

# Η εγκεφαλική δραστηριότητα χρηστών ως βάση για τη σχεδίαση εκπαιδευτικών περιβαλλόντων

Τ. Α. Μικρόπουλος, Ε. Τζίμας, Γ. Ηλ. Δήμου

Εργαστήριο Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση

Παιδαγωγικό Τμήμα Δ. Ε., Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

amikrop@cc.uoi.gr, vtzimas@yahoo.com, gdimou@cc.uoi.gr

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

*Η ολοκληρωμένη, διεπιστημονική προσέγγιση θεμάτων σχεδίασης και αξιολόγησης εκπαιδευτικού λογισμικού, τόσο από παιδαγωγικής όσο και από τεχνολογικής θεώρησης, είναι κάτι που λείπει από την ελληνική, αλλά και τη διεθνή βιβλιογραφία. Οι αντικειμενικού τύπου μετρήσεις χρηστών που αλληλεπιδρούν με πληροφορικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα μπορούν να δώσουν στοιχεία για τη σχεδίασή τους και είναι πλέον εφικτές με τη συνδρομή επιστημών όπως η νευροφυσιολογία και η νευροψυχολογία. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει πρώτα αποτελέσματα από διερευνητική μελέτη της ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας χρηστών με εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα. Οι μετρήσεις δείχνουν ότι κατά την αλληλεπίδραση αυτή ενεργοποιούνται οι ίδιες περιοχές του εγκεφάλου που ενεργοποιούνται κατά την αλληλεπίδραση με πραγματικά περιβάλλοντα. Επίσης η ύπαρξη τρισδιάστατων ρεαλιστικών αναπαραστάσεων ενεργοποιούν νοητικές διεργασίες που δεν παρουσιάζονται έντονες σε άδεια περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματα αποτελούν ενδείξεις για τη σχεδίαση εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων που πιθανώς επιφέρουν θετικά μαθησιακά αποτελέσματα.*

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα, ηλεκτρική εγκεφαλική δραστηριότητα

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γνώση οικοδομείται από το μαθητή και την αλληλεπίδρασή του με το κοινωνικοπολιτισμικό του περιβάλλον. Η μάθηση ολοκληρώνεται όταν συμβαίνουν μόνιμες μεταβολές στη σκέψη, τη συμπεριφορά, τη στάση του μαθητή. Τα χρησιμοποιούμενα διδακτικά μέσα με τα χαρακτηριστικά τους και τους τρόπους που εμπλέκουν στη μαθησιακή διαδικασία το μαθητή και τον εκπαιδευτικό συνεισφέρουν στην υλοποίηση των διδακτικών στόχων, υποστηρίζουν την οικοδόμηση της γνώσης και οδηγούν σε συγκεκριμένα μαθησιακά αποτελέσματα.

Η αξιολόγηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τους δεδομένους διδακτικούς στόχους σε συνδυασμό με την αξιοποίηση του μέσου, περιλαμβάνει μετρήσεις γνωστικού τύπου, μετα-γνωστικών δεξιοτήτων και στάσεων του μαθητή. Οι μετρήσεις αυτές

μπορεί να είναι υποκειμενικού ή αντικειμενικού τύπου, με τις πρώτες να κυριαρχούν σε κάθε τομέα της εκπαίδευσης.

Η μεθοδολογία της αξιολόγησης εκπαιδευτικών πληροφορικών περιβαλλόντων ακολουθεί διεθνώς μέχρι σήμερα τις προσεγγίσεις των κοινωνικών και ανθρωπιστικών επιστημών. Οι υποκειμενικού τύπου μετρήσεις γνωστικών, συναισθηματικών, ψυχολογικών παραμέτρων και στάσεων του μαθητή προκύπτουν από ερωτηματολόγια, συνεντεύξεις, παρατηρήσεις και καταγραφές της διδακτικής διαδικασίας. Τα αποτελέσματα είναι έμμεσα και αποτελούν μάλλον ενδείξεις και όχι αποδείξεις για τα τεκταινόμενα.

