

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΑΓΩΓΗΣ  
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Γεώργιος Κ. Ζαχαρίας

«Η επίδραση της στερεοσκοπίας σε εκπαιδευτικά εικονικά  
περιβάλλοντα»

Διδακτορική διατριβή

---

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2012

Γεώργιος Κ. Ζαχαρίας

«Η επίδραση της στερεοσκοπίας σε εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα»

Διδακτορική διατριβή  
που υποβλήθηκε στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης  
της Σχολής Επιστημών Αγωγής  
του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

1. Αναστάσιος Μικρόπουλος, Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης - Σχολή Επιστημών Αγωγής - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, επιβλέπων
2. Σπυρίδων Κονιτσιώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής Νευρολογίας, Ιατρική Σχολή - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
3. Κωνσταντίνος Κώτσης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης - Σχολή Επιστημών Αγωγής - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

1. Αναστάσιος Μικρόπουλος, Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης - Σχολή Επιστημών Αγωγής - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, επιβλέπων
2. Σπυρίδων Κονιτσιώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής Νευρολογίας, Ιατρική Σχολή - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
3. Κωνσταντίνος Κώτσης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης - Σχολή Επιστημών Αγωγής - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
4. Απόστολος Κατσίκης, Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης - Σχολή Επιστημών Αγωγής - Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
5. Χρήστος Παναγιωτακόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης - Σχολή Ανθρωπιστικών και Κοινωνικών Επιστημών - Πανεπιστήμιο Πατρών
6. Παναγιώτης Πιντέλας, Καθηγητής, Τμήμα Μαθηματικών - Σχολή Θετικών Επιστημών - Πανεπιστήμιο Πατρών
7. Αθανάσιος Τζιμογιάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Κοινωνικής και Εκπαιδευτικής Πολιτικής - Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης της Σχολής Επιστημών Αγωγής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα

(ν. 5343/32, άρθρο 202, §2)

Στην Ελλάδα που δοκιμάζεται...



## Περίληψη

Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της εκπαιδευτικής διαδικασίας με την ολοένα και ταχύτερη ενσωμάτωσή τους σε αυτή. Έρευνες σχετικά με την ένταξη των ΤΠΕ στην εκπαίδευση αναφέρουν τη θετική επίδρασή τους στη μάθηση. Η εικονική πραγματικότητα είναι ένα από τα πλέον σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία και μπορεί να συνεισφέρει θετικά στη μαθησιακή διαδικασία.

Η στερεοσκοπία είναι ένα κύριο χαρακτηριστικό της εικονικής πραγματικότητας. Η στερεοσκοπική όραση φαίνεται να είναι καθοριστική σε οπτικά καθοδηγούμενες διεργασίες. Η αίσθηση του βάθους έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την απόδοση σε τρισδιάστατα (3D) περιβάλλοντα. Σε ό,τι αφορά τα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα, η στερεοσκοπία και η τρισδιάστατη αντίληψη φαίνεται να συνεισφέρουν τόσο στην εννοιολογική μάθηση όσο και σε ευρύτερα θετικά μαθησιακά αποτελέσματα.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή μελετά θέματα που εντάσσονται στα πεδία της εικονικής πραγματικότητας, της εκπαίδευσης και της εγκεφαλικής λειτουργίας. Παράλληλα εισάγει τον διεθνή όρο «εκπαιδευτική νευροεπιστήμη», σύμφωνα με τον οποίο η μάθηση περιγράφεται ως «η διαδικασία της δημιουργίας νευρωνικών συνδέσεων σε απόκριση εξωτερικών ερεθισμάτων». Η ερευνητική προσέγγιση αναδεικνύει επιμέρους θέματα εγκεφαλικών λειτουργιών, όπως οι γνωστικές λειτουργίες, που αφορούν στην αλληλεπίδραση ατόμων με εικονικά (στερεοσκοπικά και μη) περιβάλλοντα, με στόχο την εκτίμηση του παράγοντα της στερεοσκοπίας σε αυτά.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή προτείνει τη χρήση της ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (ΗΕΓ) ως μια τεχνική υψηλής χρονικής ανάλυσης, για τη συγκριτική μελέτη της επίδρασης της στερεοσκοπίας σε τρία διαφορετικά περιβάλλοντα, ένα πραγματικό, ένα δυσδιάστατο (2D) και ένα στερεοσκοπικό τρισδιάστατο (3D), ίδιου περιεχομένου. Τον ερευνητικό άξονα της διατριβής αποτέλεσε η συγκριτική μελέτη της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας νέων γυναικών, ηλικίας από 19 έως 22 ετών, κατά τη διάρκεια παρατήρησης συγκεκριμένων αντικειμένων στα τρία περιβάλλοντα. Η ανάλυση

των καταγραφών που προκύπτουν από τα ηλεκτροεγκεφαλογράφημα βασίζεται στη συμπεριφορά των σημαντικότερων εγκεφαλικών ρυθμών (δέλτα 0.5 – 3.5 Hz, θήτα 4 – 7Hz, κατώτερος άλφα-1: 8 – 10Hz, ανώτερος άλφα-2: 11 – 12Hz, βήτα 13 – 32Hz και γάμα 33 – 48Hz).

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα παρατηρείται γενικά παρόμοια ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα και στα τρία περιβάλλοντα μελέτης, γεγονός αναμενόμενο για τα περιβάλλοντα ίδιου περιεχομένου. Συγκεκριμένα, η ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες στο πραγματικό και το στερεοσκοπικό τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον, υποδεικνύοντας ότι το τελευταίο προκάλεσε παρόμοια με το πραγματικό γνωστική επεξεργασία. Σε αντιδιαστολή, το δυσδιάστατο εικονικό περιβάλλον προκάλεσε αύξηση του άγχους. Φαίνεται ότι οι συμμετέχουσες αναζητούσαν την τρίτη διάσταση στο περιβάλλον των δύο διαστάσεων. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν, ακόμα, ότι το πραγματικό περιβάλλον προκαλεί μικρότερο γνωστικό φόρτο συγκριτικά με τα αντίστοιχα εικονικά και το στερεοσκοπικό εικονικό μικρότερο γνωστικό φόρτο από το δυσδιάστατο περιβάλλον.

Η παρούσα διατριβή αποτελεί ένα πρώτο βήμα στο πεδίο της εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης, καθώς επιχειρεί να καταδείξει τη σημασία των στερεοσκοπικών εικονικών περιβαλλόντων έναντι των μη στερεοσκοπικών στην εκπαιδευτική αξιοποίηση. Παράλληλα, συμβάλλει στη μελέτη των γνωστικών λειτουργιών που συμβαίνουν κατά την αλληλεπίδραση χρηστών με ψηφιακά περιβάλλοντα εκπαιδευτικού περιεχομένου, έχοντας ως απώτερο στόχο τη βέλτιστη σχεδίασή τους για θετικά μαθησιακά οφέλη.

#### *Λέξεις κλειδιά*

Εικονικά περιβάλλοντα, γνωστικές λειτουργίες, στερεοσκοπία, ψηφιακή ηλεκτροεγκεφαλογραφία, εκπαιδευτική νευροεπιστήμη, ηλεκτρικοί εγκεφαλικοί ρυθμοί

## **Abstract**

Studies show that Information and Communication Technologies (ICT) positively affect learning process. Virtual reality is considered to be a powerful ICT tool that results in positive learning outcomes.

Stereoscopy is one of the main characteristics of virtual reality. Stereoscopic viewing seems to be important for visually guided reaching tasks. The sense of stereoscopy has been shown to improve performance for tasks in three dimensional (3D) environments. As far as it concerns Educational Virtual Environments (EVEs), stereoscopy and 3D perception seem to contribute to conceptual learning and positive learning outcomes.

The present PhD thesis studies topics that combine the fields of virtual reality, education, and brain function. It also introduces the new term “educational neuroscience”, according to which learning is defined as “the process of generating neural interfaces in response to external stimuli”. The research approach brings out brain activity such as cognitive processes during the interaction of participants in virtual (stereoscopic and non-stereoscopic) environments, aiming at the estimation of stereoscopy in these environments.

The present thesis proposes the use of digital electroencephalography (EEG) as a high temporal resolution technique for the comparative study of the effects of stereoscopy in three different environments, namely a real, a two dimensional (2D) and a stereoscopic three dimensional (3D) with exactly the same content. The research axis of the present thesis is the comparative study of electric brain activity of young women, 19 to 22 years old, during their observation of certain objects in the above three environments. The EEG signals reflect a range of frequency bands that are associated with various functional brain states. EEG signals were studied for the following rhythms (delta 5 – 3.5 Hz, theta 4 – 7Hz, lower alpha-1 8 – 10Hz, upper a-2 11 – 12Hz, beta 13 – 32Hz and gamma 33 – 48Hz).

The results of the thesis show that the topology of brain activity is the same for the three environments under study. This is rather expectable, since all three environments were of the same content. The results show that electric brain activity is similar in real and stereoscopic virtual environments and different than in non-stereoscopic 2D virtual

environments. The real environment caused less mental effort than the other two virtual environments. Comparing the 3D stereoscopic to the 2D virtual environment, the stereoscopic environment caused less mental effort, possibly because of the existence of stereoscopy. Moreover, the 2D environment caused an increase of anxiety, probably because the participants were looking for the third dimension in it.

The present thesis is a first step in the field of educational neuroscience, emphasizing the importance of stereoscopic virtual environments over non-stereoscopic ones for educational use. It also contributes to the study of cognitive processes that occur during user interaction with digital environments with educational content, aiming at the design of environments that result in positive learning outcomes.

*Key words*

*Electroencephalography, stereoscopy, virtual environments, educational neuroscience, electrical brain rhythms, cognitive operations.*

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους τους ανθρώπους που συνέβαλαν ουσιαστικά, άμεσα ή έμμεσα, στην ολοκλήρωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Αρχικά, οφείλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Αναστάσιο Μικρόπουλο, στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης της Σχολής Επιστημών Αγωγής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, επιβλέποντα της διδακτορικής διατριβής, για τη γενικότερη συμπαράσταση, τη συνεχή καθοδήγηση, επίβλεψη, υπομονή και επιμονή και την άψογη συνεργασία. Όλα όσα με δίδαξε με όρεξη και ενδιαφέρον και οι πολύτιμες συμβουλές του με ενέπνευσαν σε όλα τα στάδια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής μου. Άλλωστε, καθοριστική υπήρξε και η παροχή του απαραίτητου εξοπλισμού που διαθέτει το Εργαστήριο Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, του οποίου είναι Διευθυντής, ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα διδακτορική διατριβή.

Πολύτιμες υπήρξαν οι συμβουλές και τα σχόλια του Αναπληρωτή Καθηγητή στην Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, κ. Σπυρίδων Κοντσιώτη, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, ως προς την ανάλυση του νευροβιολογικού περιεχομένου της διατριβής. Τον ευχαριστώ πολύ για το χρόνο που διέθεσε και τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του που με ώθησαν να συνεχίσω μέχρι τέλους με όρεξη.

Σημαντικές υπήρξαν οι προτάσεις και οι συμβουλές του Αναπληρωτή Καθηγητή στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης της Σχολής Επιστημών Αγωγής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, κ. Κωνσταντίνο Κώτση, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, ιδιαίτερα κατά το περιεχόμενο της διατριβής.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για την πολύτιμη καθοδήγησή τους :

- κ. Απόστολο Κατσίκη, Καθηγητή στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης της Σχολής Επιστημών Αγωγής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

- κ. Χρήστο Παναγιωτακόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης της Σχολής Ανθρωπιστικών και Κοινωνικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πατρών
- κ. Παναγιώτη Πιντέλα, Καθηγητή στο Τμήμα Μαθηματικών της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πατρών
- κ. Αθανάσιο Τζιμογιάννη Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Κοινωνικής και Εκπαιδευτικής Πολιτικής του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου

Ευχαριστώ, επίσης, το συνάδελφο Ευάγγελο Τζίμα, έναν από τους πρωτοπόρους σε θέματα που πραγματεύεται η παρούσα διδακτορική διατριβή, για την προθυμία και την υποστήριξη που επέδειξε σε όλα τα στάδια της διατριβής.

Επιπλέον, οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στη συνάδελφο Χρυσή Πριοβόλου, για τη βοήθεια που προσέφερε κατά την εκτέλεση της παρούσας διδακτορικής διατριβής, καθώς και στους συναδέλφους μου, κ. Ιωάννη Βρέλλη και κ. Αντώνη Νάτση, των οποίων η συμβολή σε θέματα τεχνολογικού και μεθοδολογικού περιεχομένου, ήταν ουσιαστική.

Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τη φίλη μου κ. Ιωάννα Τύπου, για τις συμβουλές της περί φιλολογικών θεμάτων καθώς και τον κ. Μιχάλη Δούκα, ιατρό για τις πολύτιμες συμβουλές του σε θέματα που άπτονται της επιστήμης της Ιατρικής.

Ακόμα, ευχαριστίες εκφράζονται και στους συνεργάτες και φίλους μου από το Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για τη συνεχή υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια της διατριβής μου.

Εξίσου σημαντική ήταν και η πρόθυμη συμμετοχή των φοιτητριών του Παιδαγωγικού Τμήματος Ιωαννίνων τόσο στην πιλοτική όσο και στην κύρια έρευνα.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες οφείλω να εκφράσω στη γυναίκα μου Λία, καθώς και στην οικογένειά μου για την ενθάρρυνση και υποστήριξη που επέδειξαν κατά τη διάρκεια της διατριβής μου. Τους ευχαριστώ όλους!

## Αναλυτικά Περιεχόμενα

Αναλυτικά Περιεχόμενα.....	i
Ευρετήριο Σχημάτων και Πινάκων .....	vii
Εισαγωγή.....	- 1 -
Το αντικείμενο της έρευνας .....	- 1 -
Διάρθρωση της διατριβής.....	- 2 -
Η συμβολή της διατριβής.....	- 6 -
1 Η Εικονική Πραγματικότητα στην Εκπαίδευση .....	- 7 -
1.1 Εισαγωγή .....	- 7 -
1.2 Συστήματα εικονικής πραγματικότητας.....	- 9 -
1.3 Περιφερειακές συσκευές .....	- 10 -
1.3.1 Συσκευές εισόδου .....	- 11 -
1.3.2 Συσκευές εξόδου .....	- 15 -
1.4 Μετρήσεις σε εικονικά περιβάλλοντα .....	- 18 -
1.4.1 Υποκειμενικές μετρήσεις .....	- 18 -
1.4.2 Αντικειμενικές μετρήσεις.....	- 20 -
1.5 Εικονική πραγματικότητα, διδασκαλία και μάθηση.....	- 23 -
1.5.1 Επιτραπέζια Εικονικά Εκπαιδευτικά Περιβάλλοντα .....	- 23 -
1.5.2 Εικονικά Εκπαιδευτικά Περιβάλλοντα Εμβύθισης.....	- 26 -
1.6 Σύνοψη .....	- 32 -
2 Οπτικό, νευρικό σύστημα και Ηλεκτροεγκεφαλογραφία.....	- 35 -
2.1 Εισαγωγή .....	- 35 -
2.2 Το οπτικό σύστημα .....	- 36 -
2.2.1 Η αίσθηση του βάθους – Στερεοσκοπία .....	- 40 -
2.3 Το νευρικό σύστημα.....	- 42 -
2.3.1 Νευρικά κύτταρα και μετάδοση νευρικών σημάτων.....	- 44 -

2.4 Ο εγκεφαλικός φλοιός.....	- 47 -
2.5 Τεχνικές απεικόνισης εγκεφαλικής δραστηριότητας .....	- 51 -
2.6 Το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.....	- 52 -
2.6.1 Ιστορικά στοιχεία .....	- 52 -
2.6.2 Η νευροφυσιολογία του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.....	- 53 -
2.6.3 Γενική περιγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.....	- 56 -
2.6.4 Ηλεκτρόδια .....	- 57 -
2.6.5 Θέσεις ηλεκτροδίων – Το Διεθνές Σύστημα 10 - 20.....	- 59 -
2.6.6 Ηλεκτρόδιο αναφοράς .....	- 62 -
2.6.7 Παράσιτα .....	- 63 -
2.6.8 Φιλτράρισμα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος .....	- 67 -
2.6.9 Ποσοτική ανάλυση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος .....	- 69 -
2.6.10 Χαρτογράφηση του εγκεφάλου με χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος .....	- 73 -
2.6.11 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.....	- 75 -
2.7 Οι ρυθμοί του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.....	- 77 -
2.7.1 Γενική περιγραφή των ρυθμών του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.....	- 77 -
2.7.1.1 Ο δέλτα ρυθμός.....	- 81 -
2.7.1.2 Ο θήτα ρυθμός .....	- 82 -
2.7.1.3 Ο άλφα ρυθμός .....	- 85 -
2.7.1.4 Ο βήτα ρυθμός .....	- 87 -
2.7.1.5 Ο γάμα ρυθμός.....	- 89 -
2.8 Σύνοψη .....	- 91 -
3 Νευροεπιστήμες, Εκπαίδευση και Εικονική Πραγματικότητα.....	- 93 -
3.1 Εισαγωγή .....	- 93 -
3.2 Νευροεπιστήμες και εκπαίδευση.....	- 94 -
3.3 Χρησιμότητα της γνώσης των εγκεφαλικών λειτουργιών στα εικονικά περιβάλλοντα .....	- 100 -
3.4 Μετρήσεις εγκεφαλικής λειτουργίας σε εικονικά περιβάλλοντα .....	- 101 -



3.5 Οπτικά ερεθίσματα, εγκεφαλικοί ρυθμοί και εικονική πραγματικότητα.....	- 106 -
3.6 Στερεοσκοπία, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα.....	- 113 -
3.7 Σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εκπαιδευτικά εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα με ΗΕΓ.....	- 114 -
3.8 Προβλήματα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος στα εικονικά περιβάλλοντα.....	- 117 -
3.8.1 Πηγές θορύβου μη φυσιολογικής προέλευσης.....	- 117 -
3.8.2 Πηγές θορύβου φυσιολογικής προέλευσης.....	- 118 -
3.9 Σύνοψη.....	- 119 -
4 Πιλοτική Έρευνα.....	- 121 -
4.1 Εισαγωγή.....	- 121 -
4.2 Ερευνητικοί στόχοι.....	- 123 -
4.3 Δείγμα.....	- 123 -
4.4 Πειραματικά μέσα και συσκευές.....	- 124 -
4.4.1 Πραγματικό περιβάλλον.....	- 125 -
4.4.2 Εικονικό – στερεοσκοπικό περιβάλλον(3D).....	- 126 -
4.4.3 Εικονικό μη – στερεοσκοπικό περιβάλλον.....	- 127 -
4.4.4 Σύστημα Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.....	- 128 -
4.5 Διαδικασία.....	- 129 -
4.5.1 Καταγραφές ΗΕΓ.....	- 131 -
4.5.2 Στατιστική ανάλυση.....	- 134 -
4.6 Αποτελέσματα πιλοτικής έρευνας.....	- 146 -
4.6.1 Σύγκριση Εικονικού – μη στερεοσκοπικού (2D) και Εικονικού Στερεοσκοπικού Περιβάλλοντος (3D).....	- 146 -
4.6.2 Σύγκριση εικονικού – μη στερεοσκοπικού (2D) και πραγματικού περιβάλλοντος (REAL).....	- 154 -
4.6.3 Σύγκριση εικονικού στερεοσκοπικού (3D) και πραγματικού περιβάλλοντος (REAL).....	- 162 -
4.7 Συζήτηση.....	- 170 -
4.7.1 Δέλτα ρυθμός (0.5 – 3.5 Hz).....	- 170 -

4.7.2 Θήτα ρυθμός (4 – 7 Hz) .....	- 170 -
4.7.3 Άλφα ρυθμός (8 – 13 Hz) .....	- 171 -
4.7.4 Βήτα ρυθμός (14 – 32 Hz) .....	- 172 -
4.7.5 Γάμα ρυθμός (33 – 48 Hz) .....	- 172 -
4.8 Συμπεράσματα .....	- 173 -
4.8 Σύνοψη .....	- 174 -
5 Κύρια Έρευνα .....	- 175 -
5.1 Εισαγωγή .....	- 175 -
5.2 Ερευνητικοί στόχοι .....	- 176 -
5.3 Δείγμα .....	- 176 -
5.4 Πειραματικά μέσα και συσκευές .....	- 178 -
5.4.1 Πραγματικό περιβάλλον (REAL) .....	- 178 -
5.4.2 Εικονικό – στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D) .....	- 179 -
5.4.3 Εικονικό μη – στερεοσκοπικό περιβάλλον (2D) .....	- 182 -
5.4.4 Σύστημα Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας .....	- 183 -
5.5 Διαδικασία .....	- 183 -
5.5.1 Πρώτη επαφή με το περιβάλλον .....	- 184 -
5.5.2 Οπτική – χωρική προσοχή και αναγνώριση αντικειμένων στο χώρο .....	- 185 -
5.5.3 Καταγραφές ΗΕΓ – Μεθοδολογία επεξεργασίας των καταγραφών ΗΕΓ - Στατιστική ανάλυση .....	- 186 -
5.6 Σύνοψη .....	- 186 -
6 Αποτελέσματα κύριας έρευνας .....	- 187 -
6.1 Εισαγωγή .....	- 187 -
6.2 Σύγκριση εγκεφαλικής λειτουργίας μεταξύ περιβαλλόντων .....	- 188 -
6.2.1 Πραγματικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλοντα .....	- 188 -
6.2.2 Πραγματικό και εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλοντα .....	- 201 -
6.2.3 Εικονικό στερεοσκοπικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλοντα .....	- 214 -

6.3 Σύγκριση εγκεφαλικής λειτουργίας κατά την αλλαγή διάταξης αντικειμένων ανά περιβάλλον..	- 227 -
6.3.1 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο πραγματικό περιβάλλον .....	- 227 -
6.3.2 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον .....	- 235 -
6.3.3 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον.....	- 242 -
6.4 Σύνοψη .....	- 248 -
7 Συμπεράσματα .....	- 249 -
7.1 Εισαγωγή .....	- 249 -
7.2 Σύγκριση εγκεφαλικής λειτουργίας μεταξύ περιβαλλόντων .....	- 250 -
7.2.1 Πραγματικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλοντα .....	- 250 -
7.2.2 Πραγματικό και εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλοντα .....	- 250 -
7.2.3 Εικονικό στερεοσκοπικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλοντα .....	- 251 -
7.2.4 Σύνοψη .....	- 252 -
7.3 Σύγκριση εγκεφαλικής λειτουργίας κατά την αλλαγή διάταξης αντικειμένων ανά περιβάλλον...	- 253 -
7.3.1 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο πραγματικό περιβάλλον .....	- 253 -
7.3.2 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον.....	- 253 -
7.3.3 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον.....	- 254 -
7.3.3.4 Σύνοψη .....	- 254 -
7.4 Γενικά συμπεράσματα .....	- 254 -
7.4.1 Ομοιότητες μεταξύ περιβαλλόντων .....	- 256 -
7.4.2 Διαφορές μεταξύ περιβαλλόντων.....	- 256 -
7.5 Περιορισμοί της έρευνας .....	- 259 -
7.6 Προτάσεις για μετέπειτα έρευνα.....	- 259 -
Αναφορές .....	- 263 -
Παραρτήμα Ι.....	- 287 -
Καταγραφή και ανάλυση του ΗΕΓ .....	- 287 -

Προετοιμασία καταγραφών ΗΕΓ για ανάλυση.....	- 287 -
Μεθοδολογία επεξεργασίας των καταγραφών ΗΕΓ.....	- 297 -
Παράρτημα II.....	- 307 -
Πιλοτική Μελέτη.....	- 307 -
Εικονικό μη στερεοσκοπικό και Πραγματικό περιβάλλον .....	- 307 -
Εικονικό στερεοσκοπικό και Πραγματικό περιβάλλον .....	- 317 -
Εικονικό μη στερεοσκοπικό και Εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον .....	- 327 -
Παράρτημα III.....	- 337 -
Κύρια Έρευνα .....	- 337 -
Πρώτη επαφή με το περιβάλλον .....	- 337 -
Πραγματικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον .....	- 337 -
Πραγματικό και εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον.....	- 347 -
Εικονικό στερεοσκοπικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον .....	- 357 -
Οπτική – χωρική προσοχή και αναγνώριση αντικειμένων στο χώρο .....	- 367 -
Πραγματικό περιβάλλον – αντίστοιχο περιβάλλον αλλαγής.....	- 367 -
Εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον – αντίστοιχο περιβάλλον αλλαγής.....	- 377 -
Εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον – αντίστοιχο περιβάλλον αλλαγής.....	- 387 -

## Ευρετήριο Σχημάτων και Πινάκων

Σχήμα Α. Σχηματική διάρθρωση της διατριβής. ....	- 5 -
Σχήμα 1.1. Το 3D mouse. ....	- 11 -
Σχήμα 1.2. Το Space Ball. ....	- 12 -
Σχήμα 1.3. Το 3D Controller. ....	- 12 -
Σχήμα 1.4. Γάντι δεδομένων και εξωσκελετός.....	- 13 -
Σχήμα 1.5. Η στολή δεδομένων, DataSuit.....	- 13 -
Σχήμα 1.6. Head Tracker. ....	- 14 -
Σχήμα 1.7. Eye Tracker.....	- 15 -
Σχήμα 1.8. Κράνος εικονικής πραγματικότητας.....	- 16 -
Σχήμα 1.9. Στερεοσκοπικά γυαλιά. ....	- 16 -
Σχήμα 1.10. Η συσκευή BOOM.....	- 17 -
Σχήμα 2.1. Το ανθρώπινο μάτι. ....	- 37 -
Σχήμα 2.2. Τομή του αμφιβληστροειδούς.....	- 38 -
Σχήμα 2.3. Η οπτική οδός που μεσολαβεί για την οπτική αντίληψη. ....	- 39 -
Σχήμα 2.4. Παράλλαξη ή διοφθάλμια διαφορά.....	- 41 -
Σχήμα 2.5. Σχηματική αναπαράσταση της δομής του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος.....	- 44 -
Σχήμα 2.6. Σχηματική αναπαράσταση νευρώνα. ....	- 46 -
Σχήμα 2.7. Ο εγκεφαλικός φλοιός. ....	- 48 -
Σχήμα 2.8. Σχηματική απεικόνιση της έξω (ορατής) επιφάνειας του εγκεφαλικού φλοιού του αριστερού ημισφαιρίου.....	- 50 -
Σχήμα 2.9. Σύναψη δύο τυπικών νευρώνων.....	- 55 -
Σχήμα 2.10. Το σύστημα καταγραφής ΗΕΓ του εργαστηρίου Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.....	- 57 -
Σχήμα 2.11. Το ηλεκτρόδιο με επαφή δακτυλιδιού .....	- 58 -
Σχήμα 2.12. Το Διεθνές Σύστημα 10-20. ....	- 60 -

Σχήμα 2.13. Θέσεις ηλεκτροδίων και γενικότερες περιοχές του φλοιού.....	- 61 -
Σχήμα 2.14. Θέση των ενδιάμεσων ηλεκτροδίων στο τροποποιημένο Διεθνές Σύστημα 10-20. ....	- 62 -
Σχήμα 2.15. Βιολογικά παράσιτα .....	- 66 -
Σχήμα 2.16. Χρωματική κλίμακα που ακολουθείται στους χάρτες ΗΕΓ.....	- 74 -
Πίνακας 2.1. Συνοπτική περιγραφή των ρυθμών ΗΕΓ.....	- 78 -
Σχήμα 2.17. Παράδειγμα ρυθμών στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec.....	- 80 -
Σχήμα 2.18. Παράδειγμα δ ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec. ....	- 81 -
Σχήμα 2.19. Παράδειγμα θ ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec. ....	- 83 -
Σχήμα 2.20. Παράδειγμα α ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec. ....	- 86 -
Σχήμα 2.21. Παράδειγμα β ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec. ....	- 88 -
Σχήμα 2.22. Παράδειγμα γ ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec.....	- 89 -
Σχήμα 4.1. Γραφική παράσταση ισχύος – συχνότητας του α ρυθμού μιας συμμετέχουσας με κορυφή του σήματος ΗΕΓ στα 10 Hz (φυσιολογικός α ρυθμός). ....	- 124 -
Σχήμα 4.2. Άποψη του πραγματικού περιβάλλοντος.....	- 125 -
Σχήμα 4.3. Στερεοσκοπικά γυαλιά και η στερεοσκοπική οθόνη.....	- 127 -
Σχήμα 4.4. Άποψη του 2D περιβάλλοντος. ....	- 127 -
Σχήμα 4.5. Το σύστημα ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας του Εργαστηρίου Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.....	- 128 -
Σχήμα 4.6. Συμμετέχουσα με όλον το σχετικό εξοπλισμό για το εικονικό περιβάλλον και το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.....	- 131 -
Σχήμα 4.7. Σχηματική αναπαράσταση των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών θέσεων σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20.....	- 132 -
Σχήμα 4.8. Σχηματική αναπαράσταση των θέσεων τοποθέτησης των ηλεκτροδίων του ηλεκτροοφθαλμογραφήματος (EOG).. ....	- 133 -
Σχήμα 4.9. Η διαδικασία Spectrum του menu Analyze της gtec που χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των φασμάτων των 2 περιβαλλόντων (3D και REAL). ....	- 135 -
Σχήμα 4.10. Γραφική παράσταση του φάσματος 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια και όλα τα υποκείμενα.....	- 137 -

Σχήμα 4.11α. Παράδειγμα φασμάτων του ηλεκτροδίου Fr1 για το εύρος συχνοτήτων 1 – 48 Hz.....	- 138 -
.....	
Σχήμα 4.11β. Παράδειγμα φασμάτων του ηλεκτροδίου Fr1 για το εύρος συχνοτήτων 1 – 13 Hz. ....	- 138 -
.....	
Σχήμα 4.11 γ. Παράδειγμα φασμάτων του ηλεκτροδίου Fr1 για το εύρος συχνοτήτων 14 – 48 Hz. ....	- 139 -
.....	
Σχήμα 4.12. Απόσπασμα από ένα φύλλο του Microsoft Excel στο οποίο υπολογίζονται οι χάρτες με τις στατιστικά σημαντικές διαφορές δύο περιβαλλόντων..	- 141 -
.....	
Σχήμα 4.13. Συγκριτική εναλλακτική παρουσίαση ασπρόμαυρων χαρτών της σχετικής ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών 3D – REAL).....	- 143 -
.....	
Σχήμα 4.14. Χάρτες απόλυτης τιμής ισχύος για το 2D περιβάλλον. ....	- 144 -
.....	
Πίνακας 4.1. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και 3D περιβάλλον.....	- 145 -
.....	
Σχήμα 4.15. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια.....	- 146 -
.....	
Σχήμα 4.16. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον). ....	- 147 -
.....	
Σχήμα 4.17. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 3D (εικονικό περιβάλλον).....	- 147 -
.....	
Πίνακας 4.2. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό στο 2D και το 3D περιβάλλον.....	- 148 -
.....	
Σχήμα 4.18. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και τρισδιάστατου (3D) περιβάλλοντος.....	- 151 -
.....	
Πίνακας 4-3. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και τρισδιάστατου (3D) περιβάλλοντος.....	- 153 -
.....	
Σχήμα 4.19. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. ....	- 154 -
.....	
Σχήμα 4.20. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 2D (δυσδιάστατο περιβάλλον). ....	- 155 -
.....	
Σχήμα 4.21. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον). ....	- 155 -
.....	
Πίνακας 4.4. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό στο 2D και το REAL περιβάλλον.....	- 156 -
.....	
Σχήμα 4.22. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος.....	- 159 -
.....	
Πίνακας 4.5. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος.....	- 161 -
.....	

Σχήμα 4.22. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια .....	162 -
Σχήμα 4.23. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 3D (εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον). ....	163 -
Σχήμα 4.24. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον). .....	163 -
Πίνακας 4.6. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό στο 3D και το REAL περιβάλλον.....	164 -
Σχήμα 4.25. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τρισδιάστατου (3D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος.....	167 -
Πίνακας 4.7. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τρισδιάστατου (3D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος.....	169 -
Σχήμα 5.1. Ο α ρυθμός συμμετέχουσας με τιμή στα φυσιολογικά όρια (10 – 11 Hz) ενός υγιή ενήλικα για το ηλεκτρόδιο Fp2.....	177 -
Σχήμα 5.2. Άποψη του πραγματικού περιβάλλοντος.....	179 -
Σχήμα 5.3.α. Το περιβάλλον σχεδίασης του εικονικού κόσμου με επιλεγμένες τις θεάσεις: Top, Right και LeftViews.....	180 -
Σχήμα 5.3.β. Το περιβάλλον σχεδίασης του εικονικού κόσμου με επιλεγμένες τις θεάσεις: Top, , Left, Front, Perspective Views.....	180 -
Σχήμα 5.4. Ο εικονικός σταθμός εργασίας που παρατηρούσαν οι συμμετέχουσες. ....	181 -
Σχήμα 5.5. Εισαγωγή Cameras στο περιβάλλον σχεδίασης.....	181 -
Σχήμα 5.6. Το εικονικό περιβάλλον όπως το «βλέπει» ο αριστερός οφθαλμός (αριστερά) και ο δεξιός (δεξιά). ....	182 -
Σχήμα 5.7. Συμμετέχουσα με όλον το σχετικό εξοπλισμό για το εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον και το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας .....	185 -
Σχήμα 5.8. Περιβάλλον “Change” για την οπτικοχωρική διεργασία.....	186 -
Σχήμα 6.1. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια .....	188 -
Σχήμα 6.2. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον). .....	189 -
Σχήμα 6.3. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 2D (εικονικό – μη στερεοσκοπικό περιβάλλον). .....	190 -
Πίνακας 6.1. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και 2D.....	191 -



Σχήμα 6.4. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού μη – στερεοσκοπικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – 2D).....	194 -
Σχήμα 6.5. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια .....	201 -
Σχήμα 6.6. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον).....	202 -
Σχήμα 6.7. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 3D (εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον). .....	203 -
Πίνακας 6.2. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και 3D. -	204 -
Σχήμα 6.8. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – 3D). .....	207 -
Σχήμα 6.9. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια .....	214 -
Σχήμα 6.10. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 3D περιβάλλον. ....	215 -
Σχήμα 6.11. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 2D. ....	216 -
Πίνακας 6.3. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε 3D και 2D. ...	217 -
Σχήμα 6.12. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού μη – στερεοσκοπικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών 3D – 2D). .....	220 -
Σχήμα 6.13. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον).....	228 -
Σχήμα 6.14. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα CHANGE (πραγματικό περιβάλλον). .....	229 -
Πίνακας 6.4. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και CHANGE. ....	230 -
Σχήμα 6.15. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού μη – στερεοσκοπικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – CHANGE).....	233 -
Σχήμα 6.16. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 3D (εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον). ....	235 -
Σχήμα 6.17. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα CHANGE (εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον). ....	236 -
Πίνακας 6.5. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε 3D και CHANGE. ...	237 -
Σχήμα 6.18. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του 3D και του CHANGE περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών 3D – CHANGE).....	240 -
Σχήμα 6.19. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 2D (εικονικό μη - στερεοσκοπικό περιβάλλον). .....	242 -

Σχήμα 6.20. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα CHANGE (εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον). .....	- 243 -
Πίνακας 6.6. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε 2D και CHANGE. ... .....	- 244 -
Σχήμα 6.21. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του 2D και του CHANGE περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών 2D – CHANGE). .....	- 247 -
Σχήμα 7.1. Χρωματικοί χάρτες και στατιστικά σημαντικές διαφορές για τη σύγκριση των ανά δύο περιβαλλόντων στα πλαίσια της κύριας έρευνας. ....	- 258 -
Σχήμα 7.2. Στατιστικά σημαντικές διαφορές των ανά δύο περιβαλλόντων στα πλαίσια της κύριας έρευνας. ....	- 259 -
Σχήμα 1. Ορισμός της διαδρομής των αρχείων καταγραφής σε περιβάλλον Matlab 7.01.....	- 287 -
Σχήμα 2. Παράδειγμα αρχείου καταγραφής. ....	- 288 -
Σχήμα 3. Το αρχείο marker για ένα περιβάλλον καταγραφής.....	- 289 -
Σχήμα 4. Διαδικασία εντολής Trigger για τη συνένωση των καταγραφών. ....	- 290 -
Σχήμα 5. Επιλογή κατάλληλου marker για τη διαδικασία Trigger. ....	- 290 -
Σχήμα 6. Δημιουργία Trigger αρχείου για ένα περιβάλλον.....	- 291 -
Σχήμα 7. Δημιουργία αρχείου Trigger. ....	- 292 -
Σχήμα 8. Αρχείο Trigger. ....	- 292 -
Σχήμα 9. Επιλογή εντολής UnTrigger.....	- 293 -
Σχήμα 10. Το αρχείο καταγραφής UnTrigger.....	- 294 -
Σχήμα 11. Η επιλογή Cut Samples. ....	- 294 -
Πίνακας 1. Διαστήματα των αποσπασμάτων με επιλογή Sample τιμών. ....	- 295 -
Πίνακας 2. Διαστήματα των αποσπασμάτων με επιλογή δευτερολέπτων. ....	- 296 -
Σχήμα 12. Επιλογή των διαστημάτων αποσπασμάτων. ....	- 296 -
Σχήμα 13. Το Trial_01 για ένα περιβάλλον. ....	- 297 -
Σχήμα 14. Η εντολή Merge από την καρτέλα Transform.....	- 298 -
Σχήμα 15. Το παράθυρο Merge. ....	- 298 -
Σχήμα 16. Η εντολή Merge για τη δημιουργία του πρώτου αποσπάσματος της σύγκρισης των δύο περιβαλλόντων. ....	- 299 -

Σχήμα 17. Το αποτέλεσμα που προκύπτει ως απόσπασμα της σύγκρισης της πρώτης καταγραφής των δύο περιβαλλόντων. ....	300 -
Σχήμα 18. Η διαδικασία ένωσης (merge) των αρχείων σύγκρισης των δύο περιβαλλόντων. ....	301 -
Σχήμα 19. Παράδειγμα του αρχείου ALL_3D_vs_REAL_256.mat το οποίο περιέχει όλες τις καταγραφές για εικονικό και πραγματικό περιβάλλον για τις 14 συμμετέχουσες που τελικά έλαβαν μέρος στην πιλοτική έρευνα. ....	302 -
Σχήμα 20. Παράδειγμα του αρχείου ALL_3D_vs_REAL_256.mat το οποίο περιέχει όλες τις καταγραφές για εικονικό και πραγματικό περιβάλλον για τις 14 συμμετέχουσες που τελικά έλαβαν μέρος στην πιλοτική έρευνα. ....	303 -
Σχήμα 21. Γραφικές παραστάσεις των φασμάτων του αρχείου ALL_3D_vs_REAL_256.mat το οποίο περιέχει όλες τις καταγραφές για εικονικό και πραγματικό περιβάλλον. ....	304 -
Σχήμα II.1. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1. ....	307 -
Σχήμα II.2. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2. ....	308 -
Σχήμα II.3. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz. ....	308 -
Σχήμα II.4. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz. ....	309 -
Σχήμα II.5. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz. ....	309 -
Σχήμα II.6. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3. ....	310 -
Σχήμα II.7. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3. ....	310 -
Σχήμα II.8. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3. ....	311 -
Σχήμα II.9. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4. ....	311 -
Σχήμα II.10. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4. ....	312 -
Σχήμα II.11. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4. ....	312 -

























---

# Εισαγωγή

---

## Το αντικείμενο της έρευνας

Η στερεοσκοπία, η αίσθηση του βάθους, είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της εικονικής πραγματικότητας. Η στερεοσκοπική όραση φαίνεται να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της απόδοσης διεργασιών που αφορούν τρισδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα (Arsenault & Ware, 2004; IJsselsteijn et al., 1998).

Στα Εκπαιδευτικά Εικονικά Περιβάλλοντα, η στερεοσκοπία και η τρισδιάστατη αντίληψη φαίνεται να συνεισφέρουν στην εννοιολογική μάθηση και σε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα (Salzman et al., 1999). Η στερεοσκοπική όραση συμβάλλει θετικά στην αντίληψη της φυσικής σημαντικής μέσα στα εικονικά περιβάλλοντα (Thompson et al., 2004). Εμπειρικές μελέτες έχουν αποδείξει πως οι στερεοσκοπικές οπτικοποιήσεις βοηθούν τους μαθητές να επιτύχουν εννοιολογική κατανόηση στη Φυσική και τη Χημεία (Trindade et al. 2002; Wu et al., 2004). Η στερεοσκοπία σε εικονικά περιβάλλοντα εμπύθισης είναι ικανή να ενισχύσει τη μνήμη του μαθητή και να βελτιώσει την απόδοσή του σε πνευματικές λειτουργίες (Ragan et al., 2010).

Ένα αναπτυσσόμενο πεδίο ενδιαφέροντος είναι η μεθοδολογία και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της επίδρασης του παράγοντα της στερεοσκοπίας σε εικονικά περιβάλλοντα, όπως και σε εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα. Καθώς η στερεοσκοπία, τόσο στο πραγματικό όσο και στο εικονικό περιβάλλον, σχετίζεται με την αίσθηση της όρασης και αποτελεί μια νοητική διεργασία, προτείνεται στην παρούσα διατριβή ότι οι αντικειμενικές φυσιολογικές μετρήσεις, συνεπικουρούμενες ίσως και από υποκειμενικές, είναι απαραίτητες για την εκτίμηση της στερεοσκοπικής όρασης και τα αποτελέσματά της. Οι μελέτες του εγκεφάλου μπορεί να αποτελέσουν ένα μεθοδολογικό εργαλείο για την εκτίμηση της στερεοσκοπικής όρασης τόσο σε πραγματικά όσο και σε εικονικά περιβάλλοντα, όπως επίσης, και οι μετρήσεις των διαφορών της αντίληψης της στερεοσκοπίας σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

---

Σχετικά με την έρευνα στην εκπαίδευση, τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται ένα νέο πεδίο, αυτό της «εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης» (Howard-Jones, 2011). Σύμφωνα με αυτή, η μάθηση ορίζεται ως η διαδικασία της «δημιουργίας νευρωνικών διασυνδέσεων σε απόκριση εξωτερικών ερεθισμάτων» (Ferrari, 2011; Koizoumi et al., 2011).

Πρόσφατα δεδομένα από νευροφυσιολογικές μελέτες φωτίζουν βασικές πτυχές της επιστημονικής, τεχνολογικής, μηχανικής και μαθηματικής μάθησης (Kelly, 2011). Νευροαπεικονιστικές τεχνικές, όπως αυτή της Τομογραφίας Εκπομπής Ποζιτρονίων (PET) και οι Αιμοδυναμικές Καταγραφές μέσω Λειτουργικής Μαγνητικής Τομογραφίας (fMRI) έχουν επιβεβαιώσει ότι οι οπτικοποιήσεις ενισχύουν την οπτική αντίληψη, καθώς και το γεγονός ότι η οπτική επεξεργασία ενεργοποιεί τα δύο τρίτα του εγκεφάλου (Kosslyn, 2005).

Η παρούσα διατριβή προτείνει τη χρήση της ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (HEΓ) ως μια τεχνική υψηλής χρονικής ανάλυσης για τη συγκριτική μελέτη των επιδράσεων της στερεοσκοπίας στην εγκεφαλική λειτουργία τριών διαφορετικών περιβαλλόντων ίδιου περιεχομένου, ενός πραγματικού, ενός δυσδιάστατου και ενός τρισδιάστατου.

## **Διάρθρωση της διατριβής**

Η παρούσα διδακτορική διατριβή περιλαμβάνει, εκτός από την εισαγωγή (στην οποία, εκτός των άλλων, διατυπώνεται το ερευνητικό ερώτημα) και τα παραρτήματα, επτά βασικά κεφάλαια (σχήμα Α). Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 1, «Η Εικονική Πραγματικότητα στην Εκπαίδευση», γίνεται η περιγραφή του όρου της εικονικής πραγματικότητας, του όρου εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα, των τεχνολογιών της εικονικής πραγματικότητας, των μεθόδων εκτίμησης της εμπειρίας σε εικονικά περιβάλλοντα αναφέροντας στη συνέχεια τα μοναδικά χαρακτηριστικά των εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων, καθώς και τους λόγους για τους οποίους μπορεί να αξιοποιηθεί και αξιοποιείται η εικονική πραγματικότητα στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Στο Κεφάλαιο 2, «Οπτικό, νευρικό σύστημα και ηλεκτροεγκεφαλογραφία», περιγράφονται συνοπτικά τόσο το οπτικό όσο και το νευρικό σύστημα του ανθρώπου, τα συστήματα που συμβάλλουν στη δημιουργία της οπτικής αντίληψης, ενώ παρουσιάζεται και η δομή του εγκεφαλικού φλοιού. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, στην



περιγραφή του και σε στοιχεία, όπως είναι οι πηγές παρασίτων που επηρεάζουν ένα ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και άλλα στοιχεία τεχνικού τύπου. Παράλληλα, παρουσιάζονται οι ρυθμοί του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος, όπως αυτοί προκύπτουν από την ανάλυση Fourier των εγκεφαλικών σημάτων, γενικά και ειδικά, πάντοτε στα πλαίσια αυτών που αναλύονται στην παρούσα διατριβή. Το κεφάλαιο καταλήγει υπογραμμίζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνικής καταγραφής εγκεφαλικών σημάτων.

Στο Κεφάλαιο 3, «Νευροεπιστήμες, Εκπαίδευση και Εικονική Πραγματικότητα», γίνεται η εισαγωγή του σύγχρονου διεθνούς όρου «εκπαιδευτική νευροεπιστήμη» και τονίζεται η σημασία συσχετισμού των νευροεπιστημών και των θεωριών της μάθησης. Παρουσιάζεται βιβλιογραφική επισκόπηση στην οποία αναφέρονται ομοιότητες και διαφορές εγκεφαλικών λειτουργιών που λαμβάνουν χώρα κατά την αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τα εικονικά περιβάλλοντα και αφορούν στην επίδραση του παράγοντα της στερεοσκοπίας, καθώς και στη σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εκπαιδευτικά εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα. Το κεφάλαιο κλείνει με αναφορά στα προβλήματα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος στα εικονικά περιβάλλοντα και στην ταξινόμηση τους σε πηγές θορύβου φυσιολογικής ή μη προέλευσης.

Το Κεφάλαιο 4, «Πιλοτική Έρευνα», είναι ο προπομπός της κύριας έρευνας που οδηγεί σε κατευθυντήριες γραμμές για τη σχεδίαση και τη διεξαγωγή της κύριας έρευνας. Τέτοιες είναι, η σχεδίαση εικονικών περιβαλλόντων με εκπαιδευτικό περιεχόμενο, η επιλογή του λογισμικού δημιουργίας του εικονικού περιβάλλοντος και η βελτίωση της πειραματικής διαδικασίας ως προς τη διεξαγωγή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Επιπλέον, γίνεται περιγραφή των επιμέρους πειραματικών διεργασιών, της υλικοτεχνικής υποδομής καθώς και των μεθόδων επεξεργασίας που επιλέχθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων και την καταγραφή των αποτελεσμάτων σε μια προσπάθεια συσχέτισης αυτών με γνωστικές εγκεφαλικές λειτουργίες.

Το Κεφάλαιο 5, «Κύρια Έρευνα», είναι το κύριο μέρος της παρούσας διατριβής. Πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή του εικονικού περιβάλλοντος που αναπτύχθηκε ως αναπαράσταση του πραγματικού στα πλαίσια της έρευνας, της μεθοδολογίας που

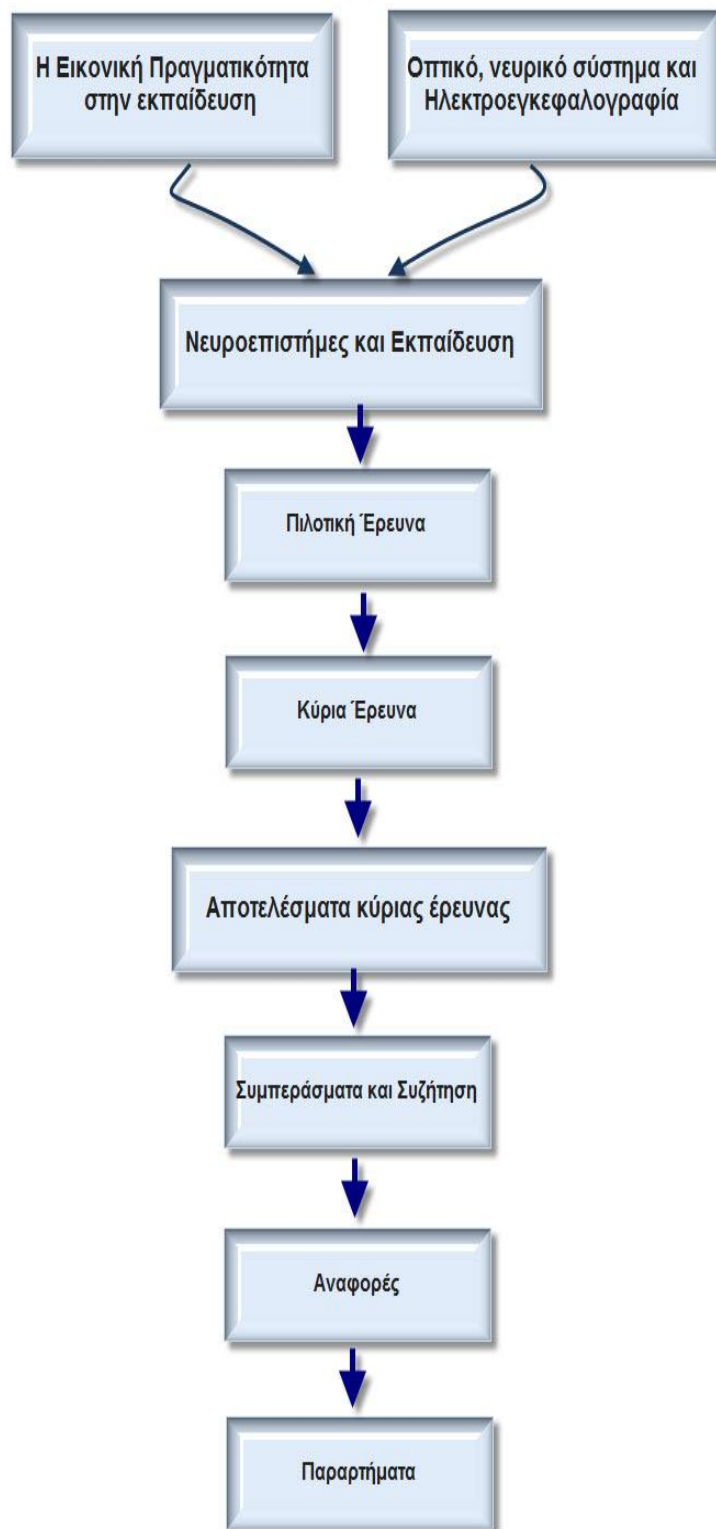
χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια καταγραφής καθώς και της επεξεργασίας των δεδομένων της καταγραφής.

Στο Κεφάλαιο 6, «Αποτελέσματα της κύριας έρευνας», παρουσιάζονται αναλυτικά τα ευρήματα της κύριας μελέτης, που περιγράφεται στο κεφάλαιο αυτό. Η παρουσίαση και ο σχολιασμός των ευρημάτων έχει γίνει σε αντιστοιχία με τους ερευνητικούς άξονες και με ταυτόχρονη στατιστική ανάλυση και σχολιασμό των αποτελεσμάτων τους.

Στο Κεφάλαιο 7, «Συμπεράσματα και Συζήτηση», γίνεται προσπάθεια να ενοποιηθούν οι παρατηρήσεις από τις επιμέρους πειραματικές διεργασίες και να διατυπωθούν γενικότερα συμπεράσματα. Στο ίδιο κεφάλαιο προτείνονται περαιτέρω έρευνες, συμπεριλαμβάνονται προβληματισμοί, παραδοχές και σημεία που παρέμειναν αδιευκρίνιστα κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας. Επιπλέον, υποδεικνύονται ζητήματα και ερωτήματα που σχετίζονται θεματικά με το αντικείμενο της διατριβής και τα οποία αποτελούν ανοιχτά ερευνητικά ζητήματα.

Η διδακτορική διατριβή ολοκληρώνεται με τις βιβλιογραφικές αναφορές και τα Παραρτήματα I II και III. Στο Παράτημα I, παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία καταγραφής και ανάλυσης των δεδομένων που παρήχθησαν από τον ψηφιακό ηλεκτροεγκεφαλογράφο. Στα Παράτημα II και III παρουσιάζονται τα φάσματα απόλυτης ισχύος εγκεφαλικών ρυθμών για κάθε θέση ηλεκτροδίου και για κάθε σύγκριση των ανά δύο περιβαλλόντων τόσο της πιλοτικής μελέτης όσο και της κύριας έρευνας αντίστοιχα.

Στο σχήμα A παρουσιάζεται σε σχηματική μορφή η διάρθρωση των βασικών κεφαλαίων της διατριβής.



Σχήμα Α. Σχηματική διάρθρωση της διατριβής.

## **Η συμβολή της διατριβής**

Η παρούσα διατριβή συμβάλλει στη μελέτη της εγκεφαλικής λειτουργίας κατά τη διάρκεια αλληλεπίδρασης γυναικών με εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα εκπαιδευτικού περιεχομένου. Η συμβολή της εντοπίζεται στην έρευνα για το σχεδιασμό πληροφορικών εκπαιδευτικών περιβαλλόντων που συνεισφέρουν στην εστίαση της προσοχής, στη συγκέντρωση, στο μικρότερο δυνατό νοητικό φόρτο, στην επιλεκτική προσοχή, στην αντίληψη και αναγνώριση αντικειμένων και στην επίδραση σε συναισθηματικές καταστάσεις.

Επιπρόσθετα, η διατριβή αυτή συμβάλλει στο νέο επιστημονικό πεδίο της εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης, αφού παρέχει τα πρώτα διεθνώς πειραματικά δεδομένα για τις εγκεφαλικές λειτουργίες σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα.

Τα στερεοσκοπικά τρισδιάστατα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα φαίνεται να προσεγγίζουν τα πραγματικά σε ότι αφορά τη γνωστική επεξεργασία που προκαλούν. Τα στερεοσκοπικά τρισδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα ενισχύουν την προσοχή των χρηστών έναντι των δυσδιάστατων και προκαλούν λιγότερο γνωστικό φόρτο και άγχος έναντι των δυσδιάστατων ΕΕΠ. Η ανάπτυξη και η χρήση των στερεοσκοπικών τρισδιάστατων εικονικών περιβαλλόντων συνίσταται σε εκπαιδευτικούς σκοπούς, καθώς φαίνεται να προσεγγίζει τα πραγματικά περιβάλλοντα σε ό,τι αφορά τη γνωστική επεξεργασία που προκαλούν.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή προτείνει την ανάπτυξη εκπαιδευτικών παρεμβάσεων με μαθησιακά οφέλη μέσω των εικονικών περιβαλλόντων και τη χρήση στερεοσκοπικών τρισδιάστατων εικονικών περιβαλλόντων.

---

# 1 Η Εικονική Πραγματικότητα στην Εκπαίδευση

---

## 1.1 Εισαγωγή

Η εικονική πραγματικότητα (ΕΠ)<sup>1</sup>, περιγράφεται ως το σύνολο των τεχνολογιών που υποστηρίζουν τη δημιουργία συνθετικών, υψηλά αλληλεπιδραστικών τρισδιάστατων περιβαλλόντων, που αναπαριστούν πραγματικές ή μη καταστάσεις (Mikropoulos & Bellou, 2006). Ο όρος «εικονική πραγματικότητα» έχει επικρατήσει και χρησιμοποιείται από ολόκληρο σχεδόν το φάσμα εφαρμογής της, αποτελεί ελληνική απόδοση του όρου "virtual reality", ο οποίος έχει ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογής, όπως στον επιστημονικό, στον καλλιτεχνικό ακόμη και στον ευρύτερο κοινωνικό τομέα. Τα τελευταία χρόνια ο όρος «εικονική πραγματικότητα» χρησιμοποιείται, με μεταφορική έννοια, σε εκφάνσεις της καθημερινότητας για να προσδιορίσει καταστάσεις μη υπαρκτές ακόμη και ανέφικτες, που βιώνει κάποιος ως πραγματικές. Για πρώτη φορά ο όρος ΕΠ χρησιμοποιήθηκε από τον Jarn Lamier το 1989 ως «ένα αλληλεπιδραστικό τρισδιάστατο περιβάλλον υλοποιημένο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, στο οποίο ο χρήστης μπορεί να εμβυθιστεί σε αυτό».

Η ΕΠ επέτρεψε να ξεπεραστεί ο κλασικός τρόπος διεπαφής ανθρώπου – υπολογιστή, όπως το ποντίκι και το πληκτρολόγιο και κατάφερε να «εισάγει» τον χρήστη σε έναν «άλλο κόσμο» ώστε να βιώσει, μέσα από ένα τρισδιάστατο τεχνητό περιβάλλον, καταστάσεις που αλλιώς δεν θα είχε τη δυνατότητα να βιώσει. Αποτελεί ένα «μωσαϊκό τεχνολογιών» με στόχο την παρουσία και την αλληλεπίδραση του χρήστη σε πραγματικό χρόνο, με τρισδιάστατα συνθετικά περιβάλλοντα που αναπαριστούν πραγματικές ή μη καταστάσεις. Η αίσθηση του πρώτου προσώπου, η ελευθερία στην πλοήγηση και η αλληλεπίδραση είναι ουσιαστικές για να χαρακτηριστεί ένα υπολογιστικό περιβάλλον ως εικονικό. Αν το εικονικό περιβάλλον έχει σκοπό να εκπαιδεύσει το χρήστη καλείται εκπαιδευτικό εικονικό περιβάλλον.

---

<sup>1</sup> Αντί του όρου «εικονική πραγματικότητα» θα χρησιμοποιείται η σύντμηση ΕΠ.

---

Ένα Εκπαιδευτικό Εικονικό Περιβάλλον<sup>2</sup> ορίζεται ως ένα εικονικό περιβάλλον που περιλαμβάνει ή υποδεικνύει εκπαιδευτικούς στόχους, παρέχει στους χρήστες εμπειρίες αδύνατες ή απίθανες να βιώσουν στον πραγματικό κόσμο και οδηγεί σε συγκεκριμένα μαθησιακά αποτελέσματα. Για την επίτευξη των στόχων των ΕΕΠ, δεν αρκούν τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ΕΠ. Καμία τεχνολογία δεν περιέχει εγγενή παιδαγωγικά χαρακτηριστικά. Οι ιδιότητες που προκύπτουν από τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά και η παιδαγωγική αξιοποίησή τους είναι τα στοιχεία που οικοδομούν τη γνώση (Mikropoulos & Bellou, 2006).

Η ΕΠ μπορεί να αξιοποιηθεί παιδαγωγικά, μέσω των μοναδικών τεχνολογικών χαρακτηριστικών της, όπως:

- Οι τρισδιάστατες χωρικές αναπαραστάσεις, εικονικά περιβάλλοντα
- Τα πολυαισθητηριακά κανάλια αλληλεπίδρασης
- Η διαισθητική αλληλεπίδραση με φυσικούς χειρισμούς σε πραγματικό χρόνο
- Η εμπύθιση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον.

Τα μοναδικά χαρακτηριστικά που αναδεικνύουν την ΕΠ ως ένα πολλά υποσχόμενο και ισχυρό εκπαιδευτικό εργαλείο είναι η εμπειρία πρώτου προσώπου, η φυσική σημαντική, το μέγεθος, η μεταγωγή, η πραγμάτωση, η αυτονομία και η παρουσία. Χαρακτηριστική ιδιότητα της ΕΠ είναι η αίσθηση της παρουσίας, της ψευδαίσθησης της ύπαρξης του χρήστη μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον (sense of being there) (Slater & Usoh, 1995).

Ως σύστημα εμπύθισης περιγράφεται ένα σύστημα ΕΠ στο οποίο το εικονικό περιβάλλον προβάλλεται σε ειδικές συσκευές όπως είναι το κράνος, τα γυαλιά ή σε ένα προβολικό σύστημα. Χαρακτηριστικό στοιχείο αποτελεί η απουσία συμβατικής οθόνης, με αποτέλεσμα την αποκοπή του χρήστη από τον πραγματικό κόσμο και την εμπύθισή του στο ΕΠ. Ο Slater (2003), όρισε την έννοια της εμπύθισης ως «το αντικειμενικό επίπεδο πιστότητας των αισθητήριων ερεθισμάτων που παράγει ένα σύστημα ΕΠ». Με άλλα λόγια η εμπύθιση εξαρτάται μόνο από την τεχνολογία η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή εικονικών περιβαλλόντων και δε σχετίζεται απαραίτητα με την εμπειρία του χρήστη σε εικονικά

---

<sup>2</sup> Αντί του όρου «εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα» θα χρησιμοποιείται η σύντμηση ΕΕΠ.

περιβάλλοντα. Το γενικό επίπεδο εμπύθισης αποτελείται από πολλά συστατικά, όπως το οπτικό πεδίο, η ανάλυση, και η στερεοσκοπία (Bowman & McMahan, 2007).

Σε ένα σύστημα εμπύθισης τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των τρισδιάστατων χωρικών αναπαραστάσεων, τα πολυαισθητηριακά κανάλια αλληλεπίδρασης και η διαισθητική αλληλεπίδραση με φυσικούς χειρισμούς σε πραγματικό χρόνο διαδραματίζουν σημαντικότερο ρόλο απ' ό τι στα επιτραπέζια συστήματα, αφού προσφέρουν περισσότερες επιλογές στις περιφερειακές συσκευές εισόδου – εξόδου και στους τρόπους αλληλεπίδρασης χρήστη – περιβάλλοντος (Mikropoulos & Bellou, 2006).

## 1.2 Συστήματα εικονικής πραγματικότητας

Ένα σύστημα ΕΠ αποτελείται από τον υπολογιστή και τις περιφερειακές συσκευές του, ενώ το αποτέλεσμα που παράγεται από ένα σύστημα ΕΠ είναι το εικονικό περιβάλλον. Αποτελείται από:

- Το υλικό (hardware), που χρησιμοποιείται για την καταγραφή της τρέχουσας κατάστασης του χρήστη, για παράδειγμα τη θέση του στο χώρο, τις κινήσεις των χεριών και της κεφαλής, την ομιλία για τη μετάδοση κατάλληλων ερεθισμάτων στις κύριες αισθήσεις του (όραση, ακοή και αφή).
- Το λογισμικό (software) που περιλαμβάνει το ίδιο το ΕΠ αλλά και τα τμήματα διεπαφής του με το περιβάλλον.

Με βάση την τεχνολογία προτείνεται η κατηγοριοποίηση που χρησιμοποιείται για την προβολή του τρισδιάστατου ΕΠ σε επιτραπέζια ή επιτραπέζια με στοιχεία εμπύθισης και συστήματα εμπύθισης. Ο Στρουμπούλης περιγράφει αναλυτικά την κατηγοριοποίηση συστημάτων ΕΠ, ως εξής (Στρουμπούλης, 2005):

- **Επιτραπέζια συστήματα εικονικής πραγματικότητας** (non-immersive, or desktop virtual reality), τα οποία βασίζονται σε προσωπικούς υπολογιστές, σε μια οθόνη που αποτελεί ένα «παράθυρο» στον εικονικό κόσμο και σε απλά (ποντίκι, πληκτρολόγιο) ή εξειδικευμένα περιφερειακά πλοήγησης (στερεοσκοπικά γυαλιά ή space mouse).
- **Ημι-εμβυθιζόμενα συστήματα εικονικής πραγματικότητας** (semi-immersive virtual environments), όπου η προβολή του συνθετικού περιβάλλοντος γίνεται συνήθως σε

μια μεγάλη καμπύλη οθόνη (με οπτικό πεδίο περίπου 130°) που παρέχει στους χρήστες ήπια μορφή εμβύθισης με περιορισμένη αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον. Ωστόσο, παρέχουν υψηλή ποιότητα γραφικών και ταυτόχρονη συμμετοχή πολλών προσώπων.

- **Πλήρως εμβυθιζόμενα περιβάλλοντα** (fully immersive virtual environments). Αποτελούνται από αρκετές περιφερειακές συσκευές που παρέχουν στο χρήστη αισθητηριακά δεδομένα (π.χ. κράνη εμβύθισης, Head Mounted Display's) και συσκευές καταγραφής της δράσης του χρήστη (π.χ. γάντια δεδομένων). Η κίνηση του χρήστη ακολουθείται από το εικονικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ισχυρής αίσθησης της παρουσίας. Σε ένα πλήρες εμβυθιζόμενο περιβάλλον οι χρήστες είναι πλήρως απομονωμένοι από το φυσικό κόσμο.
- **Επαυξημένη ή μεικτή πραγματικότητα** (augmented or mixed reality). Το περιβάλλον που δημιουργείται προκύπτει από τη σύνθεση και το συνδυασμό της πραγματικής σκηνής που βλέπει ο χρήστης και μιας εικονικής που παράγεται από τον υπολογιστή. Η επαυξημένη πραγματικότητα περισσότερο συμπληρώνει την πραγματικότητα παρά την αντικαθιστά με ένα εικονικό περιβάλλον. Το εικονικό περιβάλλον προβάλλεται πάνω στο πραγματικό, από το οποίο δεν αποκόπτεται ο χρήστης, με συσκευές που βοηθούν στην παραγωγή του σύνθετου περιβάλλοντος, όπως είναι ένα κράνος εμβύθισης και μια κάμερα με τα οποία ο χρήστης παρατηρεί ταυτόχρονα τον πραγματικό και εικονικό κόσμο.
- **Συνεργατικά περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας**, (MUVES, multi – user, virtual environments). Είναι διαμοιραζόμενοι εικονικοί κόσμοι μέσω ενός δικτύου υπολογιστών στους οποίους μπορούν να συμμετέχουν χρήστες. Οι χρήστες αλληλεπιδρούν με το περιεχόμενο του MUVES δια μέσω των εικονικών εκπροσώπων (avatars) και επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας διάφορα μέσα συμπεριλαμβανομένου του ήχου και του κειμένου.

### 1.3 Περιφερειακές συσκευές

Για την αίσθηση της εμβύθισης σε ένα ΕΠ καθώς και την αλληλεπίδραση του χρήστη με αυτό απαιτούνται συσκευές με τον κατάλληλο τεχνολογικό εξοπλισμό που διακρίνονται σε συσκευές εισόδου και εξόδου.



### 1.3.1 Συσκευές εισόδου

Είναι οι συσκευές που προσδιορίζουν τις φυσικές παραμέτρους του χρήστη, όπως είναι η οπτική γωνία παρατήρησης ενός εικονικού περιβάλλοντος, η θέση του σε αυτό, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν τις απαραίτητες εντολές από το χρήστη κατά την πλοήγησή του στο εικονικό περιβάλλον. Είναι συσκευές αλληλεπίδρασης μιας και αυτές επιτρέπουν, για παράδειγμα, το πιάσιμο αντικειμένων και τη τοποθέτησή τους στο εικονικό περιβάλλον, το πάτημα ενός πλήκτρου για την εκτέλεση μιας εντολής κ.α.

Οι πιο σημαντικές συσκευές εισόδου είναι:

**α) Δυσδιάστατες συσκευές**, όπως το ποντίκι, το πληκτρολόγιο και το joystick, με ευρεία χρήση στο χειρισμό ηλεκτρονικών παιχνιδιών

**β) Συσκευές πλοήγησης:**

- **Τρισδιάστατο ποντίκι (3D mouse)**, με έξι βαθμούς ελευθερίας<sup>3</sup> που επιτρέπει στο χρήστη να πλοηγείται και στις τρεις διαστάσεις με ταυτόχρονη περιστροφή ως προς τους άξονες (σχήμα 1.1)



Σχήμα 1.1. Το 3D mouse.

- **Σφαίρα πλοήγησης (Space Ball)**. Χρησιμοποιείται για την εισαγωγή τρισδιάστατων δεδομένων και την πλοήγηση και τον προσανατολισμό σε ένα εικονικό περιβάλλον (σχήμα 1.2)

---

<sup>3</sup> Ο αριθμός των συντεταγμένων που απαιτούνται για να καθοριστεί η "θέση" ενός συστήματος ενός ή περισσότερων σωμάτων σε κάποιο χώρο, λέγεται αριθμός των βαθμών ελευθερίας του συστήματος.



Σχήμα 1.2. Το Space Ball.

- **Χειριστήριο ΕΠ (VR Controller)**, που σε αντιδιαστολή με ένα απλό joystick επιτρέπει στο χρήστη να πλοηγηθεί με έξι βαθμούς ελευθερίας (σχήμα 1.3)



Σχήμα 1.3. Το 3D Controller.

- **Γάντια δεδομένων (Data Glove) και συσκευή εξωσκελετού**, που παρέχουν την δυνατότητα στο χρήστη να ελέγχει τη θέση και την κίνηση του χεριού και των δακτύλων του. Οι συσκευές αυτές υπάρχει η περίπτωση να περιλαμβάνουν μηχανισμούς ανάδρασης, πίεσης και δύναμης στο χρήστη (σχήμα 1.4)



Σχήμα 1.4. Γάντι δεδομένων (αριστερά) και εξωσκελετός (δεξιά).

- **Στολή δεδομένων (DataSuit).** Ο χρήστης φορώντας τη στολή αυτή, η οποία διαθέτει αισθητήρες στις κυριότερες αρθρώσεις του σώματός του, έχει τη δυνατότητα να παρέχει δεδομένα για την κίνηση ολόκληρου του σώματός του, να κάνει γραφική αναπαράσταση και να αλληλεπιδράσει με το εικονικό περιβάλλον (σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5. Η στολή δεδομένων, DataSuit.

**γ) Συσσκευές ανίχνευσης κίνησης (motion trackers)**

- **Συσσκευές ανίχνευσης της κίνησης της κεφαλής (Head Trackers)**, που παρακολουθούν την κίνηση της κεφαλής, την περιστροφή ή τον προσανατολισμό της με ειδικούς αισθητήρες, με αποτέλεσμα να εναλλάσσουν και να τροποποιούν κατάλληλα την προβαλλόμενη σκηνή αλλάζοντας την οπτική γωνία του χρήστη (σχήμα 1.6). Ένα ιδανικό σύστημα θα πρέπει να διαθέτει άπειρη ανάλυση και μηδενική καθυστέρηση για την αποφυγή φαινομένων ναυτίας και αποπροσανατολισμού



Σχήμα 1.6. Head Tracker.

- **Συσσκευές ανίχνευσης κίνησης της κόρης του οφθαλμού (Eye Trackers)**, οι οποίες αυξάνουν το επίπεδο ρεαλιστικότητας μιας προβολής, εναλλάσσοντας εικόνες κατά την αλλαγή της θέσης της κόρης του οφθαλμού. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες και στην περίπτωση των αντικειμενικών μετρήσεων (ενότητα 1.4.2), όπως π.χ. στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα για την αποφυγή των παρασίτων (ενότητες 3.6 και 3.6.7), ενώ παρέχουν τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων σχετικά με την προσοχή, την έκπληξη, την κούραση ή και άλλων φυσιολογικών παραγόντων. Συχνά, οι συσκευές αυτές συνεπικουρούνται και από άλλες όπως στερεοσκοπικά γυαλιά και κράνη ΕΠ (σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.7. Eye Tracker.

### 1.3.2 Συσκευές εξόδου

Είναι οι συσκευές που παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες στα αισθητήρια όργανα ενός χρήστη ΕΠ. Κυρίαρχες αισθήσεις είναι η όραση και η ακοή και τα περισσότερα συστήματα στοχεύουν σε αυτές κυρίως τις αισθητήριες διόδους. Είναι υπεύθυνες για την παρουσίαση του εικονικού περιβάλλοντος στο χρήστη και απαραίτητες για τη δημιουργία της αίσθησης εμπύθισης.

Ορισμένες συσκευές εξόδου είναι:

- **Τα οπτικά κράνη ΕΠ (Head Mounted Displays – HMDs)** που απομονώνουν την οπτική επαφή με τον πραγματικό κόσμο (σχήμα 1.8). Διαθέτουν δυο μικροσκοπικές στερεοσκοπικές οθόνες (μια για κάθε μάτι), που προβάλλουν το εικονικό περιβάλλον. Όταν συνοδεύεται από ανίχνευση κίνησης ο χρήστης μπορεί να εξερευνήσει το εικονικό περιβάλλον, αλλάζοντας οπτικές γωνίες, περιστρέφοντας ελεύθερα την κεφαλή του προς διάφορες κατευθύνσεις



Σχήμα 1.8. Κράνος εικονικής πραγματικότητας.

- **Τα στερεοσκοπικά γυαλιά.** Χρησιμοποιούν ειδικές οθόνες τύπου LCD και αποτελούν προσιτή λύση για στερεοσκοπική απεικόνιση. Μέσω των γυαλιών αυτών, ο χρήστης βλέπει εναλλάξ στο αριστερό και στο δεξί του μάτι, σκηνές από το εικονικό περιβάλλον, όπως ακριβώς δημιουργεί εικόνες στον άνθρωπο η διοφθαλμια διαφορά των έξι μοιρών (ενότητα 3.2.1). Αυτό επιτυγχάνεται με το άνοιγμα και κλείσιμο του αντίστοιχου φακού, σε πολύ υψηλές συχνότητες. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας αρκετά ρεαλιστικής τρισδιάστατης απεικόνισης, χωρίς να γίνεται αντιληπτή αυτή η εναλλαγή (σχήμα 1.9).



Σχήμα 1.9. Στερεοσκοπικά γυαλιά.

- **Η κατευθυντική διοπτρική οθόνη** (Binocular Omni-directional monitor – BOOM): όπου οι οθόνες και το οπτικό σύστημα τοποθετούνται σ' ένα κουτί το οποίο τοποθετείται σ' ένα βραχίονα πολλαπλών συνδέσμων (σχήμα 1.10). Ο χρήστης βλέπει το εικονικό περιβάλλον κοιτώντας μέσα από δύο τρύπες που υπάρχουν στο κουτί καθοδηγώντας το σε οποιαδήποτε θέση μέσα στο εύρος λειτουργίας της

συσκευής. Οι αισθητήρες κίνησης βρίσκονται στους συνδέσμους του βραχίονα που κρατάει το κουτί και παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες στο χρήστη. Είναι ιδανική μέθοδος για εφαρμογές όπου χρειάζεται εναλλαγή μεταξύ κατάστασης εμπύθισης και μη εμπύθισης.



Σχήμα 1.10. Η συσκευή BOOM.

- **Το σύστημα CAVE** επιτρέπει έναν υψηλό βαθμό εμπύθισης λόγω της υψηλής ανάλυσης των προβολών καθώς και των μεγάλων διαστάσεών του. Πρόκειται για ένα δωμάτιο σε σχήμα κύβου, του οποίου οι τοίχοι είναι οθόνες προβολής. Τέσσερις συσκευές προβολής (projectors), υψηλής ανάλυσης, προβάλλουν στις τρεις συνεχόμενες κατακόρυφες οθόνες και στο δάπεδο του δωματίου, το εικονικό περιβάλλον. Ο χρήστης δύναται να περπατήσει ελεύθερα, φορώντας στερεοσκοπικά γυαλιά. Αισθητήρες των κινήσεων του κεφαλιού προσαρμόζουν όσο το δυνατό καλύτερα την στερεοσκοπική προβολή στην τρέχουσα θέση του ατόμου.
- Ο **θόλος** με τη δυνατότητά του να προβάλλει στην ημισφαιρική επιφάνεια προβολής, κλίσης 23 μοιρών, αποτελεί μια υποδομή ΕΠ μεγάλης κλίμακας. Ο βασικός μηχανισμός δημιουργίας και προβολής είναι ισχυρές συστοιχίες ηλεκτρονικών υπολογιστών και προβολικών συστημάτων (projectors).

## **1.4 Μετρήσεις σε εικονικά περιβάλλοντα**

Οι προσπάθειες εκτίμησης της εμπειρίας που βιώνει ο χρήστης των εικονικών περιβαλλόντων αφορούν σε μετρήσεις των επιμέρους χαρακτηριστικών τους. Γενικότερα, οι μετρήσεις σε εικονικά περιβάλλοντα διακρίνονται σε υποκειμενικές και αντικειμενικές και εκτίθενται παρακάτω.

### **1.4.1 Υποκειμενικές μετρήσεις**

Οι υποκειμενικές μετρήσεις κυρίως βασίζονται στις αυτό-αξιολογήσεις των χρηστών, με τη συμπλήρωση ερωτηματολογίου, κυρίως μετά, αλλά αρκετές φορές και πριν την εμπειρία σε ένα ΕΠ.

Το ερωτηματολόγιο χρησιμοποιείται:

- για την αντίληψη της παρουσίας, της αίσθησης δηλαδή του χρήστη ότι «βρίσκεται εκεί», συμμετέχει σε ένα ΕΠ
- για το βαθμό στον οποίο ένα ΕΠ γίνεται αντιληπτό ως «πιο πραγματικό» από το πραγματικό περιβάλλον
- για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με πιθανά μαθησιακά οφέλη μιας δραστηριότητας βασισμένα σε ένα ΕΠ
- για την εκτίμηση της αλληλεπίδρασης του χρήστη ή των χρηστών μέσα σε ένα ΕΠ.

Έχουν δημοσιευθεί πολλές έρευνες σχετικά με ΕΕΠ η αξιολόγησή των οποίων προέκυψε από υποκειμενικές μετρήσεις και αναφέρουν θετικά ή μη μαθησιακά αποτελέσματα καθώς και την αίσθηση της παρουσίας στο ΕΠ. Για παράδειγμα, οι Mikropoulos & Strouboulis (2004) δημιούργησαν ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον για τη μελέτη της αίσθησης της παρουσίας σε μαθητές 12 ετών εκτελώντας δραστηριότητες μέσα σε ένα εικονικό αρχαιοελληνικό σπίτι. Τα μαθησιακά αποτελέσματα σχετικά με τον τρόπο ζωής των αρχαίων Ελλήνων ήταν θετικά όπως και η δήλωση των συμμετεχόντων για αυξημένη αίσθηση της παρουσίας.

Στο ΣΕΙΣΜΟ (Mikropoulos et al., 2005), στόχος είναι η εκπαίδευση μαθητών σε θέματα προφύλαξης από σεισμό, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μεταφορά μάθησης στον πραγματικό κόσμο μέσω ενός προκατασκευασμένου εικονικού περιβάλλοντος. Η



αξιολόγηση 51 φοιτητών κατέδειξε ότι η αίσθηση της παρουσίας εξαρτάται από την απόδοση του περιεχομένου των ΕΠ και από τον εμπλουτισμό τους και με εξωτερικά αισθητήρια ερεθίσματα.

Το Cell Exploration μελετά τη συνεισφορά της απτικής ανατροφοδότησης σε ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον για τη λειτουργία ενός ζωικού κυττάρου στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Minogue et al., 2006). Από την αξιολόγηση προέκυψε ότι το εικονικό περιβάλλον είχε θετικά αποτελέσματα και ότι οι μαθητές απέκτησαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το θέμα των κυττάρων. Η απτική ανατροφοδότηση βοήθησε στην πλοήγηση στο εικονικό περιβάλλον, όχι όμως στα μαθησιακά αποτελέσματα.

Το προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον Quantum Atom (Kontogeorgiou et al., 2007) έχει ως στόχο να βοηθήσει μαθητές στην κατανόηση αρχών της Κβαντικής Μηχανικής και στη δημιουργία κατάλληλων νοητικών εικόνων των ατομικών μοντέλων. Η αξιολόγηση έδειξε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα.

Η ένταξη ενός ηλεκτρονικού παιχνιδιού στο μάθημα της Γεωγραφίας σε μαθητές δημοτικού από τον Tüzün και τους συνεργάτες του (Tüzün et al., 2009), επέδρασε θετικά στη μάθηση και αποτέλεσε κίνητρο για θετική στάση τόσο των μαθητών όσο και των εκπαιδευτικών, προτείνοντας ότι ένα παιχνίδι βασισμένο σε υπολογιστή μπορεί να θεωρηθεί ως εργαλείο των Τεχνολογιών και της Πληροφορίας στην Εκπαίδευση (ΤΠΕ) και να συνεισφέρει σε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα στο μάθημα της Γεωγραφίας.

Ωστόσο, αρκετοί ερευνητές αντιμετωπίζουν με σκεπτικισμό τις υποκειμενικές μετρήσεις, καθώς θεωρούν ότι οι χρήστες ενός ΕΠ ευρισκόμενοι στον πραγματικό κόσμο είναι σχεδόν απίθανο να αναφέρουν ότι αισθάνονται παρόντες μέσα στον εικονικό. Πιθανότατα αναφέρονται στην αίσθηση ότι «βρίσκονται εκεί», που προσεγγίζει το τι θα αισθάνονταν εάν ήταν πραγματικά εκεί (Freeman et al., 1999).

Γενικά πραγματοποιείται ένας μεγάλος αριθμός ερευνών σχετικά με τα ΕΕΠ, οι οποίες στηρίζονται σε υποκειμενικές μετρήσεις σε αντιδιαστολή με τις έρευνες που κάνουν χρήση αντικειμενικών μετρήσεων. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η τάση για μέτρηση με αντικειμενικές μεθόδους του ποσοστού της παρουσίας που φαίνεται να βιώνει ένας

χρήστης. Οι υποκειμενικές μετρήσεις θα συμβάλουν με τον τρόπο αυτό επικουρικά και θα επιβεβαιώσουν τις αντικειμενικές (Τζίμας, 2010).

#### **1.4.2 Αντικειμενικές μετρήσεις**

Οι αντικειμενικές μετρήσεις σχετίζονται με εσωτερικές, φυσιολογικές μετρήσεις των χρηστών ή με εξωτερικές παρατηρήσεις της συμπεριφοράς των χρηστών σε ανταποκρίσεις του εικονικού περιβάλλοντος και στηρίζονται στην προσέγγιση του συμπεριφοριστικού ρεαλισμού (behavioral realism), θεωρώντας πως, όταν μια κατάσταση σε ένα εικονικό περιβάλλον προσομοιάσει αρκετά πιστά μια αντίστοιχη πραγματική, τότε ο παρατηρητής μπορεί να αντιδράσει με παρόμοιο τρόπο, όπως στο πραγματικό περιβάλλον. Ο Στρουμπούλης αναφέρει το γεγονός της εμπειρίας των ανθρώπων από απαντήσεις που προκύπτουν από ερεθίσματα στο πραγματικό περιβάλλον και συμπεραίνει ότι φαίνεται εξίσου λογικό το ίδιο ερέθισμα να μπορεί να παράγει τις ίδιες απαντήσεις σε ένα εικονικό περιβάλλον. Βασισμένες σε αυτήν την αρχή, έχουν διατυπωθεί μια ποικιλία από αντικειμενικές μετρήσεις που μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες (Στρουμπούλης, 2005):

1) **Αντανεκλαστικές απαντήσεις**, όπως, λόγου χάρη, η ενέργεια για την αποφυγή κάποιου αντικειμένου, το απότομο τράβηγμα από φόβο ή πόνο, οι κινήσεις για το πιάσιμο ενός εικονικού αντικειμένου, ο χαιρετισμός άλλων εικονικών ανθρώπων, οι απαντήσεις προσανατολισμού και η αποφυγή εικονικών κινδύνων. Τέτοιου είδους συμπεριφοριστικές μετρήσεις είναι περισσότερο χρήσιμες, όταν είναι καλά προσαρμοσμένες στις εμπειρίες που οι συμμετέχοντες αναμένεται να έχουν στο εικονικό περιβάλλον

2) **Αλλαγές στη συμπεριφορά** του χρήστη όπως είναι ο χρόνος αντίδρασης, ο ρυθμός επιτυχιών και γενικά η παρατήρηση στις αλλαγές της στάσης του χρήστη κατά τη διάρκεια της εμπειρίας τους στο εικονικό περιβάλλον. Οι μετρήσεις αυτές στοχεύουν στη μελέτη της αλλαγής συμπεριφοράς ενός υποκειμένου σε διάφορα απτικά, κινητικά, οπτικά ή λεκτικά ερεθίσματα του περιβάλλοντος

3) **Απαντήσεις κοινωνικού περιεχομένου**, στις οποίες οι χρήστες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω ενός πλούσιου ρεπερτορίου κοινωνικών συμπεριφορών, λεκτικών ή μη, οι περισσότερες από τις οποίες εμφανίζονται ασυνείδητα. Τέτοιες μπορεί να είναι οι

εκφράσεις προσώπου, οι χειρονομίες, οι μετακινήσεις του σώματος, φωνητικές και λεκτικές εκφράσεις, η αναγνώριση άμεσα του άτομου με το οποίο επικοινωνούμε ενισχύοντας με αυτό τον τρόπο τον ρεαλισμό της αλληλεπίδρασης και την αύξηση της συμμετοχής των χρηστών

4) **Φυσιολογικές μετρήσεις.** Θεωρούνται τυπικά αντικειμενικές από τη φύση τους, παράγονται αυθόρμητα, χωρίς συνειδητή συζήτηση και το σημαντικότερο, παράλληλα με την εμπειρία του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον. Ελαχιστοποιείται με αυτό τον τρόπο η πιθανότητα οι συμμετέχοντες να χρησιμοποιήσουν την κριτική τους σκέψη για να περιγράψουν μια ανάμνηση του πειράματος, όπως κατά κανόνα συμβαίνει στις υποκειμενικές μεθόδους.

Μέθοδοι αντικειμενικών μετρήσεων είναι:

- το ηλεκτρομυογράφημα (electromyogram - EMG)
- το ηλεκτροκαρδιογράφημα (electrocardiogram – ECG)
- το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (electroencephalogram - EEG)
- το ηλεκτροοφθαλμογράφημα (electrooculogram, EOG)
- ο ρυθμός αναπνοής (respiratory patterns)
- η ηλεκτρική δραστηριότητα του δέρματος (electrodermal activity)
- η πίεση του αίματος (blood pressure)
- η θερμοκρασία σώματος ή δέρματος
- η εφίδρωση.

Στην παρούσα διατριβή, ως μέθοδος μέτρησης, επιλέχθηκε το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (HEΓ – EEG), μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος που προτείνεται για μετρήσεις σε εικονικά περιβάλλοντα (Mikropoulos et al., 2004; Τζίμας, 2010), διαφέρει από τις άλλες και περιγράφεται στην ενότητα 2.5. Το HEΓ έχει το πλεονέκτημα της χρονικής διακριτικής ικανότητας που είναι εφάμιλλη με την ταχύτητα εξέλιξης των εγκεφαλικών λειτουργιών, στοιχείο που στη μελέτη γνωστικών δραστηριοτήτων κατέχει μεγάλη σημασία, μιας και ενδιαφέρει η ανίχνευση γρήγορων αλλαγών στην εγκεφαλική δραστηριότητα. Ένα ακόμη πλεονέκτημα του HEΓ έναντι των άλλων μεθόδων, είναι ότι «μετράται» η λειτουργία του εγκεφάλου, του οργάνου που παράγει όλες τις αντιλήψεις και τις αντιδράσεις των

υποκειμένων, και όχι αντιδράσεων άλλων οργάνων του σώματος, των οποίων η ανταπόκριση είναι δευτερογενής σε σχέση με τις εγκεφαλικές. Ωστόσο, οι περισσότερες λειτουργίες του εγκεφάλου παραμένουν σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητες και καθίσταται δύσκολη η πλήρης ερμηνεία των μετρούμενων μεγεθών. Για αυτό το λόγο οι έρευνες με φυσιολογικές μετρήσεις αντιμετωπίζονται με δυσπιστία από ορισμένους ερευνητές όχι μόνο εξαιτίας τεχνικών προβλημάτων, αλλά και εξαιτίας της ίδιας της φύσης τους και της φύσης των μετρούμενων μεγεθών.

Οι έρευνες με αντικειμενικές μετρήσεις σχετικά με εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα είναι λίγες. Μια σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών με αντικειμενικές μετρήσεις σε εικονικό και παρόμοιο πραγματικό περιβάλλον επιχειρήθηκε από τον Μικρόπουλο (2001). Ως μέθοδος απεικόνισης χρησιμοποιήθηκε το ΗΕΓ. Η διεργασία αφορούσε σε μικρή πλοήγηση με μετακίνηση των υποκειμένων ανάλογη προς τον εικονικό και τον πραγματικό κόσμο. Τα αποτελέσματα έδειξαν αυξημένες απαιτήσεις προσοχής και γνωστικής υποκίνησης στο εικονικό περιβάλλον, καθώς και ότι τα υποκείμενα αισθάνθηκαν παρόμοια την κίνησή τους στα δύο περιβάλλοντα.

Σε πρόσφατη έρευνά τους ο Ζαχαρής και οι συνεργάτες του (2010), διερεύνησαν την εγκεφαλική δραστηριότητα γυναικών κατά τη διάρκεια αλληλεπίδρασης με εκπαιδευτικά εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος έδειξαν ότι και στα τρία περιβάλλοντα οι συμμετέχουσες παρακολούθησαν όχι ιδιαίτερα απαιτητικά περιβάλλοντα. Το εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον αναπαρέστησε με μεγάλη πιστότητα το πραγματικό σε αντίθεση με το εικονικό – μη στερεοσκοπικό, όπου οι συμμετέχουσες αναζητούσαν την τρίτη διάσταση. Τέλος, οι ίδιοι καταλήγουν στην έρευνά τους ότι η στερεοσκοπία συνεισφέρει θετικά στην ανάπτυξη και σχεδίαση εικονικών περιβαλλόντων με στόχο μαθησιακά οφέλη.

Ως ιδανική λύση προτείνεται ένας συνδυασμός υποκειμενικών και αντικειμενικών μετρήσεων για την προσπάθεια εξάλειψης των μειονεκτημάτων των δύο μεθόδων.

## **1.5 Εικονική πραγματικότητα, διδασκαλία και μάθηση**

Η ΕΠ με την ελληνική περιγραφή του όρου ορίζεται ως το σύνολο των τεχνολογιών που υποστηρίζουν τη δημιουργία συνθετικών υψηλά αλληλεπιδραστικών τρισδιάστατων περιβαλλόντων, που αναπαριστούν πραγματικές ή μη καταστάσεις (Mikropoulos & Bellou, 2006). Στη συνέχεια της παρούσας ενότητας παρατίθενται έρευνες της δεκαετίας (1997 – 2007) οι οποίες αφορούν τόσο επιτραπέζια ΕΕΠ όσο και ΕΕΠ εμβύθισης, με διερεύνηση του βαθμού εισαγωγής της ΕΠ στην εκπαίδευση και των ιδιοτήτων της ΕΠ που αξιοποιούν ΕΕΠ και μπορούν να συνεισφέρουν σε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα (Ζαχαρής και συνεργάτες., 2007; Νατσης & Ζαχαρής, 2007).

### **1.5.1 Επιτραπέζια Εικονικά Εκπαιδευτικά Περιβάλλοντα**

Το πρόγραμμα LAKE πραγματεύεται το θέμα του ευτροφισμού των λιμνών μέσω ενός προκατασκευασμένου εικονικού κόσμου (Mikropoulos et al., 1998). Παιδαγωγικά, το θέμα προσεγγίζεται μέσω της βιωματικής μάθησης και της οικοδόμησης της γνώσης. Οι ιδιότητες της ΕΠ που αξιοποιεί είναι η ελεύθερη πλοήγηση, η οπτική γωνία πρώτου προσώπου, η φυσική σημαντική, η αυτονομία και η παρουσία. Η αξιολόγηση σε μαθητές Γυμνασίου έδειξε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα, χωρίς ιδιαίτερη διαφοροποίηση από αντίστοιχη πολυμεσική εφαρμογή με ενθουσιώδη, όμως, στάση των μαθητών.

Το ΕΙΚΩΝ στοχεύει στην υποστήριξη της διδασκαλίας μαθημάτων δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Pintelas et. al., 1999). Πρόκειται για ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον που χρησιμοποιεί ως αφετηρία το μάθημα της τεχνολογίας με διαθεματική προσέγγιση στα γνωστικά αντικείμενα της γεωγραφίας, φυσικής, χημείας, βιολογίας και οικολογίας. Η παιδαγωγική προσέγγιση είναι η οικοδόμηση της γνώσης και της βιωματικής μάθησης. Οι ιδιότητες που ενσωματώνει είναι η ελεύθερη πλοήγηση, η οπτική γωνία πρώτου προσώπου, η φυσική σημαντική, η κλίμακα χώρου και χρόνου, η πραγμάτωση και η αυτονομία. Η αξιολόγησή του από εκπαιδευτικούς χαρακτηρίζεται θετική ως προς τη σχεδίαση, την ευχρηστία και τη λειτουργικότητα που προσφέρει.

Στο VSS γίνεται χρήση ενός δυναμικού τρισδιάστατου μοντέλου του ηλιακού συστήματος (Yair et al., 2001; Gazit et al., 2006). Είναι ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον το οποίο εξερευνά ελεύθερα ο χρήστης, ενώ αυτό συνεχίζει να λειτουργεί όπως και ο φυσικός κόσμος (εναλλαγή ημέρας και νύχτας, εποχές, εκλείψεις). Βασίζεται στην προσέγγιση της

οικοδόμησης της γνώσης. Οι ιδιότητες που αξιοποιεί είναι η ελεύθερη πλοήγηση, η οπτική γωνία πρώτου προσώπου, η φυσική σημαντική και η αυτονομία. Η αξιολόγηση του περιβάλλοντος από εννέα μαθητές γυμνασίου έδειξε ότι ο καθένας δημιούργησε ένα μοναδικό πρότυπο μάθησης όσον αφορά σε τουλάχιστον πέντε διαστάσεις: γνωστική, συναισθηματική, πλοήγηση, διεπαφή, αναζήτηση βοήθειας. Αναγνωρίστηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι μάθησης κι ως εκ τούτου θεωρήθηκε ότι οι ατομικές διαφορές ενισχύθηκαν από τα μοναδικά χαρακτηριστικά του εικονικού ηλιακού συστήματος.

Ο ιστορικός εικονικός κόσμος είναι ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον που απευθύνεται σε μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου με στόχο να αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη αντίληψη για τα βασικά λειτουργικά στοιχεία μιας αρχαίας ελληνικής πόλης και να οικοδομήσουν γνώσεις για τη συγκεκριμένη ιστορική εποχή (Κωστάκης κ.α. 2002). Αξιοποιεί τις ιδιότητες της ελεύθερης πλοήγησης με περιορισμούς, της οπτικής γωνίας πρώτου προσώπου και της φυσικής σημαντικής. Η αξιολόγησή του έδειξε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα και κίνητρο για ενασχόληση των μαθητών με την ιστορία.

Το VR-ENGAGE έχει ως στόχο να διδάξει γεωγραφία σε μαθητές δημοτικού μέσω ενός παιχνιδιού περιπέτειας αυξάνοντας το κίνητρο και την εμπλοκή των μαθητών και βασίζεται στην προσέγγιση της συνεργατικής μάθησης (Virvou et al., 2002; Virvou et al., 2005; Virvou & Katsionis, 2008). Πρόκειται για ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον που στηρίζεται στις ιδιότητες της ελεύθερης πλοήγησης και της οπτικής γωνίας πρώτου προσώπου. Κατά την αξιολόγησή του οι μαθητές πέρασαν περισσότερη ώρα στο σύστημα σε σχέση με ένα δυσδιάστατο εκπαιδευτικό λογισμικό και ανακάλεσαν περισσότερες αποκρίσεις, όταν κλήθηκαν να απαντήσουν ξανά ερωτήσεις που είχαν ήδη απαντήσει λάθος. Συγκριτικά, όμως, με ένα εμπορικό παιχνίδι, το εικονικό περιβάλλον ήταν λιγότερο αρεστό στους μαθητές.

Το 2003 αναπτύχθηκε ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον με στόχο την αλληλεπίδραση μαθητών Γυμνασίου με το ηλιακό σύστημα, καθώς και με τα φαινόμενα της εναλλαγής μέρας – νύχτας και εποχών (Bakas & Mikropoulos, 2003). Σκοπός του ήταν η εννοιολογική αλλαγή μέσω γνωστικών συγκρούσεων και η απόρριψη πιθανών παρανοήσεων. Το περιβάλλον αξιοποιεί την ελεύθερη πλοήγηση, την οπτική γωνία πρώτου

προσώπου και τη φυσική σημαντική. Η αξιολόγηση ανέδειξε πολλές παρανοήσεις, θετικά μαθησιακά αποτελέσματα, ενώ οι μαθητές δημιούργησαν αποδεκτά νοητικά μοντέλα σχετικά με το υπό μελέτη θέμα.

Στο Vertex στόχος είναι η αξιολόγηση της μάθησης που πηγάζει από τη συμμετοχή μαθητών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης στις διαδικασίες σχεδίασης, παραγωγής και χρήσης ενός εικονικού περιβάλλοντος, καθώς και η ανάπτυξη και η διάδοση καινοτόμων αλλά πρακτικών στρατηγικών με στόχο τη χρήση διαμοιραζόμενων τρισδιάστατων εικονικών περιβαλλόντων στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση (Bailey & Moar, 2003). Η προσέγγιση είναι η συνεργατική μάθηση και η κατασκευή γνώσης. Αξιοποιούνται η ελεύθερη πλοήγηση και η οπτική γωνία πρώτου προσώπου. Η αξιολόγηση έδειξε ότι η δημιουργική συγγραφή και η αφήγηση ιστοριών παρέχουν ένα αφετηριακό σημείο, ώστε τα παιδιά να σκέφτονται δημιουργικά για τις εργασίες τους. Επίσης, η ταυτόχρονη εργασία μαθητών σε εικονικά περιβάλλοντα είναι ικανή να βελτιώσει τις δεξιότητες συνεργασίας και επικοινωνίας μεταξύ τους, ενώ υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι μαθητές με ειδικές ανάγκες μπορούν να ωφεληθούν από τη χρήση εικονικών περιβαλλόντων.

Το plant cell είναι ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον για την πρωτοβάθμια εκπαίδευση και πραγματεύεται το θέμα της δομής του φυτικού κυττάρου και της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης (Mikropoulos et al., 2003). Βασίζεται στην οικοδόμηση της γνώσης και αξιοποιεί τις ιδιότητες της ελεύθερης πλοήγησης, της φυσικής σημαντικής, της κλίμακας χώρου και χρόνου, της πραγμάτωσης και της παρουσίας. Η αξιολόγηση από εκπαιδευτικούς της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης έδειξε διαφορά στην κατανόηση εννοιών, ενώ δηλώθηκε ότι ένιωσαν το αίσθημα της παρουσίας.

Το PUPPET (Marshall et al., 2005) έχει ως στόχο την αλληλεπίδραση μαθητών με αυτόνομους πράκτορες καταγράφοντας τους διαλόγους τους στο εικονικό περιβάλλον. Τα παιδιά αναλαμβάνουν διάφορους ρόλους κατά την ενασχόληση τους με το προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον, με τον κάθε ρόλο να προσφέρει διαφορετικές δυνατότητες αλληλεπίδρασης. Η παιδαγωγική προσέγγιση είναι η βιωματική μάθηση, ενώ βασίζεται στις ιδιότητες της ελεύθερης πλοήγησης, της οπτικής γωνίας πρώτου προσώπου

και της αυτονομίας. Η αξιολόγηση παρουσίασε ότι η διαχείριση των διαλόγων των παιδιών στο περιβάλλον οδήγησε σε αναστοχαστικές διεργασίες.

Το Cell Exploration μελετά τη συνεισφορά της απτικής ανατροφοδότησης σε ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον για τη λειτουργία ενός ζωικού κυττάρου στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Minogue et al., 2006). Η προσέγγιση είναι η οικοδόμηση της γνώσης και οι ιδιότητες που αξιοποιεί είναι η ελεύθερη πλοήγηση, η οπτική γωνία πρώτου προσώπου, η φυσική σημαντική και η κλίμακα χώρου και χρόνου. Από την αξιολόγηση προέκυψε ότι το εικονικό περιβάλλον είχε θετικά αποτελέσματα και ότι οι μαθητές απέκτησαν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το θέμα των κυττάρων. Η απτική ανατροφοδότηση βοήθησε στην πλοήγηση στο εικονικό περιβάλλον, όχι όμως στα μαθησιακά αποτελέσματα.

Το DVREMS (Chen et al., 2007) έχει ως στόχο να διευκολύνει τη μάθηση εννοιών αστρονομίας σε μαθητές δημοτικού μέσω ενός προκατασκευασμένου εικονικού περιβάλλοντος. Ακολουθείται η προσέγγιση της ανακαλυπτικής μάθησης και αξιοποιούνται η ελεύθερη πλοήγηση, η οπτική γωνία πρώτου προσώπου, η φυσική σημαντική και η αυτονομία. Μετά την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον οι μαθητές παρουσίασαν σημαντική βελτίωση σε δύσκολες έννοιες της αστρονομίας. Αναδείχθηκε, επίσης, ότι οι χωρικές δεξιότητες παίζουν σημαντικό ρόλο σε ένα εικονικό περιβάλλον, ενώ είναι χρήσιμη η χρήση αισθητηριακών ερεθισμάτων για την παρουσίαση θεμάτων που είναι δύσκολο να εκφραστούν διαφορετικά.

### **1.5.2 Εικονικά Εκπαιδευτικά Περιβάλλοντα Εμβύθισης**

Το NICE (Narrative, Immersive, Constructionist / Collaborative Environments) (Roussos et al., 1997; Roussos et al., 1999) διερευνά τη δυνατότητα χρήσης της ΕΠ ως εργαλείου μάθησης σε θέματα οικολογίας. Η παιδαγωγική προσέγγιση είναι η συνεργατική μάθηση, η κατασκευή γνώσης, η εξερευνητική μάθηση και δίνεται πρωταρχική σημασία στον αφηγηματικό λόγο. Αξιοποιεί την ελεύθερη πλοήγηση, την οπτική γωνία πρώτου προσώπου, τη φυσική σημαντική, την κλίμακα χώρου και χρόνου, τη μετατροπή και την αυτονομία. Κατά την αξιολόγηση αναδείχθηκε ο ενθουσιασμός των παιδιών, αλλά παρατηρήθηκαν προβλήματα από τη χρήση του εξοπλισμού, όπως και δυσκολίες από τη δυνατότητα ελεύθερης εξερεύνησης του περιβάλλοντος.



Το VRRV (Virtual Reality in Roving Vehicles) (Winn et al., 1999) μελετά τη δυνατότητα σχεδίασης, μοντελοποίησης και χρήσης εικονικών περιβαλλόντων από μαθητές ηλικίας από τεσσάρων έως δώδεκα ετών. Βασίζεται στην παιδαγωγική προσέγγιση κατασκευής της γνώσης και εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες της ελεύθερης πλοήγησης και της οπτικής γωνίας πρώτου προσώπου. Από την αξιολόγηση προκύπτει ότι οι μαθητές είναι ικανοί να χρησιμοποιήσουν μεταφορές για να εκφράσουν τις ιδέες τους για θέματα που δεν είναι άμεσα αντιληπτά, αλλά δεν μπορούν να γενικεύσουν τις παρατηρήσεις τους. Επιπλέον, οι λιγότερο 'ικανοί' μαθητές έμαθαν περισσότερα κατά την αλληλεπίδραση τους με το περιβάλλον.

Στο Round Earth Project (Johnson et al., 1999; Johnson et al., 1999) στόχος είναι να γνωρίσουν μαθητές Δημοτικού βασικά θέματα αστρονομίας, όπως η επίπτωση της βαρύτητας της γης στα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω ή γύρω από αυτή και η σφαιρικότητα του σχήματος της γης. Το θέμα προσεγγίζεται παιδαγωγικά μέσω της συνεργατικής και της καταστασιακής (situated) μάθησης, ενώ αξιοποιούνται η ελεύθερη πλοήγηση, η οπτική γωνία πρώτου προσώπου και η φυσική σημαντική. Η αξιολόγηση παρουσίασε περιορισμένα μαθησιακά αποτελέσματα.

Το ScienceSpace (Dede et al., 1999; Dede et al., 1997) διερευνά τη συνεισφορά της πλήρους εμπύθισης και της πολυαισθητηριακής αντίληψης στη μάθηση πολύπλοκων εννοιών της φυσικής. Ένα τμήμα της έρευνας εξετάζει την έκταση στην οποία ο χειρισμός οπτικών, ηχητικών και απτικών σημάτων ανατροφοδότησης μπορεί να προκαλέσει παρανοήσεις για τα φυσικά φαινόμενα. Τα θέματα προσεγγίζονται μέσω της συνεργατικής μάθησης, της ανακαλυπτικής μάθησης, της οικοδόμησης της γνώσης και της εδραίωσης διαδικαστικής γνώσης για χωρικές και μαθηματικές – λογικές σχέσεις. Αξιοποιεί τις ιδιότητες της κλίμακας χώρου και χρόνου, της πραγμάτωσης και της μετατροπής. Η αξιολόγηση έδειξε ότι η πολύτροπη αλληλεπίδραση διευκολύνει την ευχρηστία και φαίνεται να ενισχύει τη μάθηση, όπως και τα πολλαπλά πλαίσια αναφοράς. Οι μαθητές ήταν ενθουσιασμένοι από τη χρήση του περιβάλλοντος και διατήρησαν το κίνητρό τους σε όλη τη διάρκεια της μελέτης, όμως, το κίνητρο δεν αποδείχθηκε αρκετό ώστε να αποτελεί σημαντικό παράγοντα μάθησης.

Το Virtual Water (Trindade et al., 2002) είναι ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον που εξετάζει τις συνέπειες της οπτικής μάθησης σε θέματα φυσικής και χημείας στη σχεδίαση στρατηγικών για την αντιμετώπιση των διαφορετικών τρόπων μάθησης. Εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες της ελεύθερης πλοήγησης, της οπτικής γωνίας πρώτου προσώπου, της φυσικής σημαντικής και της πραγμάτωσης. Από την αξιολόγηση προέκυψε ότι τα τρισδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα βοηθούν μαθητές με υψηλές χωροταξικές δεξιότητες στην εννοιολογική γνώση, ενώ τα βασικά χαρακτηριστικά της εικονικής πραγματικότητας που επηρεάζουν τη γνώση είναι η αλληλεπίδραση, η πλοήγηση και η προοπτική. Αντίθετα, η στερεοσκοπική οπτικοποίηση δε συνεισφέρει ιδιαίτερα.

Οι Mikropoulos και Strouboulis (2004) δημιούργησαν ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον για τη μελέτη της αίσθησης της παρουσίας σε μαθητές ηλικίας δώδεκα ετών εκτελώντας δραστηριότητες μέσα σε ένα εικονικό αρχαιοελληνικό σπίτι. Ακολουθεί την προσέγγιση της οικοδόμησης της γνώσης. Αξιοποιεί την ελεύθερη πλοήγηση, την οπτική γωνία πρώτου προσώπου, τη φυσική σημαντική και την παρουσία. Για την πλοήγηση χρησιμοποιήθηκαν και συγκρίθηκαν έξι διαφορετικές συσκευές. Τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι το πληκτρολόγιο και ο συνδυασμός ποντίκι – πληκτρολόγιο ήταν οι λιγότερο κουραστικές και οι περισσότερο εύκολες στη χρήση συσκευές εισόδου, δίνοντας, ταυτόχρονα, και μια αίσθηση παρουσίας. Τα μαθησιακά αποτελέσματα που προέκυψαν για τον τρόπο ζωής των αρχαίων Ελλήνων ήταν θετικά.

Στο ΣΕΙΣΜΟ (Mikropoulos et al., 2005) στόχος είναι η εκπαίδευση μαθητών σε θέματα προφύλαξης από σεισμό με τη μεγαλύτερη δυνατή μεταφορά μάθησης στον πραγματικό κόσμο. Πρόκειται για ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον, ενώ η προσέγγιση που ακολουθείται είναι η βιωματική μάθηση. Αξιοποιεί τη φυσική σημαντική, την αυτονομία και την παρουσία. Η αξιολόγηση με 51 φοιτητές αναδεικνύει ότι η αίσθηση της παρουσίας εξαρτάται από την απόδοση του περιεχομένου των εικονικών περιβαλλόντων και από τον εμπλουτισμό τους και με εξωτερικά αισθητήρια ερεθίσματα.

Το προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον The Knights Templar Castle (Goncalves, 2005), μια αναπαράσταση ενός ρωμαϊκού κάστρου, διερευνά την υποστήριξη στη διδασκαλία της ιστορίας. Η παιδαγωγική προσέγγιση είναι η βιωματική μάθηση. Αξιοποιούνται η ελεύθερη

πλοήγηση, η οπτική γωνία πρώτου προσώπου, η φυσική σημαντική και η παρουσία. Τα αποτελέσματα μελέτης με εκπαιδευτικούς έκαναν φανερό ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στην ευχρηστία και στην παρουσία.

Το Virtual Playground (Roussou et al., 2006) διερευνά την αλληλεπίδραση του χρήστη σε ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον με επίκεντρο το ρόλο και την αποτελεσματικότητα στην εννοιολογική αλλαγή. Ακολουθεί την προσέγγιση της οικοδόμησης της γνώσης και εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες της οπτικής γωνίας πρώτου προσώπου, της φυσικής σημαντικής και της πραγμάτωσης. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση είναι ότι τα πλήρως αλληλεπιδραστικά περιβάλλοντα βοήθησαν τους μαθητές στην επίλυση προβλημάτων, αλλά δεν παρείχαν ενδείξεις εννοιολογικής αλλαγής, όπως αυτό αναμενόταν. Αντίθετα, το παθητικό εικονικό περιβάλλον, όπου οι δραστηριότητες καθοδηγούνται από ένα εικονικό ρομπότ, έδειξε να υποστηρίζει διεργασίες αναστοχασμού, στοιχείο που παρέχει ενδείξεις εννοιολογικής αλλαγής.

Το VIPERSE (Richard et al., 2006), είναι ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον. Ακολουθώντας την παιδαγωγική προσέγγιση της βιωματικής μάθησης, επιτρέπει στους μαθητές να μελετήσουν το ατομικό μοντέλο του Bohr. Αξιοποιούνται η ελεύθερη πλοήγηση, η κλίμακα χώρου και χρόνου, η πραγμάτωση και η παρουσία. Βασικό χαρακτηριστικό του περιβάλλοντος είναι ότι δίνει τη δυνατότητα απτικής αλληλεπίδρασης καθώς και ανατροφοδότησης μέσω ήχου και όσφρησης. Επίσης, υπάρχει και μια επιτραπέζια έκδοση του περιβάλλοντος στο οποίο ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με χρήση του πληκτρολογίου. Από πιλοτική μελέτη έγινε φανερός ο ενθουσιασμός από τη χρήση οσφρητικών σημάτων.

Στο SMILE (Adamo-Villani & Wright, 2007), ένα προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον, στόχος είναι η διερεύνηση μαθησιακών αποτελεσμάτων από ένα παιχνίδι, όπου μαθητές πέντε έως δέκα ετών, με ή χωρίς προβλήματα ακοής, αλληλεπιδρούν με τρισδιάστατους εικονικούς χαρακτήρες και αντικείμενα και προσεγγίζουν θέματα που σχετίζονται με τα μαθηματικά και τη φυσική. Ακολουθείται η παιδαγωγική προσέγγιση της οικοδόμησης της γνώσης και γίνεται εκμετάλλευση της ελεύθερης πλοήγησης, της οπτικής γωνίας πρώτου

προσώπου και της φυσικής σημαντικής. Ο σχεδιασμός των δραστηριοτήτων έγινε σε συνεργασία με εκπαιδευτικούς και είναι σύμφωνες με το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών, ενώ η αξιολόγησή του έδειξε ότι αποτελεί μια ευχάριστη και εύχρηστη εφαρμογή.

Το προκατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον Quantum Atom (Kontogeorgiou et al., 2007) έχει ως στόχο να βοηθήσει μαθητές στην κατανόηση αρχών της Κβαντικής Μηχανικής και στη δημιουργία κατάλληλων νοητικών εικόνων των ατομικών μοντέλων. Ακολουθεί την παιδαγωγική προσέγγιση της οικοδόμησης της γνώσης και αξιοποιεί τις ιδιότητες της ελεύθερης πλοήγησης, της οπτικής γωνίας πρώτου προσώπου, της φυσικής σημαντικής και της παρουσίας. Η αξιολόγηση έδειξε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα.

Από την παραπάνω κριτική παρουσίαση των ερευνών σχετικά με επιτραπέζια συστήματα ΕΠ και συστήματα εμπύθισης, καθίσταται εμφανές ότι όλες οι προτάσεις των επιτραπέζιων συστημάτων δεν αξιοποιούν όλες τις ιδιότητες της ΕΠ. Ίσως, αυτό οφείλεται στους διδακτικούς στόχους της κάθε εφαρμογής και στα ερευνητικά ερωτήματα των εμπειρικών μελετών. Όλα τα ΕΕΠ αξιοποιούν τις βασικές ιδιότητες της ελεύθερης πλοήγησης και της οπτικής γωνίας πρώτου προσώπου. Αυτό δείχνει ότι κατά την τελευταία δεκαετία οι ερευνητές έχουν κατανοήσει τη διαφοροποίηση της ΕΠ από τα τρισδιάστατα γραφικά περιβάλλοντα και εκμεταλλεύονται τις βασικές ιδιότητές της. Αυτές οι ιδιότητες αναδεικνύουν, επίσης, την ιδιαιτερότητα της ΕΠ ως προς άλλου τύπου τεχνολογίες, δίνοντας έμφαση στις εμπειρίες πρώτου προσώπου, την παρουσία και αλληλεπίδραση του μαθητή σε έναν διαφορετικό περιβάλλον από τον πραγματικό κόσμο με στόχο την ενίσχυση των εμπειριών του ή τη βίωση άλλων, που ήταν αδύνατο ή απίθανο να βιωθούν. Αυτό προκύπτει και από τη φυσική σημαντική που αξιοποιείται στα περισσότερα από τα περιβάλλοντα.

Ιδιότητες όπως η κλίμακα, η μετατροπή και η πραγμάτωση εμφανίζονται σε περιβάλλοντα που απαιτούν μεταβολές τέτοιου τύπου και κυριαρχούν σε θέματα φυσικών επιστημών που πραγματεύονται αφηρημένες έννοιες και φαινόμενα έξω από την καθημερινή εμπειρία. Η αυτονομία του περιβάλλοντος, δηλαδή η εξέλιξή του ανεξάρτητα από την παρουσία του μαθητή εμφανίζεται σε λίγες μόνο εφαρμογές, με πιθανή ερμηνεία τον τύπο των μαθησιακών δραστηριοτήτων και τους τεχνολογικούς περιορισμούς. Η αίσθηση της

παρουσίας που καταγράφεται σε ελάχιστα περιβάλλοντα αναδεικνύει ακόμα την απαίτηση για εκπαιδευτικά περιβάλλοντα στα οποία ο μαθητής προτιμά να συμπεριφέρεται ανάλογα με τον πραγματικό κόσμο αναδεικνύοντας τη σχεδίαση μαθητοκεντρικών περιβαλλόντων.

Η παιδαγωγική προσέγγιση όλων σχεδόν των ΕΕΠ είναι η οικοδόμηση της γνώσης, δηλώνοντας και για την ΕΠ, η επικράτηση των νέων τάσεων στη θεωρητική υποστήριξη των τεχνολογικών εκπαιδευτικών περιβαλλόντων.

Η βιβλιογραφική επισκόπηση για τα συστήματα εμπύθισης καταδεικνύει ότι έχει δημοσιευθεί σχεδόν ο ίδιος αριθμός μελετών με εμπειρικά δεδομένα σε σύγκριση με τα επιτραπέζια συστήματα. Τα περιβάλλοντα εμπύθισης υπερέχουν ουσιαστικά μόνο ως προς την ιδιότητα της παρουσίας, γεγονός αναμενόμενο, αφού ένα τεχνολογικό χαρακτηριστικό που συνεισφέρει είναι η εμπύθιση που υλοποιείται κατά κύριο λόγο σε συστήματα αυτού του τύπου. Η πολυπλοκότητα και το κόστος των συστημάτων εμπύθισης αποτελούν έναν περιοριστικό παράγοντα για την ευρεία εισαγωγή τους στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Σε πρόσφατη έρευνά τους οι Mikropoulos & Natsis, πραγματοποίησαν βιβλιογραφική επισκόπηση της δεκαετίας 1999 – 2009, σε ΕΕΠ με τα εξής χαρακτηριστικά: α) το εκπαιδευτικό πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε, β) τα χαρακτηριστικά και τα γνωρίσματα της ΕΠ στα ΕΕΠ και γ) τη θεωρία μάθησης που ακολουθούν και χρησιμοποιούν οι συγγραφείς στις έρευνές τους. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, υπάρχουν πολλές τεχνολογικές προσεγγίσεις όπου ακολουθούν τα ΕΕΠ, όμως, λίγες είναι οι παιδαγωγικές προσεγγίσεις. Σε γενικές γραμμές, λίγες έρευνες αναφέρουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της ΕΠ που εκμεταλλεύονται τα ΕΕΠ και τα αξιολογούν. Λίγες είναι οι μελέτες που ενσωματώνουν τη διαισθητική αλληλεπίδραση και φανερώνουν μια ερευνητική τάση προς αυτήν την κατεύθυνση. Λίγες είναι, επίσης, οι μελέτες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία εμπύθισης σε ΕΕΠ και αναφέρουν τη θετική στάση των μαθητών απέναντί τους και καταδεικνύουν την ανάγκη περαιτέρω έρευνας των ικανοτήτων των συστημάτων εμπύθισης. Λίγα μπορούν ακόμα να εξαχθούν σχετικά με τη διατήρηση της γνώσης που αποκτάται από τα ΕΕΠ. Τα τελευταία χρόνια πάρα πολλές έρευνες έχουν δημοσιευθεί σχετικά με εικονικά περιβάλλοντα με εκπαιδευτικό περιεχόμενο (Mikropoulos & Natsis, 2010).

## 1.6 Σύνοψη

Παρατηρείται πως τα χαρακτηριστικά που απορρέουν από τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ΕΠ και συνεισφέρουν σε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα είναι η πρώτου προσώπου επαφή, η φυσική σημαντική, το μέγεθος, η μετατροπή, η αίσθηση της παρουσίας και η αίσθηση του βάθους (στερεοσκοπία). Η ικανότητα του ανθρώπου να διατηρεί παράλληλα αρκετές αντιλήψεις της πραγματικότητας, καθιστώντας με τον τρόπο αυτό δυνατή την είσοδό του σε μια εικονική χωρική αναπαράσταση, ενώ ακόμη βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο φυσικό χώρο, είναι αυτή που μας επιτρέπει να είμαστε την ίδια χρονική στιγμή, φυσικά και εικονικά, μέσα σε μια αναπαράσταση.

Η χρήση των ΕΕΠ λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων που τα χαρακτηρίζουν, παρέχει τη δυνατότητα στους μαθητές να ξεφύγουν από το παραδοσιακό μοντέλο διδασκαλίας. Εύκολα κάθε μαθητής μπορεί να δημιουργήσει το δικό του πρότυπο μάθησης και να αναδειχθούν εξατομικευμένα μαθησιακά περιβάλλοντα ανάλογα με τον τύπο μάθησης του κάθε μαθητή (Gazit et al., 2006).

Η προσφορά της ΕΠ στην εκπαιδευτική πράξη, συνοψίζεται στις παρακάτω δυνατότητές της (Χαλκίδης, 2006):

- Εξερεύνηση υπαρκτών αντικειμένων και χώρων μη προσπελάσιμων από τους μαθητές
- Μελέτη πραγματικών αντικειμένων και φαινομένων που είναι δύσκολο ή αδύνατο να κατανοηθούν διαφορετικά εξαιτίας του μεγέθους, της θέσης, ή των ιδιοτήτων τους με τρόπο πολυαισθητηριακό
- Δημιουργία περιβαλλόντων και αντικειμένων με διαφορετικές ιδιότητες από αυτές που μπορεί να γνωρίζουμε καθώς και αφηρημένων αναπαραστάσεων
- Αλληλεπίδραση με εικονικά αντικείμενα
- Αλληλεπίδραση με πραγματικούς ανθρώπους ή εικονικές οντότητες σε μακρινές φυσικές θέσεις ή φανταστικούς τόπους με πραγματικούς ή μη τρόπους
- Δυνατότητα επανάληψης επικίνδυνων δραστηριοτήτων χωρίς τον κίνδυνο να προκληθεί κάποια καταστροφή ή ακόμη και ζημιά του οργάνου.

Μπορεί λοιπόν, η ΕΠ να αναδειχθεί σε ένα πολλά υποσχόμενο εκπαιδευτικό εργαλείο, διαφορετικό από άλλες τεχνολογικές υλοποιήσεις. Παρατηρείται όμως, και μια στασιμότητα στη διαδικασία αποδοχής της και κατ' επέκταση εισαγωγής της στην εκπαιδευτική διαδικασία. Συνεπώς, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να μελετηθούν οι λόγοι που συμβάλλουν στη συγκεκριμένη κατάσταση.

Η αίσθηση της παρουσίας μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί την απόκριση σε ένα δεδομένο επίπεδο εμπύθισης (Slater, 2003) κρίνεται όμως, σκόπιμη η περαιτέρω μελέτη των διαφόρων επιπέδων εμπύθισης τα οποία προσφέρονται στους χρήστες ανάλογα με τον τεχνολογικό εξοπλισμό (κράνος, γυαλιά, σύστημα βίντεο τοίχων, CAVE, κλπ.), και της επίδρασής τους στη διατήρηση της γνώσης που αποκτάται μέσω ενός εικονικού περιβάλλοντος, όπως προτείνεται και από άλλους ερευνητές (Ταχέν & Naeve, 2002). Για να επιτευχθεί όμως, ο παραπάνω στόχος, απαιτείται επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στη χρήση του αναγκαίου εξοπλισμού, αλλά και προσπάθεια για τη δημιουργία εξοπλισμού μικρότερου κόστους.

Για την ανάπτυξη ΕΕΠ ανεξάρτητα από την τεχνολογία που αξιοποιούν, απαιτείται η ακολουθία μιας επαναληπτικής διαδικασίας σχεδίασης, υλοποίησης και αξιολόγησης προσανατολισμένης όσο το δυνατόν στους μαθητές. Για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος κρίνεται απαραίτητη η συνεργασία διεπιστημονικών ομάδων και η εμπλοκή των μαθητών από τα αρχικά στάδια σχεδίασης μέχρι και την τελική έκδοση του ΕΕΠ. Η συγκεκριμένη διαδικασία μπορεί να οδηγήσει και στην παραγωγή κατευθυντήριων γραμμών για τη σχεδίαση, υλοποίηση και αξιολόγηση των ΕΕΠ. Οι κατευθυντήριες αυτές γραμμές πρέπει εν συνεχεία να αποτελέσουν τη βάση για τη δημιουργία συγγραφικών εργαλείων που θα διευκολύνουν τη δημιουργία ΕΕΠ τόσο από τους εκπαιδευτικούς όσο και από τους ίδιους τους μαθητές.

Τέλος, κρίνεται επιτακτική η μελέτη της επίδρασης διαφόρων παραγόντων στη στερεοσκοπική όραση. Μελέτες αναφέρουν ότι οι στερεοσκοπική όραση είναι απαραίτητη για οπτικά καθοδηγούμενες δραστηριότητες καθώς η αίσθηση του βάθους φαίνεται να βελτιώνει την απόδοση σε τρισδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα (Jsselsteijn et al., 1998; Arsenault & Ware, 2004). Η μελέτη της στερεοσκοπίας σε εικονικά περιβάλλοντα αποτελεί

ένα σημαντικό πεδίο για την ανάπτυξη κατάλληλων εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων και αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής.



---

# 2 Οπτικό, νευρικό σύστημα και Ηλεκτροεγκεφαλογραφία

---

## 2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει εκδηλωθεί έντονο ενδιαφέρον για τη βιολογία των νοητικών διεργασιών. Η προσπάθεια κατανόησης του εγκεφάλου θα αποτελέσει τον 21<sup>ο</sup> αιώνα ότι υπήρξε η μελέτη των γονιδίων για τον 20<sup>ο</sup> και η προσπάθεια κατανόησης του κυττάρου για τον 19<sup>ο</sup> αιώνα. Το έργο των επόμενων δεκαετιών θα είναι η έναρξη της κατανόησης της βιολογικής βάσης της συνείδησης και των νοητικών διεργασιών με τις οποίες αντιλαμβανόμαστε, μαθαίνουμε, θυμόμαστε και ενεργούμε. Ανακύπτουν ερωτήματα σχετικά με το αν οι διεργασίες αυτές είναι εντοπισμένες σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου ή αν αντιπροσωπεύουν μια συλλογική και εκδηλούμενη ιδιότητα του εγκεφάλου. Η κύρια όμως, πρόκληση για τη νευροεπιστήμη, την επιστήμη δηλαδή του νευρικού συστήματος, είναι να κατανοήσει τον τρόπο με τον οποίο ο εγκέφαλος παράγει την εντυπωσιακή ατομικότητα της ανθρώπινης δράσης.

Άραγε, οι νοητικές διεργασίες εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου ή είναι μια ιδιότητα ολόκληρου του εγκεφάλου; Ποιοι κανόνες συνδέουν την ανατομία και τη φυσιολογία μιας περιοχής, με την ειδική της λειτουργία στην αντίληψη, στη σκέψη ή στην κίνηση όταν διάφορες νοητικές διεργασίες μπορεί να εντοπίζονται σε διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου; Οι κανόνες αυτοί είναι δυνατόν να γίνουν καλύτερα κατανοητοί με την εξέταση της περιοχής στο σύνολό της ή με τη μελέτη των επιμέρους νευρικών κυττάρων; Αυτά είναι ορισμένα θεμελιακά ερωτήματα που διαμόρφωσαν τις διάφορες θεωρίες στο πέρασμα των χρόνων (Kandel et al., 2003).

Δύο υπήρξαν οι βασικές θεωρίες σχετικά με τη σχέση εγκεφάλου και συμπεριφοράς. Η πρώτη είναι του ενιαίου πεδίου, που επικράτησε μέχρι τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα με χαρακτηριστική τη δήλωση του Flourens το 1823 πως: «Όλες οι αντιλήψεις, όλες οι βουλήσεις καταλαμβάνουν την ίδια θέση σε αυτά τα εγκεφαλικά όργανα, οι λειτουργίες της αντίληψης, της σκέψης, της βούλησης αποτελούν, επομένως, στην ουσία μια λειτουργία».

---

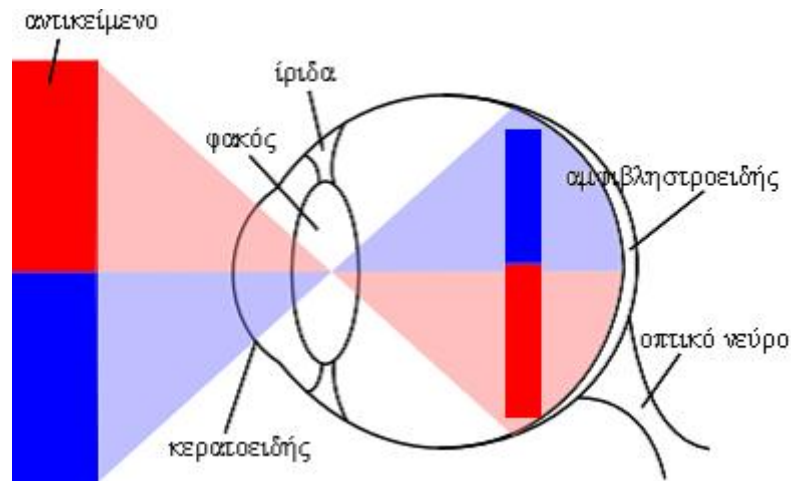
Προς τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και τις αρχές του 20<sup>ου</sup> ερευνητές διαμόρφωσαν μια αντίθετη άποψη για τη λειτουργία του εγκεφάλου, η οποία ονομάστηκε «κυτταρικός συνδετισμός», σύμφωνα με την οποία χωριστοί νευρώνες, που είναι οι μονάδες μετάδοσης των μηνυμάτων του εγκεφάλου, διατάσσονται συνήθως σε λειτουργικές ομάδες και συνδέονται μεταξύ τους με ακριβή τρόπο. Διαφορετικές συμπεριφορές διεκπεραιώνονται από διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με χωριστές νευρικές οδούς.

Στις επόμενες ενότητες παρατίθενται πληροφορίες για το οπτικό και το νευρικό σύστημα, τη μορφολογία του εγκεφάλου ενός υγιούς ενήλικα καθώς και τη σχέση των γνωστικών λειτουργιών με την εκπαίδευση και τις θεωρίες μάθησης.

## **2.2 Το οπτικό σύστημα**

Μέχρι πρόσφατα, ο σχηματισμός της οπτικής αντίληψης συγκρινόταν με τη λειτουργία μιας φωτογραφικής μηχανής. Όπως ο φακός μιας φωτογραφικής μηχανής, έτσι και ο κρυσταλλοειδής φακός του οφθαλμού εστιάζει ένα ανεστραμμένο είδωλο στον αμφιβληστροειδή. Ωστόσο, ο συσχετισμός αυτός καταρρίπτεται γρήγορα, γιατί απουσιάζει εκείνο το στοιχείο που επιτελεί η όραση. Τη δημιουργία, δηλαδή, μιας τρισδιάστατης αντίληψης του κόσμου η οποία διαφέρει από τις δισδιάστατες εικόνες που προβάλλονται στον αμφιβληστροειδή. Ένας τέτοιος συσχετισμός δε συμπεριλαμβάνει ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του οπτικού μας συστήματος, αυτό της ικανότητας να αναγνωρίζουμε ένα αντικείμενο, παρότι η πραγματική του εικόνα στον αμφιβληστροειδή διαφέρει σημαντικά υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Ο οφθαλμός δεν καταγράφει μια εικόνα παθητικά, όπως η φωτογραφική μηχανή, αλλά μετατρέπει παροδικά φωτεινά ερεθίσματα στον αμφιβληστροειδή σε νοητικές αντιλήψεις ενός σταθερού τρισδιάστατου κόσμου (Kandel et al., 2003).

Το οπτικό σύστημα είναι ένα από τα πιο εκτενώς μελετημένα αισθητηριακά συστήματα του οργανισμού μας, όσον αφορά στη δομή του. Οι ακτίνες του φωτός εισέρχονται στο μάτι μέσω του κερατοειδούς και της ίριδας και εστιάζονται από τον φακό πάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα.



Σχήμα 2.1. Το ανθρώπινο μάτι. Φαίνεται το είδωλο του πραγματικού αντικειμένου στον αμφιβληστροειδή.

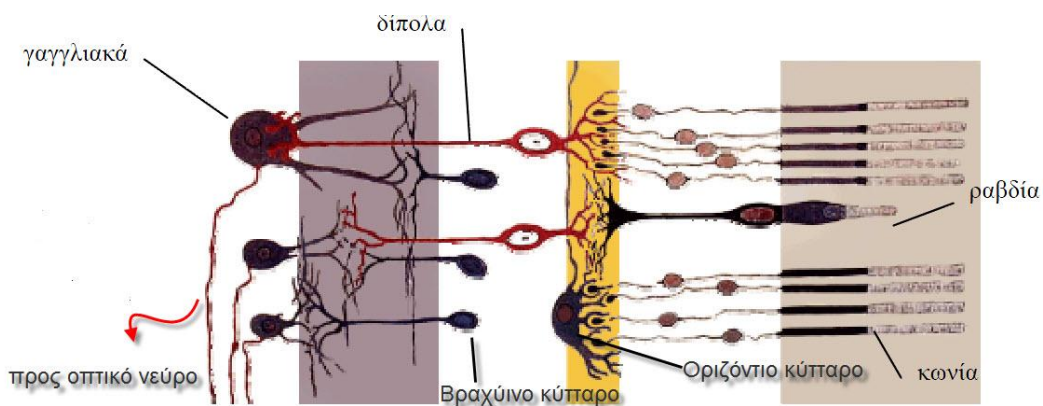
Κάθε φωτεινό αντικείμενο μεταδίδει φωτεινά κύματα σε όλες τις διευθύνσεις από κάθε σημείο του. Προτού σχηματιστεί ένα ακριβές είδωλο από οποιοδήποτε σημείο του αντικειμένου, τα οπτικά αυτά κύματα πρέπει να διέλθουν μέσω του οπτικού συστήματος. Φως εισέρχεται στον οφθαλμό μέσω του κερατοειδούς χιτώνα και συγκλίνει. Εστιάζεται από τον φακό και σχηματίζει ένα ανεστραμμένο πραγματικό είδωλο στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Το ποσοστό του φωτός που εισέρχεται ρυθμίζεται από ένα μεταβλητό διάφραγμα, την ίριδα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.

Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας είναι μια λεπτή στιβάδα νευρικού ιστού, η οποία βρίσκεται στο πίσω τμήμα της εσωτερικής σφαίρας του οφθαλμού. Περιέχει τους φωτοαισθητήρες, τα κωνιοφόρα κύτταρα (κωνία) και τα ραβδιοφόρα κύτταρα (ραβδία), καθώς επίσης, και πέντε τύπους νευρώνων. Τα κωνία και τα ραβδία αντιδρούν στο φως με βραδείες, κλιμακωτές αλλαγές του δυναμικού της μεμβράνης τους. Η όραση μέσω των κωνιοφόρων κυττάρων έχει μεγαλύτερη οξύτητα από των ραβδιοφόρων και εξασφαλίζει καλύτερη διακριτική ικανότητα στις ταχείες αλλαγές της εικόνας όντας υπεύθυνα για τη διεκπεραίωση της έγχρωμης όρασης.

Τα ραβδία ανιχνεύουν το αμυδρό φως και αντιδρούν αργά έτσι, ώστε τα φωτόνια που απορροφούνται σε χρονικό διάστημα 100ms να αθροίζονται και μετατρέπονται σε ηλεκτρικά δυναμικά, οδεύοντας προς τα δίπολα κύτταρα. Μεταξύ των φωτοϋποδοχέων και των γαγγλιακών κυττάρων παρεμβάλλονται άλλα δύο είδη νευρώνων: τα οριζόντια και

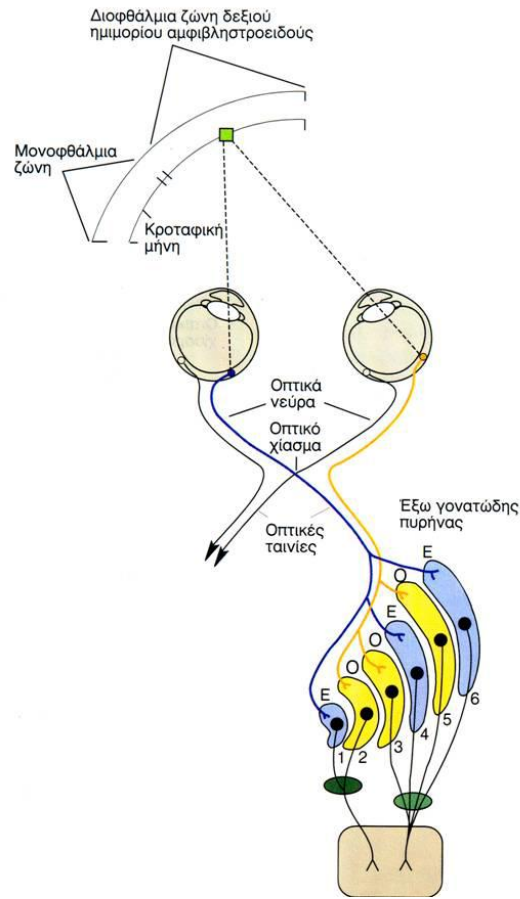
τα βραχύινα κύτταρα. Τα δίπολα κύτταρα με τη σειρά τους προκαλούν δυναμικά στα συνδεδεμένα με αυτά γαγγλιακά κύτταρα.

Σε αντίθεση με τους φωτοϋποδοχείς, οι οποίοι αποκρίνονται στο φως με βαθμιαίες αλλαγές του δυναμικού μεμβράνης, τα γαγγλιακά κύτταρα διαβιβάζουν τις πληροφορίες ως σειρές δυναμικών ενέργειας. Οι νευροάξονες όλων των γαγγλιακών κυττάρων σχηματίζουν το οπτικό νεύρο (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2. Τομή του αμφιβληστροειδούς από σχέδιο του Santiago Ramón y Cajal, ισπανού ιστολόγου και «πατέρα» των νευροεπιστημών. Το ηλεκτρικό δυναμικό οδεύει από δεξιά προς τα αριστερά για να οδηγηθεί στο οπτικό νεύρο (Παπαχρήστος 2006, τροποποιημένο).

Τα οπτικά νεύρα των δύο οφθαλμών, λίγο πριν εισέλθουν στον κύριο όγκο του εγκεφάλου, συναντώνται σχηματίζοντας το οπτικό χίασμα (σχήμα 2.3). Από εκεί τα σήματα που προέρχονται από το δεξιό και αριστερό οπτικό πεδίο κάθε οφθαλμού οδηγούνται εν μέρει στο αριστερό και δεξιό ημισφαίριο αντίστοιχα.



Σχήμα 2.3. Η οπτική οδός που μεσολαβεί για την οπτική αντίληψη (Σαββάκη 1997 - Kandel).

Μέσω του έξω γονατώδους πυρήνα το ηλεκτρικό σήμα οδηγείται, κυρίως, προς τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό (ενότητα 2.4) που βρίσκεται στον ινιακό φλοιό. Τα ηλεκτρικά δυναμικά φθάνοντας στον οπτικό φλοιό «πυροδοτούν» με τη σειρά τους ηλεκτρικά δυναμικά στους νευρώνες του οπτικού φλοιού. Στον πρωτοταγή οπτικό φλοιό γίνεται η πρώτη επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας όσον αφορά στο σχήμα, στο χρώμα, στο περίγραμμα, στον προσανατολισμό και στη στερεοσκοπία. Από τον οπτικό φλοιό η πληροφορία διαχέεται προς άλλες περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού.

Τα πλάγια μέρη του οφθαλμού, όπως άμεσα διαπιστώνεται και εμπειρικά από την όραση αντικειμένων, δεν είναι το ίδιο αποτελεσματικά όσο το κέντρο του οφθαλμού. Υπάρχει, επίσης, ένα σημείο του οφθαλμού όπου τα νεύρα που μεταφέρουν όλες τις πληροφορίες εξαντλούνται. Αυτό είναι το λεγόμενο τυφλό σημείο. Δεν υπάρχει κανένα ευαίσθητο σημείο του αμφιβληστροειδή στο σημείο αυτό και είναι εύκολο να παρατηρηθεί, αν, για παράδειγμα, κάποιος κλείσει τον αριστερό οφθαλμό και κοιτάξει κατευθείαν σε κάποιο

αντικείμενο. Αν στη συνέχεια μετακινήσει το δάκτυλό ή κάποιο άλλο μικρό αντικείμενο σιγά-σιγά έξω από το οπτικό του πεδίο, αυτό ξαφνικά εξαφανίζεται.

Η λειτουργία της όρασης είναι διαφορετική στο φωτεινό περιβάλλον (φωτοπική) από την όραση στο σκοτάδι ή το ημίφως (σκοτοπική). Οι μηχανισμοί της προσαρμογής του οφθαλμού στο φως ή στο σκοτάδι είναι οι εξής:

1) Η διάμετρος της κόρης που αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με το προσπίπτον σε αυτήν φως ρυθμίζοντας με τον τρόπο αυτό την ποσότητα του φωτός που προσπίπτει στον αμφιβληστροειδή

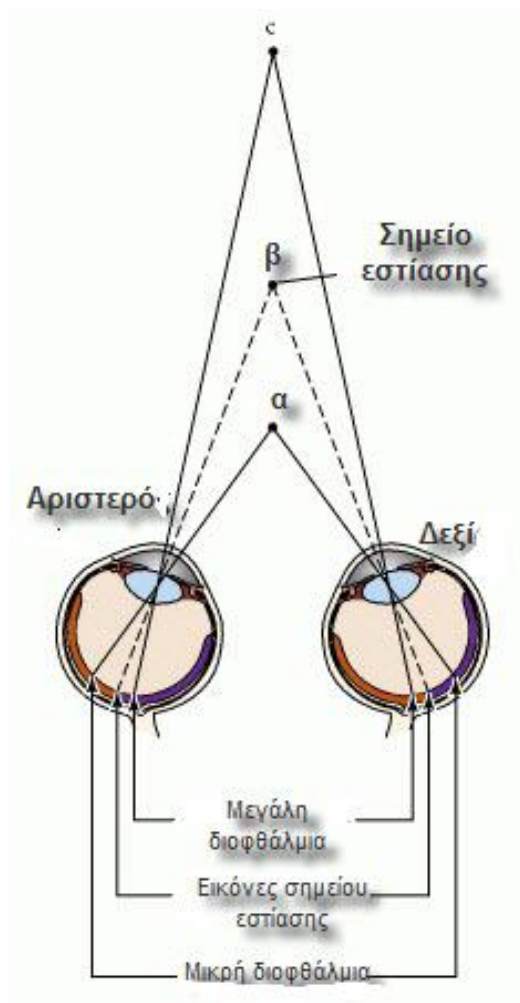
2) Η φωτοευαισθησία του αμφιβληστροειδούς εξαρτάται από τη συγκέντρωση των φωτοευαίσθητων οπτικών χρωστικών όπως η ροδοψίνη (ραβδία), η ιωδοψίνη (κωνία) κ.α. στους φωτοϋποδοχείς του αμφιβληστροειδούς που διασπώνται στο φως και ανασυντίθενται στο σκοτάδι. Αν η ένταση του φωτός είναι πολύ χαμηλή, τα αντικείμενα που βλέπουμε δεν φαίνονται να έχουν χρώμα.

### **2.2.1 Η αίσθηση του βάθους - Στερεοσκοπία**

Ο άνθρωπος, για την οπτική αντίληψη του βάθους και της απόστασης, είναι προικισμένος με την ικανότητα της στερεοσκοπικής όρασης. Μόνο ένα ελάχιστο ποσοστό των ανθρώπων της τάξης του 8%, δεν είναι ικανό να αντιληφθεί στερεοσκοπικά. Η παρατήρηση ενός αντικειμένου που βρίσκεται σε σχετικά κοντινή απόσταση, παρέχει πληροφορίες για το μέγεθος, την απόσταση και τη μορφή του στο χώρο. Υπεύθυνη για αυτό είναι μια απλή εγκεφαλική διαδικασία, κατά την οποία οι δύο σχετικά διαφορετικές δισδιάστατες εικόνες από το κάθε μας μάτι, συνδυάζονται σε μια πλήρη τρισδιάστατη εικόνα του περιβάλλοντος χώρου. Όσο πιο κοντά βρίσκεται ένα αντικείμενο, τόσο περισσότερο μεγαλώνει η διαφορά στην οπτική γωνία παρατήρησής του από το κάθε μάτι και συνεπώς, τόσο πιο μεγάλες είναι οι διαφορές μεταξύ της εικόνας του αντικειμένου, όπως αυτή σχηματίζεται στο δεξί και αριστερό οφθαλμό αντίστοιχα. Αντιθέτως, όταν το αντικείμενο απομακρύνεται, οι διαφορές αυτές γίνονται ολοένα και πιο μικρές.

Το οπτικό σύστημα λοιπόν, δεν έχει κάποιο ειδικό «αισθητήρα» για το «βάθος», συνεπώς, θα πρέπει να «ερμηνεύσει» κάποια από τα δεδομένα που καταγράφονται στο

αμφιβληστροειδή για να δει στερεοσκοπικά. Στηρίζεται στο γεγονός ότι η τρισδιάστατη φυσική όραση πραγματοποιείται, διότι κάθε μάτι βλέπει το ίδιο αντικείμενο από σχετικά μικρή, αλλά διαφορετική οπτική γωνία με αποτέλεσμα την ίδια στιγμή ο εγκέφαλος να παραλαμβάνει δύο ελαφρά διαφοροποιημένες εικόνες του ίδιου αντικειμένου (σχήμα 2.4). Η διαφοροποίηση αυτή ονομάζεται παράλλαξη ή διοφθάλμια διαφορά και είναι το πιο σημαντικό στοιχείο για την αίσθηση του βάθους.



Σχήμα 2.4. Παράλλαξη ή διοφθάλμια διαφορά. Το σημείο α, αντιστοιχεί σε μικρή διοφθάλμια διαφορά, ενώ το σημείο β, στο σημείο εστίασης των οφθαλμών.

Μαζί με την πληροφορία από την διοφθάλμια διαφορά ο εγκέφαλος αξιοποιεί και στοιχεία που αφορούν το ίδιο το αντικείμενο όπως, σκιάσεις, σχετικές θέσεις, μεγέθη, γραμμικά προοπτικά στοιχεία, υφή και φωτισμός των επιφανειών κ.α. Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, όλα αυτά τα στοιχεία, οδηγούν σε μια πιστή, τρισδιάστατη αναπαράσταση του

περιβάλλοντος χωρίς το υποκείμενο να αντιλαμβάνεται τους παράγοντες που συνετέλεσαν στην τελική οπτική αναπαράσταση.

### 2.3 Το νευρικό σύστημα

Το νευρικό σύστημα αποτελείται από δύο υποσυστήματα: το *κεντρικό νευρικό σύστημα*, αποτελούμενο από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό, και το *περιφερειακό νευρικό σύστημα*, αποτελούμενο από τις ομάδες νευρώνων που ονομάζονται γάγγλια καθώς και από τα περιφερειακά νεύρα, που βρίσκονται έξω από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Τα δύο υποσυστήματα διαχωρίζονται ανατομικά, αλλά συνδέονται λειτουργικά.

Το περιφερειακό νευρικό σύστημα αποτελείται από δύο τμήματα: το *σωματικό τμήμα* και το *αυτόνομο*. Το σωματικό τμήμα παρέχει στο κεντρικό νευρικό σύστημα τις πληροφορίες για τη θέση των μυών και των άκρων καθώς και για το εξωτερικό περιβάλλον του σώματος. Σε αυτό περιλαμβάνονται οι αισθητηριακοί νευρώνες των εγκεφαλικών και νωτιαίων γαγγλίων, οι οποίοι νευρώνουν τους μυς, τις αρθρώσεις και το δέρμα.

Το αυτόνομο τμήμα αποτελεί το κινητικό σύστημα για τους λείους μυς του δέρματος, τα σπλάχνα και τους εξωκρινείς αδένες. Για το λόγο αυτό αποκαλείται και αυτόνομο κινητικό σύστημα. Διαιρείται σε τρία υποσυστήματα: το συμπαθητικό (αντίδραση του σώματος σε ερεθίσματα), το παρασυμπαθητικό (διατήρηση ενεργειακών αποθεμάτων του σώματος) και το εντερικό νευρικό σύστημα (έλεγχος της λειτουργίας των λείων μυϊκών ινών του εντέρου).

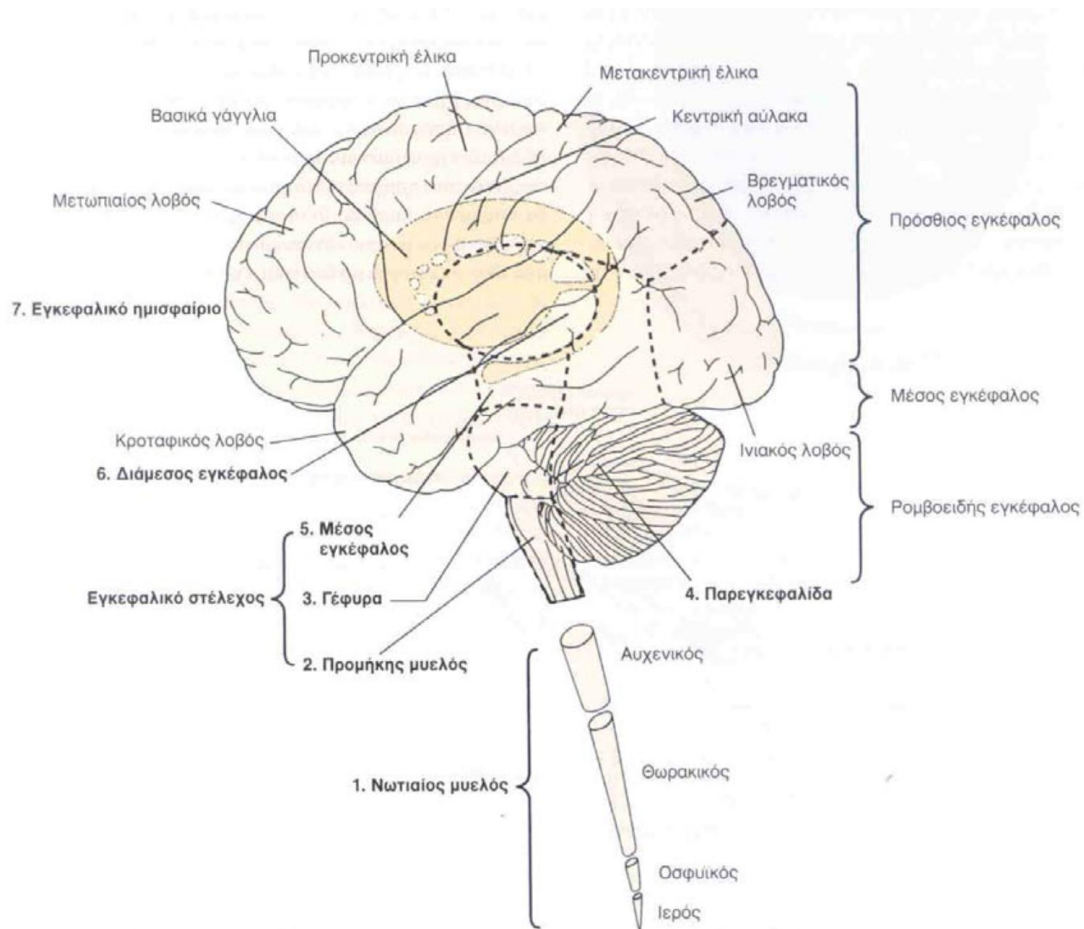
Το κεντρικό νευρικό σύστημα χρήζει ανάλυσης στην παρούσα διατριβή εξαιτίας της σύνδεσής του με εγκεφαλικές λειτουργίες. Το κεντρικό νευρικό σύστημα ενός ενήλικου υγιούς ατόμου είναι αμφίπλευρο και ουσιαστικά συμμετρικό και διαιρείται σε επτά κύρια μέρη, (σχήμα 2.5):

- Το νωτιαίο μυελό. Βρίσκεται στο κατώτατο τμήμα του κεντρικού νευρικού συστήματος, δέχεται και επεξεργάζεται αισθητηριακές πληροφορίες από το δέρμα, τους μύες των άκρων και του κορμού, τις αρθρώσεις και τα εσωτερικά όργανα, περιέχει τους κινητικούς νευρώνες που ελέγχουν τις ακούσιες και τις αντανακλαστικές κινήσεις και ελέγχει πολλές σπλαχνικές λειτουργίες. Υποδιαιρείται στον αυχενικό, τον θωρακικό, τον οσφυϊκό και τον ιερό νωτιαίο μυελό



- Τον προμήκη μυελό. Αποτελεί προέκταση του νωτιαίου μυελού. Ρυθμίζει ζωτικές αυτόνομες λειτουργίες, όπως η πέψη, η αναπνοή και ο έλεγχος του καρδιακού ρυθμού. Μαζί με τη γέφυρα και την παρεγκεφαλίδα σχηματίζουν μια συνεχή δομή που ονομάζεται εγκεφαλικό στέλεχος
- Τη γέφυρα. Μεταφέρει πληροφορίες σχετικά με την κίνηση από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια προς την παρεγκεφαλίδα. Μαζί με τον προμήκη μυελό συμμετέχει στη ρύθμιση της πίεσης του αίματος και της αναπνοής
- Την παρεγκεφαλίδα. Διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην εκμάθηση των κινητικών δεξιοτήτων και τροποποιεί τη δύναμη και το εύρος της κίνησης. Συντονίζει τον προγραμματισμό, τον χρόνο και τον τύπο ενέργειας των σκελετικών μυών κατά τη διάρκεια της κίνησης
- Το μέσο εγκέφαλο. Ελέγχει πολλές κιναισθητικές λειτουργίες, όπως τις οφθαλμικές κινήσεις και το συντονισμό των οπτικών και ακουστικών αντανακλαστικών
- Το διάμεσο εγκέφαλο. Περιέχει δύο βασικές δομές, το θάλαμο που επεξεργάζεται όλες σχεδόν τις πληροφορίες που μεταδίδονται στα εγκεφαλικά ημισφαίρια από το υπόλοιπο κεντρικό νευρικό σύστημα και τον υποθάλαμο που ρυθμίζει αυτόνομες, ενδοκρινικές και σπλαχνικές λειτουργίες
- Τα εγκεφαλικά ημισφαίρια. Αποτελούν τη μεγαλύτερη περιοχή του εγκεφάλου και εξωτερικά εμφανίζουν την έντονα πτυχωτή επιφάνεια του φλοιού των εγκεφαλικών ημισφαιρίων. Αποτελούνται από το φλοιό, την υποκείμενη λευκή ουσία – τη φαιά ουσία, τα βασικά γάγγλια, τον υποκάμπιο σχηματισμό και την αμυγδαλή. Τα εγκεφαλικά ημισφαίρια χωρίζονται με μία βαθιά σχισμή (από εμπρός μέχρι πίσω) σε αριστερό και δεξιό ημισφαίριο τα οποία, ενώ στο μεγαλύτερο μέρος τους το ένα αποτελεί είδωλο του άλλου, εκτελούν γενικά διαφορετικές λειτουργίες. Η μεγαλύτερη δομή των εγκεφαλικών ημισφαιρίων, ο εγκεφαλικός φλοιός, διαδραματίζει κεντρικό ρόλο σε όλες τις λεγόμενες ανώτερες εγκεφαλικές λειτουργίες όπως η μνήμη, η προσοχή, η αντίληψη, η σκέψη, η γλώσσα και η συνείδηση και περιγράφεται αναλυτικότερα στην επόμενη ενότητα. Τα βασικά γάγγλια συμμετέχουν στη ρύθμιση της κίνησης και γενικά στη γνωστική λειτουργία. Ο υπόκαμπος και η αμυγδαλή είναι μέρη του στεφανιαίου συστήματος. Ο υπόκαμπος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μνήμη, ενώ η αμυγδαλή συντονίζει

τις δράσεις του αυτόνομου και του ενδοκρινικού συστήματος και συμμετέχει στη δημιουργία των συναισθημάτων.



Σχήμα 2.5. Σχηματική αναπαράσταση της δομής του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (Kandel et al., 2003:11).

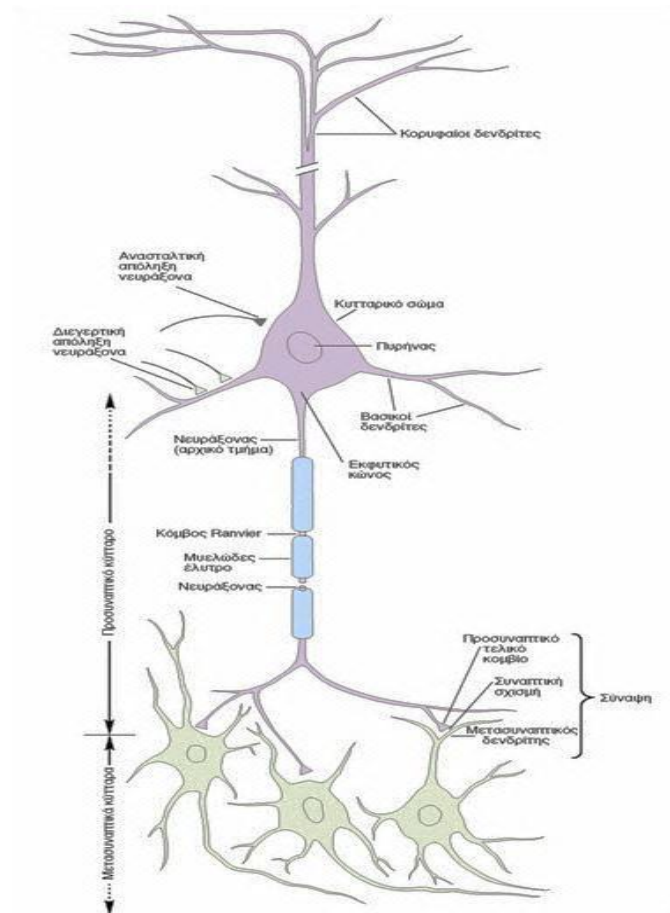
### 2.3.1 Νευρικά κύτταρα και μετάδοση νευρικών σημάτων

Στο νευρικό σύστημα υπάρχουν δύο κατηγορίες κυττάρων: τα *νευρικά κύτταρα* ή *νευρώνες* και τα *νευρογλοιακά κύτταρα*. Τα νευρογλοιακά κύτταρα είναι 10 – 50 φορές περισσότερα αριθμητικά από ότι οι νευρώνες στο κεντρικό νευρικό σύστημα των σπονδυλωτών. Δεν συγκρατούν άλλα κύτταρα, παρά το δεύτερο συνθετικό της ονομασίας τους από την ελληνική λέξη *γλοιός* (= κόλλα) και δεν είναι απαραίτητα στην επεξεργασία πληροφοριών. Ωστόσο, θεωρείται ότι χρησιμεύουν στη σταθερότητα και τη δομική συνοχή του εγκεφάλου και λειτουργούν ως απορριμματοσυλλέκτες, απομακρύνοντας συντρίμματα μετά από κάκωση ή νευρωνικό θάνατο.

Αντίθετα, τα νευρικά κύτταρα αποτελούν το θεμέλιο λίθο στη δομή του νευρικού συστήματος και κατά συνέπεια στην κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου και της παραγωγής των σκέψεων. Όλα τα ζώα, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, δέχονται πληροφορίες για το περιβάλλον μέσω ποικίλων αισθητηριακών υποδοχέων. Από τους υποδοχείς, οι πληροφορίες μεταβιβάζονται στον εγκέφαλο και μετασχηματίζονται από αυτόν σε αισθήσεις ή σε εντολές κίνησης. Η σύνθετη και ιδιαίτερα χρήσιμη διαδικασία, επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση μόνο των νευρικών κυττάρων και των συνδέσεων μεταξύ τους.

Οι βασικές μονάδες του εγκεφάλου, τα νευρικά κύτταρα, είναι απλά στη δομή τους με αρκετά κοινά στοιχεία. Ο εγκέφαλος είναι ικανός να παράγει μια εξαιρετικά σύνθετη συμπεριφορά, διότι περιέχει έναν εκπληκτικά μεγάλο αριθμό νευρικών κυττάρων – περίπου  $10^{11}$  – τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ειδικών διασυνδέσεων. Μια βασική ανακάλυψη για την κατανόηση του εγκεφάλου είναι ότι η δυνατότητα για την παραγωγή σύνθετης συμπεριφοράς δεν εξαρτάται τόσο από την ποικιλία των νευρικών κυττάρων όσο από τον αριθμό τους και τις ακριβείς συνδέσεις μεταξύ τους (Kandel et al., 2003).

Στο σχήμα 2.6, παρουσιάζεται η δομή και τα βασικά μέρη ενός τυπικού νευρικού κυττάρου.



Σχήμα 2.6. Σχηματική αναπαράσταση νευρώνων. Εικονίζονται τα βασικά μέρη του νευρικού κυττάρου (κυτταρικό σώμα, δενδρίτες, νευροάξονας) καθώς και οι συνάψεις με άλλα (μετασυναπτικά) κύτταρα (Kandel et al., 2003).

Τα περισσότερα από τα νευρικά κύτταρα παρουσιάζουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά. Ένας συνήθης νευρώνας έχει τέσσερις καθορισμένες μορφολογικές περιοχές: το κυτταρικό σώμα, τους δενδρίτες, τον νευροάξονα και τα προσυναπτικά τελικά κομβία.

Το *κυτταρικό σώμα* είναι το κέντρο μεταβολισμού του κυττάρου. Περιέχει τον πυρήνα, τον υπεύθυνο για την αποθήκευση των γενετικών πληροφοριών. Στο κυτταρικό σώμα περιλαμβάνονται τα δύο είδη των κυτταρικών αποφυάδων, οι δενδρίτες και ο νευροάξονας. Οι *δενδρίτες* χρησιμοποιούνται ως κύριο σύστημα υποδοχής σημάτων από άλλα νευρικά κύτταρα. Ο *νευροάξονας* είναι η κύρια μονάδα αγωγής του νευρώνα και μπορεί να μεταφέρει ηλεκτρικά σήματα σε μήκος που κυμαίνεται από 0.1 mm έως και 2 m. Διαιρείται σε αρκετούς κλάδους, μεταφέροντας έτσι πληροφορίες σε διάφορους στόχους. Η διαβίβαση των πληροφοριών πραγματοποιείται με χημικό ή ηλεκτρικό τρόπο. Τα ηλεκτρικά

σήματα που διατρέχουν τον νευροάξονα ονομάζονται δυναμικά ενέργειας και είναι σύντομες και παροδικές νευρικές ώσεις (Kandel et al., 2003).

Κοντά στην απόληξή του ο νευροάξονας έρχεται διαιρεμένος, σε επαφή με άλλους νευρώνες. Το κύτταρο που διαβιβάζει το σήμα ονομάζεται *προσυναπτικό κύτταρο* ενώ αυτό που δέχεται το σήμα ονομάζεται *μετασυναπτικό κύτταρο*. Τα σημεία αυτής της επαφής λέγονται *προσυναπτικά τελικά κομβία*. Σημαντικό ρόλο στην ηλεκτρική συμπεριφορά των νευρώνων παίζει το *μυελώδες έλυτρο* που περιβάλλει και μονώνει πολλούς νευράξονες (κυρίως στους κινητικούς και αισθητικούς νευρώνες) και που διακόπτεται ανά κανονικά διαστήματα από τους κόμβους Ranvier.

Τα νευρικά κύτταρα όταν βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας είναι ηλεκτρικά πολωμένα και διατηρούν μια διαφορά δυναμικού μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού της κυτταρικής μεμβράνης κατά μέσο όρο της τάξης των 65 mV. Δεδομένου ότι το δυναμικό έξω από το κύτταρο ορίζεται κατά συνθήκη ως μηδέν, το δυναμικό ηρεμίας είναι αρνητικό ( - 65 mV). Η διαφορά δυναμικού οφείλεται στην άνιση κατανομή των κατιόντων νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) που πλεονάζουν στον εξωκυττάριο χώρο και ανιόντων χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ) στο εσωτερικό του κυττάρου, καθώς και σε κατιόντα καλίου ( $\text{K}^+$ ) ή και άλλων οργανικών ανιόντων σε συνδυασμό με την επιλεκτική διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης στα ιόντα  $\text{K}^+$  και  $\text{Na}^+$ . Αυτή η διαφορά δυναμικού, ονομάζεται *δυναμικό ηρεμίας της μεμβράνης*.

Οι σημαντικότεροι διάυλοι που ενδιαφέρουν για την περιγραφή της ηλεκτρικής συμπεριφοράς των νευρικών κυττάρων είναι οι διάυλοι  $\text{K}^+$  και  $\text{Na}^+$ . Σε κανονικές συνθήκες μία μεμβρανική πρωτεΐνη που ονομάζεται «αντλία  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ » επιτρέπει τη μετακίνηση ιόντων διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης με αποτέλεσμα να αλλάζει η ηλεκτρική ισορροπία του κυττάρου σε σχέση με το περιβάλλον του.

## **2.4 Ο εγκεφαλικός φλοιός**

Ο φλοιός των εγκεφαλικών ημισφαιρίων αποτελεί την έντονη πτυχωτή επιφάνεια των ημισφαιρίων (σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7. Ο εγκεφαλικός φλοιός. Η έντονη πτυχωτή επιφάνεια τον διαιρεί στο αριστερό και δεξιό ημισφαίριο.

Σε κάθε ένα από τα δύο ημισφαίρια του εγκεφάλου, ο φλοιός διαιρείται σε τέσσερις ανατομικά ανεξάρτητους λοβούς: τον *μετωπιαίο*, τον *βρεγματικό*, τον *κροταφικό* και τον *ινιακό* (σχήμα 2.8). Οι λοβοί πήραν τα ονόματά τους από τα αντίστοιχα οστά του κρανίου, από τα οποία και καλύπτονται.

- Ο *μετωπιαίος λοβός* σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τον προγραμματισμό της μελλοντικής πράξης και τον έλεγχο της κίνησης
- Ο *βρεγματικός λοβός* σχετίζεται με την αίσθηση της αφής και την απεικόνιση του σώματος
- Ο *ινιακός λοβός* περιλαμβάνει τη μεγάλη οπτική περιοχή στην οποία φθάνει η πληροφορία από τους οφθαλμούς αναλύοντας τα χρώματα, την κίνηση και την στερεοσκοπία από όπου προωθείται στις συνειρμικές περιοχές
- Ο *κροταφικός λοβός* που σχετίζεται με την ακοή και με πλευρές της μάθησης, της μνήμης και των συναισθημάτων.

Παρόλο αυτά, υπάρχουν και άλλες δύο περιοχές του φλοιού, οι οποίες, όμως, είναι εσωτερικές και για την παρούσα διατριβή δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης. Ο *φλοιός της νήσου* και ο *στεφανιαίος λοβός*.

Ο φλοιός των εγκεφαλικών ημισφαιρίων έχει δύο σημαντικά χαρακτηριστικά οργάνωσης. Πρώτον, κάθε ημισφαίριο σχετίζεται με αισθητηριακές και κινητικές λειτουργίες του αντίθετου ημιμορίου του σώματος. Μια αισθητηριακή πληροφορία που εισέρχεται στο

νωτιαίο μυελό από την αριστερή πλευρά του σώματος φέρεται στη δεξιά πλευρά του νευρικού συστήματος προτού μεταβιβασθεί στο φλοιό των εγκεφαλικών ημισφαιρίων. Αντίστοιχα, οι κινητικές περιοχές στο ένα ημισφαίριο του εγκεφάλου ασκούν έλεγχο των κινήσεων του αντίθετου ημιμορίου του σώματος. Δεύτερον, παρόλο που τα ημισφαίρια φαίνεται να είναι όμοια στον άνθρωπο, δεν είναι απόλυτα συμμετρικά ως προς την κατασκευή, ούτε ισοδύναμα ως προς τη λειτουργία.

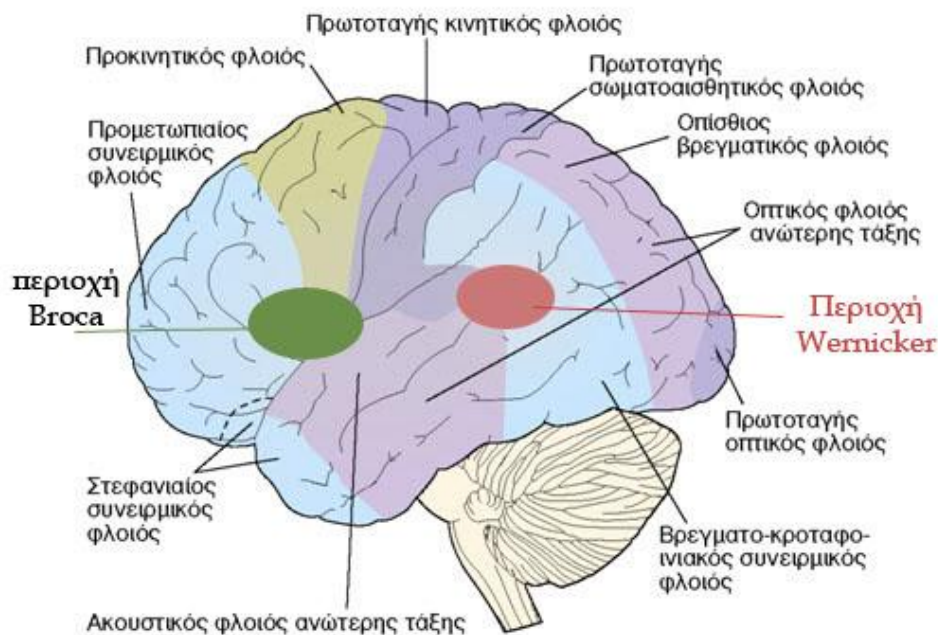
Πολλές περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού σχετίζονται με την επεξεργασία τόσο αισθητικών όσο και κινητικών εντολών ή και συνδυασμό αυτών. Κατατάσσονται σε *πρωτοταγείς, δευτεροταγείς ή τριτοταγείς* (αισθητηριακές ή κινητικές) περιοχές, ανάλογα με το επίπεδο επεξεργασίας των πληροφοριών που λαμβάνονται, επεξεργάζονται και διεκπεραιώνουν. Για παράδειγμα, ο πρωτοταγής κινητικός φλοιός διεκπεραιώνει τις εκούσιες κινήσεις των άκρων και του κορμού που προβάλλονται απευθείας στο νωτιαίο μυελό, χωρίς τη μεσολάβηση άλλων νευρώνων, εξ ου και η ονομασία του ως πρωτοταγής. Οι πρωτοταγείς περιοχές περιβάλλονται από τις δευτεροταγείς και τριτοταγείς περιοχές (αισθητηριακές και κινητικές), οι οποίες χαρακτηρίζονται ως *ανώτερης τάξης περιοχές*. Αυτές αναλαμβάνουν την επεξεργασία των πληροφοριών που προέρχονται από τις πρωτοταγείς περιοχές και αναλόγως τις διαχωρίζουν ως αισθητηριακές ή κινητικές στέλνοντάς τες εκ νέου στον αντίστοιχο πρωτοταγή φλοιό.

Οι πρωτοταγείς όσο και οι ανώτερης τάξης περιοχές του φλοιού περιβάλλονται από άλλες τρεις μεγάλες περιοχές του φλοιού που ονομάζονται συνειρμικές περιοχές. Η κύρια λειτουργία τους είναι να ολοκληρώνουν διάφορες πληροφορίες για σκόπιμη δράση και να συμμετέχουν, σε ανάλογο βαθμό, στον έλεγχο τριών κύριων εγκεφαλικών λειτουργιών της αντίληψης, της κίνησης και της κινητοποίησης. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζονται στο σχήμα 2.8 και είναι:

Ο *βρεγματο – κροταφο – ινιακός συνειρμικός φλοιός*, ο οποίος καταλαμβάνει την περιοχή ένωσης των τριών λοβών και σχετίζεται με ανώτερες αντιληπτικές λειτουργίες όπως η σωματική αισθητηριακότητα, η ακοή και η όραση, δηλαδή με τα πρωτοταγή αισθητικά ερεθίσματα από τους τρεις λοβούς αντίστοιχα. Οι πληροφορίες αυτές συνδυάζονται στον συνειρμικό φλοιό για το σχηματισμό σύνθετων αντιλήψεων.

Ο προμετωπιαίος συνειρμικός φλοιός, το μεγαλύτερο μέρος του μετωπιαίου λοβού, συνεισφέρει στο σχεδιασμό των εκούσιων κινήσεων.

Ο στεφανιαίος συνειρμικός λοβός, σχετίζεται με την κινητοποίηση, το συναίσθημα και τη μνήμη. Βρίσκεται σε μέρη τόσο του βρεγματικού, του μετωπιαίου όσο και του κροταφικού λοβού.



Σχήμα 2.8. Σχηματική απεικόνιση της έξω (ορατής) επιφάνειας του εγκεφαλικού φλοιού του αριστερού ημισφαιρίου, η οποία δείχνει τις κύριες περιοχές του πρωτοταγούς κινητικού και αισθητικού φλοιού, τον κινητικό και τους αισθητικούς φλοιούς ανώτερης τάξης, καθώς και τους τρεις συνειρμικούς φλοιούς. Παριστάνονται και οι δύο σημαντικές περιοχές για τη λειτουργία της γλώσσας, η περιοχή Broca και η περιοχή Wernicke. Τα σχήματα αποτελούν απλοποιημένη εκδοχή της αναπαράστασης του Brodmann (τροποποιημένο από Kandel et al., 2003).

Στο σχήμα 2.8 αποδίδεται μια σχηματική απεικόνιση της έξω επιφάνειας του ανθρώπινου εγκεφάλου. Φαίνονται οι κύριες περιοχές του πρωτοταγούς κινητικού και αισθητικού φλοιού, ο κινητικός και οι αισθητικοί φλοιοί ανώτερης τάξης, καθώς και οι τρεις συνειρμικοί. Προστέθηκαν επίσης, οι περιοχές Broca και Wernicke. Η περιοχή Broca ελέγχει την παραγωγή του λόγου. Βρίσκεται κοντά στην κινητική περιοχή ελέγχοντας τις κινήσεις του στόματος και της γλώσσας. Η περιοχή Wernicke επεξεργάζεται τις ακουστικές πληροφορίες



και είναι σημαντική για την κατανόηση του λόγου. Βρίσκεται κοντά στην κινητική περιοχή ελέγχοντας τις κινήσεις του στόματος και της γλώσσας. Η περιοχή *Wernicke* επεξεργάζεται τις ακουστικές πληροφορίες και είναι σημαντική για την κατανόηση του λόγου. Βρίσκεται κοντά στον πρωτοταγή ακουστικό φλοιό και στη γωνιώδη έλικα, η οποία συνδυάζει ακουστικές πληροφορίες με πληροφορίες από άλλες αισθήσεις. Οι δύο αυτές περιοχές επικοινωνούν μεταξύ τους με μια δεσμίδα ινών, την *τοξοειδή δεσμίδα*..

## **2.5 Τεχνικές απεικόνισης εγκεφαλικής δραστηριότητας**

Η ανάγκη για την αξιοποίηση συμπεριφορικών δεδομένων από ασθενείς με τραυματισμένους εγκεφάλους έδωσε τα πρώτα αποτελέσματα που στήριζαν εντοπιστικές θεωρίες (Καφετζόπουλος, 1995). Η χρήση όμως, δεδομένων από τραυματισμένους εγκεφάλους εμπεριέχει αυτονόητα μειονεκτήματα όσον αφορά στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τον μέσο, υγιή ανθρώπινο εγκέφαλο. Κατά το τελευταίο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα αναπτύχθηκαν αρκετές, μη – επεμβατικές μέθοδοι για τον εντοπισμό και την απεικόνιση της εγκεφαλικής λειτουργίας σε υγιή υποκείμενα – εθελοντές, οι οποίες οδήγησαν σε μια ερευνητική «έκρηξη». Κυριότερες αυτών των μεθόδων είναι οι:

- *Ηλεκτρομαγνητικές καταγραφές*. Υπάρχουν δύο τεχνικές για τη μη επεμβατική καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου: η ηλεκτροεγκεφαλογραφία και η μαγνητοεγκεφαλογραφία. Και οι δύο είναι ιδιαίτερα ασφαλείς για το υποκείμενο και έχουν εξαιρετική χρονική ανάλυση της τάξεως του χιλιοστού του δευτερολέπτου (ms). Μια τέτοια ανάλυση επιτρέπει την παρακολούθηση της εγκεφαλικής λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο. Εμφανίζουν, όμως, περιορισμένες δυνατότητες χωρικής ανάλυσης των εγκεφαλικών λειτουργιών λόγω της καταγραφής της ηλεκτρικής δραστηριότητας έξω από το τριχωτό της κεφαλής
- *Αιμοδυναμικές καταγραφές μέσω Τομογραφίας Εκπομπής Ποζιτρονίων (Positron emission tomography – PET)*. Η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων καταγράφει την εγκεφαλική λειτουργία μέσω των μεταβολών στη ροή του αίματος και το φλεβικό επίπεδο οξυγόνωσης που ακολουθεί της ενεργοποίησης των εγκεφαλικών νευρικών κυττάρων. Καταγράφει την ακτινοβολία γ που εκπέμπεται από την αποδιέγερση ατόμων, τα οποία έχουν αρχικά διεγερθεί από ποζιτρόνια που αποδεσμεύονται από

ραδιενεργά στοιχεία. Βασικά μειονεκτήματά της είναι η περιορισμένη δυνατότητα επανάληψης καταγραφών στο ίδιο υποκείμενο (λόγω περιορισμών στην έκθεση σε ακτινοβολία) και η μικρή χωρική ανάλυση και η υπόθεση ότι ο εγκέφαλος πρέπει να βρίσκεται σε στατική κατάσταση για το χρονικό διάστημα (60 – 90 sec)

- *Αιμοδυναμικές καταγραφές μέσω λειτουργικής μαγνητικής τομογραφίας (Functional Magnetic Resonance Imaging – fMRI)*. Η λειτουργική μαγνητική τομογραφία βασίζεται στην ικανότητα δέσμωσης των σημάτων που εκπέμπουν τα άτομα υδρογόνου που υπάρχουν στους ιστούς, ιδιαίτερα σ' εκείνους που είναι πλούσιοι σε νερό. Όταν βρεθούν μέσα σε μαγνητικό πεδίο επιτυγχάνεται η διέγερση των ατόμων υδρογόνου. Στη μαγνητική τομογραφία το υποκείμενο εκτίθεται σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο ικανό να προσανατολίσει τους πυρήνες σε κανονική διάταξη με τη βοήθεια μιας ακολουθίας ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η πολύ υψηλή χωρική ανάλυση, ενώ στα μειονεκτήματά της καταγράφονται η ανάγκη έκθεσης του υποκειμένου σε ιδιαίτερα μεγάλης έντασης μαγνητικά πεδία και η μικρή χρονική ανάλυση.

Στην επόμενη ενότητα περιγράφεται το ηλεκτροεγκεφαλογραφημα (HEG), το οποίο αποτέλεσε την τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας υποκειμένων στην παρούσα διατριβή.

## **2.6 Το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα**

### **2.6.1 Ιστορικά στοιχεία**

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος, το πλέον πολύπλοκο δημιούργημα της φύσης, αποτελεί προϊόν βιολογικής εξέλιξης εκατομμυρίων ετών εμπεριέχοντας ένα εξαιρετικά πολυσύνθετο δίκτυο κυττάρων, οι λειτουργίες του οποίου είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία των σκέψεων, της μνήμης, τον έλεγχο των δραστηριοτήτων του σώματος και των συναισθημάτων. Αυτό το έργο επιτελείται από τουλάχιστον  $10^{11}$  νευρώνες του εγκεφάλου, σε  $10^{14} - 10^{15}$  σημεία συνάντησης. Η έρευνα για την κατανόηση των μηχανισμών λειτουργίας του αποτελεί ένα τιτάνιο έργο και μέχρι σήμερα το ποσοστό της άγνοιάς μας είναι συντριπτικά μεγαλύτερο από την ποσότητα των γνώσεων που αποκτήθηκαν εδώ και 150 χρόνια. Το πεδίο της

έρευνας φαίνεται απέραντο και η πρόοδος των ανακαλύψεων της τελευταίας τριακονταετίας μας ωθεί συνεχώς σε νέες ανεξερεύνητες περιοχές.

