

Μελέτη της διδασκαλίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση με διαφορετικές μορφές εικονικών εργαστηρίων

Α. Ταραμόπουλος¹, Δ. Ψύλλος²

ttar@sch.gr, psillos@eled.auth.gr

¹Γενικό Λύκειο Νέας Ζίχνης Σερρών

²Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Α.Π.Θ.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μία μελέτη αποτελεσματικότητας μιας διδακτικής σειράς για τη διδασκαλία της ενότητας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, εφαρμόσιμης στα πλαίσια του ελληνικού σχολείου, τόσο σε επίπεδο εννοιολογικών στόχων όσο και σε επίπεδο διάρκειας. Κύριο χαρακτηριστικό της σειράς είναι ο εργαστηριακός της χαρακτήρας και η καθοδηγούμενη διερευνητική προσέγγιση. Γίνεται εφαρμογή της διδακτικής σειράς με διδασκαλία με τον ίδιο τρόπο σε τρία τμήματα: στο ένα τμήμα χρησιμοποιήθηκε τρισδιάστατο εικονικό εργαστήριο ηλεκτρικών κυκλωμάτων με αληθοφανή όργανα και διασυνδεδεμένη διαγραμματική αναπαράσταση των κυκλωμάτων (τμήμα ΕΕ), στο δεύτερο τμήμα χρησιμοποιήθηκε τρισδιάστατο εικονικό εργαστήριο ηλεκτρικών κυκλωμάτων με αληθοφανή όργανα αλλά χωρίς διασυνδεδεμένη διαγραμματική αναπαράσταση (τμήμα ΚΕ), και στο τρίτο τμήμα χρησιμοποιήθηκαν applets ηλεκτρικών κυκλωμάτων με διαγραμματική απεικόνιση των οργάνων (τμήμα ΑΕ). Τα αποτελέσματα φανερώνουν μεγάλη βελτίωση των επιδόσεων των μαθητών στο γνωστικό αντικείμενο παρόμοια και στα τρία τμήματα, ενώ αντιμετωπίστηκαν με επιτυχία συνηθισμένες εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών στο χώρο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Λέξεις κλειδιά: Διδακτικές σειρές, ηλεκτρικά κυκλώματα, εικονικά εργαστήρια, applets.

Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι στο χώρο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων οι μαθητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης συναντούν δυσκολίες κατανόησης ακόμα και σε εισαγωγικό επίπεδο, από τη συγκρότηση διαδικασιών και εννοιών μέχρι την περιγραφή και οργάνωση της εξήγησης των φαινομένων (Psillos, 1997; Engelhardt & Beichner, 2004; Gunstone et al., 2009). Οι δυσκολίες αυτές δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν με τις παραδοσιακές σειρές μαθημάτων, που βασίζονται κυρίως στην ποσοτική προσέγγιση των ηλεκτρικών φαινομένων, καθώς οι μαθητές εκπαιδεύονται κατά κύριο λόγο να συλλογίζονται αλγεβρικά, ενώ δυσκολίες εμφανίζονται ακόμα και σε εκπαιδευτικούς-συγγραφείς σχολικών εγχειριδίων (Engelhardt & Beichner, 2004; Gunstone et al., 2009). Προκειμένου να υπάρξει εννοιολογική εξέλιξη των μαθητών προς τις επιστημονικές απόψεις θα πρέπει οι μαθητές να εμπλακούν ενεργά στην κατασκευή της νέα γνώσης, να παρατηρήσουν και να διερευνήσουν τα φαινόμενα και να αναστοχαστούν επάνω στις απόψεις τους και στη νέα γνώση.