Η ιδέα για αντικειμενικού τύπου μετρήσεις για την αξιολόγηση εκπαιδευτικών πληροφορικών περιβαλλόντων προέρχεται από τις εξελίξεις σε τομείς όπως η νευροφυσιολογία και η νευροψυχολογία. Οι μετρήσεις της εγκεφαλικής δραστηριότητας χρηστών εκπαιδευτικών πληροφορικών περιβαλλόντων ίσως αποτελούν μία αντικειμενική προσέγγιση για την αξιολόγηση της δράσης του μαθητή, των μαθησιακών αποτελεσμάτων και του χρησιμοποιούμενου εκπαιδευτικού πληροφορικού περιβάλλοντος, του εκπαιδευτικού λογισμικού. Πρώτες ενδείξεις προς αυτήν την κατεύθυνση αποτελούν οι μελέτες στον τομέα της εικονικής πραγματικότητας και συγκεκριμένα στην έρευνα για την αίσθηση της παρουσίας σε εικονικά περιβάλλοντα (Schuemie et al., 2001). Οι πρώτες διεθνώς μετρήσεις εγκεφαλικής δραστηριότητας σε εκπαιδευτικά πληροφορικά περιβάλλοντα έχουν ξεκινήσει από την ομάδα μας, με θετικά πρώτα αποτελέσματα (Mikropoulos, 2000).

Η παρούσα εργασία αναφέρεται σε μετρήσεις της εγκεφαλικής δραστηριότητας χρηστών εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων έχοντας ως στόχο τη διερεύνηση της διαφοροποίησης της εγκεφαλικής λειτουργίας μεταξύ εικονικών περιβαλλόντων και των ενεργειών των χρηστών κατά την αλληλεπίδραση τους με αυτά. Η επιλογή των τεχνολογιών της εικονικής πραγματικότητας ως παραδείγματος ανάπτυξης εκπαιδευτικών πληροφορικών περιβαλλόντων οφείλεται στο γεγονός ότι εκτός από το ότι τα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα αποτελούν την κύρια ερευνητική δραστηριότητα του εργαστηρίου μας, αποτελούν μια τελείως διαφορετική προσέγγιση από τις άλλες πληροφορικές υλοποιήσεις. Αλληλεπιδρώντας με ένα εικονικό περιβάλλον ο χρήστης αλλάζει ρόλο και γίνεται χειριστής, έχοντας την αίσθηση της παρουσίας στο συνθετικό περιβάλλον που μπορεί να σημαίνει νοητικές λειτουργίες που υποστηρίζουν την οικοδόμηση της γνώσης και ίσως μπορούν να μεταφραστούν σε διαφορετικού τύπου εγκεφαλική δραστηριότητα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Τρεις είναι οι κύριες τεχνικές για τη μέτρηση και μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας (Friston, 1997). Η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (Positron Emission Tomography, PET) που μετρά τη ροή του αίματος σε χωροχρονική κλίμακα για μεγάλες χρονικά περιόδους, η απεικόνιση μέσω μαγνητικού συντονισμού (functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI) που μετρά το ποσοστό οξυγόνωσης του αίματος σε σχετικά μικρή χωροχρονική κλίμακα και η ηλεκτροφυσιολογία που μετρά την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου μέσω του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος (EEG, HEG)). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η τρίτη τεχνική η οποία παρουσιάζει υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση και παρέχει τη δυνατότητα για λήψη πληροφορίας από δεδομένες εγκεφαλικές καταστάσεις ή μεταβολές τους μέσω φασματικής ανάλυσης Fourier.

Ενδείξεις για την εγκεφαλική δραστηριότητα σε εικονικά περιβάλλοντα εμφανίζονται από το 1996. Ο Pugnetti και οι συνεργάτες του σχετίζουν τις εμπειρίες σε εικονικά περιβάλλοντα με το

νευρικό σύστημα, την εγκεφαλική δραστηριότητα και τη μάθηση. Παρουσιάζουν πειραματικά δεδομένα και προτείνουν τη μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας ως μεθοδολογία για τη σχεδίαση εικονικών περιβαλλόντων.

Το 1998 ο Maguire και οι συνεργάτες του κατέγραψαν ενεργοποίηση διαφορετικών εγκεφαλικών περιοχών με PET σε υποκείμενα κατά τη διάρκεια εξερεύνησης και μάθησης σε εικονικά περιβάλλοντα με ή χωρίς εικονικά αντικείμενα (Maguire, 1988). Και στα δύο εικονικά περιβάλλοντα ενεργοποιήθηκαν η ινιακή, μέση βρεγματική και ινιακή – κροταφική περιοχή και στα δύο ημισφαίρια, με αυξημένη δραστηριότητα στη δεξιά περιοχή 'parahippocampal gyrus' κατά την εξερεύνηση στο περιβάλλον με αντικείμενα και υφές, που οι συγγραφείς ερμήνευσαν ως περιοχή η οποία συμβάλλει στην αποκωδικοποίηση της θέσης αντικειμένων στο χώρο.