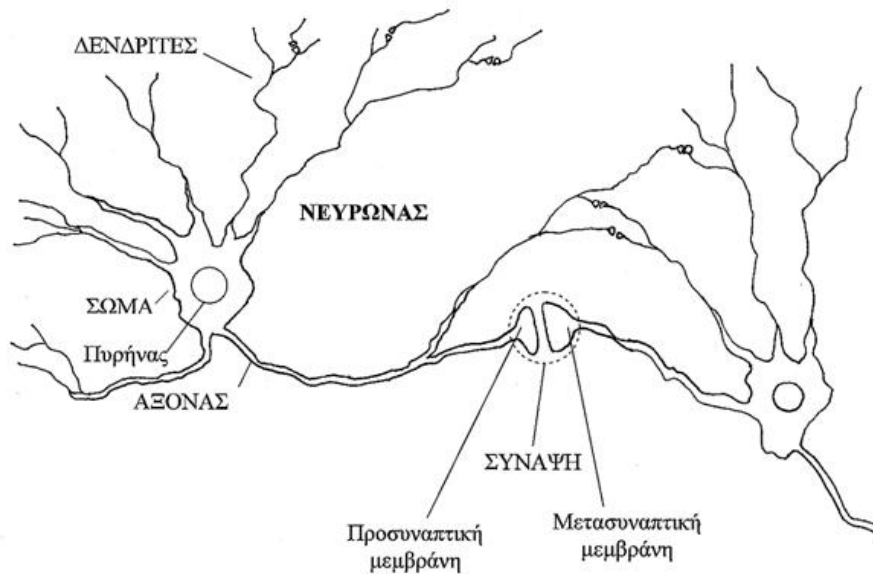
Στην περίπτωση του νευρικού συστήματος, στο οποίο ανήκει ο εγκέφαλος, η ιατρική έρευνα από πολύ νωρίς συνδέθηκε με τη μελέτη των ηλεκτρικών φαινομένων που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία των νευρικών κυττάρων. Το 1791 ο Galvani δημοσίευσε την ιδέα ότι τα «νεύρα» περιέχουν μία εγγενή μορφή ηλεκτρισμού. Το 1848 ο Du Bois – Reymond ανακάλυψε ότι η δραστηριότητα των περιφερειακών νεύρων συνοδεύεται από μετρήσιμες μεταβολές του ηλεκτρικού δυναμικού. Αυτό έδωσε ώθηση στην επιστημονική κοινότητα να ερευνήσει μεταβολές της ηλεκτρικής δραστηριότητας οι οποίες θα οφείλονταν στο νευρικό σύστημα και θα ήταν ενδεικτικές της λειτουργίας του. Ήδη, το 1877 ο R. Catton είχε αποδείξει ότι υπάρχει σχέση μεταξύ εξωτερικών ερεθισμάτων και ηλεκτρικής δραστηριότητας στον εγκέφαλο κουνελιών και πιθήκων. Ανέφερε, μάλιστα, ότι ήταν δυνατή η καταγραφή ασθενών ρευμάτων από ηλεκτρόδια στη δερματική επιφάνεια της κεφαλής τους. Η πρώτη εμπειριστατωμένη αναφορά για τη μέτρηση διαφορών δυναμικού από την εξωτερική επιφάνεια της ανθρώπινης κεφαλής προέρχεται από τον Hans Berger το 1929, γεγονός το οποίο οριοθετεί την έναρξη της μελέτης των λειτουργιών του εγκεφάλου μέσω του Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (ΗΕΓ) (Κουτσούρης, 2005).

### **2.6.2 Η νευροφυσιολογία του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος**

Η Ηλεκτροεγκεφαλογραφία (Η.Ε.Γ.) είναι η παλαιότερη τεχνική απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας και ουσιαστικά πρόκειται για τη μελέτη των μικρών, σταθερά εναλλασσόμενων δυναμικών του εγκεφάλου στο πεδίο του χρόνου, τα οποία μπορούν να καταγραφούν από το κρανίο. Είναι ένα πεδίο που έχει υποστεί ισχυρή κριτική ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά βασικά προβλήματα καταγραφής καθώς και στην υποκειμενική οπτική εκτίμηση των πολύπλοκων καταγραφών. Είναι η τεχνική με την οποία παρακολουθούμε και καταγράφουμε την ηλεκτρική δραστηριότητα που παράγεται από νευρικά κύτταρα του εγκεφαλικού φλοιού (νευρώνες) εξαιτίας της φλοιϊκής δραστηριότητας. Τα μεταβαλλόμενα αυτά δυναμικά αθροίζονται και άγονται στο κρανίο απ' όπου μπορούν να καταγραφούν (Savoy, 2001; Fisch, 1999; Τριανταφύλλου, 1994).

Οι μετρούμενες διαφορές δυναμικού από τις αντίστοιχες θέσεις του κρανίου, καθώς εξελίσσονται ταυτόχρονα στο χρόνο, απαρτίζουν το ηλεκτροεγκεφαλικό σήμα ή σήμα ΗΕΓ. Αποτελεί μια ειδική κατηγορία βιοηλεκτρικού σήματος, ηλεκτρικού σήματος δηλαδή που παράγεται από ζωντανούς σχηματισμούς κυττάρων και πιο συγκεκριμένα, από τα κύτταρα του νευρικού συστήματος. Τα σήματα ΗΕΓ προέρχονται από τον εγκέφαλο παρουσιάζοντας διακύμανση στο χρόνο και συχνά ονομάζονται «εγκεφαλικά κύματα», αν και δεν αποτελούν ταλαντώσεις με την έννοια που χρησιμοποιείται ο όρος στην κυματική. Η παραγωγή των σημάτων που προέρχονται από τον εγκέφαλο και παρουσιάζουν διακύμανση στο χρόνο είναι συνεχόμενη, αρχίζει πριν τη διαδικασία της γέννησης και διακόπτεται οριστικά μόνο με το θάνατο. Μια άλλη ονομασία του σήματος ΗΕΓ είναι «συνεχόμενο ή αυθόρμητο» ΗΕΓ (ongoing EEG) για να διαχωριστεί από προκαλούμενα εγκεφαλικά κύματα, όπως τα προκλητά δυναμικά. Προκλητά δυναμικά ονομάζονται οι διαφορές δυναμικού που μετρώνται στη δερματική επιφάνεια της κεφαλής και προκαλούνται ως προετοιμασία ή απόκριση σε συγκεκριμένα γεγονότα που συμβαίνουν στον εξωτερικό φυσικό κόσμο ή λαμβάνουν χώρα ως ψυχολογική διαδικασία (Κουτσούρης, 2003).

Η *σύναψη*, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.3.3.1, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι εκεί πραγματοποιείται η μεταβίβαση της δράσης από την προσυναπτική μεμβράνη στη μετασυναπτική, μέσω της πολύ λεπτής σχισμής που τα χωρίζει, η οποία ονομάζεται *συναπτικό χάσμα*. Υπάρχουν, επίσης, περιπτώσεις όπου η σύναψη βρίσκεται πολύ κοντά ή και πάνω στο σώμα ενός νευρώνα και περιπτώσεις όπου σε μία σύναψη συμμετέχουν τρεις νευρώνες ταυτόχρονα, οπότε απολήξεις δύο αξόνων οδεύουν στο ίδιο σημείο ενός δενδρίτη. Στο σχήμα 2.9 παρουσιάζεται η σύναψη δύο τυπικών νευρώνων.



Σχήμα 2.9. Σύναψη δύο τυπικών νευρώνων (Κουτσούρης, 2005).

Υπάρχουν δύο είδη διαμεμβρανικής ρευματικής ροής που σχετίζονται με τη μετάδοση σημάτων μεταξύ των νευρώνων και προκαλούν αντίστοιχα διαφορετικής φύσης δυναμικά. Τα *δυναμικά δράσης* (action potentials) τα οποία εμφανίζονται, όταν η νευρωνική μεμβράνη αποπολώνεται πέρα από ένα κατώφλι της τάξης των 10 mV. Αυτή η αποπόλωση προκαλεί μια αλληλουχία γεγονότων που συνίσταται από τη στιγμιαία μείωση της διαπερατότητας της μεμβράνης σε ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  που με τη σειρά της οδηγεί σε ξαφνική κατάρρευση, αναστροφή και γρήγορη αποκατάσταση του δυναμικού. Η διαταραχή αυτή διατρέχει όλη τη μεμβράνη σαν ένα κύμα διέγερσης και φθάνοντας στις απολήξεις των δενδριτών προκαλεί την έκλυση νευροδιαβιβαστών που με τη σειρά τους προκαλούν μετασυναπτικά δυναμικά σε γειτονικούς νευρώνες. Τα δυναμικά δράσης είναι της τάξεως των 110 mV και διαρκούν μόνο 1 ms.

Τα *μετασυναπτικά δυναμικά* προκαλούνται από διεγέρσεις (δυναμικά δράσης) άλλων νευρώνων που φτάνουν στη προσυναπτική περιοχή, προκαλούν έκλυση νευροδιαβιβαστών που με τη σειρά τους μεταβάλουν τη διαπερατότητα της μεμβράνης σε ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  στη μετασυναπτική περιοχή αλληλεπιδρώντας με τους κατάλληλους υποδοχείς. Αυτή η αλλαγή της διαπερατότητας προκαλεί μια τοπική αλλαγή στο δυναμικό ηρεμίας ή αλλιώς ένα μετασυναπτικό δυναμικό. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ της μετασυναπτικής περιοχής και της υπόλοιπης μεμβράνης του νευρώνα προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο διατρέχει τη

μεμβράνη και μεταβάλλει το δυναμικό της. Ένα μικρό μέρος του ηλεκτρικού ρεύματος διαπερνά τις μήνιγγες, το κρανίο και το δέρμα ως καλούς αγωγούς του ηλεκτρικού ρεύματος και δημιουργεί περιοχές με διαφορετικά δυναμικά πάνω στο τριχωτό της κεφαλής. Οι διαφορές δυναμικού στο τριχωτό της κεφαλής, που είναι της τάξης των 1 έως 100  $\mu\text{V}$ , μπορούν να καταγραφούν μεταξύ δυο ηλεκτροδίων και συνιστούν το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ).

Το σύνολο των ηλεκτροχημικών επιδράσεων από νευρώνα σε νευρώνα, αθροιζόμενο για όλες τις περιοχές του εγκεφάλου μέσα από ένα δίκτυο ανεξερεύνητης ακόμη πολυπλοκότητας, δημιουργεί την ονομαζόμενη εγκεφαλική λειτουργία, της οποίας μόνο μερικώς μπορεί να ανιχνευθούν και να μελετηθούν οι διάφορες διαδικασίες και εκδηλώσεις. Ένα από τα εργαλεία για τη μελέτη αυτή, όπως αναφέρεται και στην εισαγωγή, αποτελεί η Ηλεκτροεγκεφαλογραφία.

### **2.6.3 Γενική περιγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος**

Η λειτουργία του ηλεκτροεγκεφαλογράφου, της συσκευής που καταγράφει το ηλεκτρικό εγκεφαλικό σήμα μέσω της χρήσης ηλεκτροδίων, στηρίζεται στην καταγραφή των διαφορών δυναμικού, οι οποίες παρουσιάζονται στην εξωτερική δερματική επιφάνεια του ανθρώπινης κεφαλής, ως αποτέλεσμα της εγκεφαλικής λειτουργίας. Υπάρχουν δύο ειδών καταγραφές: η μονοπολική καταγραφή και η διπολική καταγραφή. Ο όρος «μονοπολική καταγραφή» ορίζεται όταν το μετρούμενο σήμα προκύπτει ως διαφορά δυναμικού ενός ηλεκτροδίου ενεργού περιοχής και ενός ηλεκτροδίου ανενεργού περιοχής (αναφοράς), ενώ ο όρος «διπολική καταγραφή» ορίζεται όταν το μετρούμενο σήμα προκύπτει ως διαφορά δυναμικού δύο ηλεκτροδίων ενεργών περιοχών.

Τα μετρούμενα ηλεκτρικά σήματα είναι ασθενή, από περίπου 1  $\mu\text{V}$  ως 100  $\mu\text{V}$ . Εξαρχής, λοιπόν, υπάρχει η απαίτηση της όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ενίσχυσης των υπό εξέταση σημάτων και αποκλειστικά αυτών. Για να προκύψει μια αξιόπιστη μέτρηση απαιτούνται τουλάχιστον 6  $\text{cm}^2$  – 10  $\text{cm}^2$  του φλοιού σε συγχρονισμένη δραστηριότητα.

Ένα τυπικό σύστημα ΗΕΓ αποτελείται από την πηγή του ΗΕΓ, τα ηλεκτρόδια καταγραφής, τους αναλογικούς ενισχυτές βιοσημάτων που δέχονται και ενισχύουν τα βιοσήματα, τους ψηφιακούς μετατροπείς που ψηφιοποιούν τα βιοσήματα, καθώς και τον υπολογιστή με τον

οποίο γίνεται το φιλτράρισμα και η ανάλυση του ΗΕΓ. Περαιτέρω, ως μέρη του συστήματος μπορούν να θεωρηθούν συσκευές αποθήκευσης των δεδομένων και εκτυπωτές. Στο σχήμα 2.10 απεικονίζεται το σύστημα καταγραφής ΗΕΓ του εργαστηρίου Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή.



Σχήμα 2.10. Το σύστημα καταγραφής ΗΕΓ του εργαστηρίου Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

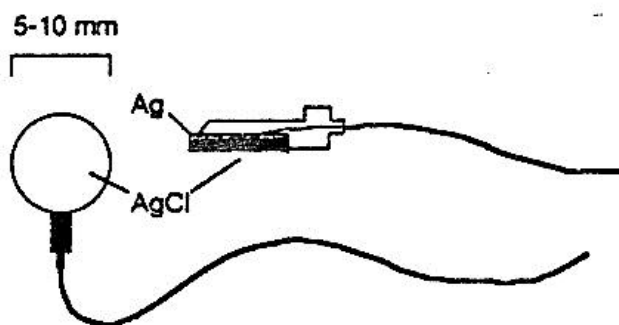
#### **2.6.4 Ηλεκτρόδια**

Το πρώτο στάδιο στην εξαγωγή των σημάτων του ΗΕΓ αποτελούν τα ηλεκτρόδια, οι αισθητήρες του συστήματος, που μετατρέπουν το ρεύμα ιόντων  $K^+$  και  $Na^+$  από τον εγκεφαλικό φλοιό στο τριχωτό της κεφαλής, σε ρεύμα ηλεκτρονίων μέσα στα καλώδια, τα οποία το οδηγούν σε επόμενα στάδια επεξεργασίας.

Τα πιο συνηθισμένα ηλεκτρόδια έχουν μορφή κουταλιού διαμέτρου από 5 mm έως 10 mm. Τοποθετούνται αφού έχει εντοπιστεί η ακριβής τους θέση και μετά την προετοιμασία του σημείου επαφής. Το δέρμα καθαρίζεται με οινόπνευμα για την απομάκρυνση λίπους, σμήγματος νεκρών ή αποφολιδομένων κυττάρων, για να επιτευχθεί χαμηλή αντίσταση επαφής, κάτω των 5 ΚΩ. Για τη σταθεροποίηση του ηλεκτροδίου στη θέση του χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές, όπως η χρήση κολλώδους αγώγιμης αλοιφής, η χρήση

κάσκας με ειδικές θέσεις για σταθεροποίηση των ηλεκτροδίων κ.α. Το ηλεκτρόδιο έρχεται απ' ευθείας σε επαφή με το υποκείμενο με τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται. Έτσι, είναι δυνατή η κίνηση ιόντων μέσω του «ορίου» ηλεκτροδίου – ηλεκτρολύτη μέχρι να επέλθει ισορροπία. Μονωμένα καλώδια συνδέουν το κάθε ηλεκτρόδιο με τη συσκευή καταγραφής. Το υλικό κατασκευής των καλωδίων και κυρίως των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να παρουσιάζει μικρή ηλεκτρική αντίσταση και να μην αντιδρά με τους ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούν οι αγώγιμες κρέμες. Κατάλληλα υλικά είναι ο χρυσός ή λευκόχρυσος, ο άργυρος ή χλωριούχος άργυρος και ο κασσίτερος.

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>) και φαίνεται στο σχήμα 2.11.



Σχήμα 2.11. Το ηλεκτρόδιο με επαφή δακτυλιδιού (Κουτσούρης, 2005).

Η σύνθετη αντίσταση του ηλεκτροδίου (εμπέδηση,  $z^4$ ), μετράται μετά την τοποθέτηση του ηλεκτροδίου με συσκευή η οποία διοχετεύει ένα πολύ ασθενές μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του ηλεκτροδίου και του τριχωτού στο ηλεκτρόδιο αναφοράς. Οι τιμές της σύνθετης αντίστασης σε ένα τυπικό ΗΕΓ είναι από 100 Ω μέχρι 5 ΜΩ. Μεγαλύτερες αντιστάσεις προκαλούν σημαντική εξασθένηση του σήματος ενώ ενισχύουν θορύβους στα 50 Hz. Μικρότερες αντιστάσεις οφείλονται συνήθως, σε βραχυκυκλώματα που μπορεί να προκαλούνται από διάχυση της κρέμας ανάμεσα σε γειτονικά ηλεκτρόδια ή από τον ιδρώτα του υποκειμένου ή από αλατόνερο που χρησιμοποιείται κάποιες φορές ως ηλεκτρολύτης. Τέτοια φαινόμενα περιορίζονται, επίσης, από την ποιότητα του υλικού των ηλεκτροδίων,

<sup>4</sup> Η εμπέδηση ορίζει την αντίσταση ενός στοιχείου σε κυκλώματα εναλλασσομένου ρεύματος όπου η τάση και η ένταση δεν είναι συμφασικά, δηλαδή δεν παίρνουν ταυτόχρονα τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές τους.



από τη σχετικά μεγάλη επιφάνεια επαφής και από τη μεγάλη αντίσταση εισόδου των ενισχυτών.

Ηλεκτρόδια σε μορφή βελόνας με υποδόρια εφαρμογή χρησιμοποιούνται σπάνια, όπως και τα ρινοφαρυγγικά και σφηνοειδή ηλεκτρόδια. Συχνά σε τυπικές εξετάσεις χρησιμοποιούνται προσκεφαλοειδή ηλεκτρόδια που αποτελούνται από μια μικρή ράβδο αργύρου στην άκρη της οποίας προστίθεται ένα μαξιλαράκι εμποτισμένο με χλωριούχο νάτριο ή αγωγίμη κρέμα, τα οποία στερεώνονται με ιμάντες ή ελαστικά δίχτυα στις θέσεις τους.

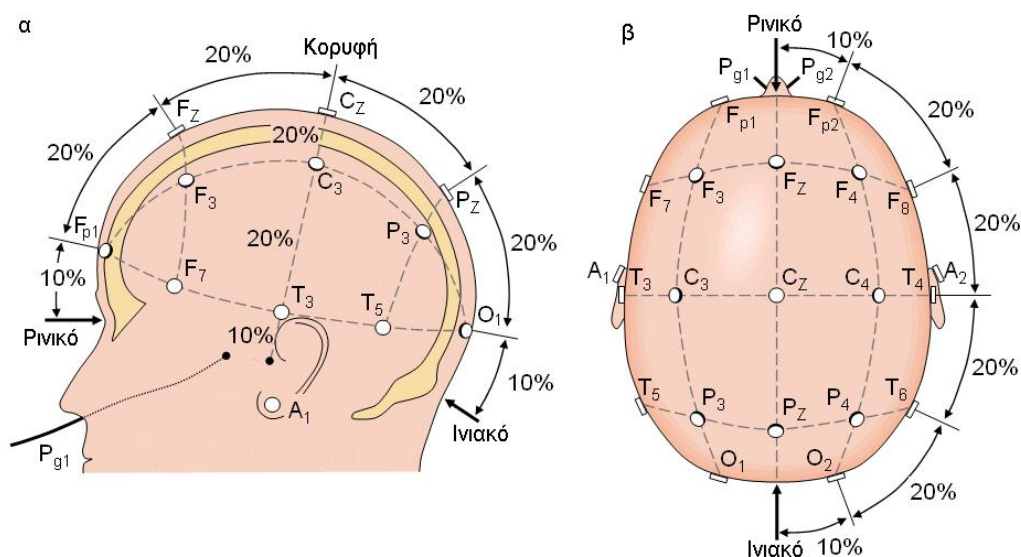
Μια άλλη κατηγορία ηλεκτροδίων είναι τα λεγόμενα *ενεργά ηλεκτρόδια*. Τα ενεργά ηλεκτρόδια δεν απαιτούν προετοιμασία του δέρματος καθότι διαθέτουν ενσωματωμένο προενισχυτή και έτσι η υψηλή σύνθετη αντίσταση του δέρματος μπορεί να αντισταθμιστεί από την πολύ υψηλή σύνθετη αντίσταση του προ-ενισχυτή με ταυτόχρονη μείωση του θορύβου που προέρχεται από τα κλασικά ηλεκτρόδια. Τα ενεργά ηλεκτρόδια μειώνουν ιδιαίτερα το χρόνο προετοιμασίας του ΗΕΓ και δεν κουράζουν το υποκείμενο. Παρά τα φανερά πλεονεκτήματα των ενεργών ηλεκτροδίων, πολύ λίγα ερευνητικά κέντρα ανά τον κόσμο τα χρησιμοποιούν ιδιαίτερα λόγω του υψηλού τους κόστους (Moutsopoulos, 2005).

Ιδιαίτερη κατηγορία ηλεκτροδίων είναι τα *ενδοκρανιακά ηλεκτρόδια* τα οποία τοποθετούνται εσωτερικά του κρανίου με επεμβατική μέθοδο που εφαρμόζεται στον άνθρωπο μόνο σε παθολογικές καταστάσεις. Παρουσιάζει πολύ ισχυρότερα ηλεκτρικά δυναμικά, αφού μηδενίζονται οι αντιστάσεις των οστών και του δέρματος, ενώ μειώνονται κατά πολύ μερικές κατηγορίες παρασίτων. Παρέχουν υψηλή χωρική ανάλυση με μικρότερο αριθμό ηλεκτροδίων από το συμβατικό ΗΕΓ μιας και τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται με ακρίβεια στις περιοχές ενδιαφέροντος παρέχοντας τη δυνατότητα με αυτόν τον τρόπο υπολογισμού ακόμη και της ηλεκτρικής δραστηριότητας ενός μεμονωμένου νευρώνα.

#### **2.6.5 Θέσεις ηλεκτροδίων – Το Διεθνές Σύστημα 10 - 20**

Τα ηλεκτρόδια, τουλάχιστον 19 τον αριθμό, τοποθετούνται στο κρανίο σύμφωνα με ένα πρότυπο σχέδιο, το Διεθνές Σύστημα 10-20.

Στο σύστημα αυτό, οι θέσεις των ηλεκτροδίων πάνω στο τριχωτό της κεφαλής πρέπει να επιτρέπουν την ισοκατανομημένη κάλυψη όλου του κρανίου αλλά και την επαναληψιμότητα της τοποθέτησης. Η τοποθέτησή τους πραγματοποιείται θεωρώντας ως σημεία αναφοράς το ρινικό οστό στο ύψος των ματιών και το ινιακό οστό στο πίσω μέρος της κεφαλής (σχήματα 2.12 α, β). Μεταξύ των σημείων αναφοράς μετράται η ημιπεριφέρεια του κρανίου στο οριζόντιο και στο κάθετο επίπεδο. Οι θέσεις των ηλεκτροδίων προσδιορίζονται από την διαίρεση των ημιπεριφερειών σε διαστήματα 10% και 20% (από όπου προκύπτει και η ονομασία του συστήματος) του μετρούμενου κρανίου. Άλλα τρία ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε κάθε πλευρά σε ίσες αποστάσεις μεταξύ αυτών που ήδη προσδιορίστηκαν. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι θέσεις των ηλεκτροδίων προσαρμόζονται ανάλογα με τις διαστάσεις του κρανίου του εξεταζόμενου.



Σχήμα 2.12. Το Διεθνές Σύστημα 10-20 όπως φαίνεται από αριστερά (α) και πάνω (β) από το κεφάλι.

Οι θέσεις των ηλεκτροδίων παίρνουν το όνομά τους από τον αντίστοιχο εγκεφαλικό φλοιό και την περιοχή που τοποθετούνται. Έτσι, το πρώτο συνθετικό τους αποτελείται από τα γράμματα:

**F** (Frontal): μετωπικά ή μετωπιαία

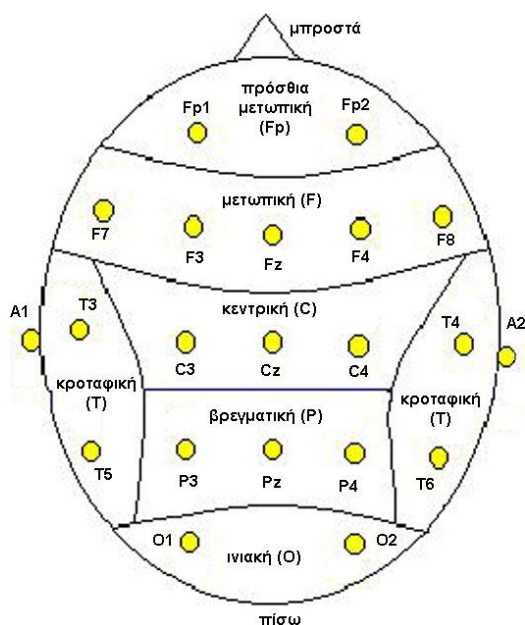
**C** (Central): κεντρικά

**T** (Temporal): κροταφικά

**P** (Parietal): βρεγματικά ή πλάγια

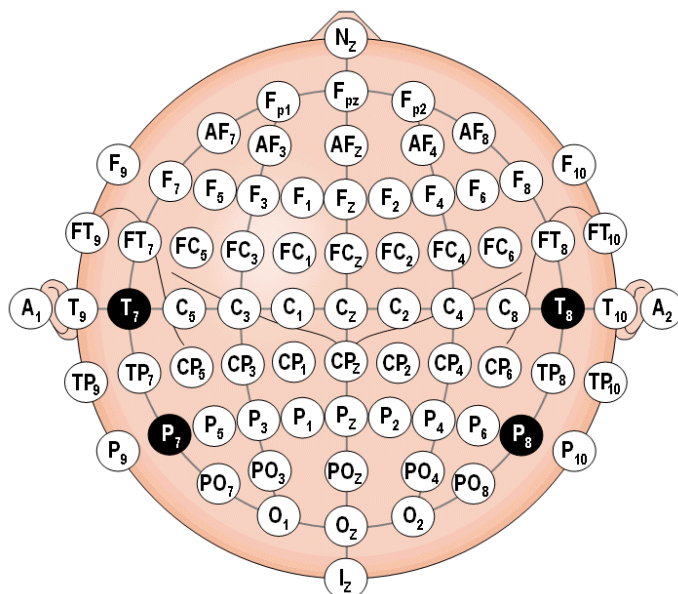
**O** (Occipital): ινιακά

Το δεύτερο συνθετικό της ονομασίας των ηλεκτροδίων αποτελείται είτε από έναν άρτιο αριθμό (2, 4, 6 κλπ), αν βρίσκονται στη δεξιά περιοχή του κρανίου είτε από έναν περιττό (1, 3, 5 κλπ) για την αριστερή πλευρά. Τέλος, το γράμμα z, αναφέρεται τις κεντρικές περιοχές του κρανίου. Για παράδειγμα, το ηλεκτρόδιο με ονομασία Pz αναφέρεται στο ηλεκτρόδιο που είναι τοποθετημένο στη βρεγματική περιοχή στο κέντρο του κρανίου (σχήμα 2.13).



Σχήμα 2.13. Θέσεις ηλεκτροδίων και γενικότερες περιοχές του φλοιού. Οι θέσεις A1 και A2 χρησιμοποιούνται συνήθως ως ηλεκτρόδια αναφοράς.

Επιπρόσθετα στα 19 ηλεκτρόδια του διεθνούς συστήματος 10 – 20 είναι δυνατόν να τοποθετηθούν και άλλα ηλεκτρόδια σε ενδιάμεσες θέσεις 10% σχηματίζοντας το τροποποιημένο διεθνές σύστημα 10-20 (modified 10 – 20 system). Οι θέσεις αυτές απεικονίζονται στο σχήμα 2.14 στο οποίο επισημαίνεται ότι 4 ηλεκτρόδια έχουν διαφορετικό όνομα σε σχέση με το σύστημα 10-20 (με μαύρο υπόβαθρο στο σχήμα).



Σχήμα 2.14. Θέση των ενδιάμεσων ηλεκτροδίων στο τροποποιημένο Διεθνές Σύστημα 10-20. Διακρίνονται με μαύρο υπόβαθρο, τα ηλεκτρόδια που μετονομάζονται.

### 2.6.6 Ηλεκτρόδιο αναφοράς

Όπως προαναφέρθηκε, το ΗΕΓ είναι η καταγραφή της διαφοράς δυναμικού μεταξύ δύο σημείων ως συνάρτηση του χρόνου. Λόγω των διαδικασιών ενίσχυσης του σήματος είναι αδύνατη η γνώση της απόλυτης τιμής του δυναμικού ενός ηλεκτροδίου. Ελλείψει ενός σημείου απόλυτης αναφοράς (καθώς όλα τα σήματα εισέρχονται και στα δυο ηλεκτρόδια) γίνεται πολλές φορές αναγκαία ή χρήση πολλαπλών συνδυασμών – μετρήσεων για να εκτιμηθεί η δραστηριότητα σε ένα ηλεκτρόδιο.

Σύμφωνα με τον Τζίμα (2010), ιδανική περίπτωση ηλεκτροδίου αναφοράς θα ήταν οποιοδήποτε σημείο του ανθρωπίνου σώματος με δυναμικό μηδέν. Τέτοιο σημείο στο ανθρώπινο σώμα δεν υπάρχει, επομένως, προτείνονται εναλλακτικές λύσεις, όπως:

- Αναφορά με τοποθέτηση δύο ηλεκτροδίων στα λοβία των ώτων ή στις μαστοειδείς αποφύσεις. Είναι μια αναφορά για μονοπολικές καταγραφές (όταν το μετρούμενο σήμα προκύπτει ως διαφορά δυναμικού ενός ηλεκτροδίου ενεργής περιοχής και ενός ηλεκτροδίου ανενεργής περιοχής, η καταγραφή ονομάζεται μονοπολική) μιας και τα λοβία των ώτων είναι ηλεκτρικά ουδέτερα. Εμφανίζουν, όμως, αρκετές φορές, εκφορτίσεις λόγω των κροταφικών περιοχών που γειτνιάζουν
- Αναφορά στην κορυφή του κρανίου (ηλεκτρόδιο Cz)

- Αναφορά στη ρίνα (μύτη), που, επίσης, συνίσταται για μονοπολικές καταγραφές με κίνδυνο, όμως, να επηρεάσει τα δυναμικά της καρδιάς στην περίπτωση ταυτόχρονου ηλεκτροκαρδιογραφήματος
- Αναφορά μέσου όρου (*common average reference*). Σε αυτή την αναφορά μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε μέθοδος από τις προηγούμενες όπου το ηλεκτρόδιο αναφοράς προκύπτει ως ο αλγεβρικός μέσος όλως των ηλεκτροδίων. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου αποτελεί το γεγονός πως είναι ανεξάρτητη του δυναμικού του ηλεκτροδίου αναφοράς ακόμη και στην περίπτωση που το ηλεκτρόδιο είναι «ενεργό»
- Αναφορά τοπικού μέσου (*Laplacian Derivation*). Είναι μια μέθοδος επαναπροσδιορισμού του δυναμικού των «ενεργών» ηλεκτροδίων αυτή τη φορά, όμως, δεν υπολογίζεται ο αλγεβρικός μέσος, αλλά μέσω πολύπλοκου μετασχηματισμού Laplace η νέα τιμή υπολογίζεται στα γειτονικά ηλεκτρόδια. Η μέθοδος αυτή αποδίδει καλούς χάρτες ΗΕΓ με την προϋπόθεση, ότι το πάχος του κρανίου είναι περίπου ίδιο σε όλη την έκτασή του και παρουσιάζει την ίδια αγωγιμότητα. Εναλλακτική της μεθόδου αυτής είναι η ομαλοποίηση πεπερασμένων σημείων (*finite element deblurring*).

### 2.6.7 Παράσιτα

Ένας από τους μεγαλύτερους κινδύνους στην ανάλυση και ερμηνεία ενός ΗΕΓ είναι η μη αναγνώριση και ταυτόχρονη καταχώρηση μη εγκεφαλικών δυναμικών ως εγκεφαλικά. Ως παράσιτα (*artifacts*) εννοούνται όλα τα ηλεκτρικά δυναμικά που καταγράφονται από ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο κρανίο που, όμως, προέρχονται από άλλες πηγές. Ένας έμπειρος χειριστής του ΗΕΓ είναι ικανός μέσω των κυματομορφών να διακρίνει τα παράσιτα από τα εγκεφαλικά σήματα. Γι' αυτό κατά τη διάρκεια της καταγραφής ο ερευνητής οφείλει να παρατηρεί ή και να βιντεοσκοπεί τόσο το υποκείμενο ως προς τη συμπεριφορά του όσο και την οθόνη καταγραφής και να σημειώνει πιθανά παράσιτα.

Ο Τζίμας (2010) στη διδακτορική διατριβή του αναφέρει δύο κανόνες αναγνώρισης παρασίτων που βασίζονται σε χωρική ανάλυση σύμφωνα με τον Fisch (1999). Αυτοί είναι:

α) *Δυναμικά χαμηλού έως μέσου πλάτους.* Εμφανίζονται μόνο σε ένα ηλεκτρόδιο και συνήθως δεν προέρχονται από τον εγκέφαλο μιας και τα δυναμικά που παράγονται στον εγκεφαλικό φλοιό έχουν συνήθως φυσιολογική κατανομή με ένα μέγιστο που μειώνεται διαβαθμισμένα όσο αυξάνεται η απόσταση. Γι' αυτό μια προεξέχουσα κυματομορφή που καταγράφεται μόνο από ένα ηλεκτρόδιο θα πρέπει να θεωρείται ως παράσιτο μέχρι να αποδειχθεί το αντίθετο

β) *Επαναλαμβανόμενες, μη κανονικές ή ρυθμικές κυματομορφές.* Εμφανίζονται ταυτόχρονα σε μη σχετιζόμενες περιοχές του κρανίου και είναι, συνήθως, μη εγκεφαλικής προέλευσης.

Σύμφωνα με τον Τζίμα, τα παράσιτα διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

*Φυσιολογικά ή βιολογικά* και προέρχονται από σωματικές δραστηριότητες. Τέτοια είναι:

*i) Ανοιγοκλείσιμο ματιών ή άλλες οφθαλμικές κινήσεις.* Οι κινήσεις αυτές παράγουν δυναμικά που καταγράφονται κυρίως από ηλεκτρόδια της εμπρόσθιας περιοχής αν και μπορούν να επεκταθούν και σε κεντρικά και βρεγματικά ηλεκτρόδια. Με ειδικά ηλεκτρόδια καταγράφονται τα δυναμικά που παράγουν οι οριζόντιες και κατακόρυφες κινήσεις των ματιών για τον καθορισμό των οφθαλμικών παρασίτων στη φάση ανάλυσης του ΗΕΓ

*ii) Μυϊκά παράσιτα.* Είναι πολύ μικρής διάρκειας παράσιτα. Μπορούν να αναγνωριστούν από τη μικρή τους διάρκεια και την επαναληψιμότητά τους. Μειώνονται αν το υποκείμενο χαλαρώσει, ανοίξει το στόμα ελαφρά (διότι οι μύες της σιαγόνας παράγουν ισχυρά μυϊκά παράσιτα) ή αλλάξει θέση ώστε να νοιώσει πιο άνετα

*iii) Παράσιτα κίνησης.* Προέρχονται από απότομες κινήσεις της κεφαλής και του σώματος ή των ηλεκτροδίων. Η από μέρους του ερευνητή παρατήρηση και καταγραφή των κινήσεων των υποκειμένων είναι σημαντική για την αναγνώρισή τους και τον αποκλεισμό τους από την ανάλυση των σημάτων

*iv) Ηλεκτροκαρδιογράφημα.* Παράγονται από τη λειτουργία της καρδιάς και καταγράφονται συνήθως από μοντάζ κοινής αναφοράς, ειδικά όταν χρησιμοποιείται

ως αναφορά το αριστερό ουσ. Η χρήση ως κοινής αναφοράς και των δύο λοβίων έχει καταγράψει μείωση των καρδιακών δυναμικών. Επίσης, η χρήση ως αναφοράς του δίπολου στέρνο-τράχηλος μειώνει τέτοια δυναμικά

v) *Κύματα Παλμών*. Παράγονται από παλμούς μεγάλων αρτηριών και εμφανίζονται συνήθως σε εμπρόσθια και βρεγματικά ηλεκτρόδια

vi) *Δυναμικά δέρματος*. Η παραγωγή ιδρώτα στο τριχωτό της κεφαλής μεταβάλλει σταδιακά την επαφή μεταξύ δέρματος κεφαλής και την αντίσταση της διεπιφάνειας μεταβάλλοντας και τα καταγραμμένα δυναμικά. Επίσης, η αντίσταση του δέρματος μπορεί να μεταβληθεί λόγω αισθητηριακών ερεθισμάτων ή συναισθηματικών μεταβολών με συνέπεια την πρόκληση παραστίτων

vii) *Κινήσεις της γλώσσας*. Οι κινήσεις της γλώσσας και του φάρυγγα κατά την ομιλία, την κατάποση, το βήξιμο κ.α. δημιουργούν ισχυρά παράσιτα

viii) *Οδοντικά «σφραγίσματα» με ανόμοια μέταλλα*. Ανόμοια μέταλλα στα οδοντικά σφραγίσματα μπορούν να προκαλέσουν παράσιτα με τη μορφή «αιχμών», όταν αυτά κινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο.

*Μη φυσιολογικά ή τεχνητά που οφείλονται σε:*

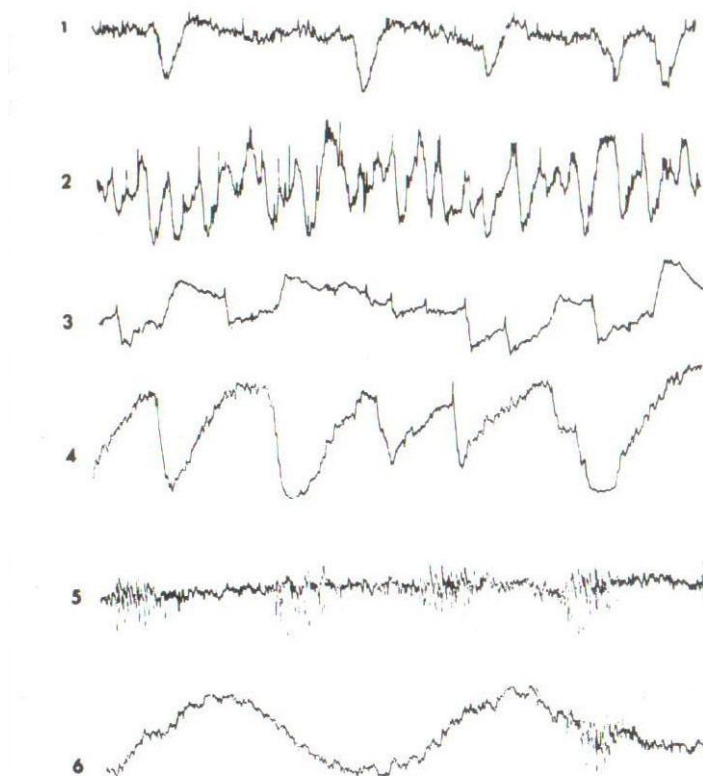
ix) *Ηλεκτρικές παρεμβολές* από το ρεύμα δικτύου (γνωστό στην Ελλάδα ως «παράσιτο των 50Hz», στην Ελλάδα), παρεμβολές από καλωδιώσεις συσκευών εντός του εργαστηρίου, παρεμβολές από βομβητές και βηματοδότες (κλινικές περιπτώσεις) ακόμα και καλώδια που σχηματίζουν βρόχους μπορούν να προκαλέσουν θόρυβο στο ΗΕΓ. Ενδέχεται ακόμη να προκληθεί θόρυβος από εσωτερική δυσλειτουργία του συστήματος καταγραφής εξαιτίας κίνησης των ηλεκτροδίων, κακής τοποθέτησης ηλεκτροδίων, μετασχηματιστών του συστήματος καταγραφής κ.α. Κάποια από αυτά έχουν εύκολα αναγνωρίσιμες μορφές και μπορούν να αφαιρεθούν εκ των υστέρων, ενώ άλλα μπορεί να εκληφθούν εσφαλμένα ως εγκεφαλική δραστηριότητα

x) *Κινήσεις άλλων ατόμων* στην περιοχή καταγραφής.

Τα παράσιτα επίσης, προκύπτουν και από την τεχνική δειγματοληψίας που ακολουθείται στη μετατροπή του αναλογικού ΗΕΓ σε ψηφιακό σήμα. Μικρή συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να οδηγήσει σε παράσιτο φασματικής επικάλυψης (Τζίμας, 2010).

Η αναγνώριση και αφαίρεση παρασίτων είναι ένα σημαντικό πεδίο της έρευνας γύρω από το ΗΕΓ και έχει επιτευχθεί μεγάλη πρόοδος από τότε που έχουν εισαχθεί ψηφιακές τεχνικές στο ΗΕΓ.

Στο σχήμα 2.15 παρουσιάζονται διάφοροι τύποι βιολογικών παρασίτων.



Σχήμα 2.15. Βιολογικά παράσιτα: (1) Σκαρδαμιγμός οφθαλμών, (2) τρόμος των βλεφάρων, (3) - (4) άλλες κινήσεις των βλεφάρων, (5) μυϊκά παράσιτα, (6) παράσιτα ιδρώτα (Ζαχαράκης, 1983:39).



### 2.6.8 Φιλτράρισμα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

Το σήμα από τα ηλεκτρόδια οδηγείται στους ενισχυτές των βιοσημάτων, οι οποίοι έχουν ως αποστολή να ενισχύσουν τα δυναμικά τόσο, ώστε αυτά να μπορέσουν να «οδηγήσουν» τον ψηφιακό μετατροπέα. Ο συντελεστής ενίσχυσης είναι της τάξης του  $10^6$  (μετατροπή από  $\mu\text{V}$  σε  $\text{V}$ ). Μετά την αρχική ενίσχυση το σήμα, συνήθως, διέρχεται και από μια σειρά αναλογικών φίλτρων που σαν γενικό στόχο έχουν την αποκοπή τμημάτων του σήματος με πολύ χαμηλή ή υψηλή συχνότητα. Τα συστήματα ΗΕΓ έχουν κατά κανόνα τρία είδη αναλογικών φίλτρων:

α) *φίλτρα αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων* (low frequency ή high pass filters), που αποκόπτουν κύματα υψηλών συχνοτήτων

β) *φίλτρα αποκοπής υψηλών συχνοτήτων* (high frequency ή low pass filters), που αποκόπτουν κύματα χαμηλών συχνοτήτων

γ) *φίλτρα αποκοπής ζώνης* (notch filter), που αποκόπτουν συχνότητες στα 50 ή 60 Hz για να ελαχιστοποιεί ο οποιοσδήποτε θόρυβος από το ρεύμα δικτύου.

Στη συνέχεια, το ενισχυμένο και φιλτραρισμένο σήμα οδηγείται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου μέσω του ψηφιακού μετατροπέα (Analog to Digital Converter – ADC) μετατρέπεται σε ψηφιακό. Το ψηφιακό σήμα αποτελείται από μια σειρά διακριτών δεδομένων (data points) που χωρίζονται από ίσα διαστήματα χρόνου (αποσπάσματα – epochs). Η διαδικασία ψηφιοποίησης του αναλογικού σήματος έχει τρία βασικά χαρακτηριστικά (Fisch, 1999):

i) Το ρυθμό δειγματοληψίας (sampling rate)

ii) Τον αριθμό των επιπέδων πλάτους που μπορούν να αναλυθούν από το μετατροπέα

iii) Το εύρος διαφοράς δυναμικού που αναλύει ο μετατροπέας.

Ο αριθμός των ψηφιακών σημείων ανά δευτερόλεπτο που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του αναλογικού σήματος ονομάζεται ρυθμός δειγματοληψίας. Αν ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 100 Hz, τότε κάθε δευτερόλεπτο ψηφιοποιημένου σήματος θα περιέχει 100 σημεία σε απόσταση 10 ms (1/100 s). Για την ψηφιοποίηση σήματος μιας

συγκεκριμένης συχνότητας ο ρυθμός δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσιος της συχνότητας του κύματος που θα αναλυθεί. Η πρόταση αυτή είναι γνωστή ως *πρώτος νόμος του Nyquist* και ο κρίσιμος ρυθμός δειγματοληψίας αναφέρεται ως ρυθμός Nyquist. Στην πράξη συνηθίζεται η συχνότητα δειγματοληψίας να είναι μεγαλύτερη (συνήθως 256 Hz ή 512 Hz έως 2048 Hz) από τη μεγαλύτερη συχνότητα, γιατί διαφορετικά η παράσταση του ψηφιακού σήματος θα απέχει κατά πολύ του αναλογικού και οποιαδήποτε ερμηνεία θα είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Με την εφαρμογή του νόμου του Nyquist αποφεύγεται το φαινόμενο της φασματικής επικάλυψης ή αναδίπλωσης συχνοτήτων (spectral overlap ή aliasing) το οποίο παραμορφώνει το σήμα ΗΕΓ (Τζίμας, 2010).

Ένα τυπικό σύστημα ψηφιακού ΗΕΓ μπορεί να περιλαμβάνει:

- Ηλεκτρονικό υπολογιστή
- Πολυκαναλικό σύστημα για λήψη, ψηφιοποίηση, φιλτράρισμα και ενίσχυση του σήματος
- Ηλεκτρόδια και πιθανά μια κάσκα εφαρμογής σε περίπτωση εφαρμογής ικανού αριθμού ηλεκτροδίων
- Περιφερειακές συσκευές (π.χ. εκτυπωτή, βιντεοκάμερα, συσκευές διέγερσης).

Το σήμα μπορεί πλέον να αναλυθεί, να εκτυπωθεί, να αποθηκευτεί σε διαφορά μέσα ψηφιακής αποθήκευσης και να δημοσιευθεί σε βάσεις δεδομένων. Τα ΗΕΓ σήματα αρχικά ψηφιοποιούνται και η υπόλοιπη διαδικασία πραγματοποιείται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα ΗΕΓ δεν είναι πλέον συνεχές ως προς το χρόνο, αφού προκύπτει από δειγματοληψία σε διακριτές χρονικές στιγμές, ούτε αναλογικό, αφού δεν καταγράφονται όλες οι τιμές του πλάτους αλλά οι πλησιέστερες διακριτές στάθμες πλάτους. Ο αριθμός των δυνατών διαφορετικών τιμών πλάτους του ψηφιοποιημένου σήματος αποτελεί την ανάλυση (resolution) του σήματος. Τυπικές τιμές του είναι  $2^8$  ή  $2^{16}$  διακριτές τιμές. Παράλληλα, ένα σύστημα αναλογικού καταγραφέα δεν μπορεί να καταγράψει τις μικρές χρονικές διαφορές (της τάξεως μερικών msec) που υπάρχουν μεταξύ διαφορετικών ηλεκτροδίων-καναλιών.

Η μελέτη λοιπόν, του ψηφιακού ΗΕΓ στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή πλεονεκτεί του αναλογικού ΗΕΓ μιας και μας παρέχεται η δυνατότητα ορισμού του τμήματος του ΗΕΓ ή

των ηλεκτροδίων που θα αναπαρίστανται και θα επεξεργάζεται κάθε φορά και τη δυνατότητα εφαρμογής ψηφιακών φίλτρων όπως παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

### 2.6.9 Ποσοτική ανάλυση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

Ένα σημαντικότατο πλεονέκτημα των ψηφιακών συστημάτων ΗΕΓ, όπως προαναφέρθηκε, είναι η εφαρμογή ψηφιακών φίλτρων στο καταγεγραμμένο σήμα χωρίς να χαθεί οποιαδήποτε πληροφορία από το σήμα. Η ποσοτική ανάλυση του ΗΕΓ συνεπάγεται τη μετατροπή ενός εκ των χαρακτηριστικών του ΗΕΓ σε αριθμητική τιμή. Σύμφωνα με τον Τζίμα (2010), μια από τις μεθόδους ποσοτικής ανάλυσης είναι η *μέθοδος ανάλυσης φάσματος ισχύος* (power spectra analysis) που βασίζεται κυρίως στο θεώρημα Fourier, σύμφωνα με το οποίο κάθε σήμα μπορεί να αναλυθεί σε ένα άθροισμα απλών ημιτονοειδών σημάτων με συγκεκριμένες συχνότητες και πλάτη. Αυτό σημαίνει ότι ένα σήμα μπορεί να μετατρέπεται από σήμα στο πεδίο του χρόνου (συνάρτηση πλάτους – χρόνου) σε σήμα στο πεδίο των συχνοτήτων (συνάρτηση πλάτους-συχνότητας). Τα πλάτη που αντιστοιχούν σε κάθε συχνότητα του σήματος στο πεδίο των συχνοτήτων υπολογίζονται αφού το σήμα υποστεί ένα μετασχηματισμό, που λέγεται *Μετασχηματισμός Fourier* (Fourier Transform, FT).

Αν το αρχικό σήμα συμβολιστεί με τη συνάρτηση  $\chi(t)$ , ο μετασχηματισμός Fourier συμβολίζεται με  $X(f)$  και προκύπτει από τη σχέση:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \chi(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

όπου  $t$  είναι ο χρόνος και  $f$  η συχνότητα.

Στην περίπτωση των σημάτων διακριτού χρόνου χρησιμοποιείται ο *Διακριτός Μετασχηματισμός Fourier* (Discrete Fourier Transform, DFT):

$$F\chi(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \chi(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}$$

όπου:

$\chi(n)$  είναι το αρχικό σήμα στο πεδίο του χρόνου,

---

$n=0, 1, \dots, N-1$  είναι οι χρονικές στιγμές,

$F_X(k)$  είναι το μετασχηματισμένο σήμα στο πεδίο των συχνοτήτων (συντελεστές σειράς Fourier) και

$k=0, 1, \dots, N-1$  είναι οι δείκτες των συχνοτήτων από τις οποίες αποτελείται το  $F_X(k)$ .

Η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας ισχύος (power spectral density ή PSD) προκύπτει ως το τετράγωνο του μετασχηματισμού Fourier:  $P(k) = |F_X(k)|^2$ .

Σύμφωνα με τον Τζίμα, εκείνο που ενδιαφέρει είναι σε ποιες συχνότητες παρουσιάζονται κορυφές (Peak frequency) στο φάσμα ισχύος (συνάρτηση PSD). Ο μετασχηματισμός Fourier είναι ένα εύκολα υλοποιήσιμο στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές μαθηματικό εργαλείο αποδίδοντας ικανοποιητικά το σήμα στην περιοχή της συχνότητας, χωρίς αναφορά όμως, για την περιοχή του χρόνου. Στην περίπτωση των στατικών σημάτων (που δεν μεταβάλλουν τη συχνοτική τους συμπεριφορά με το χρόνο) προκύπτει το ενδιαφέρον της γνώσης για το ποιες συχνότητες περιέχονται στο σήμα (πώς οικοδομείται το σήμα από τις συχνοτικές του συνιστώσες) με το μετασχηματισμό Fourier να είναι μια καλή μέθοδος για το σκοπό αυτό. Επιπλέον, με αντίστροφη διαδικασία πραγματοποιείται επιστροφή του σήματος από την περιοχή της συχνότητας στην περιοχή του χρόνου με σκοπό την αναπαραγωγή του αρχικού σήματος.

Όμως, στα μη στατικά οι διαφορές συχνοτήτων δεν εμφανίζονται στο σήμα την ίδια χρονική στιγμή, αλλά με κάποια χρονική ακολουθία, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με την επιθυμία για ταυτόχρονη αναπαράσταση χρόνου και συχνότητας. Μια λύση προσφέρει ο Βραχύς Μετασχηματισμός Fourier (Short Fourier Transform - SFT). Στην περίπτωση αυτή, το σήμα χωρίζεται σε διαδοχικά τμήματα στα οποία οι συχνότητες του σήματος θεωρούνται αμετάβλητες και το κάθε τμήμα μετασχηματίζεται κατά Fourier. Το αποτέλεσμα μετράται σε  $\mu V^2/Hz$ . Ο τεμαχισμός του σήματος γίνεται με τη μέθοδο των παραθύρων (Τζίμας, 2010).

Για την επεξεργασία σήματος χρησιμοποιείται μια συνάρτηση «παράθυρο». Πρόκειται για μια μαθηματική συνάρτηση με μηδενικές τιμές εκτός μιας περιοχής του επιλεγμένου σήματος, που πρόκειται να επεξεργαστεί. Παραδείγματος χάρη, μια συνάρτηση η οποία έχει σταθερή τιμή σε ένα διάστημα και μηδενική τιμή εκτός του διαστήματος, καλείται

ορθογώνιο παράθυρο. Όταν μια συνάρτηση δεδομένων πολλαπλασιαστεί με μια άλλη συνάρτηση παράθυρο, το αποτέλεσμα θα είναι, επίσης, μηδενικό εκτός του διαστήματος ανάλυσης και πολλαπλάσιο εντός της περιοχής ανάλυσης.

Τα παράθυρα που χρησιμοποιούνται συνήθως στον SFT μετασχηματισμό είναι:

- Ορθογωνικό ή ομοιόμορφο παράθυρο, με συνάρτηση:

$$w(t) = \begin{cases} 1, & -t_1 \leq t \leq t_1 \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

- Παράθυρο Hamming και Hanning, με συνάρτηση

$$w(t) = \left\{ \alpha + (1 - \alpha) \cos \left( 2\pi \frac{t}{t_1} \right) \right\}, -t_1 \leq t \leq t_1$$

Για  $\alpha=0.54$  έχουμε το παράθυρο Hamming, ενώ για  $\alpha=0.50$  έχουμε το παράθυρο Hanning.

Όταν το αρχικό σήμα είναι διακριτό (όπως σε όλα τα σύγχρονα ψηφιακά συστήματα ΗΕΓ), τότε χρησιμοποιείται ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier και ο αντίστοιχος βραχύς μετασχηματισμός Fourier (STFT) με την ψηφιακή μορφή των παραπάνω συναρτήσεων παραθύρου. Ο βραχύς μετασχηματισμός Fourier (STFT) διακριτού σήματος υπολογίζεται με βάση την έκφραση:

$$X[n, k] = \sum_{m=0}^{L-1} x[n + m] w[m] e^{-j \frac{2\pi}{N} km}$$

όπου:

$n=0, 1, \dots, N-1$ : είναι οι χρονικές στιγμές,

$x[n], w[n]$ : είναι η ακολουθίες του σήματος και του παραθύρου αντίστοιχα,

$k$ : είναι οι δείκτες των συχνοτήτων,

$L$ : είναι το μήκος του παραθύρου.

Μειονέκτημα της μεθόδου του Βραχύ Μετασχηματισμού Fourier (STFT) αποτελεί το γεγονός ότι η παραθυροποίηση ενός σήματος είναι μια διαδικασία πολλαπλασιασμού του

σήματος στην περιοχή του χρόνου με τη συνάρτηση του παραθύρου και επομένως, στο πεδίο της συχνότητας (στο φάσμα του παραθυροποιημένου σήματος) εμφανίζονται και οι συχνότητες του παραθύρου, όπως αναφέρθηκε και πρωτύτερα. Άλλο σημαντικό μειονέκτημα του STFT είναι ότι χρησιμοποιεί σταθερό μήκος παραθύρου στο οποίο θεωρεί ότι το σήμα παρουσιάζει σταθερή συμπεριφορά ως προς τη συχνότητα και κατά συνέπεια έχει την ίδια αναλυτικότητα παντού. Παρά τα μειονεκτήματά της μεθόδου, ο Τζίμας, στην ερευνητική του εργασία, αναφέρει πως οι προηγούμενοι τρεις μετασχηματισμοί αποτελούν σήμερα τις βασικές μεθόδους περιγραφής του φάσματος συχνοτήτων του ηλεκτροεγκεφαλικού σήματος. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μέθοδοι αντιμετώπισης των μειονεκτημάτων των προηγούμενων τριών μετασχηματισμών (Τζίμας, 2010).

Μια κοινή πρακτική είναι να αναλύεται ο μετασχηματισμός Fourier με τέτοιο τρόπο ώστε το σήμα να μπορεί να μελετηθεί ως συνάρτηση συχνότητας – ισχύος (με τετραγωνισμό των συντελεστών Fourier) ή αλλιώς ως φασματική κατανομή ισχύος (power spectrum). Από τη δημιουργία της φασματικής κατανομής πλατών ή ισχύος δύναται να εξεταστούν διάφορα χαρακτηριστικά του ΗΕΓ, όπως η απόλυτη ισχύς ή το πλάτος των διαφόρων περιοχών συχνοτήτων (absolute band power), η σχετική ισχύς ή πλάτος των διαφόρων ρυθμών (relative band power), η θέση μέγιστου πλάτους ή ισχύος (absolute peak frequency) κ.α.

Η ισχύς διακρίνεται σε απόλυση και σχετική. Η απόλυτη ισχύς του ΗΕΓ θεωρείται ότι αντανακλά όχι μόνο τα πλάτη των νευρικών σημάτων, αλλά και πλήθος άλλων παραμέτρων, όπως η μορφολογία και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του κρανίου. Με τη σχετική ισχύ γίνεται προσπάθεια να αποσβεστούν οι μη εγκεφαλικές επιδράσεις χρησιμοποιώντας ως μέτρηση ισχύος το πηλίκο ισχύος σε κάποια ζώνη συχνοτήτων δια της συνολικής ισχύος (Abarbanel, 1999).

Κατά την ανάλυση με τη χρήση του FFT συχνά γίνεται χρήση μικρών διαστημάτων καταγραφής (αποσπασμάτων – epochs) με χρονική διάρκεια μέχρι δύο δευτερόλεπτα ώστε να εξασφαλίζεται η ύπαρξη σημάτων, χωρίς θόρυβο – παράσιτα, που μπορεί να προκύψουν στη διάρκεια της μέτρησης. Το μέγεθος του αποσπάσματος ΗΕΓ (EEG epoch, Παράρτημα Ι) που πρόκειται να αναλυθεί επιλέγεται με βάση δύο παραμέτρους. Η πρώτη απαιτεί το μέγεθος του αποσπάσματος ΗΕΓ να είναι αρκετά μικρό ώστε να ισχύει η υπόθεση για τη

στασιμότητα του σήματος και η δεύτερη ότι πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο για να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο ανάλυσης (τη διαφορά από τη μια στάθμη συχνοτήτων στην επόμενη). Σύμφωνα με το δεύτερο περιορισμό, το μέγιστο βήμα  $\Delta f$  υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Delta f = 1 / T, \text{ όπου } T \text{ είναι το μέγεθος του αποσπάσματος ΗΕΓ σε sec.}$$

Από στατιστικής άποψης η εκτίμηση ενός σημείου συχνότητας σε ένα απόσπασμα ΗΕΓ έχει κατανομή  $\chi^2$  με 2 βαθμούς ελευθερίας. Οι βαθμοί ελευθερίας πρέπει να αυξηθούν και η διασπορά της εκτίμησης να μειωθεί. Αυτό πραγματοποιείται συνήθως με μεσοποίηση πολλών αποσπασμάτων ή με τεχνικές παράθυρου συχνότητας και ομαλοποίηση των επιμέρους συχνοτήτων. Έχουν προταθεί τουλάχιστον 60 βαθμοί ελευθερίας (Vos, 1975), δηλαδή απαιτούνται τουλάχιστον 30 ΗΕΓ αποσπάσματα.

Ο μετασχηματισμός των λαμβανόμενων διαστημάτων στο πεδίο των συχνοτήτων οδηγεί στη μεσοποίηση των φασμάτων τους δημιουργώντας ένα νέο φάσμα αντιπροσωπευτικότερο της δραστηριότητας του εγκεφάλου του συμμετέχοντα. Η εξαγωγή του μέσου όρου πλεονεκτεί στο ότι μειώνει την επίδραση οποιασδήποτε τυχαίας δραστηριότητας (εγκεφαλικής ή μη) ειδικότερα όταν γίνονται συγκρίσεις με άλλες καταγραφές. Όταν οι φασματικές κατανομές μεσοποιούνται, είναι σωστό τα διαστήματα στα οποία βασίζεται η μεσοποίηση να αντιστοιχούν σε κοινή κατάσταση συμπεριφοράς, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί με οδηγίες προς τον συμμετέχοντα για αυτοπειθαρχία και διατήρηση σταθερής συμπεριφοράς κατά τη μέτρηση, ώστε το ΗΕΓ σήμα να θεωρείται αμετάβλητο.

Σε ένα μετασχηματισμό Fourier, όσο πιο μεγάλο το χρονικό διάστημα που μεσοποιούμε τόσο πιο μεγάλη είναι η διακριτική ικανότητα της συχνότητας. Επομένως, στα μικρά χρονικά διαστήματα μεσοποίησης που λαμβάνουμε ώστε να μειωθεί ο θόρυβος ή τα παράσιτα, η διακριτική ικανότητα της συχνότητας είναι αρκετά μικρή.

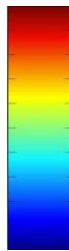
#### **2.6.10 Χαρτογράφηση του εγκεφάλου με χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος**

Η γραφική αναπαράσταση των από πολλά ηλεκτρόδια σημάτων ΗΕΓ (πολυκάναλων ΗΕΓ, συστημάτων αποτελούμενα από πολλά ηλεκτρόδια) σε ένα εποπτικό μέσο (οθόνη, χαρτί)

αποκαλείται χαρτογράφηση ή αλλιώς χάρτης ΗΕΓ. Με την πάροδο των τελευταίων 50 χρόνων έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές χαρτογράφησης του ΗΕΓ. Στις μέρες μας, η συνεισφορά των ηλεκτρονικών υπολογιστών θεωρείται πολύτιμη στην παραγωγή ενός ψηφιακού χάρτη.

Ένας τοπογραφικός χάρτης ΗΕΓ έχει μια κυκλική, ωσειδή ή σφαιρική μορφή και αποτελεί την αναπαράσταση του εγκεφαλικού φλοιού από τις μετρούμενες τιμές. Οι τιμές του γραφήματος βασίζονται σε ένα πίνακα δύο (ή τριών για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις) διαστάσεων, του οποίου οι συντεταγμένες αντιστοιχούν σε σημεία του κρανίου και οι τιμές αντιστοιχούν στις τιμές του χαρακτηριστικού του ΗΕΓ σήματος που μελετάται. Το τελικό γράφημα εμφανίζει αυτές τις τιμές σαν αριθμούς ή ισοϋψείς καμπύλες ή χρωματισμένες περιοχές πάνω σε μια εποπτική αναπαράσταση του φλοιού.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιείται η χρωματική αναπαράσταση ως πιο εποπτική από τις άλλες για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Χρησιμοποιείται η χρωματική κλίμακα με διαβαθμίσεις στις οποίες τα «θερμά» χρώματα (κόκκινο) αντιστοιχούν σε υψηλότερες και τα «ψυχρά» (κυανό) σε χαμηλότερες τιμές του μετρούμενου μεγέθους, που είναι το πλάτος ή ισχύς, κανονικοποιημένο σε κλίμακα από 0 έως 1 και μονάδα μέτρησης  $\mu V^2$ , (σχήμα 2.16).



Σχήμα 2.16. Χρωματική κλίμακα που ακολουθείται στους χάρτες ΗΕΓ. Τα «θερμά» χρώματα (καφέ, κόκκινο) αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές ισχύος, ενώ τα «ψυχρά» (μπλε) στις χαμηλές.

Οι τιμές ισχύος που καταγράφονται από τα ηλεκτρόδια μπορούν να πολλαπλασιαστούν ανάλογα με την ανάλυση της απεικόνισης και υπολογίζονται με μαθηματικό τρόπο με κάποια μέθοδο παρεμβολής (γραμμική ή μη), με βάση την απόσταση από τα γειτονικά συνήθως ηλεκτρόδια ή με κάποια μέθοδο στατιστικής εκτίμησης στηριζόμενη στα μοντέλα διάδοσης ηλεκτρικών ρευμάτων στο κρανίο.



Δεν είναι, βέβαια, απαραίτητο σε όλους τους χάρτες ΗΕΓ να υπολογίζονται μαθηματικά οι επιπρόσθετες τιμές. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε μελέτης μπορούν να εικονίζονται μόνο οι θέσεις των ηλεκτροδίων, όπως στους χάρτες τιμών. Πάντως έχει διατυπωθεί η άποψη ότι στους χάρτες χαρτογραφείται τελικά η στατιστική και όχι η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου (Chiappa, 1985).

Το κύριο ζητούμενο σε ένα χάρτη ΗΕΓ συχνοτήτων ή φάσματος είναι η ανάδειξη διαφοροποιήσεων περιοχών, όπως «θερμών» περιοχών (δηλαδή περιοχών αυξημένης ισχύος σήματος) ή ασυμμετρίας της κατανομής της ισχύος για ορισμένες ζώνες συχνοτήτων, η συσχέτιση με καταστάσεις και ερεθίσματα και πιθανώς η σύγκριση με τα αντίστοιχα ΗΕΓ δεδομένα από ομάδες ελέγχου. Η βασική χρήση των χαρτών είναι η κλινική εφαρμογή τους ως διαγνωστική μέθοδος σε κάθε πάθηση που επηρεάζει την εγκεφαλική λειτουργία. Μια δεύτερη εφαρμογή αποτελεί η έρευνα της αντίδρασης του εγκεφαλικού φλοιού σε εξωτερικά ερεθίσματα για τη μελέτη νοητικών και γνωστικών διεργασιών που θα μπορούσαν, λόγω χάρη, να συνεισφέρουν σε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα.

Στην ΗΕΓ ανάλυση δεν υπάρχουν γενικά αποδεκτές (αν και έχουν προταθεί αρκετές τα τελευταία χρόνια) βάσεις δεδομένων που να ακολουθούν ένα τυποποιημένο πρωτόκολλο, όπως σε άλλες μεθόδους απεικόνισης.

#### **2.6.11 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος**

Ένα προφανές πλεονέκτημα του ΗΕΓ σε σχέση με άλλες καταγραφικές μεθόδους είναι ότι επιτρέπει τις επαναλαμβανόμενες και μεγάλης χρονικής διάρκειας καταγραφές. Ταυτόχρονα, αποτελεί μια μη επεμβατική τεχνική και τα υποκείμενα δεν υποβάλλονται σε ισχυρά ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία ή κάποιας μορφής ραδιενεργά υλικά και δε γίνεται χορήγηση ουσιών κατά τη διάρκεια της καταγραφής.

Ιδιαίτερα σημαντικό, όμως, πλεονέκτημα του ΗΕΓ είναι πως η χρονική διακριτική ικανότητά του είναι εφάμιλλη με την ταχύτητα εξέλιξης των εγκεφαλικών λειτουργιών, στοιχείο αξιόλογο για τη μελέτη γνωστικών δραστηριοτήτων στις οποίες έχει μεγάλη σημασία η ανίχνευση γρήγορων αλλαγών στην εγκεφαλική δραστηριότητα. Η μεγάλη διαθεσιμότητα συστημάτων ΗΕΓ, το μικρό κόστος κτήσης και χρήσης καθώς και η δυνατότητα που

παρέχουν για καταγραφές εκτός εργαστηρίου με φορητά και ασύρματα συστήματα ενισχύουν τη χρησιμότητά τους.

Το σημαντικότερο, ίσως, «πρόβλημα» στις μετρήσεις της εγκεφαλικής λειτουργίας με ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους είναι η μεταβλητότητα που παρουσιάζουν. Τα ΗΕΓ δεδομένα είναι σε υπολογίσιμο βαθμό εξατομικευμένα. Εμφανίζουν μια διαφοροποίηση από άτομο σε άτομο που σε μερικές περιπτώσεις δεν έχει γνωστή αιτιολόγηση. Γι' αυτό και οι μέσες τιμές των μεγεθών που υπολογίζονται στις έρευνες δεν ανταποκρίνονται πλήρως στις τιμές που εμφανίζονται στο γενικότερο πληθυσμό. Διαφοροποιήσεις, επίσης, παρατηρούνται μεταξύ διαφορετικών μετρήσεων στο ίδιο υποκείμενο, χωρίς, σε πολλές περιπτώσεις, να υπάρχει προφανής αιτία, γεγονός που πιθανά να αντανακλά τη μεταβλητότητα στις καταστάσεις του εγκεφάλου. Αυτή η μεταβλητότητα χάνεται με τη χρήση των κλασικών τεχνικών μεσοποίησης. Για το λόγο αυτό και οι αναλύσεις απομονωμένων περιπτώσεων έχουν τη δική τους αξία στις ΗΕΓ μελέτες (Krause, 2006).

Ο απώτερος σκοπός του ΗΕΓ ως μέθοδος μέτρησης της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας είναι να εντοπίσει τις πηγές των ηλεκτρικών δυναμικών μέσα στο κρανίο και να τις συσχετίσει με ομάδες νευρώνων που παράγουν αυτά τα δυναμικά στο εσωτερικό του εγκεφάλου. Ένας σημαντικός περιορισμός στην ερμηνεία του ΗΕΓ τίθεται από το λεγόμενο αντίστροφο πρόβλημα. Σε μια καταγραφή ΗΕΓ είναι δυνατόν να υπάρχουν άπειροι συνδυασμοί πηγών στον εγκέφαλο που θα μπορούσαν να εξηγήσουν και να συνδυαστούν με το καταγεγραμμένο σήμα στο τριχωτό της κεφαλής. Επομένως, είναι θεωρητικά αδύνατη η γνώση της θέσης της πηγής που παρήγαγε το σήμα γνωρίζοντας μόνο τη θέση του ηλεκτροδίου (Τζίμας, 2010).

Στη βιβλιογραφία είναι μεγάλη η μεταβλητότητα στις παραμέτρους μελετών που χρησιμοποιούν ΗΕΓ μετρήσεις, όπως είναι ο αριθμός και η θέση των ηλεκτροδίων, το είδος καταγραφής (μονοπολική ή διπολική) καθώς και η επιλογή του ηλεκτροδίου αναφοράς, η μεγάλη ποικιλία μεθόδων επεξεργασίας σήματος και εξαγωγής δεδομένων, η διάκριση της ισχύος του ΗΕΓ σε απόλυτη και σχετική καθώς και οι διαφοροποιήσεις στον καθορισμό των ορίων των ρυθμών.

Ως πιο σημαντικά μειονεκτήματα του ΗΕΓ θεωρούνται κυρίως:

- Η χαμηλή χωρική ανάλυση
- Η αδυναμία του να διακρίνει ηλεκτρικά δυναμικά σε εγκεφαλικές δομές εσωτερικά του φλοιού
- Η χαμηλή σχέση σήματος προς θόρυβο
- Το πλήθος και το είδος των παρασίτων
- Η μεγάλη μεταβλητότητα των παρατηρήσεων ανάλογα το υποκείμενο και τη διεργασία.

## **2.7 Οι ρυθμοί του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος**

Το ενδιαφέρον στη μελέτη των εγκεφαλικών λειτουργιών από ηλεκτρικής άποψης εστιάζεται στους ρυθμούς (συχνότητες) του εγκεφάλου και στις αλλαγές που υφίστανται και παρατηρούνται κατά τη διάρκεια εργασιών που απαιτούν νοητική προσπάθεια. Στις επόμενες ενότητες γίνεται αναφορά με λεπτομέρεια στους ρυθμούς του ΗΕΓ, δηλαδή στους δέλτα ( $\delta$ ), θήτα ( $\theta$ ), άλφα ( $\alpha$ ), βήτα ( $\beta$ ) και γάμα ( $\gamma$ ) ρυθμούς.

### **2.7.1 Γενική περιγραφή των ρυθμών του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος**

Οι καταγραφές από έναν ηλεκτροεγκεφαλογράφο έχουν τη μορφή κυμάτων διαφόρων μορφών. Όταν αυτές οι κυματομορφές είναι επαναλαμβανόμενες ημιτονικές ονομάζονται «κανονικά κύματα». Υπάρχουν, όμως, και κυματομορφές οι οποίες δεν επαναλαμβάνονται ημιτονικά, δεν παρουσιάζουν κάποια ρυθμικότητα ή μπορεί να είναι ένας συνδυασμών των προηγούμενων δύο μορφών.

Τα εγκεφαλικά κύματα ονομάζονται και «ρυθμοί» και διακρίνονται γενικά σε αργά (με συχνότητα μικρότερη από 7 Hz), μεσαία (8 – 13Hz), γρήγορα (14 – 30 Hz) και πολύ γρήγορα κύματα (με συχνότητα μεγαλύτερη από 30 Hz). Τα περισσότερα από τα σήματα του φλοιού που παρατηρούνται στο επιφανειακό ΗΕΓ βρίσκονται στην περιοχή των 1 – 20 Hz. Το πλάτος τους είναι της τάξης των  $\mu\text{V}$  με τυπικές τιμές από 1  $\mu\text{V}$  μέχρι 100  $\mu\text{V}$  για τους ενήλικες.

Το φάσμα ΗΕΓ διακρίνεται σε υποπεριοχές συχνοτήτων ή ρυθμούς. Οι ρυθμοί ονομάζονται με γράμματα από το Ελληνικό αλφάβητο χωρίς να υπάρχει κάποια σειρά. Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί δώδεκα γράμματα για το σκοπό αυτό. Ωστόσο, υπάρχουν μικροδιαφορές στα όρια αυτά από ερευνητή σε ερευνητή, όπως και διαφορές που

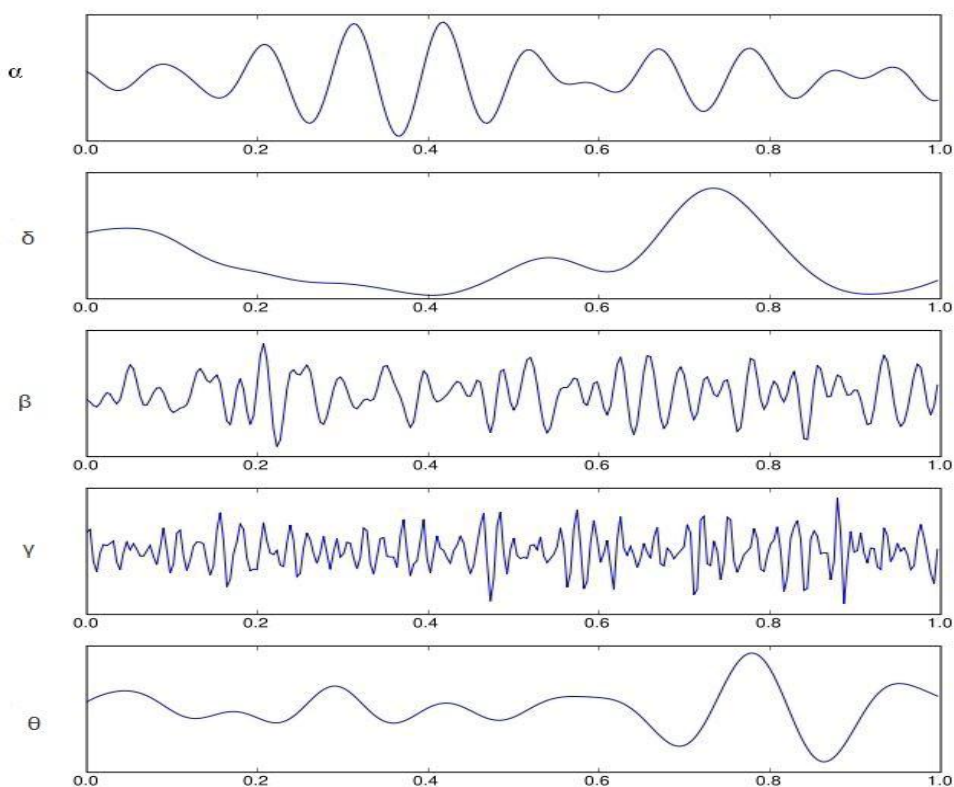
επηρεάζονται από φυσιολογικές διαφοροποιήσεις από άτομο σε άτομο ή ακόμη από περιβαλλοντικές επιδράσεις στο ίδιο άτομο. Στον πίνακα 2.1 αποτυπώνονται οι συνηθέστεροι ρυθμοί με τα επικρατέστερα όρια των συχνοτήτων τους, όπως τους κατέγραψε στη διατριβή του ο Τζίμας το 2010.

Πίνακας 2.1. Συνοπτική περιγραφή των ρυθμών ΗΕΓ (Τζίμας, 2010)	
«δέλτα», «delta»	<p>0.1 (ή 1.5) – 3.5 (ή 4) Hz.</p> <p>Υψηλού δυναμικού.</p> <p>Εισήχθηκε από τον Walter το 1936. Γενικά συναντάται σπάνια κατά τη φάση της εγρήγορσης.</p> <p>Εμπρόσθια κύματα σε ενήλικες.</p> <p>Οπίσθια κύματα σε παιδιά.</p> <p>Συμμετέχουν στο σχηματισμό και την εδραίωση της μνήμης.</p>
«θήτα», «theta»	<p>4 – 7.5 Hz.</p> <p>Εισήχθηκε από τον Walter.</p> <p>Ονομάστηκε έτσι γιατί θεωρήθηκε ότι προέρχεται από το θάλαμο.</p> <p>Σε εφήβους ή ενήλικες εμφανίζεται ως υπνηλία ή αφύπνιση.</p>
«άλφα», «alpha»	<p>7.5 – 12.5 Hz ή 8 - 13 Hz.</p> <p>Ονομάστηκε από τον Berger το 1929.</p> <p>Εμφανίζεται κυρίως στις οπίσθιες και περισσότερο στις ινιακές περιοχές δηλώνοντας οπτική ενεργοποίηση.</p>

«βήτα», «beta»	<p>14- 30 Hz.</p> <p>Χαμηλού δυναμικού.</p> <p>Ονομάστηκε από τον Berger το 1929. Αρχικά περιλάμβανε όλες τις συχνότητες πάνω από τα 13 Hz.</p> <p>Εμφανίζεται κυρίως στις πρόσθιες και κεντρικές περιοχές.</p> <p>Σε συνδυασμό με τον «άλφα» είναι ο συνηθέστερος ρυθμός κατά τη φάση της εγρήγορσης.</p> <p>Εμφανίζεται κατά τη διάρκεια ενεργητικής σκέψης, άγχους, δραστηριότητας.</p>
«γάμμα», «gamma»	<p>Πάνω από 30 Hz ή κοντά στα 40 Hz. Χαμηλού δυναμικού.</p> <p>Πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τους Jasper και Andrews το 1938, αλλά στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε για να επανέλθει στη δεκαετία του 1990.</p> <p>Εμφανίζεται κύρια κατά τη διάρκεια γνωστικών λειτουργιών.</p>
«φι», «phi», «phi complex»	<p>Περίπου 10 Hz σε κεντρικές-βρεγματικές περιοχές.</p> <p>Σχετίζεται με κοινωνική συμπεριφορά.</p>
«κάπα», «kappa»	<p>Υψηλού δυναμικού κύματα στην περιοχή της δ δραστηριότητας.</p> <p>Ίδιες με τις α συχνότητες.</p> <p>(Μετωπο)κροταφική εξάπλωση.</p>
«σίγμα», «sigma»	<p>12.5 – 15 Hz, εμφανίζεται κυρίως στον ύπνο (Klimesch, 1999; Nakamura et al., 2003).</p>
«ρο», «rho»	<p>Γρήγορα κύματα με μεγαλύτερη συχνότητα από του γ ρυθμού (περίπου 55-118 Hz).</p>
«μ», «mu», «κεντρικός άλφα»	<p>Ίδιες με τις α συχνότητες.</p> <p>Εμφανίζεται στις κεντρικές περιοχές σε καταστάσεις ξεκούρασης – ηρεμίας.</p>
«λάμδα», «lambda» κύματα	<p>Οξείες αλλαγές που συμβαίνουν στην ινιακή περιοχή κατά τη διάρκεια οπτικής εξερεύνησης.</p>
«third», «ταυ», «tau»,	<p>Έχει συχνότητες στην α και άνω θ περιοχή, κατά προσέγγιση 8-10 Hz (Krause, 2006).</p>

«κροταφικός α»	Εμφανίζεται στις κροταφικές περιοχές. Δεν καταγράφεται στο κανονικό ΗΕΓ.
----------------	---

Στο σχήμα 2.17 εικονίζονται παραδείγματα των κυριότερων ρυθμών του ΗΕΓ ως χρονοσειρές διαφορών δυναμικού. Σημειώνεται ότι οι ρυθμοί του ΗΕΓ διαφέρουν και ως προς τις εγκεφαλικές περιοχές. Μια πληρέστερη περιγραφή τους θα καθόριζε ξεχωριστά τους ρυθμούς για κάθε καταγραφική θέση (ηλεκτρόδιο). Κάτι τέτοιο δεν έχει εφαρμοστεί ακόμη για πρακτικούς λόγους (Klimesch, 1999).



Σχήμα 2.17. Παράδειγμα ρυθμών στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec. Ο κατακόρυφος άξονας είναι σε  $\mu\text{V}$  και ο οριζόντιος σε sec.

Το χαρακτηριστικό της συχνότητας δεν αρκεί πάντα για να αναγνωριστεί ένας ΗΕΓ ρυθμός. Σημαντικό ρόλο μπορεί να διαδραματίσουν η μορφή, το πλάτος, η τοπολογία, η κατανομή στο κρανίο και η συμμετρία.

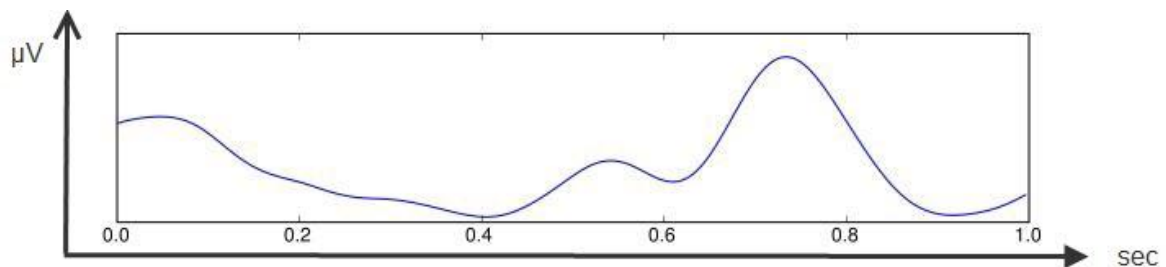
Η παρούσα διατριβή βασίζεται στη βασική διάκριση των ρυθμών σε  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  που παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες.

### 2.7.1.1 Ο δέλτα ρυθμός

Ο δ ρυθμός αποτελείται από τα πιο αργά κύματα ΗΕΓ με περιοχές συχνοτήτων 0.1 (ή 1.5) – 3.5 Hz ή 0.5 – 4 Hz και τα μεγαλύτερα πλάτη από όλους τους άλλους ρυθμούς, 20 – 200  $\mu\text{V}$ .

Στους ενήλικες αποτελεί την κυρίαρχη εγκεφαλική δραστηριότητα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του ύπνου και σε καταστάσεις αναισθησίας, ενώ όταν παρατηρείται σε καταστάσεις εγρήγορσης, εμφανίζεται συνήθως σε παιδιά κάτω των 13 ετών.

Το σχήμα 2.18 αποτυπώνει, αν και δεν παρουσιάζει ξεκάθαρη κυματοειδή μορφή, ένα τυπικό παράδειγμα δ ρυθμού με συχνότητα περίπου 3Hz.



Σχήμα 2.18. Παράδειγμα δ ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec. Ο κατακόρυφος άξονας είναι σε  $\mu\text{V}$  και ο οριζόντιος σε sec.

Ο δ ρυθμός συνιστά ένα ποσοτικό κριτήριο για τη διάκριση ανάμεσα στα στάδια του βαθύ ύπνου. Οι χαμηλής συχνότητας ηλεκτρικές ταλαντώσεις που εκδηλώνονται κατά τη διάρκεια του ύπνου, φέρονται ως σημαντικά εμπλεκόμενες στο μηχανισμό σχηματισμού και εδραίωσης της μνήμης (Maquet, 2001; Huber et al., 2004). Ο δ ρυθμός εμφανίζεται σε διάφορες καταστάσεις διαλογισμού και εστίασης της προσοχής όταν απουσιάζουν αισθητήρια ερεθίσματα. Είναι γενικά αποδεκτό από την επιστημονική κοινότητα πως η δ δραστηριότητα συνδέεται περισσότερο με την εστίαση της προσοχής σε εσωτερικές διεργασίες παρά με την εστίαση της προσοχής σε εξωτερικά ερεθίσματα και επεξεργασίας αυτών, όπου πιθανότατα υπάρχει ελάττωσή της.

Σε νεότερες έρευνες με προκλητά δυναμικά, η δ δραστηριότητα εμφανίζεται σε φυσιολογικά άτομα κατά τη φάση της εγρήγορσης και σχετίζεται με ανίχνευση σήματος και λήψη αποφάσεων. Έχει αναφερθεί αύξηση του δ ρυθμού σε νοητικές διεργασίες σε μικρό, όμως, αριθμό ερευνών. Σε οπτικά ερεθίσματα είναι εντονότερη στις πλευρικές περιοχές,

ενώ σε ακουστικά στις κεντρικές και μετωπιαίες περιοχές (Basar et al., 1999:167; Lakatos et al., 2008).

Με βάση τα αποτελέσματά του Stefanics και των συνεργατών του (2010) ο  $\delta$  ρυθμός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μεσολάβηση από την αναμονή και ανίχνευση προβλέψιμων οπτικών στόχων και την εμφάνιση των στόχων αυτών. Η οπτική αντιληπτική απόδοση κυμαίνεται μαζί με τη φάση δραστηριότητας υποβάθρου του ΗΕΓ (Busch et al., 2009; Mathewson et al., 2009). Κατά συνέπεια, η διαμόρφωση του  $\delta$  ρυθμού λίγο πριν το ερέθισμα μπορεί να χρησιμεύσει ως ένας νευρωνικός μηχανισμός που κρύβεται κάτω από τη γρηγορότερη επεξεργασία των γεγονότων που αναμένονται να συμβούν.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο  $\delta$  ρυθμός αντιμετωπίζεται με μεγάλη επιφυλακτικότητα από τους ερευνητές και ιδιαίτερα αυτός που αναπτύσσεται στις μετωπικές περιοχές, γιατί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στα οφθαλμικά παράσιτα (Scerbo et al., 2001) παρά το γεγονός ότι έχει αναφερθεί αύξησή του σε διεργασίες όπως είναι το άνοιγμα των ματιών (Dolce & Waldeier, 1974).

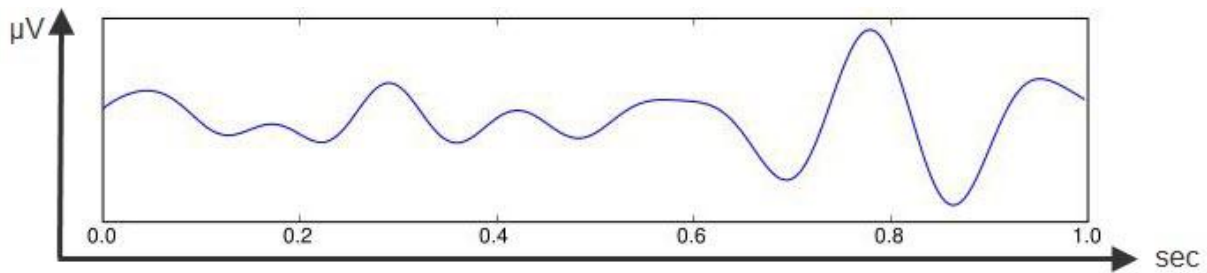
### **2.7.1.2 Ο θήτα ρυθμός**

Η ονομασία του προέρχεται από την υπόθεση της προέλευσής του, την περιοχή του θαλάμου. Πρόκειται για την περιοχή συχνοτήτων από 4 έως 8 Hz. Προκαλείται από τη συγχρονισμένη ενεργοποίηση πολλών νευρώνων που εντοπίζονται στην περιοχή του ιππόκαμπου. Μέχρι τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα θεωρούνταν μέρος του  $\delta$  ρυθμού.

Μόνο ένα μικρό ποσοστό του  $\theta$  ρυθμού ανιχνεύεται στο ΗΕΓ ενός ενήλικα, ενώ έχει συνδεθεί (σε εμπρόσθιες περιοχές του φλοιού) τόσο με διαδικασίες εκτέλεσης νοητικού έργου (Niedermeyer, 1999) όσο με τη διαδικασία του ύπνου και καταστάσεις υπνηλίας (Takahashi et al., 1997).

Ο  $\theta$  ρυθμός απαντάται κυρίως σε μικρά παιδιά. Μπορεί να παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια της υπνηλίας ή της αφύπνισης σε μεγαλύτερα παιδιά ή εφήβους, ενώ μπορεί να παρατηρηθεί σε κατάσταση διαλογισμού, μνήμης και μάθησης. Υπερβολική  $\theta$  δραστηριότητα φανερώνει μη φυσιολογική δραστηριότητα. Στο σχήμα 2.19 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα  $\theta$  ρυθμού για το ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός δευτερολέπτου.





Σχήμα 2.19. Παράδειγμα θ ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec.

Ο Walter παρατήρησε ότι υγιείς ενήλικες που σε κατάσταση χαλάρωσης εμφανίζουν αυξημένο θ ρυθμό μπορούν να χαρακτηριστούν ψυχολογικά ως «ανώριμα» ή «αθώα» άτομα (Walter & Walter, 1949) και επιπλέον συσχέτισε τη δραστηριότητα αυτή των υποκειμένων με το «συναισθηματικό άγχος» του πειράματος.

Ο Schacter (1977) δηλώνει ότι κατά τη διάρκεια της επαγρύπνησης, δύο διαφορετικοί τύποι θ ρυθμού έχουν περιγραφεί σε ενήλικους ανθρώπους. Ο πρώτος τύπος θ ρυθμού αναφέρεται σε διάχυτη εξάπλωση στο κρανίο και συνδέεται με μειωμένη επαγρύπνηση και μειωμένη επεξεργασία πληροφορίας. Ο δεύτερος τύπος θ ρυθμού, ο οποίος αποκαλείται και μέσης γραμμής πρόσθια θ δραστηριότητα, χαρακτηρίζεται από εξάπλωση στη μέση κεντρική γραμμή πρόσθιων περιοχών και συνδέεται με την επιλεκτική προσοχή, τη νοητική προσπάθεια και την αυξημένη επεξεργασία στην πολυπλοκότητα των ερεθισμάτων.

Οι θ κυματομορφές είναι επικρατέστερες κατά τη διάρκεια της έναρξης και εκτέλεσης της μετακίνησης παρά στη διάρκεια της ηρεμίας, σε συνέπεια με την αισθητικοκινητική σχέση της θ δραστηριότητας. Η θ δραστηριότητα εμφανίζεται παρούσα στο απαραίτητο αισθητικοκινητικό δίκτυο με ταυτόχρονο αποσυχρονισμό του α ρυθμού που ο συνδυασμός τους φαίνεται να αντιπροσωπεύει τους ρυθμικούς μηχανισμούς για την αισθητικοκινητική ολοκλήρωση στον ανθρώπινο εγκέφαλο.

Όπως αναφέρει ο Τζίμας (2010), η μείωση του θ ρυθμού κατά την επίλυση προβλημάτων έχει συνδεθεί με τις ανακριβείς απαντήσεις των υποκειμένων, με τις περισσότερες έρευνες να αναφέρουν αύξηση στην ισχύ του θ ρυθμού κατά τη διάρκεια γνωστικών διεργασιών.

Η κροταφική θ δραστηριότητα συμμετέχει σε μια γκάμα συμπεριφορών. Σύμφωνα πάλι με τον Τζίμα (2010), έχει προταθεί ότι συμμετέχει σε νοητικές λειτουργίες και προσπάθειες

επίτασης της προσοχής, λειτουργίες μνήμης, μάθησης και χωρικών δεξιοτήτων. Η αύξηση του θ ρυθμού συνδέεται με ποικίλα παραδείγματα μνήμης, όπως σημασιολογικές ή χωρικές διεργασίες, καθώς και κατά τη διάρκεια διαφορετικών διεργασιών που απαιτούν μνημονικές διεργασίες.

Έρευνες αναφέρουν αύξηση του θ ρυθμού κατά τη διάρκεια προγραμματισμού μιας δραστηριότητας (Tombini et al., 2009), κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της εκτέλεσης φάσεων επιλογής, αντίδρασης σε μια δραστηριότητα (Perfetti et al., 2010) και κατά τη διάρκεια οπτικής επεξεργασίας για αισθητικοκινητικό προγραμματισμό (Hinterberger et al., 2008).

Ωστόσο, ο Bland προτείνει μια εναλλακτική (αλλά συμβατή με τη λειτουργία μάθησης) άποψη της γενικής λειτουργίας του θ ρυθμού, την ενσωμάτωση των αισθητικών και κινητικών πληροφοριών κατά τη διάρκεια της αισθητικοκινητικής συμπεριφοράς (Bland & Oddie, 2001; Bland, 2009). Το μοντέλο ολοκλήρωσης του αισθητικοκινητικού θ ρυθμού κατά τον Bland προϋποθέτει ότι οι θ κυματομορφές λειτουργούν σαν ένα αρμονικό κύμα, το οποίο χρησιμοποιεί το αισθητικοκινητικό σύστημα για να συντονίσουν τη δραστηριότητά τους (Bland et al., 2007). Το μοντέλο αναπτύχθηκε σε αρουραίους και δεν είναι ξεκάθαρα πώς μπορεί να εφαρμοστεί στον ανθρώπινο εγκέφαλο.

Έρευνες για τα χαρακτηριστικά του θ ρυθμού σε ενήλικες ανθρώπους συνεχίζουν να πραγματοποιούνται (Niedermeyer & Lopes da Silva, 2005; Mitchell et al., 2008). Ωστόσο, πολλοί μελετητές έχουν τεκμηριώσει τη ρυθμική δραστηριότητα μεγάλου πλάτους που εμφανίζεται συμμετρικά σε μετωπικές περιοχές του εγκεφάλου στο εύρος συχνοτήτων του θ ρυθμού αποκαλώντας τον μετωπικό θ μεσαίας γραμμής. Πρόσφατα, οι Finnigan & Robertson (2011), πρότειναν δύο είδη θ ρυθμού: ο ένας ως ένδειξη υγιούς γνωστικής λειτουργίας και ο δεύτερος ως αργά κύματα α που συνδέονται με μελλοντική ουσιαστική πτώση της γνωστικής λειτουργίας.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτή το διαχωρισμό, είναι σαφές γιατί δεν έχουν καθοριστεί ξεκάθαρα τα όρια του θ ρυθμού.

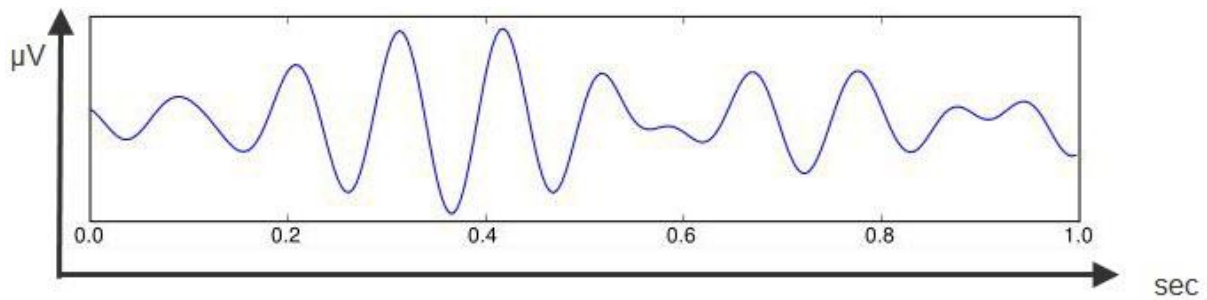
### 2.7.1.3 Ο άλφα ρυθμός

Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις στην περιοχή συχνοτήτων 8 – 13 Hz. Είναι ο εκτενέστερα μελετημένος από όλους τους ρυθμούς εγκεφαλικής δραστηριότητας. Το πλάτος του δεν είναι σταθερό, αλλά κυμαίνεται από 20 – 60  $\mu$ V στους ενήλικες. Παρατηρείται κατά την εγρήγορση στις οπίσθιες περιοχές της κεφαλής και γενικά εμφανίζει υψηλότερα πλάτη στις ινιακές περιοχές. Παρατηρείται, όμως, καλύτερα με κλειστά μάτια και κάτω από συνθήκες φυσικής χαλάρωσης και νοητικής ηρεμίας. Η εμφάνισή του σε μετωπικές ή πρόσθιες μετωπικές περιοχές οφείλεται συνήθως σε παράσιτα από το τρεμόπαιγμα των βλεφάρων. Μειώνεται με την ενεργοποίηση της οπτικής προσοχής και της νοητικής προσπάθειας.

Ο μεγάλου πλάτους  $\alpha$  ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος κατά τη διάρκεια μιας αισθητοκινητικής λειτουργίας. Ο ρυθμός αυτός έχει θεμελιώδη συχνότητα κοντά στα 10 Hz και θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει μια ιδανική κατάσταση ηρεμίας στον εγκέφαλο ενός υγιούς ενήλικα κάνοντας την εμφάνισή του σε περιόδους χαλάρωσης και αποσυγχρονίζεται με την κίνηση (Niedermeyer & Lopes da Silva, 2005).

Η δραστική μείωση της ισχύος των ρυθμών  $\alpha$  με το άνοιγμα των ματιών αναφέρεται και ως alpha-blocking (εμπόδιση των  $\alpha$ ) ή ως alpha-desynchronization (αποσυγχρονισμός  $\alpha$ ). Ο αποσυγχρονισμός του  $\alpha$  ρυθμού συσχετίζεται με αυξημένη προσοχή και με τη δυσκολία της εργασίας. Όσο πιο απαιτητική είναι η εργασία και όσο περισσότερη η προσήλωση του υποκειμένου, τόσο περισσότερος είναι ο βαθμός του  $\alpha$  αποσυγχρονισμού (Klimesch, 1999). Αντίθετα, ο  $\alpha$  συγχρονισμός σχετίζεται με καταστάσεις μειωμένης επεξεργασίας της πληροφορίας.

Στο σχήμα 2.20 δίνεται ένα παράδειγμα  $\alpha$  – ρυθμού για το ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός δευτερολέπτου.



Σχήμα 2.20. Παράδειγμα α ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec.

Για πολλά χρόνια θεωρήθηκε από τους ερευνητές ως μέτρο της αδράνειας του εγκεφάλου, εκτός ίσως από τη δεκαετία του '60 που μελετήθηκε η συμμετοχή του σε καταστάσεις διαλογισμού, ύπνωσης, «ανώτερης» εγκεφαλικής λειτουργίας, βιοανάδρασης. Με τις εργασίες της Basar τη δεκαετία του '90 αναθερμάνθηκε το ενδιαφέρον για τη λειτουργικότητα του α ρυθμού στον ανθρώπινο εγκέφαλο, τον οποίο ο Mulholland ονόμασε «εργαζόμενο άλφα». Ο α ρυθμός έχει μελετηθεί ως αυθόρμητος (spontaneous), επαγόμενος (induced), προκλητός (evoked) και προβλεπτικός (emitted).

Η περιοχή συχνοτήτων του α ρυθμού έχει χωριστεί σε δύο υποπεριοχές ή όπως θα αναφέρονται εφεξής, υπορυθμούς: τον «κατώτερο α – α1» και τον «ανώτερο α – α2». Ο διαχωρισμός αυτός έγινε με κριτήριο τη διαφορετική συμπεριφορά αυτών των υποπεριοχών συχνοτήτων σε ποικίλες γνωστικές λειτουργίες με τον «α – 1» στο εύρος συχνοτήτων 8 – 10 Hz και τον «α – 2» στα 11 – 13 Hz. Πιο εξειδικευμένα, οι υπορυθμοί έχουν πλέον διαχωριστεί και ως προς τη λειτουργικότητά τους και τη σύνδεσή τους με νοητικές λειτουργίες. Ο «α – 1» υπορυθμός συνδέεται με την κωδικοποίηση του ερεθίσματος, ενώ ο «α – 2» συνδέεται με τη γνωστική επεξεργασία και τους μηχανισμούς της νοητικής προσπάθειας (Cremades et al., 2004). Οι Jaušovec συσχετίζουν τον α – 1 υπορυθμό με σημασιολογικές λειτουργίες της μνήμης, ενώ τον α – 2 κυρίως με την προσοχή (Jaušovec & Jaušovec, 2000).

Ο α ρυθμός που καταγράφεται στις πρωτοταγείς οπτικές περιοχές είναι κυρίαρχος, όταν τα μάτια ενός υποκειμένου είναι κλειστά ή βρίσκεται σε χαλαρή κατάσταση σε σκοτεινό χώρο, ενώ όταν ανοίγει τα μάτια σε οπτικό ερέθισμα, μειώνεται και αντικαθίσταται από εγκεφαλική δραστηριότητα σε υψηλότερες συχνότητες, όπως ο β ρυθμός (Qi et al., 2011). Πρόσφατα έχει αποδειχθεί ότι η διακύμανση της τρέχουσας α δραστηριότητας σχετίζεται

με ενεργοποίηση του φλοιού μετέχοντας βήμα προς βήμα σε διεργασίες μεταβολής της αντίληψης σε ένα σταθερό συνεχές ερέθισμα (Romei et al., 2008). Οι αυθόρμητες διακυμάνσεις στη μετέπειτα δραστηριότητα απεικονίζουν την ενεργοποίηση των οπτικών περιοχών.

Έρευνες σχετικά με το εύρος του  $\alpha$  ρυθμού και ιδιαίτερα, το δυναμικό του, προϋποθέτουν έναν άμεσο και ενεργό ρόλο του στους μηχανισμούς της προσοχής και της συνείδησης. Ο Jaušovec αναφέρει έναν μηχανισμό που συνδέεται με τη συμμετοχή του υποκειμένου στην εκτελούμενη δραστηριότητα και έναν μηχανισμό που συσχετίζεται με τις απαιτήσεις γνωστικού φόρτου (Jaušovec & Jaušovec, 2000). Άλλες μελέτες αναφέρουν τη συσχέτιση του  $\alpha$  ρυθμού με την ευφυΐα (Jaušovec, 1997b) και την επίδοση της μνήμης (Klimesch, 1996).

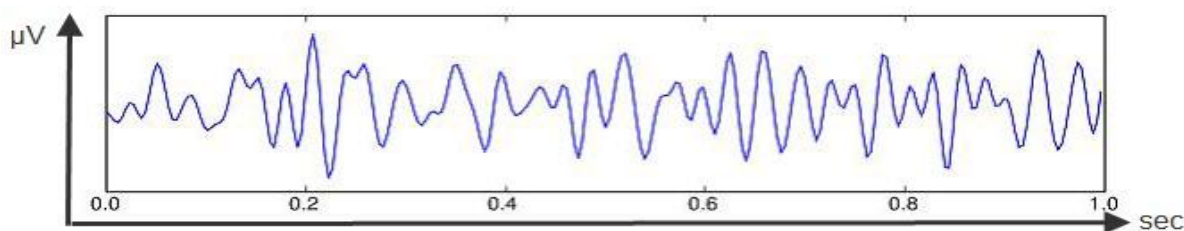
Ο βρεγματοϊνιακός  $\alpha$  ρυθμός είναι ο ισχυρότερος ΗΕΓ ρυθμός του φλοιού, σχετίζεται ισχυρά με την προσοχή, ενώ δεν είναι άγνωστος ο μηχανισμός με τον οποίο αυτό συμβαίνει, η  $\alpha$  ισχύς εντοπίζεται κυρίως στην βρεγματοϊνιακή περιοχή (Donner et al., 2007; Siegel et al., 2007). Ο βρεγματοϊνιακός  $\alpha$  ρυθμός έχει αναφερθεί ότι μειώνεται κατά το άνοιγμα των ματιών, κατά την επίδειξη οπτικού ερεθίσματος (Romei et al., 2008) και κατά τη διάρκεια επίτασης της προσοχής (Worden et al., 2000; Sauseng et al., 2005; Thut et al., 2006). Ο Simon και οι συνεργάτες του (2011), αναφέρουν ότι ο  $\alpha$  ρυθμός είναι ο κύρια υπεύθυνος για την κούραση ενός οδηγού κατά τη διάρκεια πραγματικής οδήγησης και ιδίως στις κεντρικές και βρεγματικές περιοχές και όχι τόσο στις πρόσθιες μετωπικές.

Συνοψίζοντας, ο  $\alpha$  ρυθμός δεν είναι μόνο ένας απλός δείκτης της αδράνειας του φλοιού, αλλά το μέτρο μιας ενεργούς διαδικασίας απαραίτητης για εσωτερικά κατευθυνόμενες νοητικές λειτουργίες.

#### **2.7.1.4 Ο βήτα ρυθμός**

Ο  $\beta$  ρυθμός χαρακτηρίζει την εγκεφαλική ηλεκτρομαγνητική δραστηριότητα που καταγράφεται σε συχνότητες μεγαλύτερες από 13 Hz. Το άνω όριο του ρυθμού δεν ξεπερνά συνήθως τα 30 – 35 Hz, ενώ πολλές φορές προσεγγίζει την τιμή των 48 Hz στα όρια του γάμα ρυθμού. Το πλάτος του ξεπερνά τα 30  $\mu$ V.

Στο σχήμα 2.21 παριστάνεται παράδειγμα του β ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz με συχνότητα κύματος περίπου στα 30 Hz.



Σχήμα 2.21. Παράδειγμα β ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec.

Τοπολογικά εμφανίζεται κυρίως στις πρόσθιες και κεντρικές περιοχές. Στις κεντρικές περιοχές καταστέλλεται από κινητική δραστηριότητα ή οπτικά ερεθίσματα, ωστόσο, ακόμη δεν έχει καθορισθεί ο λειτουργικός του ρόλος στο σχεδιασμό μιας κίνησης. Στις οπίσθιες περιοχές συχνά είναι μια γρήγορη έκδοση του α ρυθμού και λειτουργεί σαν α ρυθμός. Όταν ο β ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος, δεν έχει κάποια συσχέτιση με τη φυσιολογική δραστηριότητα του β ρυθμού.

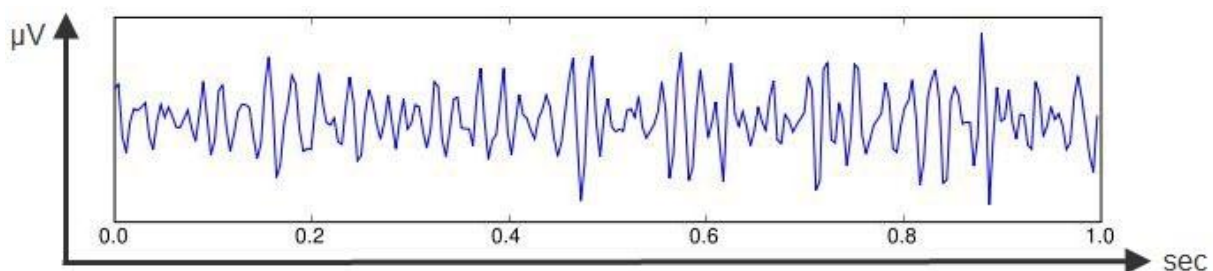
Ο Τζίμας (2010), αναφέρει ότι η πρόσθια β δραστηριότητα συνδέεται με τη νοητική εργασία, αλλά και με το άγχος ή τη νευρικότητα και ότι γενικότερα η αύξηση του β ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές (Fp1, Fp2) συνδέεται με τη νοητική εργασία. Ταυτόχρονα, δηλώνει ότι η αύξηση του β ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές (θέσεις ηλεκτροδίων Fp1, Fp2) σχετίζεται με νοητικές διεργασίες, αύξηση του άγχους ή μείωση του βαθμού χαλάρωσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι η εμφάνιση του β ρυθμού επηρεάζεται από παθολογικούς παράγοντες όπως και από τη χρήση φαρμάκων.

Πρόσφατες μελέτες στις προμετωπιαίες και βρεγματικές περιοχές του εγκεφάλου συνδέουν την αύξηση του β ρυθμού κατά τη διάρκεια οπτικών αναζητήσεων με την από επάνω προς τα κάτω αύξηση της προσοχής (Buschman & Miller, 2007, 2009). Στη διεθνή ορολογία αναφέρεται ως “top-down” processing. Η τυπική αισθητήρια πληροφορία λογίζεται ως «κάτω» και η υψηλότερη γνωστική λειτουργία, όπου περιέχει περισσότερη πληροφορία από άλλες πηγές, λογίζεται ως επάνω. Αντίστοιχα, μια διεργασία από «κάτω προς τα επάνω» (“down-up” processing) χαρακτηρίζεται από την απουσία υψηλότερου επιπέδου κατεύθυνσης κατά τη διάρκεια αισθητηριακής επεξεργασίας, όταν η «από επάνω προς τα

κάτω» διεργασία χαρακτηρίζεται από υψηλού επιπέδου κατεύθυνση, όπως η αναγνώριση στόχων<sup>5</sup>.

### 2.7.1.5 Ο γάμα ρυθμός

Ο γ ρυθμός περιλαμβάνει την ηλεκτρική δραστηριότητα στην περιοχή των 40 Hz. Έχει μικρότερο πλάτος από τους α και θ ρυθμούς και συχνά υποβαθμίζεται από το μέγεθος της δραστηριότητάς τους (Basar – Eroglu, 1996). Στο σχήμα 2.22 αποτυπώνεται ένα παράδειγμα του γ ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz με συχνότητα κύματος στα περίπου 48 Hz.



Σχήμα 2.22. Παράδειγμα γ ρυθμού στο ηλεκτρόδιο Oz διάρκειας ενός sec.

Ο ρυθμός γ εμφανίζει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον και συσχετίζεται με αισθητηριακές και γνωστικές λειτουργίες. Σχετίζεται με λειτουργίες και συμπεριφορικές αντιδράσεις και αναφέρεται ότι οι αλλαγές στον γ ρυθμό αναπαριστούν ένα καθολικό κώδικα επικοινωνίας στο κεντρικό νευρικό σύστημα (Basar et al., 1999). Έχει προσδιορισθεί η επίδρασή του σε οπτικές, ακουστικές οσφρητικές, σωματοαισθητηριακές και μνημονικές λειτουργίες (Engel & Singer 2001). Επίσης, έχει διερευνηθεί ο ρόλος του στη σύνδεση οπτικών χαρακτηριστικών στατικών αντικειμένων (Tallon et al., 1995) και θεωρείται υπεύθυνος για τη λειτουργία της στερεοσκοπίας (Revonsuo et al., 1997). Ο Kahana (2006), σε έρευνά του συσχετίζει το γ ρυθμό με την αιμοδυναμική δραστηριότητα. Γενικά, ο γ ρυθμός συμμετέχει σε όλες τις γνωστικές και αντιληπτικές λειτουργίες και συνδέεται με τύπου από πάνω προς τα κάτω διεργασίες προσοχής, αντίληψης αντικειμένων αλλά και με μνημονικό φόρτο σε όσες διεργασίες το απαιτούν.

Σε αρχικές έρευνες ο γ ρυθμός υπολογιζόταν ως η δραστηριότητα που απάγεται κατά την αντίληψη ενός ορατού αντικειμένου (Fries et al., 2002, 2008a; Mitchell et al., 2007;

---

<sup>5</sup> Εφεξής στην παρούσα διατριβή θα χρησιμοποιείται η έκφραση «από επάνω προς τα κάτω» και «από κάτω προς τα επάνω» διαδικασία ως απευθείας μετάφραση του αντίστοιχου αγγλικού.

Sundberg et al., 2009). Ωστόσο, επειδή το αντικείμενο που απαιτεί τη σύνδεση ήταν και το αντικείμενο της προσοχής δεν ήταν ξεκάθαρο το γεγονός, αν ο παράγοντας που αυξάνει την επαγόμενη  $\gamma$  δραστηριότητα ήταν η αντίληψη, η προσοχή ή κάποιος συνδυασμός των δύο αυτών παραγόντων (Tallon-Baudry et al., 2005). Επίσης, ο  $\gamma$  ρυθμός μπορεί να εμφανιστεί πριν από ένα οπτικό ερέθισμα και μπορεί να προβλέψει την απόδοση ενός στόχου (Womelsdorf et al., 2006).

Ο  $\gamma$  ρυθμός σχετίζεται με την επιλεκτική προσοχή. Αρκετές έρευνες αναφέρουν την αυξημένη  $\gamma$  δραστηριότητα κατά τη διάρκεια επιλογής αντικείμενου όσο και κατά τη διάρκεια της χωρικής προσοχής (Fries et al., 2001; Bichot et al., 2005; Womelsdorf et al., 2006). Έχει παρατηρηθεί ότι ο  $\gamma$  ρυθμός αυξάνεται όποτε απαιτείται εκούσια μετατόπιση της προσοχής σε έναν στόχο. Μετρήσεις καταδεικνύουν πως μετά την εμφάνιση ενός στόχου σε μη ελεγχόμενες συνθήκες, υπάρχει μια αύξηση του  $\gamma$  ρυθμού. Παλαιότερες έρευνες σχετικά με τη φασματική κατανομή των ΗΕΓ σημάτων δείχνουν τους διαφορετικούς ρόλους της  $\gamma$  δραστηριότητας, η οποία περιλαμβάνει την αντίληψη και τις υψηλές γνωστικές λειτουργίες, όπως η μνήμη και η αναπαράσταση αντικειμένου (Herrmann et al., 2004; Zion – Golumbic & Bentin, 2006).

Ο  $\gamma$  ρυθμός εμφανίζεται κατά τη διάρκεια διατήρησης της μνήμης προσοχής (Bauer et al., 2006) και σχετίζεται με τη συνειδητή αντίληψη (Tallon-Baudry et al., 1998; Lutz et al., 2002; Meador et al., 2002) που διαμορφώνεται από την προσοχή (Steinmetz et al., 2000).

Ο  $\gamma$  ρυθμός στο ανθρώπινο ΗΕΓ έρχεται σε άμεση σχέση με το σχηματισμό των νευρωνικών αντιπροσωπεύσεων ενός αντικειμένου (Tallon et al., 1999) και ανάλογα ο von Stein και οι συνεργάτες του (2000), πρότειναν ότι σε αντίθεση με διαδικασίες από επάνω προς τα κάτω για τον  $\alpha$  ρυθμό, ο  $\gamma$  ρυθμός θα ήταν σημαντικός για διεργασίες από κάτω προς τα επάνω.

Στον ακουστικό φλοιό, η  $\gamma$  δραστηριότητα αυξάνεται κατά τη διάρκεια που οι άνθρωποι ανταποκρίνονται σε ένα ακουστικό σύνθημα (Ray et al., 2008) στοιχείο που έχει παρατηρηθεί και στον ανθρώπινο σωματοαισθητηριακό φλοιό (Bauer et al., 2006, 2009).



## 2.8 Σύνοψη

Η όραση και ο τρόπος που αυτή οδηγεί σε συνδυασμένες αντιληπτικές αποδόσεις αποτελεί ένα εντυπωσιακό φαινόμενο που χρήζει ιδιαίτερης αντιμετώπισης και μελέτης. Οι αντιληπτικοί μηχανισμοί που λαμβάνουν χώρα κατά την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών είναι εντυπωσιακοί και για το λόγο αυτό απαιτείται η μελέτη και ανάλυση τους με ειδικές τεχνικές, όπως είναι η τεχνική του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

Τα τελευταία 20 χρόνια έχουμε γίνει μάρτυρες μιας πρωτόγνωρης προόδου στην ικανότητα να μελετούμε τον ανθρώπινο εγκέφαλο με μη επεμβατικές μεθόδους. Η υψηλή χρονική ανάλυση των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων, όπως το ΗΕΓ, συνεχίζει να προσφέρει ένα μοναδικό παράθυρο στα δυναμικά της εγκεφαλικής λειτουργίας. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις με τη χρήση του ΗΕΓ είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες τόσο σε αυθόρμητες όσο και σε προκλητές αλλαγές στην εγκεφαλική λειτουργία που επιτρέπουν την έρευνα των μηχανισμών του εγκεφάλου συνεπικουρούμενη με εσωτερικές διεργασίες που μπορεί να μην είναι συμπεριφορικά παρατηρήσιμες.

Το πεδίο έρευνας του ΗΕΓ βρίσκει τη μεγαλύτερη εφαρμογή του και πλεονεκτεί ιδιαίτερα στον κρίσιμο τομέα της επεξεργασίας εικόνας (source imaging). Πληθώρα καινοτόμων λύσεων για τον προσδιορισμό ενδοεγκεφαλικών λειτουργιών ανακύπτουν. Η μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας με ταυτόχρονη χρονική και χωρική ανάλυση ανοίγει νέους δρόμους στη χαρτογράφηση του εγκεφάλου, γεγονός ιδιαίτερα χρήσιμο και σχετικό με το ευρύ πεδίο πειραματικών καταστάσεων όπου συμμετέχουν διάφορα νευρικά δίκτυα.

Όλες οι τεχνικές ανάλυσης και επεξεργασίας της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας έχουν συμβάλλει στην εξερεύνηση χωροχρονικών δυναμικών των μηχανισμών του εγκεφάλου που υποκρύπτουν φυσιολογικές και παθολογικές επεξεργασίες και καταστάσεις. Το ΗΕΓ μπορεί να θεωρηθεί ότι το επιτυγχάνει μέσω των εικόνων – χαρτών και στα επόμενα χρόνια μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην κατανόηση της ανθρώπινης σκέψης και αντίληψης καθώς και σε διαδικασίες μάθησης μέσω της μελέτης και ανάλυσης των γνωστών ρυθμών: δέλτα ( $\delta$ ), θήτα ( $\theta$ ), άλφα ( $\alpha$ ), βήτα ( $\beta$ ) και γάμα ( $\gamma$ ).



---

# 3 Νευροεπιστήμες, Εκπαίδευση και Εικονική Πραγματικότητα

---

## 3.1 Εισαγωγή

Η σημαντική πρόοδος των μεθόδων απεικόνισης των εγκεφαλικών λειτουργιών σε συνδυασμό με την ανάπτυξη και τη θεμελίωση της γνωστικής ψυχολογίας, κατέστησε δυνατή την άμεση μελέτη των εσωτερικών αντιπροσωπεύσεων σε πειραματόζωα, όπως και στον άνθρωπο. Έτσι, δεν χρειάζεται πλέον να προσεγγίζεται η νοητική δραστηριότητα αποκλειστικά έμμεσα με παρατηρήσεις εξωτερικών εκδηλώσεων συμπεριφοράς. Στόχος των συνδυασμένων προσπαθειών της γνωστικής ψυχολογίας, της νευροεπιστήμης των συστημάτων και της απεικόνισης του εγκεφάλου είναι η χαρτογράφηση των στοιχείων της γνωστικής λειτουργίας σε συγκεκριμένα νευρωνικά συστήματα.

Η παρούσα ερευνητική εργασία στηρίζεται στο θεωρητικό πλαίσιο ότι η ηλεκτρομαγνητική δραστηριότητα του εγκεφάλου όσον αφορά στην ανάλυση συχνοτήτων με βάση τους γνωστούς ρυθμούς, στη μέτρηση πλήθους εγκεφαλικών περιοχών και στη μεγάλη χρονική της ευαισθησία, μπορεί να αποτελέσει το κατάλληλο χωροχρονικό πλαίσιο με βάση το οποίο ο εγκέφαλος οργανώνει, αποθηκεύει και εν γένει επεξεργάζεται όλες τις πληροφορίες, από τις «απλούστερες» αισθητηριακές λειτουργίες μέχρι τις «υψηλότερες» σύνθετες λειτουργίες της ανθρώπινης σκέψης (Krause, 2006; Basar et al., 2001).

Σύμφωνα με τον Τζίμα (2010), η μελέτη της δομής και της φυσιολογίας των γνωστικών διεργασιών απαιτεί συνδυασμό δεδομένων και παρατηρήσεων αιματικής ροής ή οξυγόνωσης, χημικών διεργασιών και ηλεκτρομαγνητικής δραστηριότητας ολόκληρου του εγκεφάλου. Εντούτοις, η μέθοδος του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος, που ακολουθείται στην παρούσα διατριβή, καθώς και του τρόπου που αυτό αντανακλά την ανθρώπινη συμπεριφορά και τις νοητικές δραστηριότητες, έχει τη δική της αξία ως πηγή πληροφοριών και επαλήθευσης θεωριών και συνιστά πειραματική μέθοδο ικανή να ανταποκριθεί στην ταχύτατη επεξεργασία των πληροφοριών που επιτελεί ο εγκέφαλος.

---

Οι βασικοί άξονες γύρω από τους οποίους εξελίσσεται η ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα καθορίζονται από δύο συνιστώσες, το χώρο (περιοχές του φλοιού) και το χρόνο (μετρούμενο σε χιλιοστά του δευτερολέπτου). Οι δύο αυτοί άξονες, όταν συνδυάζονται με ηλεκτρικές ταλαντώσεις σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων, μπορούν να λειτουργήσουν, ιδιαίτερα στις μέρες μας, ως ένας πολλά υποσχόμενος μηχανισμός για την ερμηνεία των γνωστικών λειτουργιών του εγκεφάλου.

Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας ως μεθόδου απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 2.6.11, είναι η άριστη (σε σχέση με τις άλλες μεθόδους) χρονική της ευαισθησία με ακρίβεια χιλιοστών του δευτερολέπτου, δηλαδή της ίδιας τάξης μεγέθους στην οποία πραγματοποιούνται οι ηλεκτρομαγνητικές αλλαγές της εγκεφαλικής λειτουργίας. Ο χρόνος και η χρονική επεξεργασία των πληροφοριών είναι αναμφισβήτητα μια από τις πιο σημαντικές ιδιότητες της ανθρώπινης σκέψης.

Οι στόχοι της παρούσας έρευνας περιορίζονται στη μελέτη αντιληπτικών κυρίως λειτουργιών που πραγματοποιούνται κατά τη γνωστική επεξεργασία, όταν τα υποκείμενα παρατηρούν εικονικά περιβάλλοντα (δύο ή τριών διαστάσεων), καθώς και το αντίστοιχο πραγματικό, οι οποίες προέρχονται κυρίως από την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφαλικού φλοιού με τη χρήση του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος. Ταυτόχρονα, γίνεται μια πρώτη προσπάθεια να συσχετιστούν οι αντικειμενικές μετρήσεις του ΗΕΓ με τις διαδικασίες μάθησης στα πλαίσια του όρου «εκπαιδευτική νευροεπιστήμη».

Μια κοινή έννοια που αναφέρεται ευρέως στα επόμενα κεφάλαια είναι η κατάσταση χαλάρωσης ή ηρεμίας. Χρησιμεύει συνήθως για να καθορίζει μια «βασική γραμμή» εγκεφαλικής δραστηριότητας και οι αποκλίσεις από αυτή τη γραμμή ερμηνεύονται ως λειτουργική «ενεργοποίηση» ή «απενεργοποίηση» που προκύπτουν ως απόκριση σε κάποια πειραματική διεργασία (Laufs et al., 2003).

### **3.2 Νευροεπιστήμες και εκπαίδευση**

Μέχρι τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, η ακαδημαϊκή μελέτη της νοητικής δραστηριότητας ήταν κλάδος της φιλοσοφίας και η κύρια μέθοδος για την κατανόηση της νοητικής δραστηριότητας ήταν η ενδοσκόπηση. Από τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η ενδοσκοπική παράδοση, παραχώρησε τη

θέση της στην πειραματική ψυχολογία. Η ανάπτυξη απλών πειραματικών μεθόδων για τη μελέτη της μάθησης και της μνήμης επέκτεινε την ποσοτική προσέγγιση της πειραματικής ψυχολογίας σε ανώτερες νοητικές διεργασίες.

Η κίνηση αυτή προς την κατεύθυνση της αντικειμενικής ψυχολογίας κορυφώθηκε με μια αυστηρώς εμπειρική παράδοση, τον *συμπεριφορισμό*. Οι συμπεριφοριστές υποστήριζαν πως η συμπεριφορά ήταν δυνατό να μελετηθεί με την ίδια αυστηρότητα με την οποία εξετάζονται οι φυσικές επιστήμες, μόνο, εάν οι μελετητές της συμπεριφοράς επικέντρωναν την προσοχή τους σε παρατηρήσιμες όψεις της συμπεριφοράς και εγκατέλειπαν την άποψη για μη παρατηρήσιμες νοητικές διεργασίες. Για τους συμπεριφοριστές, όλες οι διεργασίες που μεσολαβούν από την είσοδο του ερεθίσματος μέχρι την εκδήλωση της συμπεριφοράς θεωρούνται άσχετες με την επιστημονική μελέτη της συμπεριφοράς. Όμως με αυτόν τον τρόπο αγνοούσαν, σε μεγάλο βαθμό της δημιουργικές διεργασίες του εγκεφάλου που οδηγούν στην αντίληψη, στη δράση, στον σχεδιασμό, στη σκέψη, στην προσοχή και στις σύνθετες μορφές μνήμης.

Από τη δεκαετία του 1960, άρχισε να κερδίζει έδαφος η θεμελίωση της γνωστικής ψυχολογίας. Σύμφωνα με αυτήν, η αντίληψη διαμορφώνει τη συμπεριφορά και η ίδια η αντίληψη είναι μια δημιουργική διεργασία η οποία εξαρτάται όχι μόνο από τις πληροφορίες που περιέχει ένα ερέθισμα, αλλά και από τη νοητική συγκρότηση του ατόμου που αντιλαμβάνεται το ερέθισμα. Η γνωστική ψυχολογία προσπαθεί να αναλύσει τις εγκεφαλικές διεργασίες που παρεμβάλλονται μεταξύ του ερεθίσματος και της συμπεριφοράς, δηλαδή την ίδια περιοχή που οι συμπεριφοριστές θεωρούσαν άσχετη.

Με τη στροφή προς τη μελέτη των νοητικών δραστηριοτήτων, οι γνωσιοψυχολόγοι ενδιαφέρθηκαν για την παρακολούθηση της ροής αισθητηριακών πληροφοριών από τη μετατροπή τους, μέσω κατάλληλων αισθητηριακών υποδοχέων, μέχρι την ενδεχόμενη εσωτερική αντιπροσώπευσή τους στον εγκέφαλο για τη χρησιμοποίησή τους στη μνήμη και τη δράση. Η ιδέα μιας εσωτερικής αντιπροσώπευσης συνεπάγεται ότι κάθε αντιληπτική ή κινητική ενέργεια συσχετίζεται με έναν χαρακτηριστικό τύπο νευρωνικής δραστηριότητας σε ένα συγκεκριμένο σύνολο διασυνδεδεμένων κυττάρων. Ο τύπος των συνδέσεων αποταμιεύει, συγχρόνως, πληροφορίες σχετικές με την αντίληψη και την κινητική δράση.

Ωστόσο, αυτή η νέα αντίληψη περί εσωτερικής αντιπροσώπευσης δε στερείται προβλημάτων. Οι συμπεριφοριστές είχαν δίκιο όταν τόνιζαν ότι η συμπεριφορά έπρεπε να μελετηθεί αντικειμενικά και ότι δεν είναι εύκολο να προσεγγίσουμε τις εσωτερικές αντιπροσωπεύσεις με αντικειμενική ανάλυση. Γεγονός αποτελεί ότι τα περισσότερα από όσα αντιλαμβανόμαστε ως νοητικές διεργασίες είναι ακόμη σε μεγάλο βαθμό απρόσιτα στην πειραματική ανάλυση. Η ανάπτυξη του εγκεφάλου ακολουθεί το γενετικό πρόγραμμα ενός ατόμου. Συγχρόνως, ο εγκέφαλος αλλάζει συνεχώς μέσω της μάθησης και, επομένως, επηρεάζει το τι μαθαίνεται στο μέλλον και πώς αυτό μαθαίνεται. Η μάθηση είναι αναμφισβήτητα ένα συναρπαστικό φαινόμενο, και αποτελεί προσέγγιση διάφορων επιστημονικών κλάδων από διαφορετικές οπτικές γωνίες.

Σε ένα πρώτο επίπεδο, αυτό των νευροεπιστημών, οι επιστήμονες ενδιαφέρονται κύρια για τις εσωτερικές λειτουργίες του εγκεφάλου, τη δομή του και τον τρόπο που οργανώνεται και αναπτύσσεται ως ένα καθαρά βιολογικό όργανο. Σε δεύτερο επίπεδο, αυτό της ψυχολογίας, ο εγκέφαλος αντιμετωπίζεται και μελετάται σαν ένα «μαύρο κουτί», όπου με πειραματικές μετρήσεις και μεθόδους μελετώνται θέματα συμπεριφοράς του σε διάφορα ερεθίσματα που δέχεται. Σε τρίτο επίπεδο, το επίπεδο της εκπαίδευσης, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην πρακτική εφαρμογή της γνώσης με τελικό στόχο τη μάθηση. Το επίπεδο αυτό, σαφώς, και επηρεάζεται τόσο από κοινωνικούς (σχολείο, οικογένεια) όσο και επιστημονικούς (υλικοτεχνική υποδομή, επίπεδο εκπαιδευτικών) παράγοντες (Hall, 2005).

Είναι εύλογο, λοιπόν, ότι οι νευροεπιστήμες επηρεάζουν την ψυχολογία και η ψυχολογία με τη σειρά της την εκπαίδευση. Απαιτείται, όμως, εκτεταμένη έρευνα για να μπορέσει μια θεωρία για τη φυσιολογία ή την εγκεφαλική λειτουργία να ερμηνευτεί ως εκπαιδευτική πράξη. Υπάρχουν πολλά μεθοδολογικά και πρακτικά ζητήματα. Ενώ τα ερεθίσματα και οι αντιδράσεις μπορούν να ελεγχθούν, ερωτήματα του τύπου: «Πώς ένας μαθητής επιλέγει ένα μοντέλο επίλυσης προβλημάτων» δεν είναι δυνατόν να απομονωθούν και ερευνηθούν (OECD, 2002).

Κατά τη γνωστική ψυχολογία, ο μοναδικός τρόπος με τον οποίο μπορούμε να ελπίζουμε σε κατανόηση της σχέσης μεταξύ των ενεργειών ενός ατόμου και των όσων βλέπει, το άτομο θυμάται ή πιστεύει. Σύμφωνα με την άποψη αυτή, κάθε μελέτη της νοητικής

δραστηριότητας που δε συνυπολογίζει τις εσωτερικές διεργασίες και αντιπροσωπεύσει των γεγονότων που λαμβάνουν χώρα, επαρκεί για να εξηγήσει μόνο τις απλούστερες μορφές συμπεριφοράς. Στα πλαίσια της σύγχρονης θεωρίας της επιστήμης, υποστηρίζεται ότι οι νευροεπιστημονικές μελέτες μπορούν να περιγράψουν τους γενικούς όρους για την επιτυχή επίτευξη της μάθησης, όμως, αποτελούν ακόμη αντικείμενο προς συζήτηση για το αν, τελικά, μπορούν οι νευροεπιστήμες να προσφέρουν συγκεκριμένες οδηγίες για τη βελτίωση των συνθηκών μάθησης στα σχολεία.

Σε μελέτη του Γερμανικού Υπουργείου Παιδείας (2005) αναφέρονται έξι παραδείγματα σχετικά με το πόσο τα πορίσματα των νευροεπιστημών συνδέονται με την Ψυχολογία και την Παιδαγωγική.

1. Οι νευροφυσιολογικές μελέτες μπορούν να παρέχουν νέες ερμηνείες για φαινόμενα που είναι ήδη γνωστά σε ψυχολογικό επίπεδο.
2. Οι νευροφυσιολογικές μελέτες μπορούν να παρέχουν ερμηνείες για τις γνωστικές και μαθησιακές ελλείψεις.
3. Ένα δεδομένο γνωστικό έλλειμμα μπορεί να έχει διαφορετικές νευρωνικές αιτίες. Οι νευροφυσιολογικές μελέτες μπορούν να προσδιορίσουν τις διαφορετικές αιτίες ενός γνωστικού ελλείμματος σε διαφορετικά άτομα, κάτι που δεν είναι εφικτό από τη συμπεριφορική θεωρία.
4. Μπορεί να υπάρξει έγκαιρη διάγνωση γνωστικών διαταραχών μέσα από νευροφυσιολογικά ευρήματα.
5. Τα στοιχεία των νευροφυσιολογικών μελετών μπορούν να συνεισφέρουν επικοδομητικά όταν για το ίδιο θέμα υπάρχουν διαφορετικές ψυχολογικές προσεγγίσεις.
6. Μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για την παραγωγή εκπαιδευτικών οδηγιών που θα συνεισφέρουν σε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα.

Τα παραδείγματα αυτά διευκρινίζουν ότι η νευροεπιστημονική έρευνα είναι σημαντική τόσο για την Ψυχολογία όσο και για την Παιδαγωγική, επειδή μπορεί να αποκαλύψει τις διαφορές που δεν είναι αισθητές σε συμπεριφορικό επίπεδο. Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα προηγούμενα παραδείγματα αφορούν κυρίως στη διάγνωση και στην

ερμηνεία γνωστικών και μαθησιακών ελλειμμάτων. Ακόμα κι αν η νευροφυσιολογία είναι σε θέση να διαγνώσει και να ερμηνεύσει παθολογικές καταστάσεις, δεν πρέπει να εξάγεται βιαστικά το συμπέρασμα κατά πόσο μπορεί να συνεισφέρει σε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα και το σχεδιασμό αντίστοιχων δραστηριοτήτων. Όμως, οι νευροφυσιολογικές έρευνες δεν αναφέρουν κάτι σχετικά με το περιεχόμενο μιας μαθησιακής δραστηριότητας. Ασφαλώς, παρέχουν δεδομένα αναφορικά με το ποιες γνωστικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα ή όχι κατά την εκτέλεση μιας εργασίας. Εντούτοις, δεν παρέχουν συγκεκριμένες πληροφορίες για το πώς πρέπει να σχεδιαστούν οι διάφορες μαθησιακές δραστηριότητες που διαμορφώνονται στα πλαίσια ψυχολογικών και παιδαγωγικών θεωριών.

Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, παρατηρείται μια έκρηξη της έρευνας, η οποία μπορεί να επικεντρωθεί στην κατά το μάλλον ευρεία έννοια της «εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης». Το 1997, ο John Bruer πρότεινε στην επιστημονική κοινότητα μια θεωρία σχετική με τις νευροεπιστήμες και την εκπαίδευση. Ανέφερε πως το χάσμα μεταξύ νευροεπιστημών και εκπαίδευσης είναι αγεφύρωτο και για το λόγο αυτό πρότεινε το διαχωρισμό σε τρία επιστημονικά πεδία, τις νευροεπιστήμες, τη γνωσιακή επιστήμη και την εκπαίδευση, θεωρώντας εφικτή τη σύνδεση νευροεπιστημών – γνωσιακής επιστήμης και γνωσιακής επιστήμης – εκπαίδευσης (Bruer, 1997). Σύμφωνα με την εκπαιδευτική νευροεπιστήμη, κάτω από μια βιολογική θεώρηση και εισαγωγή της νευροεπιστήμης στην εκπαίδευση, η μάθηση ορίζεται ως μια διαδικασία δημιουργίας νευρωνικών συνδέσεων σε απόκριση εξωτερικών ερεθισμάτων (Ferrari, 2011; Koizoumi, 2011). Είναι σημαντικό ότι οι νέες ιδέες από τον ευρύτερο τομέα της νευροεπιστήμης εφαρμόζονται στη μελέτη των βασικών μηχανισμών μάθησης (Beddington et al., 2008). Η εκπαιδευτική νευροεπιστήμη, μπορεί να παρέχει ένα εννοιολογικό πλαίσιο για την κατανόηση σε βάθος του τρόπου που ο ανθρώπινος εγκέφαλος δημιουργεί γνωστικά συστήματα για την αισθητήρια είσοδο των ερεθισμάτων.

Έρευνες νευροεπιστημόνων με επεμβατικές τεχνικές ή έρευνες σε ζώα προκαλούν μεθοδολογικά προβλήματα σχετικά με τις επιστημονικές αυτές μεθόδους. Ο Posner και οι συνεργάτες του αμφισβητούν τη δυνατότητα αυτή λόγω περιορισμών της τεχνολογίας των τεχνικών απεικόνισης της εγκεφαλικής λειτουργίας για την εξαγωγή γενικευμένων



συμπερασμάτων (Posner et al., 2001). Ο Sheridan και οι συνεργάτες του (2005) εγείρουν ερωτήματα σχετικά με το ποια κριτήρια καθορίζουν τη συνάφεια των πορισμάτων των νευροεπιστημών με την εκπαίδευση, πώς αξιοποιείται η νέα γνώση, από ποιον και με ποιες ασφαλιστικές δικλίδες και αν υπάρχουν ευθύνες σε περίπτωση που υπάρξουν μη αναμενόμενες συνέπειες από την έρευνα των νευροεπιστημών.

Οι Geake & Cooper (2003 a,b) αναφέρουν τους κινδύνους στην προσπάθεια εφαρμογής των νευροεπιστημών στην εκπαίδευση. Ένας κίνδυνος είναι όταν η νευροεπιστήμη δεν προσθέτει κάτι καινούργιο στην υπάρχουσα εκπαιδευτική κατάσταση και μειώνει την πεποίθηση κάποιου σχετικά με τα διάφορα είδη της εκπαιδευτικής διαδικασίας και πρακτικής, θεωρώντας απλά ως «μόδα» το ότι οι νευροεπιστήμες μπορούν να εξηγήσουν τα πάντα. Όμως, αντίθετη άποψη εκφράζουν με σχετικά πρόσφατη έρευνά τους ο Weisberg και οι συνεργάτες του (2008), οι οποίοι αναφέρουν ότι τα αποτελέσματα ερευνών στα οποία μετέχουν και οι νευροεπιστήμες είναι πιο εμπειριστατωμένα ακόμη και αν αυτές δεν εισάγουν κάτι το νέο στα ερωτήματα που εγείρονται από αυτές τις έρευνες.

Νέα ευρήματα σχετικά με τον τρόπο που ο εγκέφαλος ελέγχει τις διαδικασίες μάθησης θα βοηθήσουν στην κατανόηση της σχέσης μεταξύ μυαλού και συμπεριφοράς. Ταυτόχρονα, ευρήματα σχετικά με το ρόλο του ύπνου στη σταθεροποίηση της μνήμης προσφέρουν επιπρόσθετα στοιχεία στην έρευνα για τον τρόπο που μαθαίνουμε (Wagner et al., 2004). Το είδος της πληροφορίας που πρέπει να διδαχθεί, ο χρόνος διδασκαλίας και το πότε απαιτείται η ξεκούραση κατά τη διάρκεια της μάθησης, είναι στοιχεία που μπορούν να προκύψουν από μια βαθύτερη και εκτενέστερη μελέτη. Κατά συνέπεια, η συγκέντρωση των συμπερασμάτων που μπορούν να προκύψουν από έρευνες της γνωστικής ψυχολογίας ενδέχεται να οδηγήσουν στην ανάπτυξη ικανοποιητικών μοντέλων μάθησης.

Τεχνικές νευροαπεικόνισης, όπως η PET και το fMRI, έχουν αποδείξει ότι οι οπτικοποιήσεις που υποστηρίζουν την οπτική αντίληψη και την οπτική απόδοση ενεργοποιούν τα δύο τρίτα του εγκεφάλου (Kosslyn, 2005). Σχετικά με τα εικονικά περιβάλλοντα, ο Andreano και οι συνεργάτες του (2009) αναφέρουν ότι τα ακουστικά ερεθίσματα σε ΕΠ αυξάνουν την ενεργοποίηση στον ιππόκαμπο, μια εγκεφαλική περιοχή που συνδέεται με τη διαδικασία της μνήμης και της μάθησης.

Συγχρόνως, έρευνες των νευροεπιστημών αποδεικνύουν πώς μπορούν ή πρόκειται να επηρεάσουν την εκπαίδευση, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά το επίπεδο των θεωριών μάθησης και της φιλοσοφίας της εκπαίδευσης. Η μάθηση θεωρείται σήμερα ότι συντελείται μέσω συντονισμένων λειτουργιών του κεντρικού, αισθητηριακού και ψυχοκινητικού συστήματος και των οργανικών αλλαγών των εγκεφαλικών κυττάρων (Δήμου, 2008). Η αυξανόμενη γνώση της συναπτογέννησης μεταξύ των νευρώνων του εγκεφάλου, σε συνδυασμό με τη γνώση που αποκτούμε κατά τη διάρκεια του βίου μας, έχει σημαντικές συνέπειες που επηρεάζουν τις θεωρίες μάθησης και ενισχύουν την άποψη για «δια βίου μάθηση» (Hall, 2005). Η ποικιλία των ερεθισμάτων που απαιτούνται για τη συναπτογέννηση, καθώς και ο ρόλος των κυκλωμάτων «ευχαρίστησης» του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια αυτή, ενισχύουν τον κονστρουκτιβισμό και τη θεωρία ότι η μάθηση συντελείται, όταν το υποκείμενο εμπλέκεται ενεργά σε διαδικασίες μάθησης.

Διαφαίνεται, λοιπόν, μια πολλά υποσχόμενη δράση της εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης και ταυτόχρονα συναρπαστική σχετικά με το τι μπορεί να συνεισφέρει στην εκπαιδευτική πράξη. Δεδομένου ότι η αναπτυξιακή γνωστική νευροεπιστήμη ερευνά τους μηχανισμούς αλλαγής στο επίπεδο γνωστικών και νευρικών συστημάτων, ιδιαίτερη έμφαση αρχίζει να αποδίδεται στο ρόλο της εκπαιδευτικής διαδικασίας, στη διαμόρφωση συγκεκριμένων λειτουργικών κυκλωμάτων που δίνουν αφορμή για σύνθετες γνωστικές δεξιότητες, όπως η ανάγνωση ή τα μαθηματικά. Τέτοιες μελέτες τονίζουν τη σπουδαιότητα της έννοιας «εκπαιδευτική νευροεπιστήμη».

### **3.3 Χρησιμότητα της γνώσης των εγκεφαλικών λειτουργιών στα εικονικά περιβάλλοντα**

Η καταγραφή και παρακολούθηση των εγκεφαλικών λειτουργιών σε συνδυασμό, ενδεχομένως, με άλλες βιοηλεκτρικές μετρήσεις μπορούν να αποδειχθούν πολύ χρήσιμες κατά την ανάπτυξη, την υλοποίηση και την αξιολόγηση εικονικών περιβαλλόντων. Μερικοί από τους λόγους αυτούς συνοψίζονται παρακάτω (Pugnetti et al., 2001):

- Ανάπτυξη αποτελεσματικότερων εικονικών περιβαλλόντων, όπως για παράδειγμα καλύτερο συντονισμό της έντασης, της συχνότητας και του συγχρονισμού ενός συνδυασμού ερεθισμάτων

- Ανάπτυξη ασφαλέστερων εικονικών περιβαλλόντων, ιδιαίτερα όταν το εικονικό περιβάλλον προορίζεται για κλινική χρήση
- Μελέτη συγκεκριμένων γνωστικών λειτουργιών, όπως μάθηση, μνήμη, αντιδράσεις, χειρισμός λαθών, λήψη αποφάσεων, κ.ά.
- Καλύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης ανθρώπου - υπολογιστή και σύγκριση με αλληλεπιδράσεις στον πραγματικό κόσμο
- Δυναμικός έλεγχος των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των εικονικών περιβαλλόντων, όπως στα συστήματα διεπαφής εγκεφάλου – υπολογιστή (Brain Computer Interface - BCI)
- Μελέτη των επιδράσεων ποικίλων παραμέτρων του συστήματος στις φυσιολογικές αντιδράσεις των υποκειμένων
- Αντιμέτωπιση σημαντικών ηθικών ζητημάτων που συνήθως προκύπτουν από την ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή προϊόντων εικονικής πραγματικότητας στην ψυχαγωγία, όπως στην επιθετική συμπεριφορά ή τα αρνητικά συναισθήματα (Calvert & Tan, 1994, Stanney et al., 1998).

### **3.4 Μετρήσεις εγκεφαλικής λειτουργίας σε εικονικά περιβάλλοντα**

Σύμφωνα με τον Τζίμα (2010), τα πρώτα εικονικά περιβάλλοντα συχνά επεδίωκαν έναν υπερβολικό φόρτο του αισθητηριακού και κινητικού συστήματος του ατόμου για να επιτύχουν ένα υψηλότερο βαθμό εμπύθισης. Υπήρξαν προσπάθειες να συσχετιστούν οι διαφορετικές φυσιολογικές μετρήσεις με μεταβολές στη νοητική προσπάθεια (workload) και στην περιστασιακή συνειδητοποίηση (situational awareness) σε διεργασίες εξομοίωσης νυχτερινής πτήσης. Παρατηρήθηκε αύξηση της ισχύος του θ ρυθμού με ταυτόχρονη μείωση του α ρυθμού, η οποία αντανακλά αυξημένες γνωστικές απαιτήσεις προκειμένου να διατηρηθεί η περιστασιακή συνειδητοποίηση. Ωστόσο, οι ερευνητές διατύπωσαν την αδυναμία τους να διαχωρίσουν τη συσχέτιση των ΗΕΓ μεγεθών με τη νοητική προσπάθεια (φόρτο εργασίας) και την περιστασιακή συνειδητοποίηση.

Περισσότερες έρευνες στη συσχέτιση του ΗΕΓ με τη συνειδητοποίηση (awareness) του περιβάλλοντος γενικότερα και όχι μόνο σε ΕΠ, προέρχονται από μελέτη υπναγωγικών καταστάσεων (hypnagogic states), όπου τα υποκείμενα είναι νυσταγμένα και έχουν

μειωμένη συνειδητοποίηση του περιβάλλοντος. Σε πλήθος μελετών που έχουν ασχοληθεί με τη στέρηση ύπνου, ο θ ρυθμός αναδεικνύεται σε κυρίαρχη δραστηριότητα. Όταν η θ δραστηριότητα χαρακτηρίζεται από χαμηλού δυναμικού ακανόνιστες κυματομορφές με διάχυτη εξάπλωση στο κranίο υποδεικνύει συμπεριφορά χαμηλού επιπέδου επαγρύπνησης με μειωμένη τη δυνατότητα του ατόμου να επεξεργαστεί και να ανταποκριθεί στις πληροφορίες του περιβάλλοντος.

Οι Strickland & Chartier (1997), ερεύνησαν διαδικασίες επεξεργασίας εικόνας σε πραγματικά και σε εικονικά περιβάλλοντα εμβύθισης, όπου κατέγραψαν μειωμένη α δραστηριότητα την οποία συσχέτισαν σε αυξημένες απαιτήσεις γνωστικής επεξεργασίας στο νέο, πρωτότυπο περιβάλλον και αυξημένη θ και «β1» (13 Hz–20 Hz) δραστηριότητα που ερμηνεύθηκαν όχι ως νοητική διεργασία (intellectual) αλλά σαν συμβολικού τύπου επεξεργασία, απαραίτητης για την κατανόηση των συγκεκριμένων κινούμενων εικόνων που προβάλλονται στο κranός εικονικής πραγματικότητας. Αντίθετα, δεν παρατήρησαν ΗΕΓ διαφορές που να αποδίδονται στη χρήση του κranούς ΕΠ, εκτός από παράσιτα επηρεαζόμενα από το βάρος του κranούς στην περιοχή του «β2» ρυθμού (18 -20 Hz).

Ο Cobb και οι συνεργάτες του (1999), χρησιμοποίησαν φορητό σύστημα καταγραφής ΗΕΓ μόνο με 4 ηλεκτρόδια σε 4 υποκείμενα με ελευθερία κινήσεων και δεν παρατήρησαν διαφορές μεταξύ του εικονικού και του πραγματικού περιβάλλοντος. Αντίθετα, ο Pugnetti και οι συνεργάτες του (1996) κατέγραψαν αυξημένη α ισχύ στα υποκείμενα που είχαν τα λιγότερα λάθη (και επομένως το μικρότερο χρόνο παραμονής σε ΕΠ εμβύθισης) κατά την εργασία σε εικονικά δωμάτια. Η ίδια ομάδα σε μετέπειτα δημοσίευσή της (Pugnetti et al., 2000) παρατήρησε σταδιακή αύξηση της α ισχύος σε υποκείμενα καθώς αυξάνονταν οι σωστές επιλογές σε νοητικές εργασίες σε ΕΠ χωρίς εμβύθιση. Οι παρατηρήσεις ερμηνεύθηκαν ως ένδειξη της χρησιμότητας του αυθόρμητου ΗΕΓ στην παρακολούθηση της προσαρμογής ή εκμάθησης του εγκεφάλου σε εργασία στο νέο περιβάλλον.

Σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εικονικό και παρόμοιο πραγματικό περιβάλλον έχει δείξει ότι η προσοχή των συμμετεχόντων αυξάνεται στο στερεοσκοπικό εικονικό περιβάλλον (Mikropoulos, 2001).

Σύμφωνα με τον Τζίμα, (2010) έρευνες σε εικονικά περιβάλλοντα με χρήση του ΗΕΓ έχουν καταγράψει αυξημένη  $\alpha$  ισχύ σε υποκείμενα που είχαν τα λιγότερα λάθη κατά την εργασία σε εικονικά δωμάτια, καθώς και σταδιακή αύξηση της  $\alpha$  ισχύος σε υποκείμενα με περισσότερες σωστές επιλογές σε νοητικές εργασίες σε εικονικά περιβάλλοντα χωρίς εμπύθιση. Οι παρατηρήσεις ερμηνεύθηκαν ως ένδειξη της χρησιμότητας του αυθόρμητου ΗΕΓ στην παρακολούθηση της προσαρμογής ή της εκμάθησης του εγκεφάλου στο νέο περιβάλλον. Παράλληλα, καταγράφηκε μειωμένη  $\alpha$  δραστηριότητα η οποία σχετίστηκε με αυξημένες απαιτήσεις γνωστικής επεξεργασίας στο νέο, πρωτότυπο περιβάλλον και αυξημένη θήτα και «βήτα 1» (13 Hz – 20 Hz) δραστηριότητα που ερμηνεύθηκαν ως λιγότερο διανοητικού (intellectual) και περισσότερο συμβολικού τύπου επεξεργασία, απαραίτητης για την κατανόηση των τυποποιημένων (τύπου κινούμενων σκίτσων) εικόνων του κράνους ΕΠ.

Η Mima και οι συνεργάτες της (2001) αναφέρουν πως σε ανθρώπινα υποκείμενα στα οποία προβάλλονται οπτικά ερεθίσματα με διαχωρισμό τους σε ουσιώδη και μη, κατά την προβολή των ουσιωδών οπτικών ερεθισμάτων υπήρξε αύξηση του  $\alpha$  ρυθμού στην κροταφοϊνιακή περιοχή, ενώ στην παρουσίαση των μη σημαντικών οπτικών ερεθισμάτων παρατηρήθηκε πτώση των τιμών του  $\alpha$  ρυθμού στην ίδια εγκεφαλική περιοχή.

Ένας υποθετικός δείκτης της φυσιολογικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των μετωποβρεγματικών περιοχών και των ινιακών περιοχών είναι η διαμόρφωση των μεταγενέστερων  $\alpha$  ρυθμών. Οι ρυθμοί αυτοί φανερώνουν υψηλή ισχύ του  $\alpha$  ρυθμού στη μετωποβρεγματική περιοχή, απουσία οπτικού ερεθίσματος (Steriade & Llina's, 1998), η οποία στη συνέχεια μειώνεται κατά την παρουσία οπτικών στόχων (Klimesch et al., 1998). Επιπλέον, όταν τα υποκείμενα αναμένουν έναν στόχο σε συγκεκριμένο σημείο, η τοπογραφία του  $\alpha$  ρυθμού γίνεται χωρικά εκλεκτική (Worden et al., 2000; Yamagishi et al., 2003; Sauseng et al., 2005; Thut et al., 2006), και μπορεί να αποτυπώσει βήμα-βήμα την προσοχή και την οπτική απόδοση (Thut et al., 2006). Στην έρευνά τους με MEG οι Palva & Palva (2007), ελέγχουν την υπόθεση ότι οι μετωποβρεγματικές περιοχές ελέγχουν τη χωρική δεξιότητα και προσοχή στον οπτικό φλοιό μέσω αποσυγχρονισμού του  $\alpha$  ρυθμού και διαπιστώνουν ότι είναι απίθανο ο αποσυγχρονισμός  $\alpha$  να απεικονίσει την ενεργή επεξεργασία ερεθισμάτων.

Ο Hanslmayr και οι συνεργάτες του (2007), ερεύνησαν με ΗΕΓ τις διαφορές ανάμεσα σε ανθρώπινα υποκείμενα που ήταν ικανά να διακρίνουν μεταξύ 4 σύντομων ερεθισμάτων και σε εκείνα που δεν τα κατάφεραν. Στη συνέχεια, μελέτησαν τις διαφορές μεταξύ των υποκειμένων που ολοκλήρωσαν ή όχι τη διαδικασία. Τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι όσοι αντίληφθηκαν τα ερεθίσματα είχαν μικρότερη  $\alpha$  ισχύ από όσους δεν τα αντίληφθηκαν. Η ανάλυση του ΗΕΓ μεταξύ των επιτυχημένων και μη διεργασιών, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αντίληψη ενός ερεθίσματος σχετίζεται με τη χαμηλή  $\alpha$  δραστηριότητα (α αποσυγχρονισμός) (8 – 12 Hz) και την υψηλή  $\beta$  και  $\gamma$  δραστηριότητα (20 – 45 Hz). Μεμονωμένες αναλύσεις αναφέρουν πως η αίσθηση της αντίληψης μπορεί να επιτευχθεί από τη συσχέτιση των ρυθμών  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$ . Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι οι συγχρονισμένες ταλαντώσεις του  $\alpha$  ρυθμού εμποδίζουν την αντίληψη σε σύντομα ερεθίσματα, ενώ σε υψηλότερες συχνότητες (>20 Hz) υπάρχει ενίσχυση της οπτικής αντίληψης. Συμπερασματικά αναφέρουν, ότι οι ρυθμοί  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$  σχετίζονται με την κατάσταση προσοχής ενός υποκειμένου, γεγονός που μπορεί να επιτρέψει την πρόβλεψη στην απόδοση της αντίληψης.

Τόσο η πραγματική κίνηση όσο και η εικονική μετακίνηση συνδέονται με αλλαγές στην ισχύ ορισμένων ρυθμών του ΗΕΓ, ειδικά του  $\alpha$  και  $\beta$ . Οι αλλαγές αυτές εστιάζονται στον αισθητικοκινητικό φλοιό, (Pfurtscheller et al., 2008). Έρευνες αναφέρουν, επίσης, ότι ο  $\alpha$  ρυθμός είναι ο κύρια υπεύθυνος για την κούραση ενός οδηγού κατά τη διάρκεια πραγματικής οδήγησης και κύρια στις κεντρικές και βρεγματικές περιοχές και όχι τόσο στις πρόσθιες μετωπικές (Simon et al., 2011).

Η διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή (BCI), είναι ένα σύστημα επικοινωνίας που μετατρέπει την εγκεφαλική δραστηριότητα σε εντολές για έναν υπολογιστή ή άλλες συσκευές. Επιτρέπει στους χρήστες να ενεργούν στο περιβάλλον τους χρησιμοποιώντας μόνο τη δραστηριότητα του εγκεφάλου, χωρίς την χρήση νεύρων ή μυών. Σε πρόσφατη έρευνά τους ο Lin και οι συνεργάτες του (2009), αναφέρουν την εκμάθηση υποκειμένων στη χρήση του ΗΕΓ για τρισδιάστατες κινήσεις ελέγχου, ξεκινώντας την εκπαίδευση από τον  $\alpha$  ή και τον  $\beta$  ρυθμό και τις αλλαγές αυτών που σχετίζονται με εικονικές κινήσεις του αριστερού ή δεξιού χεριού ή κινήσεις του ποδιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ΗΕΓ μπορεί να υποστηρίξει

τον έλεγχο τρισδιάστατων κινήσεων, κάτι που μπορεί να βελτιώσει τα συστήματα BCI σε ανθρώπους με κινητικές δυσκολίες.

Ο Rozengurt και οι συνεργάτες του (2010) εκπαίδευσαν ενήλικους χρήστες στην διαδοχική κίνηση των δακτύλων του χεριού. Στη συνέχεια, με χρήση ΗΕΓ σε ένα εικονικό περιβάλλον θέλησαν να αυξήσουν σε μια ομάδα χρηστών τη θ δραστηριότητα (ομάδα θ ρυθμού) θεωρώντας ότι σχετίζεται με τη μνήμη (ο θ ρυθμός σχετίζεται με τη σταθεροποίηση της μνήμης σε υπναγωγικές καταστάσεις), είτε να αυξήσουν την ισχύ του β ρυθμού σε μια άλλη ομάδα χρηστών (ομάδα β ρυθμού). Μια τρίτη ομάδα διέκοψε για κάποιο χρονικό διάστημα την εκπαίδευση. Σημαντικές βελτιώσεις στην εκμάθηση της κίνησης παρατηρήθηκαν στην ομάδα του θ ρυθμού, κάτι που δεν παρατηρήθηκε, όμως, στις άλλες δύο ομάδες. Οι μελετητές καταλήγουν αναφέροντας πως, παρόλο που μια τέτοιου είδους εκμάθηση δεν αποτελεί εκπαιδευτική διαδικασία, ανάλογες έρευνες αναδεικνύουν ότι η αύξηση της ισχύος του θ ρυθμού στο ΗΕΓ μπορεί να συμβάλει στη μάθηση.

Οι Finnigan & Robertson (2011), εξέτασαν το βαθμό, στον οποίο οι συχνότητες στη διάρκεια της χαλάρωσης συνδέονται με γνωστική απόδοση, σε 73 υγιείς ενήλικες μεγάλης ηλικίας (56 – 70 ετών). Ο θ ρυθμός συσχετίστηκε με την προσοχή και τη γνωστική λειτουργία. Ο α και δ ρυθμός δε φάνηκε να σχετίζονται με γνωστικές λειτουργίες. Τα στοιχεία της έρευνας αναφέρουν ότι η υψηλή θ δραστηριότητα σε ηλικιωμένους ανθρώπους συνδέεται με αυξημένη γνωστική λειτουργία και αποτελεί δείκτη υγιούς γνωστικής ωρίμανσης. Την ίδια εποχή ο Hanslmayr και οι συνεργάτες του (2011), προτείνουν ότι η παρουσία των ρυθμών α, β και γ αποτελεί ένδειξη της κατάστασης προσοχής και κατά συνέπεια αν ένα οπτικό ερέθισμα θα γίνει αντιληπτό ή όχι.

Σε έρευνά τους ο Saleh και οι συνεργάτες του (2010), αναφέρουν ότι οι β ταλαντώσεις στον πρωτοταγή κινητικό φλοιό ενισχύονται κατά τη διάρκεια παρακολούθησης μιας καθοδηγούμενης διεργασίας. Ο β ρυθμός μεγιστοποιήθηκε λίγο πριν από την έναρξη των οδηγιών προς το υποκείμενο με το δ ρυθμό, ο οποίος εμφανίζεται αυξημένος κατά τη διάρκεια ανάγνωσης αυτών των οδηγιών. Το αποτέλεσμα δείχνει ότι ο β και ο δ ρυθμός συγχρονίζονται στην περιοχή του πρωτοταγούς κινητικού φλοιού κατά την αναμονή και

παρουσίαση των οδηγιών και συνεργάζονται για να ενισχύσουν την απόκριση σε προβλεπόμενα και καθορισμένα οπτικά ερεθίσματα.

Η θ δραστηριότητα σπάνια έχει αναφερθεί σε προγενέστερες έρευνες σε καθαρά αισθητικοκινητικούς στόχους (Perfetti et al., 2010). Σύμφωνα με τους Niedermeyer & Lopes da Silva (2005), ο θ ρυθμός απεικονίζει την αισθητικοκινητική ολοκλήρωση και οδηγεί στην πρόβλεψη ότι ο θ ρυθμός θα εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της μετακίνησης, τη στιγμή που ο α ρυθμός αποσυγχρονίζεται. Αναφέρουν, επίσης, την αύξηση του θ ρυθμού κατά την παρουσίαση οπτικών ερεθισμάτων και όχι κατά το τέλος επίδειξης αυτών.

Σύμφωνα με τους Schroeder & Lakatos (2009), κατά τη διάρκεια οπτικών στόχων παρατηρείται αύξηση του δ ρυθμού με ταυτόχρονη αύξηση του γ ρυθμού, που διαδραματίζει έναν ρόλο στην αυξανόμενη ευαισθησία στα εισερχόμενα οπτικά ερεθίσματα (Steriade et al., 1993; Palva et al., 2005; Isler et al., 2008; Sauseng et al., 2008).

Από όλο το φάσμα των λειτουργιών που ανήκουν στην περιοχή της ανθρώπινης σκέψης, η παρούσα έρευνα εστιάζεται σε αυτές που αφορούν στην:

- οπτική επεξεργασία πληροφοριών
- λειτουργία της μνήμης
- αντίληψη του χώρου
- επαγρύπνηση και ετοιμότητα.

### **3.5 Οπτικά ερεθίσματα, εγκεφαλικοί ρυθμοί και εικονική πραγματικότητα**

Στα εικονικά περιβάλλοντα και γενικότερα σε ψηφιακά περιβάλλοντα, η οπτική αισθητήρια οδός είναι συνήθως η πιο σημαντική και καθοριστική είσοδος πληροφοριών. Η οπτική επίγνωση (optical awareness) είναι μια πολύπλοκη αντιληπτική διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά την επεξεργασία των οπτικών δεδομένων και συμπεριλαμβάνει την οργάνωση και τη σύνδεση των πληροφοριών που προέρχονται από διαφορετικές πλευρές της οπτικής σκηνής. Η στερεοσκοπική όραση αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη της



οπτικοχωρικής δεξιότητας και για τη συμβολή της στην κατανόηση των επιστημών (Ijsselstein et al., 1998; Arsenault & Ware, 2004).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο οπτικός φλοιός αναπτύσσεται γρηγορότερα από τους άλλους φλοιούς και φθάνει στο μέγιστο του όγκου του στην ηλικία των τεσσάρων μηνών. Η διαπίστωση αυτή προκαλεί έκπληξη, καθώς το μέγεθος του εγκεφάλου στην ηλικία των τεσσάρων μηνών είναι μόνο το μισό του εγκεφάλου ενός ενήλικα. Οι υπόλοιπες περιοχές, όπως για παράδειγμα ο μετωπιαίος λοβός, αναπτύσσονται με μικρότερο ρυθμό.

Ο Παπαχρήστος (2006), αναφέρει έρευνες με προκλητά δυναμικά στις οποίες έγινε χρήση στερεογραμμάτων τυχαίων κουκίδων (random dot stereograms), τα οποία επιτρέπουν την αποκλειστική μελέτη της στερεοσκοπίας λόγω διοφθάλμιας διαφοράς, έχουν χαρτογραφήσει την απόκριση του εγκεφαλικού φλοιού σε στερεοσκοπικά ερεθίσματα και ανέδειξαν, αναμενόμενα, ως κύριες περιοχές τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό, αλλά και βρεγματικές και κροταφικές περιοχές (Neill & Fenelon 1987). Από παρόμοιες έρευνες φαίνεται να μην προκύπτει ημισφαιρική διαφοροποίηση στην πρωτογενή επεξεργασία των στερεοσκοπικών ερεθισμάτων (Skrandies, 1987).

Η παρατήρηση στερεοσκοπικών εικόνων (στερεογράμματα με κουκίδες) είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του ινιακού  $\gamma$  ρυθμού στις τρισδιάστατες αναπαραστάσεις σε σχέση με τις δισδιάστατες, ενώ καμία διαφορά δεν παρατηρήθηκε στους  $\alpha$  ή  $\beta$  ρυθμούς (Revonsuo et al., 1997). Αργότερα, το 2004, ο Ge και οι συνεργάτες του με χρήση, επίσης, προκλητών δυναμικών σε στερεογράμματα και με συσχέτιση τους με γνωστικές λειτουργίες, καταθέτουν πως η στερεοσκοπία είναι ένας σημαντικός παράγοντας και οι συμμετέχοντες ένιωσαν πιο άνετα στη διάρκεια προβολής των στερεογραμμάτων, υπό την επίδρασή της.

Η ινιακό-βρεγματική σύνδεση δείχνει ενεργοποίηση κατά τη διάρκεια παρατήρησης ερεθισμάτων που περιέχουν στερεοσκοπία (Backus et al., 2001). Παραμένει, όμως, αναπάντητο το ερώτημα σε τι βαθμό διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου περιέχουν νευρώνες που συνεισφέρουν στην αίσθηση του βάθους, τη στερεοσκοπία.

Οι περισσότερες εντυπώσεις, καθώς και οι μνήμες μας για τον κόσμο, βασίζονται στην όραση. Όμως, οι μηχανισμοί, οι υπεύθυνοι για την όραση δεν είναι προφανείς ούτε για εκείνον που βλέπει ούτε για εκείνον που ερευνά τα της όρασης. Πώς αντιλαμβανόμαστε τη μορφή, το χρώμα, την κίνηση των αντικειμένων στο χώρο; Στη συνέχεια της παρούσας ενότητας πραγματοποιείται μία προσπάθεια διερεύνησης αυτών των ερωτημάτων, καθώς και η παράθεση μελετών σχετικά με ηλεκτροεγκεφαλικές μετρήσεις που αφορούν στην αίσθηση του βάθους (στερεοσκοπία).

Η ανθρώπινη αίσθηση του βάθους εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, τόσο μονοσκοπικές (για παράδειγμα γραμμική προοπτική) όσο και στερεοσκοπικές. Η «γραμμική προοπτική» αναφέρεται στην προοπτική μακρινών αντικειμένων, ενώ η στερεοσκοπική στη διαφορά των δύο οφθαλμών στον αμφιβληστροειδή με σκοπό την παραγωγή της αίσθησης του βάθους, τη λεγόμενη στερεοσκοπία (Howard & Rogers, 2002).

Ένα κρίσιμο ερώτημα στις νευροεπιστήμες είναι το πώς ο εγκέφαλος συνδυάζει αισθητηριακές πληροφορίες μέσα από ενοποιημένες συνειδητές εμπειρίες. Η μελέτη των αντιληπτικών διαδικασιών σε σχέση με υποβόσκοντες νευροβιολογικούς μηχανισμούς μπορεί να αποκαλύψει πως ένα βιολογικό σύστημα μπορεί να κάνει ένα βήμα πιο πέρα και να παράγει συνείδηση.

Η ανάλυση του ΗΕΓ είναι από τα σημαντικά εργαλεία για την κατανόηση των αισθητικών και γνωστικών λειτουργιών του εγκεφάλου. Πολλές έρευνες έχουν παρουσιάσει τη σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας και πολύπλοκων ψυχοφυσιολογικών μηχανισμών, όπως είναι η εγρήγορση, η διέγερση, η προσοχή, η μνήμη και άλλες εκτελεστικές διεργασίες.

Ιδιαίτερα με τη λειτουργία του οπτικού συστήματος και την πρωτογενή επεξεργασία της πληροφορίας που προέρχεται από τους αμφιβληστροειδείς χιτώνες των οφθαλμών μέσω της κύριας οπτικής οδού, από τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό στον ινιακό λοβό, έχει συσχετιστεί ο α ρυθμός (8 - 13 Hz). Οι περισσότερες μελέτες αναφέρονται στην επαγρύπνηση και στην προσοχή. Συνήθως, μακρά διαστήματα επαγρύπνησης οδηγούν σε υπναγωγική κατάσταση, η οποία χαρακτηρίζεται από υπνηλία, μειωμένη προσοχή και

τονική αύξηση του  $\theta$  ρυθμού (Kramer, 1991). Άλλες έρευνες εξετάζουν τη σχέση της μνήμης και του νοητικού φόρτου και των αλλαγών των φάσεων στον  $\alpha$  και  $\theta$  ρυθμό (Scerbo, 2001).

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.7.1.3, η ινιακή ηλεκτροεγκεφαλική δραστηριότητα του  $\alpha$  ρυθμού παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερες τιμές πλάτους, όταν τα μάτια του υποκειμένου είναι κλειστά από ότι στην περίπτωση που είναι ανοιχτά. Οι Crick & Koch (1990a, 1990b) διατύπωσαν την υπόθεση ότι φαινόμενα συγχρονισμού του  $\gamma$  ρυθμού στον οπτικό κυρίως φλοιό παίζουν καθοριστικό ρόλο στην οπτική επίγνωση. Αρκετοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την οπτική επίγνωση και την ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα χρησιμοποιώντας ενδοκρανιακά ηλεκτρόδια σε θηλαστικά.

Ο Barcelo (Barcelo et al., 1995) εξέτασε την απόλυτη τιμή της ΗΕΓ ισχύος σε διεργασίες οπτικού προσανατολισμού (visual orienting) με ποικιλία αριθμού και πολυπλοκότητας ερεθισμάτων. Αλλαγές στο ΗΕΓ παρατηρήθηκαν σε όλες τις ζώνες συχνοτήτων, με αξιοσημείωτη την οξεία αύξηση του ινιακού  $\theta$  κατά τα πρώτα τρία δευτερόλεπτα της παρουσίασης των ερεθισμάτων. Η πολυπλοκότητα δεν είχε σημαντικές διαφοροποιήσεις, ενώ ο αριθμός των ερεθισμάτων προκάλεσε μείωση της  $\alpha$  και  $\beta$  ισχύος αλλά όχι της  $\theta$ . Οι ερευνητές συσχέτισαν τον ινιακό και όχι το μετωπιαίο  $\theta$  ρυθμό με την προσοχή. Για απλή οπτική διεργασία χωρίς γνωστική επεξεργασία υψηλού φόρτου εργασίας, είναι αναμενόμενη η επίδραση στο ινιακό και όχι στο μετωπικό  $\theta$  (Scerbo, 2001).

Η μείωση της ισχύος των ρυθμών  $\alpha$  έχει αναφερθεί και σε συνδυασμό με την αύξηση της ισχύος του  $\gamma$  ρυθμού. Οι Singer & Gray (1995) αναφέρουν ότι σε αμιγώς οπτικές δραστηριότητες η μείωση της ισχύος των  $\alpha$  ρυθμών συνοδεύεται από αύξηση της ισχύος των ρυθμών  $\gamma$ . Η αύξηση της ισχύος των ρυθμών  $\gamma$  στον ινιακό λοβό αποδίδεται στην πιθανή σύνδεση των χαρακτηριστικών της εικόνας στο βρεγματικό λοβό, γεγονός που επισημαίνεται και από άλλους ερευνητές (Crick & Koch, 1990). Ο Klimesh (1999) με τη διάκριση του παραδοσιακού  $\alpha$  ρυθμού σε υπορυθμούς και τον εξατομικευμένο προσδιορισμό των ορίων συχνοτήτων των ρυθμών, υποστηρίζει ότι, ενώ ο ανώτερος  $\alpha$  ρυθμός ανταποκρίνεται επιλεκτικά στις σημασιολογικές απαιτήσεις της μακροπρόθεσμης μνήμης, ο κατώτερος  $\alpha$  απεικονίζει τους διαφορετικούς τύπους απαιτήσεων προσοχής και τοπογραφικά εξαπλώνεται σε ολόκληρο το φλοιό.

Η αναγνώριση ενός αντικειμένου είναι σύνθετη διαδικασία στην οποία συνδυάζονται αισθητηριακές, μνημονικές και συναισθηματικές πληροφορίες. Έρευνες σε πειραματόζωα και ανθρώπους υποδεικνύουν ότι η επεξεργασία διαφορετικών χαρακτηριστικών πραγματοποιείται σε διαφορετικές ανατομικά περιοχές (Orbal et al., 1996). Οι έρευνες υπογραμμίζουν την ύπαρξη και το σύνθετο ρόλο της  $\gamma$  δραστηριότητας (κυρίως της επαγόμενης – induced και λιγότερο της προκλητής – evoked) σε αυτές τις διαδικασίες. Οι Tallon-Baudry & Bertrand (1999) υποστηρίζουν ότι η επαγόμενη  $\gamma$  δραστηριότητα αυξάνεται, όταν συνδυάζονται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του παρατηρούμενου αντικειμένου και εμφανίζεται με διαφορετική καθυστέρηση, εκτός από τις ινιακές και σε κροταφικές και μετωπικές περιοχές που συσχετίζονται με τη βραχύχρονη μνήμη.

Οι αυξήσεις στο  $\gamma$  ρυθμό, ειδικά στις βρεγματικές περιοχές, σχετίζονται με αλλαγές στην προσοχή (Gruber et al., 1999; Shibata et al., 1999). Η Basar-Eroglou και οι συνεργάτες της (1996), αναφέρουν αρκετές έρευνες για συσχετισμό του  $\gamma$  ρυθμού με καταστάσεις προσοχής και κινήτρων του υποκειμένου. Το πλάτος του  $\gamma$  ρυθμού αυξάνει καθώς το υποκείμενο γίνεται περισσότερο προσεκτικό (Bouyer et al., 1987).

Τοπολογικά η λειτουργία της προσοχής παρουσιάζει πιθανότατα σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με το είδος του αισθητήριου ερεθίσματος που κυριαρχεί εκείνη τη στιγμή. Για παράδειγμα, ο Nobre και οι συνεργάτες του (1997), συσχετίζουν την πίσω βρεγματική περιοχή του αριστερού ημισφαιρίου με προσοχή προσανατολισμένη σε κινήσεις και με χωρικό προσανατολισμό. Την ίδια περιοχή, οι Milner & Goodale (1996) τη συσχετίζουν με τον οπτικο-χωρικό έλεγχο του προγραμματισμού σε συνειδητές κινήσεις του υποκειμένου με κάποιο σκοπό.

Οι Sowards & Sowards (1999) αναγνωρίζουν τον εξίσου καθοριστικό ρόλο στο  $\gamma$  και στον  $\alpha$  ρυθμό, με το  $\gamma$  ρυθμό να σχετίζεται περισσότερο με κινούμενα χαρακτηριστικά της εικόνας (ή κινήσεις των ματιών) και τον  $\alpha$  ρυθμό να σχετίζεται περισσότερο με στατικά χαρακτηριστικά.

Η έρευνα γύρω από την στερεοσκοπική όραση ή την «αίσθηση του βάθους» σε νευρωνικό επίπεδο έχει καταδείξει την ύπαρξη νευρώνων εξειδικευμένων να αποκρίνονται επιλεκτικά στις διαφορές λόγω της διοφθάλμιας διαφοράς (Backus, 2000; DeAngelis, 2000; Sakata et

al., 2005), ιδιαίτερα, στον πρωτοταγή οπτικό φλοιό, όσο και σε άλλα, ανώτερα σημεία του εγκεφαλικού φλοιού.

Ο Marrufo και οι συνεργάτες του (2001) χρησιμοποιώντας για τη μελέτη της οπτικής προσοχής τη μέθοδο της φασματικής χρονικής εξέλιξης (temporal spectral evolution - TSE, μεθοδολογία παρόμοια με τα προκλητά δυναμικά), παρατήρησαν αρχικά μείωση της δραστηριότητας μεταξύ 375 και 500 ms κατανεμημένη σε όλο το κρανίο, ακολουθούμενη από αύξηση της  $\beta$  δραστηριότητας μεταξύ 500 και 625 ms στις πρόσθιες περιοχές που τελικά επεκτάθηκε σε όλο το κρανίο (625–875 ms). Οι ερευνητές υπέθεσαν ότι η αύξηση του  $\beta$  ρυθμού αντικατοπτρίζει μια μετα - επεξεργασία των ερεθισμάτων στις μετωπικές περιοχές.

Οι Martineau & Cochin (2003) κατέγραψαν διαφορετική εγκεφαλική δραστηριότητα σε παιδιά κατά τη διάρκεια παρουσίασης κινήσεων ανθρώπου, ζώου και κινούμενου σκίτσου. Η αναγνώριση του ανθρώπου και της κίνησής του προκάλεσε α αποσυγχρονισμό στην αριστερή μετωπιαία και κροταφική περιοχή, ενώ αυτή του «εικονικού» (κινούμενου σκίτσου) μετέθεσε το σήμα σε βρεγματο – ινιακές περιοχές. Οι Bischof & Boulanger (2003), παρατήρησαν ταλαντώσεις στην περιοχή θήτα (4 – 8 Hz) χρηστών κατά την πλοήγηση τους σε εικονικούς λαβύρινθους με περαιτέρω αύξηση του σήματος σε πολυπλοκότερες αντίστοιχες διεργασίες.

Ο Gross και οι συνεργάτες του (2004) βρήκαν ότι ο συγχρονισμός των ταλαντώσεων στη  $\beta$  περιοχή συχνοτήτων ανάμεσα σε πλευρικές, μετωπιαίες και ινιακές περιοχές είναι εντονότερος κατά τη διάρκεια εργασιών που απαιτούν προσοχή σε οπτικό ερέθισμα και μάλιστα όσο μεγαλύτερος ήταν ο συγχρονισμός τόσο καλύτερες ήταν οι επιδόσεις.

Σε παρατήρηση με στατικά εικονικά στερεοσκοπικά γεωμετρικά αντικείμενα ο Jiang και οι συνεργάτες του (2008) αναφέρουν πως το παραγόμενο γεωμετρικό σχήμα πρέπει να συγκριθεί με τη σχηματική αναπαράσταση τόσο στον ινιακό όσο και τον κροταφικό λοβό, γεγονός που συμφωνεί με την ακολουθούμενη δραστηριότητα στην περιοχή αυτή. Η παρατηρούμενη επικαλυπτόμενη περιοχή στον βρεγματικό λοβό και στις πρωτοταγείς οπτικές περιοχές στο τέλος της αλληλουχίας των δύο ερεθισμάτων είναι σύμφωνη με την άποψη ότι ο βρεγματικός λοβός επιδρά από επάνω προς τα κάτω στις πρωτοταγείς οπτικές

περιοχές. Στην περίπτωση των οπτικών ερεθισμάτων λειτουργούν κυρίως οι κάτω κροταφικές περιοχές (Corbetta & Shulman, 2002).