Η μάθηση όμως επηρεάζεται και από τις παροχές των εργαστηριακών περιβαλλόντων στα οποία εργάζεται ο μαθητής. Ένας σημαντικός αριθμός ερευνών έχει μελετήσει το ρόλο της φύσης των εργαστηριακών αντικειμένων και έχει δείξει ότι τα εικονικά εργαστήρια, ως περιβάλλοντα μάθησης δεν υστερούν σε σχέση με τα πραγματικά εργαστήρια (Jaakola & Nurmi, 2008; Ευαγγέλου & Κώτσος 2009; Taramopoulos et al. 2011). Η επίδραση όμως

σημαντικών χαρακτηριστικών και παροχών ενός εικονικού εργαστηριακού περιβάλλοντος, όπως η αισθητηριακή αληθοφάνεια και η ύπαρξη πολλαπλών αναπαραστάσεων για την υποστήριξη της πολύπλευρης κατανόησης των φαινομένων, δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς (Ruten et al. 2012). Τέτοια χαρακτηριστικά, όπως η αληθοφανής τρισδιάστατη εμφάνιση σε αντιδιαστολή με την αφηρημένη συμβολική απεικόνιση, και παροχές, όπως η επίδραση της ύπαρξης ενός χώρου με τη συμβολική αναπαράσταση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων που είναι δυναμικά συνδεδεμένος με τον εικονικό εργαστηριακό χώρο (μοντελοχώρος), ενδέχεται να επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας και η επίδρασή τους στα μαθησιακά αποτελέσματα χρήζει διερεύνησης.

Η παρούσα εργασία έχει διττό στόχο: α) να παρουσιάσει το σχεδιασμό μίας διδακτικής σειράς για τη διδασκαλία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, η οποία έχει εργαστηριακό χαρακτήρα, εντάσσει εικονικά εργαστήρια στη διδασκαλία, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών και είναι εφαρμόσιμη στα πλαίσια του ελληνικού σχολείου, τόσο σε επίπεδο εννοιολογικών στόχων, όσο και σε επίπεδο διάρκειας, και β) να μελετήσει την αποτελεσματικότητα της σειράς αυτής ως προς την εννοιολογική βελτίωση των μαθητών Γυμνασίου όταν η διδασκαλία γίνεται με χρήση εικονικών εργαστηριακών περιβαλλόντων διαφόρων χαρακτηριστικών: ανοικτό τρισδιάστατο εικονικό εργαστήριο με αληθοφανή όργανα και διασυνδεδεμένο χώρο διαγραμματικής αναπαράστασης των υλοποιούμενων ηλεκτρικών κυκλωμάτων, ανοικτό τρισδιάστατο εικονικό εργαστήριο με αληθοφανή όργανα χωρίς χώρο διαγραμματικής αναπαράστασης κυκλωμάτων και λειτουργικά applets με διαγραμματική απεικόνιση των οργάνων.

Η διδακτική σειρά

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο χώρο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων παρατηρούνται συχνά στους μαθητές εναλλακτικές απόψεις που διαφέρουν από τις επιστημονικές αντιλήψεις. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν με επιτυχία αυτές τις απόψεις υιοθετήθηκε η *καθοδηγούμενη διερευνητική προσέγγιση* κατά την οποία οι μαθητές, καθοδηγούμενοι από τον καθηγητή και κατάλληλα δομημένα Φύλλα Εργασίας, ερευνούν τη συμπεριφορά ηλεκτρικών κυκλωμάτων και τους κανόνες που διέπουν τη λειτουργία τους (de Jong & van Joolingen, 1998). Σε όλα τα σενάρια της σειράς ακολουθείται το μοντέλο *πρόβλεψη - παρατήρηση - διερεύνηση - εξήγηση (σύγκριση)* (White & Gunstone, 1992). Ο βαθμός καθοδήγησης των μαθητών κατά τη διάρκεια της διδακτικής σειράς εξελίσσεται από δομημένη διερεύνηση (structured inquiry) στα αρχικά σενάρια, σε καθοδηγούμενη διερεύνηση (guided inquiry) στα τελευταία σενάρια (Zion & Shedletsky, 2006).

Κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, οι μαθητές, καθοδηγούμενοι από τον καθηγητή, κατασκευάζουν εικονικά κυκλώματα και μέσω μετρήσεων διαπραγματεύονται τις έννοιες του κυκλώματος, της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, της τάσης και της αντίστασης και στη συνέχεια, με συσχετισμούς των μετρήσεων στις μαθηματικές σχέσεις που διέπουν τα υπό μελέτη φαινόμενα. Οικοδομείται αρχικά ένα ποιοτικό μοντέλο για τα ηλεκτρικά κυκλώματα και στη συνέχεια ένα ποσοτικό μοντέλο για την ερμηνεία της λειτουργίας των απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Η εργασία στην τάξη γίνεται σε ομάδες των δύο ατόμων, ενώ τα φύλλα εργασίας συμπληρώνονται ατομικά. Στο τέλος κάθε σεναρίου δίνεται στους μαθητές εργασία για το σπίτι με ερωτήσεις μεταγνωστικού περιεχομένου. Η εργασία στο σπίτι γινόταν ατομικά. Τα περισσότερα εκπαιδευτικά σενάρια της σειράς είχαν διάρκεια μίας διδακτικής ώρας, ενώ στα φύλλα εργασίας υπήρχαν πολλά σημεία στα οποία γινόταν συζήτηση στην τάξη και οι μαθητές σημείωναν τα σχόλιά τους

Το γνωστικό περιεχόμενο που καλύπτει η διδακτική σειρά της παρούσας έρευνας καλύπτει σε πολύ μεγάλο βαθμό το σύνολο των φαινομένων που περιλαμβάνεται στο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών για τη διδασκαλία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων στην Γ' τάξη του Γυμνασίου. Διατηρήθηκε η αλληλουχία των διδακτικών ενοτήτων και κατά το δυνατόν η συνολική διάρκεια διδασκαλίας ώστε η σειρά να αποτελεί μία εναλλακτική πρόταση διδασκαλίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων στην Γ' τάξη του Γυμνασίου.

Το εργαστηριακό περιβάλλον

Το εικονικό περιβάλλον που επιλέχθηκε είναι το Ανοικτό Μαθησιακό Περιβάλλον (Α.ΜΑ.Π.). Το Α.ΜΑ.Π. είναι ένα ανοικτό τρισδιάστατο εικονικό εργαστηριακό περιβάλλον με υψηλή αισθητηριακή και χειριστική αληθοφάνεια και επομένως δεν απαιτεί μακρά προσπάθεια εξοικείωσης (Σχήμα 4). Το Α.ΜΑ.Π. παρέχει στο χρήστη του πλεονεκτήματα όπως οι πολλαπλές αναπαραστάσεις των φυσικών φαινομένων, η διαχείριση της ροής του χρόνου όπως έχει αναλυθεί αλλού (Ψύλλος κ.ά., 2008). Η ύπαρξη στο Α.ΜΑ.Π. παροχών, όπως ο μοντελοχώρος που αποτελεί μία διαγραμματική αναπαράσταση των εικονικών κυκλωμάτων που κατασκευάζονται διασυνδεδεμένη με τον εικονικό εργαστηριακό χώρο, επιτρέπουν στους μαθητές τη δημιουργία συνδέσεων ανάμεσα στα εικονικά ηλεκτρικά στοιχεία του κόσμου και τα διαγραμματικά σύμβολα που χρησιμοποιούνται για την απεικόνισή τους στον κόσμο των μοντέλων των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Ερευνητική μεθοδολογία

Το δείγμα και η διδακτική παρέμβαση

Η διδακτική παρέμβαση διεξήχθη σε Γυμνάσιο της Κεντρικής Μακεδονίας και συμμετείχαν 50 μαθητές και μαθήτριες της Γ' Γυμνασίου. Οι μαθητές δεν είχαν παρακολουθήσει προηγουμένως κάποιο άλλο μάθημα σχετικά με ηλεκτρικά κυκλώματα στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Οι μαθητές χωρίστηκαν σε τρία τμήματα. Το πρώτο τμήμα αποτελούνταν από 25 μαθητές και χρησιμοποίησε το τρισδιάστατο εικονικό εργαστήριο του Α.ΜΑ.Π. στην πλήρη μορφή του με τα αληθοφανή όργανα του εικονικού εργαστηρίου, μαζί με το μοντελοχώρο όπου τα ηλεκτρικά όργανα απεικονίζονται με συμβολικό τρόπο (τμήμα ΕΕ). Το δεύτερο τμήμα αποτελούνταν από 13 μαθητές και χρησιμοποίησε το τρισδιάστατο εικονικό εργαστήριο του Α.ΜΑ.Π. με τα αληθοφανή όργανα, χωρίς όμως να γίνει χρήση του μοντελοχώρου (τμήμα ΚΕ). Το τρίτο τμήμα αποτελούνταν από 12 μαθητές και χρησιμοποίησε το εικονικό εργαστήριο με τα applets του Α.ΜΑ.Π. στα οποία τα ηλεκτρικά κυκλώματα απεικονίζονται μόνο με συμβολικό τρόπο (τμήμα ΑΕ). Η κατανομή των μαθητών στα τμήματα έγινε τυχαία, ενώ οι ανισότητες στο πλήθος των μαθητών των τμημάτων επιβλήθηκαν από περιορισμούς στο ωρολόγιο πρόγραμμα του σχολείου και δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα της έρευνας.

