει η νευρική ώση στο συναπτικό άκρο, εκπολώνεται τελικά η προσυναπτική μεμβράνη και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εισέλθουν στο κύτταρο ιόντα ασβεστίου μέσα από κανάλια διαμεμβρανικών πρωτεϊνών που διαθέτουν πύλες.

Η παρουσία των ιόντων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) στο κύτταρο, διεγείρει τα συναπτικά κυστίδια ώστε να προχωρήσουν προς την προσυναπτική μεμβράνη και να συνενωθούν μαζί της, με αποτέλεσμα ο νευροδιαβιβαστής που περιέχουν να αδειάσει στη συναπτική σχισμή, διαδικασία που ονομάζεται **εξωκυττάρωση**. Η παρουσία ενός και μόνο δυναμικού ενέργειας μπορεί να προκαλέσει την αντίδραση χιλιάδων συναπτικών κυστιδίων.

Για να έχει τη δυνατότητα να ανταποκρίνεται στην παρουσία των νευροδιαβιβαστών, η μετασυναπτική μεμβράνη είναι κατάλληλα προσαρμοσμένη: διαμεμβρανιακές πρωτεΐνες στο μέρος της μεμβράνης που είναι απέναντι από την προσυναπτική, διαθέτουν υποδοχείς των οποίων η λειτουργία είναι να δεσμεύουν τα μόρια του νευροδιαβιβαστή. Μόλις συμβεί αυτό, ανοίγουν στη μετασυναπτική μεμβράνη οι πύλες των καναλιών  $\text{Na}^+$  με αποτέλεσμα να εισχωρήσουν τα ιόντα νατρίου στο εσωτερικό του κυττάρου και να προκαλέσουν εκπόλωση και δημιουργία δυναμικού ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο ο κύκλος της διέγερσης μεταδίδεται στο επόμενο κύτταρο. Τα μόρια του νευροδιαβιβαστή διασπώνται στη συνέχεια με τη βοήθεια ενζύμου, γεγονός που προκαλεί κλείσιμο των πυλών των καναλιών  $\text{Na}^+$  και τον τερματισμό της διαδικασίας ( μεταβίβαση της νευρικής ώσης ).

Τα προϊόντα της διάσπασης του νευροδιαβιβαστή καταλήγουν στο προσυναπτικό κύτταρο και χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση των νέων μορίων του νευροδιαβιβαστή. Αν ο νευροδιαβιβαστής δεν διασπαστεί, τότε η μετασυναπτική μεμβράνη παραμένει εκπολωμένη και δεν μπορεί να δεχθεί νέα ερεθίσματα. Αν η εκπόλωση που προκαλεί ο νευροδιαβιβαστής δεν είναι επαρκής, δεν ξεπερνά δηλαδή την κατώφλιο τιμή, τότε δεν θα δημιουργηθεί ώση στο κύτταρο.

Η διαδικασία της μεταβίβασης της νευρικής ώσης που μόλις περιγράψαμε φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα:



Σχήμα 2.7 : Μεταβίβαση της νευρικής ώσης σε σύναψη

Εκτός από διέγερση όμως, υπάρχουν και νευροδιαβιβαστές που προκαλούν αναστολή, υπερπόλωση δηλαδή αντί εκπόλωση του μεταστατικού νευρώνα.

Σημειώνουμε, ότι μια σημαντική λειτουργία των συνάψεων είναι το γεγονός ότι εξασφαλίζουν τη μεταβίβαση μιας νευρικής ώσης προς μια μόνο κατεύθυνση, διότι τα συναπτικά κυστίδια βρίσκονται μόνο στη μία πλευρά του συναπτικού χώρου.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

---

## Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG)

### 3.1. Ηλεκτροεγκεφαλογραφία

Η **Ηλεκτροφυσιολογία** είναι η μελέτη των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των βιολογικών κυττάρων και των ιστών και περιλαμβάνει τις αλλαγές τάσης ή ρεύματος σε ευρεία κλίμακα, η οποία περιλαμβάνει τα ιοντικά κανάλια σε ιοντικό επίπεδο έως ολόκληρους ιστούς, όπως η καρδιά και ο εγκέφαλος.

Όσο αφορά τη **Νευρολογία**, περιλαμβάνει τις μετρήσεις της ηλεκτρικής δραστηριότητας των νευρώνων και ιδιαίτερα τα **ενεργά δυναμικά**.

Η **Ηλεκτροεγκεφαλογραφία** είναι ο τομέας της ηλεκτροφυσιολογίας που έχει σαν αντικείμενο τη μέτρηση, καταγραφή και ανάλυση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου. Αυτό γίνεται εφικτό με τη τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο πάνω μέρος του κρανίου (σε ιδιαίτερες περιπτώσεις και υποδορίως), τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα **ηλεκτροεγκεφαλογράφο**. Ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος είναι το μηχάνημα που καταγράφει τα δυναμικά του φλοιού του εγκεφάλου όπως μετρούνται από τα ηλεκτρόδια και μας επιτρέπει την παρατήρηση και την επεξεργασία τους κυρίως με τη βοήθεια ενός υπολογιστή.

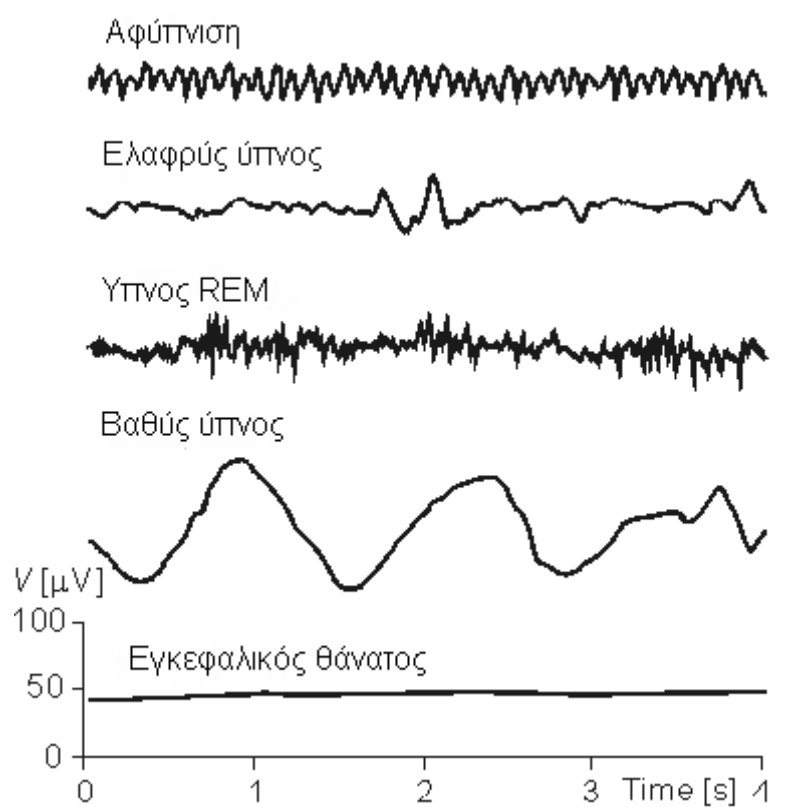


*Σχήμα 3.1 : Καταγραφή των ηλεκτροεγκεφαλικών σημάτων (EEG)*

### 3.2. Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) είναι το αποτέλεσμα της καταγραφής των ηλεκτρικών δυναμικών και αναπαριστά το ηλεκτρικό σήμα του εγκεφάλου. Το μετρούμενο μέγεθος είναι η διαφορά δυναμικού (τάση) μεταξύ διαφορετικών σημείων του εγκεφάλου, μέτρηση εφικτή λόγω του ότι ο εγκεφαλικός ιστός, οι μήνιγγες, το κρανίο και το δέρμα είναι ικανά να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα εγκεφαλογραφικά σήματα ποικίλουν ανάλογα με τις διάφορες καταστάσεις στις οποίες βρίσκεται ο ανθρώπινος οργανισμός. Μερικά από αυτά φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα:



Σχήμα 3.2 : Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα καταγραμμένα σε διάφορα επίπεδα εγρήγορσης

### 3.3. Λειτουργία ηλεκτροεγκεφαλογράφου

Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτροεγκεφαλογράφου είναι η καταγραφή των διάφορων δυναμικού στην επιφάνεια του ανθρώπινου κρανίου, η οποία οφείλεται στη λειτουργία του εγκεφάλου. Τα ηλεκτρικά αυτά δυναμικά προκαλούνται από τις μεταβολές της πόλωσης της μεμβράνης των νευρώνων και ανιχνεύονται από τον ηλεκτροεγκεφαλόγραφο στην επιφάνεια του εγκεφάλου.

Η ιδιότητα του ηλεκτροεγκεφαλογράφου είναι ότι μπορεί να καταγράφει την αυτόνομη ηλεκτρική δραστηριότητα του φλοιού του εγκεφάλου. Η δραστηριότητα αυτή αντιπροσωπεύει στην ουσία τα ηλεκτρικά ρεύματα που διατρέχουν τον εξωκυττάριο χώρο. Τα ρεύματα αυτά με τη σειρά τους είναι η συνισταμένη των επιδράσεων αναρίθμητων διεγερτικών και ανασταλτικών συναπτικών δυναμικών πάνω στους φλοιικούς νευρώνες. Η αυτόματη αυτή δραστηριότητα των φλοιικών νευρώνων επηρεάζεται κατά πολύ από υποφλοιώδεις δομές, όπως ο θάλαμος και ο ανώτερος δικτυωτός σχηματισμός του στελέχους. Τα κεντρομόλα ερεθίσματα που προέρχονται από τους κατώτερους αυτούς σχηματισμούς είναι μάλλον υπεύθυνα για την παραγωγή χαρακτηριστικών ρυθμικών εγκεφαλικών κυμάτων από τους φλοιικούς νευρώνες, όπως π.χ. αιχμές ύπνου.

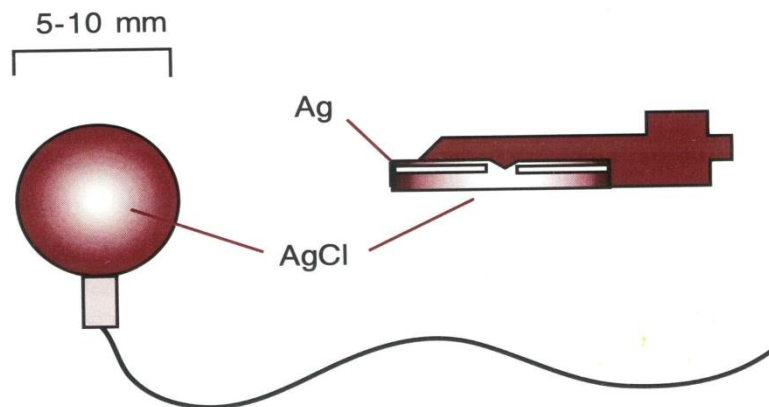
Τα σήματα αυτά διαφοροποιούνται και χαρακτηρίζονται με βάση τη συχνότητα, το πλάτος, τη μορφή, τη περιοχή του κρανίου από όπου καταγράφονται καθώς και τις τυχόν φυσιολογικές ή παθολογικές συνθήκες που τα συνοδεύουν.

Τα μετρούμενα ηλεκτρικά σήματα είναι ασθενή, από περίπου 1μV ως 100μV. Εξαρχής λοιπόν υπάρχει η απαίτηση της όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ενίσχυσης των υπό εξέταση σημάτων, και μόνο αυτών, καθώς και της πυκνότερης κάλυψης του κεφαλιού με απαγωγά ηλεκτρόδια. Κατ' αυτόν τον τρόπο αναμένεται ότι θα έχουμε μια ουσιαστική απεικόνιση - αντανάκλαση της εγκεφαλικής δραστηριότητας που θέλουμε να μελετήσουμε.

Το πρώτο στάδιο στην εξαγωγή των σημάτων του ΗΕΓ αποτελούν τα ηλεκτρόδια, οι αισθητήρες του συστήματος, οι οποίοι μετατρέπουν το ρεύμα ιόντων μέσα στο ανθρώπινο σώμα σε ρεύμα ηλεκτρονίων μέσα στα καλώδια, τα οποία μετά οδηγούν αυτό το ρεύμα σε επόμενα στάδια επεξεργασίας. Η επαφή τους με το δέρμα γίνεται μέσω μιας κολλώδους ουσίας ή μέσω ενός μικρού δακτυλιδιού, που από τη



μια μεριά προσκολλάται στο δέρμα και από την άλλη στο κυρίως ηλεκτρόδιο, το οποίο παρουσιάζεται στο πιο κάτω σχήμα:



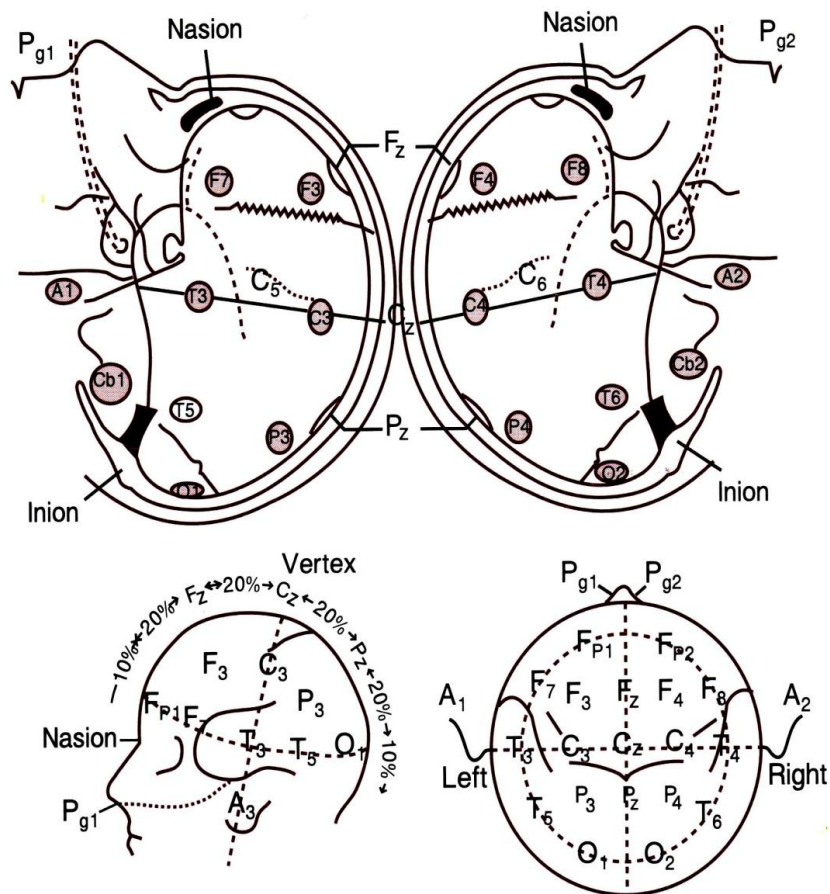
Σχήμα 3.3 : Ηλεκτρόδιο με επαφή δακτυλίου

Αρχικά, στα σημεία στα οποία θα τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια, το δέρμα πρέπει να καθαριστεί καλά με οινόπνευμα για να επιτύχουμε χαμηλή αντίσταση επαφής, κάτω των 5kΩ. Το ηλεκτρόδιο λοιπόν έρχεται σε απ' ευθείας επαφή με τον υποκείμενο ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται, έτσι ώστε είναι δυνατή η κίνηση ιόντων μέσω του «συνόρου» ηλεκτροδίου – ηλεκτρολύτη μέχρι να επέλθει ισορροπία. Η ισορροπία αυτή είναι συνάρτηση της ιοντικής συγκέντρωσης που υπάρχει στις δύο πλευρές του συνόρου. Ως αποτέλεσμα δημιουργούνται τελικά δύο φορτισμένα στρώματα στις δύο πλευρές του συνόρου, ένα στη μεταλλική επιφάνεια και ένα πάνω στις υγρές ουσίες γύρω από το ηλεκτρόδιο, εμφανίζοντας έτσι μια διαφορά δυναμικού η οποία εμποδίζει τη συνέχιση της κίνησης των ιόντων, αλλά είναι ταυτοχρόνως ευαίσθητη στις μεταβολές των συγκεντρώσεων των ιόντων. Όταν μέσα στον εγκέφαλο υπάρξει σήμα, δηλ. ροή ιόντων, αυτό θα προκαλέσει μεταβολή της ιοντικής συγκέντρωσης και αυτόματα μεταβολή της διαφοράς δυναμικού των στρωμάτων, άρα και ροή ηλεκτρονίων από την πλευρά του αγωγίμου ηλεκτροδίου.

Στο «σύνоро» είναι επιθυμητό η τάση να επηρεάζεται μόνο από ιοντικά ρεύματα του ανθρώπινου κεφαλιού και όχι από θερμοκρασιακές μεταβολές ή μηχανικές μετακινήσεις των ηλεκτροδίων, το οποίο επιτυγχάνεται όταν προσδίδουμε μεγαλύτερη ευχέρεια κινήσεων στα ιόντα της συνοριακής περιοχής. Την απαίτηση αυτή ικανοποιούν ηλεκτρόδια αποτελούμενα από το συνδυασμό ενός μετάλλου με το αντίστοιχο άλας του. Ένα από τα συνηθέστερα ηλεκτρόδια είναι αυτό που

κατασκευάζεται από άργυρο (Ag) και χλωριούχο άργυρο (AgCl) και χρησιμοποιείται με ηλεκτρολύτη που περιέχει κυρίως ανιόντα χλωρίου (Cl<sup>-</sup>).

Υπάρχουν πολλά πρότυπα να οποία έχουν προταθεί κατά καιρούς για τη θέση των ηλεκτροδίων πάνω στο κεφάλι, αλλά αυτό που έχει επικρατήσει είναι το πρότυπο 10-20. Το πρότυπο αυτό οφείλει την ονομασία του στην επιλογή του 20% της αποστάσεως μεταξύ των δύο αυτιών, ως την απόσταση ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε ηλεκτρόδια καθώς και στην επιλογή του 10% της αποστάσεως μεταξύ των δύο αυτιών, ως την απόσταση από το αυτί στο κοντινότερο προς αυτό ηλεκτρόδιό του. Με τον τρόπο αυτό οι θέσεις των ηλεκτροδίων προσαρμόζονται ανάλογα με τις διαστάσεις του κρανίου του εξεταζόμενου όπως φαίνεται στο πιο σχήμα :



Σχήμα 3.4 : Σχήμα 5.7: Τυποποιημένες απαγωγές στην επιφάνεια του κεφαλιού με το Σύστημα 10-20

Τα ηλεκτρόδια που βρίσκονται «πάνω» από εγκεφαλικές περιοχές, οι οποίες ενδεχομένως θα παρουσιάσουν δραστηριότητα, λέγεται ότι αντιστοιχούν σε **ενεργά σημεία**. Αντίθετα, ηλεκτρόδια τοποθετημένα πάνω από περιοχές που θεωρείται ότι δεν έχουν σχέση με εγκεφαλική λειτουργία, λέγεται ότι αντιστοιχούν σε **ανενεργά σημεία**. Τέτοια σημεία π.χ. είναι το αυτί, ή τα ενωμένα με αγωγίμο δρόμο δύο αυτιά, σημεία του λαιμού κ.ά. Όταν το μετρούμενο σήμα προκύπτει ως διαφορά δυναμικού δύο ηλεκτροδίων ενεργών περιοχών, τότε, σύμφωνα με την ορολογία το ΗΕΓ, έχουμε «**διπολική**» **μέτρηση**. Διπολικές μετρήσεις για 15 ως 30 ηλεκτρόδια είναι η κοινή μεθοδολογία σε κλινικές νευρολογικές εξετάσεις ΗΕΓ. Αυτή η μέθοδος προσφέρει το πλεονέκτημα ότι απορρίπτει τυχόν παράσιτα τα οποία είναι κοινά στα δύο ηλεκτρόδια. Στην περίπτωση της ψυχοφυσιολογικής έρευνας όμως, συνήθως το μετρούμενο σήμα προκύπτει ως διαφορά δυναμικού ενός ηλεκτροδίου ενεργής περιοχής και ενός ηλεκτροδίου ανενεργής περιοχής, οπότε έχουμε «**μονοπολική**» **μέτρηση**. Το ηλεκτρόδιο ανενεργής περιοχής είναι κοινό για όλες τις μετρήσεις και αποτελεί το σημείο αναφοράς, το οποίο κανονικά δεν θα πρέπει να επηρεάζεται από εγκεφαλικά ρεύματα. Με αυτόν τον τρόπο επιζητούμε να έχουμε μια ολοκληρωμένη και ταυτόχρονη, από όλα τα ηλεκτρόδια ενεργών περιοχών, πληροφόρηση σχετικά με κάθε εγκεφαλικό ρεύμα ιόντων το οποίο φτάνει στην εξωτερική δερματική επιφάνεια του κεφαλιού.

Στη συνέχεια το κάθε ηλεκτρόδιο συνδέεται με την είσοδο ενός διαφορικού ενισχυτή (ένας ενισχυτής για κάθε ζευγάρι ηλεκτροδίων), που ενισχύει την τάση μεταξύ τους (χαρακτηριστικά 1.000-100.000 φορές, ή 60-100 DB του κέρδους τάσης), και την αναπαριστά έπειτα σε μια οθόνη ή την εισάγει σε έναν υπολογιστή. Το κάθε σήμα το οποίο ενισχύεται στον ΗΕΓ είναι η διαφορά μεταξύ των δυναμικών που ανά πάσα στιγμή παρουσιάζουν δύο ηλεκτρόδια μεταξύ τους. Το εύρος του EEG είναι περίπου 100  $\mu\text{V}$  όταν μετρείται πάνω από το κρανίο, και περίπου 1-2 mV όταν μετρείται στην επιφάνεια του εγκεφάλου.