Ο Schier μελέτησε την εγκεφαλική δραστηριότητα δύο υποκειμένων κατά τη διάρκεια εικονικής οδήγησης σε αγώνα ταχύτητας (2000). Κατά τη διάρκεια της οδήγησης βρέθηκε αποσυγχρονισμός των κυμάτων άλφα (8 – 13 Hz) στο βρεγματικό (P3, P4) και μετωπιαίο λοβό (F3, F4) που ερμηνεύεται ως αύξηση της προσοχής των υποκειμένων κατά τη διεργασία. Η μείωση των κυμάτων άλφα ήταν μικρότερη στο ένα από τα δύο υποκείμενα με μεγάλη εμπειρία σε αγώνες ταχύτητας, όντας επαγγελματίας οδηγός αγώνων, που ερμηνεύεται ως μικρότερη απαίτηση για τη συγκεκριμένη γνωστική διεργασία. Οι τιμές των άλφα κυμάτων στο βρεγματικό και μετωπιαίο λοβό ήταν κατά πολύ μεγαλύτερες κατά την παρακολούθηση του εικονικού αγώνα αυτοκινήτων σε σύγκριση με τη διεργασία της οδήγησης, δείχνοντας τη μικρότερη γνωστική δραστηριότητα που απαιτείται.

Το 2000 αναφέρθηκαν δεδομένα ηλεκτρικής εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά την πλοήγηση 12 φοιτητών σε εικονικά περιβάλλοντα (Mikropoulos, 2000). Στόχος της μελέτης ήταν η διερεύνηση της διαφοροποίησης της εγκεφαλικής δραστηριότητας μεταξύ εικονικών και πραγματικών περιβαλλόντων σε μία προσπάθεια σχεδίασης εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι χρήστες ήταν περισσότερο προσηλωμένοι κατά την πλοήγησή τους στο εικονικό παρά στο πραγματικό περιβάλλον. Η μικρότερη ισχύς των σημάτων στην περιοχή θήτα (4 – 8 Hz) σε διεργασίες στο εικονικό περιβάλλον ερμηνεύθηκε ως μικρότερη νοητική προσπάθεια, υποδεικνύοντας τα εικονικά περιβάλλοντα ως κατάλληλα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα για την οικοδόμηση της γνώσης.

Οι Moore και Engel συνέκριναν την αντίληψη τρισδιάστατων και δυδιάστατων αντικειμένων από επτά υποκείμενα μέσω fMRI (2001). Παρότι τα αντικείμενα δεν είναι ολοκληρωμένα εικονικά περιβάλλοντα, αποτελούν στοιχεία που περιέχονται σε αυτά και παρέχουν δεδομένα για την αλληλεπίδραση χρηστών με εικονικά περιβάλλοντα. Οι μετρήσεις έδειξαν αυξημένη εγκεφαλική δραστηριότητα στον ινιακό λοβό κατά την παρουσίαση των τρισδιάστατων αντικειμένων. Συγκεκριμένα κατά την αντίληψη τρισδιάστατων αντικειμένων μεγάλου όγκου, η εγκεφαλική δραστηριότητα εμφανίσθηκε ιδιαίτερα αυξημένη, δείχνοντας ότι ο ινιακός λοβός που αναφέρεται σε οπτικά ερεθίσματα, είναι υπεύθυνος και για την αντίληψη του όγκου, ανεξάρτητα από την πληροφορία που περιέχει το αντικείμενο.

Οι Martineau και 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 αποσυγχρονισμό στην αριστερή μετωπιαία και κροταφική περιοχή, ενώ αυτή του 'εικονικού' (κινούμενου σκίτσου) μετέθεσε το σήμα πιο πίσω.

Πρόσφατα, οι Bischof και 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.