Η οπτική αντίληψη δεν εξαρτάται μόνο από τις φυσικές ιδιότητες του αισθητήριου ερεθίσματος, αλλά και από την κατάσταση των οπτικών περιοχών κατά τη διάρκεια αντίληψής του. Αυτή η κατάσταση μπορεί εκούσια να επηρεάσει την αντίληψη ως απόρροια της οπτικής αντίληψης και προσοχής. Για παράδειγμα, η προσοχή σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου αυξάνει τη δραστηριότητα στις οπτικές περιοχές, όπως αναφέρουν ο Luck και οι συνεργάτες του (1997), καθώς και άλλες μελέτες με fMRI (Kastner et al., 1999; Muller et al., 2003).

Οι αλλαγές αυτές έχουν, επίσης, αναφερθεί, σε αλλαγές στην οπτική δραστηριότητα της βασικής γραμμής, επειδή εμφανίζονται στην απουσία οπτικού ερεθίσματος και πιθανότατα οφείλονται σε διεργασίες από επάνω προς τα κάτω σε περιοχές της προσοχής που απαιτούν αυξημένη επίταση προσοχής (Luck et al., 1997; Kastner et al., 1999; Hopfinger et al., 2000; Giesbrecht et al., 2006).

Χρησιμοποιώντας ΗΕΓ παρατηρήθηκε ισχυρή  $\alpha$  δραστηριότητα στη βασική ζώνη συχνότητας που συνδέεται με επεξεργασία ενός επερχόμενου οπτικού ερεθίσματος (Romei et al., 2008). Στιγμιαίες μειώσεις της  $\alpha$  δραστηριότητας στην ινιακο-βρεγματική περιοχή προβλέπουν τότε ένα οπτικό ερέθισμα κατωφλίου μπορεί να ανιχνευθεί ή όχι, καθώς, επίσης, και το μέγεθος της εγκεφαλικής δραστηριότητας (Ergenoglu et al., 2004).

Η  $\alpha$  δραστηριότητα δεν είναι ένα αυτόνομο χαρακτηριστικό γνώρισμα των οπτικών περιοχών στον ινιακό λοβό, καθώς συνδυασμένες έρευνες με ΗΕΓ και fMRI έχουν χαρτογραφήσει αυθόρμητες διακυμάνσεις και στις μετωπιαίες και βρεγματικές περιοχές (Goldman et al., 2002; Laufs et al., 2003, 2006; Moosmann et al., 2003; Martinez-Montes et al., 2004; De Munck et al., 2007). Οι Moore & Engel (2001) σε μελέτη με fMRI παρατήρησαν αύξηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας στις πλευρικές και κοιλιακές περιοχές του ινιακού λοβού υποκειμένων, όταν τα αντικείμενα παρείχαν την αίσθηση του όγκου μέσω υφών ή σκιάσεων που παρουσιάζονταν στην οθόνη. Οι μελετητές επιβεβαίωσαν προηγούμενη έρευνα του Knill και των συνεργατών του (1996), που υποστήριζαν, ότι η αντίληψη του όγκου των αντικειμένων περιλαμβάνει και από κάτω προς τα πάνω (βασιζόμενες στην

εικόνα) και από πάνω προς τα κάτω (βασισζόμενες στην πρότερη εμπειρία) διαδικασίες. Τα συμπεράσματα των Moore & Engel, αν και δεν αναφέρονται επιτακτικά σε εικονική πραγματικότητα, εντούτοις σχετίζονται με το ρεαλισμό και την αναπαράσταση των αντικειμένων στα εικονικά περιβάλλοντα σε σχέση με εγκεφαλικές λειτουργίες.

Σε περιβάλλοντα που απαιτείται οπτική προσοχή, τα οπτικά και ακουστικά ερεθίσματα συνοδεύονται από καταστολή της α δραστηριότητας, η οποία είναι μεγαλύτερη στον ινιακό λοβό (Worden et al., 2000; Thut et al., 2006).

Σε πρόσφατη δημοσίευσή τους, όμως, ο Kim και οι συνεργάτες του (2011) καταλήγουν στο συμπέρασμα πως η αύξηση της διοφθάλμιας διαφοράς (άρα και της στερεοσκοπίας) πέρα από τη ζώνη άνετης στερεοσκοπικής παρατήρησης, προκαλεί «οπτική κούραση» και είναι χρήσιμο να λαμβάνεται υπόψη ο παράγοντας αυτός κατά την επίδειξη στερεοσκοπικών αναπαραστάσεων.

### **3.6 Στερεοσκοπία, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα και εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα**

Στα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα (ΕΕΠ) οι αντιπροσωπευτικές χωρικές σχέσεις είναι επιθυμητό να γίνουν αντιληπτές από τους μαθητές, όπως και στο φυσικό κόσμο, με τη στερεοσκοπική όραση να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε αυτό (Thompson et al., 2007). Η μελέτη της στερεοσκοπικής όρασης μέσω της εγκεφαλικής δραστηριότητας είναι ένας νέος και αναπτυσσόμενος τομέας.

Το 2003 ο Hoffman και οι συνεργάτες του με μετρήσεις λειτουργικού μαγνητικού συντονισμού (fMRI) αναφέρουν ότι ένα στερεοσκοπικό ΕΠ ενισχύει την αίσθηση της παρουσίας. Ο Shoji (2006) χρησιμοποιώντας ΗΕΓ, μελετά την αντιληπτική μάθηση στο απομακρυσμένο οπτικό πεδίο και παράγοντες που συμβάλλουν στην αίσθηση της στερεοσκοπίας σε σχέση με νευροφυσιολογικές αλλαγές. Ο Dede προτείνει τη στερεοσκοπική εμπύθιση ως ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ΕΠ που συμβάλλουν στην οικοδόμηση νοητικών μοντέλων και στην εννοιολογική αλλαγή (Dede, 2009). Όμως, αν και υπάρχει αρκετός όγκος ερευνητικών δεδομένων για τη συνεισφορά των ΕΕΠ, λίγες έρευνες εξετάζουν την αποτελεσματικότητα των χαρακτηριστικών της ΕΠ στην εκπαίδευση (Mikropoulos, 2006).

Από πολλούς θεωρείται ότι η διατήρηση της προσοχής είναι πιο εύκολη στα εικονικά περιβάλλοντα εξαιτίας της δυνατότητας ελέγχου διαφόρων παραγόντων που στον πραγματικό κόσμο αποσπούν την προσοχή του ατόμου. Σε συγκριτική έρευνα με ΗΕΓ σε διεργασίες μάθησης σε εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα ο Μικροπουλος (2003) διαπίστωσε αυξημένη προσοχή στο εικονικό περιβάλλον, κάτι που επιβεβαιώθηκε και σε πιο πρόσφατη έρευνα από τον Ζαχαρή και τους συνεργάτες του (2010) κατά τη σύγκριση συνήθων γεωμετρικών στερεών σε πραγματικό και εικονικά περιβάλλοντα με ΗΕΓ.

Τα βιβλιογραφικά δεδομένα σχετικά με την εγκεφαλική δραστηριότητα σε ΕΕΠ είναι ελάχιστα, αναδεικνύουν, όμως, τη δυναμική της μεθόδου για την κατανόηση γνωστικών διεργασιών και τη σχεδίαση αποτελεσματικών μαθησιακών περιβαλλόντων. Τα δεδομένα σχετικά με τη συμβολή της στερεοσκοπίας σε ΕΕΠ είναι ακόμα λιγότερα.

### **3.7 Σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εκπαιδευτικά εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα με ΗΕΓ**

Η καταγραφή και ανάλυση της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας με τη χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (ΗΕΓ) κατά την αλληλεπίδραση ανθρώπου – περιβάλλοντος είναι δυνατό να προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για τη σχεδίαση στερεοσκοπικών ΕΕΠ. Σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εικονικό και παρόμοιο πραγματικό περιβάλλον έχει καταδείξει ότι η προσοχή των συμμετεχόντων αυξάνει στο στερεοσκοπικό εικονικό περιβάλλον (Μικροπουλος, 2001). Ο IJsselsteijn και οι συνεργάτες του αναφέρουν ότι η στερεοσκοπία έχει προστιθέμενη αξία σε διάφορες πρακτικές εφαρμογές, μεταξύ των οποίων και η εκπαίδευση, και αναμένεται να συμβάλει σε αυξημένη αίσθηση της παρουσίας σε εικονικά περιβάλλοντα (1998).

Σε συγκρίσεις πραγματικών και εικονικών περιβαλλόντων καταγράφηκε αυξημένη κροταφική δραστηριότητα και στα δύο περιβάλλοντα που συσχετίστηκε με την αντίληψη και τη γνωστική αναπαράσταση των κινήσεων (Decety et al., 1997). Παρόμοια δραστηριότητα δεν παρατηρήθηκε σε δισδιάστατες αναπαραστάσεις σε οθόνη, κάτι που συμφωνεί με την υπόθεση για την κωδικοποίηση των τρισδιάστατων σχημάτων στον κάτω κροταφικό φλοιό (inferior temporal cortex) στον άνθρωπο (Janssen et al., 2000a, 2000b).



Μια σύγκριση εγκεφαλικών λειτουργιών σε εικονικό και παρόμοιο πραγματικό περιβάλλον επιχειρήθηκε από τον Μικροπουλο (2001). Ως μέθοδος απεικόνισης χρησιμοποιήθηκε το ΗΕΓ μόνο στο μετωπιαίο φλοιό, αφού θεωρήθηκε ως βασική περιοχή για την οπτική επεξεργασία και τη χωρική μνήμη εργασίας. Η διεργασία αφορούσε σε μικρή πλοήγηση με μετακίνηση των υποκειμένων, παρόμοια στον εικονικό και τον πραγματικό κόσμο. Ο  $\alpha$  ρυθμός (8 – 13 Hz) παρουσίασε αυξημένη ισχύ στο πραγματικό περιβάλλον μόνο στους άντρες, ενώ πολλές γυναίκες είχαν αυξημένη  $\alpha$  ισχύ στο εικονικό περιβάλλον, αλλά χωρίς στατιστική σημαντικότητα. Ο κατώτερος  $\beta$  υπορυθμός (13 – 20 Hz) εμφανίστηκε με αρκετά χαμηλότερη ισχύ στο εικονικό περιβάλλον, το οποίο ερμηνεύθηκε ως αυξημένη απαίτηση προσοχής και γνωστικής υποκίνησης στο περιβάλλον αυτό. Ο  $\theta$  ρυθμός (4 – 8 Hz) εμφάνισε, ακόμη, σημαντική μείωση στο εικονικό περιβάλλον για όλα τα υποκείμενα. Επιπλέον, καταγράφηκαν οι κινήσεις των ματιών των υποκειμένων (ιδιαίτερα το ανοιγοκλείσιμο). Στο εικονικό περιβάλλον υπήρξε στατιστικώς σημαντική μείωση αυτού του φαινομένου, γεγονός που ερμηνεύθηκε ως αυξημένη προσοχή. Οι γυναίκες παρουσίασαν αυξημένη οφθαλμική δραστηριότητα στο εικονικό περιβάλλον, πιθανότατα, επειδή είχαν λιγότερη εξοικείωση από τους άνδρες στη χρήση των συσκευών της εικονικής πραγματικότητας.

Οι Bischof & Boulanger (2003) παρατήρησαν ταλαντώσεις στην περιοχή θήτα (4 – 8 Hz) χρηστών κατά την πλοήγηση τους σε εικονικούς λαβύρινθους με περαιτέρω αύξηση του σήματος σε σημεία ιδιαίτερης πολυπλοκότητας.

Ο Pfurtscheller το 2007 υπογραμμίζει ότι η παρατήρηση ενός κινούμενου εικονικού χεριού αντανακλά σε υψηλότερο αποσυγχρονισμό των κεντρικών ρυθμών από την παρατήρηση ενός ακίνητου χεριού. Σύμφωνα με τον ίδιο, το αποτέλεσμα της όρασης ενός αντικειμένου από την άποψη της εγκεφαλικής δραστηριότητας εξαρτάται από τον τύπο του αντικειμένου και αυξάνεται με την παρατήρηση της κίνησης διαφορετικών μερών του σώματος του αντικειμένου παρά με την παρατήρηση μη κινούμενων μερών.

Η Πριοβόλου και οι συνεργάτες της (2010), μελέτησαν τη διαφυλική διαφοροποίηση σε συμμετέχοντες και των δύο φύλων κατά την αλληλεπίδρασή τους με εικονικά και πραγματικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα με χρήση της μεθόδου της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αν και τα δύο φύλα

χρησιμοποίησαν τις ίδιες γνωστικές διεργασίες για την επεξεργασία των ερεθισμάτων, εντούτοις παρουσίασαν διαφορές στον τρόπο αντίληψης των ερεθισμάτων και στο επίπεδο επεξεργασίας τους. Συγκεκριμένα, οι άνδρες φαίνεται ότι επέδειξαν λιγότερη οπτική προσοχή και κατέβαλαν μικρότερη νοητική προσπάθεια κατά την παρατήρηση και των τριών περιβαλλόντων (δυσδιάστατο εικονικό – 2D, τρισδιάστατο εικονικό – 3D και πραγματικό). Οι γυναίκες παρουσιάστηκαν να φέρουν περισσότερο έντονη την αντίληψη της στερεοσκοπίας στη 3D συνθήκη από ότι οι άνδρες, οι οποίοι φάνηκε να δείχνουν λιγότερη οπτική προσοχή από ότι οι γυναίκες και να καταβάλουν μικρότερη νοητική προσπάθεια. Τέλος, αναφέρεται ότι η έντονη δραστηριότητα που παρουσίασαν οι άνδρες στις πλευρικές περιοχές και στα τρία περιβάλλοντα παραπέμπει στο συμπέρασμα ότι προβαίνουν σε νοερή απεικόνιση του εξωτερικού ερεθίσματος πιο έντονα από τις γυναίκες.

Την ίδια περίοδο, ο Ζαχαρής και οι συνεργάτες του (2010) διερεύνησαν την εγκεφαλική δραστηριότητα γυναικών κατά τη διάρκεια αλληλεπίδρασης με εκπαιδευτικά εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα. Τα περιβάλλοντα ήταν ένα πραγματικό (REAL), ένα τρισδιάστατο στερεοσκοπικό (3D) και ένα δυσδιάστατο εικονικό περιβάλλον (2D) αποτελούμενα από 4 γεωμετρικά στερεά. Ο θ ρυθμός και στα τρία περιβάλλοντα δεν εμφανίστηκε αυξημένος στις μετωπικές περιοχές, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι η διεργασία που οι συμμετέχουσες παρακολούθησαν δεν ήταν ιδιαίτερα απαιτητική. Ο α ρυθμός εμφανίστηκε γενικότερα αυξημένος με στατιστική σημαντικότητα σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις στο τρισδιάστατο έναντι του δυσδιάστατου περιβάλλοντος με το 3D περιβάλλον να απαιτεί περισσότερη οπτική επεξεργασία σε σχέση με το πραγματικό. Η στατιστικά σημαντική αύξηση του β ρυθμού στο 3D περιβάλλον εντοπίστηκε σε όλες τις εγκεφαλικές περιοχές, γεγονός που υποδηλώνει νοητική εργασία. Οι συμμετέχουσες, δηλαδή, ανέμεναν «κάτι να συμβεί» στο τρισδιάστατο περιβάλλον και η προσοχή τους ήταν αυξημένη, κάτι που πιθανά οφείλονταν στη μη πιστή αναπαράσταση του πραγματικού περιβάλλοντος. Το 2D περιβάλλον φάνηκε να δημιουργεί μεγαλύτερο άγχος, νοητικό φόρτο ή «προσμονή». Το 3D περιβάλλον απαίτησε γενικά το λιγότερο νοητικό φόρτο. Ωστόσο, ενεργοποίησε τον μετωπικό φλοιό απαιτώντας μνημονικές λειτουργίες και οπτική επιλεκτική προσοχή, πιθανώς, επειδή ήταν κάτι νέο ή επειδή οι συμμετέχουσες είχαν αυξημένο ενδιαφέρον και προσδοκίες από τη συγκεκριμένη τεχνολογία ή εξαιτίας του ότι παρουσιάστηκε πρώτο και

ίσως ενεργοποίησε και διατήρησε την προσοχή των συμμετεχουσών, ιδιαίτερα σε σχέση με τα άλλα δύο περιβάλλοντα. Το REAL περιβάλλον θεωρήθηκε πλούσιο σε οπτικά ερεθίσματα, γι' αυτό παρουσίασε αυξημένη επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών. Ωστόσο, δεν αύξησε γενικά το νοητικό φόρτο ενδεχομένως λόγω της απλότητας και οικειότητας των αντικειμένων.

### **3.8 Προβλήματα του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος στα εικονικά περιβάλλοντα**

Η ανθρώπινη κεφαλή αποτελείται από διαφορετικά στρώματα μεταξύ των οποίων το κρανίο και ο εγκέφαλος με το μεγαλύτερο ποσοστό θορύβου να προέρχεται είτε από τον εγκέφαλο (εσωτερικός θόρυβος) ή από εξωτερικές πηγές θορύβου (παράσιτα). Το ΗΕΓ όπως αναφέρθηκε γενικότερα στην ενότητα 3.6.7, εμφανίζει προβλήματα θορύβου που εντάσσονται σε δύο κατηγορίες: προβλήματα μη φυσιολογικής προέλευσης που οφείλονται στα ηλεκτρόδια και σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές του δικτύου τροφοδοσίας και προβλήματα φυσιολογικής προέλευσης.

#### **3.8.1 Πηγές θορύβου μη φυσιολογικής προέλευσης**

Κατά την ανάπτυξη και επίδειξη ενός εικονικού περιβάλλοντος απαιτείται η χρήση πολλών περιφερειακών συσκευών που βασίζουν τη λειτουργία τους σε ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα και μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στα παραγόμενα ΗΕΓ σήματα. Αυτό συμβαίνει γιατί το ΗΕΓ είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο με αποτέλεσμα, αν δεν γίνει σωστός σχεδιασμός κατά την ανάπτυξη και την ταυτόχρονη επίδειξη του εικονικού περιβάλλοντος να εμφανιστούν παράσιτα που θα επηρεάσουν τα αποτελέσματα μιας έρευνας.

Μια από τις σημαντικότερες πηγές θορύβου είναι οι ίδιοι οι υπολογιστές που χρησιμοποιούνται κατά την επίδειξη ενός εικονικού περιβάλλοντος και συνήθως τοποθετούνται κοντά στο υποκείμενο. Για να αποφευχθεί όσο το δυνατό περισσότερο η επίδραση θορύβου από τον εξοπλισμό εικονικού περιβάλλοντος, ορισμένοι ερευνητές χρησιμοποιούν προβολική συσκευή σε μεγάλη οθόνη ώστε τα υποκείμενα να είναι όσο το δυνατόν απομακρυσμένα από τις ηλεκτρομαγνητικές συσκευές. Επιπλέον, η χρήση φορητών υπολογιστών ή οθονών TFT δεν παρουσιάζουν σημαντική επιβάρυνση στο θόρυβο

σε σύγκριση με τις παλαιού τύπου οθόνες (CRT). Συν τοις άλλοις, η υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας (π.χ. 1000 Hz) μπορεί να περιορίσει το θόρυβο.

Προβλήματα μπορεί να προκύψουν όταν το υποκείμενο πραγματοποιεί κινήσεις και φορά κράνος ΕΠ, ανιχνευτή της κίνησης του κεφαλιού ή των ματιών και άλλες ηλεκτρικές συσκευές προσαρμοσμένες στο κράνος ή στο κεφάλι του. Ωστόσο, αν το κεφάλι του υποκειμένου παραμένει ακίνητο, τα κράνη δεν εμφανίζουν παράσιτα. Όμως, το βάρος του κράνους ΕΠ, η χαμηλή ποιότητα των γραφικών ή το περιορισμένο οπτικό πεδίο που μπορεί να προσφέρουν, είναι παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση του υποκειμένου σε εικονικά περιβάλλοντα.

### **3.8.2 Πηγές θορύβου φυσιολογικής προέλευσης**

Η ύπαρξη των ηλεκτροδίων ή της κάσκας με τα ηλεκτρόδια και των ιμάντων στήριξης της μπορούν να προκαλέσουν μείωση της ελευθερίας κινήσεων, ενόχληση και αίσθημα δυσφορίας και περιορισμού στα υποκείμενα. Πολλές φορές κρίνεται απαραίτητος ο συνεχής έλεγχος των σημείων επαφής των ηλεκτροδίων και της κάσκας που προσαρμόζονται στο υποκείμενο, μιας και ελλοχεύει ο κίνδυνος αυτά να μην εφαρμόζουν σωστά ή να πιέζουν το υποκείμενο με αρνητικό επακόλουθο να αισθάνεται άβολα.

Εκτός από τεχνικούς παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν παράσιτα στο ΗΕΓ υπάρχουν και υποκειμενικοί λόγοι για αναξιόπιστες καταγραφές.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η κατάσταση του υποκειμένου κατά τη διάρκεια της καταγραφής. Το συνεχές ανοιγοκλείσιμο των οφθαλμών, απόρροια της μη χαλαρής κατάστασης του υποκειμένου, οι αποκλίνουσες κυματομορφές από τις συνήθειες (για παράδειγμα εμφάνιση διαφορετικού α ρυθμού από τον φυσιολογικό συχνότητας 10Hz), η κατανάλωση φαρμακευτικών και άλλων ουσιών πριν την καταγραφή και η ασθένεια του κυβερνοχώρου, είναι μερικές από τις βασικές αιτίες θορύβου στο ΗΕΓ. Ο Pugnetti (Pugnetti et al., 2001) υποστηρίζει ότι υγιή υποκείμενα σε ποσοστό 20% με 40% δεν παρουσιάζουν αποδεκτή ΗΕΓ καταγραφή σε εικονικά περιβάλλοντα.

Ο Nichols και οι συνεργάτες του (2000) αναφέρουν τρεις γενικές στρατηγικές που αναπτύσσονται από τα υποκείμενα σε αυτές τις περιπτώσεις και οι οποίες προκαλούν συνήθως διαστρέβλωση του ΗΕΓ: (i) ακούσιες κινήσεις οφθαλμικών βολβών, προβλήματα

στην όραση, κλείσιμο των ματιών ή αλλαγή του σημείου εστίασης στην οθόνη, (ii) αλλαγές στη θέση του σώματος και (iii) ατομικές στρατηγικές χαλάρωσης ή συγκέντρωσης.

Συνίσταται, λοιπόν, δεδομένων των προηγούμενων αναφορών, η πραγματοποίηση μιας καταγραφής – προετοιμασίας πριν την κύρια καταγραφή, με σκοπό την απόρριψη υποκειμένων που δεν είναι συμβατά με φυσιολογικές αντιδράσεις και παρουσιάζουν πολλά παράσιτα.

### **3.9 Σύνοψη**

Με την εισαγωγή του όρου «εκπαιδευτική νευροεπιστήμη» άρχισαν να εμφανίζονται μελέτες που προσπάθησαν να ερμηνεύσουν τη σύνδεση μεταξύ νευροεπιστημών και εκπαιδευτικής μάθησης. Έκτοτε, γίνεται μια προσπάθεια χαρτογράφησης των περιοχών του εγκεφάλου στις οποίες μπορεί να επιτευχθεί η μάθηση.

Παρά, λοιπόν, τη μεγάλη πρόοδο που σημειώθηκε τις τελευταίες δεκαετίες και τις πληροφορίες που έφερε στο φως η σύγκλιση της γνωσιοεπιστήμης και των επιστημών του εγκεφάλου, υπάρχει ακόμη μεγάλη δυσκολία να αποδειχθούν ποια στοιχεία μιας νοητικής λειτουργίας αντιπροσωπεύονται από μια συγκεκριμένη νευρική οδό ή εγκεφαλική περιοχή. Η καταγραφή και παρακολούθηση των εγκεφαλικών λειτουργιών σε συνδυασμό πιθανά με άλλες βιοηλεκτρικές μετρήσεις μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμη κατά την ανάπτυξη, την υλοποίηση και την αξιολόγηση εικονικών περιβαλλόντων και εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων. Ωστόσο, δεν είναι ξεκάθαρο ο τρόπος που κάθε νοητική λειτουργία διαιρείται και δομείται σε επιμέρους απλούστερες.

Η ανάπτυξη αποτελεσματικότερων εικονικών περιβαλλόντων, η μελέτη συγκεκριμένων γνωστικών λειτουργιών, όπως η μάθηση και η μνήμη, η καλύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης ανθρώπου - υπολογιστή και η σύγκριση με αλληλεπιδράσεις στον πραγματικό κόσμο, η μελέτη των επιδράσεων ποικίλων παραμέτρων του συστήματος στις φυσιολογικές αντιδράσεις των υποκειμένων, καθώς και η αντιμετώπιση ηθικών ζητημάτων που ανακύπτουν από την εφαρμογή προϊόντων ΕΠ είναι μερικοί από τους λόγους που απαιτούν τη χρήση αντικειμενικών μετρήσεων, όπως είναι το ΗΕΓ σε περιβάλλοντα ΕΠ.

Σήμερα, η εφαρμογή τεχνικών απεικόνισης του εγκεφάλου στη γνωστική ψυχολογία και στην εκπαίδευση, προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για τις περιοχές που μετέχουν σε συγκεκριμένες σύνθετες συμπεριφορές και για τον τρόπο που μπορούν να διαχωριστούν σε απλούστερες νοητικές λειτουργίες εγκεφαλικών περιοχών που συνδέονται μεταξύ τους. Γεννάται, πλέον, η εικασία ότι υπάρχουν τόσο μεθοδολογικά όσο και εννοιολογικά εργαλεία (γνωστική ψυχολογία, ηλεκτροεγκεφαλογραφία) για τη μελέτη του οργάνου της νόησης και την κατανόηση των αρχών που αποτελούν το βιολογικό υπόβαθρο της νοητικής λειτουργίας, συνεπώς και των αρχών της μάθησης μέσω των νευροεπιστημών.

Το γεγονός ότι καταβάλλεται πλέον προσπάθεια γεφύρωσης μεταξύ των νευροεπιστημών και της εκπαίδευσης, αποτελεί το πρώτο βήμα για τη σχεδίαση και τη διδασκαλία πρακτικών με στόχο την επίτευξη θετικών μαθησιακών αποτελεσμάτων. Παρόλο που η χαρτογράφηση του εγκεφάλου μέσα από τεχνικές, όπως η ηλεκτροεγκεφαλογραφία, δεν μπορεί να οδηγήσει απευθείας σε εκπαιδευτικά σενάρια με άμεσα μαθησιακά αποτελέσματα, υπάρχει η ανάγκη για έρευνες που ερμηνεύουν επιστημονικά τα αποτελέσματα τέτοιων παρεμβάσεων (Howard – Jones, 2007).

Η παρούσα διδακτορική διατριβή κινείται στο πλαίσιο του όρου «εκπαιδευτική νευροεπιστήμη» επιχειρώντας μια πρώτη προσπάθεια να αναδείξει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ΕΠ που μπορούν να συνεισφέρουν σε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα μέσω γνωστικών λειτουργιών που σήμερα θεωρείται ότι εντοπίζονται σε κάποιες εξωτερικές εγκεφαλικές περιοχές του φλοιού που είναι δυνατό να προκαλέσουν μετρήσιμες διαφοροποιήσεις στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.

---

# 4 Πιλοτική Έρευνα

---

## 4.1 Εισαγωγή

Ο στόχος της πιλοτικής έρευνας είναι διττός : εκπαιδευτικός και ερευνητικός

Εκπαιδευτικός, τόσο ως προς την εισαγωγή των αντικειμενικών μετρήσεων της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας, η οποία σχετίζεται άμεσα με το χώρο τον νευροεπιστημών, όσο και με την εκπαίδευση σε ζητήματα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, τεχνολογικού εξοπλισμού και λογισμικών.

Ερευνητικός, ως μια πρώτη απόπειρα εξαγωγής χρήσιμων δεδομένων σχετικά με την επίδραση του παράγοντα της στερεοσκοπίας κατά τη διάρκεια παρατήρησης γεωμετρικών στερεών σε επιτραπέζιο εικονικό (στερεοσκοπικό και μη) και πραγματικό περιβάλλον – με τη συγκριτική μελέτη της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας που παράγεται κατά τη διάρκεια παρατήρησής τους. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση των σημάτων μεταξύ των περιβαλλόντων, τα τρία περιβάλλοντα της έρευνας είναι πανομοιότυπα ως προς το περιεχόμενο και τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους.

Το πραγματικό περιβάλλον ήταν ο χώρος μιας ανοιχτόχρωμης επιφάνειας γραφείου, όπως αυτά που υπάρχουν στα εργαστήρια του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Επάνω τοποθετήθηκαν τέσσερα γεωμετρικά στερεά σώματα. Αυτά ήταν ένα τετράγωνο, μία πυραμίδα, μία σφαίρα και ένας πολυγωνικός κύλινδρος, όλα με ξύλινη υφή. Τα επιτραπέζια εικονικά περιβάλλοντα σχεδιάστηκαν με μεγάλη πιστότητα σε σχέση με το πραγματικό.

Το γεγονός ότι το περιβάλλον σχεδιάστηκε ως επιτραπέζιο δε μεταβάλλει το στόχο της έρευνας που ήταν η οπτική παρατήρηση του περιβάλλοντος. Η όλη λειτουργία ενός επιτραπέζιου συστήματος ΕΠ στηρίζεται στο γεγονός της δημιουργίας από τον υπολογιστή ενός περιβάλλοντος, όπως θα το έβλεπε το κάθε μάτι ξεχωριστά, προβάλλοντάς το εναλλάξ στην οθόνη, με ρυθμό 60 Hz, με ταυτόχρονο συγχρονισμό των διαφραγμάτων LCD των

---

στερεοσκοπικών γυαλιών. Συνέπεια αυτής της διαδικασίας είναι το κάθε μάτι να βλέπει την εικόνα που του αντιστοιχεί χωρίς να γίνεται αντιληπτή η εναλλαγή και ο χρήστης να αντιλαμβάνεται την εικόνα που του παρουσιάζεται σαν τρισδιάστατη.

Η διαδικασία περιελάμβανε την απλή παρατήρηση του κάθε περιβάλλοντος, χωρίς την ύπαρξη αλληλεπίδρασης με τις συμμετέχουσες, οι οποίες απλά, παρακολουθούσαν παθητικά την προβολή. Και στα τρία περιβάλλοντα η μέθοδος καταγραφής ήταν η ίδια. Η καταγραφή πραγματοποιήθηκε με το σύστημα ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας της gtec, του Εργαστηρίου Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται αναλυτικά τόσο η δημιουργία των περιβαλλόντων, όσο και η τεχνική και η μέθοδος καταγραφής των εγκεφαλικών σημάτων.

Με μετρήσεις της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας τόσο στα εικονικά όσο και στο πραγματικό περιβάλλον έγινε προσπάθεια να στοιχειοθετηθεί ο στόχος του πειράματος. Το ΗΕΓ είναι μια απευθείας μέτρηση ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας, μια μη επεμβατική διαδικασία, με πολύ υψηλή χρονική ανάλυση (ίδιας τάξης με αυτή που πραγματοποιούνται οι ηλεκτρικές νευρωνικές δραστηριότητες του εγκεφάλου και επομένως μπορεί να καταγράψει την εξέλιξη ακόμη και των ταχύτερων γνωστικών διαδικασιών), που μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε κάθε περιβάλλον.

Η πειραματική διεργασία αφορούσε μόνο στην οπτική εξερεύνηση και στην αίσθηση του βάθους (στερεοσκοπία), ώστε να καταγραφούν οι ομοιότητες και οι διαφορές ανάμεσα στα εικονικά περιβάλλοντα και στο πραγματικό, διαφορές που αφορούσαν στη γενική αίσθηση ή εντύπωση που προκύπτει από την εμπειρία στα τρία περιβάλλοντα. Απώτερος στόχος ήταν η επιλογή του κατάλληλου περιβάλλοντος για την κύρια εμπειρική μελέτη.



## 4.2 Ερευνητικοί στόχοι

Ερευνητικοί στόχοι της πιλοτικής μελέτης έρευνας αποτέλεσαν:

- Ο έλεγχος του συστήματος της ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας
- Η μελέτη της επίδρασης της στερεοσκοπίας στην εγκεφαλική δραστηριότητα γυναικών κατά τη διάρκεια παρατήρησης γεωμετρικών στερεών σε επιτραπέζιο εικονικό (στερεοσκοπικό και μη) και πραγματικό περιβάλλον.

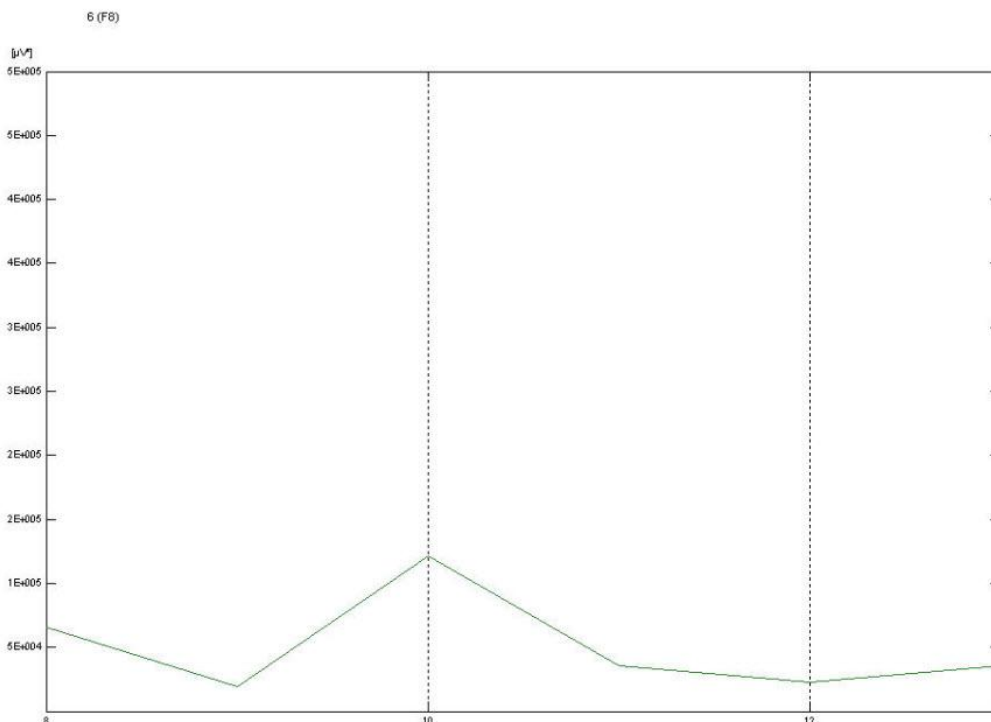
## 4.3 Δείγμα

Το δείγμα αποτέλεσαν 16 συμμετέχουσες, φοιτήτριες στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων ηλικίας μεταξύ 19 και 22 ετών, ενήλικες δηλαδή, ώστε ο άλφα ρυθμός να έχει σταθεροποιηθεί. Όλες οι συμμετέχουσες είχαν φυσιολογική όραση και όπου αυτό δεν ήταν δυνατό επιτράπηκε να χρησιμοποιηθούν γυαλιά ή φακοί επαφής. Η προηγούμενη εξοικείωση με τη χρήση του υπολογιστή και των εικονικών περιβαλλόντων εξετάστηκε, αλλά δεν χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Σύμφωνα με δήλωσή τους οι συμμετέχουσες δεν είχαν λάβει φαρμακευτική αγωγή ή ουσίες που μπορούσαν να έχουν επίδραση στη λειτουργία του νευρικού συστήματος κατά την περίοδο πριν την πειραματική διαδικασία και δεν είχαν καταναλώσει ποσότητες καφεΐνης ή αλκοολούχων ποτών το τελευταίο 24ωρο. Επίσης, είχαν δοθεί συστάσεις να έχουν πλύνει πρόσφατα το τριχωτό της κεφαλής και να μη χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καλλυντικό ή κρέμα μαλλιών που μπορεί να δημιουργούσε αυξημένες αντιστάσεις ή προβλήματα στις επαφές των ηλεκτροδίων. Όλες ήταν δεξιόχειρες, χωρίς κάποια διαγνωσμένη μαθησιακή δυσκολία ή ψυχική νόσο, όπως ελέγχθηκε από κατάλληλο ερωτηματολόγιο.

Οι συμμετέχουσες ενημερώθηκαν πλήρως για τις συνθήκες και το σκοπό του πειράματος και έδωσαν τη συγκατάθεσή τους για τη συμμετοχή τους σε αυτήν. Η παρούσα έρευνα συμμορφώθηκε πλήρως με τον Κώδικα Δεοντολογίας Ερευνών της Επιτροπής Ερευνών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Από τα 16 άτομα που υποβλήθηκαν στην πειραματική διαδικασία απορρίφθηκαν οι συμμετέχουσες των οποίων το ΗΕΓ παρουσίαζε σημαντικά και σε μεγάλη έκταση παράσιτα ή μεγάλες διαφορές σε ορισμένα ηλεκτρόδια. Τελικά,

επιλέχθηκαν 14 φοιτήτριες με εν γένει έγκυρα ΗΕΓ, οι οποίες αποτέλεσαν και το τελικό δείγμα.

Η εγκυρότητα των ΗΕΓ μελετήθηκε και από τα ΗΕΓ σήματα. Ο α ρυθμός βρέθηκε να έχει για κάθε συμμετέχουσα τιμή κοντά στη φυσιολογική τιμή για ενήλικα, γύρω στα 10 Hz. Στο σχήμα 4.1 φαίνεται ο α ρυθμός μιας συμμετέχουσας με κορυφή του σήματος ΗΕΓ στα 10 Hz.



Σχήμα 4.1. Γραφική παράσταση ισχύος – συχνότητας του α ρυθμού μιας συμμετέχουσας με κορυφή του σήματος ΗΕΓ στα 10 Hz (φυσιολογικός α ρυθμός).

Η επιλογή υποκειμένων μόνο του ενός φύλου, έγινε για την αποφυγή καταγραφής διαφορετικών εγκεφαλικών σημάτων που πιθανώς οφείλονται σε διαφυλικές διαφορές και δεν αποτελούσε θέμα της συγκεκριμένης έρευνας.

#### 4.4 Πειραματικά μέσα και συσκευές

Η πειραματική διαδικασία υλοποιήθηκε σε τρία πανομοιότυπα περιβάλλοντα, ένα εικονικό – μη στερεοσκοπικό (2D), ένα εικονικό – στερεοσκοπικό (3D) και ένα πραγματικό (REAL). Οι

χρησιμοποιούμενες συσκευές αποτελούνταν από τις απαιτούμενες για το εικονικό περιβάλλον συσκευές και το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.

#### 4.4.1 Πραγματικό περιβάλλον

Το πραγματικό περιβάλλον ήταν μια επιφάνεια ανοιχτόχρωμου γραφείου όπως αυτά που υπάρχουν στα εργαστήρια του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Επάνω του είχαν τοποθετηθεί τέσσερα γεωμετρικά στερεά σώματα. Ένας κύβος πλευράς 5 cm, μία πυραμίδα πλευράς 5 cm και ύψους 4 cm, μία σφαίρα διαμέτρου 4 cm και ένας πολυγωνικός κύλινδρος διαγωνίου 5 cm και ύψους 6 cm, όλα με ξύλινη υφή. Τα στερεά επιλέχθηκαν γιατί χρησιμοποιούνται σε διάφορες μορφές και συνθέσεις σε ποικίλα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα αποτελώντας οικεία αντικείμενα. Τα παράθυρα του δωματίου που διεξήχθη η έρευνα ήταν κλειστά με αδιαφανείς κουρτίνες που άφηνε ελάχιστο φως να μπαίνει στο χώρο. Ο σταθμός εργασίας του πειράματος περικλειόταν από ιατρικό παραβάν μαύρου χρώματος για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συσκότιση ώστε οι συμμετέχουσες να εστιάζουν την προσοχή τους μόνο στα στερεά αντικείμενα. Ο φωτισμός του δωματίου ήταν τεχνητός με λαμπτήρες πυρακτώσεως για την αποφυγή του θορύβου των 50 Hz. Οι συμμετέχουσες ήταν καθήμενες σε απόσταση 35 – 40 cm από το περιβάλλον. Το σχήμα 4.2 παρουσιάζει μια άποψη του πραγματικού περιβάλλοντος.



Σχήμα 4.2. Άποψη του πραγματικού περιβάλλοντος.

#### 4.4.2 Εικονικό – στερεοσκοπικό περιβάλλον(3D)

Το εικονικό – στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D) αποτέλεσε μια ρεαλιστική αναπαράσταση του πραγματικού περιβάλλοντος. Πρόκειται για ένα επιτραπέζιο σύστημα εικονικής πραγματικότητας. Τα συστήματα αυτά θεωρούνται τα περισσότερο πρόσφορα για την εισαγωγή τους στην εκπαίδευση. Βασίζονται σε έναν ισχυρό προσωπικό υπολογιστή, κατάλληλο λογισμικό και τα περιφερειακά διασύνδεσης. Η παραπάνω επιλογή έγινε επειδή τα επιτραπέζια συστήματα παρέχουν μια σειρά πλεονεκτημάτων:

- Η πλήρης εμπύθιση ενός μαθητή παρουσιάζει δυσκολίες και δυσλειτουργίες που σχετίζονται με τους τρόπους διασύνδεσής του και επιτείνουν την ασθένεια του κυβερνοχώρου που οφείλεται σε ψυχοσωματικά αίτια
- Κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας κρίνεται απαραίτητη και η επικοινωνία του μαθητή με τον εκπαιδευτικό ή με άλλους μαθητές στον πραγματικό κόσμο κάτι που δεν είναι εφικτό να συμβεί όταν ο μαθητής καλείται να εμπυθιστεί πλήρως σε ένα ΕΠ
- Το προσιτό κόστος του συστήματος για την εισαγωγή του στην εκπαίδευση.

Η υλοποίηση του εικονικού – στερεοσκοπικού περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ανάπτυξης εικονικών περιβαλλόντων, VirTools, υλοποιήθηκε σε προσωπικό υπολογιστή Pentium IV 1.6 GHz και προβλήθηκε σε στερεοσκοπική οθόνη υψηλής τεχνολογίας (Samsung SyncMaster 2233) που υποστηρίζει τρισδιάστατα περιβάλλοντα ενώ χρησιμοποιήθηκαν και στερεοσκοπικά γυαλιά nVIDIA GEFORCE 3DVISION για την προβολή του εικονικού περιβάλλοντος. Τα γεωμετρικά στερεά κατασκευάστηκαν στις πραγματικές του διαστάσεις, όπως αυτές υπολογίστηκαν στο περιβάλλον 3DVIA VirTools της Dassault Systèmes. Στο περιβάλλον έγινε χρήση του εφέ σκιών με την εντολή “ShadowCaster” από το λογισμικό Virtools ώστε να αποδοθούν σωστά και πειστικά οι σκιές των στερεών όπως αυτές προέκυπταν από το φως του δωματίου όπου προβαλλόταν. Επιλέχθηκε η στερεοσκοπική προβολή από τις γενικές ρυθμίσεις του VirTools ώστε να αποδοθεί η στερεοσκοπία στο περιβάλλον.

Οι βασικές συσκευές εικονικής πραγματικότητας παρουσιάζονται στο σχήμα 4.3 και αποτελούνται από τα έγχρωμα στερεοσκοπικά γυαλιά (nVidia GeForce) με ανάλυση 800x600 και βάθος χρώματος 32 bit και η οθόνη Samsung SyncMaster 2233.

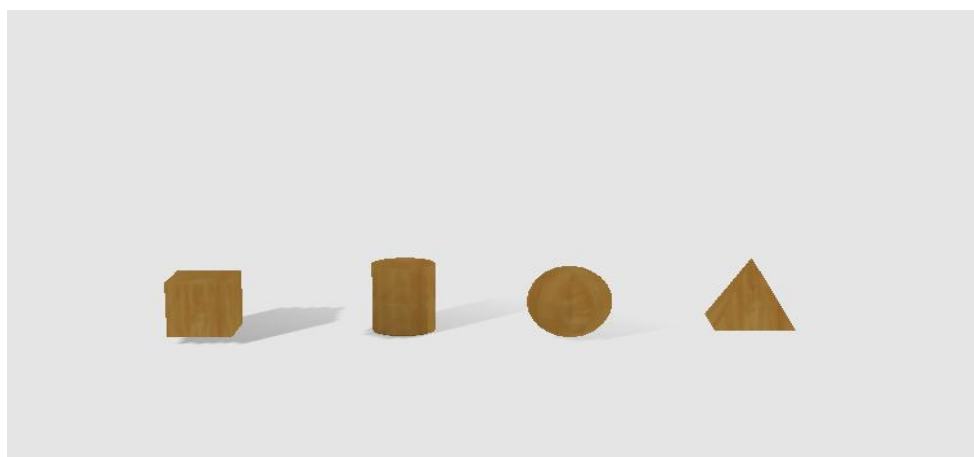


Σχήμα 4.3. Στερεοσκοπικά γυαλιά της nVidia GeForce (αριστερά) και η στερεοσκοπική οθόνη Samsung SyncMaster 2233 (δεξιά).

#### 4.4.3 Εικονικό μη – στερεοσκοπικό περιβάλλον

Το εικονικό μη – στερεοσκοπικό περιβάλλον (2D) κατασκευάστηκε ταυτόχρονα με το 3D με τη διαφορά ότι κατά την προβολή του στο πρόγραμμα VirTools δε χρησιμοποιήθηκαν τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας και δεν επιλέχθηκε η στερεοσκοπική προβολή. Απλά, οι συμμετέχουσες παρατηρούσαν το περιβάλλον όπως αυτό προβαλλόταν στην οθόνη του υπολογιστή.

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται το 2D περιβάλλον στην τελική του μορφή όπως προβλήθηκε στην οθόνη του υπολογιστή.



Σχήμα 4.4. Άποψη του 2D περιβάλλοντος.

#### 4.4.4 Σύστημα Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας

Για τις καταγραφές των ΗΕΓ χρησιμοποιήθηκε το σύστημα ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας της gtec, του Εργαστηρίου Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5. Το σύστημα ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας του Εργαστηρίου Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το σύστημα gBSanalyze της gtec και η ανάλυσή τους με το λογισμικό EEGprocessing, που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση (Τζίμας, 2010), Microsoft Excel και Matlab.

Η φασματική ανάλυση Fourier που πραγματοποιήθηκε στα δεδομένα του συνεχόμενου ΗΕΓ αφορούσε τις περιοχές (ρυθμούς)  $\theta$  (4 – 7Hz),  $\alpha - 1$  (κατώτερος άλφα) (8 – 10Hz),  $\alpha - 2$  (ανώτερος άλφα) (11 – 13Hz),  $\beta$  (14 – 32Hz) και  $\gamma$  (33 – 48Hz).

#### 4.5 Διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία συνοψίζεται στην καταγραφή του συνεχούς ΗΕΓ με παράλληλη συνεχόμενη νοητική δραστηριότητα με επαναλήψεις της ίδιας διεργασίας και μεσοποίησης των αποτελεσμάτων.

Από τις συμμετέχουσες ζητήθηκε να παραμείνουν καθισμένες σε μια καρέκλα και απλά να παρατηρούν τα περιβάλλοντα όπως τους παρουσιαζόταν. Όλες οι κινήσεις της κεφαλής και του υπόλοιπου σώματος (χωρίς να σηκωθούν από την καρέκλα) ήταν επιτρεπτές. Έγινε όμως, σύσταση να αποφύγουν τις περιττές κινήσεις, ιδιαίτερα τις απότομες και γενικά αυτές που μπορούσαν να προκαλέσουν έντονα παράσιτα στην ΗΕΓ καταγραφή. Επιπλέον, έγιναν συστάσεις για αποφυγή ομιλίας και κινήσεων άλλων μυών της κεφαλής χωρίς λόγο (π.χ. μουρμουρητά, επιφωνήματα, σφίξιμο μυών του προσώπου, τρίξιμο δοντιών, γκριμάτσες, κ.λπ.). Για την αποφυγή φαινομένων κούρασης επιτράπηκε στις συμμετέχουσες να διακόπτουν για λίγο το πείραμα αν ήταν απαραίτητο.

Πριν από την ΗΕΓ καταγραφή δόθηκε στις συμμετέχουσες χρόνος μερικών λεπτών να προσαρμοστούν στις συγκεκριμένες συνθήκες (κυρίως στην αίσθηση των ηλεκτροδίων και της κάσкас) και να δοκιμάσουν τις επιτρεπτές κινήσεις, να χαλαρώσουν και να μειώσουν κατά το δυνατό τις κινήσεις των ματιών. Οι ίδιες ακριβώς συνθήκες ισχύσαν και για τα τρία περιβάλλοντα με τη διαφορά ότι στο στερεοσκοπικό εικονικό περιβάλλον οι συμμετέχουσες φορούσαν τα γυαλιά ΕΠ.

Στη συνέχεια έγινε η καταγραφή των ΗΕΓ σε τρία στάδια.

Πρώτα οι συμμετέχουσες φόρεσαν τα γυαλιά ΕΠ και παρατήρησαν ένα εικονικό περιβάλλον επίδειξης, άσχετο με το περιβάλλον της έρευνας, για να εξοικειωθούν με τα εικονικά περιβάλλοντα. Τέλος, έκλεισαν τα μάτια τους και κλήθηκαν να χαλαρώσουν για δύο λεπτά. Όταν άνοιξαν πάλι τα μάτια, στα γυαλιά προβάλλονταν ήδη το εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον. Κατόπιν, τους ζητήθηκε να ανοίγουν και να κλείνουν τα μάτια τους σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα που ορίζονταν από τον ερευνητή προκειμένου να μειώνεται στο ελάχιστο η λήψη παρασίτων στα ΗΕΓ σήματα που δημιουργείται από το άνοιγμα και το κλείσιμο. Η διαδικασία περιελάμβανε 10 επαναλήψεις όπου καταγράφονταν συγχρόνως τα ηλεκτρικά σήματα που παρήγαγε ο εγκεφαλικός φλοιός.

Μετά την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης οι συμμετέχουσες έκλειναν πάλι τα μάτια τους, τα γυαλιά ΕΠ αφαιρούνταν και τους δινόταν ένα χρονικό διάστημα λίγων λεπτών ξεκούρασης. Στη συνέχεια άνοιγαν τα μάτια τους και αμέσως ακλουθούσε η δεύτερη φάση στο εικονικό μη – στερεοσκοπικό περιβάλλον αυτή τη φορά. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία τόσο στο εικονικό μη – στερεοσκοπικό περιβάλλον όσο και στην τρίτη φάση διεξαγωγής του πειράματος, στο πραγματικό περιβάλλον.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από τον Δεκέμβριο του 2009 μέχρι τον Μάρτιο του 2010.

Η επίβλεψη από μέρους του ερευνητή των εγκεφαλικών σημάτων στην οθόνη του καταγραφικού συστήματος κατά τη διάρκεια καταγραφής, έδινε τη δυνατότητα στον ίδιο να διακρίνει παράσιτα είτε αυτά ήταν οδοντικά, είτε μυϊκά, είτε οφθαλμικά, είτε ηλεκτρικά, ώστε να διακόπτει την καταγραφή, να τα σημειώνει και εν τέλει να τα απορρίπτει από τη διαδικασία επεξεργασίας των σημάτων. Οι αντιδράσεις στη συμπεριφορά των συμμετεχουσών καθώς και αντιδράσεις τους κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος καταγράφηκαν από τον ερευνητή, ώστε να είναι ευκολότερη η ανίχνευση ορισμένων παρασίτων και μη προβλέψιμων συμπεριφορών.

Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζεται συμμετέχουσα με τοποθετημένα τα ηλεκτρόδια κατά την καταγραφή ΗΕΓ στο εικονικό περιβάλλον. Διακρίνονται τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας, η κάσκα ηλεκτροδίων και η οθόνη προβολής του εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος.

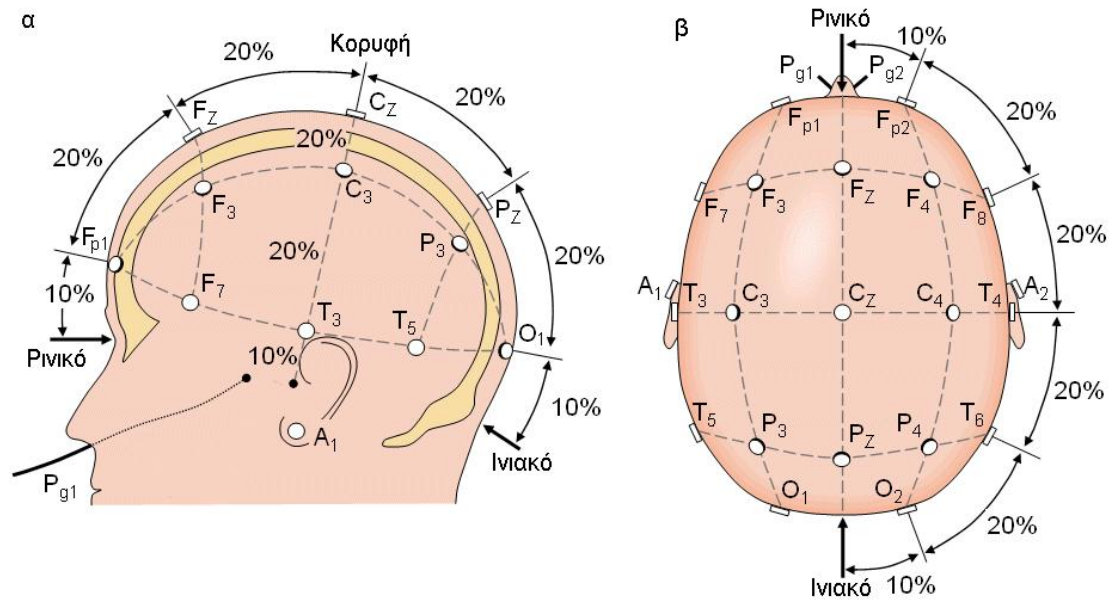




Σχήμα 4.6. Συμμετέχουσα με όλον το σχετικό εξοπλισμό για το εικονικό περιβάλλον και το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.

#### **4.5.1 Καταγραφές ΗΕΓ**

Για την ηλεκτροεγκεφαλογραφική καταγραφή χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 26 επίχρυσα, επικολλώμενα, κυπελλοειδή ηλεκτρόδια, με καλώδιο μήκους 300 cm. Τα 19 αποτελούσαν ενεργά ηλεκτρόδια (αφορούσαν εγκεφαλικές περιοχές ενδιαφέροντος) και τα υπόλοιπα ήταν βοηθητικά. Τα 19 ενεργά ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν στην κраниακή περιοχή στις ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1 και O2 σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20 (International 10-20 System). Στο σχήμα 4.7 απεικονίζονται οι ηλεκτροεγκεφαλογραφικές θέσεις σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20.



Σχήμα 4.7. Σχηματική αναπαράσταση των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών θέσεων σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20 (Παπαχρήστος 2006, τροποποιημένο από Malmivuo & Plonsey 1995).

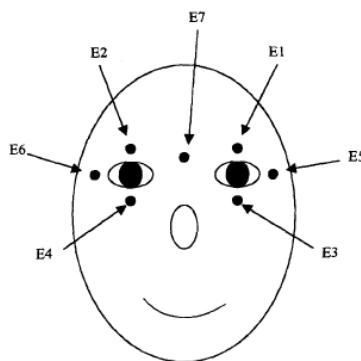
Ένα επιπλέον ηλεκτρόδιο στο μέτωπο χρησιμοποιήθηκε ως γείωση, και δύο στα λοβία των ώτων ως αναφορά στις θέσεις A1 και A2 (σχήμα 4.7β). Οι κατακόρυφες και οριζόντιες κινήσεις των οφθαλμών καταγράφηκαν διπολικά με χρήση τεσσάρων επιπλέον κυπελλοειδών χρυσών επικολλώμενων ηλεκτροδίων, δύο δεξιά και κάτω από το αριστερό μάτι, και δυο που εφαρμόστηκαν στις εξωτερικές πλευρές αμφότερων των οφθαλμών. Το δέρμα κάτω από τα οφθαλμικά ηλεκτρόδια καθαρίστηκε με αιθυλική αλκοόλη και τρίφτηκε ελαφρώς πριν την εφαρμογή των ηλεκτροδίων.

Οι καταγραφές των ΗΕΓ έγιναν με τις εξής ρυθμίσεις στους ενισχυτές βιοσημάτων:

- i. Φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων (High band pass): 0.5 Hz
- ii. Φίλτρο αποκοπής υψηλών συχνοτήτων (Low band pass): 100 Hz
- iii. Φίλτρο αποκοπής ζώνης συχνοτήτων (Notch): 50 Hz
- iv. Ευαισθησία: 0.5 mV.

Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό καταγραφής g.DAQsys του συστήματος και ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 256 Hz και ενίσχυση 100  $\mu\text{V}/\text{cm}$ .

Το σχήμα 4.8 παρουσιάζει τα σημεία τοποθέτησης των ηλεκτροδίων στην περιοχή των οφθαλμών. Χρησιμοποιήθηκαν οι θέσεις E2 και E3 (1.5 cm περίπου πάνω από το δεξιό μάτι και κάτω από το αριστερό) για την καταγραφή των κατακόρυφων κινήσεων και οι θέσεις E5 και E6 (1.5 cm περίπου δεξιά από το δεξιό μάτι και αριστερά από το αριστερό) για τις οριζόντιες κινήσεις.



Σχήμα 4.8. Σχηματική αναπαράσταση των θέσεων τοποθέτησης των ηλεκτροδίων του ηλεκτροοφθαλμογραφήματος (EOG). Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκαν οι θέσεις E2, E3, E5 και E6.

Οι καταγραφές ήταν όλες μονοπολικές, δηλαδή στηρίζονται στη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ ενός ηλεκτροδίου και ενός σταθερού σημείου γείωσης ή του μέσου όρου των καταγραφών (εκτός από τα 4 ηλεκτρόδια του ηλεκτροοφθαλμογραφήματος που ήταν διπολικές), με κοινό σημείο αναφοράς τη μέση τιμή  $V_A$  των δυναμικών στις θέσεις  $A_1$  και  $A_2$  (στους λοβούς των αυτιών). Στην ιδανική περίπτωση που οι θέσεις  $A_1$  και  $A_2$  έχουν ίσες αντιστάσεις, το δυναμικό αναφοράς  $V_A$  υπολογίζεται από την έκφραση:  $V_A = \frac{1}{2} (V_{A1} + V_{A2})$ , όπου  $V_{A1}$  και  $V_{A2}$  τα δυναμικά των σημείων  $A_1$  και  $A_2$  αντίστοιχα. Όταν οι αντιστάσεις διαφέρουν η έκφραση τροποποιείται ως εξής:  $V'_A = \frac{R_2 V_{A1} + R_1 V_{A2}}{R_1 + R_2}$ , όπου  $V'_A$  το νέο δυναμικό αναφοράς,  $R_1$  και  $R_2$  οι αντιστάσεις στις θέσεις  $A_1$  και  $A_2$  αντίστοιχα (Τζίμας, 2010).

Από τα πρωτογενή δεδομένα (χωρίς κανένα φίλτρο), χρησιμοποιήθηκε από όλο το εύρος συχνοτήτων, η περιοχή 1 – 48 Hz, η οποία περιλαμβάνει όλους σχεδόν τους γνωστούς εγκεφαλικούς ρυθμούς στους οποίους η παρούσα διατριβή εστίασε το ενδιαφέρον της (0.5 – 3.5 Hz για το  $\delta$  ρυθμό, 4 – 7 Hz για το  $\theta$ , 8 – 13 Hz για τους  $\alpha$  ρυθμούς, 14 – 32 Hz για το  $\beta$

και 33 – 48 Hz για το  $\gamma$ ). Για την αποφυγή του παράσιτου του ηλεκτρικού ρεύματος τροφοδοσίας των συσκευών (στην Ελλάδα) χρησιμοποιήθηκε φίλτρο αποκοπής (notch) των 50 Hz.

Για την εξασφάλιση καλών επαφών των ηλεκτροδίων τα σημεία επαφής καθαρίστηκαν με αιθυλική αλκοόλη και χρησιμοποιήθηκε η λειαντική κρέμα Elefix του οίκου Nihon Kohden και για αύξηση της αγωγιμότητας σε μερικές περιπτώσεις η κρέμα Nurgerp Gel της Weaver. Για τη συγκράτηση των ηλεκτροδίων χρησιμοποιήθηκε η κρέμα Ten 20 conductive EEG paste της Weaver. Όλες οι αντιστάσεις των ηλεκτροδίων μετρήθηκαν πριν και μετά τις καταγραφές με τον μετρητή εμπέδησης g.Zcheck και ήταν μικρότερες από 5 K $\Omega$ .

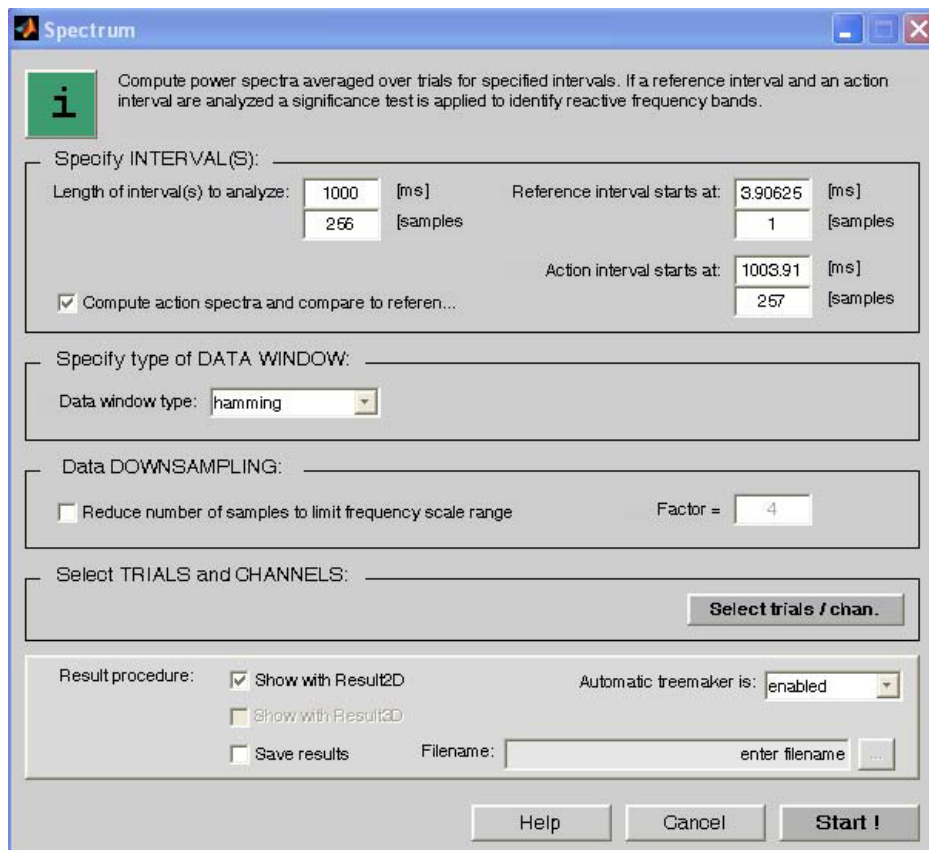
#### 4.5.2 Στατιστική ανάλυση

Από το σύνολο των συχνοτήτων που καταγράφηκαν, αξιολογήθηκαν μόνο οι συχνότητες 1 – 48 Hz, περιοχή που καλύπτει όλους τους σημαντικούς ρυθμούς του ΗΕΓ. Οι ρυθμοί και τα όριά τους που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν ως εξής: ρυθμός  $\delta$  (0.5 – 3.5 Hz),  $\theta$  (4 – 7 Hz),  $\alpha$  – 1 ή κατώτερος  $\alpha$  (8 – 10 Hz),  $\alpha$  – 2 ή ανώτερος  $\alpha$  (11 – 13 Hz), συνολικός  $\alpha$  (8–13 Hz),  $\beta$  (14 – 32 Hz),  $\gamma$  (33–48 Hz). Στο Παράρτημα I παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία στατιστικής επεξεργασίας των καταγραφών.

Σε όλες τις μετρήσεις ισχύος χρησιμοποιήθηκε η απόλυτη ισχύς. Σε ορισμένες μελέτες χρησιμοποιείται κυρίως στους χάρτες η σχετική ισχύς, με την οποία γίνεται προσπάθεια να αποσβεστούν οι μη εγκεφαλικές επιδράσεις χρησιμοποιώντας ως μέτρηση ισχύος το πηλίκο της ισχύος σε κάποια ζώνη συχνοτήτων δια τη συνολική ισχύ. Οι χάρτες αυτοί διαφέρουν από τους χάρτες απόλυτης ισχύος, γιατί υπολογίζουν τη χρωματική απόδοση ενός σημείου βάση και της συνολικής ισχύος όλων των ρυθμών σε αυτό το σημείο. Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε η απόλυτη ισχύς, όπως αναφέρεται στην πλειοψηφία των βιβλιογραφικών αναφορών (Τζίμας, 2010).

Για τη παραγωγή των φασματικών κατανομών του εικονικού και του πραγματικού περιβάλλοντος και τη στατιστική σύγκρισή τους χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία spectrum του λογισμικού gBSanalyze της gtec (σχήμα 4.9). Η διαδικασία spectrum υπολογίζει τη Φασματική Κατανομή Ισχύος για ένα απόσπασμα ΗΕΓ με μεσοποιημένες τιμές για όλα τα τμήματα (trials) που συμπεριλαμβάνονται στο απόσπασμα (πρέπει όλα τα τμήματα να είναι

συνενωμένα το ένα δίπλα στο άλλο σε ένα αρχείο – διαδικασία μοντάζ (montage)). Η ίδια διαδικασία μπορεί να υπολογίσει φασματικές κατανομές ισχύος για 2 ΗΕΓ αποσπάσματα με μεσοποιημένες τιμές για όλα τα τμήματα (trials) που συμπεριλαμβάνονται (τα οποία παρουσιάζει σε κοινό γράφημα), καθώς επίσης και τη σύγκριση των δυο φασμάτων. Η σύγκριση γίνεται με επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% (Vos, 1975; Pfurtscheller, 1999; Graimann & Pfurtscheller 2006). Στην περίπτωση αυτή πρέπει κάθε τμήμα (trial) να περιλαμβάνει 2 ίσου μήκους ΗΕΓ αποσπάσματα, όπου το ένα θεωρείται ως διάστημα αναφοράς (reference interval) και το άλλο ως διάστημα δράσης (action interval) όπως αναφέρεται στο Παράρτημα Ι.



Σχήμα 4.9. Η διαδικασία Spectrum του menu Analyze της gtec που χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των φασμάτων των 2 περιβαλλόντων (3D και REAL).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση το μήκος των διαστημάτων ορίστηκε 1000 msec ή 256 δείγματα, όπου το διάστημα αναφοράς άρχιζε από το 1<sup>ο</sup> δείγμα (δηλαδή αντιστοιχεί στο εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D), το οποίο στα γραφήματα και τους χάρτες θα

συμβολίζεται ως 3D) και το διάστημα δράσης άρχιζε από το 257<sup>ο</sup> δείγμα (πραγματικό μέθοδος το οποίο στα γραφήματα και τους χάρτες θα συμβολίζεται ως REAL).

Η μέθοδος υπολογισμού του φάσματος συχνοτήτων είναι ο Βραχύς Μετασχηματισμός Fourier (Short Fourier Transform) διακριτού σήματος με παράθυρο Hamming, όπου το σήμα χωρίζεται σε διαδοχικά τμήματα στα οποία οι συχνότητες του σήματος θεωρούνται αμετάβλητες και το κάθε τμήμα μετασχηματίζεται κατά Fourier. Το αποτέλεσμα μετράται σε  $\mu V^2/Hz$ .

Το παράθυρο Hamming χρησιμοποιείται για τον τεμαχισμό του σήματος που παράγεται από τη συνάρτηση hamming(n) του Matlab, η οποία δημιουργεί ένα συμμετρικό διάνυσμα n σημείων (όπου n θετικός ακέραιος), με βάση τον τύπο:

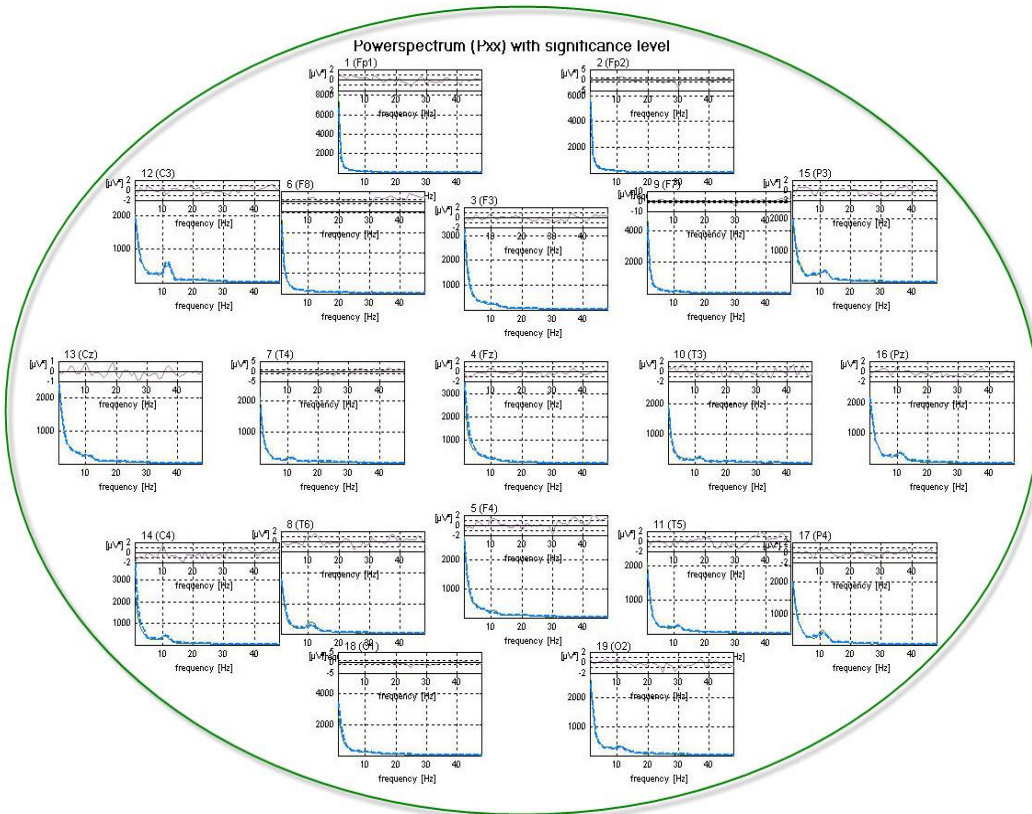
$$w[k + 1] = 0.54 - 0.46 \cos\left(2\pi \frac{k}{n - 1}\right), k = 0, 1, \dots, n - 1$$

Περιγραφή της μεθόδου παραθυροποίησης του σήματος καθώς και οι σχετικές παραδοχές και περιορισμοί αναφέρονται στην ενότητα 2.6.9.

Η διαδικασία spectrum παράγει τις γραφικές παραστάσεις των φασμάτων, παράδειγμα των οποίων παρουσιάζεται στο σχήμα 4.10. Διακρίνονται 19 γραφικές παραστάσεις φασμάτων (μία για κάθε ηλεκτρόδιο). Με μπλε διακεκομμένη γραμμή παριστάνονται τα φάσματα του διαστήματος αναφοράς (εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – 3D) και με πράσινη γραμμή τα φάσματα του διαστήματος δράσης (πραγματικού περιβάλλοντος – REAL). Πάνω από κάθε γράφημα φαίνεται η γραφική παράσταση των διαφορών των δύο φασμάτων και οι ευθείες με τα πάνω και κάτω όρια που αντιστοιχούν στο επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας για το πραγματικό περιβάλλον, το οποίο στα γραφήματα και τους χάρτες θα συμβολίζεται ως REAL).

Στην ενότητα με τα αποτελέσματα παρουσιάζονται γραφήματα με συγκριτική παράθεση των φασμάτων απόλυτης ισχύος. Αρχικά (σχήμα 4.10) παρουσιάζονται και τα 19 ηλεκτρόδια σε κοινό γράφημα, τοποθετημένα σε έλλειψη που απεικονίζει σε κάτοψη το κρανίο (όπου στο πάνω τμήμα αντιστοιχεί το μέτωπο και στο κάτω η ινιακή περιοχή). Ο κατακόρυφος άξονας σε όλα τα γραφήματα αντιστοιχεί σε  $\mu V^2$  και είναι διαφορετικός σε κάθε γραφική

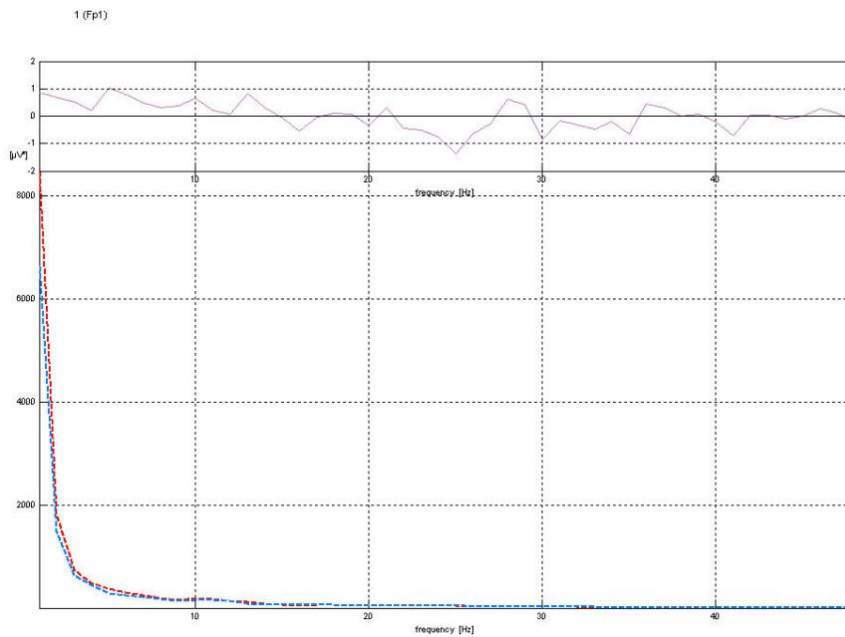
παράσταση, προσαρμοσμένος στη μέγιστη τιμή για τη συγκεκριμένη θέση. Η συγκεκριμένη μορφή απεικόνισης αν και παρέχει μια εποπτεία σε όλο το κρανίο, αδυνατεί λόγω μεγέθους και βαθμονόμησης να αποδώσει λεπτομέρειες.



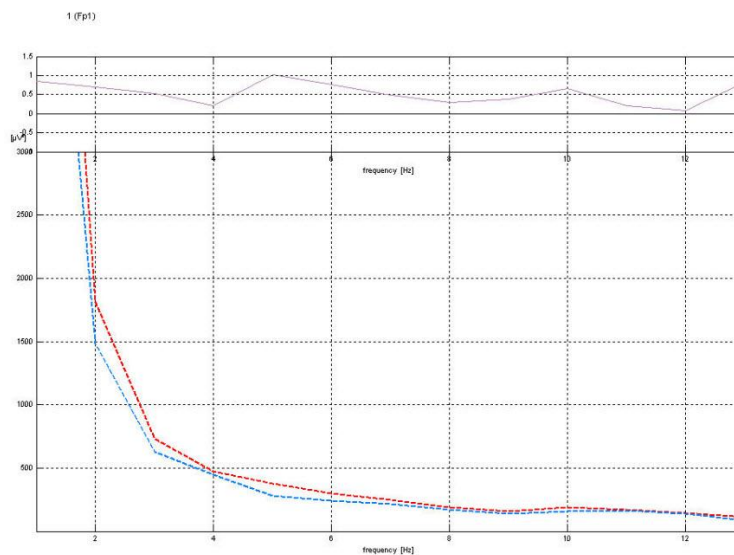
Σχήμα 4.10. Γραφική παράσταση του φάσματος 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια και όλα τα υποκείμενα. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο 3D περιβάλλον και η πράσινη στο REAL.

Ακολούθως (σχήματα 4.11 α, β, γ) παρουσιάζονται τρία γραφήματα για κάθε ηλεκτροεγκεφαλογραφική θέση με αναλυτικά φάσματα απόλυτης ισχύος. Στο πρώτο παρουσιάζονται οι συχνότητες 1 – 48 Hz. Η υψηλότερη ισχύς των χαμηλών συχνοτήτων υποβαθμίζει τις μέσες και υψηλές συχνότητες που με δυσκολία διακρίνονται στο γράφημα. Έτσι παρουσιάζονται δύο ακόμη αναλυτικότερα γραφήματα (με τροποποιημένες κλίμακες των x και y αξόνων, x and y scaling) για τις χαμηλότερες συχνότητες 1 – 13 Hz (ρυθμοί δ, θ, α – 1, α – 2, α) και τις υψηλότερες συχνότητες 14 – 48 Hz (ρυθμοί β και γ).



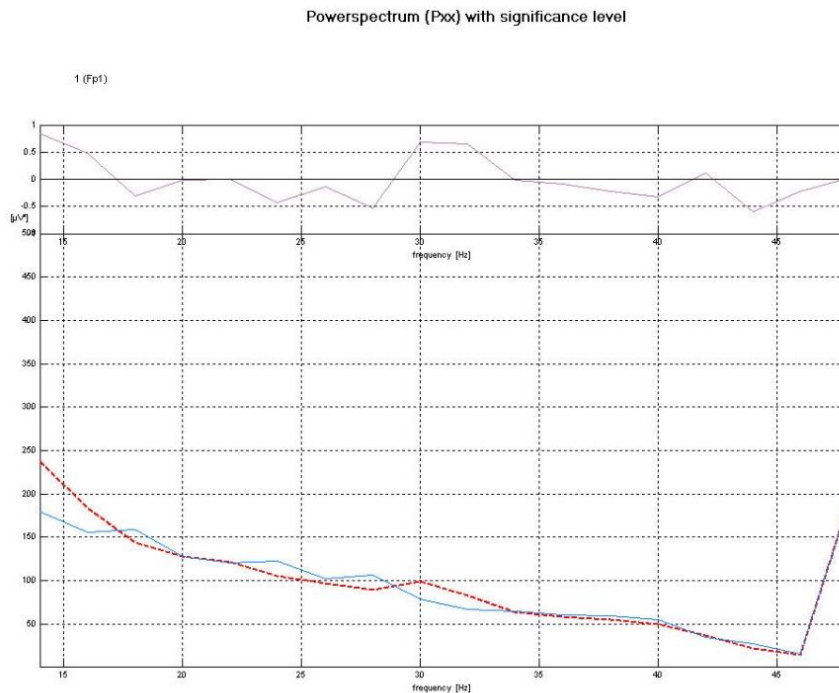


Σχήμα 4.11α. Παράδειγμα φασμάτων του ηλεκτροδίου Fr1 για το εύρος συχνοτήτων 1 – 48 Hz. Με μπλε διακεκομμένη γραμμή παριστάνεται το φάσμα του εικονικού περιβάλλοντος(3D) (αναφορά) και με κόκκινο το φάσμα του πραγματικού (REAL) (δράση). Το πάνω γράφημα αποτυπώνει τις διαφορές των δύο φασμάτων και οι οριζόντιες γραμμές τα όρια που καθορίζει το επίπεδο σημαντικότητας.



Σχήμα 4.11β. Παράδειγμα φασμάτων του ηλεκτροδίου Fr1 για το εύρος συχνοτήτων 1 – 13 Hz. Με μπλε διακεκομμένη γραμμή παριστάνεται το φάσμα του 3D περιβάλλοντος (αναφορά) και με κόκκινο το φάσμα του REAL (δράση). Το πάνω γράφημα αποτυπώνει τις διαφορές των δύο φασμάτων και οι οριζόντιες γραμμές τα όρια που καθορίζει το επίπεδο σημαντικότητας.





Σχήμα 4.11 γ. Παράδειγμα φασμάτων του ηλεκτροδίου Fr1 για το εύρος συχνοτήτων 14 – 48 Hz. Με μπλε διακεκομμένη γραμμή παριστάνεται το φάσμα του 3D περιβάλλοντος (αναφορά) και με κόκκινο το φάσμα του REAL (δράση). Το πάνω γράφημα αποτυπώνει τις διαφορές των δύο φασμάτων και οι οριζόντιες γραμμές τα όρια που καθορίζει το επίπεδο σημαντικότητας.

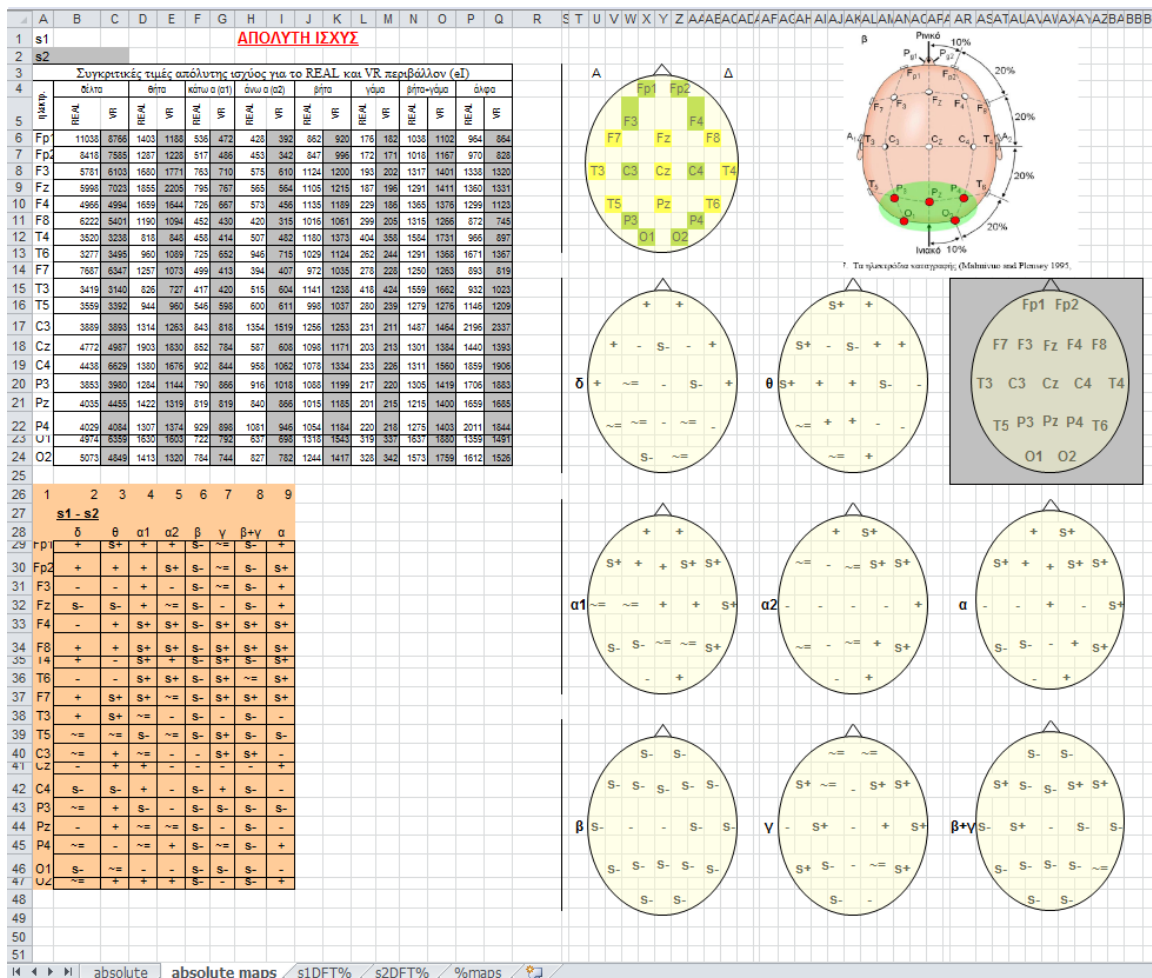
Συνολικά παρουσιάζονται  $19 \times 3 = 57$  γραφήματα για κάθε σύγκριση των περιβαλλόντων. Κάθε γράφημα περιέχει επίσης, τρεις γραφικές παραστάσεις: δύο (με τους ίδιους άξονες και βαθμονόμηση) για τα φάσματα π.χ. του στερεοσκοπικού εικονικού περιβάλλοντος (3D) (μπλε διακεκομμένη γραμμή) και του πραγματικού (REAL) (πράσινη συνεχής γραμμή) περιβάλλοντος και ένα τρίτο που παρουσιάζει τις διαφορές των άλλων δύο με στατιστική σημαντικότητα (μωβ συνεχής γραμμή). Από τα διαγράμματα δεν παρέχονται πληροφορίες για ολόκληρο ρυθμό, αλλά για κάθε συχνότητα χωριστά (ελάχιστο βήμα συχνοτήτων 1 Hz). Αυτό αποτελεί μειονέκτημα όταν ενδιαφέρει η συμπεριφορά ενός ρυθμού συνολικά. Αν όμως, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη συμπεριφορά συγκεκριμένων συχνοτήτων, τότε τα γραφήματα αυτά είναι σημαντικά (Τζίμας, 2010). Στην παρούσα διδακτορική διατριβή όλη η ανάλυση βασίζεται στη συμπεριφορά ρυθμών και όχι μεμονωμένων συχνοτήτων του ΗΕΓ. Στο Παράρτημα II παρουσιάζονται τα φάσματα απόλυτης ισχύος εγκεφαλικών ρυθμών για κάθε θέση ηλεκτροδίου και για κάθε σύγκριση των ανά δύο περιβαλλόντων της πιλοτικής μελέτης.

Τα αποτελέσματα της φασματικής ανάλυσης αποθηκεύονται σε αρχεία matlab και σε αρχεία κειμένου για περαιτέρω επεξεργασία για ποσοτική ανάλυση και σχεδίαση εγκεφαλικών χαρτών. Συνολικά δημιουργούνται για κάθε διεργασία ένα mat αρχείο και ένα αρχείο gsr (τύπος αρχείου κειμένου).

Από την πειραματική διαδικασία προκύπτουν ένα αρχείο ΗΕΓ καταγραφών σε μορφή ascii για κάθε περιβάλλον. Η επεξεργασία του αρχείου από το λογισμικό EEGprocessing δημιουργεί, μετά την προεπεξεργασία κάθε σήματος και την αφαίρεση των παρασίτων, ξεχωριστά αρχεία για κάθε διεργασία για κάθε συμμετέχοντα.

Αυτά τα αρχεία χρησιμοποιούνται από το λογισμικό BSanalyze της gtec για να παραχθούν τα φάσματα για το κάθε περιβάλλον και αποθηκεύονται σε αντίστοιχο αρχείου κειμένου με την επέκταση gsr για κάθε διεργασία. Το gsr αρχείο για κάθε διεργασία χρησιμοποιείται από το λογισμικό EEGprocessing κατά τη φασματική ανάλυση, από την οποία προκύπτουν τα αρχεία absolute.txt, s1DFT.txt και s2DFT.txt (για κάθε περιβάλλον) με τα αποσοτικά δεδομένα των ρυθμών του ΗΕΓ για κάθε διεργασία.

Το Microsoft Excel χρησιμοποιείται για τη μορφοποίηση των πινάκων των ποσοτικών δεδομένων και για τη δημιουργία χαρτών με τις στατιστικά σημαντικές διαφορές των φασμάτων ΗΕΓ για τα δύο περιβάλλοντα που συγκρίνονται. Παράδειγμα ενός φύλλου εργασίας του Excel στο οποίο εικονίζονται ο πίνακας και ο αντίστοιχος χάρτης διαφορών για μία διεργασία φαίνεται στο σχήμα 4.12.



Σχήμα 4.12. Απόσπασμα από ένα φύλλο του Microsoft Excel στο οποίο υπολογίζονται οι χάρτες με τις στατιστικά σημαντικές διαφορές δύο περιβαλλόντων. Διακρίνονται οι καρτέλες με τα αρχεία δεδομένων absolute., s1DFT, s2DFT, που δημιουργούνται από το λογισμικό EEGprocessing.

Τα αρχεία αυτά χρησιμοποιούνται από το Matlab για την παραγωγή των χρωματικών χαρτών, οι οποίοι αποθηκεύονται σε αντίστοιχα αρχεία εικόνων (jpg) με τη χρήση προγραμμάτων επεξεργασίας εικόνας. Οι χάρτες δημιουργούνται με τις επόμενες συναρτήσεις που ενσωματώνονται στο περιβάλλον Matlab και χρησιμοποιούν τα αρχεία δεδομένων που δημιουργήθηκαν με το λογισμικό EEGprocessing (Τζίμας, 2010):

- *Function EEGmapAbs2()*. Η συνάρτηση αυτή παράγει δύο αρχεία εικόνας, τα οποία περιέχουν 8 χάρτες το καθένα για τους ρυθμούς του ΗΕΓ (δ, θ, α – 1, α – 2, συνολικός α, β, γ, β + γ). Τα δεδομένα διαβάζονται από τα αρχεία s1DFT.txt και s2DFT.txt που περιέχουν απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος για τα δυο σήματα που παρουσιάζονται στους χάρτες. Οι χάρτες είναι κανονικοποιημένοι ως προς τον μέσο

όρο όλων των ρυθμών και των δύο σημάτων με αποτέλεσμα να τονίζονται συγκριτικά οι κυρίαρχοι ρυθμοί κάθε σήματος

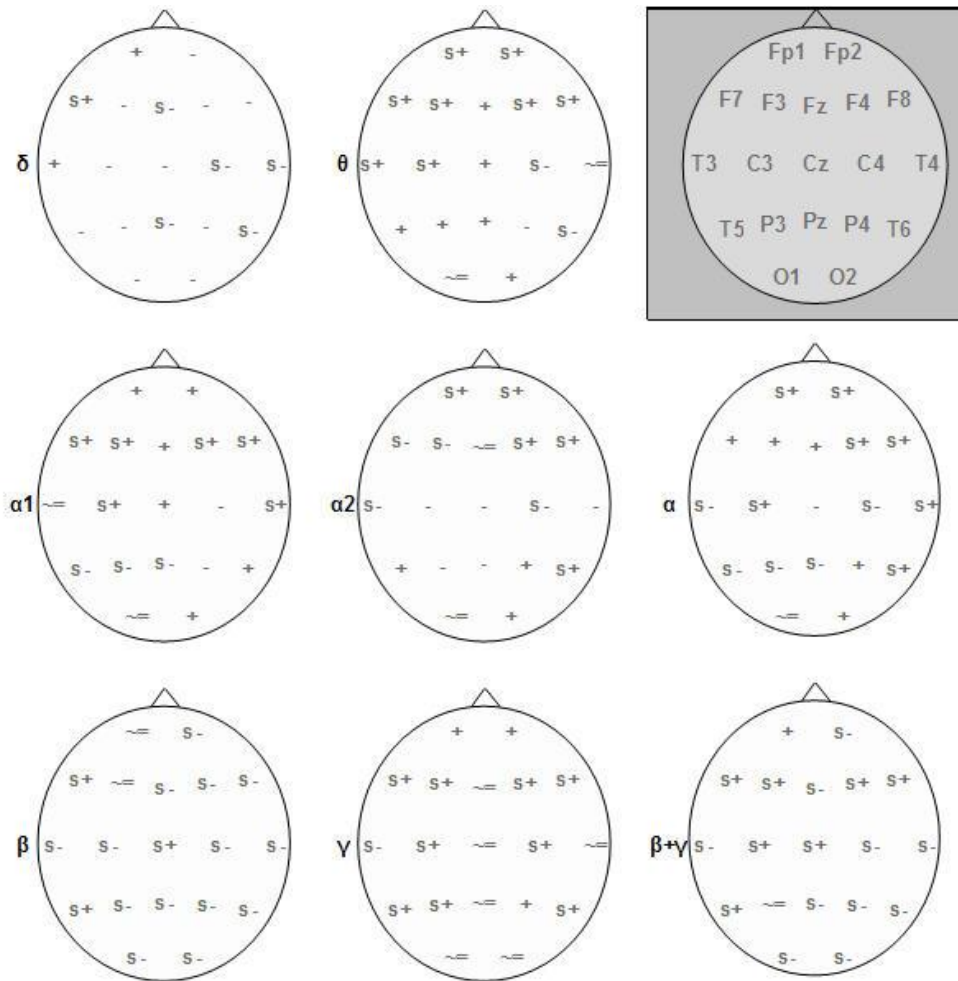
- Function EEGmapAbsD2(): Η συνάρτηση αυτή παράγει 8 αρχεία εικόνας, ένα για κάθε ρυθμό του ΗΕΓ ( $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha - 1$ ,  $\alpha - 2$ , συνολικός  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\beta + \gamma$ ). Σε κάθε αρχείο παρουσιάζονται δύο χάρτες, κανονικοποιημένοι ως προς τον κοινό τους μέσο όρο, αριστερά για το πρώτο σήμα και δεξιά για το δεύτερο. Τα δεδομένα διαβάζονται από τα αρχεία s1DFT.txt και s2DFT.txt τα οποία περιέχουν απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος για τα δυο σήματα που παρουσιάζονται στους χάρτες όπου γίνεται ουσιαστικά η σύγκριση κάθε ρυθμού στα δύο περιβάλλοντα (σήμα 1 για το πρώτο περιβάλλον και σήμα 2 για το δεύτερο περιβάλλον).
- Function EEGmapAbsD( ): Αν το ένα περιβάλλον είναι αρκετά ασθενέστερο από το άλλο σε κάποιο ρυθμό, τότε η συγκεκριμένη συνάρτηση μπορεί να αναδείξει την κατανομή του ρυθμού στο ασθενέστερο περιβάλλον. Παράγει 16 αρχεία εικόνας, ένα για κάθε ρυθμό του ΗΕΓ ( $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha - 1$ ,  $\alpha - 2$ , συνολικός  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\beta + \gamma$ ) για τα δύο σήματα. Σε κάθε αρχείο παρουσιάζεται ένας χάρτης χωρίς καμία συσχέτιση ή κανονικοποίηση με τους άλλους (κάθε χάρτης έχει δική του ανεξάρτητη βαθμονόμηση). Τα δεδομένα διαβάζονται από τα αρχεία s1DFT.txt και s2DFT.txt τα οποία περιέχουν απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος για τα δυο σήματα που παρουσιάζονται στους χάρτες. Με αυτούς τους χάρτες αναδεικνύεται πλήρως η κατανομή κάθε ρυθμού κάθε περιβάλλοντος, ανεξάρτητα από τους άλλους ρυθμούς ή το άλλο περιβάλλον .

Στη συνέχεια (σχήμα 4.13), παρουσιάζεται συγκριτικό γράφημα (που παράγεται από το Ms Excel, σχήμα 4.12), χωρίς χρωματική κλίμακα, όπου οι διαφορές (3D – REAL) των αντίστοιχων τιμών απόλυτης ισχύος των δύο περιβαλλόντων εικονίζονται με τα σύμβολα:

s+ και s- για στατιστικά σημαντικές διαφορές,

+ και – για μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και

~ για αμελητέες διαφορές.

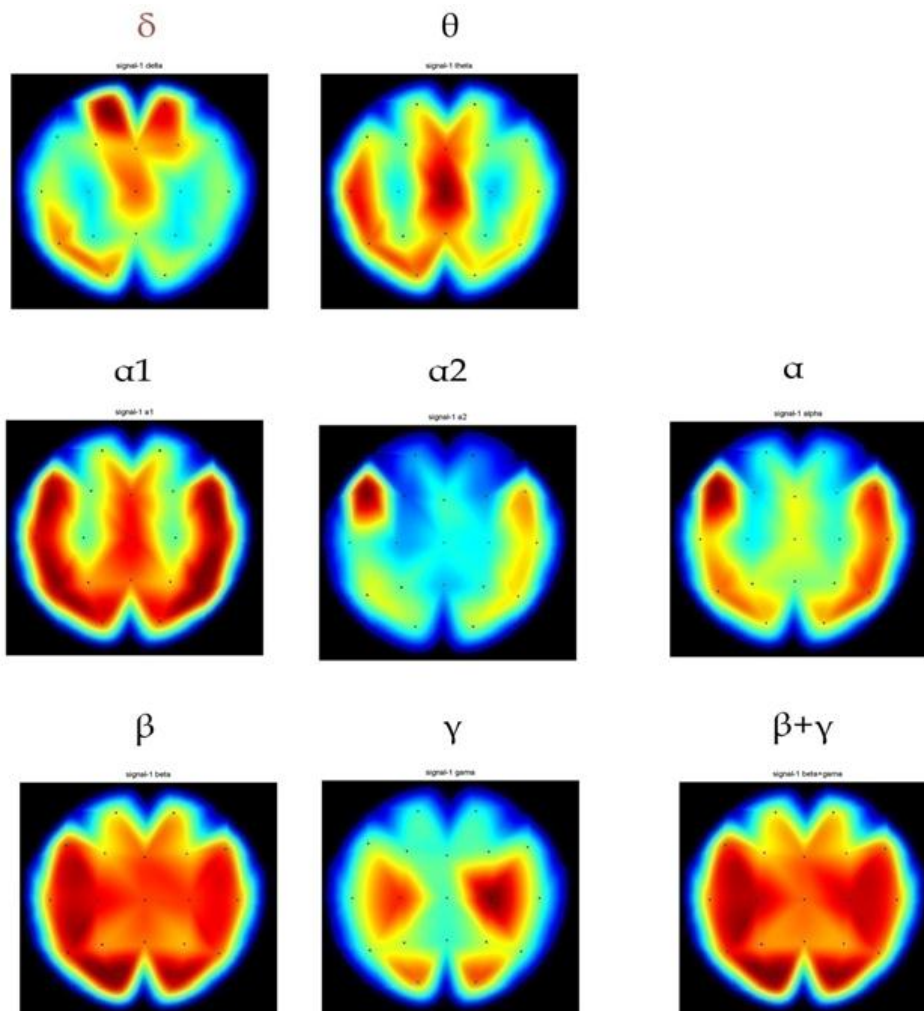


Σχήμα 4.13. Συγκριτική εναλλακτική παρουσίαση ασπρόμαυρων χαρτών της σχετικής ισχύος του πραγματικού και του εικονικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών 3D – REAL). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και – μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~= αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Το συγκριτικό γράφημα, που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.13, παρέχει ικανοποιητική εποπτεία των ποσοτικών δεδομένων, που μπορεί εύκολα και εποπτικά να αποδώσει τις διαφορές της εγκεφαλικής λειτουργίας των δύο περιβαλλόντων. Αναφέρεται ότι s+ είναι η στατιστικώς σημαντική διαφορά υπέρ του περιβάλλοντος που αναγράφεται πρώτο και s- για το περιβάλλον που αναγράφεται δεύτερο. Οι διαφορές υπολογίζονται πάντα αφαιρώντας τις τιμές απόλυτης ισχύος του 3D περιβάλλοντος από τις αντίστοιχες τιμές του REAL. Πάνω δεξιά σε αυτά τα γραφήματα παρατίθεται (σε γκρι πλαίσιο) σχήμα με τις θέσεις

των ηλεκτροδίων στο κρανίο για διευκόλυνση της ανάλυσης των χαρτών. Συνεπώς, από αυτό το γράφημα μπορούν να εξαχθούν τα πρώτα συμπεράσματα.

Αρχικά παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί, ανεξάρτητοι χάρτες (ένας για κάθε περιβάλλον) στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση. Οι χάρτες αυτοί αναδεικνύουν τους επικρατούντες ρυθμούς και υποβαθμίζουν τους υπόλοιπους. Τα «θερμά» χρώματα (καφέ, κόκκινο) αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές ισχύος, ενώ τα «ψυχρά» (μπλε) στις χαμηλές (σχήμα 3.16, ενότητα 3.6.10). Στο σχήμα 4.14 απεικονίζονται οι χάρτες απόλυτης τιμής ισχύος για το δυσδιάστατο (2D) περιβάλλον της πιλοτικής έρευνας.



Σχήμα 4.14. Χάρτες απόλυτης τιμής ισχύος για το 2D περιβάλλον.

Για να αναδειχθεί η τοπολογική κατανομή όλων των ρυθμών συγκριτικά στο πραγματικό και το εικονικό περιβάλλον, ακολουθεί πίνακας με 8 ζεύγη χαρτών, 6 ζεύγη για τους ρυθμούς δ, θ, α - 1, α - 2, β, γ και 2 επιπλέον για το συνολικό άλφα (α - 1 + α - 2) και το συνολικό β (ρυθμοί β + γ). Το κάθε ζεύγος έχει υπολογιστεί σε κοινή κλίμακα, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των δύο περιβαλλόντων για το συγκεκριμένο ρυθμό. Παράδειγμα τέτοιου πίνακα παρουσιάζεται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και 3D περιβάλλον.

s1		<b>ΑΠΟΛΥΤΗ ΙΣΧΥΣ</b>															
s2		Συγκριτικές τιμές απόλυτης ισχύος για το REAL και 3D περιβάλλον															
ηλεκτρ.	δέλτα		θήτα		κάτω α (α1)		άνω α (α2)		βήτα		γάμα		βήτα+γάμα		άλφα		
	REAL	3D	REAL	3D	REAL	3D	REAL	3D	REAL	3D	REAL	3D	REAL	3D	REAL	3D	
Fp1	11038	8766	1403	1188	536	472	428	392	862	920	176	182	1038	1102	964	864	
Fp2	8418	7585	1287	1228	517	486	453	342	847	996	172	171	1018	1167	970	828	
F3	5781	6103	1680	1771	763	710	575	610	1124	1200	193	202	1317	1401	1338	1320	
Fz	5998	7023	1855	2205	795	767	565	564	1105	1215	187	196	1291	1411	1360	1331	
F4	4966	4994	1659	1644	726	667	573	456	1135	1189	229	186	1365	1376	1299	1123	
F8	6222	5401	1190	1094	452	430	420	315	1016	1061	299	205	1315	1266	872	745	
T4	3520	3238	818	848	458	414	507	482	1180	1373	404	358	1584	1731	966	897	
T6	3277	3495	960	1089	725	652	946	715	1029	1124	262	244	1291	1368	1671	1367	
F7	7687	6347	1257	1073	499	413	394	407	972	1035	278	228	1250	1263	893	819	
T3	3419	3140	826	727	417	420	515	604	1141	1238	418	424	1559	1662	932	1023	
T5	3559	3392	944	960	546	598	600	611	998	1037	280	239	1279	1276	1146	1209	
C3	3889	3893	1314	1263	843	818	1354	1519	1256	1253	231	211	1487	1464	2196	2337	
Cz	4772	4987	1903	1830	852	784	587	608	1098	1171	203	213	1301	1384	1440	1393	
C4	4438	6629	1380	1676	902	844	958	1062	1078	1334	233	226	1311	1560	1859	1906	
P3	3853	3980	1284	1144	790	866	916	1018	1088	1199	217	220	1305	1419	1706	1883	
Pz	4035	4455	1422	1319	819	819	840	866	1015	1185	201	215	1215	1400	1659	1685	
P4	4029	4084	1307	1374	929	898	1081	946	1054	1184	220	218	1275	1403	2011	1844	
O1	4974	6359	1630	1603	722	792	637	698	1318	1543	319	337	1637	1880	1359	1491	
O2	5073	4849	1413	1320	784	744	827	782	1244	1417	328	342	1573	1759	1612	1526	

Οι χάρτες αυτοί δημιουργούνται από τη ρουτίνα EEGmapAbsD2 που αναπτύχθηκε επίσης, από τον ερευνητή Τζίμα (2010), σε περιβάλλον Matlab.

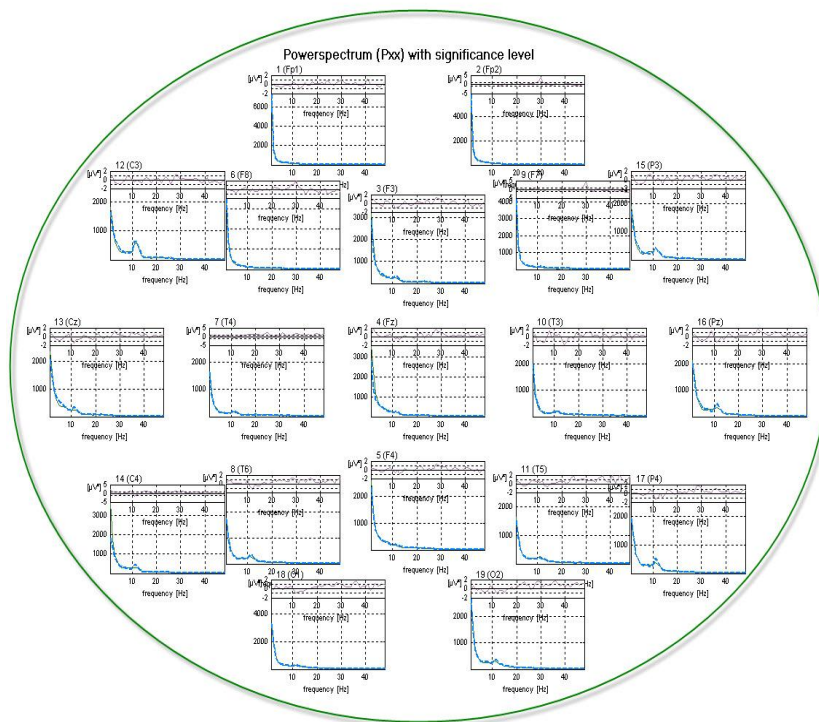


## 4.6 Αποτελέσματα πιλοτικής έρευνας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ανά δύο περιβαλλόντων. Σε κάθε διεργασία της πιλοτικής μελέτης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της φασματικής ανάλυσης του ΗΕΓ, χρωματικοί χάρτες απόλυτης ισχύος, συγκριτικοί χρωματικοί χάρτες ανά ρυθμό και συγκριτικοί χάρτες ανά ρυθμό που δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα τρία περιβάλλοντα. Πίνακες με τα ποσοτικά δεδομένα απόλυτης ισχύος παραθέτονται ως παράρτημα.

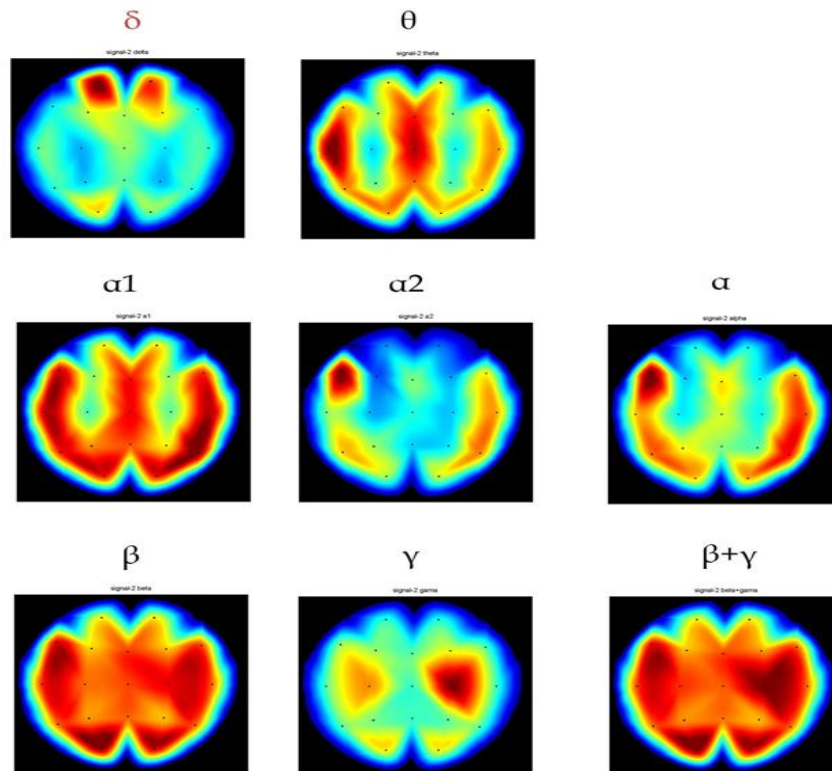
### 4.6.1 Σύγκριση Εικονικού - μη στερεοσκοπικού (2D) και Εικονικού Στερεοσκοπικού Περιβάλλοντος (3D)

Στο σχήμα 4.15 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 – 48 Hz για τα 19 ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν. Στα σχήματα 4.16 και 4.17 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον (2D) και το εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D) αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

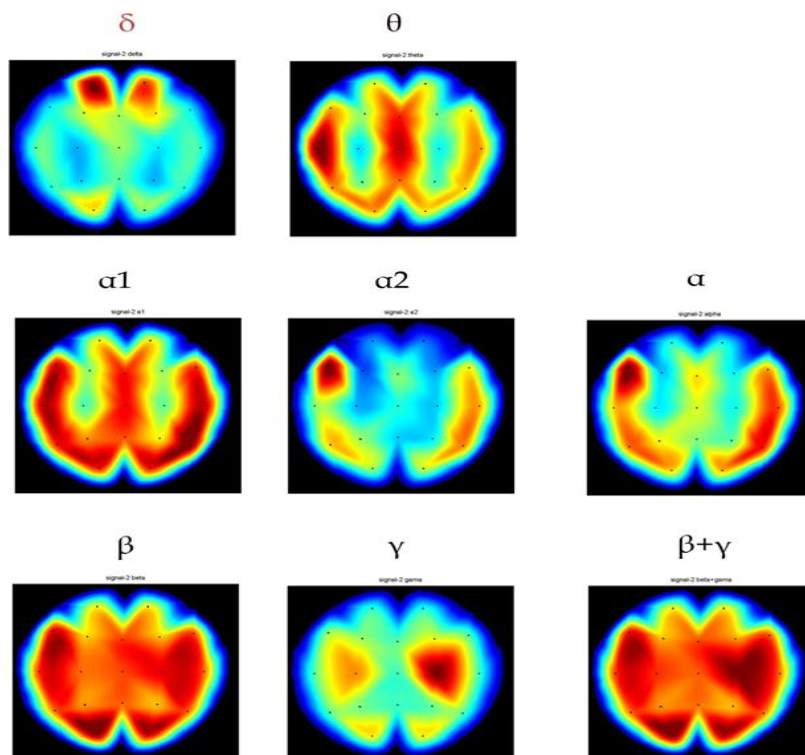


Σχήμα 4.15. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο 2D περιβάλλον και η πράσινη στο 3D.



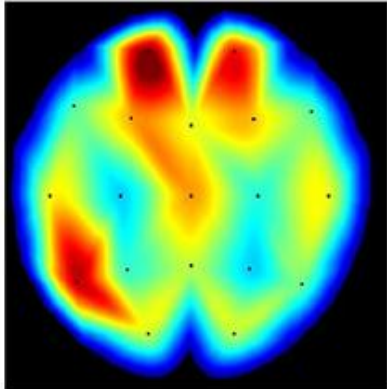
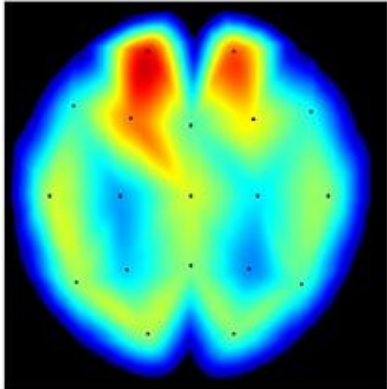
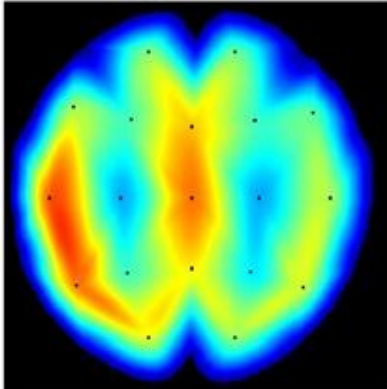
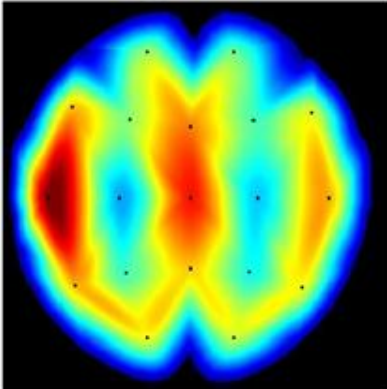


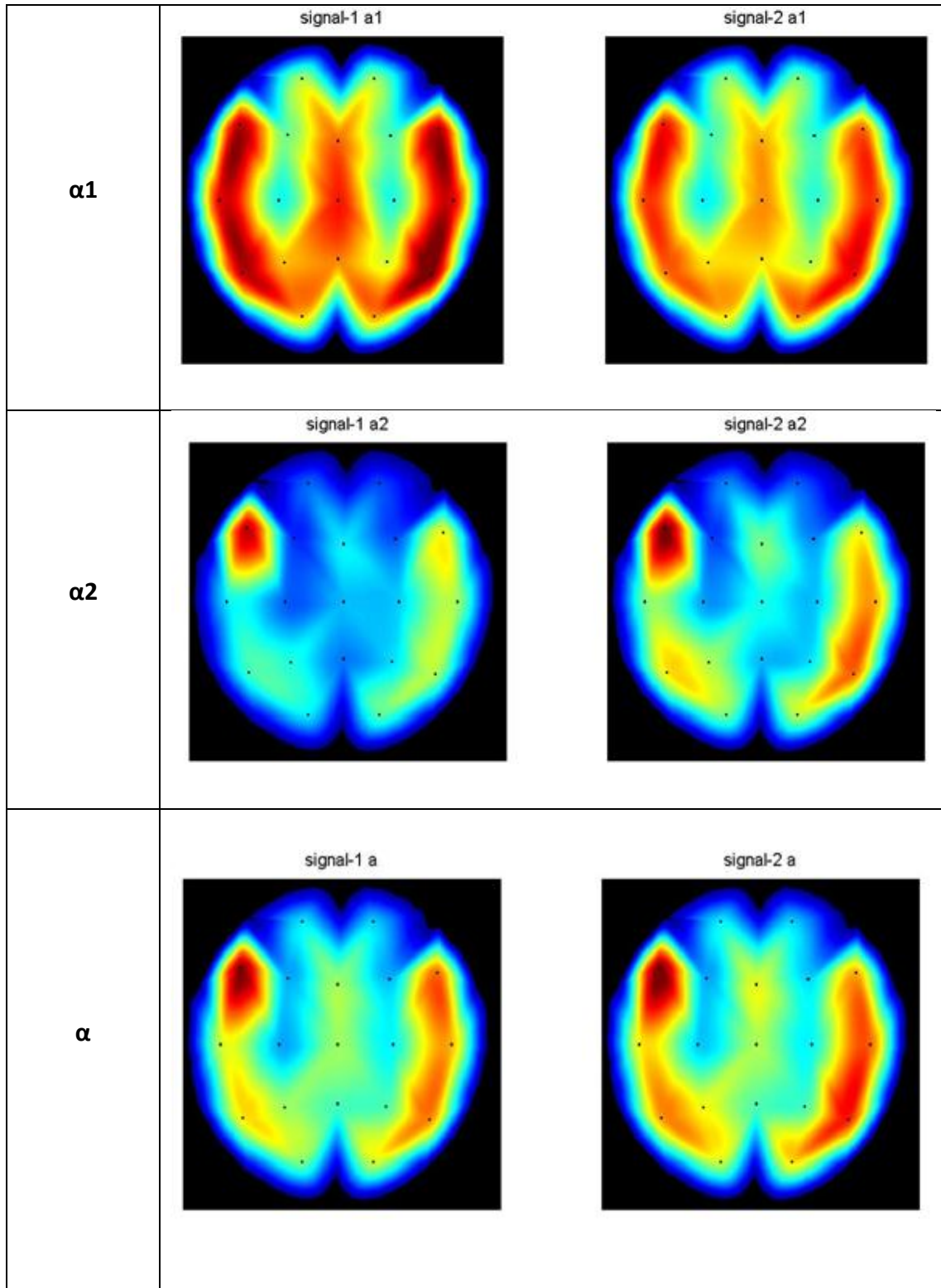
Σχήμα 4.16. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον).

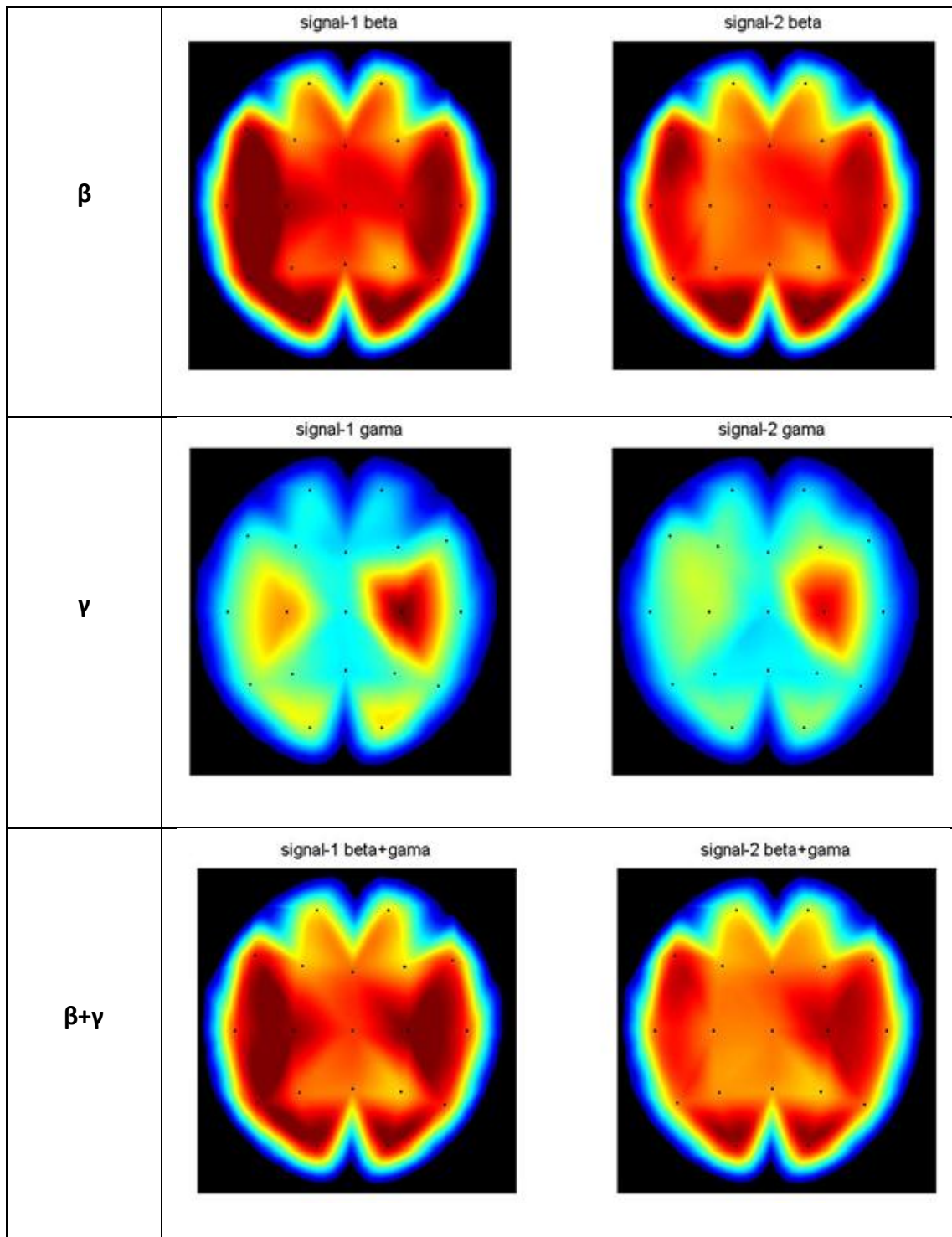


Σχήμα 4.17. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 3D (εικονικό περιβάλλον).

Ο πίνακας 4.2 απεικονίζει τους χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό στο 2D και το 3D περιβάλλον.

Πίνακας 4.2. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό στο 2D και το 3D περιβάλλον.		
Ρυθμοί	Περιβάλλοντα	
	2D	3D
δ	<p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
	<p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 



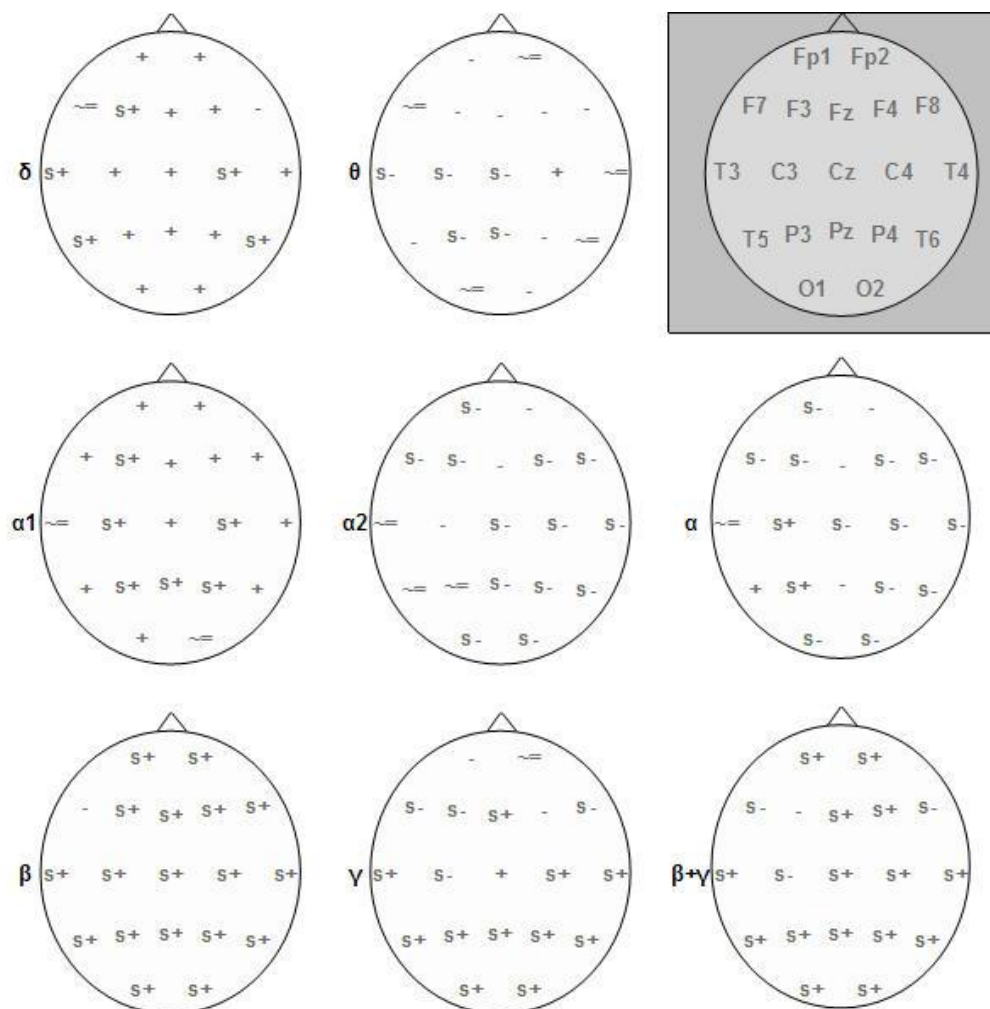


Όσον αφορά στην τοπολογία της εγκεφαλικής δραστηριότητας, παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά της απόλυτης ισχύος σε όλους τους ρυθμούς (σχήμα 4.16). Στο 2D περιβάλλον εμφανίζεται διάχυτος βήτα ρυθμός και μικρότερη θ δραστηριότητα σε κεντρικές, αριστερές μετωπικές και κροταφικές περιοχές. Επίσης, διακρίνεται ισχυρή  $\alpha - 1$

δραστηριότητα, σε αντίθεση με την  $\alpha - 2$ . Ο  $\gamma$  ρυθμός εμφανίζεται ασθενής με εξαίρεση τη δεξιά κεντρική περιοχή.

Στο 3D περιβάλλον οι ρυθμοί παρουσιάζουν παρόμοια τοπολογία με εξαίρεση τον  $\alpha - 2$  ρυθμό που εξαπλώνεται στη δεξιά κροταφική και ινιακή περιοχή, όπως δείχνουν οι φασματικοί χάρτες απόλυτης ισχύος με χρωματική κλίμακα που παρουσιάζουν τις εγκεφαλικές περιοχές που δραστηριοποιούνται (σχήμα 4.17).

Το σχήμα 4.18 απεικονίζει τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ του δυσδιάστατου (2D) και τρισδιάστατου στερεοσκοπικού (3D) περιβάλλοντος.



Σχήμα 4.18. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και τρισδιάστατου (3D) περιβάλλοντος. Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~= αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).



Με βάση το σχήμα 4.17, παρατηρείται υπεροχή του 3D περιβάλλοντος στην αριστερή κροταφική, κεντρική, βρεγματική (ηλεκτρόδια T3-C3-P3), στη μέση κεντρική και βρεγματική (ηλεκτρόδια Cz-Pz) περιοχή για το θ ρυθμό. Στον α - 1 υπορυθμό δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά ενώ στον α - 2 υπορυθμό παρατηρείται στατιστικά σημαντική υπεροχή στη δεξιά πρόσθια μετωπική (ηλεκτρόδιο Fr2), δεξιά και αριστερή μετωπική-κεντρική-βρεγματική (ηλεκτρόδια F7, F3, F4 - F8 - C4), στη μέση κεντρική-βρεγματική (ηλεκτρόδια Cz-Pz) και σε όλες τις κροταφικές και ινιακές θέσεις. Στον α ρυθμό υπερέχει στην αριστερή πρόσθια μετωπική-μετωπική (ηλεκτρόδια Fr1-F7-F3), στις δεξιές μετωπικές-κεντρικές-κροταφικές-βρεγματικές, στη μέση κεντρική (ηλεκτρόδιο Cz) και στις ινιακές περιοχές. Στο β ρυθμό παρατηρείται υπεροχή του 3D περιβάλλοντος στην αριστερή μετωπική θέση (ηλεκτρόδιο F7). Τέλος, στον γ ρυθμό παρατηρείται υπεροχή στις αριστερές μετωπικές περιοχές, στη δεξιά μετωπική (ηλεκτρόδιο F8) και την αριστερή κεντρική (ηλεκτρόδιο C3).

Αντίθετα, στο 2D περιβάλλον δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά για τον θ ρυθμό, στον α - 1 υπορυθμό παρατηρείται στην αριστερή πρόσθια μετωπική (ηλεκτρόδιο Fr1), την αριστερή κεντρική (ηλεκτρόδιο C3), τη δεξιά κεντρική (ηλεκτρόδιο C4) και στις βρεγματικές περιοχές. Στον α - 2 υπορυθμό δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική διαφορά υπέρ το περιβάλλοντος, ενώ στον α ρυθμό παρατηρείται στην αριστερή κεντρική-βρεγματική (ηλεκτρόδια C3 - P3) περιοχή. Ο β ρυθμός υπερτερεί σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις εκτός από την αριστερή μετωπική (ηλεκτρόδιο F7). Τέλος, για το γ ρυθμό παρατηρείται υπεροχή στις κροταφικές περιοχές, στη μέση μετωπική (ηλεκτρόδιο Fz), στη δεξιά κεντρική (ηλεκτρόδιο F4) και σε όλες τις βρεγματικές και ινιακές θέσεις.

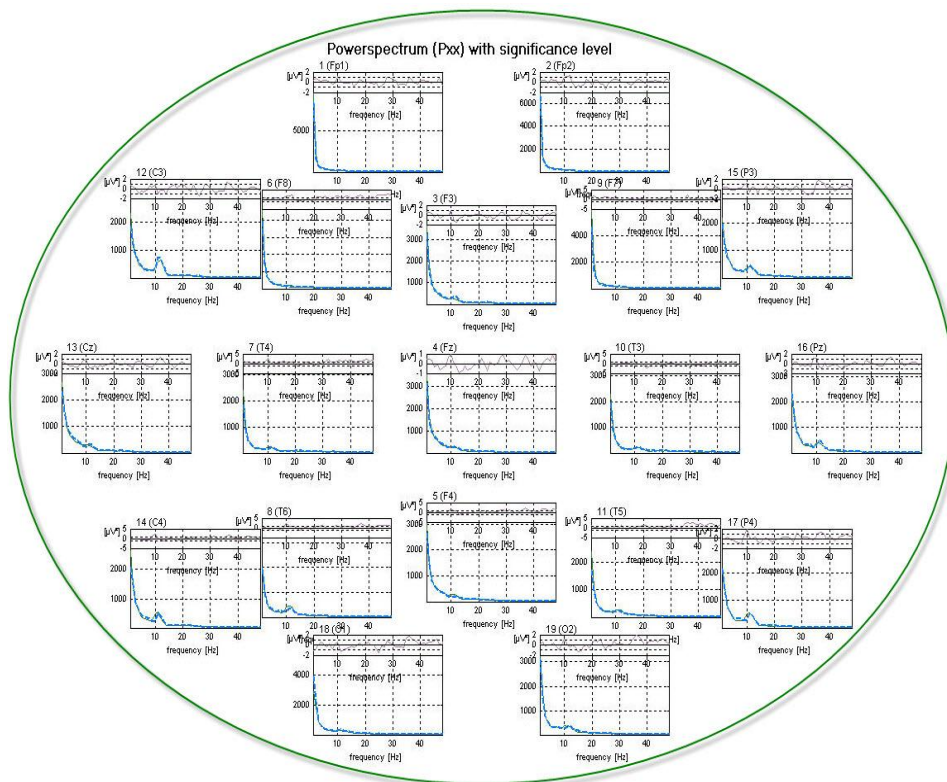
Στον πίνακα 4.3 παρατίθενται συνοπτικά οι στατιστικά σημαντικές διαφορές υπέρ του εκάστοτε περιβάλλοντος για κάθε ρυθμό.

Πίνακας 4-3. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και τρισδιάστατου (3D) περιβάλλοντος.		
Ρυθμός	2D	3D
θ (4 – 7Hz)	Δεν παρατηρείται διαφορά	Αριστερή κροταφική, κεντρική, βρεγματική (T3-C3-P3), μέση κεντρική, βρεγματική (Cz- Pz) περιοχή
α – 1 (8 – 10Hz)	Αριστερή πρόσθια μετωπική (Fp1), αριστερή κεντρική (C3), δεξιά κεντρική (C4), βρεγματικές περιοχές	Δεν παρατηρείται διαφορά
α – 2 (11 – 13Hz)	Δεν παρατηρείται διαφορά	Δεξιά πρόσθια μετωπική (Fp2), δεξιά και αριστερή μετωπική- κεντρική-βρεγματική (F7, F3, F4- F8-C4), μέση κεντρική- βρεγματική (Cz-Pz), κροταφικές, ινιακές
α (8 – 13Hz)	Αριστερή κεντρική- βρεγματική (C3-P3)	Αριστερή πρόσθια μετωπική- μετωπική (Fp1-F7- F3), δεξιές μετωπικές-κεντρικές- κροταφικές-βρεγματικές, μέση κεντρική (Cz), ινιακές
β (14 – 32Hz)	Όλη εκτός από την αριστερή μετωπική (F7)	Αριστερή μετωπική (F7)

$\gamma$ (33–48Hz)	Κροταφικές, μέση μετωπική (Fz), δεξιά κεντρική (F4), βρεγματικές, ινιακές	Αριστερές μετωπικές, δεξιά μετωπική (F8), αριστερή κεντρική (C3)
-----------------------	--	--

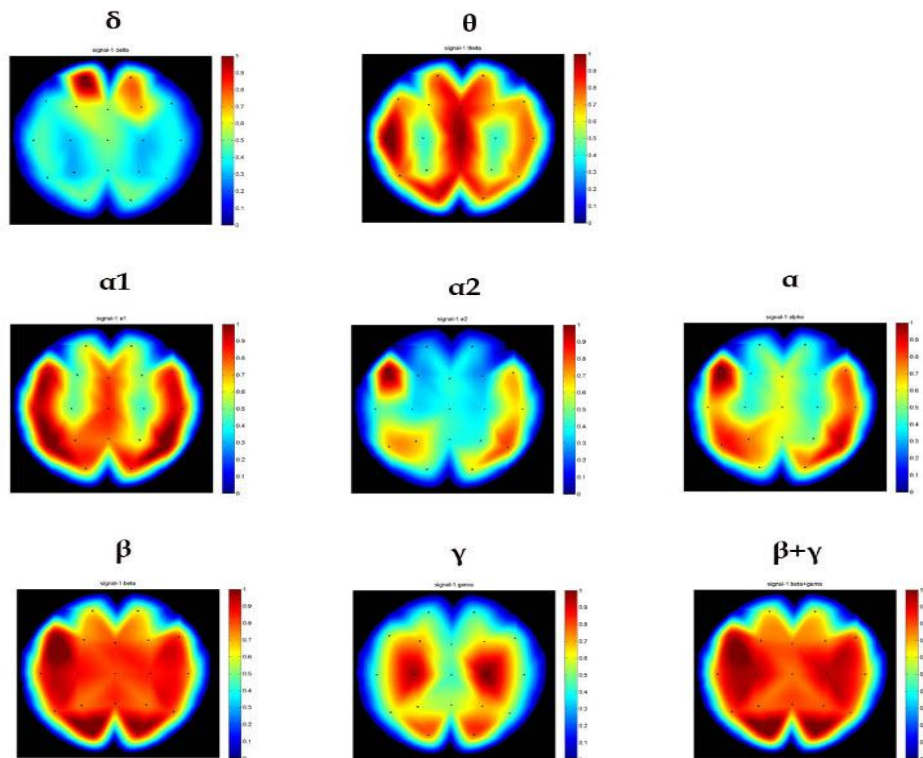
#### 4.6.2 Σύγκριση εικονικού - μη στερεοσκοπικού (2D) και πραγματικού περιβάλλοντος (REAL)

Στο σχήμα 4.19 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 – 48 Hz για τα 19 ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν. Στα σχήματα 4.20 και 4.21 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον (2D) και το εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D) αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

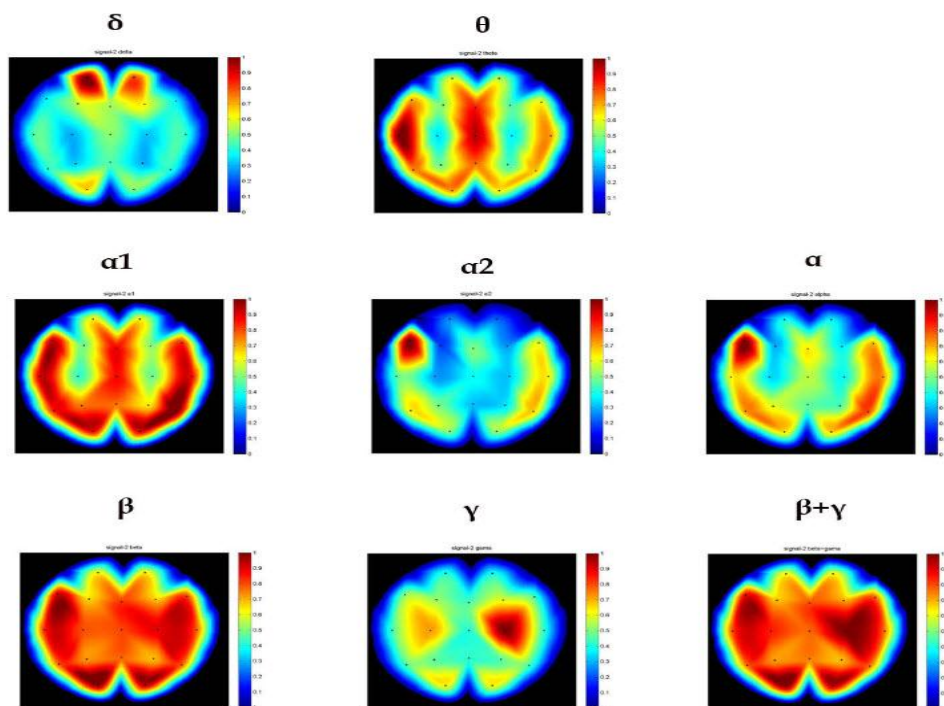


Σχήμα 4.19. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο 2D περιβάλλον και η πράσινη στο REAL.



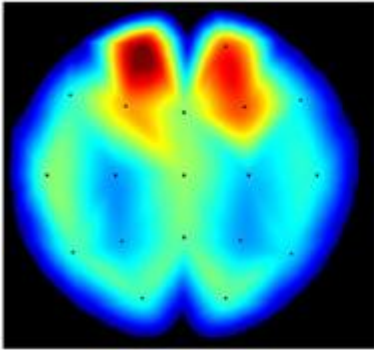
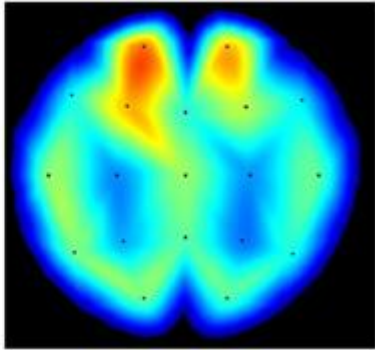
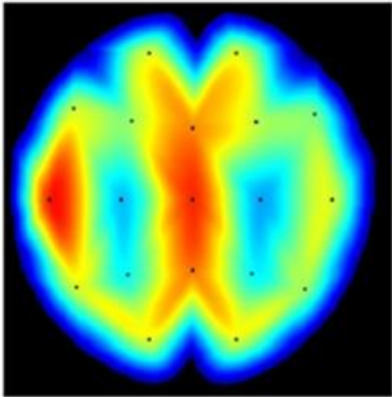
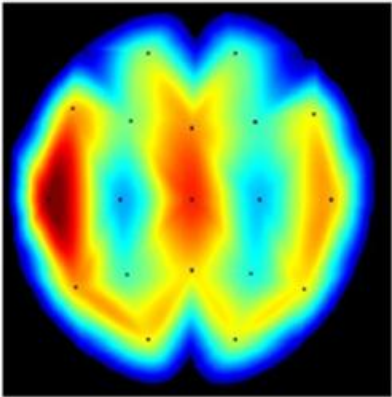


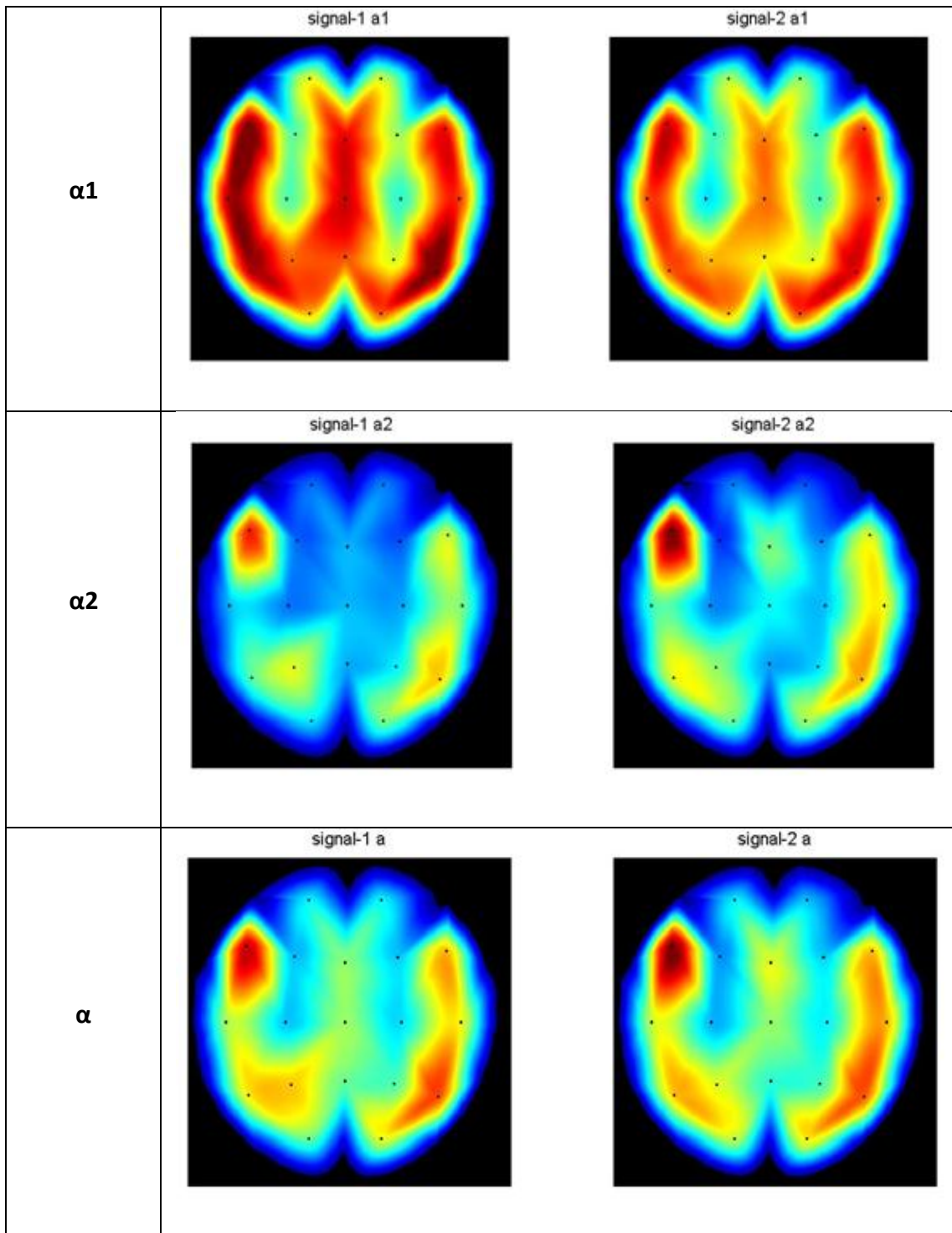
Σχήμα 4.20. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 2D (δυσδιάστατο περιβάλλον).

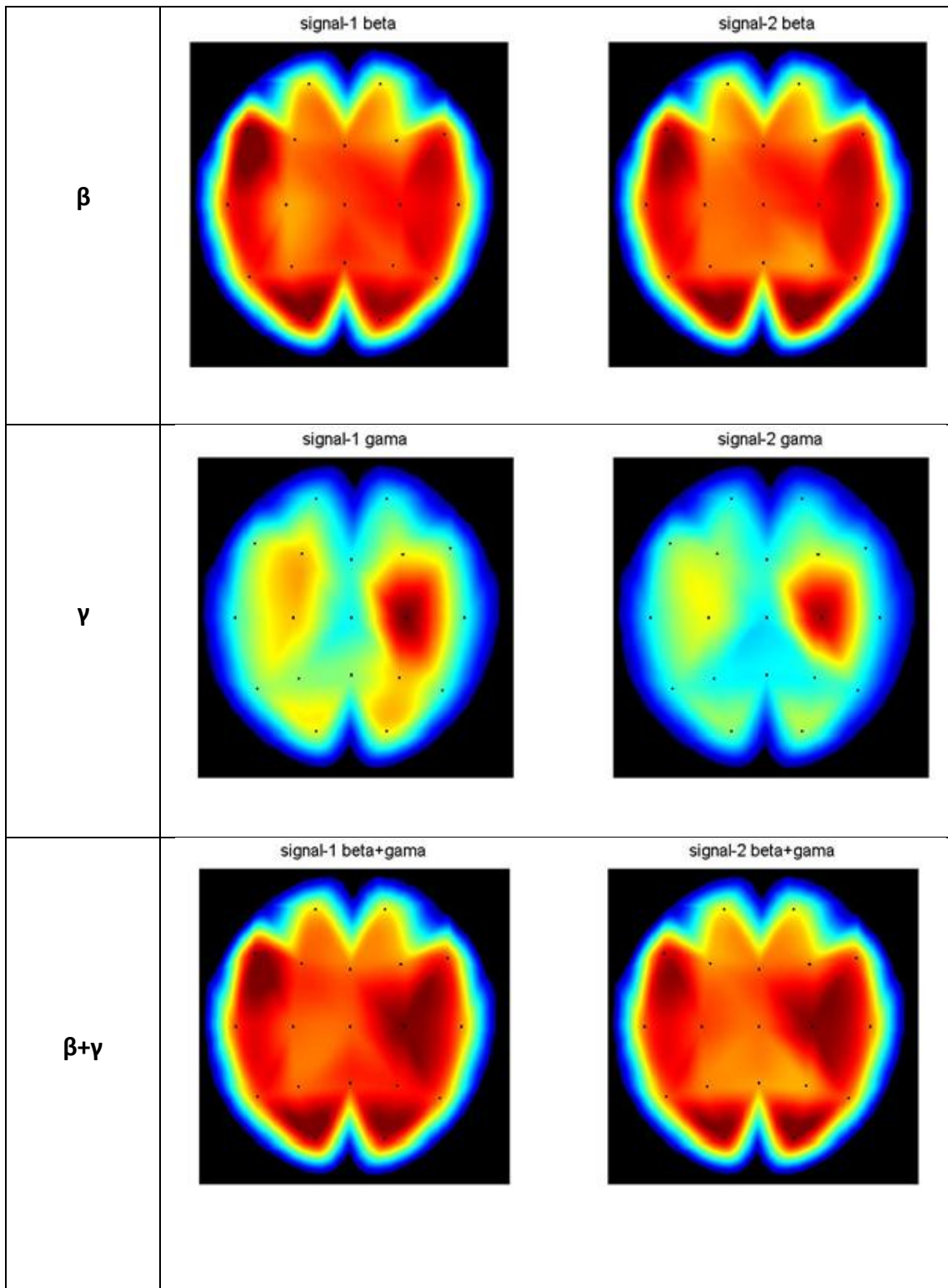


Σχήμα 4.21. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον).

Στον Πίνακα 4.4 απεικονίζονται οι χάρτες με τις απόλυτες τιμές ισχύος κατανομημένες για κάθε ρυθμό στο 2D και το REAL περιβάλλον.

Πίνακας 4.4. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανομημένες για κάθε ρυθμό στο 2D και το REAL περιβάλλον.		
Ρυθμοί	Περιβάλλοντα	
	2D	REAL
$\delta$	<p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
$\theta$	<p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 

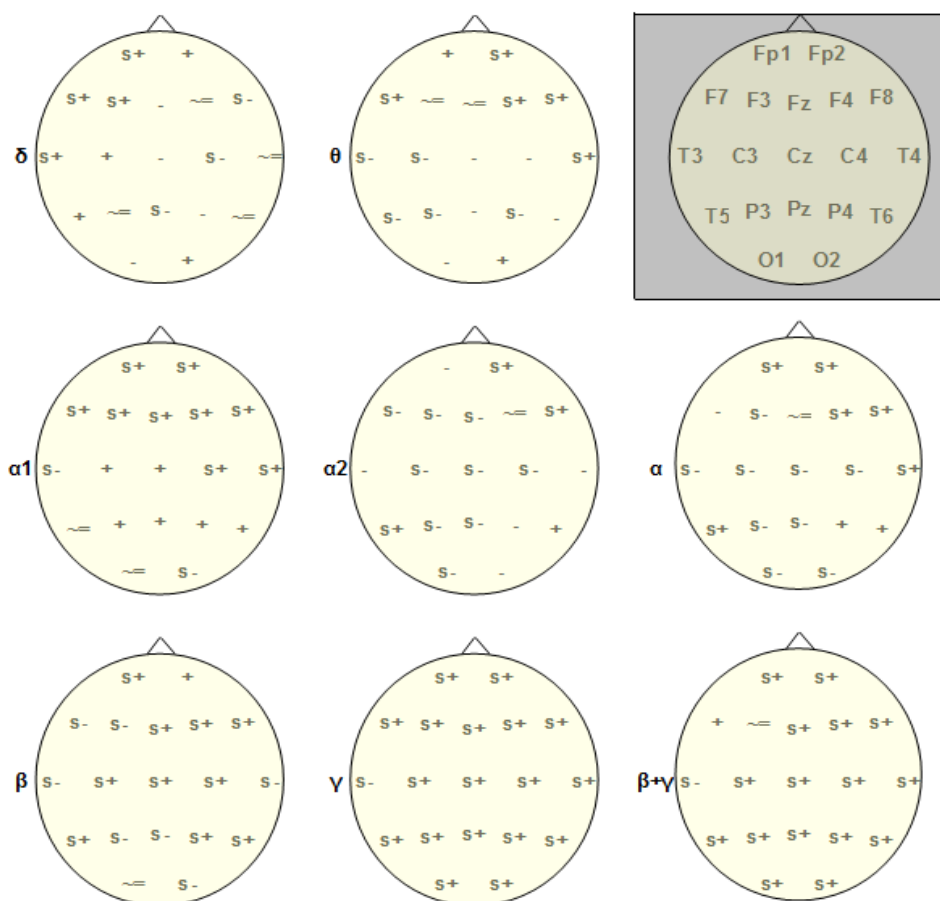




Τοπολογικά, παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά της απόλυτης ισχύος σε όλους τους ρυθμούς. Και στα δύο περιβάλλοντα καταγράφεται διάχυτος  $\beta$  ρυθμός, ενισχυμένος θ στις κεντρικές περιοχές, αυξημένος  $\alpha$  στην αριστερή μετωπική, ινιακές και δεξιές κροταφικές

περιοχές. Ο  $\gamma$  ρυθμός εξαπλώνεται στη δεξιά και αριστερή κεντρική περιοχή καθώς και στις ινιακές περιοχές που αντιστοιχούν κυρίως σε οπτικά ερεθίσματα.

Το σχήμα 4.22 παρουσιάζει τις διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ του 2D και REAL περιβάλλοντος στις εγκεφαλικές περιοχές για τις έξι περιοχές συχνοτήτων.



Σχήμα 4.22. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος. Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ = αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξίο γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Από το Σχήμα 4.22 παρατηρείται η στατιστικά σημαντική διαφορά του περιβάλλοντος REAL για το  $\theta$  ρυθμό στις αριστερές κροταφικές, την αριστερή βρεγματική-κεντρική (ηλεκτρόδια P3 – C3), και τη δεξιά βρεγματική (ηλεκτρόδιο P4) περιοχή, εκεί όπου το 2D περιβάλλον υπερέχει στη δεξιά πρόσθια μετωπική (ηλεκτρόδιο Fp2), δεξιές μετωπικές, δεξιές κροταφικές, αριστερή μετωπική (ηλεκτρόδιο F7) περιοχή.

Για τον  $\alpha - 1$  υπορυθμό, παρατηρείται υπεροχή του REAL περιβάλλοντος στην αριστερή κροταφική- ινιακή-κεντρική-βρεγματική (ηλεκτρόδια T3-O1-C3-P3) και τη δεξιά ινιακή (ηλεκτρόδιο O2), σε αντίθεση με το 2D περιβάλλον όπου υπερέχει στην πρόσθια μετωπική, τη μετωπική και τη δεξιά κεντρική -κροταφική (ηλεκτρόδια C4-T4).

Στον  $\alpha - 2$  υπορυθμό το REAL περιβάλλον υπερέχει στην αριστερή και μέση μετωπική (ηλεκτρόδια F7 - F3 - Fz), την αριστερή κεντρική (ηλεκτρόδιο C3), τη μέση κεντρική-βρεγματική (ηλεκτρόδια Cz - Pz) και τη δεξιά κεντρική (ηλεκτρόδιο C4), ενώ το 2D στη δεξιά πρόσθια μετωπική (ηλεκτρόδιο Fp2), τη δεξιά μετωπική (ηλεκτρόδιο F8) και την αριστερή κροταφική (ηλεκτρόδιο T5).

Σε ότι αφορά τον συνολικό  $\alpha$  ρυθμό παρατηρείται στο REAL περιβάλλον στατιστικά σημαντική υπεροχή στην κεντρική (ηλεκτρόδια C3, Cz, C4), αριστερή μετωπική (ηλεκτρόδιο F3), αριστερή κροταφική (ηλεκτρόδιο T3) και ινιακή (ηλεκτρόδια O1, O2) περιοχή. Το 2D περιβάλλον υπερτερεί στην πρόσθια μετωπική και δεξιά μετωπική-κροταφική (ηλεκτρόδια F4-F8-T4) και την αριστερή κροταφική (ηλεκτρόδιο T5).

Ο  $\beta$  ρυθμός στατιστικά σημαντικά υπερέχει στο REAL περιβάλλον στις θέσεις: αριστερή μετωπική (ηλεκτρόδιο Fp1), αριστερή- δεξιά κροταφική (ηλεκτρόδιο T3-T4), αριστερή-μέση βρεγματική (ηλεκτρόδια P3, Pz) και δεξιά ινιακή (ηλεκτρόδιο O2). Στο 2D περιβάλλον παρατηρείται υπεροχή στις θέσεις: αριστερή πρόσθια μετωπική-κροταφική (ηλεκτρόδια Fp1-T5), μέση και δεξιά μετωπική (ηλεκτρόδια Fz, F4), δεξιά κροταφική- βρεγματική (ηλεκτρόδια T6-P4) και κεντρικές.

Τέλος, για το  $\gamma$  ρυθμό και το REAL περιβάλλον, παρατηρείται υπεροχή στην αριστερή κροταφική (ηλεκτρόδιο T5) σε αντίθεση με το 2D όπου παρατηρείται υπεροχή σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις εκτός τις αριστερής κροταφικής (ηλεκτρόδιο T5).

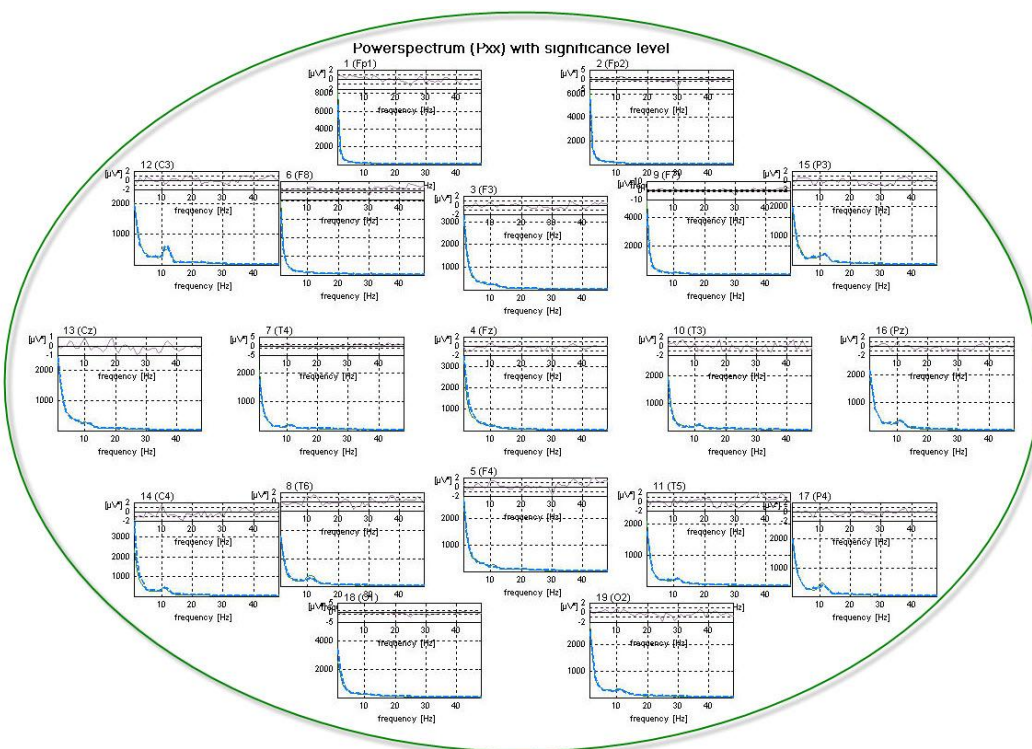
Στον Πίνακα 4.5 παρατίθενται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος.



Πίνακας 4.5. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (2D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος.		
Ρυθμός	2D	REAL
Θήτα (4 – 7 Hz)	Δεξιά πρόσθια μετωπική (Fp2), δεξιές μετωπικές, δεξιές κροταφικές, αριστερή μετωπική (F7) περιοχή	Αριστερές κροταφικές, αριστερή βρεγματική-κεντρική (P3- C3), δεξιά βρεγματική (P4) περιοχή
$\alpha - 1$ (8 – 10Hz)	Πρόσθια μετωπική, μετωπική, δεξιά κεντρική -κροταφική (C4-T4)	Αριστερή κροταφική- ινιακή-κεντρική-βρεγματική (T3- O1- C3- P3), δεξιά ινιακή (O2)
$\alpha - 2$ (11 – 13 Hz)	Δεξιά πρόσθια μετωπική (Fp2), δεξιά μετωπική (F8), αριστερή κροταφική (T5)	Αριστερή και μέση μετωπική (F7- F3-Fz), αριστερή κεντρική (C3), μέση κεντρική-βρεγματική (Cz-Pz), δεξιά κεντρική (C4)
$\alpha$ (8 – 13 Hz)	Πρόσθια μετωπική, δεξιά μετωπική-κροταφική (F4-F8-T4), αριστερή κροταφική (T5)	Κεντρική (C3, Cz, C4), αριστερή μετωπική (F3), αριστερή κροταφική (T3), ινιακή (O1, O2)
$\beta$ (14 – 32Hz)	Αριστερή πρόσθια μετωπική-κροταφική (Fp1-T5), μέση και δεξιά μετωπική (Fz, F4), κεντρικές, δεξιά κροταφική-βρεγματική (T6-P4)	Αριστερή μετωπική (Fp1), αριστερή- δεξιά κροταφική (T3-T4), αριστερή-μέση βρεγματική (P3, Pz), δεξιά ινιακή (O2)
$\gamma$ (33– 48Hz)	Σε όλες τις περιοχές εκτός της αριστερής κροταφικής (T5)	Αριστερή κροταφική (T5)

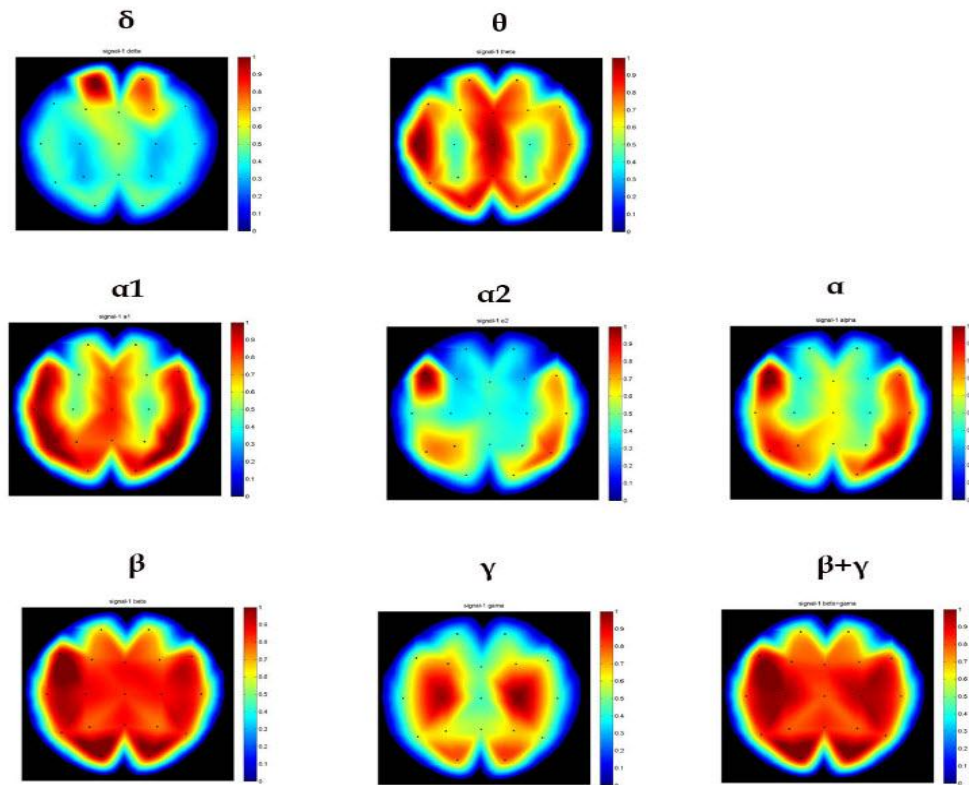
### 4.6.3 Σύγκριση εικονικού στερεοσκοπικού (3D) και πραγματικού περιβάλλοντος (REAL)

Στο σχήμα 4.22 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 – 48 Hz για τα 19 ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν. Στα σχήματα 4.23 και 4.24 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον (2D) και το εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D) αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούστες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

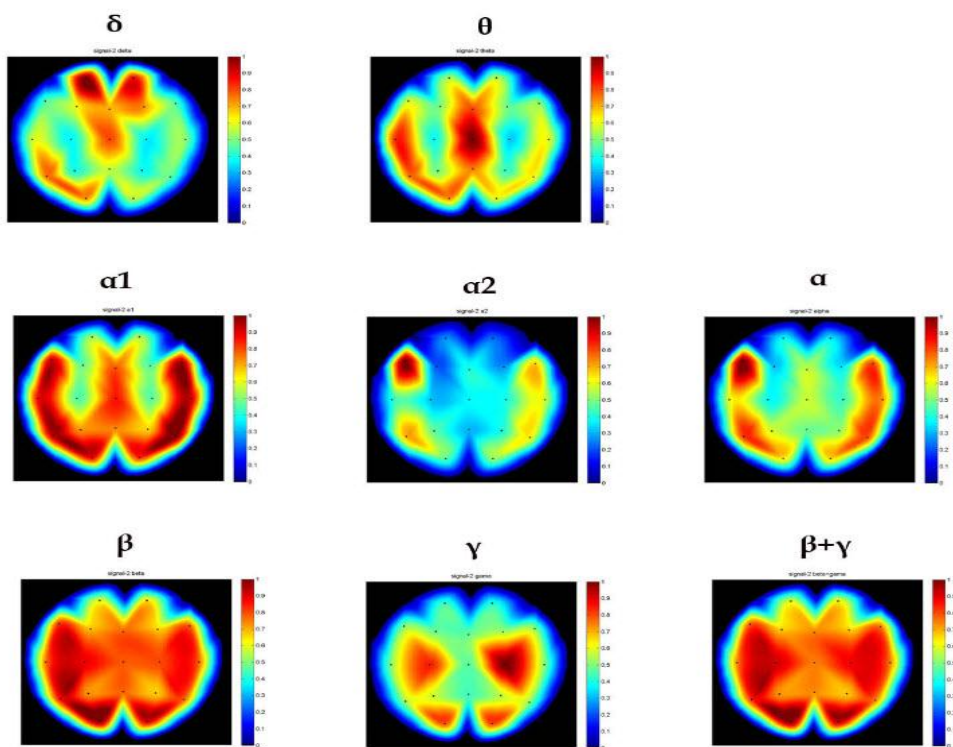


Σχήμα 4.22. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο 3D περιβάλλον και η πράσινη στο REAL.



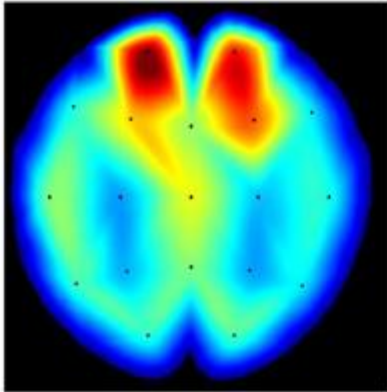
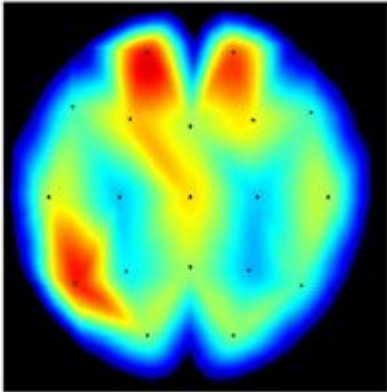
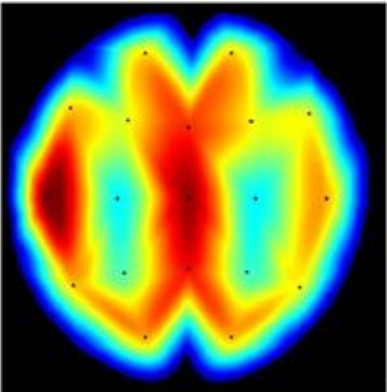
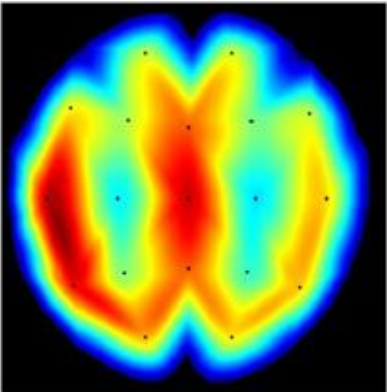


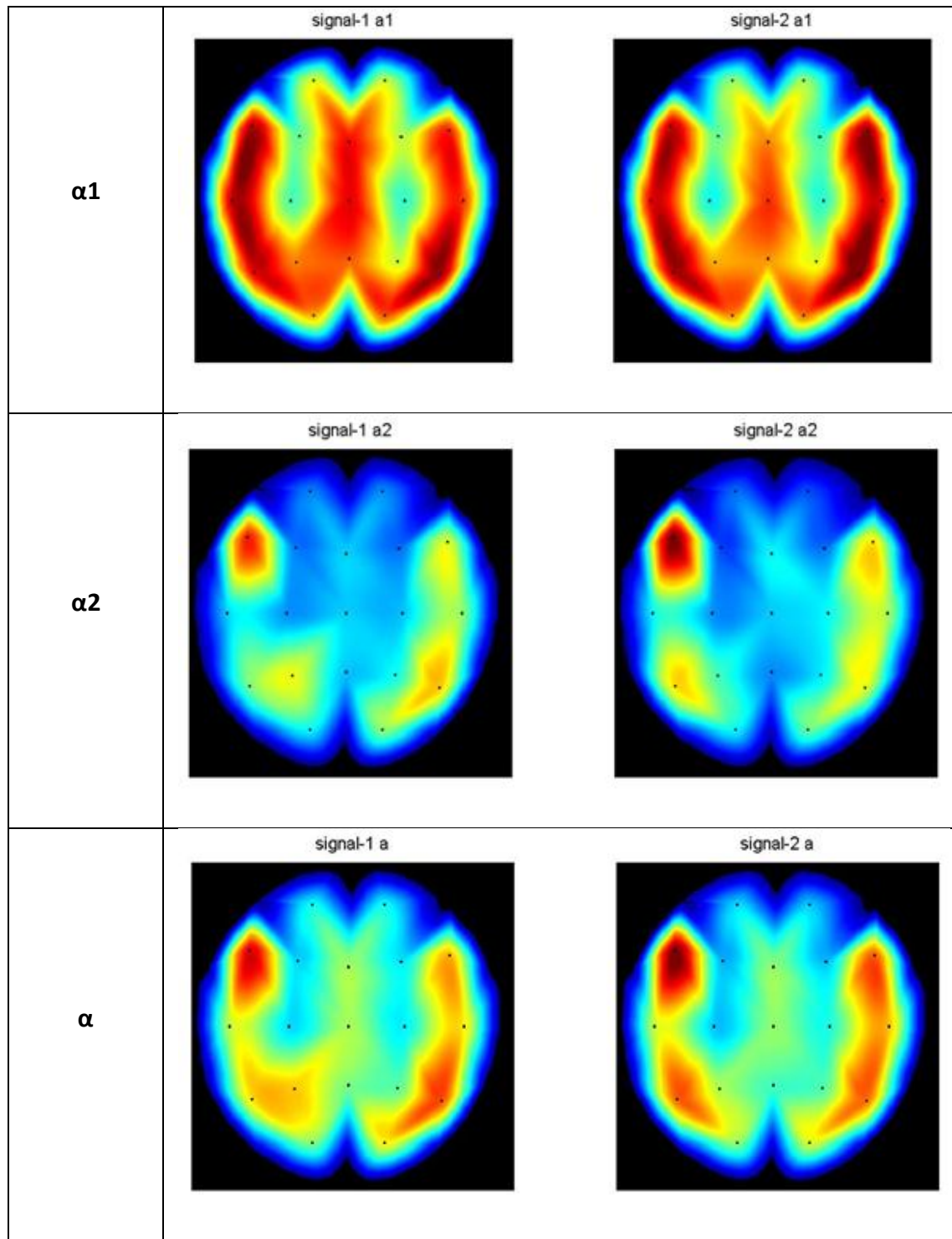
Σχήμα 4.23. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 3D (εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον).

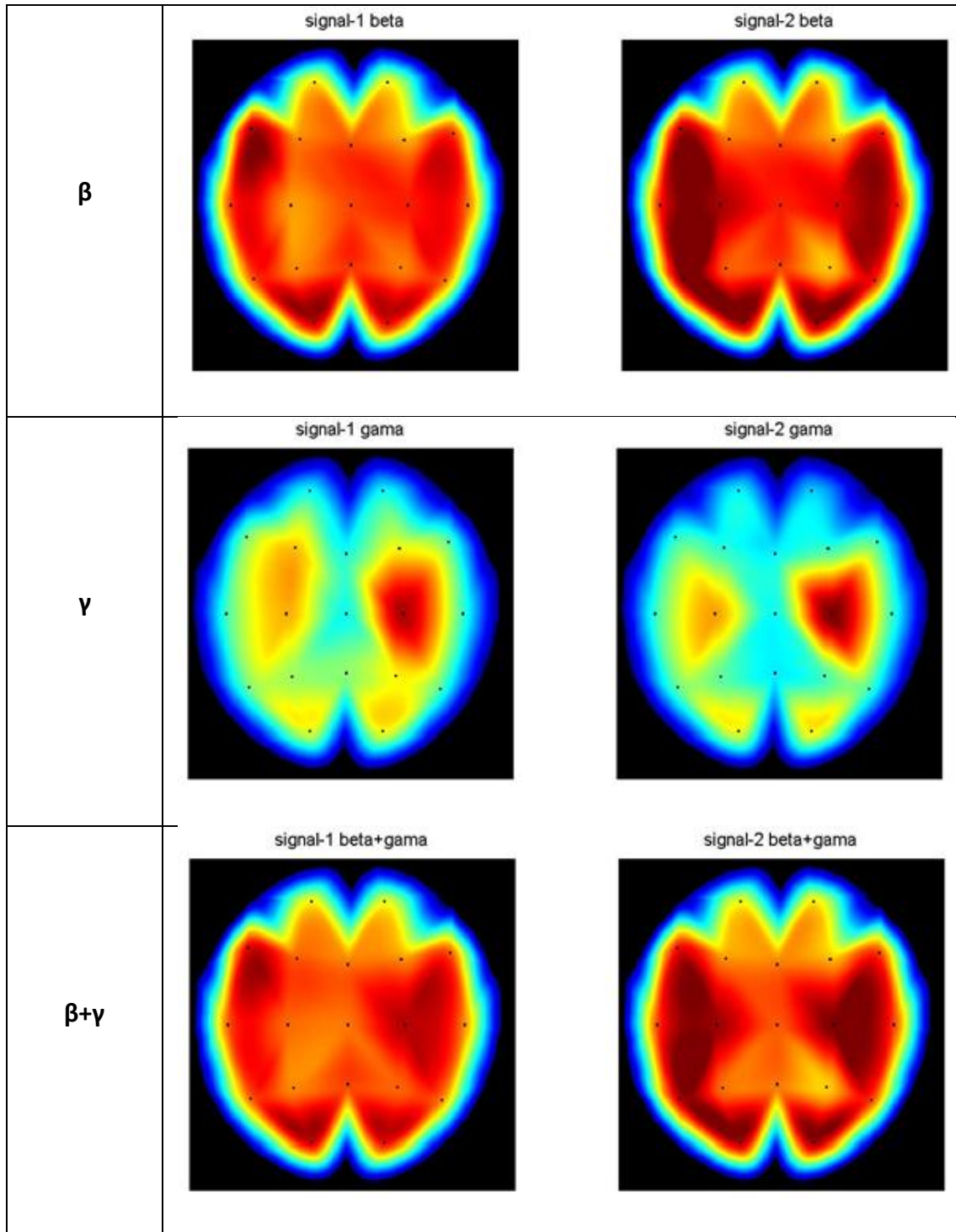


Σχήμα 4.24. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον).

Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζονται οι χάρτες με τις απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό στο 3D και το REAL περιβάλλον.

Πίνακας 4.6. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό στο 3D και το REAL περιβάλλον.		
Ρυθμοί	Περιβάλλοντα	
	3D	REAL
$\delta$	<p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
$\theta$	<p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 

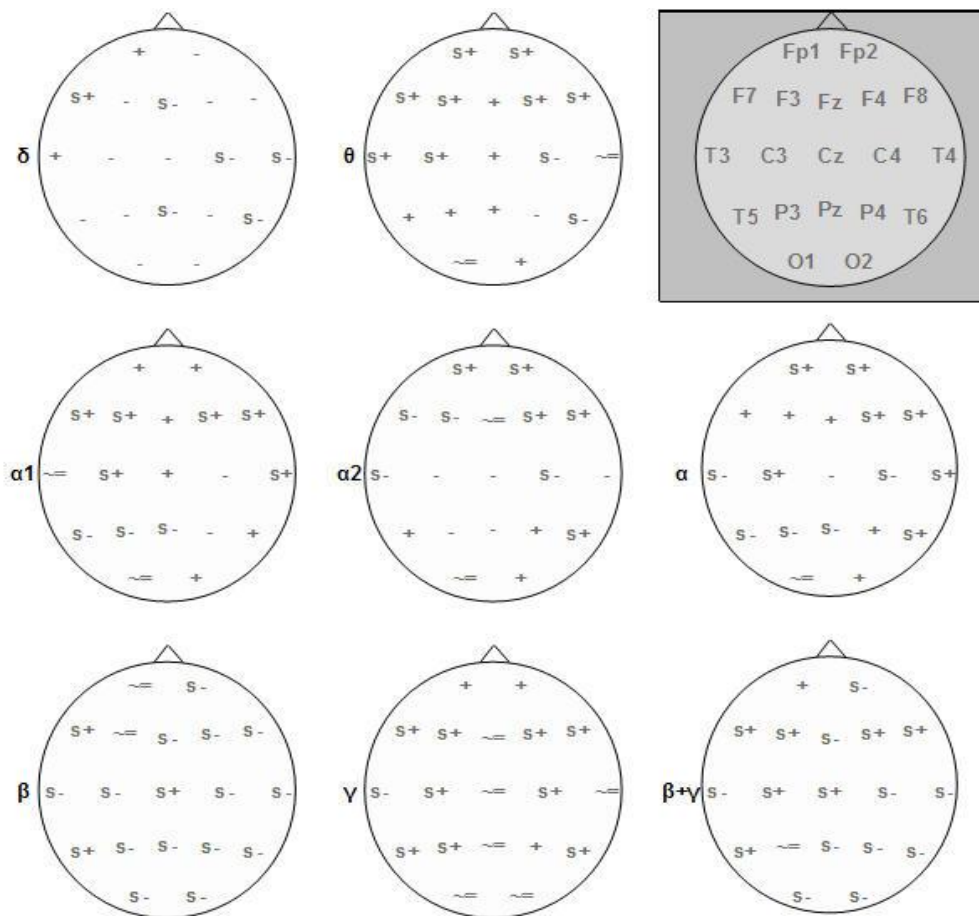




Χωρικά, η συμπεριφορά της απόλυτης ισχύος σε όλους τους ρυθμούς εμφανίζεται παρόμοια (Πίνακας 4.5). Και στα δύο περιβάλλοντα παρατηρείται διάχυτος  $\beta$  και  $\gamma$  ρυθμός, ενισχυμένος  $\theta$  στις κεντρικές και αριστερές κροταφικές περιοχές, αυξημένος  $\alpha$  στην αριστερή μετωπική, στις δεξιές μετωπικές, κεντρικές κροταφικές, καθώς και στις ινιακές περιοχές.



Στο σχήμα 4.25 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα που καταγράφονται στο τρισδιάστατο στερεοσκοπικό και το πραγματικό περιβάλλον.



Σχήμα 4.25. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τρισδιάστατου (3D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος. Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ = αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Από το σχήμα 4.25 παρατηρείται η υπεροχή του REAL περιβάλλοντος στη δεξιά κεντρική-κροταφική (ηλεκτρόδια C4 – T6) θέση, για τον  $\theta$  ρυθμό, εκεί όπου το 3D περιβάλλον υπερέχει στην πρόσθια-δεξιά μετωπική (ηλεκτρόδια F4 – F8), αριστερή κροταφική – κεντρική – μετωπική (ηλεκτρόδια T3 – C3 – F7 – F3) περιοχή.

Στον  $\alpha - 1$  υπορυθμό παρατηρείται υπεροχή για το REAL περιβάλλον στη μέση-αριστερή βρεγματική (ηλεκτρόδια Pz – P3), αριστερή κροταφική (ηλεκτρόδιο T5), ενώ για το 2D στις

---

αριστερές και δεξιές μετωπικές, την αριστερή κεντρική (ηλεκτρόδιο C3) και τη δεξιά κροταφική (ηλεκτρόδιο T6).

Στον α – 2 υπορυθμό παρατηρείται υπεροχή για το REAL περιβάλλον στις αριστερές μετωπικές και την αριστερή κροταφική (ηλεκτρόδιο T3), ενώ για το 2D στην πρόσθια-δεξιά τόσο μετωπική (ηλεκτρόδιο F8) όσο και κροταφική (ηλεκτρόδιο T6) θέση.

Στον α ρυθμό παρατηρείται υπεροχή για το REAL περιβάλλον στην αριστερή κροταφική, τη μέση-αριστερή βρεγματική (ηλεκτρόδια Pz, P3) και τη δεξιά κεντρική (ηλεκτρόδιο C4), ενώ για το 2D στις πρόσθιες μετωπικές, τις δεξιά μετωπικές - κροταφικές και την αριστερή κεντρική (ηλεκτρόδιο C3) θέση.

Στον β ρυθμό παρατηρείται υπεροχή για το REAL περιβάλλον στη δεξιά πρόσθια μετωπική (ηλεκτρόδιο Fp2), τη μέση – δεξιά μετωπική (ηλεκτρόδια Fz – F4), τη δεξιά κεντρική – κροταφική (ηλεκτρόδια C4 – T4 – T6) καθώς και στις βρεγματικές και ινιακές θέσεις. Για το 2D περιβάλλον, παρατηρείται υπεροχή του στην αριστερή μετωπική (ηλεκτρόδια F7, F3), στη μέση κεντρική (ηλεκτρόδιο Cz) και στην αριστερή κροταφική θέση (ηλεκτρόδιο T5).