Λόγω της απαίτησης ο λόγος απόρριψης κοινού σήματος (common mode rejection ratio - CMRR) να είναι στο επίπεδο των 120 db, χρησιμοποιούνται κυκλώματα με συνδυασμούς διαφορικών ενισχυτών. Κατόπιν τα αναλογικά σήματα είτε οδηγούνται σε καταγραφική συσκευή και αποτυπώνονται σε χαρτί, σε συμβατικά συστήματα ΗΕΓ, είτε, όπως συνηθίζεται στα πιο εξελιγμένα συστήματα, μέσω

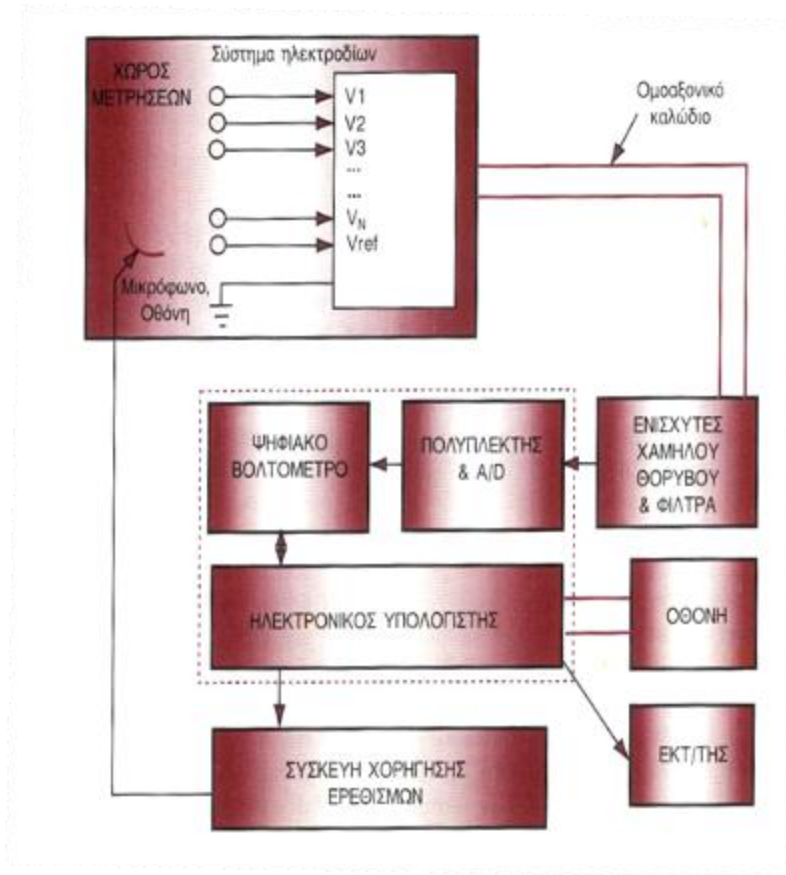
συσκευής πολυπλεξίας οδηγούνται στον μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (A/D), όπου ως ψηφιακά πλέον σήματα καταμετρώνται σε ηλεκτρονικό βολτόμετρο.

Ακολούθως, ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής λαμβάνει τα ψηφιακά δεδομένα των μετρήσεων, οπότε υπάρχει η δυνατότητα για ψηφιακή επεξεργασία και απεικόνιση του σήματος, είτε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων (εντός γραμμής - on line), είτε σε μεταγενέστερο στάδιο, εφόσον αποθηκευτεί το σήμα στο δίσκο του υπολογιστή (εκτός γραμμής - off line).

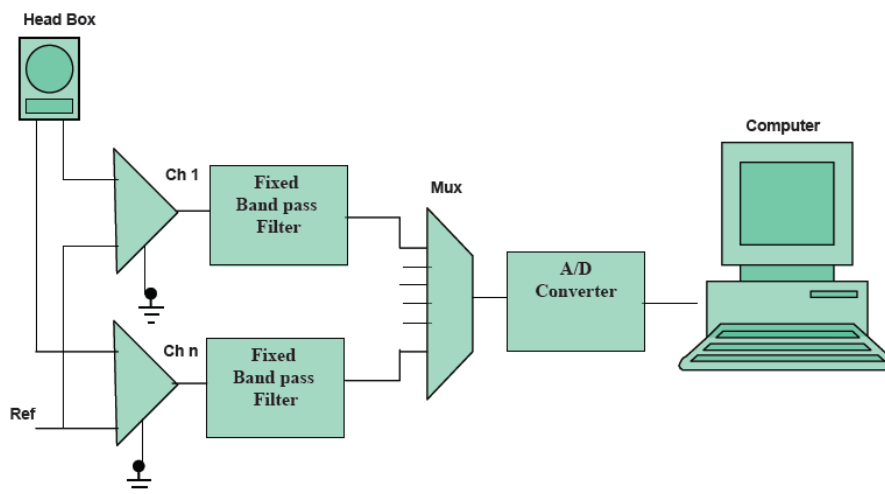
Σε σύγχρονα συστήματα πολλές φορές οι λειτουργίες της πολυπλεξίας, αναλογικοψηφιακής μετατροπής και μέτρησης, εκτελούνται από ειδικές κάρτες ανάκτησης σήματος (Data Acquisition) εγκατεστημένες στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, σε συνδυασμό με το αντίστοιχο λογισμικό ελέγχου της κάρτας και ψηφιακής επεξεργασίας του σήματος. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να ελέγχει και μια συσκευή χορήγησης ερεθισμών. Στην περίπτωση αυτή μπορούν να υλοποιηθούν ολοκληρωμένες κλινικές και εργαστηριακές μετρήσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν ελεγχόμενες δοκιμασίες προς τον εξεταζόμενο με χορήγηση π.χ. συγκεκριμένων ήχων, λέξεων, αριθμών, εικόνων κ.λπ. Είναι τότε δυνατός ο συγχρονισμός της χορήγησης των ερεθισμών με την καταγραφή των δυναμικών που προκύπτουν ως αποτέλεσμα του ερεθισμού.

Τονίζουμε ότι για τη σωστή λειτουργία κάθε συσκευής μέτρησης βιοσημάτων, αλλά ακόμη περισσότερο για την περίπτωση του ΗΕΓ όπου τα μετρούμενα σήματα είναι της τάξεως των  $\mu\text{V}$ , η γείωση όλων των τμημάτων του συστήματος θα πρέπει να είναι κοινή έτσι ώστε να μην δημιουργούνται βρόχοι μεταξύ διαφορετικών γειώσεων που εισάγουν σφάλματα.

Η διαδικασία αυτή που περιγράψαμε φαίνεται στα πιο κάτω διαγράμματα:



Σχήμα 3.5 : Σχηματικό διάγραμμα ψηφιακού ΗΕΓ με  $N$  ηλεκτρόδια μέτρησης δυναμικού



Σχήμα 3.6: Διάγραμμα ψηφιακού ηλεκτροεγκεφαλογράφου

### 3.4. Χαρακτηριστικά εγκεφαλογραφήματος

Η μελέτη του ΗΕΓ βασίζεται κυρίως στη μελέτη και καταγραφή ορισμένων κυματομορφών, των λεγόμενων **ρυθμών**, κύριο χαρακτηριστικό των οποίων είναι οι συχνότητες των αρμονικών από τις οποίες αποτελούνται, δηλαδή το φασματικό τους περιεχόμενο. Η κατηγοριοποίηση με βάση τη συχνότητα είναι φυσικά προσεγγιστική, λόγω του γεγονότος ότι ο μεγαλύτερος όγκος της έρευνας στο ΗΕΓ είχε επιτελεστεί όταν δεν ήταν διαδεδομένη η χρήση ψηφιακών υπολογιστών και οι παρατηρήσεις βασίζονταν στις καταγραφές των δυναμικών πάνω στο βαθμονομημένο καταγραφικό χαρτί. Οι κυριότεροι ρυθμοί είναι οι **άλφα, βήτα, γάμμα, δέλτα και θήτα** οι συχνότητες και τα συνήθη πλάτη των οποίων δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ρυθμός	Περιοχή Συχνοτήτων (Hz)	Πλάτος (μV)
<b>Δέλτα</b>	0,5-3,5	Έως 100-200
<b>Θήτα</b>	4-7,5	<30
<b>Αλφα</b>	8-12	30-50
<b>Αργός Βήτα</b>	13-19	<20
<b>Ταχύς Βήτα</b>	20-30	<20
<b>Γάμμα</b>	30-70	<20

*Πίνακας 3.1 : Οι βασικοί ρυθμοί και τα χαρακτηριστικά τους*

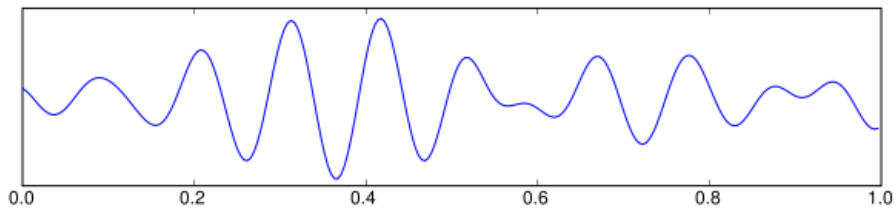
Θα αναφερθούμε τώρα συνοπτικά σε αυτούς τους ρυθμούς:

- **Άλφα ρυθμός (κύμα Berger):** Έχει φάσμα συχνότητας από 8 Hz έως 12 Hz. Εμφανίζεται κατά τη διάρκεια μιας άγρυπνης, χαλαρής κατάστασης και είναι παρόν από την ηλικία δύο ετών. Οι άλφα ρυθμοί ανιχνεύονται καλύτερα με τα μάτια κλειστά και καταστέλλονται όταν τα μάτια είναι ανοιχτά ή όταν το άτομο είναι συναισθηματικά διεγερμένο ή επιτελεί πνευματική εργασία. Ο άλφα ρυθμός μεγαλώνει με την ηλικία και φτάνει στη μέγιστη τιμή στα 12 έτη, όπου σταθεροποιείται και μετά μειώνεται σε συχνότητα και εύρος σε μεγάλη ηλικία (πάνω από 65).

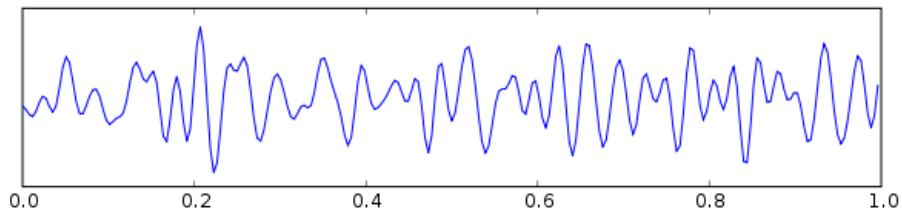
- **Βήτα ρυθμός:** Έχει φάσμα συχνότητας πάνω από 12 Hz. Ο ρυθμός αυτός σχετίζεται με τη κατάσταση πλήρους εγρήγορσης, μεγάλης συγκέντρωσης και έντονης σκέψης ενός φυσιολογικού ατόμου. Επειδή ο βήτα ρυθμός καταλαμβάνει μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων χωρίζεται σε αργό βήτα και ταχύ βήτα, οι συχνότητες των οποίων φαίνονται στον προηγούμενο πίνακα.
- **Γάμμα ρυθμός:** Έχει φάσμα συχνότητας από 30Hz έως 70 Hz. Ο γάμμα ρυθμός φαίνεται να συσχετίζεται με ανώτερη πνευματική δραστηριότητα, όπως επίλυση προβλημάτων, φόβο, αντίληψη θεμάτων και συνείδηση. Κατά έναν ορισμό ο ρυθμός γάμμα εκδηλώνεται από τα 24 Hz και πάνω αν και οι ερευνητές δέχονται ότι διεργασίες κατανόησης υψηλού επιπέδου συμβαίνουν όταν χαμηλής συχνότητας γάμμα ρυθμοί ξαφνικά διπλασιάζονται σε συχνότητες της περιοχής των 40 Hz. Η έρευνα έχει δείξει ότι ο ρυθμός γάμμα είναι παρών κατά τη διαδικασία της αφύπνισης καθώς και κατά τη διάρκεια του ύπνου REM.
- **Δέλτα ρυθμός:** Έχει φάσμα συχνότητας μέχρι 4 Hz. Εμφανίζεται στα πολύ μικρά παιδιά μέχρι το δεύτερο έτος της ηλικίας τους και κατά τη διάρκεια του βαθύ ύπνου του φυσιολογικού ανθρώπου. Συνδέεται με μερικές εγκεφαλοπάθειες και εγκεφαλικά τραύματα.
- **Θήτα ρυθμός:** Έχει φάσμα συχνότητας από 4 Hz έως 8 Hz. Συνδέεται με την υπνηλία, την παιδική ηλικία, την εφηβεία και τη νεαρή ενηλικίωση. Ο θήτα ρυθμός μπορεί να φανεί κατά τη διάρκεια υπνωτικών καταστάσεων όπως η ύπωση, τα βαθιά όνειρα κατά τη διάρκεια της μέρας και ο ελαφρύς ύπνος, καθώς επίσης και κατά τη διάρκεια του ξυπνήματος και ακριβώς πριν τον ύπνο. Εμφανίζεται σε συνδυασμό με το ρυθμό β σε φάσεις αυξημένης προσοχής. Ο ρυθμός θ, όπως και ο δ, μπορεί να θεωρηθεί παθολογικός και υποδηλώνει συνήθως οργανική εγκεφαλική βλάβη.

Στα πιο κάτω σχήματα παρουσιάζουμε τις κυματομορφές των ρυθμών αυτών:

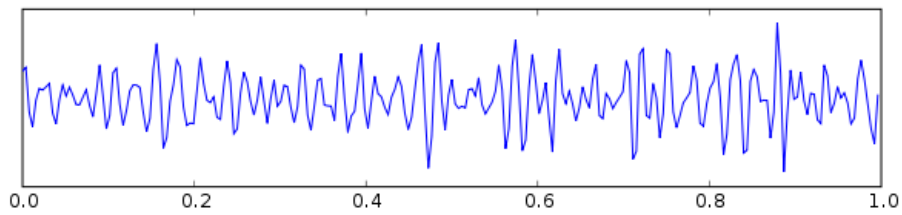
*άλφα:*



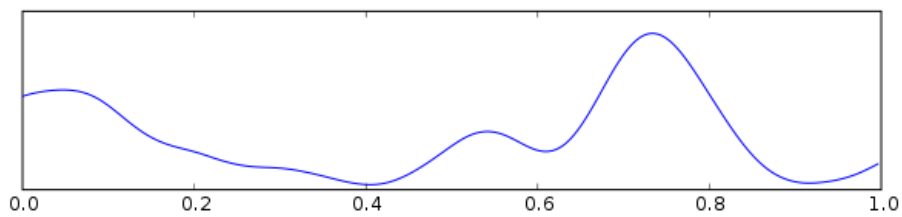
*βήτα:*



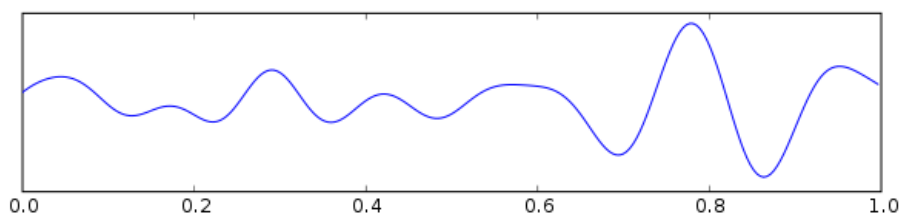
*γάμμα:*



*δέλτα:*



*θήτα:*



*Σχήμα 3.7: Βασικοί ρυθμοί του EEG*



### 3.5. Βιωματικά Δυναμικά του Εγκεφάλου

Τα **Βιωματικά Δυναμικά** (ΒΔ ή Event Related Potentials - ERP), είναι οι διαφορές δυναμικού που μετρούμε συνήθως στη δερματική επιφάνεια του κεφαλιού, οι οποίες προκαλούνται ως προετοιμασία ή ως απόκριση σε συγκεκριμένο γεγονός, το οποίο συμβαίνει είτε στον εξωτερικό φυσικό κόσμο, είτε λαμβάνει χώρα ως ψυχολογική διαδικασία. Τα διακρίνουμε σε **Προκλητά Δυναμικά** ( ΠΔ ή Evoked Potentials - EP), όταν το ερέθισμα προέρχεται απ' τον εξωτερικό κόσμο, και σε **Εκπεμπόμενα Δυναμικά** (ΕΔ ή Emitted Potentials) όταν σχετίζονται με μία ψυχολογική διαδικασία.

Επιπλέον, ανάλογα με το ερέθισμα που δέχεται ο εγκέφαλος, κατατάσσουμε τα **Προκλητά Δυναμικά** σε :

- **Οπτικά προκλητά δυναμικά (Visual Evoked Potentials - VEP):**  
Προκαλούνται από οπτικό ερεθισμό, όπως εμφάνιση μιας συγκεκριμένης εικόνας, αλλαγή χρωμάτων, λάμπεις κ.ά.
- **Ακουστικά προκλητά δυναμικά (Auditory Evoked Potentials - AEP):**  
Προκαλούνται από ακουστικό ερεθισμό, δηλ. ήχους, λέξεις, τόνους διαφόρων συχνοτήτων και έντασης.
- **Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά (Somatosensory Evoked Potentials - SEP):** Προκαλούνται όταν ένα μικρής διάρκειας και έντασης ηλεκτρικό ρεύμα ερεθίσει κάποιο συγκεκριμένο νεύρο.

Τα ΠΔ μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν σε σχέση με το χρόνο εμφάνισής τους μετά από το εκλυτικό γεγονός (λανθάνων χρόνος). Στην περίπτωση των ακουστικών προκλητών δυναμικών υπάρχει π.χ. η διάκριση σε **πρώιμα** (early, fast), **μέσα** (middle) και **αργά ή ύστερα** (late) δυναμικά, που αντιστοιχούν περίπου στα χρονικά διαστήματα 2 ως 12 msec, 12 ως 50 msec και 50 ως 800 msec από τη στιγμή που χορηγείται ο εξωτερικός ερεθισμός (σχήμα 5.11). Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι αυξανόμενου του λανθάνοντος χρόνου μειώνεται η συχνότητα των κυματομορφών και αυξάνεται το πλάτος τους. Προσεγγιστικά μπορούμε να πούμε ότι στα πρώιμα δυναμικά έχουμε πλάτη της τάξης του 0,1 ως 0,5μV και συχνότητας 100 ως 1000Hz ενώ στα ύστερα δυναμικά παρατηρούνται συχνότητες 0,1Hz (σχεδόν DC) ως 5Hz και

πλάτη από 1 ως 20  $\mu\text{V}$ . Τα χαρακτηριστικά αυτά οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στον τόπο έκλυσης των αντίστοιχων δυναμικών. Τα πρώιμα σχετίζονται με τη διαβίβαση των νευρωνικών ώσεων κατά μήκος του ακουστικού ή οπτικού νεύρου για ακουστικά ή οπτικά προκλητά δυναμικά και κατά μήκος της σωματοαισθητικής οδού για τα σωματοαισθητικά. Αντίθετα, τα ύστερα δυναμικά αντανακλούν την εγκεφαλική δραστηριότητα περιοχών του φλοιού ως αντίδραση στην άφιξη της εξωτερικής πληροφορίας.

Μια επιπλέον κατηγοριοποίηση των Προκλητών Δυναμικών είναι σε **ενδογενή** και **εξωγενή**. Τα **εξωγενή** σχετίζονται άμεσα με τη φύση του εκλυτικού ερεθίσματος, δηλαδή την ένταση, τη συχνότητά του κ.τ.λ. και την ακεραιότητα των αισθητικών οδών. Τα **ενδογενή** ΠΔ, εξαρτώνται ουσιαστικά από την ψυχολογική κατάσταση του ατόμου και τα ψυχολογικά γνωρίσματα του απλού ή συμπλόκου ερεθίσματος, π.χ. αν το ερέθισμα είναι γνωστό ή άγνωστο, αν προκαλεί δυσφορία ή ευχαρίστηση, αν είναι σημασιολογικά ορθό ή λάθος, ενδιαφέρον ή αδιάφορο κ.ο.κ..

### **3.5.1 Ενδογενή Προκλητά Δυναμικά**

Τα **Ενδογενή** ή “**Γνωσιακά**” ή “συναρτημένα με γεγονός ή βίωμα” προκλητά δυναμικά, χαρακτηρίζονται από τα κατωτέρω στοιχεία:

- α) Έχουν σχετικώς μεγάλο λανθάνοντα χρόνο (από 100 msec μέχρι λίγα sec).
- β) Ο λανθάνων χρόνος και το ύψος τους δεν εξαρτώνται από τις φυσικές ιδιότητες του ερεθίσματος
- γ) Παράγονται όταν ο εξεταζόμενος καλείται να διακρίνει ένα ερέθισμα (στόχος) ανάμεσα από ένα σύνολο άλλων ερεθισμάτων (μη-στόχοι).
- δ) Η έκλυσή τους εξαρτάται από την εκλεκτική προσοχή του εξεταζόμενου προς το ερέθισμα (στόχο).
- ε) Είναι ανεξάρτητα από το είδος του ερεθίσματος και μπορεί να καταγραφούν μετά από ερέθισμα οπτικό, ακουστικό, σωματοαισθητικό ή ακόμη και ως απάντηση σε απουσία ερεθίσματος (όταν η απουσία ερεθίσματος συνιστά πληροφορία).

Τα ενδογενή προκλητά δυναμικά σχετίζονται λοιπόν με διαδικασίες οι οποίες έχουν να κάνουν με την κατανόηση και την επεξεργασία του ερεθίσματος και κατά συνέπεια συναρτώνται στενά προς τις απαιτήσεις του πειραματικού σχεδιασμού.

Δεδομένου ότι σχετίζονται με γνωσιακές διαδικασίες (επεξεργασία πληροφοριακού υλικού), αποτελούν έκφραση ανωτέρων πνευματικών λειτουργιών, γι' αυτό ονομάζονται και **Γνωσιακά** (Cognitive) προκλητά δυναμικά, όρος πιο εύχρηστος.

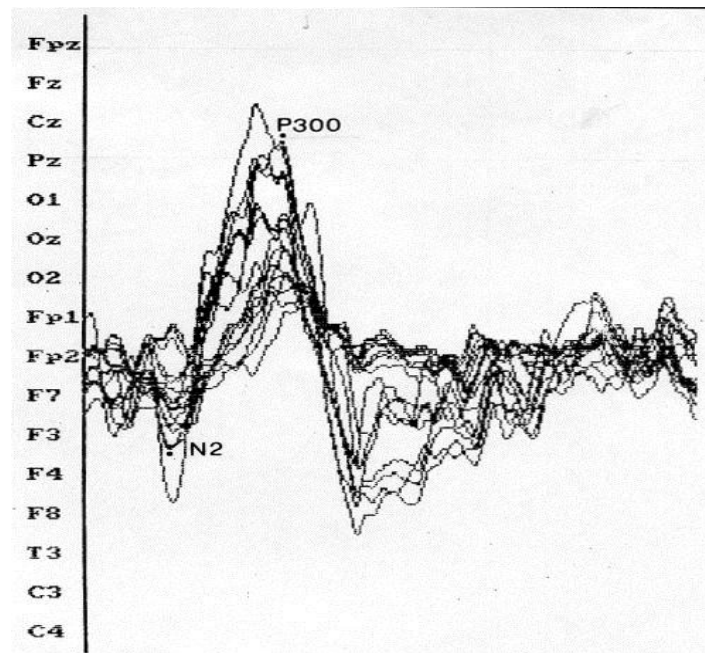
Πιο κάτω παρουσιάζουμε μερικά από τα πιο γνωστά Ενδογενή δυναμικά:

- **P50:** Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο από 20 ως 80 msec μετά το ερέθισμα. Θεωρείται δείκτης πρώιμων πτυχών προσοχής.
- **N100:** Πρόκειται για την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται στο χρονικό παράθυρο 90 ως 150 msec μετά την παρουσίαση του ερεθίσματος. Υποδηλώνει φαινόμενα κινητοποίησης προσοχής. Ο λαθάνων χρόνος (latency) αντικατοπτρίζει την ταχύτητα κινητοποίησης της προσοχής, ενώ το μέγιστο πλάτος (amplitude) αντικατοπτρίζει την ικανότητα ή χωρητικότητα της προσοχής.
- **P200:** Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 140 ως 250 msec μετά το ερέθισμα. Αποτελεί ένα μέτρο για την επικέντρωση της προσοχής του ατόμου.
- **N200 :** Περιγράφει την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 180 ως 300msec μετά το ερέθισμα. Αντικατοπτρίζει τις επιδόσεις των νευρωνικών κυκλωμάτων που υπόκεινται στο φαινόμενο της αντίδρασης του προσανατολισμού σε επίπεδο Κεντρικού Νευρικού Συστήματος.
- **P300:** Περιγράφει τη θετική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού που εντοπίζεται από 220 ως 500 msec μετά το ερέθισμα. Αντικατοπτρίζει τη νευρωνική δραστηριότητα η οποία υπόκειται των διεργασιών που συναρτώνται με τον επιμερισμό προσοχής για την κινητοποίηση των προγραμμάτων δράσης.