Η μικρή και πρόσφατη βιβλιογραφία όσον αφορά τις φυσιολογικές μετρήσεις χρηστών που αλληλεπιδρούν με εικονικά περιβάλλοντα παρέχουν προς το παρόν ενδείξεις και όχι αποδείξεις για τη συσχέτιση της αλληλεπίδρασης με την εγκεφαλική δραστηριότητα των χρηστών. Γενικά, τα ευρήματα είναι παρόμοια με αυτά που συμβαίνουν σε πραγματικά περιβάλλοντα. Εμφανής διαφοροποίηση παρουσιάζεται στην προσήλωση (αύξηση της προσοχής) που δείχνουν οι χρήστες εικονικών περιβαλλόντων κατά την εκτέλεση συγκεκριμένων νοητικών διεργασιών σ' αυτά. Επίσης, οι μετρήσεις δείχνουν ότι οι χρήστες αναγνωρίζουν και διαχωρίζουν τα εικονικά τρισδιάστατα αντικείμενα από τα αντίστοιχα δύο διαστάσεων σε εικονικά περιβάλλοντα. Αξιοσημείωτο είναι ότι παρότι αρκετές μελέτες αναφέρονται σε γνωστικές διεργασίες και προτείνουν εφαρμογές στη μάθηση, δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα εκτός από τα πρώτα αποτελέσματα της ομάδας μας (Mikropoulos, 2000). Η μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας χρηστών εικονικών περιβαλλόντων φαίνεται ότι αποτελεί ένα νέο ερευνητικό πεδίο που να οδηγήσει στη σχεδίαση και αξιολόγηση εκπαιδευτικών περιβαλλόντων με θετικά μαθησιακά αποτελέσματα.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

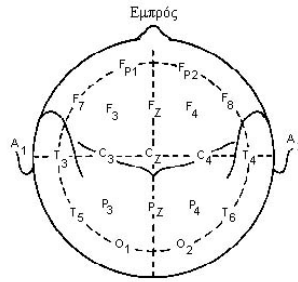
Η ερευνητική υπόθεση της παρούσας μελέτης είναι ότι ο τρισδιάστατος συνθετικός χώρος που προσομοιώνει την πραγματικότητα, επιφέρει νοητικές λειτουργίες παρόμοιες με τις αντίστοιχες στον πραγματικό, ιδιαίτερα κατά την αλληλεπίδρασή των χρηστών με εικονικά περιβάλλοντα που προσεγγίζουν τα πραγματικά.

Ο έλεγχος της υπόθεσης γίνεται με δύο τρόπους:

1. από τη μέτρηση μεγαλύτερης εγκεφαλικής δραστηριότητας στο βρεγματικό και τον ινιακό λοβό κατά την αλληλεπίδραση χρηστών με εικονικό δωμάτιο με αντικείμενα και υφές, σε σύγκριση με την αλληλεπίδρασή τους με άδειο εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές.
2. από την αύξηση των κυμάτων θήτα (4 – 7.5Hz) στο μετωπιαίο λοβό χρηστών κατά την αλληλεπίδρασή τους με άδειο εικονικό δωμάτιο με υφές, σε σύγκριση με την αλληλεπίδρασή τους με άδειο εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές.

Το ίδιο πείραμα εφαρμόστηκε σε οκτώ (8) άτομα (5 γυναίκες και 3 άνδρες). Μετά τον έλεγχο για ψευδή σήματα (artifacts) επιλέχθηκαν τέσσερα (4) υποκείμενα (3 γυναίκες και 1 άνδρας) των οποίων το ΗΕΓ δεν εμφάνισε παράσιτα στις συγκεκριμένες διεργασίες. Όλα τα υποκείμενα ήταν υγιείς ενήλικες (μέσος όρος ηλικίας 25 έτη) και στο προηγούμενο εικοσιτετράωρο δεν είχαν κάνει χρήση φαρμάκων ή ουσιών που μπορεί να προκαλέσουν παρατηρήσιμες αλλαγές στο ΗΕΓ.

Η καταγραφή του ΗΕΓ πραγματοποιήθηκε με 19 ενεργά ηλεκτρόδια στις θέσεις FP1, FP2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1 και O2, που εφαρμόστηκαν στο κρανίο των υποκειμένων σύμφωνα με το διεθνές σύστημα 10/20 (σχήμα 1).