Τέλος, στο γ ρυθμό παρατηρείται υπεροχή για το REAL περιβάλλον στην αριστερή κροταφική θέση (ηλεκτρόδιο T3), ενώ για το 2D στην αριστερή – δεξιά μετωπική, αριστερή – δεξιά κεντρική (ηλεκτρόδια C3, C4), αριστερή βρεγματική (ηλεκτρόδιο P3) και δεξιά κροταφική θέση (ηλεκτρόδιο T6).

Στον Πίνακα 4.7 παρατίθενται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ δυσδιάστατου (3D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος.

Πίνακας 4.7. Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τρισδιάστατου (3D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος.		
Ρυθμός	3D	REAL
θ (4 – 7Hz)	Πρόσθια-δεξιά μετωπική (F4-F8), αριστερή κροταφική-κεντρική-μετωπική (T3-C3-F7- F3) περιοχή	Δεξιά κεντρική-κροταφική (C4-T6)
α – 1 (8 – 10Hz)	Αριστερές και δεξιές μετωπικές, αριστερή κεντρική (C3), δεξιά κροταφική (T6)	Μέση-αριστερή βρεγματική (Pz-P3), αριστερή κροταφική (T5)
α – 2 (11 – 13Hz)	Πρόσθια-δεξιά μετωπική (F8)-κροταφική (T6)	Αριστερές μετωπικές, αριστερή κροταφική (T3)
α (8 – 13Hz)	Πρόσθιες μετωπικές, δεξιές μετωπικές- κροταφικές, αριστερή κεντρική (C3)	Αριστερή κροταφική-μέση-αριστερή βρεγματική (Pz, P3), δεξιά κεντρική (C4)
β (14 – 32Hz)	Αριστερή μετωπική (F7, F3), μέση κεντρική (Cz), αριστερή κροταφική (T5)	Δεξιά πρόσθια μετωπική (Fp2), μέση-δεξιά μετωπική (Fz-F4), δεξιά κεντρική-κροταφική (C4-T4-T6), βρεγματικές, ινιακές
γ (33– 48Hz)	Αριστερή-δεξιά μετωπική, αριστερή-δεξιά κεντρική (C3, C4), αριστερή	Αριστερή κροταφική (T3)

	βρεγματική (P3), δεξιά κροταφική (T6)	
--	--	--

## 4.7 Συζήτηση

Η πιλοτική μελέτη διερευνά την εγκεφαλική δραστηριότητα γυναικών κατά τη διάρκεια παρατήρησης τριών περιβαλλόντων με ίδιο περιεχόμενο, αλλά διαφορετική προέλευση. Η φασματική ανάλυση των σημάτων ΗΕΓ στις περιοχές θ, α, β και γ συνδέεται με συγκεκριμένες γνωστικές διεργασίες, οι οποίες μέχρι σήμερα έχουν μελετηθεί μόνο σε πραγματικά περιβάλλοντα και συνθετικά, αλλά όχι εικονικά. Τα ευρήματα οδηγούν σε συμπεράσματα, όπως παρουσιάζονται παρακάτω, ανά ρυθμό.

### 4.7.1 Δέλτα ρυθμός (0.5 – 3.5 Hz)

Οι ερευνητές αντιμετωπίζουν με μεγάλη επιφυλακτικότητα το δ ρυθμό (κυρίως στις μετωπικές περιοχές) γιατί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στα οφθαλμικά παράσιτα (Scerbo et al., 2001) και ήταν ο λόγος που στην πιλοτική αυτή μελέτη δεν λήφθηκε υπόψη στην ανάλυση των σημάτων που τον αφορούσαν, σε αντίθεση με την εμπειρική έρευνα που έγινε η ανάλυση του δ ρυθμού.

### 4.7.2 Θήτα ρυθμός (4 – 7 Hz)

Οι συχνότητες του θ ρυθμού εμφανίζονται αρκετά ισχυρές με παρόμοια τοπολογία τόσο στο 2D όσο και στο 3D περιβάλλον με εξάπλωση σε όλο το κεφάλι. Το γεγονός ότι ο θ ρυθμός εμφανίζει αυξημένη ισχύ στη δεξιά περιοχή του εγκεφάλου στο 2D περιβάλλον σε σχέση με το REAL, πιθανώς σημαίνει ότι οι συμμετέχουσες αύξησαν το νοητικό τους φόρτο σε μια προσπάθεια εγρήγορσης και συγκέντρωσης στο 2D αφού καθώς η διεργασία εξελίσσονταν, ο φόρτος εργασίας από την άποψη της διατήρησης της προσοχής αυξήθηκε όσον αφορά στις οπτικοχωρικές δεξιότητες (Caldwell et al., 2003).

Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του θ ρυθμού στην αριστερή κροταφική περιοχή κατά την παρατήρηση του REAL περιβάλλοντος έναντι του 2D δεν είναι αναμενόμενη. Αντίθετα, η στατιστικά σημαντική υπεροχή του 3D έναντι του REAL ερμηνεύεται ως αύξηση της προσοχής και του οπτικού προσανατολισμού σε αυτό (Basar et al., 2001).



Το γεγονός ότι ο θ ρυθμός και στα τρία περιβάλλοντα δεν εμφανίζεται αυξημένος στις μετωπικές περιοχές, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η διεργασία που οι συμμετέχουσες παρακολούθησαν δεν ήταν ιδιαίτερα απαιτητική, όπως άλλωστε αναμενόταν.

#### **4.7.3 Άλφα ρυθμός (8 – 13 Hz)**

Γενικά, η αύξηση του α ρυθμού σχετίζεται με καταστάσεις χαλάρωσης στις περισσότερες των εγκεφαλικών λειτουργιών, ενώ η δραστηριότητά του μειώνεται κατά την εγρήγορση. Ο α ρυθμός εμφανίζεται γενικότερα αυξημένος με στατιστική σημαντικότητα σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις στο 3D έναντι του 2D περιβάλλοντος, αλλά με εντελώς διαφορετικά πρότυπα στους υπορυθμούς α – 1 και α – 2.

Και στα δύο περιβάλλοντα ο α ρυθμός εμφανίζεται κυρίως στη δεξιά κροταφική περιοχή καθώς και στην αριστερή μετωπική, ενώ είναι ασθενής στην ινιακή περιοχή. Η τελευταία παρατήρηση θεωρείται αναμενόμενη, αφού η ινιακή περιοχή ενεργοποιείται σε οπτικά ερεθίσματα.

Ο υπορυθμός α – 1 (8 – 10 Hz) είναι σχεδόν σε όλο το κεφάλι υψηλότερος με στατιστική σημαντικότητα στο 3D περιβάλλον σε σχέση με το REAL. Αυτό πιθανώς σημαίνει την προσπάθεια των συμμετεχουσών να αυξήσουν την προσοχή και την εγρήγορσή τους στο 3D έναντι του REAL περιβάλλοντος (Jausovec & Jausovec, 2000).

Ο υπορυθμός α – 2 (11 – 13 Hz) είναι υψηλότερος στο 3D έναντι του 2D περιβάλλοντος στις δεξιές κροταφικές περιοχές, όπως και στην αριστερή μετωπική (F7). Η διαφοροποίηση είναι εντονότερη στην ινιακή περιοχή, γεγονός που σηματοδοτεί διαφορετική εγκεφαλική λειτουργία σε οπτικοχωρικές δραστηριότητες (Cremades et al., 2004).

Η μείωση του α – 2 στις ινιακές περιοχές για το 2D περιβάλλον συνεπάγεται περισσότερη αισθητηριακή επεξεργασία και πιθανώς σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας σε αυτό. Ίσως, ο εγκέφαλος απαιτεί μεγαλύτερη δραστηριότητα για την αποκωδικοποίηση τρισδιάστατων στερεών όταν το ερέθισμα παρουσιάζεται σε μία δυσδιάστατη οθόνη.

Επίσης, ο υπορυθμός α – 2 είναι στατιστικά υψηλότερος στο 2D περιβάλλον έναντι του REAL στις δεξιές προμετωπιαίες και μετωπικές περιοχές. Αυτό υπαινίσσεται ότι το REAL

---

περιβάλλον, εκτός από πρωτογενή οπτική επεξεργασία ενεργοποίησε και «ανώτερες» εγκεφαλικές λειτουργίες, όπως η μνήμη (Klimesh, 1999).

Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και από τη σύγκριση του 3D με το REAL περιβάλλον. Το 3D πιθανά να απαιτήσει περισσότερη οπτική επεξεργασία σε σχέση με το REAL. Αυτό σημαίνει επεξεργασία κυρίως οπτικών πληροφοριών, αναμενόμενο για τα αποκλειστικά οπτικά ερεθίσματα και των τριών περιβαλλόντων (Gremades et al., 2004). Η παρατήρηση αυτή ερμηνεύεται ως αύξηση της προσοχής και του οπτικού προσανατολισμού σε αυτό έναντι του 3D (Scerbo et al., 2001).

#### **4.7.4 Βήτα ρυθμός (14 – 32 Hz)**

Ο β ρυθμός εμφανίζεται γενικά ιδιαίτερα ισχυρός και τοπολογικά εξαπλωμένος και στα τρία περιβάλλοντα. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τη μειωμένη παρουσία του α. Ο αποσυγχρονισμός του α ρυθμού σχετίζεται με αυξημένη προσοχή, ενώ η α δραστηριότητα με την αντίθετη συμπεριφορά από την α δηλώνει ότι αυξάνουν οι απαιτήσεις εργασίας (Papanikolaou et al., 1986).

Η στατιστικά σημαντική αύξηση του β ρυθμού στο 2D περιβάλλον εντοπίζεται σχεδόν σε όλες τις εγκεφαλικές περιοχές και μάλλον συνδέεται με νοητική εργασία (Kirov et al., 1996). Επίσης, η αύξηση του β στις πρόσθιες περιοχές σχετίζεται με αύξηση του άγχους ή μείωση του βαθμού χαλάρωσης κάτι που ενισχύει τη λιγότερο χαλαρή κατάσταση των συμμετεχουσών στο 2D περιβάλλον που υποδεικνύει η μορφή των άλλων ρυθμών (Jacobs et al., 1996). Πιθανώς, οι συμμετέχουσες ανέμεναν «κάτι να συμβεί» στο 2D περιβάλλον και η προσοχή τους ήταν αυξημένη.

#### **4.7.5 Γάμα ρυθμός (33 – 48 Hz)**

Σε αντίθεση με τον α, ο γ ρυθμός που τοπολογικά εξαπλώνεται παρόμοια και στα τρία περιβάλλοντα, αντανακλά μία κατάσταση ενεργητικής επεξεργασίας πληροφοριών. Η συμμετοχή βρεγματο-ινιακών περιοχών είναι αναμενόμενη, αφού υποδεικνύει δραστηριότητα σχετική με την οπτική επεξεργασία πληροφοριών και συνδέεται στενά με την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών και με αντιληπτικούς μηχανισμούς προσοχής (Müller et al., 2000; Tallon-Baudry, 2004).

Η μειωμένη ισχύς του  $\gamma$  ρυθμού στο 3D περιβάλλον συμφωνεί με την συμπεριφορά του  $\alpha$  ρυθμού και την ερμηνεία για μειωμένη συμμετοχή του οπτικού φλοιού στο περιβάλλον αυτό με τις λιγότερες οπτικές απαιτήσεις που επιφέρουν μεγαλύτερη χαλάρωση.

Είναι σαφής η στατιστικά σημαντική υπεροχή του 2D περιβάλλοντος έναντι του REAL σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις. Η παρατήρηση σημαίνει ότι το 2D περιβάλλον απαίτησε μεγαλύτερη οπτική επιλεκτική προσοχή (Gruber & Matthias, 2005), κάτι που πιθανά οφείλεται στη μη πιστή αναπαράσταση του πραγματικού περιβάλλοντος όσον αφορά στην αίσθηση του βάθους.

#### **4.8 Συμπεράσματα**

Συμπερασματικά, και στα τρία περιβάλλοντα έλαβαν χώρα οπτικοχωρικές διεργασίες κατά τις οποίες δεν απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια για αύξηση της προσοχής και της εγρήγορσης κατά την επεξεργασία πρωτογενών οπτικών δεδομένων. Παράλληλα, παρατηρείται παρόμοια εν γένει τοπολογία της φασματικής κατανομής της ισχύος και στα τρία περιβάλλοντα, γεγονός που ερμηνεύεται ως ενεργοποίηση παρόμοιων εγκεφαλικών λειτουργιών. Εντούτοις, οι σημαντικές διαφορές στις τιμές της φασματικής ισχύος υποδηλώνουν ορισμένες διαφοροποιήσεις.

Το 2D περιβάλλον φαίνεται να δημιουργεί μεγαλύτερο άγχος, νοητικό φόρτο ή «προσμονή». Αυτό ερμηνεύεται ότι στο 2D περιβάλλον δεν έγιναν αντιληπτές οι τρεις διαστάσεις και οι συμμετέχουσες πιθανώς αναζητούσαν την τρίτη διάσταση σε ένα περιβάλλον δύο διαστάσεων.

Το 3D περιβάλλον απαίτησε γενικά το λιγότερο νοητικό φόρτο. Ωστόσο, ενεργοποίησε τον μετωπικό φλοιό απαιτώντας μνημονικές λειτουργίες και οπτική επιλεκτική προσοχή (Gruber & Matthias, 2005), πιθανά επειδή ήταν κάτι νέο ή επειδή οι συμμετέχουσες είχαν αυξημένο ενδιαφέρον και προσδοκίες από τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Το γεγονός ότι παρουσιάστηκε πρώτο ίσως ενεργοποίησε και διατήρησε την προσοχή των συμμετεχουσών, ιδιαίτερα σε σχέση με τα άλλα δύο περιβάλλοντα.

Το REAL περιβάλλον θεωρήθηκε πλούσιο σε οπτικά ερεθίσματα για αυτό παρουσίασε αυξημένη επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών. Ωστόσο, δεν αύξησε γενικά το νοητικό φόρτο πιθανώς λόγω της απλότητας και οικειότητας των αντικειμένων.

Τέλος, με βάση και τα ερωτηματολόγια των φοιτητών διαπιστώθηκε ότι η παρουσίαση του εικονικού περιβάλλοντος δεν ήταν ιδιαίτερα πειστική ως προς την αίσθηση της στερεοσκοπίας κάτι που πιθανόν να οφείλεται στην απλότητα των αντικειμένων που χρησιμοποιήθηκαν όσο και στο λογισμικό παρουσίασης και αποτελεί ένα ιδιαίτερα κρίσιμο θέμα μελέτης και βελτίωσης για την κύρια έρευνα.

Η πιλοτική έρευνα ήταν διερευνητική και παρείχε νέα δεδομένα για την εγκεφαλική δραστηριότητα κατά την παρατήρηση γεωμετρικών στερεών σε επιτραπέζιο εικονικό (στερεοσκοπικό και μη) όσο και σε πραγματικό περιβάλλον. Αποτέλεσε το εφαλτήριο για την πραγματοποίηση της κύριας μελέτης ώστε να προκύψουν χρήσιμα δεδομένα σχετικά με την επίδραση του παράγοντα της στερεοσκοπίας κατά τη διάρκεια παρατήρησης ΕΕΠ όσο και σε ζητήματα σχετικά με την κατάλληλη σχεδίαση αυτών.

#### **4.8 Σύνοψη**

Η πιλοτική έρευνα οδήγησε σε κατευθυντήριες γραμμές για τη σχεδίαση και διεξαγωγή της κύριας, όπως:

- Η σχεδίαση περισσότερο πολύπλοκων εικονικών περιβαλλόντων
- Η σχεδίαση εικονικών περιβαλλόντων με οικεία αντικείμενα καθημερινής χρήσης
- Η σχεδίαση εικονικών περιβαλλόντων περισσότερο σχετικών με εκπαιδευτικό περιεχόμενο
- Η επιλογή του λογισμικού δημιουργίας του εικονικού περιβάλλοντος
- Η βελτίωση της πειραματικής διαδικασίας ως προς τη διεξαγωγή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος.

---

# 5 Κύρια Έρευνα

---

## 5.1 Εισαγωγή

Σκοπός της έρευνας είναι η εξαγωγή χρήσιμων δεδομένων σχετικά με την επίδραση του παράγοντα της στερεοσκοπίας κατά τη διάρκεια παρατήρησης εκπαιδευτικού επιτραπέζιου εικονικού (στερεοσκοπικού και μη, 3D και 2D αντίστοιχα) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος, με την συγκριτική μελέτη της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας που παράγεται κατά τη διάρκεια αυτής της παρατήρησης. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση των σημάτων μεταξύ των διαφόρων περιβαλλόντων, τα τρία περιβάλλοντα της έρευνας είναι πανομοιότυπα ως προς το περιεχόμενο και τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους.

Παράλληλα, η παρούσα εργασία αποτελεί μια πρώτη απόπειρα σύνδεσης των νευροεπιστημών και της μάθησης. Μελετάται ο παράγοντας «στερεοσκοπία» και κατά πόσο αυτός μπορεί να επιδράσει θετικά την ανάπτυξη ΕΕΠ που με τη σειρά του θα συμβάλλει σε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα στα πλαίσια της έννοιας «εκπαιδευτική νευροεπιστήμη».

Το πραγματικό περιβάλλον ήταν ένας οικείος και σύγχρονος σταθμός εργασίας υπολογιστή χωρίς την απαίτηση ιδιαίτερων γνωστικών μετασχηματισμών, κάτι που ενισχύει το στόχο της έρευνας, δηλαδή την παθητική παρατήρηση των περιβαλλόντων για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τους ερευνητικούς στόχους. Η διαδικασία περιελάμβανε την παθητική παρατήρηση του κάθε περιβάλλοντος, χωρίς αλληλεπίδραση με τις συμμετέχουσες. Και στα 3 περιβάλλοντα η μέθοδος καταγραφής ήταν η ίδια. Η όλη καταγραφή πραγματοποιήθηκε με το σύστημα ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας της gtec, του Εργαστηρίου Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Το ΗΕΓ είναι μια απευθείας μέτρηση ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας, μια μη επεμβατική διαδικασία (αφού δεν ήταν απαραίτητη η χορήγηση στις συμμετέχουσες κάποιας χημικής ουσίας, δεν ήταν εκτεθειμένες σε κάποια μορφή ακτινοβολίας, δεν ήταν

---

υποχρεωτικό να είναι ξαπλωμένες, ακίνητες, μέσα σε ένα αυστηρά εργαστηριακό περιβάλλον με την έντονη παρουσία συσκευών ή/και δυνατών θορύβων), έχει πολύ υψηλή χρονική ανάλυση (ίδιας τάξης με αυτή που πραγματοποιούνται οι ηλεκτρικές νευρωνικές δραστηριότητες του εγκεφάλου και επομένως μπορεί να καταγράψει την εξέλιξη ακόμη και των ταχύτερων γνωστικών διαδικασιών) και είναι εφαρμόσιμη σχεδόν σε κάθε περιβάλλον.

## 5.2 Ερευνητικοί στόχοι

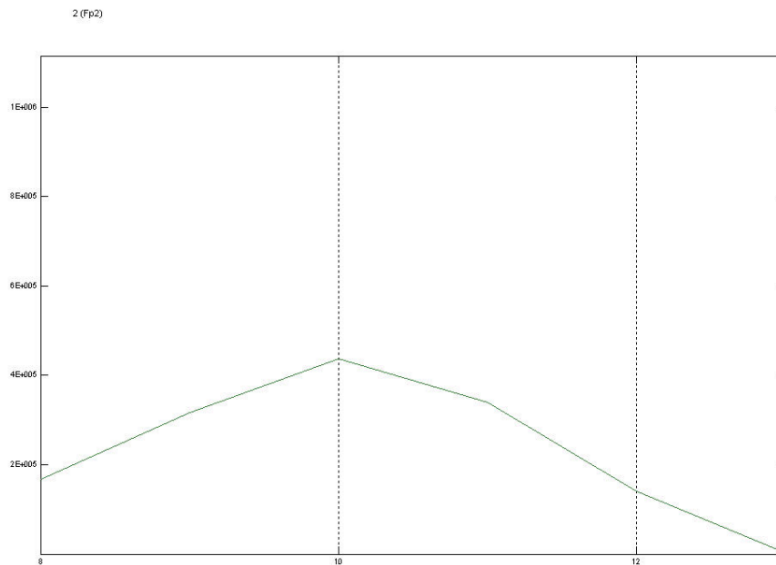
Ερευνητικοί στόχοι της κύριας έρευνας αποτέλεσαν:

- Η μελέτη της επίδρασης της στερεοσκοπίας στην ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα γυναικών κατά την παρατήρηση εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων και των αντίστοιχων πραγματικών.
- Η μελέτη της επίδρασης της στερεοσκοπίας στην ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα κατά την παρατήρηση εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων και των αντίστοιχων πραγματικών, με αλλαγή της διάταξης αντικειμένων.

## 5.3 Δείγμα

Το δείγμα αποτέλεσαν 39 φοιτήτριες του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων ηλικίας από 19 έως 22 ετών, ενήλικες δηλαδή, ώστε ο  $\alpha$  ρυθμός να έχει σταθεροποιηθεί.

Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζεται ο  $\alpha$  ρυθμός μιας συμμετέχουσας με τιμή στα φυσιολογικά όρια (10 – 11 Hz) ενός υγιή ενήλικα για το ηλεκτρόδιο Fp2, όπως συνέβη και με όλες τις συμμετέχουσες που συμμετείχαν στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε.



Σχήμα 5.1. Ο α ρυθμός συμμετέχουσας με τιμή στα φυσιολογικά όρια (10 – 11 Hz) ενός υγιή ενήλικα για το ηλεκτρόδιο Fr2.

Όλες οι συμμετέχουσες είχαν φυσιολογική όραση και όπου αυτό δεν ήταν δυνατό ήταν επιτρεπτή η χρήση γυαλιών ή φακών επαφής. Η προηγούμενη εξοικείωση με τη χρήση του υπολογιστή και εικονικών περιβαλλόντων εξετάστηκε, αλλά δε χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ως ανεξάρτητη μεταβλητή. Σύμφωνα με δήλωσή τους, οι συμμετέχουσες δεν είχαν λάβει φαρμακευτική αγωγή ή ουσίες που θα μπορούσαν να είχαν επιδράσει στη λειτουργία του νευρικού συστήματος κατά την περίοδο πριν την πειραματική διαδικασία και δεν είχαν καταναλώσει ποσότητες καφεΐνης ή αλκοολούχων ποτών το τελευταίο 24ωρο. Επίσης, είχαν δοθεί συστάσεις να έχουν πλύνει πρόσφατα το τριχωτό της κεφαλής και να μη χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καλλυντικό ή κρέμα μαλλιών που θα μπορούσε να δημιουργήσει αυξημένες αντιστάσεις ή προβλήματα στις επαφές των ηλεκτροδίων. Όλες ήταν δεξιόχειρες, χωρίς κάποια διαγνωσμένη μαθησιακή δυσκολία ή ψυχική νόσο.

Οι συμμετέχουσες ενημερώθηκαν πλήρως για τις συνθήκες και το σκοπό του πειράματος και έδωσαν τη συγκατάθεσή τους για τη συμμετοχή τους σε αυτήν. Η παρούσα έρευνα εναρμονίστηκε πλήρως με τον Κώδικα Δεοντολογίας Ερευνών της Επιτροπής Ερευνών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Από τις 39 συμμετέχουσες που υποβλήθηκαν στην πειραματική διαδικασία απορρίφθηκαν οι αριστερόχειρες και οι συμμετέχουσες των οποίων το ΗΕΓ παρουσίαζε σημαντικά και σε μεγάλη έκταση παράσιτα ή μεγάλες διαφορές σε ορισμένα

---

ηλεκτρόδια (αριθμός) ή αριστεροχειρία. Τελικά, επιλέχθηκαν 35 φοιτήτριες με εν γένει έγκυρα ΗΕΓ, οι οποίες αποτέλεσαν και το τελικό δείγμα.

Η επιλογή υποκειμένων μόνο του ενός φύλου, έγινε για την αποφυγή καταγραφής διαφορετικών εγκεφαλικών σημάτων που πιθανότατα οφείλονται σε διαφυλικές διαφορές και δεν αποτελεί θέμα της παρούσας διατριβής.

#### **5.4 Πειραματικά μέσα και συσκευές**

Η πειραματική διαδικασία υλοποιείται σε τρία πανομοιότυπα περιβάλλοντα, ένα εικονικό – μη στερεοσκοπικό (2D), ένα εικονικό – στερεοσκοπικό (3D) και ένα πραγματικό (REAL). Οι χρησιμοποιούμενες συσκευές αποτελούνται από τις απαιτούμενες για το ΕΠ συσκευές και το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.

##### **5.4.1 Πραγματικό περιβάλλον (REAL)**

Το πραγματικό περιβάλλον αποτελούσε ένα σύγχρονο σταθμό εργασίας υπολογιστή και περιελάμβανε:

- Οθόνη ηλεκτρονικού υπολογιστή (monitor TFT)
- Πληκτρολόγιο (keyboard)
- Ποντίκι (mouse)
- Web camera
- Μικρόφωνο (microphone)
- Ακουστικά (headsets)
- Ηχεία (speakers)
- Usb flash
- Cd – ROM
- Βιβλία

Τα παράθυρα του χώρου καταγραφής ήταν καλυμμένα με αδιαφανείς κουρτίνες που επέτρεπαν σε ελάχιστο φως να μπαίνει στο χώρο και ο σταθμός εργασίας του πειράματος περικλειόταν από ιατρικό παραβάν μαύρου χρώματος ώστε να υπάρχει όσο το δυνατό μεγαλύτερη συσκότιση και οι συμμετέχουσες να εστιάζουν την προσοχή τους κάθε φορά μόνο στο περιβάλλον που προβάλλεται. Ο φωτισμός του δωματίου ήταν τεχνητός με



λαμπτήρες πυρακτώσεως για την αποφυγή του θορύβου των 50 Hz. Οι συμμετέχουσες ήταν καθήμενες σε απόσταση 35 – 40 cm από το περιβάλλον.

Το συγκεκριμένο περιβάλλον επιλέχθηκε, γιατί ήταν οικείο στους φοιτητές και δεν απαιτούσε ιδιαίτερους γνωστικούς μετασχηματισμούς, κάτι που ενίσχυε το στόχο της έρευνας, την παθητική δηλαδή, παρατήρηση των περιβαλλόντων ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα που αφορούν στον παράγοντα της στερεοσκοπίας.

Στο σχήμα 5.2 παρουσιάζεται μια εικόνα του πραγματικού κόσμου που δημιουργήθηκε για την ανάγκη της κύριας έρευνας.

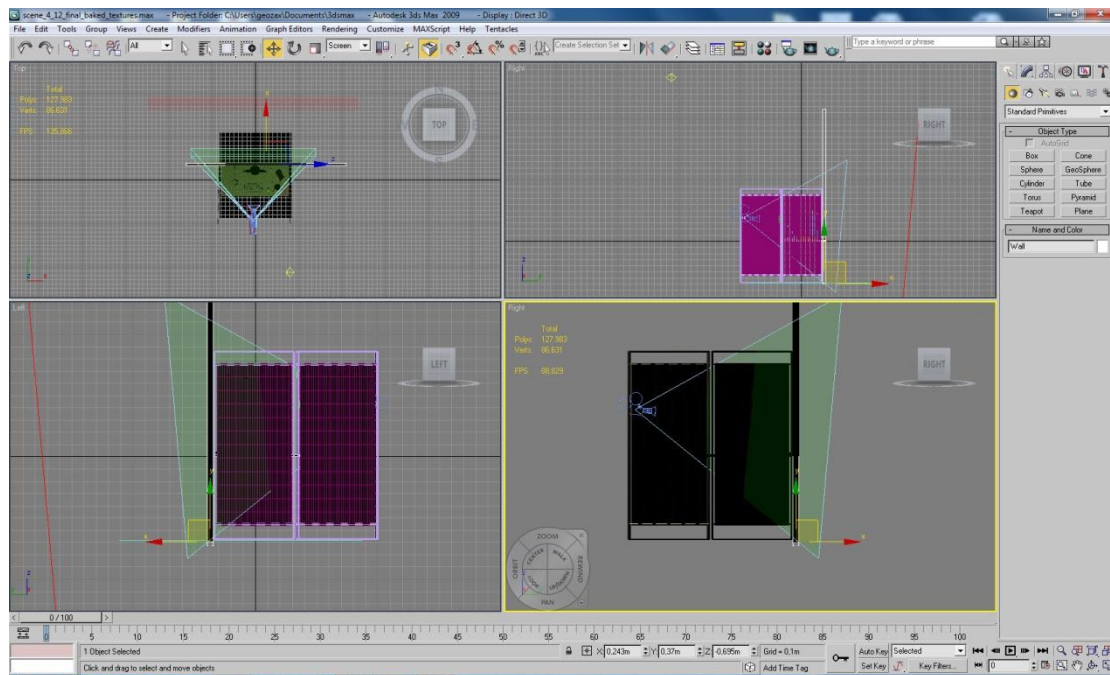


Σχήμα 5.2. Άποψη του πραγματικού περιβάλλοντος.

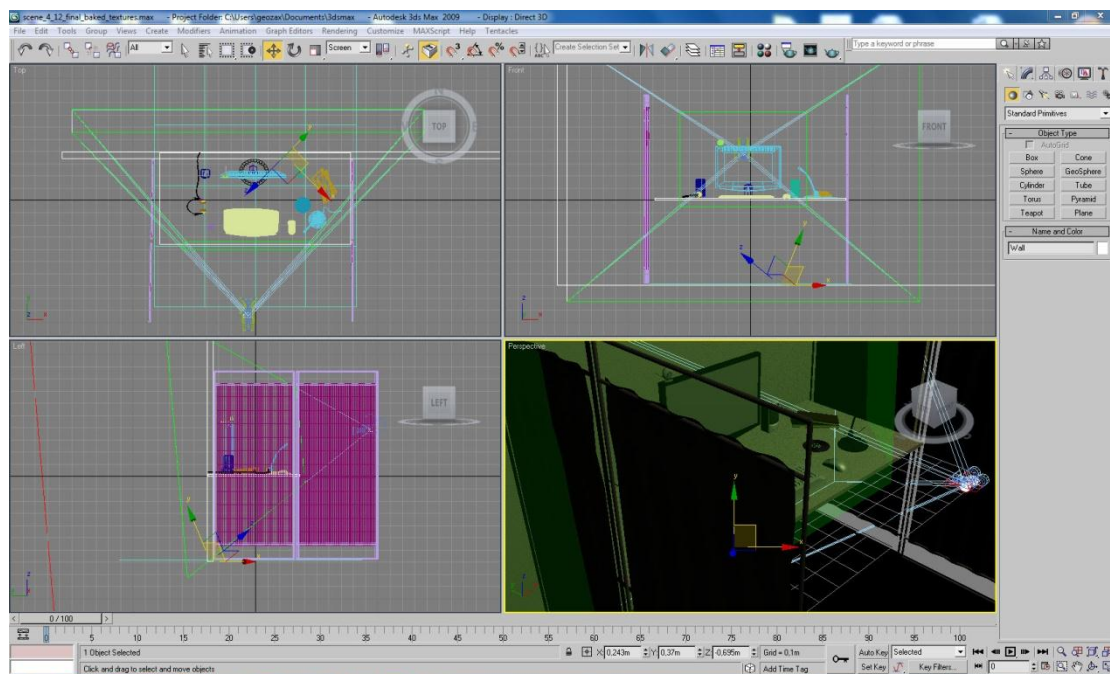
#### **5.4.2 Εικονικό – στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D)**

Το εικονικό – στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D) ήταν μια ρεαλιστική αναπαράσταση του πραγματικού περιβάλλοντος. Η υλοποίηση του εικονικού – στερεοσκοπικού περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ανάπτυξης Autodesk 3dsMax 2009, υλοποιήθηκε σε προσωπικό υπολογιστή Pentium IV 1.6 GHz και προβλήθηκε σε στερεοσκοπική οθόνη υψηλής τεχνολογίας (Samsung SyncMaster 2233) που υποστηρίζει τρισδιάστατα περιβάλλοντα, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και ενεργά στερεοσκοπικά γυαλιά nVIDIA GEFORCE

3DVISION για την προβολή του εικονικού περιβάλλοντος. Στα σχήματα 5.3.α και 5.3.β παρουσιάζονται η οθόνη σχεδίασης αντικειμένων στο 3dsMax 2009.



Σχήμα 5.3.α. Το περιβάλλον σχεδίασης του εικονικού κόσμου με επιλεγμένες τις θεάσεις: Top, Right και LeftViews.



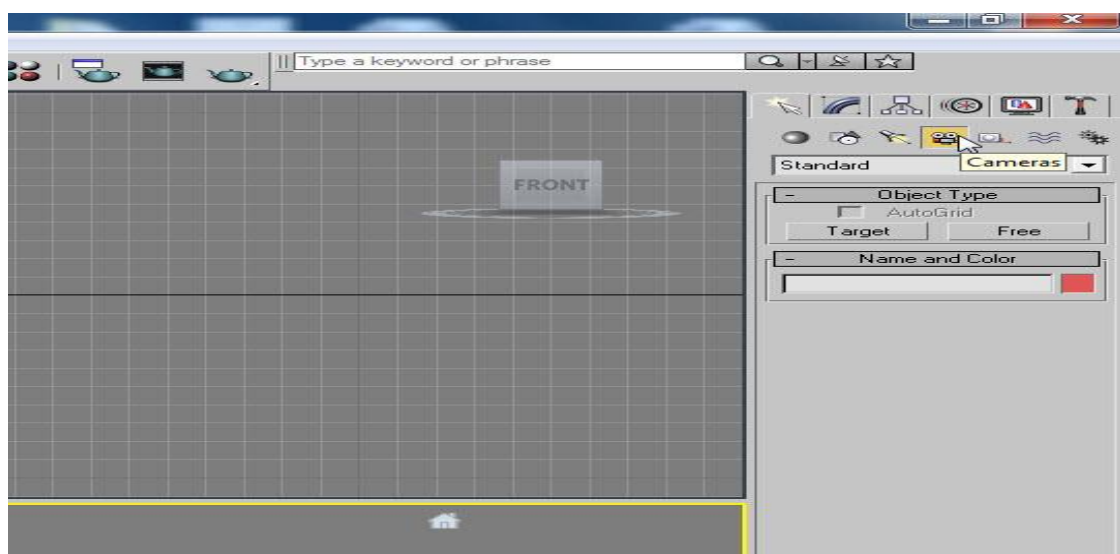
Σχήμα 5.3.β. Το περιβάλλον σχεδίασης του εικονικού κόσμου με επιλεγμένες τις θεάσεις: Top, , Left, Front, Perspective Views.

Η τελική μορφή του εικονικού περιβάλλοντος – σταθμού εργασίας την οποία παρατηρούσαν οι συμμετέχουσες φαίνεται στο σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4. Ο εικονικός σταθμός εργασίας που παρατηρούσαν οι συμμετέχουσες.

Για τη δημιουργία της στερεοσκοπίας, στο περιβάλλον του 3ds Max 2009 τοποθετήθηκαν δύο στερεοσκοπικές κάμερες με την επιλογή “Cameras” δίνοντάς τους την ιδιότητα “Target” από την καρτέλα “Object Type”, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5. Εισαγωγή Cameras στο περιβάλλον σχεδίασης.

Οι δύο κάμερες τοποθετήθηκαν σε κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους, ώστε να προσομοιάσουν την απόσταση των οφθαλμών ενός ενήλικα. Στη συνέχεια, με το λογισμικό 3D Vision Photo Viewer δημιουργήθηκαν δύο φωτογραφίες του περιβάλλοντος, αυτή που «βλέπει» ο αριστερός οφθαλμός και αυτή που «βλέπει» ο δεξιός (σχήμα 5.6). Το συγκεκριμένο λογισμικό «εκτελεί» ταυτόχρονα τις δύο εικόνες με συχνότητα στα 50Hz (η συχνότητα που αντιλαμβάνεται ένας φυσιολογικός άνθρωπος) και τις τοποθετεί σε τόσο κοντινή απόσταση μεταξύ τους δημιουργώντας την αίσθηση του βάθους άρα και της στερεοσκοπίας.



Σχήμα 5.6. Το εικονικό περιβάλλον όπως το «βλέπει» ο αριστερός οφθαλμός (αριστερά) και ο δεξιός (δεξιά).

Η επιλογή αυτού του τρόπου παραγωγής (3ds Max 2009) και προβολής του εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος (μέσω του λογισμικού 3D Vision Photo Viewer) οφείλεται στο γεγονός ότι σε σύγκριση με το λογισμικό VirTools παρέχει πιο ρεαλιστικές απόψεις του περιβάλλοντος, δεν απαιτεί προγραμματισμό, καθίσταται πιο εύκολη η παραμετροποίηση των αντικειμένων (π.χ. χρώματα, υλικό, υφή, φωτισμός αντικειμένων) και εν τέλει παρέχει μια πιο πιστή αναπαράσταση του πραγματικού περιβάλλοντος.

Απαραίτητα στοιχεία για την πραγματοποίηση της έρευνας ήταν τα έγχρωμα, ενεργού τύπου, στερεοσκοπικά γυαλιά (NVidia GeForce) με ανάλυση 800x600 και βάθος χρώματος 32 bit, καθώς και η στερεοσκοπική οθόνη Samsung SyncMaster 2233.

#### **5.4.3 Εικονικό μη – στερεοσκοπικό περιβάλλον (2D)**

Το εικονικό μη – στερεοσκοπικό περιβάλλον (2D) κατασκευάστηκε ταυτόχρονα με το 3D με τη διαφορά ότι κατά την προβολή του στο πρόγραμμα 3D Vision Photo Viewer δε χρησιμοποιήθηκαν τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας και δεν επιλέχθηκε από το

πρόγραμμα η στερεοσκοπική προβολή. Οι συμμετέχουσες παρατηρούσαν το περιβάλλον, όπως αυτό προβαλλόταν στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

#### **5.4.4 Σύστημα Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας**

Για τις καταγραφές των ΗΕΓ χρησιμοποιήθηκε το σύστημα ψηφιακής ηλεκτροεγκεφαλογραφίας της gtec του Εργαστηρίου Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το σύστημα gBSanalyze της gtec και η ανάλυσή τους με τα λογισμικά EEGprocessing, που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, το Microsoft Excel και το προγραμματιστικό (υπολογιστικό) περιβάλλον Matlab όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.4.2.

Η φασματική ανάλυση Fourier που πραγματοποιήθηκε στα δεδομένα του συνεχόμενου ΗΕΓ αφορούσε τις περιοχές (ρυθμούς):  $\delta$  (0.5 – 3.5Hz),  $\theta$  (4 – 7Hz),  $\alpha - 1$  (κατώτερος  $\alpha$ ) (8 – 10Hz),  $\alpha - 2$  (ανώτερος  $\alpha$ ) (11 – 13Hz), συνολικός  $\alpha$  (8-13 Hz),  $\beta$  (14 – 32Hz) και  $\gamma$  (33 – 48Hz).

#### **5.5 Διαδικασία**

Η πειραματική διαδικασία ήταν η ίδια που εφαρμόστηκε στην πιλοτική έρευνα (κεφάλαιο 4) με μια επιπρόσθετη διαδικασία, την προσθήκη τριών καταγραφών στο τέλος κάθε διεργασίας και την εναλλαγή των θέσεων ορισμένων αντικειμένων, ώστε να γίνει εκτίμηση του δεύτερου ερευνητικού στόχου, της επιλεκτικής προσοχής.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από τον Δεκέμβριο του 2010 μέχρι το Μάρτιο του 2011.

Οι συμπεριφορικές αντιδράσεις των συμμετεχουσών καθώς και παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγράφηκαν από τον ερευνητή, ώστε να είναι ευκολότερη η ανίχνευση ορισμένων παρασίτων και μη προβλέψιμων συμπεριφορών.

### 5.5.1 Πρώτη επαφή με το περιβάλλον

Η καταγραφή των ΗΕΓ σημάτων κατά την πρώτη επαφή με το περιβάλλον πραγματοποιήθηκε σε τρία στάδια.

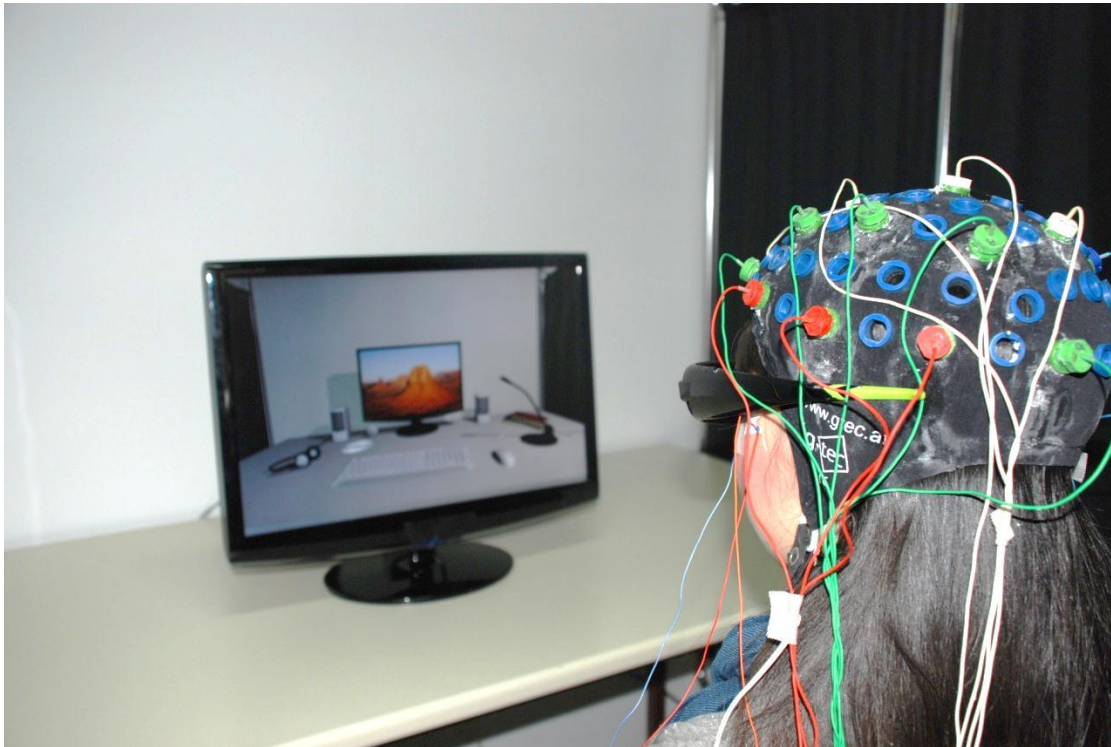
Πρωτίστως, οι συμμετέχουσες παρακολούθησαν το πραγματικό περιβάλλον (REAL). Τους ζητήθηκε να ανοίγουν και να κλείνουν τα μάτια τους σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα που ορίζονταν από τον ερευνητή προκειμένου να μειώνεται στο ελάχιστο η λήψη παρασίτων στα ΗΕΓ σήματα που δημιουργούνται από το άνοιγμα και το κλείσιμο των οφθαλμών. Η διαδικασία επαναλαμβανόταν για 10 επαναλήψεις και καταγράφονταν συγχρόνως τα ηλεκτρικά σήματα που παρήγαγε ο εγκεφαλικός τους φλοιός με τη χρήση ηλεκτροδίων. Στη συνέχεια, ακολουθούσαν τρεις καταγραφές όπου γινόταν αλλαγή στη διάταξη κάποιων αντικειμένων με στόχο τη μελέτη και εξαγωγή συμπερασμάτων οπτικοχωρικών αντιλήψεων και επιλεκτικής προσοχής.

Μετά την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης οι συμμετέχουσες έκλειναν πάλι τα μάτια τους, φορούσαν τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας με τη βοήθεια του ερευνητή για την αποφυγή απότομων κινήσεων που θα έβλαπταν τη διαδικασία καταγραφής και παρατηρούσαν ένα εικονικό περιβάλλον επίδειξης, άσχετο με το περιβάλλον της έρευνας, για να εξοικειωθούν με τα εικονικά περιβάλλοντα.

Τέλος, έκλειναν τα μάτια τους και καλούνταν να χαλαρώσουν για 2 λεπτά. Όταν άνοιγαν πάλι τα μάτια τους, στα γυαλιά προβάλλονταν ήδη το εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D). Κατόπιν, τα γυαλιά ΕΠ αφαιρούνταν και τους παρέχόταν ένα χρονικό διάστημα ολιγόλεπτης ξεκούρασης. Στη συνέχεια, άνοιγαν τα μάτια τους και αμέσως ακλουθούσε η τρίτη φάση στο εικονικό μη – στερεοσκοπικό (2D) περιβάλλον αυτή τη φορά.

Στο σχήμα 5.7 παρουσιάζεται μία από τις συμμετέχουσες με τοποθετημένα τα ηλεκτρόδια κατά την καταγραφή ΗΕΓ στο εικονικό στερεοσκοπικό (3D) περιβάλλον. Διακρίνονται τα γυαλιά ΕΠ, η κάσκα ηλεκτροδίων και η οθόνη προβολής του εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος.





Σχήμα 5.7. Συμμετέχουσα με όλον το σχετικό εξοπλισμό για το εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον και το σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας.

### **5.5.2 Οπτική – χωρική προσοχή και αναγνώριση αντικειμένων στο χώρο**

Στη διεργασία αυτή οι συμμετέχουσες παρακολουθούσαν κατά τη διάρκεια των καταγραφών ένα περιβάλλον (περιβάλλον “Change”) παρόμοιο με αυτό της προηγούμενης διεργασίας με τη διαφορά ότι τα αντικείμενα: web camera, Usb και Cd – ROM, ήταν τοποθετημένα σε διαφορετικές θέσεις από εκείνες που είχαν τοποθετηθεί αρχικά. Το περιβάλλον κάθε φορά εμφανιζόταν μετά το τέλος των επαναλήψεων της πρώτης επαφής, ώστε να μπορεί ο ερευνητής να διαπιστώσει θέματα που άπτονται της επιλεκτικής προσοχής και τις πιθανές αλλαγές στην εγκεφαλική λειτουργία των συμμετεχουσών. Κατά τη διάρκεια της καταγραφής δεν έγινε καμία ερώτηση προς τις συμμετέχουσες.

Το περιβάλλον που προβλήθηκε απεικονίζεται στο σχήμα 5.8.



Σχήμα 5.8. Περιβάλλον “Change” για την οπτικοχωρική διεργασία. Παρατηρούνται οι αλλαγές στις θέσεις των αντικειμένων web camera, Usb και Cd – ROM του περιβάλλοντος.

### **5.5.3 Καταγραφές ΗΕΓ – Μεθοδολογία επεξεργασίας των καταγραφών ΗΕΓ - Στατιστική ανάλυση**

Εφαρμόστηκε το ίδιο μοντέλο καταγραφής, όπως ακριβώς και στην πιλοτική έρευνα που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 4). Η πειραματική διαδικασία στηρίχθηκε στη φασματική ανάλυση των γνωστών ρυθμών του ΗΕΓ κατά τη διεξαγωγή απλών διεργασιών, συνολικά και όχι με έμφαση στη χρονική τους εξέλιξη. Η ποσοτικοποίηση των παρατηρήσεων ήταν σχετικά σύνθετη και ανεπτυγμένη σε πλάτος. Τα δεδομένα παρουσιάζονται με πληθώρα διαφορετικών μορφών (γραφήματα, χάρτες και πίνακες τιμών απόλυτης ισχύος), από τις οποίες αξιοποιούνται όσες ταιριάζουν σε κάθε περίπτωση.

### **5.6 Σύνοψη**

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια περιγραφή της ανάπτυξης του περιβάλλοντος της κύριας έρευνας και της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε για την καταγραφή των δεδομένων.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των καταγραφών αυτών όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση και επεξεργασίας τους.



---

# 6 Αποτελέσματα κύριας έρευνας

---

## 6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανά δύο περιβάλλοντα. Σε κάθε διεργασία της έρευνας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της φασματικής ανάλυσης του ΗΕΓ, χρωματικοί χάρτες απόλυτης ισχύος, συγκριτικοί χρωματικοί χάρτες ανά ρυθμό και συγκριτικοί χάρτες ανά ρυθμό που δείχνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα περιβάλλοντα. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή όλη η ανάλυση βασίζεται στη συμπεριφορά ρυθμών και όχι μεμονωμένων συχνοτήτων του ΗΕΓ. Στο Παράρτημα III παρουσιάζονται τα φάσματα απόλυτης ισχύος εγκεφαλικών ρυθμών για κάθε θέση ηλεκτροδίου και για κάθε σύγκριση των ανά δύο περιβαλλόντων της κύριας έρευνας.

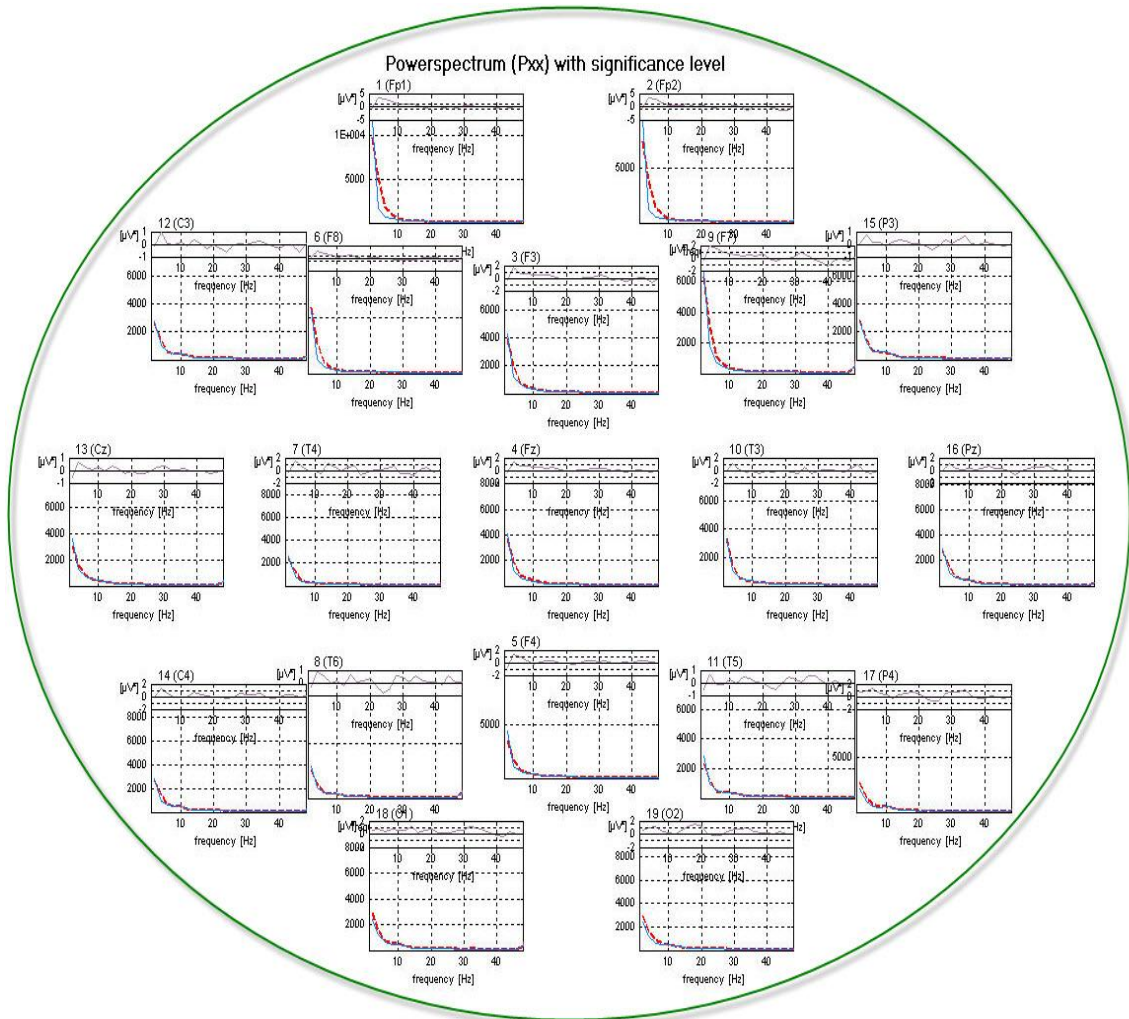
Και τα τρία περιβάλλοντα που παρουσιάστηκαν στις συμμετέχουσες περιελάμβαναν απαιτήσεις οπτικής επεξεργασίας χώρου και επιλεκτικής προσοχής καθώς το μόνο που τους ζητήθηκε ήταν η απλή παρατήρηση (χωρίς απότομες κινήσεις της κεφαλής τους) του περιβάλλοντος χώρου στο ευρύτερο οπτικό τους πεδίο. Το αναμενόμενο ήταν η ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών με την έννοια της εξερεύνησης του εκάστοτε περιβάλλοντος, αλλά και περισσότερη προσοχή και αναγνώριση τόσο των αντικειμένων όσο και των θέσεών τους.

---

## 6.2 Σύγκριση εγκεφαλικής λειτουργίας μεταξύ περιβαλλόντων

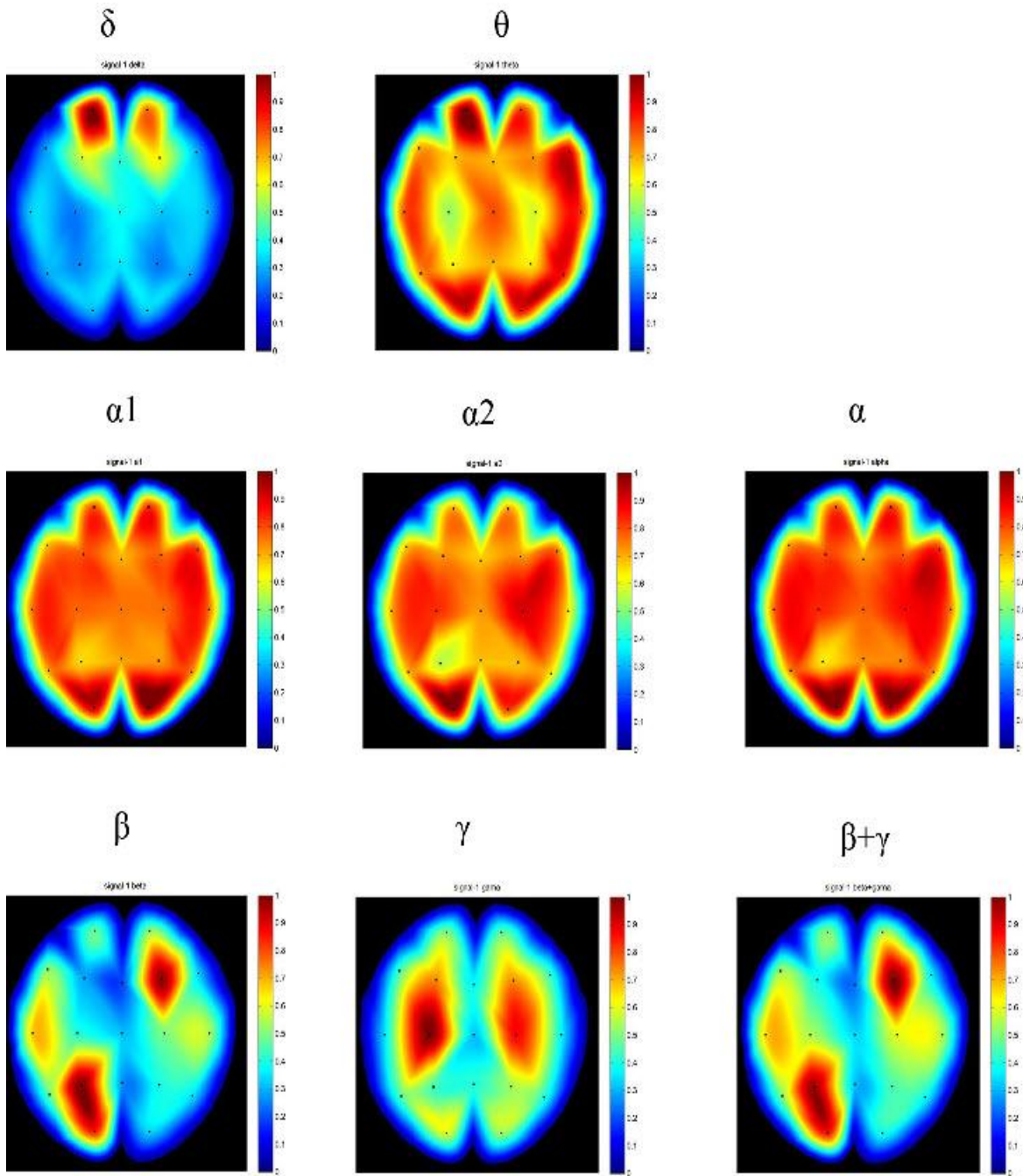
### 6.2.1 Πραγματικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλοντα

Στο σχήμα 6.1 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα REAL και 2D.

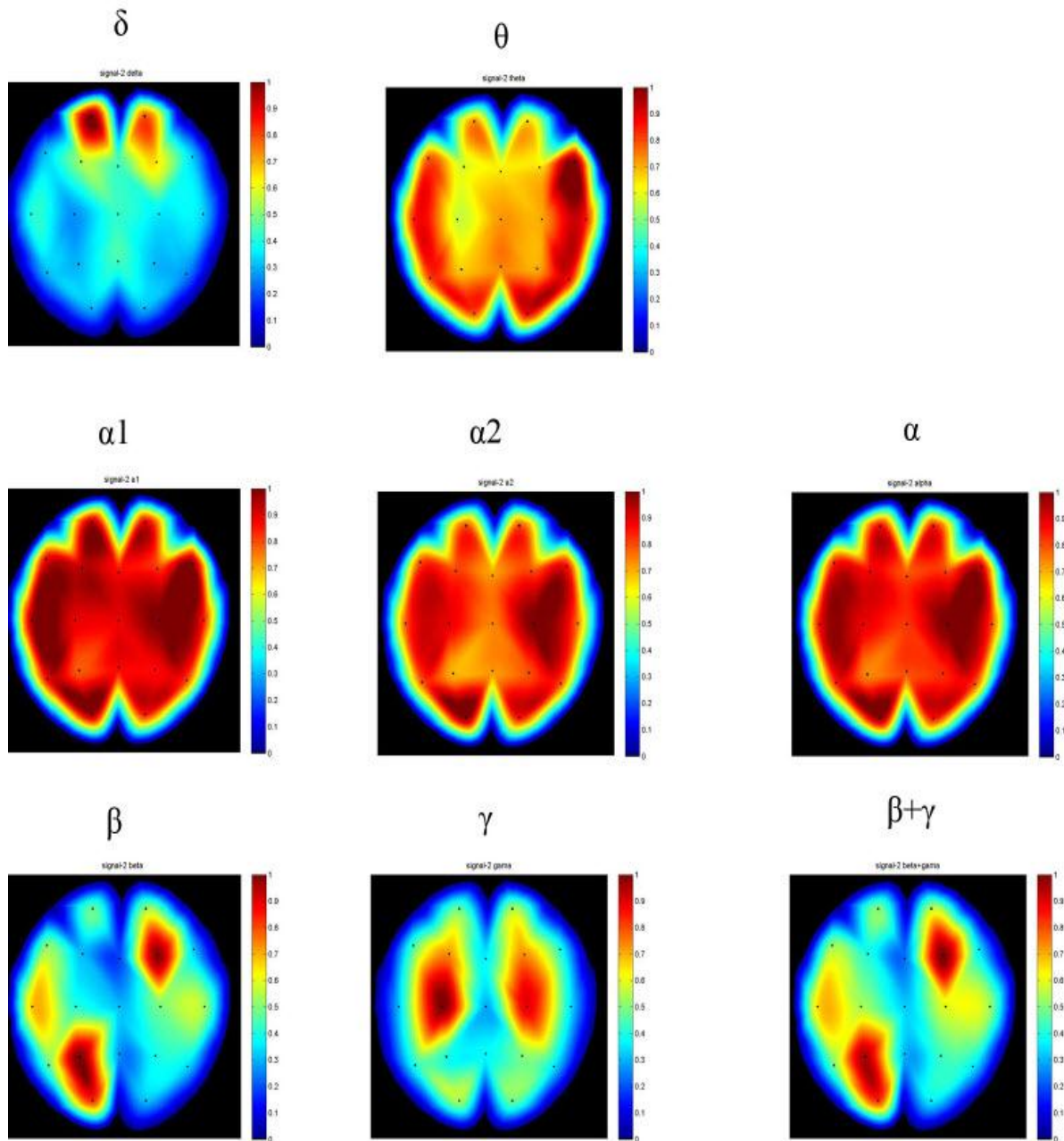


Σχήμα 6.1. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο REAL περιβάλλον και η κόκκινη στο 2D.

Στα σχήματα 6.2 και 6.3 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το REAL και το 2D περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

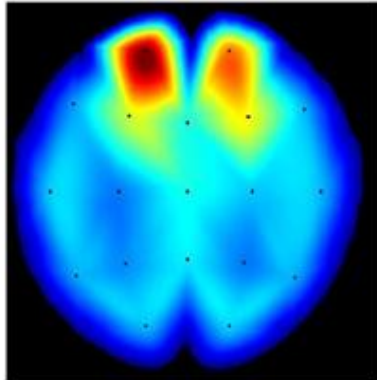
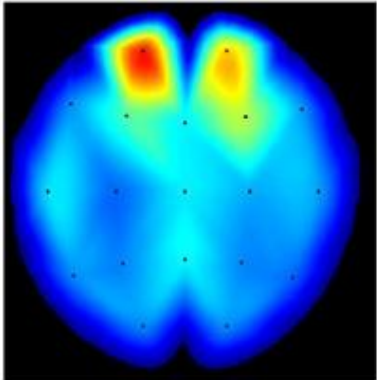
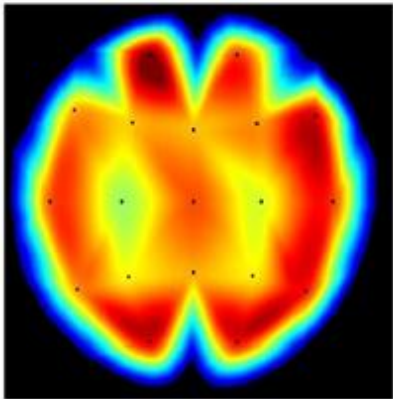
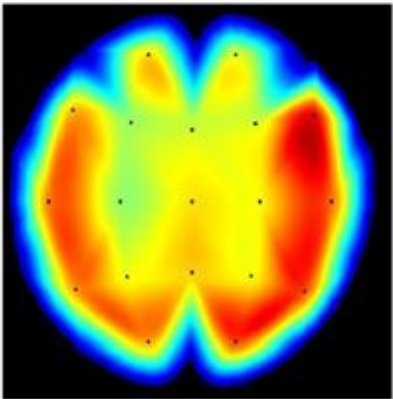


Σχήμα 6.2. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον).

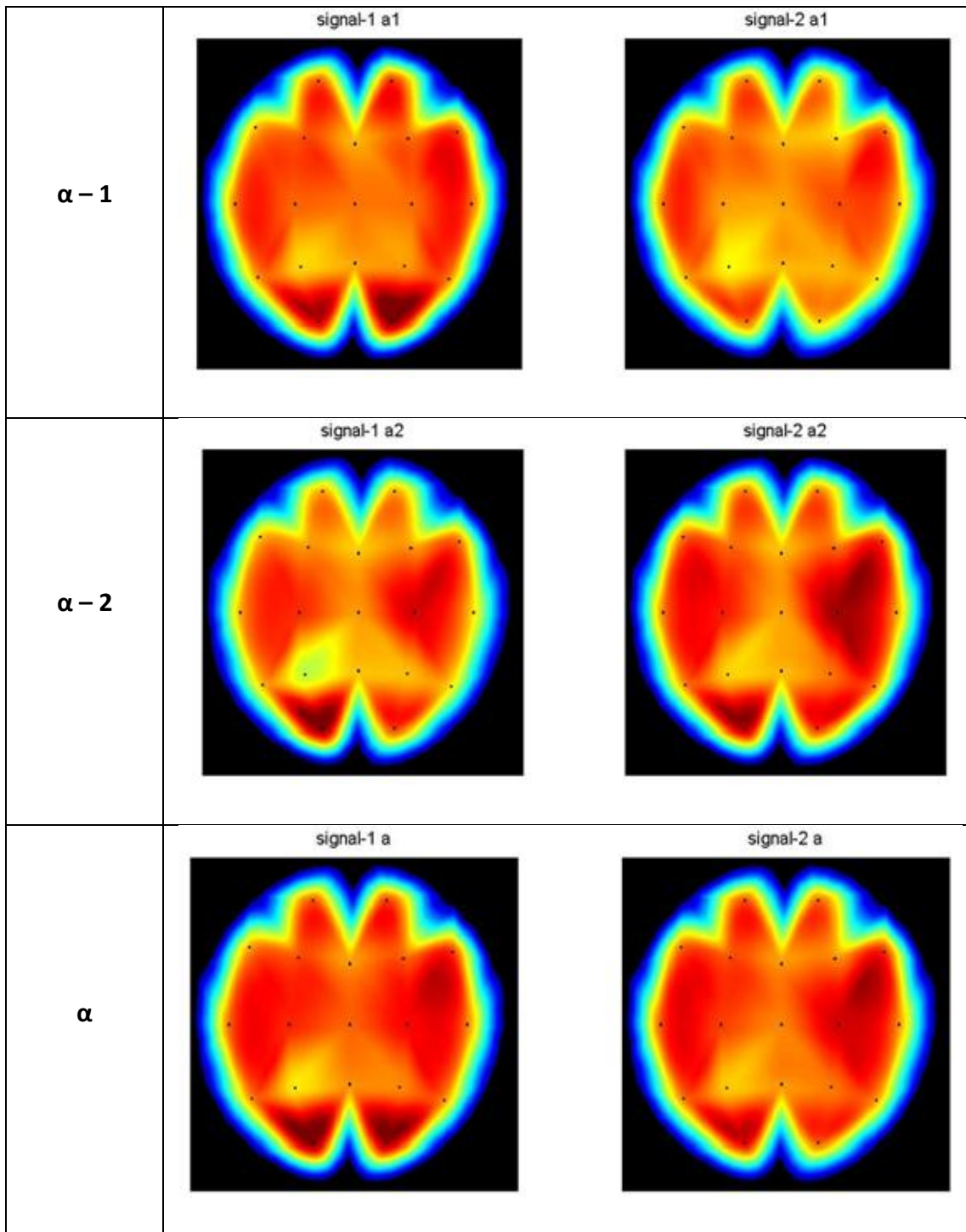


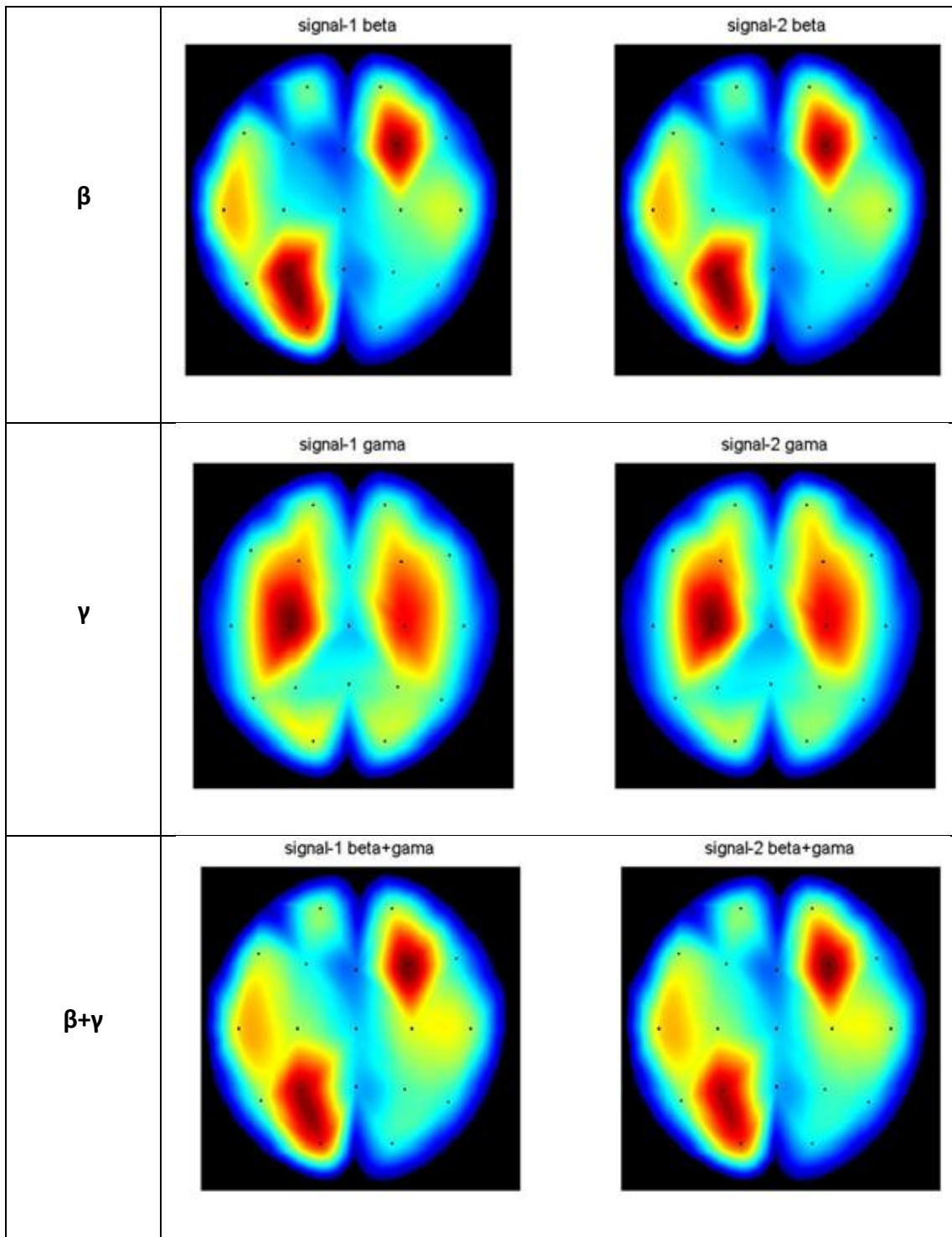
Σχήμα 6.3. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 2D (εικονικό – μη στερεοσκοπικό περιβάλλον).

Στον Πίνακα 6.1 απεικονίζονται οι χάρτες με τις απόλυτες τιμές ισχύος καταναμημένες για κάθε ρυθμό στο REAL και το 2D περιβάλλον.

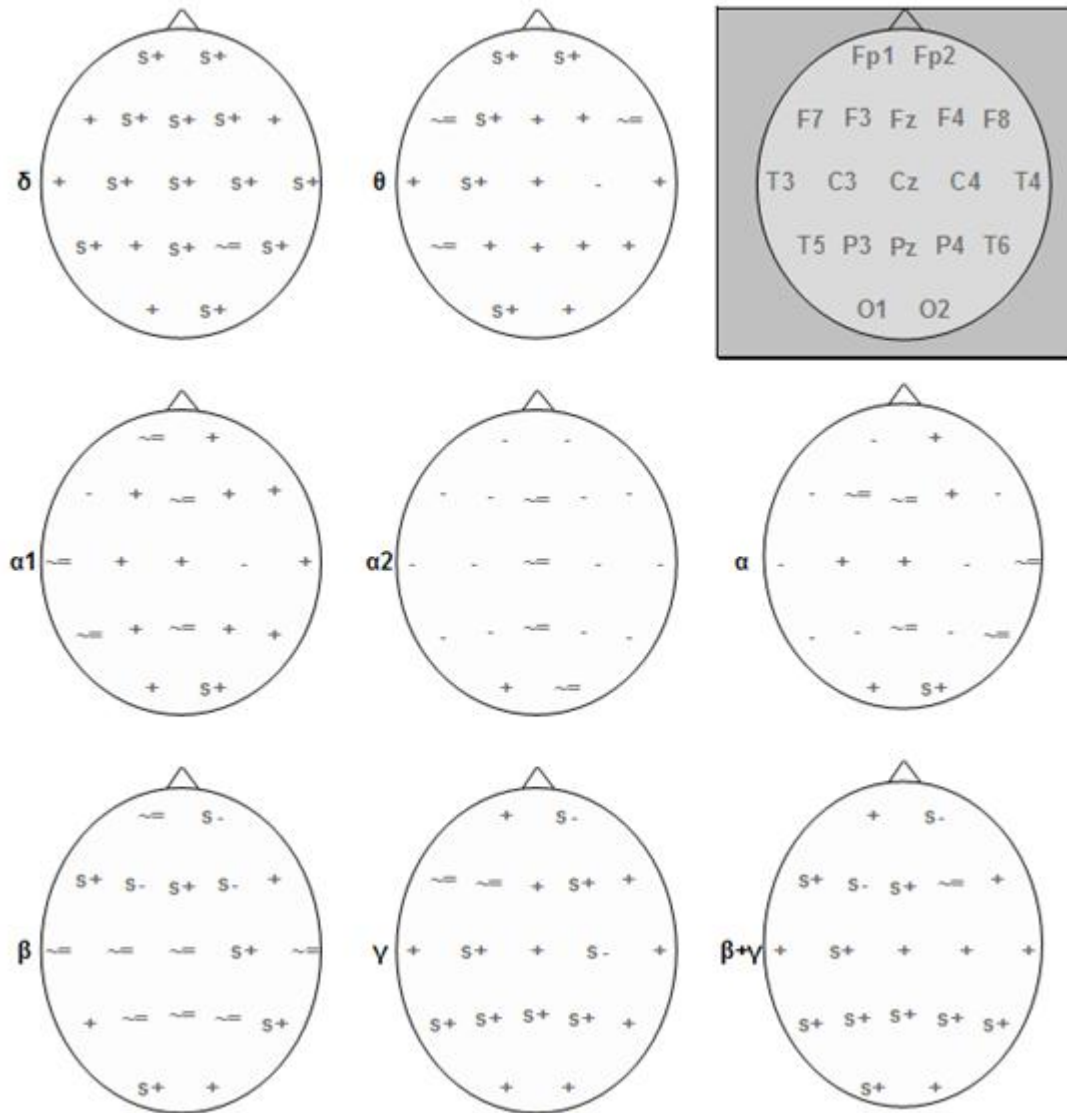
Πίνακας 6.1. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος καταναμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και 2D.		
Ρυθμοί	Περιβάλλοντα	
	REAL	2D
$\delta$	<p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
$\theta$	<p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 







Στο σχήμα 6.4 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ του δυσδιάστατου (2D) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος.



Σχήμα 6.4. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού μη – στερεοσκοπικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – 2D). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και – μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ = αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Στο REAL περιβάλλον παρατηρείται ότι η δ δραστηριότητα περιορίζεται στις πρόσθιες μετωπικές περιοχές (θέσεις ηλεκτροδίων Fp1 και Fp2), ο θ ρυθμός είναι διάχυτος και ισχυρός στις πρόσθιες μετωπικές περιοχές, στις δεξιές μετωπικές και κροταφικές περιοχές και στις ινιακές. Ο α – 1 υπορυθμός εμφανίζεται διάχυτος σε όλες τις τοπολογικές θέσεις



και ιδιαίτερα ισχυρός στις ινιακές περιοχές, με τον  $\alpha - 2$  υπορυθμό να είναι και αυτός διάχυτος σε όλο το κρανίο και ιδιαίτερα ισχυρός στην αριστερή ινιακή περιοχή (θέση O1). Ο  $\alpha$  ρυθμός ακολουθεί τη συμπεριφορά των υπορυθμών (κυρίως του  $\alpha - 1$  υπορυθμού) και εμφανίζεται ισχυρός στις ινιακές περιοχές (θέσεις O1 και O2). Ο  $\beta$  ρυθμός είναι ισχυρός στην αριστερή βρεγματική και ινιακή περιοχή (θέσεις P3 και O1) καθώς και στη δεξιά μετωπική (θέση F4). Τέλος, ο  $\gamma$  ρυθμός εμφανίζεται ισχυρός στις κεντρικές περιοχές.

Στο 2D περιβάλλον η  $\delta$  δραστηριότητα παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή του REAL περιβάλλοντος με το  $\theta$  ρυθμό να εμφανίζεται διάχυτος και ισχυρός κυρίως στη δεξιά μετωπική περιοχή (θέση F8). Ο  $\alpha - 1$  υπορυθμός παρουσιάζεται διάχυτος σε όλο σχεδόν το κρανίο, με τον  $\alpha - 2$  να είναι επίσης, διάχυτος και ιδιαίτερα ισχυρός στη δεξιά κεντρική περιοχή (θέση C4) και στην αριστερή ινιακή (θέση O1). Ο  $\alpha$  ρυθμός παρουσιάζει παρόμοια τοπολογία με τον  $\alpha - 2$  υπορυθμό και ο  $\beta$  εμφανίζεται ισχυρός στη δεξιά μετωπική (θέση F4) και στην αριστερή βρεγματοινιακή περιοχή (θέσεις P3 και O1). Τέλος, και εδώ και σε αυτήν την περίπτωση ο  $\gamma$  ρυθμός εμφανίζεται ισχυρός στις κεντρικές περιοχές.

Στη συνέχεια ακολουθεί η σύγκριση των δύο περιβαλλόντων με βάση τη φασματική τους κατανομή και τις στατιστικά σημαντικές διαφορές σύμφωνα με τον πίνακα 6.1 και το σχήμα 6.4.

#### **6.2.1.1 Δέλτα ρυθμός (0.5 – 3.5 Hz)**

Η  $\delta$  δραστηριότητα εμφανίζεται ισχυρότερη στο REAL περιβάλλον σε όλες τις εγκεφαλικές περιοχές. Η τοπολογία του ρυθμού εμφανίζεται παρόμοια και στα δύο περιβάλλοντα και περιορίζεται στις πρόσθιες μετωπικές περιοχές. Η εμφάνιση του ρυθμού δεν μπορεί να συσχετιστεί στη διεργασία αυτή με καταστάσεις χαλάρωσης και ύπνου, αφού κάτι τέτοιο αποκλείσθηκε από την πειραματική διαδικασία και την παρατήρηση της συμπεριφοράς των συμμετεχουσών.

Έρευνες αναφέρουν (Basar et al., 1999; Onton et al., 2005; Lakatos et al., 2009) πως η  $\delta$  δραστηριότητα που εμφανίζεται σε φυσιολογικά άτομα κατά τη φάση της εγρήγορης σχετίζεται με ανίχνευση σήματος και λήψη αποφάσεων, γεγονός που πιθανά υπονοεί αυξημένες απαιτήσεις της μνήμης εργασίας και προσπάθεια για κατηγοριοποίηση των οπτικών ερεθισμάτων, καθώς και για μια πιθανή γενική απαίτηση εστίασης στην μετωπιαία

περιοχή της μέσης γραμμής του φλοιού στα αισθητήρια ερεθίσματα που παρέχουν τις ενδεχομένως σημαντικές πληροφορίες και συσχετίζεται με την αύξηση στην μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής στη συχνότητα των 3 Hz. Από τη σύγκριση των περιβαλλόντων συμπεραίνουμε ότι το REAL περιβάλλον απαιτήσε περισσότερη οπτική προσοχή και εστίαση σε σχέση με το 2D.

Είναι γνωστό ότι σε οπτικά ερεθίσματα η  $\delta$  δραστηριότητα είναι εντονότερη στις πλευρικές περιοχές (Lakatos et al., 2009), ενώ από τη στατιστική σύγκριση των δύο περιβαλλόντων (σχήμα 6.4) συμπεραίνεται ότι το REAL περιβάλλον ήταν πιο πλούσιο σε οπτικά ερεθίσματα σε σχέση με το 2D. Ο  $\delta$  ρυθμός είναι παρόν όχι μόνο στον ύπνο, αλλά και σε κατάσταση επαγρύπνησης και φαίνεται να διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στη μεγάλης κλίμακας φλοιώδη ολοκλήρωση (Bruns & Eckhorn, 2004; Jerbi et al., 2007), ειδικά στη μετωποκεντρική και βρεγματική περιοχή (Babiloni et al., 2006; Padilla et al., 2006).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματά του Stefanics και των συνεργατών του (2010), ο  $\delta$  ρυθμός διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στη μεσολάβηση κατά την αναμονή και ανίχνευση προβλέψιμων οπτικών στόχων. Επομένως, το REAL περιβάλλον φαίνεται να είχε καλύτερη απόδοση στην αναγνώριση των οπτικών στόχων της διεργασίας σε σχέση με το 2D. Σύμφωνα με τον ισχυρισμό του Scerbo και των συνεργατών του (2001) ότι ο  $\delta$  ρυθμός σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το φόρτο εργασίας, φαίνεται ότι το REAL περιβάλλον είχε λιγότερες νοητικές απαιτήσεις από το 2D περιβάλλον.

#### **6.2.1.2 Θήτα ρυθμός (4 – 7 Hz)**

Ο  $\theta$  ρυθμός εμφανίζεται εντοπισμένος και στα δύο περιβάλλοντα, αλλά σε διαφορετικές εγκεφαλικές περιοχές: διάχυτος και ισχυρός σχεδόν σε όλο το κρανίο για το REAL περιβάλλον και ισχυρός κυρίως στις κροταφικές και ινιακές περιοχές για το 2D. Φαίνεται ότι και στα δύο περιβάλλοντα οι εγκεφαλικές λειτουργίες που κυριάρχησαν αφορούσαν στην επεξεργασία οπτικών αισθητηριακών πληροφοριών.

Η μετωπιαία και μετωπική ενεργοποίηση της μέσης γραμμής που παρατηρείται στο REAL περιβάλλον σχετίζεται γενικά με επεξεργασία σύνθετων αισθητηριακών ερεθισμάτων (Basar et al., 1999), με αύξηση του νοητικού και μνημονικού φόρτου (Gundel & Wilson 1992, Mecklinger et al., 1992, Wilson et al., 1999, Bastiaansen & Haggort 2003; Onton et al.,

2005), με ένταση της προσοχής (Ishihara & Yoshii 1972; Paus et al., 1997; Lazarev 1998; Kahana et al., 1999), με προσπάθεια για αύξηση της εγρήγορσης (Caldwell et al., 2003) και αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης (Ishihara & Yoshii, 1973) και ενδοκρανιακά κατά τη διάρκεια οπτικής επεξεργασίας για αισθητικοκινητικό προγραμματισμό (Hinterberger et al., 2008). Αν συνυπολογιστούν οι υψηλότερες τιμές φασματικής ισχύος που παρατηρούνται σε αυτές τις εγκεφαλικές περιοχές στο REAL περιβάλλον μπορεί να υποτεθεί ότι στο REAL περιβάλλον υπήρξε αυξημένη ενεργοποίηση των εγκεφαλικών λειτουργιών που προαναφέρθηκαν, γεγονός που σε πιο ειδικές περιπτώσεις ίσως να σημαίνει αυξημένη προσοχή στο REAL περιβάλλον έναντι του 2D ως προς την οπτικο-χωρική συνιστώσα της διεργασίας, αφού ο μετωπικός φλοιός είναι σημαντικός στις διαδικασίες προσοχής.

Η κροταφική θ δραστηριότητα συμμετέχει σε ένα εύρος συμπεριφορών. Για παράδειγμα, έχει προταθεί να συμμετέχει σε νοητικές λειτουργίες και προσπάθειες επίτασης της προσοχής (Aftanas & Golosheikine, 2001; Smith et al., 2001), λειτουργίες μνήμης (Sederberg, et al., 2003; Onton, et al., 2005; Gruber, et al., 2008), μάθησης και χωρικών δεξιοτήτων (Carlan, et al., 2001; Kahana, et al., 2001; de Araujo, et al., 2002; Carlan et al., 2003; Ekstrom et al., 2005). Η αυξημένη παρουσία του θ ρυθμού και στα δύο περιβάλλοντα σχετίζεται με προσπάθεια διατήρησης της προσοχής, μάθησης των περιβαλλόντων και χωρικών δεξιοτήτων.

Η αυξημένη παρουσία του θ ρυθμού στις ινιακές περιοχές και για τα δύο περιβάλλοντα μπορεί να σχετίζεται με αυξημένη επεξεργασία πρωτογενούς οπτικού υλικού, ενώ η βρεγματική ενεργοποίηση, κύρια στο REAL περιβάλλον, υποδηλώνει ενεργοποίηση του συνειρμικού οπτικού φλοιού και πιθανώς ένταση της επιλεκτικής προσοχής σε αυτό έναντι του 2D περιβάλλοντος.

Η μη στατιστικά σημαντική υπεροχή του θ ρυθμού στην αριστερή κροταφική περιοχή ερμηνεύεται ως απαίτηση της ίδιας προσοχής και οπτικού προσανατολισμού και από τα δύο περιβάλλοντα (Basar et al., 2001).

Ο Caldwell και οι συνεργάτες του (2003) παρατήρησαν αύξηση στο θ ρυθμό στη μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής σε νυσταγμένα υποκείμενα που προσπαθούν να παραμείνουν σε εγρήγορση. Το γεγονός, όμως, ότι και στα δύο περιβάλλοντα ο θ ρυθμός εμφανίζεται

διάχυτος σε όλο το κρανίο οδηγεί στο συμπέρασμα πως μετά από ένα σημείο οι συμμετέχουσες προσπάθησαν να διατηρήσουν την προσοχή τους στα περιβάλλοντα, λόγω του απλού και χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις αισθητηριακού περιβάλλοντος.

Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι το REAL περιβάλλον απαιτήσε μεγαλύτερη ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών και διαδικασιών προσοχής έναντι του 2D, με τα δύο περιβάλλοντα να απαιτούν την ίδια προσοχή και οπτικό προσανατολισμό.

### **6.2.1.3 Άλφα ρυθμός (8 – 13 Hz)**

Ο α ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος και ισχυρός και στα δύο περιβάλλοντα, με παρόμοια τοπολογία. Ο ρυθμός εξαπλώνεται τοπογραφικά σε όλο το κρανίο. Στο REAL περιβάλλον ο α ρυθμός εμφανίζεται ιδιαίτερα ισχυρός κυρίως στις ινιακές θέσεις. Αντίθετα, στο 2D περιβάλλον ο α ρυθμός εμφανίζεται με παρόμοια τοπολογία αλλά με μικρότερη ισχύ σε σχέση με το REAL. Αυτή η κατανομή του ρυθμού συνδέεται με τη γνωστική επεξεργασία και τους μηχανισμούς της νοητικής προσπάθειας (Klimesch et al., 1992; Cremades et al., 2004) και κύρια (όταν εξαπλώνονται σε ολόκληρο το φλοιό όπως εδώ) με τους διαφορετικούς τύπους απαιτήσεων προσοχής (Klimesch 1999; Jaušovec & Jaušovec 2000; Donner et al., 2007; Siegel et al., 2007). Γίνεται φανερό ότι και τα δύο περιβάλλοντα γενικά δεν απαιτήσαν ιδιαίτερη ενεργοποίηση της προσοχής. Παράλληλα, η αύξηση του α ρυθμού έχει προταθεί για την πρόβλεψη οπτικών αντιληπτικών αποδόσεων (Romei et al., 2008; Van Dijk et al., 2008; Busch et al., 2009; Mathewson et al., 2009) γεγονός που ευσταθεί και για τα δύο περιβάλλοντα.

Σε κάθε περίπτωση, αύξηση του α ρυθμού συνδέεται με μείωση της νοητικής προσπάθειας γενικά (Klimesch, 1999), ενώ η γενικότερη μείωση του α ρυθμού σχετίζεται με τη δυσκολία της εργασίας. Κατά τη διάρκεια επίτασης της προσοχής έχει αναφερθεί ότι ο βρεγματοϊνιακός α ρυθμός μειώνεται, στοιχείο που υποδηλώνει μείωση της προσοχής και γενικά μια χαλαρή κατάσταση για τις συμμετέχουσες, καθώς παρατηρείται ισχυρός σε αυτές τις θέσεις και στα δύο περιβάλλοντα. Όσο πιο απαιτητική είναι η εργασία και όσο μεγαλύτερη η προσήλωση του υποκειμένου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός του α αποσυγχρονισμού (Pfurtscheller, 1993; Klimesch, 1999). Κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται κατά την εναλλαγή των αντικειμένων στο περιβάλλον που ακολούθησε της αρχικής διάταξης

(περιβάλλον CHANGE, κεφάλαιο επτά) όπου εκεί παρατηρείται α συγχρονισμός. Έτσι, σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη και τα δύο περιβάλλοντα απαιτήσαν γενικά μειωμένη νοητική προσπάθεια. Αυτό είναι ως ένα σημείο, αναμενόμενο αφού η οπτική σκηνή δεν είχε αλλάξει και η διεργασία δεν ήταν ιδιαίτερα δύσκολη. Ταυτόχρονα, η υπόθεση της «α παραδοξότητας», της αύξησης δηλαδή της ισχύος του α ρυθμού κύρια στις πλευρικές περιοχές, (Cole & Ray, 1985; Cooper et al., 2003), δεν μπορεί να ισχύει, αφού δεν απαιτήθηκε από τις συμμετέχουσες εσωτερικά κατευθυνόμενη προσοχή.

Η άποψη ότι η μεγάλη ισχύς του α – 1 υπορυθμού μπορεί να ισοδυναμεί με πιθανή προσπάθεια του υποκειμένου να αυξήσει την προσοχή και την επαγρύπνησή του, συνεπώς να αυξήσει τη νοητική απόδοση, ευσταθεί και για τα δύο περιβάλλοντα. Η στατιστικά σημαντική διαφορά του REAL περιβάλλοντος στην ινιακή θέση O2 έναντι του 2D υποδηλώνει την προσπάθεια των συμμετεχουσών να αυξήσουν την προσοχή ή την επαγρύπνησή τους σε αυτό (σχήμα 6.4), σε αντίθεση με το 2D, όπου πιθανώς οι συμμετέχουσες είχαν εξοικειωθεί με την όψη του περιβάλλοντος μιας και ήταν το τελευταίο από τα τρία περιβάλλοντα επίδειξης.

Ο α – 2 υπορυθμός δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές στη σύγκριση των δύο περιβαλλόντων, κατά συνέπεια σε κανένα από τα δύο περιβάλλοντα δεν απαιτήθηκε σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας (Klimesh, 1999).

Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι οι συμμετέχουσες βίωσαν παρόμοια και μη απαιτητικά περιβάλλοντα χωρίς ιδιαίτερες μνημονικές απαιτήσεις ή κωδικοποίηση πληροφοριών.

#### **6.2.1.4 Βήτα Ρυθμός (14 – 32 Hz)**

Ο β ρυθμός εμφανίζεται γενικά μειωμένος και στα δύο περιβάλλοντα. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με την αυξημένη παρουσία του α. Ο αποσυχρονισμός του α ρυθμού σε κάποιο περιβάλλον συσχετίζεται με αυξημένη προσοχή, ενώ ο β ρυθμός φαίνεται να παρουσιάζει αντίστροφη συμπεριφορά από τον α και αυξάνει, όταν αυξάνουν οι απαιτήσεις της εργασίας (Paranikolaou et al., 1986).

Και στα δύο περιβάλλοντα παρουσιάζεται β ρυθμός στη δεξιά μετωπική περιοχή, η οποία μπορεί να ερμηνευθεί ως νοητική εργασία γενικά ή ως μείωση του βαθμού χαλάρωσης και αύξηση του άγχους και της προσοχής σε χωρικές λειτουργίες (Mundy – Castle, 1951; Ray &

Cole, 1985; Markand, 1990; Oken & Salinsky, 1992; Petruzzello & Landers, 1994; Field et al., 1996; Jacobs et al., 1996; Kirov et al., 1996; Macaulay & Edmonds, 2004). Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες σε προμετωπιαίες περιοχές η αύξηση του  $\beta$  ρυθμού κατά τη διάρκεια οπτικών αναζητήσεων συνδέεται με την από επάνω προς τα κάτω αύξηση της προσοχής (Buschman & Miller, 2007; Buschman & Miller, 2009). Η στατιστικά όμως, υψηλότερη τιμή στη θέση αυτή για το 2D περιβάλλον υποδηλώνει αύξηση του άγχους και μείωση του βαθμού χαλάρωσης σε αυτό και πιθανά αναμονή «κάτι να συμβεί κάτι», ίσως και αναζήτηση της τρίτης διάστασης σε ένα δυσδιάστατο περιβάλλον.

Συνοψίζοντας, το REAL περιβάλλον γενικά φάνηκε γενικά πιο οικείο στις συμμετέχουσες από ότι το 2D πιθανότατα εξαιτίας της έλλειψης της τρίτης διάστασης στο δεύτερο.

#### **6.2.1.5 Γάμα Ρυθμός (33 – 48 Hz)**

Σε αντίθεση με τον  $\alpha$ , ο  $\gamma$  ρυθμός που τοπολογικά εξαπλώνεται παρόμοια και στα δύο περιβάλλοντα, αντανακλά μία κατάσταση ενεργητικής επεξεργασίας πληροφοριών. Η μειωμένη ισχύς του  $\gamma$  ρυθμού στο 2D περιβάλλον συμφωνεί με την συμπεριφορά του  $\alpha$  και την ερμηνεία για μειωμένη συμμετοχή του οπτικού φλοιού στο περιβάλλον με τις λιγότερες οπτικές απαιτήσεις που επιφέρουν μεγαλύτερη χαλάρωση.

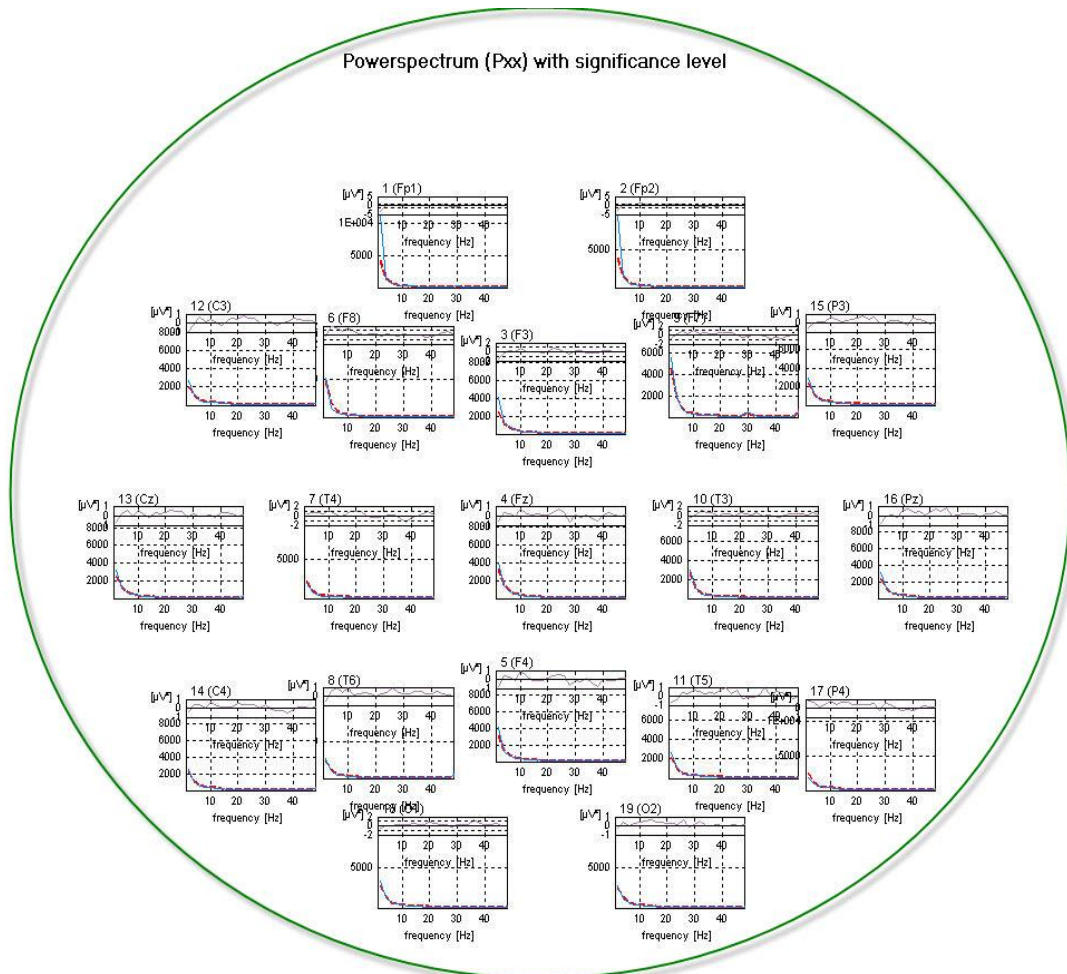
Είναι σαφής η στατιστικά σημαντική υπεροχή του REAL περιβάλλοντος έναντι του 2D σε πολλές από τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις. Η παρατήρηση σημαίνει ότι το 2D περιβάλλον απαίτησε μεγαλύτερη οπτική επιλεκτική προσοχή (Bichot et al., 2005; Gruber & Matthias, 2005; Womelsdorf et al., 2006). Σύμφωνα με τον Tallon και τους συνεργάτες του (1995), ο  $\gamma$  ρυθμός θεωρείται υπεύθυνος για τη σύνδεση των οπτικών χαρακτηριστικών στατικών αντικειμένων, ενώ σύμφωνα με τον Revonsuo και τους συνεργάτες του (1997), ευθύνεται για τη λειτουργία της στερεοσκοπίας. Πιθανά λοιπόν, το 2D περιβάλλον δεν στάθηκε ικανό να αναπαραστήσει το πραγματικό περιβάλλον εξαιτίας της έλλειψης της τρίτης διάστασης που δημιουργεί την αίσθηση του βάθους.

Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του REAL περιβάλλοντος στις βρεγματοϊνιακές περιοχές υποδεικνύει δραστηριότητα σχετική με την οπτική επεξεργασία πληροφοριών και συνδέεται στενά με την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών και με φαινόμενα προσοχής στο περιβάλλον αυτό (Müller et al., 2000; Tallon-Baudry, 2004).

Συνοψίζοντας, το REAL περιβάλλον φάνηκε γενικά πιο οικείο στις συμμετέχουσες από ότι το 2D πιθανότατα εξαιτίας της έλλειψης της τρίτης διάστασης στο δεύτερο, γεγονός που δημιούργησε την απαίτηση για επιλεκτικότερη οπτική προσοχή στο 2D περιβάλλον.

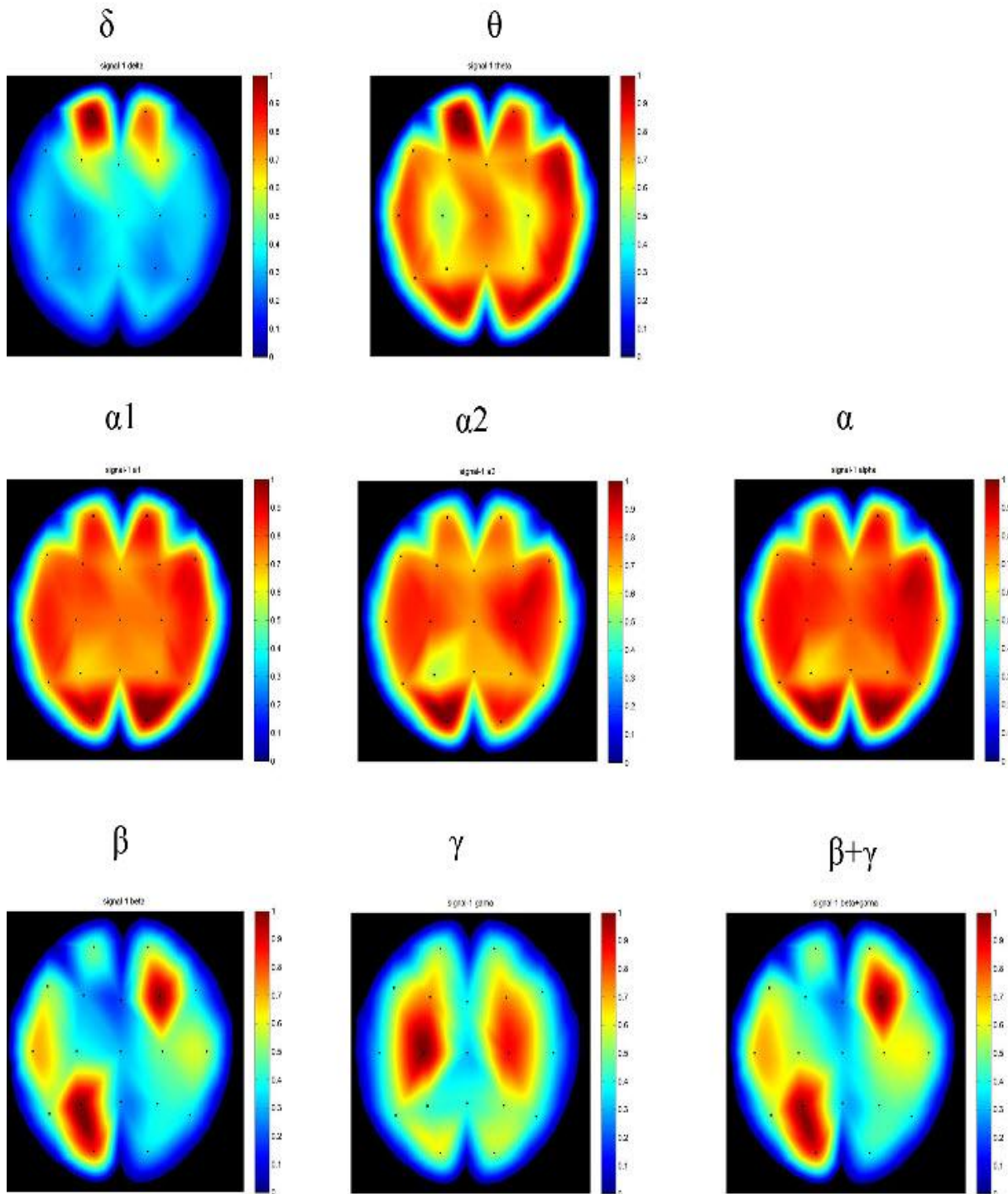
### 6.2.2 Πραγματικό και εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλοντα

Στο σχήμα 6.5 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα REAL και 3D.



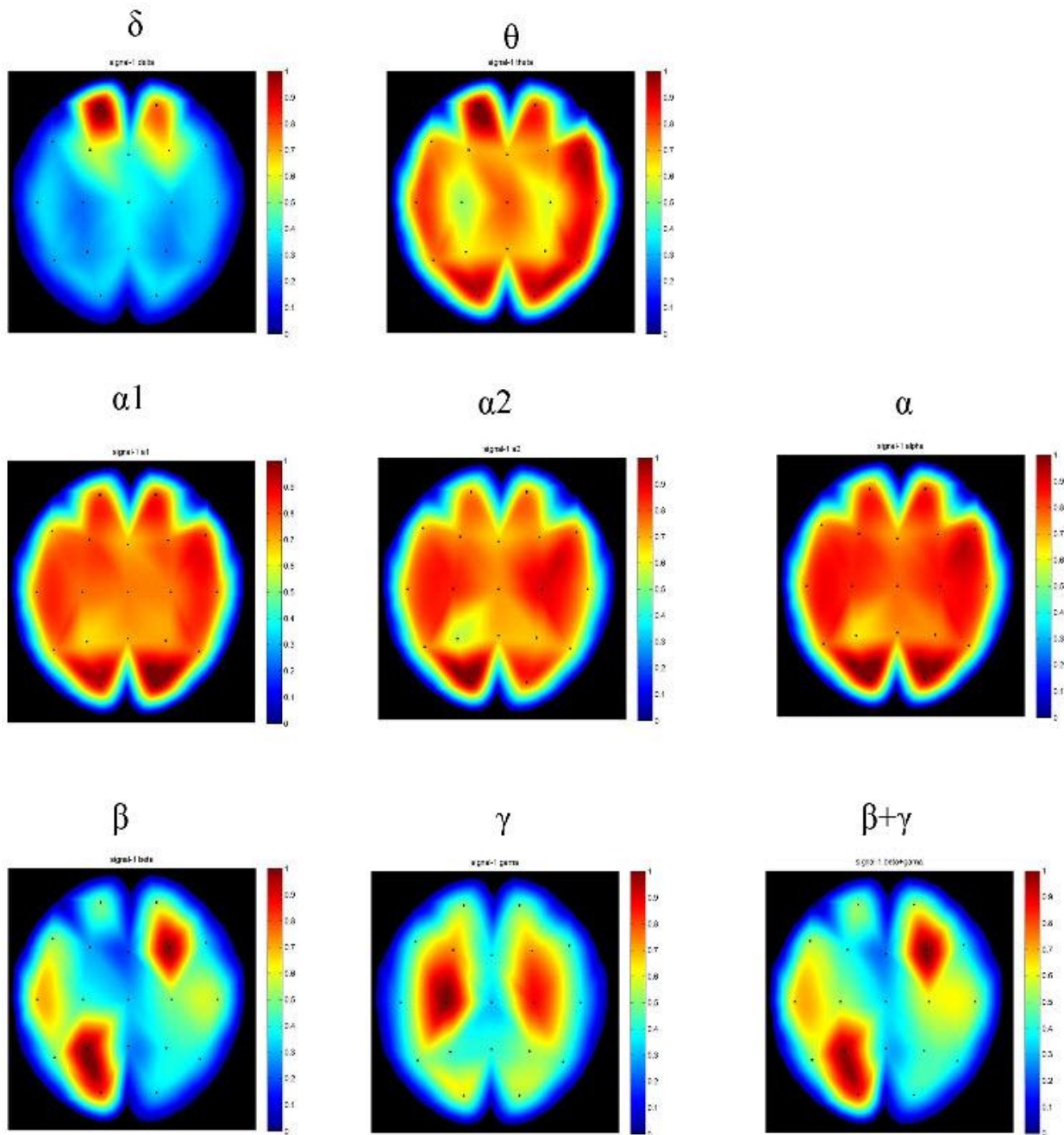
Σχήμα 6.5. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο REAL περιβάλλον και η κόκκινη στο 3D.

Στο σχήμα 6.6 και στο σχήμα 6.7 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το πραγματικό (REAL) και το εικονικό στερεοσκοπικό (3D) περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.



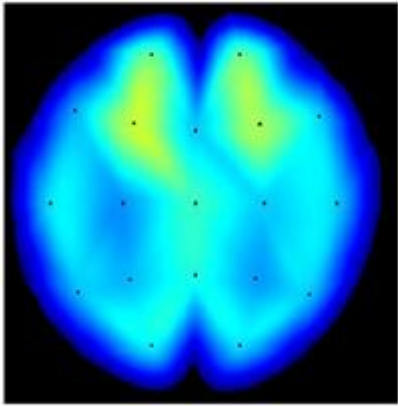
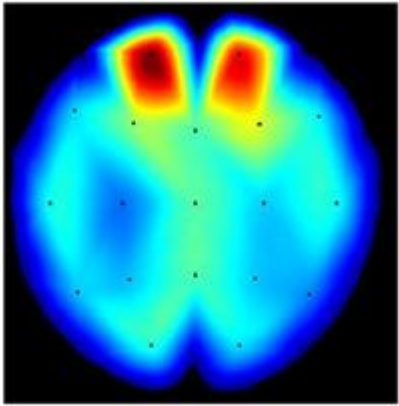
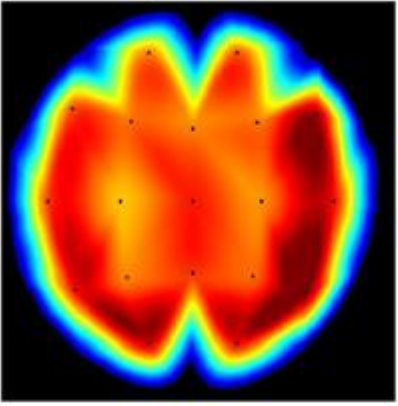
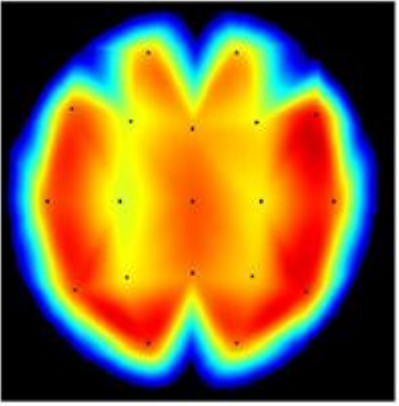
Σχήμα 6.6. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον).

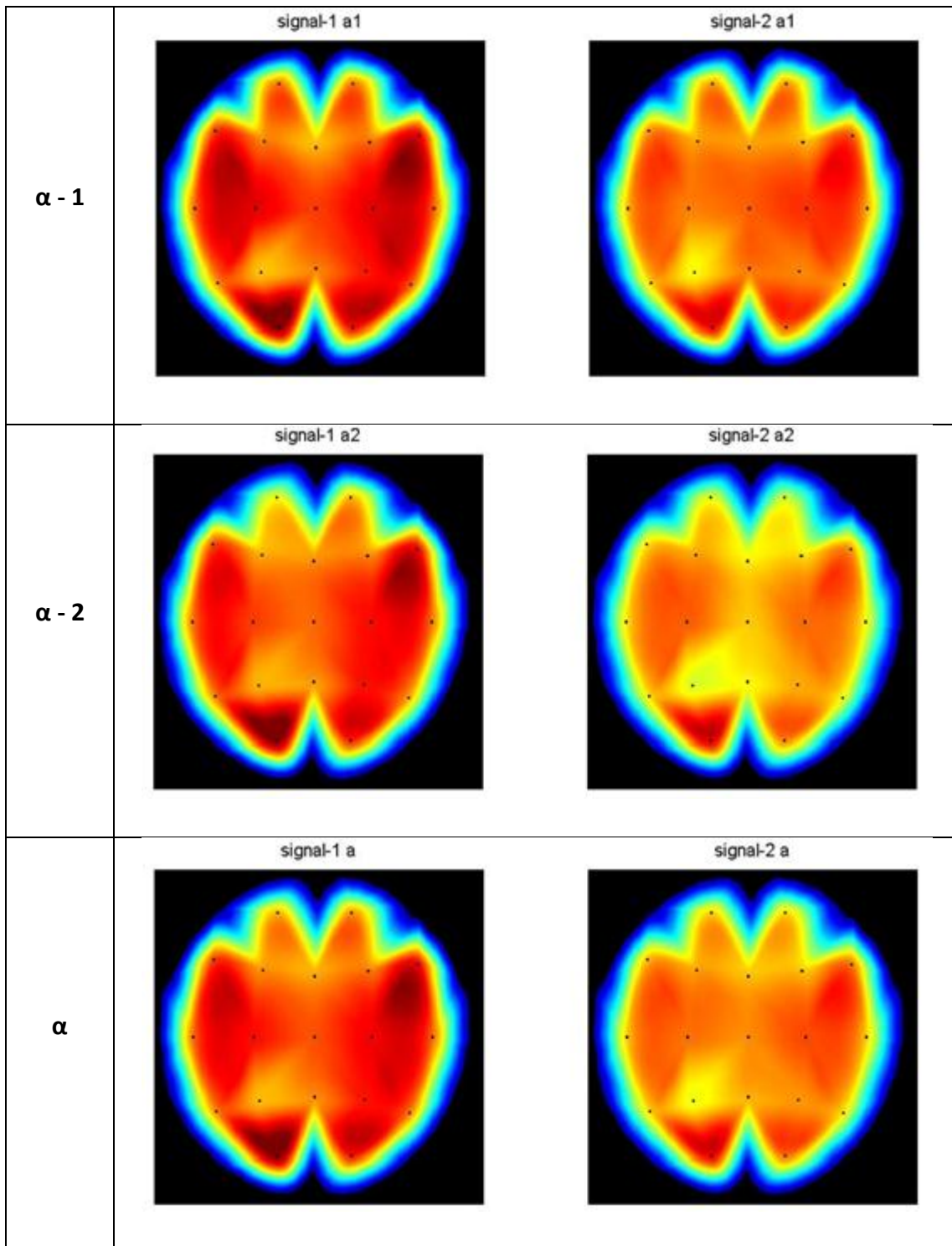


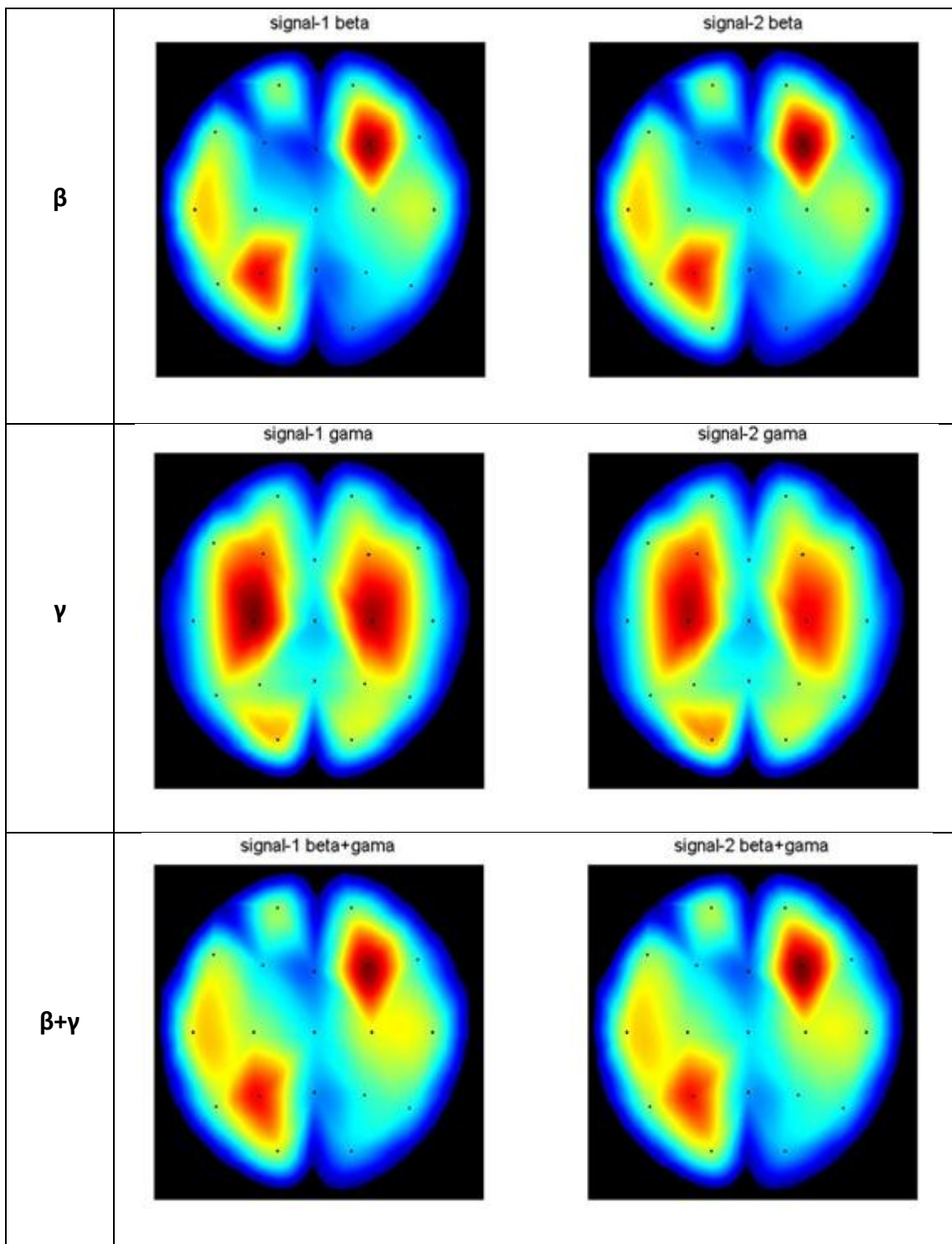


Σχήμα 6.7. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 3D (εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον).

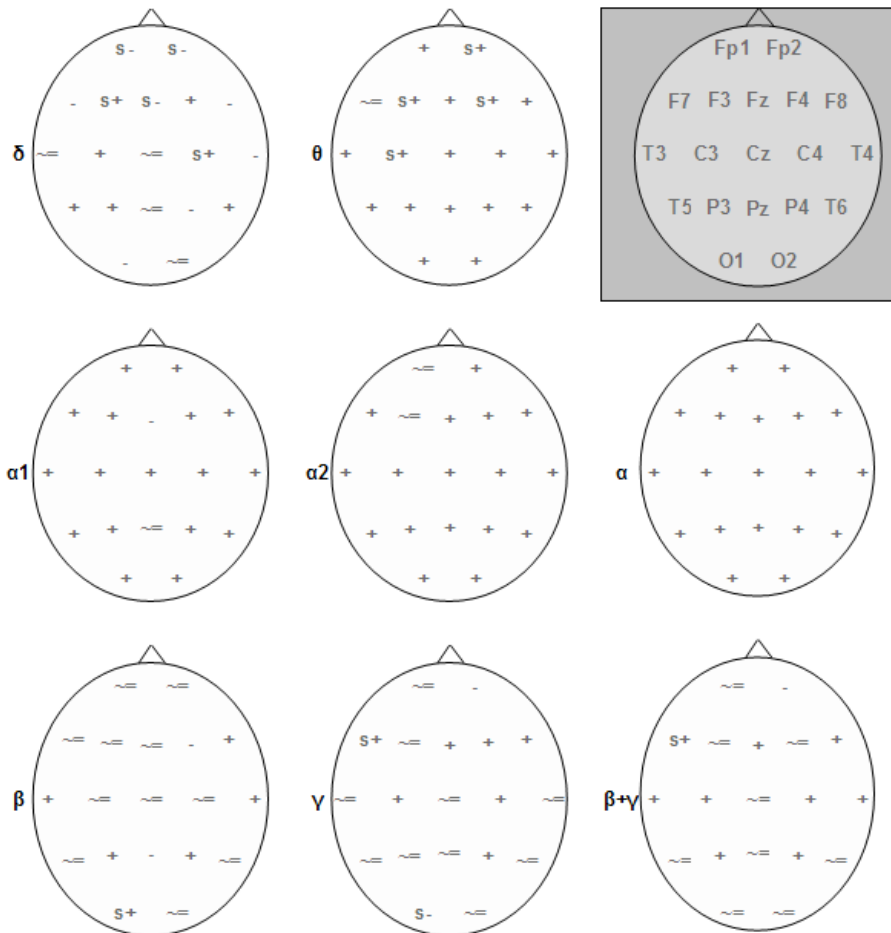
Στον Πίνακα 6.2 απεικονίζονται οι χάρτες με τις απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό στο REAL και το 3D περιβάλλον.

Πίνακας 6.2. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και 3D.		
Ρυθμοί	Περιβάλλοντα	
	REAL	3D
$\delta$	<p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
$\theta$	<p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 





Στο σχήμα 6.8 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ του πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος και του τρισδιάστατου (3D).



Σχήμα 6.8. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – 3D). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~= αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Στο REAL περιβάλλον παρατηρείται δ δραστηριότητα που εμφανίζεται ισχυρή στις προμετωπιαίες περιοχές (ηλεκτρόδια Fp1, Fp2), ο θ ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος και ισχυρός στις πλευρικές περιοχές, στις προμετωπιαίες και στις ινιακές περιοχές και λιγότερο ισχυρός στις κέντρο – βρεγματικές περιοχές. Ο α – 1 εμφανίζεται διάχυτος και ισχυρός σε όλο το κρανίο, ενώ ο α – 2 εμφανίζεται διάχυτος αλλά λιγότερο ισχυρός από τον α – 1. Ο α

ρυθμός εμφανίζεται με συμπεριφορά όμοια του  $\alpha - 1$  υπορυθμού. Ο  $\beta$  ρυθμός είναι ισχυρός στην αριστερή βρεγματική περιοχή (θέση P3) καθώς και στη δεξιά μετωπική (θέση F4). Τέλος, ο  $\gamma$  ρυθμός εμφανίζεται ισχυρός στην αριστερή και δεξιά κεντρική περιοχή (θέσεις C3, C4).

Στο 3D περιβάλλον παρατηρείται ισχυρή  $\delta$  δραστηριότητα στις πρόσθιες μετωπιαίες περιοχές, με το  $\theta$  ρυθμό να εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά με του REAL περιβάλλοντος. Ο  $\alpha - 1$  παρουσιάζεται διάχυτος σε όλο σχεδόν το κρανίο με αυξημένη ισχύ στην αριστερή ινιακή περιοχή (θέση O1). Ο  $\alpha - 2$  εμφανίζεται και αυτός διάχυτος και ισχυρός στην αριστερή ινιακή θέση (ηλεκτρόδιο O1). Ο  $\alpha$  ρυθμός παρουσιάζει παρόμοια τοπολογία με αυτή των  $\alpha - 1$  και  $\alpha - 2$  και οι  $\beta$  και  $\gamma$  ανάλογη με αυτή του REAL περιβάλλοντος.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η σύγκριση των δύο περιβαλλόντων με βάση τη φασματική τους κατανομή και τις στατιστικά σημαντικές διαφορές (πίνακας 6.2 και σχήμα 6.8).

#### **6.2.2.1 Δέλτα ρυθμός (0.5 – 3.5 Hz)**

Η τοπολογία του ρυθμού εμφανίζεται παρόμοια και στα δύο περιβάλλοντα και περιορίζεται στις πρόσθιες μετωπικές περιοχές. Η  $\delta$  δραστηριότητα εμφανίζεται ισχυρότερη στο 3D περιβάλλον στις προμετωπιαίες θέσεις τόσο τοπολογικά όσο και στατιστικά σε σχέση με το REAL, κάτι που πιθανά σημαίνει ότι το 3D περιβάλλον προκάλεσε ισχυρότερη οπτική ενεργοποίηση στις συμμετέχουσες από ότι το REAL. Η εμφάνιση του ρυθμού δεν μπορεί να συσχετιστεί στη διεργασία αυτή με καταστάσεις χαλάρωσης και ύπνου, αφού κάτι τέτοιο αποκλείστηκε από την πειραματική διαδικασία και την παρατήρηση της συμπεριφοράς των συμμετεχουσών.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματά του Stefanics και των συνεργατών του (2010), ο  $\delta$  ρυθμός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μεσολάβηση κατά την αναμονή και ανίχνευση προβλέψιμων οπτικών στόχων. Η οπτική αντιληπτική απόδοση συνδέεται με τη φάση της δραστηριότητας υποβάθρου που καταγράφεται από το HEF (Busch et al., 2009; Mathewson et al., 2009). Κατά συνέπεια, η διαμόρφωση του  $\delta$  ρυθμού λίγο πριν το ερέθισμα, μπορεί να χρησιμεύσει ως ένας νευρικός μηχανισμός που κρύβεται κάτω από τη εντονότερη επεξεργασία των αναμενόμενων γεγονότων. Επομένως, το 3D περιβάλλον φαίνεται να είχε καλύτερη απόδοση στην αναγνώριση και επεξεργασία των οπτικών στόχων της διεργασίας



σε σχέση με το REAL ίσως εξαιτίας του πιο περιορισμένου οπτικού πεδίου συγκριτικά με το πραγματικό.

Σύμφωνα με τον ισχυρισμό του Scerbo και των συνεργατών του (2001), ο  $\delta$  ρυθμός σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το φόρτο εργασίας, γεγονός που σημαίνει ότι και τα δύο περιβάλλοντα δεν είχαν ιδιαίτερες νοητικές απαιτήσεις. Επειδή, όμως, ο  $\delta$  ρυθμός εμφανίζεται κυρίως στις μετωπικές περιοχές, αντιμετωπίζεται με μεγάλη επιφυλακτικότητα, διότι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στα οφθαλμικά παράσιτα (Scerbo et al., 2001).

#### **6.2.2.2 Θήτα ρυθμός (4 – 7 Hz)**

Στο REAL περιβάλλον ο  $\theta$  ρυθμός εμφανίζεται εντοπισμένος και ισχυρός σε όλο το κρανίο. Στο 3D περιβάλλον εμφανίζεται πλευρικά όπως και στις ινιακές θέσεις. Φαίνεται ότι και στα δύο περιβάλλοντα οι εγκεφαλικές λειτουργίες που κυριάρχησαν αφορούσαν στην επεξεργασία οπτικών αισθητηριακών πληροφοριών.

Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές του REAL περιβάλλοντος σε σχέση με το 3D μπορεί να συσχετιστεί με αρκετές γνωστικές λειτουργίες. Οι περισσότερες έρευνες συνδέουν την αύξηση του  $\theta$  ρυθμού στις μετωπιαίες περιοχές με αύξηση της προσοχής, της επιλεκτικής προσοχής, του νοητικού φόρτου ή του μνημονικού φόρτου. Η δυσκολία της διεργασίας, όπως και η πολυπλοκότητα των ερεθισμάτων είναι παράγοντες που συντελούν στην αύξηση του νοητικού φόρτου και σχετίζονται με αυξημένο μετωπιαίο  $\theta$  ρυθμό. Είναι, επομένως, λογική η υπόθεση ότι το REAL περιβάλλον απαίτησε μεγαλύτερη ενεργοποίηση της προσοχής και της επιλεκτικής προσοχής.

Ο  $\theta$  ρυθμός δε συνδέεται αυστηρά με την ποσότητα της πληροφορίας που πρέπει να υποστεί επεξεργασία, αλλά με το βαθμό της επεξεργασίας που απαιτείται για να αντεπεξέλθει το υποκείμενο στις ανάγκες της διεργασίας (Onton et al., 2005). Ωστόσο, ο μετωπιαίος  $\theta$  θεωρείται πως αυξάνεται, όταν προβάλλονται σύνθετα αισθητηριακά ερεθίσματα ανεξάρτητα από το είδος της αισθητήριας εισαγωγής, γεγονός που συμφωνεί με την εν γένει κυρίαρχη άποψη πως σύνθετα γεγονότα απαιτούν μετωπιαία επεξεργασία (Basar et al., 1999). Κάτι τέτοιο, όμως, στην παρούσα έρευνα δεν ισχύει μιας και για τα 2 περιβάλλοντα η αισθητήρια εισαγωγή ήταν η ίδια. Πιθανά, το REAL περιβάλλον απαίτησε αυξημένη επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε συνειρμικό επίπεδο και κατά την

---

προσπάθεια αναγνώρισης των αντικειμένων εξαιτίας του γεγονότος ότι προβλήθηκε πρώτο κατά τη διεργασία αυτή.

Και στα δύο περιβάλλοντα εμφανίζεται θ ρυθμός στις ινιακές περιοχές κάτι που υποδηλώνει για τον πρωτοταγή οπτικό φλοιό (όπως αναφέρεται στην ενότητα 3.4) μια απλή διεργασία για τις συμμετέχουσες (Barcelo et al., 1995). Το γεγονός αυτό μπορεί να συσχετιστεί με αυξημένη επεξεργασία πρωτογενούς οπτικού υλικού και στα δύο περιβάλλοντα (Hinterberger et al., 2008). Η μη στατιστικά σημαντική υπεροχή κανενός από τα 2 περιβάλλοντα πιθανά σημαίνει ότι και τα δύο προκάλεσαν αντίστοιχα συναισθήματα στις συμμετέχουσες και ήταν το ίδιο οικεία, στοιχείο που οδηγεί σε ένα εκ νέου πιθανό συμπέρασμα για την ποιοτική και πιστή αναπαράσταση του πραγματικού περιβάλλοντος στο 3D. Η σχετικά αυξημένη συμμετοχή του δεξιού ημισφαιρίου σε σχέση με το αριστερό στο REAL περιβάλλον, δείχνει πιθανώς ότι οι συμμετέχουσες επιστράτευαν λειτουργίες εξερεύνησης του χώρου, αντίδραση παρόμοια και στο 3D καταδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο για άλλη μία φορά την πιστή αναπαράστασή του σε σχέση με το πραγματικό. Ταυτόχρονα, η σημαντικότερη αύξηση του θ ρυθμού στο REAL περιβάλλον εμφανίζεται στο δεξί ημισφαίριο. Αυτό πιθανά σημαίνει αυξημένη προσοχή στο REAL περιβάλλον (Mizuki et al., 1980, 1983, Kahana et al., 1999), αφού το δεξί ημισφαίριο και ειδικά ο μετωπιαίος και ο βρεγματικός φλοιός διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις διαδικασίες προσοχής (Paus et al., 1997).

Η κροταφική θ δραστηριότητα συμμετέχει σε ένα εύρος συμπεριφορών. Για παράδειγμα, έχει προταθεί ότι συμμετέχει σε νοητικές λειτουργίες και προσπάθειες επίτασης της προσοχής (Aftanas & Golosheikine, 2001; Smith et al., 2001), λειτουργίες μνήμης (Sederberg et al., 2003; Onton, et al., 2005; Gruber et al., 2008), μάθησης και χωρικών δεξιοτήτων (Caplan et al., 2001; Kahana et al., 2001; de Araujo et al., 2002; Caplan et al., 2003; Ekstrom et al., 2005). Η αυξημένη παρουσία του θ ρυθμού στις κροταφικές περιοχές και στα δύο περιβάλλοντα σχετίζεται με προσπάθεια διατήρησης της προσοχής, μάθησης των περιβαλλόντων και χωρικών δεξιοτήτων σε αμφότερα τα περιβάλλοντα.

Το γεγονός ότι και στα δύο περιβάλλοντα ο θ ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος σε όλο το κranίο, οδηγεί στο συμπέρασμα πως μετά από ένα σημείο οι συμμετέχουσες βίωναν



υπναγωγικές καταστάσεις, πιθανώς, λόγω των απλών και χωρίς ιδιαίτερων απαιτήσεων αισθητηριακών περιβαλλόντων.

Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι το REAL περιβάλλον απαιτήσε μεγαλύτερη ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών και διαδικασιών προσοχής, ενώ το 3D περιβάλλον παρουσιάστηκε οικείο όπως το REAL στην απόδοσή του.

### **6.2.2.3 Άλφα ρυθμός (8 – 13 Hz)**

Ο α ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος και ισχυρός και στα δύο περιβάλλοντα. Ο ρυθμός εξαπλώνεται τοπογραφικά σε όλο το κρανίο. Στο REAL περιβάλλον ο α ρυθμός εμφανίζεται ιδιαίτερα ισχυρός σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις. Αντίθετα, στο 3D περιβάλλον ο α ρυθμός εμφανίζεται με παρόμοια τοπολογία, αλλά με μικρότερη ισχύ σε σχέση με το REAL. Αυτή η κατανομή του ρυθμού συνδέεται με τη γνωστική επεξεργασία και τους μηχανισμούς της νοητικής προσπάθειας (Klimesch et al., 1992; Gremades et al., 2004) και ειδικότερα (όταν εξαπλώνονται σε ολόκληρο το φλοιό όπως εδώ) με τους διαφορετικούς τύπους απαιτήσεων προσοχής (Klimesch, 1999; Jaušovec & Jaušovec, 2000; Donner et al., 2007; Siegel et al., 2007). Η διάχυτη εξάπλωση του υπορυθμού  $\alpha - 1$  και στα δύο περιβάλλοντα μπορεί να ερμηνευτεί ως μειωμένη νοητική προσπάθεια με περιορισμένες ανάγκες για ένταση της προσοχής. Καθίσταται, λοιπόν, φανερό ότι και τα δύο περιβάλλοντα δεν απαιτήσαν γενικά την ιδιαίτερη ενεργοποίηση της προσοχής.

Ο  $\alpha - 2$  υπορυθμός δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές στη σύγκριση των δύο περιβαλλόντων, συνεπώς, σε κανένα από τα δύο περιβάλλοντα δεν απαιτήθηκε σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας. Η διαφορετική τοπολογία τους, όμως, μπορεί να σημαίνει ότι το REAL περιβάλλον απαιτήσε μεγαλύτερη κωδικοποίηση του ερεθίσματος σε σχέση με το 3D, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο ότι παρουσιάστηκε πρώτο από όλα τα περιβάλλοντα δίνοντας το πλεονέκτημα μιας οικειότητας στο 3D σε σχέση με το REAL περιβάλλον.

Αύξηση του α ρυθμού συνδέεται (Pfurtscheller, 1996; Burgess & Gruzelier, 1997; Klimesch et al., 1996, 1997a, 1997b; Klimesch, 1997, 1999) με γενική μείωση της νοητικής προσπάθειας, ενώ η γενικότερη μείωση του α ρυθμού σχετίζεται με τη δυσκολία της εργασίας. Κατά τη διάρκεια επίτασης της προσοχής έχει αναφερθεί ότι ο βρεγματοϊνιακός α ρυθμός

μειώνεται, υποδηλώνοντας μείωση της προσοχής και γενικά μια χαλαρή κατάσταση για τις συμμετέχουσες, καθώς παρατηρείται ισχυρός σε αυτές τις θέσεις και στα δύο περιβάλλοντα.

Όσο πιο απαιτητική είναι η εργασία και όσο μεγαλύτερη η προσήλωση του υποκειμένου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός του  $\alpha$  αποσυγχρονισμού (Pfurtscheller, 1993; Klimesch, 1999). Έτσι, σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη και τα δύο περιβάλλοντα απαίτησαν γενικά μειωμένη νοητική προσπάθεια. Αυτό είναι ως ένα σημείο αναμενόμενο, αφού η οπτική σκηνή δεν έχει αλλάξει και η διεργασία δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Ταυτόχρονα, η υπόθεση της «α παραδοξότητας» (Cole & Ray, 1985; Cooper et al., 2003) δεν μπορεί να ισχύει, αφού δεν απαιτείται από τις συμμετέχουσες εσωτερικά κατευθυνόμενη προσοχή.

Η αύξηση του  $\alpha$  ρυθμού έχει προταθεί για την πρόβλεψη οπτικών αντιληπτικών αποδόσεων (Romei et al., 2008; Van Dijk et al., 2008; Busch et al., 2009; Mathewson et al., 2009) κάτι που και για τα δύο περιβάλλοντα ευσταθεί.

Συνοψίζοντας, και τα δύο περιβάλλοντα δεν απαίτησαν ιδιαίτερους μηχανισμούς της προσοχής και γενικά είχαν μειωμένες απαιτήσεις όσον αφορά τη νοητική προσπάθεια εξαιτίας της οικειότητας των περιβαλλόντων.

#### **6.2.2.4 Βήτα Ρυθμός (13 – 32 Hz)**

Ο  $\beta$  ρυθμός εμφανίζεται γενικά μειωμένος και στα δύο περιβάλλοντα. Γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με την αυξημένη παρουσία του  $\alpha$ . Ο αποσυγχρονισμός του  $\alpha$  ρυθμού σε κάποιο περιβάλλον συσχετίζεται με αυξημένη προσοχή, ενώ η  $\beta$  δραστηριότητα φαίνεται να παρουσιάζει αντίστροφη συμπεριφορά από την  $\alpha$  και αυξάνει, όταν αυξάνουν οι απαιτήσεις της εργασίας (Paranikolaou et al., 1986).

Και στα δύο περιβάλλοντα παρουσιάζεται  $\beta$  ρυθμός στην δεξιά μετωπική περιοχή, η οποία μπορεί να ερμηνευθεί ως νοητική εργασία γενικά ή ως μείωση του βαθμού χαλάρωσης και αύξηση του άγχους και της προσοχής σε χωρικές λειτουργίες (Mundy – Castle, 1951; Ray & Cole, 1985; Markand, 1990; Oken & Salinsky, 1992; Petruzzello & Landers, 1994; Field et al., 1996; Jacobs et al., 1996; Kirov et al., 1996; Macaulay & Edmonds, 2004). Πρόσφατες έρευνες σε προμετωπιαίες περιοχές συνδέουν την αύξηση του  $\beta$  ρυθμού κατά τη διάρκεια οπτικών αναζητήσεων με την από επάνω προς τα κάτω αύξηση της προσοχής (Buschman &

Miller, 2007; Buschman & Miller, 2009). Αμφότερα τα δύο περιβάλλοντα, λοιπόν, απαίτησαν την ίδια προσοχή γεγονός που υποδηλώνεται και από τις μη στατιστικά σημαντικές διαφορές, όπως προκύπτουν από τις καταγραφές.

Κοντολογίς, και τα δύο περιβάλλοντα απαίτησαν την ίδια προσοχή χωρίς κάποιον ιδιαίτερο μνημονικό φόρτο.

#### **6.2.2.5 Γάμα Ρυθμός (33 - 48Hz)**

Σε αντίθεση με τον α, ο γ ρυθμός που τοπολογικά εξαπλώνεται παρόμοια και στα δύο περιβάλλοντα, αντανακλά μία κατάσταση ενεργητικής επεξεργασίας πληροφοριών.

Εξαιτίας της μη στατιστικά σημαντικής διαφοράς των δύο περιβαλλόντων εξάγεται το συμπέρασμα πως και τα δύο περιβάλλοντα απαίτησαν παρόμοια οπτική επιλεκτική προσοχή. Τα αποτελέσματα που αναφέρονται συμφωνούν με τον Tallon και τους συνεργάτες του (1995), σύμφωνα με τους οποίους, ο γ ρυθμός θεωρείται υπεύθυνος για τη σύνδεση των οπτικών χαρακτηριστικών στατικών αντικειμένων και από τον Revonsuo και τους συνεργάτες του (1997) σχετικά με τη συσχέτιση του γ ρυθμού με τη λειτουργία της στερεοσκοπίας.

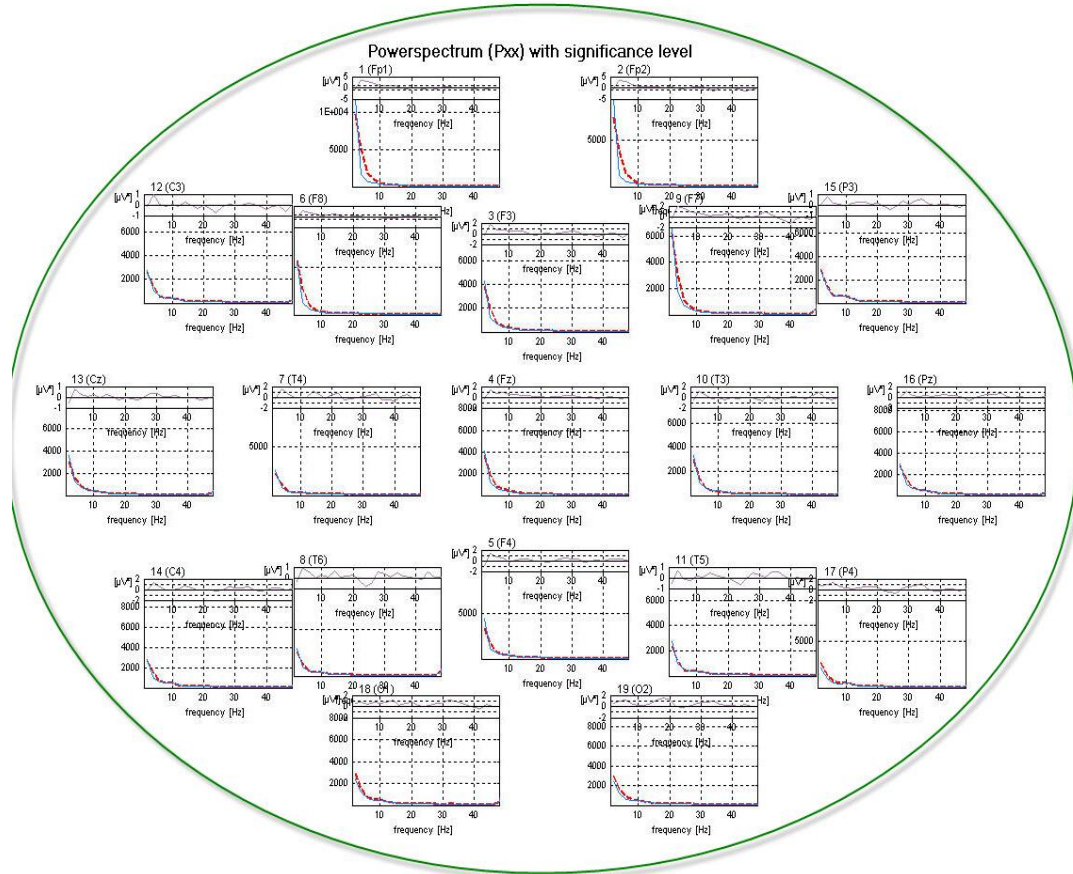
Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του 3D περιβάλλοντος στην αριστερή ινιακή θέση (σχήμα 6.8) πιθανά να συνδέεται με τη στερεοσκοπία των τρισδιάστατων εικόνων προβολής και υποδεικνύει δραστηριότητα σχετική με την οπτική επεξεργασία πληροφοριών και συνδέεται στενά με την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών και με αντιληπτικούς μηχανισμούς (φαινόμενα) προσοχής στο περιβάλλον αυτό (Müller et al., 2000; Tallon-Baudry, 2004).

Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του REAL περιβάλλοντος στην αριστερή μετωπική θέση (ηλεκτρόδιο F7, σχήμα 6.8) πιθανά να σχετίζεται με μεγαλύτερη επιλεκτική προσοχή στο περιβάλλον αυτό, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο ότι ήταν και το πρώτο περιβάλλον επίδειξης που παρουσιάσθηκε στις συμμετέχουσες.

Συνοψίζοντας, τόσο το REAL όσο και το 3D περιβάλλον φάνηκαν γενικά το ίδιο οικεία για τις συμμετέχουσες, γεγονός που καταδεικνύει την πιστή αναπαράσταση του τρισδιάστατου περιβάλλοντος.

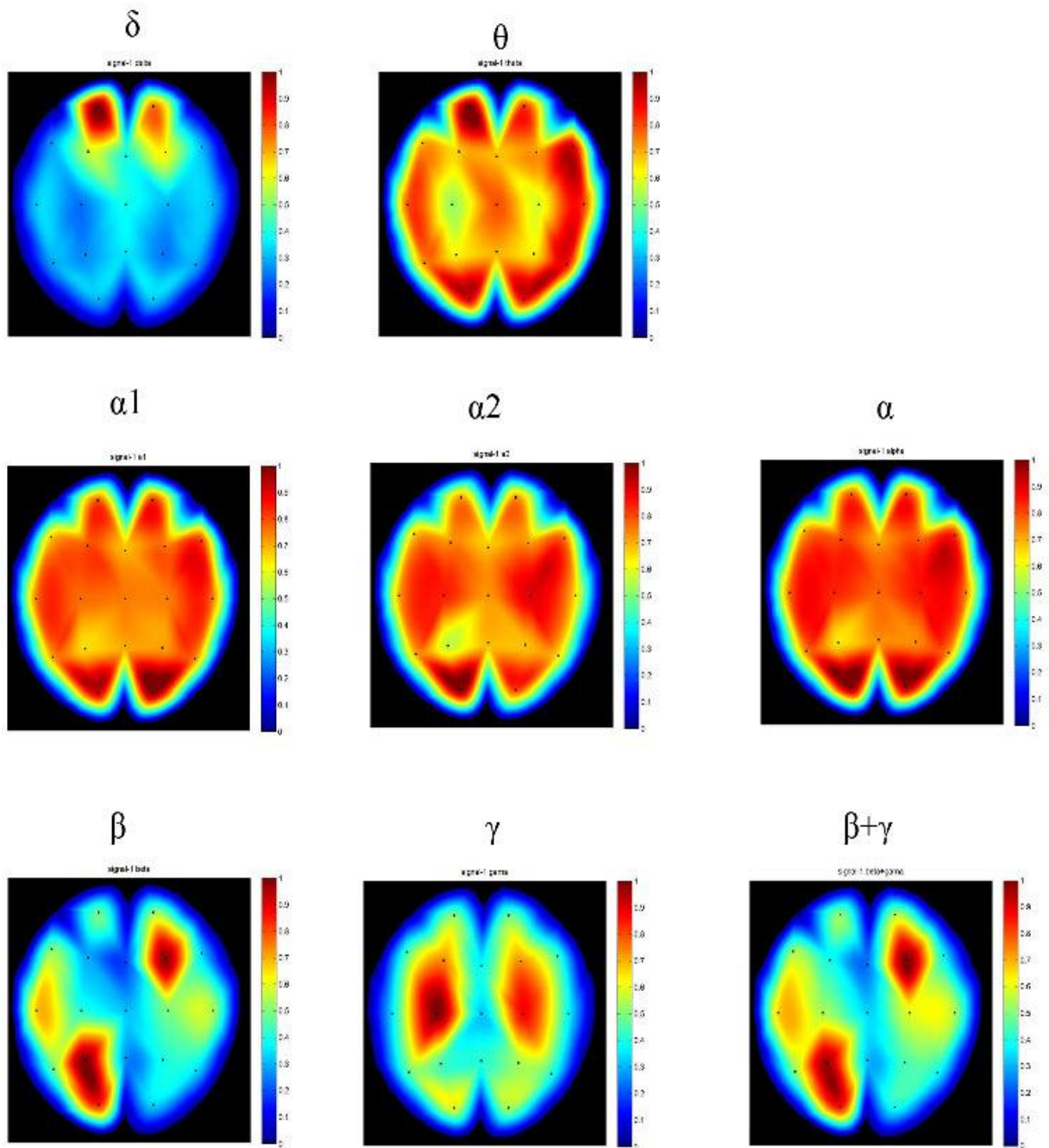
### 6.2.3 Εικονικό στερεοσκοπικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλοντα

Στο σχήμα 6.9 εμφανίζονται οι γραφικές παραστάσεις του φάσματος ισχύος για όλα τα ηλεκτρόδια και για τα δύο περιβάλλοντα 3D και 2D.

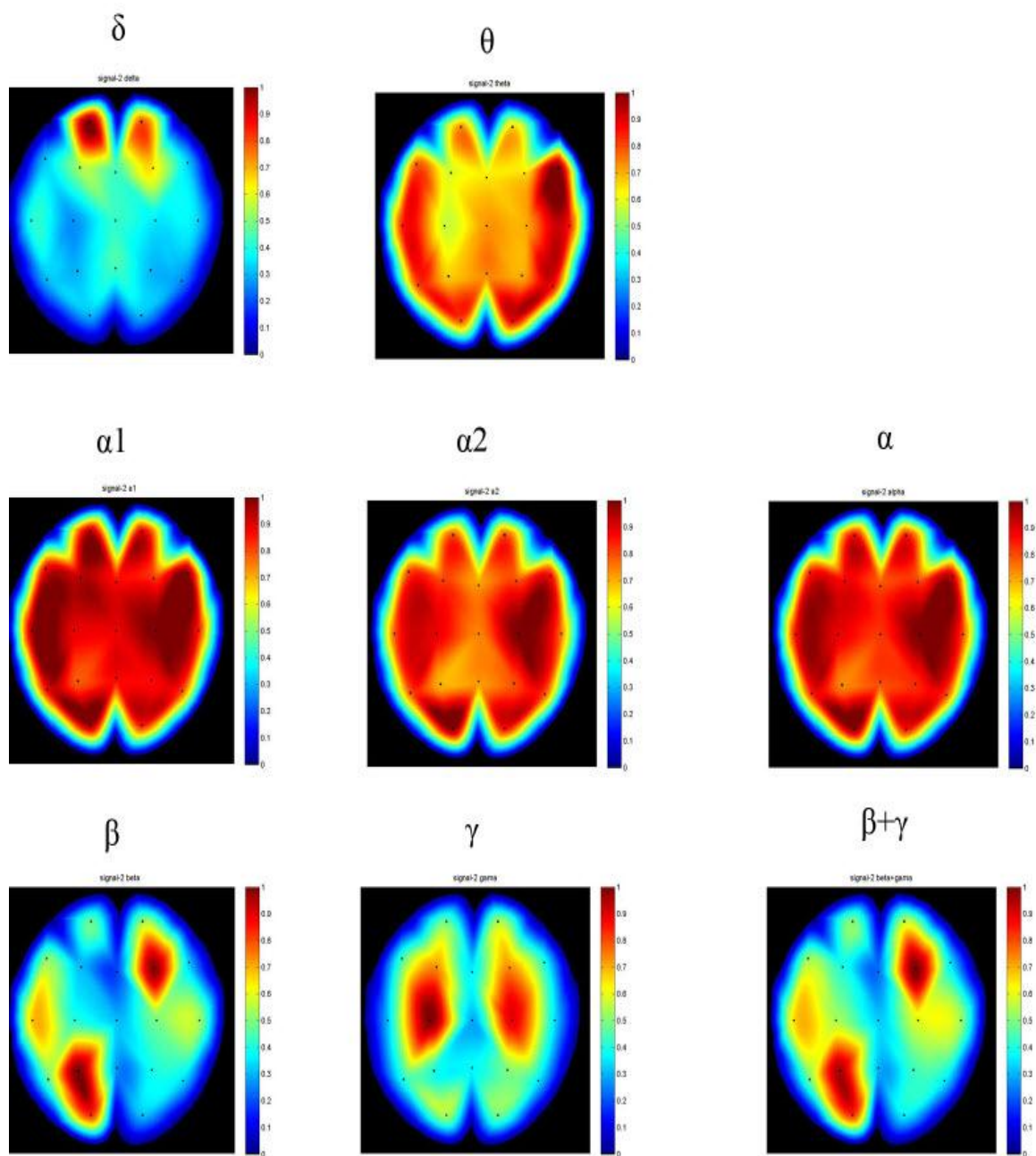


Σχήμα 6.9. Γραφική παράσταση του φάσματος όλων των υποκειμένων με συχνότητες 1 μέχρι 48 Hz για όλα τα ηλεκτρόδια. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο 3D περιβάλλον και η πράσινη στο 2D.

Στα σχήματα 6.10 και 6.11 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το 3D και το 2D περιβάλλον αντίστοιχα, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούστες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.



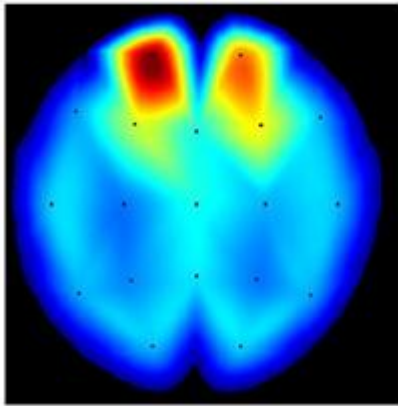
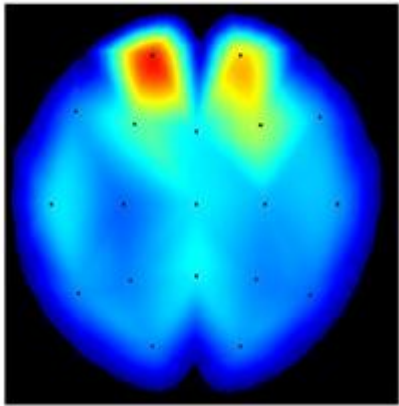
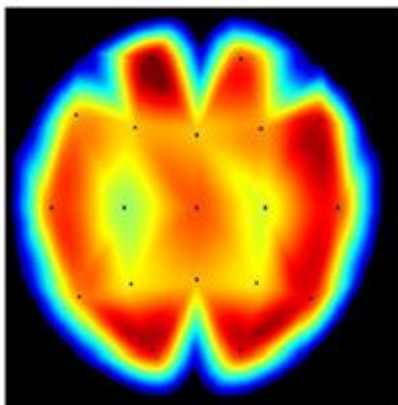
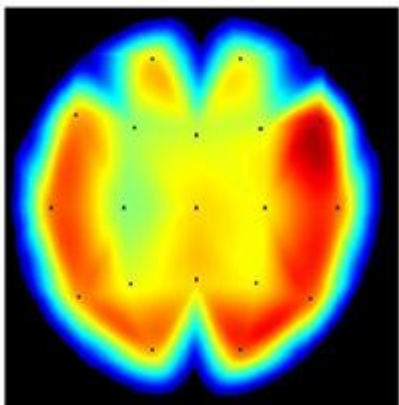
Σχήμα 6.10. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 3D περιβάλλον.

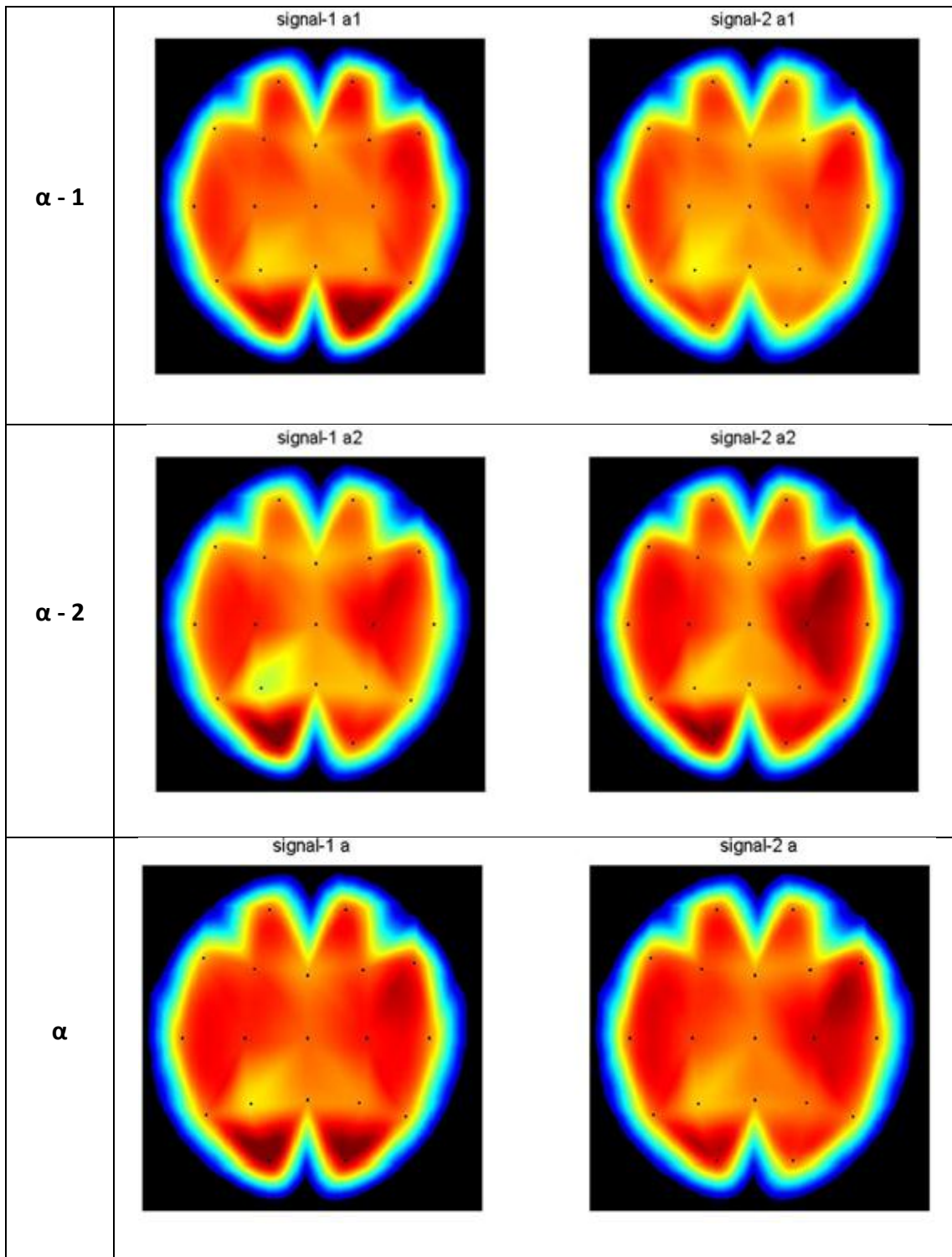


Σχήμα 6.11. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 2D.

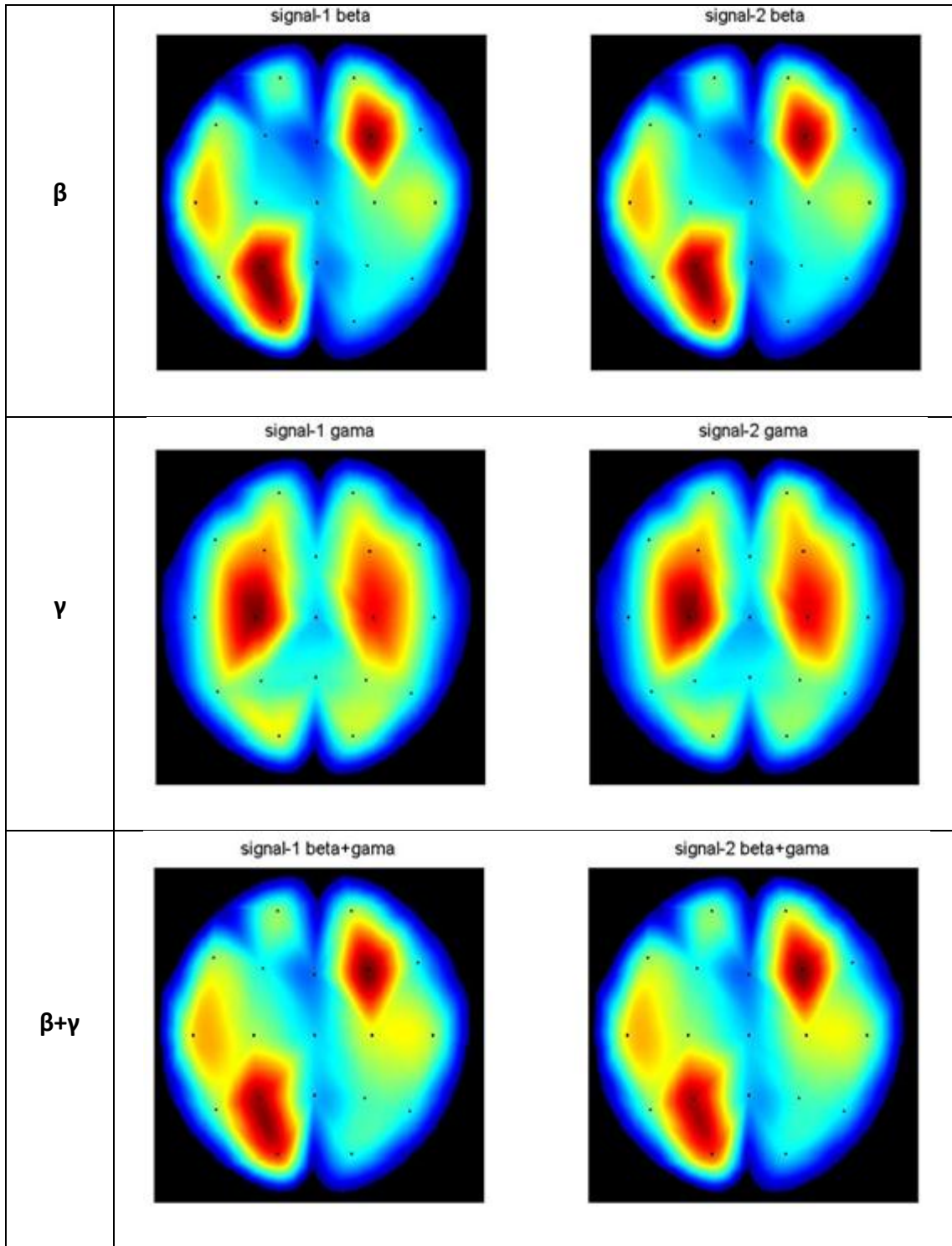


Στον Πίνακα 6.3 απεικονίζονται οι χάρτες με τις απόλυτες τιμές ισχύος καταναμημένες για κάθε ρυθμό στο 3D και το 2D περιβάλλον.

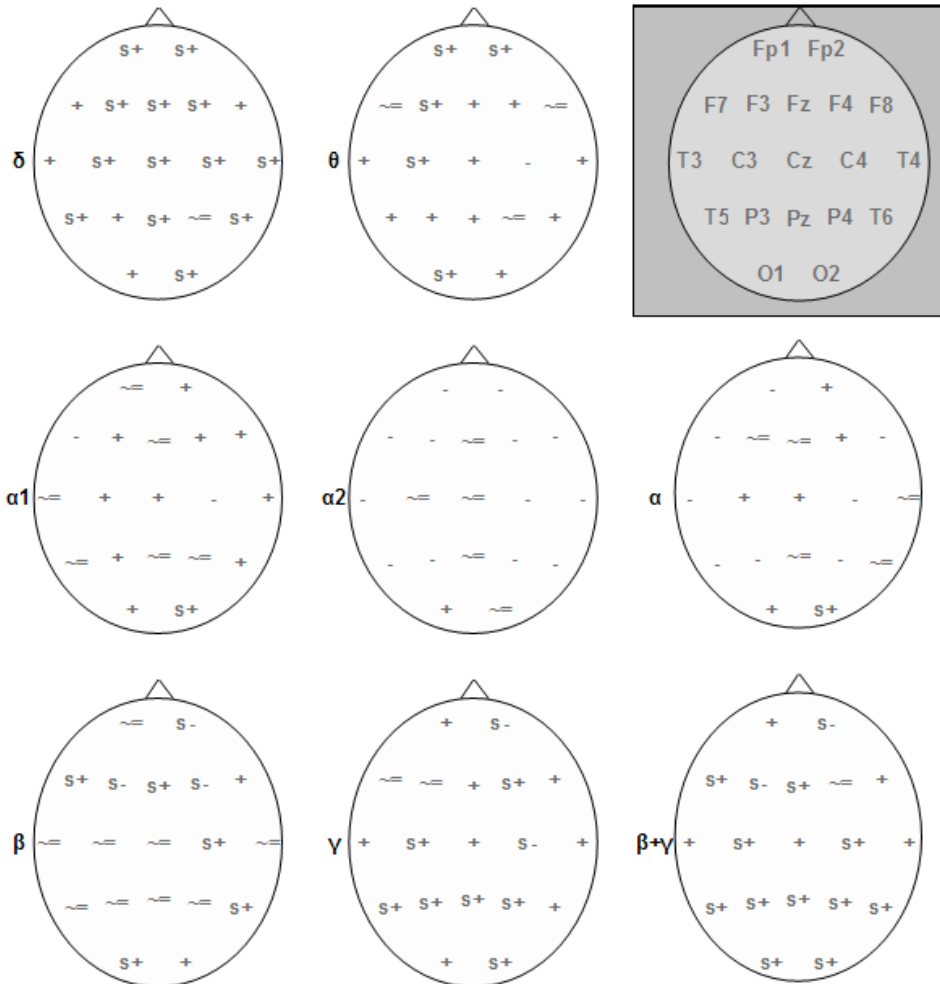
Πίνακας 6.3. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος καταναμημένες για κάθε ρυθμό σε 3D και 2D.		
Ρυθμοί	Περιβάλλοντα	
	3D	2D
$\delta$	<p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
$\theta$	<p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 







Στο σχήμα 6.12 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ του τρισδιάστατου (3D) και του εικονικού μη στερεοσκοπικού (2D) περιβάλλοντος.



Σχήμα 6.12. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού μη – στερεοσκοπικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών 3D – 2D). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και – μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ = αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Στο 3D περιβάλλον παρατηρείται ο δ ρυθμός να περιορίζεται στις πρόσθιες μετωπικές περιοχές (θέσεις ηλεκτροδίων Fp1 και Fp2), ο θ ρυθμός να είναι διάχυτος και ισχυρός στις πρόσθιες μετωπικές περιοχές, στις δεξιές μετωπικές και κροταφικές περιοχές και στις ινιακές. Ο α – 1 υπορυθμός εμφανίζεται διάχυτος και ισχυρός κυρίως στις ινιακές περιοχές, ενώ ο α – 2 ισχυρός στην αριστερή ινιακή περιοχή (θέση ηλεκτροδίου O1). Ο α ρυθμός έχει

τη συμπεριφορά του  $\alpha - 1$  υπορυθμού. Ο  $\beta$  ρυθμός είναι ισχυρός στην αριστερή βρεγματική και ινιακή περιοχή (θέσεις P3 και O1), καθώς και στη δεξιά μετωπική (θέση F4). Τέλος, ο  $\gamma$  ρυθμός εμφανίζεται ισχυρός στην αριστερή κεντρική περιοχή (θέση C3).

Στο 2D περιβάλλον παρατηρείται ότι ο  $\delta$  ρυθμός παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή του 3D περιβάλλοντος, με το  $\theta$  ρυθμό να εμφανίζεται διάχυτος και ισχυρός κυρίως στις πλευρικές περιοχές και στη δεξιά μετωπική θέση (ηλεκτρόδιο F8). Ο  $\alpha - 1$  υπορυθμός παρουσιάζεται διάχυτος σε όλο σχεδόν το κρανίο, με τον  $\alpha - 2$  να είναι ισχυρός στη δεξιά κεντρική περιοχή (θέση C4) και στην αριστερή ινιακή (θέση O1). Ο  $\alpha$  ρυθμός παρουσιάζει παρόμοια τοπολογία με τον  $\alpha - 1$  υπορυθμό και ο  $\beta$  εμφανίζεται ισχυρός στη δεξιά μετωπική και αριστερή βρεγματοϊνιακή περιοχή (θέσεις P3 και O1). Ο  $\beta$  ρυθμός είναι ισχυρός στην αριστερή βρεγματική και ινιακή περιοχή (θέσεις P3 και O1), καθώς και στη δεξιά μετωπική (θέση F4). Τέλος, και εδώ ο  $\gamma$  ρυθμός εμφανίζεται ιδιαίτερα ισχυρός στην αριστερή κεντρική περιοχή (θέση C3) με εξάπλωσή του και στη δεξιά κεντρική θέση.

Κατόπιν, ακολουθεί η σύγκριση των δύο περιβαλλόντων με βάση τη φασματική τους κατανομή και τις στατιστικά σημαντικές διαφορές τους (πίνακας 6.3 και σχήμα 6.12).

#### **6.2.3.1 Δέλτα ρυθμός (0.5 - 3.5 Hz)**

Ο  $\delta$  ρυθμός εμφανίζεται ισχυρότερος στο 3D περιβάλλον σε όλες σχεδόν τις ηλεκτροεγκεφαλικές περιοχές. Η τοπολογία του ρυθμού εμφανίζεται παρόμοια και στα δύο περιβάλλοντα και περιορίζεται στις πρόσθιες μετωπικές περιοχές. Η εμφάνιση του ρυθμού δεν μπορεί να σχετιστεί στη διεργασία αυτή με καταστάσεις χαλάρωσης και ύπνου, αφού κάτι τέτοιο αποκλείσθηκε από την πειραματική διαδικασία και την παρατήρηση της συμπεριφοράς των συμμετεχουσών.

Βιβλιογραφικά δεδομένα αναφέρουν (Basar et al., 1999; Onton et al., 2005; Lakatos et al., 2009) ότι η  $\delta$  δραστηριότητα που εμφανίζεται σε φυσιολογικά άτομα κατά τη φάση της εγρήγορσης, σχετίζεται με ανίχνευση σήματος και λήψη αποφάσεων, γεγονός που πιθανά υπονοεί αυξημένες απαιτήσεις της μνήμης εργασίας και προσπάθεια για κατηγοριοποίηση των οπτικών ερεθισμάτων. Ταυτόχρονα, αναφέρουν μια πιθανή γενική απαίτηση εστίασης στην μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής του φλοιού σε αισθητήρια ερεθίσματα που πιθανά παρέχει σημαντικές αισθητηριακές πληροφορίες και σχετίζεται με την αύξηση στην

μετωπιαία περιοχή της μέσης γραμμής στη συχνότητα των 3 Hz. Από τη σύγκριση των περιβαλλόντων στον δ ρυθμό εξάγεται το συμπέρασμα ότι το 3D περιβάλλον απαιτήσε περισσότερη οπτική προσοχή και εστίαση σε σχέση με το 2D.

Σε οπτικά ερεθίσματα ο δ ρυθμός είναι εντονότερος στις πλευρικές περιοχές (Lakatos et al., 2009). Από τη στατιστική σύγκριση των δύο περιβαλλόντων στον δ ρυθμό εξάγεται το συμπέρασμα ότι το 3D περιβάλλον ήταν πιο πλούσιο σε οπτικά ερεθίσματα σε σχέση με το 2D, γεγονός που ίσως να οφείλεται στη σωστή απόδοση της στερεοσκοπίας σε αυτό.

Σύμφωνα με τον ισχυρισμό του Scerbo και των συνεργατών του (2001), ο δ ρυθμός σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με το φόρτο εργασίας υποδεικνύοντας ότι το 3D περιβάλλον είχε λιγότερες νοητικές απαιτήσεις από το 2D περιβάλλον.

#### **6.2.3.2 Θήτα ρυθμός (4 – 7 Hz)**

Ο θ ρυθμός εμφανίζεται σε διαφορετικές εγκεφαλικές περιοχές και στα δύο περιβάλλοντα: διάχυτος και ισχυρός σχεδόν σε όλο το κρανίο για το 3D περιβάλλον και ισχυρός πλευρικά και στις ινιακές περιοχές για το 2D. Φαίνεται ότι και στα δύο περιβάλλοντα οι εγκεφαλικές λειτουργίες που κυριάρχησαν αφορούσαν στην επεξεργασία οπτικών αισθητηριακών πληροφοριών.

Η ενεργοποίηση της μέσης γραμμής στη μετωπιαία και μετωπική περιοχή (ενότητα 2.7.1.2) που παρατηρείται στο 3D περιβάλλον σχετίζεται γενικά με επεξεργασία σύνθετων αισθητηριακών ερεθισμάτων (Basar et al., 1999), με αύξηση του νοητικού και μνημονικού φόρτου (Gundel & Wilson 1992, Mecklinger et al., 1992, Wilson et al., 1999, Bastiaansen & Haggort 2003; Onton et al., 2005), με ένταση της προσοχής (Kahana et al., 1999), με προσπάθεια για αύξηση της εγρήγορσης (Caldwell et al., 2003) και αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης (Ishihara & Yoshii, 1973) και κατά τη διάρκεια οπτικής επεξεργασίας με αισθητικοκινητικό προγραμματισμό (Hinterberger et al., 2008). Συνυπολογίζοντας τις υψηλότερες τιμές φασματικής ισχύος που παρατηρούνται σε αυτές τις εγκεφαλικές περιοχές στο 3D περιβάλλον (σχήμα 6.12 – θ), μπορεί να υποτεθεί ότι στο 3D περιβάλλον υπήρξε αυξημένη ενεργοποίηση των εγκεφαλικών λειτουργιών που προαναφέρθηκαν, κάτι που πιθανά να σημαίνει αυξημένη προσοχή στο 3D περιβάλλον έναντι του 2D ως προς την

οπτικο-χωρική συνιστώσα της διεργασίας, αφού ο μετωπιαίος φλοιός είναι σημαντικός στις διαδικασίες προσοχής.

Ο θ ρυθμός δεν συνδέεται αυστηρά με την ποσότητα της πληροφορίας που πρέπει να υποστεί επεξεργασία, αλλά με το βαθμό της επεξεργασίας που απαιτείται για να αντεπεξέλθει το υποκείμενο στις ανάγκες της διεργασίας (Onton et al., 2005). Ωστόσο, για τον μετωπιαίο θ ρυθμό θεωρείται πως όταν προβάλλονται σύνθετα αισθητηριακά ερεθίσματα, ανεξάρτητα από το είδος της αισθητήριας εισαγωγής, αυτά προκαλούν μεγάλη αύξησή του, το οποίο γενικά συμφωνεί με την κυρίαρχη άποψη πως σύνθετα γεγονότα απαιτούν μετωπιαία επεξεργασία (Basar et al., 1999). Κάτι τέτοιο, όμως, για το περιβάλλον της κύριας έρευνας δεν ισχύει, μιας και για τα δύο περιβάλλοντα η αισθητήρια εισαγωγή ήταν η ίδια. Πιθανά το 2D περιβάλλον απαιτήσε αυξημένη επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε συνειρμικό επίπεδο και κατά την προσπάθεια αναγνώρισης των αντικειμένων εξαιτίας μειωμένου ρεαλισμού.

Η κροταφική θ δραστηριότητα συμμετέχει σε μια γκάμα συμπεριφορών όπως νοητικών λειτουργιών και προσπαθειών για επίταση της προσοχής (Aftanas & Golosheikine, 2001; Smith et al., 2001), λειτουργιών μνήμης (Sederberg, et al., 2003; Onton, et al., 2005; Gruber, et al., 2008), μάθησης και χωρικών δεξιοτήτων (Carlan, et al., 2001; Kahana, et al., 2001; de Araujo, et al., 2002; Carlan et al., 2003; Ekstrom et al., 2005). Η αυξημένη παρουσία του θ ρυθμού και στα δύο περιβάλλοντα σχετίζεται με προσπάθεια διατήρησης της προσοχής, μάθησης των περιβαλλόντων και χωρικών δεξιοτήτων.

Η αυξημένη παρουσία του θ ρυθμού στις ινιακές περιοχές και για τα δύο περιβάλλοντα ίσως να σχετίζεται με αυξημένη επεξεργασία πρωτογενούς οπτικού υλικού. Το ότι ο θ ρυθμός εμφανίζεται ταυτόχρονα στις μετωπικές και ινιακές περιοχές στο 3D περιβάλλον σηματοδοτεί την αυξημένη επεξεργασία οπτικοχωρικών πληροφοριών (Sarthein et al., 1998) σε αυτό σε σχέση με το 2D. Η εμφάνιση ισχυρού θ στις ινιακές περιοχές δεν μπορεί να ερμηνευθεί ως αύξηση του άγχους στο 3D περιβάλλον, αφού κάτι τέτοιο δεν επαληθεύτηκε από τις παρατηρήσεις και τις περιγραφές των συμμετεχουσών (Basar et al., 1999).

Το γεγονός, όμως, ότι και στα δύο περιβάλλοντα ο θ ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος σε όλο το κρανίο, οδηγεί στο συμπέρασμα πως μετά από ένα σημείο οι συμμετέχουσες προσπάθησαν να διατηρήσουν την προσοχή τους σε απλά και μη απαιτητικά περιβάλλοντα (Caldwell et al., 2003). Επίσης, η συσχέτιση της αύξησης του θ με την αύξηση του γνωστικού ή του μνημονικού φόρτου (Wilson et al. 1999, Onton et al., 2005) δεν δικαιολογείται στην παρούσα περίπτωση, αφού η διεργασία δεν ήταν ιδιαίτερα απαιτητική.

Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι το 3D περιβάλλον απαιτήσε μεγαλύτερη ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών και διαδικασιών επιλεκτικής προσοχής έναντι του 2D, με τα δύο περιβάλλοντα να απαιτούν την ίδια προσοχή και οπτικό προσανατολισμό.

### **6.2.3.3 Άλφα ρυθμός (8 – 13 Hz)**

Ο α ρυθμός εμφανίζεται διάχυτος και ισχυρός και στα δύο περιβάλλοντα με παρόμοια τοπολογία και στα δύο περιβάλλοντα με τον α – 1 υπορυθμό. Ο ρυθμός εξαπλώνεται τοπογραφικά σε όλο το κρανίο. Στο 3D περιβάλλον ο α ρυθμός εμφανίζεται ιδιαίτερα ισχυρός κυρίως στις ινιακές θέσεις. Αντίθετα, στο 2D περιβάλλον ο α ρυθμός εμφανίζεται με παρόμοια τοπολογία αλλά με μικρότερη ισχύ σε σχέση με το 3D. Αυτή η κατανομή του ρυθμού συνδέεται με τη γνωστική επεξεργασία και τους μηχανισμούς της νοητικής προσπάθειας (Klimesch et al., 1992; Gremades et al., 2004) και κυρίως (όταν εξαπλώνονται σε ολόκληρο το φλοιό όπως εδώ) με τους διαφορετικούς τύπους απαιτήσεων προσοχής (Klimesch 1999; Jaušovec & Jaušovec 2000; Donner et al., 2007; Siegel et al., 2007). Φαίνεται ότι και τα δύο περιβάλλοντα γενικά δεν απαιτήσαν ιδιαίτερη ενεργοποίηση της προσοχής.

Σε κάθε περίπτωση, αύξηση του α ρυθμού συνδέεται με μείωση της νοητικής προσπάθειας γενικά (Klimesch, 1999), ενώ η γενικότερη μείωση του α ρυθμού σχετίζεται με τη δυσκολία της εργασίας. Αύξηση του α ρυθμού έχει προταθεί για την πρόβλεψη οπτικών αντιληπτικών αποδόσεων (Romei et al., 2008; Van Dijk et al., 2008; Busch et al., 2009; Mathewson et al., 2009), στοιχείο που ευσταθεί και για τα δύο περιβάλλοντα.

Κατά τη διάρκεια επίτασης της προσοχής έχει αναφερθεί ότι ο βρεγματοϊνιακός α ρυθμός μειώνεται. Αυτό υποδηλώνει μείωση της προσοχής και γενικά μια χαλαρή κατάσταση για τις συμμετέχουσες, καθώς παρατηρείται και στα δύο περιβάλλοντα ισχυρός σε αυτές τις θέσεις. Κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται κατά την εναλλαγή των αντικειμένων στο περιβάλλον

που ακολούθησε της αρχικής διάταξης (περιβάλλον CHANGE), όπου εκεί παρατηρείται α συγχρονισμός. Όσο πιο απαιτητική είναι η εργασία και όσο μεγαλύτερη η προσήλωση του υποκειμένου, τόσο περισσότερος είναι ο βαθμός του α αποσυγχρονισμού (Pfurtscheller, 1993, Klimesch, 1999). Έτσι, σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη, και τα δύο περιβάλλοντα απαίτησαν γενικά μειωμένη νοητική προσπάθεια. Αυτό είναι ως ένα σημείο αναμενόμενο, αφού η οπτική σκηνή δεν έχει αλλάξει και η διεργασία δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Ταυτόχρονα, η υπόθεση της «α παραδοξότητας» (Cole & Ray, 1985; Cooper et al., 2003) δεν μπορεί να ισχύει αφού δεν απαιτείται από τους συμμετέχοντες εσωτερικά κατευθυνόμενη προσοχή.

Η άποψη ότι η μεγάλη ισχύς του  $\alpha - 1$  υπορυθμού μπορεί να σημαίνει την προσπάθεια του υποκειμένου να αυξήσει την προσοχή και την επαγρύπνησή του, συνεπώς να αυξήσει τη νοητική απόδοση ευσταθεί και για τα δύο περιβάλλοντα. Η στατιστικά σημαντική διαφορά του 3D περιβάλλοντος στην ινιακή θέση O2 έναντι του 2D υποδηλώνει την προσπάθεια των συμμετεχουσών να αυξήσουν την προσοχή ή την επαγρύπνησή τους σε αυτό, σε αντίθεση με το 2D, όπου πιθανά οι συμμετέχουσες είχαν αφομοιώσει το περιβάλλον, μιας και ήταν το τελευταίο στη σειρά από τα τρία περιβάλλοντα που τους παρουσιάστηκαν στην παρούσα έρευνα.