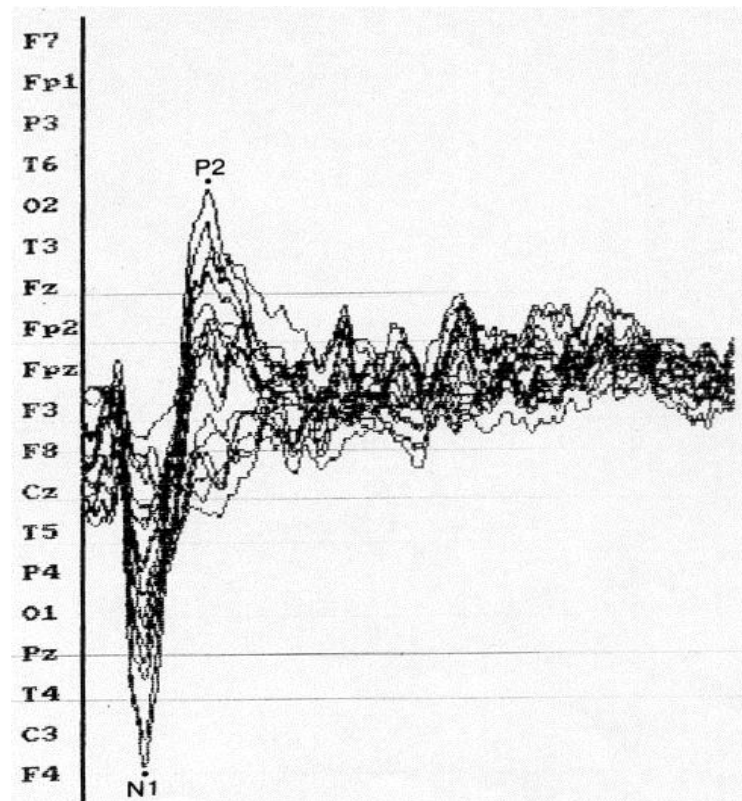
Ο λανθάνων χρόνος εμφάνισής του φαίνεται να αντανακλά το απαραίτητο χρονικό διάστημα για να πάρει ο εξεταζόμενος μια απόφαση για το ερέθισμα .

- **N400:** Πρόκειται για την αρνητική κορύφωση του μετρούμενου δυναμικού η οποία λαμβάνει χώρα από 280 ως 500 msec μετά το ερέθισμα. Αντικατοπτρίζει τη λειτουργία των νευρωνικών κυκλωμάτων που υπηρετούν και εκφράζουν την ‘συντακτική’ διάσταση της εκάστοτε απάντησης του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος. Συμβάλλει στην εξέταση μηχανισμών που σχετίζονται με τη γλώσσα και το εννοιολογικό – συντακτικό της περιεχόμενο.

Στα πιο κάτω σχήματα παρουσιάζουμε τις κυματομορφές μερικών από των πιο πάνω δυναμικών:



Σχήμα 3.8 : N200 και P300



Σχήμα 3.9: N100 και P200

### 3.6. Μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Για τη μετατροπή του αναλογικού δυναμικού του εγκεφάλου σε ψηφιακό με σκοπό τη μελέτη και επεξεργασία του, το πλάτος (amplitude) του συνεχούς, δυναμικού μετρείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως από 1  $\mu$ s μέχρι 1 ms) και κατόπιν οι τιμές μέτρησης μετατρέπονται από έναν κωδικοποιητή ή **αναλογοψηφιακό** μετατροπέα (analog to digital converter, AC/D C) σε ψηφία του δυαδικού συστήματος τα οποία τοποθετούνται σε καθορισμένες διευθύνσεις της μνήμης του ΗΥ. Στην περίπτωση ενίσχυσης ή ανόρθωσης (rectification) του σήματος, μετά το τέλος της επεξεργασίας μπορεί να πάρει κανείς το αντίστοιχο του αναλογικού σήματος αφού προηγηθεί αυτή τη φορά η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή η μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό από ένα αποκωδικοποιητή (D/A C). Η διαδικασία των διαδοχικών μετρήσεων (παρατηρήσεων) ανά τακτά και ίσα μεταξύ τους χρονικά διαστήματα ονομάζεται **δειγματοληψία** (sampling).

Προκειμένου βέβαια το παράγωγο σήμα να παριστά αξιόπιστα το αρχικό αναλογικό σήμα, θα πρέπει πρώτα απ' όλα ο ρυθμός ή συχνότητα δειγματοληψίας (sampling rate) , δηλαδή ο αριθμός των μετρήσεων ανά sec, να ικανοποιεί τον 1ο νόμο του Nyquist , ο οποίος ορίζει ότι « η συχνότητα της δειγματοληψίας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας που περιέχεται στο σήμα » .Η εφαρμογή του νόμου του Nyquist αποτρέπει την εμφάνιση του φαινομένου της φασματικής επικάλυψης (aliasing). Για τα βραδέα κύματα είναι ικανοποιητική ακόμη και μια μικρή συχνότητα δειγματοληψίας, για τις αιχμές όμως και τα αιχμηρά στοιχεία είναι αυτονόητο ότι απαιτείται μεγάλη συχνότητα δειγματοληψίας.

Για τις κλινικές εφαρμογές της χαρτογράφησης του ΗΕΓ (όπου οι συχνότητες που ενδιαφέρουν είναι 1-30 Hz) η ελάχιστη απαιτούμενη συχνότητα δειγματοληψίας είναι 60 Hz, αλλά καλό είναι η συχνότητα της δειγματοληψίας να ορίζεται τριπλάσια από την υψηλότερη συχνότητα που περιέχει το σήμα. Στην πράξη λοιπόν, η ακρίβεια της δειγματοληψίας και η πιστότητα της παράστασης του αναλογικού σήματος, εξαρτάται από την εκλογή της συχνότητας δειγματοληψίας η οποία κατόπιν με τη σειρά εξαρτάται από ορισμένα χαρακτηριστικά του αναλογοψηφιακού μετατροπέα. Η διακριτική ή διαχωριστική ικανότητα (resolution) ενός αναλογοψηφιακού μετατροπέα, εκφράζει την ελάχιστη μεταβολή του δυναμικού που μπορεί να διακρίνει ο μετατροπέας, έχει σχέση με το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δυο διαδοχικές μετρήσεις του δείγματος, είναι αντιστρόφως ανάλογη της μέγιστης συχνότητας δειγματοληψίας και εκφράζεται σε bits ανά «λέξη». Για παράδειγμα, ένας «8μπιτος» (8-bit) αναλογοψηφιακός μετατροπέας μπορεί να πραγματοποιήσει (256) μετρήσεις, ενώ ένας «12μπιτος» (12-bit) 4096.

Στην εγκεφαλογραφία μια διακριτική ικανότητα 8-11 bits, που ισοδυναμεί με +256 μέχρι +1024 (2 έως 0.5%), είναι ικανοποιητική. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του αναλογοψηφιακού μετατροπέα είναι η μέγιστη διακύμανση ή μέγιστο εύρος (full-scale range) δυναμικού, το οποίο καλείται και ευαισθησία, και το οποίο καθορίζει τις ακρότατες (ελάχιστη και μέγιστη) τιμές του δυναμικού εισόδου που μπορεί να χειριστεί ο μετατροπέας χωρίς παραμόρφωση του σήματος.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

---

## **Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα**

## 4.1. Εισαγωγή

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (**Wireless Local Area Network** ή **WLAN**) επιτυγχάνει αμφίδρομη μετάδοση δεδομένων, με φυσικό μέσο μετάδοσης τον αέρα. Η μετάδοση πραγματοποιείται είτε στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων είτε με υπέρυθρη ακτινοβολία. Τα τοπικά ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούνται εκτεταμένα τόσο σε κοινόχρηστους χώρους όσο και σε κατοικίες καθώς εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα στην εγκατάσταση, λειτουργία και χρήση τους.

Η εγκατάσταση ενός ασύρματου τοπικού δικτύου είναι γρήγορη κι εύκολη ενώ το συνολικό κόστος λειτουργίας του μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σχέση με άλλες τεχνολογίες πρόσβασης. Παράλληλα τα ασύρματα τοπικά δίκτυα παρέχουν στους χρήστες τη δυνατότητα πρόσβασης σε ευρυζωνικές υπηρεσίες για το διάστημα που αυτοί παραμένουν σε σημεία περιοχής κάλυψης των εν λόγω δικτύων.

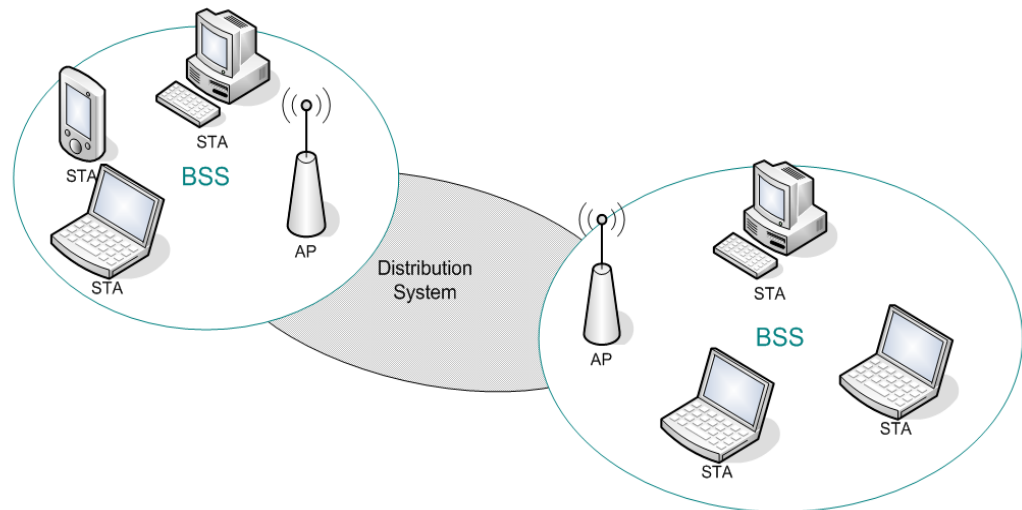
## 4.2. Αρχιτεκτονική ασύρματου δικτύου

Ορολογία που χρησιμοποιείται σε ένα ασύρματο δίκτυο είναι:

- **Basic Service Set** (Βασικές ομάδες υπηρεσίας): Βασική δομική μονάδα των δικτύων που ονομάζεται και διαφορετικά κυψέλη και αναφέρεται σε ένα σύνολο από συσκευές-σταθμούς (Stations) με δυνατότητα πρόσβασης στο ασύρματο μέσο. Τυπικά περιέχει έναν ή περισσότερους ασύρματους σταθμούς κι ένα σημείο πρόσβασης.
- **Extended Service Set** (εκτεταμένες ομάδες υπηρεσίας): Ένα σύνολο από BSSs και ενσύρματα τοπικά δίκτυα πρόσβασης.
- **Access Point-AP** (Σημείο πρόσβασης): Το AP είναι η μονάδα που παίζει το ρόλο γέφυρας μεταξύ του ενσύρματου και του ασύρματου δικτύου. Λειτουργεί σαν σταθμός βάσης κάνοντας συγκέντρωση της κίνησης από τους ασύρματους σταθμούς και κατευθύνοντας την προς το υπόλοιπο δίκτυο και επίσης αναλαμβάνει τη μετάδοση πληροφορίας που προορίζεται από ένα ασύρματο σταθμό σε κάποιον άλλο, στην ίδια κυψέλη, μετατρέποντας κατάλληλα τα πλαίσια που ανταλλάσσονται μεταξύ αυτών.
- **Stations** (σταθμοί): Μπορεί να είναι laptops, PDAs, κάμερες ή οποιαδήποτε συσκευή που μπορεί να συνδεθεί με LAN, υποστηρίζει δηλαδή το αντίστοιχο πρωτόκολλο επικοινωνίας.



- **Distribution System (Σύστημα διανομής):** Το δίκτυο μεταφοράς που διασυνδέει τα σημεία πρόσβασης μεταξύ τους καθώς και με τα υπόλοιπα ενσύρματα τοπικά δίκτυα ονομάζεται σύστημα διανομής. Το πρότυπο δεν ορίζει τη μορφή του κι έτσι μπορεί να είναι είτε ένα ενσύρματο δίκτυο είτε κάποιο ασύρματο.

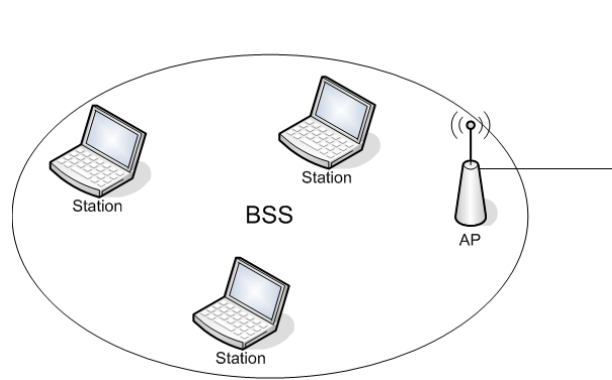


Σχήμα 4.1: Βασική αρχιτεκτονική και δομικές μονάδες ενός ασύρματου τοπικού δικτύου

#### 4.2.1. Δομές ασύρματων δικτύων

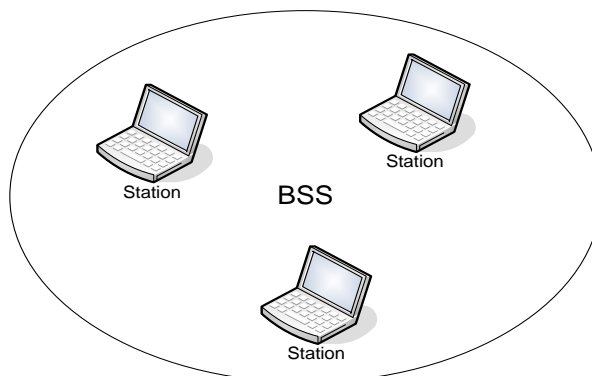
Υπάρχουν δύο δομές ασυρμάτων δικτύων αλλά φυσικά είναι δυνατός σε ένα δίκτυο και ο συνδυασμός αυτών.

- **Δομημένη Τοπολογία (Infrastructure Mode):** Πολλαπλά AP συνδέονται με ενσύρματο δίκτυο, αυξάνοντας την κάλυψη και τη χωρητικότητα του δικτύου πρόσβασης. Σε αυτήν την τοπολογία το ασύρματο δίκτυο έχει κυψελοειδή μορφή, αποτελούμενο από έναν αριθμό από κυψέλες (BSS). Σε κάθε κυψέλη υπάρχει ένα AP και ένας αριθμός από ασύρματους σταθμούς, οι οποίοι εξυπηρετούνται από το AP και γι' αυτό ονομάζονται και πελάτες. Το AP παρέχει τη λειτουργία της μεταγωγής στο BSS. Έτσι όλοι οι σταθμοί επικοινωνούν κατευθείαν μόνο με το AP και αυτό μετράγει τα πακέτα από τον ένα σταθμό στον άλλον.

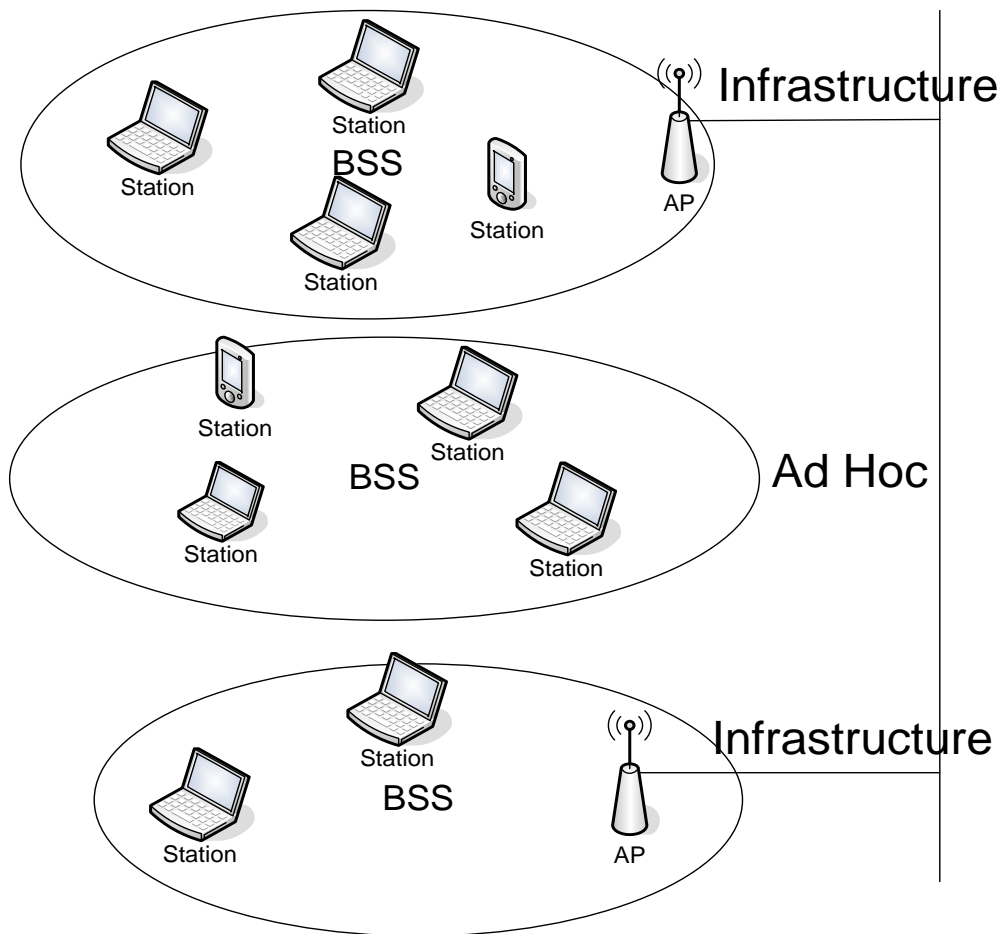


Σχήμα 4.2: Δομημένη τοπολογία τοπικού ασύρματου δικτύου

- Ad hoc δίκτυα:** Με τη χρήση τυχαίας διάταξης στο ασύρματο δίκτυο, οι χρήστες συνδέονται απευθείας μεταξύ τους, χωρίς τη μεσολάβηση APs (σημείων πρόσβασης). Οι σταθμοί έτσι ομαδοποιούνται δημιουργώντας ένα ad hoc δίκτυο – ένα δίκτυο χωρίς κεντρικό έλεγχο και χωρίς συνδέσεις με τον «εξωτερικό κόσμο». Το δίκτυο συνεπώς δημιουργείται «πρόχειρα», απλώς επειδή συμβαίνει να υπάρχουν κινητές συσκευές, που βρίσκονται η μία κοντά στην άλλη και έχουν την ανάγκη να επικοινωνήσουν και οι οποίες δεν βρίσκουν μία προϋπάρχουσα υποδομή δικτύου (για παράδειγμα, ένα προϋπάρχων BSS με ένα AP) σε αυτή την τοποθεσία. Ένα ad hoc δίκτυο (ή αλλιώς IBSS-Independent Basic Service Set) μπορεί να δημιουργηθεί όταν συναντώνται άνθρωποι με φορητούς υπολογιστές (για παράδειγμα, σε μία αίθουσα συσκέψεων, σε ένα τρένο ή σε ένα αυτοκίνητο) και θέλουν να ανταλλάξουν δεδομένα, ενώ δεν υπάρχει ένα κεντρικό AP. Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την ad hoc δικτύωση, καθώς οι φορητές συσκευές με δυνατότητα επικοινωνίας πολλαπλασιάζονται καθημερινά



Σχήμα 4.3: Ad Hoc δίκτυο

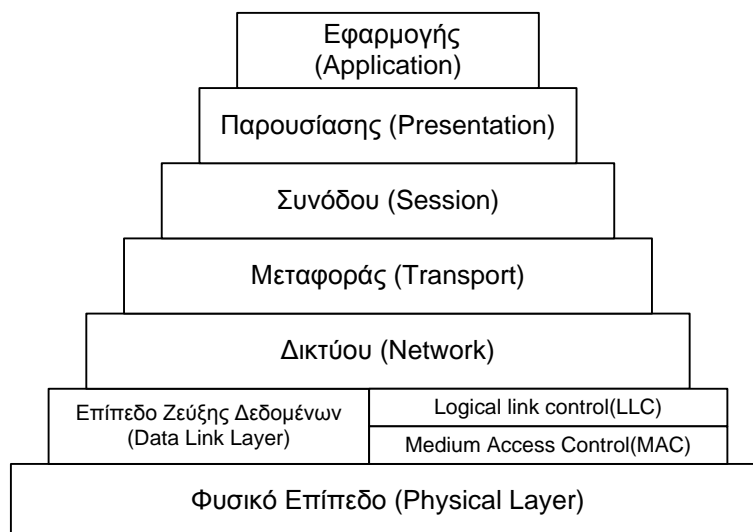


Σχήμα 4.4: Μεικτή αρχιτεκτονική ασύρματων τοπικών δικτύων

### 4.3. Πρότυπα IEEE για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα

Τον Ιούνιο του 1997 η IEEE οριστικοποίησε το πρώτο πρότυπο για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα με την ονομασία 802.11. Σκοπός του προτεινόμενου προτύπου αποτέλεσε η ανάπτυξη μιας προδιαγραφής για την ασύρματη διασύνδεση σταθερών, φορητών και κινητών σταθμών μέσα σε μια τοπική περιοχή. Το τελικό πρότυπο, που δημοσιεύθηκε το Νοέμβριο του 1997, καθορίζει τη λειτουργία των πρωτοκόλλων ικανών να υποστηρίξουν την ασύρματη δικτύωση μιας τοπικής περιοχής. Η κύρια υπηρεσία του 802.11 είναι η μεταφορά των M-SDU (MAC Service Data Unit) μεταξύ ομότιμων στρωμάτων ζεύξης δεδομένων. Παράλληλα περιλαμβάνει βασικές υπηρεσίες όπως διασύνδεση με τα εξωτερικά δίκτυα, συσχέτιση ενός σταθμού με ένα σημείο πρόσβασης, επανασυσχέτιση ενός σταθμού σε περίπτωση μετακίνησης, τερματισμός της συσχέτισης, πιστοποίηση

(authentication), ασφάλεια και διαχείριση ισχύος τερματικού σταθμού. Συνεπώς η IEEE 802.11 είναι μια οικογένεια πρωτοκόλλων που περιγράφουν τη λειτουργία ασύρματων τοπικών δικτύων. Στο πρότυπο 802.11 προδιαγράφονται τα δύο πρώτα επίπεδα του OSI, δηλαδή το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (υποεπίπεδο Medium Access Control), γεγονός το οποίο επιτρέπει σε οποιαδήποτε δικτυακή εφαρμογή να τρέχει σε τοπικά δίκτυα που υποστηρίζουν το IEEE 802.11.