Η εφαρμογή διήρκεσε 10 διδακτικές ώρες, κατά τις οποίες εκτελέστηκαν διερευνητικές δραστηριότητες στο εργαστήριο Πληροφορικής και οι μαθητές όλων των τμημάτων ακολούθησαν την ίδια διδακτική πορεία με τα ίδια Φύλλα Εργασίας.

Τα εργαλεία

Για την αξιολόγηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο εργαλεία: ένα για τον έλεγχο της ποιοτικής κατανόησης του γνωστικού αντικειμένου και των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών (test A) και ένα για την αξιολόγηση της ποσοτικής κατανόησης των νόμων των απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων (test B).

Για τον έλεγχο της ποιοτικής κατανόησης και των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών χρησιμοποιήθηκε το Εργαλείο Διάγνωσης της Κατανόησης των Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων (Ε.Δ.Κ.Η.Κ.) (Κεραμυδάς & Ψύλλος, 2004). Από το εργαλείο αυτό επιλέχθηκαν δεκαπέντε ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών, καθώς κρίθηκε ότι οι υπόλοιπες περιέχουν έννοιες που δεν είχαν διδαχθεί στους μαθητές και δεν περιλαμβάνονταν στο προς διδασκαλία γνωστικό αντικείμενο του συγκεκριμένου κεφαλαίου των ηλεκτρικών κυκλωμάτων σύμφωνα με το ισχύον Πρόγραμμα Σπουδών. Περιλαμβάνονται ερωτήσεις κατανόησης του κλειστού ηλεκτρικού κυκλώματος, της κατεύθυνσης και διατήρησης του ηλεκτρικού ρεύματος, της διαφοράς δυναμικού στα άκρα στοιχείων συνδεδεμένων είτε σε σειρά είτε παράλληλα, της ύπαρξης τάσης σε ανοικτά κυκλώματα και των επιδράσεων μεταβολών των στοιχείων ενός κυκλώματος στα μεγέθη (ένταση ρεύματος, τάση) και στη συμπεριφορά του. Οι ερωτήσεις αυτές έχουν τέσσερις επιλογές η κάθε μία και επιδέχονται περισσότερες από μία σωστές απαντήσεις. Επομένως, ουσιαστικά πρόκειται για ένα τεστ με 60 συνολικά ερωτήσεις σωστού-λάθους που καλύπτει μεγάλο φάσμα των ευρέως γνωστών αντιλήψεων και παρέχει υψηλή εγκυρότητα και αξιοπιστία (Κεραμυδάς & Ψύλλος, 2004). Για την αξιολόγηση της εξέλιξης των μαθητών στην ποιοτική κατανόηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και των σχετικών εναλλακτικών αντιλήψεών τους το Ε.Δ.Κ.Η.Κ. διανεμήθηκε στους μαθητές πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Οι ερωτήσεις και οι πιθανές απαντήσεις του Ε.Δ.Κ.Η.Κ. αναφέρονται η κάθε μία σε συγκεκριμένες εναλλακτικές αντιλήψεις και από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών εξάγονται άμεσα τα ποσοστά των μαθητών του δείγματος που εμφανίζουν τις πιο διαδεδομένες εναλλακτικές αντιλήψεις στο χώρο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων πριν και μετά τη διδασκαλία. Τα ποσοστά ανά εναλλακτική αντίληψη όλων των τμημάτων συγκρίνονται μεταξύ τους με ανάλυση διακυμάνσεων (ANOVA) τριών δειγμάτων πριν τη διδασκαλία για την ανίχνευση τυχόν διαφορών στις αρχικές εναλλακτικές αντιλήψεις των τριών τμημάτων, ενώ το ίδιο γίνεται και μετά τη διδασκαλία για την ανίχνευση διαφορών στην ποιοτική κατανόηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων ανάμεσα στους μαθητές των διαφόρων τμημάτων. Ο έλεγχος της εννοιολογικής εξέλιξης για τις εναλλακτικές αντιλήψεις έγινε με έλεγχο t για ζευγαρωτά δείγματα (paired samples t-test) ανάμεσα στα ποσοστά που εμφανίζονται για κάθε εναλλακτική αντίληψη πριν και μετά τη διδασκαλία για κάθε τμήμα ξεχωριστά.