Ο  $\alpha - 2$  υπορυθμός δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές στη σύγκριση των δύο περιβαλλόντων, συνεπώς, κανένα από τα δύο περιβάλλοντα δεν απαίτησε σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας (Klimesch, 1999).

Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι οι συμμετέχουσες βίωσαν παρόμοια και μη απαιτητικά περιβάλλοντα χωρίς ιδιαίτερες μνημονικές απαιτήσεις ή κωδικοποίηση πληροφοριών.

#### **6.2.3.4 Βήτα Ρυθμός (14 – 32 Hz)**

Ο β ρυθμός εμφανίζεται γενικά μειωμένος και στα δύο περιβάλλοντα. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με την αυξημένη παρουσία του α. Ο αποσυγχρονισμός του α ρυθμού σε κάποιο περιβάλλον συσχετίζεται με αυξημένη προσοχή, ενώ η β δραστηριότητα φαίνεται να παρουσιάζει αντίστροφη συμπεριφορά από την α και αυξάνει, όταν αυξάνουν οι απαιτήσεις της εργασίας (Paranikolaou et al., 1986).

Γενικά, η αύξηση του  $\beta$  ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές (Fp1, Fp2) στο 2D περιβάλλον συνδέεται με τη νοητική εργασία (Ray & Cole, 1985; Markand, 1990; Oken & Salinsky, 1992, Kirouy et al., 1996). Επίσης, αύξηση του  $\beta$  ρυθμού στις πρόσθιες περιοχές (Fp1, Fp2) έχει συσχετιστεί με αύξηση του άγχους ή μείωση του βαθμού χαλάρωσης, κάτι που ενισχύει την λιγότερο χαλαρή κατάσταση των υποκειμένων στο 2D. Πιο πρόσφατες έρευνες σε προμετωπιαίες περιοχές συνδέουν την αύξηση του  $\beta$  ρυθμού κατά τη διάρκεια οπτικών αναζητήσεων με την από επάνω προς τα κάτω αύξηση της προσοχής (Buschman & Miller, 2007; Buschman & Miller, 2009). Η στατιστικά, όμως, υψηλότερη τιμή στη θέση αυτή για το 2D περιβάλλον υποδηλώνει αύξηση του άγχους και μείωση του βαθμού χαλάρωσης σε αυτό και πιθανή αναμονή να «συμβεί κάτι», ακόμα και αναζήτηση της τρίτης διάστασης σε ένα δυσδιάστατο περιβάλλον.

Το 3D περιβάλλον εμφανίζει στατιστικά σημαντική υπεροχή στη δεξιά βρεγματική και κροταφική θέση, στοιχείο που μάλλον συνδέεται με την ευχάριστη διάθεση των συμμετεχουσών στο περιβάλλον αυτό έναντι του 2D (Schellberg et al., 1992; Stenberg et al., 1992). Σύμφωνα με τον Gross και τους συνεργάτες του (2004), ο συγχρονισμός στις πλευρικές, μετωπικές και ινιακές περιοχές για το 3D περιβάλλον υποδηλώνει προσοχή στο οπτικό ερέθισμα.

Συνοψίζοντας, το REAL περιβάλλον φάνηκε γενικά πιο οικείο για τις συμμετέχουσες από ότι το 2D πιθανότατα εξαιτίας της έλλειψης της τρίτης διάστασης στο δεύτερο.

#### **6.2.3.5 Γάμα Ρυθμός (33 – 48Hz)**

Και στα δύο περιβάλλοντα ο  $\gamma$  ρυθμός τοπολογικά έχει παρόμοια εξάπλωση. Όμως, σε αντίθεση με τον  $\alpha$ , ο  $\gamma$  ρυθμός αντανακλά μία κατάσταση ενεργητικής επεξεργασίας πληροφοριών. Η μειωμένη ισχύς του  $\gamma$  ρυθμού και στα δύο περιβάλλοντα συμφωνεί με την συμπεριφορά του  $\alpha$  ρυθμού και την ερμηνεία για μειωμένη συμμετοχή του οπτικού φλοιού σε περιβάλλοντα με μειωμένες οπτικές απαιτήσεις που επιφέρουν μεγαλύτερη χαλάρωση.

Είναι ευδιάκριτη η στατιστικά σημαντική υπεροχή του 3D περιβάλλοντος έναντι του 2D σε πολλές από τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις. Η παρατήρηση αυτή συνάγει ότι το 2D περιβάλλον απαίτησε μεγαλύτερη οπτική επιλεκτική προσοχή (Bichot et al., 2005; Gruber & Matthias, 2005; Womelsdorf et al., 2006). Σύμφωνα με τον Tallon και τους συνεργάτες του



(1995), ο γ ρυθμός θεωρείται υπεύθυνος για τη σύνδεση των οπτικών χαρακτηριστικών στατικών αντικειμένων, ενώ, σύμφωνα με τον Revonsuo και τους συνεργάτες του (1997), ευθύνεται για τη λειτουργία της στερεοσκοπίας. Πιθανά, λοιπόν, το 2D περιβάλλον δεν μπόρεσε να ανταγωνιστεί σε πιστότητα το 3D περιβάλλον εξαιτίας της έλλειψης της τρίτης διάστασης που δημιουργεί την αίσθηση του βάθους.

Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του 3D περιβάλλοντος στις βρεγματοϊνιικές περιοχές υποδεικνύει δραστηριότητα σχετική με την οπτική επεξεργασία πληροφοριών και συνδέεται στενά με την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών και με αντιληπτικούς μηχανισμούς (φαινόμενα) προσοχής στο περιβάλλον αυτό (Müller et al., 2000; Tallon-Baudry, 2004).

Συνοψίζοντας, το 3D περιβάλλον γενικά φάνηκε πιο οικείο για τις συμμετέχουσες από ότι το 2D, πιθανά εξαιτίας της έλλειψης της τρίτης διάστασης στο δεύτερο, γεγονός που δημιούργησε την απαίτηση για επιλεκτικότερη οπτική προσοχή στο 2D περιβάλλον.

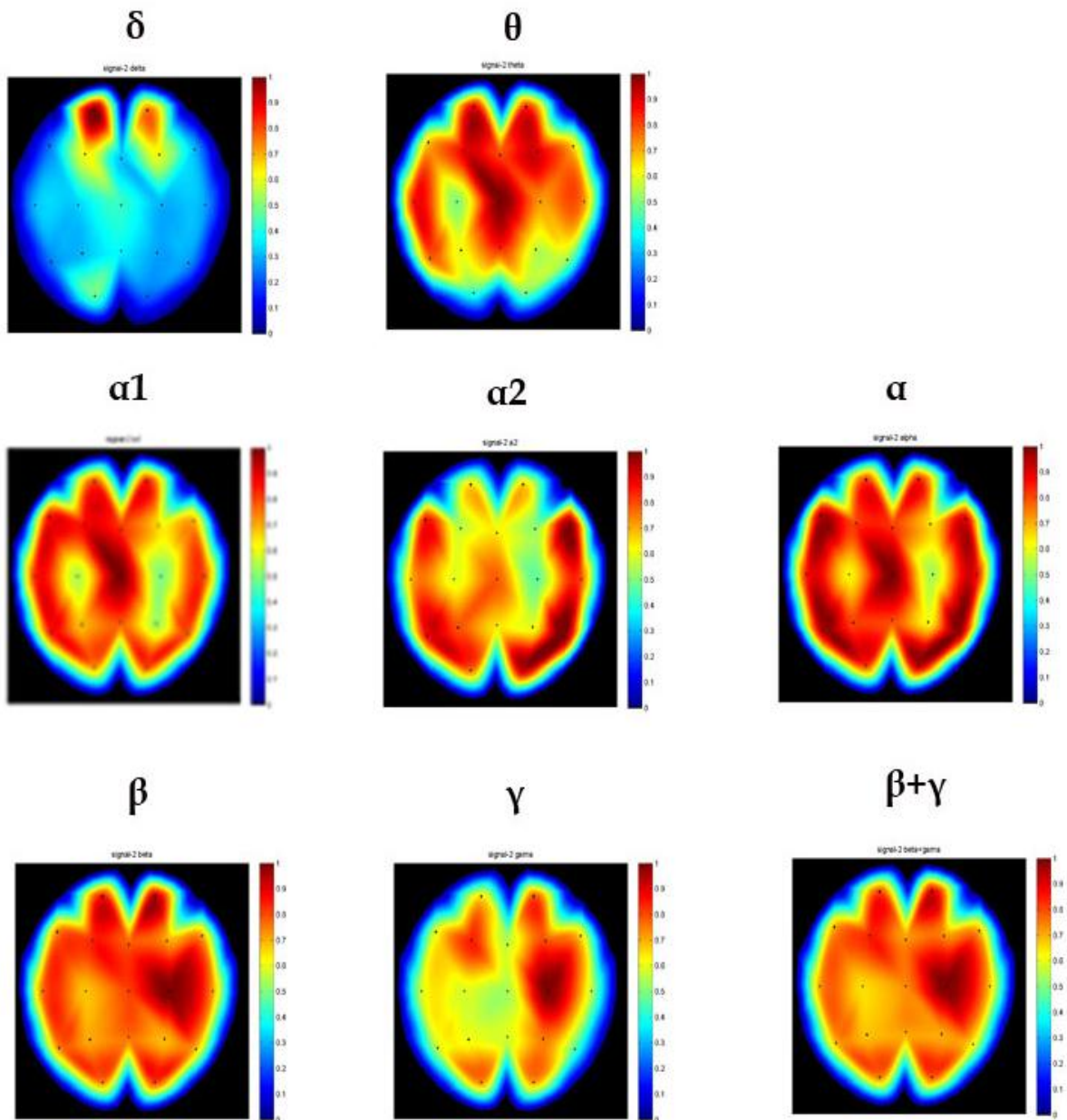
### **6.3 Σύγκριση εγκεφαλικής λειτουργίας κατά την αλλαγή διάταξης αντικειμένων ανά περιβάλλον**

Η διεργασία αυτή διαδέχεται την προηγούμενη διεργασία και αποτελεί τις τρεις τελευταίες επαναλήψεις της προβολής κάθε περιβάλλοντος με διαφορετική, όμως, διάταξη ορισμένων αντικειμένων που αποτελούν το περιβάλλον. Δεν δόθηκε κάποια οδηγία στις συμμετέχουσες για την αλλαγή, απλά τους προβλήθηκε το περιβάλλον CHANGE, ώστε μέσω των εγκεφαλικών σημάτων να διαπιστωθεί η ενδεχόμενη παρατήρηση κάποιας αλλαγής σε αυτά εξαιτίας της αναγνώρισης στην αλλαγή των αντικειμένων.

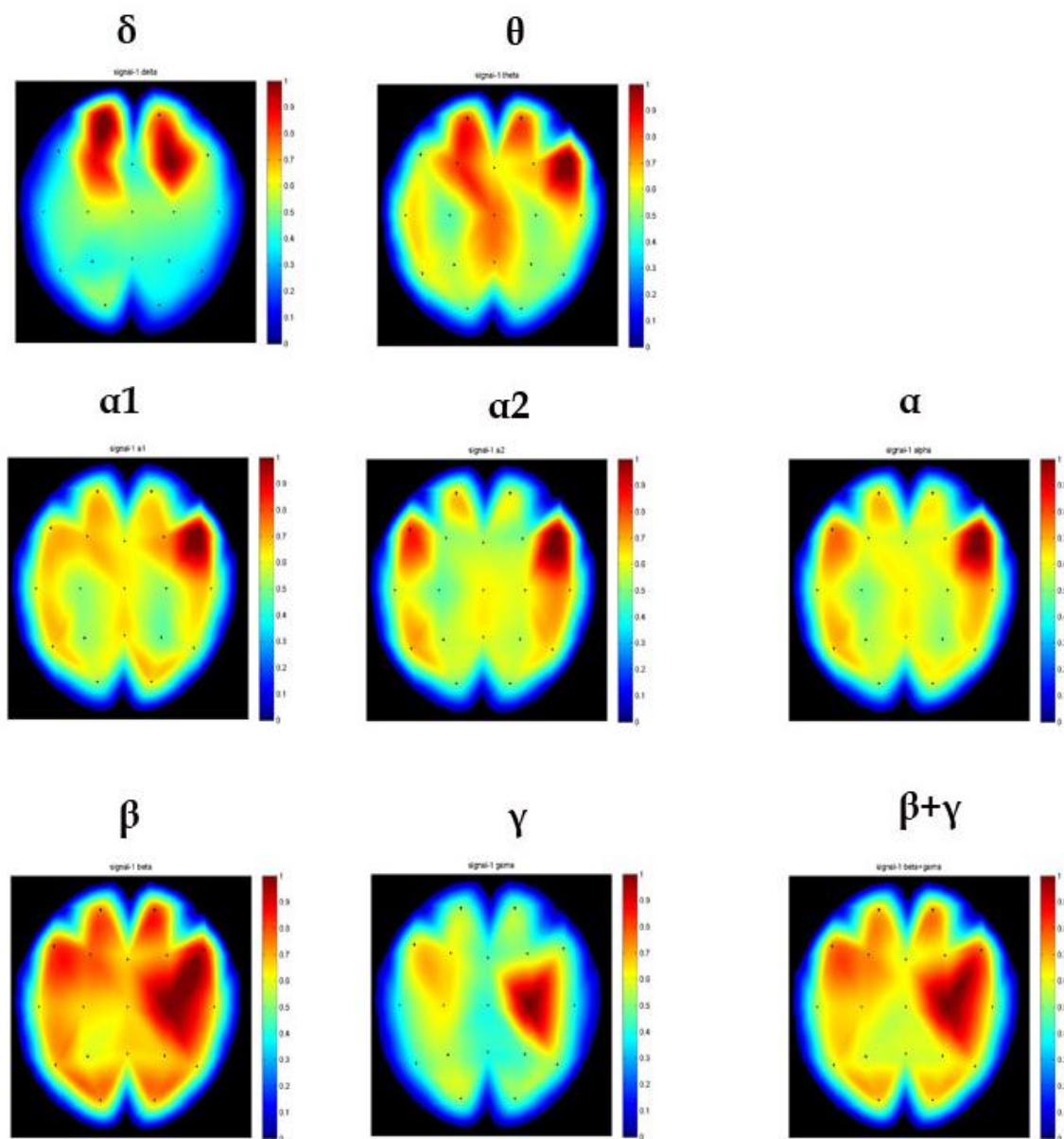
Στη συνέχεια, ακολουθεί η σύγκριση του κάθε περιβάλλοντος με αυτό της αλλαγής (CHANGE) με βάση τη φασματική τους κατανομή και τις στατιστικά σημαντικές διαφορές.

#### **6.3.1 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο πραγματικό περιβάλλον**

Στα σχήματα 6.13 και 6.14 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το πραγματικό περιβάλλον, πριν και μετά την αλλαγή στη θέση των αντικειμένων, στους οποίους φαίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

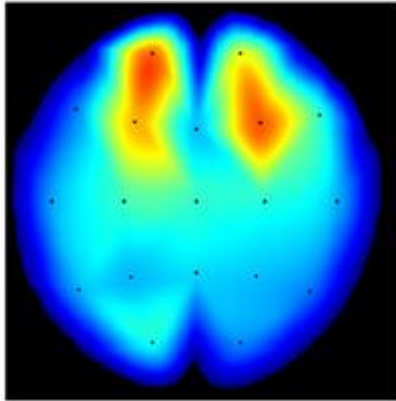
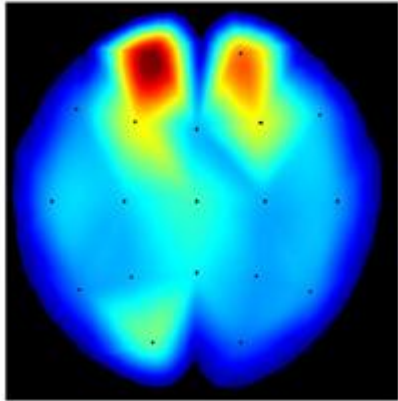
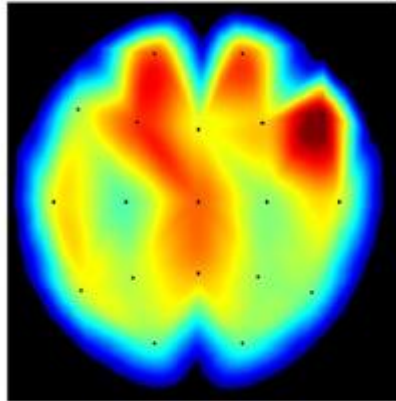
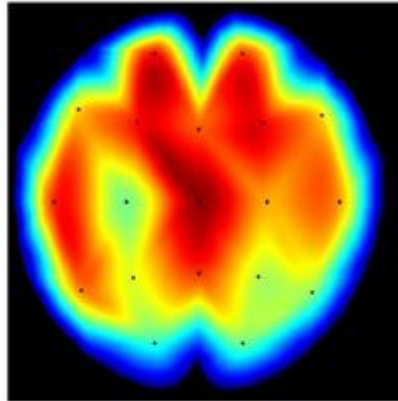


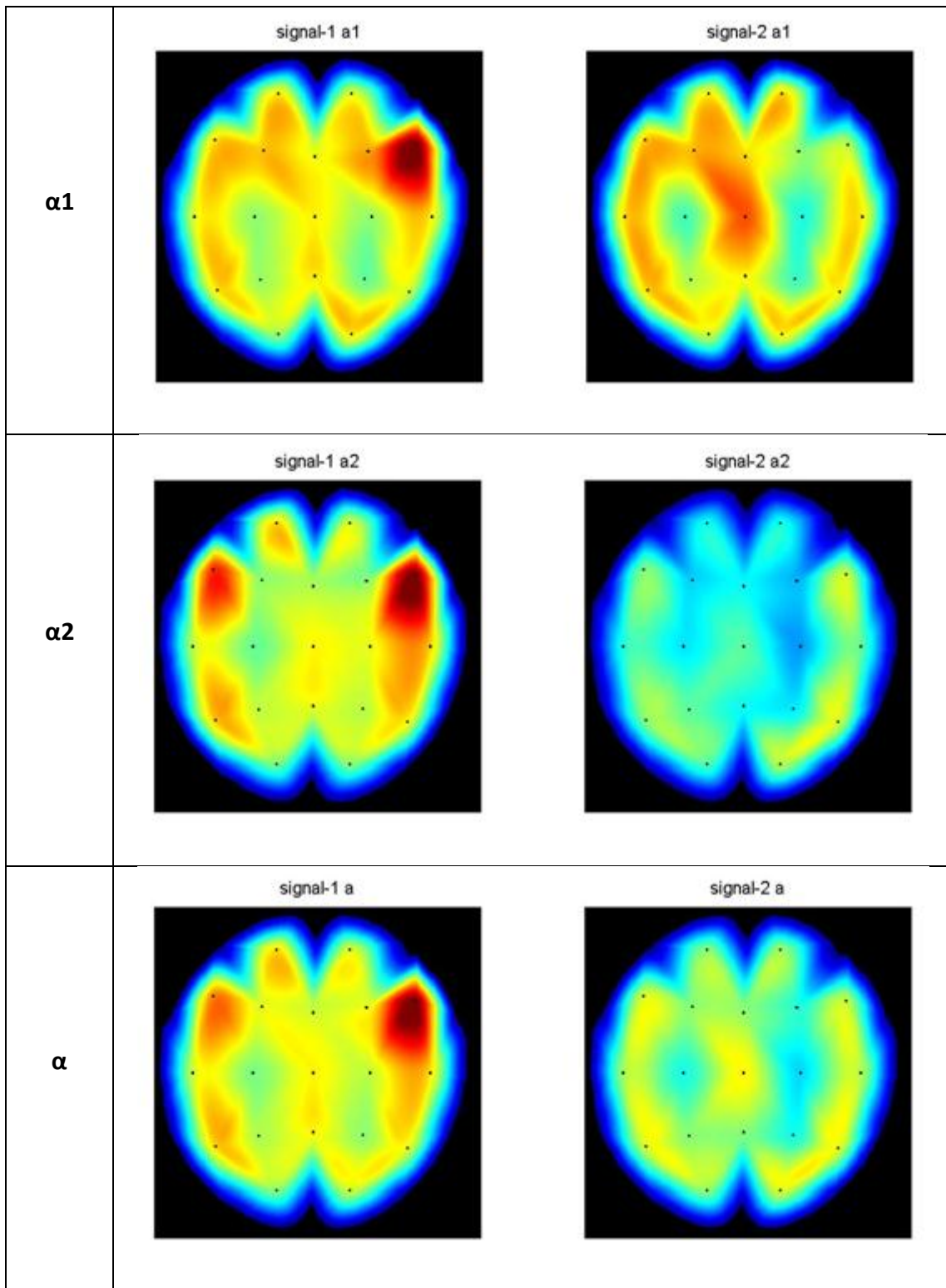
Σχήμα 6.13. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα REAL (πραγματικό περιβάλλον).



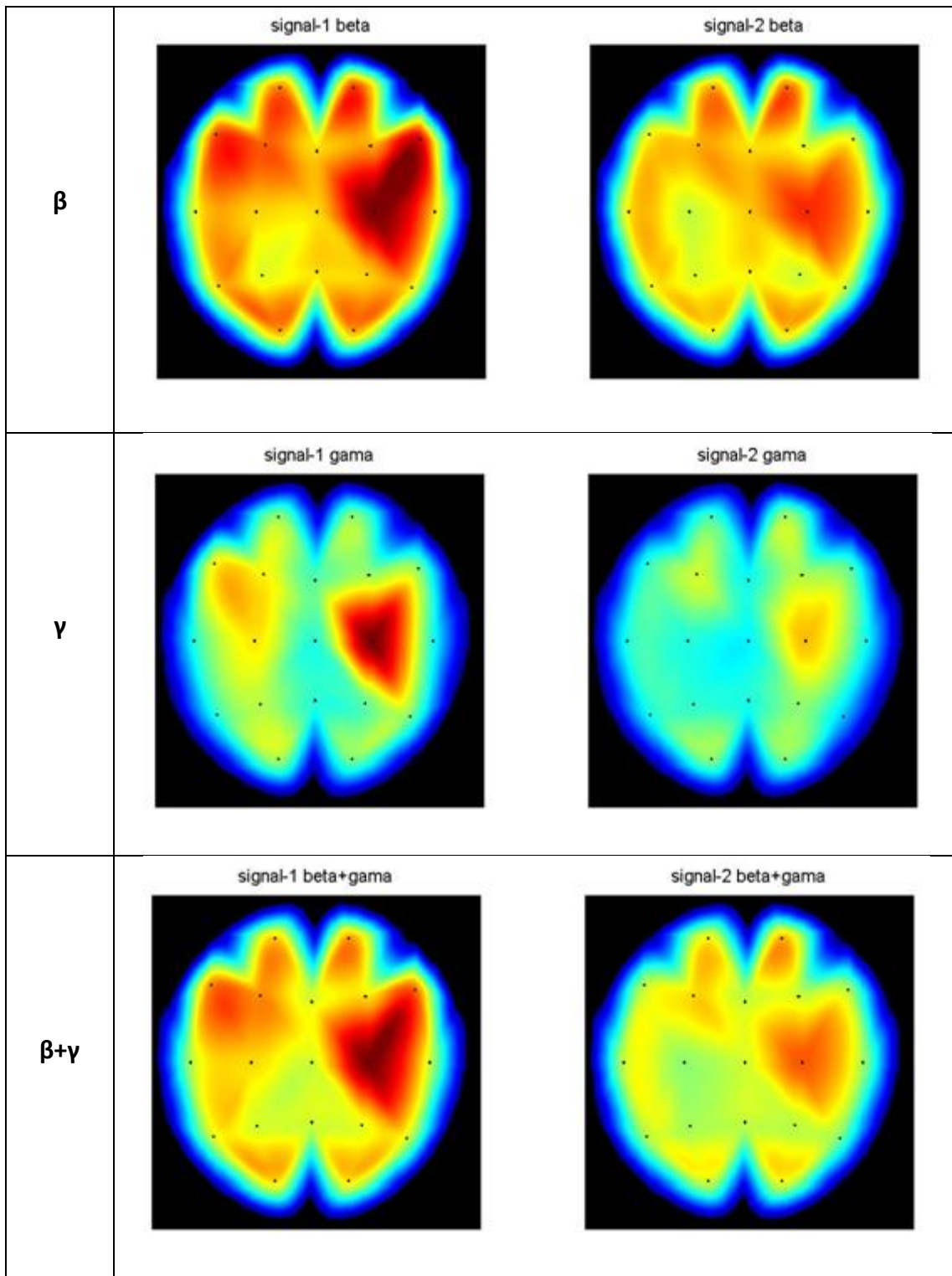
Σχήμα 6.14. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα CHANGE (πραγματικό περιβάλλον).

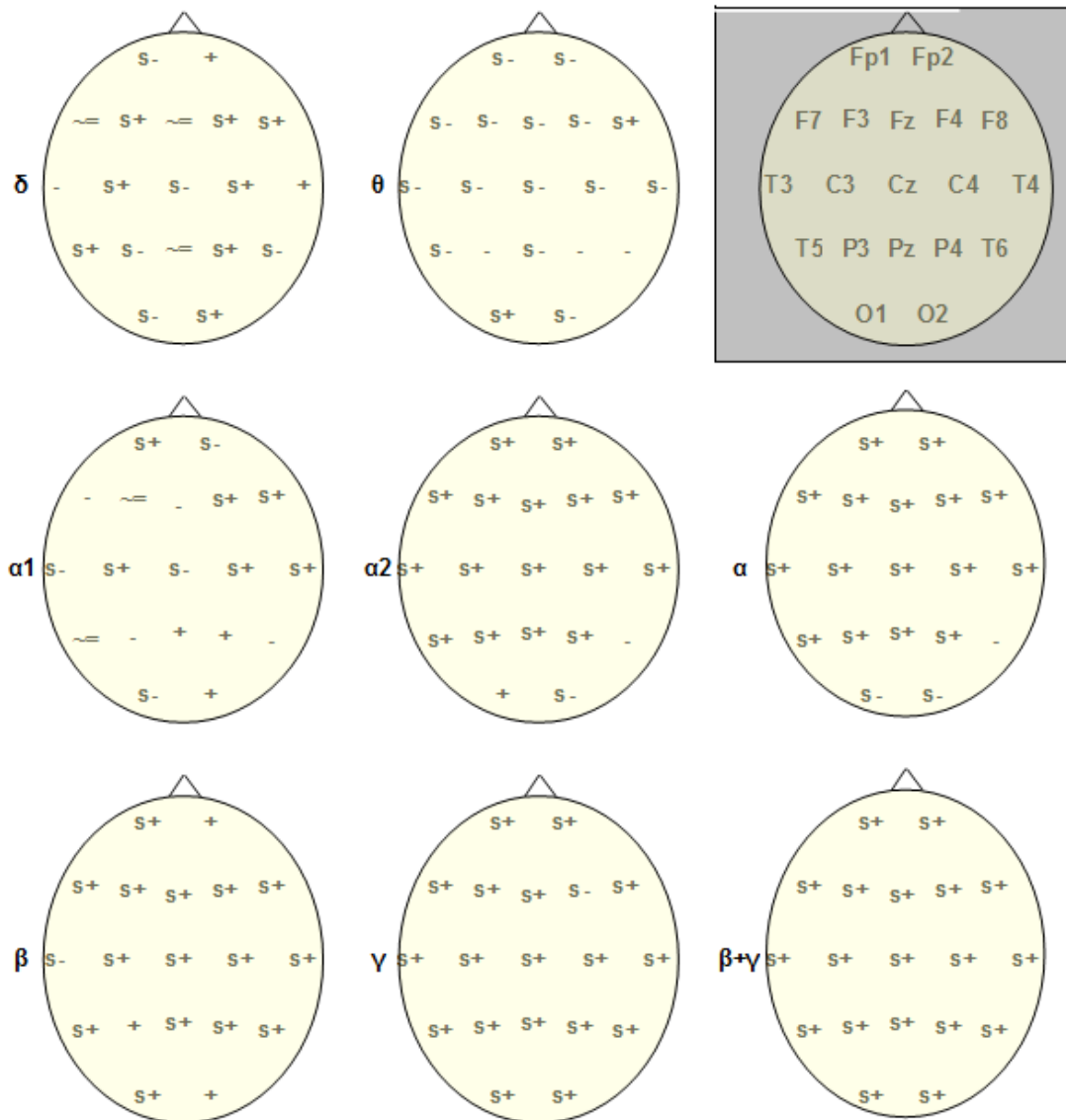
Συγκρίσεις μεταξύ των δύο περιβαλλόντων βασισμένες στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 6.4 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 6.15 χωρίς χρωματική κλίμακα, αλλά με σύμβολα που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αρχικά ομαδοποιημένα ανά ρυθμό και έπειτα σε συνδυασμούς ρυθμών.

Πίνακας 6.4. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε REAL και CHANGE.		
Ρυθμοί	Περιβάλλοντα	
	REAL	CHANGE
$\delta$	<p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
$\theta$	<p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 









Σχήμα 6.15. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του πραγματικού και του εικονικού μη – στερεοσκοπικού περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών REAL – CHANGE). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και – μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ = αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του CHANGE περιβάλλοντος έναντι του REAL στο θ ρυθμό σημαίνει ότι έγινε αντιληπτή η αλλαγή στις θέσεις των αντικειμένων και υπήρξε αύξηση της επιλεκτικής προσοχής των συμμετεχουσών (Gundel & Wilson, 1992, Mecklinger et al., 1992, Wilson et al., 1999, Bastiaansen & Haggort, 2003; Onton et al., 2005). Αυτός ήταν και ο σκοπός της συγκεκριμένης διεργασίας, δηλαδή η πρόκληση έντασης της προσοχής (Ishihara

& Yoshii, 1972; Paus et al., 1997; Lazarev, 1998; Kahana et al., 1999), η προσπάθεια για αύξηση της εγρήγορσης (Caldwell et al., 2003), η αύξηση του βαθμού συγκέντρωσης (Ishihara & Yoshii, 1973) καθώς και αισθητικοκινητικός προγραμματισμός κατά τη διάρκεια οπτικής επεξεργασίας (Hinterberger et al., 2008). Ο αυξημένος κροταφικός θ στο CHANGE περιβάλλον πιθανότατα ισοδυναμεί με μια προσπάθεια διατήρησης της προσοχής και μάθησης του περιβάλλοντος. Ενδέχεται το συγκεκριμένο περιβάλλον να απαιτήσει συνολικά αυξημένη επεξεργασία οπτικών πληροφοριών σε συνειρμικό επίπεδο κατά την προσπάθεια αναγνώρισης των αντικειμένων και της θέσης τους στο περιβάλλον.

Ο διάχυτος, αλλά λιγότερο ισχυρός α ρυθμός στο CHANGE περιβάλλον σε σχέση με το REAL υποδεικνύει ενεργοποίηση στο περιβάλλον CHANGE (συγχρονισμός του α ρυθμού). Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του CHANGE περιβάλλοντος στις ινιακές θέσεις δηλώνει αύξηση της νοητικής προσπάθειας, η οποία αναμενόταν από τη διεργασία. Η ταυτόχρονη αύξηση στον βρεγματοϊνιακό α ρυθμό σημαίνει αύξηση της προσοχής και γενικά μια λιγότερο χαλαρή κατάσταση για τις συμμετέχουσες στο περιβάλλον CHANGE. Σε κάθε περίπτωση, αύξηση του α ρυθμού συνδέεται γενικά με μείωση της νοητικής προσπάθειας (Pfurtscheller, 1996; Burgess & Gruzelier, 1997; Klimesch et al., 1996, 1997a, 1997b; Klimesch, 1997, 1999), ενώ η γενικότερη μείωση του α ρυθμού σχετίζεται με τη δυσκολία της εργασίας.

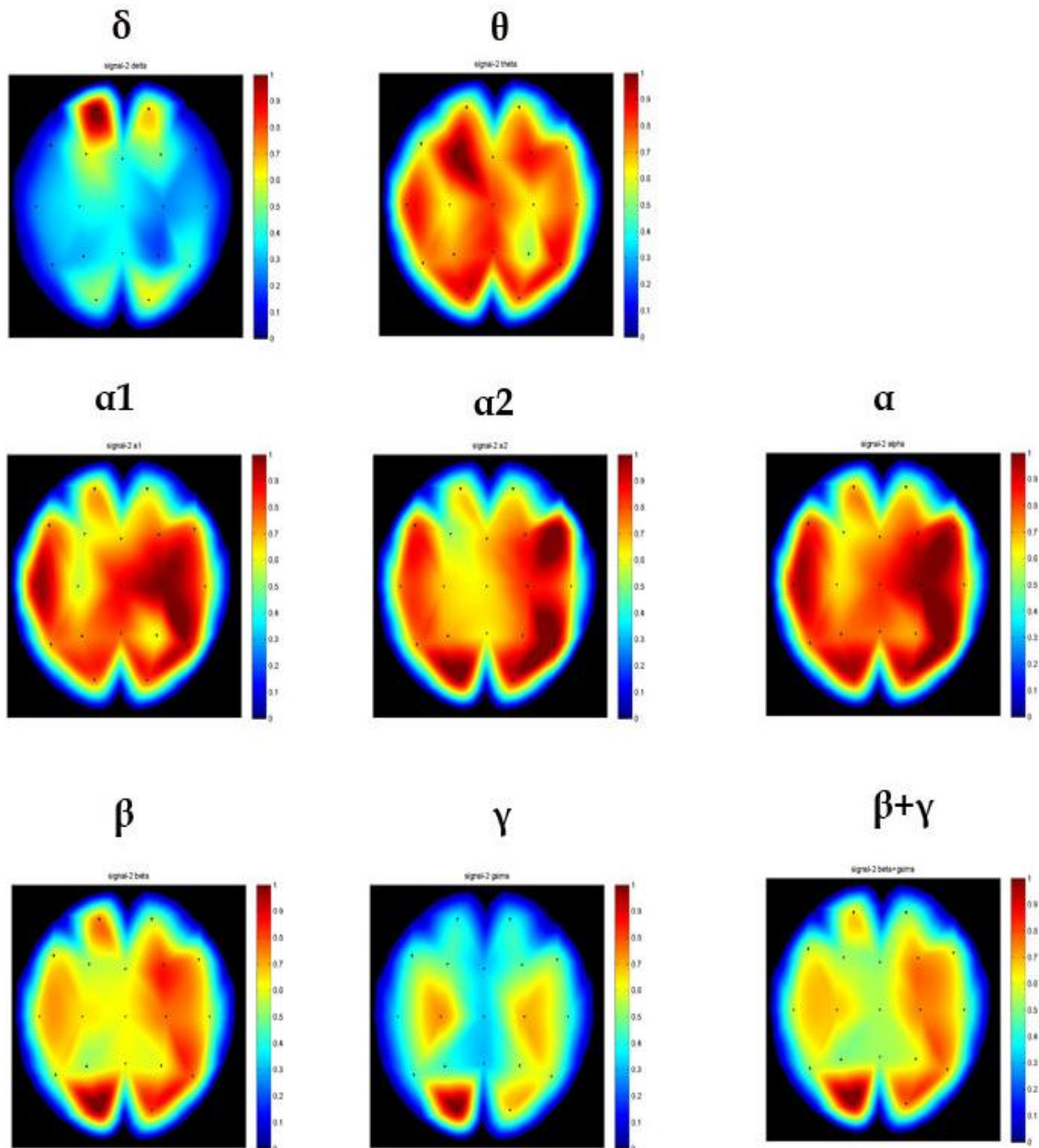
Στο προηγούμενο πόρισμα έρχεται να συνδράμει και η συμπεριφορά του β ρυθμού και η στατιστική υπεροχή του υπέρ του CHANGE περιβάλλοντος στη δεξιά μετωπική θέση (ηλεκτρόδιο Fp2), που υποδηλώνει εν γένει, νοητική εργασία, μείωση του βαθμού χαλάρωσης και αύξηση του άγχους στο περιβάλλον αυτό (Kirov et al., 1996; Jacobs et al., 1996; Field et al., 1996; Macaulay & Edmonds, 2004).

Είναι ξεκάθαρη η στατιστικά σημαντική υπεροχή του REAL περιβάλλοντος έναντι του CHANGE σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις. Παρατηρήθηκε ότι το CHANGE περιβάλλον απαιτήσε μεγαλύτερη οπτική επιλεκτική προσοχή (Bichot et al., 2005; Gruber & Matthias, 2005; Womelsdorf et al., 2006).

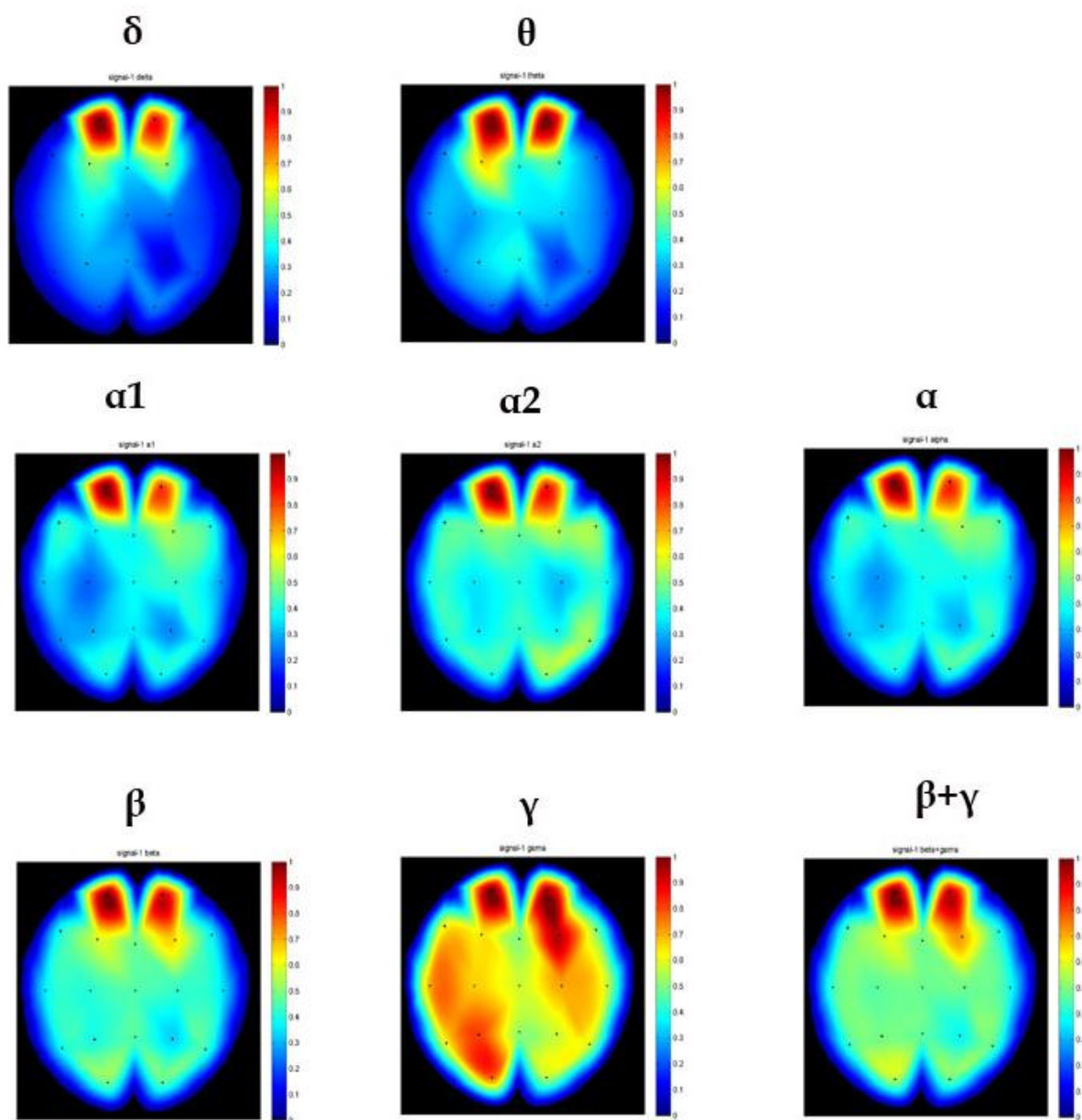


### 6.3.2 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον

Στα σχήματα 6.16 και 6.17 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον, πριν και μετά την αλλαγή στη θέση των αντικειμένων, στους οποίους απεικονίζονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.

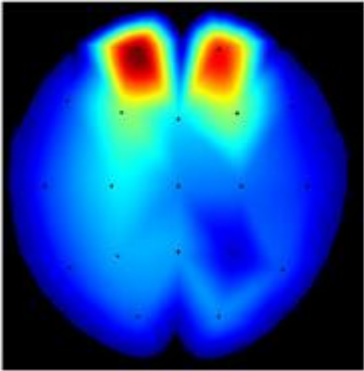
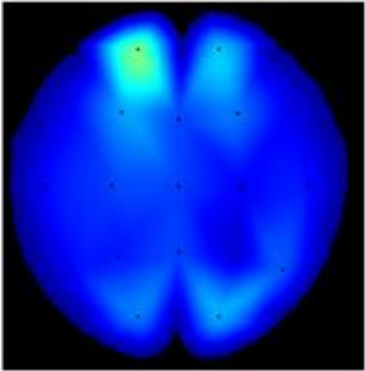
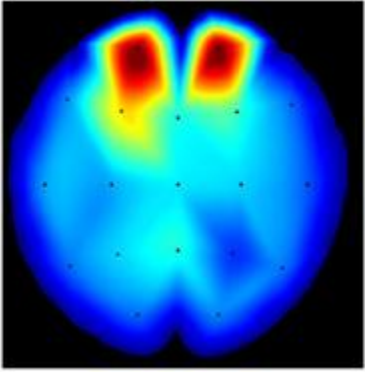
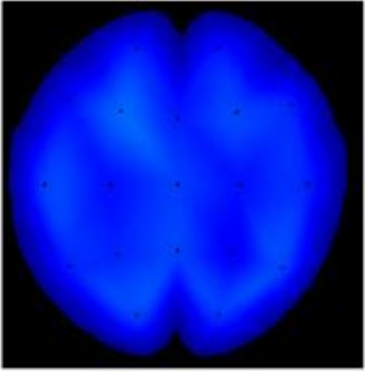


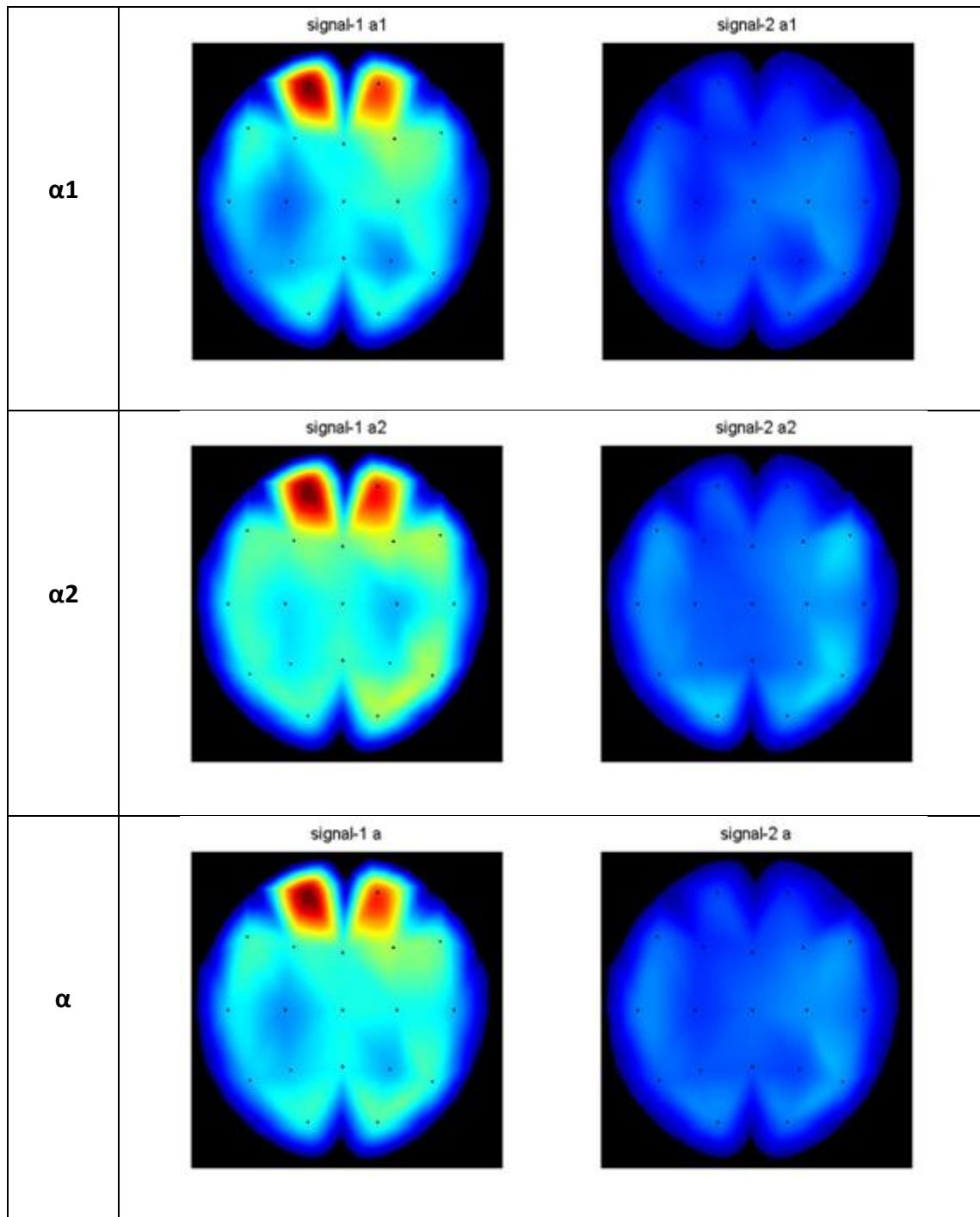
Σχήμα 6.16. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 3D (εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον).

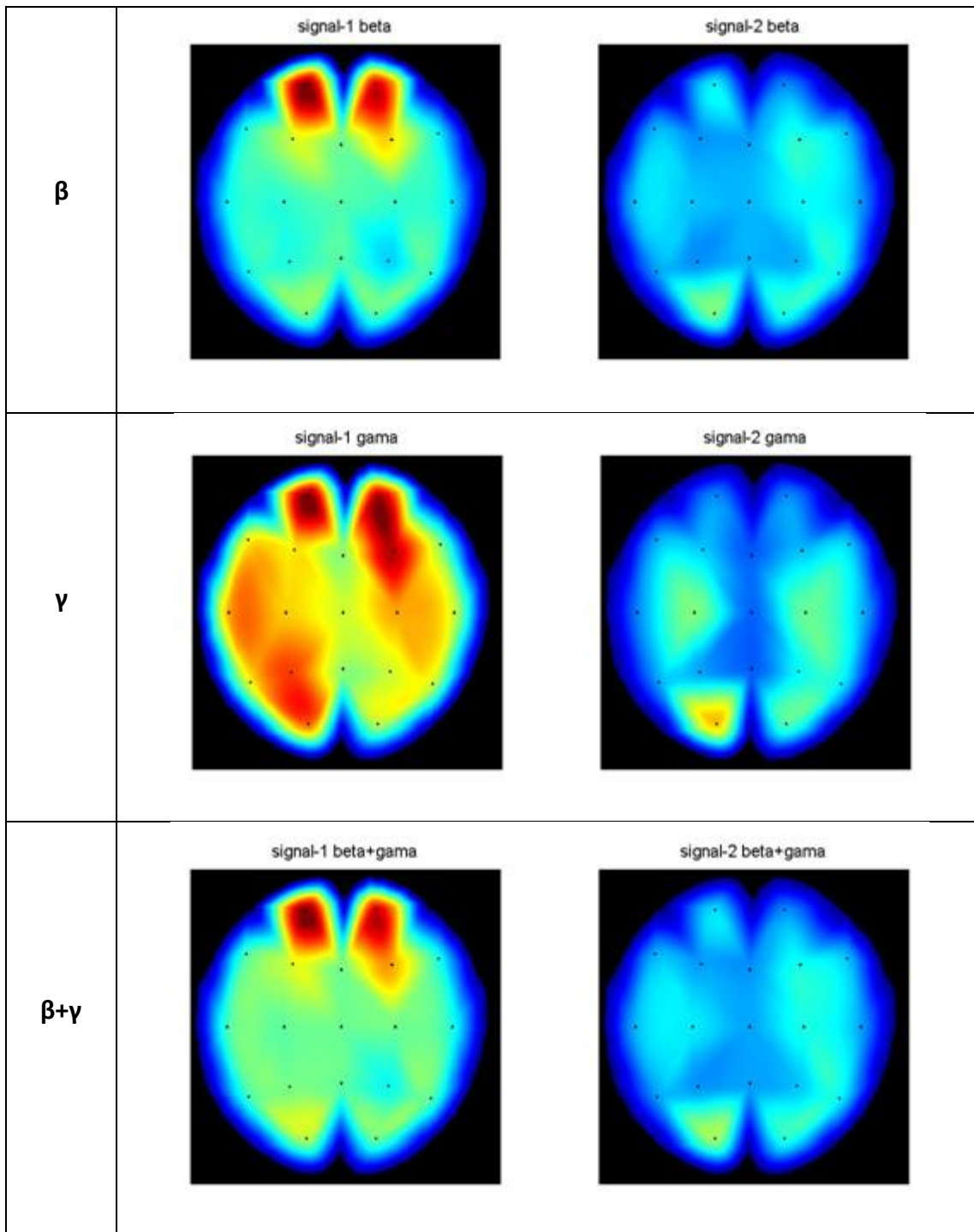


Σχήμα 6.17. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα CHANGE (εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον).

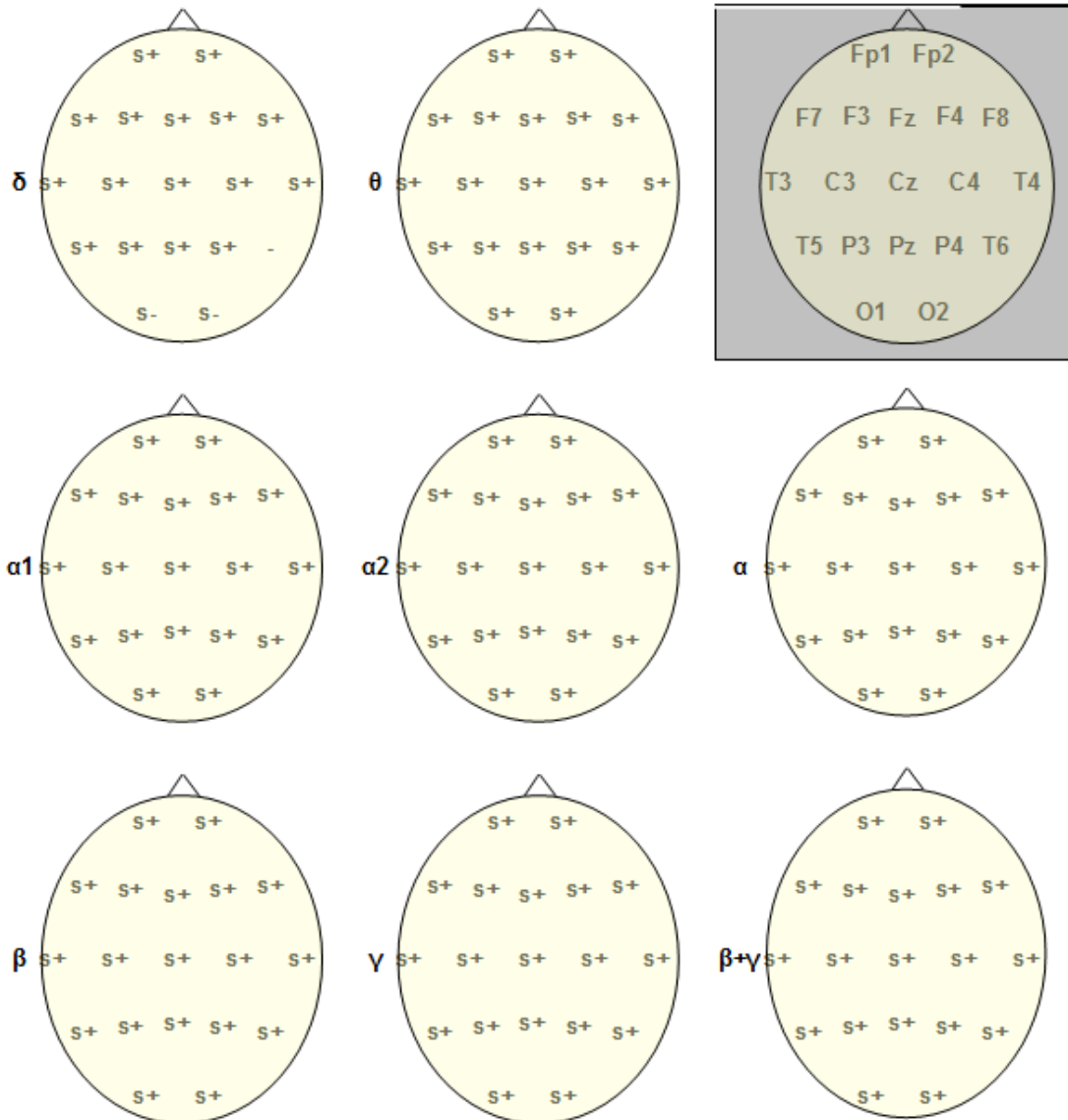
Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασισμένες στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 6.5 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 6.18 χωρίς χρωματική κλίμακα, αλλά με τη χρήση συμβόλων που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πρώτα-πρώτα ομαδοποιημένα ανά ρυθμό και εν συνεχεία σε συνδυασμούς ρυθμών.

Πίνακας 6.5. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε 3D και CHANGE.		
Ρυθμοί	Περιβάλλοντα	
	3D	CHANGE
$\delta$	<p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
$\theta$	<p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 









Σχήμα 6.18. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του 3D και του CHANGE περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών 3D – CHANGE). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ = αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

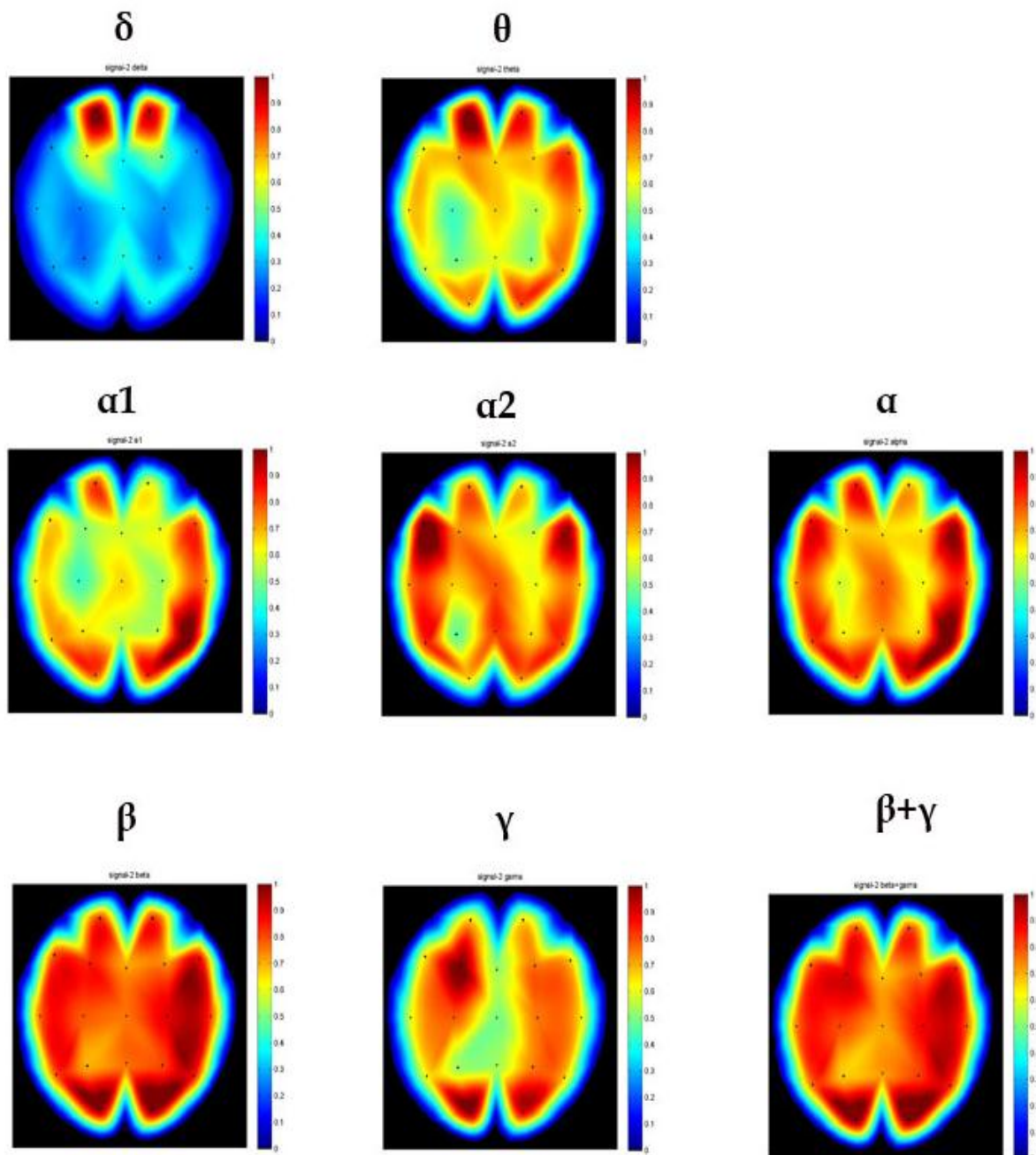
Η πτώση στις τιμές της ισχύος του περιβάλλοντος CHANGE έναντι του 3D στον θ ρυθμό πιθανά σημαίνει προσπάθεια των συμμετεχουσών για οπτικο-χωρικό προσανατολισμό σε αυτό, γεγονός που προκύπτει από το είδος της διεργασίας. Η ταυτόχρονη πτώση της ισχύος του α ρυθμού σε αυτό υποδεικνύει ότι οι συμμετέχουσες ήταν σε εγρήγορση και απαιτήθηκε προσπάθεια για να διατηρήσουν την προσοχή τους.

Η παρουσία του  $\beta$  ρυθμού στην προμετωπιαία περιοχή μπορεί να ερμηνευθεί ως νοητική εργασία γενικά ή ως μείωση του βαθμού χαλάρωσης και αύξηση του άγχους και της προσοχής σε χωρικές λειτουργίες (Macaulay & Edmonds, 2004).

Η αυξημένη ισχύς του  $\gamma$  ρυθμού στο CHANGE περιβάλλον ερμηνεύεται ως αυξημένη συμμετοχή του οπτικού φλοιού σε περιβάλλοντα με αυξημένες οπτικές απαιτήσεις που επιφέρουν μεγαλύτερη εγρήγορση.

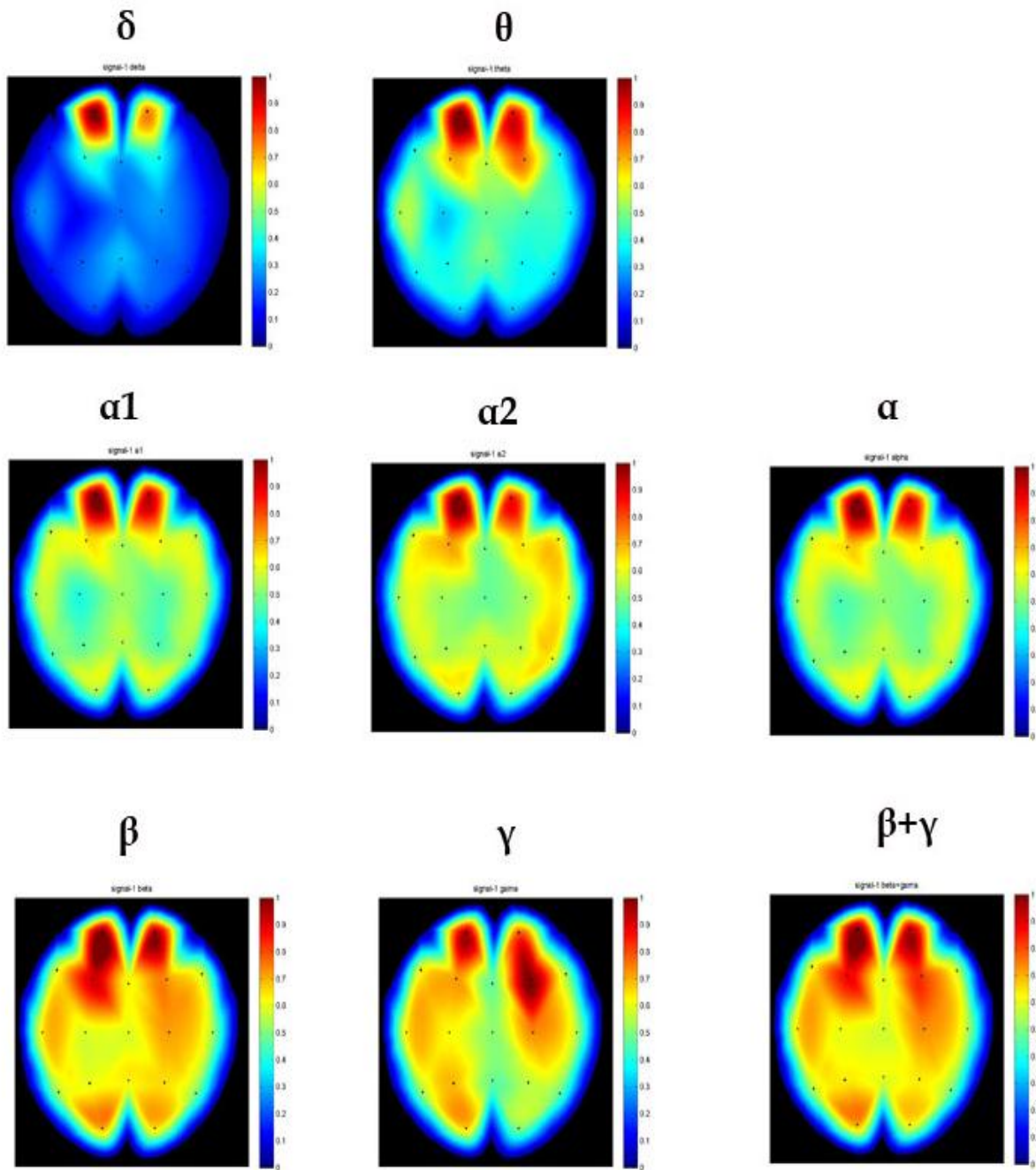
### 6.3.3 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον

Στα σχήματα 6.19 και 6.20 παρουσιάζονται δύο συνοπτικοί ανεξάρτητοι χρωματικοί χάρτες για το εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον, πριν και μετά την αλλαγή στη θέση των αντικειμένων, στους οποίους διακρίνονται οι επικρατούντες ρυθμοί και η τοπολογική τους εξάπλωση.



Σχήμα 6.19. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα 2D (εικονικό μη - στερεοσκοπικό περιβάλλον).

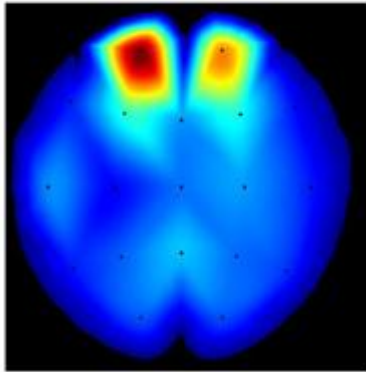
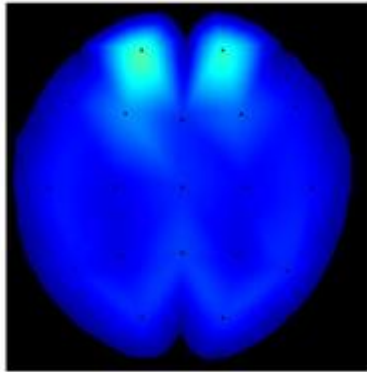
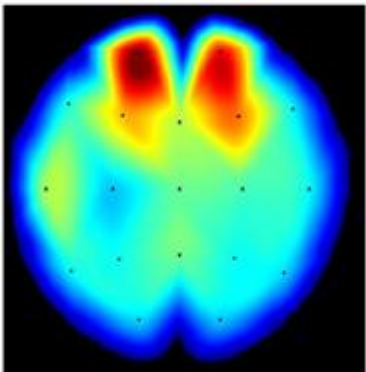
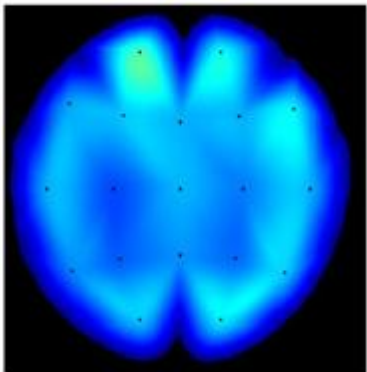
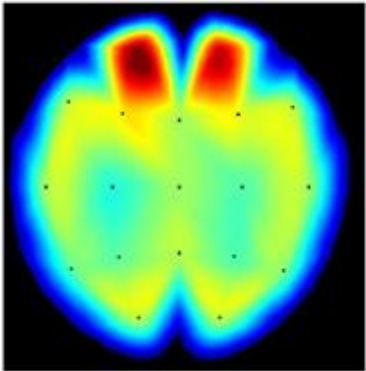
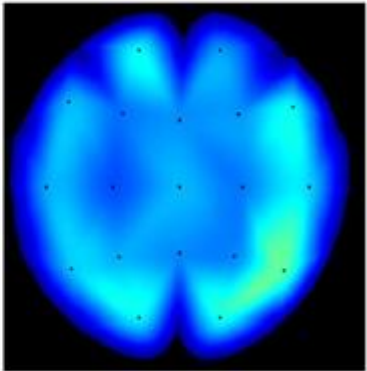


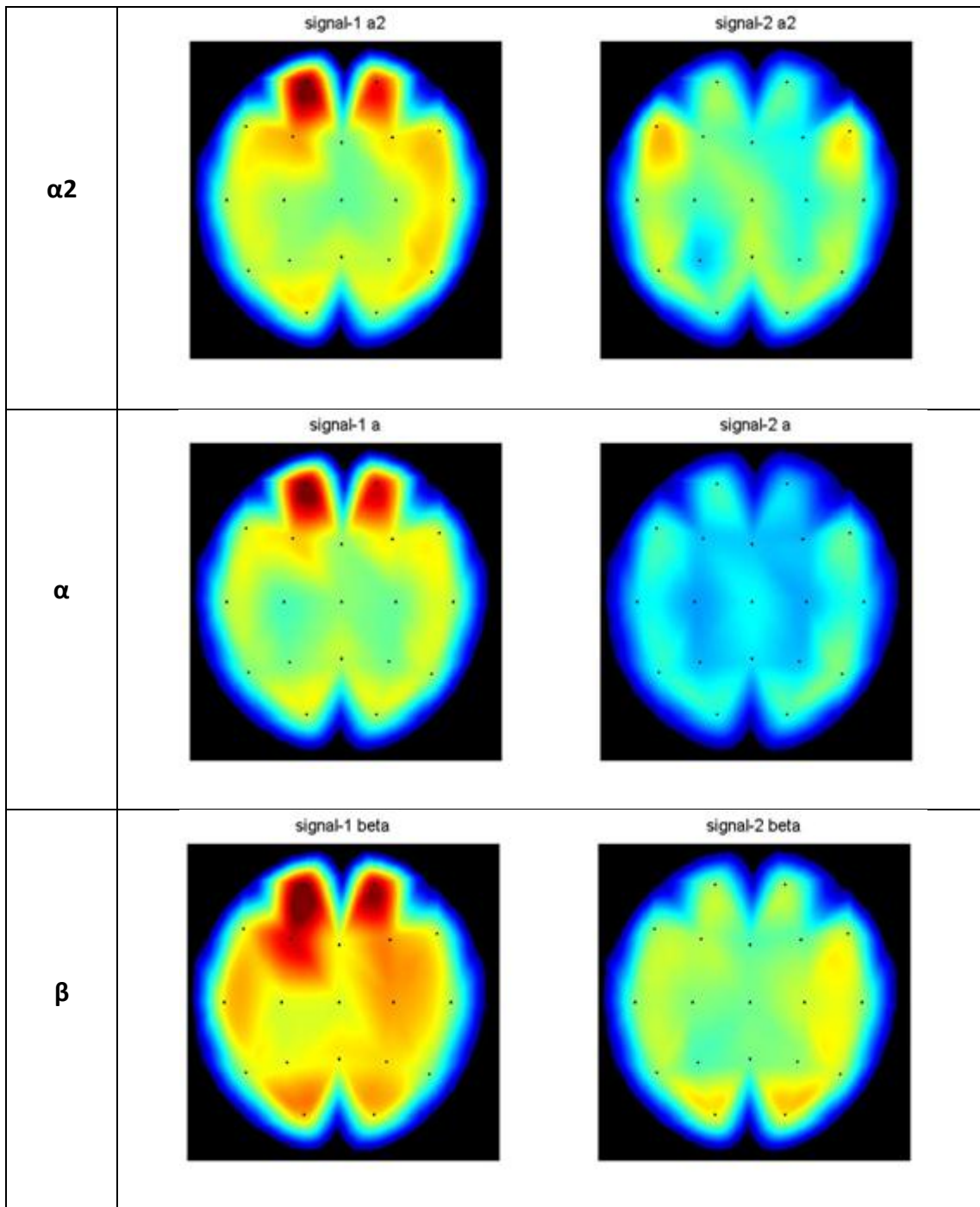


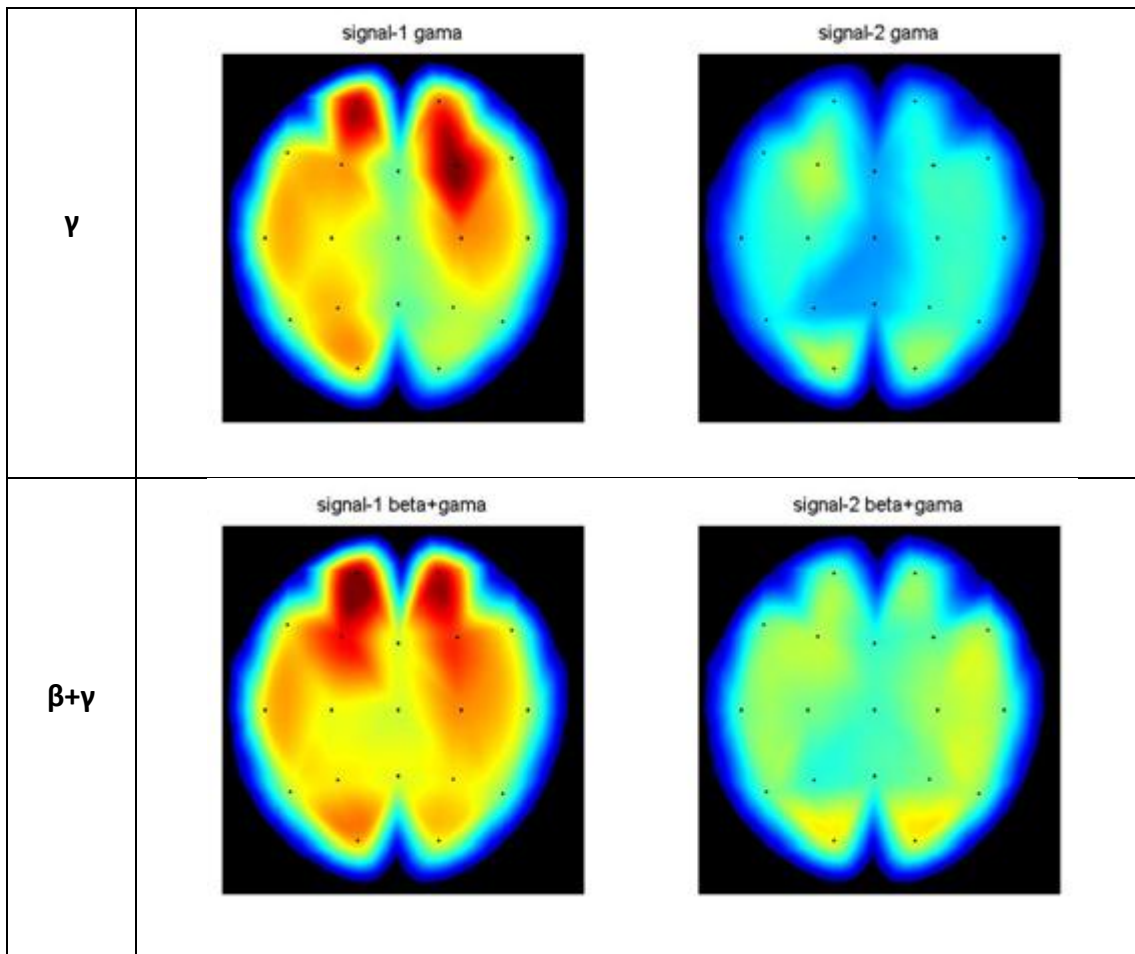
Σχήμα 6.20. Χάρτες απόλυτης ισχύος για το σήμα CHANGE (εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον).

Συγκρίσεις των δύο περιβαλλόντων βασισμένες στους χάρτες απόλυτης ισχύος παρουσιάζονται στον πίνακα 6.6 με χρωματική κλίμακα και στο σχήμα 6.21 χωρίς χρωματική κλίμακα, αλλά με τη χρήση συμβόλων που υποδηλώνουν τις στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πρώτα ομαδοποιημένα ανά ρυθμό και μετά σε συνδυασμούς ρυθμών.

Πίνακας 6.6. Χάρτες με απόλυτες τιμές ισχύος κατανεμημένες για κάθε ρυθμό σε 2D και CHANGE.

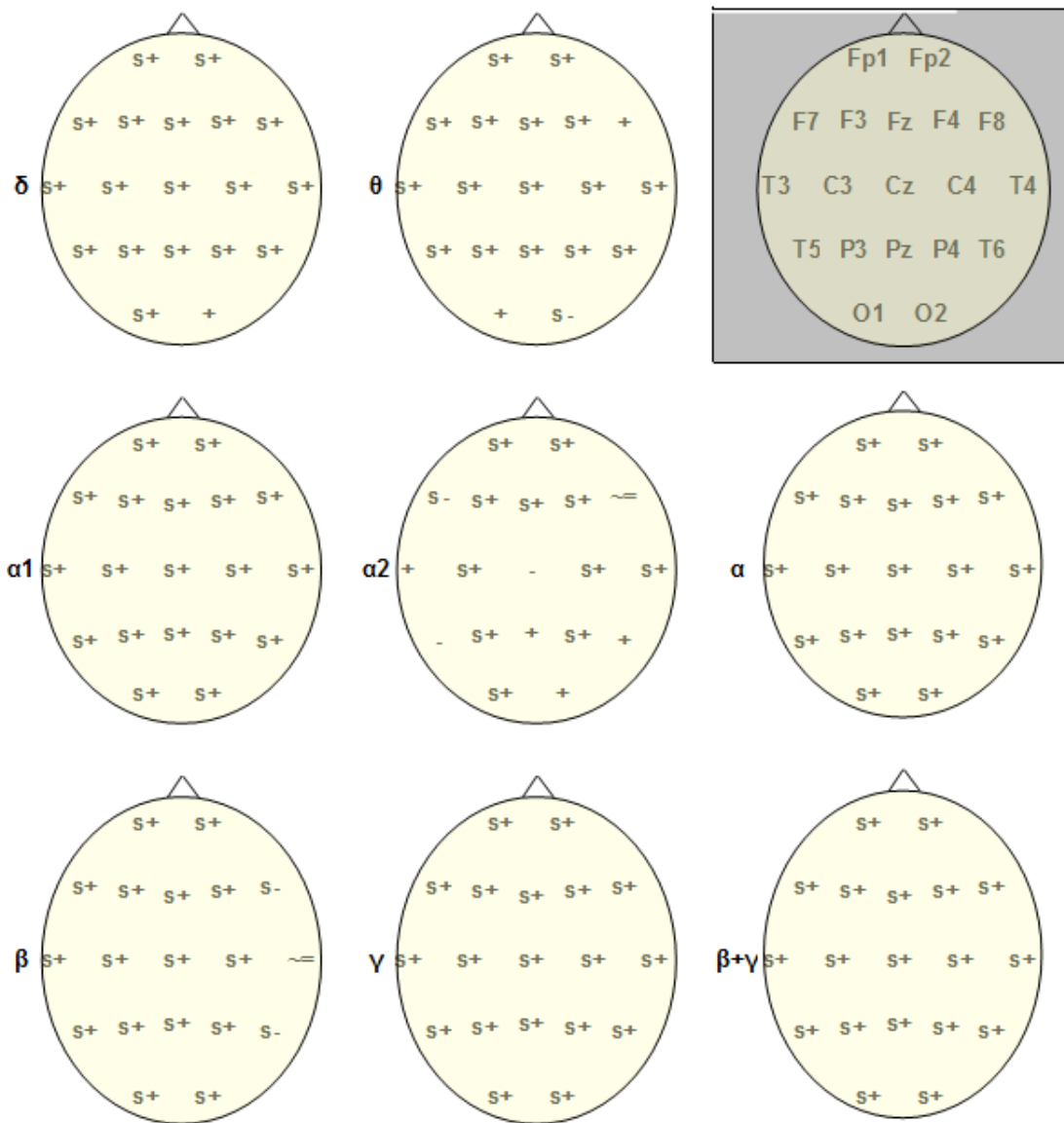
Ρυθμοί	Περιβάλλοντα	
	2D	CHANGE
$\delta$	<p>signal-1 delta</p> 	<p>signal-2 delta</p> 
$\theta$	<p>signal-1 theta</p> 	<p>signal-2 theta</p> 
$\alpha 1$	<p>signal-1 a1</p> 	<p>signal-2 a1</p> 





Τα παραπάνω δεδομένα αποδεικνύουν ότι στο CHANGE περιβάλλον υπήρξε αυξημένη ενεργοποίηση των εγκεφαλικών λειτουργιών, το οποίο πιθανά σημαίνει αυξημένη προσοχή στο CHANGE περιβάλλον έναντι του 2D ως προς την οπτικο-χωρική συνιστώσα της διεργασίας, αφού ο μετωπικός φλοιός είναι σημαντικός στις διαδικασίες προσοχής. Το γεγονός, επίσης, ότι δεν είναι εντοπισμένος σε όλο το κρανίο δηλώνει μη υπναγωγική κατάσταση σε αυτό, όπως και στις προηγούμενες διεργασίες.

Ο διάχυτος  $\alpha$  ρυθμός στο 2D περιβάλλον, πιθανά, σημαίνει μειωμένη νοητική προσπάθεια και γενικώς περιορισμένες ανάγκες για ένταση της προσοχής σε αντίθεση με το CHANGE. Έτσι, λοιπόν, οι συμμετέχουσες κατά την αλλαγή του περιβάλλοντος απαιτήσαν μεγαλύτερη ένταση της προσοχής λόγω της αλλαγής στη θέση ορισμένων αντικειμένων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τη συμπεριφορά τόσο του  $\beta$  όσο και του  $\gamma$  ρυθμού.



Σχήμα 6.21. Συγκριτική παρουσίαση της απόλυτης ισχύος του 2D και του CHANGE περιβάλλοντος (αφαίρεση τιμών 2D – CHANGE). Τα σύμβολα s+ και s- σημαίνουν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τα + και - μη στατιστικά σημαντικές διαφορές και το σύμβολο ~ = αμελητέες διαφορές. Στο άνω δεξιό γκρι πλαίσιο εικονίζονται σχηματικά οι θέσεις των ηλεκτροδίων (σύστημα 10-20).

#### **6.4 Σύνοψη**

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια παρουσίαση των αποτελεσμάτων της κύριας έρευνας για τις δυο διατάξεις που εμφανίστηκαν στις συμμετέχουσες. Παρατηρείται γενικά παρόμοια συμπεριφορά στην τοπολογία των ρυθμών για όλα τα περιβάλλοντα επίδειξης σε ό,τι αφορά την πρώτη διάταξη παθητικής παρακολούθησης των περιβαλλόντων και αναμενόμενη διαφορετική μορφολογία κατά την αλλαγή των θέσεων συγκεκριμένων αντικειμένων που αφορούσε τη δεύτερη διάταξη.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα προηγούμενα αποτελέσματα σχετικά με την ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα γυναικών κατά την παθητική παρατήρηση εκπαιδευτικού εικονικού περιβάλλοντος δύο διαφορετικών διατάξεων και τη συσχέτισή της με τη μάθηση στα πλαίσια του όρου της εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης.

---

# 7 Συμπεράσματα

---

## 7.1 Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας διατριβής είναι η εξαγωγή χρήσιμων δεδομένων σχετικά με την επίδραση του παράγοντα της στερεοσκοπίας κατά τη διάρκεια παρατήρησης εκπαιδευτικού επιτραπέζιου εικονικού (στερεοσκοπικού και μη, 3D και 2D αντίστοιχα) και πραγματικού (REAL) περιβάλλοντος, με την συγκριτική μελέτη της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας που παράγεται κατά τη διάρκεια αυτής της παρατήρησης. Παράλληλα, η παρούσα διατριβή επιχειρεί μια πρώτη προσπάθεια σύνδεσης των νευροεπιστημών και της μάθησης, με μελέτη του παράγοντα της στερεοσκοπίας και της συμβολής του σε θετικές επιδράσεις στην ανάπτυξη ΕΕΠ, οι οποίες με τη σειρά τους θα διαμορφώσουν τις κατάλληλες συνθήκες για μελλοντικά θετικά μαθησιακά αποτελέσματα στα πλαίσια της έννοιας «εκπαιδευτική νευροεπιστήμη».

Στις επόμενες ενότητες του παρόντος κεφαλαίου γίνεται η παρουσίαση των γενικών συμπερασμάτων που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της κύριας έρευνας αναφορικά με τις δυο διεργασίες συμμετοχής.

Από τη συμπεριφορά και των πέντε ρυθμών του ΗΕΓ ( $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$ ) παρατηρείται ότι και στα τρία περιβάλλοντα εμφανίζεται επεξεργασία οπτικών ερεθισμάτων με μείωση της χαλάρωσης και αύξηση της εγρήγορσης και της προσοχής σε χωρικές λειτουργίες. Η ενεργοποίηση κυρίως οπτικο-χωρικών λειτουργιών ήταν αναμενόμενη για αυτή τη διεργασία. Ωστόσο και στα τρία περιβάλλοντα δεν απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια αύξησης της προσοχής και επαγρύπνησης των συμμετεχουσών ως προς την οπτική παρατήρηση.

Στη συνέχεια, εμφανίζονται αναλυτικά τα συμπεράσματα της κύριας έρευνας.

---

## 7.2 Σύγκριση εγκεφαλικής λειτουργίας μεταξύ περιβαλλόντων

### 7.2.1 Πραγματικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλοντα

Το REAL περιβάλλον απαιτήσε περισσότερη οπτική προσοχή (Basar et al., 1999; Onton et al., 2005; Lakatos et al., 2009) και εστίασή της σε σχέση με το 2D. Ήταν πλουσιότερο σε οπτικά ερεθίσματα σε σχέση με το 2D (Lakatos et al., 2009) και φαίνεται να είχε καλύτερη απόδοση στην αναγνώριση των οπτικών στόχων της διεργασίας σε σχέση με το 2D απαιτώντας λιγότερο νοητικό φόρτο από αυτό, όπως, άλλωστε, υποδεικνύει η συμπεριφορά του  $\gamma$  ρυθμού (Paus et al., 1997). Η μη στατιστικά σημαντική υπεροχή του  $\theta$  ρυθμού στην αριστερή κροταφική περιοχή ερμηνεύεται και από τα δύο περιβάλλοντα ως απαίτηση της ίδιας προσοχής και του οπτικού προσανατολισμού (Basar et al., 2001). Από τη συμπεριφορά του  $\alpha$  ρυθμού φαίνεται ότι οι συμμετέχουσες βίωσαν παρόμοια και μη απαιτητικά περιβάλλοντα χωρίς ιδιαίτερες μνημονικές απαιτήσεις ή κωδικοποίηση πληροφοριών (Klimesch, 1999). Μπορεί να υποτεθεί ότι στο REAL περιβάλλον υπήρξε αυξημένη ενεργοποίηση των εγκεφαλικών λειτουργιών που προαναφέρθηκαν, γεγονός που ειδικότερα, ίσως, να ισοδυναμεί με αυξημένη προσοχή στο REAL περιβάλλον έναντι του 2D, ως προς την οπτικο-χωρική συνιστώσα της διεργασίας, αφού ο μετωπικός φλοιός είναι σημαντικός στις διαδικασίες προσοχής. Γενικότερα, φάνηκε ότι το 2D περιβάλλον δεν μπόρεσε να αναπαραστήσει το πραγματικό εξαιτίας της έλλειψης της τρίτης διάστασης, όπως φανερώνει και η συμπεριφορά του  $\gamma$  ρυθμού (Revonsuo et al., 1997).

### 7.2.2 Πραγματικό και εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλοντα

Από τη σύγκριση των περιβαλλόντων 3D και REAL διαφαίνεται γενικά τόσο ο  $\theta$  όσο και εν γένει ο  $\alpha$  ρυθμός να παρουσιάζονται αυξημένοι στο εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον (3D). Σύμφωνα με τον Τζίμα (2010), αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη μέχρι τώρα γνώση μας για την αντίστροφη συμπεριφορά αυτών των ρυθμών του ΗΕΓ. Σύμφωνα με τον ίδιο, μείωση στην ανώτερη  $\alpha$  και  $\theta$  περιοχή σχετίζονται με αύξηση του μνημονικού φόρτου. Είναι όμως, δύσκολο στη συγκεκριμένη διεργασία να υποστηριχθεί αύξηση του μνημονικού φόρτου στο πραγματικό περιβάλλον. Οι παρατηρήσεις αυτές για τον  $\alpha$  ρυθμό συμφωνούν με τον Pugnetti και τους συνεργάτες του (1996) που κατέγραψαν, επίσης, αυξημένη  $\alpha$  ισχύ σε υποκείμενα κατά την εργασία σε εικονικά δωμάτια, σε αντίθεση με τον Mager και τους συνεργάτες του (2000), οι οποίοι κατέγραψαν μείωση της ισχύος του  $\alpha$  ρυθμού και αύξηση



του  $\theta$  στο εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον σε σχέση με τα άλλα περιβάλλοντα (Τζίμας, 2010).

Αύξηση του  $\theta$  ρυθμού και μείωση του  $\beta$  και στα δύο περιβάλλοντα είναι σύμφωνη με τις παρατηρήσεις των Barcelo et al., (1995) και των Revounso et al., (1997) σχετικά με διεργασίες οπτικού προσανατολισμού, οι οποίες συνδέουν τον ινιακό και όχι το μετωπιαίο  $\theta$  ρυθμό με την προσοχή. Δεδομένου ότι η οπτική διεργασία ήταν απλή και δεν εμπειρίχε γνωστική επεξεργασία υψηλού φόρτου εργασίας ήταν αναμενόμενη η επίδραση στο ινιακό και όχι στο μετωπιαίο  $\theta$  (Scerbo, 2001).

Γενικότερα, φαίνεται ότι το 3D περιβάλλον προκάλεσε ισχυρότερη οπτική ενεργοποίηση στις συμμετέχουσες από ότι το REAL που συμφωνεί με τα αποτελέσματα του Μικροβουλου (2001). Και τα δύο περιβάλλοντα δεν απαιτήσαν ιδιαίτερο νοητικό φόρτο. Το REAL περιβάλλον απαιτήσε αυξημένη επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε συνειρμικό επίπεδο και κατά την προσπάθεια αναγνώρισης των αντικειμένων εξαιτίας του γεγονότος ότι προβλήθηκε πρώτο κατά τη διεργασία αυτή.

### **7.2.3 Εικονικό στερεοσκοπικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλοντα**

Από τη σύγκριση των δύο περιβαλλόντων εξάγεται το συμπέρασμα ότι το 3D περιβάλλον απαιτήσε περισσότερη οπτική προσοχή και εστίαση σε σχέση με το 2D, με το 3D περιβάλλον να έχει λιγότερες νοητικές απαιτήσεις από το 2D. Και στα δύο περιβάλλοντα καταβλήθηκε προσπάθεια διατήρησης της προσοχής και της μάθησης των περιβαλλόντων και χωρικών δεξιοτήτων. Σε κανένα από τα δύο περιβάλλοντα δεν απαιτήθηκε σημασιολογική κωδικοποίηση πρωτογενούς οπτικής πληροφορίας και οι συμμετέχουσες βίωσαν παρόμοια και μη απαιτητικά περιβάλλοντα χωρίς ιδιαίτερες μνημονικές απαιτήσεις ή κωδικοποίηση πληροφοριών, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τον Μικρόπουλο (2001), από τον Ζαχαρή και τους συνεργάτες του (2010) καθώς και την Πριόβολου και τους συνεργάτες της (2010).

Το 2D περιβάλλον απαιτήσε μεγαλύτερη οπτική επιλεκτική προσοχή. Πιθανότατα, λοιπόν, το 2D περιβάλλον δεν μπόρεσε να ανταγωνιστεί σε πιστότητα το 3D περιβάλλον εξαιτίας της έλλειψης της τρίτης διάστασης που δημιουργεί την αίσθηση του βάθους. Η στερεοσκοπία φαίνεται να είναι σημαντικός παράγοντας για τα εικονικά περιβάλλοντα,

---

γεγονός που συνάδει με τη δήλωση του Ge και των συνεργατών του (2004), καθώς και με τα αποτελέσματα του Μικρόπουλο (2001), του Ζαχαρή και των συνεργατών του (2010).

#### 7.2.4 Σύνοψη

Από την ανάλυση των ρυθμών και των τριών περιβαλλόντων προκύπτει ότι οι συμμετέχουσες βίωσαν παρόμοια και μη απαιτητικά περιβάλλοντα χωρίς ιδιαίτερες μνημονικές απαιτήσεις ή κωδικοποίηση πληροφοριών. Το REAL περιβάλλον, όσο και το 3D, απαίτησαν μεγαλύτερη ενεργοποίηση οπτικοχωρικών λειτουργιών και διαδικασιών προσοχής έναντι του 2D χωρίς κάποιον ιδιαίτερο μνημονικό φόρτο.

Η επιλεκτικότερη οπτική προσοχή στο 2D περιβάλλον υποδηλώνει αύξηση του άγχους και μείωση του βαθμού χαλάρωσης σε αυτό και ενδεχόμενη αναμονή μήπως «συμβεί κάτι», ίσως ακόμα και την αναζήτηση της τρίτης διάστασης σε ένα δυσδιάστατο περιβάλλον. Το 2D φάνηκε να είναι λιγότερο οικείο από ότι τα άλλα δύο. Ίσως, λοιπόν, δεν κατάφερε να αναπαραστήσει το πραγματικό περιβάλλον εξαιτίας της έλλειψης της τρίτης διάστασης που δημιουργεί την αίσθηση του βάθους, τη λεγόμενη στερεοσκοπία.

Διαφαίνεται ότι το 3D περιβάλλον απέδωσε σωστά και σε μεγάλο βαθμό την αίσθηση του βάθους αναπαριστώντας με αρκετά μεγάλη πιστότητα το πραγματικό. Συγχρόνως, παρατηρείται το γεγονός ότι η πρώτη επαφή με το άγνωστο και καινούριο REAL περιβάλλον ενεργοποίησε εκτός των άλλων λειτουργιών και λειτουργίες προσανατολισμού, στοιχείο που δε θεωρήθηκε απαραίτητο στα 3D και 2D περιβάλλοντα, αφού οι συμμετέχουσες είχαν ως ένα βαθμό εξοικειωθεί με το περιβάλλον αυτό κατά τη διαδικασία προβολής του REAL.

Τόσο το REAL όσο και το 3D περιβάλλον φάνηκαν εν γένει το ίδιο οικεία για τις συμμετέχουσες, γεγονός που καταδεικνύει την πιστή αναπαράσταση του τρισδιάστατου περιβάλλοντος, όπως διαπιστώνεται και από τις αντικειμενικές μετρήσεις του ΗΕΓ.

Από τα προηγούμενα, συνίσταται η κατασκευή και χρήση στερεοσκοπικών εικονικών περιβαλλόντων σε διαδικασίες μάθησης με ταυτόχρονη χρήση της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας ως αντικειμενική μέθοδο μέτρησης με παράλληλη υποστήριξη από υποκειμενικές μετρήσεις, όπως τα ερωτηματολόγια.

### **7.3 Σύγκριση εγκεφαλικής λειτουργίας κατά την αλλαγή διάταξης αντικειμένων ανά περιβάλλον**

Καθίσταται φανερό ότι και στα τρία περιβάλλοντα έγινε αντιληπτή η αλλαγή της διάταξης των αντικειμένων και απαιτήθηκε αύξηση της επιλεκτικής προσοχής των συμμετεχουσών, όπως ακριβώς προκύπτει από τη φασματική κατανομή και τη στατιστική ανάλυση της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια επίδειξης του CHANGE περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε μια επιμέρους διεργασία προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

#### **7.3.1 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο πραγματικό περιβάλλον**

Το CHANGE περιβάλλον απαιτήσε αύξηση της νοητικής προσπάθειας των συμμετεχουσών, αναμενόμενο στοιχείο της διεργασίας, και ταυτόχρονη αύξηση της προσοχής τους, καθώς ως νέο περιβάλλον προκάλεσε μεγαλύτερο γνωστικό φόρτο και άγχος. Με το προηγούμενο πόρισμα είναι σύμφωνη η συμπεριφορά του  $\beta$  ρυθμού και η στατιστική υπεροχή του υπέρ του CHANGE περιβάλλοντος στη δεξιά μετωπιαία θέση που υποδηλώνει γενικά, νοητική εργασία, μείωση του βαθμού χαλάρωσης και αύξηση του άγχους στο περιβάλλον αυτό (Jacobs et al., 1996). Η στατιστικά σημαντική υπεροχή του REAL περιβάλλοντος έναντι του CHANGE σε όλες τις ηλεκτροεγκεφαλικές θέσεις καταλήγει στο συμπέρασμα ότι απαιτήσε μεγαλύτερη οπτική επιλεκτική προσοχή (Gruber & Mathias, 2005).

#### **7.3.2 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον**

Το CHANGE περιβάλλον απαιτήσε από τις συμμετέχουσες μεγαλύτερο οπτικο-χωρικό προσανατολισμό έναντι του 3D, γεγονός που προκύπτει από το είδος της διεργασίας, μιας και χρειάστηκε καταβάλλουν προσπάθεια προκειμένου να διατηρήσουν την προσοχή τους παραμένοντας σε εγρήγορση. Η παρουσία του  $\beta$  ρυθμού στην προμετωπιαία περιοχή ερμηνεύεται ως νοητική εργασία γενικά ή ως μείωση του βαθμού χαλάρωσης και αύξηση του άγχους και της προσοχής σε χωρικές λειτουργίες (Macaully & Edmonds, 2004). Η αυξημένη ισχύς του  $\gamma$  ρυθμού στο CHANGE περιβάλλον συμφωνεί με την αυξημένη συμμετοχή του οπτικού φλοιού σε περιβάλλοντα με αυξημένες οπτικές απαιτήσεις που επιφέρουν μεγαλύτερη εγρήγορση (Tallon – Baurdy, 2004).

### **7.3.3 Αλλαγή διάταξης αντικειμένων στο εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον**

Στο CHANGE περιβάλλον σημειώθηκε αυξημένη ενεργοποίηση των εγκεφαλικών λειτουργιών, δηλαδή αυξημένη προσοχή σε αυτό έναντι του 2D ως προς την οπτικο-χωρική συνιστώσα της διεργασίας, αφού ο μετωπιαίος φλοιός είναι σημαντικός στις διαδικασίες προσοχής. Το γεγονός, επίσης, ότι δεν εντοπίζεται σε όλο το κρανίο δηλώνει μη υπναγωγική κατάσταση σε αυτό, όπως και στις προηγούμενες διεργασίες. Στο 2D περιβάλλον, πιθανώς, απαιτήθηκε μειωμένη νοητική προσπάθεια και γενικότερα περιορισμένες ανάγκες ως προς την ένταση της προσοχής σε αντίθεση με το CHANGE περιβάλλον. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι συμμετέχουσες κατά την αλλαγή του περιβάλλοντος να απαιτήσουν μεγαλύτερη ένταση της προσοχής λόγω της αλλαγής στη θέση ορισμένων αντικειμένων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τη συμπεριφορά τόσο του β όσο και του γ ρυθμού.

#### **7.3.3.4 Σύνοψη**

Από την ανάλυση των ρυθμών και των τριών περιβαλλόντων στα οποία πραγματοποιήθηκε αλλαγή στη διάταξη ορισμένων αντικειμένων, προκύπτει ότι οι συμμετέχουσες αντιλήφθηκαν τις αλλαγές αυτές, όπως φανερώνουν τόσο η τοπολογία της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας, όσο και οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που καταγράφηκαν. Οι ανώτερες, όμως, εγκεφαλικές λειτουργίες του πώς αντιλήφθηκαν οι συμμετέχουσες τις αλλαγές αυτές, σε ανώτερο γνωστικό επίπεδο, δεν είναι δυνατό να ερμηνευθούν στην παρούσα διατριβή εξαιτίας της ανεξερεύνητης ακόμη εγκεφαλικής φυσιολογίας των γνωστικών λειτουργιών. Η καταγραφή των εγκεφαλικών σημάτων της συγκεκριμένης διεργασίας υπήρξε διερευνητική ως προς την απόκριση του εγκεφάλου σε ξαφνική αλλαγή του περιβάλλοντος επίδειξης και καθίσταται αδύνατη η εξαγωγή ειδικότερων συμπερασμάτων..

### **7.4 Γενικά συμπεράσματα**

Εξαιτίας της ανεξερεύνητης ακόμη εγκεφαλικής φυσιολογίας των γνωστικών λειτουργιών θεωρείται ανέφικτη μια απόπειρα γενίκευσης προτύπων εγκεφαλικής δραστηριότητας. Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα που περιγράφονται στις προηγούμενες ενότητες του κεφαλαίου, δύναται να προκύψουν παρατηρήσεις γενικότερης εμβέλειας, που αφορούν

περισσότερο τάσεις και όχι πρότυπα εγκεφαλικής λειτουργίας και αναδεικνύουν ομοιότητες και διαφορές ανάμεσα σε πραγματικά και εικονικά -στερεοσκοπικά ή μη- περιβάλλοντα.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής διατυπώνουν μία σειρά προτάσεων για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη χρήση στερεοσκοπικών τρισδιάστατων εικονικών περιβαλλόντων για εκπαιδευτική χρήση. Τα τρισδιάστατα ΕΕΠ φαίνεται να προσεγγίζουν τα πραγματικά σε ό,τι αφορά τη γνωστική επεξεργασία που προκαλούν. Τα τρισδιάστατα περιβάλλοντα ενισχύουν την προσοχή των χρηστών έναντι των δυσδιάστατων και προκαλούν λιγότερο γνωστικό φόρτο και άγχος έναντι των δυσδιάστατων ΕΕΠ.

Η παρούσα διατριβή αποτελεί ένα πρώτο βήμα αναφορικά προς την εκπαιδευτική νευροεπιστήμη και στοχεύει στο σχεδιασμό διδακτικών παρεμβάσεων σχετικά με θετικά μαθησιακά αποτελέσματα προερχόμενα από ΕΕΠ. Μολονότι η χαρτογράφηση του εγκεφάλου δεν μπορεί να οδηγήσει απευθείας σε προτάσεις διδακτικών παρεμβάσεων, όμως παρουσιάζεται η ανάγκη γεφύρωσης ερευνών που ερμηνεύουν με επιστημονικά αποτελέσματα τις παρεμβάσεις και αξιολογήσεις αυτών σε περιβάλλοντα με κατάλληλο περιεχόμενο μάθησης.

Οι εγκεφαλικές λειτουργίες φαίνεται να είναι γενικά παρόμοιες σε όλα τα περιβάλλοντα που προβλήθηκαν στις συμμετέχουσες, δηλαδή στο πραγματικό, στο εικονικό στερεοσκοπικό, στο εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον. Στο περιβάλλον, όπου παρατηρείται διαφορετική διάταξη κάποιων αντικειμένων, σημειώνεται αλλαγή στην τοπολογία των ρυθμών, όπως φαίνεται τόσο από τη φασματική κατανομή όσο και από τη στατιστική ανάλυση της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας, με αύξηση της επιλεκτικής προσοχής των συμμετεχουσών γεγονός αναμενόμενο εξαιτίας της αλλαγής των θέσεων ορισμένων αντικειμένων.

Οι ομοιότητες, εξίσου σημαντικές, δεν προκύπτουν τόσο από τις απόλυτες τιμές φασματικής ισχύος όσο από τις τοπολογίες των ρυθμών στο κάθε ένα από τα τρία περιβάλλοντα. Ακολούθως, παρουσιάζονται ομαδοποιημένες οι ομοιότητες και οι διαφορές ανάμεσα στα τρία περιβάλλοντα καθώς και παρουσίασή τους σε έναν συγκεντρωτικό πίνακα (Πίνακας 7.1).

#### **7.4.1 Ομοιότητες μεταξύ περιβαλλόντων**

Κατά τη διάρκεια όλων των διεργασιών που πραγματοποιήθηκαν και στα τρία περιβάλλοντα εμφανίζεται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό επεξεργασία οπτικών ερεθισμάτων με μείωση της χαλάρωσης και αύξηση της εγρήγορσης και της προσοχής σε χωρικές λειτουργίες. Αυτή η γενική παρατήρηση μπορεί να εκληφθεί ως υπογράμμιση της οπτικο-χωρικής συνιστώσας, κάτι που ήταν αναμενόμενο από τις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες, όπου απουσίαζαν όσο το δυνατό άλλα αισθητήρια ερεθίσματα εκτός των οπτικών.

Μάλιστα και στα τρία περιβάλλοντα δεν απαιτήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια για να αυξήσουν οι συμμετέχουσες την προσοχή και την επαγρύπνησή τους ως προς την οπτική παρατήρηση. Φαίνεται πώς στις περισσότερες διεργασίες και τα τρία περιβάλλοντα δεν απαιτήσαν ιδιαίτερη εστίαση της προσοχής στα πρωτογενή οπτικά δεδομένα. Εξαιρέση αποτελεί η πρώτη επαφή με το πραγματικό περιβάλλον, η οποία κάνει φανερό ότι η επεξεργασία πρωτογενών οπτικών πληροφοριών διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο, δεδομένου ότι τα πραγματικά αντικείμενα απαιτούν μια πρωτογενή επεξεργασία από τον εγκέφαλο μέχρι το υποκείμενο να τα συνειδητοποιήσει και να τα καταγράψει στη μνήμη του παρέχοντάς του με τον τρόπο αυτό περισσότερα αισθητηριακά ερεθίσματα από ότι τα εικονικά.

#### **7.4.2 Διαφορές μεταξύ περιβαλλόντων**

Γενικώς είναι φανερό ότι, στις περιπτώσεις όπου τα αντικείμενα του περιβάλλοντος χώρου απαιτούν κάποια επεξεργασία, στο πραγματικό περιβάλλον αναλίσκεται περισσότερη προσπάθεια από ότι στα εικονικά κατά την επεξεργασία της αρχικής οπτικής πληροφορίας. Το πραγματικό περιβάλλον εμφανίζεται απαιτητικότερο από άποψη αισθητηριακής επεξεργασίας και σημασιολογικής κωδικοποίησης πρωτογενών οπτικών πληροφοριών, γεγονός αναμενόμενο, αφού το πραγματικό περιβάλλον διαθέτει περισσότερα αισθητηριακά ερεθίσματα από ότι τα εικονικά περιβάλλοντα. Φαίνεται ότι τα αντικείμενα του πραγματικού περιβάλλοντος θεωρήθηκαν πολυπλοκότερα ως προς το πλήθος και τη μορφή των οπτικών ερεθισμάτων που προσέφεραν και κατά συνέπεια αυξήθηκε ο νοητικός φόρτος και απαιτήθηκε μεγαλύτερη ενεργοποίηση της προσοχής και της επιλεκτικής προσοχής. Ακόμα, γίνεται φανερό ότι το πραγματικό περιβάλλον ενεργοποιεί περισσότερο

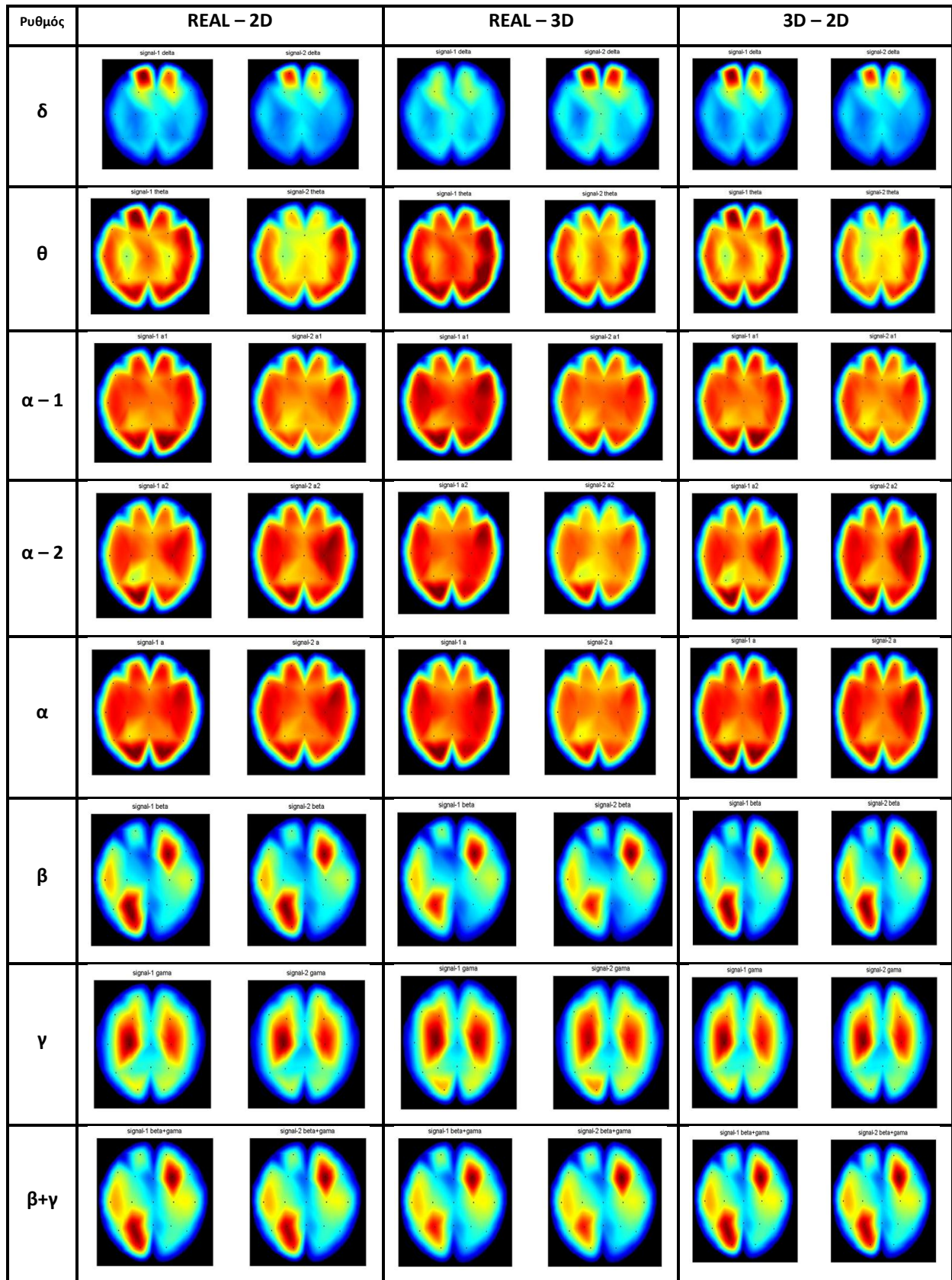
συνιστώσες της προσοχής που δραστηριοποιούνται στις ινιακές και βρεγματικές περιοχές, ενώ στα εικονικά η προσοχή ενεργοποιεί περιοχές του προμετωπιαίου φλοιού και του μετωπιαίου της μέσης γραμμής, οι οποίες πιθανώς εμπλέκουν λειτουργίες της μνήμης εργασίας ή άλλων «ανώτερων» λειτουργιών και όχι οπτικών (όπως συμβαίνει στο πραγματικό περιβάλλον).

Από τα παραπάνω δεδομένα καταλήγουμε στις εξής πιθανές ερμηνείες :

- τα πραγματικά αντικείμενα, αν και προσφέρουν πολύ περισσότερα αισθητηριακά ερεθίσματα, όμως εμφανίζονται λιγότερο απαιτητικά στην περαιτέρω επεξεργασία λόγω πρότερης οικειότητας, αφού προηγουμένως έχει επέλθει η πρωτογενής επεξεργασία τους
- τα εικονικά αντικείμενα, αν και πιο απλά, είναι δυνατό να δυσχεραίνουν τη φάση αναγνώρισης, κατηγοριοποίησης και κατάταξης και συνεπώς τη μετέπειτα επεξεργασία τους
- οι περισσότερο σχηματοποιημένες εικόνες του εικονικού κόσμου ενεργοποιούν τις οπτικο-χωρικές λειτουργίες που συμπληρώνουν τον μειωμένο ρεαλισμό
- η σχηματοποιημένη αναπαράσταση των εικονικών αντικειμένων απαιτεί επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε οπτικές, αλλά και συνειρμικές εγκεφαλικές περιοχές και ταυτόχρονη αυξημένη συμμετοχή της μακρόχρονης μνήμης, αφού ενεργοποιούνται σημασιολογικές μνημονικές λειτουργίες, απαραίτητες για την αποκωδικοποίηση των αντικειμένων του εικονικού περιβάλλοντος.

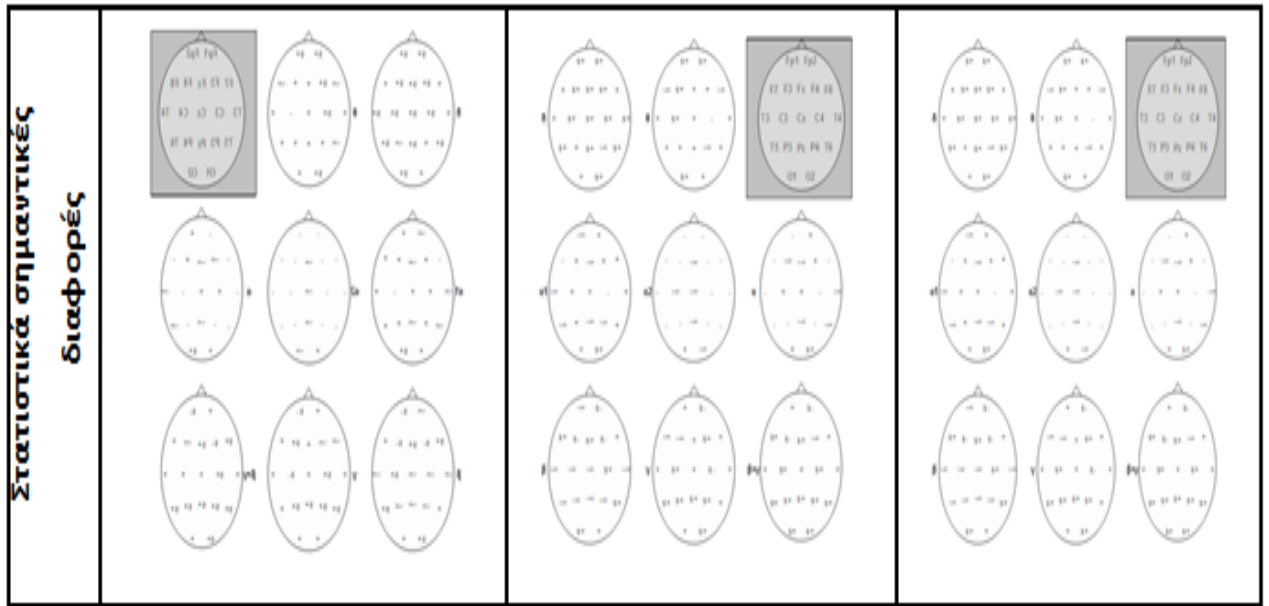
Επιπλέον, στο πραγματικό περιβάλλον φαίνεται να υπάρχει αυξημένη επαγρύπνηση (επειδή παρουσιάστηκε πρώτο) και ίσως αυτή ενεργοποίησε και διατήρησε την προσοχή των συμμετεχουσών.

Στο Σχήμα 7.1 παρουσιάζονται οι χρωματικοί χάρτες κατανομής των ανά δύο περιβαλλόντων σύγκρισης για τους ρυθμούς ανάλυσης της παρούσας διατριβής ενώ στο σχήμα 7.2 οι στατιστικά σημαντικές διαφορές τους.



Σχήμα 7.1. Χρωματικοί χάρτες και στατιστικά σημαντικές διαφορές για τη σύγκριση των ανά δύο περιβαλλόντων στα πλαίσια της κύριας έρευνας.





Σχήμα 7.2. Στατιστικά σημαντικές διαφορές των ανά δύο περιβαλλόντων στα πλαίσια της κύριας έρευνας.

### 7.5 Περιορισμοί της έρευνας

Τα τρία περιβάλλοντα δεν αντισταθμίστηκαν με τη σειρά που παρουσιάστηκαν στις συμμετέχουσες, γεγονός που πιθανά επέφερε αλλαγές κυρίως ως προς την οικειότητα των περιβαλλόντων. Η μεταβλητότητα από υποκείμενο σε υποκείμενο είναι ένας παράγοντας σημαντικό για τη γενίκευση των αποτελεσμάτων. Ένας τρόπος ελέγχου είναι η υπέρθεση γραφημάτων όλων των υποκειμένων για κάθε διεργασία και για κάθε ηλεκτρόδιο.

### 7.6 Προτάσεις για μετέπειτα έρευνα

Η παρούσα διατριβή ασχολήθηκε με συγκρίσεις εγκεφαλικών λειτουργιών σχετικά με τον παράγοντα της στερεοσκοπίας σε εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα και αφορούσε τη σύγκριση υποκειμένων του ενός φύλου και ειδικότερα ενήλικες γυναίκες. Προτάσεις για μετέπειτα έρευνα αφορούν σε μελέτες:

- Διαφορά φύλων, ως απόρροια γνωστικών διαφυλικών διαφορών εξαιτίας της διαφορετικής μορφολογίας των εγκεφάλων των δύο φύλων
- Μικρότερες ηλικίες, όπου κάποιοι ρυθμοί δεν έχουν σταθεροποιηθεί ακόμη και παρουσιάζουν διαφορές που χρήζουν μελέτης
- Συνδυασμούς με παρατηρήσεις συμπεριφοράς, χρόνου απόκρισης και άλλων αντικειμενικών μεγεθών

- Συνδυασμούς με μετρήσεις από άλλες φυσιολογικές μετρήσεις (καρδιακούς παλμούς, αγωγιμότητα δέρματος, ρυθμό αναπνοής, κινήσεις ή ανοιγοκλείσιμο των ματιών, κ.α.)
- Πληροφορίες που προκύπτουν από τη σύγκριση (π.χ. συνάφεια) της εγκεφαλικής λειτουργίας διαφορετικών περιοχών ή συμμετρικών περιοχών των δύο ημισφαιρίων
- Επίδραση ερεθισμάτων των άλλων αισθητηρίων οργάνων
- Μελέτη σε δυναμικά περιβάλλοντα, δηλαδή περιβάλλοντα δηλαδή που θα περιλαμβάνουν κίνηση, πλοήγηση ή/και αλληλεπίδραση και στα οποία θα καταγράφεται η ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα κατά την πλοήγηση και την αλληλεπίδραση των χρηστών μέσα σε αυτά.

Όσον αφορά στο τεχνικό τμήμα, ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσέγγιση των ζητημάτων που ερευνά η παρούσα διδακτορική διατριβή, αλλά και των ζητημάτων που προαναφέρθηκαν με τη χρήση μεθόδων, όπως είναι:

- Διαφορετική μαθηματική επεξεργασία. Σύμφωνα με τον Τζίμα (2010), μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος ανάλυσης είναι η ανάλυση χρόνου-συχνότητας (Time-Frequency Representation, TFR), με την οποία μπορεί να εκτιμηθεί η προκαλούμενη από ερεθίσματα δραστηριότητα στη χρονική της εξέλιξη σε πολλές περιοχές συχνότητων. Αυτό μπορεί να παρουσιάσει την πολυπλοκότητα της εγκεφαλικής ηλεκτρικής δραστηριότητας σε σύνδεση με τη γνωστική λειτουργία. Επιπλέον, μπορεί να ξεπεράσει το πρόβλημα της μη στασιμότητας των ΗΕΓ σημάτων και να αναδείξει τις ατομικές διαφοροποιήσεις σε αντίθεση ή παράθεση με τεχνικές υπολογισμού μέσω όρων (Τζίμας, 2010)
- Στατιστική αφαίρεση παρασίτων με αυτόματη ανίχνευση και διόρθωση, ώστε να μη χάνονται πολλά δείγματα κατά την επεξεργασία των σημάτων
- Εισαγωγή του βίντεο στις καταγραφές, ώστε να αναλύονται συμπεριφορές των υποκειμένων κατά τη διάρκεια καταγραφής και ο ερευνητής να είναι σε θέση να γνωρίζει πού ενδέχεται να εντοπίζονται παράσιτα γνωρίζοντας τις αποκρίσεις του αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο.

Ασφαλώς, δεν παύουν να υπάρχουν και πολλοί άλλοι φιλόδοξοι στόχοι, οι οποίοι αποτελούν γενικότερους στόχους της εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης, όπως είναι:

- Ο σχεδιασμός γενικών προτύπων εγκεφαλικής λειτουργίας σε πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα
- Ο καθορισμός κατευθυντήριων γραμμών για τη σχεδίαση κατάλληλων, βασισμένων σε υπολογιστή, εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων
- Η κατανόηση γενικότερα του τρόπου που μαθαίνουμε.



---

# Αναφορές

---

- Abarbanel, A. (1999). The neural underpinnings of neurofeedback training. In J. R. Evans, and A. Abarbanel (Eds.), *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback* (311-340). San Diego: Academic Press.
- Adamo-Villani, N., & Wright, K., (2007). SMILE: an immersive learning game for deaf and hearing children. *ACM SIGGRAPH 2007 educators program*, article no 17, San Diego, California.
- Andreano, J., Liang, K., Kong, L., Hubbard, D., Wiederhold, B. K., & Wiederhold, M. D. (2009). Auditory Cues Increase the Hippocampal Response to Unimodal. *Virtual Reality*, 12(3), 309-313.
- Aftanas, L. I., & Golocheikine, S. A. (2001). Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation. *Neurosci. Lett.* 310, 57 – 60.
- De Araujo, D. B., Baffa, O., & Wakai, R. T. (2001). Theta and alpha oscillations: Dependency on navigation tasks. In J. Nenonen, R.J. Ilmoniemi & T. Katila (eds.), *Biomag 2000. Proceedings of the 12th International Conference on Biomagnetism*, (343-346). Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, biomag2000.hut.fi/proceedings.html.
- Babiloni, C., Brancucci, A., Vecchio, F., Arendt-Nielsen, L., Chen, A. C., & Rossini, P. M. (2006). Anticipation of somatosensory and motor events increases centro-parietal functional coupling: an EEG coherence study. *Clinical Neurophysiology*, 117(5), 1000 – 1008.
- Backus, B. T. (2000). Stereoscopic vision: What's the first step?. *Current Biology*, 10(19), 701 – 703.
- Bailey, F. & Moar, M., (2002). The Vertex Project: Exploring the creative use of shared 3D Virtual Worlds in the primary (K-12) classroom. *ACM SIGGRAPH 2002 (San Antonio) Conference Abstracts and Applications*, 52—54.
- Bakas, C., & Mikropoulos, T. A. (2003). Design of virtual environments for the comprehension of planetary phenomena based on students' ideas. *International Journal of Science Education*, 25(8), 949-967.
- Barcelo, F., Gale, A., & Hall, M. (1995). Multichannel EEG power reflects information processing and attentional demands during visual orienting. *Journal of Psychophysiology*, 9, 32 – 44.
-

- 
- Basar-Eroglu, C. (1996). Gamma-band responses in the brain: a short review of psychophysiological correlates and functional significance. *International Journal of Psychophysiology In New Advances in EEG and cognition*, 24(1-2), 101 – 112.
- Basar-Eroglu, C., Struber, D., Schurmann, M., Stadler, M., & Basar, E. (1996). Gamma-band responses in the brain a short review of psychophysiological correlates and functional significance. *International Journal of Psychophysiology* 24(1-2), 101-112.
- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., & Schuermann, M. (1999). Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG? *Neuroscience Letters* 259, 165 – 168.
- Basar, E., Schurmann, M., & Sakowitz, O. (2001). The selectively distributed theta system: functions. *International Journal of Psychophysiology*, 39, 197 – 212.
- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., & Schurmann, M. (2001). Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. *International Journal of Psychophysiology*, 39(4), 241 – 248.
- Bastiaansen, M. C .M., & Hagoort, P., (2003). Event-induced theta responses as a window on the dynamics of memory. *Cortex*, 39(4-5), 967–992.
- Bauer, M., Oostenveld, R., Peeters, M., & Fries, P. (2006). Tactile spatial attention enhances gamma-band activity in somatosensory cortex and reduces low-frequency activity in parieto-occipital areas. *The Journal of Neuroscience*, 26(2), 490 – 501.
- Bauer, M., Oostenveld, R., & Fries, P. (2009). Tactile stimulation accelerates behavioral responses to visual stimuli through enhancement of occipital gamma-band activity. *Vision Research*, 49(9), 931–942.
- Beddington, J., Cooper, C.L., Field, J., Goswami, U., Huppert, F.A., Jenkins, R., Jones, H.S., Kirkwood, T.B.L., Sahakian, B.J., & Thomas, S.M., 2008. The mental wealth of nations. *Nature*, 455(7216), 1057–1060.
- Berger, H. (1929). Über das Elektroenkephalogramm des Menschen. *Journal of Psychology and Neurology*, 40, 160 – 179.
- Bichot, N.P., Rossi, A.F., & Desimone, R. (2005). Parallel and serial neural mechanisms for visual search in macaque area V4. *Science*, 308(5721), 529 –534.
- Bischof, W. F., & Boulanger, P. (2003). Spatial Navigation in Virtual Reality Environments: An EEG Analysis. *Cyberpsychology & Behavior*, 6(5), 487 – 495.

- Bland, B. H., & Oddie, S. D. (2001). Theta band oscillation and synchrony in the hippocampal formation and associated structures: The case for its role in sensorimotor integration. *Behavioural Brain Research*, *127*(1-2), 119-136.
- Bland, B.H. (2009). Anatomical, Physiological, and Pharmacological Properties Underlying Hippocampal Sensorimotor Integration. Chapter 12, pp. 283 – 325. *In: Information Processing by Neuronal Populations* edited by Christian Holscher and Matthias Munk by Copyright Cambridge University Press.
- Bland, B. H., Declerck, S., Jackson, J., Glasgow, S., & Oddie, S. (2007). Septohippocampal properties of N-methyl-D-aspartate-induced theta-band oscillation and synchrony. *Synapse* (New York, N.Y.), *61*(3), 185 – 197.
- Bowman, D. A., Hodges, L. F., Allison, D., & Wineman, J. (1999). The educational value of an information-rich virtual environment. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *8*(3), 317 – 331.
- Bowman, D.A. & McMahan, R.P., 2007. Virtual reality: how much immersion is enough? *Computer*, *40* (7), 36 – 43.
- Bouyer, J. J., Montarom, M. F., Vahnee, J. M., Albert, M. P., & Rougeul, A. (1987). Anatomical localization of cortical beta rhythms in cat. *Neuroscience*, *22*(3), 863 – 869.
- Bricken, W. (1990b). Learning in Virtual Reality. *Technical report No. HITLM- 90-5*, University of Washington.
- Brown, M. A., & Slater, M. (1991). A review of interaction technologies as applied to VR. *Proc. of the Conf. Computer Graphics: Computer Animation, Virtual Reality, Visualization*, (309 – 328), Blenheim Online, London.
- Bruer, J. T. (1997). Education and the brain. A bridge to far. *Educational Researcher*, *26*(8), 4 – 16.
- Bruns, A., & Eckhorn, R. (2004). Task-related coupling from high- to low frequency signals among visual cortical areas in human subdural recordings. *International Journal of Psychophysiology*, *51*(2), 97 – 116.
- Busch, N. A., Dubois, J., & VanRullen, R. (2009). The phase of ongoing EEG oscillations predicts visual perception. *Journal of Neuroscience*, *29*(24), 7869 – 7876.
- Buschman, T.J., & Miller, E.K. (2007). Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, *315*(5820), 1860 – 1862.

- 
- Buschman, T.J., & Miller, E.K. (2009). Serial, covert shifts of attention during visual search are reflected by the frontal eye fields and correlated with population oscillations. *Neuron*, 63(3), 386–396.
- Caldwell, J. A., Prazinko, B., & Caldwell, J. L. (2003). Body posture affects electroencephalographic activity and psychomotor vigilance task performance in sleep-deprived subjects. *Clinical Neurophysiology*, 114(1), 23–31.
- Caplan, J. B., Madsen, J. R., Raghavachari, S., & Kahana, M. J. (2001). Distinct patterns of brain oscillations underlie two basic parameters of human maze learning. *J. Neurophysiol.*, 86, 368–380.
- Caplan, J. B., Madsen, J. R., Schulze-Bonhage, A., Aschenbrenner-Scheibe, R., Newman, E. L., & Kahana, M. J. (2003). Human theta oscillations related to sensorimotor integration and spatial learning. *J. Neurosci.*, 23, 4726–4736.
- Cartwright, G. F., & Zanni, C. A. (1996). Human brains in virtual worlds. Eighth General Assembly of the World Future Society, Washington, DC, (July 16, 1996).
- Chen, C. H., Yang, J. C., Shen, S., & Jeng, M. C., (2007). A Desktop Virtual Reality Earth Motion System in Astronomy Education. *Journal of Education Technology & Society*, 10(3), 289–304.
- Chiappa, K. H. (1985). Progress in topographic mapping of neuropsychological data: Comments, In F. H. Duffy (Ed.), *Topographic Mapping of Brain Electrical Activity*. Butterworth Publishers, Boston, MA.
- Cobb, S., Nichols, S., Ramsey, A., & Wilson, J. R. (1999). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE). *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(2), 169–186.
- Cole, H. W., & Ray, W. J. (1985). EEG correlates of emotional tasks related to attentional demands. *Int. J. Psychophysiol.*, 3(1), 33–41.
- Cooper, N. R., Croft, R. J., Dominey, S. J. J., Burgess, A. P., & Gruzelier, J. H. (2003). Paradox lost? Exploring the role of alpha oscillations during externally vs. internally directed attention and the implications for idling and inhibition hypotheses. *Int J PsychoPhysio*, 47, 65–74.
- Corbetta, M., Miezin, F. M., Shulman, G. L., & Petersen, S. E. (1993). A PET study of visuospatial attention. *The Journal of Neuroscience*, 13(3), 1202–1226.
- Cremades, J., Barreto, A., Sanchez, D., & Adjouadi, M. (2004). Human-computer interfaces with regional lower and upper alpha frequencies as on-line indexes of mental activity. *Computers in Human Behavior*, 20(4), 569–579.
-



- Crick, F. & Koch, C. (1990). Some reflections on visual awareness. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 55, 953 – 962.
- Crick, F., & Koch, C. (1990a). Towards a neurobiological theory of consciousness. *Semin. Neurosci.*, 2, 263 – 275.
- Crick, F., & Koch, C. (1990b). Some reflections on visual awareness. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 55, 953 – 963.
- Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10 – 32.
- Daniel, R. S. (1967). Alpha and theta EEG in vigilance. *Perceptual and Motor Skills*, 25, 697 – 703.
- DeAngelis, G.C. (2000) Seeing in three dimensions: the neurophysiology of stereopsis. *Trends in Cognitive Science*, 4(3), 80 – 90.
- Decety, J., Grèzes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., Grassi, F., & Fazio, F. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy. *Brain*, 120(10), 1763 – 1777.
- Dede C., Salzman, M., Loftin, B., & Ash, K., (1997). Using virtual reality technology to convey abstract scientific concepts. In *Learning the sciences of the 21st century: Research, design and implementation of advanced technological learning environments*. M. Jacobson & R. Kozma (Eds.), Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Dede, C., Salzman, M.C., Loftin, R. B., & Sprague, D., (1999). Multisensory Immersion as a Modeling Environment for Learning Complex Scientific Concepts. In W. Feurzeig and N. Roberts (Eds.), *Modeling and Simulation in Science and Mathematics Education*, pp. 282-319, Springer-Verlag, New York.
- Dede, C. (2009). Immersive Interfaces for Engagement and Learning. *Science*, 323(5910), 66 – 69.
- de Munck, J.C., Goncalves, S. I., Huijboom, L., Kuijer, J. P., Pouwels, P. J., Heethaar, R. M., & Lopes da Silva, F. H. (2007). The hemodynamic response of the alpha rhythm: an EEG/fMRI study. *Neuroimage*, 35(3), 1142 – 1151.
- Dolce, G., & Waldeier, H. (1974). Spectral and multivariate analysis of EEG changes during mental activity in man. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 36, 577 – 584.
- Donner, T.H., Siegel, M., Oostenveld, R., Fries, P., Bauer, M., & Engel, A.K. (2007). Population activity in the human dorsal pathway predicts the accuracy of visual motion detection. *Journal of Neurophysiology*, 98(1), 345 – 359.

- 
- Ekstrom, A., Caplan, J., Ho, E., Shattuck, K., Fried, I., & Kahana, M. (2005). Human hippocampal theta activity during virtual navigation. *Hippocampus*, *15*, 881 – 889.
- Educational Research and Neurosciences – Expectations, Evidence, Research Prospects - Education Reform Volume 13 - Federal Ministry of Education and Research (BMBF).
- Engel, A. K., & Singer, W. (2001). Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness. *Trends in Cognitive Science*, *5*(1), 16 – 25.
- Ergenoglu, T., Demiralp, T., Bayraktaroglu, Z., Ergen, M., Beydagi, H., & Uresin, Y. (2004). Alpha rhythm of the EEG modulates visual detection performance in humans. *Cognitive Brain Research*, *20*(3), 376 – 383.
- Finnigan S., & Robertson I.H. (2011). Resting EEG theta power correlates with cognitive performance in healthy older adults. *Psychophysiology*, *48*(8), 1083 – 1087.
- Fisch, B. J. (1999). *Fisch & Spehlmann's EEG Primer* (3rd Ed). Amsterdam: Elsevier.
- Fries, P., Neuenschwander, S., Engel, A.K., Goebel, R., & Singer, W. (2001). Rapid feature selective neuronal synchronization through correlated latency shifting. *Nature Neuroscience*, *4*(2), 194 –200.
- Fries, P., Schröder, J.H., Roelfsema, P.R., Singer, W., & Engel, A.K. (2002). Oscillatory neuronal synchronization in primary visual cortex as a correlate of stimulus selection. *The Journal of Neuroscience*, *22*(9), 3739 – 3754.
- Fries, P., Womelsdorf, T., Oostenveld, R., & Desimone, R. (2008a). The effects of visual stimulation and selective visual attention on rhythmic neuronal synchronization in macaque area V4. *The Journal of Neuroscience*, *28*(18), 4823 – 4835.
- Gazit, E., Yair, Y., & Chen, D. (2006). The gain and pain in taking the pilot seat: learning dynamics in a non immersive virtual solar system. *Virtual Reality*, *10*(3), 271 – 282.
- Geake, J., & Cooper, P.W. (2003a). Cognitive Neuroscience: Implications for education? *Westminster Studies in Education*, *26*(1), 7 – 20.
- Geake, J., & Cooper, P.W. (2003b). *The Educated Brain: The relevance of cognitive neuroscience to educational theory and practice*, *Westminster Review of Educational Studies*, *26*(1), 7–20.
- Giesbrecht, B., Weissman, D. H., Woldorff, M. G., & Mangun, G. R. (2006). Pretarget activity in visual cortex predicts behavioral performance on spatial and feature attention tasks. *Brain Research*, *1080*(1), 63 – 72.
-

- Goldman, R. I., Stern, J. M., Engel, J., & Cohen, M.S. (2002). Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm. *Neuroreport*, *13*(18), 2487 – 2492.
- Gonçalves, N. (2005). Educational use of 3d virtual environments: primary teachers visiting a romanesque castle. In A. Méndez-Vilas, B. González-Pereira, J. Mesa González, J.A. Mesa González (Eds), *Recent Research Developments in Learning Technologies*, (pp. 427 - 431), FORMATEX, Badajoz, Spain.
- Gross, J. et al. (2004). Modulation of long-range neural synchrony reflects temporal limitations of visual attention in humans. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* *101*, 13050 – 13055.
- Gruber, T., Müller, M. M., Keil, A., & Elbert, T. (1999). Selective visuospatial attention alters induced gamma band responses in the human EEG. *Clinical Neurophysiology*, *110*, 2074 – 2085.
- Gruber, T., & Matthias, M. (2005). Oscillatory brain activity dissociates between associative stimulus content in a repetition priming task in the human EEG. *Cerebral Cortex*, *15*(1), 109 – 116.
- Gundel, A., & Wilson, G. F. (1992). Topographical changes in the ongoing EEG related to the difficulty of mental tasks. *Brain Topography*, *5*(1), 17 – 25.
- Hall, J. (2005). Neuroscience and Education: What can brain science contribute to teaching and learning? SRCE University of Glasgow. Διαθέσιμο (18 Δεκεμβρίου 2005) στο URL: <http://www.scre.ac.uk/pdf/spotlight/spotlight92.pdf>.
- Hanslmayr, A. A., Staudigl, T., Klimesch, W., Herrmann, C. S., & Bäuml, K. H. (2007). Prestimulus oscillations predict visual perception performance between and within subjects. *Neuroimage*, *37*(4), 1465 – 1473.
- Hanslmayr, S., Gross, J., Klimesch, W., & Shapiro, K. L. (2011). The role of alpha oscillations in temporal attention. *Brain Research Reviews*, *67*(1-2), 331 – 343.
- Hoffman, H. G., Richards, T., Coda, B., Richards, A., & Sharar, S. R. (2003). The illusion of presence in immersive virtual reality during an fMRI brain scan. *CyberPsychology and Behavior*, *6*(2), 127 – 132.
- Howard, I. P., & Rogers, B. J. 2002. *Seeing in Depth*, vol. 2: Depth Perception. I. Porteous, Toronto.
- Herrmann, C.S., Munk, M.H., & Engel, A.K. (2004). Cognitive functions of gamma-band activity: memory match and utilization. *TRENDS in Cognitive Sciences*, *8*(8), 347 – 355.

- 
- Hinterberger, T., Widman, G., Lal, T. N., Hill, J., Tangermann, M., & Rosenstiel, W. (2008). Voluntary brain regulation and communication with electrocorticogram signals. *Epilepsy & Behavior, 13*(2), 300 – 306.
- Hopfinger, J. B., Buonocore, M. H., & Mangun, G. R. (2000). The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nature Neuroscience, 3*(3), 284 – 291.
- P. Howard-Jones, *Neuroscience and Education: Issues and Opportunities*. London: TLRP, Institute of Education, 2007.
- Huber, R., Ghilardi, M.F., & Massimini, M. (2004). Local sleep and learning. *Nature, 430*(6995), 78 – 81.
- Hew, K. F., & Cheung, W. S. (2008). Use of three-dimensional (3-D) immersive virtual worlds in K-12 and higher education settings: A review of the research. *British Journal of Educational Technology, 41*(1), 33 – 55.
- Ijsselstein, W., de Ridder, H., Hamberg, R., Bouwhuis, D., & Freeman, J. (1998). Perceived depth and the feeling of presence in 3DTV. *Displays, 18*(4), 207 – 214.
- Ishihara, T., & Yoshii, N. (1973). Theta rhythm in the mid-frontal region during mental work. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 35*, 701.
- Isler, J.R., Grieve, P.G., Czernochowski, D., Stark, R.I., & Friedman, D. (2008). Cross-frequency phase coupling of brain rhythms during the orienting response. *Brain Res. 1232*, 163 – 172.
- Jacobs, G. D., Benson, H., & Friedman, R. (1996). Topographic EEG mapping of the relaxation response. *Biofeedback and Self-Regulation, 21*(2), 121 – 129.
- Janssen, P., Vogels, R., & Orban, G. A. (2000a). Selectivity for 3D shape that reveals distinct areas within macaque inferior temporal cortex. *Science, 288*(5473), 2054 – 2056.
- Janssen, P., Vogels, R., & Orban, G. A. (2000b). Three-dimensional shape coding in inferior temporal cortex. *Neuron, 27*(5473), 385 – 397.
- Jaušovec, N., & Jaušovec, K. (2000). EEG activity during the performance of complex mental problems. *International Journal of Psychophysiology, 36*, 73 – 88.
- Jaušovec, N. (1997b). Differences in EEG alpha activity between gifted and non-identified individuals: insights into problem solving. *Gifted Child Quarterly, 41*(1), 26 – 32.
- Jiang, Y., Boehler, C. N., Nönnig, N., Düzel, E., Hopf, J. M., Heinze, H. J., & Schoenfeld, M. A. (2008). Binding 3-D object perception in the human visual cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience, 20*(4), 553 – 562.
-

- Jerbi, K., Lachaux, J. P., Diaye, K., Pantazis, D., Leahy, R. M., Garnero, L., & Baillet, S. (2007). Coherent neural representation of hand speed in humans revealed by MEG imaging. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *104*(18), 7676–7681.
- Johnson, A., Moher, T., Ohlsson, S., & Gillingham, M., (1999). The Round Earth Project- Collaborative VR for Conceptual Learning. *IEEE Computer Graphics and Applications*, *19*(6), 60-69.
- Johnson, A., Moher, T., Ohlsson, S., & Gillingham, M., (1999). The Round Earth Project: Deep Learning in a Collaborative Virtual World. *Proceedings of the IEEE Virtual Reality, IEEE CS Press*, Los Alamitos, Calif., 1999, pp. 164-171.
- Johnson, A., Moher, T., Ohlsson, S., & Leigh, J. (2001). Exploring multiple representations in elementary school science education. *Proceedings of the Virtual Reality 2001 Conference, VR'01*, 201. doi:10.1109/VR.2001.913787.
- Kahana, M. J., Seelig, D., & Madsen, J. R. (2001). Theta returns. *Curr Opin Neurobiol*, *11*, 739 - 744.
- Kahana, M. J. (2006). The Cognitive Correlates of Human Brain Oscillations. *The Journal of Neuroscience*, *26*(6), 1669 – 1672.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2003). Νευροεπιστήμη και συμπεριφορά, (3η έκδοση). Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
- Kastner, S., Pinsk, M. A., DeWeerd, P., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (1999). Increased activity in human visual cortex during directed attention in the absence of visual stimulation. *Neuron*, *22*(4), 751 – 761.
- Kim, D., Jung, Y. J., Kim, E., Ro, Y. M., & HyunWook Park, H. (2011). Human brain response to visual fatigue caused by stereoscopic depth perception. In *Digital Signal Processing (DSP), 2011 17th International Conference*, vol., no., pp.1-5, 6-8 July 2011, doi: 10.1109/ICDSP.2011.6004997. Διαθέσιμο στο URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6004997&isnumber=6004864>
- Kiroy, V. N., Warsawskaya, L. V., & Voynov, V. B. (1996). EEG after prolonged mental activity. *International Journal of Neuroscience*, *85*(1-2), 31 – 43.
- Klimesch, W., Pfurtscheller, Mohl, G., W., & Schimke, H. (1990). Event-related desynchronization, ERD-mapping and hemispheric differences for words and numbers. *International Journal of Psychophysiology*, *8*(3), 297 – 308.

- 
- Klimesch, W., Pfurtscheller, G., & Schimke, H. (1992). Pre- and post-stimulus processes in category judgement tasks as measured by event-related desynchronization (ERD). *Journal of Psychophysiology*, *6*(3), 185 – 204.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H., Pachinger, T., & Schwaiger, J. (1998). Induced alpha band power changes in the human EEG and attention. *Neuroscience*, *244*, 73 – 76.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, *29*, 169 – 195.
- Knill, D. C., Kersten, D., & Mamassian, P. (1996). Implications of a Bayesian formulation of visual information for processing for psychophysics. In D.C. Knill & W. Richards (eds.), *Perception as Bayesian Inference*, (239 – 286). New York: Cambridge University Press.
- Koizoumi, H. (2011). Brain-Science Based Cohort Studies. *Educational Philosophy and Theory*, *43*(1), 48-55.
- Kontogeorgiou, A., Bellou, J., & Mikropoulos, T. A. (2007). Visualizing the quantum atom. In R. Pinto and D. Couso (eds.), *Contributions from Science Education Research*, 465-475, Springer, The Netherlands
- Kosslyn, S. M. (2005). Mental images and the Brain. *Cognitive Neuropsychology*, *22*( 3-4), 333-347.
- Kramer, A. F. (1991). Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress. In D. Damos (Ed.), *Multiple task performance* (279 – 328). London: Taylor and Francis.
- Lakatos, P., Karmos, G., Mehta, A.D., Ulbert, I. & Schroeder, C.E. (2008). Entrainment of neuronal oscillations as a mechanism of attentional selection. *Science* *320*, 110 – 113.
- Laufs, H., Krakow, K., Sterzer, P., Eger, E., Beyerle, A., Salek-Haddadi, A., & Kleinschmidt, A. (2003). Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest. *Proc Natl Acad Sci USA*, *100*(19), 11053 – 11058.
- Laufs, H., Holt, J. L., Elfont, R., Krams, M., Paul, J. S., Krakow, K., & Kleinschmidt, A. (2006). Where the BOLD signal goes when alpha EEG leaves. *Neuroimage*, *31*(4), 1408 – 1418.
- Lazarev, V.V. (1998). On the intercorrelation of some frequency and amplitude parameters of the human EEG and its functional significance. Communication: I. Multidimensional neurodynamic organization of functional states of the brain during intellectual, perceptive and motor activity in normal subjects. *Int. J. Psychophysiol.*, *28*, 77- 98.

- Lee, E. A. L., Wong, K.W., & Fung, C. C. (2010). How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach. *Computers & Education, 55(4)*, 1424 – 1442.
- Lin, C. T., Yang, F. S., Chiou, T. C., Ko, L. W., Jeng-Ren Duann, J. R., & Gramann, K. (2009). EEG-Based Spatial Navigation Estimation in a Virtual Reality Driving Environment. *Ninth IEEE International Conference on Bioinformatics and Bioengineering*, 435 – 438.
- Luck, S. J., Chelazzi, L., Hillyard, S.A., & Desimone, R. (1997). Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2, and V4 of macaque visual cortex. *Journal of Neurophysiology, 77(1)*, 24 – 42.
- Lutz, A., Lachaux, J. P., Martinerie, J., Francisco, J., & Varela., F. J. (2002). Guiding the study of brain dynamics by using first person data: synchrony patterns correlate with ongoing conscious states during a simple visual task. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 99(3)*, 1586 – 1591.
- Mager, R., Bullinger, A. H., Roessler, A., Mueller-Spahn, F., & Stoermer, R. (2000). Monitoring brain activity during use of stereoscopic virtual environments. *CyberPsychology and Behavior, 3(3)*, 407 – 415.
- Maquet, P. (2001). The role of sleep in learning and memory. *Science, 294(5544)*, 1048 – 1052, 2001.
- Markand, O. N. (1990). Alpha rhythms. *Journal of Clinical Neurophysiology, 7(2)*, 163-189.
- Marshall, P., Rogers, Y., & Scaife, M. (2005). PUPPET: Playing and Learning in a Virtual World. *International Journal of Computing Engineering Education and Life-Long Learning, 14(6)*, 519-531.
- Martineau, J., & Cochin, S. (2003). Visual perception in children: human animal and virtual movement activates different cortical areas. *International Journal of Psychophysiology, 51(1)*, 37 – 44.
- Martinez-Montes, E., Valdes-Sosa, P. A., Miwakeichi, F., Goldman, R.I., & Cohen, M.S. (2004). Concurrent EEG/fMRI analysis by multiway partial least squares. *Neuroimage, 22(3)*, 1023 – 1034.
- Marrufo, M. V., Vaquero, E., Cardoso, M. J., & Gómez, C.M. (2001). Temporal evolution of alpha and beta bands during visual spatial attention. *Cognitive Brain Research, 12(2)*, 315 – 320.

- 
- Mathewson, K. E., Gratton, G., Fabiani, M., Beck, D., M., & Ro, T. (2009). To see or not to see: prestimulus alpha phase predicts visual awareness. *Journal of Neuroscience*, 29(9), 2725 – 2732.
- Meador, K.J., Ray, P.G., Echaz, J.R., Loring, D.W., & Vachtsevanos, G.J. (2002). Gamma coherence and conscious perception. *Neurology*, 59(6), 847 – 854.
- Mecklinger, A., Kramer, A. F., & Strayer, D. I. (1992). Event related potentials and EEG components in a semantic memory search task. *Psychophysiology*, 29(1), 104 – 119.
- Mikropoulos, T. A., Chalkidis, A., Katsikis, A., & Emvalotis, A. (1998). Students' attitudes towards educational virtual environments. *Education and Information Technologies*, 3(2), 137 – 148.
- Mikropoulos, T. (2001). Brain activity on navigation in virtual environments. *Journal of Educational Computing Research*, 24(1), 1-12.
- Mikropoulos, T. A., Katsikis, A., Nikolou, E. & Tsakalis, P. (2003). Virtual environments in biology teaching. *Journal of Biological Education*, 37(4), 176-181.
- Mikropoulos, T. A. (2003). Brain research in science education research. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselves, E. Hatzikraniotis, G. Fassoulopoulos & M. Kallery (eds.), *Science Education Research in the Knowledge - Based Society*, (353 – 360). Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Mikropoulos, T. A., & Strouboulis, V. (2004). Factors that Influence Presence in Educational Virtual Environments. *Cyberpsychology & Behavior*, 7(5), 582-591.
- Mikropoulos, T. A., Tzimas, E., & Dimou, G. El. (2004). Objective Presence Measures through Electric Brain Activity, In M. A. Raya & B. R. Solaz (eds.), *Proceedings of the 7 th Annual International Workshop on Presence*, (259 – 265). Valencia.
- Mikropoulos, T. A., Chalkidis, A., Koutsikos, El., Strouboulis, V., & Vrellis, J. (2005). Educational virtual environments for earthquake precaution. In R. Pinto and D. Couso (Eds.) *Proceedings of the Fifth International ESERA Conference on Contributions of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science*, 202-205, Barcelona, Spain.
- Mikropoulos, T. A., & Bellou, J. (2006). The Unique Features of Educational Virtual Environments. In P. Isaias, M. McPherson and F. Banister (eds.), *Proceedings e-society 2006, International Association for Development of the Information Society*, v.1, 122 – 128, IADIS.
- Mikropoulos, T.A. (2006). Presence: a unique characteristic in educational virtual environments, *Virtual Reality*, 10(3), 197 – 206.



- Mikropoulos, T. A., & Natsis A., (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers & Education*, 56(3), 769 – 780.
- Miller, R. (1991). *Cortico-Hippocampal Interplay and the Representation of Contexts in the Brain*. Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1996). *The Visual Brain in Action*. Oxford Univ. Press, London.
- Mima, T., Oluwatimilehin, T., Hiraoka, T., & Hallett, M. (2001). Transient interhemispheric neuronal synchrony correlates with object recognition. *The Journal of Neuroscience*, 21(11), 3942 – 3948.
- Minogue, J., Jones, M. G., Broadwell, B., Oppewall, T. (2006). The impact of haptic augmentation on middle school students' conceptions of the animal cell. *Virtual Reality*, 10(3), 293-305.
- Mitchell, J.F., Sundberg, K.A., & Reynolds, J.H. (2007). Differential attention dependent response modulation across cell classes in macaque visual area V4. *Neuron* 55(1), 131–141.
- Mizuki, Y., Tanaka, O., Isozaki, H., Nishijima, H., & Inanaga, K. (1980). Periodic appearance of theta rhythm in the frontal midline during performance of a mental task. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 54, 25P.
- Mizuki, Y., Takij, O., Nishijima, H., & Inanaga, K. (1983). The relationship between the appearance of frontal midline theta activity (Fm theta) and memory function. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 56, 56p.
- Mitchell, D. J., McNaughton, N., Flanagan, D., & Kirk, I. J. (2008). Frontal-midline theta from the perspective of hippocampal "theta". *Progress in Neurobiology*, 86(3), 156 – 185.
- Moore, C., & Engel, S. A. (2001). Neural Response to Perception of Volume in the Lateral Occipital Complex. *Neuron*, 29(1), 277 – 286.
- Moors, A., & De Houwer, J. 2006. Automaticity: a theoretical and conceptual analysis. *Psychological Bulletin*, 132(2), 297 – 302.
- Moosmann, M., Ritter, P., Krastel, I., Brink, A., Thees, S., Blankenburg, F., Taskin, B., Obrig, H., & Villringer, A. (2003). Correlates of alpha rhythm in functional magnetic resonance imaging and near infrared spectroscopy. *Neuroimage*, 20(1), 145 – 158.
- Moutsopoulos, T. (2005). Proposals for a state of the art Brain Computer Interface. Unpublished master's thesis, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland.

- 
- Müller, M. M., Gruber, T., & Keil, A. (2000). Modulation of induced gamma band activity in the human EEG by attention and visual information processing. *International Journal of Psychophysiology*, 38(3), 283 – 299.
- Müller, N. G., Bartelt, O. A., Donner, T. H., Villringer, A., & Brandt, S. A. (2003). A physiological correlate of the “Zoom Lens” of visual attention. *The Journal of Neuroscience*, 23(9), 3561 – 3565.
- Neill, R.A., & Fenelon, B. (1988). Scalp response topography to dynamic random dot stereograms. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 69(3), 209 – 217.
- Niedermeyer, E. (1997). Alpha rhythms as physiological and abnormal phenomena. *Internal. J. Psychophysiol.*, 26(1-3), 31 – 49.
- Niedermeyer, E., & Lopes da Silva, F. H. (2005). *Electroencephalography : Basic principles, clinical applications, and related fields* (5th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Nichols, S., Ramsey, A. D., Cobb, S., Neale, H., D’Cruz, M., & Wilson, J. R. (2000). *Incidence of Virtual Reality Induced Symptoms and Effects (VRISE) in desktop and projection screen display systems*. (Contract Research Report 274/200) Nottingham, UK: HSE Books.
- Nobre, A. C., Sebestyen, G. N., Gitelman, D. R., Mesulam, M. M., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1997). Functional localization of the system for visuospatial attention using positron emission tomography. *Brain*, 120(3), 515 – 533.
- OECD (2002). *Understanding the brain: Towards a new learning science*. Paris: OECD.
- Oken, B. S., & Salinsky, M. (1992). Alertness and attention: Basic science and electrophysiologic correlates. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9(4), 480-494.
- Orban, G. A., Dupont, P., Vogels, R., De Bruyn, B., Bormans, G., & Mortelmans, L. (1996). Task dependency of visual processing in the human visual system. *Behav. Brain Res.*, 76, 215 – 223.
- Padilla, M. L., Wood, R. A., Hale, L. A., Knight, R. T. (2006). Lapses in a prefrontal extrastriate preparatory attention network predict mistakes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(9), 1477 – 1487.
- Palva, J.M., Palva, S., and Kaila, K. (2005). Phase synchrony among neuronal oscillations in the human cortex. *Journal of Neuroscience*, 25(15), 3962 – 3972.
- Palva, S., & Palva M. (2007). New vistas for a frequency band oscillations. *TRENDS in Neurosciences*, 30(4), 150 – 158.

- Papanikolaou, A. C., Loring, D. W., Deutsch, G., & Eisenberg, H. M. (1986). Task-related EEG asymmetries: a comparison of alpha blocking and beta enhancement. *International Journal of Neuroscience*, 30, 81 – 85.
- Paus, T., Zatorre, R. J., Hofle, N., Caramanos, Z., Gotman, J., Petrides, M., & Evans, A. C. (1997). Time-related changes in neural systems underlying attention and arousal during the performance of an auditory vigilance task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(3), 392-408.
- Perfetti, B., Moisello, C., Landsness, E. C., Kvint, S., Pruski, A., & Onofrij, M. (2010). The temporal evolution of oscillatory activity predicts performance in a choice-reaction time reaching task. *Journal of Neurophysiology*, 105(1), 18 – 27.
- Pfurtscheller, G. (1993). EEG Event-related desynchronization (ERD) and Event-related synchronization (ERS). In E. Niedermeyer & F.H. Lopes da Silva (Eds.), *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, (pp. 958). Williams and Wilkins, Baltimore.
- Pfurtscheller, G. (2003). Induced oscillations in the alpha band: functional meaning. *Epilepsia*, 44 (Suppl. 12), 2 – 8.
- Pfurtscheller, G., Scherer, R., Muller-Putz, G. R., & Lopes da Silva, F. H. (2008). Short-lived brain state after cued motor imagery in naive subjects. *The European Journal of Neuroscience*, 28(7), 1419 – 1426.
- Pintelas, P., Kameas, A., Mikropoulos, T. A., Katsikis, A., & Emvalotis, A. (1999). EIKON: Teaching a high – school technology course with the aid of Virtual Reality. *Education and Information Technologies*, 5(4), 305-315.
- Posner, M., Farah, M. J., Bruer, J. (2001). The developing human brain. *Developmental Science*, 4(3), 253 – 387.
- Pugnetti, L., Mendozzi, L., Barbieri, E., Rose, F. D., & Attree, E. A. (1996). Nervous system correlates of virtual reality experience. In P. M. Sharkey (Ed.), *Proc. of the 1st European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*, (239 – 246). Reading, UK: The University of Reading.
- Pugnetti, L., Meehan, M., Mendozzi, L., Riva, F., Barbieri, E., & Carmagnani, E. (2000). More on central nervous system correlates of virtual reality testing. In P. M. Sharkey, A. Cesarani, L. Pugnetti & S. Rizzo (Eds.), *Proc. of the 3rd International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*, (311 – 318). Reading, UK: The University of Reading.

- 
- Pugnetti, L., Meehan, M., & Mendozzi, L. (2001). Psychophysiological correlates of virtual reality: A review. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, *10*(4), 384 – 400.
- Qi, X. L., Meyer, T., Stanford, T. R., & Constantinidis, C. (2011). Changes in Prefrontal Neuronal Activity after Learning to Perform a Spatial Working Memory Task (monkeys). *Cerebral Cortex*, *21*(12), 2722 – 2732.
- Ray, W. J. R., & Cole, H. W. (1985). EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes. *Science*, *228*, 750-752.
- Ray, S., Niebur, E., Hsiao, S.S., Sinai, A., & Crone, N.E. (2008). High frequency gamma activity (80-150Hz) is increased in human cortex during selective attention. *Clinical Neurophysiology*, *119*(1), 116 – 133.
- Revonsuo, A., Wilenius-Emet, M., Kuusela, J., & Lehto, M. (1997). The neural generation of a unified illusion in human vision. *NeuroReport*, *8*(18), 3867 – 70.
- Richard, E., Tijou, A., Richard, P., Ferrier, J. L., (2006). Multi-modal virtual environments for education with haptic and olfactory feedback. *Virtual Reality*, *10*(3), 207 – 225.
- Romei, V., Brodbeck, V., Michel, C., Amedi, A., Pascual-Leone, A., & Thut, G. (2008). Spontaneous fluctuations in posterior {alpha}-band EEG activity reflect variability in excitability of human visual areas. *Cerebral Cortex*, *18*(9), 2010 –2018.
- Roussos, M., Johnson, A., Leigh, J., Barnes, C., Vasilakis, V., Moher, T., (1997). The NICE project: Narrative, Immersive, Constructionist/Collaborative Environments for Learning in Virtual Reality. *In Proceedings of ED-MEDIA/ED-TELECOM 97*, 917-922.
- Roussos, M., Johnson, A., Moher, T., Leigh, J., Vasilakis, V., Barnes, C., (1999). Learning and Building Together in an Immersive Virtual World. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *8*(3), 247 – 263.
- Roussou, M., Oliver, M., & Slater, M. (2006). The virtual playground: an educational virtual reality environment for evaluating interactivity and conceptual learning. *Virtual reality*, *10*(3), 227 – 240.
- Rozengurt, R. N., Barnea, A., & Reiner, M. (2010). Enhancement of learning with EEG neurofeedback. *Front. Neurosci.Conference Abstract: EARLI SIG22 - Neuroscience and Education*. doi: 10.3389/conf.fnins.2010.11.00059.
- Sakata, H., Tsutsui, K., & Taira, M. (2005). Toward an understanding of the neural processing for 3D shape perception. *Neuropsychologia*, *43*(2), 151 – 161.

- Saleh, M., Reimer, J., Penn, R., Catherine L. Ojakangas, C. L., & Hatsopoulos, N.G. (2010). Fast and Slow Oscillations in Human Primary Motor Cortex Predict Oncoming Behaviorally Relevant Cues. *Neuron*, 65(4), 461 – 471.
- Salzman, M. C., Dede, C., Loftin, R. B., & Chen, J. (1999). A model for understanding how virtual reality aids complex conceptual learning. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(3), 293 – 316.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Stadler, W., Schabus, M., Doppelmayr, M., Hanslmayr, S., Gruber, W.R., & Birbaumer, N. (2005). A shift of visual spatial attention is selectively associated with human EEG alpha activity. *The European Journal of Neuroscience*, 22(11), 2917 – 2926.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Gruber, W.R., & Birbaumer, N. (2008). Crossfrequency phase synchronization: a brain mechanism of memory matching and attention. *Neuroimage*, 40(1), 308 – 317.
- Savoy, R.L. (2001). History and future directions of human brain mapping and functional neuroimaging. *Acta Psychologica*. 107, 9 – 42.
- Schacter, D. L. (1977). EEG theta and psychological phenomena: a review and analysis. *Biological Psychology*, 5, 47 – 82.
- Schellberg, D., Besthorn, C., Klos, T., & Gasser, T. (1990). EEG power and coherence while male adults watch emotional video films. *International Journal of Psychophysiology*, 9, 279-291.
- Schuchardt, P., & Bowman, D.A. (2007). The benefits of immersion for spatial understanding of complex underground cave systems. *In Proceedings of VRST*. ACM Press, New York, NY, USA, 121 – 124.
- Scerbo, M., Freeman, F., Mikulka, P., Parasuraman, R., Di Nocero, F., & Prinzl, L. (2001). “The Efficacy of Psychophysiological Measures for Implementing Adaptive Technology”. *NASA Technical Report TP-2001-211018*.
- Schroeder, C.E., & Lakatos, P. (2009). Low-frequency neuronal oscillations as instruments of sensory selection. *Trends in Neurosciences*, 32(1), 9 – 18.
- Sederberg, P. B., Kahana, M. J., Howard, M. W., Donner, E. J., & Madsen, J. R. (2003). Theta and gamma oscillations during encoding predict subsequent recall. *J. Neurosci*, 23, 10809 -10814.

- 
- Sewards, T. V., & Sewards, M. A. (1999). Alpha-band oscillations in visual cortex: part of the neural correlate of visual awareness? *International Journal of Psychophysiology*, *32*(1), 35 – 45.
- Sheridan, K., Zinchenko, E., & Gardner, H. (2005). Neuroethics in Education. In J. Illes (Ed) *Neuroethics in the 21<sup>st</sup> Century: Defining the Issues in Theory, Practice and Policy*. Oxford University Press.
- Shibata, T., Shimoyama, I., Ito, T., Abla, D., Iwasa, H., Koseki, K., Yamanouchi, N., Sato, T., & Nakajima, Y. (1999). Attention changes the peak latency of the visual gamma-band oscillation of the EEG. *Neuroreport: An International Journal for the Rapid Communication of Research in Neuroscience*, *10*, 1167 – 1170.
- Shoji, H., & Ozaki, H. (2006). Neurophysiological correlates of pattern recognition in the peripheral visual field. In M. S. Corrigan (ed.), *Pattern recognition in biology* (pp. 205 - 220), New York, Nova Science Publisher, Inc.
- Siegel, M., Donner, T.H., Oostenveld, R., Fries, P., & Engel, A.K. (2007). High frequency activity in human visual cortex is modulated by visual motion strength. *Cerebral Cortex*, *17*(3), 732 – 741.
- Simon, M., Schmidt, E.A., Kincses, W.E., Fritzsche, M., Bruns, A., Aufmuth, C., Bogdan, M., Rosenstiel, W., & Schrauf, M. (2011). EEG alpha spindle measures as indicators of driver fatigue under real traffic conditions. *Clinical Neurophysiology*, *122*(6), 1168 – 1178.
- Singer, W., & Gray, C.M. (1995). Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. *Annual Review of Neuroscience*, *18*, 555 – 586.
- Skrandies, W. (1987). Visual persistence of stereoscopic stimuli: electric brain activity without perceptual correlate. *Vision Research*, *27*(12), 2109 – 2118.
- Slater, M., & Usoh, M. (1995). Modelling in immersive Virtual environments: a case for the science of VR, *Virtual Reality Applications*, R.A. Earnshaw, J.A. Vince & H. Jones (eds.), Academic Press, 53 – 70.
- Slater, M., Usoh, M., & Steed, A. (1994b). Steps and ladders in virtual reality, *ACM Proceedings of VRST '94 - Virtual Reality Software and Technology*, Singapore: World Scientific Publishing Company.
- Smith, M. E., McEvoy, L. K., & Gevins, A. (1999). Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. *Brain Res. Cogn. Brain Res.*, *7*, 389 – 404.

- Stefanics, G., Hangya, B., Hernádi, I., Winkler, I., Lakatos, P., & Ulbert, I. (2010). Phase Entrainment of Human Delta Oscillations Can Mediate the Effects of Expectation on Reaction Speed. *The Journal of Neuroscience*, *30*(41), 13578 – 13585.
- Steinmetz, P.N., Roy, A., Fitzgerald, P.J., Hsiao, S.S., Johnson, K.O., & Niebur, E. (2000). Attention modulates synchronized neuronal firing in primate somatosensory cortex. *Nature*, *404*(6774), 187 – 190.
- Stenberg, G., (1992). Personality and the EEG: arousal and emotional arousability. *Personal and Individual Differences*, *13*, 1097-1113.
- Steriade, M., & Llinás, R. R. (1988). The functional states of the thalamus and the associated neuronal interplay. *Physiological Reviews*, *68*(3), 649 – 742.
- Steriade, M. (1996). Arousal: revisiting the reticular activating system. *Science*, *272*(5259), 225 – 226.
- Strickland, D., & Chartier, D. (1997). EEG measurements in a virtual reality headset. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *6*(5), 581 – 589.
- Sundberg, K.A., Mitchell, J.F., and Reynolds, J.H. (2009). Spatial attention modulates center-surround interactions in macaque visual area v4. *Neuron*, *61*(6), 952 – 963.
- Takahashi, N., Shinomiya, S., Mori, D., & Tachibana, S. (1997). Frontal midline theta rhythm in young healthy adults. *Clin. Electroencephalogr.*, *28*, 49 – 54.
- Tallon, C., Bertrand, O., Bouchet, P., & Pernier, J. (1995). Gamma-range activity evoked by coherent visual stimuli in humans. *European Journal of Neuroscience*, *7*(6), 1285 – 1291.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Peronnet, F., & Pernier, J. (1998) Induced gamma-band activity during the delay of a visual short-term memory task in humans. *The Journal of Neuroscience*, *18*(11), 4244 – 4254.
- Tallon-Baudry, C., & Bertrand, O. (1999). Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation. *Trends in Cognitive Science*, *3*(4), 151 – 162.
- Tallon-Baudry, C. (2004). Attention and awareness in synchrony. *Trends in Cognitive Science*, *8*(12), 523 – 525.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Hénaff, M.A., Isnard, J., & Fischer, C. (2005). Attention modulates gamma-band oscillations differently in the human lateral occipital cortex and fusiform gyrus. *Cerebral Cortex*, *15*(5), 654 – 662.
- Taxén, G., & Naeve, A. (2002). A system for exploring open issues in VR-based education. *Computers and Graphics*, *26*(4), 593-598.

- 
- Thompson, M., Thompson, J., & Wenqing, W. (2007). Brodmann Areas (BA), 10-20 Sites, Primary Functions, ADD Centre, Biofeedback Institute of Toronto, American Applied Neuroscience Institute.
- Tombini, M., Zappasodi, F., Zollo, L., Pellegrino, G., Cavallo, G., & Tecchio, F., (2009). Brain activity preceding a 2D manual catching task. *NeuroImage*, 47(4), 1735 – 1746.
- Trindade, J., Fiolhais, C., & Almeida, L. (2002). Science learning in virtual environments: a descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33(4), 471-488.
- Thut, G., Nietzel, A., Brandt, S.A., & Pascual-Leone, A. (2006). Alpha-band electroencephalographic activity over occipital cortex indexes visuospatial attention bias and predicts visual target detection. *The Journal of Neuroscience*, 26(37), 9494 – 9502.
- Tuzun, H., Yilmaz-Soylu, M., Karaku, T., Inal, Y., & Kizilkaya, G. (2009). The effects of computer games on primary school students' achievement and motivation in geography learning. *Computers & Education*, 52(1), 68–77.
- van Dijk, H., Schoffelen, J. M., Oostenveld, R., & Jensen, O. (2008). Prestimulus oscillatory activity in the alpha band predicts visual discrimination ability. *Journal of Neuroscience*, 28(8), 1816 – 1823.
- Virvou, M., Katsionis, G., (2008). On the usability and likeability of virtual reality games for education: The case of VR-ENGAGE. *Computers & Education*, 50(1), 154-178.
- Virvou, M., Katsionis, G., & Manos, K. (2005). Combining software games with education: Evaluation of its educational effectiveness. *Educational Technology & Society*, 8 (2), 54-65.
- Virvou, M., Manos, C., Katsionis, G., & Tourtoglou, K. (2002). VR-ENGAGE: A virtual reality educational game that incorporates intelligence. *Proceedings of IEEE international conference on advanced learning technologies*.
- von Stein, A., Chiang, C., & König, P. (2000). Top-down processing mediated by interareal synchronization. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 97(26), 14748 – 14753.
- Vos, J. E. (1975). Representation in the frequency domain of nonstationary EEGs. In G. Dolce & H. Kiinkel (Eds.), *CEAN-Computerized EEG Analysis*, ( 41 –50). Stuttgart: Fischer.
- Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R., & Born, J. (2004). Sleep inspires insight. *Nature*, 427(Letter), 352 – 355.
- Walter, V. J., & Walter, W. G. (1949). The central effects of rhythmic sensory stimulation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1, 57 – 86.
-



- Ware, C. & Mitchell, P. (2005). Reevaluating stereo and motion cues for visualizing graphs in three dimensions. In *APGV '05: Proceedings of the 2nd symposium on Applied perception in graphics and visualization*. ACM Press, New York, NY, USA, 51 – 58.
- Weisberg, D. S., Keil, F. C., Goodstein, J., Rawson, R., & Gray, J. R. (2008). The Seductive Allure of Neuroscience Explanations, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(3), 470 – 477.
- Winn, W., & Windschitl, M. (2000). Learning science in virtual environments: the interplay of theory and experience. *Themes in Education*, 1(4), 373 – 389.
- Wiederhold, B. K., & Wiederhold, M. D. (2000). Lessons learned from 600 virtual reality sessions. *CyberPsychology and Behavior*, 3(3), 393 – 400.
- Wilson, G. F., Swain, C. R., & Ullsperger, P. (1999). EEG power changes during a multiple level memory retention task. *International Journal of Psychophysiology*, 32, 107-118.
- Winn, W. (1993). *A conceptual basis for educational applications in virtual reality*, HITL Technical Report TR-93-9, Univ. of Washington. Διαθέσιμο στο <http://www.hitl.washington.edu/publications>.
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), 225 – 240.
- Womelsdorf, T., Fries, P., Mitra, P.P., & Desimone, R. (2006). Gamma-band synchronization in visual cortex predicts speed of change detection. *Nature*, 439 (Letter), 733 – 736.
- Worden, M.S., Foxe, J.J., Wang, N. & Simpson, G.V. (2000). Anticipatory biasing of visuospatial attention indexed by retinotopically specific alpha band electroencephalography increases over occipital cortex. *The Journal of Neuroscience*, 20(6), RC63.
- Yair, Y., Mintz, R., & Litvak, S. (2001). 3D-Virtual Reality in Science Education: An Implication for Astronomy Teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 20 (3), 293-305.
- Yamagishi, N., Callan, D. E., Goda, N., Anderson, S. J., Yoshida, Y., & Kawato, M. (2003). Attentional modulation of oscillatory activity in human visual cortex. *Neuroimage*, 20(1), 98 – 113.
- Youngblut, C., (1998). Educational Uses of Virtual Reality Technology, Institute for Defense Analyses, *IDA Document D-2128*. Τελευταία πρόσβαση 20 Οκτωβρίου 2011, [www.hitl.washington.edu/scivw/youngblut-edvr/D2128.pdf](http://www.hitl.washington.edu/scivw/youngblut-edvr/D2128.pdf)

- Zion-Golumbic, E., & Bentin, S. (2006). Dissociated neural mechanisms for face detection and configural encoding: evidence from N170 and induced gamma-band oscillation effects. *Cerebral Cortex*, 1741 – 1749.
- Δήμου, Γ. (2008). Εκπαιδευτική Ψυχολογία: ΙΙ. Μαθησιακές δυσκολίες (Το παιδαγωγικό ατύχημα). Gutenberg, Αθήνα.
- Ζαχαρήs, Γ., Τζίμαs, Β., Πριοβόλου, Χ. & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2010), Εγκεφαλικές Διεργασίες σε Στερεοσκοπικά Εκπαιδευτικά Εικονικά Περιβάλλοντα. Στο Α. Τζιμογιάννης (επιμ.), Πρακτικά Εργασιών 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση», τόμος ΙΙ, σ. 55-62, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Κόρινθος, 23-26 Σεπτεμβρίου 2010.
- Ζαχαρήs, Γ., Νάτσης, Α. & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2010), Ιδιότητες Εκπαιδευτικών Εικονικών Περιβαλλόντων 1: Επιτραπέζια Συστήματα. Στο Χ. Αγγελή, Ν. Βαλανίδης (επιμ.), Πρακτικά Εργασιών 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση», τόμος Ι, σ. 137 – 144, Λεμεσός, Σεπτεμβρίου 2008.
- Κουτσούρης, Δ., Παυλόπουλος, Σ., & Πρέντζα Α. Φυσιολογία εγκεφάλου και Ηλεκτροεγκεφαλογραφία. Στο Εισαγωγή στη βιοϊατρική τεχνολογία και ανάλυση ιατρικών σημάτων, Θεσσαλονίκη : Εκδόσεις Τζιόλα, 2003, κεφ. 5, σελ.182-203.
- Κουτσούρης, Δ. (2005). Φυσιολογία εγκεφάλου και ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Διαθέσιμο στο URL:  
[http://www.biomed.ntua.gr/Portals/1/presentations/undergraduate/eeg\\_02.pdf](http://www.biomed.ntua.gr/Portals/1/presentations/undergraduate/eeg_02.pdf),  
(www.biomed.ntua.gr/.../CHAPTER\_5\_FYSIOLOGIA\_EGGEFALOU.doc ).
- Κωστάκης, Π., Βούρη, Σ., & Μικρόπουλος, Α. (2002), Χτίζοντας έναν ιστορικό εικονικό κόσμο, Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή "Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στην Εκπαίδευση", Τόμος Α, 471-477, Ρόδος.
- Νάτσης, Α. & Ζαχαρήs, Γ. (2010), Ιδιότητες Εκπαιδευτικών Εικονικών Περιβαλλόντων 2: Συστήματα Εμβύθισης. Στο Χ. Αγγελή, Ν. Βαλανίδης (επιμ.), Πρακτικά Εργασιών 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση», τόμος Ι, σ. 145 – 152, Λεμεσός, Σεπτεμβρίου 2008.
- Παπαχρήστος, Ν. (2006). Εγκεφαλική δραστηριότητα κατά την παρατήρηση γεωμετρικών σχημάτων. Master Thesis, επιβλέπων Τ.Α. Μικρόπουλος, Π.Τ.Δ.Ε. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Πριοβόλου, Χ., Ζαχαρήs, Γ., Τζίμαs, Β., & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2010), Γνωστικές διαφυλικές διαφορές σε εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα Στο Α. Τζιμογιάννης (επιμ.), Πρακτικά Εργασιών 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Οι ΤΠΕ στην

*Εκπαίδευση*», τόμος II, σ. 47-54, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Κόρινθος, 23-26 Σεπτεμβρίου 2010.

Στρουμπούλης, Β. (2005). Η αντίληψη του χώρου για ολοκλήρωση εκπαιδευτικών εφαρμογών. Η αίσθηση της παρουσίας σε εικονικά περιβάλλοντα. *Διδακτορική Διατριβή*, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Τζίμας, Ε. (2010). Διερεύνηση γνωστικών διεργασιών σε εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα. *Διδακτορική Διατριβή*, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Τριανταφύλλου, Ν.Ι. (1994). *Χαρτογράφηση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και προκλητών δυναμικών*. Αθήνα: Ιατρικές εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδη.

Χαλκίδης, Α. (2006). Πληροφορική και Οικολογία. Η εφαρμογή της εικονικής πραγματικότητας στην περιβαλλοντική εκπαίδευση. *Διδακτορική Διατριβή*, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.



---

# Παράρτημα I

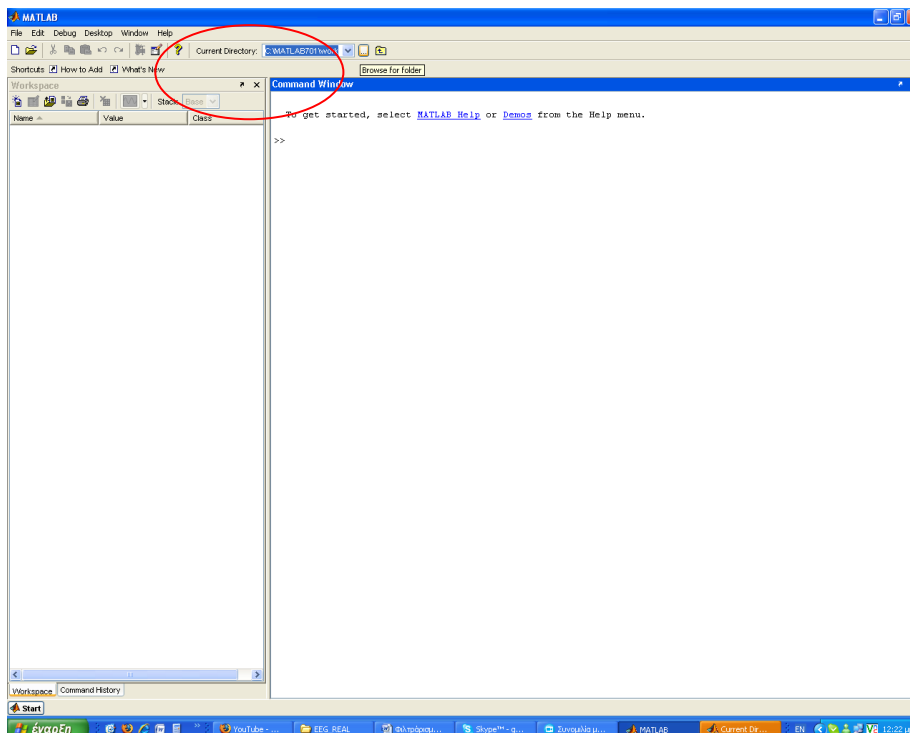
---

## Καταγραφή και ανάλυση του ΗΕΓ

Στο Παράρτημα I περιγράφεται η προετοιμασία των καταγραφών ΗΕΓ ώστε στη συνέχεια να προκύψει η ανάλυσή τους. Στο πρώτο στάδιο το ενδιαφέρον εστιάζονταν κυρίως στα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούσαν από τη στιγμή που ο ερευνητής έλεγε στη συμμετέχουσα τη φράση: «άνοιξε τα μάτια σου» μέχρι τη φράση: «κλείσε τα μάτια σου». Στο δεύτερο στάδιο τα ΗΕΓ αποσπάσματα οργανώθηκαν με το λογισμικό της gtec σε matlab (.mat) αρχεία. Το κάθε αρχείο περιείχε 19 κανάλια με τις ΗΕΓ καταγραφές των αντίστοιχων ενεργών ηλεκτροδίων και τόσα τμήματα (trials) όσα τα έγκυρα υποκείμενα που τελικά συμμετείχαν στη διεργασία.

## Προετοιμασία καταγραφών ΗΕΓ για ανάλυση

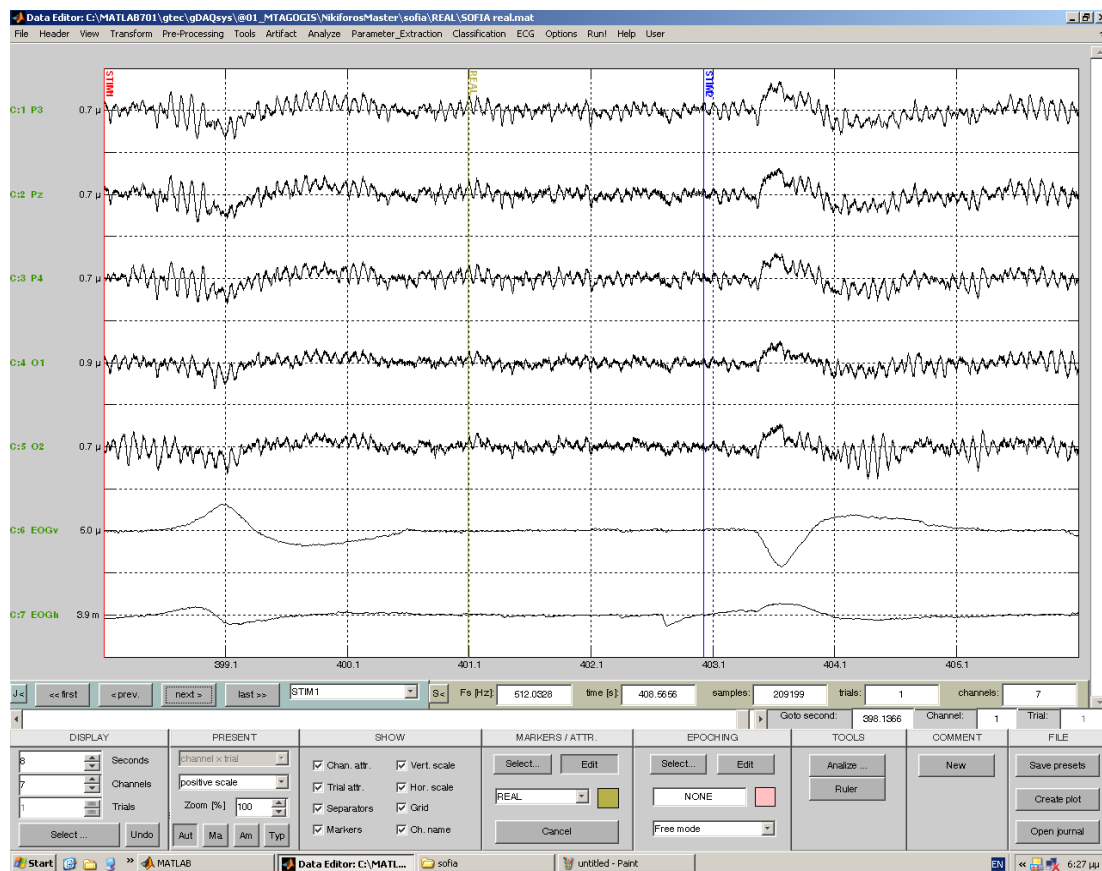
Αρχικά εκτελείται η εφαρμογή **gBSanalyze**. Ανοίγει το λογισμικό **Matlab** και ορίζεται η διαδρομή από όπου θα λαμβάνονται τα δεδομένα (σχήμα 1).