Σχήμα 4.5: Μοντέλο OSI

## 802.11

Το πρωτόκολλο 802.11 υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων της τάξεως των 1Mbps και 2Mbps. Η μετάδοση σήματος γίνεται είτε στην ISM ζώνη συχνοτήτων (2.4GHz-2.4835GHz), είτε με υπέρυθη ακτινοβολία μήκους κύματος 850-950 nm. Για μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον θόρυβο στενής ζώνης το σήμα κωδικοποιείται με μεθόδους απλωμένου φάσματος. Το πρωτόκολλο υποστηρίζει την τεχνική εξάπλωσης φάσματος με εναλλαγή συχνότητας και την τεχνική εξάπλωσης φάσματος ευθείας ακολουθίας. Για τη μετάδοση σήματος στην ISM ζώνη χρησιμοποιείται (στην περίπτωση της εξάπλωσης φάσματος με εναλλαγή συχνότητας) διαμόρφωση με μετατόπιση συχνότητας (FSK) 2 συχνοτήτων για ρυθμούς 1Mbps και 4 συχνοτήτων για ρυθμούς 2Mbps. Αντίστοιχα στην περίπτωση της εξάπλωσης φάσματος ευθείας ακολουθίας χρησιμοποιείται δυαδική διαμόρφωση με μετατόπιση φάσης BPSK για ρυθμούς 1Mbps και τετραφασική PSK για ρυθμούς 2Mbps. Για την επικοινωνία μέσω υπέρυθρων χρησιμοποιείται διαμόρφωση θέσης

παλμών( Pulse Position Modulation). Η μέγιστη εκπεμπόμενη ισχύς καθορίζεται από τους περιορισμούς που υπάρχουν για τη χρήση της ISM ζώνης συχνοτήτων και περιορίζεται στα 20dbm ενώ η ευαισθησία του δέκτη, ορίζεται από το πρωτόκολλο, ότι πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση των -80dbm για ρυθμό λανθασμένων πλαισίων της τάξης του 3%.

Το 802.11 συνέβαλε σημαντικά στην ευρεία εξάπλωση των ασύρματων δικτύων, καθώς η πιστοποίηση κατέστησε δυνατή τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών που το υλοποιούσαν. Ωστόσο οι ταχύτητες των 1Mbps και 2Mbps που υποστήριζε ήταν πολύ μικρές συγκρινόμενες με τα 10 και 100Mbps που δίνει πια το ενσύρματο Ethernet. Πολύ γρήγορα, λοιπόν εμφανίστηκαν παραλλαγές του 802.11 που αύξησαν την ταχύτητα και διόρθωσαν διάφορα εγγενή προβλήματα. Στη συνέχεια παρατίθενται οι σημαντικότερες παραλλαγές. Το λατινικό γράμμα σε κάθε παραλλαγή αναφέρεται στην ομάδα εργασίας που την διαμόρφωσε.

**802.11a:** Το 802.11a αποτελεί ένα πρωτόκολλο για το φυσικό επίπεδο ενός ασύρματου δικτύου το οποίο καθορίζει την λειτουργία αυτού στην ζώνη των 5 GHz. Χρησιμοποιείται διαμόρφωση ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM), με αποτέλεσμα να υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως και 54Mbps. Λόγω της λειτουργίας του στη ζώνη των 5Ghz, όπου υπάρχουν πολύ λιγότερες παρεμβολές από την ζώνη των ISM και των υψηλών ρυθμών μετάδοσης που μπορεί να επιτύχει, προσφέρει πολύ καλύτερες επιδόσεις τόσο από το κλασικό 802.11 όσο και από το 802.11b με τα οποία δεν είναι συμβατό.

**802.11b:** Στόχος του προτύπου αποτέλεσε η επέκταση του τρόπου κωδικοποίησης εξάπλωσης φάσματος ευθείας ακολουθίας του φυσικού επιπέδου του 802.11, ώστε να υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 5.5Mbps και 11Mbps. Για την επίτευξη αυτή τροποποιήθηκε ο τρόπος διαμόρφωσης του σήματος. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε συμπληρωματική διαμόρφωση κώδικα (Complementary Code Keying), ενώ για τους ρυθμούς των 1Mbps και 2Mbps, για να κρατηθεί η συμβατότητα με το πρότυπο 802.11 χρησιμοποιήθηκε διαμόρφωση BPSK και QPSK αντίστοιχα. Επιπλέον για την περαιτέρω βελτίωση της συνολικής απόδοσης στους ρυθμούς 5.5Mbps και 11Mbps χρησιμοποιήθηκε δυαδικός κώδικας συνέλιξης πακέτου( Packet Binary Convolutional Code) με κέρδος κωδικοποίησης 3db. Η μετάδοση του σήματος γίνεται στην ISM ζώνη συχνοτήτων.

**802.11c:** Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη διασφάλιση των σωστών λειτουργιών των γεφυρών(bridges). Οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιούνται κυρίως από τους κατασκευαστές σημείων πρόσβασης με σκοπό την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας τους με αντίστοιχες συσκευές άλλων κατασκευαστών.

**802.11d:** Στόχος του προτύπου αποτέλεσε αποκλειστικά αφενός ο καθορισμός των απαιτήσεων του φυσικού επιπέδου και αφετέρου η καταγραφή του νομικού πλαισίου, που πρέπει να ισχύει για τη χρησιμοποίηση των ραδιοσυχνοτήτων στις διάφορες χώρες, έτσι ώστε τα προϊόντα που κατασκευάζονται να μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από την περιοχή στην οποία ανήκουν.

**802.11e:** Το συγκεκριμένο πρότυπο έχει σκοπό να παρέχει εγγυήσεις για ποιότητα υπηρεσίας(Quality of Service-QoS) τις οποίες δεν παρείχε το αρχικό πρότυπο 802.11. Η βελτίωση επιτεύχθηκε με την τροποποίηση του υποεπιπέδου MAC.

**802.11f:** Η αρχική ομάδα εργασίας του 802.11 δεν προσδιόριζε σκόπιμα την επικοινωνία μεταξύ των σημείων πρόσβασης με σκοπό την άμεση υποστήριξη υπηρεσίας περιαγωγής (roaming) των χρηστών από ένα σημείο πρόσβασης σε ένα άλλο. Το πρόβλημα που ανακύπτει όμως είναι ότι τα σημεία πρόσβασης από διαφορετικούς κατασκευαστές μπορεί να μην λειτουργούν ομαλά μεταξύ τους, όταν υποστηρίζουν λειτουργίες περιαγωγής. Το πρωτόκολλο είχε συνεπώς σκοπό, τη δημιουργία των προδιαγραφών, οι οποίες θα περιγράφουν ρητά όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται από τα σημεία πρόσβασης για την εξασφάλιση επιτυχούς περιαγωγής και ομαλούς διαλειτουργικότητας.

**802.11g:** Η παραλλαγή αυτή του 802.11 έχει ως στόχο να προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 54Mbps, όπως και στο πρωτόκολλο 802.11a, διατηρώντας όμως την συμβατότητα με το ευρέως διαδεδομένο πρωτόκολλο 802.11b. Λειτουργεί στην ISM ζώνη συχνοτήτων όπως το 802.11b, όμως χρησιμοποιεί OFDM διαμόρφωση, όπως το 802.11a, και εμπρόσθια διόρθωση λαθών για να πετύχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Για λόγους συμβατότητας με το 802.11b υποστηρίζει και συμπληρωματική διαμόρφωση κώδικα (CCK). Με τη χρήση δυαδικού κώδικα συνέλιξης πακέτου(PBCC) επιτυγχάνονται ταχύτητες 22Mbps.

**802.11h:** Αν και το πρωτόκολλο IEEE 802.11 είναι αμερικανικής προελεύσεως έχει ευρεία χρήση και στην Ευρώπη. Για τη συμμόρφωση με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς για τη χρήση της ζώνης συχνοτήτων στα 5GHz, δημιουργήθηκε η προδιαγραφή αυτή, η οποία είναι συμπληρωματική για το υποπίεδο MAC. Συγκεκριμένα οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί απαιτούν για τις συσκευές που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz να έχουν δυνατότητες ελέγχου της εκπεμπόμενης ισχύος(Transmission Power Control) και δυναμικής επιλογής συχνότητας (Dynamic Frequency Selection), απαιτήσεις οι οποίες προδιαγράφονται στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο.

**802.11i:** Η προδιαγραφή αυτή έρχεται να καλύψει πολλά από τα κενά σε θέματα ασφαλείας που εντοπίστηκαν στο πρωτόκολλο κρυπτογράφησης WEP(Wired Equivalent Privacy) του 802.11. Ο αλγόριθμος RC4 (Ron's Code 4) που χρησιμοποιείται αποδείχτηκε ανεπαρκής, με αρκετά σφάλματα και παραλήψεις, κάνοντας τα ασύρματα δίκτυα εύκολο στόχο σε διάφορα είδη κακόβουλων επιθέσεων. Με τη νέα προδιαγραφή καθορίζονται πρωτοκολλά για τα κλειδιά κρυπτογράφησης όπως τα TKIP(Temporal Key Integrity Protocol) και AES(Advanced Encryption Standard).

**802.11j:** Η προδιαγραφή αυτή είναι συμπληρωματική για τη χρήση της ζώνης συχνοτήτων 4.9-5GHz αναφορικά με την εφαρμογή του πρωτοκόλλου στην Ιαπωνία.

Συνοψίζοντας στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα βασικότερα πρωτόκολλα και τα βασικά τους χαρακτηριστικά:

<b>Πρωτόκολλα</b>	<b>802.11b</b>	<b>802.11g</b>	<b>802.11a</b>
<b>Συχνότητα Λειτουργίας</b>	2.4Ghz	2.4GHz	5Ghz
<b>Αριθμός καναλιών</b>	3	3	8
<b>Ακτίνα κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους</b>	30m(11Mbps) 90m(1mbps)	30m(54Mbps) 90m(1Mbps)	12m(54Mbps) 90m(6Mbps)
<b>Ακτίνα κάλυψης σε εξωτερικούς χώρους με οπτική επαφή</b>	120m(11Mbps) 460m(1Mbps)	120m(54Mbps) 460m(1Mbps)	30m(54Mbps) 300m(6Mbps)
<b>Ταχύτητα μετάδοσης(Mbps)</b>	1,2,5.5 και 11	6,9,12,18,24,36,48 και 54	6,9,12,18,24,36,48 και 54
<b>Διαμόρφωση</b>	DSSS	OFDM	OFDM

*Πίνακας 4-1: Βασικά Πρωτόκολλα Ασύρματων Δικτύων*



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

---

## Πειραματικές Διατάξεις

## 5.1. Περιγραφή Τεχνικών Χαρακτηριστικών

Τα πειράματα έγιναν εξ' ολοκλήρου στο **Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Ψυχικής Υγιεινής (ΕΠΨΥ)**, όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τη βοήθεια ενός κλωβού Faraday έτσι ώστε να επιτύχουμε την ελαχιστοποίηση οποιασδήποτε ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής που θα μπορούσε να επηρεάσει τις μετρήσεις. Μέσα στο κλωβό τοποθετήσαμε κεραία **Wi-Fi** (wifi router belkin F5D7230-4 802,11g) η οποία βρισκόταν σε απόσταση 1,5 m από τον εξεταζόμενο.

Η συγκεκριμένη κεραία είναι διπολική ομοιοκατευθυντική και εκπέμπει στα 2.4GHz. Χαρακτηριστικό αυτών των κεραιών είναι ότι εκπέμπουν κατά 360° στο οριζόντιο επίπεδο και για αρκετές μοίρες στο κάθετο. Το εύρος δέσμης εκπομπής στο κάθετο επίπεδο καθορίζει και την κατευθυντικότητα της. Το Wi-Fi Access Point υποστηρίζει τα πρωτόκολλα IEEE 802.11b, IEEE 802.11g που έχουμε περιγράψει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ο έλεγχος της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας για σήματα Wi-Fi έχει γίνει και δεν έχουν παρατηρηθεί αξιόλογες μεταβολές [20].

Για την καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος χρησιμοποιήθηκε ειδικός σκούφος με 32 προσαρμοσμένα ηλεκτρόδια, τα οποία απάγουν το ηλεκτρικό σήμα του εγκεφάλου ερχόμενα σε επαφή με το κεφάλι του εξεταζόμενου, ενώ δύο ηλεκτρόδια που έρχονται σε επαφή με τους λοβούς των αυτιών και είναι βραχυκυκλωμένα, αποτελούν την γείωση. Επιπλέον τοποθετήθηκαν δύο ηλεκτρόδια για την κίνηση των ματιών, στην περιοχή γύρω από τα μάτια.

Τα ηλεκτρόδια καταλήγουν στον προενισχυτή, ο οποίος διαθέτει led ενδεικτικά για κάθε ηλεκτρόδιο, ώστε να ελέγχεται αν η αντίσταση μεταξύ του κάθε ηλεκτροδίου και της γείωσης, βρίσκεται κάτω από μία τιμή. Την τιμή αυτή την επιλέγει ο χρήστης από τις έξι διαθέσιμες (1,2,5,10,20 και 50 kΩ). Στην παρούσα διάταξη επιλέχθηκε τη τιμή των 50 kΩ.

Στη συνέχεια και εκτός του κλωβού Faraday, τα 32 σήματα οδηγούνται στο διαφορικό ενισχυτή με κέρδος επιλεγμένο στις 50000, όπου και υποβάλλονται σε ενίσχυση. Μετά την ενίσχυση το σήμα εισέρχεται σε ένα βαθυπερατό (low pass) φίλτρο, το οποίο «κόβει» συχνότητες άνω των 35Hz, ώστε να αποφευχθεί παρεμβολή

από το δίκτυο παροχής ρεύματος που λειτουργεί στα 50 Hz. Η έξοδος του ενισχυτή οδηγεί σε ένα μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (A/D converter) ο οποίος καταλήγει σε ηλεκτρονικό υπολογιστή που είναι εφοδιασμένος με κάρτα ανάκτησης δεδομένων (Data Acquisition (DAQ)). Μέσω της κάρτας λαμβάνονται τα 32 εγκεφαλικά σήματα τα οποία αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή και οι κυματομορφές τους παρουσιάζονται στην οθόνη του. Η συχνότητα δειγματοληψίας έχει τεθεί στο 1kHz.

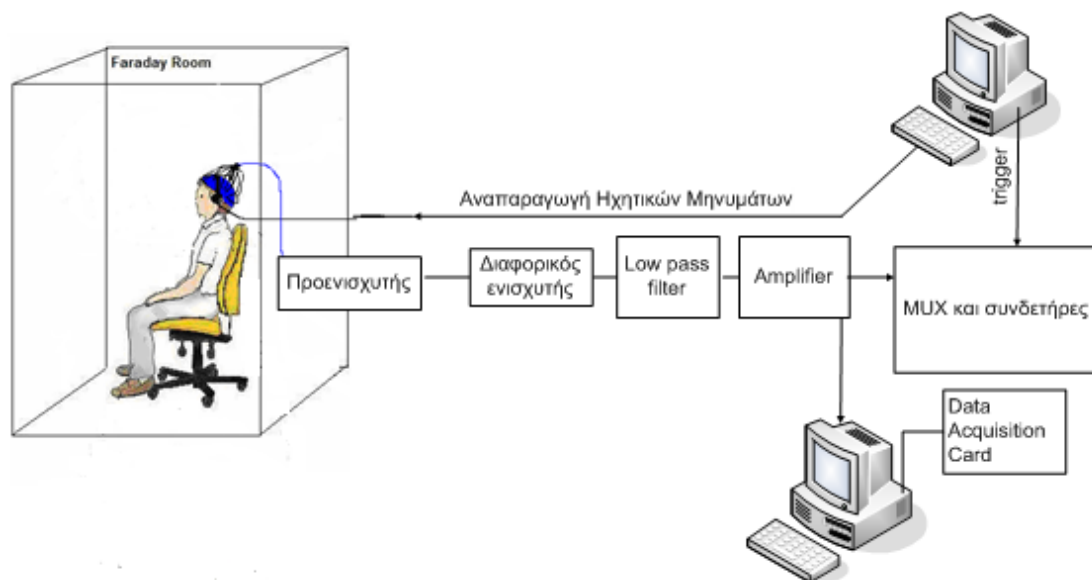
Η αναπαράσταση και η αποθήκευση των σημάτων γίνεται σε περιβάλλον σχεδιασμένο με το λογισμικό **Labview** ( Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench ), έκδοσης 7.1. Το Labview είναι ένα περιβάλλον γραφικού προγραμματισμού που χρησιμοποιείται για λήψη δεδομένων και έλεγχο οργάνων. Ταυτόχρονα υπάρχει ένας δεύτερος υπολογιστής ο οποίος έχει τη δυνατότητα να φιλοξενήσει πολλά ηχητικά ψυχιατρικά τεστ. Ο υπολογιστής αυτός είναι εξοπλισμένος με ειδική κάρτα (PCI 6251) η οποία ελέγχεται μέσω interface προγραμματισμένο σε LabView και όταν τα ηχητικά μηνύματα αναπαράγονται από την κάρτα ήχου στέλνει σήμα «σκανδαλισμού» στον άλλο υπολογιστή να λάβει τα δεδομένα δηλαδή τα 32 σήματα των ηλεκτροδίων τα οποία αποθηκεύονται και αναπαριστώνται στην οθόνη.

Η κάρτα διαβάζει και δίνει ως είσοδο αρχεία ήχου .wav στην κάρτα ήχου, ενώ ταυτόχρονα με την έναρξη αναπαραγωγής τους συγχρονίζει το σκανδαλισμό του άλλου υπολογιστή. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: όταν η κάρτα διαβάσει ένα συγκεκριμένο αρχείο ήχου που περιέχει έναν παλμό πλάτους 5V στέλνει ένα ψηφιακό trigger σε ένα συνδετήρα (CB68LP- πλακέτα για σύνδεση σημάτων με κάρτες DAQ). Το trigger αυτό, μεταφέρεται αναλογικά σε άλλο συνδετήρα απ' όπου το λαμβάνει ο πολυπλέκτης και τελικά η κάρτα λήψης δεδομένων του άλλου υπολογιστή καταγράφει τα δεδομένα. Το σήμα σκανδαλισμού αποτελεί ένας παλμός πλάτους 5V.

Λόγω της φύσης της πειραματικής διαδικασίας ένα κρίσιμο θέμα είναι η ταυτόχρονη έναρξη του ακουστικού ερεθίσματος και της λήψης δεδομένων γιατί μόνο τότε τα σήματα που λαμβάνουμε μπορούν να αποδοθούν πράγματι στο ακουστικό ερέθισμα και να βαθμονομηθούν κατάλληλα. Ο κώδικας που υλοποιήθηκε δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει μέσα από αποθηκευμένα αρχεία ήχου αυτά που επιθυμεί, να σταματήσει και να ξεκινήσει την αναπαραγωγή τους εύκολα με

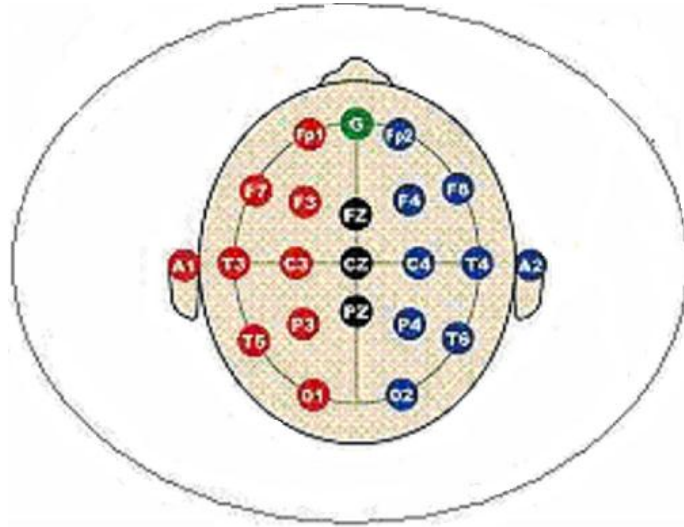
χρήση πλήκτρων STOP και START που έχουν δημιουργηθεί γι' αυτό το σκοπό και επίσης να δει την κυματομορφή του ηχητικού σήματος στην οθόνη. Τα δεδομένα αποθηκεύονται αυτόματα σε txt αρχεία, ενώ κάθε λήψη δεδομένων προσαρτάται (append) στο αρχείο της ώστε στο τέλος του πειράματος κάθε ατόμου ένα αρχείο περιέχει όλες τις μετρήσεις.

Στην πειραματική διάταξη που περιγράφηκε πιο πάνω, τα δεδομένα που αποθηκεύονται είναι εγκεφαλικά σήματα διάρκειας 1.5sec το καθένα και η αποθήκευση γίνεται κάθε φορά που ο χρήστης δίνει εντολή να ακούσει ο εξεταζόμενος ένα ηχητικό μήνυμα. Με βάση τη συχνότητα δειγματοληψίας (1kHz) η κάθε σειρά δεδομένων αποτελείται από 1500 τιμές, εκ των οποίων οι πρώτες 500 (0.5s) είναι εγκεφαλικό σήμα πριν την έναρξη του ηχητικού μηνύματος και οι οποίες βρίσκονται σε buffer πριν την τελική αποθήκευσή τους, ενώ οι επόμενες 1000 καταγράφονται μετά την έναρξη του ηχητικού μηνύματος. Άρα το σήμα που αποθηκεύεται είναι αρχικά EEG (500 τιμές) και έπειτα (1000 τιμές) ακολουθούν απρόκλητα δυναμικά (ERPs).