**Σχήμα 1:** Θέσεις των ηλεκτροδίων σύμφωνα με το σύστημα 10/20.

Ένα επιπλέον ηλεκτρόδιο στο μέτωπο χρησιμοποιήθηκε για γείωση, ενώ για αναφορά χρησιμοποιήθηκαν δύο ηλεκτρόδια προσαρμοσμένα στους λοβούς των αυτιών (A1 και A2, μονοπολικό μοντάζ). Όλες οι αντιστάσεις των ηλεκτροδίων ήταν κάτω από 20KΩ. Οι κατακόρυφες κινήσεις των ματιών καταγράφηκαν διπολικά με δύο ηλεκτρόδια (ένα πάνω από το δεξιό μάτι και ένα κάτω από το αριστερό), ενώ οι οριζόντιες κινήσεις καταγράφηκαν από δυο ηλεκτρόδια στις εξωτερικές πλευρές και από τα δύο μάτια. Για την καταγραφή χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό σύστημα System98 της Micromed με κεφαλή την SAM25. Τα σήματα ψηφιοποιήθηκαν με συχνότητα δειγματοληψίας 256Hz και αποθηκεύθηκαν σε προσωπικό υπολογιστή όπου έγινε η παραπέρα επεξεργασία. Η αφαίρεση των οφθαλμικών παράσιτων έγινε με βάση τις καταγραφές από τα τέσσερα ηλεκτρόδια των ματιών.

Τα ερεθίσματα (εικονικά περιβάλλοντα) υλοποιήθηκαν σε προσωπικό υπολογιστή Pentium 1.6GHz και προβλήθηκαν σε έγχρωμο στερεοσκοπικά γυαλιά (Sony PLM-S700E) με ανάλυση 800x600 και βάθος χρώματος 32 bit. Ο ανιχνευτής κίνησης τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος της κεφαλής του χρήστη ώστε να μετακινεί το οπτικό πεδίο αντίστοιχα με τις κινήσεις της κεφαλής χωρίς όμως να παρεμποδίζει τις επαφές των ηλεκτροδίων του ηλεκτροεγκεφαλογράφου.

Τα εικονικά περιβάλλοντα υλοποιήθηκαν με το λογισμικό ανάπτυξης Superscape VRT. Προσομοιώνουν με μεγάλη ακρίβεια τον πραγματικό χώρο του εργαστηρίου στον οποίο διεξάγονταν τα πειράματα, ώστε να υπάρχει άμεση δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ εμπειριών σε εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα.

Οι γνωστικές διεργασίες που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία δεν είναι άμεσα εκπαιδευτικού χαρακτήρα συνδεδεμένες με ένα γνωστικό αντικείμενο. Εξαιτίας της διερευνητικής φύσης της εργασίας, αλλά και της έλλειψης διεθνώς παρόμοιων ερευνητικών αποτελεσμάτων, σ' αυτή τη φάση επιλέχθηκε η διερεύνηση της εγκεφαλικής λειτουργίας που αφορά την πρώτη εντύπωση χρηστών που 'βρίσκονται' σε εικονικά περιβάλλοντα. Στόχος είναι η σύγκριση μεταξύ εικονικών περιβαλλόντων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, τύπο και όγκο πληροφορίας, ώστε να βγουν συμπεράσματα για τη σχεδίαση εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων που λειτουργούν όπως αντίστοιχα πραγματικά, εστιάζουν περισσότερο την προσοχή του μαθητή από αυτά και επιφέρουν μικρότερη γνωστική υπερφόρτωση.