Σχήμα 1. Ορισμός της διαδρομής των αρχείων καταγραφής σε περιβάλλον Matlab 7.01.

---

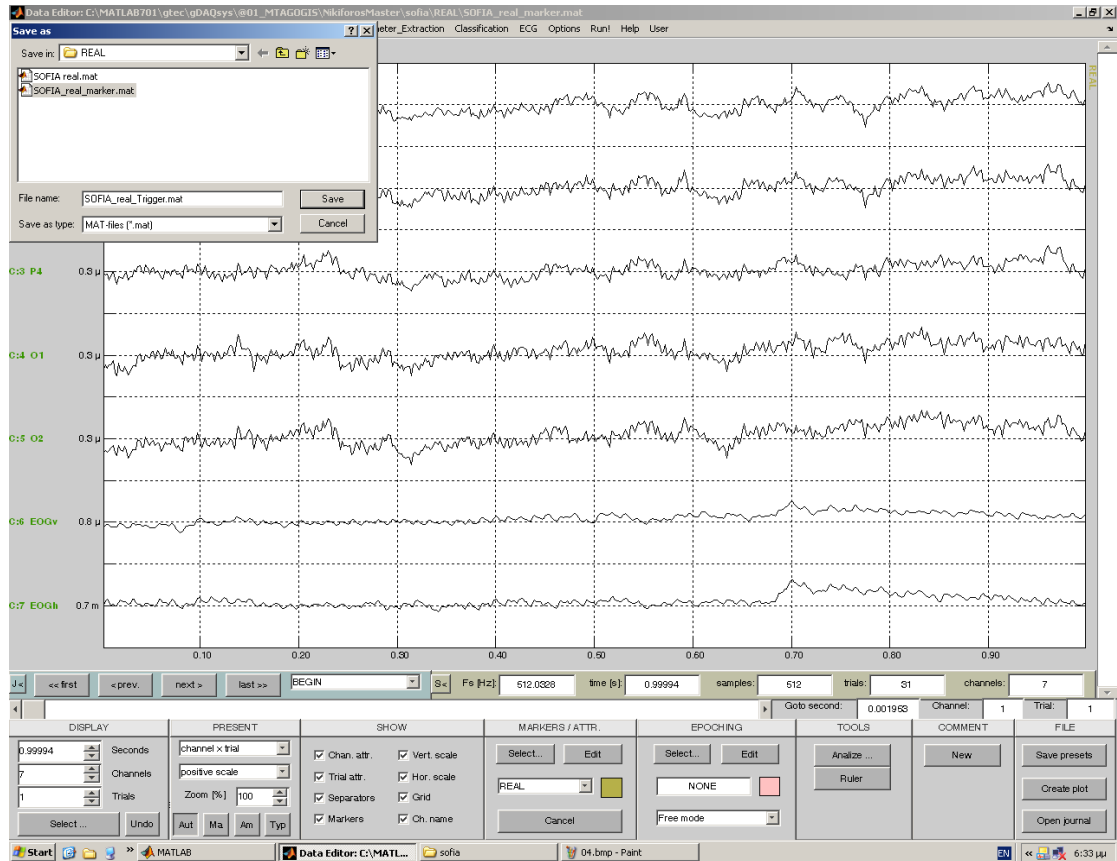
Στη συνέχεια γίνεται επιλογή του αρχείου με κατάληξη .mat που πρόκειται να επεξεργαστεί (σχήμα 2).



Σχήμα 2. Παράδειγμα αρχείου καταγραφής.

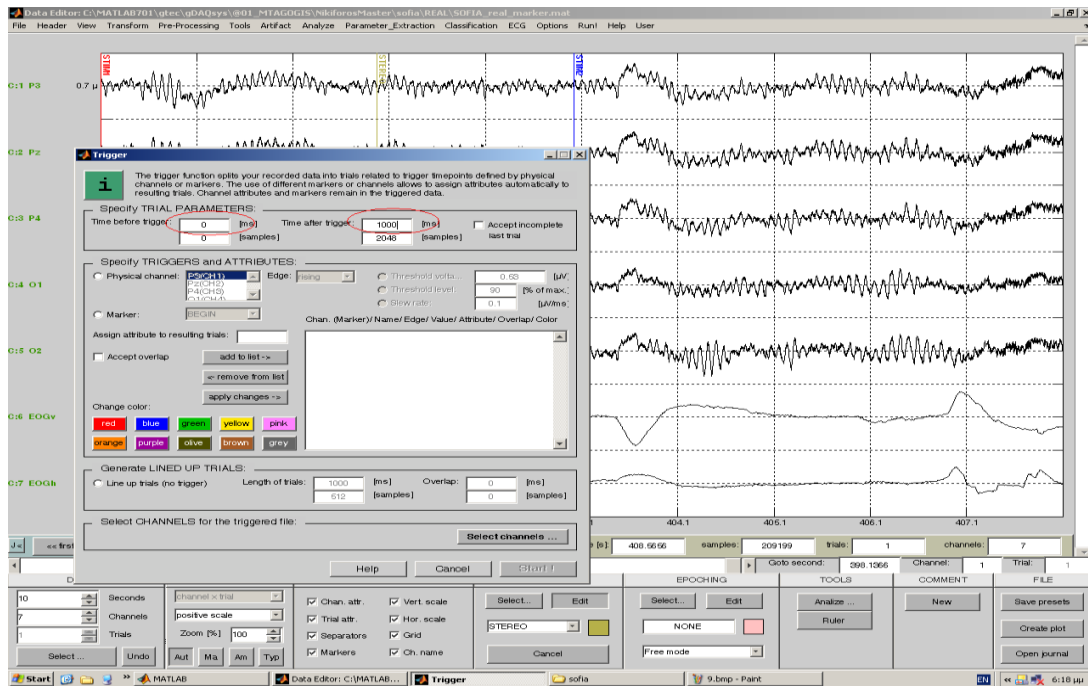
Από την επιλογή Edit στην καρτέλα MARKERS/ATTR. γίνεται η ονομασία ενός marker ο οποίος ορίζεται από τον ερευνητή για τα χρονικά διαστήματα καταγραφής χωρίς παράσιτα, όπως το αντίστοιχο περιβάλλον μελέτης (σχήμα 2).

Κατά τη διάρκεια καταγραφής δημιουργούνται οι markers STIM1 και STIM2. Ο πρώτος αναφέρεται στην εντολή: «άνοιξε τα μάτια σου» και ο δεύτερος στην εντολή: «κλείσε τα μάτια σου». Με τον marker που δημιουργείται ορίζονται τα «καθαρά» χρονικά διαστήματα, διαστήματα δηλαδή που όπως φαίνεται από τη καταγραφή δεν υπάρχουν παράσιτα κατά την παρατήρηση του υποκειμένου στη διάρκεια της καταγραφής. Δημιουργείται ένα νέο αρχείο που ονομάζεται για παράδειγμα marker και περιλαμβάνει όλα τα προς ανάλυση χρονικά διαστήματα του περιβάλλοντός χωρίς παράσιτα (σχήμα 3).



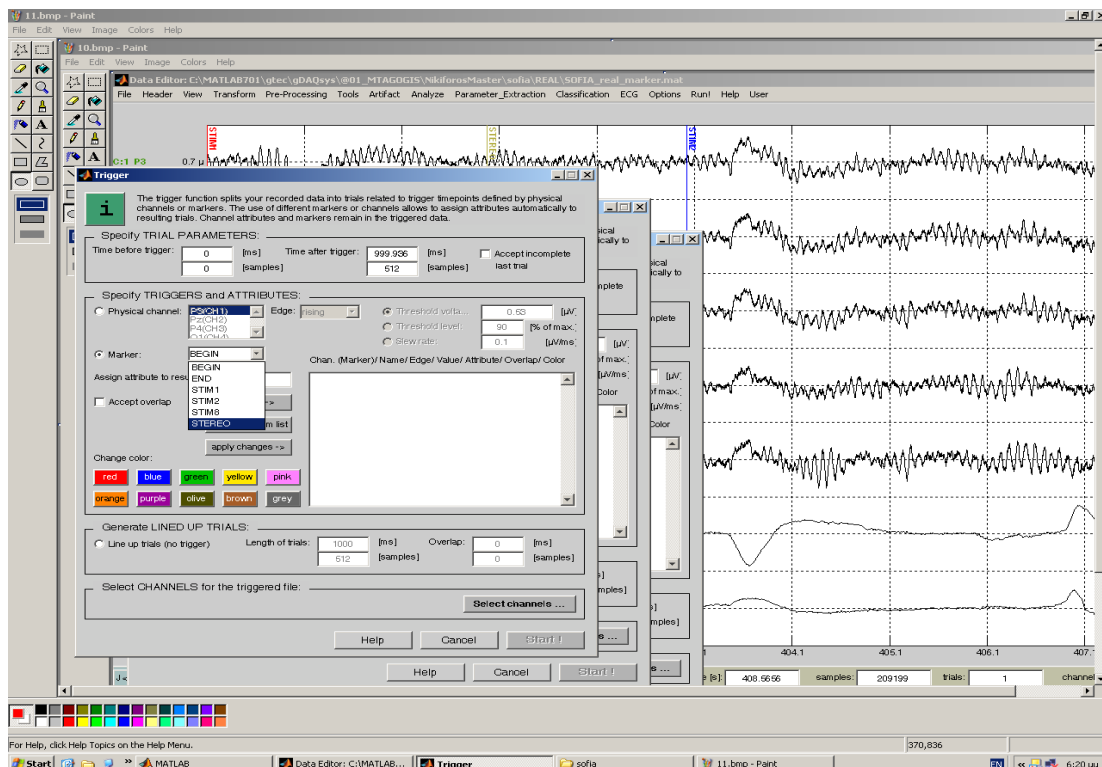
Σχήμα 3. Το αρχείο marker για ένα περιβάλλον καταγραφής.

Στη συνέχεια από το αρχείο marker και την καρτέλα **Transform** γίνεται επιλογή της εντολής **Trigger** και ξεκινά η διαδικασία της συνένωσης των «καθαρών» καταγραφών. Με την εντολή Trigger γίνεται ορισμός του χρονικού διαστήματος της καταγραφής, ίσο με 1s (0-1000ms) όπως στο σχήμα 4.



Σχήμα 4. Διαδικασία εντολής Trigger για τη σύνδεση των καταγραφών.

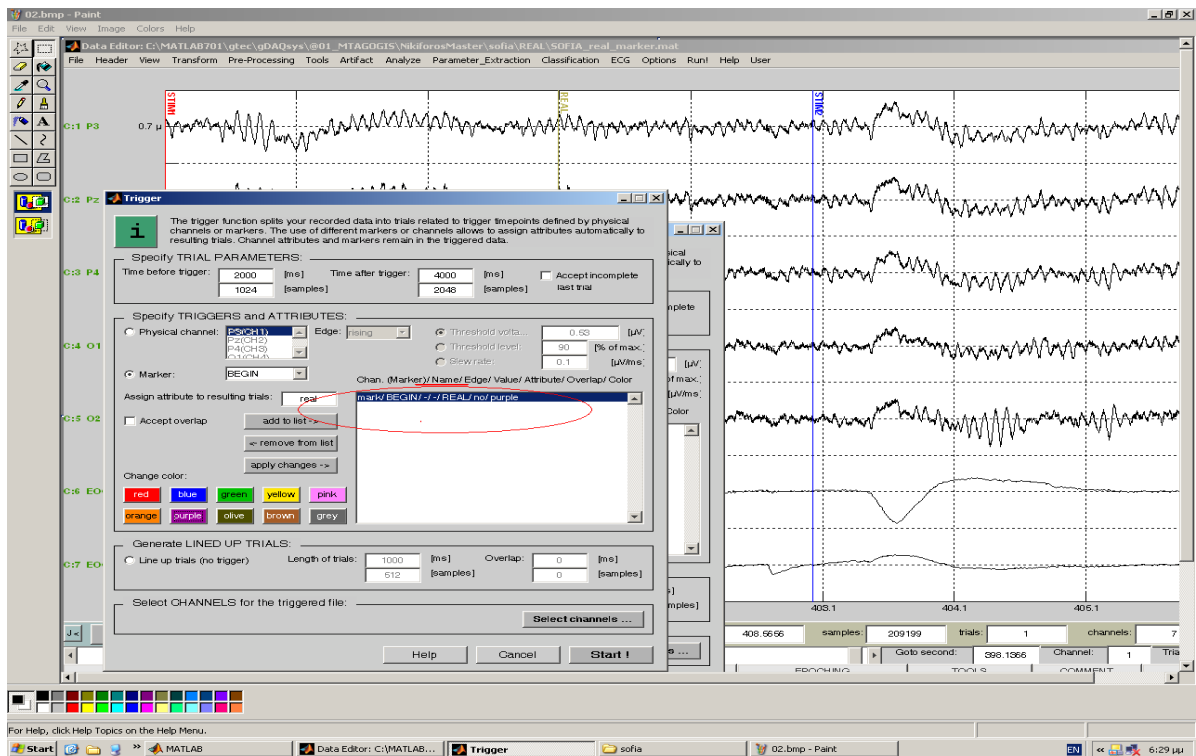
Στην πτυσσόμενη λίστα Marker γίνεται επιλογή του κατάλληλου Marker όπως ορίστηκε προηγουμένα (σχήμα 5).



Σχήμα 5. Επιλογή κατάλληλου marker για τη διαδικασία Trigger.

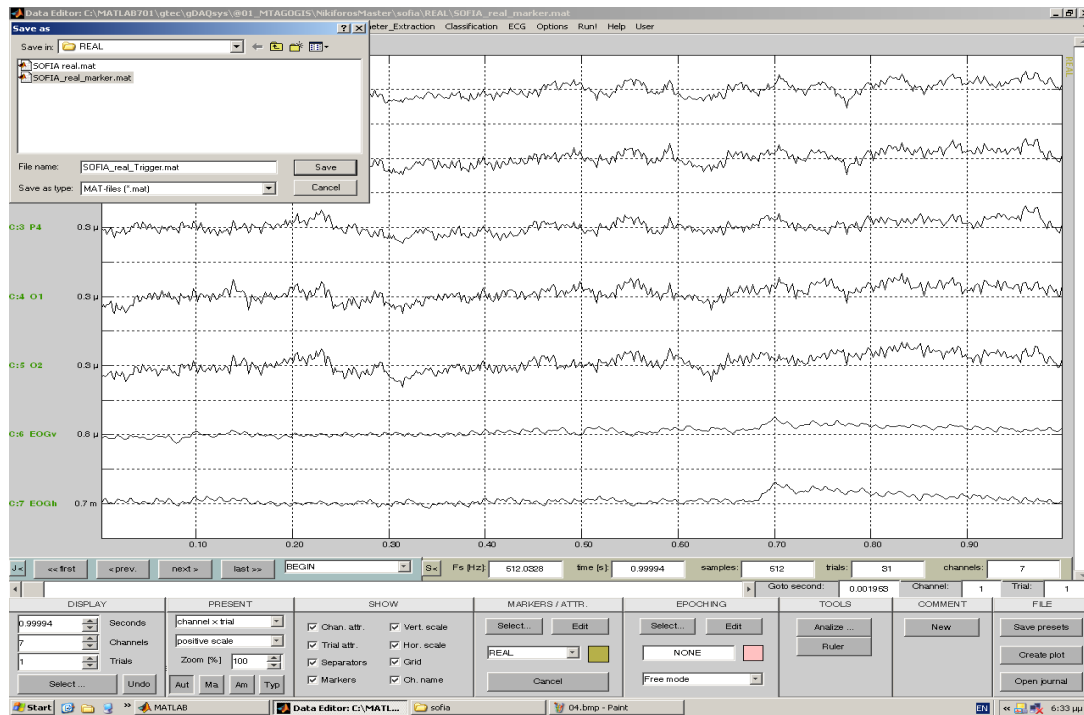


Με την επιλογή της εντολής **Start** η διαδικασία ξεκινά αυτόματα από το πρόγραμμα, (σχήμα 6).



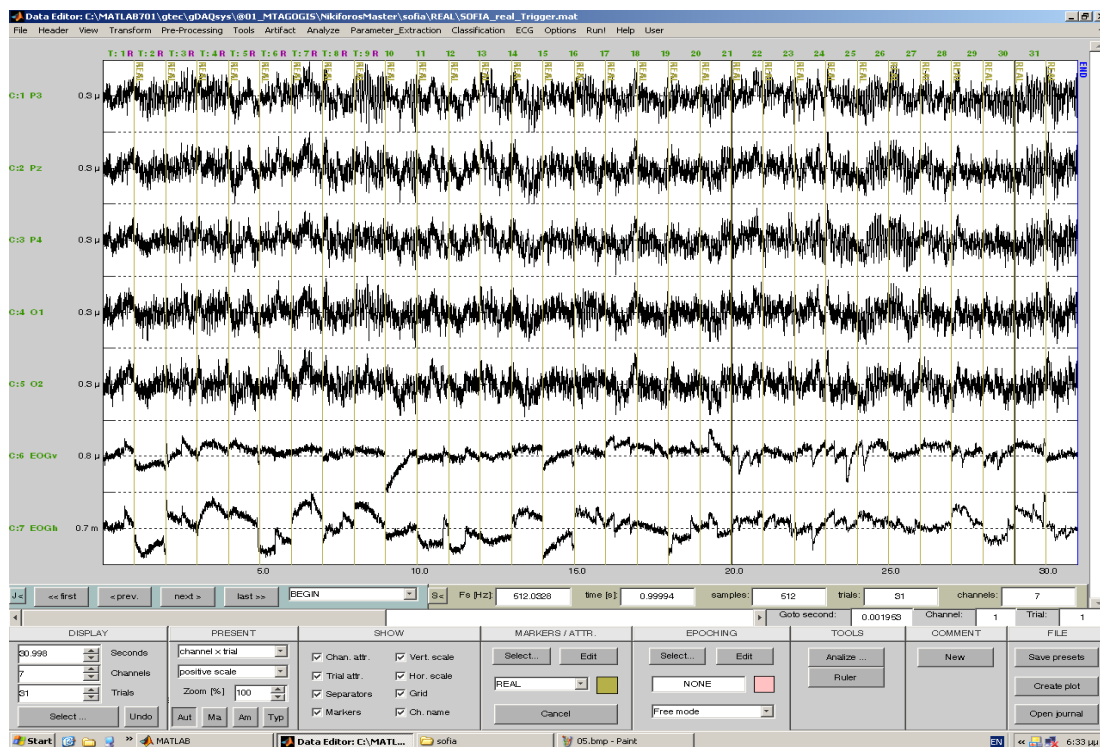
Σχήμα 6. Δημιουργία Trigger αρχείου για ένα περιβάλλον.

Κατόπιν, με την εντολή **File – Save As** ονομάζεται το αρχείο με τα δεδομένα Trigger (σχήμα 7). Κατά τη διαδικασία αυτή, αν πρόκειται να δημιουργηθούν πολλά Trigger αρχεία επιθυμητό είναι η δημιουργία φακέλων για κάθε περιβάλλον όπου θα τοποθετηθούν τα νέα αρχεία.



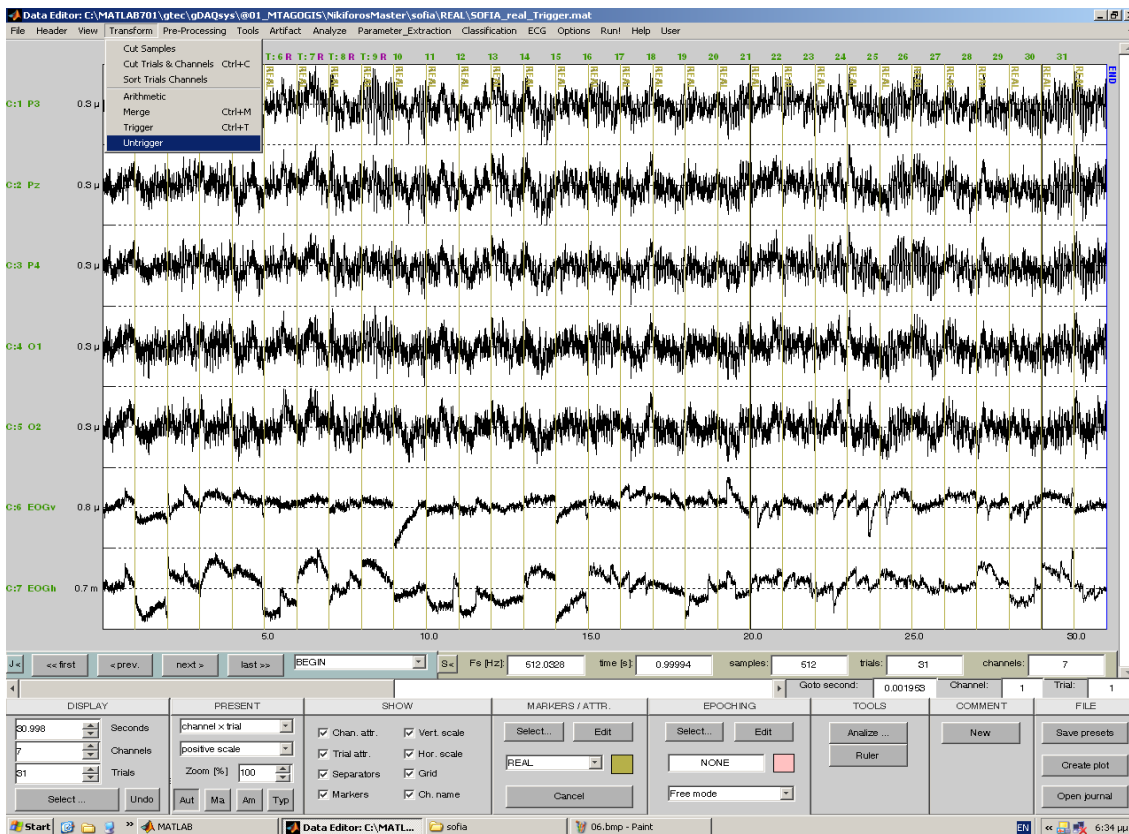
Σχήμα 7. Δημιουργία αρχείου Trigger.

Το αρχείο που δημιουργείται είναι τώρα της μορφής τους σχήματος 8.



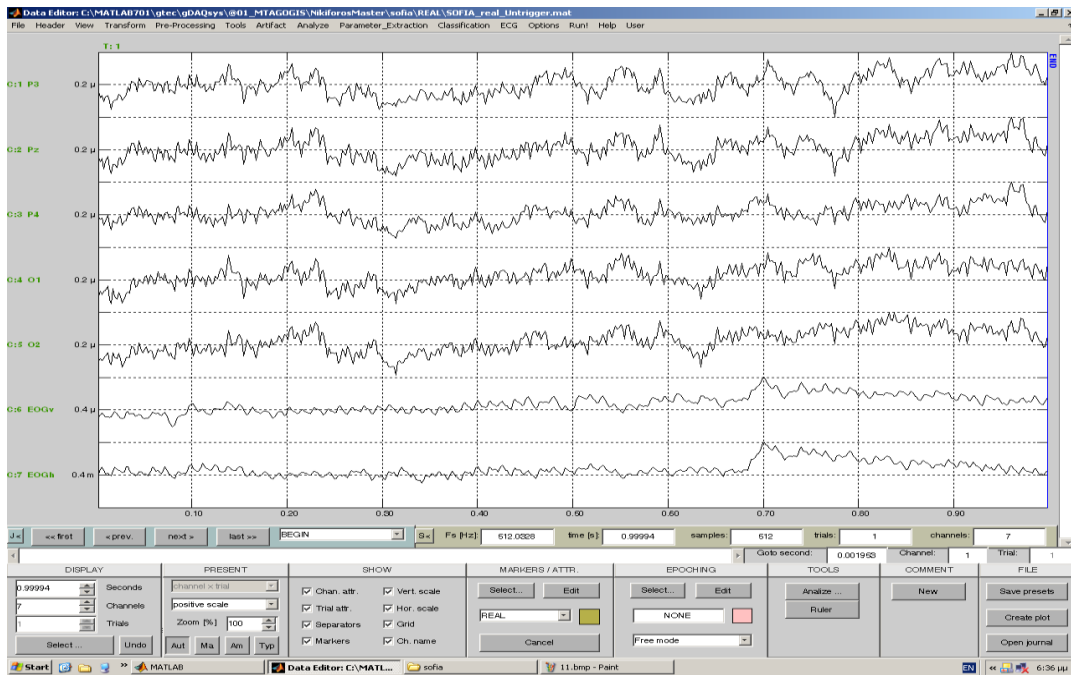
Σχήμα 8. Αρχείο Trigger.

Στη συνέχεια, γίνεται επιλογή της καρτέλας **Transform** και της εντολής **UnTrigger** (σχήμα 9). Με τη εντολή αυτή γίνεται η δημιουργία αποσπασμάτων διάρκειας 1 δευτερολέπτου που από την ενοποίησή τους θα προκύψει το τελικό αρχείο καταγραφής.



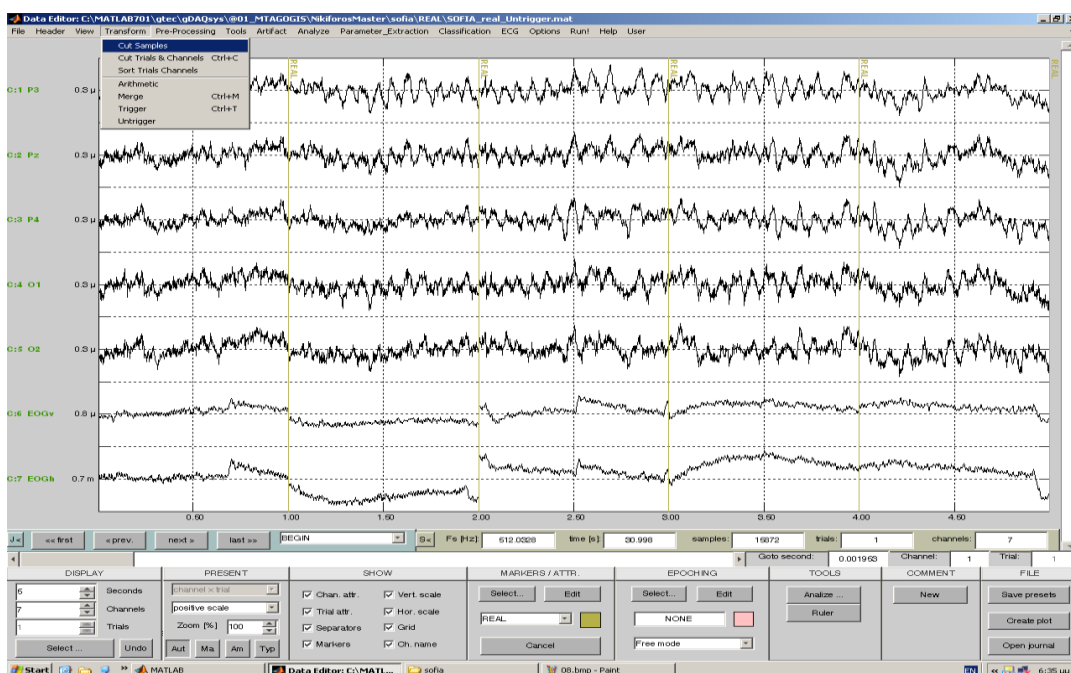
Σχήμα 9. Επιλογή εντολής UnTrigger.

Το αντίστοιχο αρχείο που δημιουργείται φαίνεται στο σχήμα 10 και γίνεται η αποθήκευσή του όπως και τα προηγούμενα.



Σχήμα 10. Το αρχείο καταγραφής UnTrigger.

Από την καρτέλα **Transform** και για το εκάστοτε UnTrigger αρχείο, γίνεται επιλογή της εντολής **Cut Samples** (σχήμα 11) και ξεκινά η διαδικασία δημιουργίας των αποσπασμάτων (trials) δευτερολέπτων, για κάθε περιβάλλον ξεχωριστά (επαναληπτική διαδικασία που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μη «χαθεί» κάποιο δευτερόλεπτο).



Σχήμα 11. Η επιλογή Cut Samples.

Εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο διαλόγου, όπου ορίζονται τα δευτερόλεπτα ένα – ένα (εκτελώντας τις ίδιες κινήσεις για κάθε απόσπασμα). Οι επιλογές ορισμού των διαστημάτων είναι δύο: η πρώτη αφορά τον αριθμό δειγματοληψίας (512 δείγματα) και ορίζονται τα διαστήματα που αντιστοιχούν στη διάρκεια ενός δευτερολέπτου όπως φαίνεται στο Πίνακα 1 (ενδεικτικά παρατίθενται 12 δευτερόλεπτα).

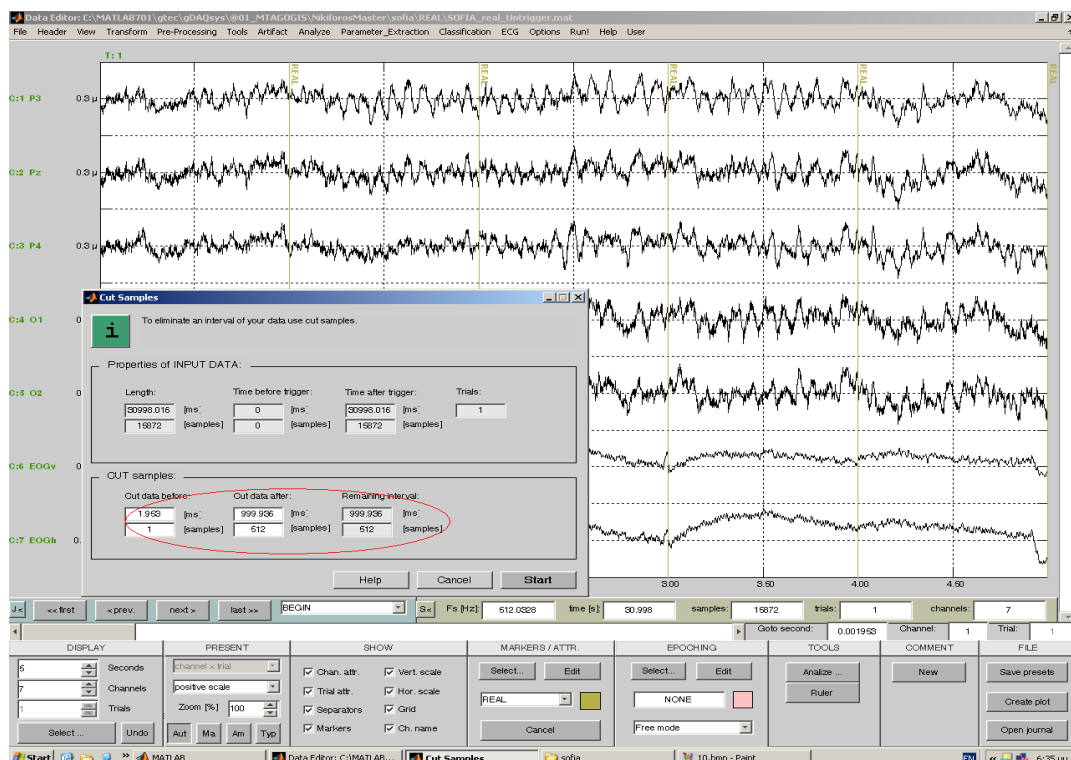
sec (ms)	sample	
1 <sup>ο</sup>	1	512
2 <sup>ο</sup>	513	1024
3 <sup>ο</sup>	1025	1536
4 <sup>ο</sup>	1537	2048
5 <sup>ο</sup>	2049	2560
6 <sup>ο</sup>	2561	3072
7 <sup>ο</sup>	3073	3584
8 <sup>ο</sup>	3585	4096
9 <sup>ο</sup>	4097	4608
10 <sup>ο</sup>	4609	5120
11 <sup>ο</sup>	5121	5632
12 <sup>ο</sup>	5633	6144

Πίνακας 1. Διαστήματα των αποσπασμάτων με επιλογή Sample τιμών.

Η δεύτερη επιλογή είναι ο ορισμός της χρονική διάρκεια του ενός δευτερολέπτου (1000 ms) όπως στον Πίνακα 2 και σχήμα 12.

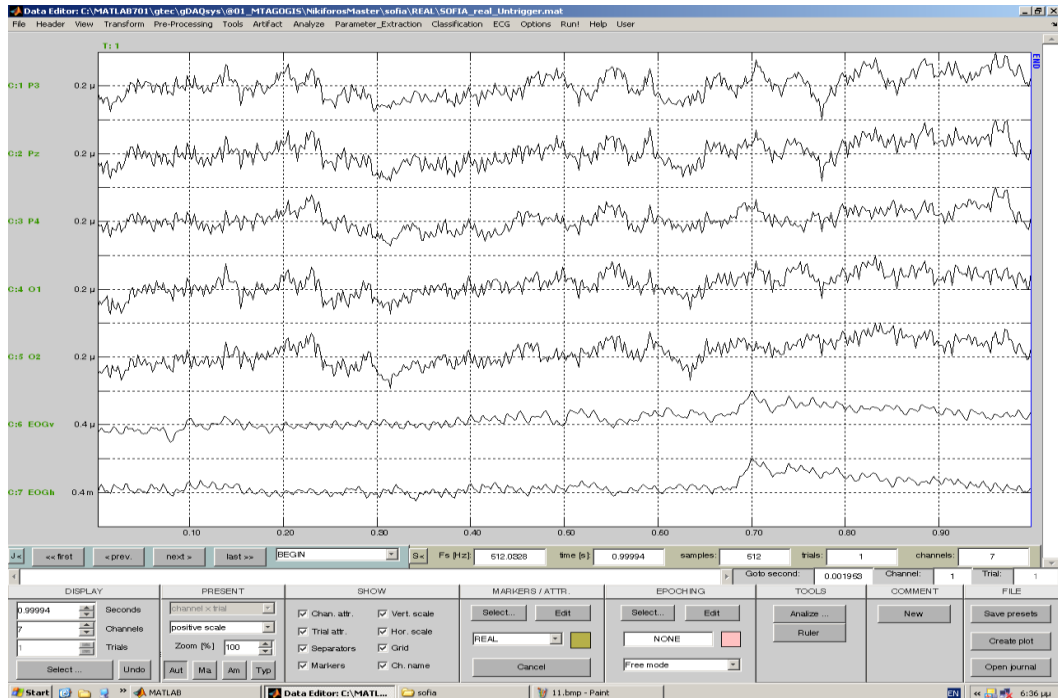
sec	
0	999
1000	1999
2000	2999
3000	3999
4000	4999
5000	5999
6000	6999
7000	7999
8000	8999
9000	9999
10000	10999
11000	11999

Πίνακας 2. Διαστήματα των αποσπασμάτων με επιλογή δευτερολέπτων.



Σχήμα 12. Επιλογή των διαστημάτων αποσπασμάτων.

Για το πρώτο απόσπασμα ορίζονται οι τιμές και αποθηκεύεται για παράδειγμα ως Periballon\_Trial\_01 (σχήμα 13), συνεχίζοντας τη διαδικασία και για τα υπόλοιπα αποσπάσματα.

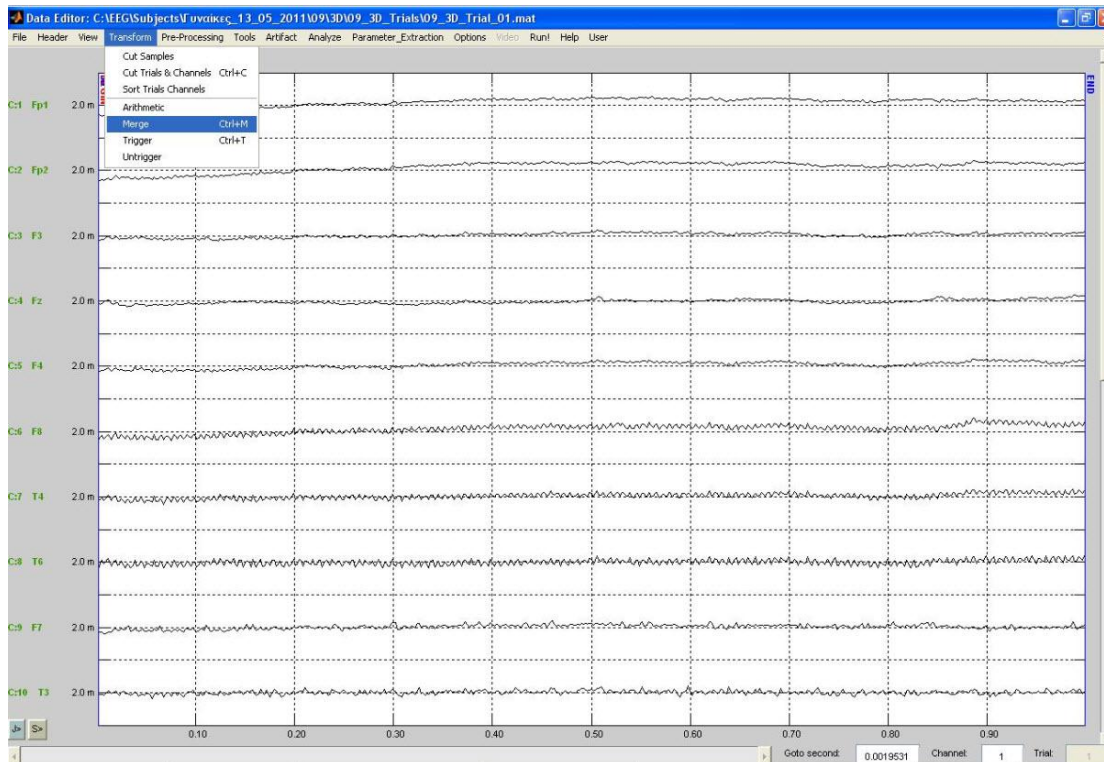


Σχήμα 13. Το Trial\_01 για ένα περιβάλλον.

Δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο όλα τα αποσπάσματα που αντιστοιχούν στο χρονικό διάστημα κάθε καταγραφής για κάθε υποκείμενο και για κάθε περιβάλλον.

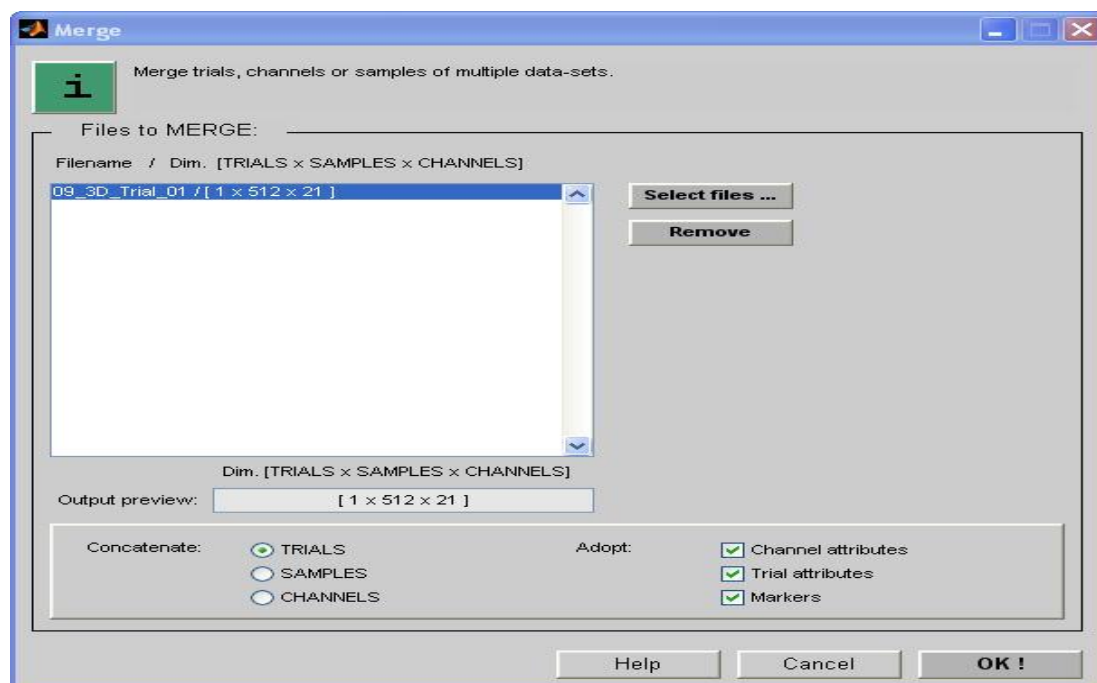
### Μεθοδολογία επεξεργασίας των καταγραφών ΗΕΓ

Για τη σύγκριση των ανά δύο περιβαλλόντων ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: Επιλέγεται το πρώτο απόσπασμα του περιβάλλοντος που επιλέγεται να εμφανίζεται πρώτο στη σύγκριση και στη συνέχεια η εντολή Merge από την καρτέλα Transform (σχήμα 14).



Σχήμα 14. Η εντολή Merge από την καρτέλα Transform.

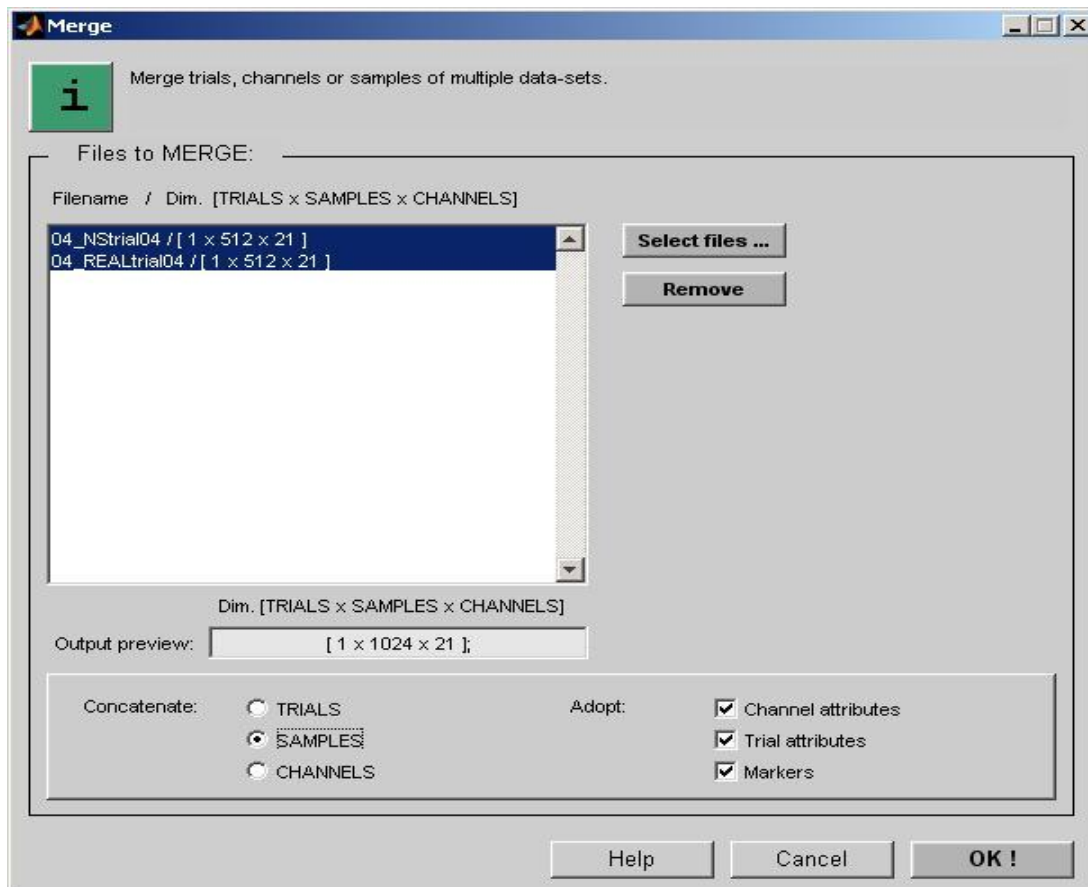
Ανοίγει το παράθυρο του σχήματος 15 όπως φαίνεται στη συνέχεια:



Σχήμα 15. Το παράθυρο Merge.

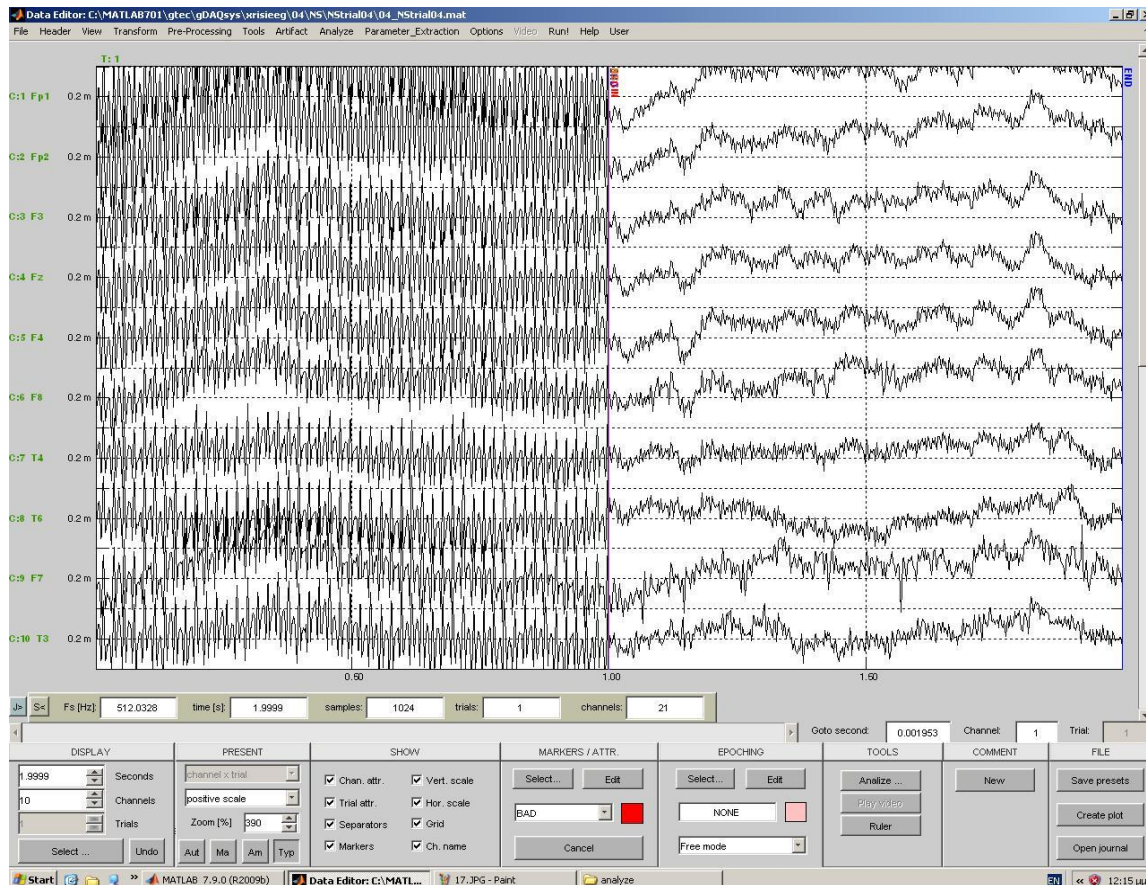


Με την επιλογή *SelectFiles*, εισάγεται το αντίστοιχο απόσπασμα του δεύτερου περιβάλλοντος της σύγκρισης και γίνεται η επιλογή του πεδίου *Samples* με σκοπό να δημιουργηθεί ένα ενιαίο απόσπασμα διάρκειας δύο δευτερολέπτων για τα συγκρινόμενα περιβάλλοντα (σχήμα 16).



Σχήμα 16. Η εντολή *Merge* για τη δημιουργία του πρώτου αποσπάσματος της σύγκρισης των δύο περιβαλλόντων.

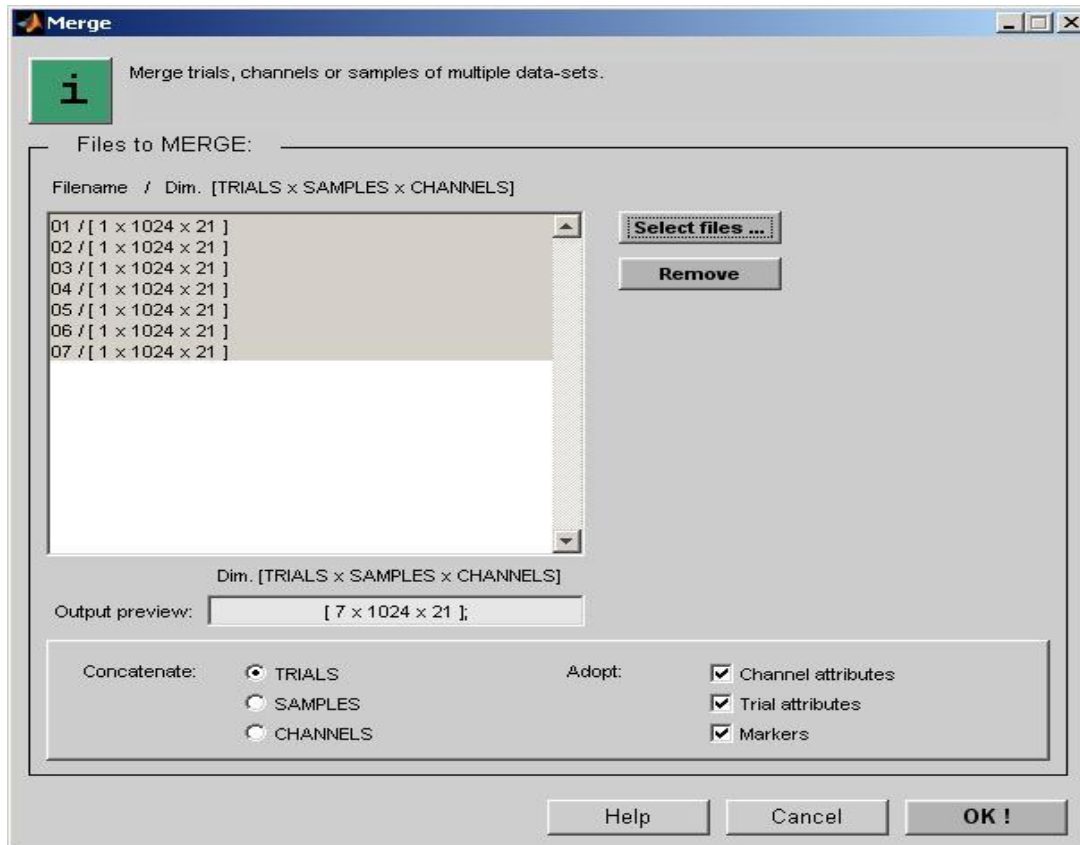
Προκύπτει τότε ένα αρχείο της μορφής του σχήματος 17.



Σχήμα 17. Το αποτέλεσμα που προκύπτει ως trial της σύγκρισης της πρώτης καταγραφής των δύο περιβαλλόντων.

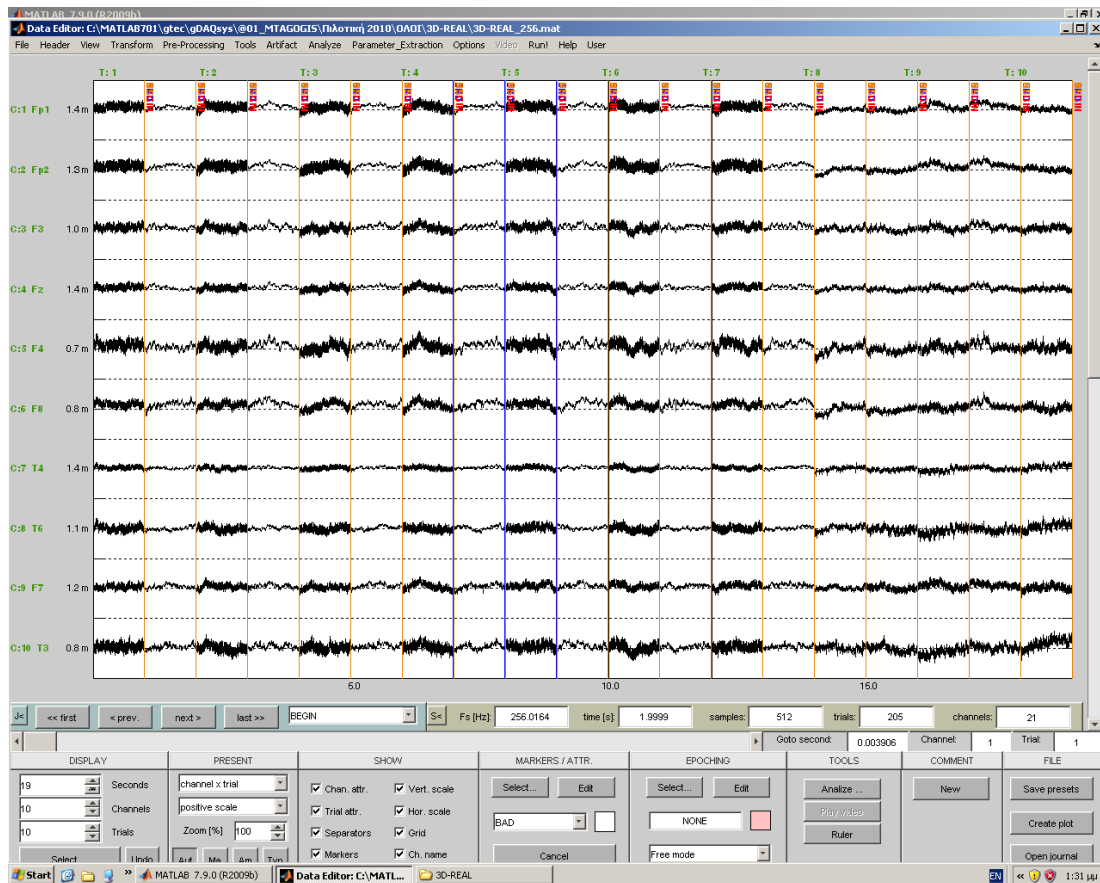
Αποθηκεύεται το αρχείο που προκύπτει σε ένα φάκελο της αρεσκείας μας και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για τις υπόλοιπες καταγραφές.

Τελικά, ενοποιούνται όλα τα συγκριτικά αρχεία – αποσπάσματα σε ένα αρχείο κάνοντας ενοποίηση (merge) τα αρχεία που προέκυψαν προηγουμένως (σχήμα 18).



Σχήμα 18. Η διαδικασία ένωσης (merge) των αρχείων σύγκρισης των δύο περιβαλλόντων.

Το κάθε τμήμα είχε μήκος δύο δευτερολέπτων και περιέχει 2 ΗΕΓ αποσπάσματα: π.χ. το πρώτο δευτερόλεπτο αντιστοιχεί σε καταγραφή από το *perivallon\_1* και το δεύτερο από το *perivallon\_2*. Παράδειγμα τέτοιου αρχείου φαίνεται στο σχήμα 19, όπου το αρχείο *ALL\_3D\_vs\_REAL\_256.mat* περιέχει όλες τις καταγραφές για το 3D και το REAL περιβάλλον για τις συμμετέχουσες που τελικά έλαβαν μέρος στη διαδικασία της πιλοτικής έρευνας.



Σχήμα 19. Παράδειγμα του αρχείου ALL\_3D\_vs\_REAL\_256.mat το οποίο περιέχει όλες τις καταγραφές για εικονικό και πραγματικό περιβάλλον για τις 14 συμμετέχουσες που τελικά έλαβαν μέρος στην πιλοτική έρευνα.

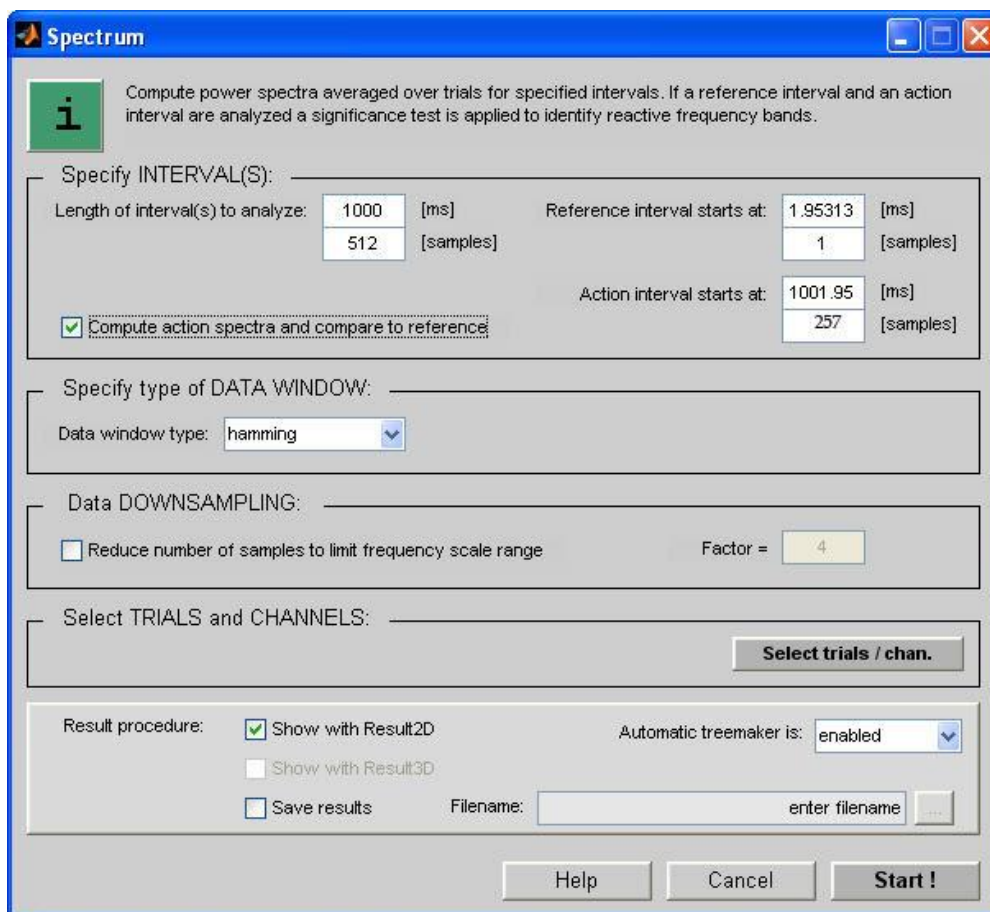
Στη συνέχεια απαιτείται η φασματική ανάλυση των συγκρίσεων με σκοπό τη δημιουργία των τιμών που θα χρησιμοποιηθούν για τη φασματική ανάλυση. Για τη παραγωγή των φασματικών κατανομών και των τριών περιβαλλόντων και τη στατιστική σύγκρισή τους χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία `spectrum` του λογισμικού `gBSanalyze` της `gtec` (σχήμα 20).

Η διαδικασία `spectrum` υπολογίζει τη Φασματική Κατανομή Ισχύος για ένα απόσπασμα ΗΕΓ με μεσοποιημένες τιμές για όλα τα αποσπάσματα που συμπεριλαμβάνονται αρχείο καταγραφής (πρέπει όλα τα τμήματα να είναι συνενωμένα το ένα δίπλα στο άλλο σε ένα αρχείο). Η ίδια διαδικασία μπορεί να υπολογίσει φασματικές κατανομές ισχύος για 2 ΗΕΓ αποσπάσματα με μεσοποιημένες τιμές για όλα τα αποσπάσματα που συμπεριλαμβάνονται (τα οποία παρουσιάζονται σε κοινό γράφημα), καθώς επίσης και τη σύγκριση των δυο

φασμάτων. Η σύγκριση γίνεται με επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95% (Grimann & Pfurtscheller 2006, Pfurtscheller 1999, Vos 1975).

Στην περίπτωση αυτή πρέπει κάθε απόσπασμα (trial) να περιλαμβάνει δύο ίσου μήκους αποσπασμάτων ΗΕΓ, όπου το ένα θεωρείται ως διάστημα αναφοράς (reference interval) και το άλλο ως διάστημα δράσης (action interval).

Από την καρτέλα *Analyze* γίνεται επιλογή της εντολής *Spectrum*. Ανοίγει ένα νέο παράθυρο διαλόγου, όπου ορίζεται το μήκος του διαστήματος σε 1000 ms (512 δείγματα/samples). Για τον ορισμό του διαστήματος αναφοράς και του διαστήματος δράσης τσεκάρουμε την επιλογή "Compute action spectra and compare to reference". Το διάστημα αναφοράς άρχισε από το 1<sup>ο</sup> δείγμα και το διάστημα δράσης άρχισε από το 257<sup>ο</sup> δείγμα (σχήμα 20).

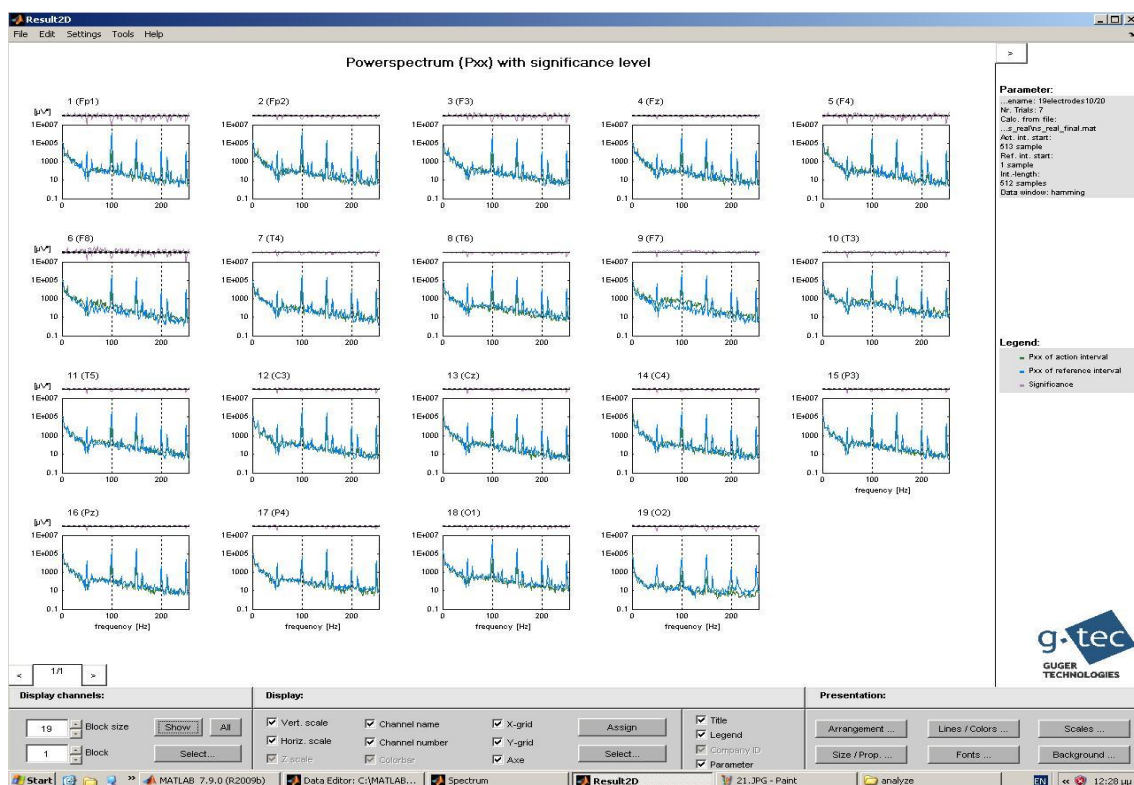


Σχήμα 20. Παράδειγμα του αρχείου ALL\_3D\_vs\_REAL\_256.mat το οποίο περιέχει όλες τις καταγραφές για εικονικό και πραγματικό περιβάλλον για τις 14 συμμετέχουσες που τελικά έλαβαν μέρος στην πιλοτική έρευνα.

Η μέθοδος υπολογισμού του φάσματος συχνοτήτων είναι ο Βραχύς Μετασχηματισμός Fourier (Short Fourier Transform - SFT) διακριτού σήματος με παράθυρο Hamming. Στην περίπτωση αυτή, το σήμα χωρίζεται σε διαδοχικά τμήματα στα οποία οι συχνότητες του σήματος θεωρούνται αμετάβλητες και το κάθε τμήμα μετασχηματίζεται κατά Fourier. Το αποτέλεσμα μετράται σε  $\mu V^2/Hz$ . Το παράθυρο που Hamming που χρησιμοποιείται για τον τεμαχισμό του σήματος παράγεται από τη συνάρτηση Hamming(n) του Matlab, η οποία δημιουργεί ένα συμμετρικό διάνυσμα n σημείων (όπου n θετικός ακέραιος), με βάση την έκφραση:

$$w[k + 1] = 0.54 - 0.46 \cos\left(2\pi \frac{k}{n - 1}\right), k = 0, 1, \dots, n - 1$$

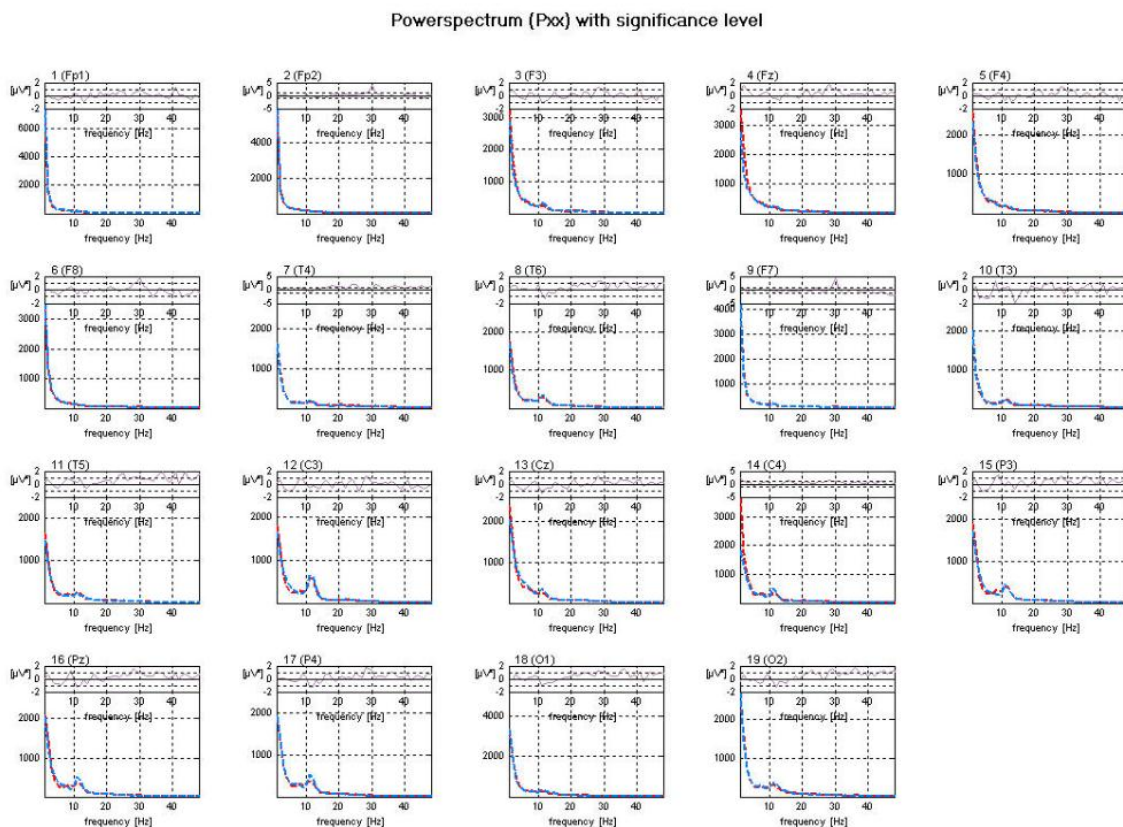
Με την επιλογή **“Select trials/chan.”** εξαιρούνται τα κανάλια που περιέχουν τις οφθαλμικές κινήσεις οπότε προκύπτουν 19 γραφήματα από τις 19 θέσεις των ηλεκτροδίων. Η εντολή **“Start”** ξεκινά τη διαδικασία παραγωγής των γραφικών παραστάσεων των φασμάτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 21 (παράθυρο Result2D).



Σχήμα 21. Γραφικές παραστάσεις των φασμάτων του αρχείου ALL\_3D\_vs\_REAL\_256.mat το οποίο περιέχει όλες τις καταγραφές για εικονικό και πραγματικό περιβάλλον.



Στο παράθυρο *Result2D* που προκύπτει επιλέγεται τυχαία ένα από τα γραφήματα και γίνεται επιλογή του πεδίου *Assign*. Η εντολή αυτή δίνει τη δυνατότητα ορισμού των ορίων των αξόνων για επιθυμητή ανάλυση. Ορίζονται ο άξονας x (scaling) με τιμές 1 – 48 Hz και ο άξονας y ως αυτο και linear. Από την επιλογή “*lines*” πραγματοποιείται η μορφοποίηση των γραμμών τόσο ως προς το σχήμα όσο και ως προς τη μορφή τους. Προκύπτει τότε μια σειρά γραφημάτων νέας μορφής όπως στο σχήμα 22.



Σχήμα 22. Παράδειγμα των φασμάτων που παράγει η διαδικασία *spectrum* (λογισμικό *BSanalyze* της *gtec*).

Με μπλε διακεκομμένη γραμμή παριστάνονται τα φάσματα του διαστήματος αναφοράς και με κόκκινη γραμμή τα φάσματα του διαστήματος δράσης. Αντίστοιχα γίνεται και για τα άλλα δύο ζευγάρια. Πάνω από κάθε γράφημα φαίνεται η γραφική παράσταση των διαφορών των δύο φασμάτων και οι ευθείες με τα πάνω και κάτω όρια που αντιστοιχούν στο επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας.





---

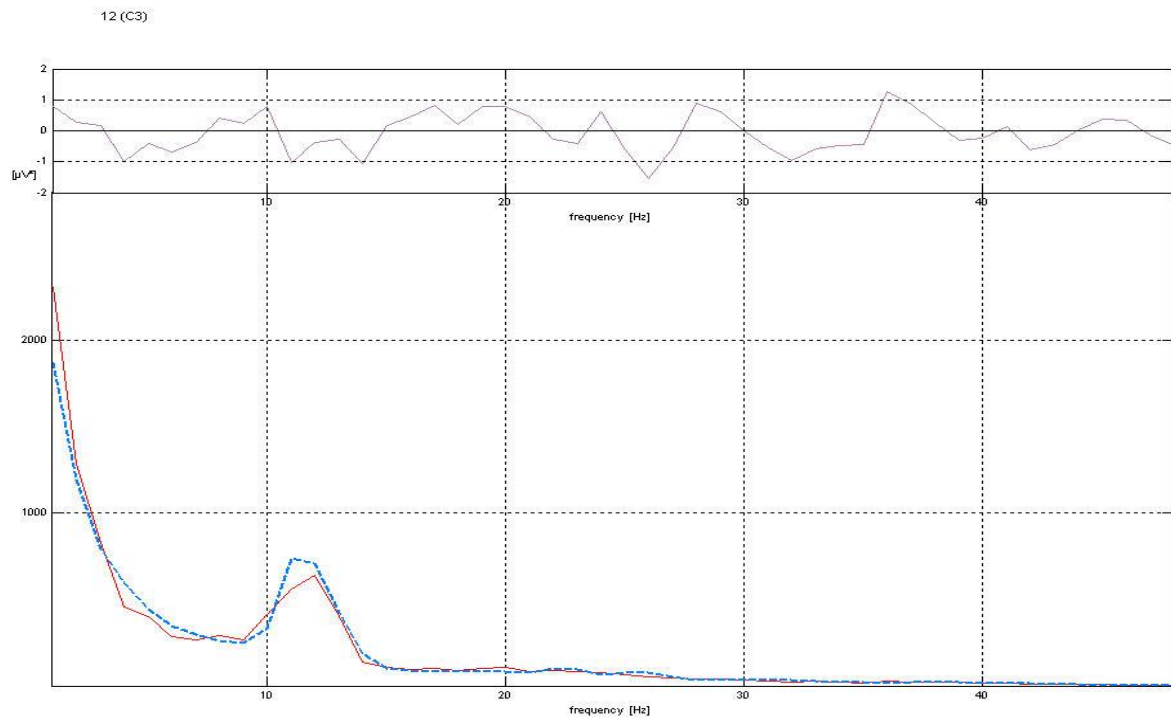
# Παράρτημα II

---

Στο Παράρτημα II παρουσιάζονται τα φάσματα απόλυτης ισχύος εγκεφαλικών ρυθμών για κάθε θέση ηλεκτροδίου και για κάθε σύγκριση των ανά δύο περιβαλλόντων της πιλοτικής μελέτης έρευνας που αφορούν την πρώτη διεργασία.

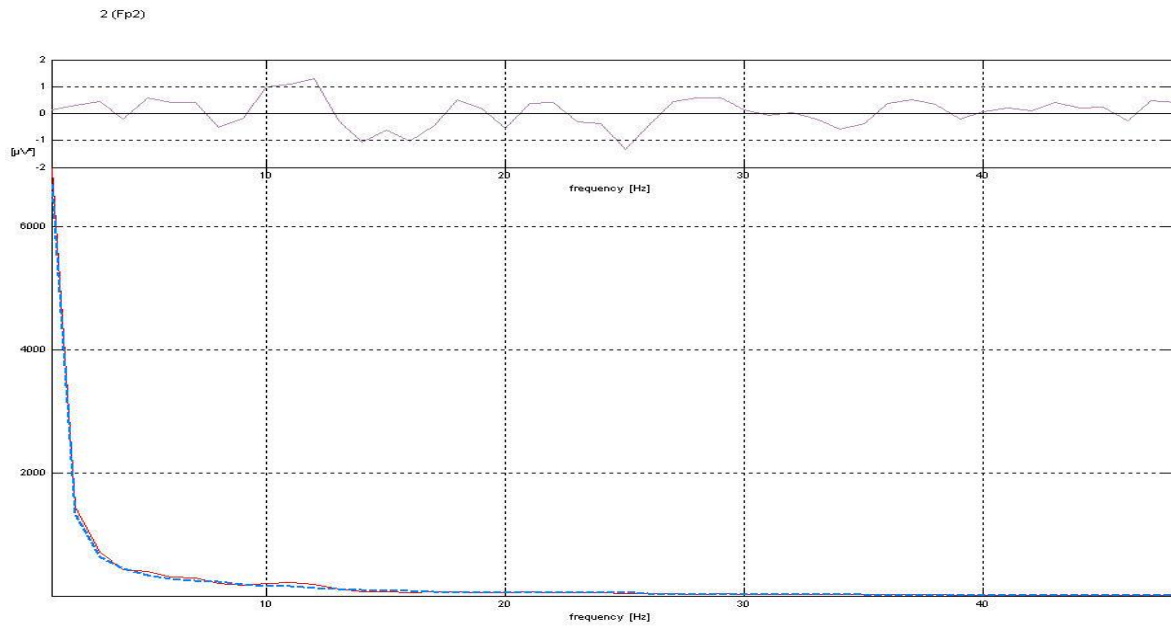
## Πιλοτική Μελέτη

### Εικονικό μη στερεοσκοπικό και Πραγματικό περιβάλλον

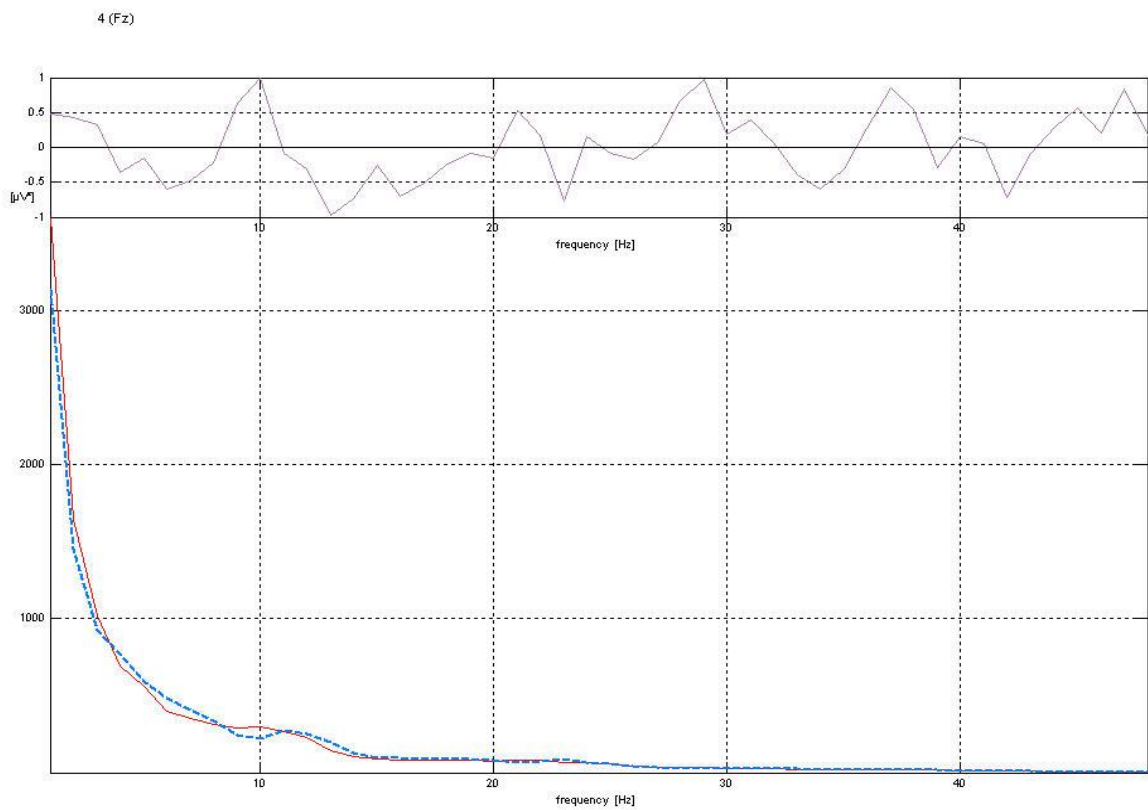


Σχήμα II.1. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr1.

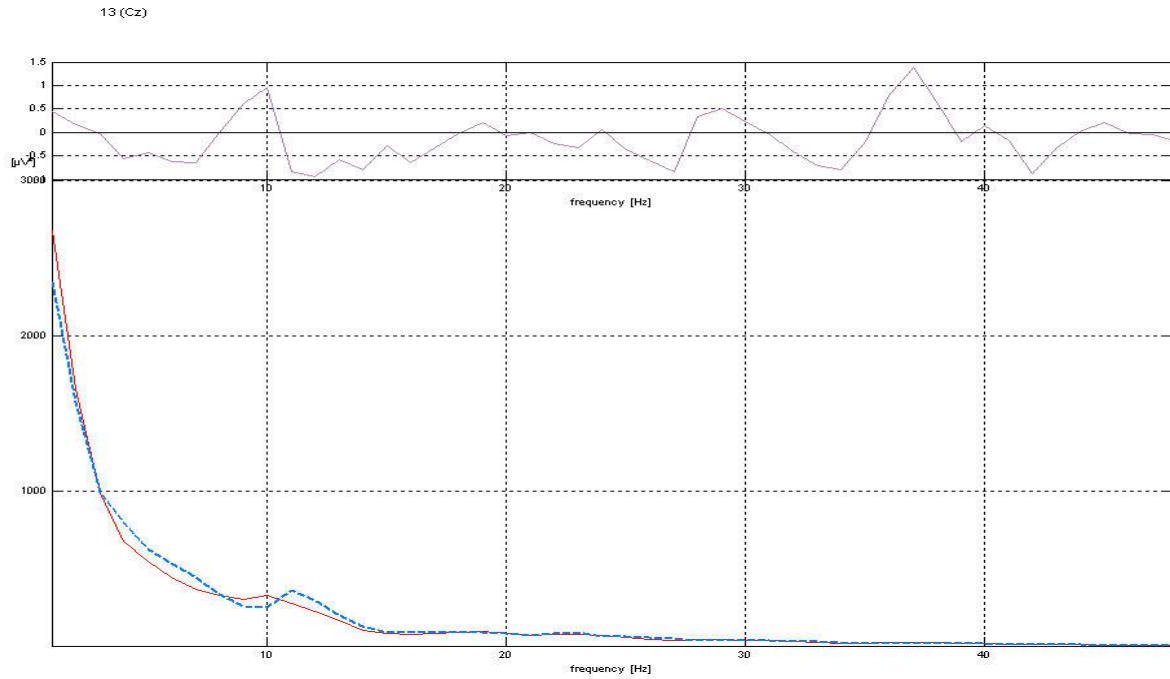
---



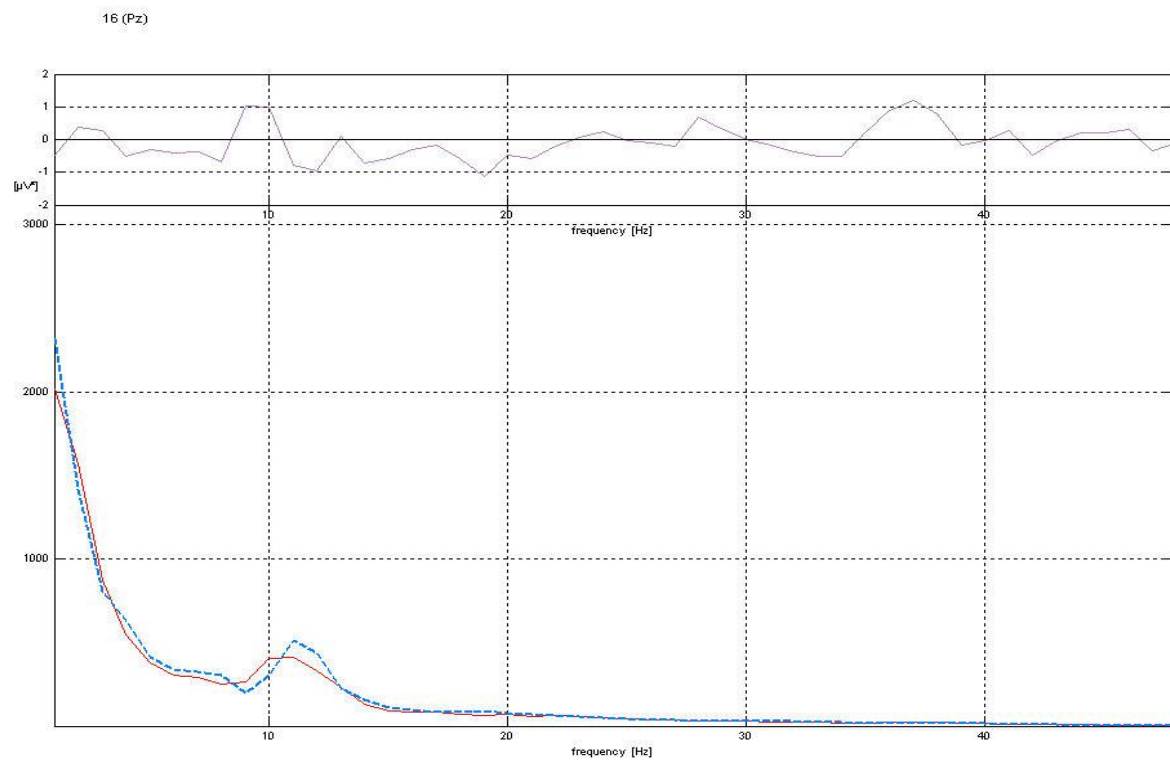
Σχήμα II.2. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2.



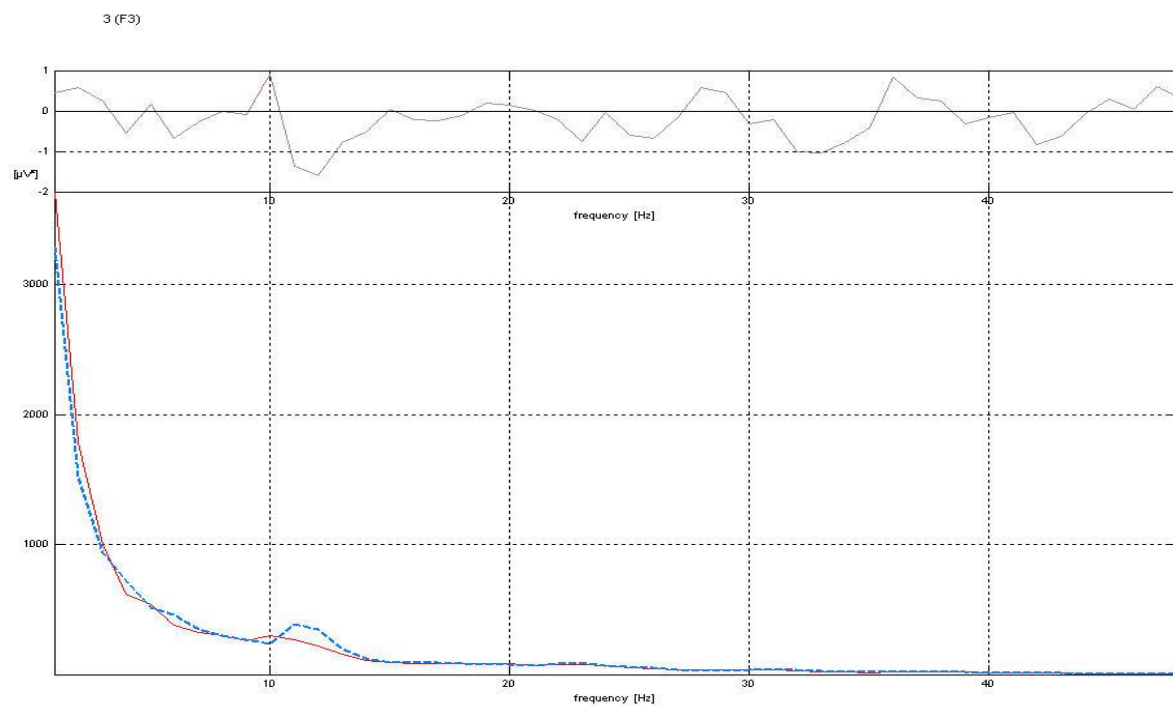
Σχήμα II.3. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz.



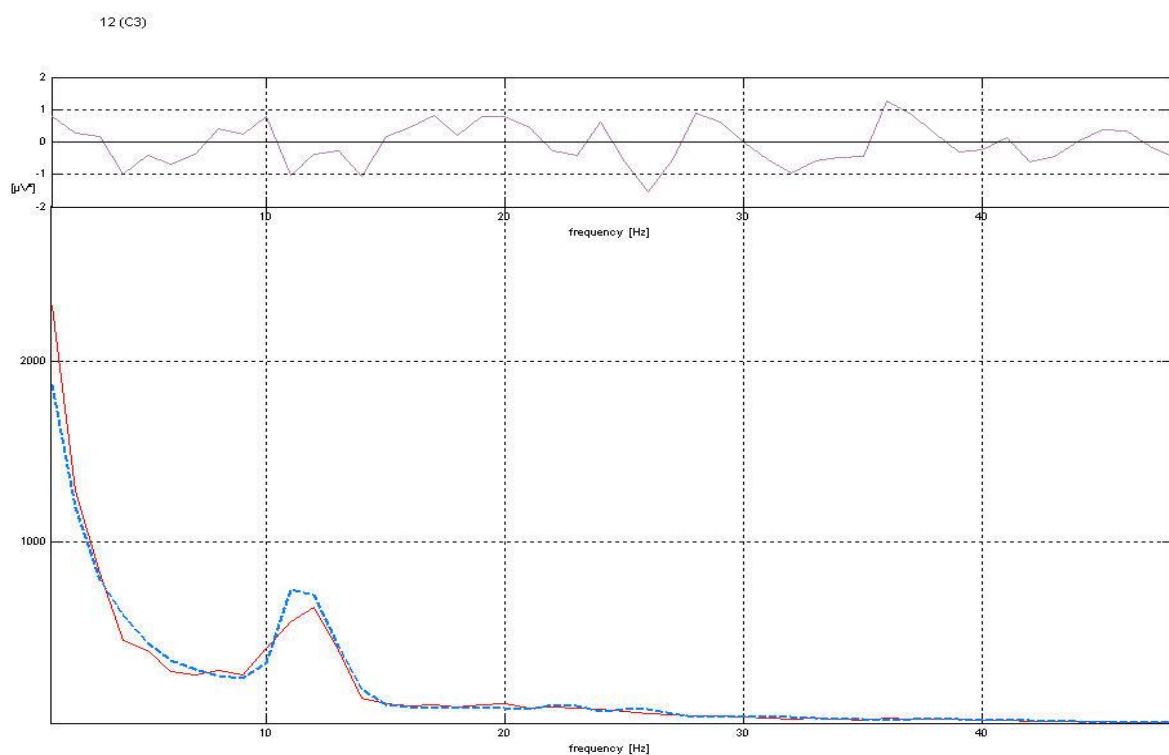
Σχήμα II.4. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz.



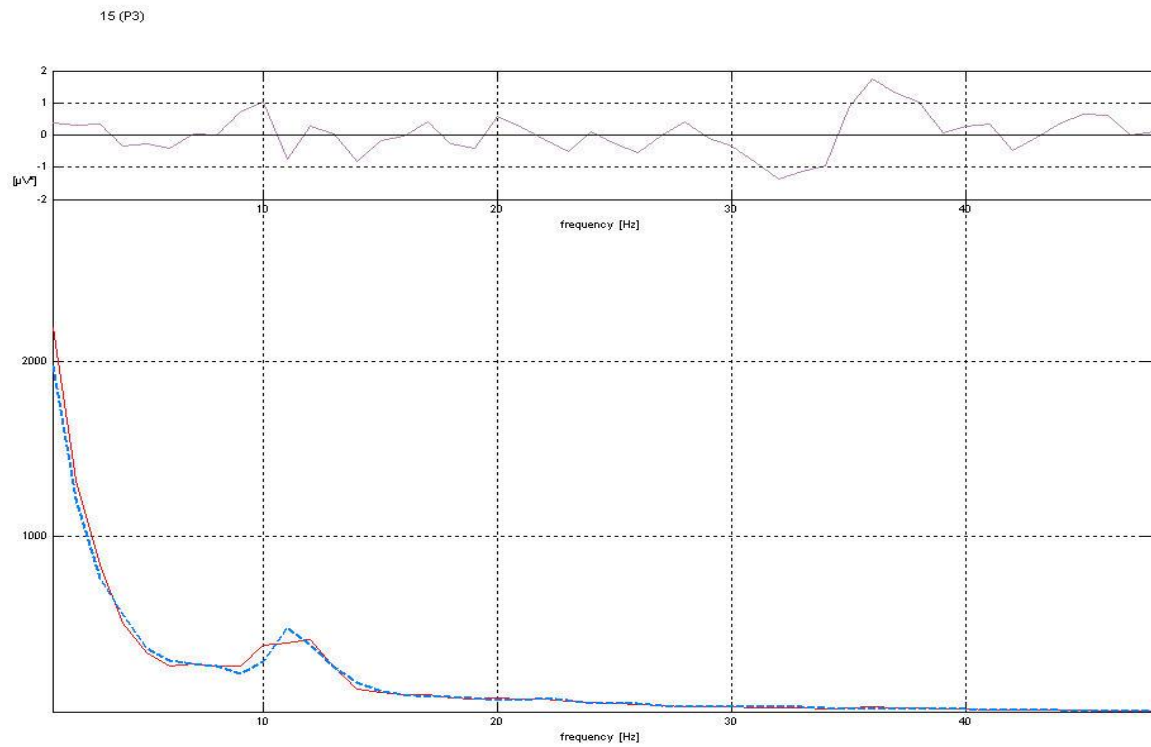
Σχήμα II.5. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz.



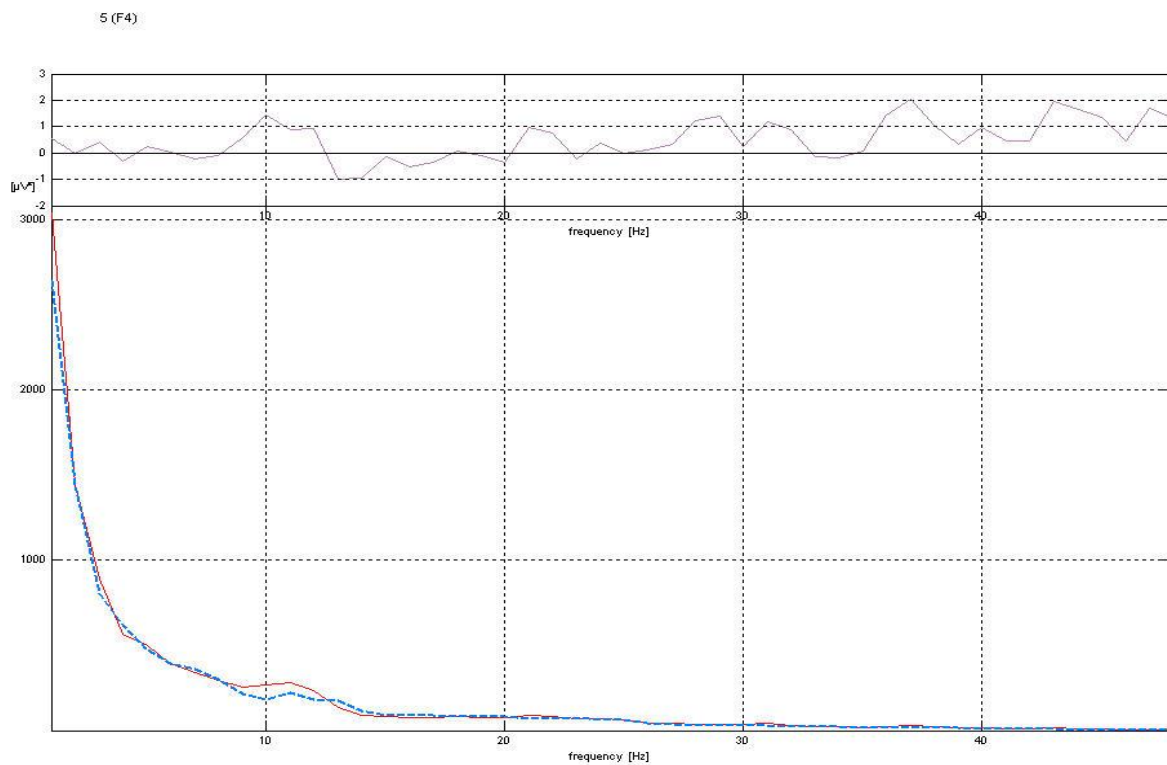
Σχήμα II.6. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3.



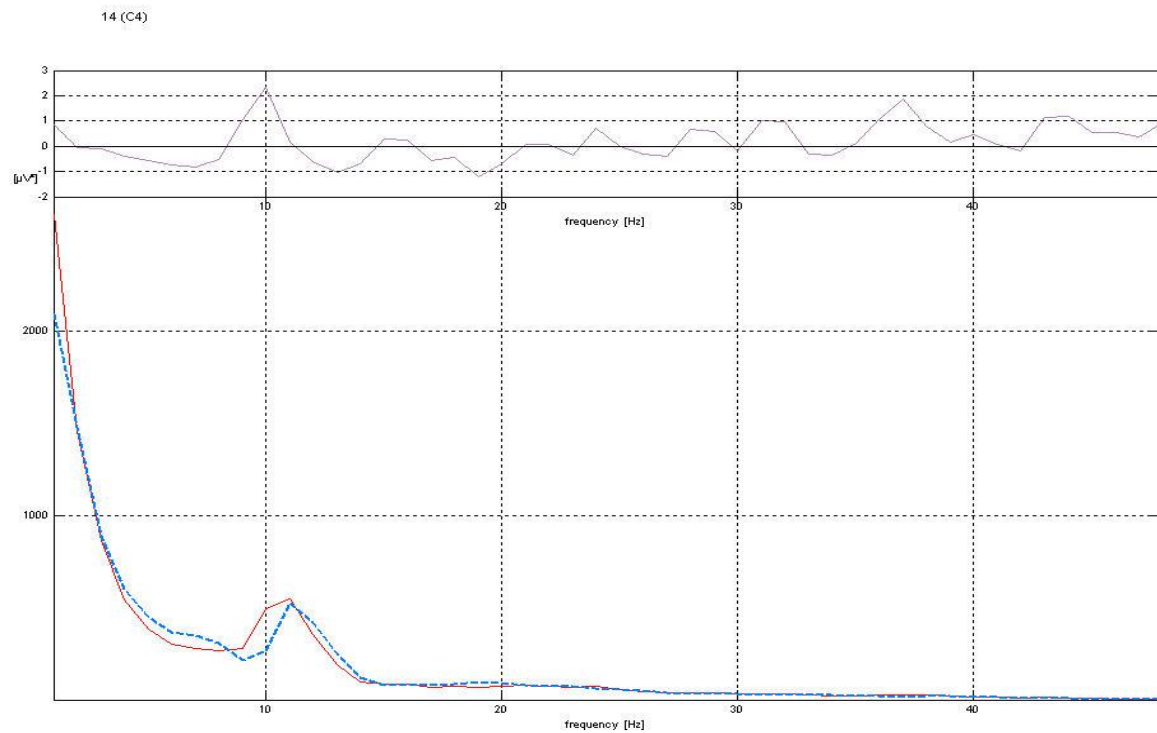
Σχήμα II.7. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3.



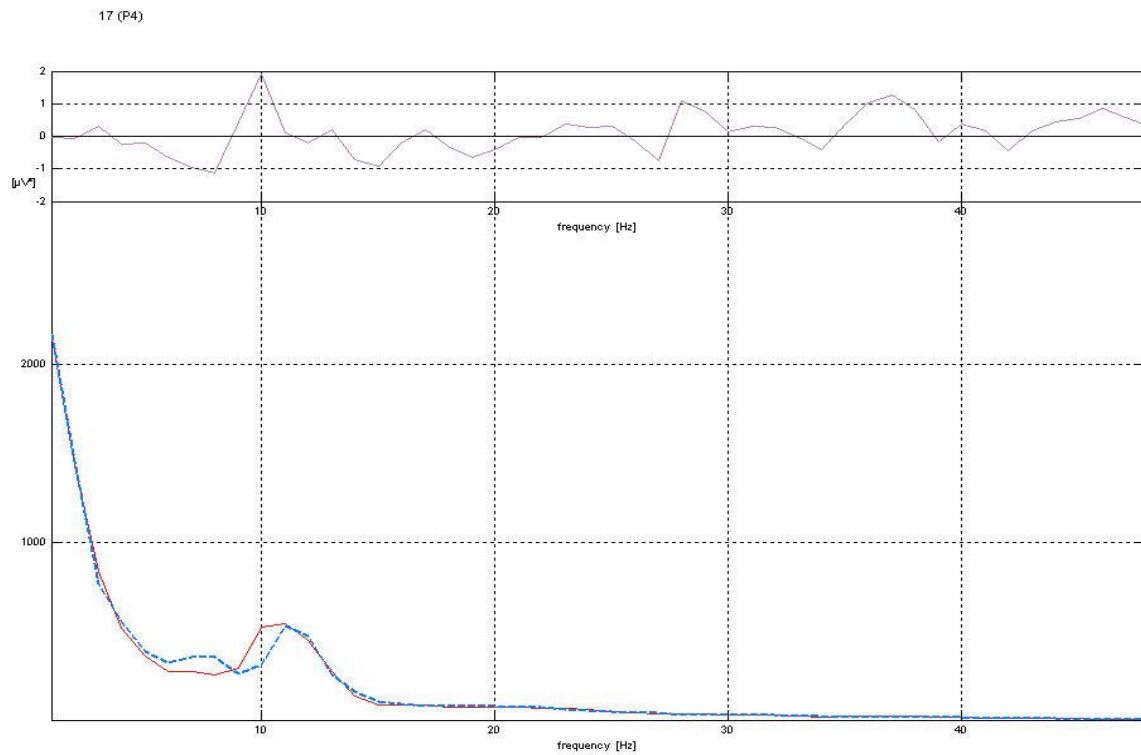
Σχήμα II.8. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3.



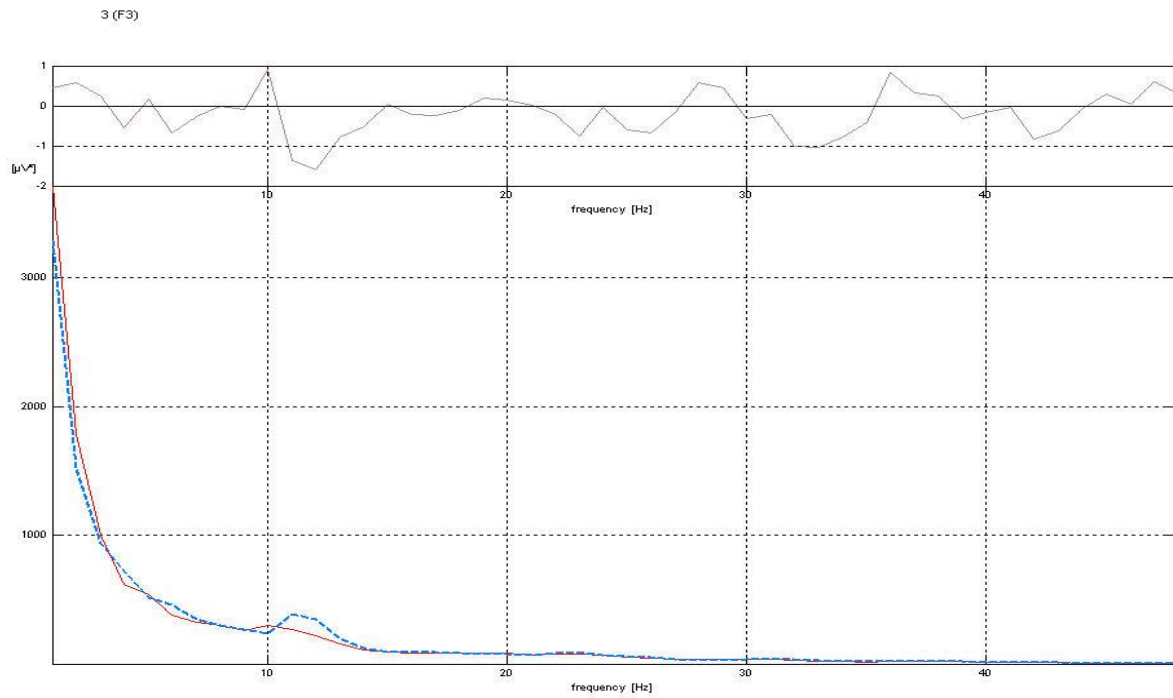
Σχήμα II.9. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4.



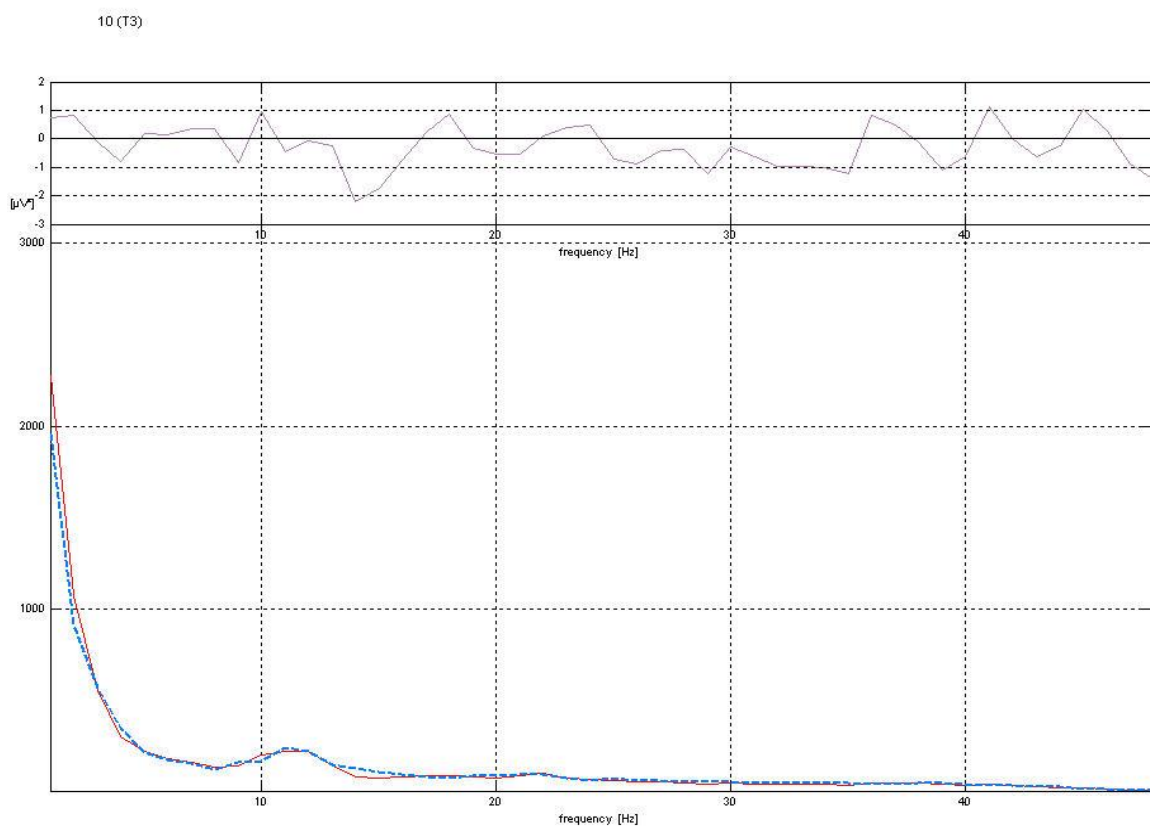
Σχήμα II.10. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4.



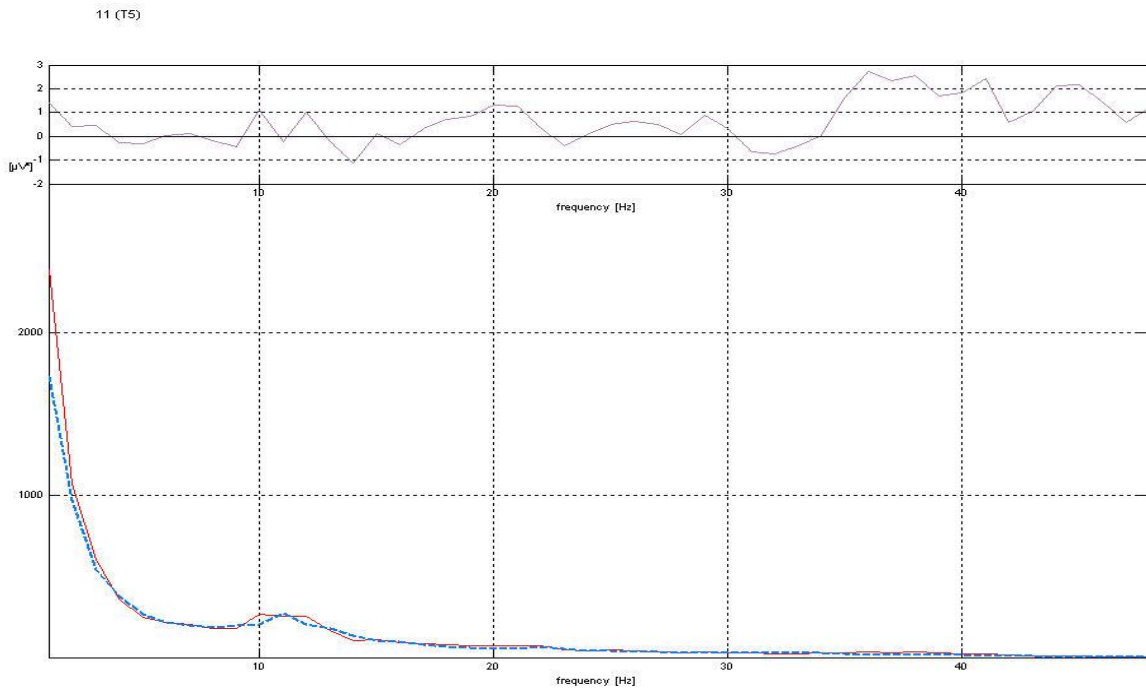
Σχήμα II.11. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4.



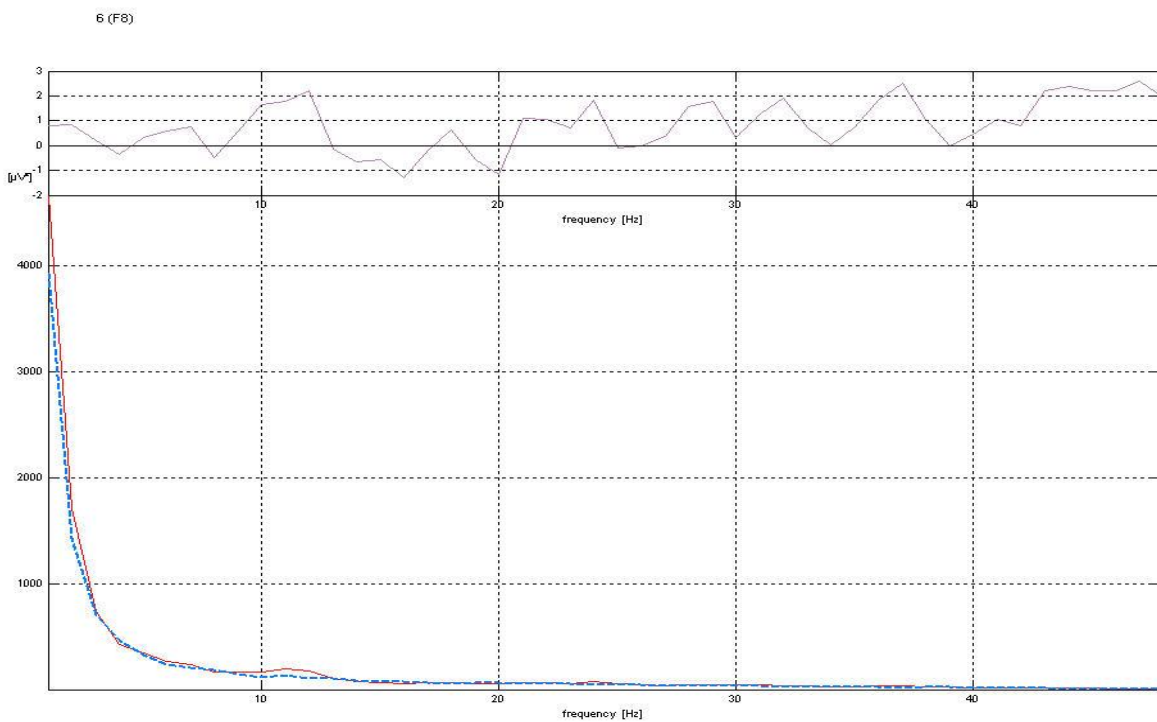
Σχήμα II.12. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7



Σχήμα II.13. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3.

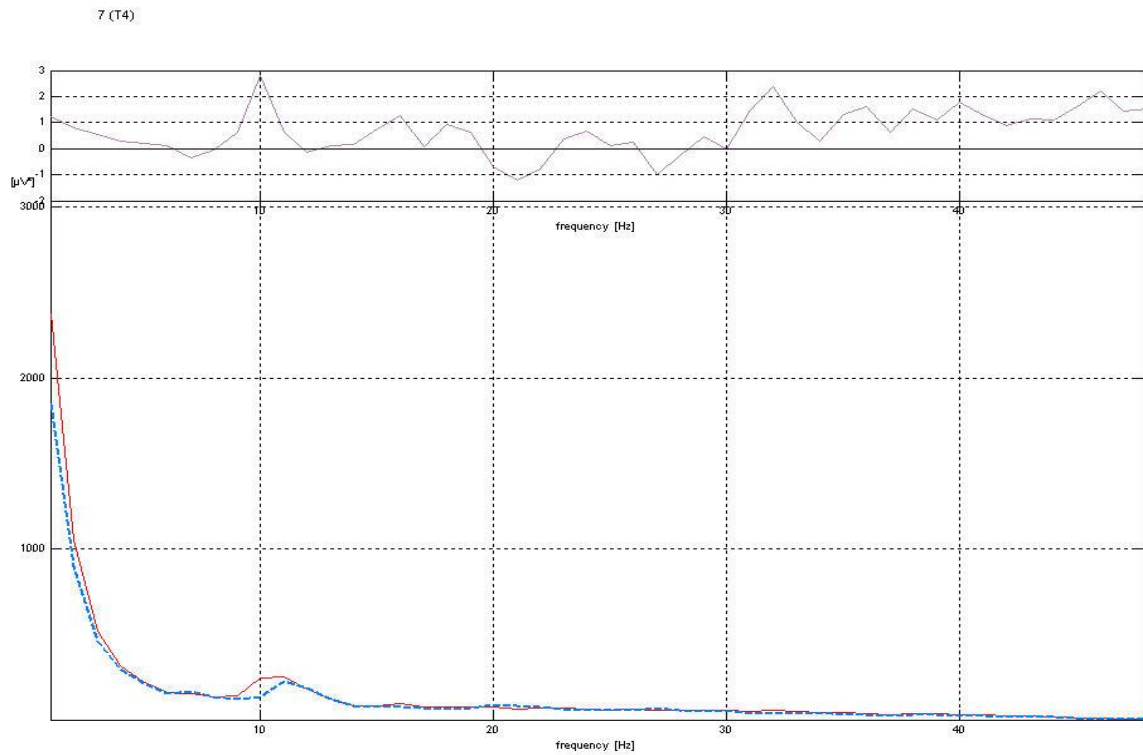


Σχήμα II.14. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5.

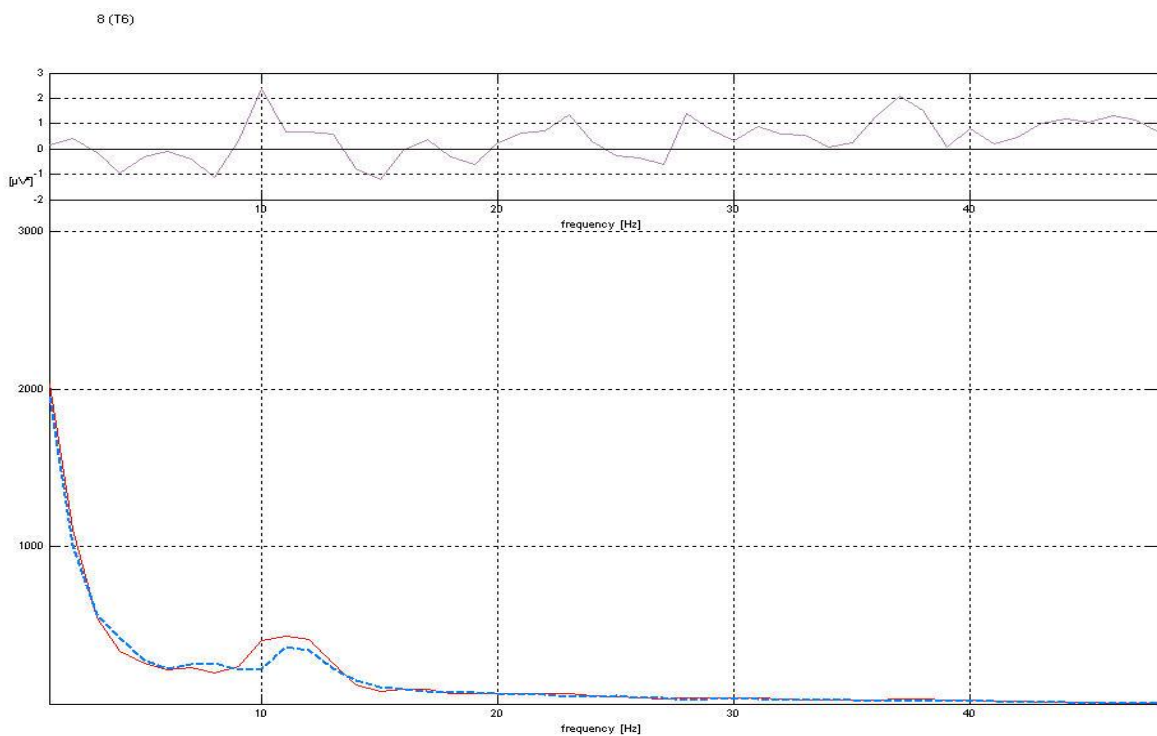


Σχήμα II.15. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8.

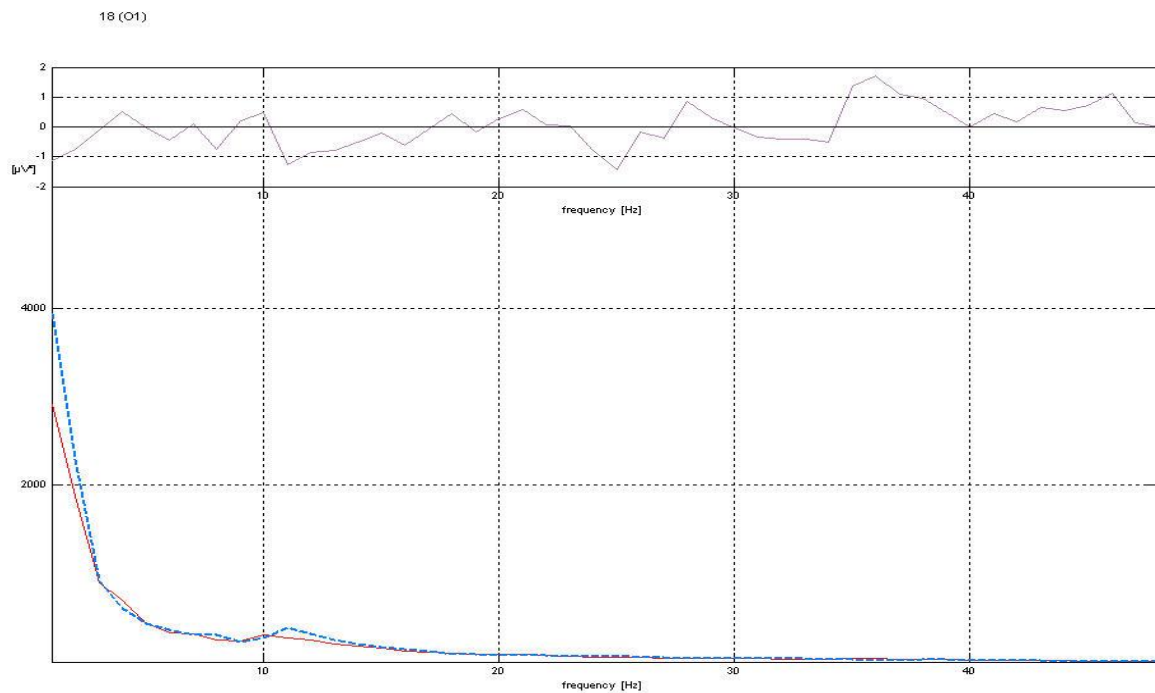




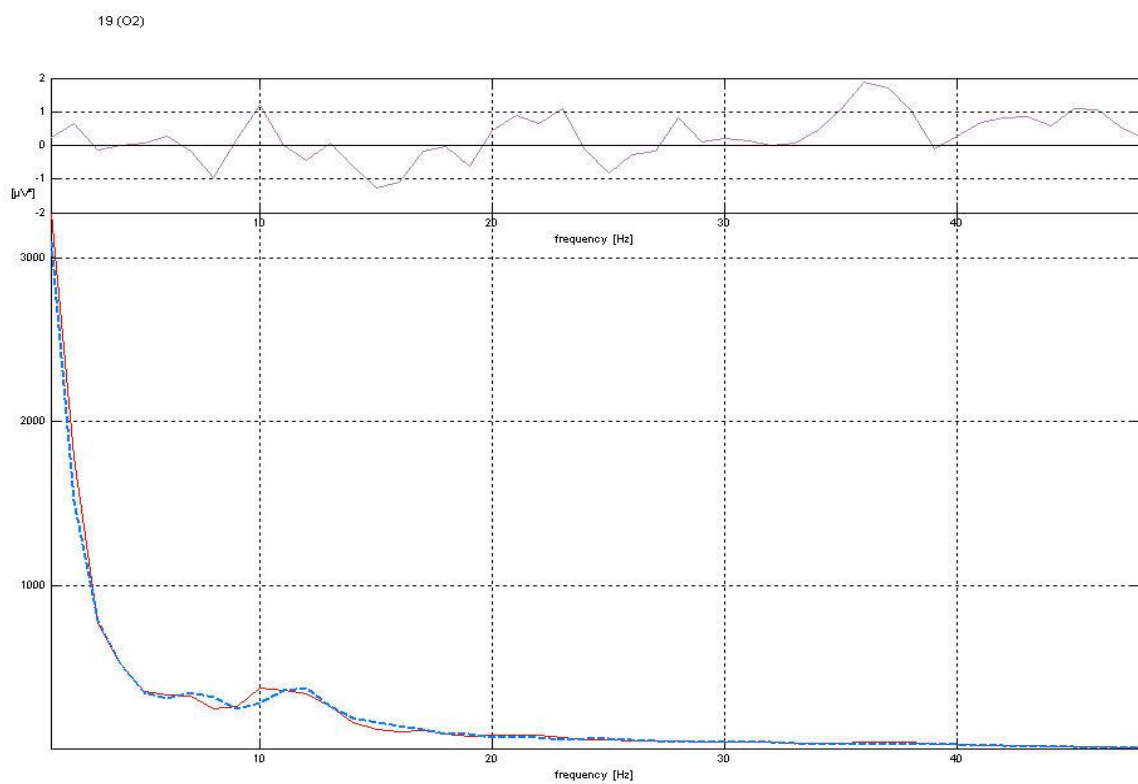
Σχήμα II.16. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4.



Σχήμα II.17. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6.

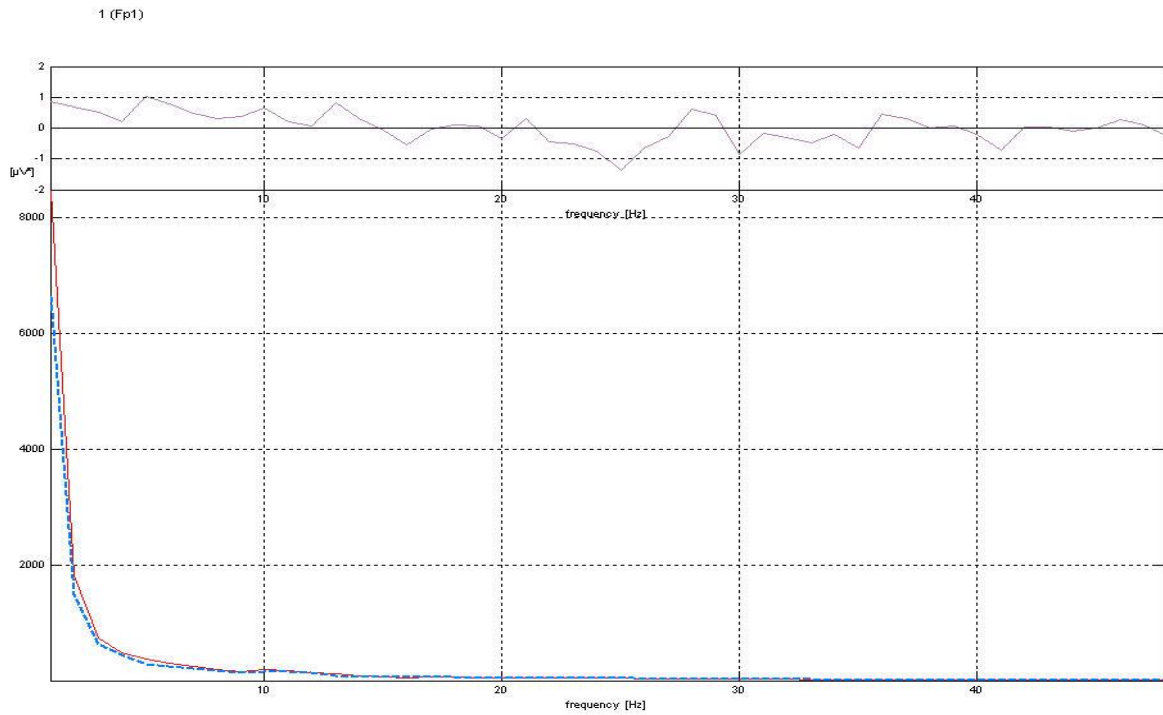


Σχήμα II.18. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1.

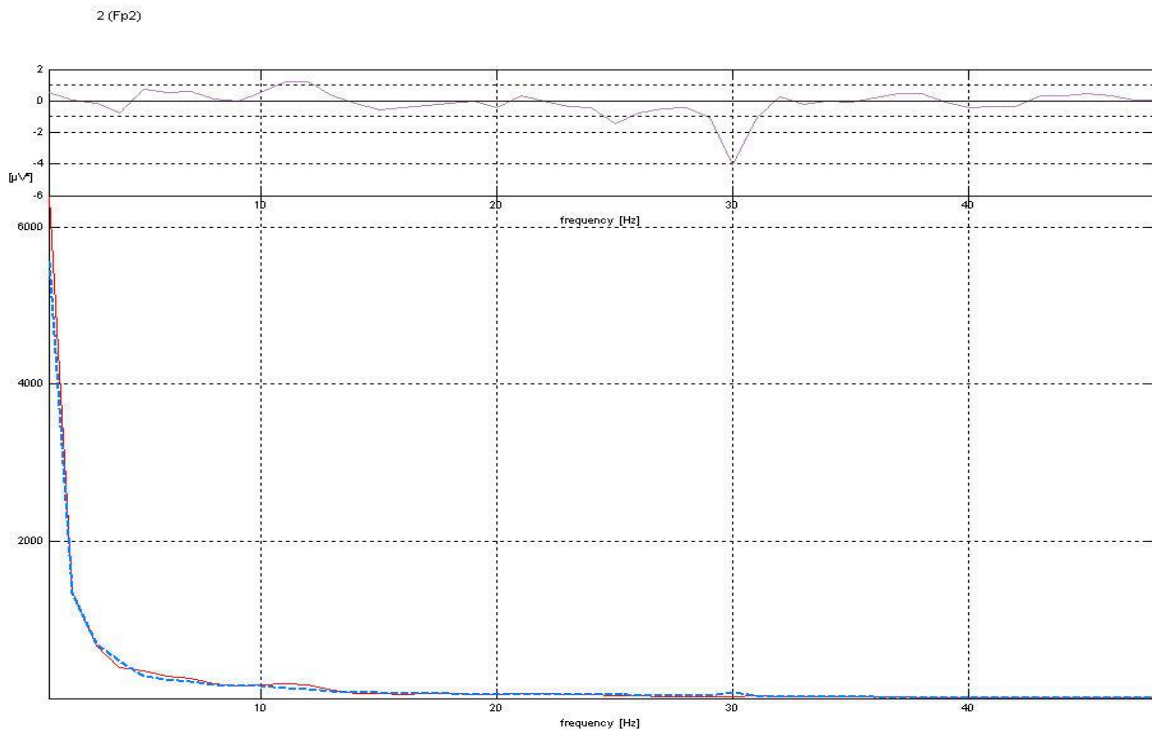


Σχήμα II.19. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2.

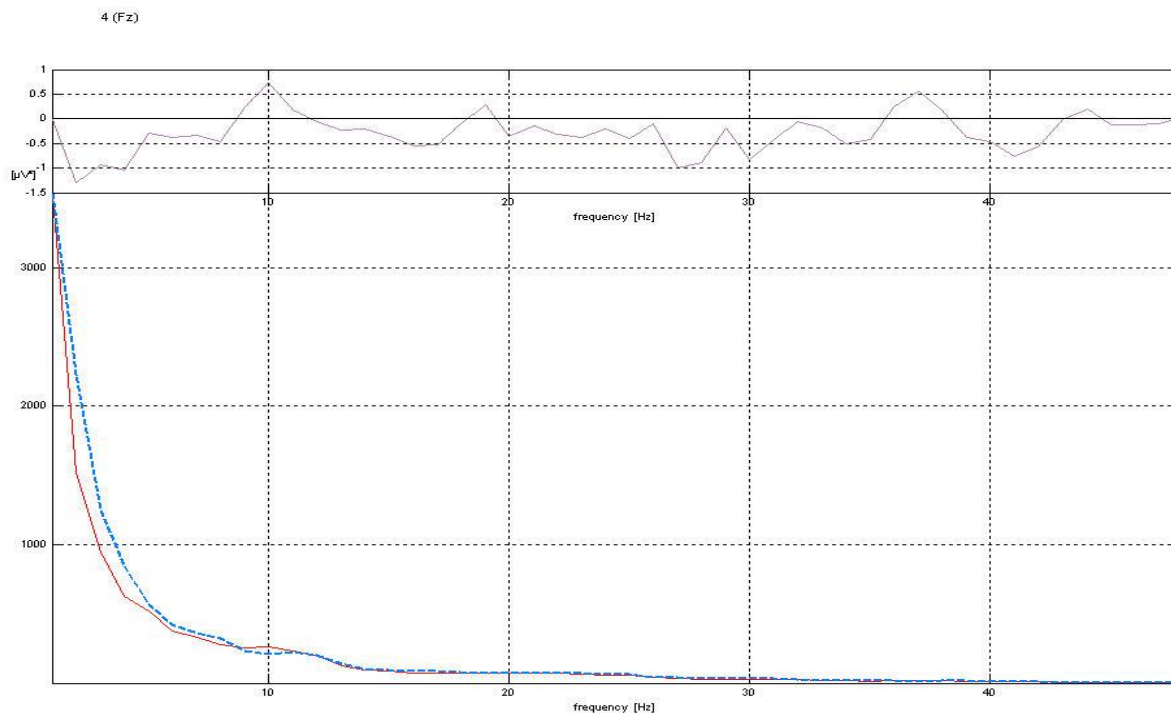
## Εικονικό στερεοσκοπικό και Πραγματικό περιβάλλον



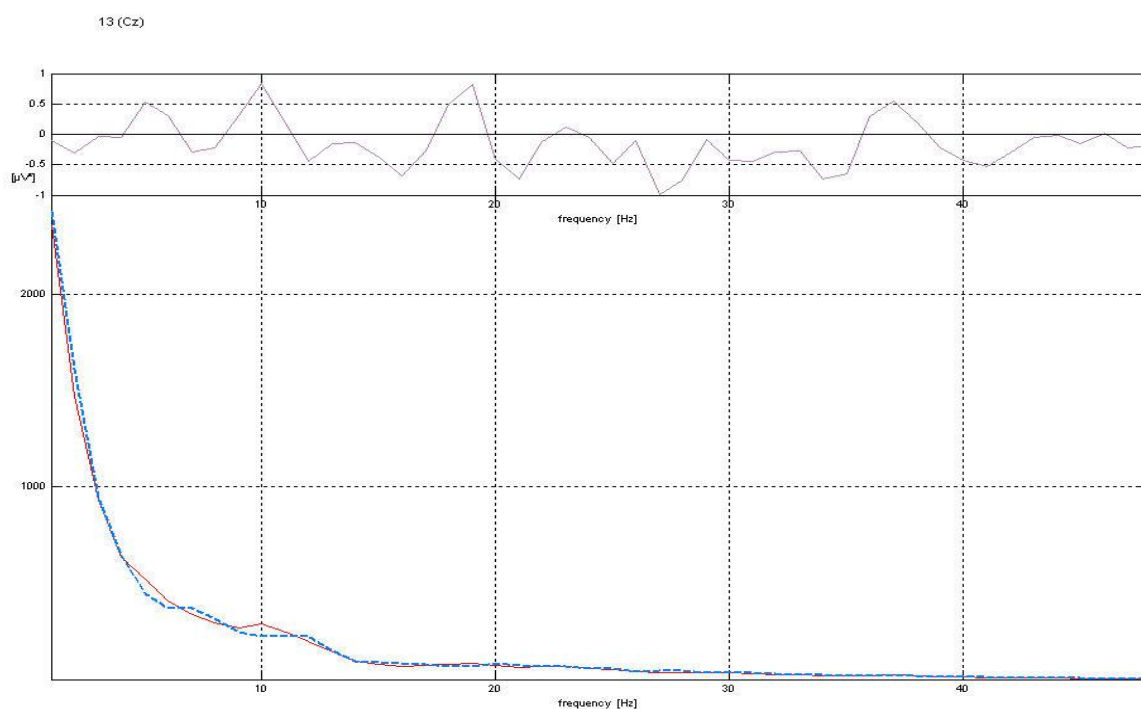
Σχήμα II.20. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1.



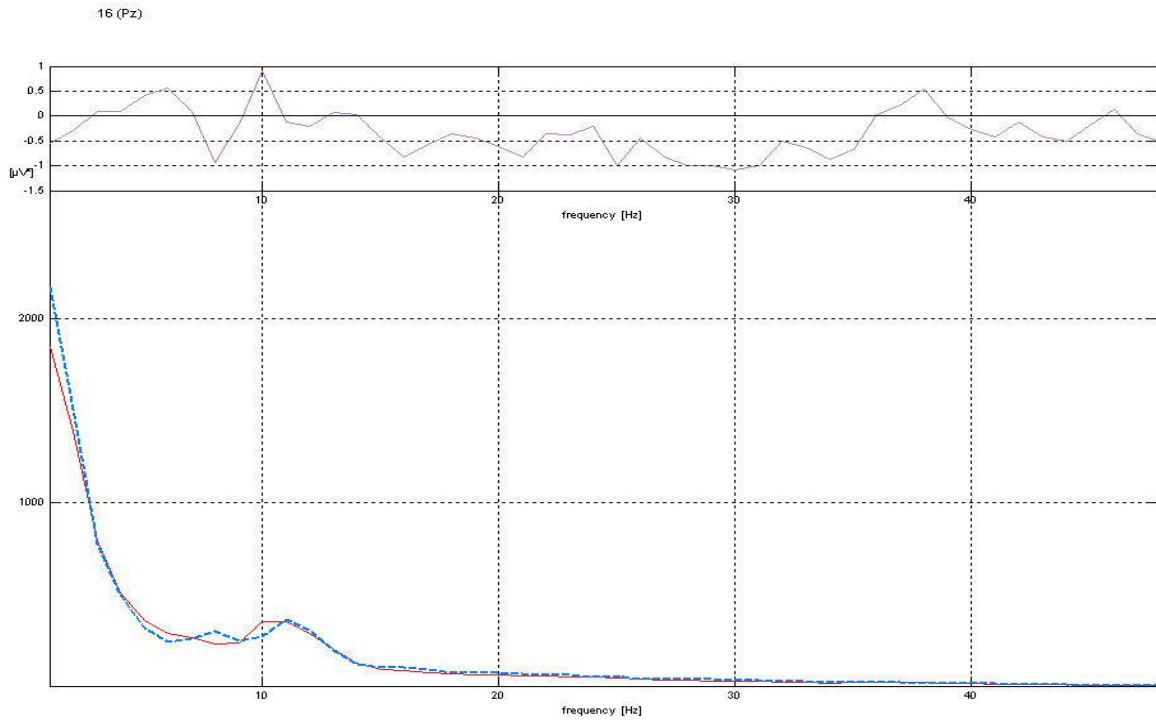
Σχήμα II.21. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2.



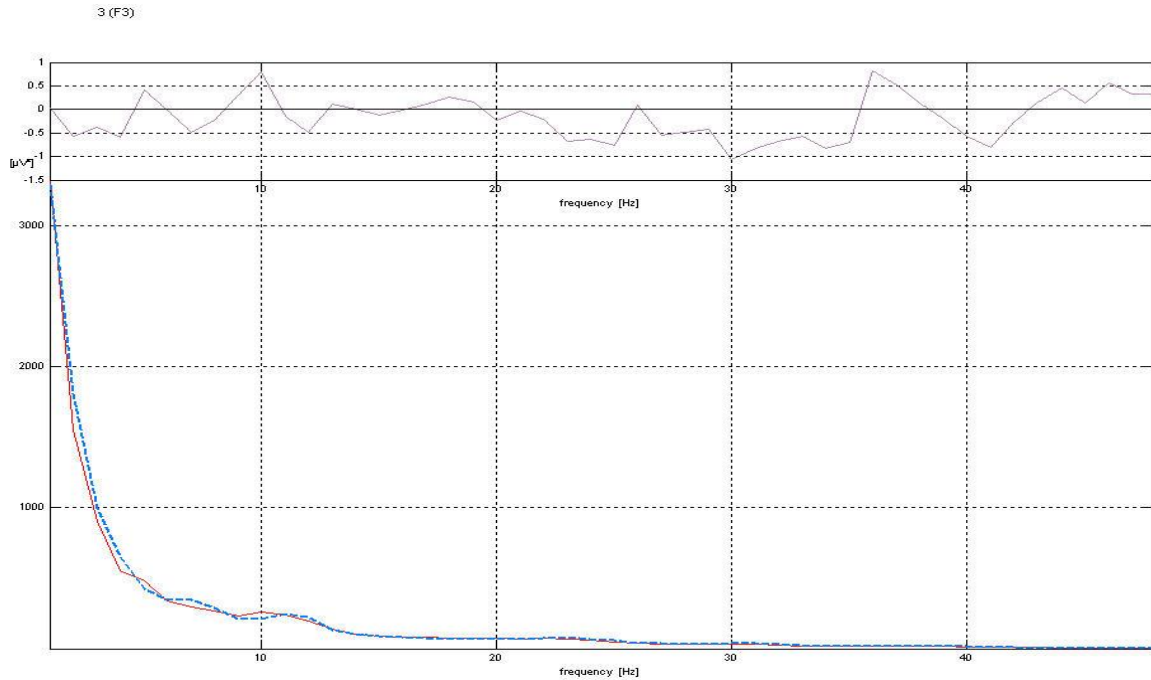
Σχήμα II.22. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz.



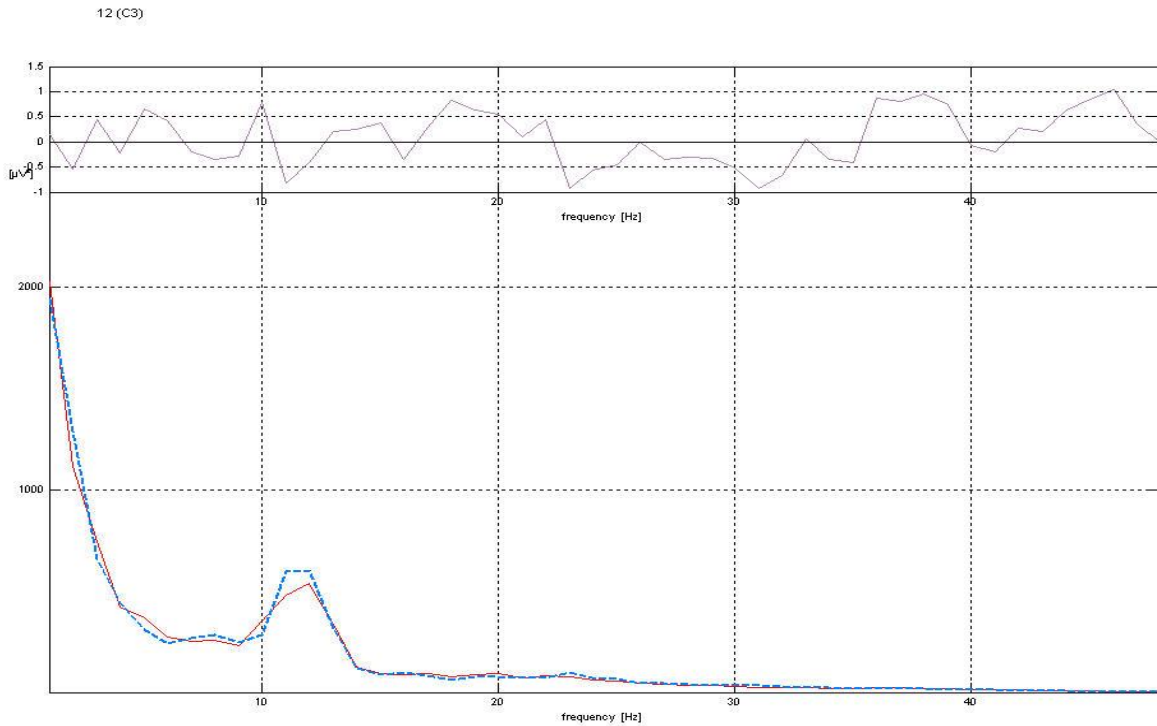
Σχήμα II.23. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz.



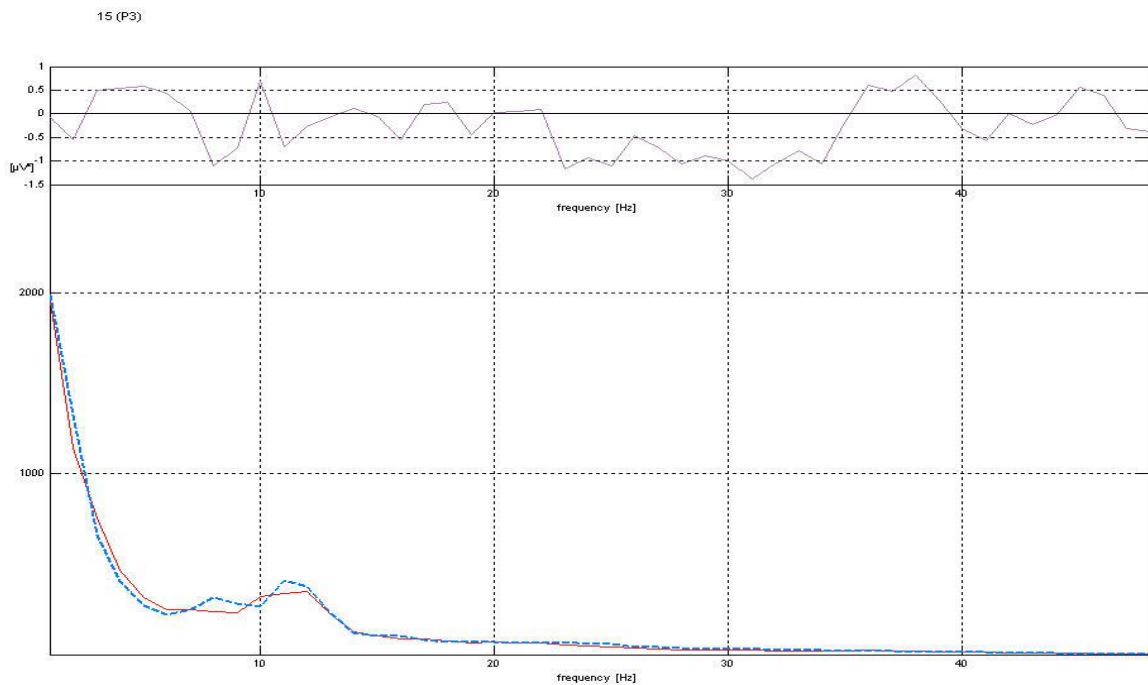
Σχήμα II.24. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz.



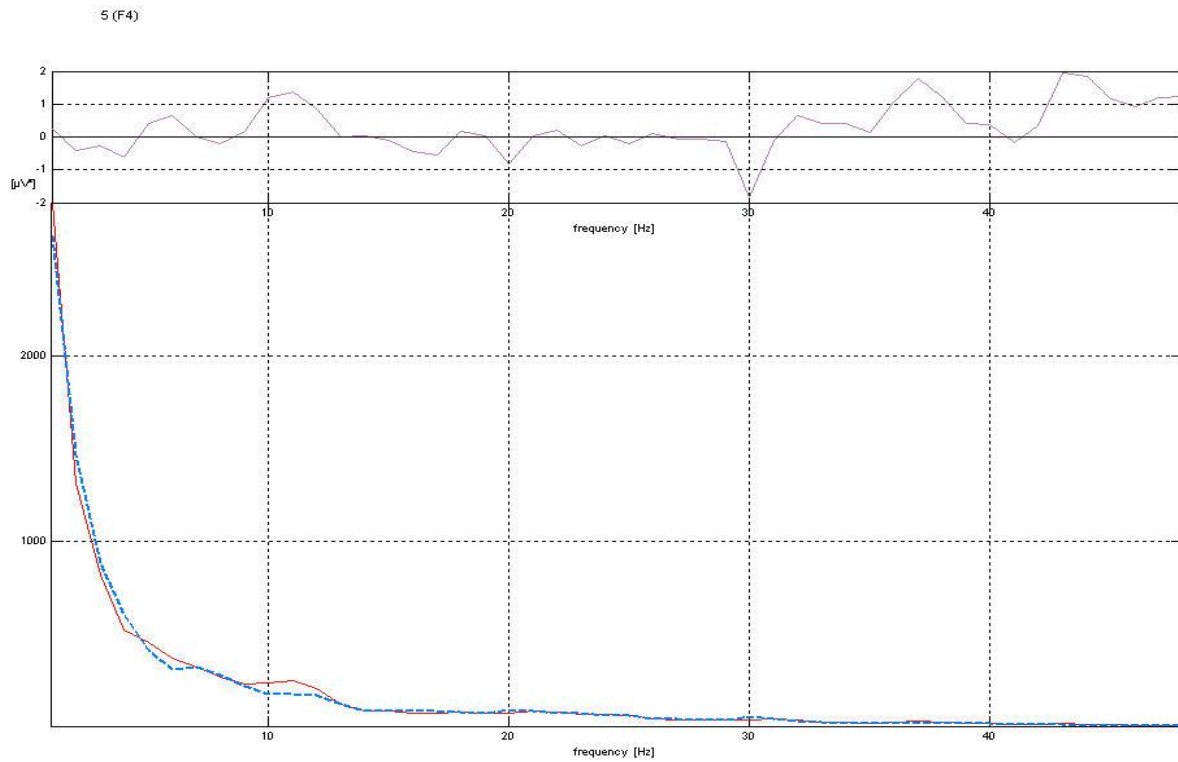
Σχήμα II.25. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3.



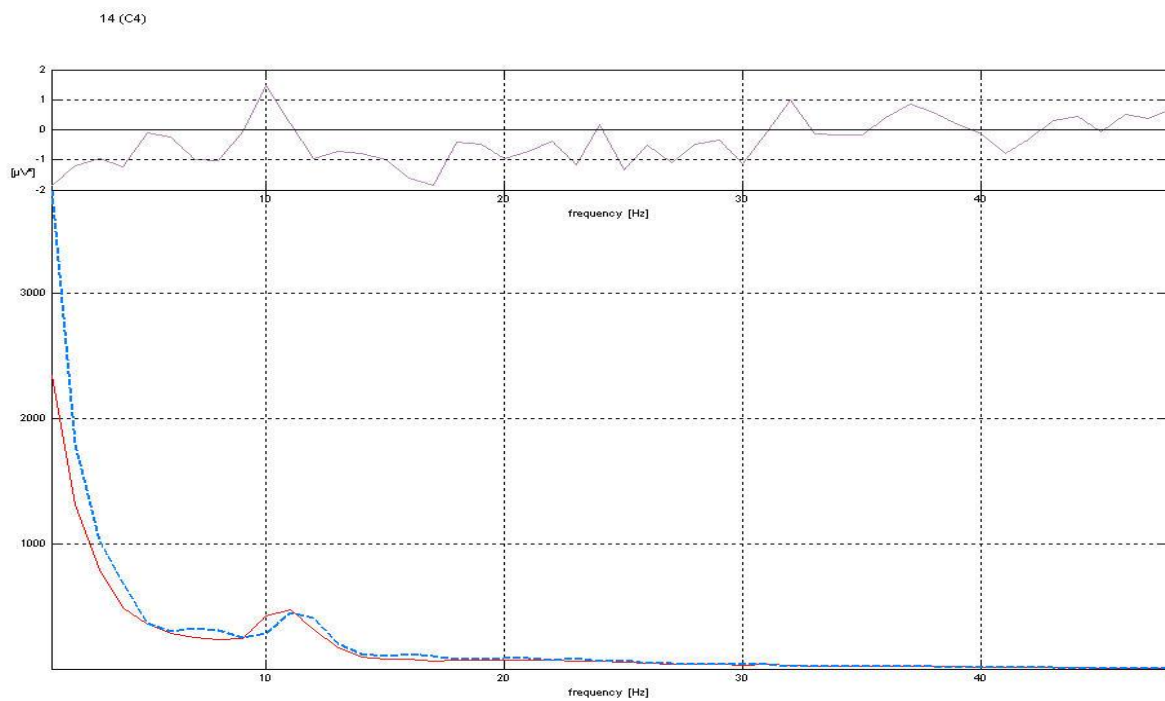
Σχήμα II.26. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3 .



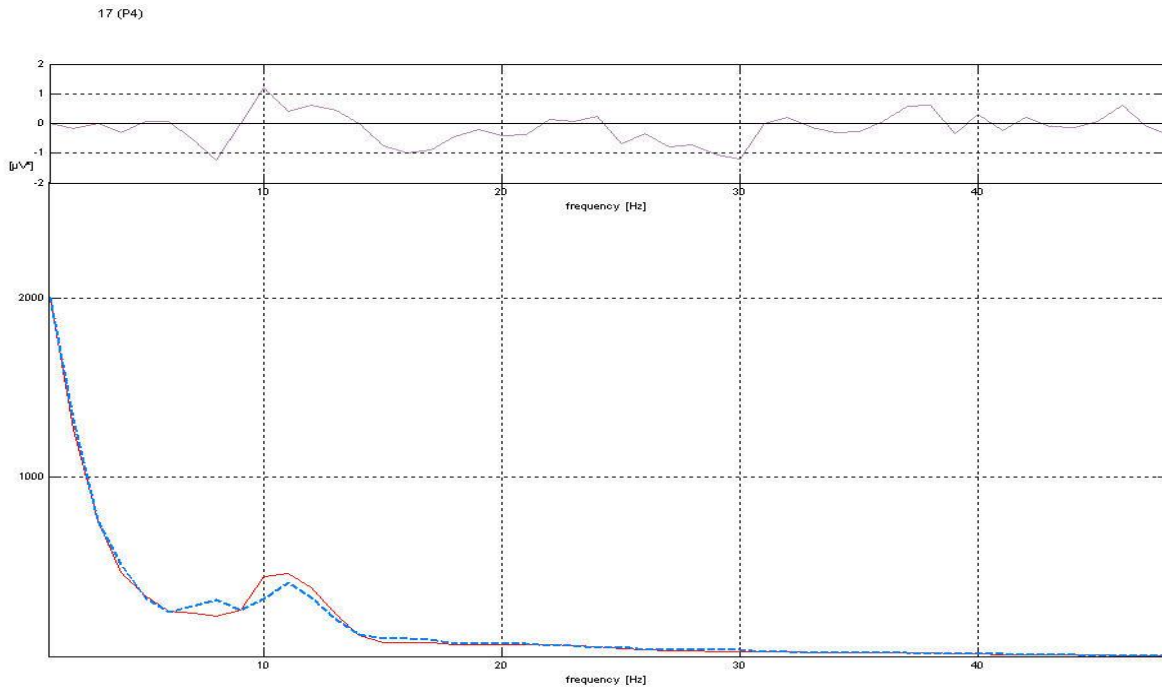
Σχήμα II.27. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3.



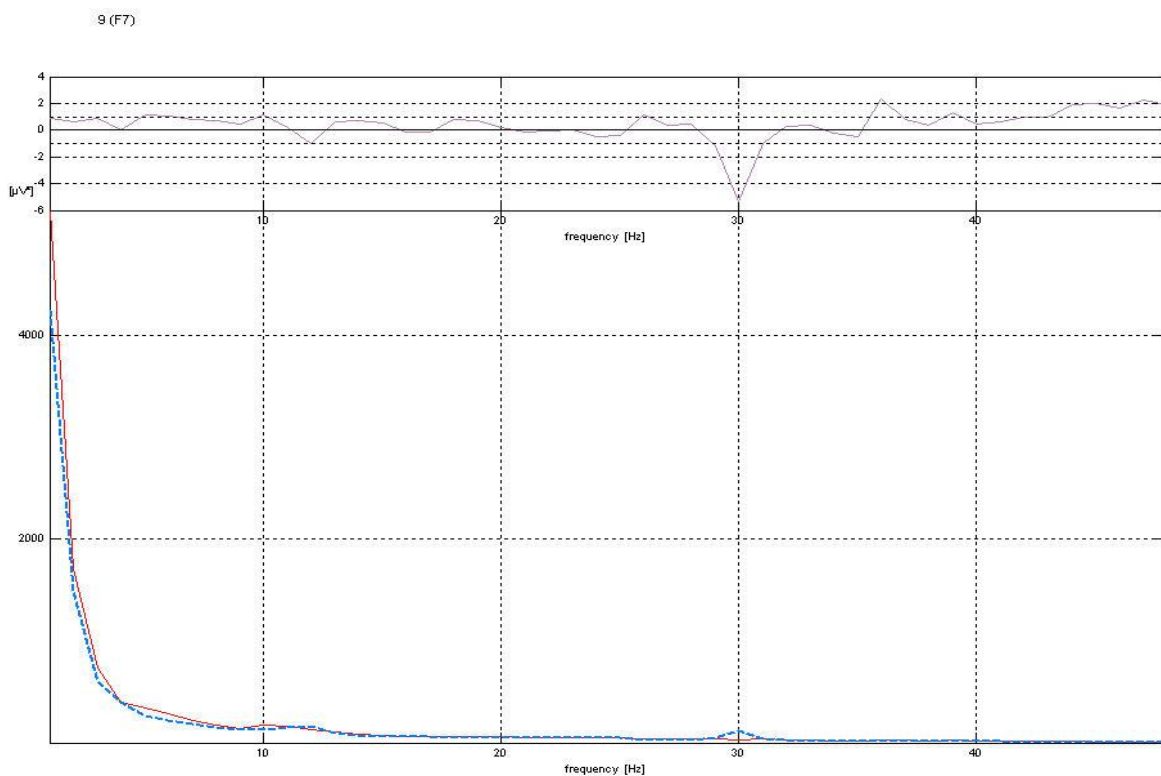
Σχήμα II.28. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4.



Σχήμα II.29. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4.

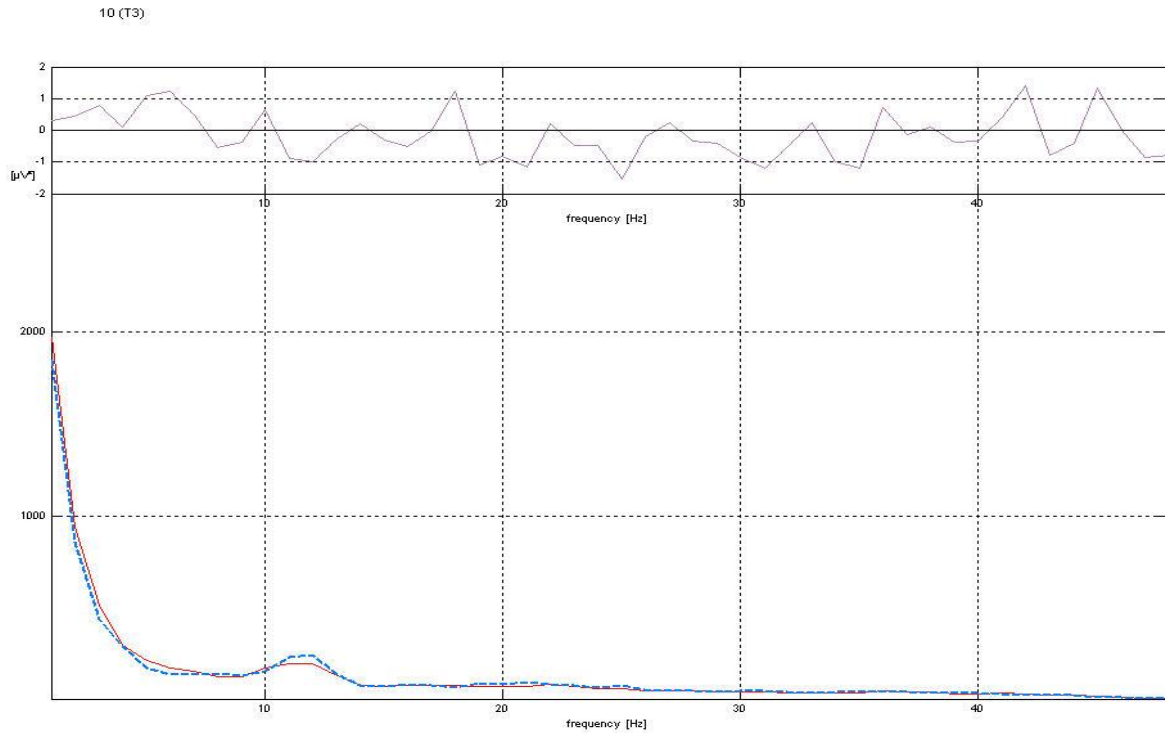


Σχήμα II.30. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4.

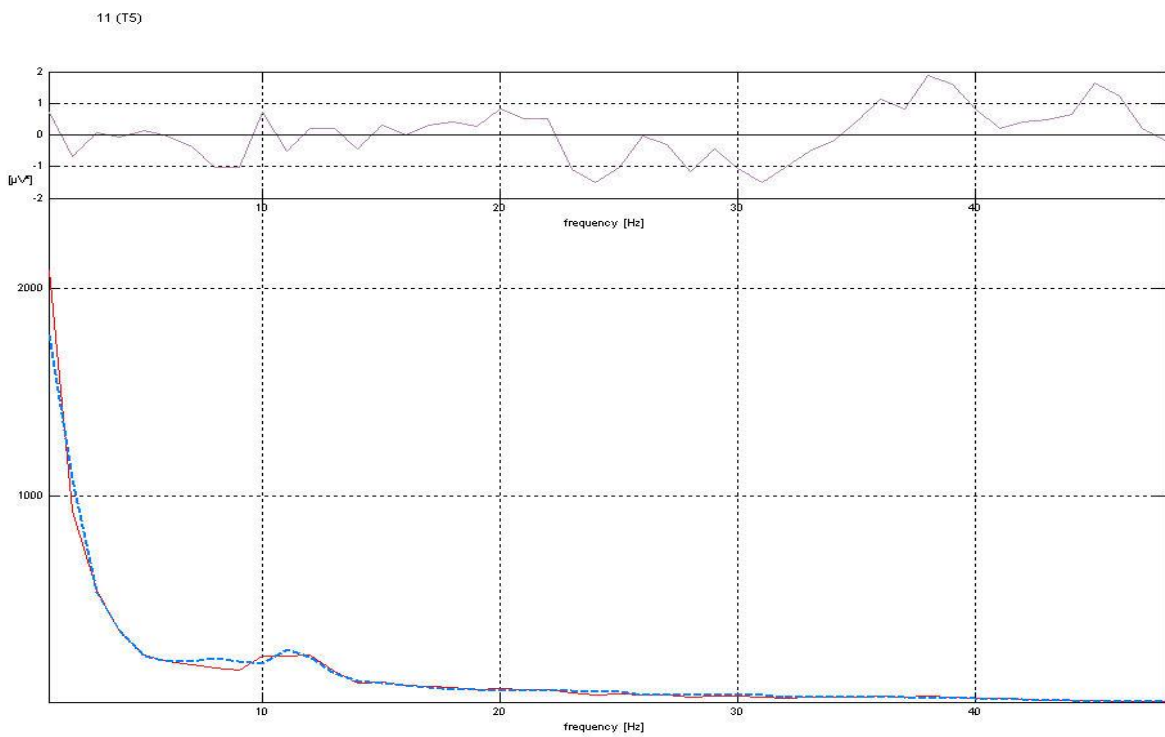


Σχήμα II.31. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7.

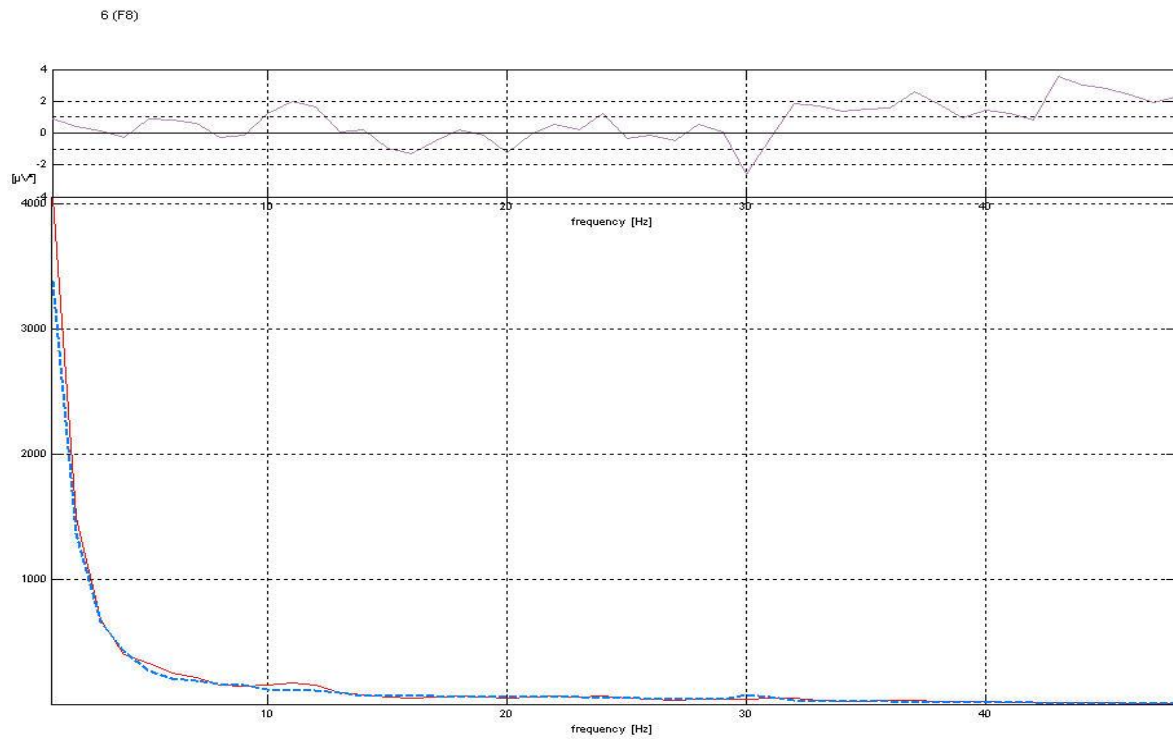




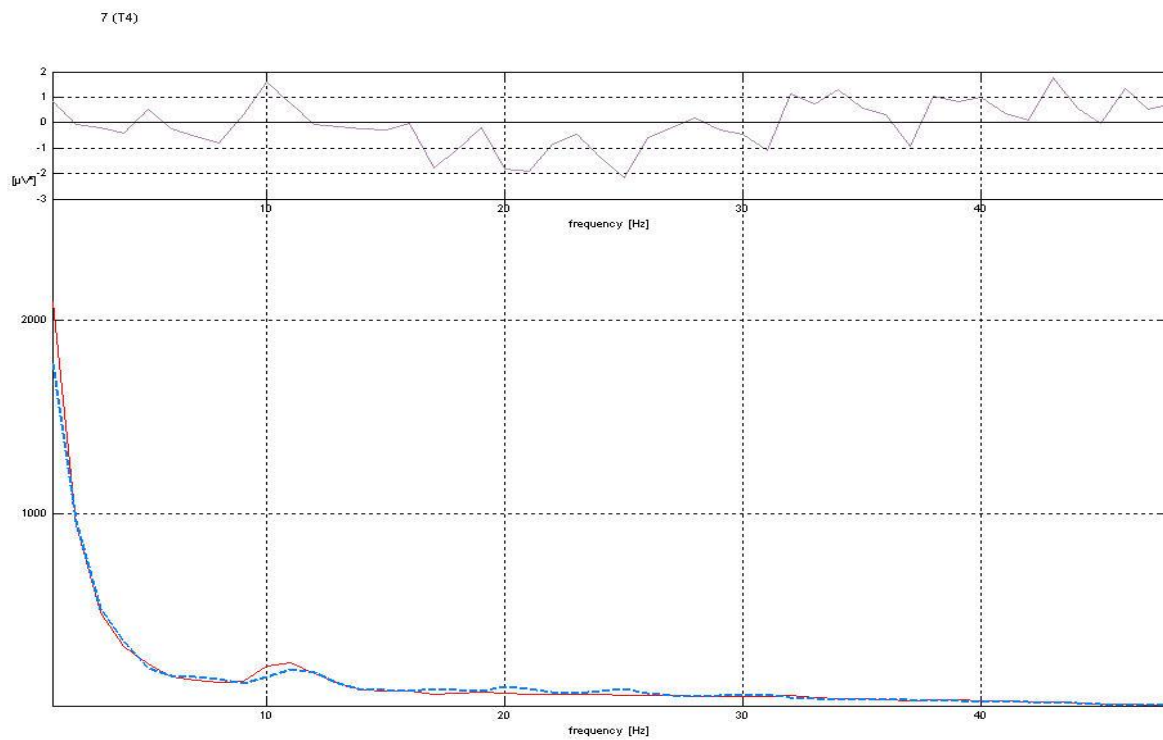
Σχήμα II.32. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3.



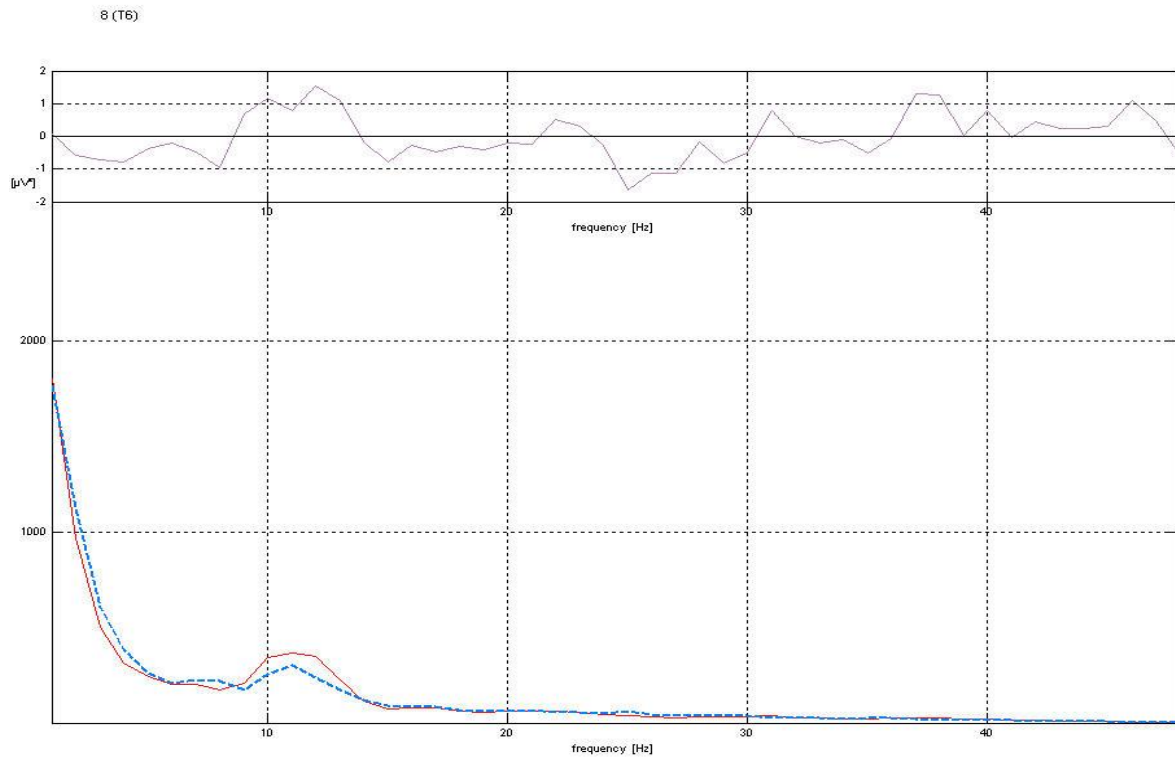
Σχήμα II.33. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5.



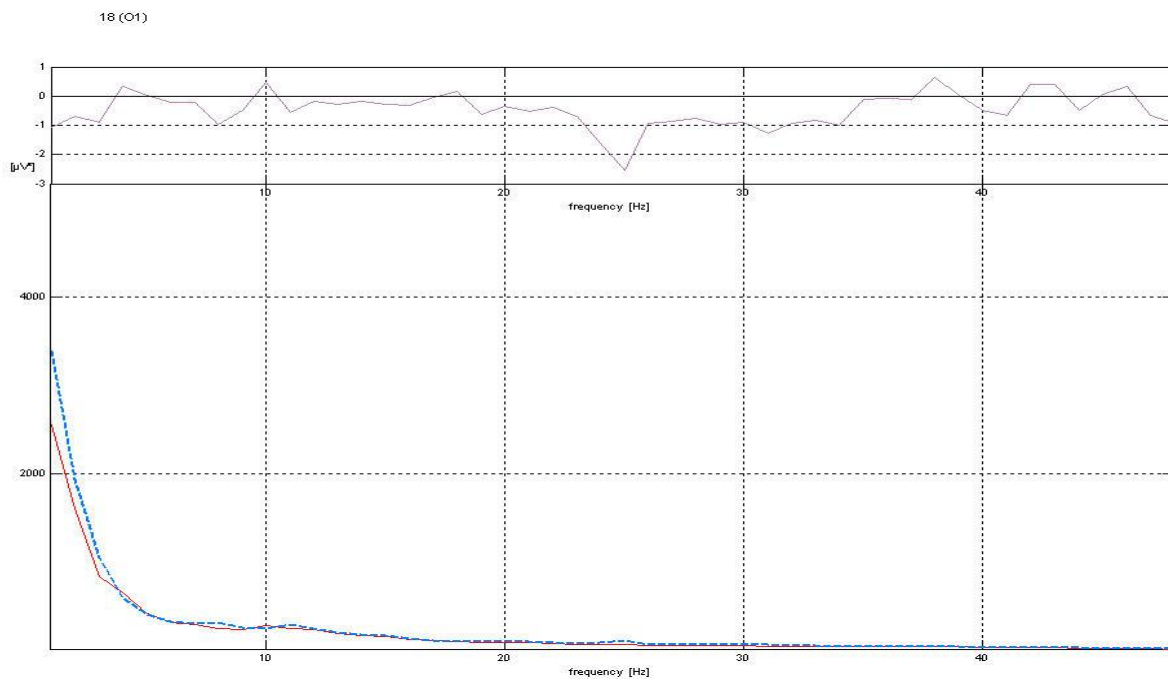
Σχήμα II.34. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8.



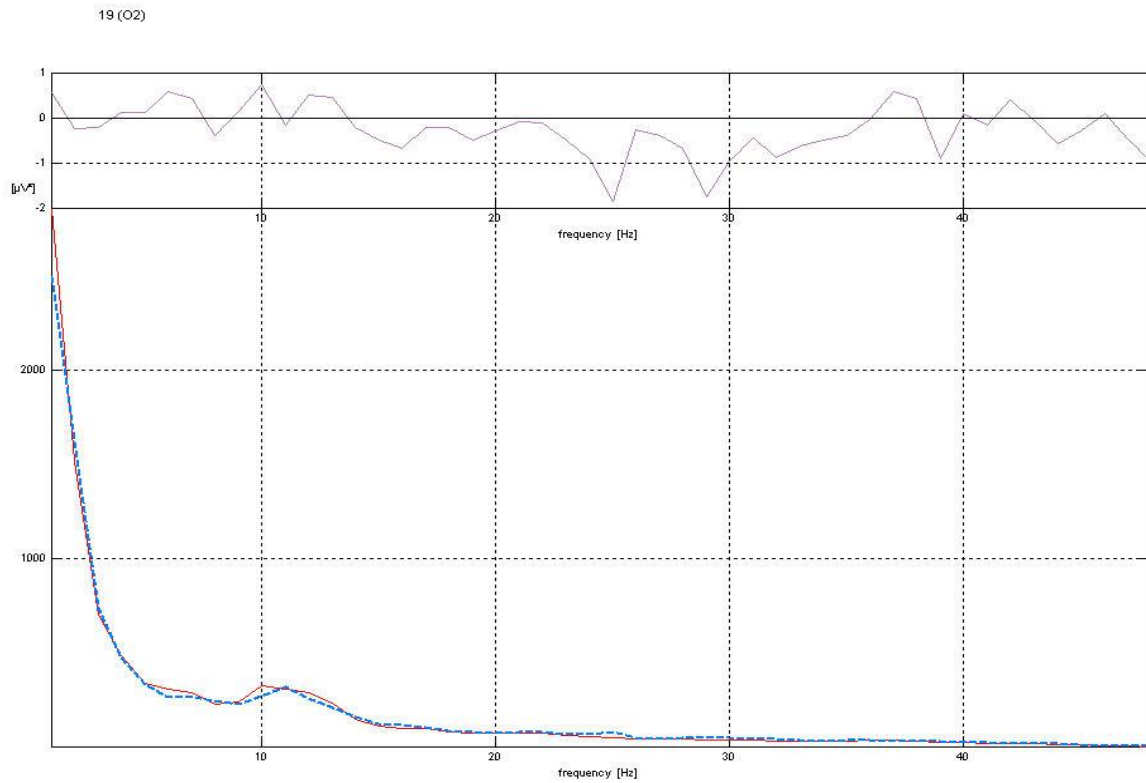
Σχήμα II.35. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4.



Σχήμα II.36. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6.

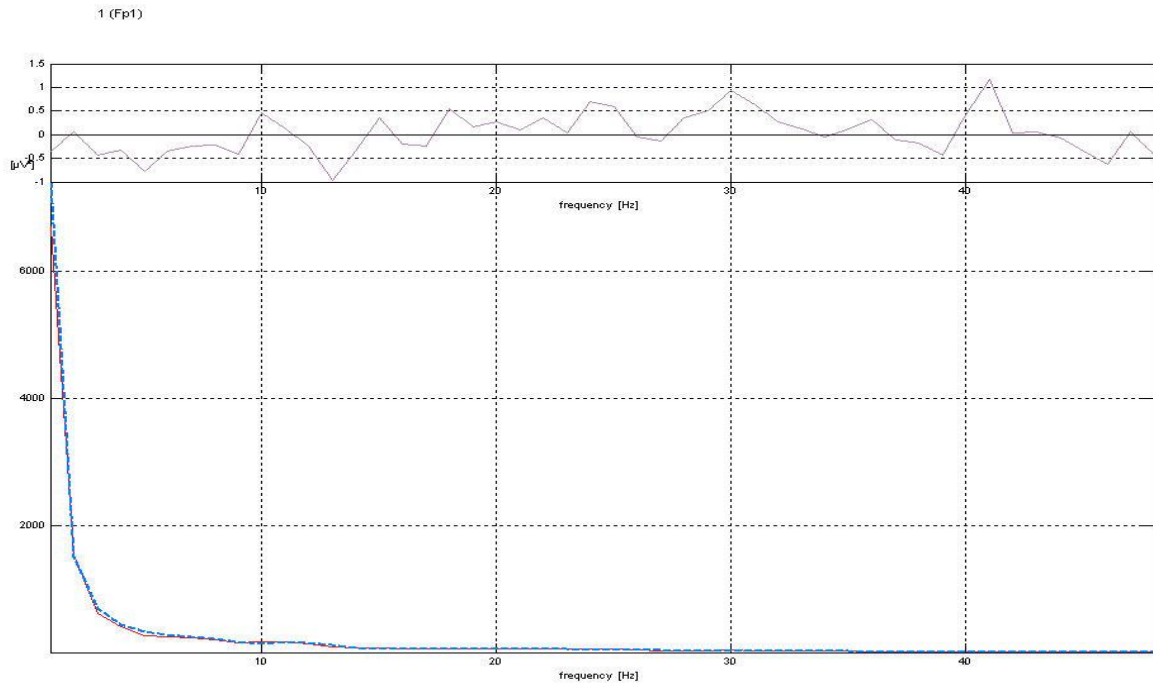


Σχήμα II.37. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1.

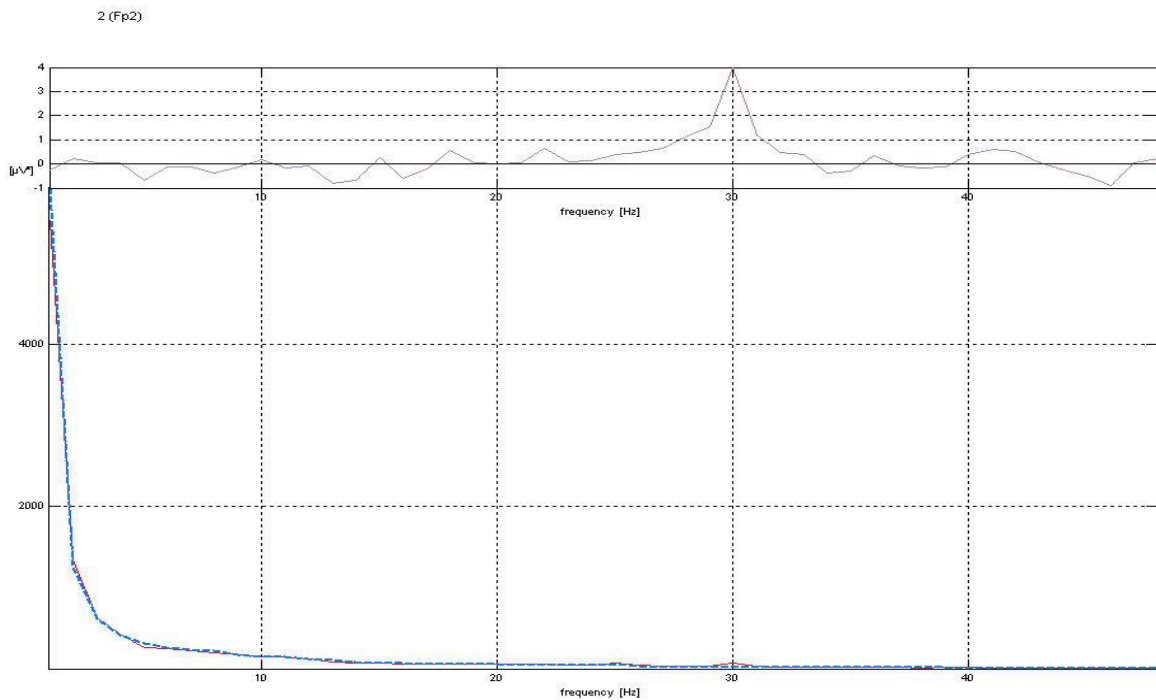


Σχήμα ΙΙ.38. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – πραγματικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2.