Σχήμα 5.1: Πειραματική Διάταξη

Οι ειδικοί «σκούφοι» με τα ενσωματωμένα ηλεκτρόδια έχουν κατασκευαστεί με βάση το σύστημα 10-20 το οποίο φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα:



Σχήμα 5.2: Τοποθέτηση των 32 ηλεκτροδίων με βάση το σύστημα 10-20

## 5.2. Γνωριμία με το χώρο και τις συσκευές του πειράματος

Τελειώνοντας την περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας παραθέτουμε μερικές φωτογραφίες από το χώρο διεξαγωγής του πειράματος, καθώς και των συσκευών που χρησιμοποιήσαμε :



Σχήμα 5.3 : Ο δεύτερος υπολογιστής που καταγράφει τα σήματα



*Σχήμα 5.4 : Ο πρώτος υπολογιστής που στέλλει το  
σήμα σκανδαλισμού*



*Σχήμα 5.5: Ο προενισχυτής*



*Σχήμα 5.6: Ο κλωβός Faraday*

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

---

## Πειραματική Διαδικασία- Διεξαγωγή Πειράματος



## 6.1. Εισαγωγή

Η διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις :

- Αρχικά πήραμε μέτρηση της ισχύς και του πεδίου του ακτινοβολητή σε ανηχοϊκό θάλαμο και σε πραγματικές συνθήκες.
- Ενώ στο δεύτερο και κύριο μέρος πραγματοποιήσαμε καταγραφή σημάτων EEG, παρουσία και μη, ακτινοβολίας.

## 6.2. Μέτρηση ισχύος ακτινοβολητή

Αρχικά χρησιμοποιώντας αναλυτή φάσματος και πεδιόμετρο (Spectrum Analyzer) μετρήθηκε την ένταση του πεδίου και την ισχύ του wi-fi router στον ανηχοϊκό θάλαμο, ο οποίος αποτελείται από κώνους φερρίτη, που απορροφούν ανακλάσεις και διαθλάσεις και απομονώνουν οποιαδήποτε εξωτερική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι μετρήσεις που μας ενδιαφέρουν φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα, δεδομένου ότι η απόσταση εξεταζόμενου ατόμου και ακτινοβολητή ήταν 1.5 μέτρα:

Απόσταση (cm)	Ένταση Πεδίου (dB $\mu$ V/m)	Ισχύς (dBm)
101	21	-89
200	20	-89

*Πίνακας 6.1 :Ισχύς και ένταση πεδίου στον ανηχοϊκό θάλαμο*

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε μέτρηση της πυκνότητα ισχύος, της έντασης του πεδίου και την ισχύς στο εργαστήριο **Ασυρμάτου και Επικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων** του **Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου** κι ενώ το Access Point βρισκόταν σε Link με φορητό υπολογιστή.

Σημειώνουμε το γεγονός ότι οι μετρήσεις γίνονται στο περιβάλλον του εργαστηρίου, στο οποίο δεν επικρατούν ιδανικές συνθήκες, λόγω του ότι υπάρχει επίδραση από τις μετακινήσεις μας μέσα στο χώρο, άλλες πειραματικές διατάξεις που

υπάρχουν στον ίδιο χώρο που περιλαμβάνουν άλλες κεραίες, καθώς και συσκευές που προκαλούν παρεμβολές όπως κινητά τηλέφωνα, Laptops κτλ.. Η ύπαρξη όλων αυτών κάνει το εργαστήριο ένα περιβάλλον πολλαπλών ανακλάσεων όπου παρατηρούνται φαινόμενα ανάκλασης, διάθλασης, συμβολής και σκέδασης.

### **6.3. Καταγραφή EEG παρουσία και μη ακτινοβολίας Wi-Fi**

Σκοπός της πειραματικής αυτής έρευνας ήταν η μελέτη της επίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Wi-Fi στα 2.4GHz. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε συνολικά 30 άτομα, 15 άντρες και 15 γυναίκες, υπό την επίδραση ακτινοβολίας και χωρίς αυτήν.

Κάθε εξεταζόμενος προσήλθε 2 φορές στο ΕΠΨΥ και υποβλήθηκε στα ακουστικά test Weschler και Hayling A,B,C, ενώ μεταξύ των δύο επισκέψεων μεσολάβησε χρόνος δύο εβδομάδων. Η σειρά με την οποία εκτίθετο ο εξεταζόμενος στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (στην πρώτη επίσκεψη ή στη δεύτερη) ήταν τυχαία, ενώ ακόμα ο εξεταζόμενος δεν είχε γνώση της ύπαρξης ή μη της ακτινοβολίας για την αποφυγή φαινομένων **αυθυποβολής** (single blind experiment). Η διαδικασία συνολικά διαρκούσε περίπου 50 λεπτά.

Ο εξεταζόμενος στην πρώτη επίσκεψη έδινε τα στοιχεία του τα οποία συμπληρώνονταν σε ένα Excel αρχείο. Τα στοιχεία είναι τα εξής:

- Ονοματεπώνυμο
- Ημερομηνία γέννησης
- Μορφωτικό επίπεδο
- Χρόνο έκθεσης ακτινοβολίας στο wi-fi καθημερινά
- Χρόνο ομιλίας σε κινητό τηλέφωνο καθημερινά
- Χρήση hands-free
- Αριστερόχειρας ή δεξιόχειρας
- Περίμετρος κρανίου

Από τα αρχεία αυτά προέκυψαν τα εξής :

Οι εξεταζόμενοι είχαν ηλικία κατά μέσο όρο 24 έτη και έτη μορφώσεως 17,1 κατά μέσο όρο. Μόνο δύο άτομα ήταν αριστερόχειρες ενώ οι υπόλοιποι ήταν δεξιόχειρες. Η ημερήσια χρήση κινητού των εξεταζόμενων κυμαινόταν από 15 λεπτά έως 120 λεπτά ενώ μόνο τρεις από τους εξεταζόμενους χρησιμοποιούσαν hands-free. Τέλος 20 από τους εξεταζόμενους εκτίθεντο καθημερινά και σε όλη τη διάρκεια της ημέρας σε ακτινοβολία Wi-Fi.

Στη συνέχεια εισερχόταν στον κλωβό και αφού καθόταν στο ειδικό κάθισμα, ο υπεύθυνος γιατρός του εργαστηρίου τοποθετούσε τον ειδικό σκούφο με τα ηλεκτρόδια και το ειδικό gel, το οποίο αποτελείται από διηλεκτρικό υλικό για να γίνεται καλύτερη επαφή των ηλεκτροδίων με το κεφάλι του εξεταζόμενου. Έτσι αφού ο εξεταζόμενος ήταν πλήρως έτοιμος, φορούσε τα ακουστικά που συνδέονταν με τον υπολογιστή που παρήγαγε τα ακουστικά ερεθίσματα. Οι οδηγίες που δίνονταν στον κάθε εξεταζόμενο πριν ξεκινήσει η διαδικασία, είναι να έχει συνεχώς κλειστά τα μάτια και να είναι όσο το δυνατόν ακίνητος και χαλαρός.

Αρχικά ο εξεταζόμενος υποβαλλόταν στο test **Weschler** το οποίο αφορά στο «διάστημα» μνήμης (digital span) δηλαδή στο πόσα νούμερα μπορεί να συγκρατήσει ένας άνθρωπος και να τα επαναλάβει. Μπορεί να θεωρηθεί ότι αξιολογεί την λειτουργική μνήμη (working memory) παρότι η προσοχή και η κατανόηση είναι σημαντικοί παράγοντες για τη διεξαγωγή του test. Πριν ξεκινήσει το test έγινε δοκιμαστική μετάδοση δύο ηχητικών μηνυμάτων ώστε ο εξεταζόμενος να ρυθμίσει την ένταση των ακουστικών και να καταλάβει τη διαδικασία.

Πιο κάτω παραθέτουμε φωτογραφία από το εσωτερικό του κλωβού Faraday κατά τη διαδικασία προετοιμασίας ενός εξεταζόμενου, όπου φαίνεται χαρακτηριστικά η στάση στην οποία παρακινήθηκαν οι εξεταζόμενοι να βρίσκονται, με σκοπό την όσο το δυνατό μεγαλύτερη επιτυχία στις μετρήσεις που θα λαμβάνονταν:



*Σχήμα 6.1: Εξεταζόμενος κατά τη διάρκεια του πειράματος*

Το test αποτελείται από 26 σειρές αριθμών (ερωτήσεις), κάθε μία εκ των οποίων περιλαμβάνει τη μετάδοση ενός ακουστικού τόνου αρχικά, στη συνέχεια μίας σειράς ψηφίων (από 1 έως 9), και τελειώνει με την επανάληψη του αρχικού τόνου. Σε κάθε ένα από αυτά τα ηχογραφημένα μηνύματα, μεταξύ της μετάδοσης του αρχικού τόνου και του πρώτου ψηφίου καθώς και του τελευταίου αριθμού και του τελικού τόνου, μεσολαβούσαν παύσεις ορισμένων δευτερολέπτων για τη διευκόλυνση του εξεταζόμενου, ο οποίος έπρεπε αμέσως μετά να εκφωνήσει δυνατά τους αριθμούς που άκουσε.

Όσον αφορά τους τόνους υπήρχαν διαθέσιμοι σε δύο διαφορετικές συχνότητες: ο πρώτος εκ των δύο ήταν βραχύς, συχνότητας 500 Hz, ενώ ο δεύτερος ήταν οξύτερος, συχνότητας 3 KHz. Τυχόν μετάδοση του υψίσυχνου τόνου σήμαινε ότι το εξεταζόμενο άτομο καλείται, μετά το τέλος της ερώτησης, να επαναλάβει τα ψηφία που ακολουθούν, με την αντίστροφη σειρά από αυτή που τα άκουσε. Αντίθετα, ο βραχύς τόνος σηματοδοτούσε την απαίτηση για ευθεία απαγγελία των μεταδιδόμενων

ψηφίων. Κάθε μία από τις 26 σειρές ήταν διαφορετική από την άλλη, με σταδιακή αύξηση μάλιστα των μεταδιδόμενων ψηφίων από δύο σε εννέα.

Παρακάτω παρατίθενται δύο ηχητικά μηνύματα όπως ακούστηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος.

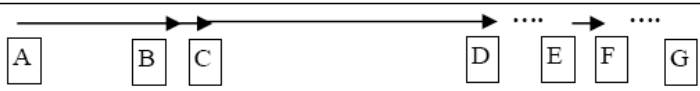
Τόνος	Ψηφία	Τόνος
Οξύς	8-1-4-9-3-5	Οξύς
Βραχύς	5-8-1-9-2-6-4-7	Βραχύς

*Πίνακας 6-1: Παραδείγματα test Weschler*

Ο εξεταζόμενος άκουγε το test συνολικά δύο φορές για να είναι πιο αξιόπιστες οι μετρήσεις, συνεπώς το σύνολο των ερωτήσεων που κλήθηκε να απαντήσει είναι 52 (2 σετ των 26) και η διαδικασία κρατούσε περίπου 30 λεπτά, κατά τα οποία γίνονταν και κάποια διαλείμματα για να δίνεται η δυνατότητα στον εξεταζόμενο να ξεκουραστεί.

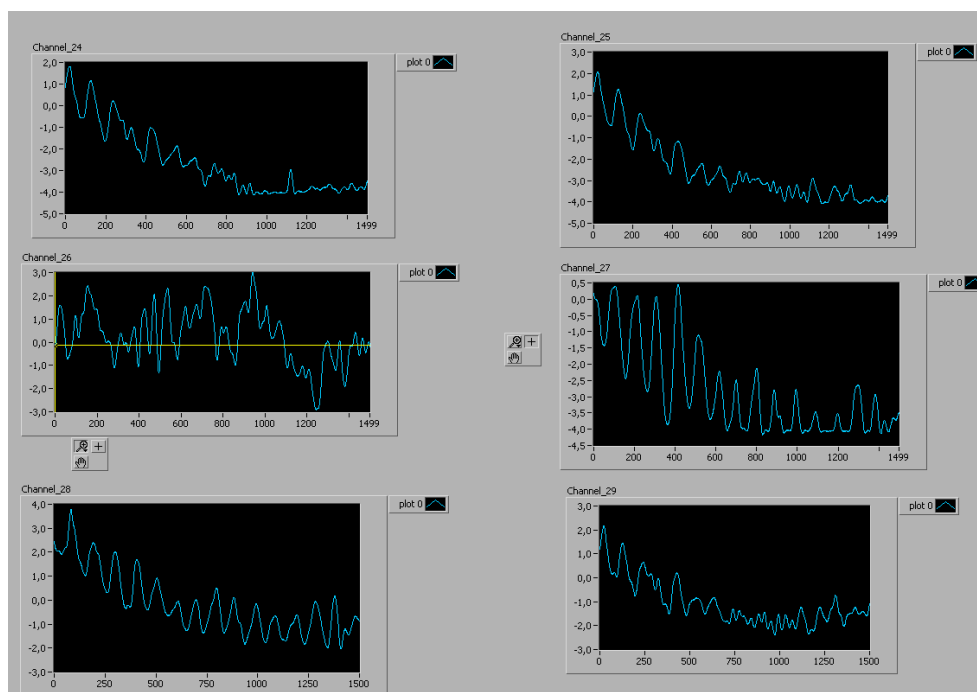
Κατά τη διάρκεια του test ο υπεύθυνος χειριστής του προγράμματος πατώντας τα κατάλληλα πλήκτρα αναπαρήγαγε τα ηχητικά μηνύματα στα ακουστικά του εξεταζόμενου και κάθε φορά δινόταν μια σειρά αριθμών από τις παραπάνω 52. Με τη μετάδοση κάθε αρχικού τόνου από κάθε σειρά ψηφίων, δινόταν κι ένας παλμός trigger που σηματοδοτούσε το ξεκίνημα της μέτρησης του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος, η οποία γινόταν κατά το διάστημα που μεσολαβούσε μέχρι τη μετάδοση του πρώτου ψηφίου της εκάστοτε σειράς.

Για κάθε ερώτηση, λήφθηκαν μέσω του *LABVIEW 32* διαφορετικές γραφικές παραστάσεις που προφανώς κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί στο σήμα που διέρχεται μέσα από ένα ηλεκτρόδιο. Οι κυματομορφές αυτές είχαν διάρκεια 1500 msec, από τα οποία όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα πρώτα 500ms αποτελούν το EEG και τα υπόλοιπα τα ERPs. Ταυτόχρονα κάθε φορά που κάποια ερώτηση τελείωνε, σημειώνονταν οι απαντήσεις του εξεταζόμενου σε κάθε ερώτηση. Στον πιο κάτω πίνακα φαίνεται η διαδικασία καταγραφής σημάτων:

Χρόνος	
AB (500ms)	Εγγραφή σήματος EEG
BC (100ms)	Ηχητικός Τόνος (500 or 3000Hz , 65 dB)
CD (900ms)	Καταγραφή των ERPs
DE (ποικίλει)	Υπαγόρευση των σετ αριθμών του test Wechsler Η διάρκεια ποικίλει ανάλογα με το πλήθος των ψηφίων κάθε ερώτησης(από δύο ως εννιά).Η χρονική διάρκεια μεταξύ των ψηφίων είναι 1 sec.
EF (100ms)	Επανάληψη του τόνου (500 or 3000Hz , 65 dB)
FG (ποικίλει)	Καταγραφή των απαντήσεων του εξεταζόμενου.

Πίνακας 6-2: Διαδικασία καταγραφής σχημάτων

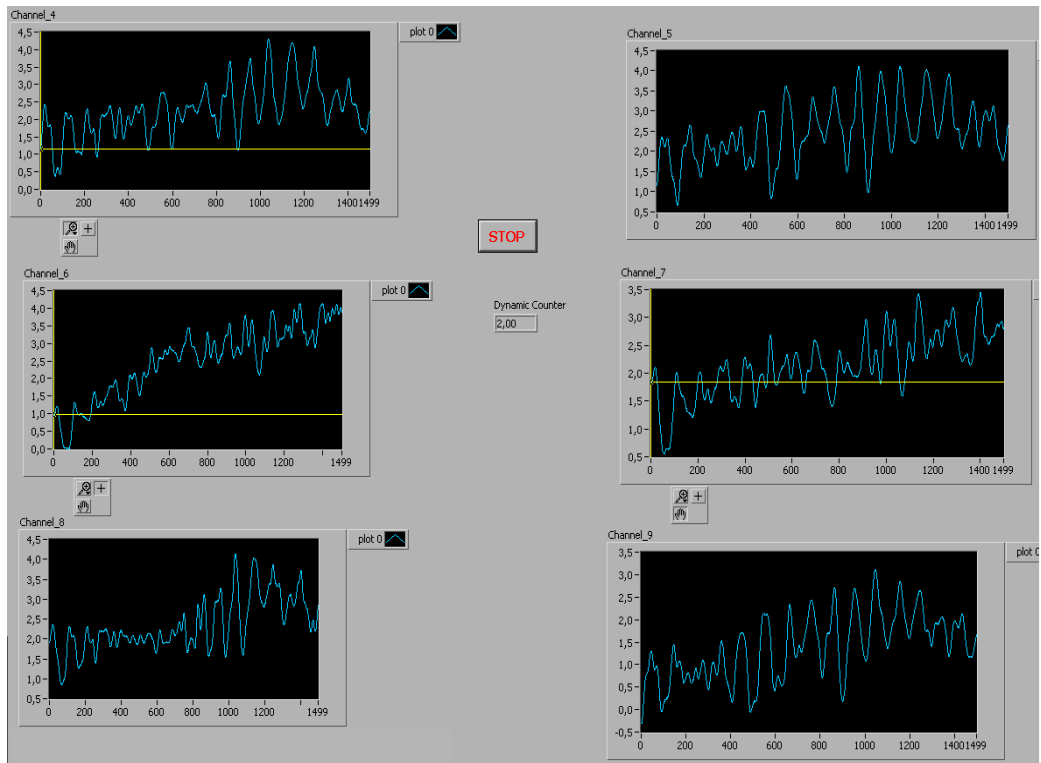
Στο σχήμα 6.2 παρατίθενται σήματα ηλεκτροδίων όπως απεικονίζονται στο LABVIEW κατά τη διάρκεια μιας ερώτησης ενός ατόμου:



Σχήμα 6.2: Σήματα ηλεκτροδίων στο Labview

Στη συνέχεια οι εξεταζόμενοι υποβλήθηκαν στα test Hayling A, B και C. Το test Hayling A αποτελείται από μια σειρά προτάσεων στις οποίες λείπει η τελευταία λέξη η οποία ζητείτο να συμπληρωθεί ούτως ώστε να προκύπτει ένα λογικό νόημα. Για παράδειγμα στην πρόταση «Οι περισσότεροι σπουδαστές προτιμούν να δουλεύουν κατά τη διάρκεια της ...», μερικές πιθανές απαντήσεις είναι «ημέρας» ή «νύχτας». Στο Hayling B ο εξεταζόμενος καλείτο πάλι να συμπληρώσει μια σειρά προτάσεων στις οποίες λείπει η τελευταία λέξη αλλά αυτή τη φορά χωρίς να προκύπτει κανένα λογικό νόημα. Για παράδειγμα « Ο Μιχάλης έκανε πρόταση γάμου, αλλά εκείνη... », όπου ο εξεταζόμενος θα μπορούσε να απαντήσει π.χ « ψήλωσε » ή «βαρέθηκε » ! Το Hayling C αποτελείται από μια σειρά ολοκληρωμένων προτάσεων στο οποίο ο εξεταζόμενος καλείτο να επαναλάβει την τελευταία λέξη. Για παράδειγμα « Ο άνθρωπος που έπιασε τον κλέφτη είναι άξιος συγχαρητηρίων », όπου ο εξεταζόμενος έπρεπε να απαντήσει : « συγχαρητηρίων »

Όπως και προηγουμένως πριν από κάθε test γίνεται μία δοκιμαστική μετάδοση έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η διαδικασία. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα tests διεξάγονταν κάθε φορά με διαφορετική σειρά για κάθε μέτρηση. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε κυκλική εναλλαγή των Hayling A, B και C σε κάθε επίσκεψη έτσι ώστε οι μετρήσεις να μην επηρεάζονται από την σειρά των tests. Παρακάτω παρατίθενται σήματα ηλεκτροδίων που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια των tests Hayling.



Σχήμα 6.3: Σήματα των ηλεκτροδίων 4-9 στο Labview

Τέλος τονίζεται ότι σκοπός δεν είναι η αξιολόγηση της μνήμης κάθε ατόμου και ο έλεγχος των ορθών απαντήσεων, οπότε και δεν λήφθηκαν υπ' όψιν στην επεξεργασία των μετρήσεων τις απαντήσεις των εξεταζόμενων. Άλλωστε, οι κυματομορφές που λήφθηκαν δεν αναφέρονταν στη στιγμή της απάντησης, αλλά πριν το άτομο δεχθεί το ερέθισμα και πιο συγκεκριμένα καταγραφόταν το διάστημα AB, το οποίο αναφέρεται στο χρονικό διάστημα πριν από τον πρώτο τόνο (EEG σήμα).



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

---

**Επεξεργασία μετρήσεων, Αποτελέσματα και  
Συμπεράσματα**

## 7.1. Επεξεργασία μετρήσεων

Αφού λήφθηκαν οι μετρήσεις, έγινε περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος, έτσι ώστε να γίνει εφικτή η παράσταση σε συγκριτικά διαγράμματα και η εξαγωγή συμπερασμάτων.

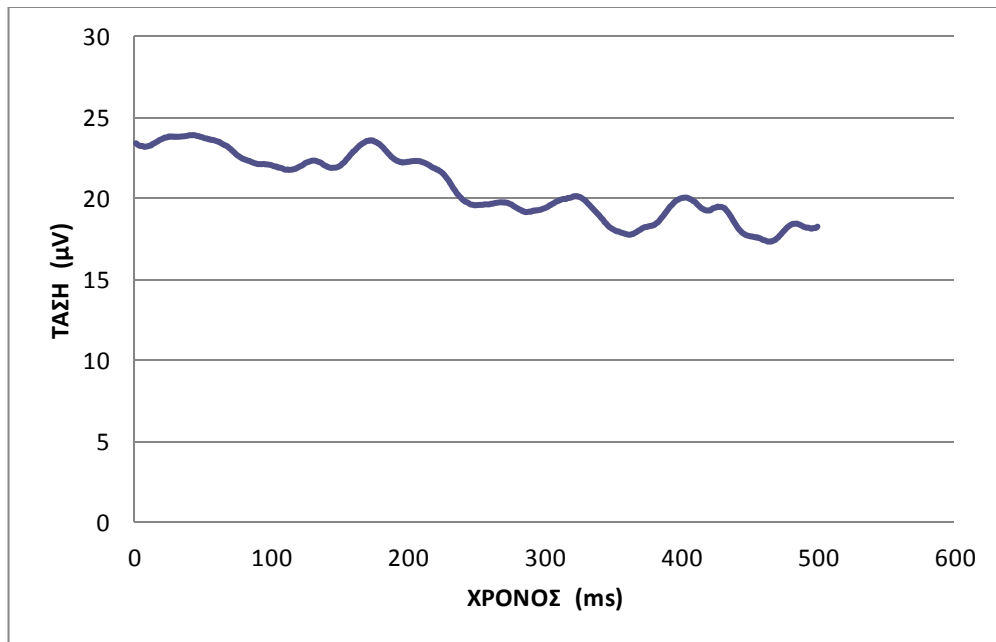
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα αρχικά δεδομένα που καταγράφονται αποθηκεύονται σε αρχεία txt. Το κάθε αρχείο από αυτά έχει τη μορφή πίνακα με 32 στήλες, μία για κάθε ηλεκτρόδιο, και 52X1500 γραμμές, μία για κάθε ms κάθε ερώτησης (έχουμε 52 ερωτήσεις των 1500ms).