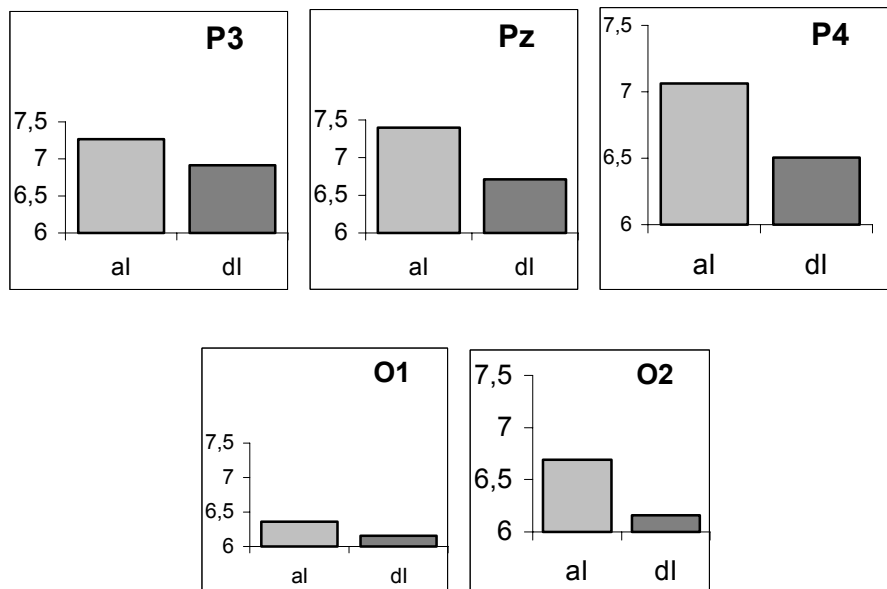
Σε κάθε υποκείμενο παρουσιάστηκαν διαδοχικά πρώτα το άδειο εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές στους τοίχους και στα ράφια, δεύτερο το ίδιο περιβάλλον με υφές στα αντικείμενα και τρίτο το δωμάτιο με υφές και τρία στερεά αντικείμενα (σχήμα 2). Η καταγραφή του εγκεφαλογραφήματος ήταν διαρκής. Μεταξύ των διαφορετικών εκδοχών των εικονικών περιβαλλόντων παρεμβάλλονταν διάστημα κατά το οποίο ο χρήστης είχε τα μάτια του κλειστά και ηρεμούσε.



**Σχήμα 2:** Άποψη του εικονικού δωματίου με αντικείμενα και υφές.

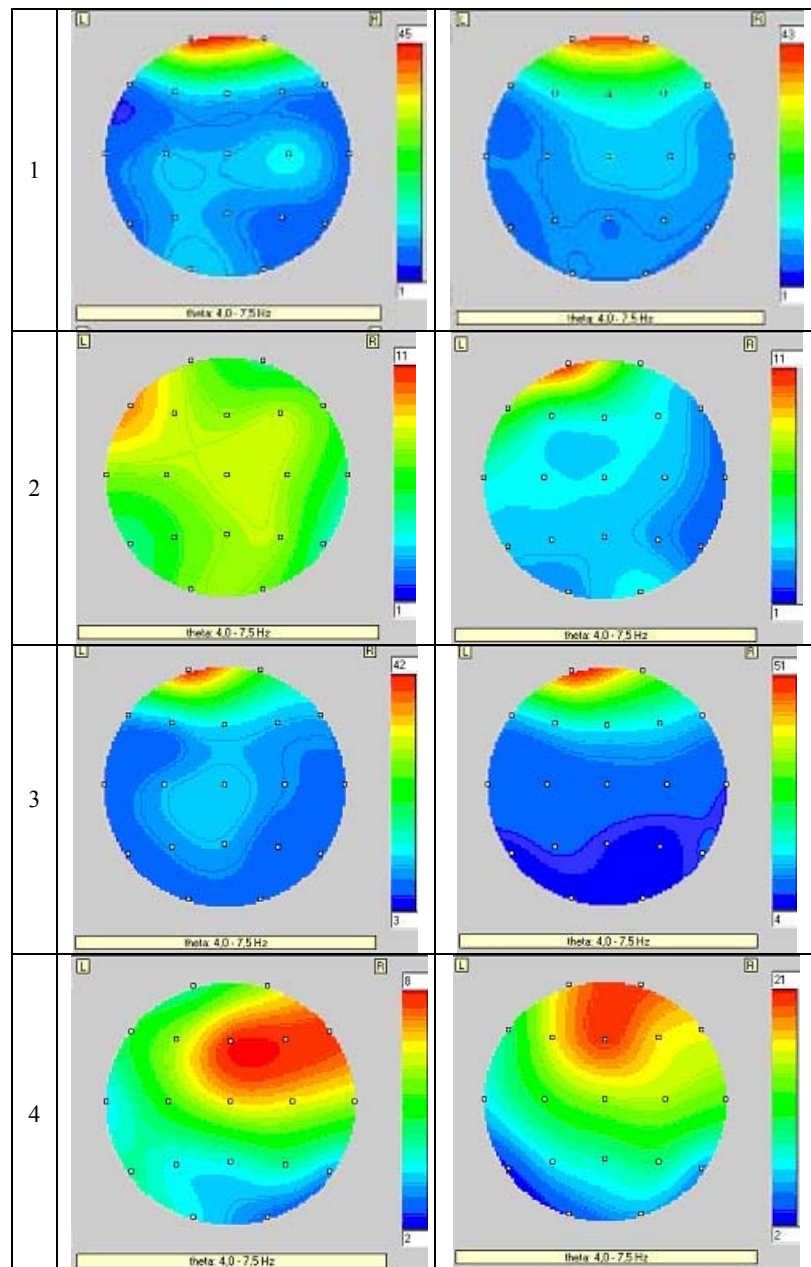
## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το σχήμα 3 δείχνει την εγκεφαλική δραστηριότητα των υποκειμένων κατά την αλληλεπίδραση τους με δύο διαφορετικού τύπου εκδοχές του εικονικού δωματίου. Τα δεδομένα (a) προκύπτουν αμέσως κατά το άνοιγμα των ματιών των χρηστών στο εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές, ενώ τα (d) κατά την ίδια διαδικασία με το δωμάτιο να έχει αντικείμενα και υφές. Οι καταγραφές που παρουσιάζονται αντιστοιχούν στο βρεγματικό και ινιακό λοβό. Οι μετρήσεις απεικονίζουν το πλάτος του ΗΕΓ σε  $\mu V$ . Είναι φανερό ότι τα δεδομένα τύπου (a) έχουν κατά πολύ μεγαλύτερες τιμές από τα αντίστοιχα (d). Και στις δύο περιπτώσεις, οι μετρήσεις είναι κατά πολύ μικρότερες από αυτές των υποκειμένων στην κατάσταση ηρεμίας ( $P3 = 11.7 \mu V$ ,  $Pz = 11.6 \mu V$ ,  $P4 = 10.8 \mu V$ ,  $O1 = 13.2 \mu V$ ,  $O2 = 13.4 \mu V$ ). Και στις δύο εκδοχές του εικονικού δωματίου εμφανίζεται έντονη εγκεφαλική δραστηριότητα.