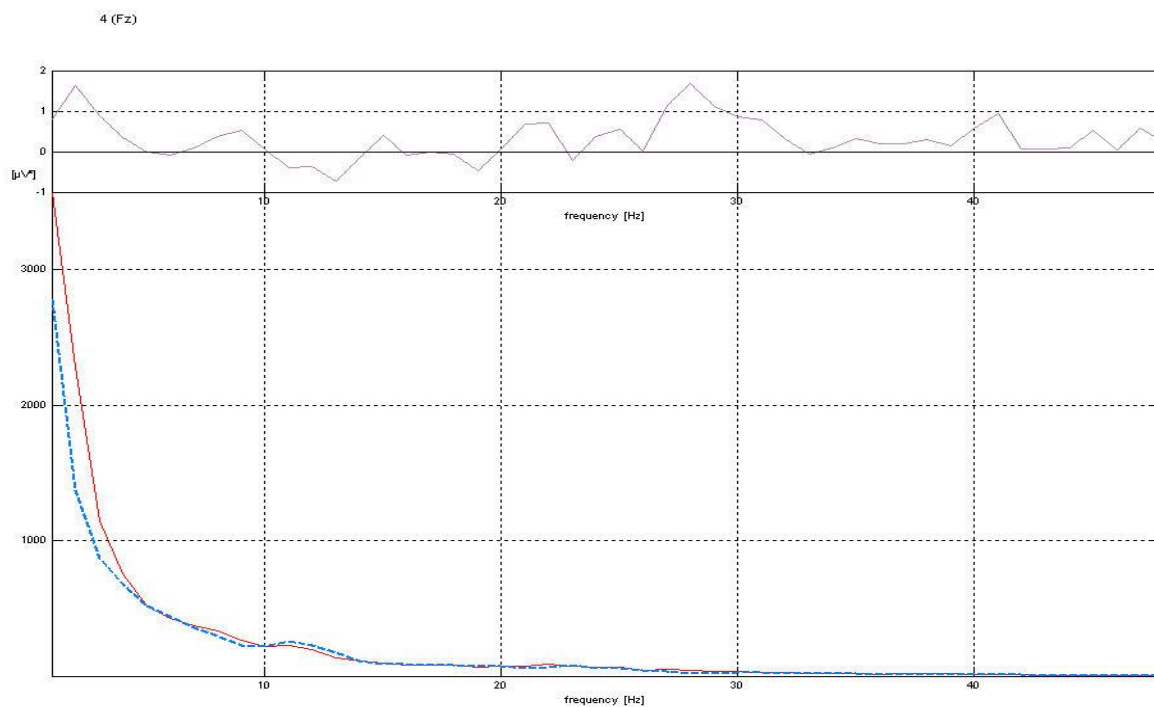
## Εικονικό μη στερεοσκοπικό και Εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον



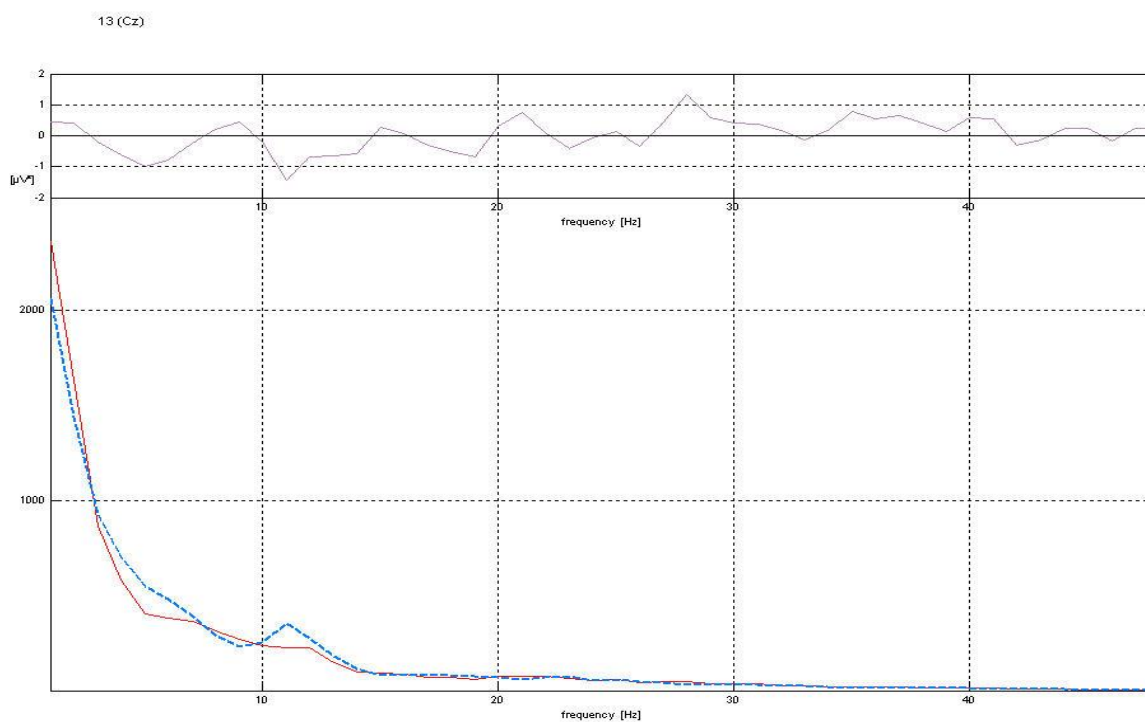
Σχήμα 11.39. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1.



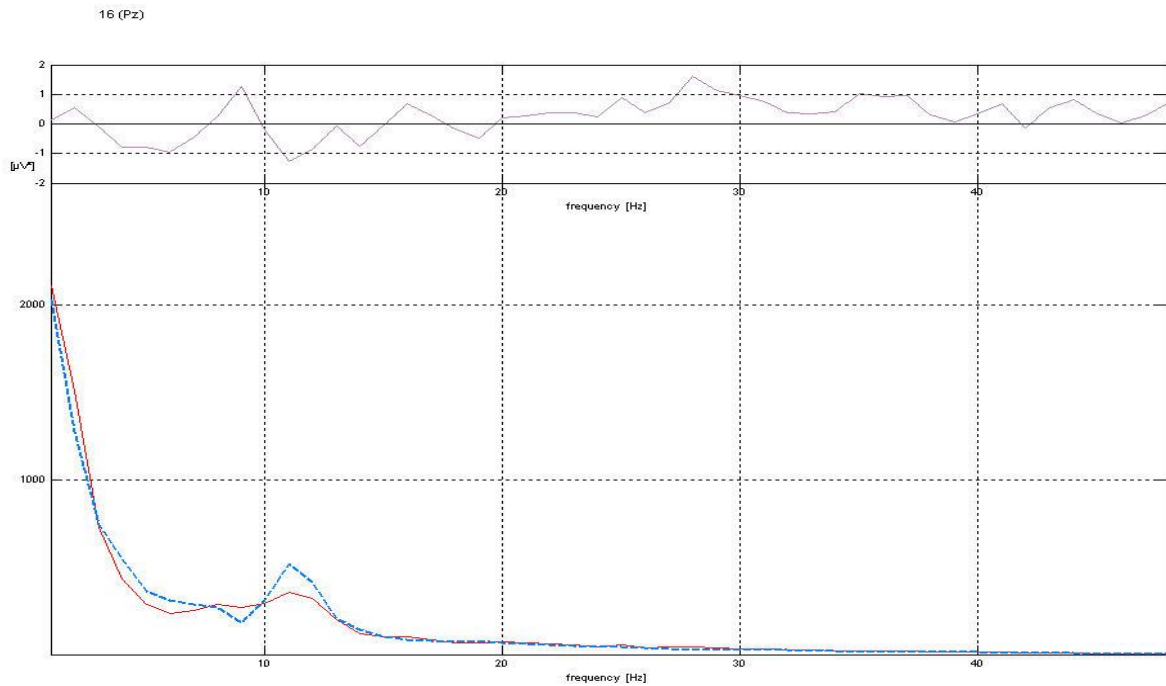
Σχήμα 11.40. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2.



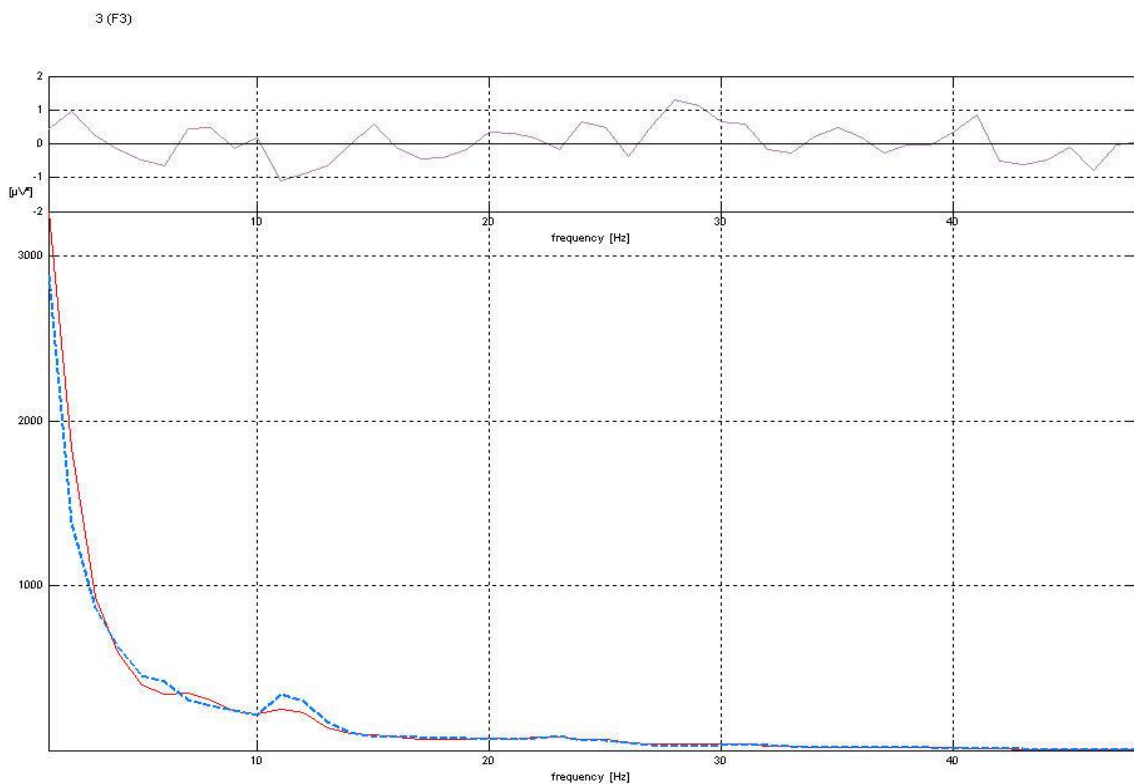
Σχήμα II.41. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz.



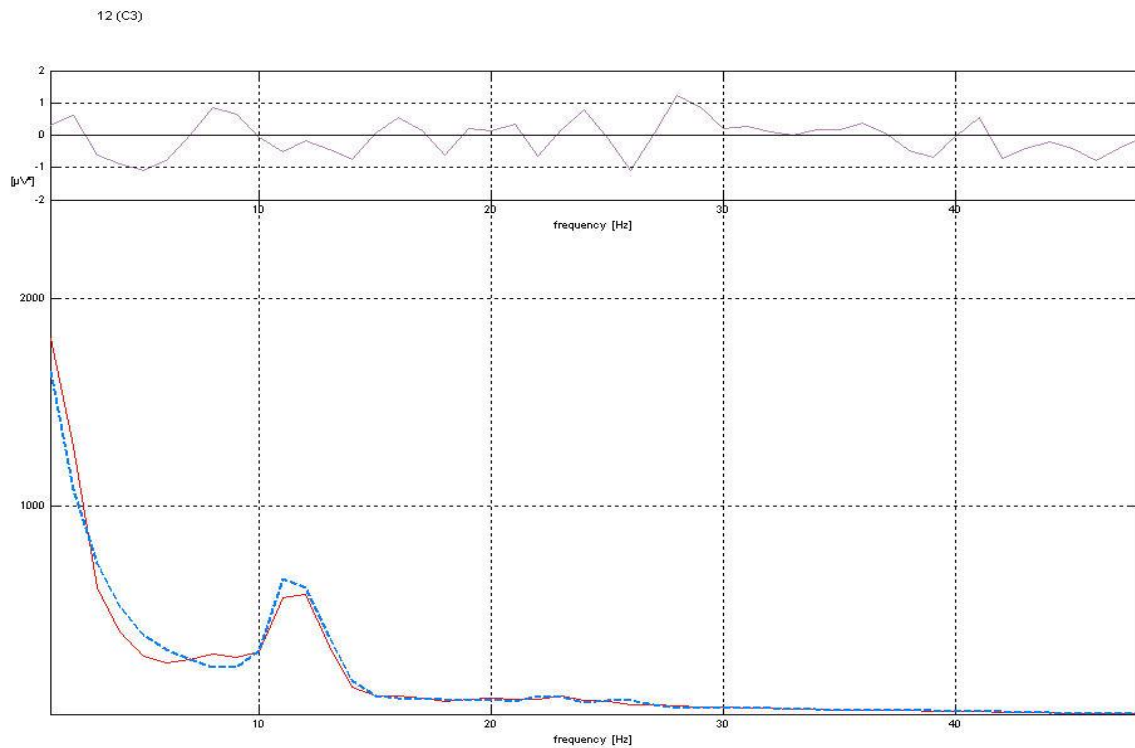
Σχήμα II.42. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz.



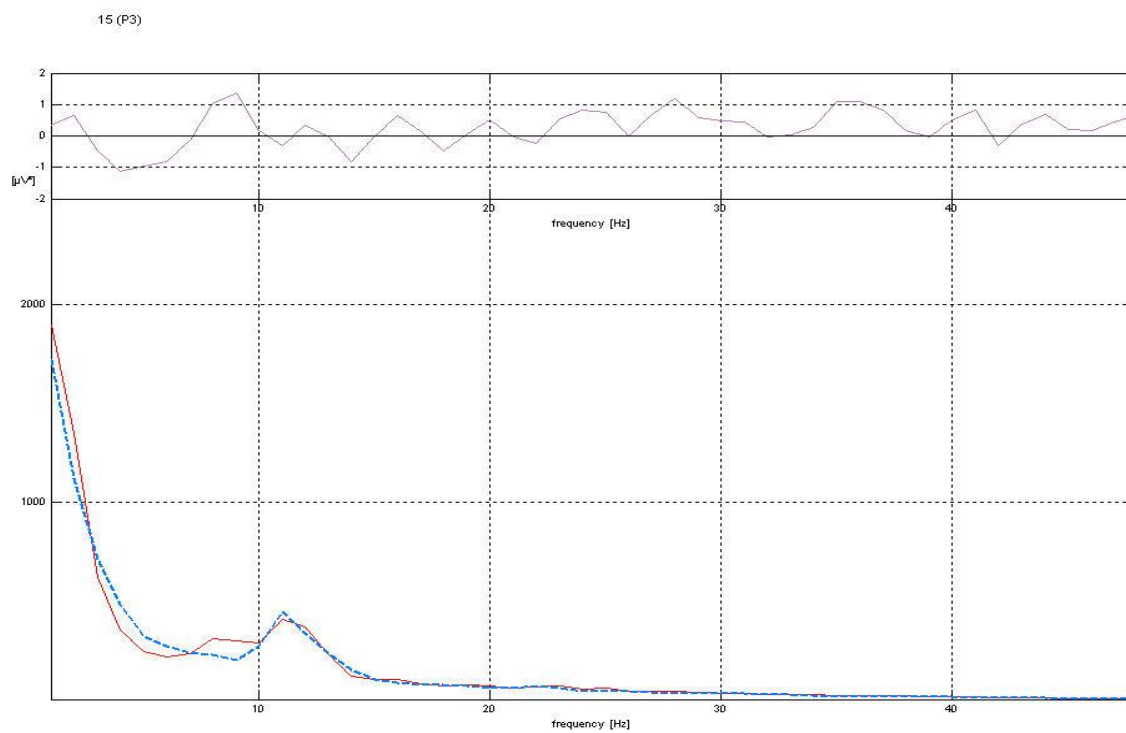
Σχήμα 11.43. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz.



Σχήμα 11.44. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3.

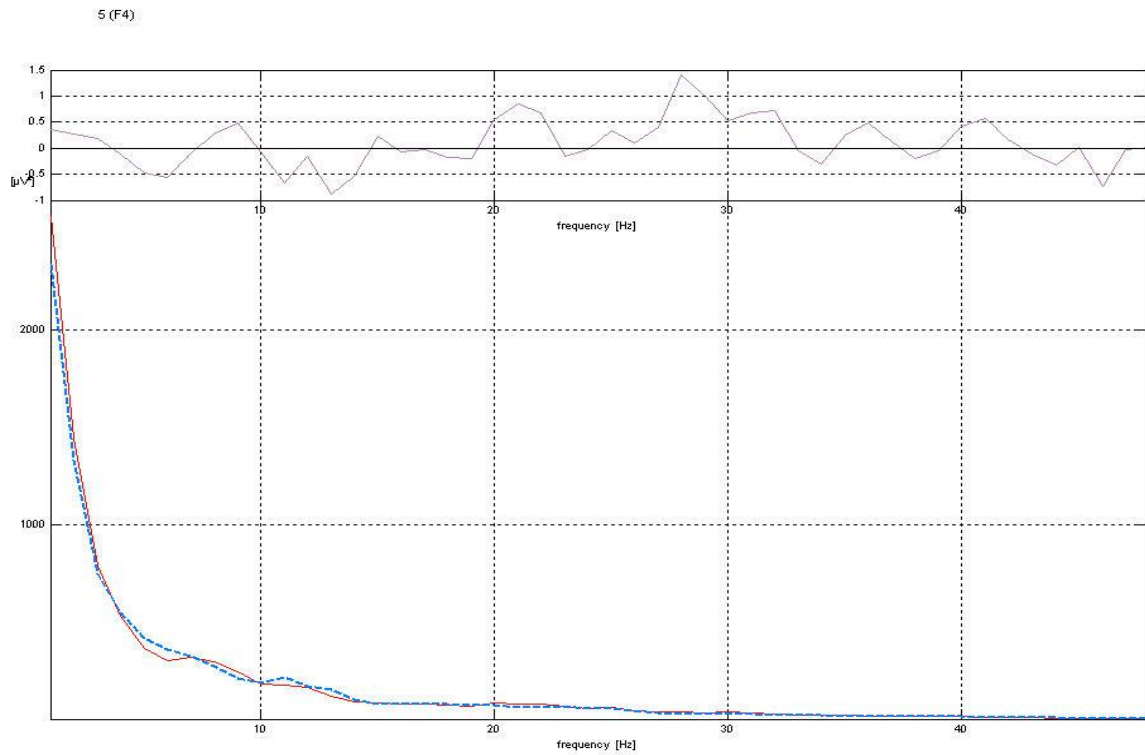


Σχήμα II.45. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3.

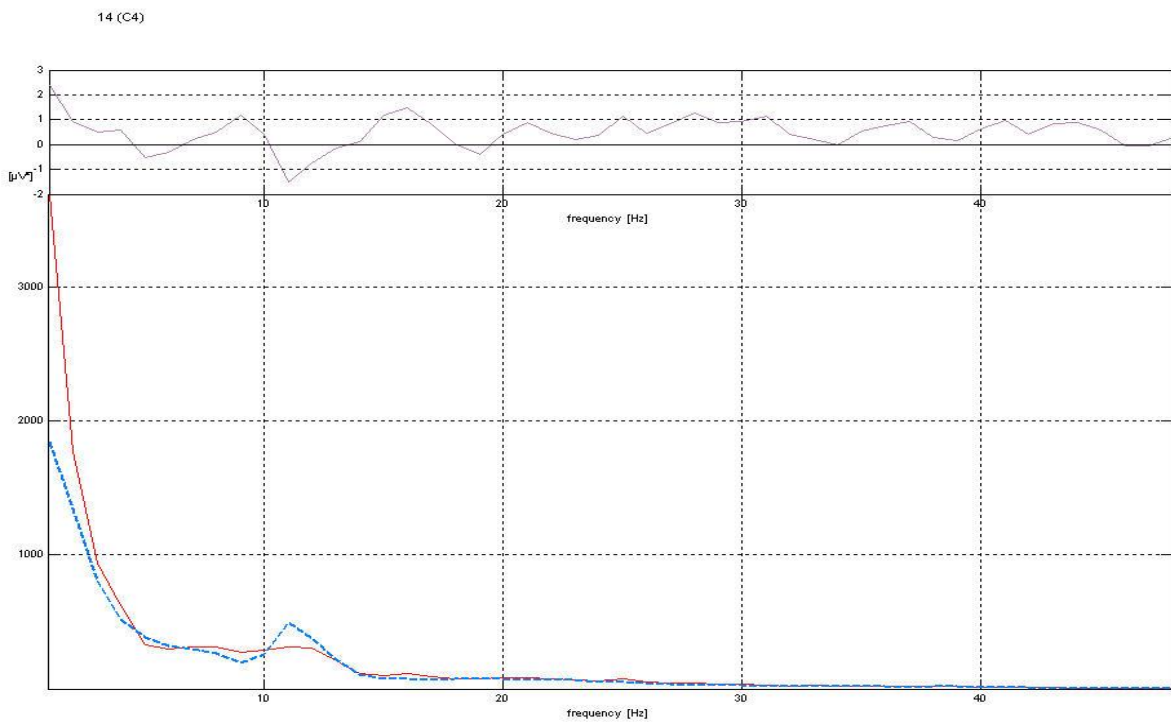


Σχήμα II.46. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3.

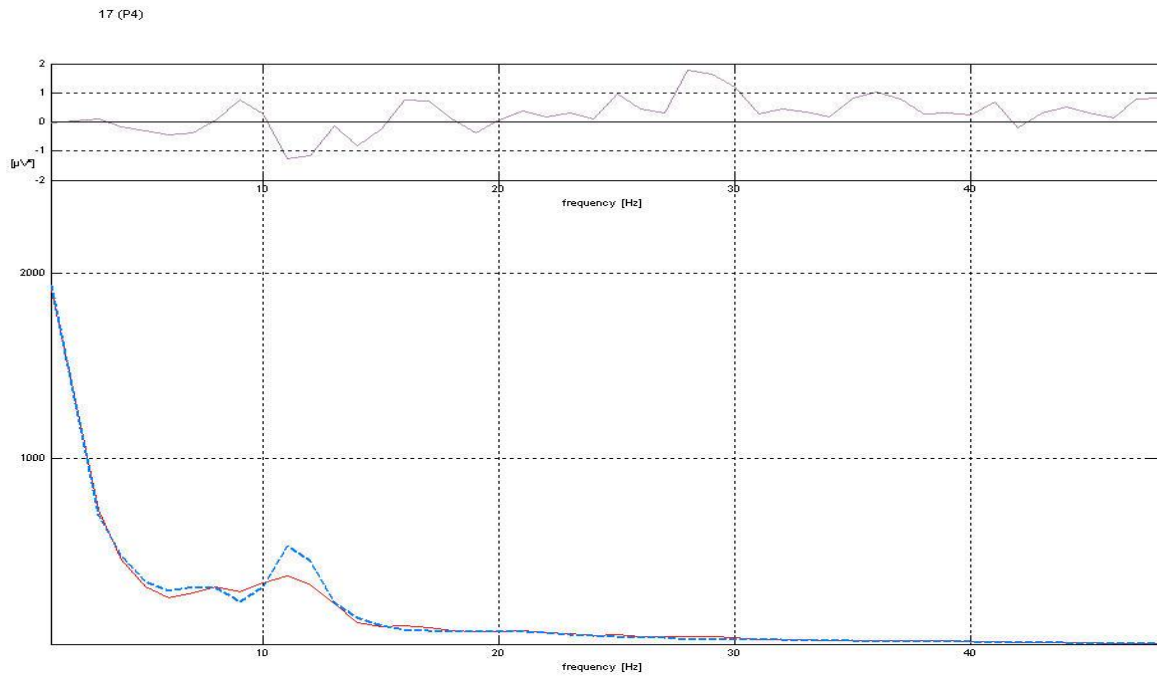




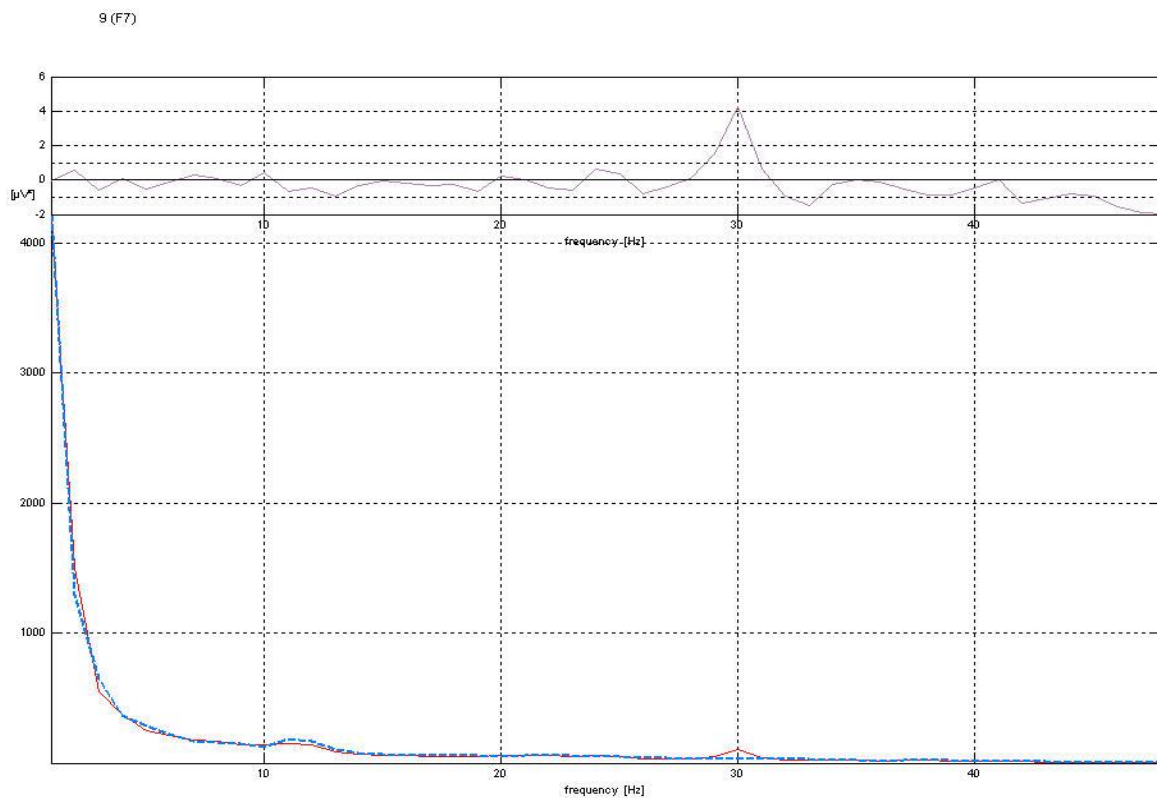
Σχήμα 11.47. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4.



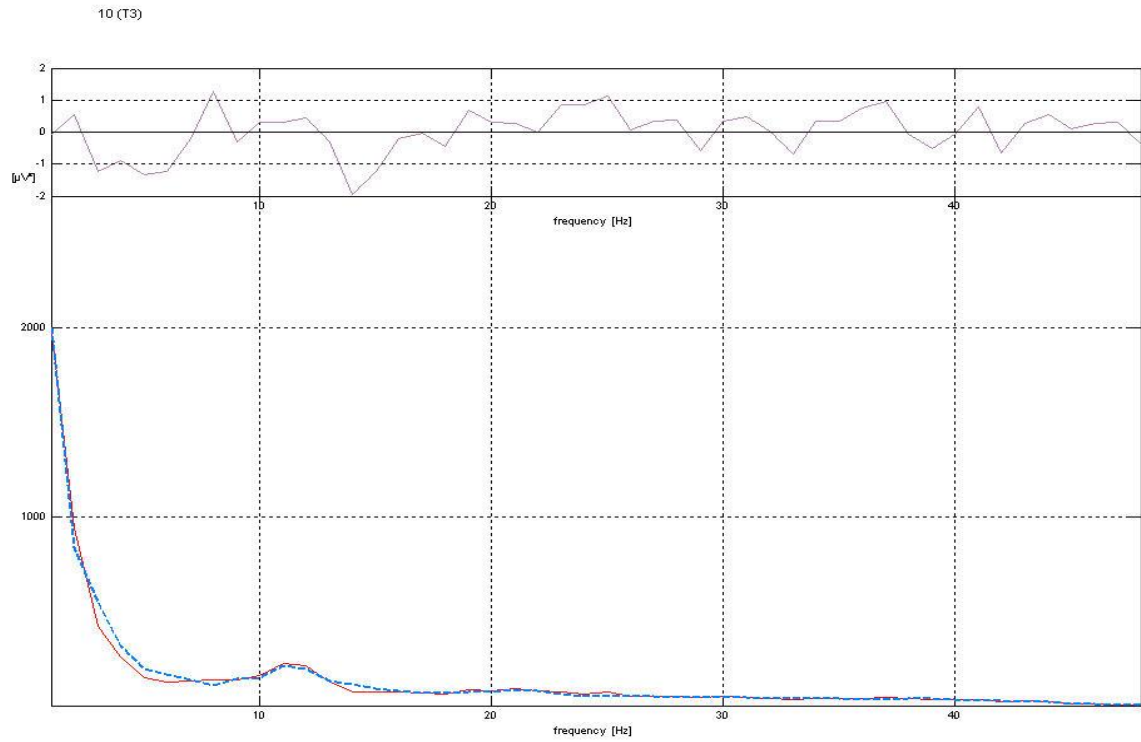
Σχήμα 11.48. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4.



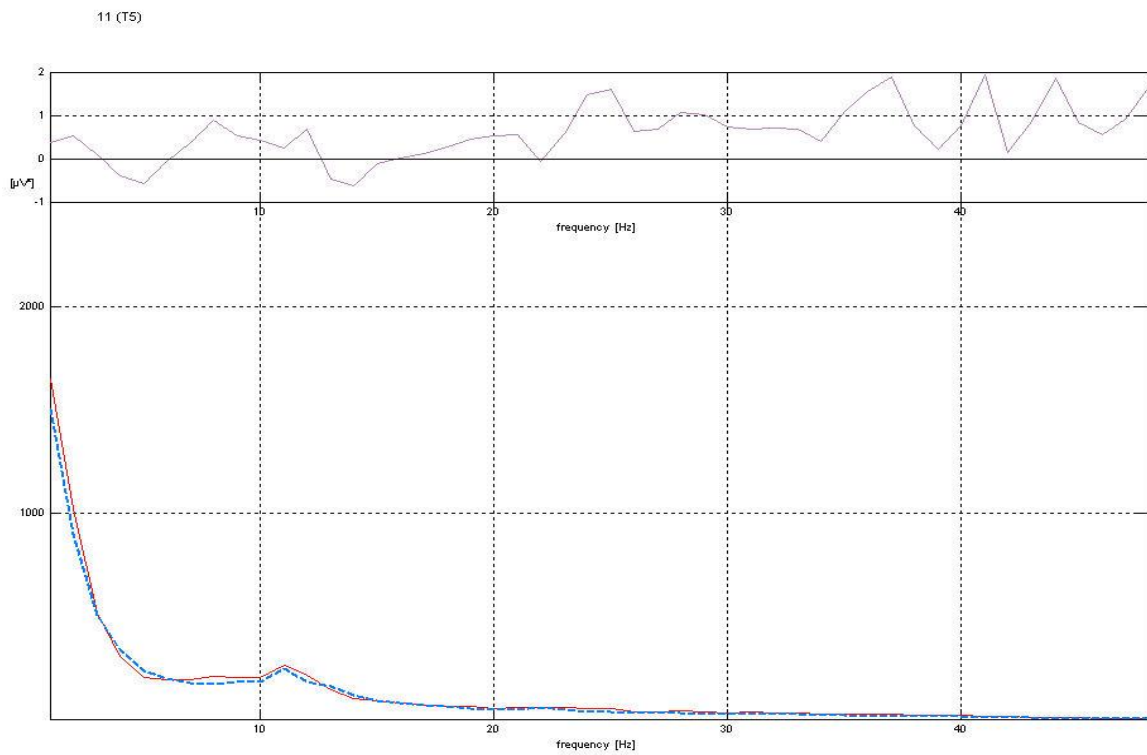
Σχήμα II.49. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4.



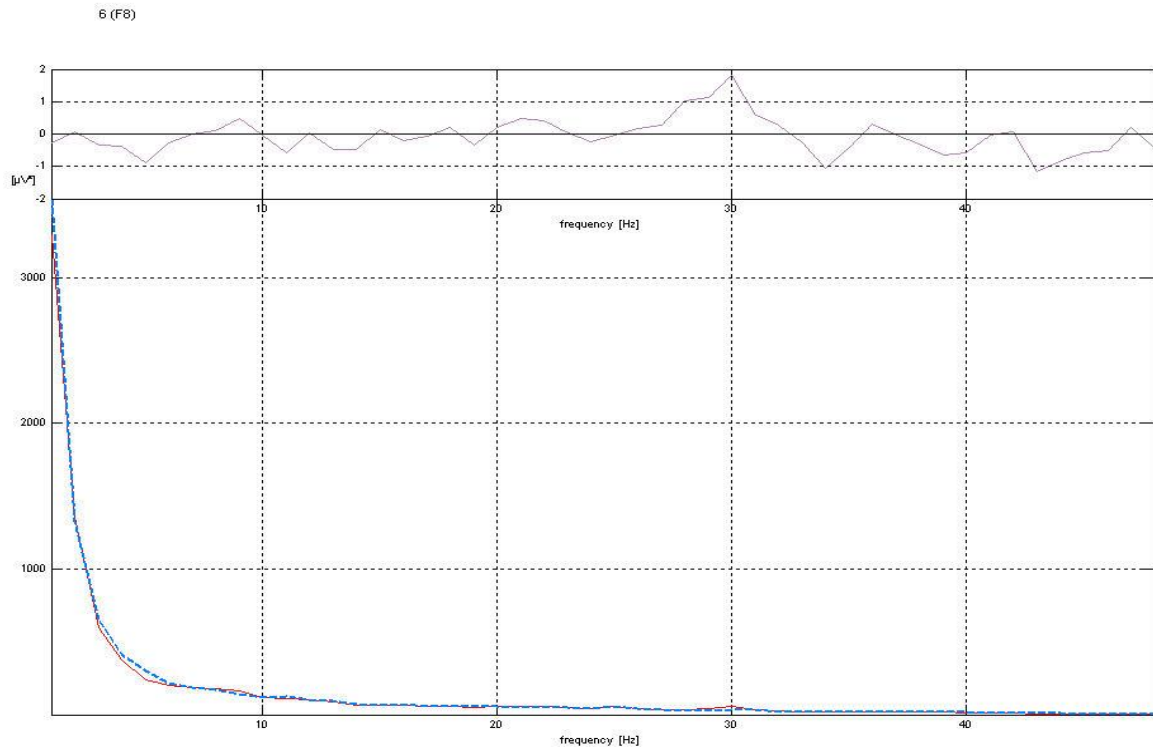
Σχήμα II.50. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7.



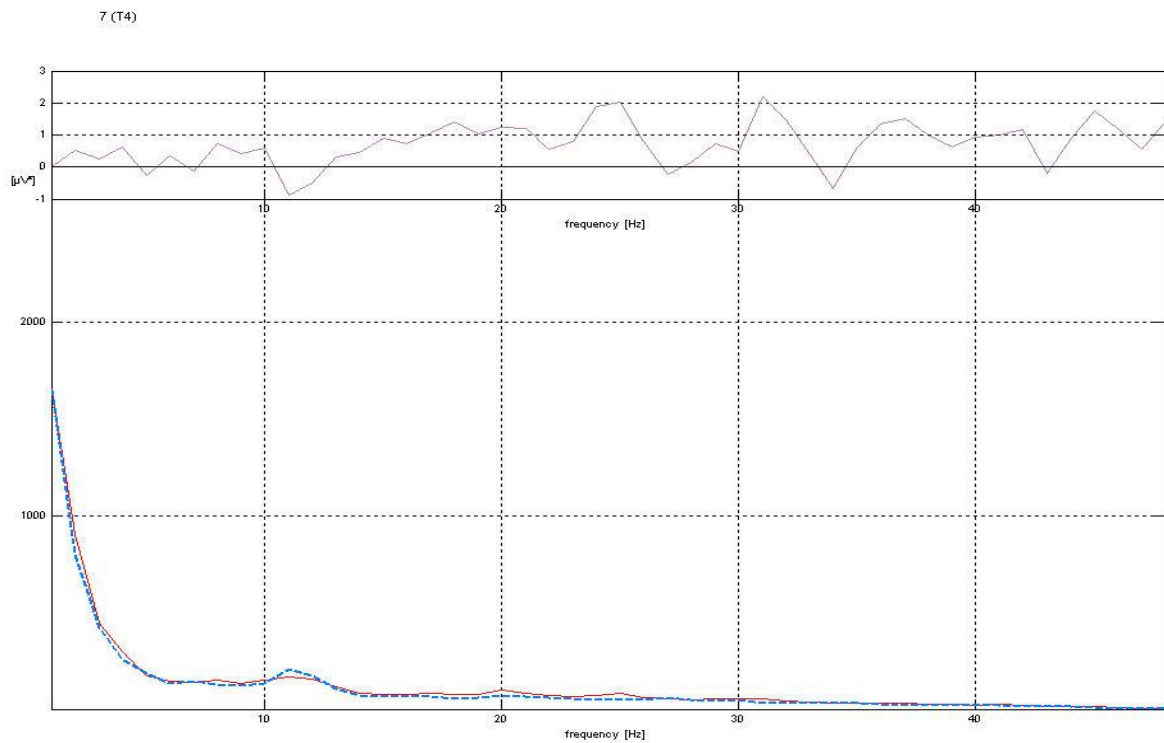
Σχήμα II.51. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3.



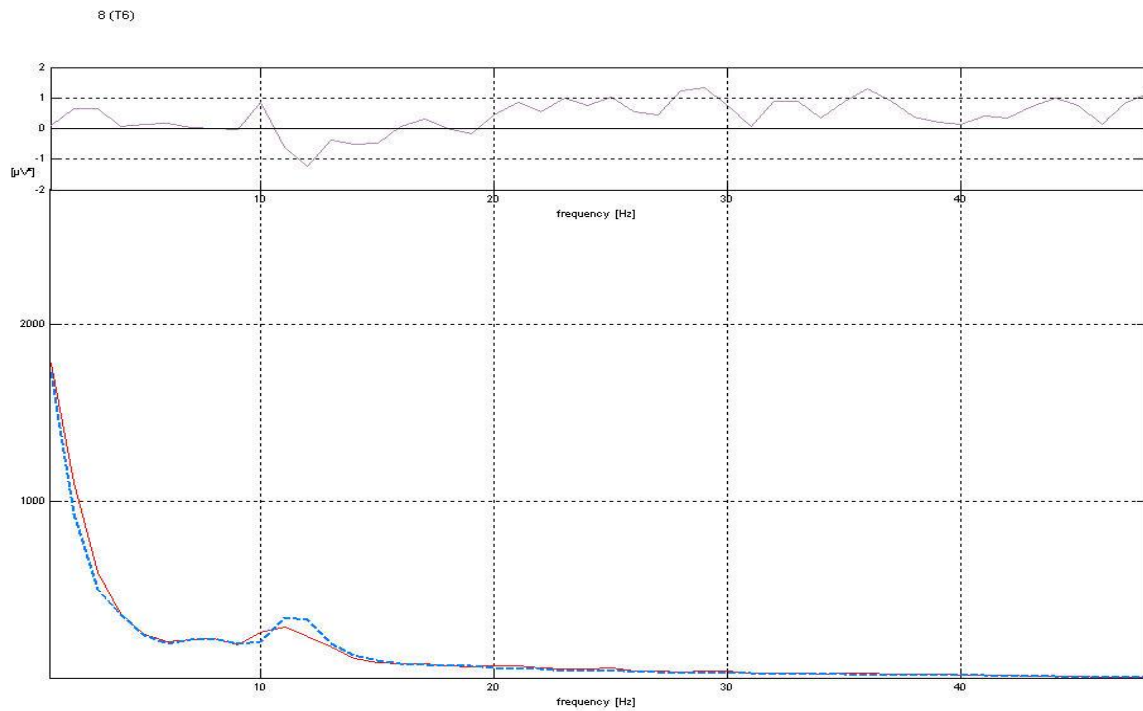
Σχήμα II.52. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5.



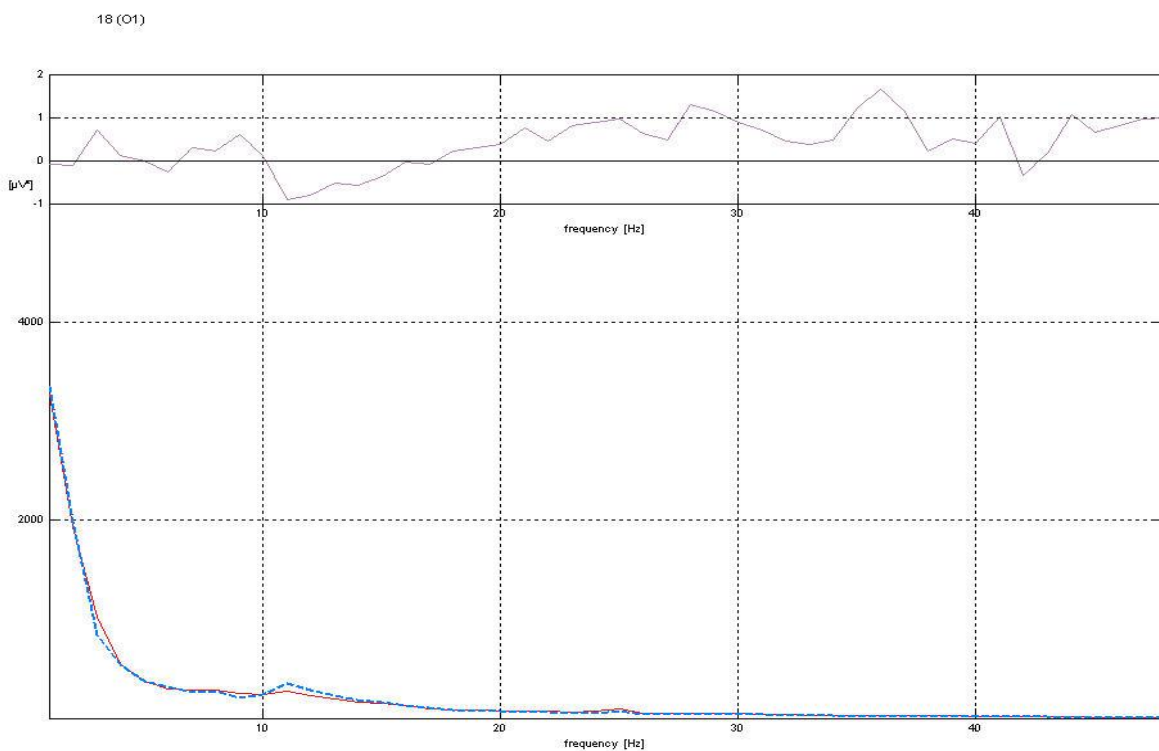
Σχήμα II.53. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8.



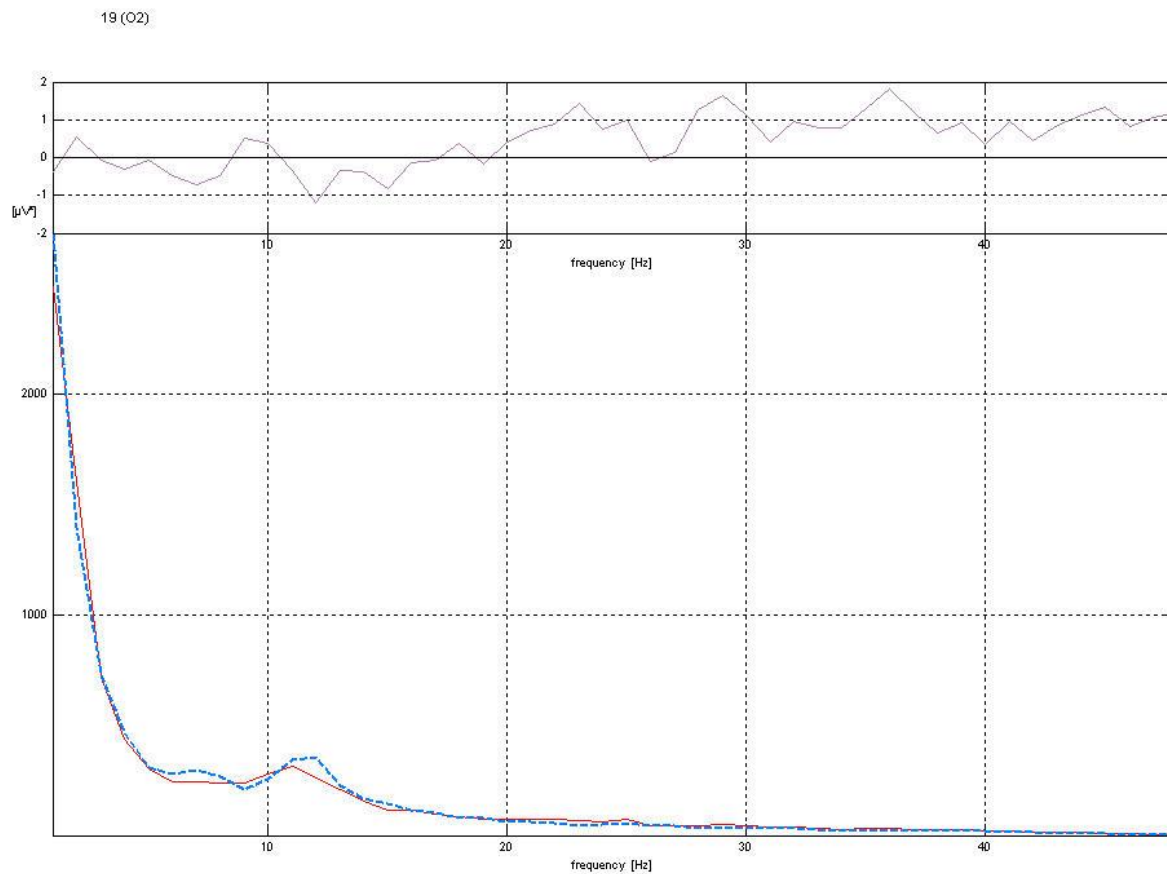
Σχήμα II.54. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4.



Σχήμα 11.55. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6.



Σχήμα 11.56. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1.



Σχήμα II.57. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2.

---

# Παράρτημα III

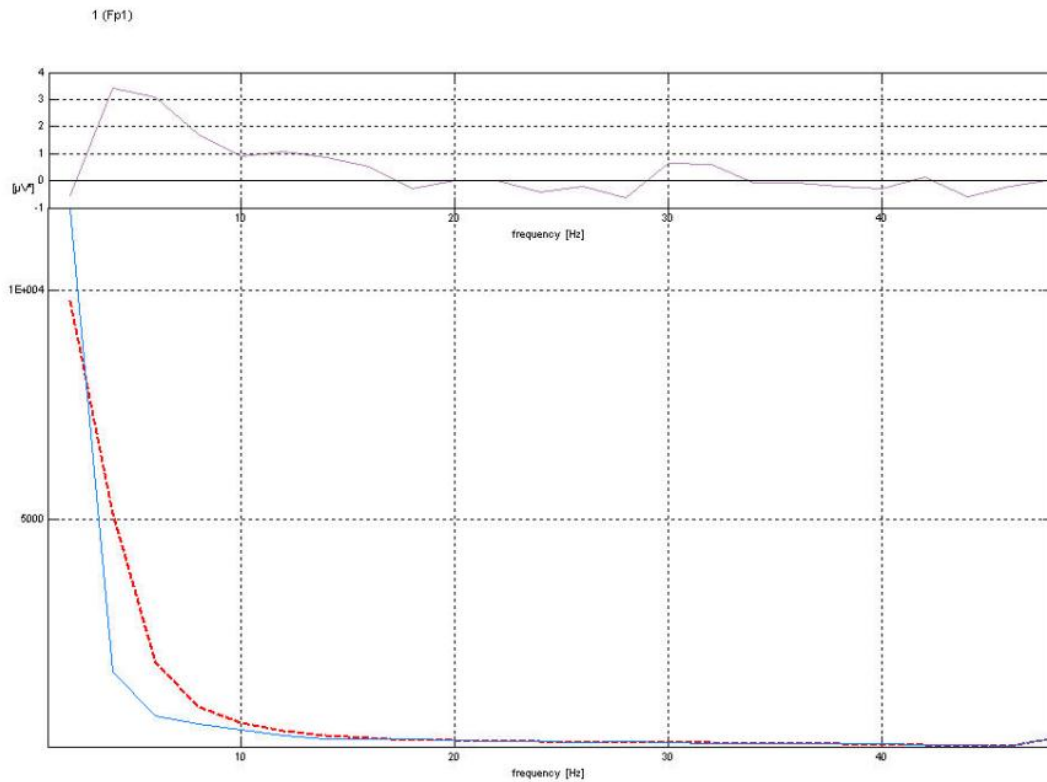
---

Στο Παράρτημα III παρουσιάζονται τα φάσματα απόλυτης ισχύος εγκεφαλικών ρυθμών για κάθε θέση ηλεκτροδίου και για κάθε σύγκριση των ανά δύο περιβαλλόντων της κύριας έρευνας που αφορούν την πρώτη διεργασία.

## Κύρια Έρευνα

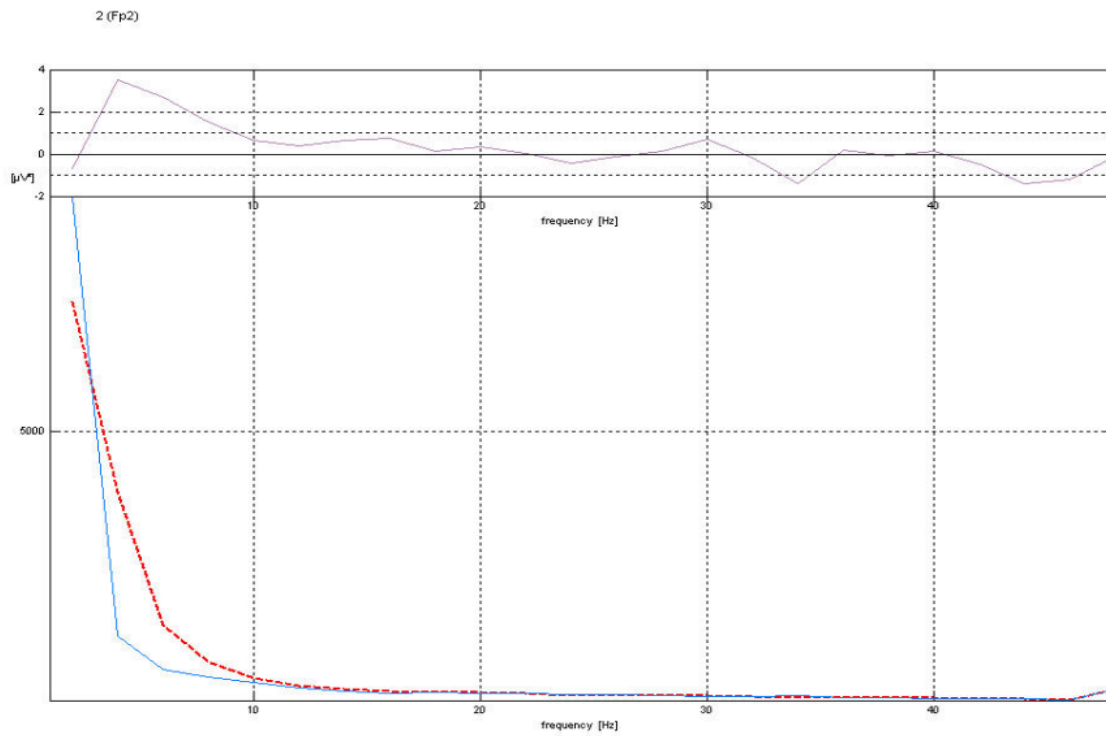
### Πρώτη επαφή με το περιβάλλον

#### Πραγματικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον

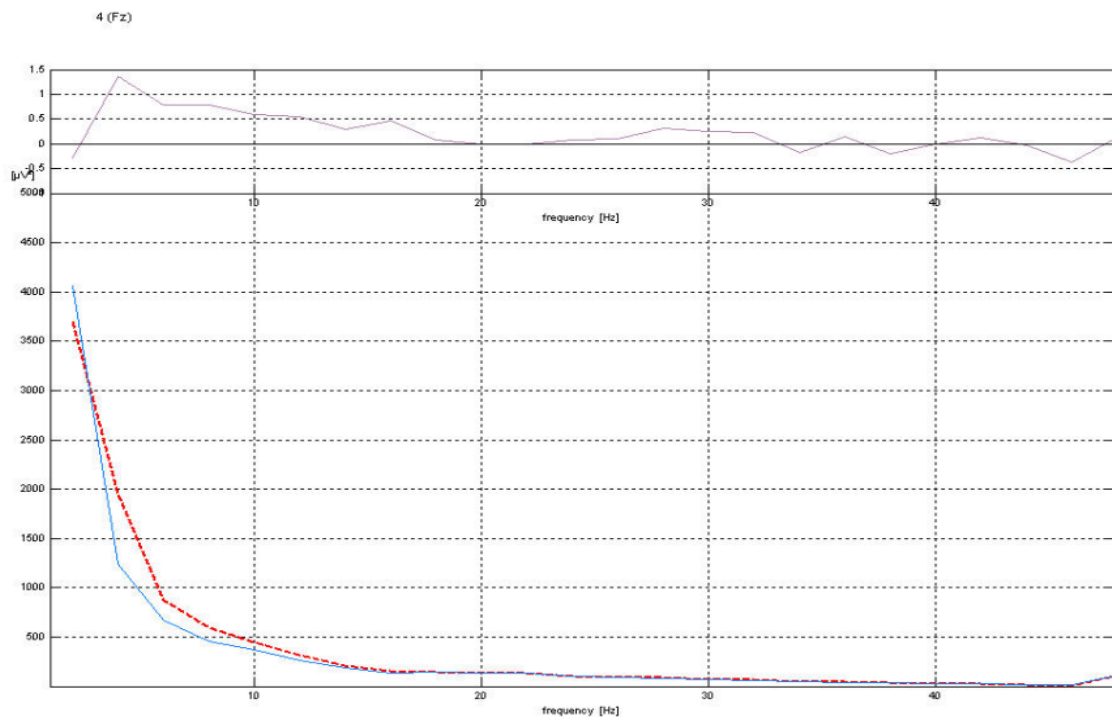


Σχήμα III.1. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1.

---

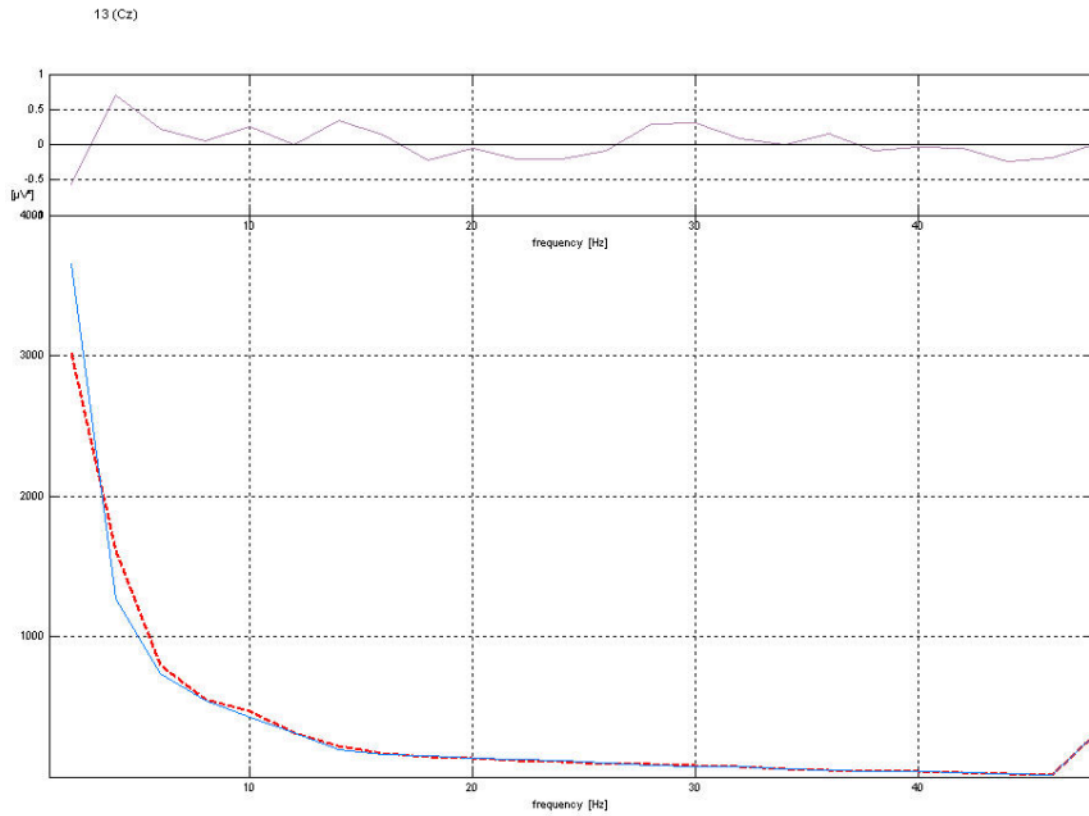


Σχήμα ΙΙΙ.2. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2 .

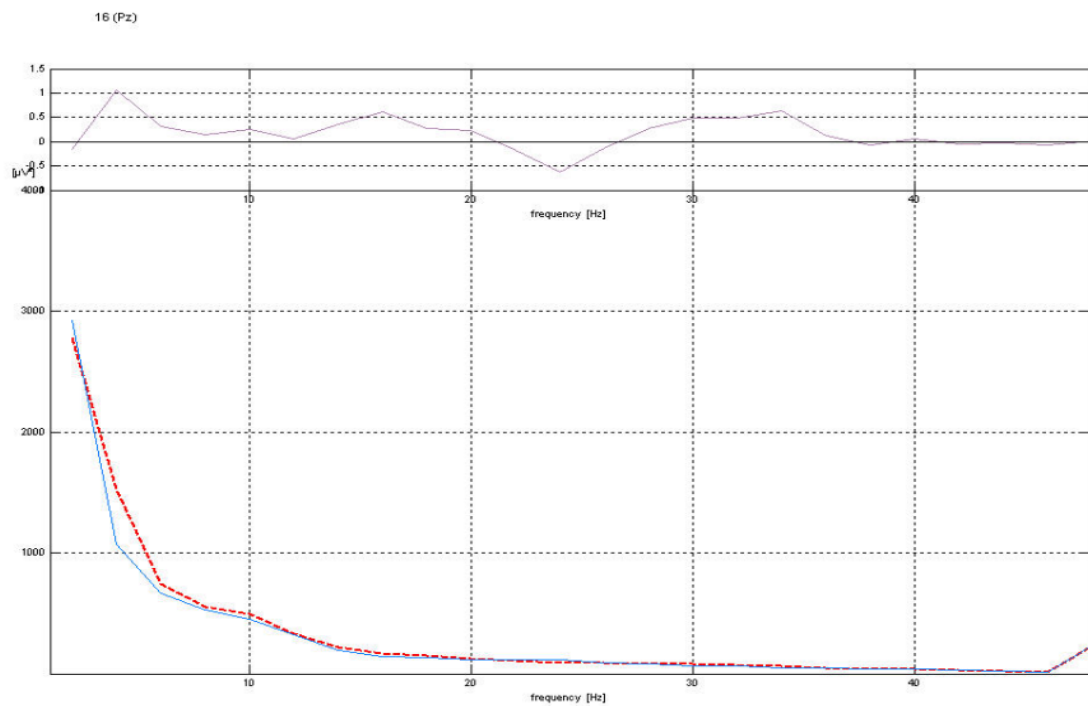


Σχήμα ΙΙΙ.3. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz.

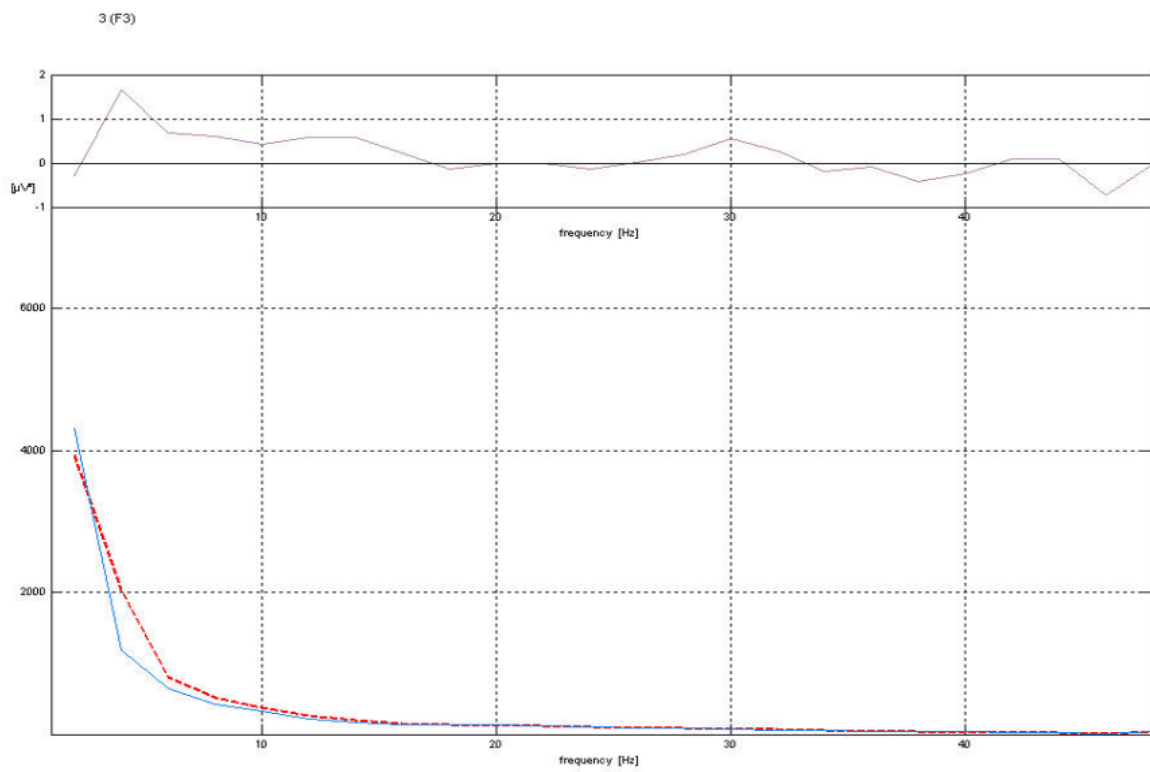




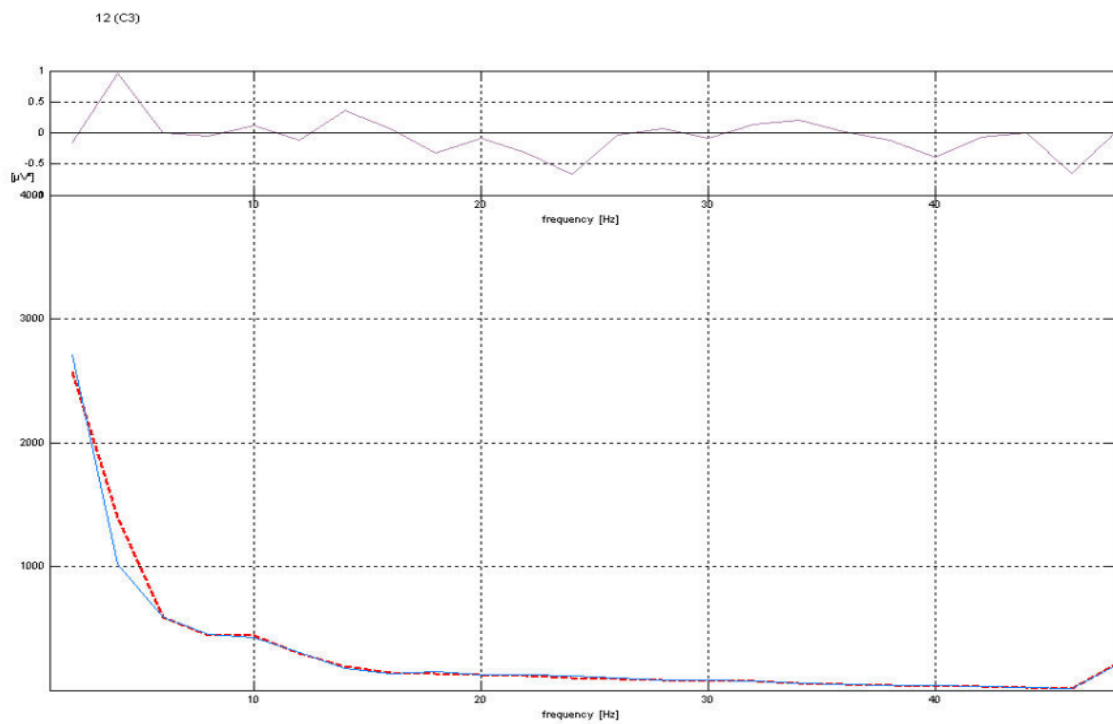
Σχήμα III.4. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz.



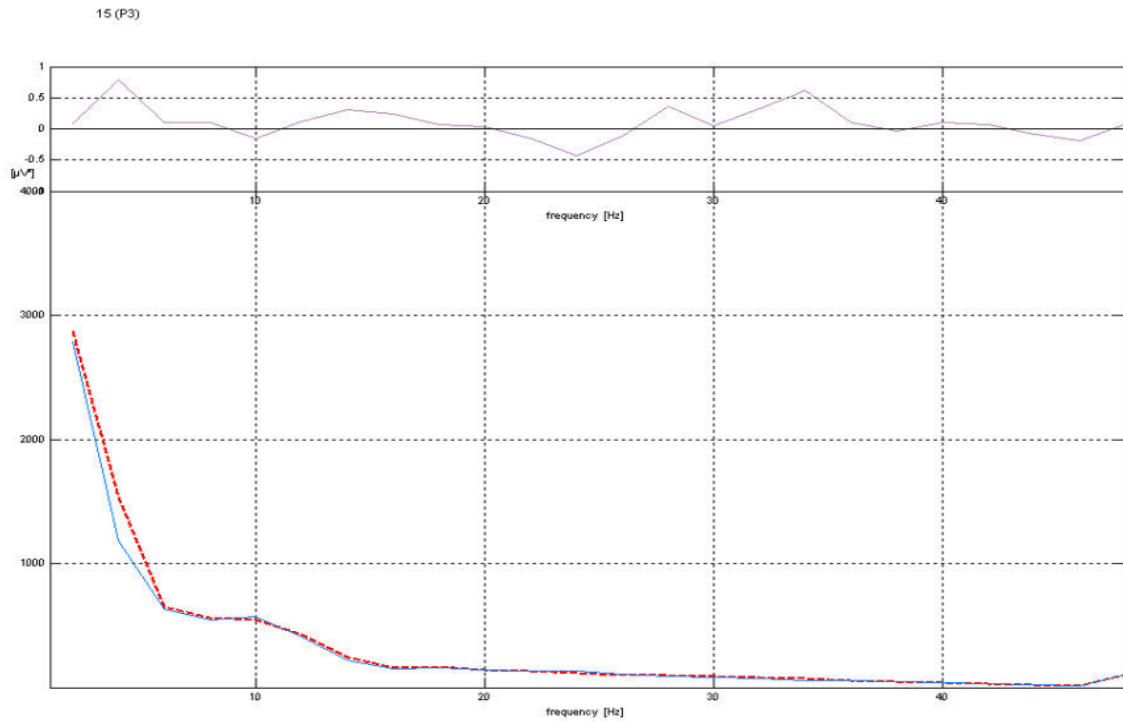
Σχήμα III.5. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz.



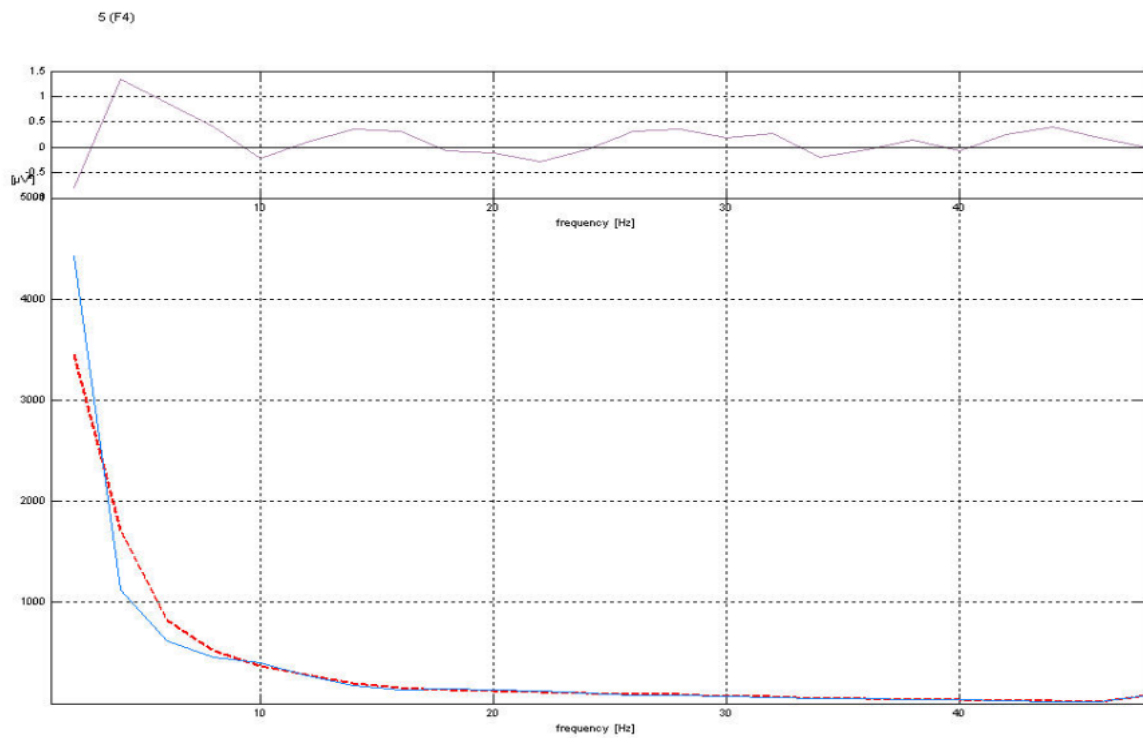
Σχήμα ΙΙΙ.6. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3.



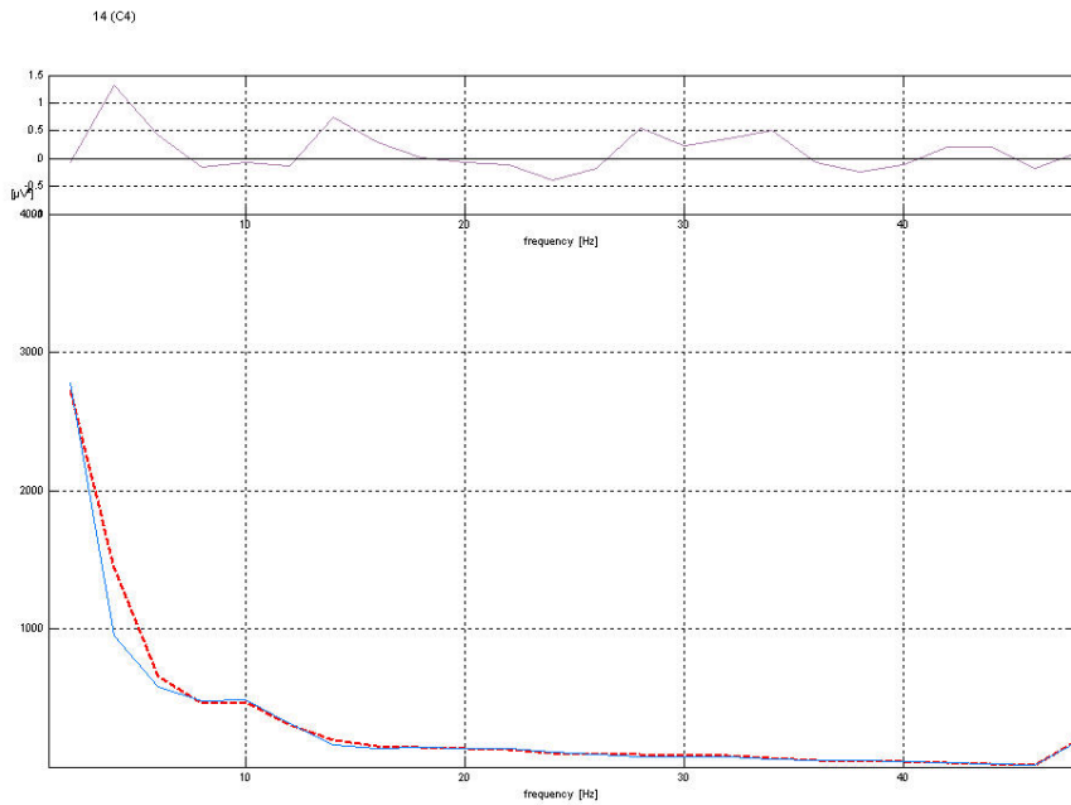
Σχήμα ΙΙΙ.7. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3.



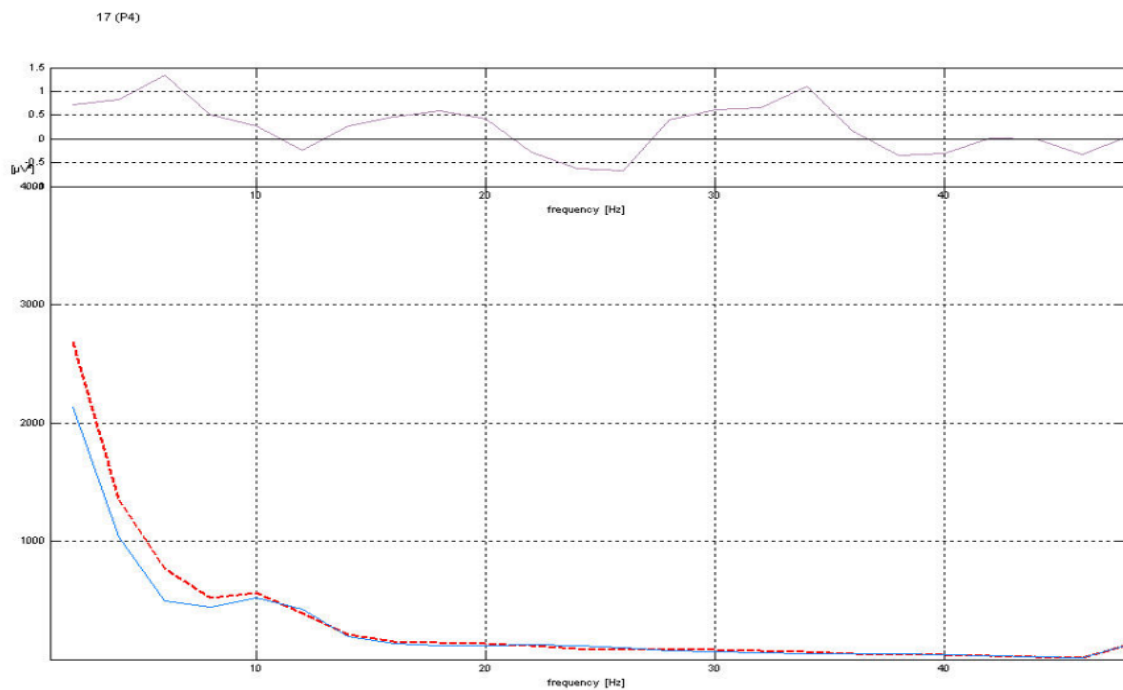
Σχήμα III.8. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3.



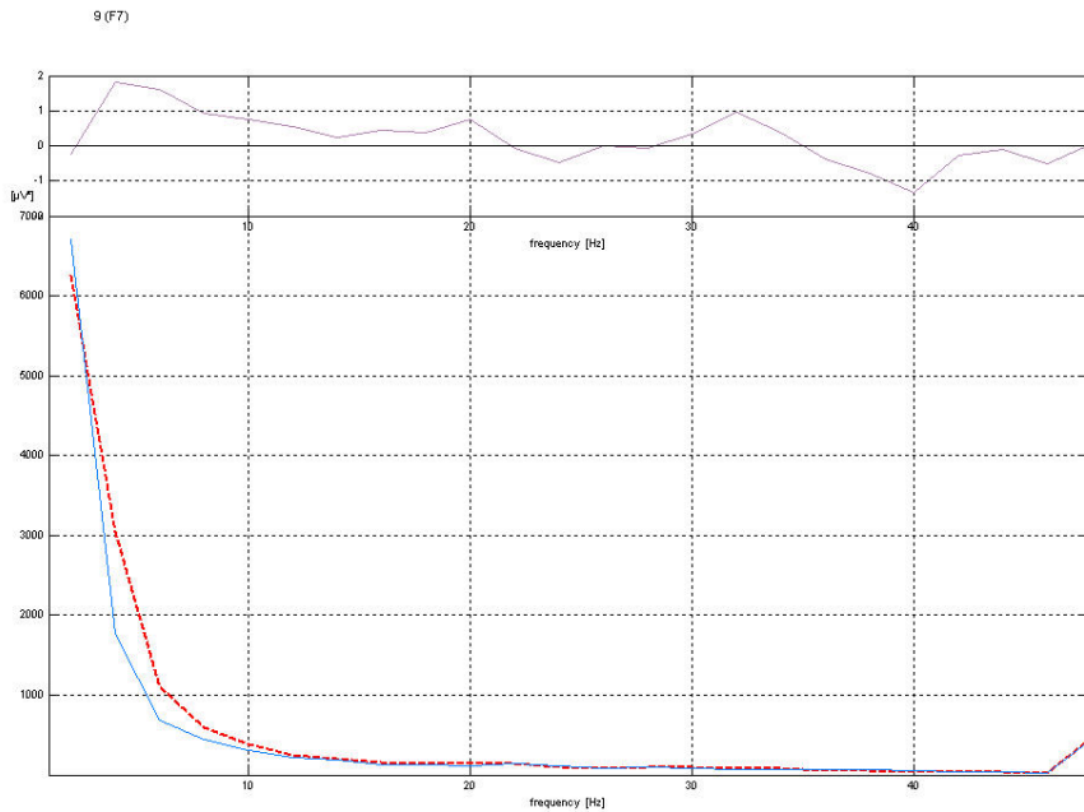
Σχήμα III.9. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4.



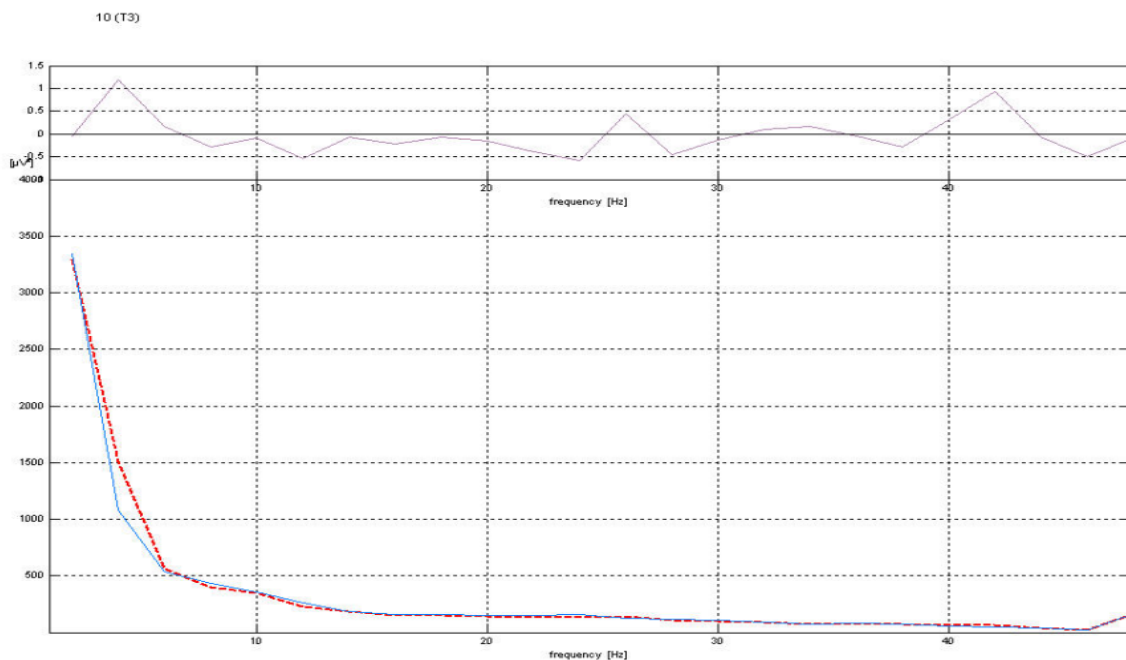
Σχήμα ΙΙΙ.10. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4.



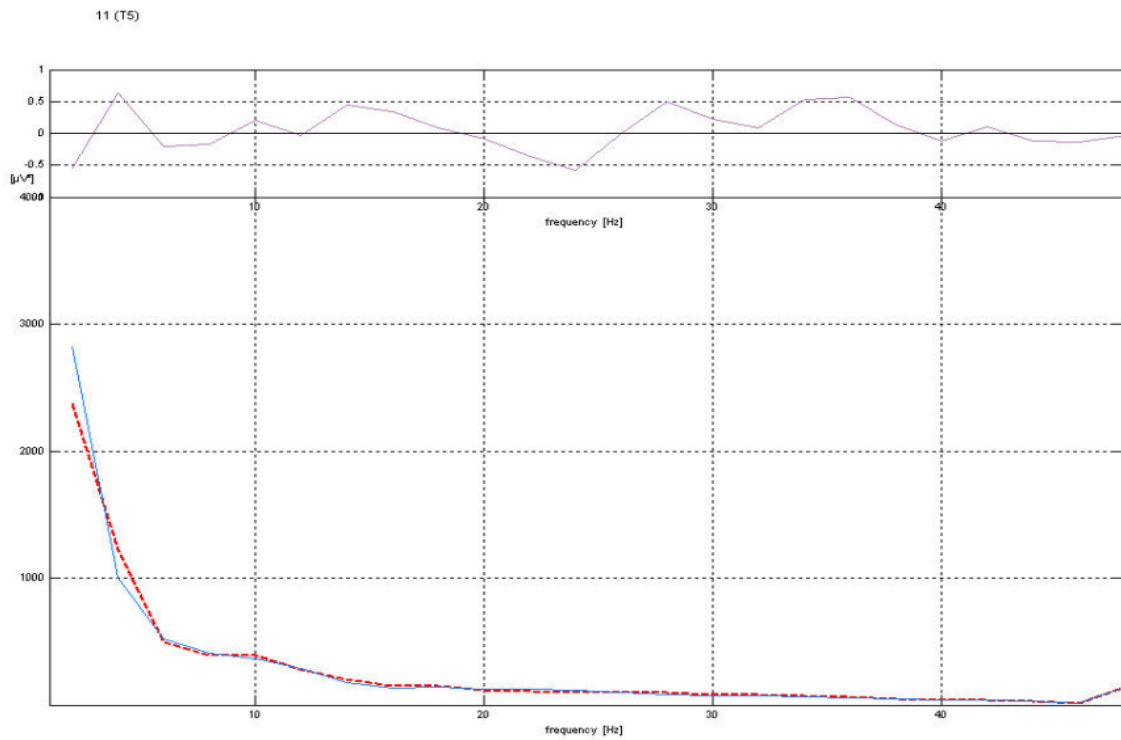
Σχήμα ΙΙΙ.11. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4.



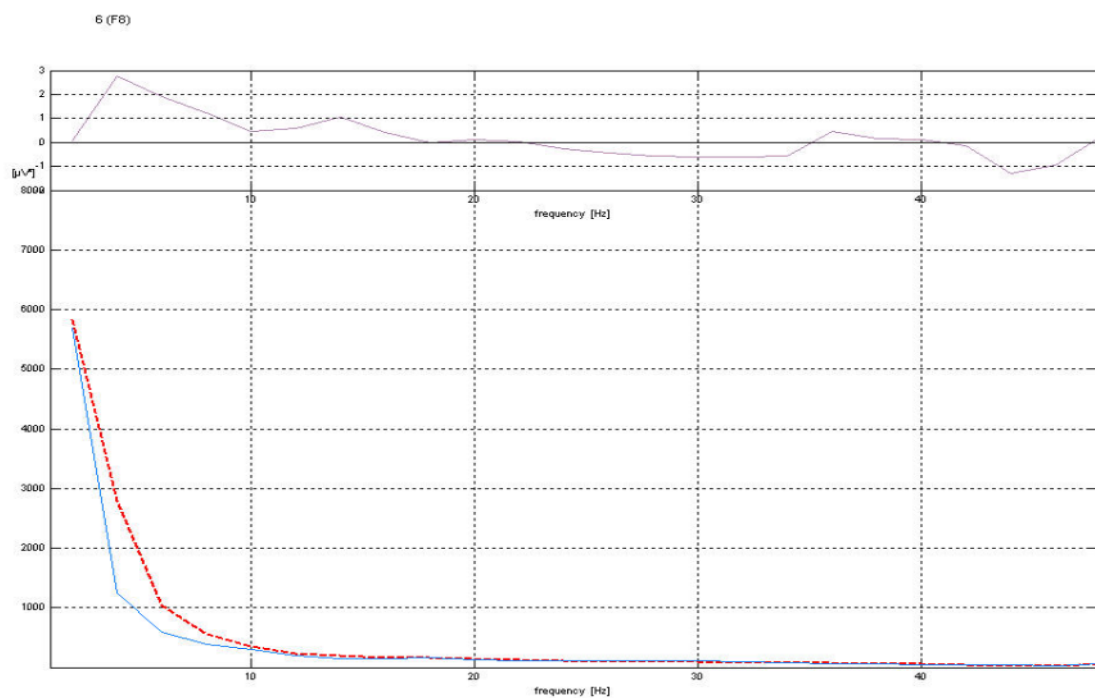
Σχήμα III.12. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7.



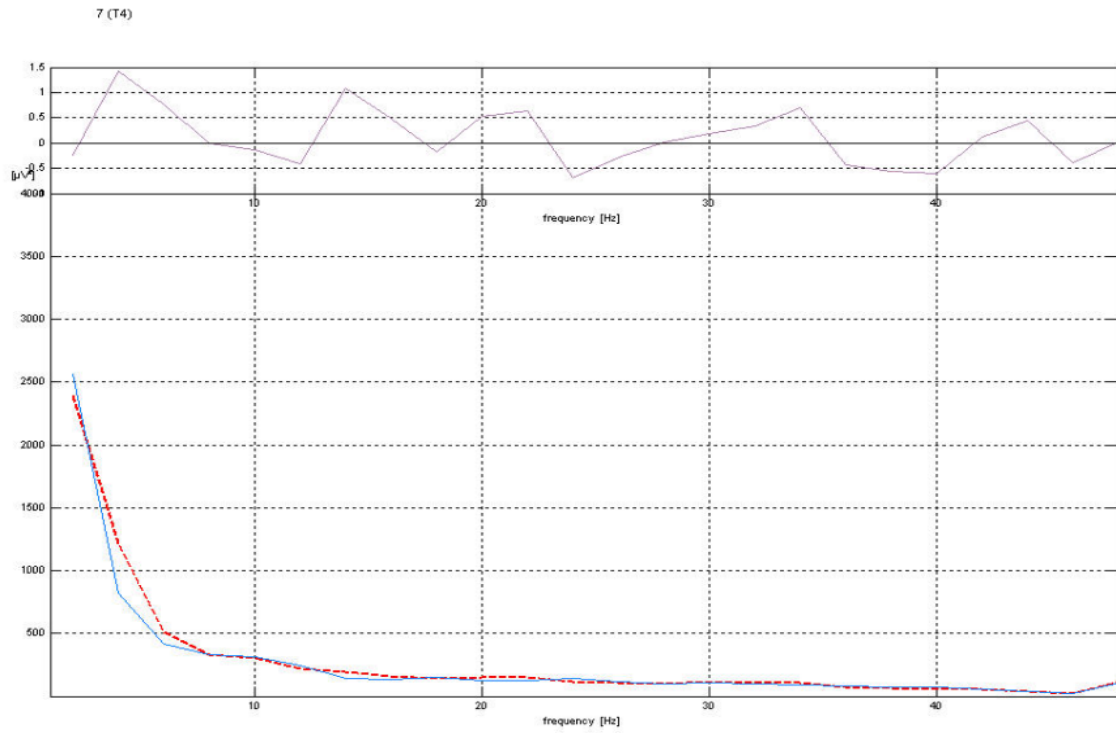
Σχήμα III.13. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3.



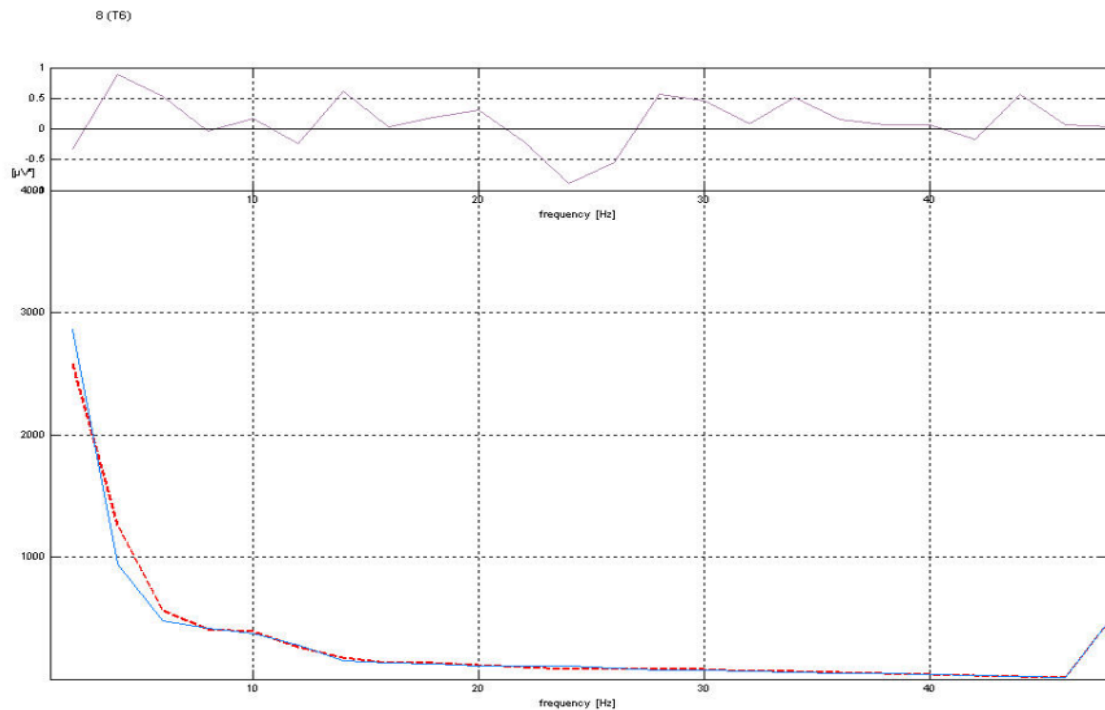
Σχήμα III.14. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5.



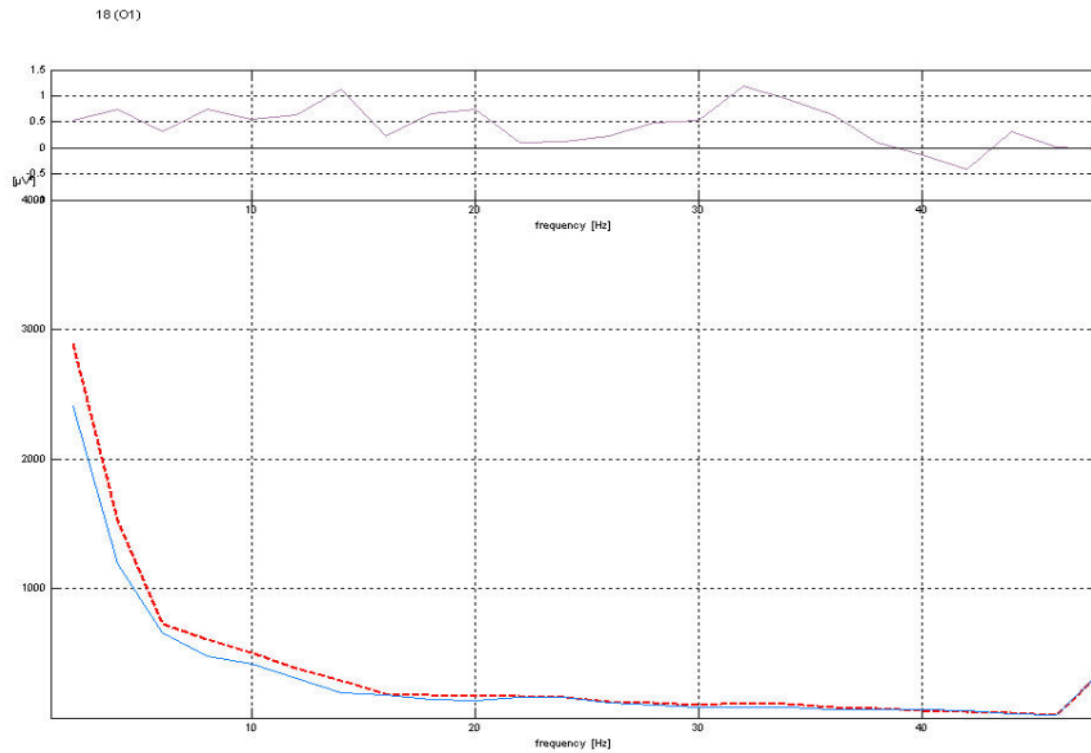
Σχήμα III.15. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8.



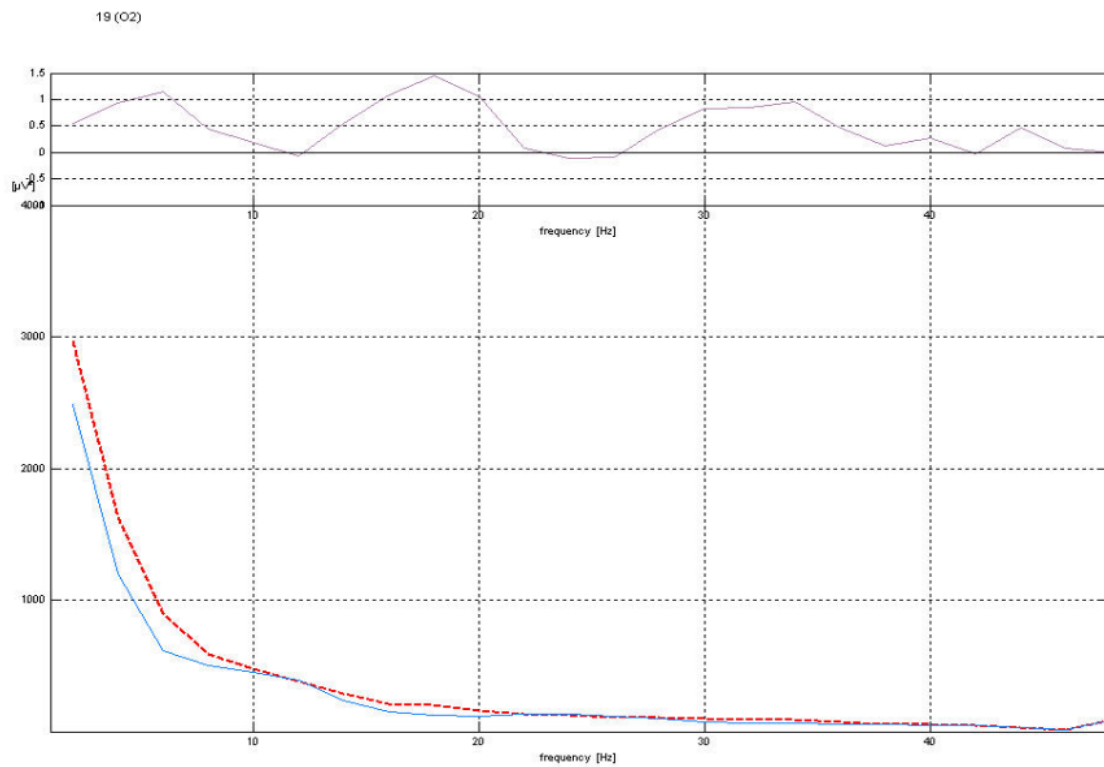
Σχήμα III.16. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4.



Σχήμα III.17. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6



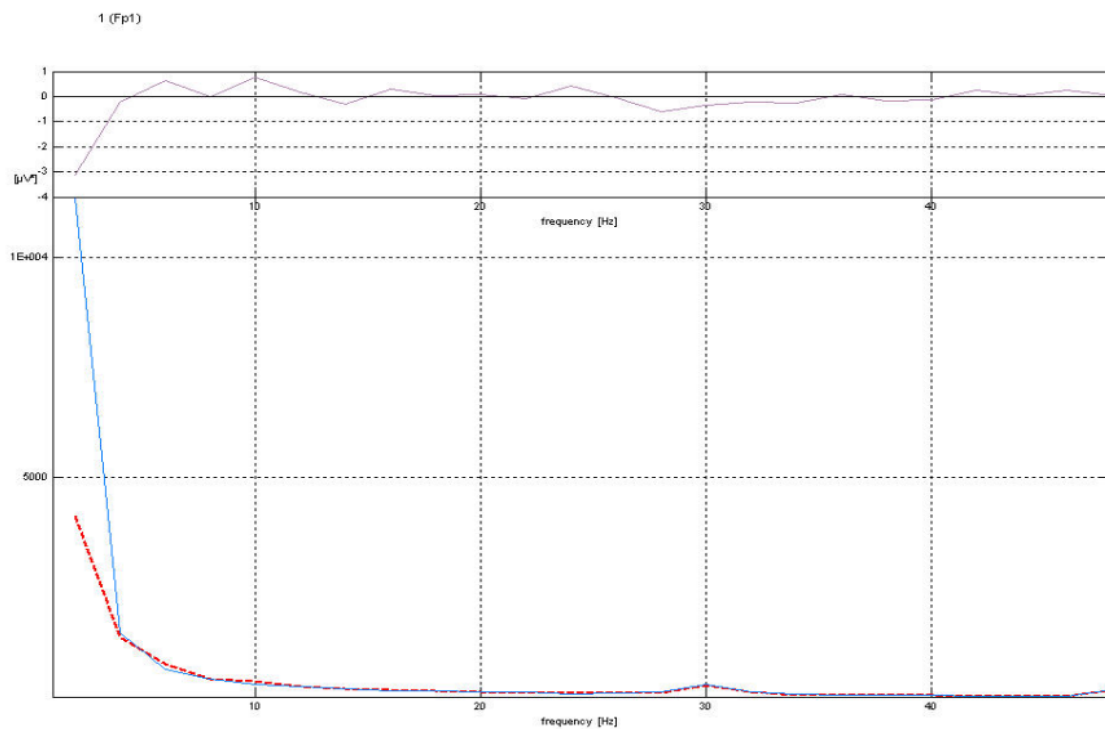
Σχήμα ΙΙΙ.18. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1.



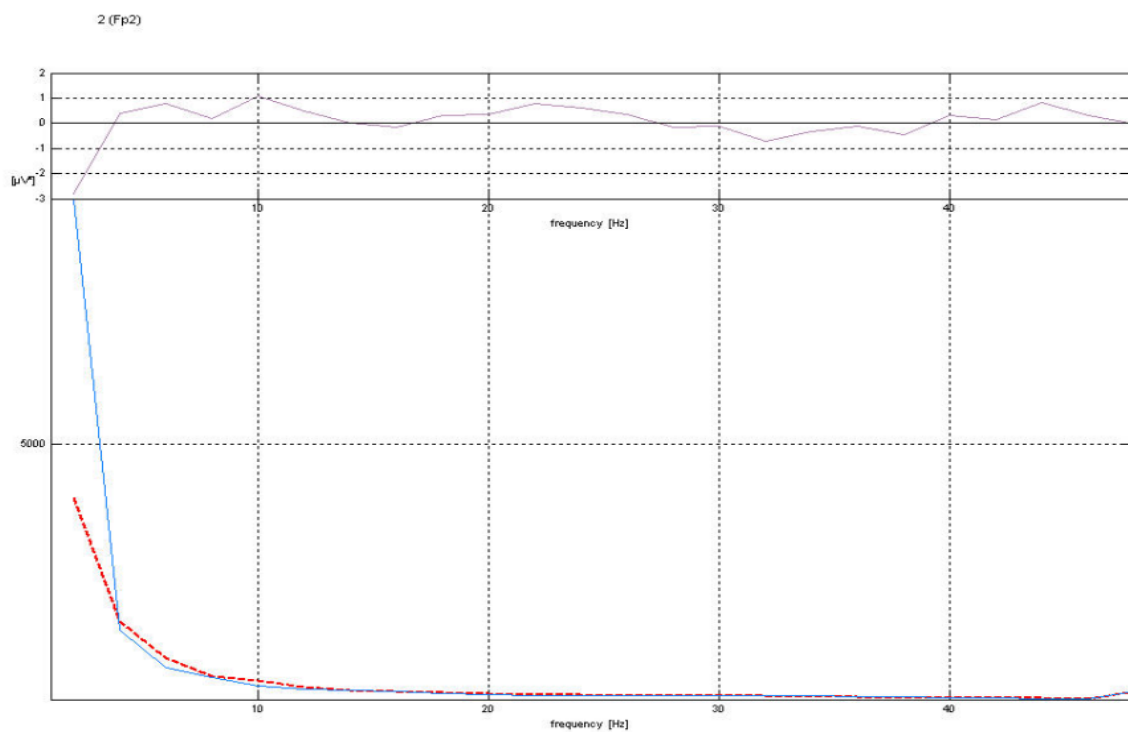
Σχήμα ΙΙΙ.19. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2.



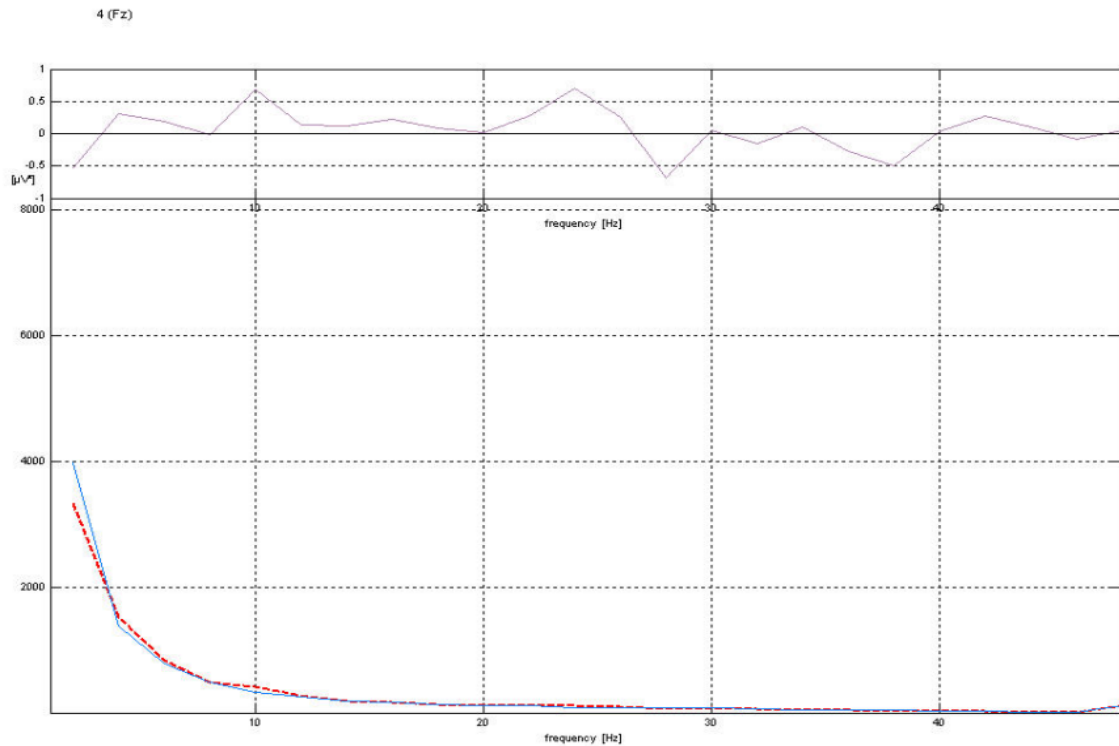
### Πραγματικό και εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον



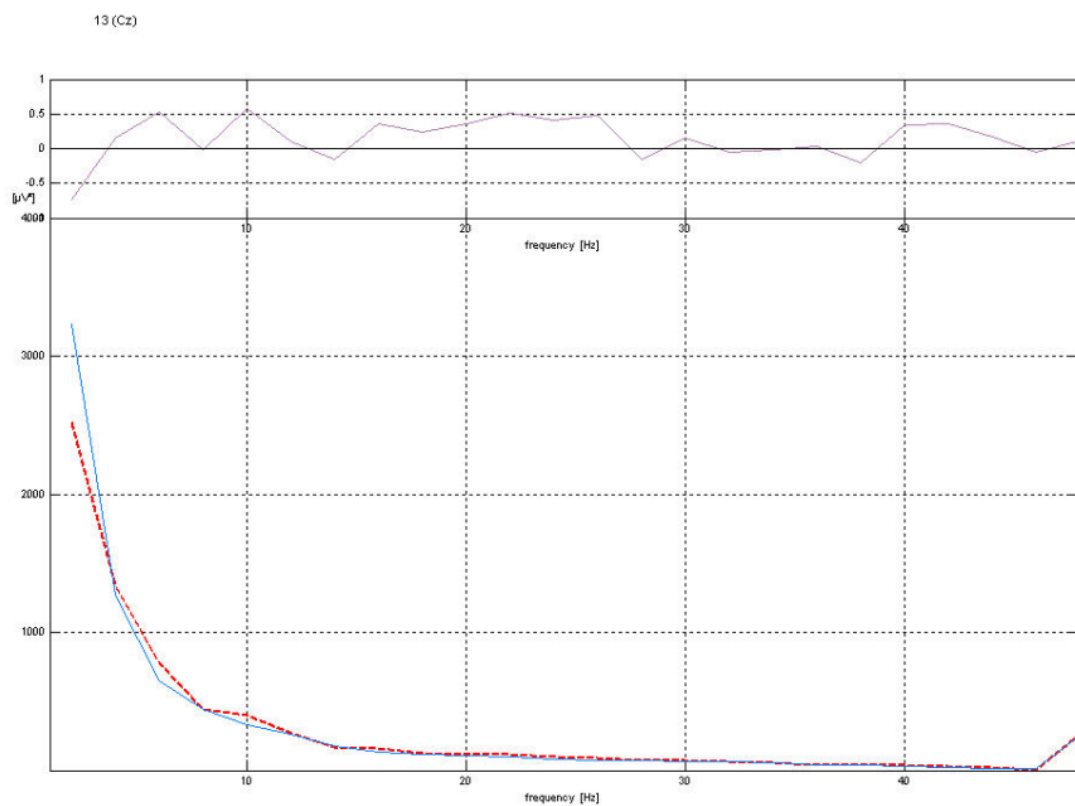
Σχήμα III.20. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr1.



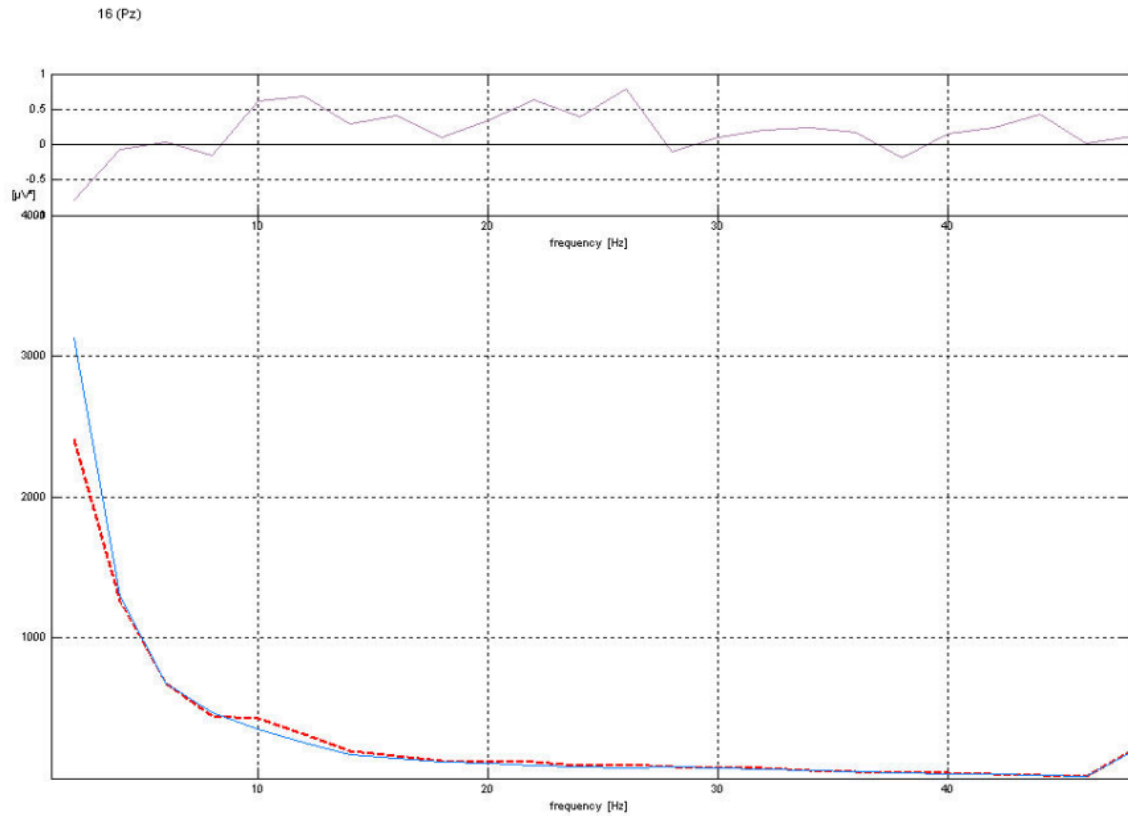
Σχήμα III.21. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fr2.



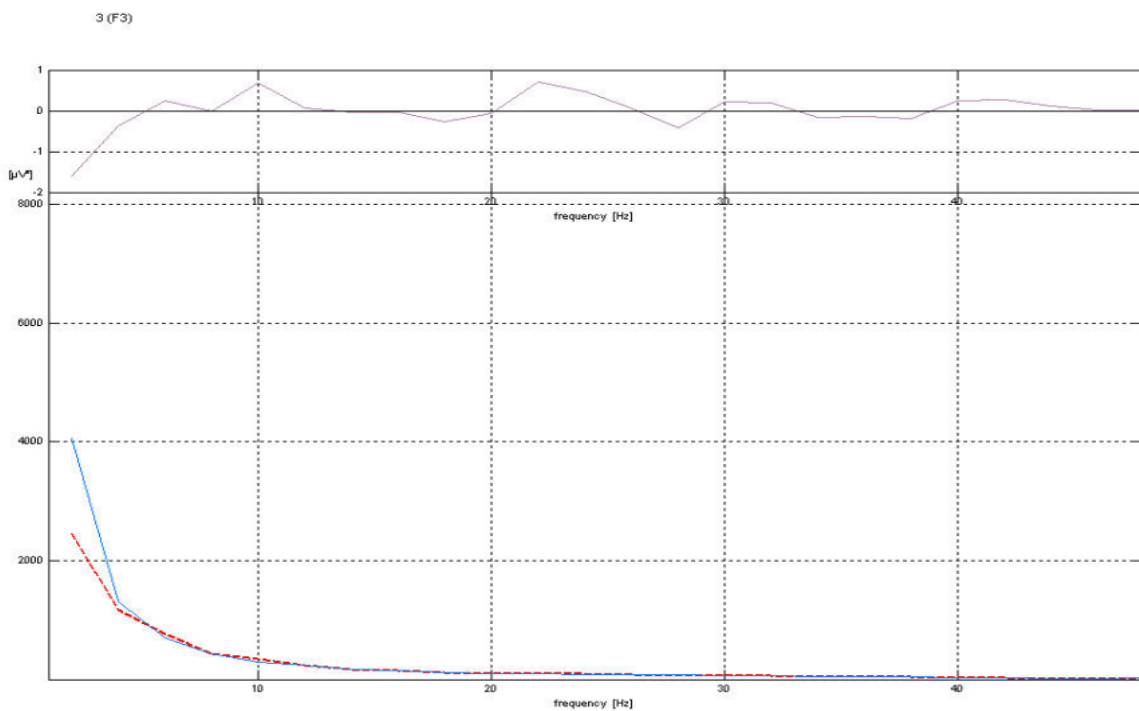
Σχήμα III.22. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz.



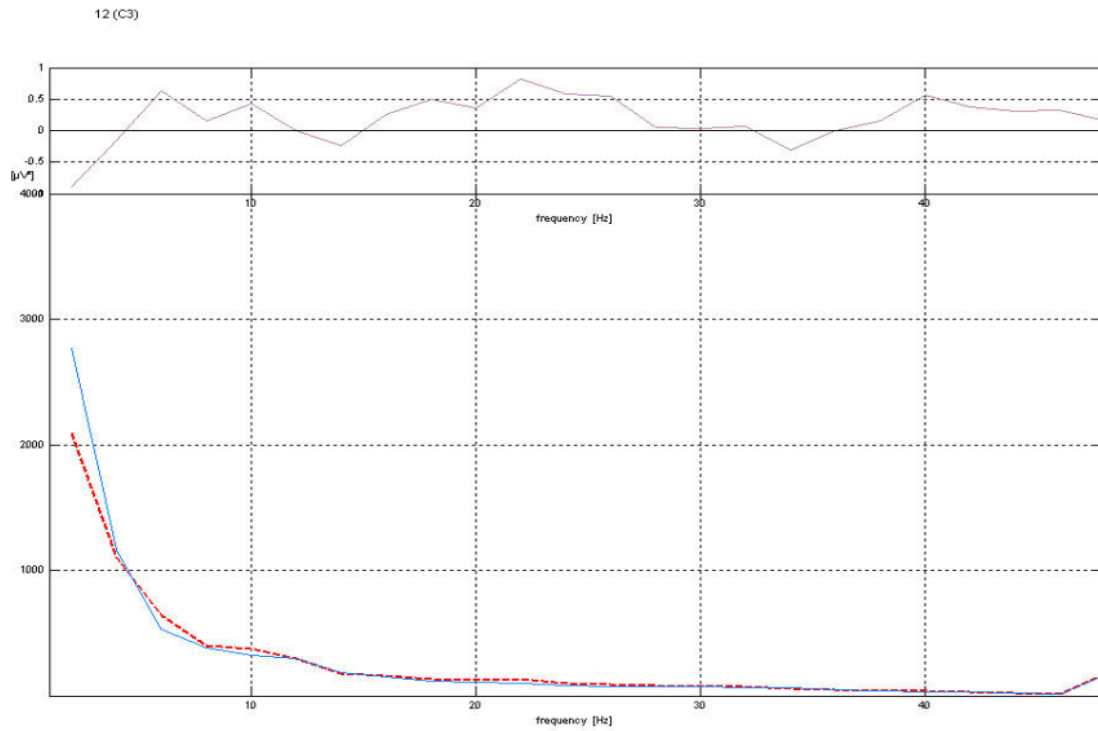
Σχήμα III.23. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz.



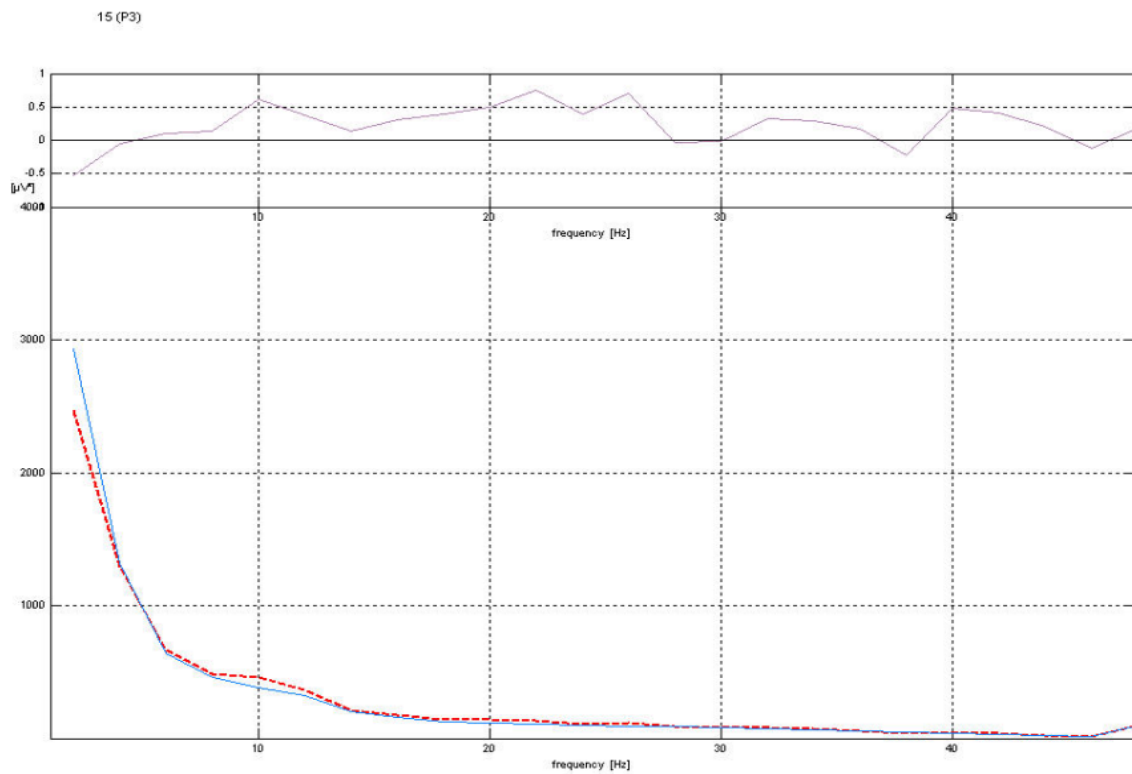
Σχήμα III.24. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz.



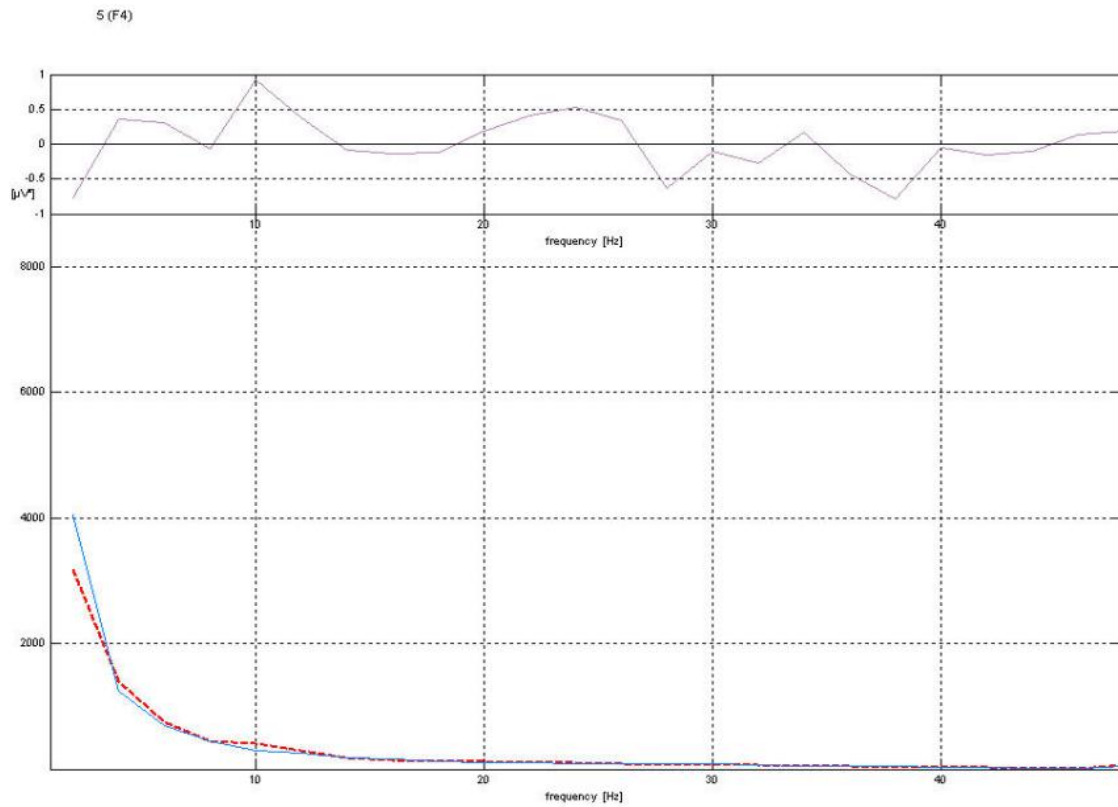
Σχήμα III.25. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3.



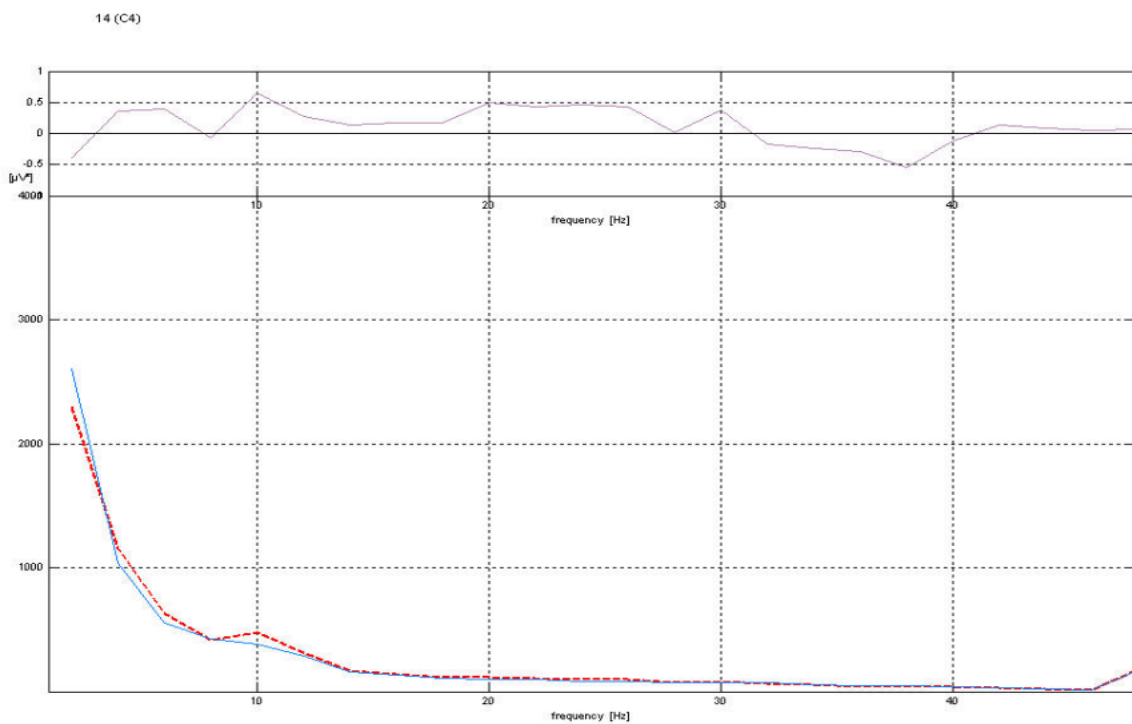
Σχήμα ΙΙΙ.26. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3.



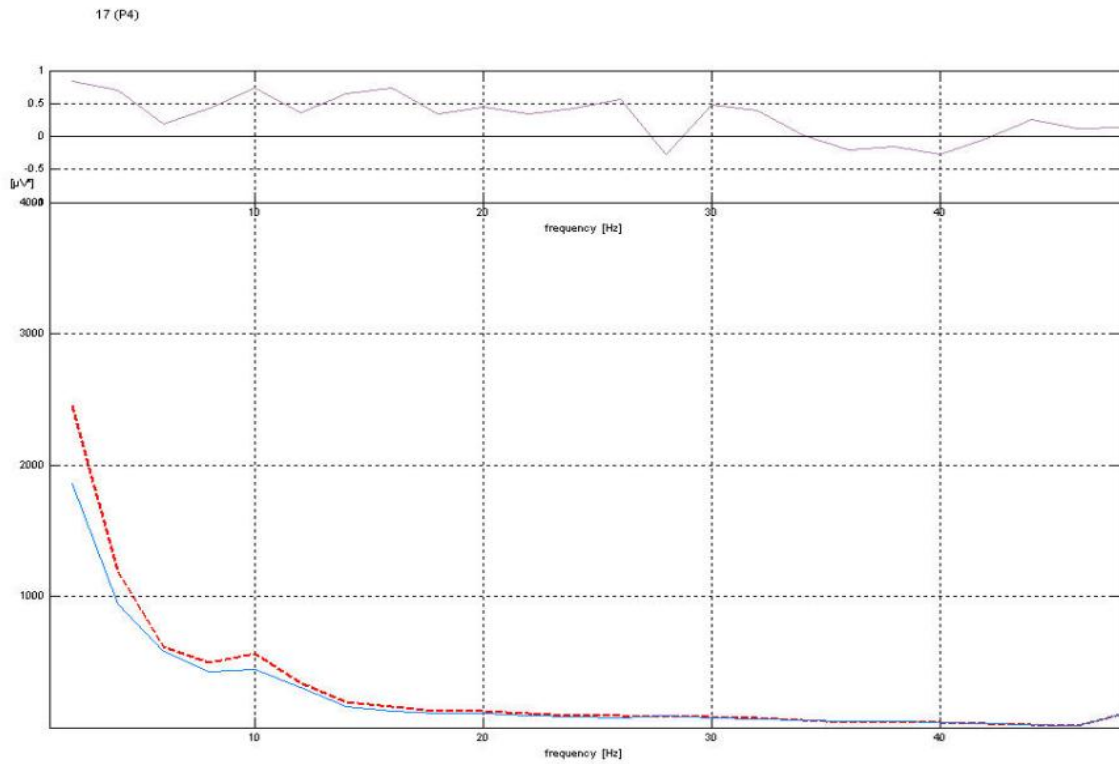
Σχήμα ΙΙΙ.27. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3.



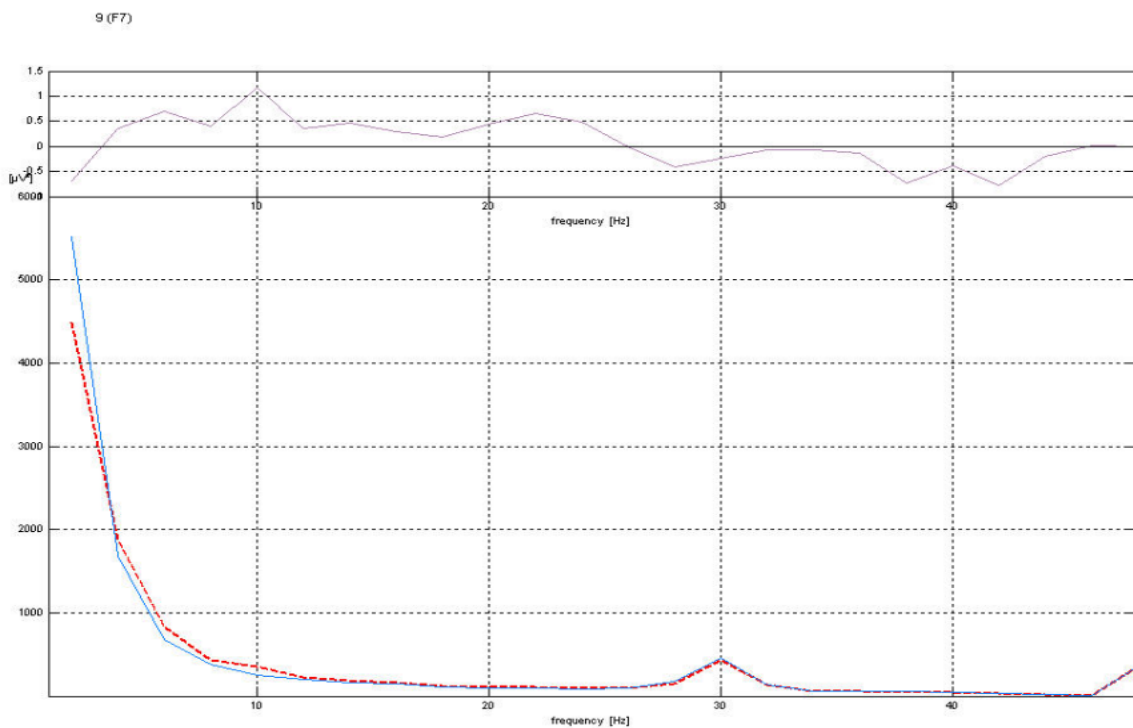
Σχήμα III.28. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4.



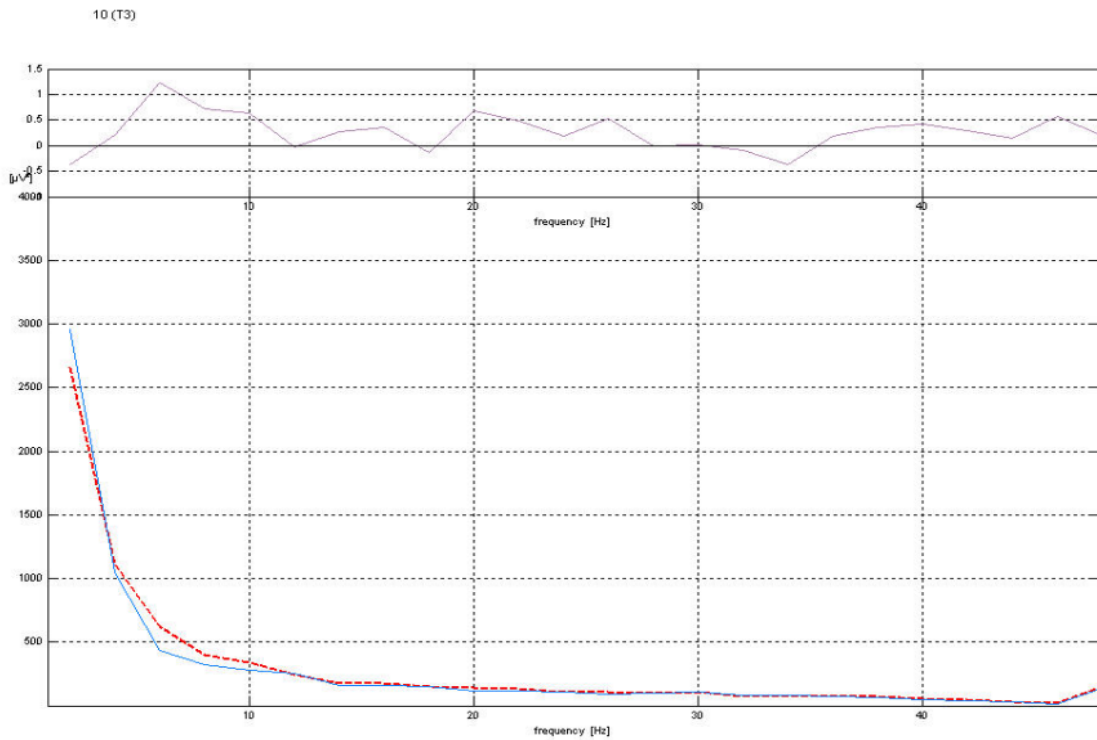
Σχήμα III.29. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4.



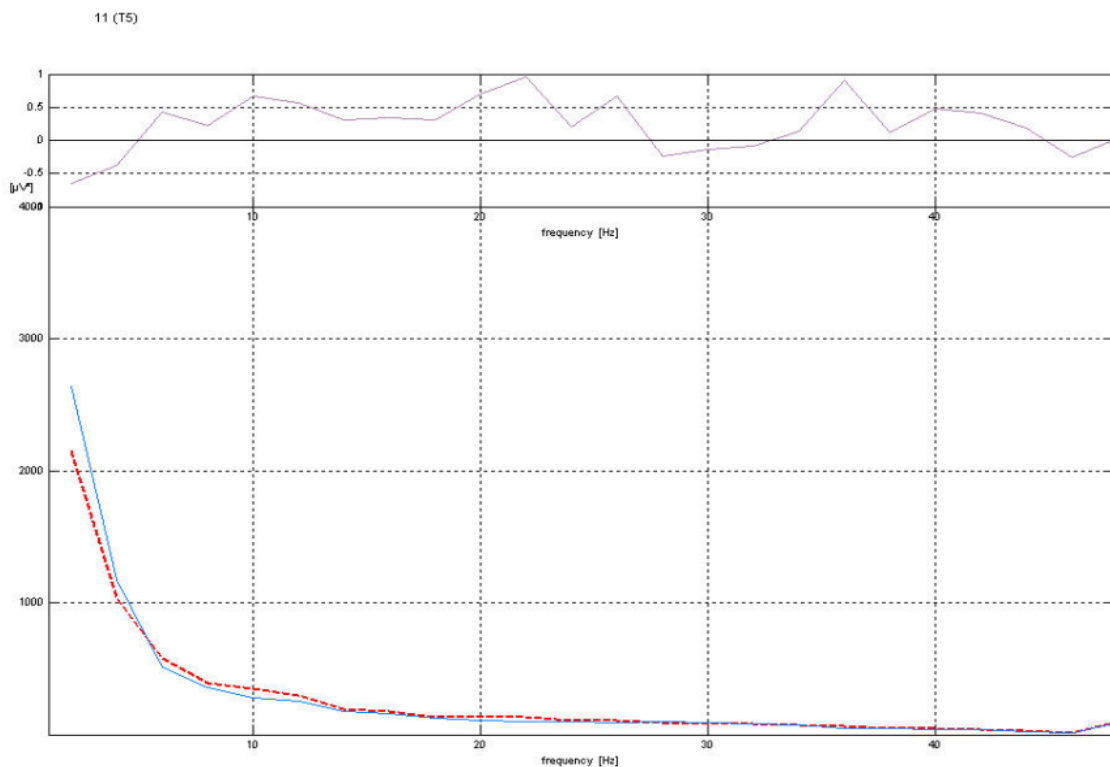
Σχήμα ΙΙΙ.30. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4.



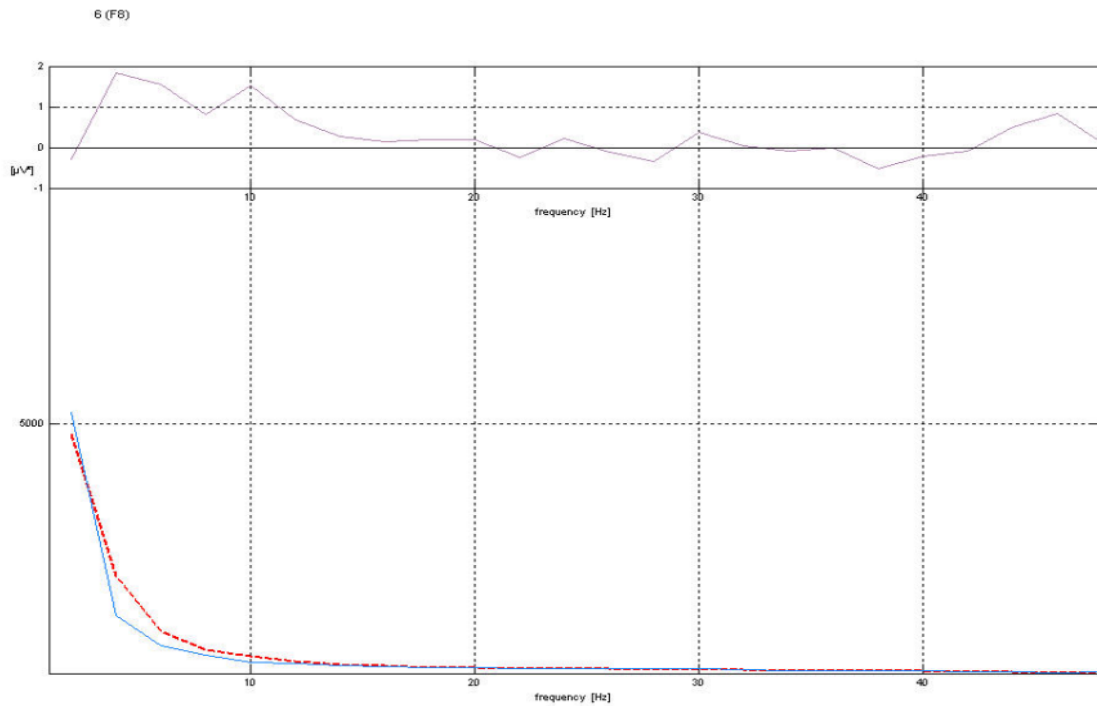
Σχήμα ΙΙΙ.31. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7.



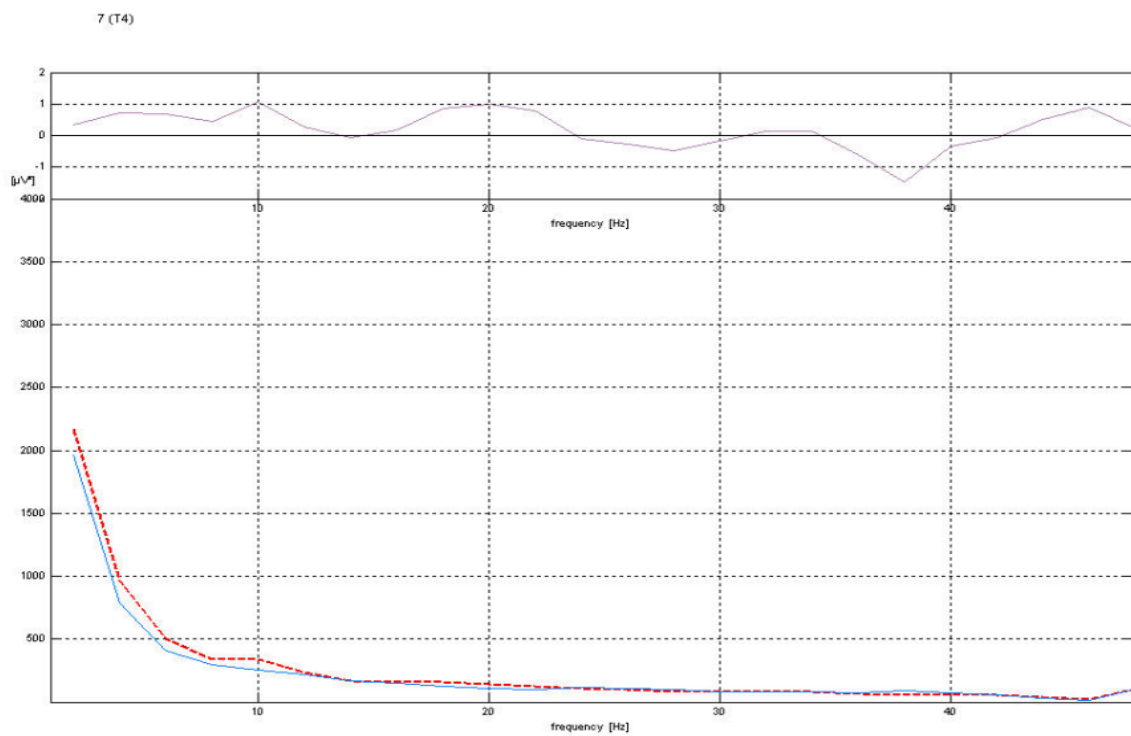
Σχήμα III.32. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3.



Σχήμα III.33. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5.

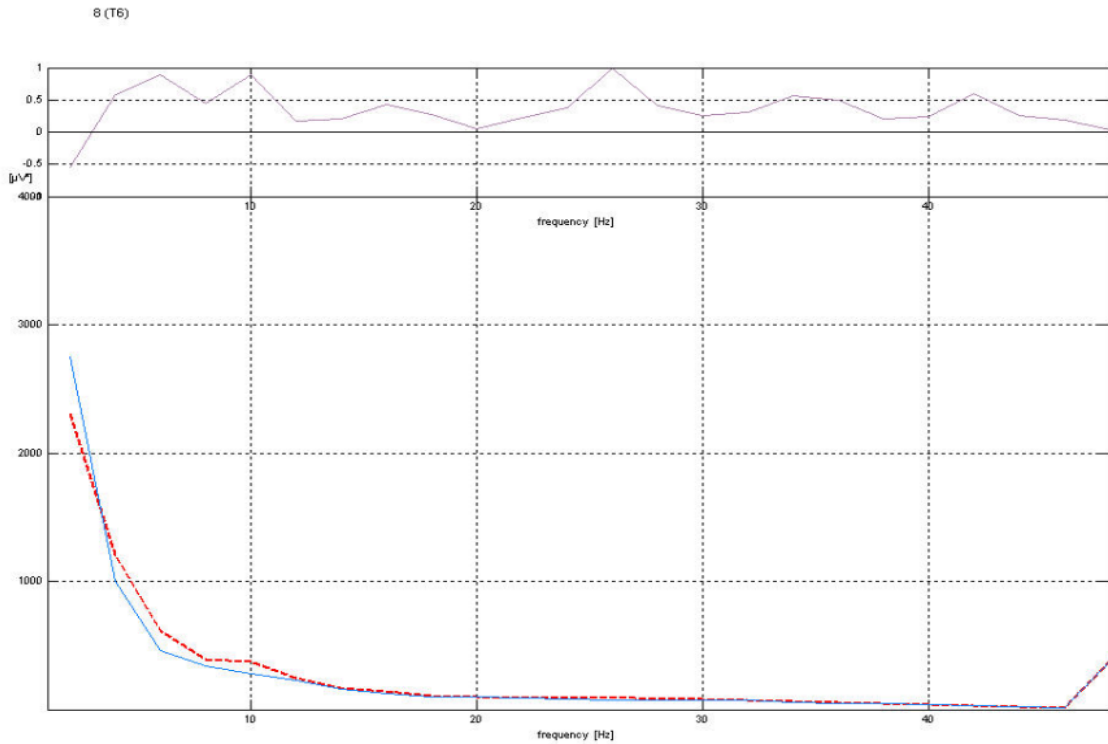


Σχήμα ΙΙΙ.34. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8.

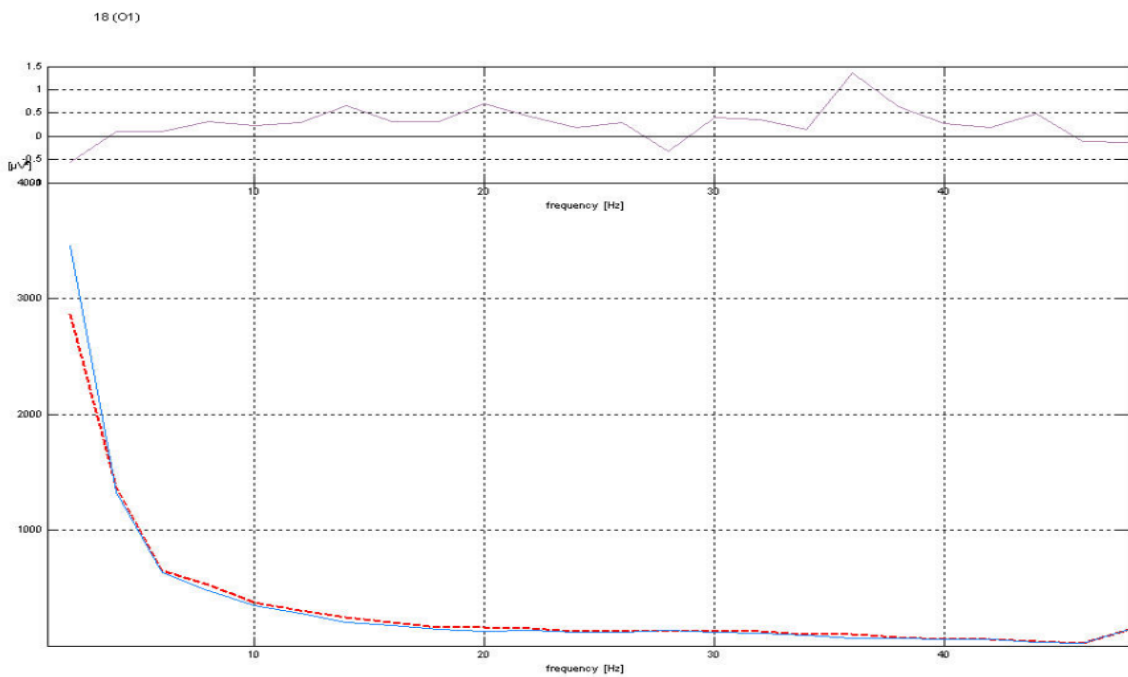


Σχήμα ΙΙΙ.35. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4.

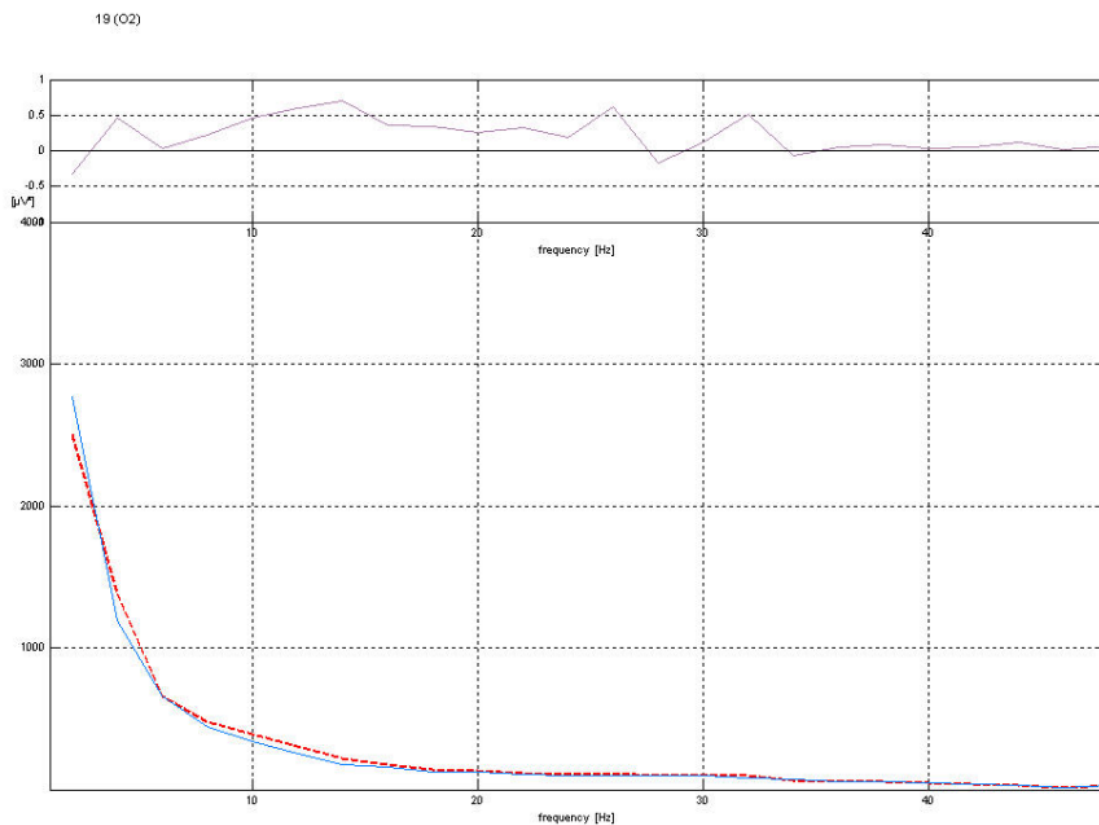




Σχήμα III.36. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6.

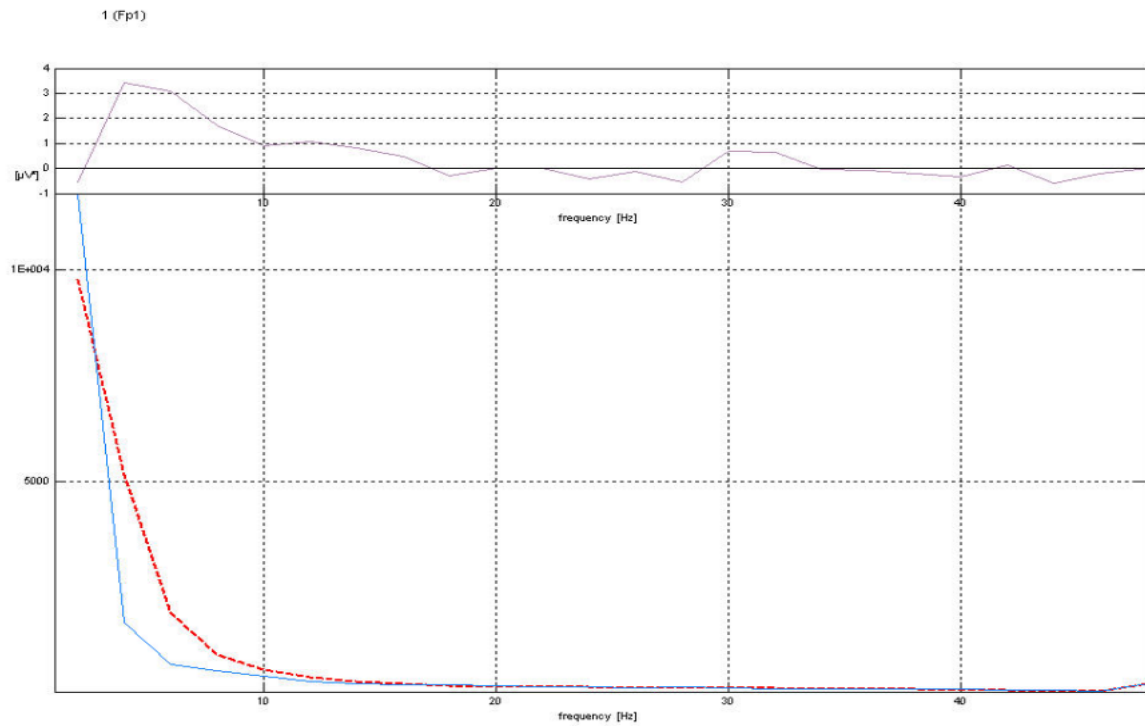


Σχήμα III.37. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1.

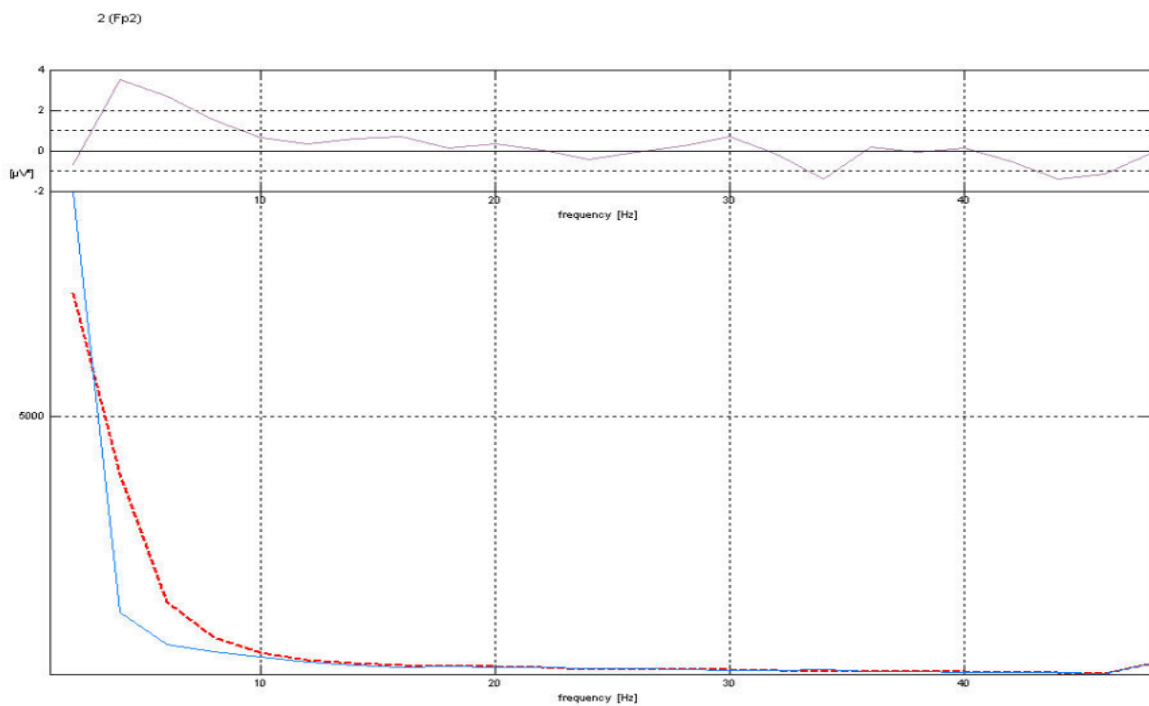


Σχήμα ΙΙΙ.38. Φάσματα ισχύος πραγματικού και εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2.

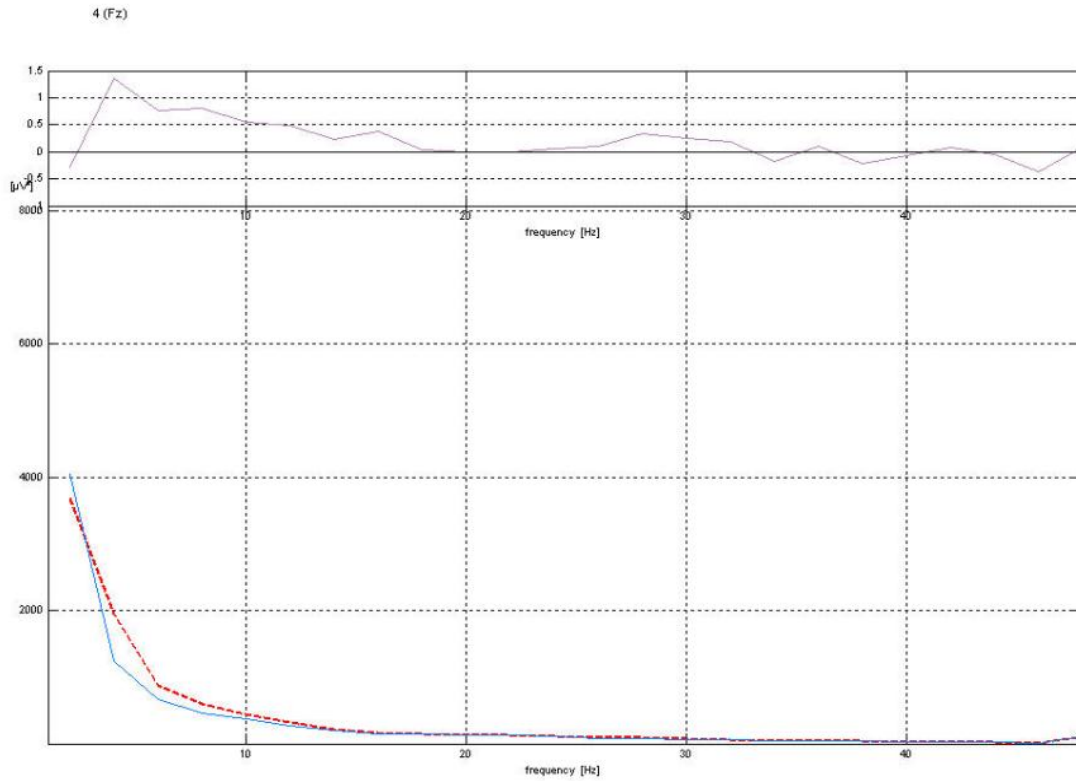
### Εικονικό στερεοσκοπικό και εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον



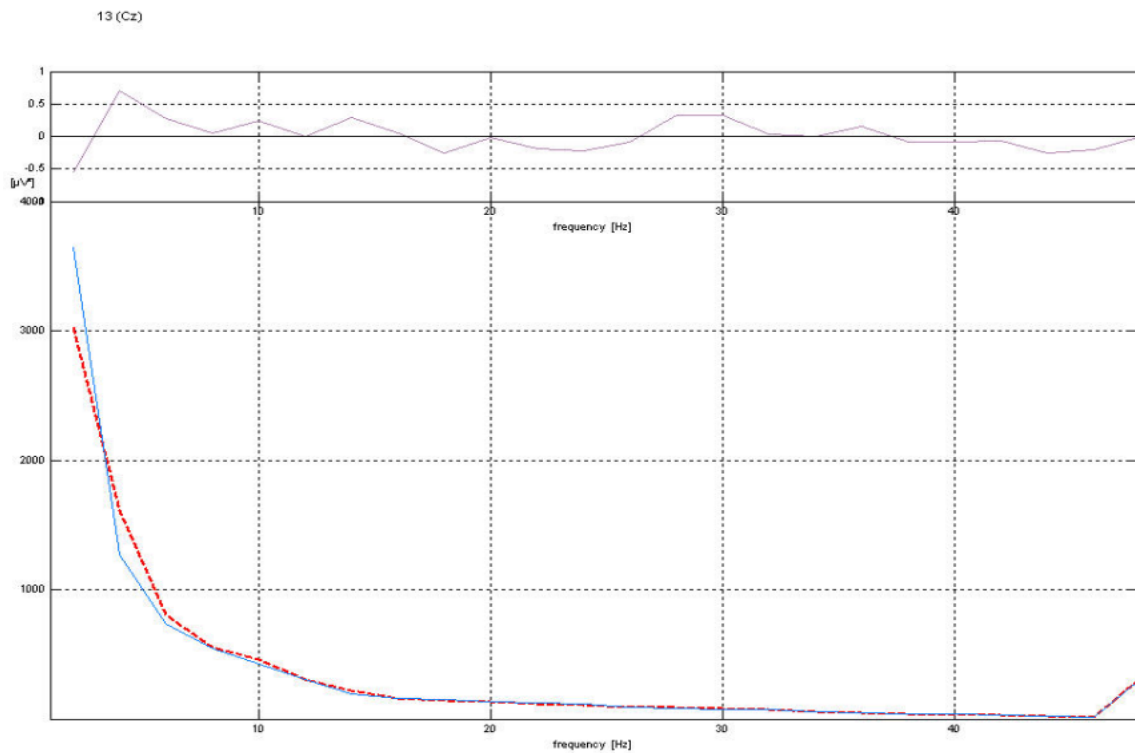
Σχήμα III.39. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1.



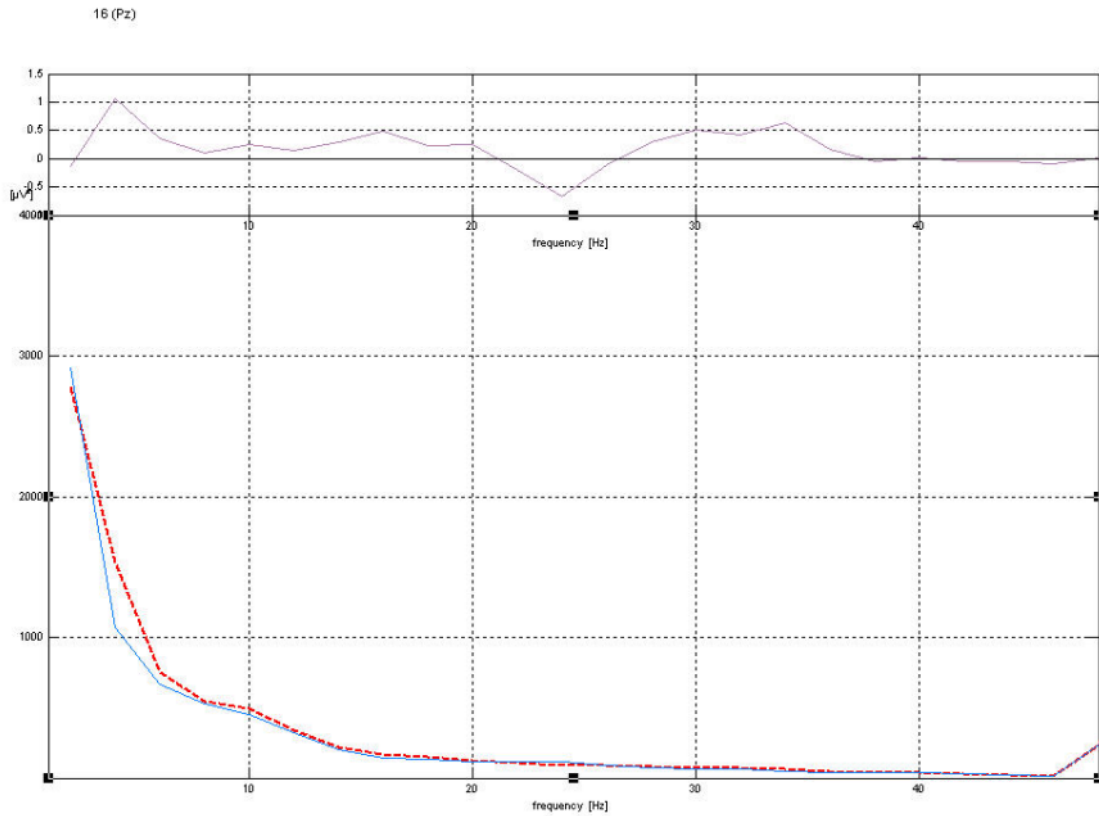
Σχήμα III.40. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2.



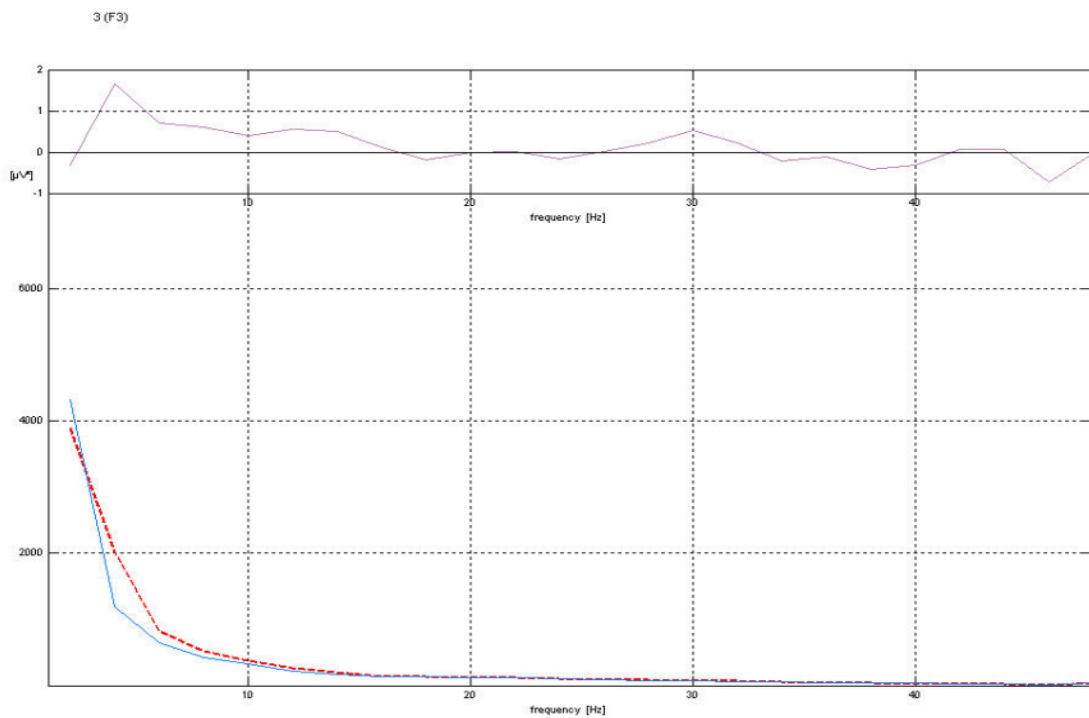
Σχήμα ΙΙΙ.41. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz.



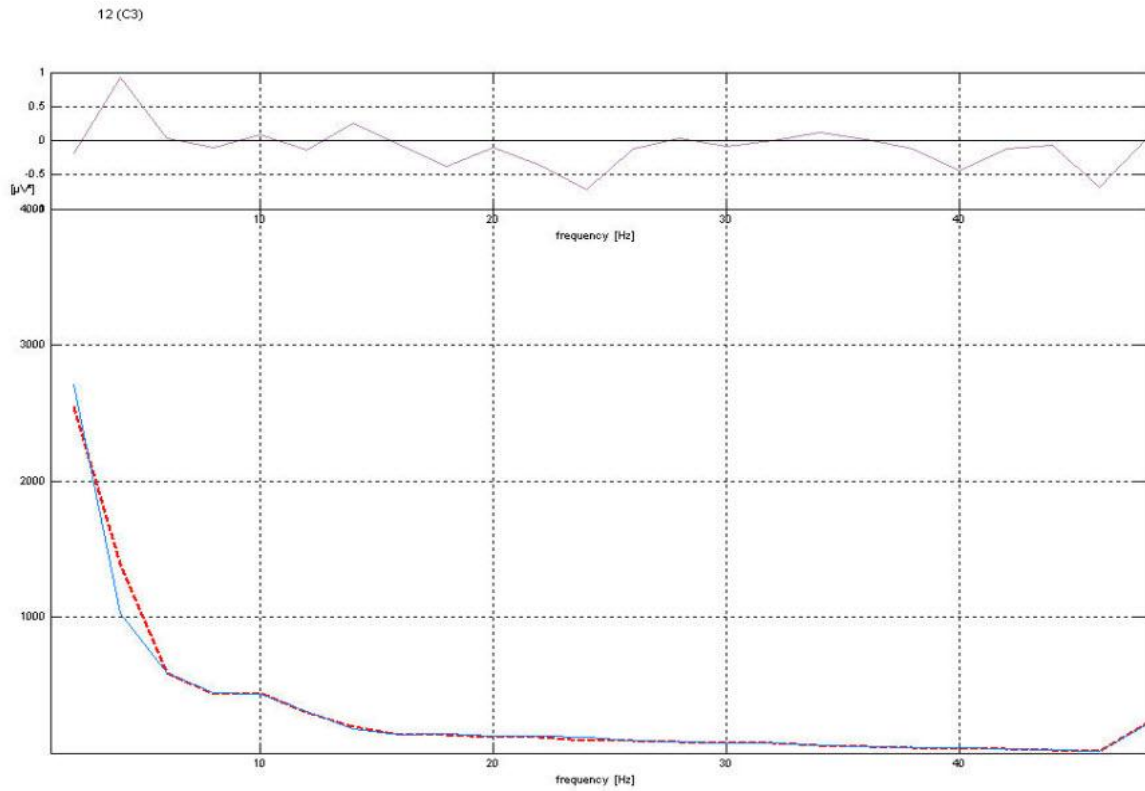
Σχήμα ΙΙΙ.42. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz.



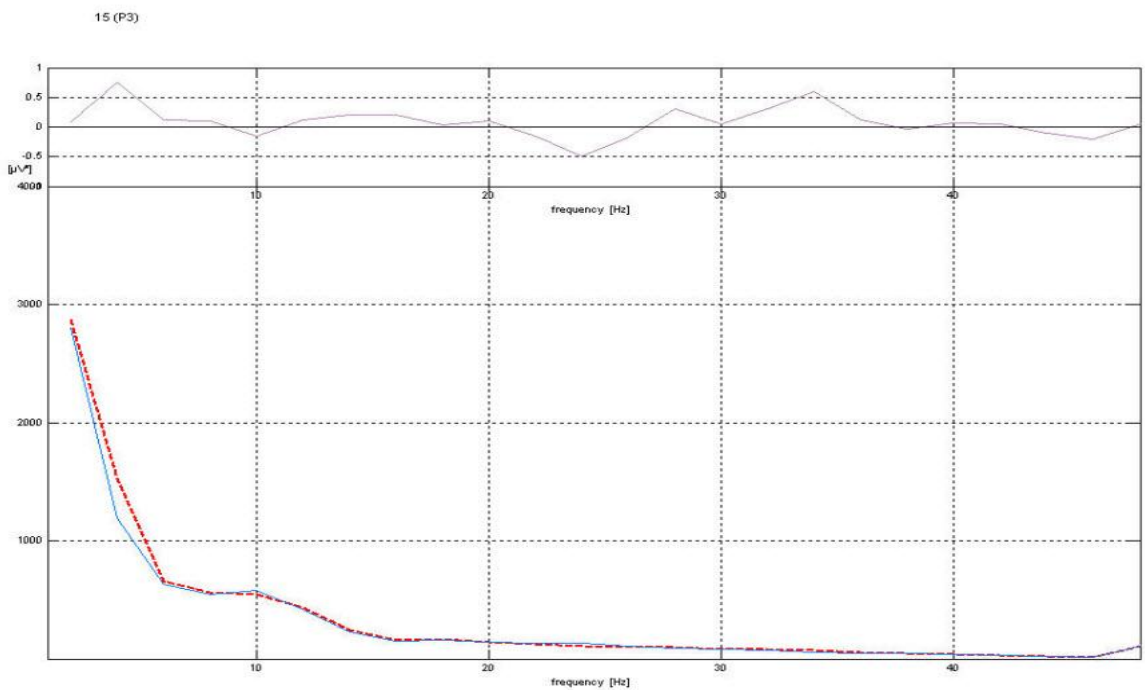
Σχήμα III.43. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz.



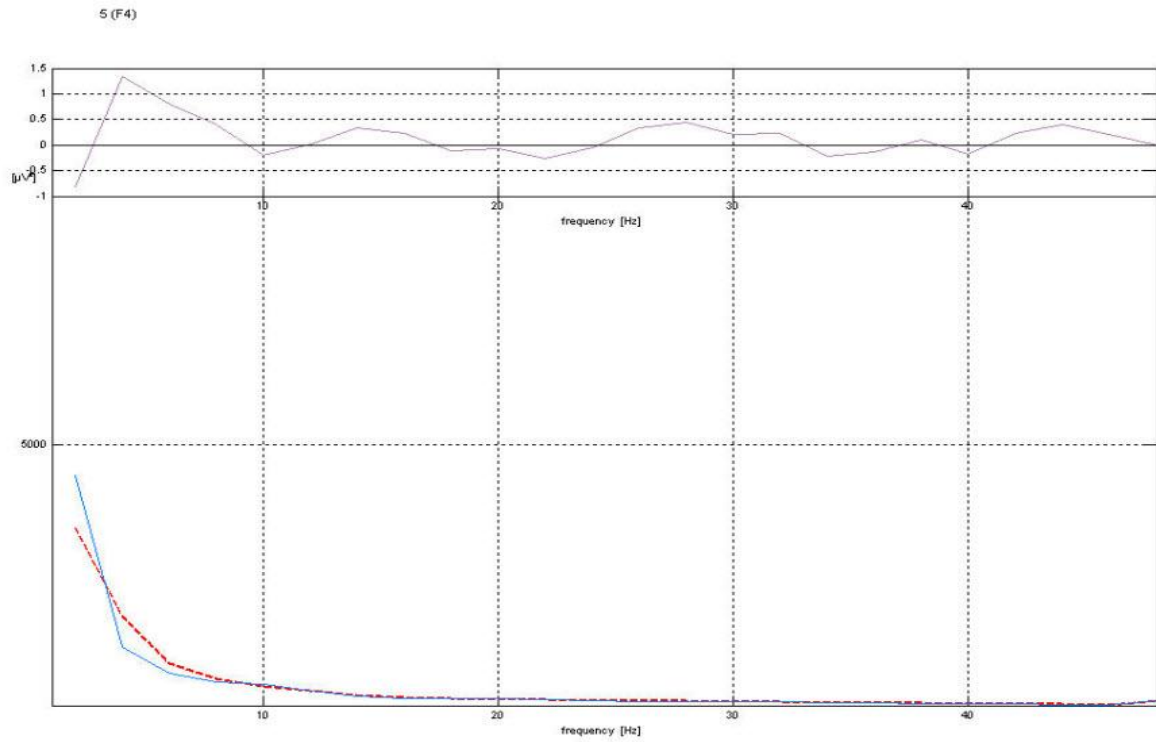
Σχήμα III.44. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3.



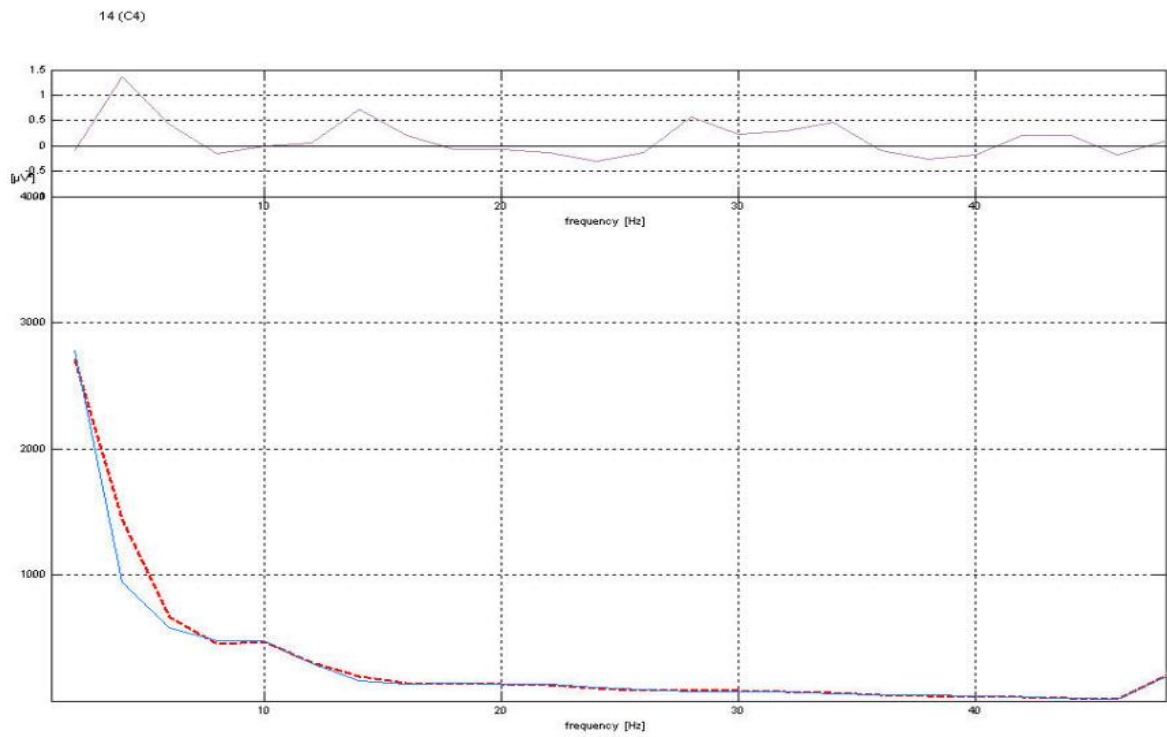
Σχήμα ΙΙΙ.45. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3.



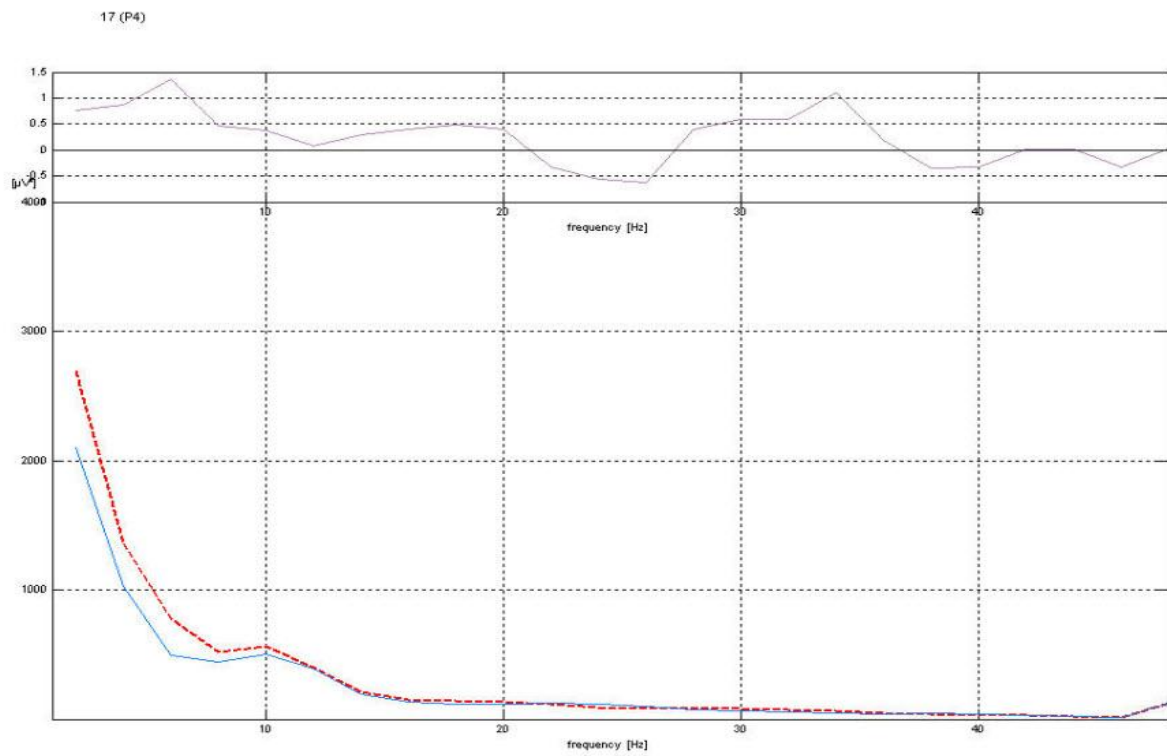
Σχήμα ΙΙΙ.46. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3.