Για να γίνει επεξεργασία των δεδομένων είναι απαραίτητος ο μετασχηματισμός τους. Αρχικά για να έρθει το σήμα σε πραγματική κλίμακα αφαιρείται η ενίσχυση με τη διαίρεση του σήματος με 50000. Κατόπιν πολλαπλασιάζονται οι τιμές με 1000000 ώστε να εμφανίζονται με μονάδα το  $\mu V$  και με -1 ώστε να εμφανίζονται σε μορφή με την οποία συνηθίζουν να εργάζονται οι ψυχίατροι.

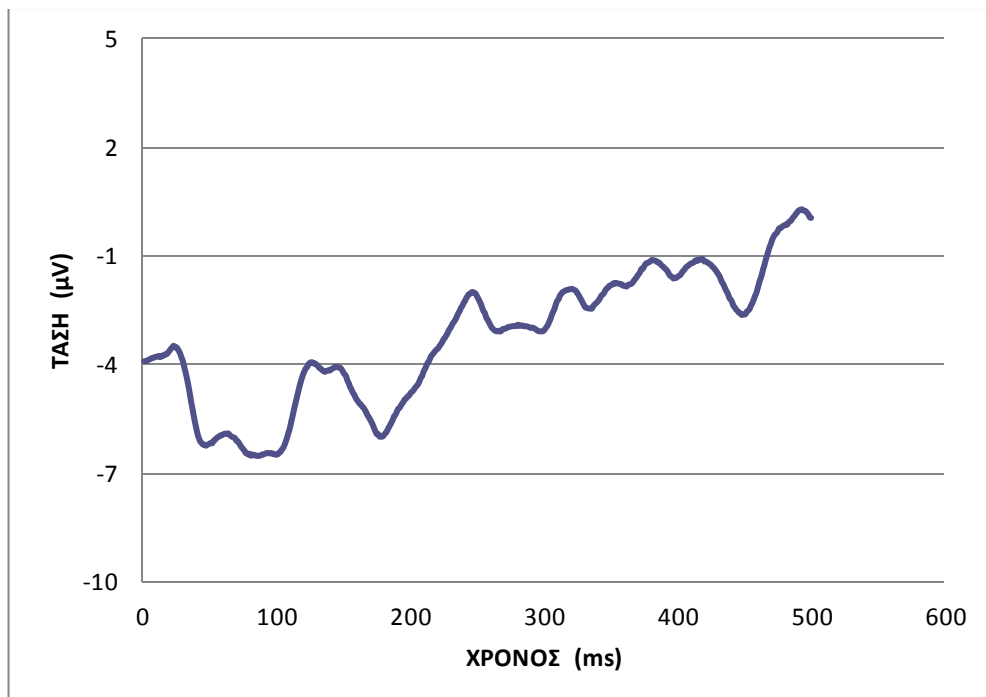
Στη συνέχεια γίνεται η αποθορυβοποίηση του EEG σήματος των 500 πρώτων ms (όπως έχουμε πει θα επεξεργαστούμε μόνο τα EEG σήματα). Για να αφαιρεθεί ο λευκός θόρυβος (μηδενικής μέσης τιμής), γίνεται υπολογισμός των μέσω όρων κάθε ms όλων των ερωτήσεων για κάθε κανάλι. Έτσι προκύπτει για κάθε κανάλι και για κάθε ms ένας μέσος όρος από όλες τις ερωτήσεις. Για να γίνει πιο κατανοητό έστω  $q_{ij}$  το σήμα που αντιστοιχεί στην  $i$  ερώτηση και στο  $j$  ms ενός καναλιού. Για κάθε  $j$  ms

υπολογίζεται το  $\frac{\sum_{i=1}^{52} q_{ij}}{52}$  και προκύπτει ένας καινούργιος πίνακας ο οποίος έχει 32 στήλες, μία για κάθε ηλεκτρόδιο, και 500 γραμμές μία για κάθε ms. Για κάθε test ενός ατόμου δημιουργείται ένας τέτοιος πίνακας.

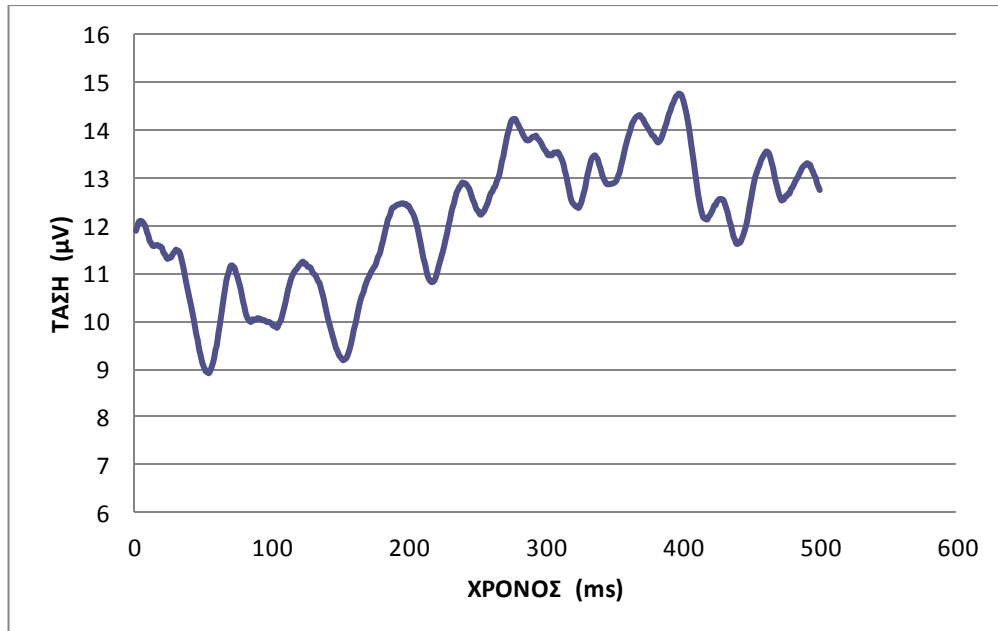
Στα πιο κάτω διαγράμματα φαίνονται μερικές από τις κυματομορφές που καταγράφηκαν από ένα **κανάλι καταγραφής** (Frpz). Με **off** συμβολίζεται η απουσία wi-fi και με **on** η παρουσία :



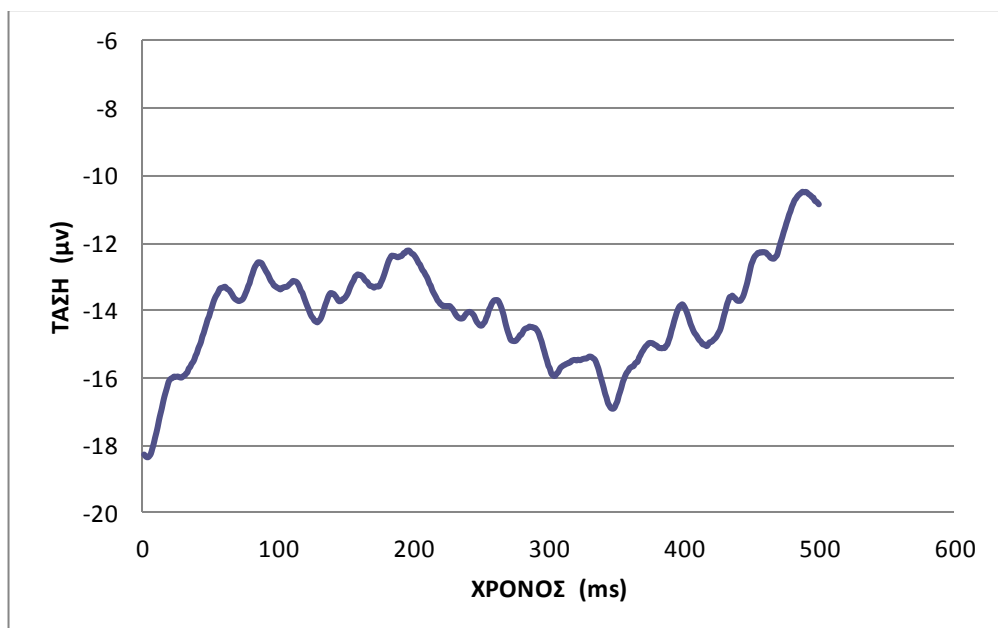
Σχήμα 7.1 : Ανδρας 1 off (χωρίς τη παρουσία wi-fi)



Σχήμα 7.2 : Ανδρας 1 on



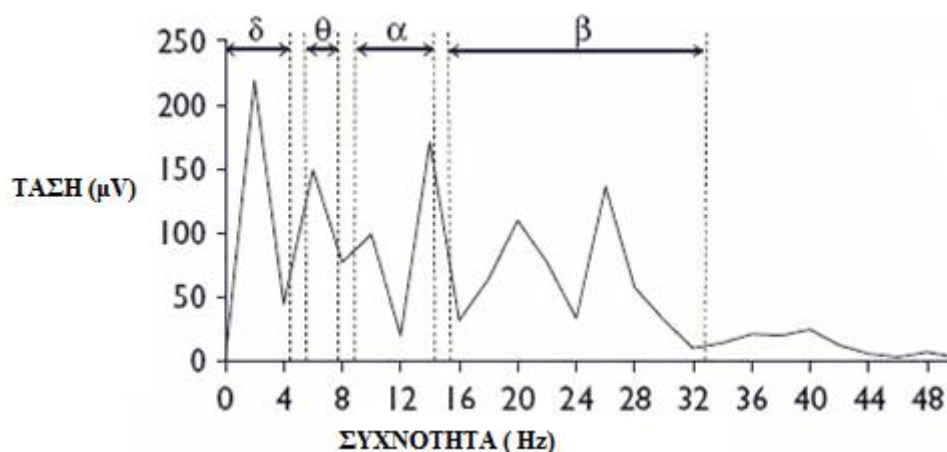
Σχήμα 7.7 : Γυναίκα 1 off



Σχήμα 7.8 : Γυναίκα 1 on

### 7.1.1 Μετασχηματισμός Fourier του EEG

Ακολούθως στο επόμενο στάδιο έγινε επεξεργασία των δεδομένων, με μετασχηματισμό Fourier του EEG σήματος για κάθε ηλεκτρόδιο και κάθε εξεταζόμενο. Συγκεκριμένα εφαρμόστηκε αλγόριθμος FFT μέσα από κώδικα γραμμένο σε MatLab και έτσι εμφανίζονται οι ρυθμοί  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  που χαρακτηρίζουν το EEG σήμα. Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται μία πιθανή μορφή ενός διαγράμματος των μετασχηματισμένων κατά Fourier EEG τιμών ενός ηλεκτροδίου για έναν εξεταζόμενο. Στη συνέχεια για κάθε άτομο και πειραματική συνθήκη έγινε ο υπολογισμός της συνολικής ενέργειας του EEG σήματος και των ενεργειών των τεσσάρων ρυθμών.



*Σχήμα 7.13: Διάγραμμα μετασχηματισμένου κατά Fourier EEG σήματος με εμφανείς τις κορυφώσεις στις χαρακτηριστικές για τέτοιο σήμα συχνότητες*

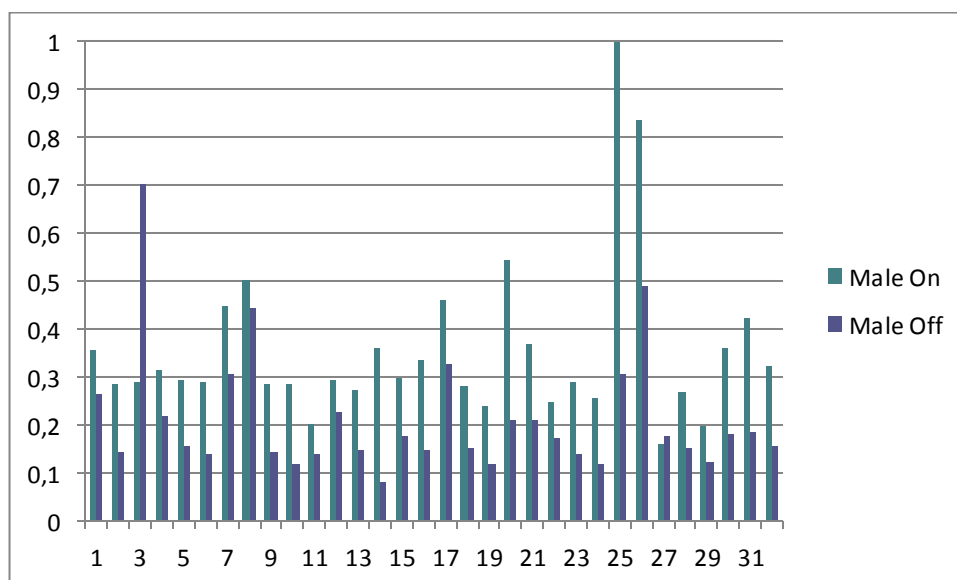
Σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες [12] που πραγματοποιήθηκαν υπάρχει σημαντική εξάρτηση μεταξύ πειραματικής συνθήκης και φύλου. Ο παράγοντας φύλο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο και γι' αυτό η επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται με βάση αυτόν. Σύμφωνα με αυτά που είναι γνωστά από την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η επεξεργασία της πληροφορίας φαίνεται να γίνεται διαφορετικά στα δύο φύλα: οι γυναίκες υπερτερούν των ανδρών στην ταχύτητα αντίληψης, την λεκτική ευχέρεια και τον κινητήριο συγχρονισμό ενώ οι άνδρες υπερεισχύουν των γυναικών σε χωρικά

θέματα (διανοητική εναλλαγή, χωρικός προσανατολισμός) και στη μαθηματική λογική.

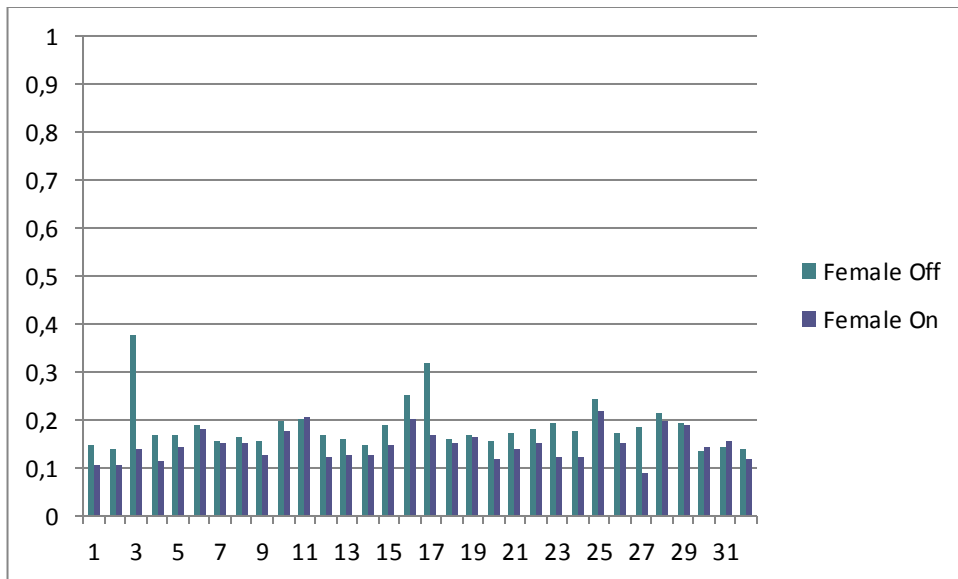
Αυτές οι διαφορές είναι πιθανό να προκαλούνται όχι μόνο από τη διαφορετική εκπαίδευση των φύλων αλλά και από γενετικές διαφοροποιήσεις της οργάνωσης του εγκεφάλου που συνδέονται με ορμονικές διαφορές. Οι λειτουργικές διαφορές εκτείνονται σε παραμέτρους τόσο συμβατικού (μη προκλητού) EEG όσο και του προκλητού EEG.

Στα πιο κάτω σχήματα παρατίθενται τα κανονικοποιημένα ραβδογράμματα της συνολικής ενέργειας καθώς και των διαφόρων ρυθμών για κάθε ηλεκτροδίο:

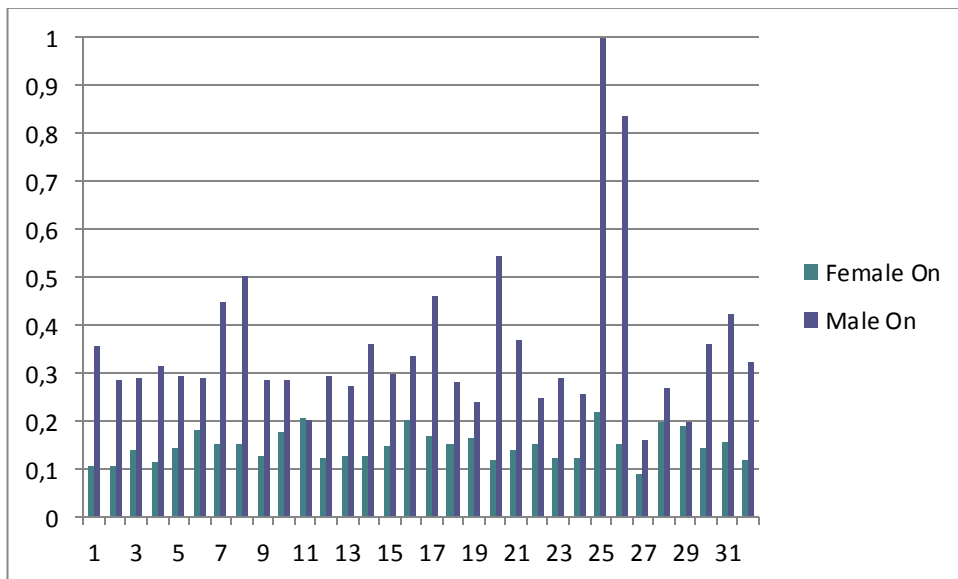
### •Συνολική ενέργεια



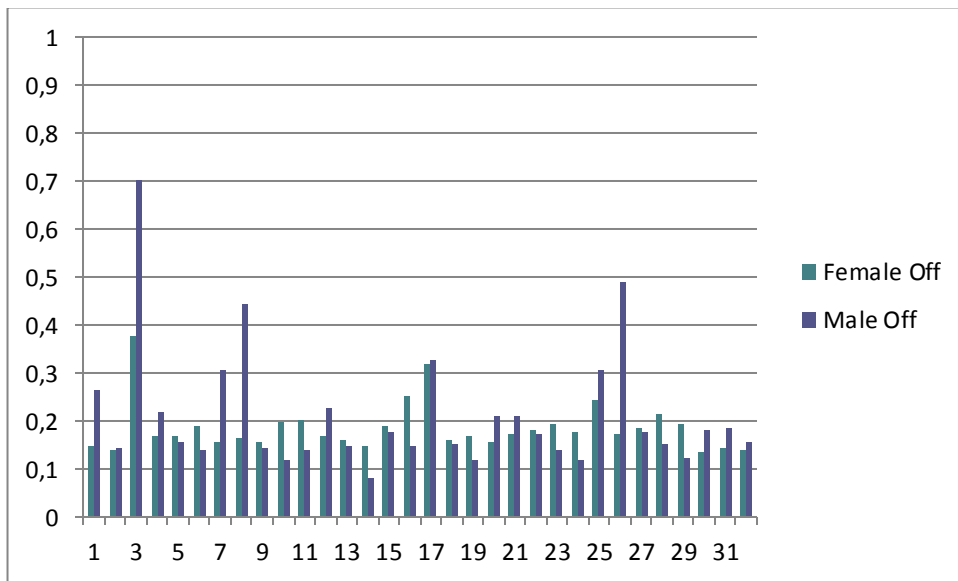
Σχήμα 7.14: Ραβδόγραμμα με την συνολική ενέργεια των ανδρών για κάθε ηλεκτροδίο, με την παρουσία και μη Wi-Fi



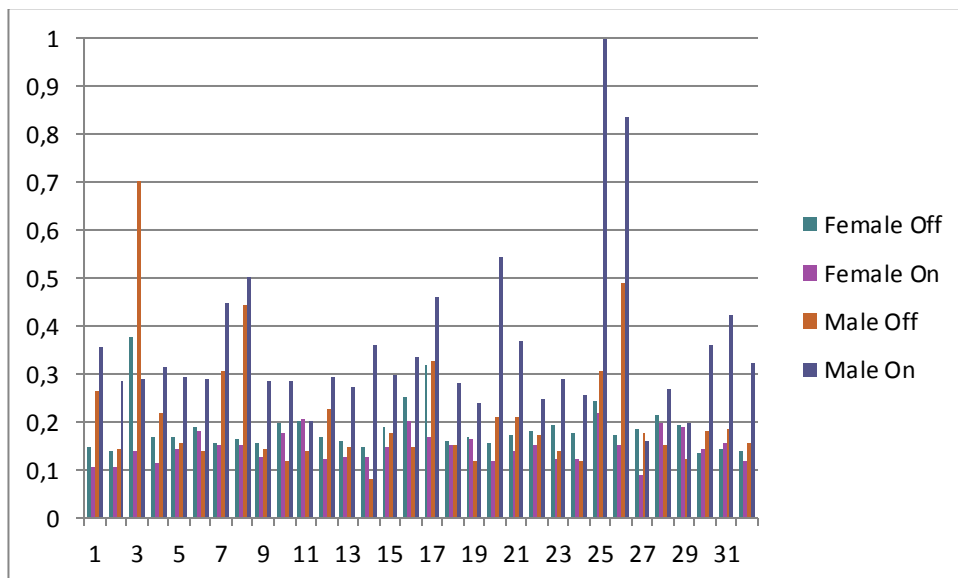
Σχήμα 7.15: Ραβδόγραμμα με την συνολική ενέργεια των γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με την παρουσία και μη Wi-Fi



Σχήμα 7.16: Ραβδόγραμμα με την συνολική ενέργεια των ανδρών και των γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με την παρουσία Wi-Fi