**Σχήμα 3:** Πλάτη ΗΕΓ στο βρεγματικό (P3, Pz, P4) και τον ινιακό (O1, O2) λοβό για τις διεργασίες a και d.

Το σχήμα 4 δείχνει την εγκεφαλική δραστηριότητα των τεσσάρων υποκειμένων στη μετωπιαία και κροταφική περιοχή. Οι εγκεφαλικοί χάρτες δείχνουν τη δραστηριότητα μετά από φασματική ανάλυση στην περιοχή των κυμάτων θήτα (4 – 7.5Hz). Οι αριστεροί χάρτες δείχνουν τη δραστηριότητα κατά τη στιγμή που ο χρήστης ανοίγει τα μάτια του στο εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές, ενώ οι δεξιοί στην αντίστοιχη στιγμή για το δωμάτιο με υφές. Όπως φαίνεται στη δεύτερη περίπτωση εμφανίζεται αύξηση του σήματος στο μετωπιαίο λοβό και για τα τέσσερα υποκείμενα. Οι μετρήσεις δηλώνουν μετάβαση από μία κατάσταση νοητικής ηρεμίας σε κατάσταση εγρήγορσης που προκύπτει από οπτικό ερέθισμα με περισσότερη πληροφορία, όπως συμβαίνει και στον πραγματικό κόσμο.



**Σχήμα 4:** Εγκεφαλικοί χάρτες ισχύος για την περιοχή συχνοτήτων 4 – 7.5Hz. Αριστερά κατά την αλληλεπίδραση με το εικονικό δωμάτιο χωρίς υφές, δεξιά κατά την αλληλεπίδραση με το εικονικό δωμάτιο με υφές.



## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η διερευνητική μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας και κατ' επέκταση των νοητικών λειτουργιών σε χρήστες εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων με διαφορετικού τύπου πληροφορία. Απώτερος στόχος είναι η σχεδίαση εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων τα οποία εστιάζουν την προσοχή των χρηστών στις μαθησιακές διεργασίες που περιέχουν και προκαλούν νοητικές διεργασίες παρόμοιες με αυτές που συμβαίνουν σε πραγματικά περιβάλλοντα.

Τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν ενεργοποίηση και των δύο εγκεφαλικών ημισφαιρίων στο βρεγματικό και ινιακό λοβό. Η ενεργοποίηση ήταν αυξημένη στην περίπτωση του εικονικού περιβάλλοντος που περιείχε στερεά αντικείμενα και υφές σε όλα τα εικονικά αντικείμενα. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με αντίστοιχα των Maguire et al. (1998) και δείχνουν ότι η ύπαρξη τρισδιάστατων αντικειμένων σε ένα εικονικό περιβάλλον ενεργοποιεί περιοχές του εγκεφάλου που σχετίζονται με την κωδικοποίηση της θέσης αντικειμένων. Επίσης, τα αποτελέσματα συμφωνούν και με τα αντίστοιχα του Moore (2001) ο οποίος κατέγραψε αυξημένη εγκεφαλική δραστηριότητα στον ινιακό λοβό κατά την εμφάνιση τρισδιάστατων αντικειμένων σε εικονικά περιβάλλοντα. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι η αλληλεπίδραση χρηστών με εικονικά περιβάλλοντα που περιέχουν τρισδιάστατα αντικείμενα προσφέρεται από την ανάλογη σε πραγματικά, όπου αντικείμενα δε γίνονται άμεσα αντιληπτά ως ξεχωριστές οντότητες (Maguire et al., 1998).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης συχνοτήτων κατά Fourier των εγκεφαλογραφημάτων έδειξαν συγκριτική αύξηση του σήματος στην περιοχή συχνοτήτων 4 – 7.5Hz στο μετωπιαίο και κροταφικό λοβό. Η αύξηση αυτή των κυμάτων θήτα κατά την αλληλεπίδραση των χρηστών με το εικονικό περιβάλλον που περιείχε υφές στα αντικείμενά του, δηλώνει ενεργοποίηση του εγκεφάλου κατά την αλληλεπίδραση με περιβάλλον πλουσιότερο σε πληροφορία. Η ύπαρξη των υφών στα εικονικά αντικείμενα κάνει το περιβάλλον ρεαλιστικότερο και ενεργοποιεί περιοχές του εγκεφάλου που ενεργοποιούνται κατ' αυτόν τον τρόπο και σε ένα πραγματικό. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με αντίστοιχα των Bischof και Boulanger (2003) σε εικονικά περιβάλλοντα.

Οι ενδείξεις των πειραμάτων μας οδηγούν προς την κατεύθυνση της σχεδίασης εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων με ρεαλιστικά χαρακτηριστικά για την ενεργοποίηση νοητικών διεργασιών αντίστοιχων με πραγματικά. Παρέχονται επίσης ενδείξεις για τη χρήση των τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας με τρισδιάστατες χωρικές αναπαραστάσεις ως εκπαιδευτικά πληροφορικά περιβάλλοντα, σε αντίθεση με αντίστοιχα που χρησιμοποιούν αναπαραστάσεις δύο διαστάσεων.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Bischof, W. F. and Boulanger, P. (2003), Spatial navigation in virtual reality environments: An EEG analysis, *Cyberpsychology and Behaviour*, 6, 487-496
- Friston, K. J. (1997), Imaging cognitive anatomy, *Trends in Cognitive Sciences*, 1(1), 21-27
- Maguire, E. A., Frith, C. D., Burgess, N., Donnett, J. G., O'Keefe, J. (1998), Knowing where things are: Parahippocampal involvement in encoding object relations in virtual large-scale space, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(1), 61-76
- Martineau, J., Cochin, S. (2003), Visual perception in children: human, animal and virtual movement activates different cortical areas, *International Journal of Psychophysiology*, 51, 37-44
- Mikropoulos, T. (2000), Brain Activity on Navigation in Virtual Environments, *Journal of Educational Computing Research*, 24(1), 1-12
- Moore, C. and Engel, S. A. (2001), Neural response to perception of volume in the lateral occipital complex, *Neuron*, 29, 277-286
- Pugnetti, L., Mendozzi, L., Basberi, E., Rose, F. D. And Attree, E. A. (1996), Nervus system correlates of virtual reality experience, In P. M. Sharkey, (Ed.), *Proceedings of the 1st European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies*, 239-246, Maidenhead, UK
- Schier, M. A. (2000), Changes in EEG alpha power during simulated driving: a demonstration, *International Journal of Psychophysiology*, 37, 155-162
- Schuemie, M.J., Straaten, P. Van Der, Krijn, M., Mast, C. Van Der (2001), Research on Presence in VR: a Survey, *Cyberpsychology and Behavior*, 4(2), 183-201