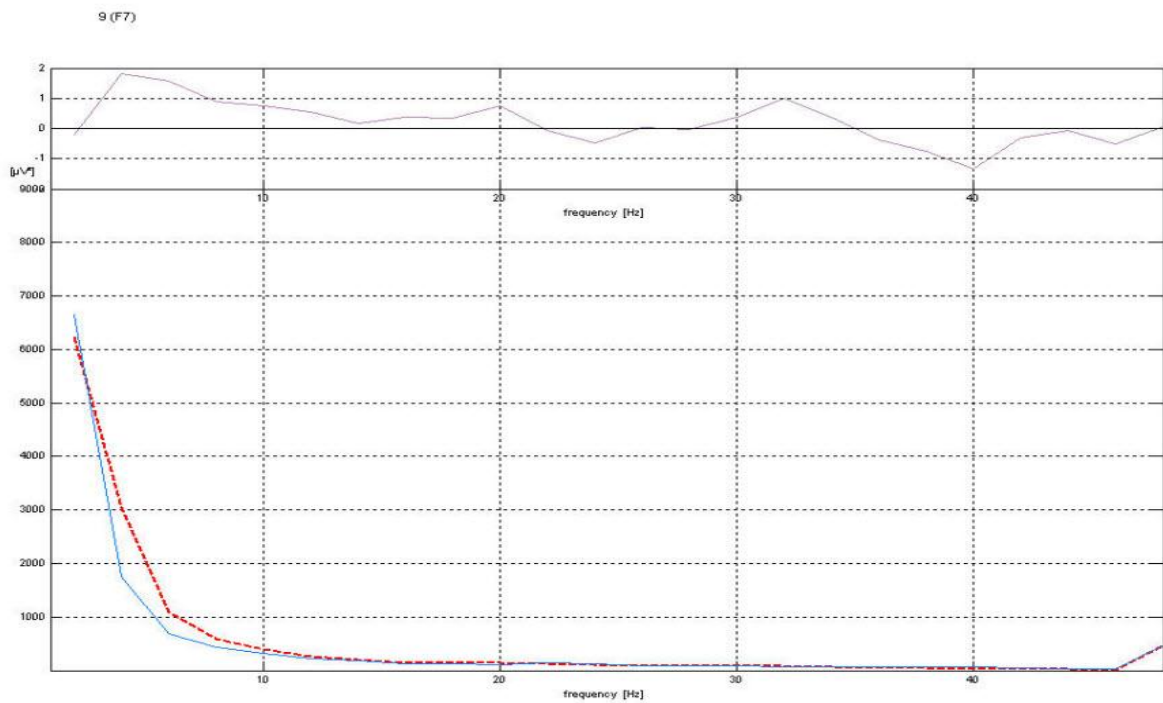
Σχήμα III.47. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4.



Σχήμα III.48. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4.

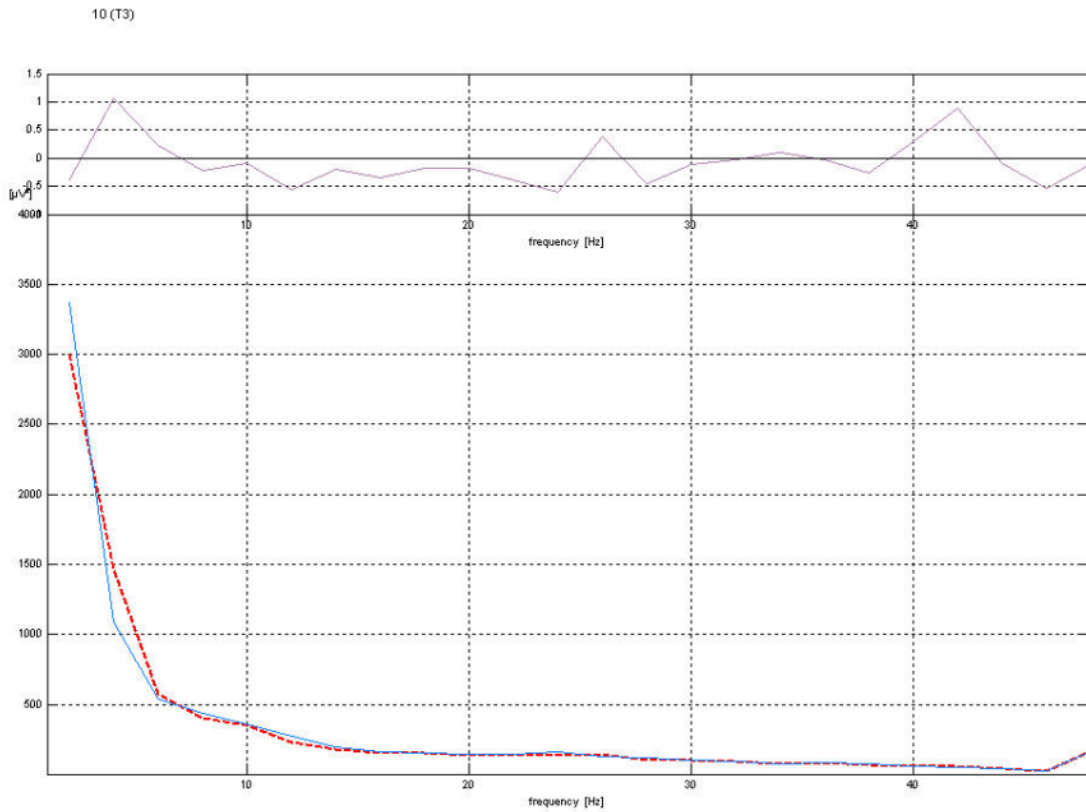


Σχήμα ΙΙΙ.49. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4.

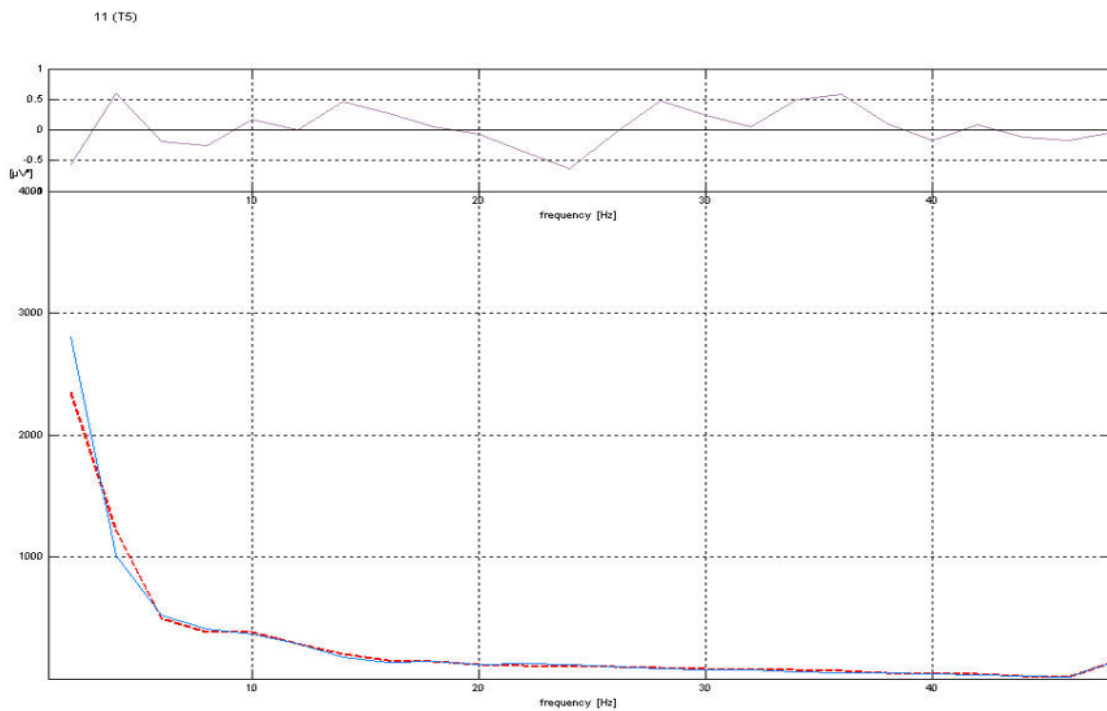


Σχήμα ΙΙΙ.50. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7.

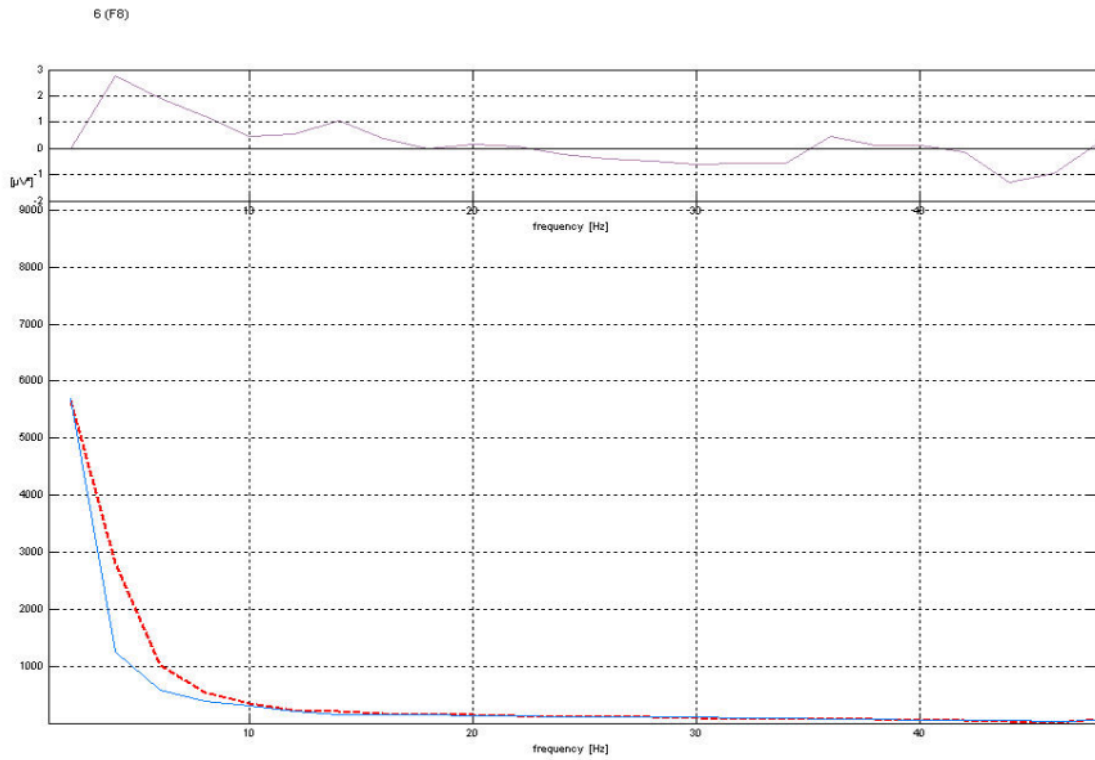




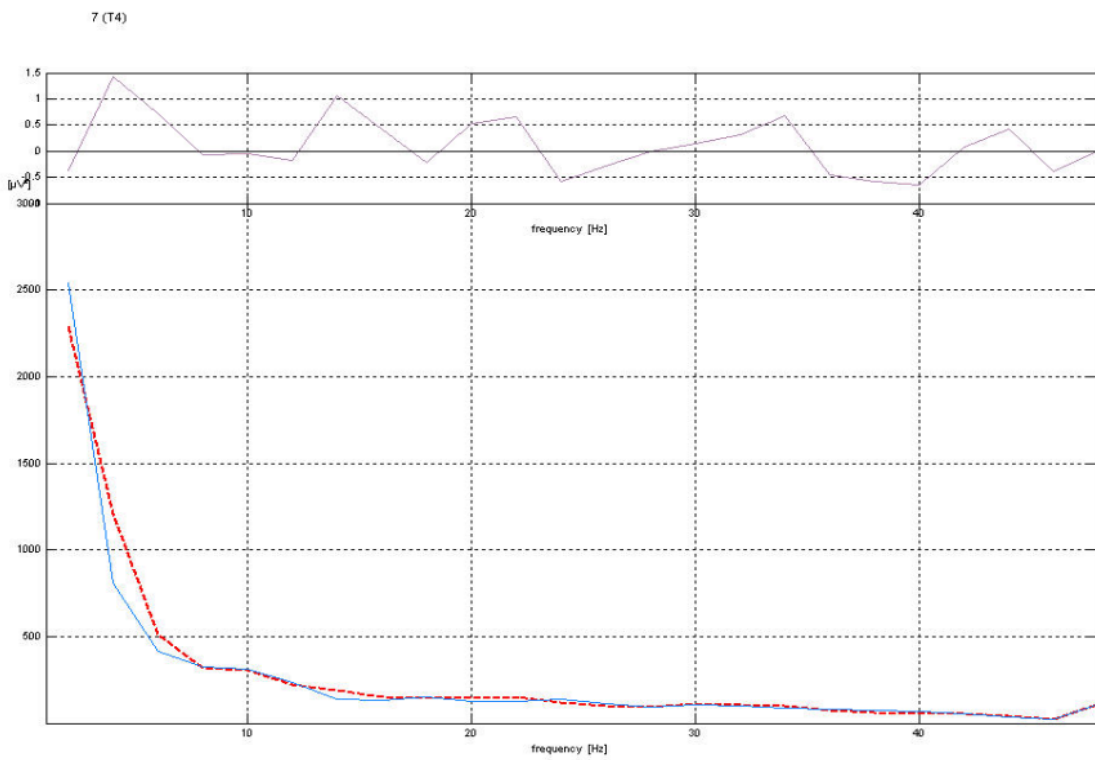
Σχήμα III.51. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3.



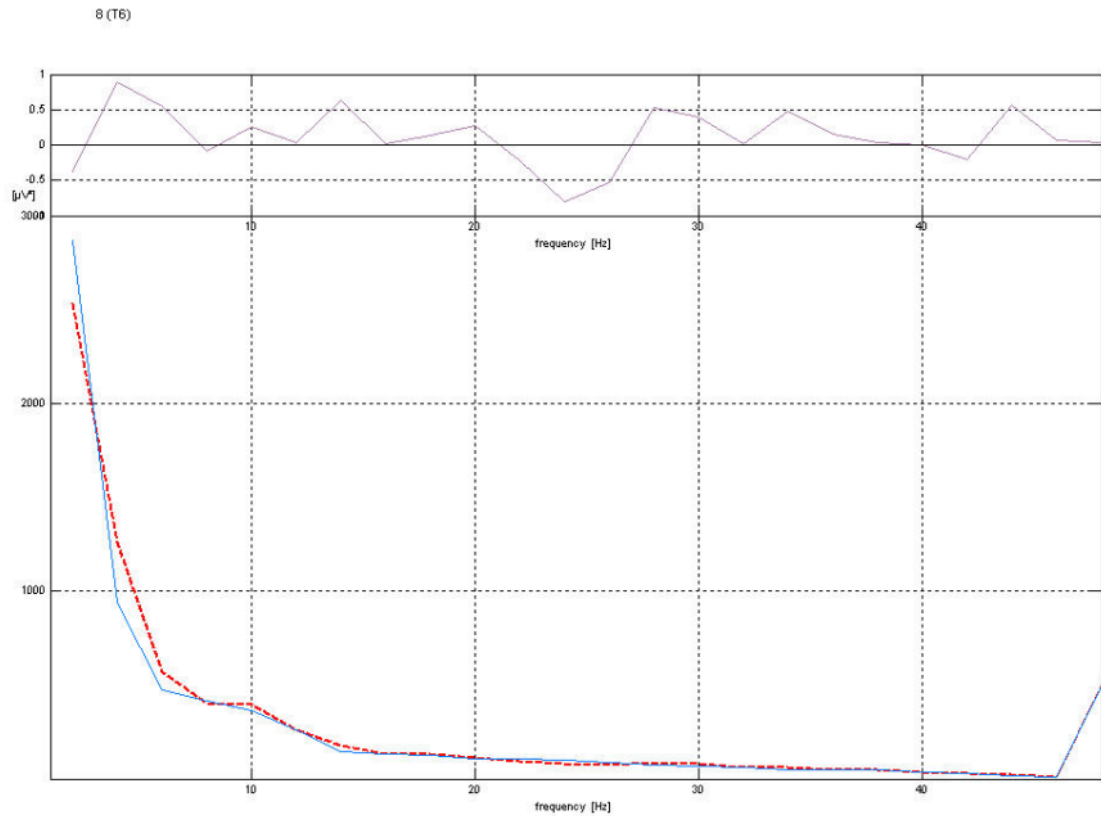
Σχήμα III.52. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5.



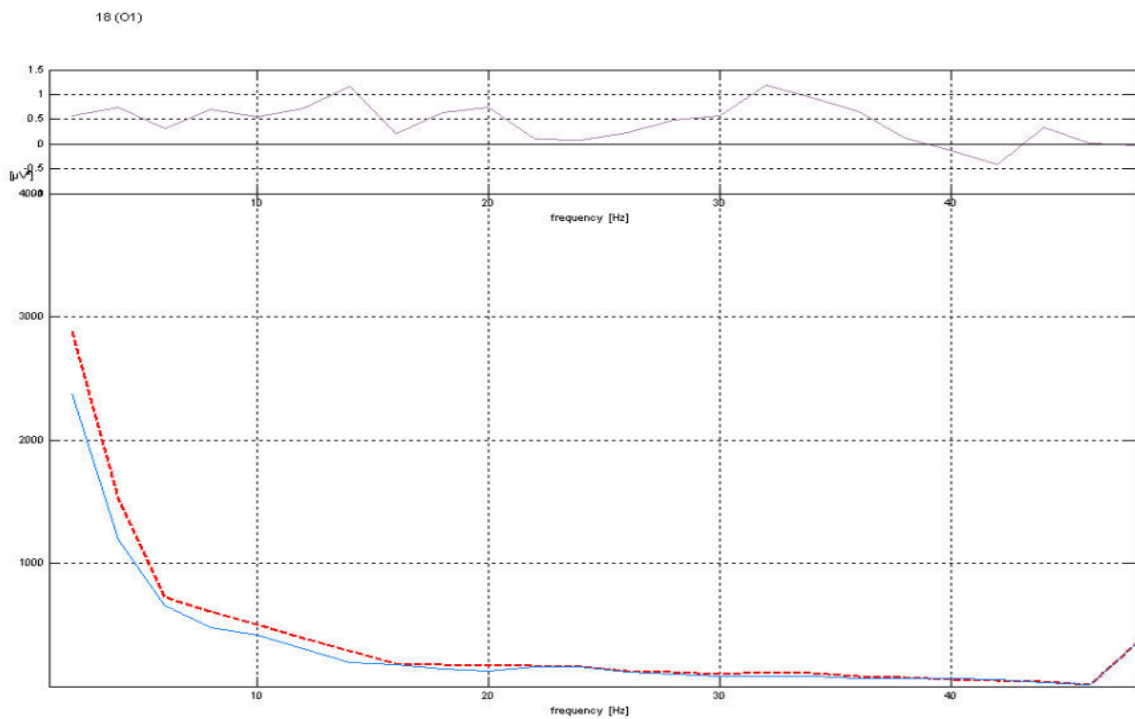
Σχήμα III.53. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8.



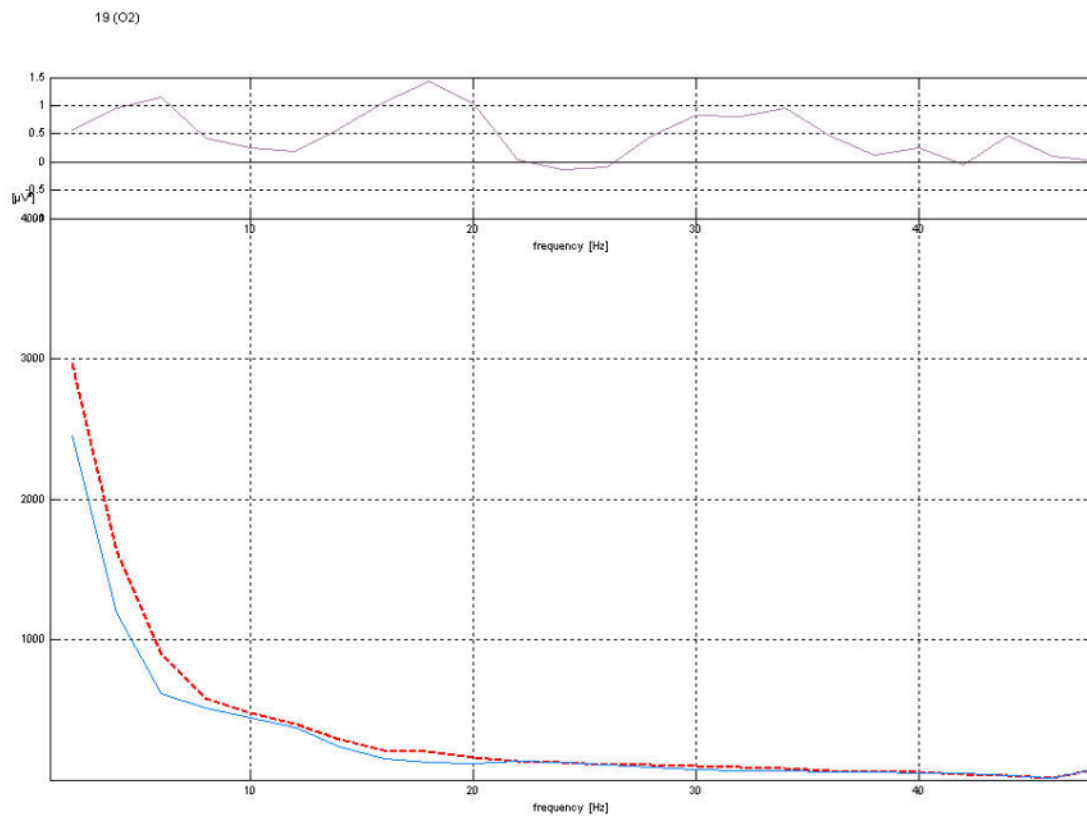
Σχήμα III.54. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4.



Σχήμα III.55. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6.



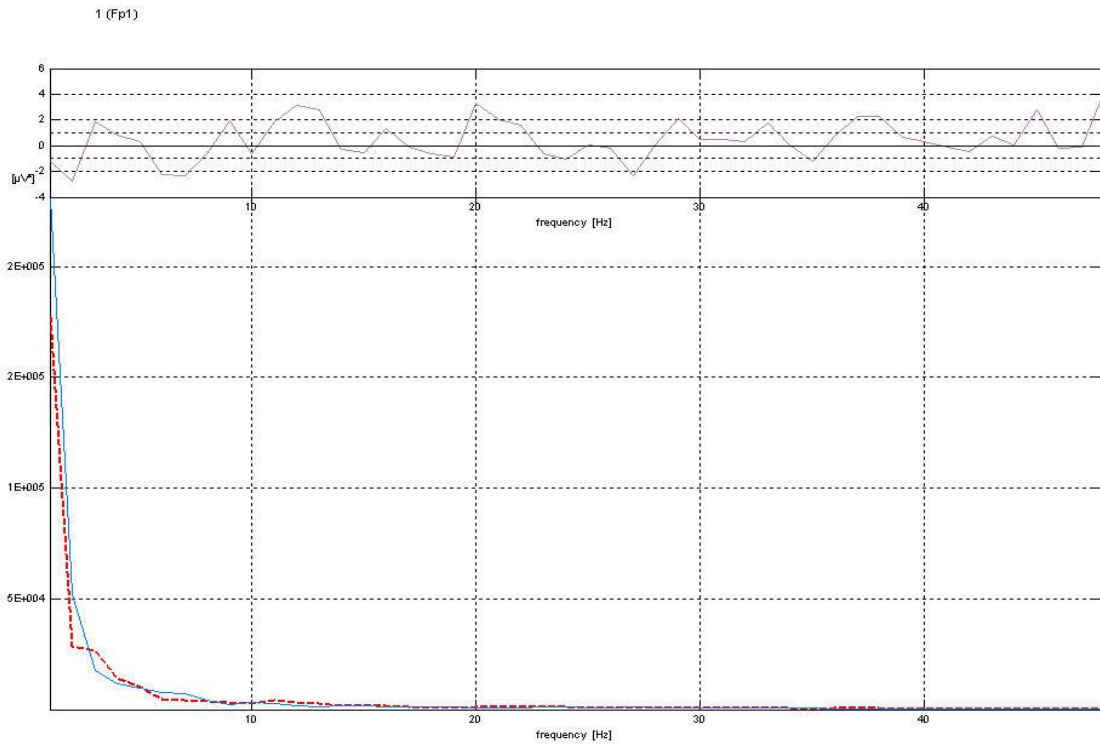
Σχήμα III.56. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1.



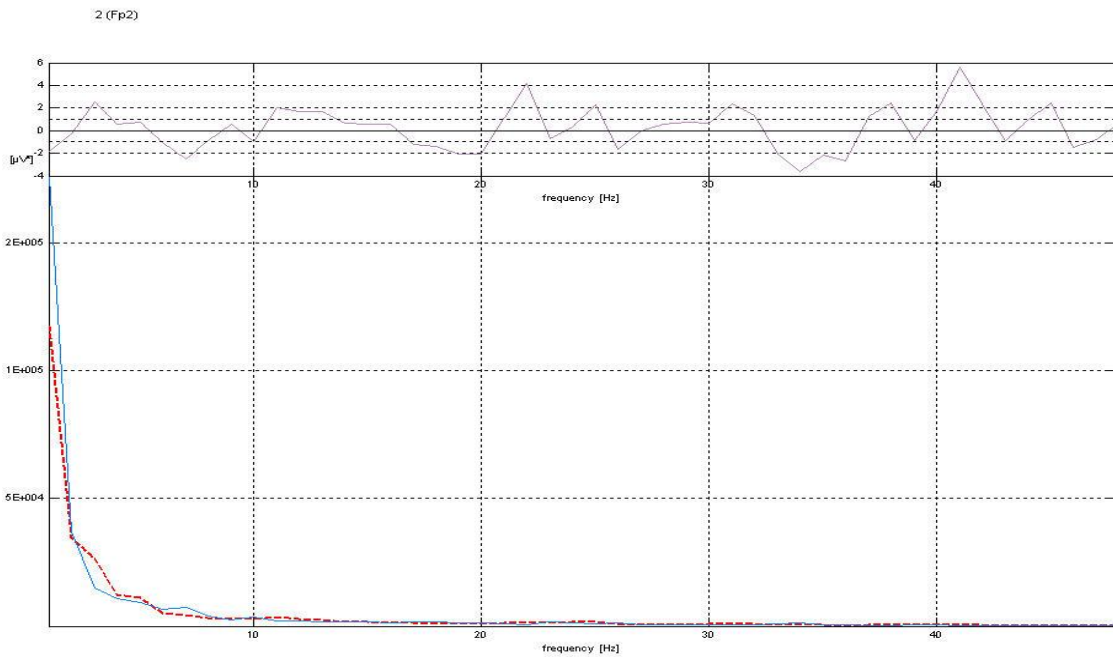
Σχήμα ΙΙΙ.57. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού και εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο 57.

**Οπτική – χωρική προσοχή και αναγνώριση αντικειμένων στο χώρο**

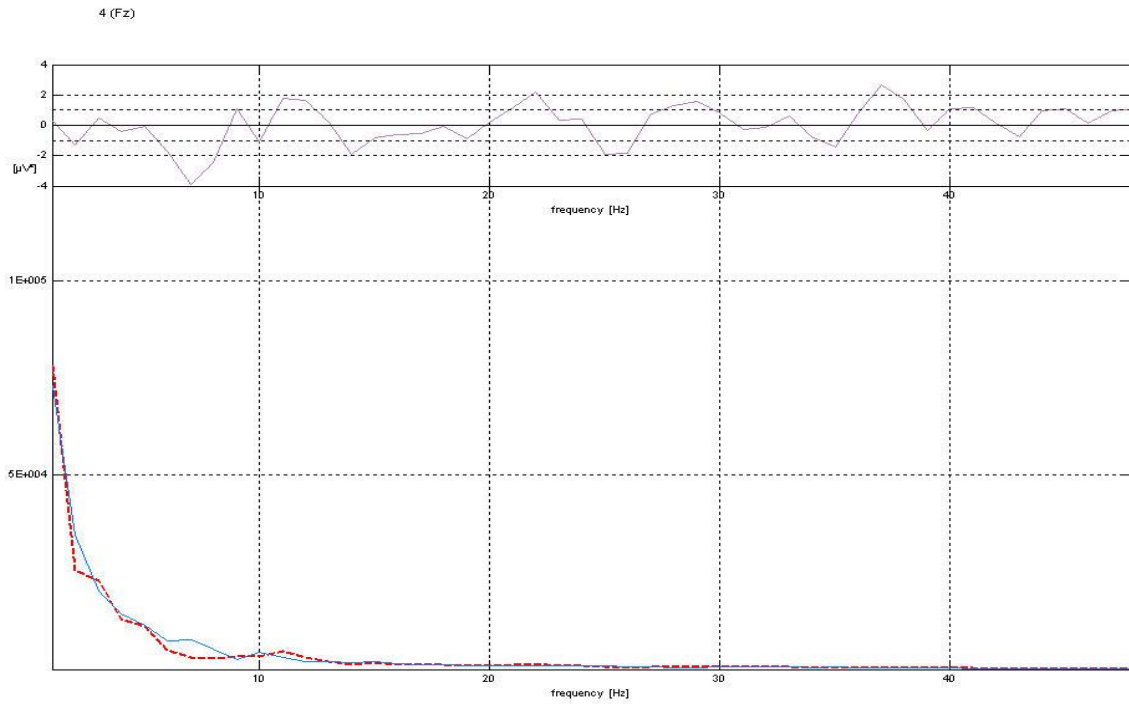
**Πραγματικό περιβάλλον – αντίστοιχο περιβάλλον αλλαγής**



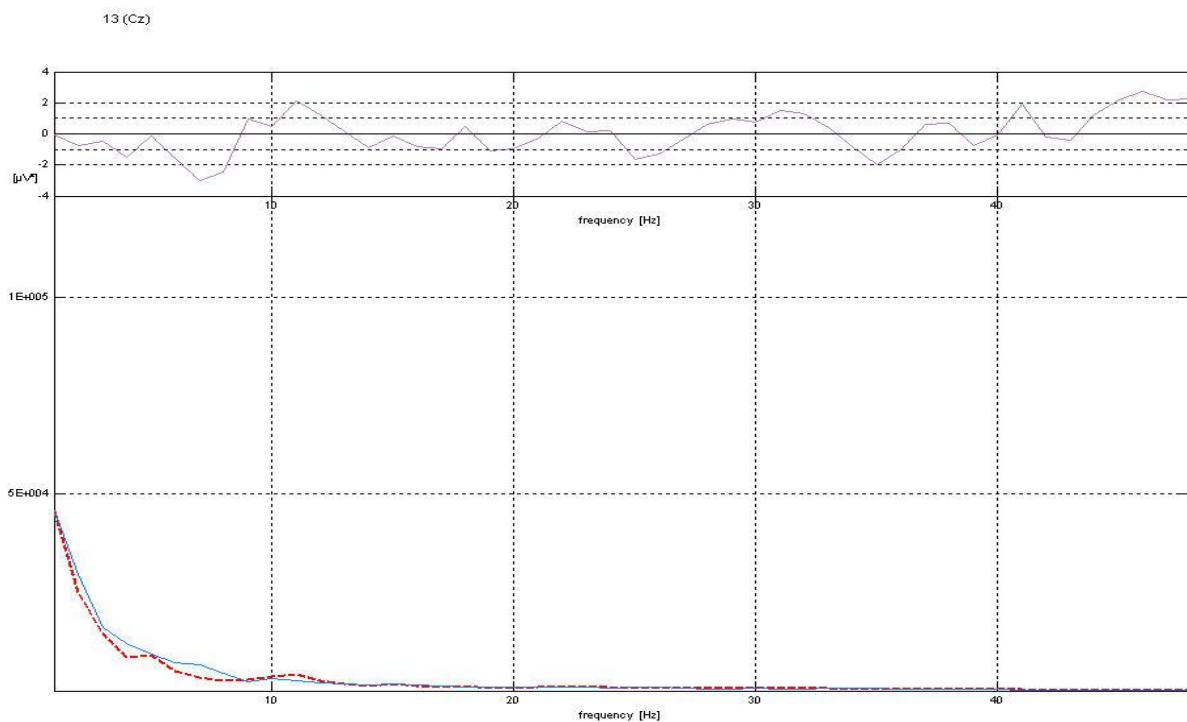
Σχήμα III.58. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1.



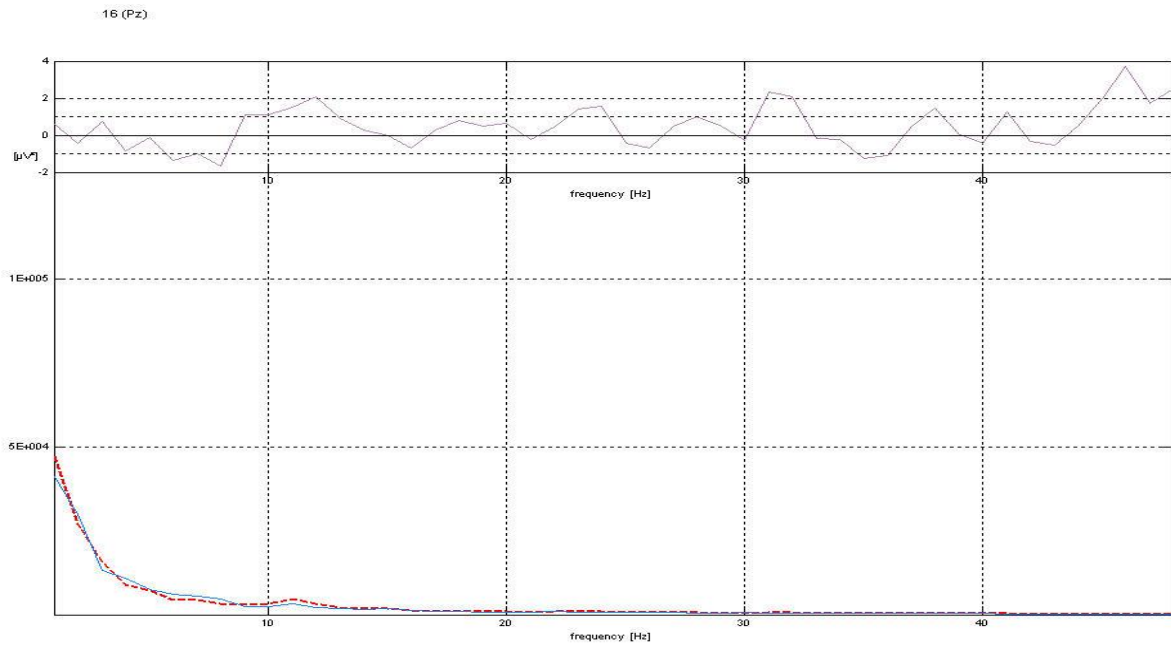
Σχήμα III.59. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2.



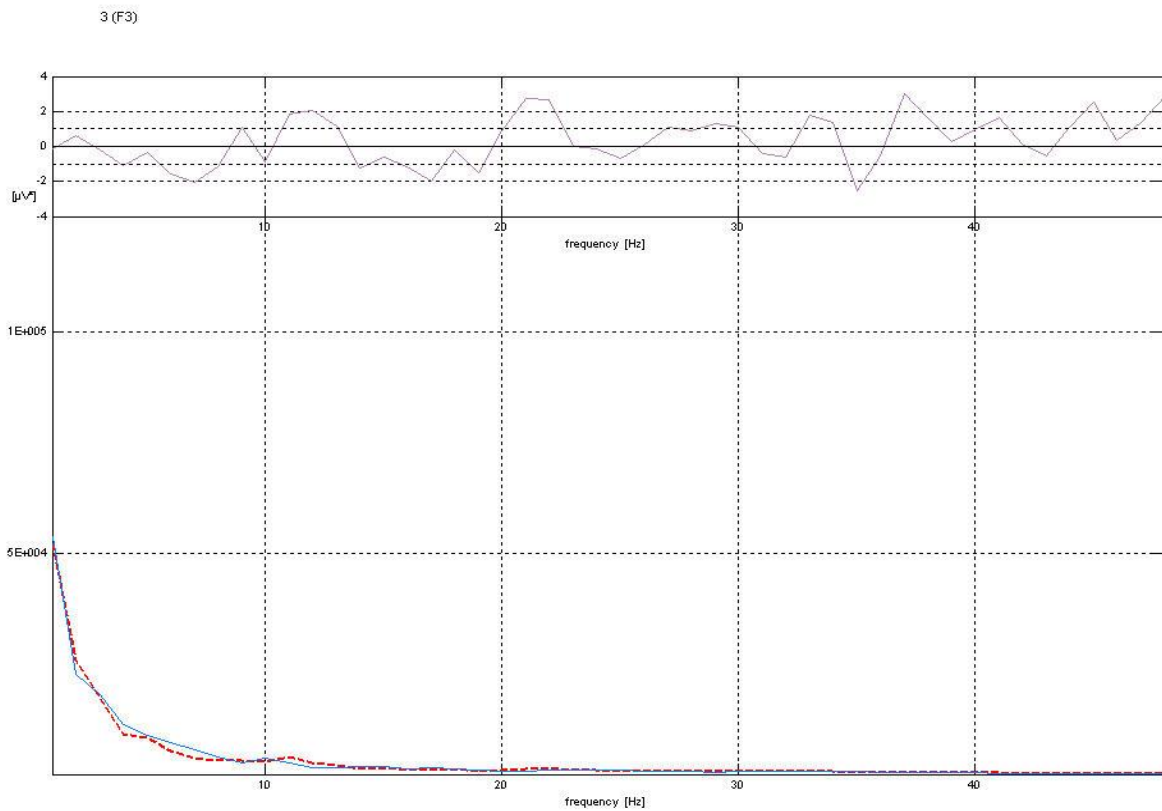
Σχήμα III.60. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz.



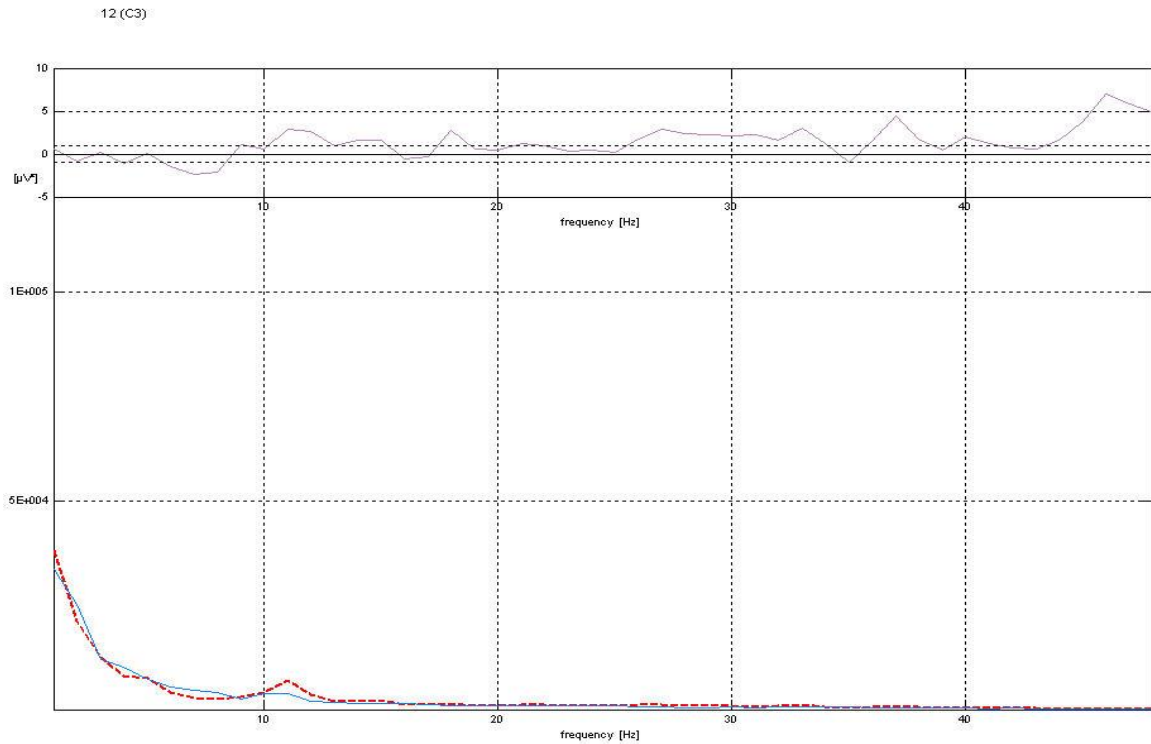
Σχήμα III.61. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz.



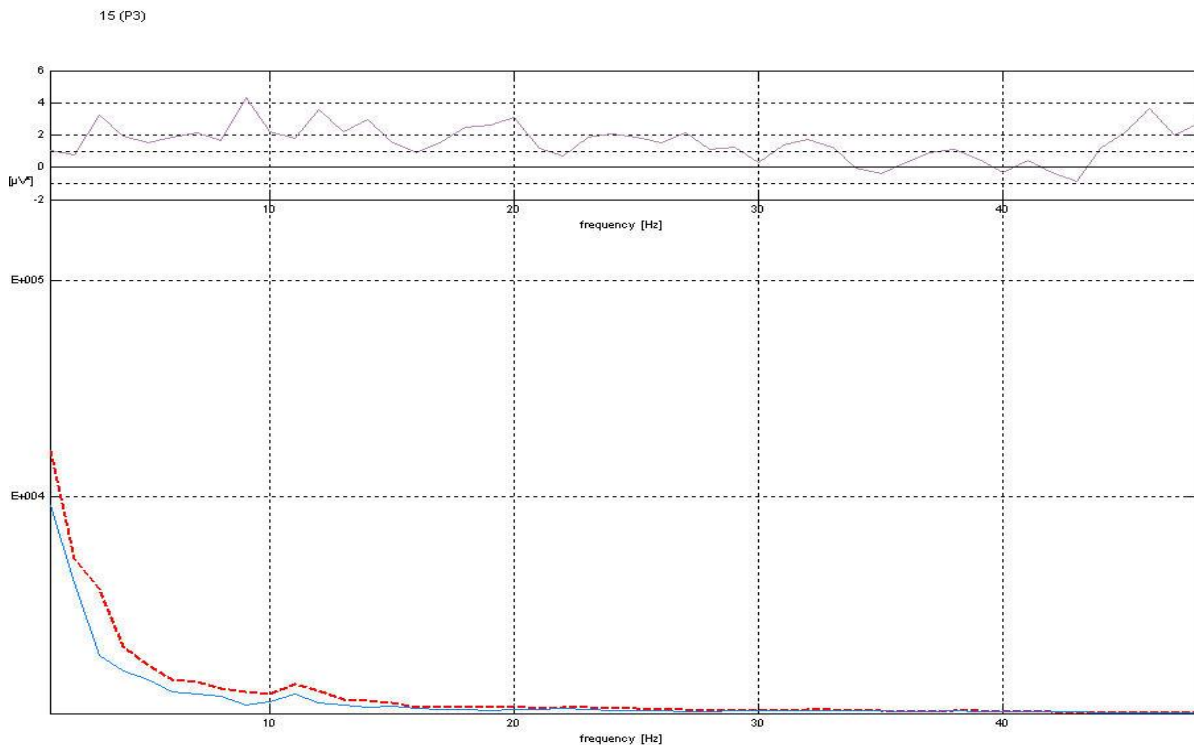
Σχήμα III.62. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz.



Σχήμα III.63. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3.

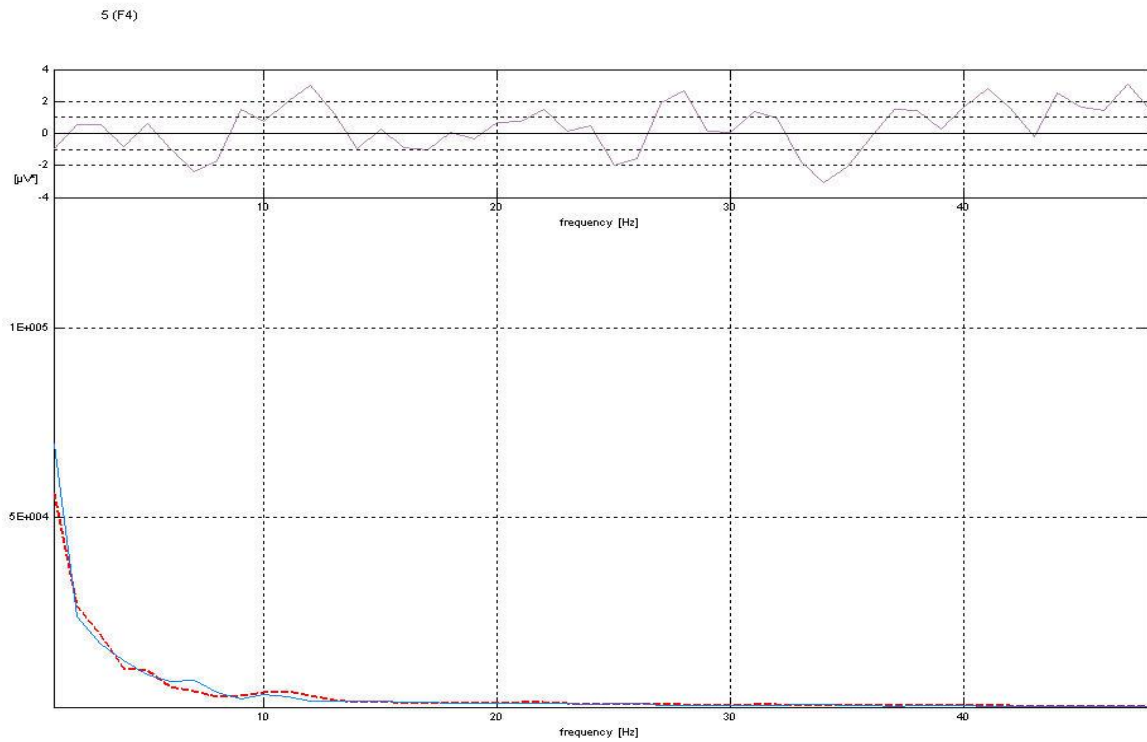


Σχήμα III.64. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3.

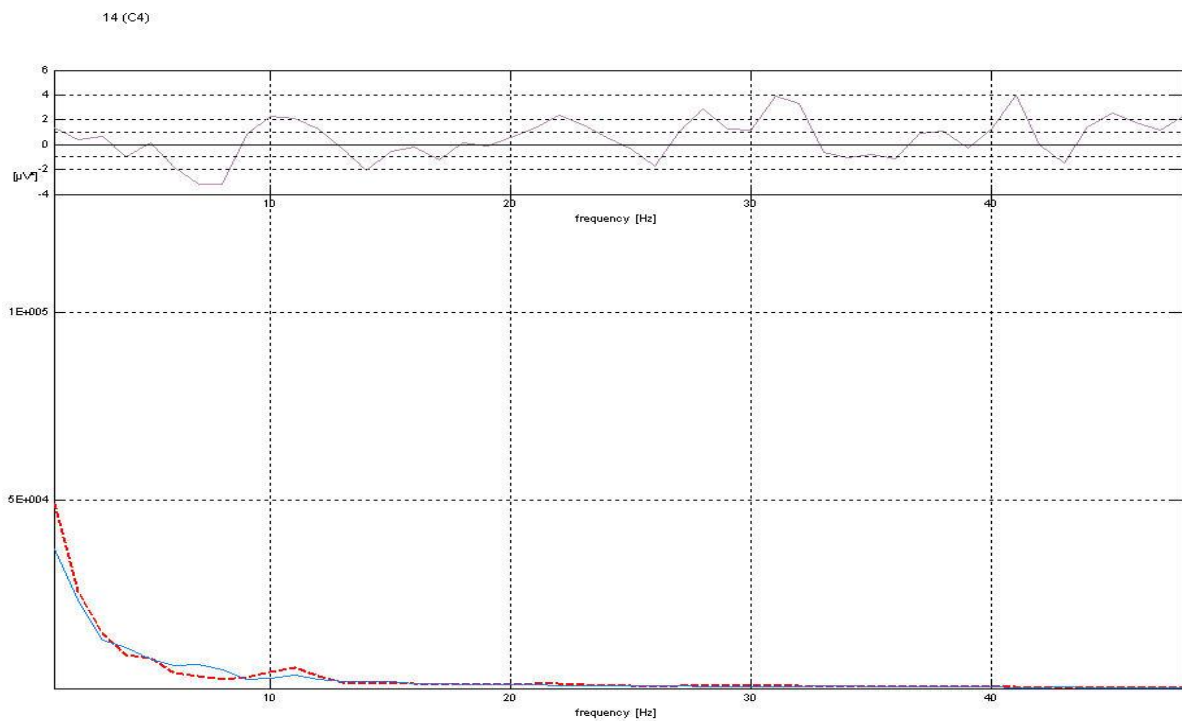


Σχήμα III.65. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3.

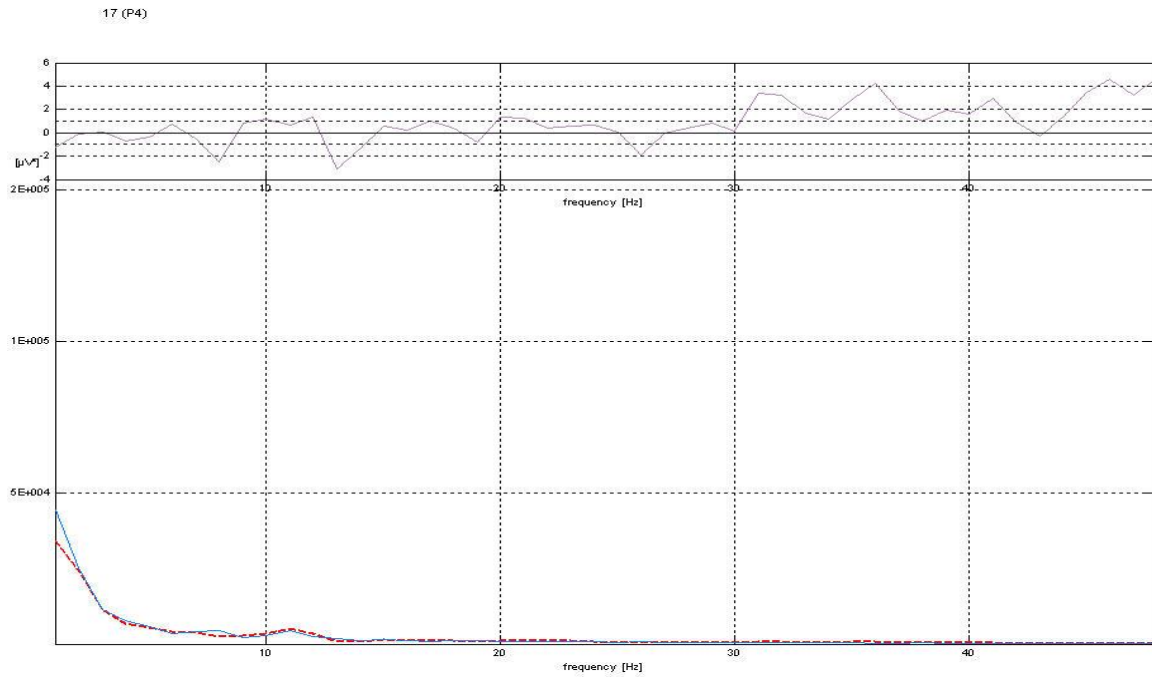




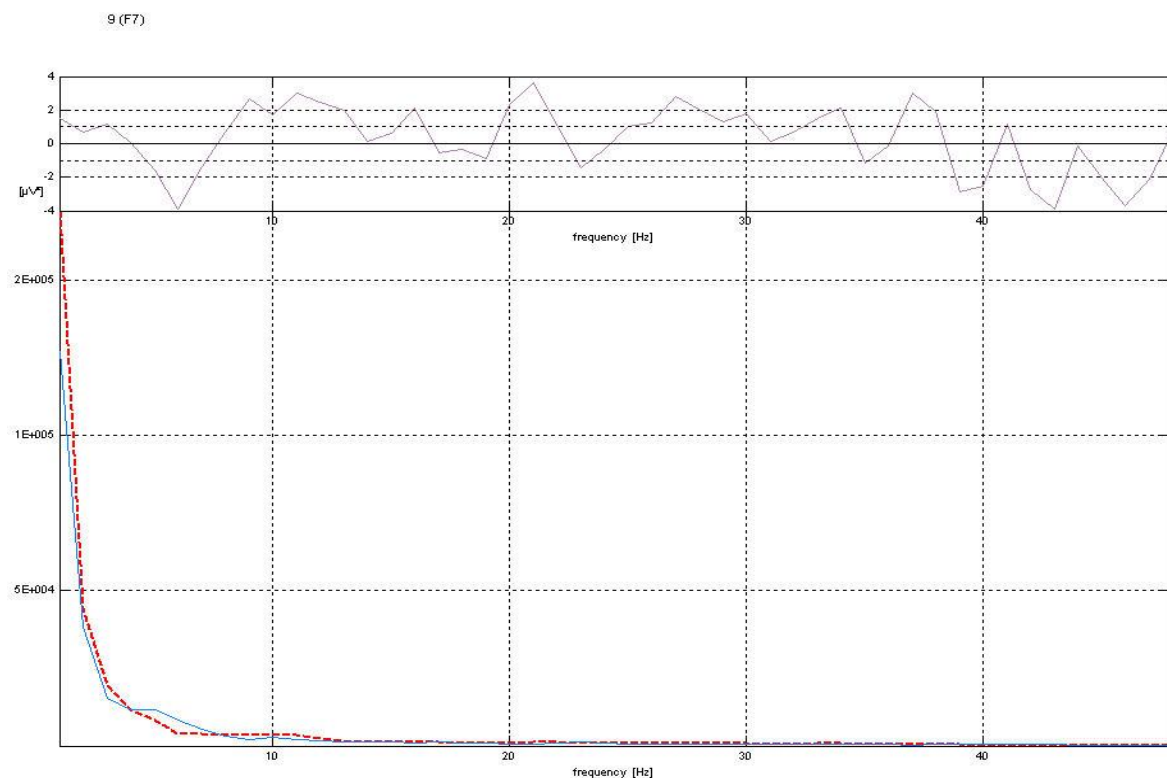
Σχήμα III.66. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4.



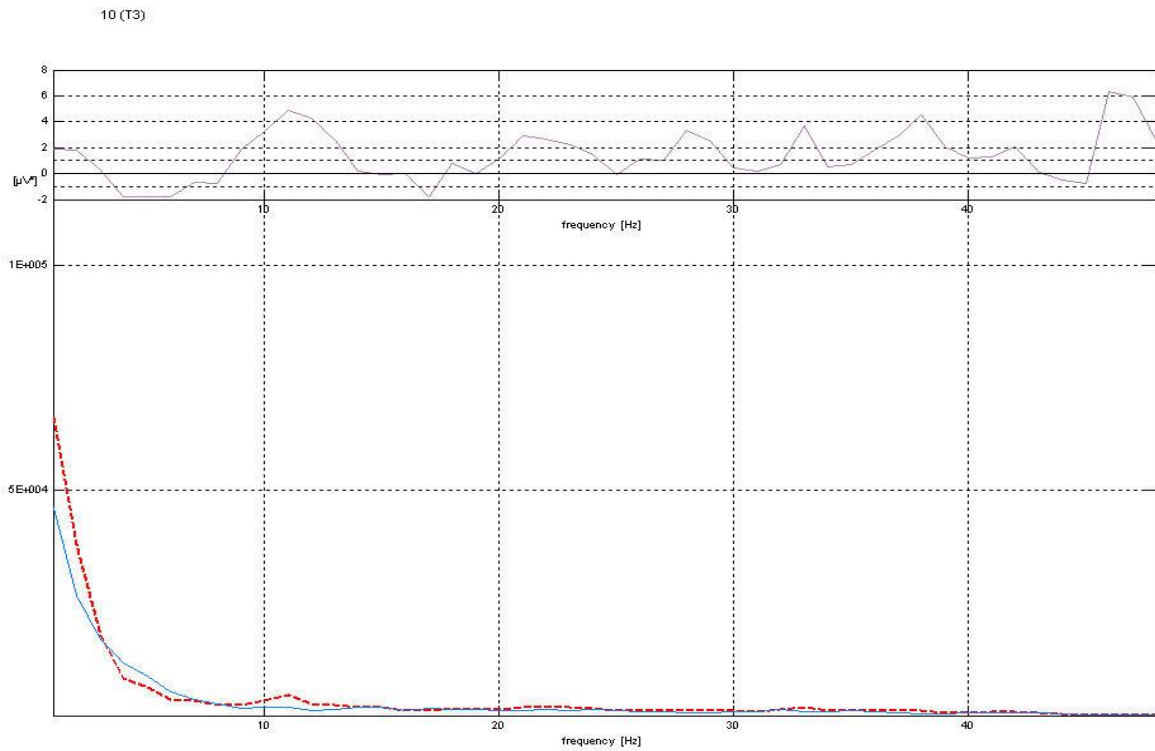
Σχήμα III.67. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4.



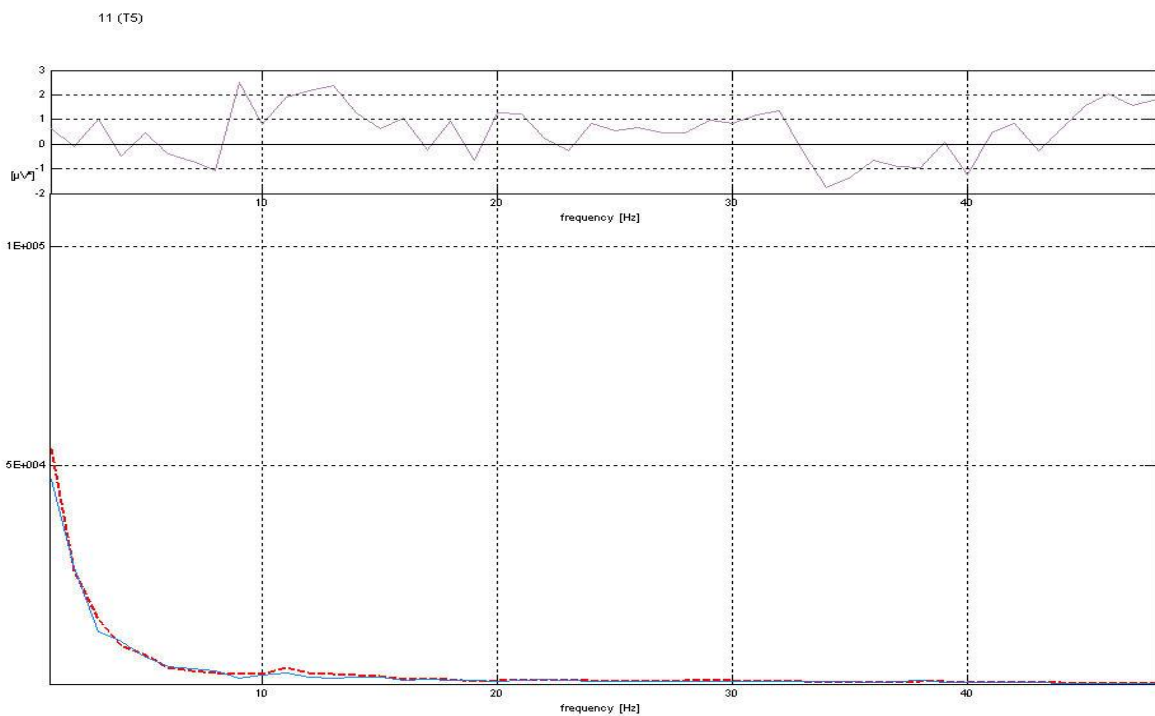
Σχήμα ΙΙΙ.68. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4.



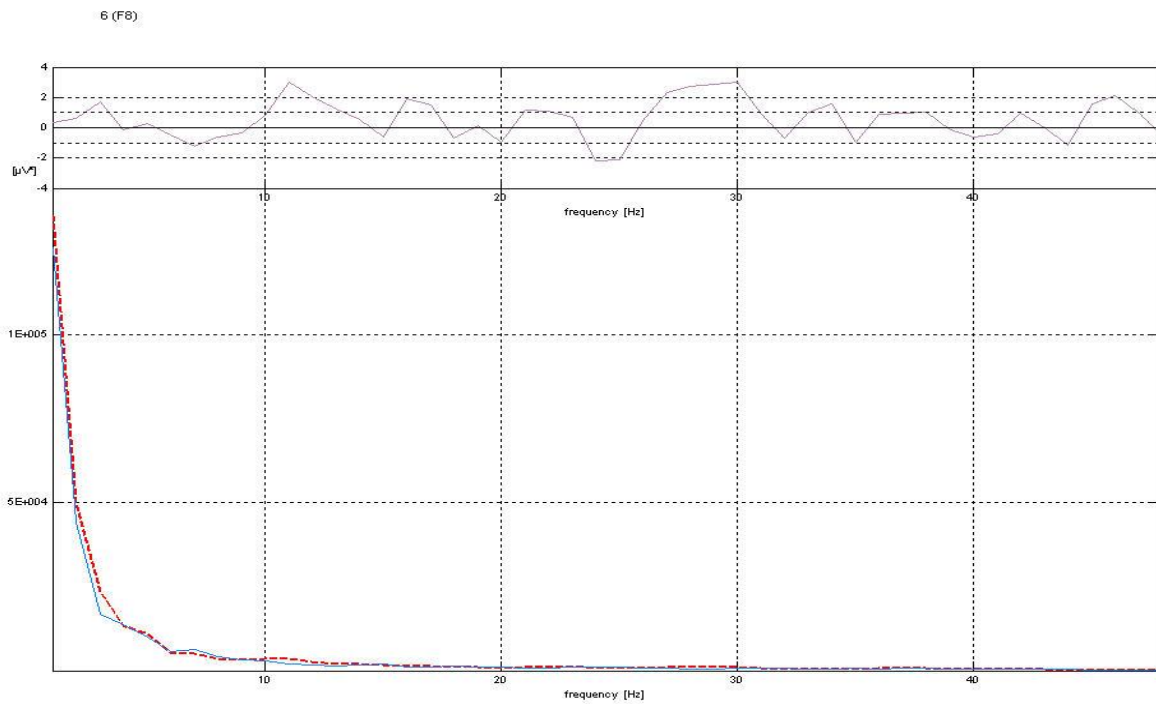
Σχήμα ΙΙΙ.69. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7.



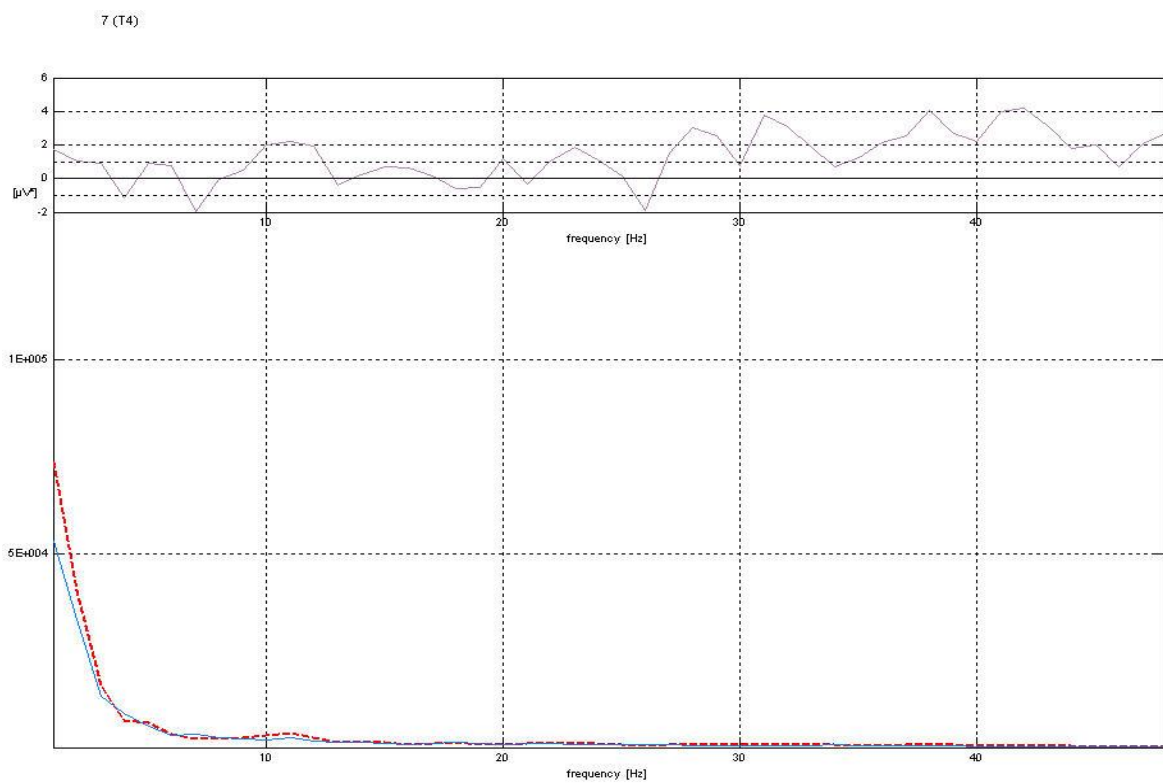
Σχήμα III.70. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3.



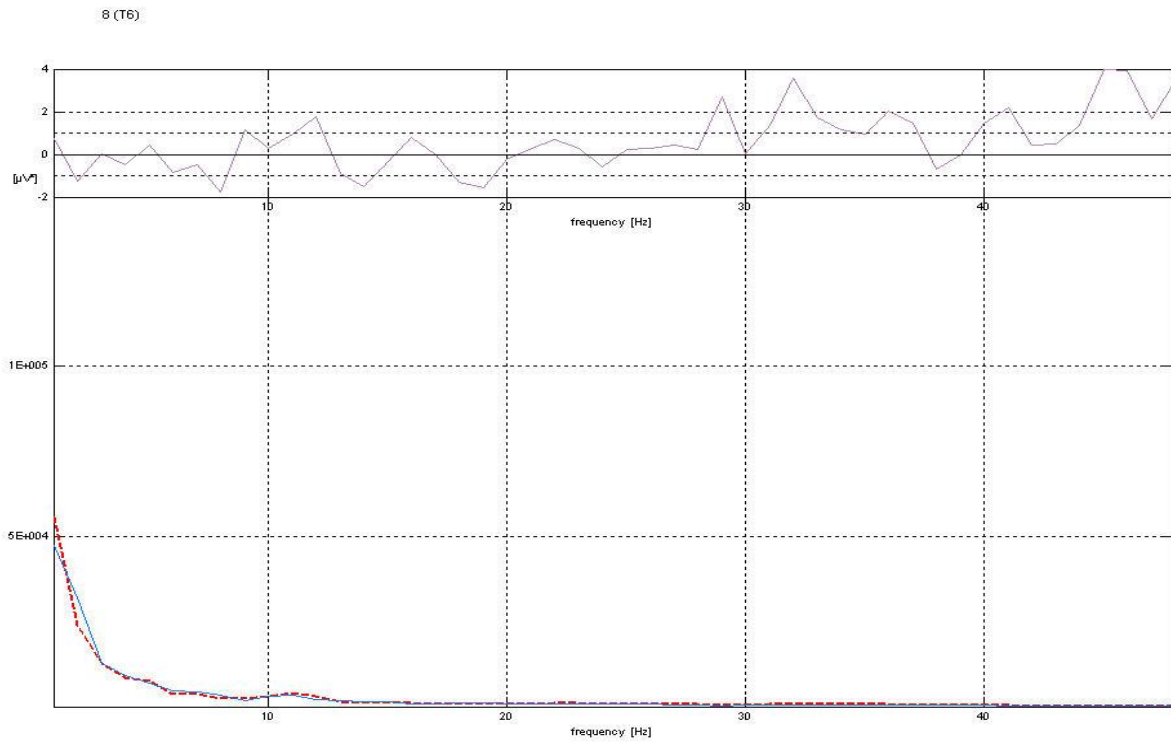
Σχήμα III.71. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5.



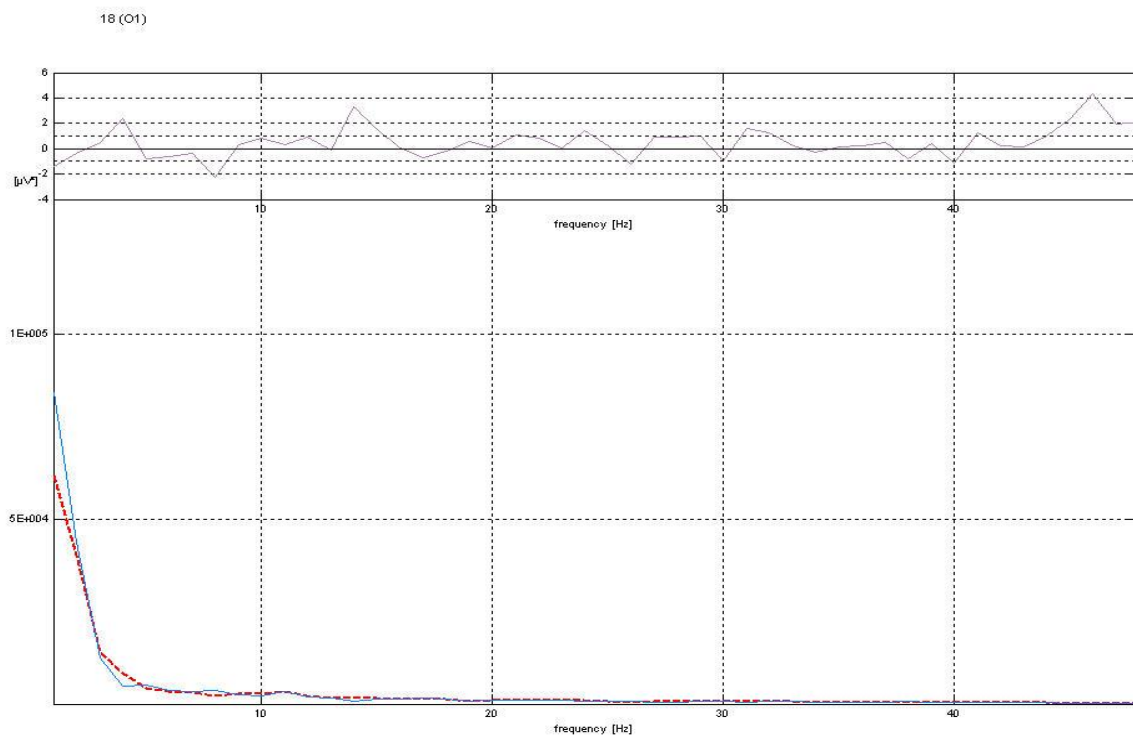
Σχήμα III.72. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8.



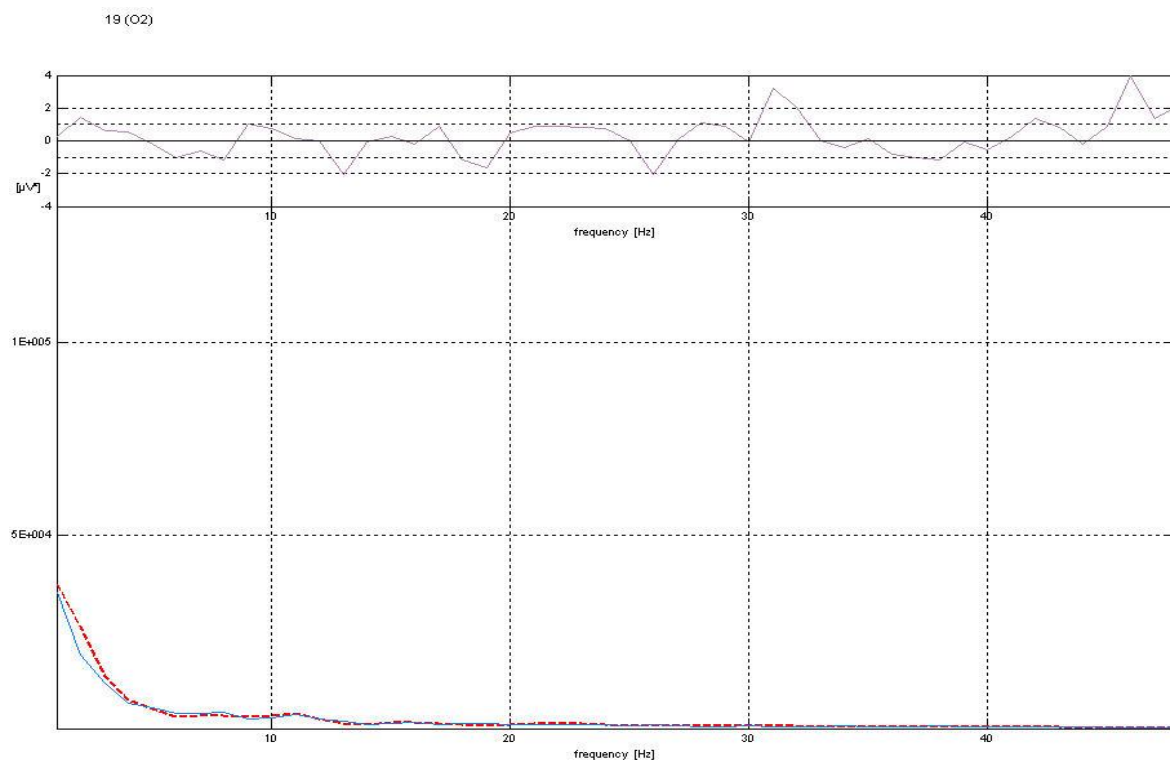
Σχήμα III.73. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4.



Σχήμα III.74. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6.

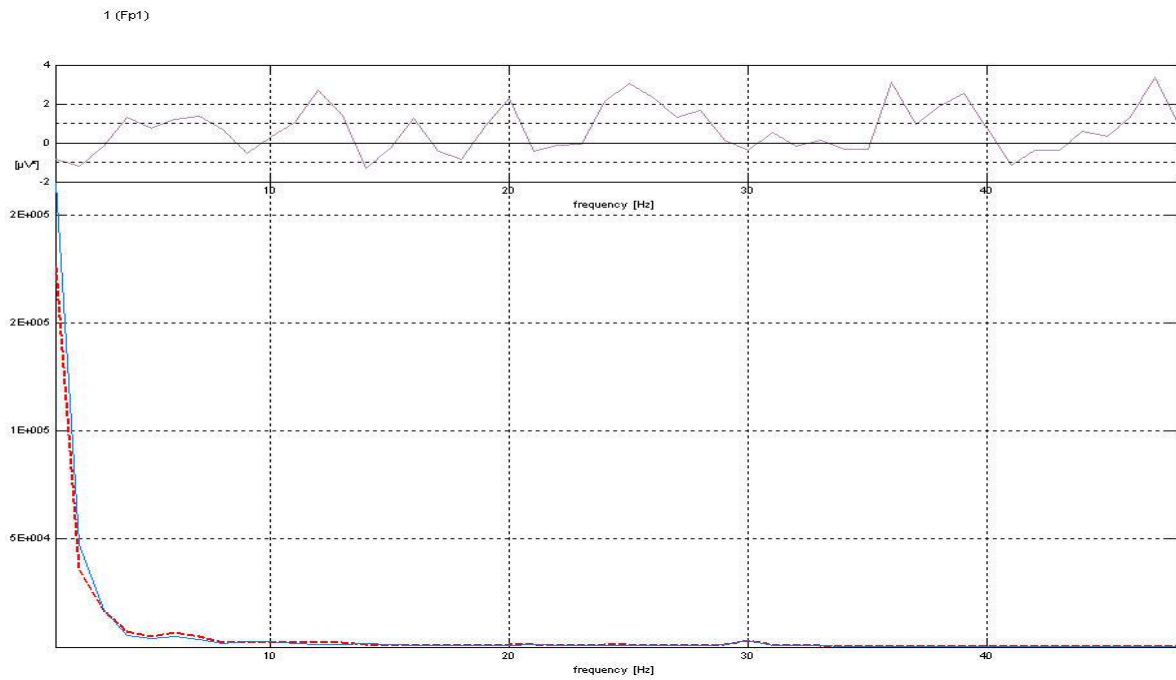


Σχήμα III.75. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1.

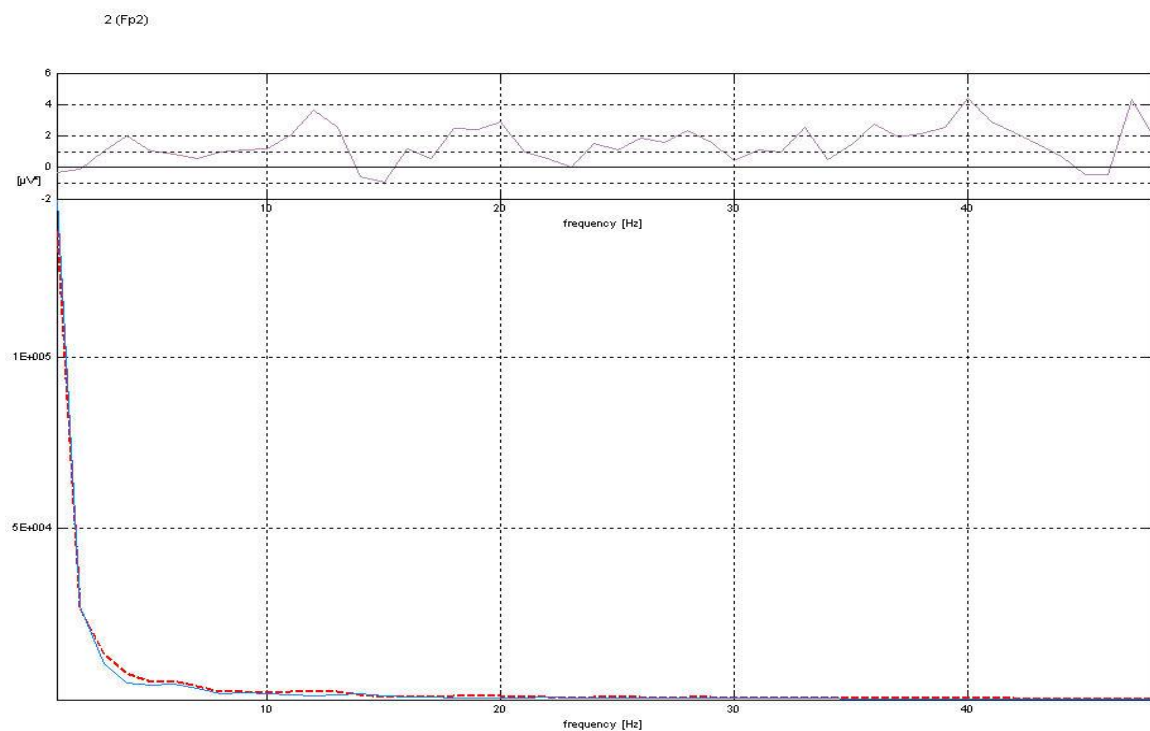


Σχήμα ΙΙΙ.76. Φάσματα ισχύος πραγματικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2.

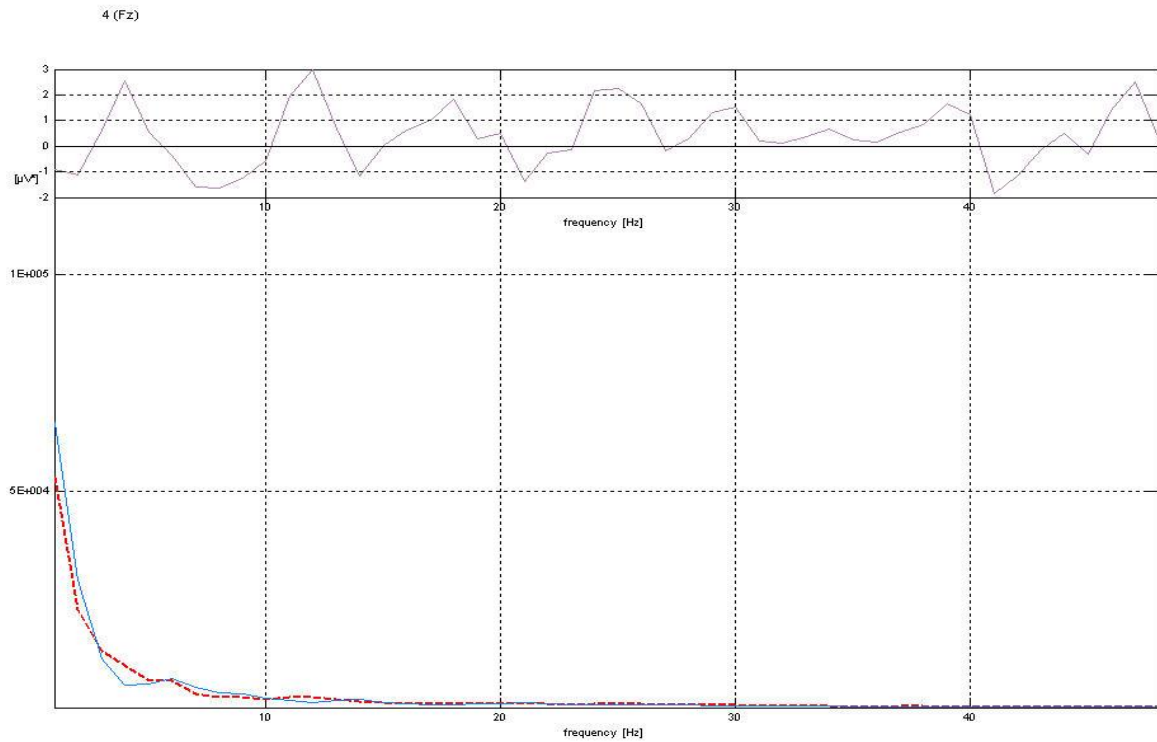
Εικονικό στερεοσκοπικό περιβάλλον – αντίστοιχο περιβάλλον αλλαγής



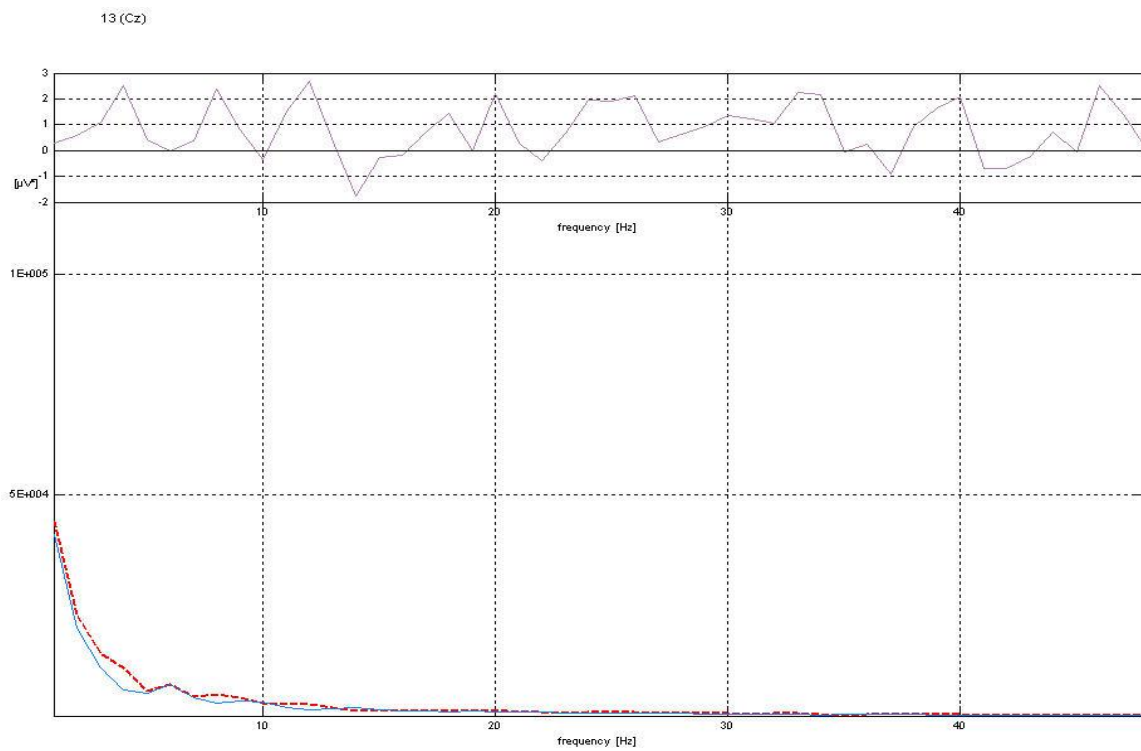
Σχήμα III.77. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1.



Σχήμα III.78. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2.

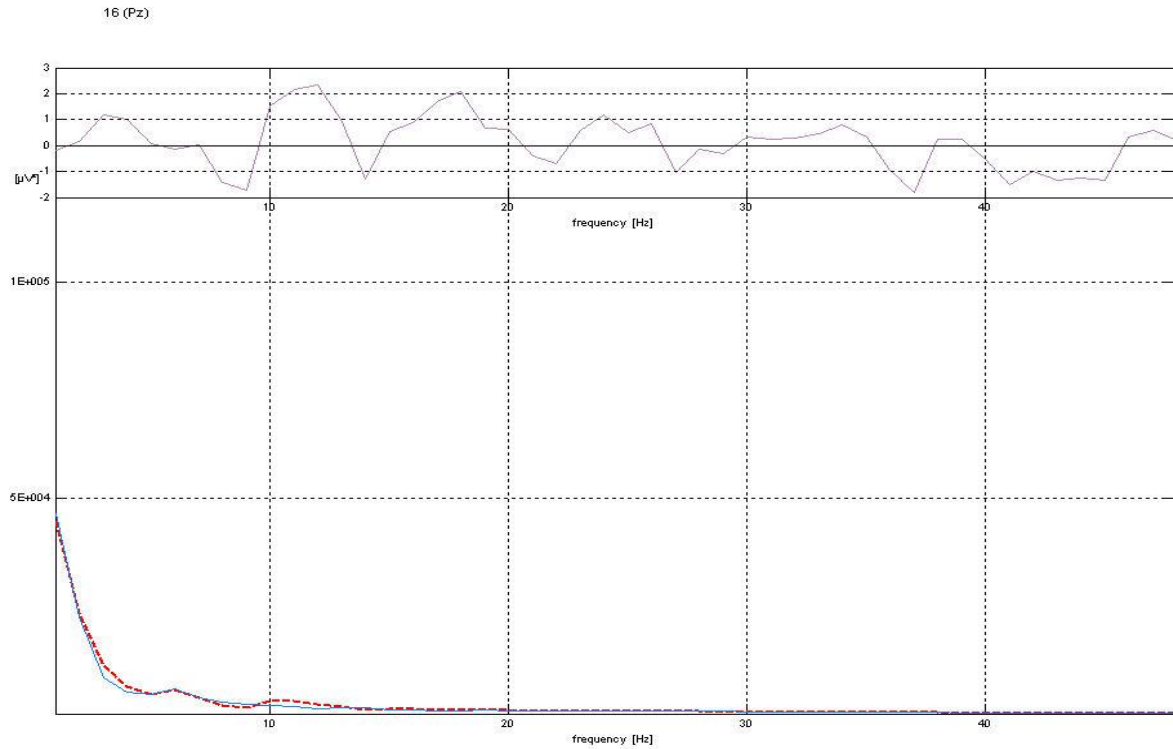


Σχήμα III.79. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz.

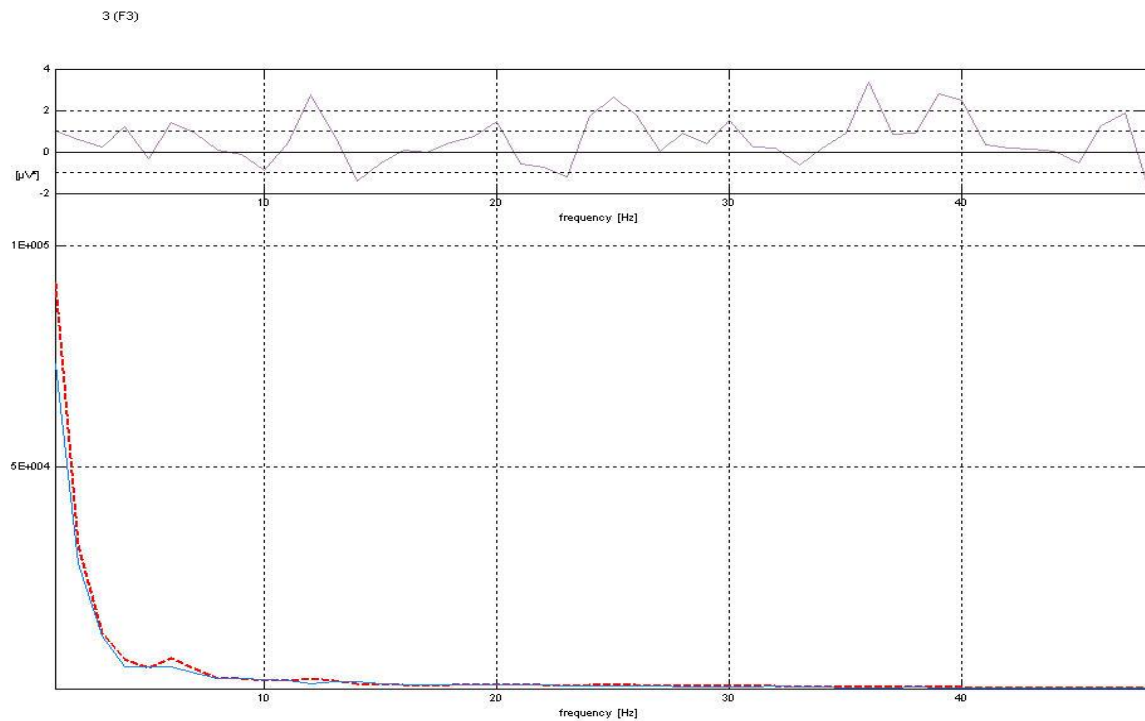


Σχήμα III.80. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz.

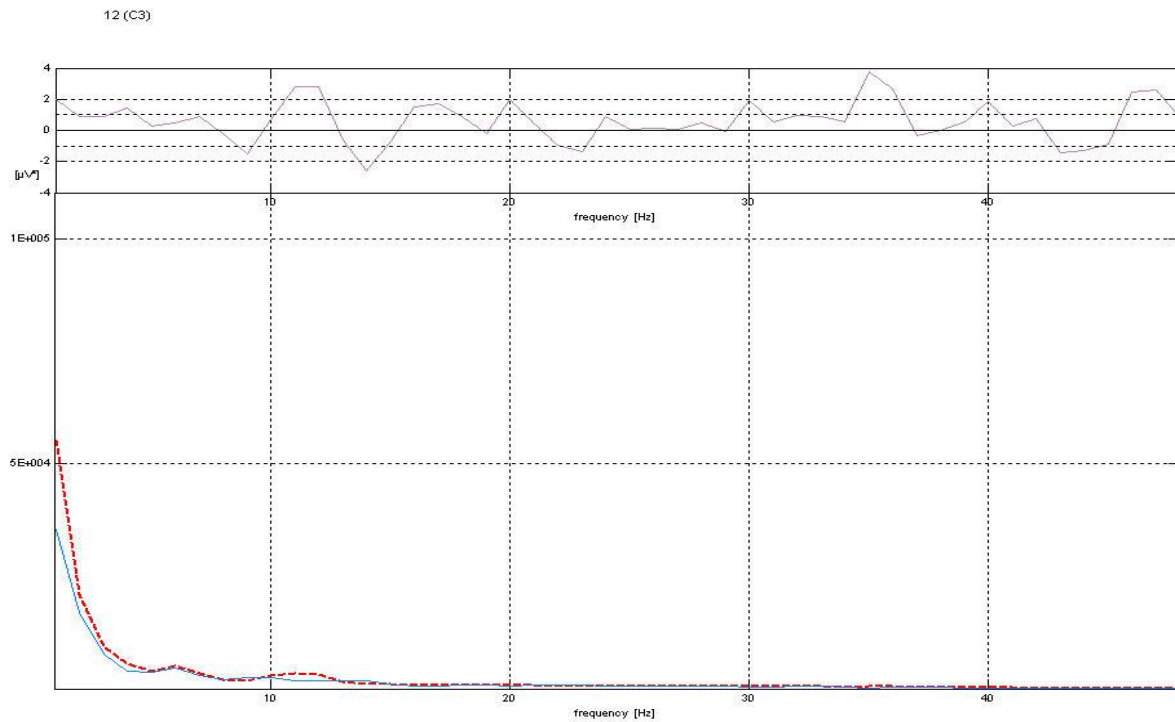




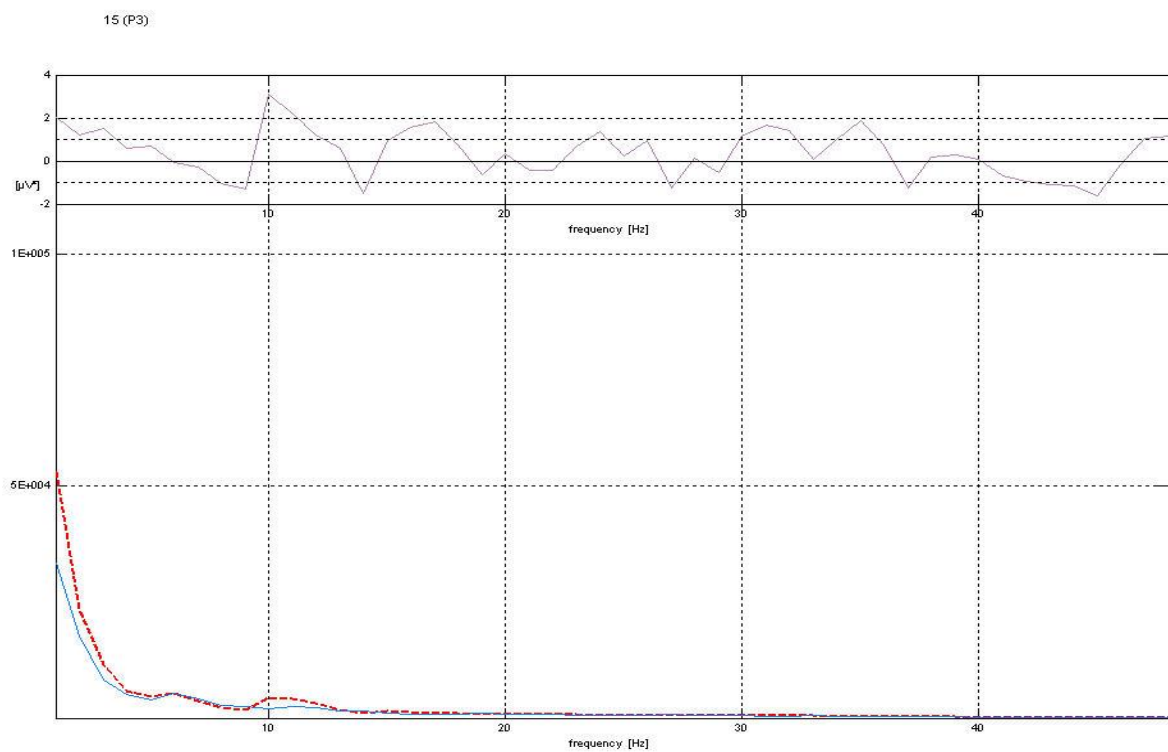
Σχήμα III.81. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz.



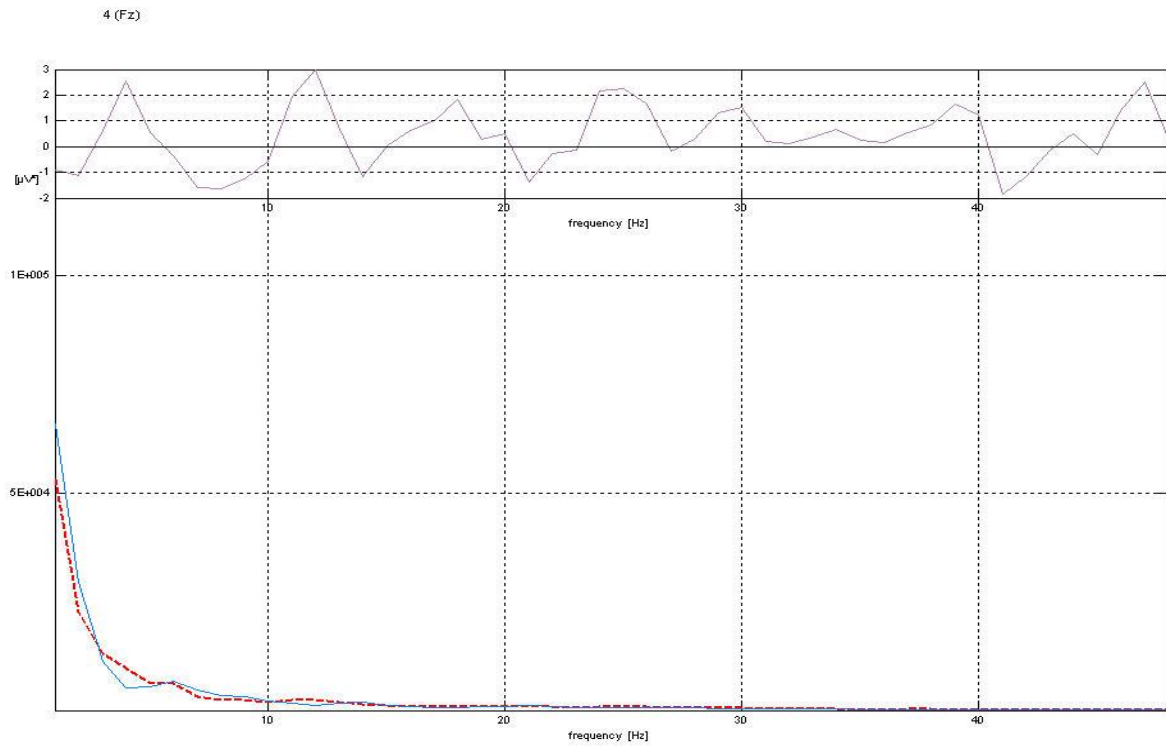
Σχήμα III.82. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3.



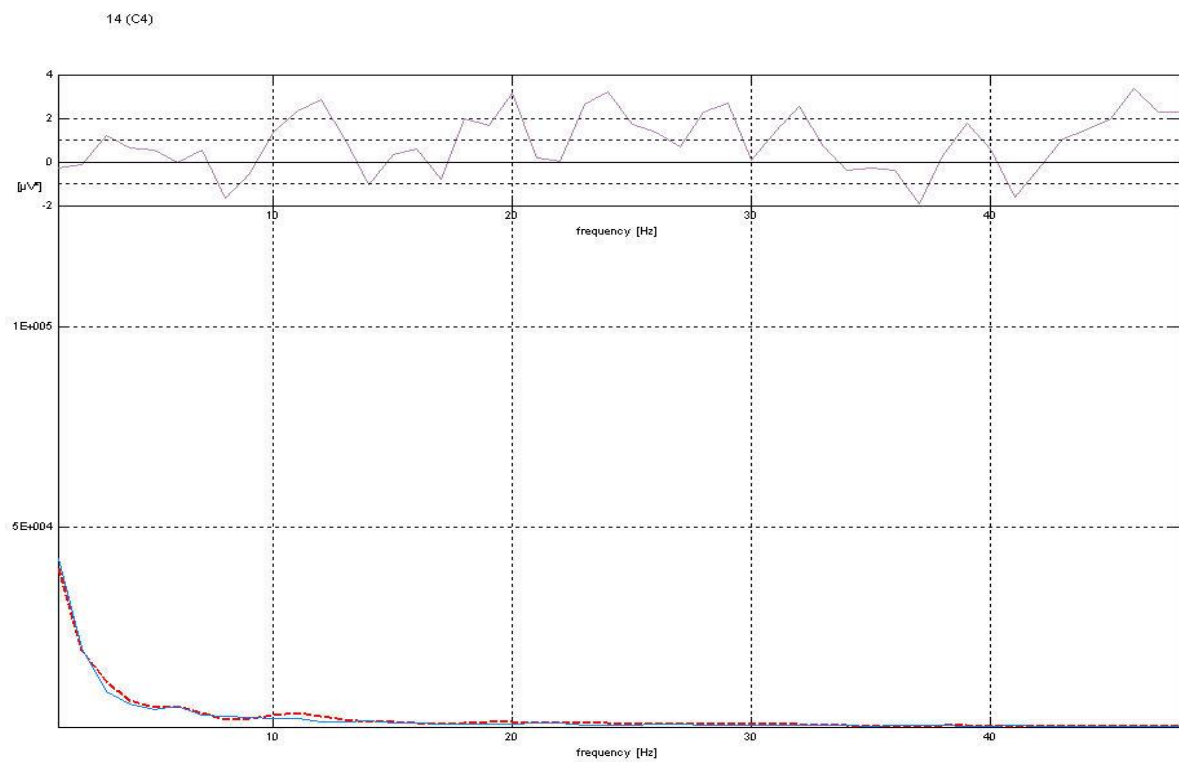
Σχήμα III.83. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3.



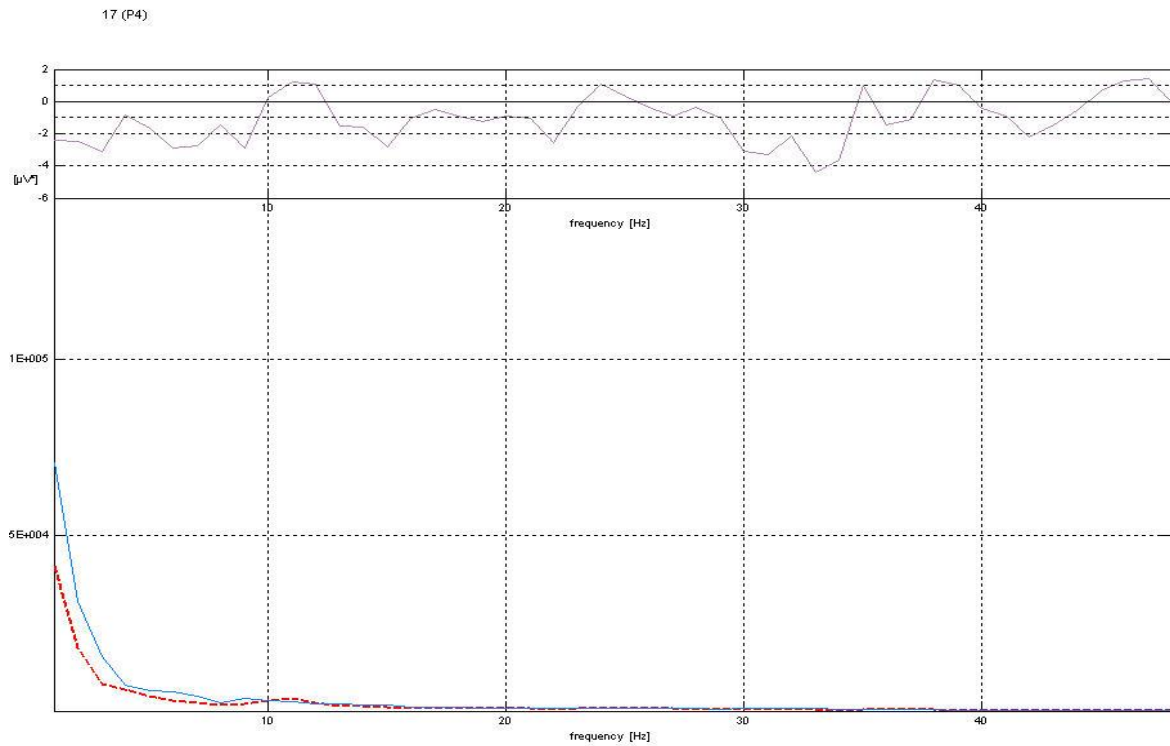
Σχήμα III.84. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3.



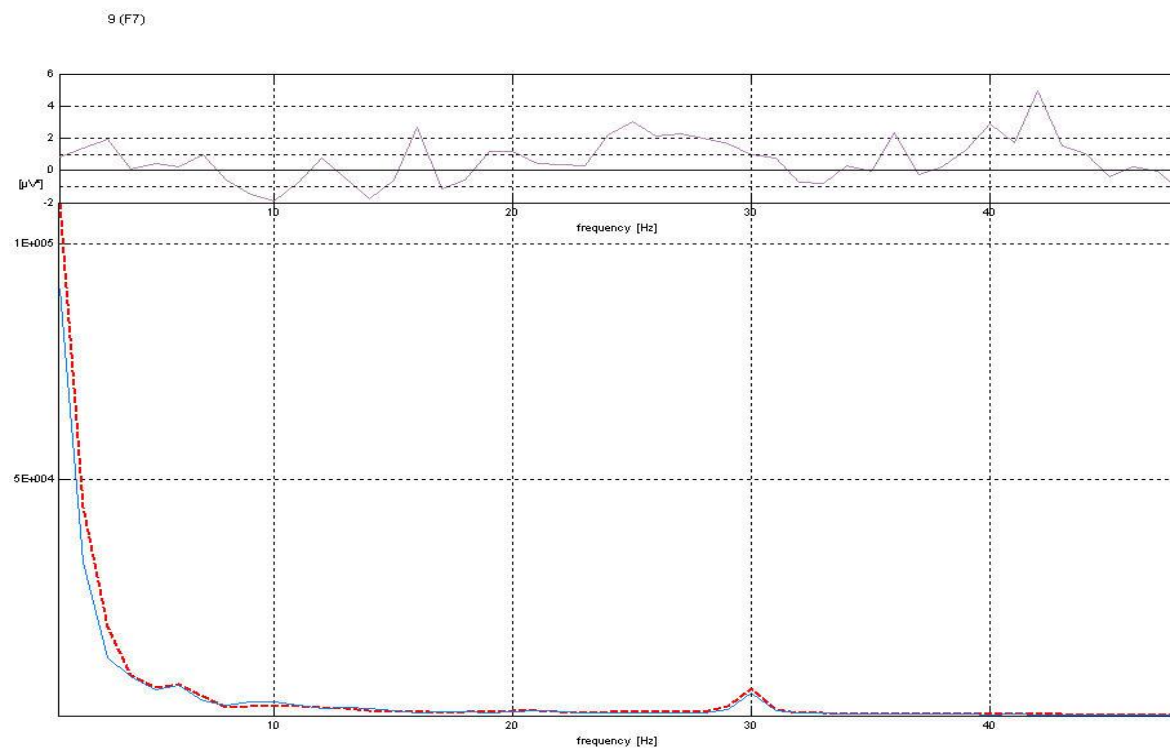
Σχήμα III.85. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4.



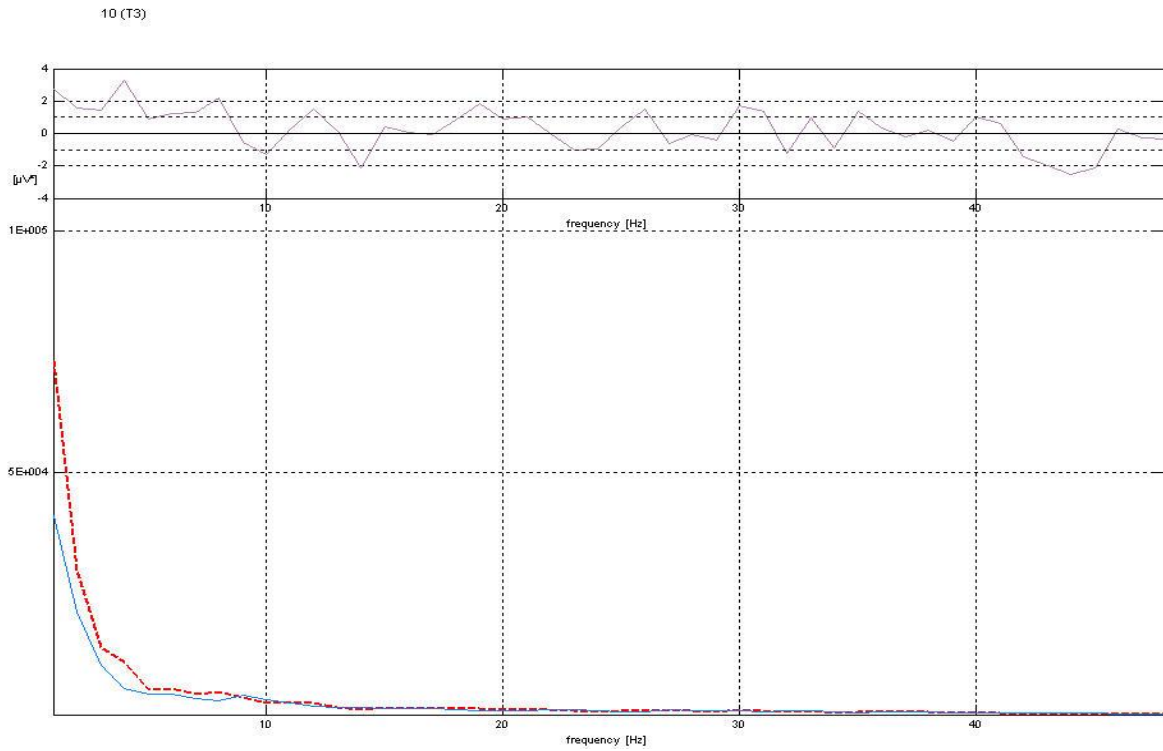
Σχήμα III.86. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4.



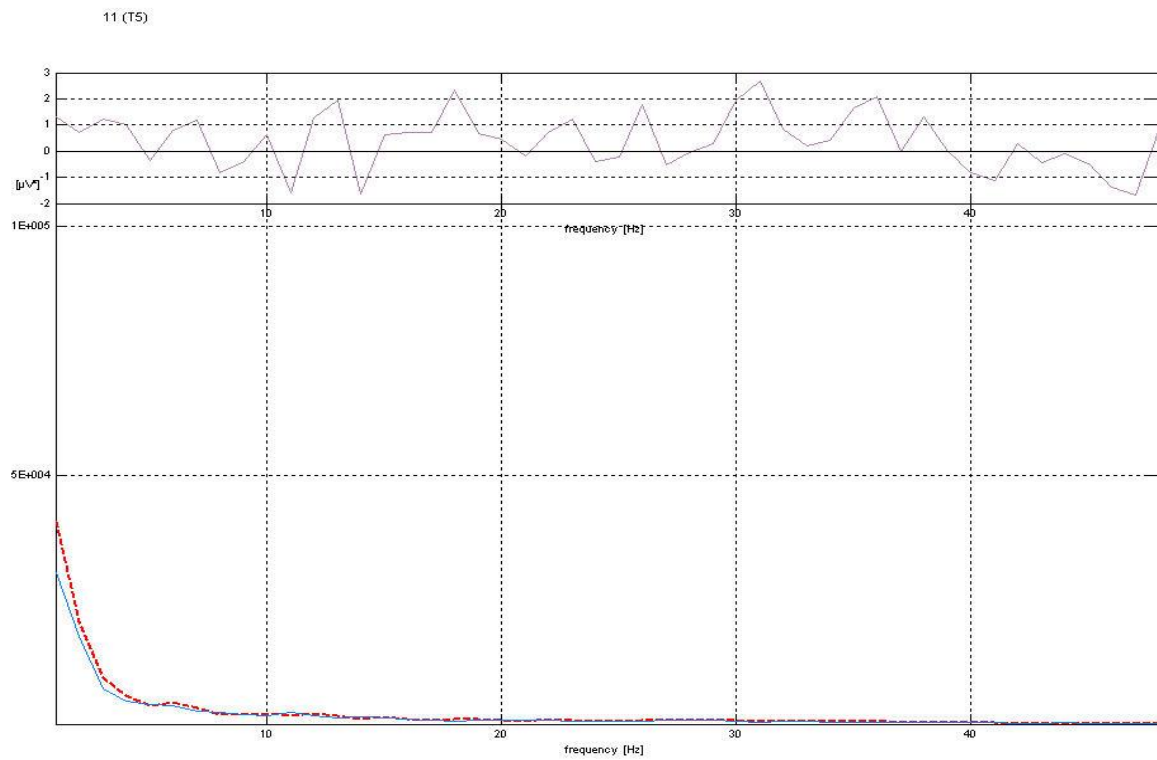
Σχήμα III.87. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4.



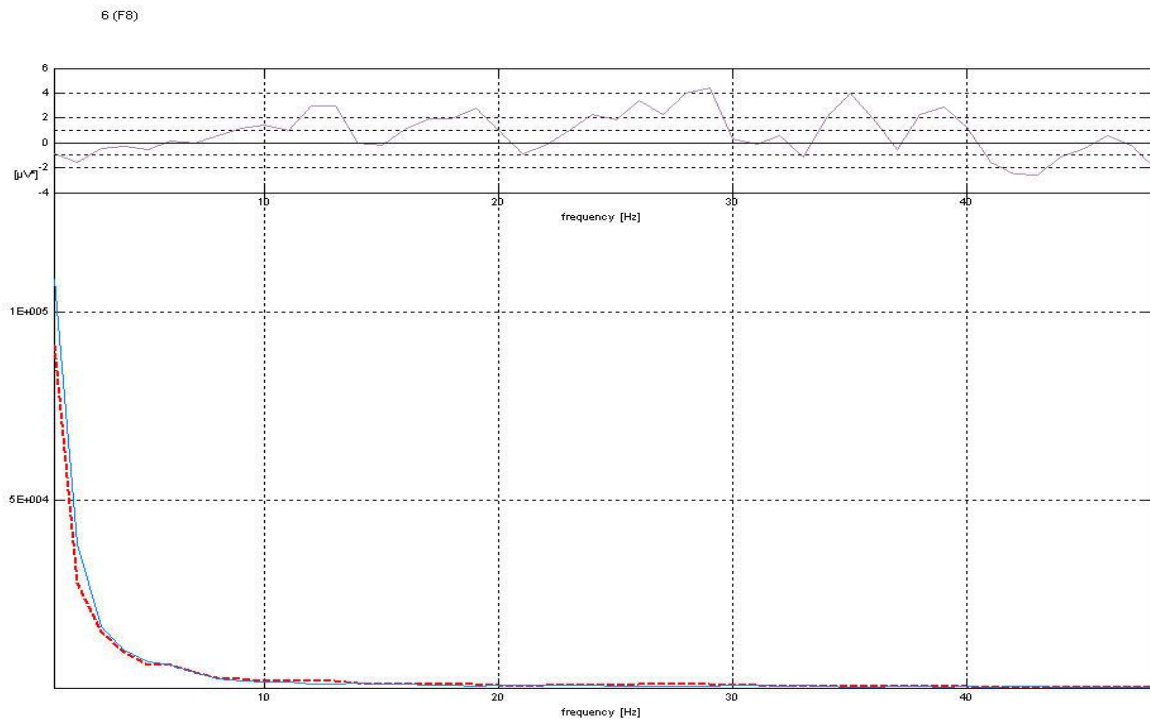
Σχήμα III.88. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7.



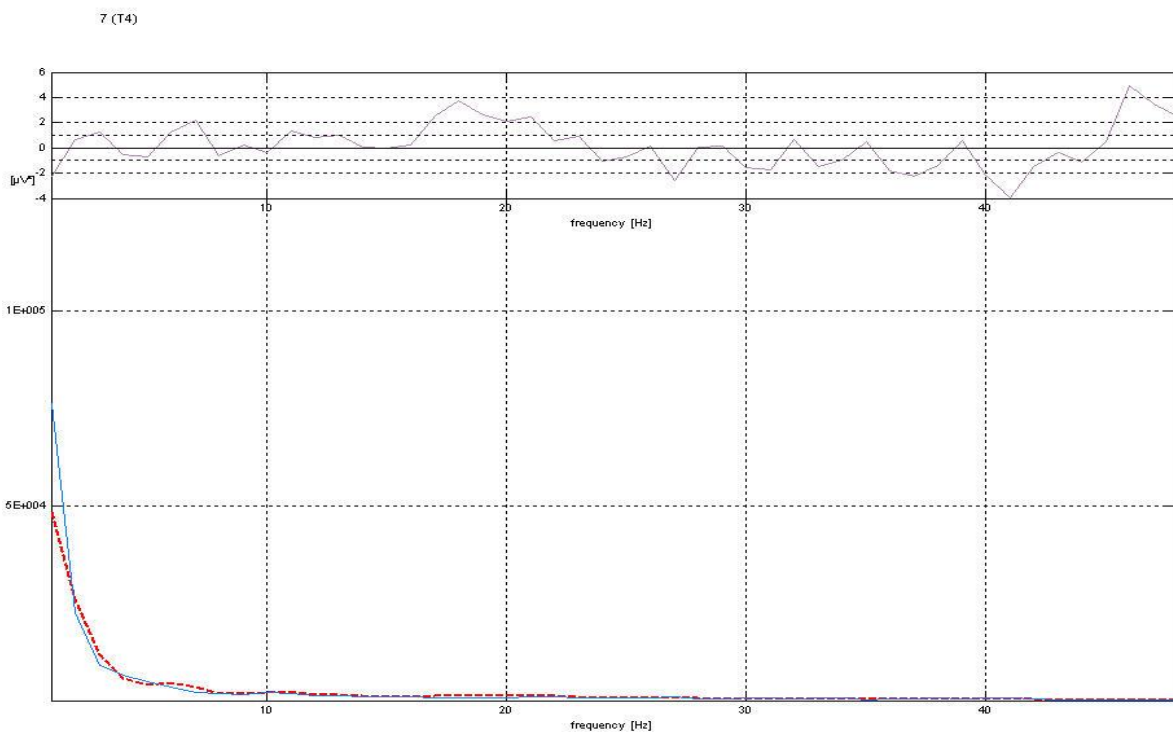
Σχήμα III.89. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3.



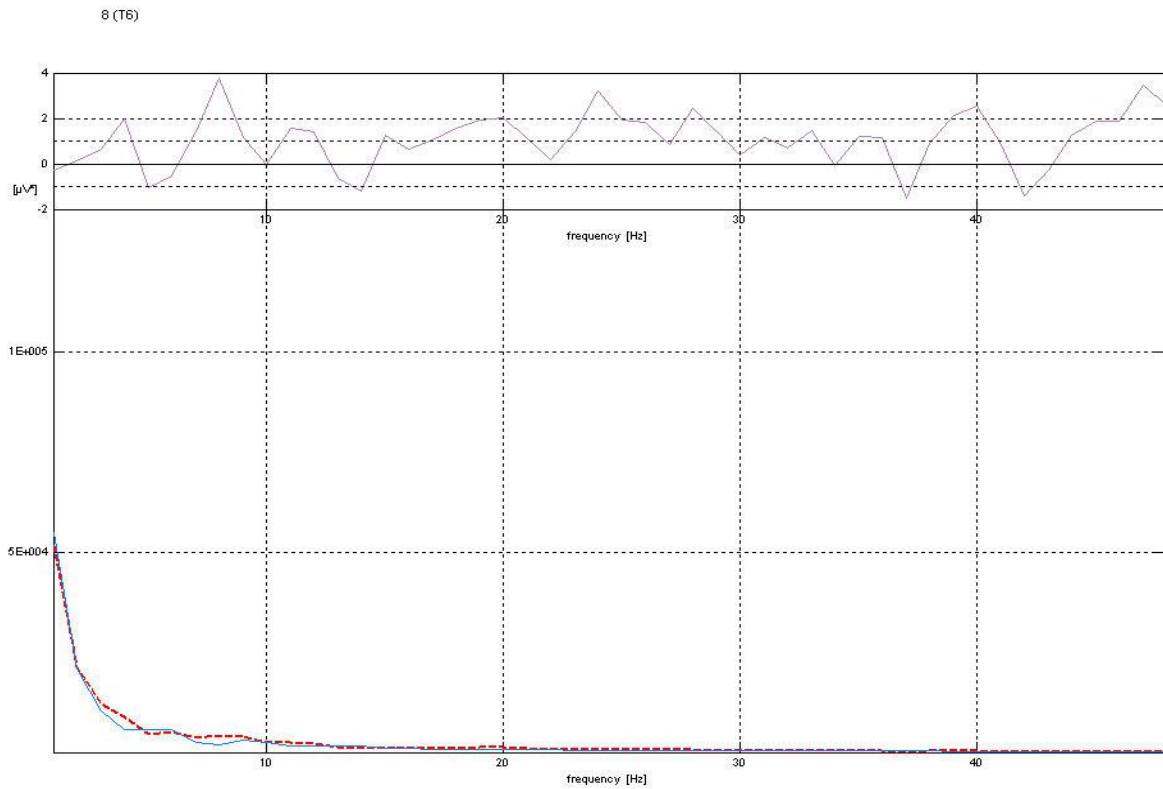
Σχήμα III.90. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5.



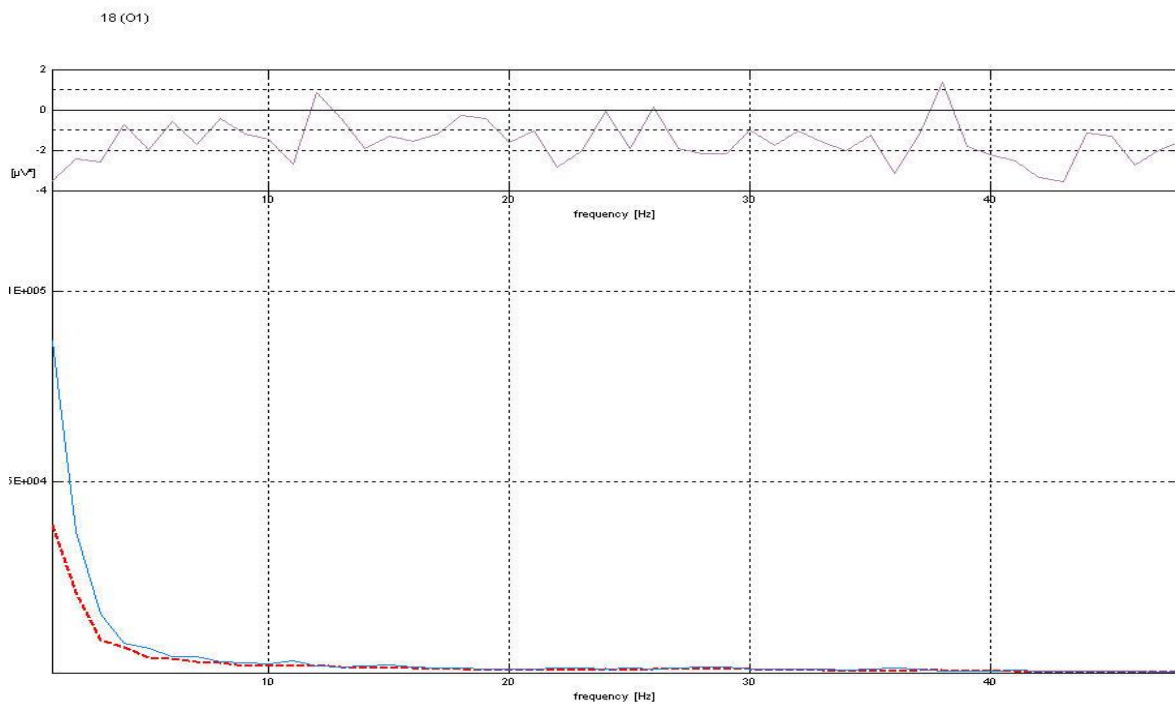
Σχήμα ΙΙΙ.91. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8.



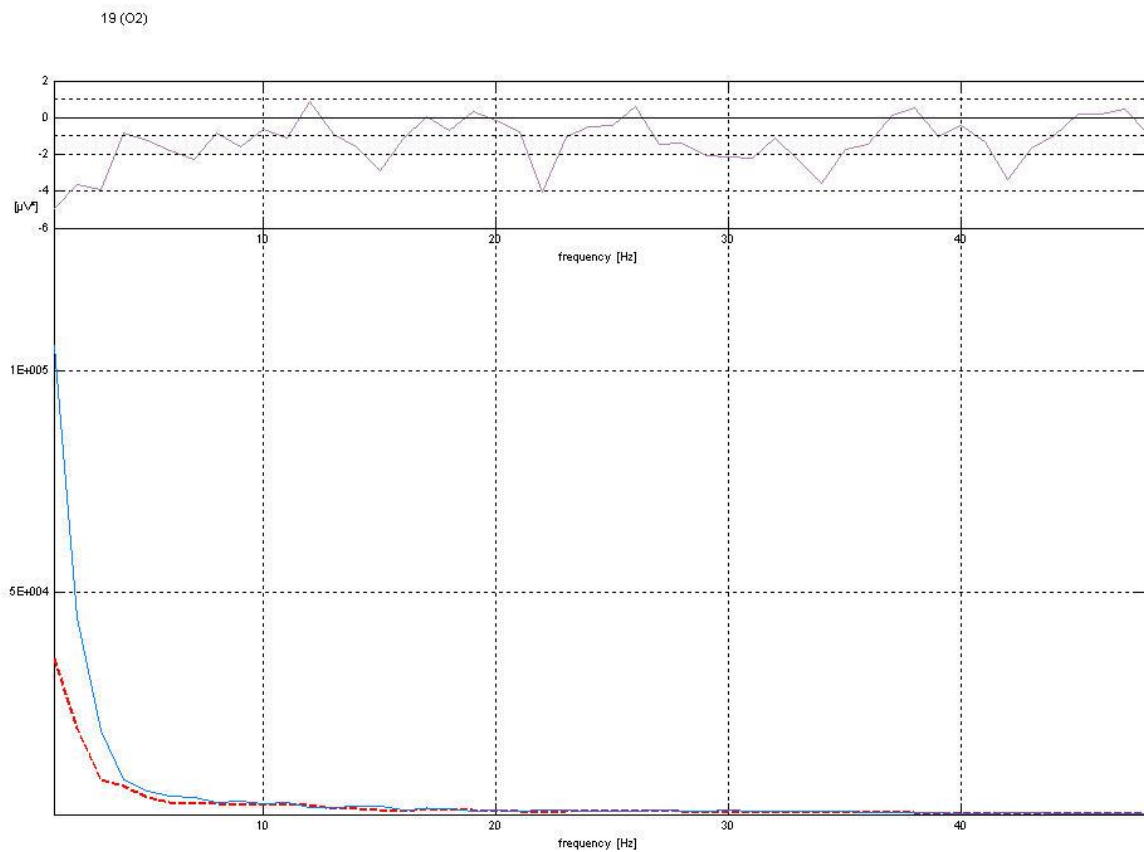
Σχήμα ΙΙΙ.92. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4.



Σχήμα III.93. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6.



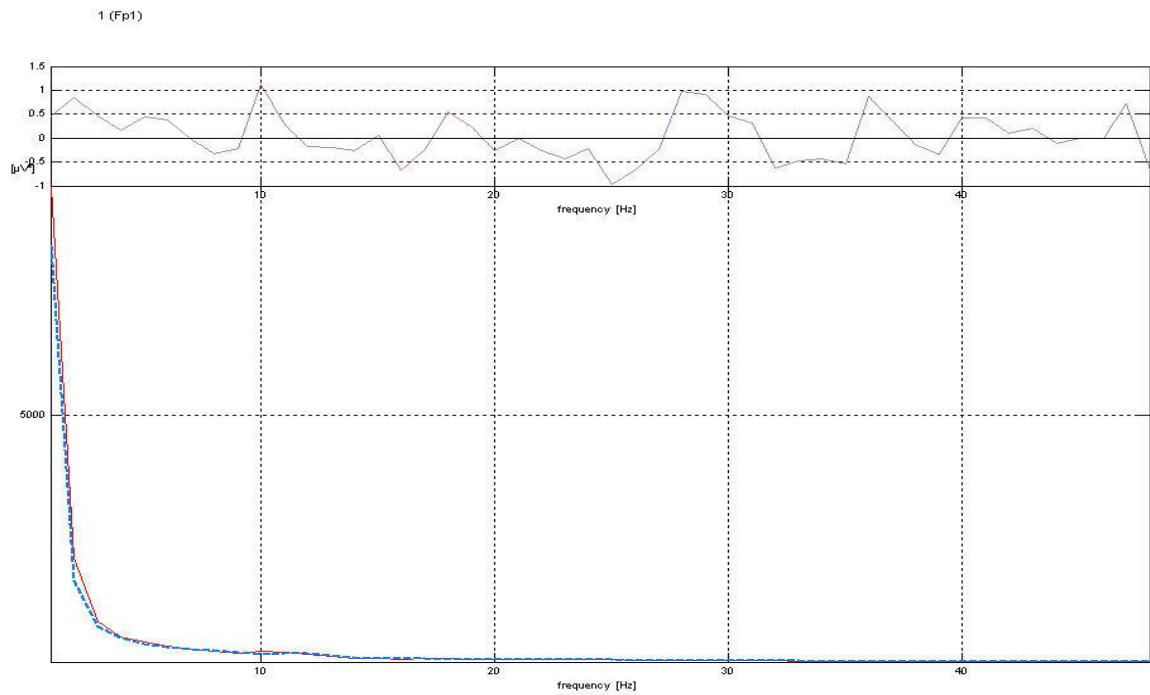
Σχήμα III.94. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1.



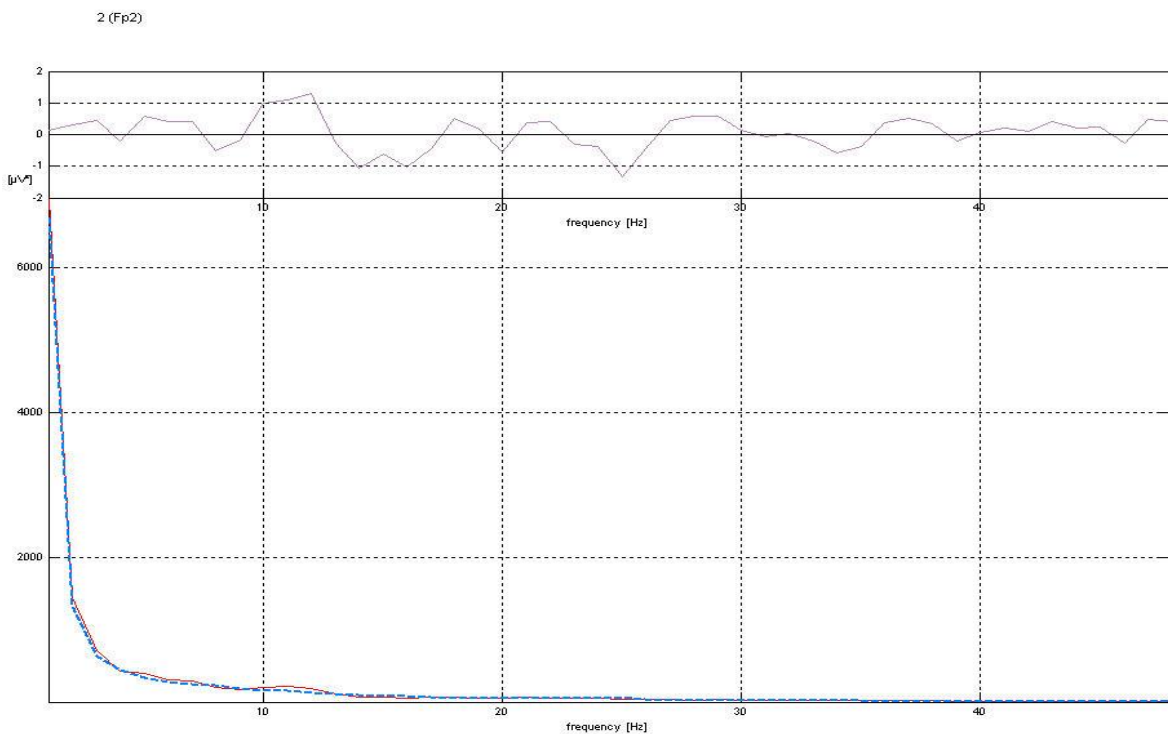
Σχήμα ΙΙΙ.95. Φάσματα ισχύος εικονικού στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2.



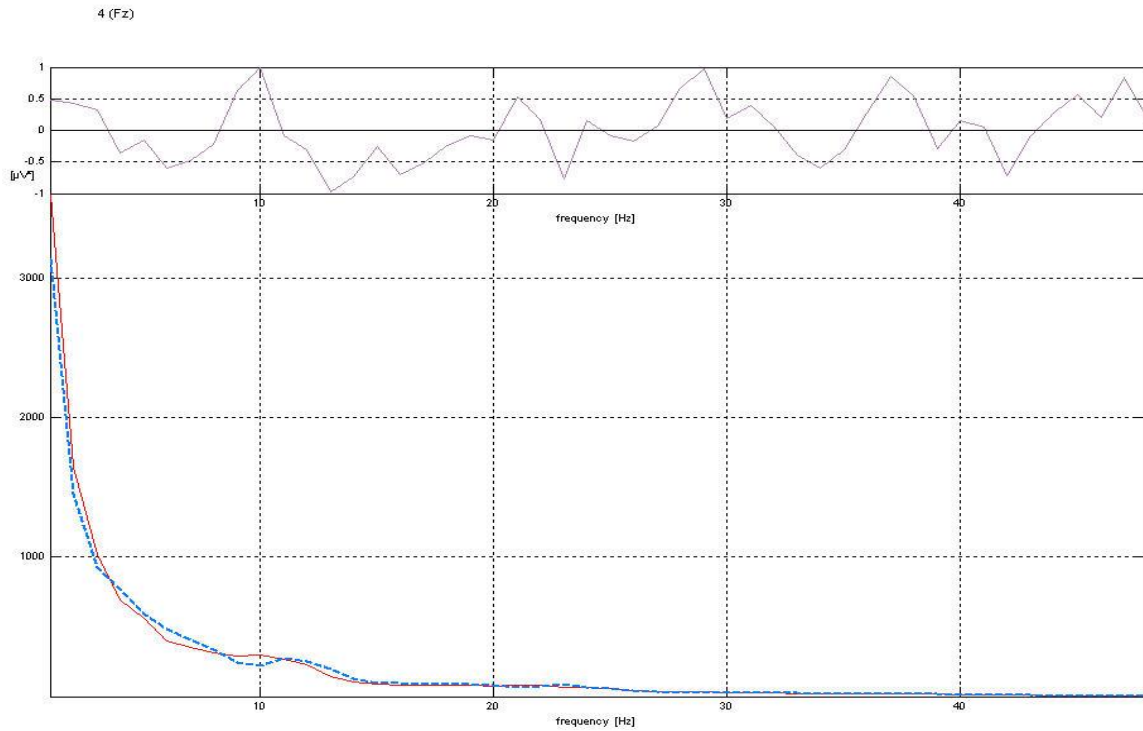
Εικονικό μη στερεοσκοπικό περιβάλλον – αντίστοιχο περιβάλλον αλλαγής



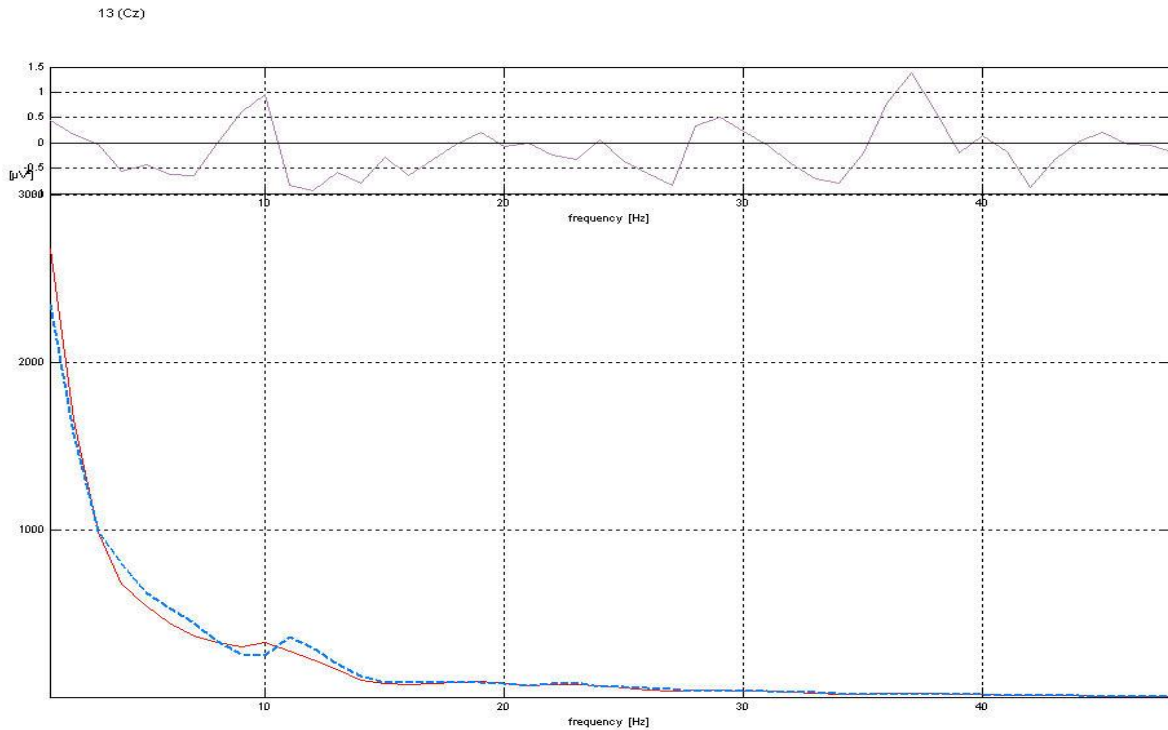
Σχήμα III.96. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp1.



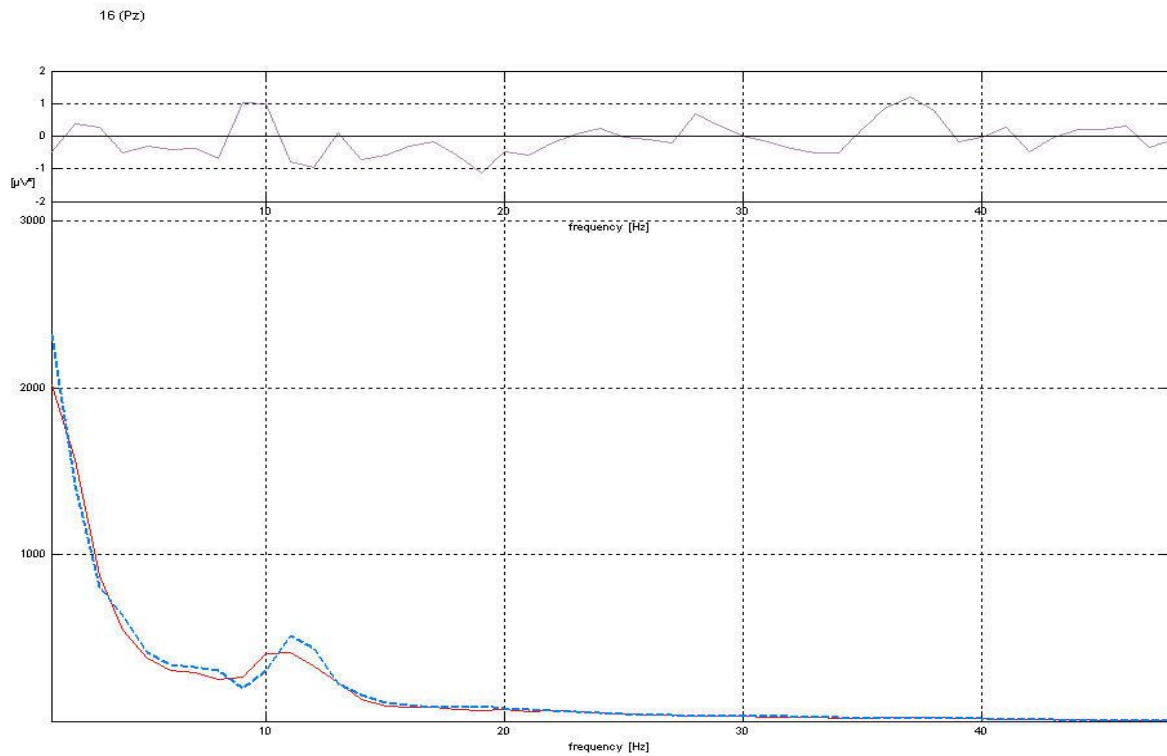
Σχήμα III.97. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fp2.



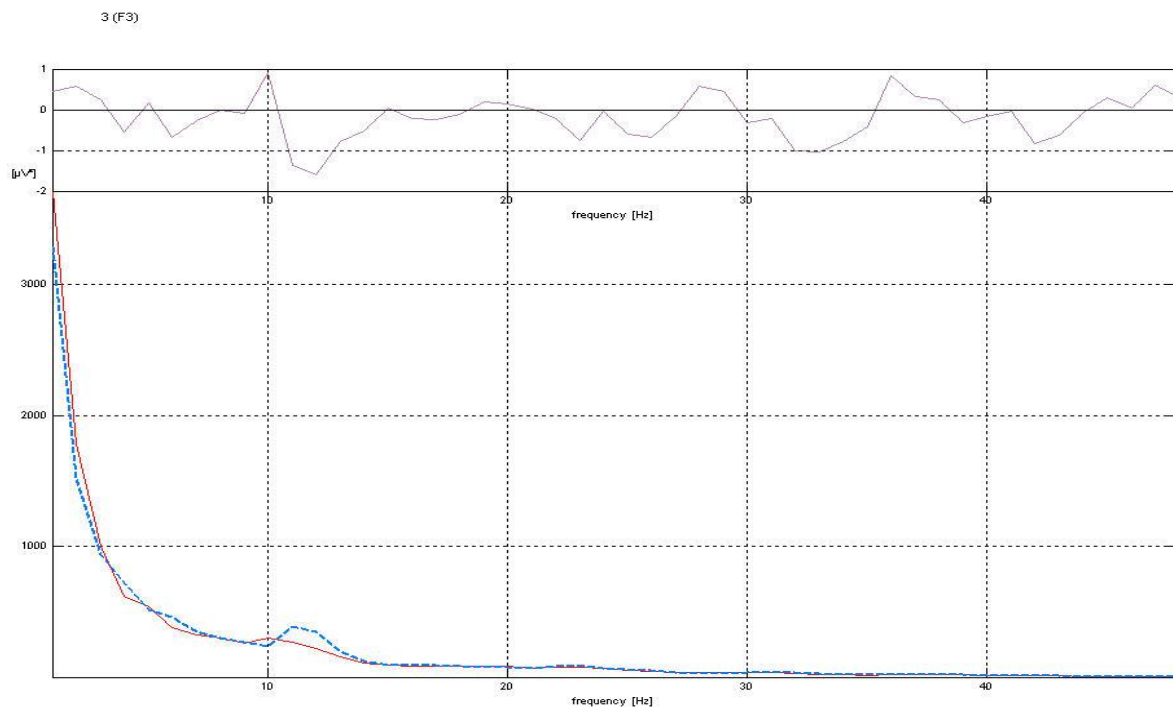
Σχήμα III.98. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Fz.



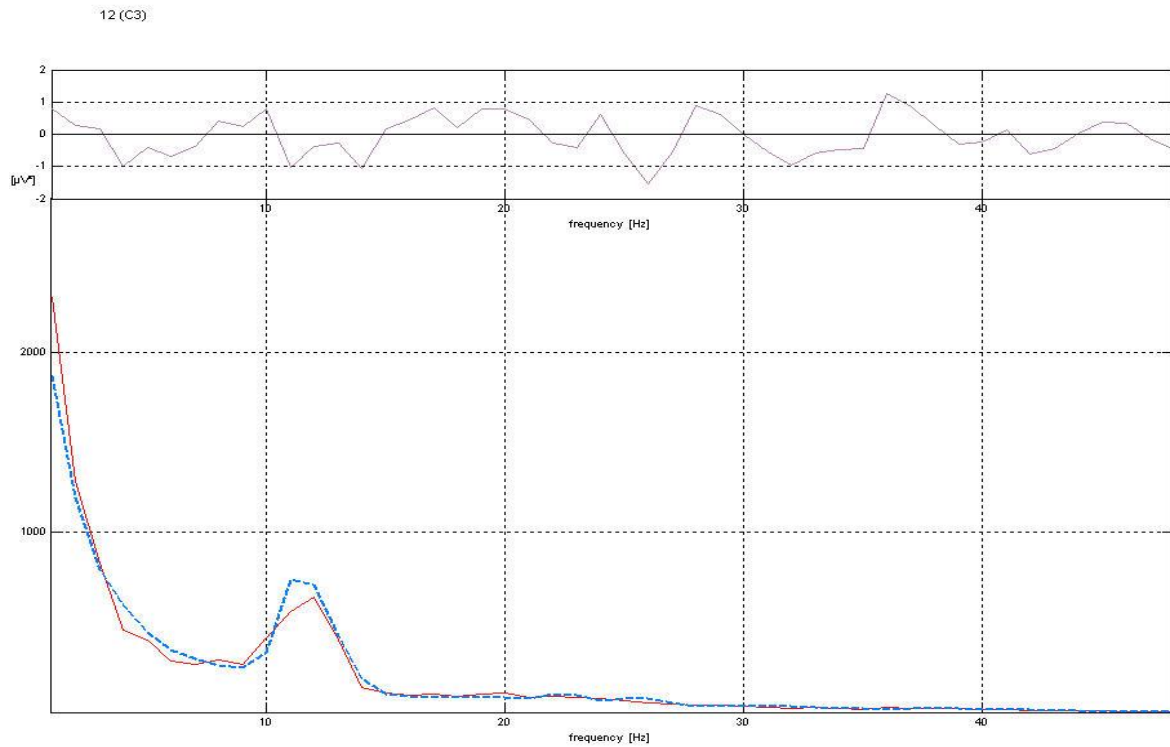
Σχήμα III.99. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Cz.



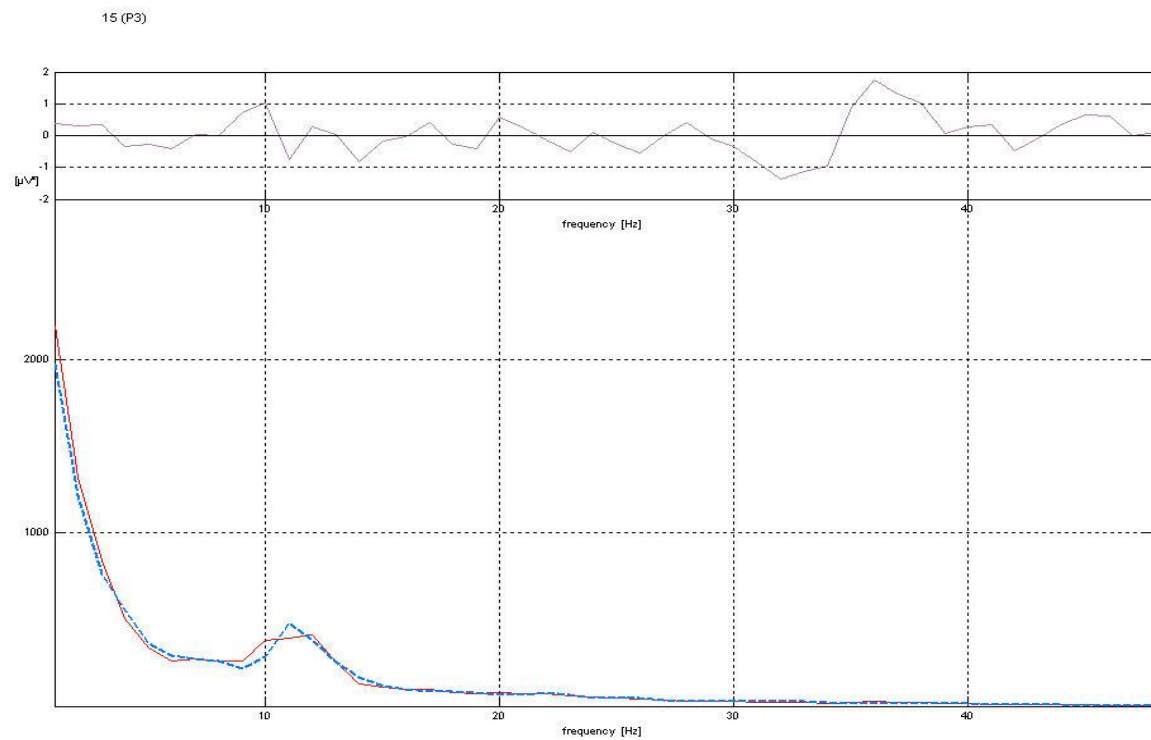
Σχήμα III.100. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο Pz.



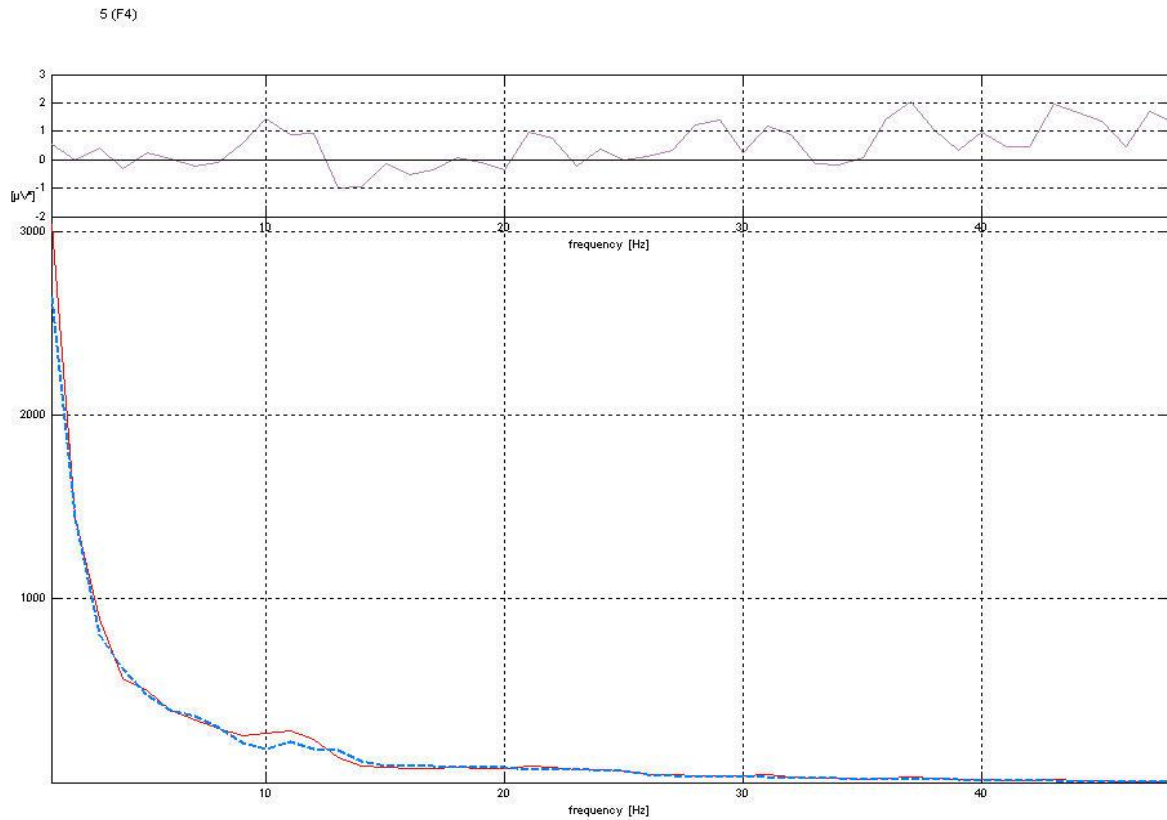
Σχήμα III.101. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F3.



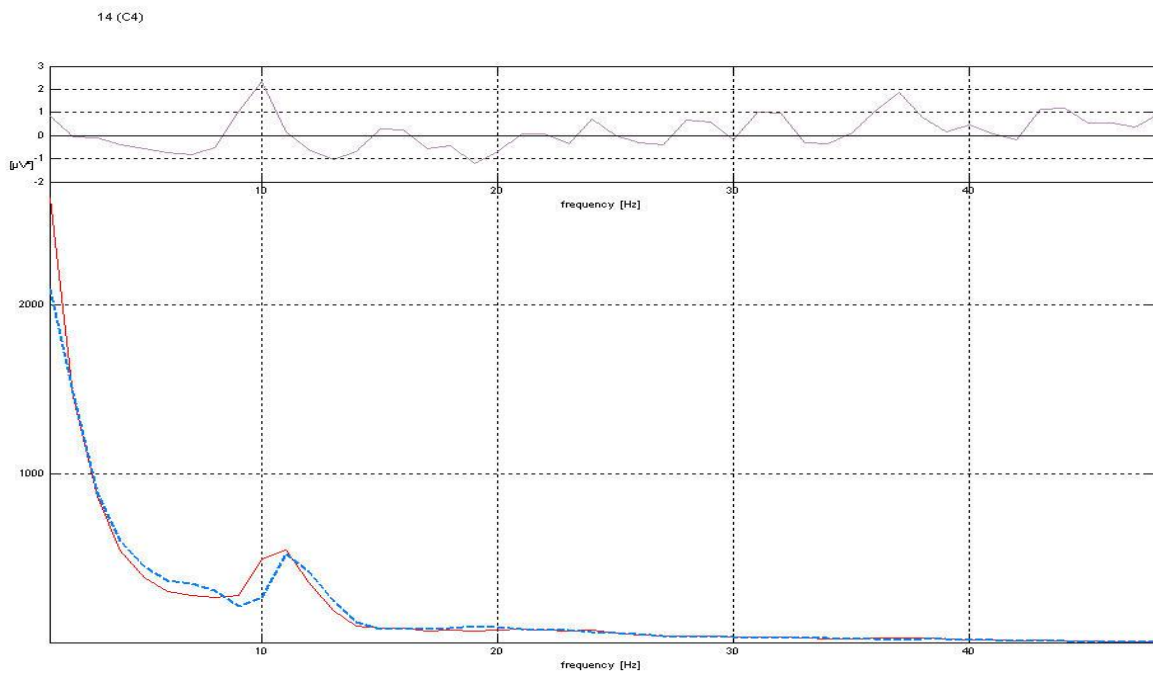
Σχήμα ΙΙΙ.102. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C3.



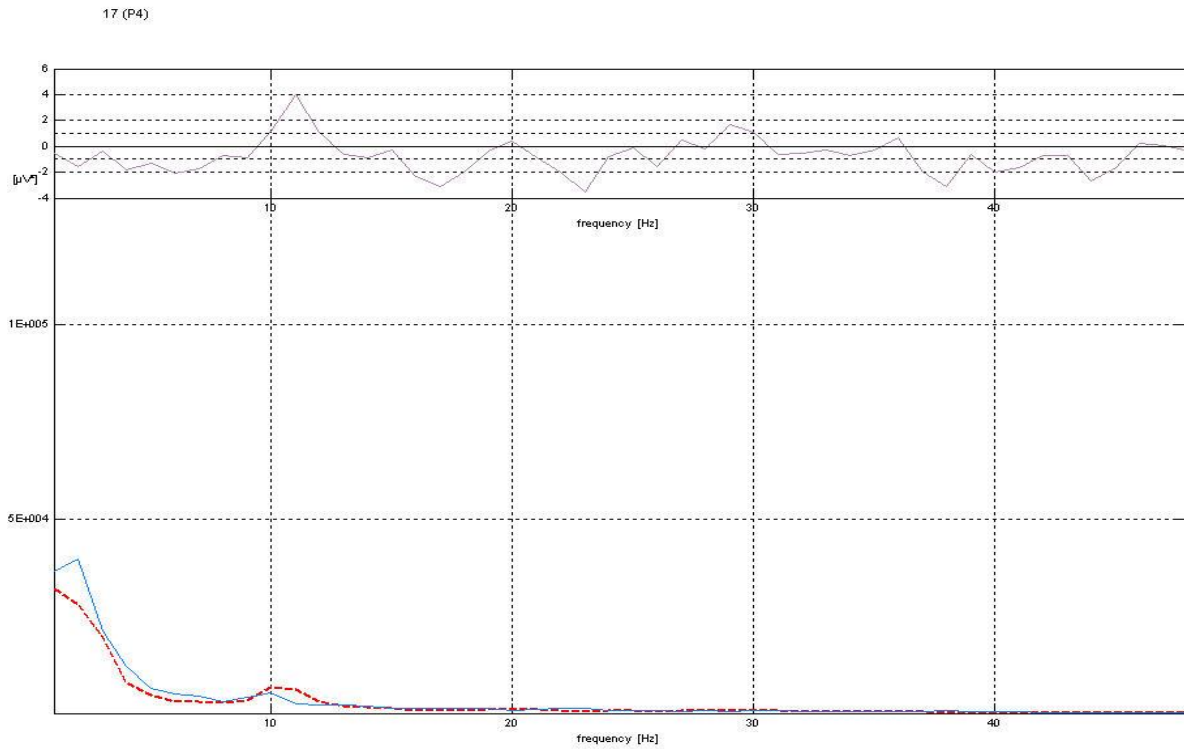
Σχήμα ΙΙΙ.103. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P3.



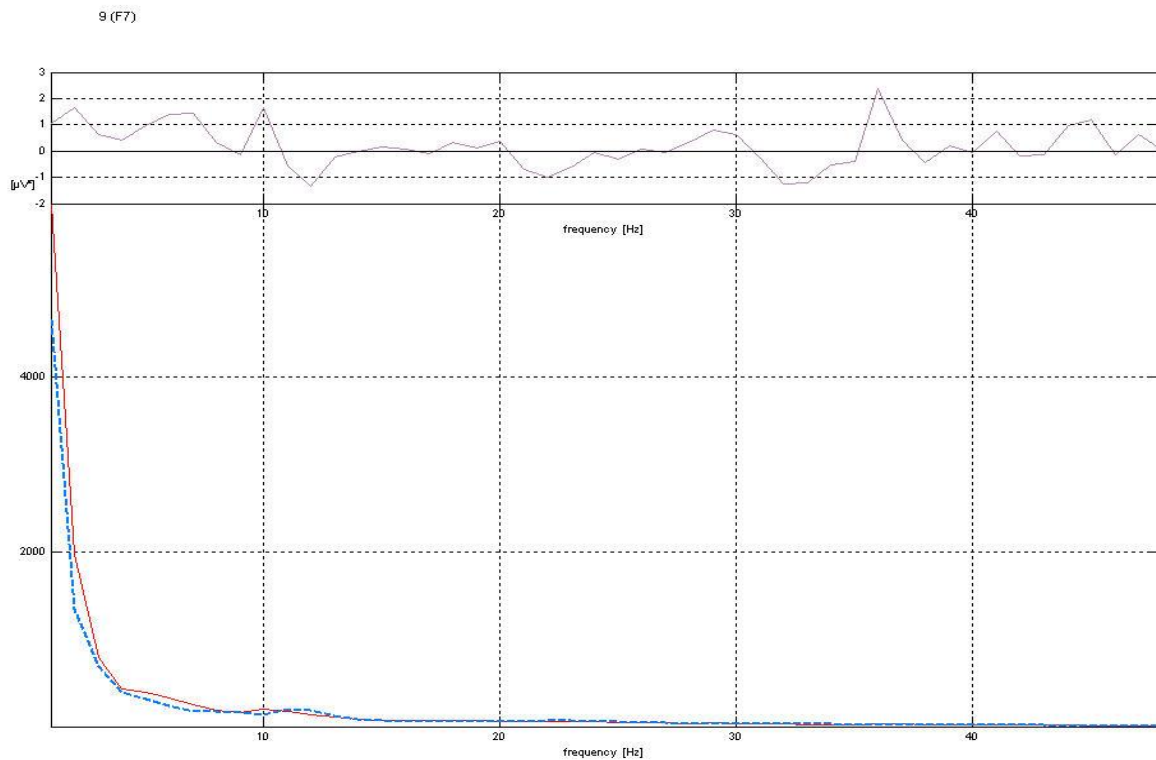
Σχήμα III.104. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F4.



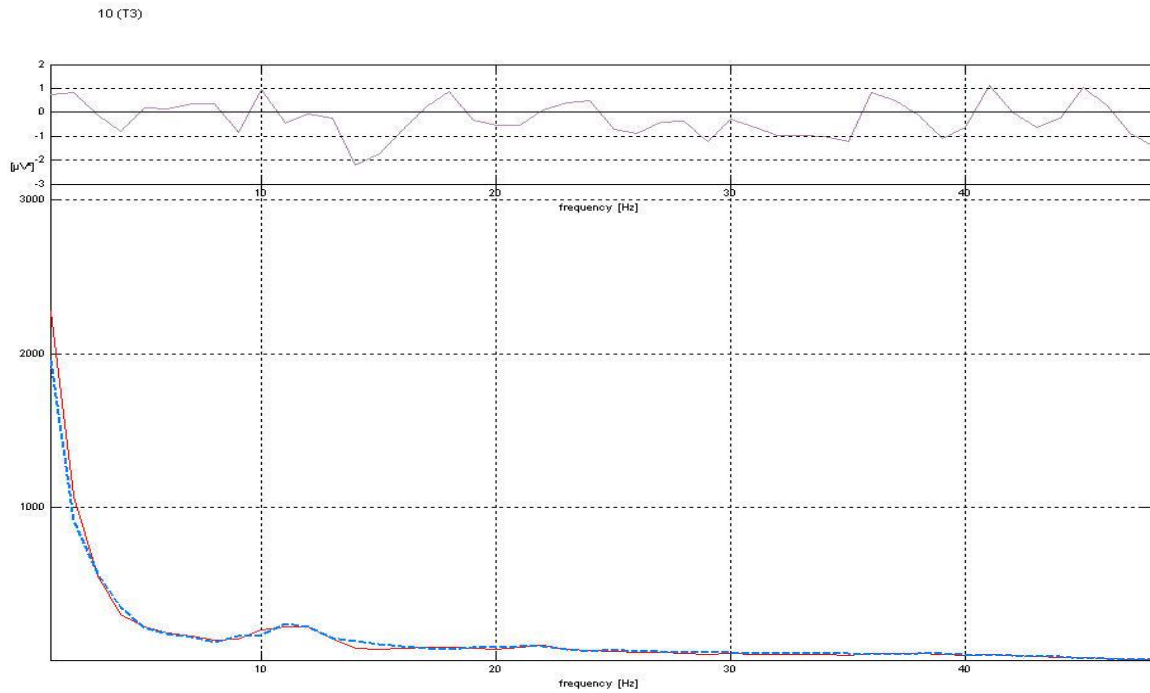
Σχήμα III.105. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο C4.



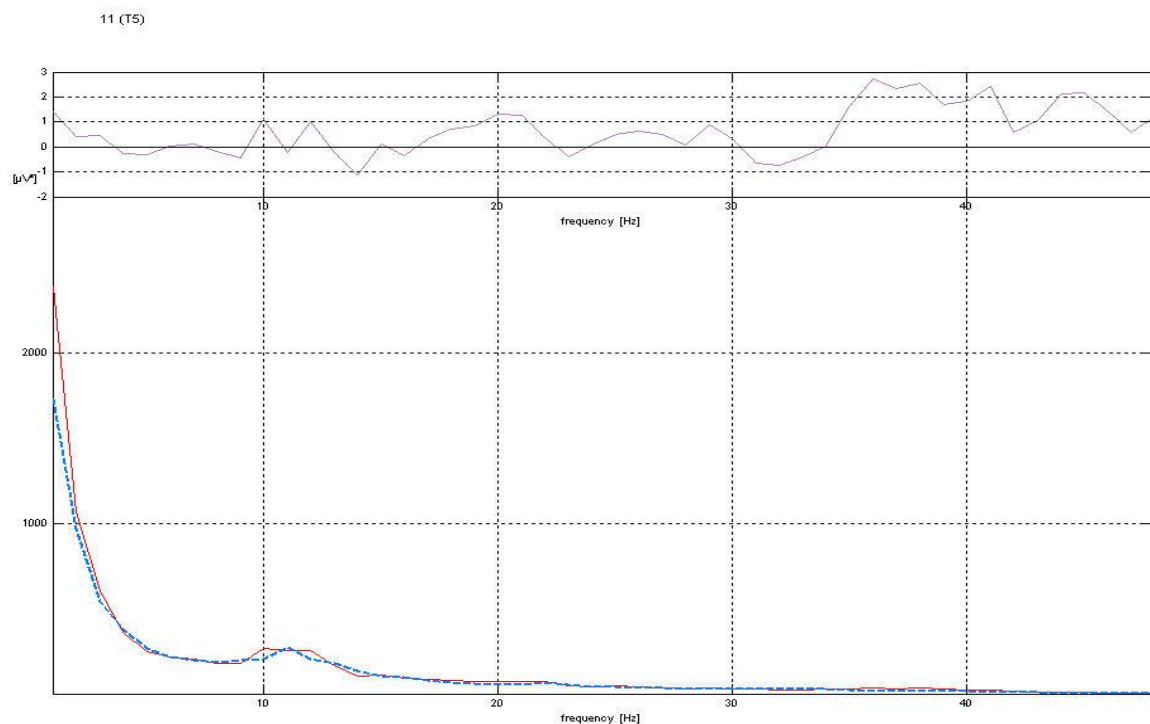
Σχήμα ΙΙΙ.106. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο P4.



Σχήμα ΙΙΙ.107. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F7.

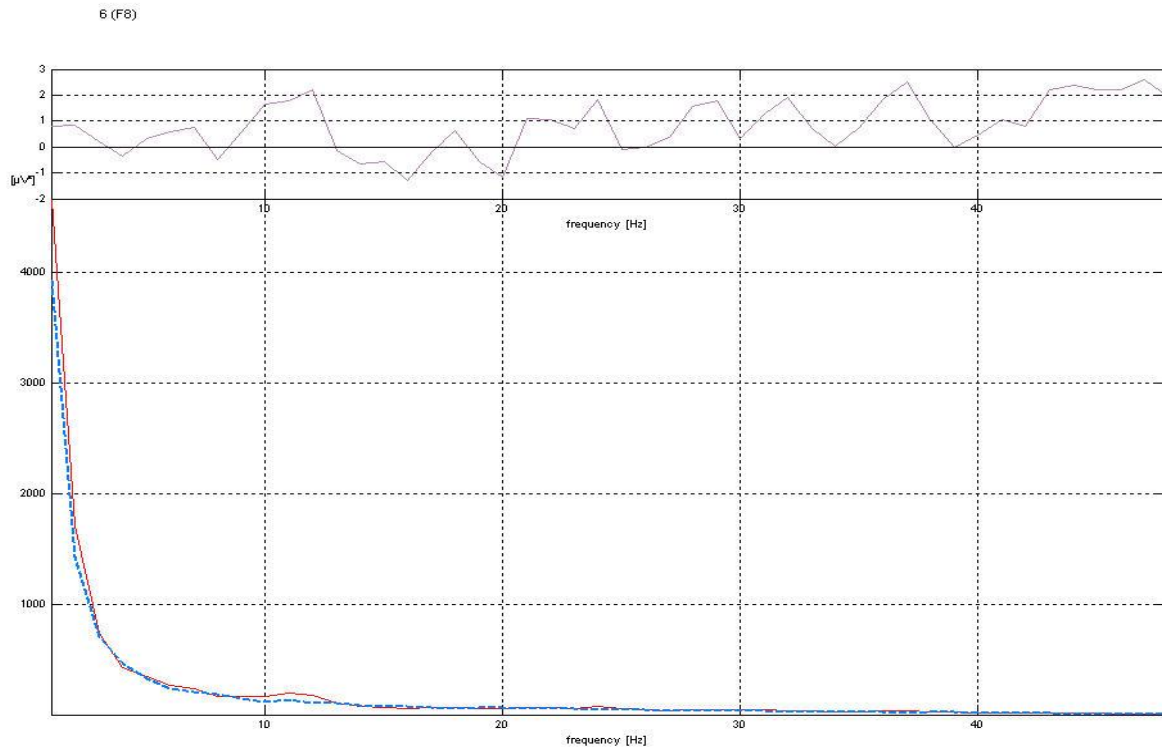


Σχήμα III.108. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T3.

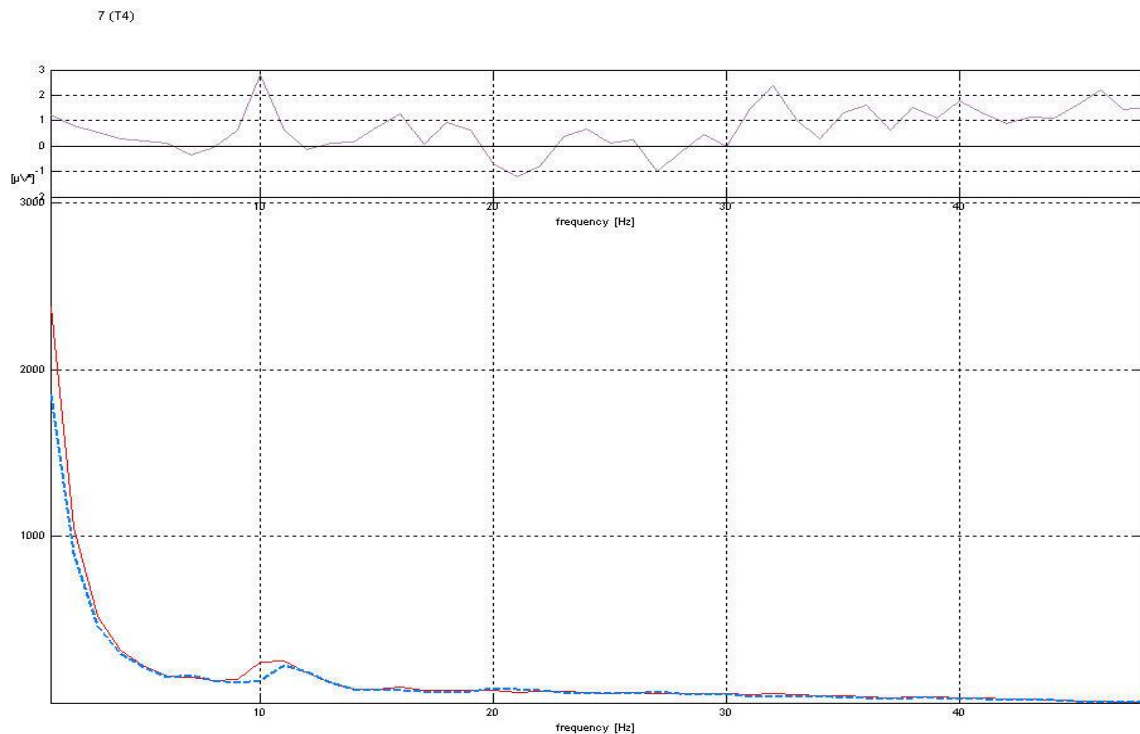


Σχήμα III.109. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T5.



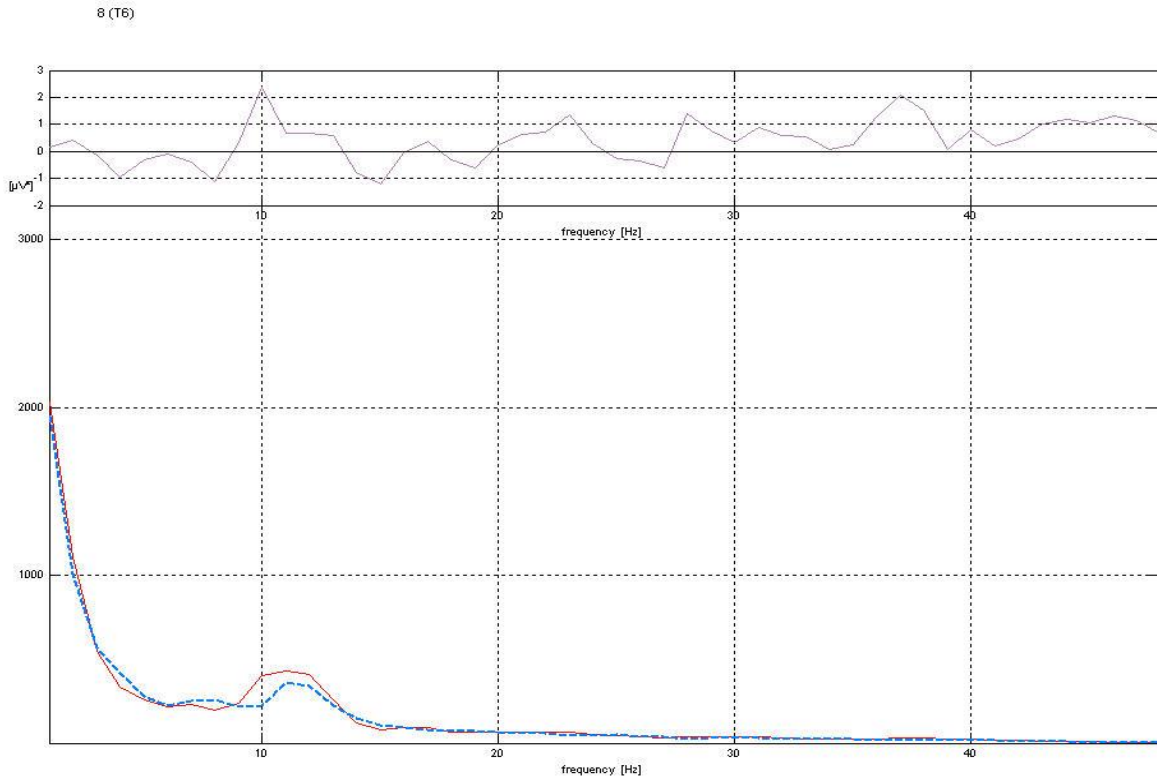


Σχήμα ΙΙΙ.110. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο F8.

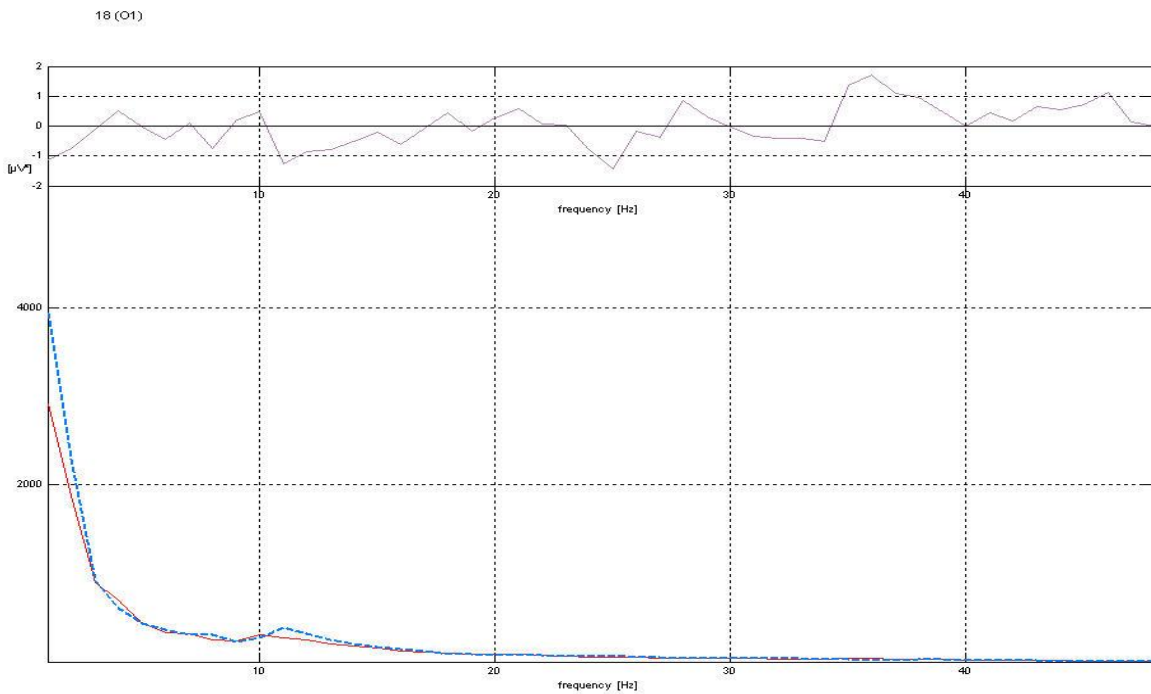


Σχήμα ΙΙΙ.111. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T4.

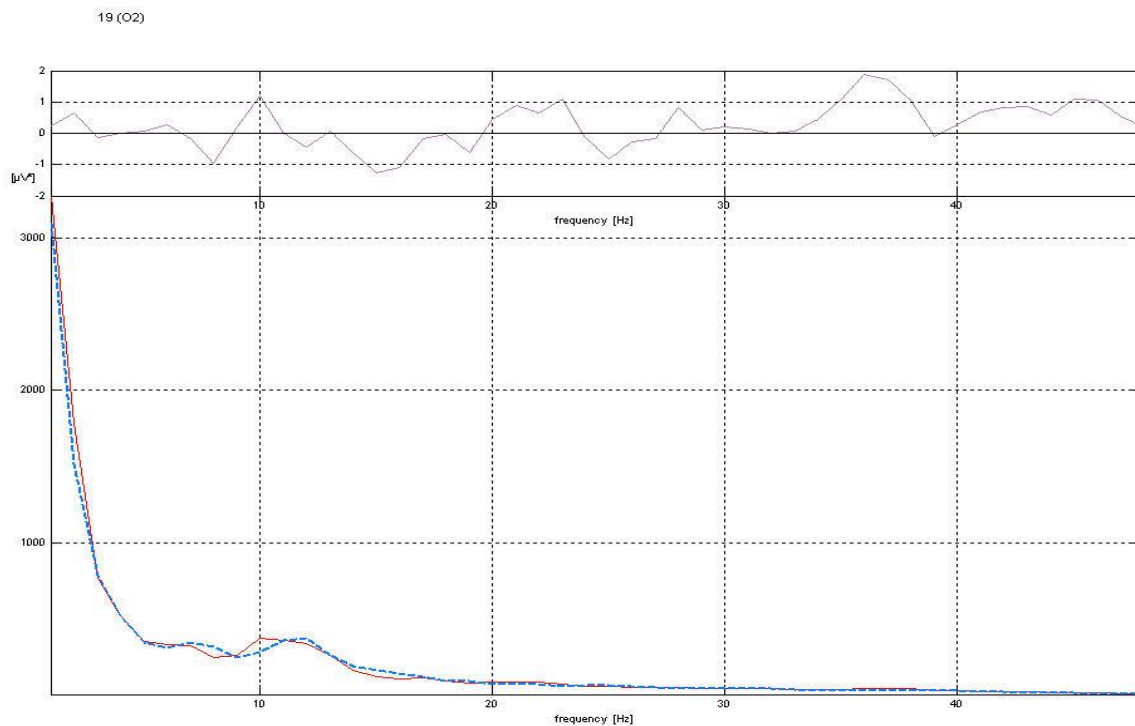




Σχήμα III.112. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο T6.



Σχήμα III.113. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O1.



Σχήμα ΙΙΙ.114. Φάσματα ισχύος εικονικού μη στερεοσκοπικού περιβάλλοντος – περιβάλλοντος αλλαγής και της διαφοράς τους για το ηλεκτρόδιο O2.