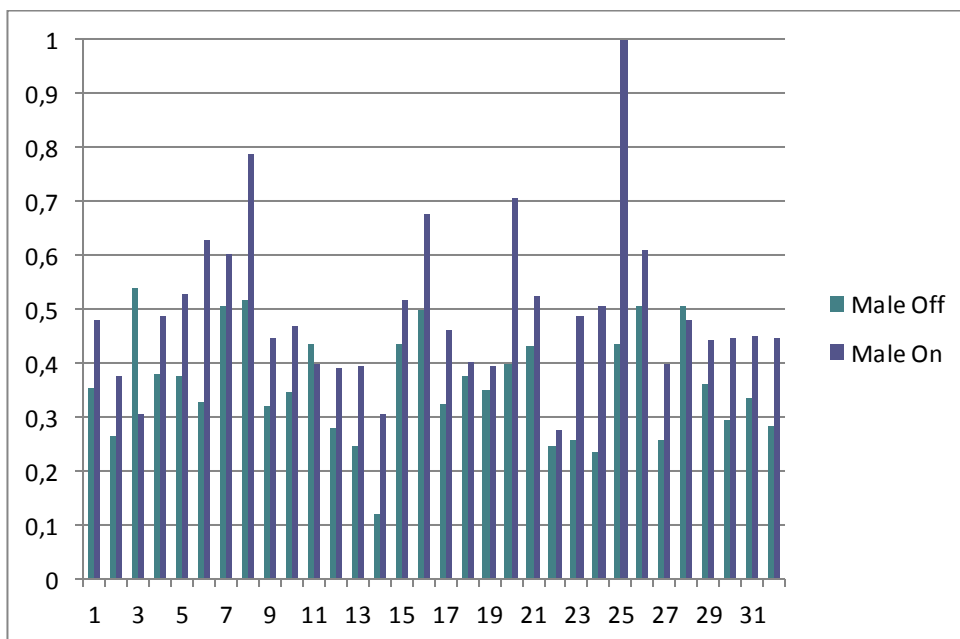
Σχήμα 7.17: Ραβδόγραμμα με την συνολική ενέργεια των ανδρών και των γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, χωρίς την παρουσία Wi-Fi



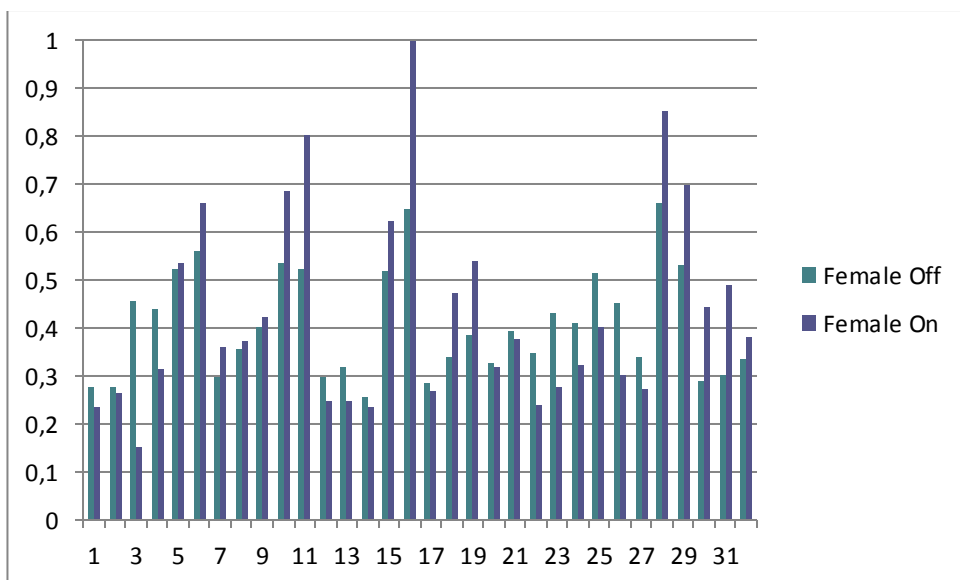
Σχήμα 7.18 :Ραβδόγραμμα με την συνολική ενέργεια των ανδρών και των γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με και χωρίς την παρουσία Wi-Fi



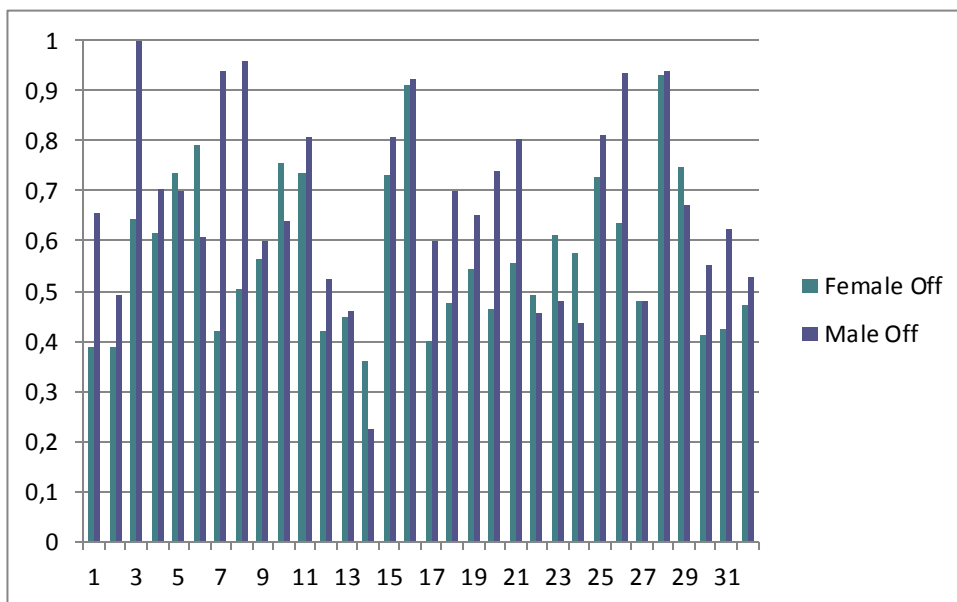
## •Άλφα Ρυθμός



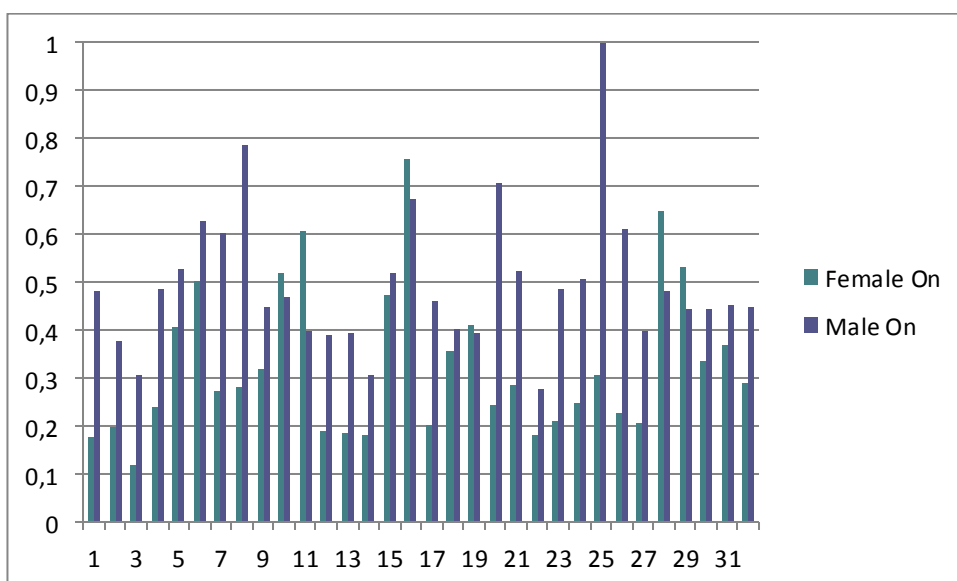
Σχήμα 7.19 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του άλφα ρυθμού των ανδρών για κάθε ηλεκτρόδιο, με και χωρίς την παρουσία Wi-Fi



Σχήμα 7.20 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του άλφα ρυθμού των γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με και χωρίς την παρουσία Wi-Fi

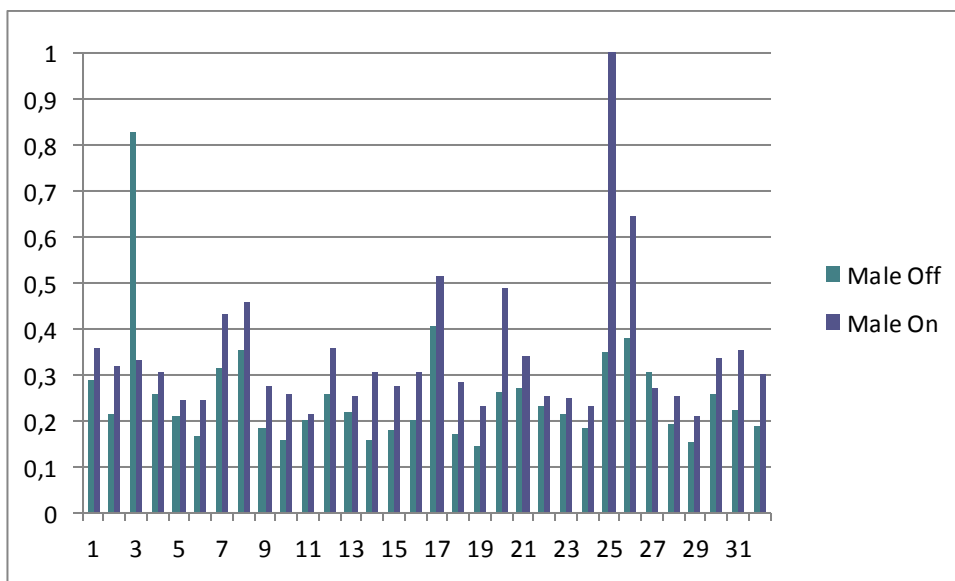


Σχήμα 7.21 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του άλφα ρυθμού των ανδρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, χωρίς την παρουσία Wi-Fi

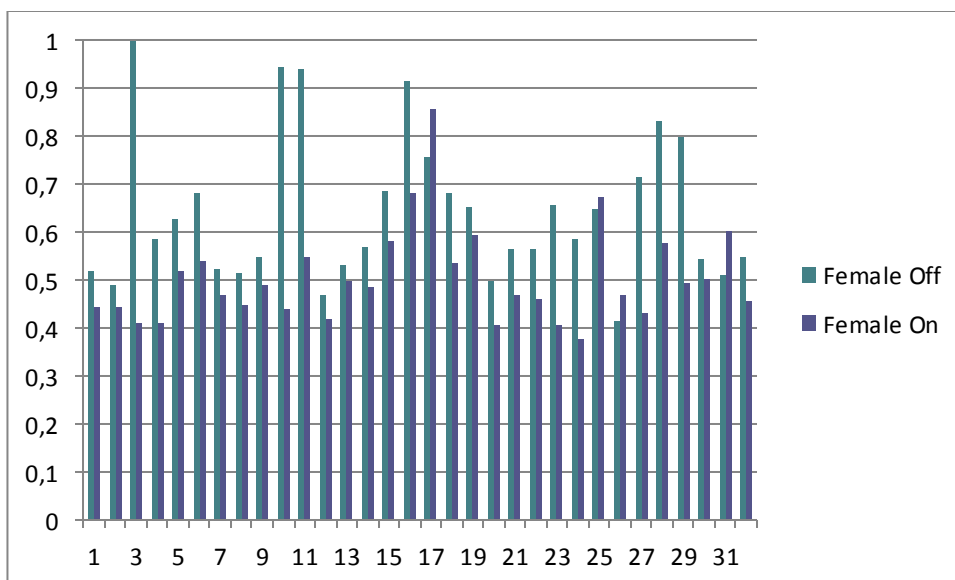


Σχήμα 7.22 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του άλφα ρυθμού των ανδρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με την παρουσία Wi-Fi

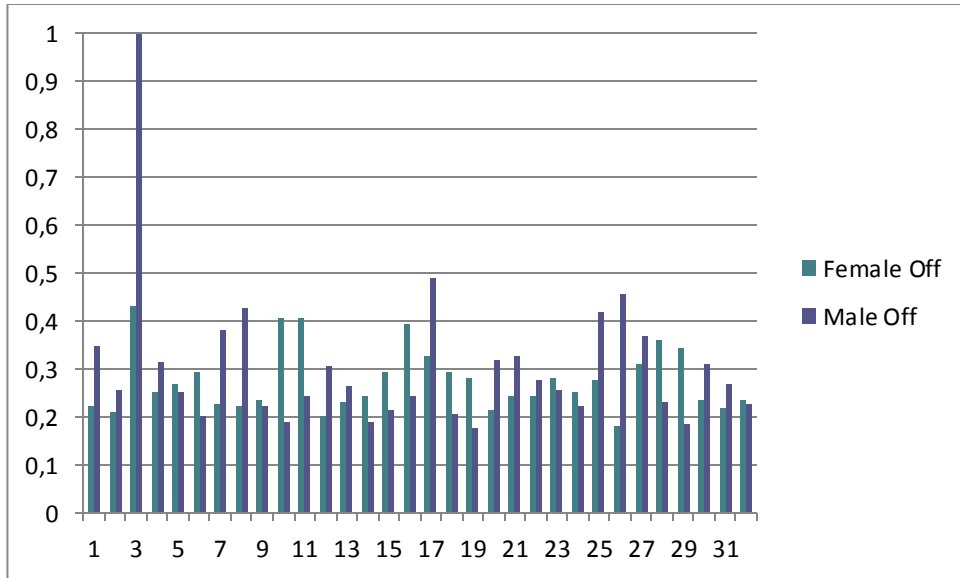
## •Βήτα Ρυθμός



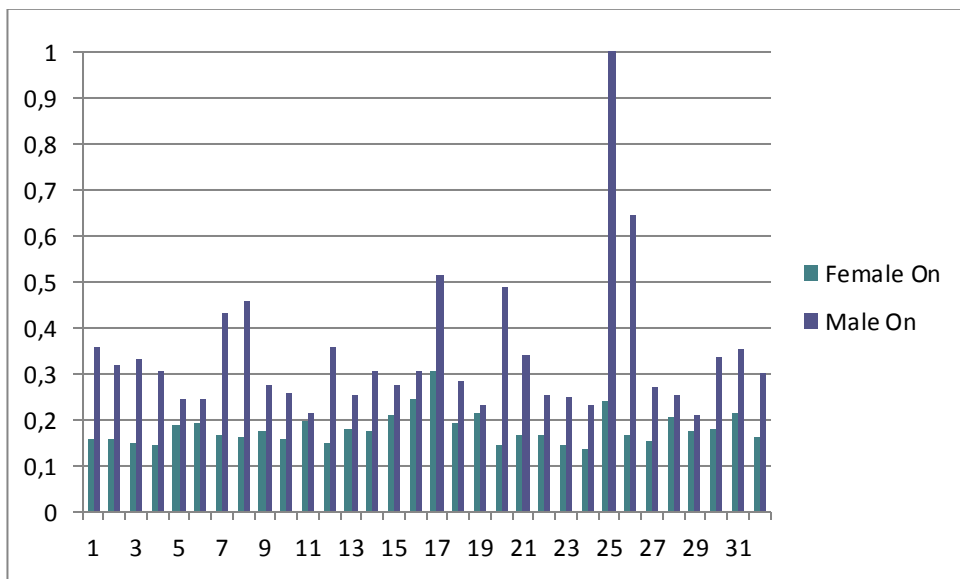
Σχήμα 7.23 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του βήτα ρυθμού των ανδρών για κάθε ηλεκτρόδιο, με και χωρίς την παρουσία Wi-Fi



Σχήμα 7.24 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του βήτα ρυθμού των γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με και χωρίς την παρουσία Wi-Fi

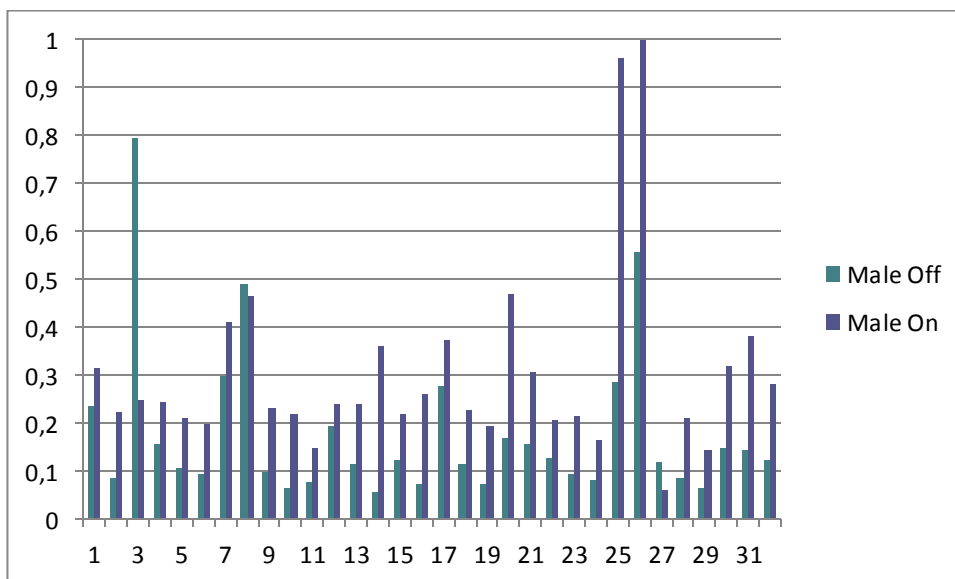


Σχήμα 7.25 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του βήτα ρυθμού των ανδρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, χωρίς την παρουσία Wi-Fi

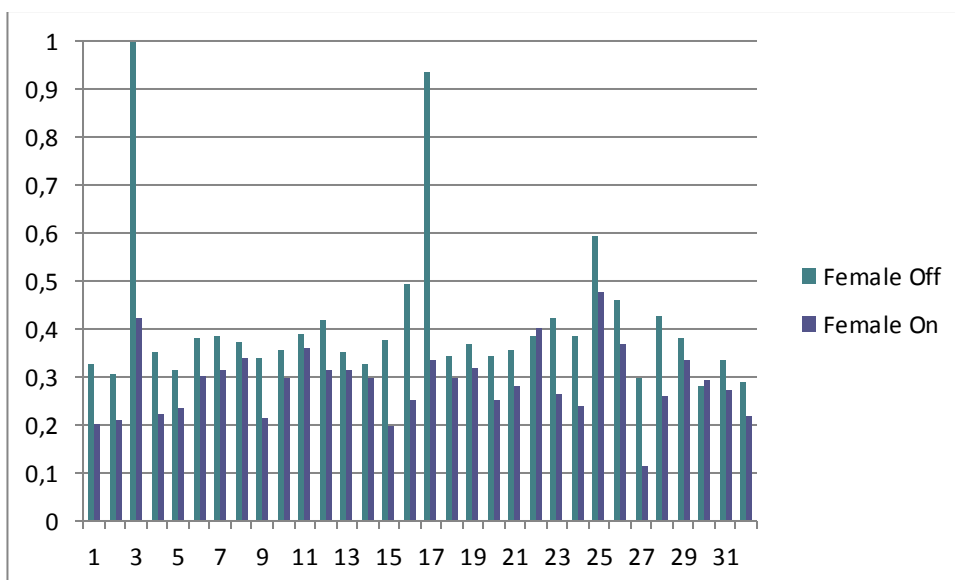


Σχήμα 7.26 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του βήτα ρυθμού των ανδρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με την παρουσία Wi-Fi

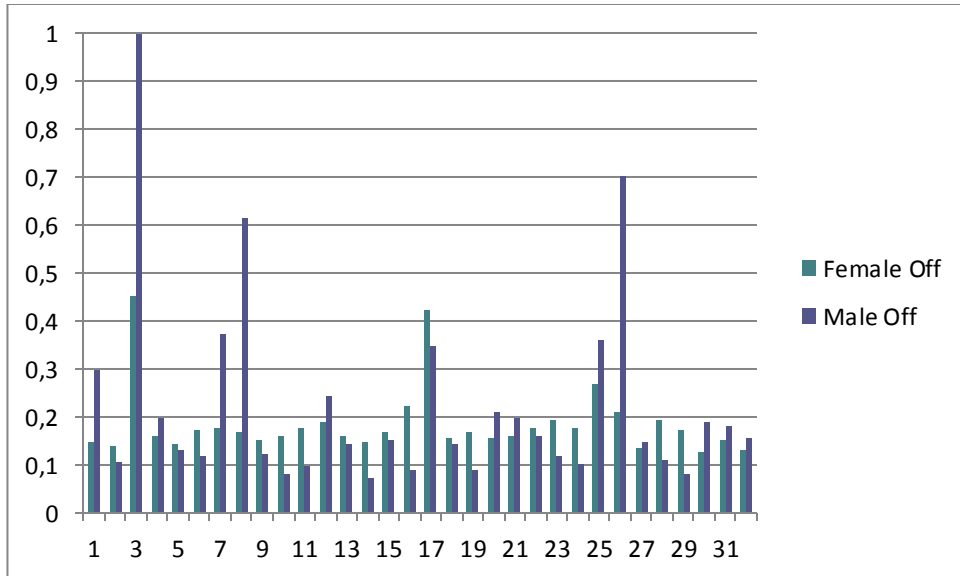
## • Δέλτα Ρυθμός



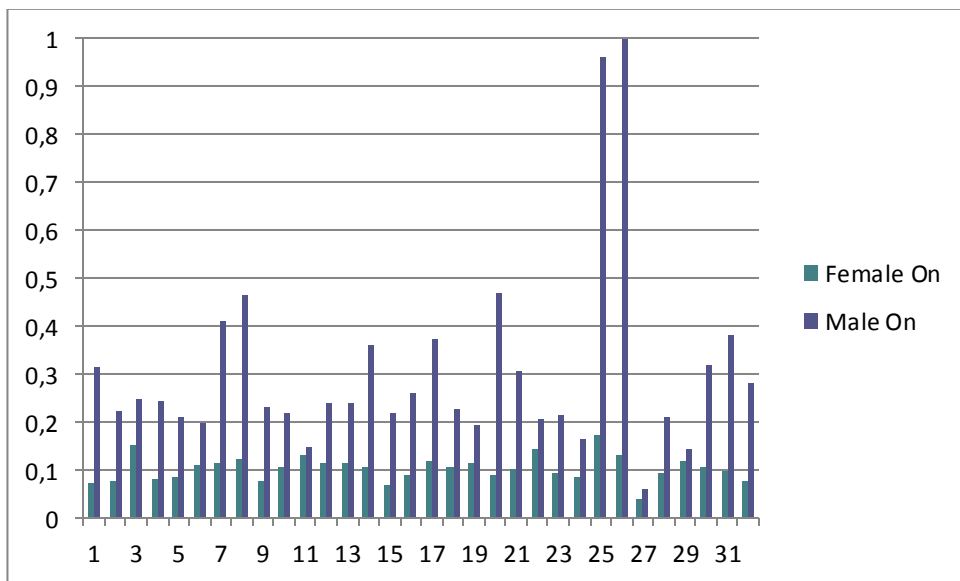
Σχήμα 7.27 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του δέλτα ρυθμού των ανδρών για κάθε ηλεκτρόδιο, με και χωρίς την παρουσία Wi-Fi



Σχήμα 7.28 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του δέλτα ρυθμού των γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με και χωρίς την παρουσία Wi-Fi

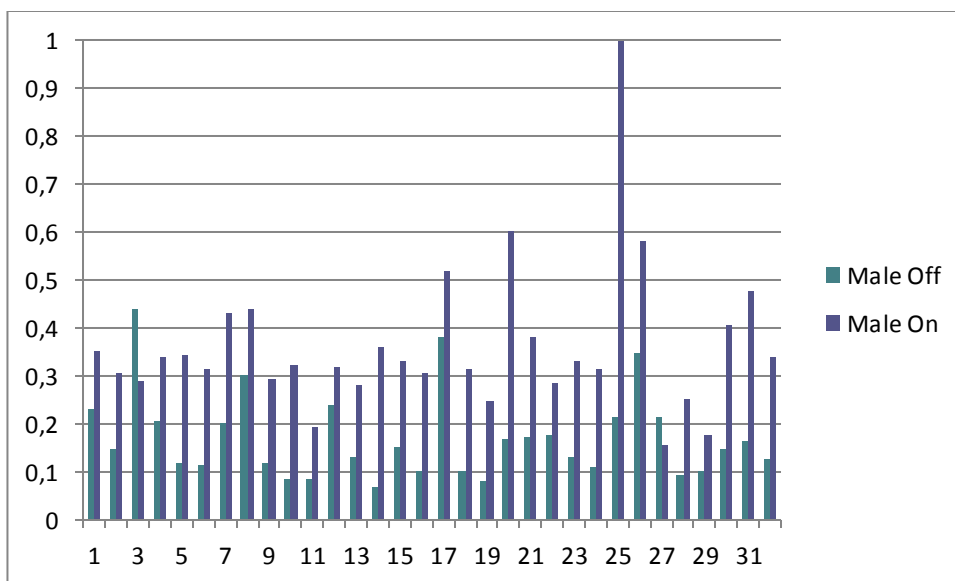


Σχήμα 7.29 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του δέλτα ρυθμού των ανδρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, χωρίς την παρουσία Wi-Fi

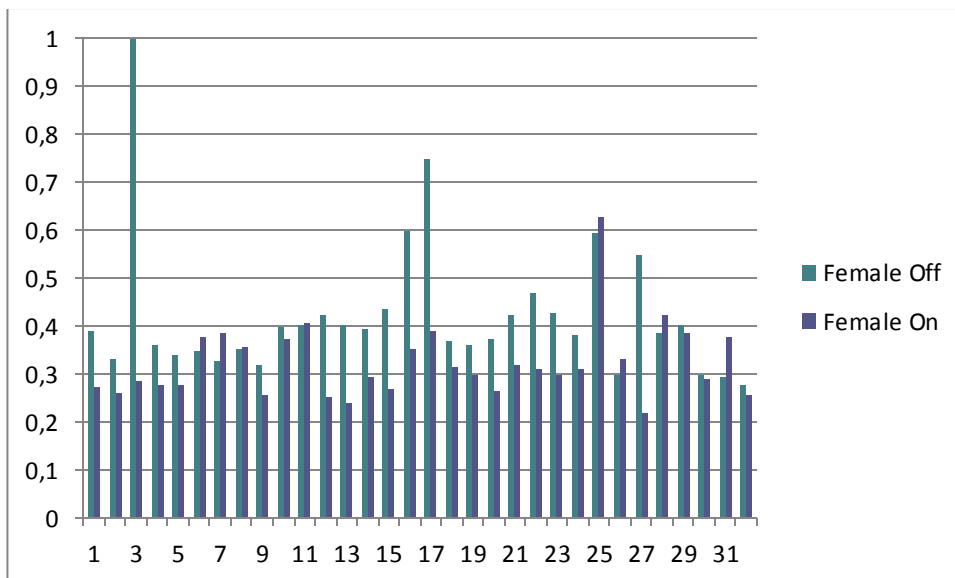


Σχήμα 7.30 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του δέλτα ρυθμού των ανδρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με την παρουσία Wi-Fi

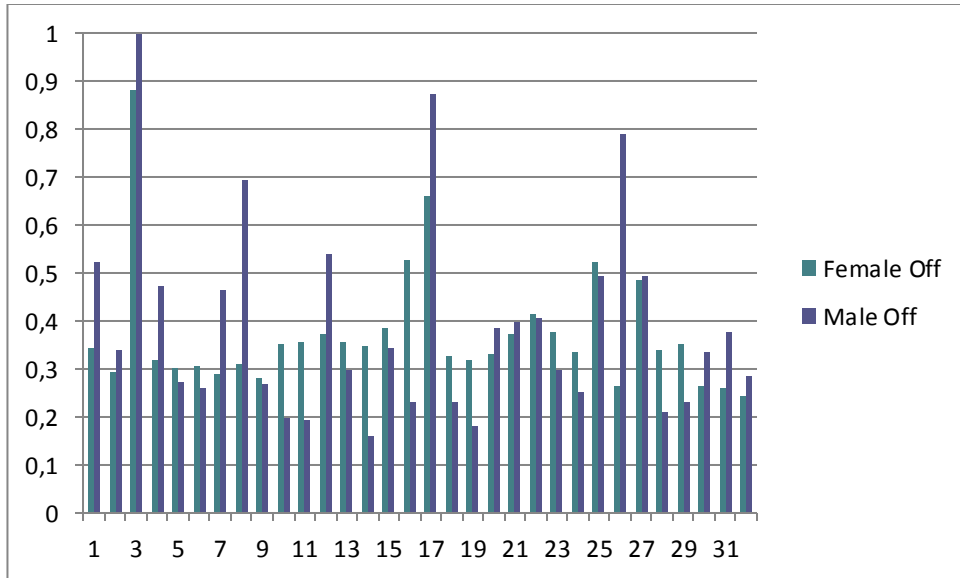
## •Θήτα Ρυθμός



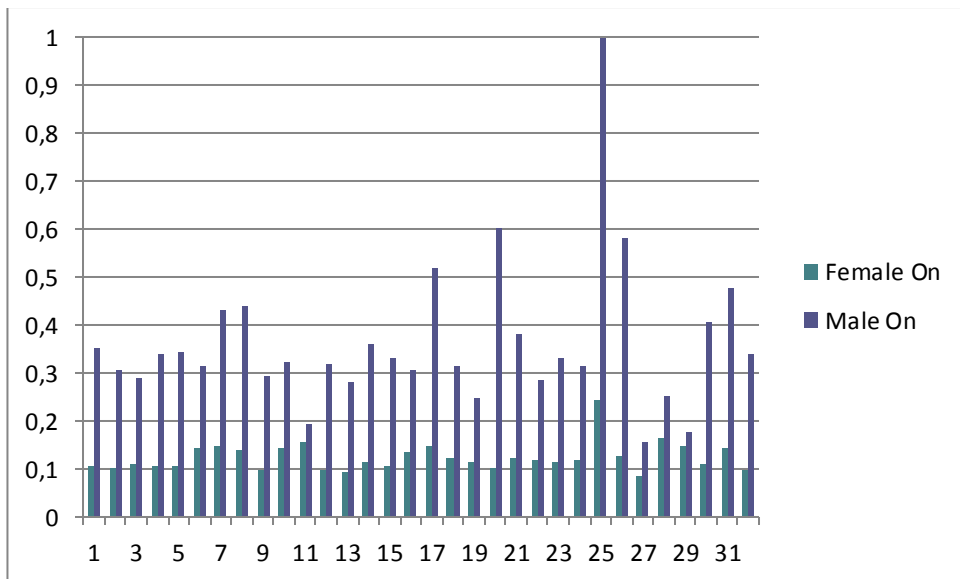
Σχήμα 7.31 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του θήτα ρυθμού των ανδρών για κάθε ηλεκτρόδιο, με και χωρίς την παρουσία Wi-Fi



Σχήμα 7.32 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του θήτα ρυθμού των γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με και χωρίς την παρουσία Wi-Fi



Σχήμα 7.33 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του θήτα ρυθμού των ανδρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, χωρίς την παρουσία Wi-Fi



Σχήμα 7.34 :Ραβδόγραμμα με την ενέργεια του θήτα ρυθμού των ανδρών και γυναικών για κάθε ηλεκτρόδιο, με την παρουσία Wi-Fi



## 7.2. Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα πιο πάνω διαγράμματα μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε ότι οι άνδρες και στις δύο καταστάσεις, «on» και «off», έχουν περισσότερη ενέργεια από τις γυναίκες. Αυτό το γεγονός φαίνεται ξεκάθαρα από το ραβδόγραμμα με τις συνολική ενέργεια και των ανδρών και των γυναικών, με και χωρίς την παρουσία Wi-Fi (7.18).

Ένα άλλο πολύ ενδιαφέρον γεγονός, το οποίο φαίνεται και ξεκάθαρα, τόσο από το ραβδόγραμμα με τις συνολικές ενέργειες, όσο και από τα ραβδογράμματα με τους διάφορους ρυθμούς, είναι ότι σε όλα σχεδόν τα ηλεκτρόδια οι άνδρες αυξάνουν την ενέργεια τους με την παρουσία ακτινοβολίας Wi-Fi, ενώ αντίθετα οι γυναίκες την μειώνουν.

Τέλος, ένα τρίτο συμπέρασμα είναι ότι οι άνδρες στην «on» κατάσταση παρουσιάζουν σε όλα πολλά από τα ηλεκτρόδια αρκετά μεγαλύτερη ενέργεια από τους άνδρες σε «off» κατάσταση και κατά συνέπεια από τις γυναίκες σε «on» και «off» κατάσταση.

### Αντίστοιχες έρευνες

Την τελευταία δεκαετία το επιστημονικό ενδιαφέρον έχει στραφεί κυρίως στην επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην εγκεφαλική δραστηριότητα. Ωστόσο δεν έχουν γίνει έρευνες για την επίδραση της ακτινοβολίας του WLAN(WiFi) στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.

Άρθρο του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO-World Health Organization),μετά από δέκα χρόνια έρευνας, που δημοσιεύτηκε στις 25 Σεπτεμβρίου του 2008 αναφέρει ότι «Η ποσότητα της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από τον ανθρώπινο οργανισμό από ένα σταθμό wi-fi είναι μικρότερος από το ένα πέμπτο που λαμβάνει από τους ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς σταθμούς που τον περιβάλλουν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Το επίπεδο της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας (ακτινοβολία όπως το φως ή τα μικροκύματα που δεν προκαλούν γενετική βλάβη) από τα Wi-Fi Access Points είναι μεταξύ 0,002% και 2% των διεθνών ορίων ασφαλείας[18]».

Σύμφωνα με την Έκθεση ΒιοΠρωτοβουλίας ωστόσο (BioInitiative Report- August 2007) «Πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω έρευνες για την επίδραση των WLAN στην υγεία[3]».

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

---

## Μετασχηματισμός Fourier

Ο μετασχηματισμός Fourier είναι ένα μαθηματικό εργαλείο με τη βοήθεια του οποίου περιγράφονται περιοδικές και μη περιοδικές συναρτήσεις στο πεδίο της συχνότητας. Ο μετασχηματισμός Fourier ενός σήματος  $f(t)$  είναι ένας μετασχηματισμός που ορίζεται από το ολοκλήρωμα

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

Όταν είναι γνωστός ο μετασχηματισμός Fourier ενός σήματος  $f(t)$ , αυτό μπορεί να προσδιοριστεί μέσω του αντίστροφου μετασχηματισμού Fourier που ορίζεται από το ολοκλήρωμα

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

Οι συναρτήσεις  $f(t)$  και  $F(\omega)$  αποτελούν ένα ζεύγος μετασχηματισμού Fourier που συχνά υποδηλώνεται μέσω του συμβολισμού

$$f(t) \leftrightarrow F(\omega)$$

Για να είναι δυνατός ο μετασχηματισμός Fourier ενός σήματος  $f(t)$ , είναι αρκετό το  $f(t)$  να ικανοποιεί τις συνθήκες Dirichlet:

1. Η συνάρτηση  $f(t)$  είναι μονοσήμαντη, με ένα πεπερασμένο αριθμό μέγιστων και ελαχίστων και ένα πεπερασμένο αριθμό ασυνεχειών, σε κάθε πεπερασμένο διάστημα χρόνου.
2. Η συνάρτηση  $f(t)$  είναι απόλυτα ολοκληρώσιμη, δηλαδή,

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)| dt < \infty$$

Οι συνθήκες αυτές περιλαμβάνουν όλα τα σήματα ενέργειας, για τα οποία

$$\text{έχουμε } \int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 dt < \infty.$$

Υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός ιδιοτήτων του μετασχηματισμού Fourier που επιτρέπει τη λύση πολλών προβλημάτων με πολύ απλό και σύντομο τρόπο. Οι κυριότερες από αυτές είναι

<b>Γραμμικότητα</b>	$\sum_{n=1}^N a_n f_n(t) \leftrightarrow \sum_{n=1}^N a_n F_n(\omega)$
<b>Ολίσθηση Χρόνου</b>	$f(t-t_0) \leftrightarrow F(\omega)e^{-j\omega t_0}$
<b>Ολίσθηση Συχνότητας</b>	$f(t)e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow F(\omega-\omega_0)$
<b>Αλλαγή Κλίμακας</b>	$f(at) \leftrightarrow \frac{1}{ a } F(\omega/a), \text{ αν } a \text{ πραγματική σταθερά}$
<b>Συμμετρία</b>	$F(t) \leftrightarrow 2\pi f(-\omega)$
<b>Παραγωγή</b>	$\frac{d^n f(t)}{dt^n} \leftrightarrow (j\omega)^n F(\omega)$
<b>Ολοκλήρωση</b>	$\int_{-\infty}^t f(x)dx \leftrightarrow \left(\frac{1}{j\omega}\right)F(\omega) + \pi F(0)\delta(\omega),$ όπου $\delta(\omega)$ η συνάρτηση δέλτα
<b>Συνέλιξη</b>	$f_1(t) * f_2(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(\tau)f_2(t-\tau)d\tau \leftrightarrow F_1(\omega) \cdot F_2(\omega)$ $f_1(t) \cdot f_2(t) \leftrightarrow \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F_1(u)F_2(\omega-u)du = F_1(\omega) * F_2(\omega)$
<b>Συσχέτιση</b>	$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1^*(\tau)f_2(t+\tau)d\tau \leftrightarrow F_1^*(\omega) \cdot F_2(\omega)$ $f_1^*(t) \cdot f_2(t) \leftrightarrow \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F_1^*(u)F_2(\omega+u)du$
<b>Αυτοσυσχέτιση</b>	$R(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1^*(\tau)f_1(t+\tau)d\tau \leftrightarrow  F(\omega) ^2$ $ f_1(t) ^2 \leftrightarrow \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F_1^*(u)F_1(\omega+u)du$

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες μέθοδοι ανάλυσης Fourier για την αναπαράσταση των σημάτων. Η συγκεκριμένη μορφή, που χρησιμοποιείται στην πράξη εξαρτάται από τον τύπο του σήματος που θεωρούμε. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο μετασχηματισμός Fourier που αντιστοιχεί σε κάθε σήμα.

Όνομα	Πεδίο Χρόνου	Πεδίο Συχνότητας	Τύπος
Σειρές Fourier	Συνεχές Περιοδικό	Διακριτό Απεριοδικό	$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} S_k e^{j\omega_k t}$
Συνεχής Μετασχηματισμός Fourier	Συνεχές Απεριοδικό	Συνεχές Απεριοδικό	$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega$
Διακριτός στο χρόνο Μετασχηματισμός Fourier (DTFT)	Διακριτό Απεριοδικό	Συνεχές Περιοδικό	$X(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-j\omega_k n}$
Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier (DFT)	Διακριτό Περιοδικό	Διακριτό Περιοδικό	$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi \frac{k}{N} n}$

Ένας αποδοτικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του Διακριτού Μετασχηματισμού Fourier (DFT) είναι ο Γρήγορος Μετασχηματισμός Fourier (FFT). Ο FFT έχει μεγάλο φάσμα εφαρμογών και χρησιμοποιείται στην ψηφιακή επεξεργασία σήματος και στην επίλυση μερικών διαφορικών εξισώσεων. Ο Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier που δίνεται από τον τύπο:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi \frac{k}{N} n}$$

έχει πολυπλοκότητα  $O(N^2)$ . Ο FFT είναι ένας αλγόριθμος που υπολογίζει το ίδιο άθροισμα πιο αποδοτικά με πολυπλοκότητα  $O(N \log N)$ .

Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι υλοποίησης του FFT με πιο διαδεδομένο αυτόν των Cooley και Tukey. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί την τεχνική «διαίρει και βασίλευε», δηλαδή διαιρεί αναδρομικά τον DFT οποιουδήποτε μεγέθους σε μικρότερους.

## Θεώρημα Parseval

Σύμφωνα με το θεώρημα του Parseval η ενέργεια ενός σήματος μπορεί να υπολογιστεί, είτε υπολογίζοντας την ενέργεια στη μονάδα του χρόνου και ολοκληρώνοντας σε ολόκληρο το χρονικό διάστημα, είτε υπολογίζοντας την ενέργεια στη μονάδα της συχνότητας και ολοκληρώνοντας σε όλη την περιοχή συχνοτήτων. Δηλαδή αν  $x(t)$  και  $X(f)$  ένα ζεύγος μετασχηματισμού Fourier, τότε ισχύει ότι:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |X(f)|^2 df$$

Η ποσότητα  $|X(f)|^2$  αναφέρεται συχνά ως φάσμα πυκνότητας ενέργειας.

Για το διακριτό μετασχηματισμό Fourier το θεώρημα Parseval γράφεται ως εξής:

$$\sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |X[k]|^2$$

Η φασματική πυκνότητα ενέργειας εκφράζει την ενέργεια ανά εύρος ζώνης ενός hertz του σήματος για τις διάφορες ιδιότητες. Ο μετασχηματισμός Fourier της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης  $R(t)$  είναι η  $|X(f)|^2$ .

$$\Phi[R(t)] = |X(f)|^2$$

## Λευκός θόρυβος

Στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, οι ποσοτικοί υπολογισμοί του θορύβου βασίζονται κυρίως στην έννοια του λευκού θορύβου, η ισχύς του οποίου θεωρείται ομοιόμορφα κατανεμημένη σε ένα πολύ μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Η φασματική πυκνότητα ισχύος του λευκού θορύβου θεωρείται σταθερή για κάθε συχνότητα και ορίζεται από τη σχέση:

$$S_n(f) = \frac{N_0}{2}$$

Ως τυχαία διαδικασία ο λευκός θόρυβος έχει κανονική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας με μηδενική μέση τιμή. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις είναι ο θερμικός θόρυβος και ο θόρυβος που προέρχεται από την ηλιακή δραστηριότητα και τη κοσμική ακτινοβολία. Ο λευκός θόρυβος είναι προσθετικής μορφής, δηλαδή προστίθεται στο επιθυμητό σήμα και συνήθως αναφέρεται ως λευκός, προσθετικός θόρυβος τύπου Gauss, AWGN.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

[1]Αναγνωστοπούλου Κ. Α., & Θεοδοροπούλου, Θ.Α.(2003). *Διπλωματική Εργασία:Επίδραση της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας στα Προκλητά Εγκεφαλικά Δυναμικά* , Αθήνα:Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

[2]Βενιέρης, Σ.Ι. (2007) *Δίκτυα Ευρείας Ζώνης*, Αθήνα:Εκδόσεις Τζιόλα, 2<sup>η</sup> Έκδοση

[3]Carpenter, D., & Sage, S. (2007, August 31) *BioInitiative Report: A Rationale for a Biologically-Based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields(ELF and RF)* Retrieved from <http://www.bioinitiative.org/index.htm>

[4] Διδώ,Γ. (2004). *Εισαγωγή στη Βιοϊατρική και Κυτταρική Μηχανική* Αθήνα:Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

[5]Fayez, A.L.(2007, November 13) *Fundamental of Electroencephalogram* King Saud University, Retrieved from <http://www.faculty.ksu.edu.sa>

[6] Felten, D. L., & Jozetowicz, *Νευροανατομία του Ανθρώπου, Άτλας Βασικών Ιατρικών Επιστημών*, Ιατρικές Εκδόσεις Πασχαλίδης



- [7] Jasper H. *The ten-twenty electrode system of the international federation.*  
Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1958; 10:371–375.
- [8] Ηλιάκης, Β. Γ. & Κυριακάκης, Ι. Ν. (2004)*Διπλωματική Εργασία: Διεξαγωγή Πειράματος & Επεξεργασία Μετρήσεων υπό την Επίδραση Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας σε Εγκεφαλικά Σήματα* , Αθήνα:Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
- [9] Κουτσούρης,Δ. (2000)*Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Τεχνολογία και Ανάλυση Ιατρικών Σημάτων* Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
- [10] Κωνσταντίνου,Φ., Καψάλης, Χ., & Κωπτής, Π.(1995) *Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες* Αθήνα:Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- [11] Μανιτσάρης, Α., & Φουληράς, Π.(Eds) *Δικτύωση Υπολογιστών Kurose,F.J., & Ross W.K.* Αθήνα: Εκδόσεις Γκιούρδας
- [12] Νάνου Δ. Ελένη , (2007) *Διδακτορική Διατριβή:Ανάπτυξη μεθοδολογίας μελέτης και αξιολόγησης της επίδρασης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στα ηλεκτρικά σήματα του εγκεφάλου* Αθήνα:Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

[13] Νικήτα, Σ.Κ. (2005). *Προσομοίωση Φυσιολογικών Συστημάτων* Αθήνα:Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

[14] Νικητοπούλου-Μαράτου ,Γ.*Φυσιολογία του Ανθρώπου Εισαγωγή και Νευρικό Σύστημα*, Εκδόσεις Γρηγόριος Κ.Παρισιανός

[15]Nicholls, P. (2002) *Fundamentals of Biomedical Engineering*, University of Sydney School of Electrical and Information Engineering, Retrieved from <http://www.eelab.usyd.edu.au/ELEC3801>

[16]Nissl, J.(2006,September 1) *Electroencephalogram-EEG*, Retrieved from <http://health.yahoo.com/other-other/electroencephalogram-eeeg/healthwise--aa22249.html>

[17] Συκάς, Ε.Δ., & Θεολόγου, Μ.Ε. (Eds.).(1995) *Συστήματα Επικοινωνίας Simon Haykin* , Αθήνα:Εκδόσεις Παπασωτηρίου

[18] *Who Studies Wi-Fi risks* (2008,September 25) *Vancouver Province*, Retrieved from <http://www.canada.com/theprovince/news/story.html?id=d7fd9ca6-6e5a-4268-abf2-bf2b1a2de5dd>

[19]Wechsler D. (1955) *Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale*. New York:

Psychological Corporation

[20]Kapareliotis ES, Nanou ED, Tsiafakis VG, Sotiriou A, Pragiatis LS, Capsalis CN (2006) *Electromagnetic Compatibility between WiFi Access Point and EEG Signals* 4<sup>th</sup> International Workshop, Biological Effects of Electromagnetic Fields, Crete, Greece, 545-551