Η αξιολόγηση της εξέλιξης των γνώσεων των μαθητών στην ποσοτική κατανόηση των νόμων των ηλεκτρικών κυκλωμάτων έγινε με σύγκριση των απαντήσεών τους σε δέκα ερωτήσεις πριν τη διδασκαλία των παραπάνω εννοιών και μετά από αυτή (σχήμα pre-post-test). Οι ερωτήσεις αξιολόγησης ήταν ίδιες στα δύο tests, ήταν ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών για τη διευκόλυνση της στατιστικής επεξεργασίας των απαντήσεων των μαθητών, ενώ σε πέντε από αυτές υπήρχε επιπλέον ερώτηση ανοικτού τύπου για την αιτιολόγηση της απάντησης του μαθητή. Περιλαμβάνονταν ερωτήσεις αριθμητικών εφαρμογών του νόμου του Ohm, των δύο κανόνων του Kirchhoff, της ολικής αντίστασης δύο αντιστατών συνδεδεμένων σε σειρά ή παράλληλα μεταξύ τους, αλλά και ερωτήσεις ελέγχου συνηθισμένων παρανοήσεων των μαθητών. Οι έξι από τις ερωτήσεις αξιολόγησης προέρχονται απευθείας από τις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου αξιολόγησης DIRECT που σχεδιάστηκε για την ανάλυση των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών στα ηλεκτρικά κυκλώματα συνεχούς ρεύματος (Engelhardt & Beichner, 2004) ενώ οι υπόλοιπες τέσσερις αποτελούν τροποποιήσεις αντίστοιχων ερωτήσεων του DIRECT με απαντήσεις που βασίζονται στις ίδιες αρχές.

Οι απαντήσεις των μαθητών στις δέκα ερωτήσεις βαθμολογήθηκαν με δύο μόνο επίπεδα, 0 και 1, καθώς ο καθορισμός ενδιάμεσης βαθμολογίας για τις διάφορες λανθασμένες

επιλογές είναι υποκειμενικός και ενέχει τον κίνδυνο τα αποτελέσματα της έρευνας να διαφοροποιούνται έντονα ανάλογα με την εκτίμηση του κάθε ερευνητή και τη βαθμολογία που αυτός καθορίζει σε κάθε λανθασμένη απάντηση των μαθητών. Έτσι, προκειμένου να βρεθεί η επίδοση του κάθε μαθητή στο κάθε test η κάθε σωστή απάντηση βαθμολογείται με έναν (1) βαθμό και η κάθε λανθασμένη με μηδέν (0). Η συνολική επίδοση του κάθε μαθητή προκύπτει από το άθροισμα της επίδοσής του σε όλες τις ερωτήσεις του κάθε test, ενώ η επίδοση του κάθε τμήματος είναι η μέση τιμή των επιδόσεων των μαθητών του τμήματος και είναι μία συνεχής μεταβλητή η οποία για τα tests αυτά κυμαίνεται από 0 έως 10 βαθμούς.

Ο έλεγχος για διαφορές στις επιδόσεις ανάμεσα στα αποτελέσματα των pre-test και των αντίστοιχων post-test έγινε με έλεγχο t για ζευγαρωτά δείγματα (paired sample t-test). Επιπρόσθετα, η βελτίωση ανάμεσα στα αποτελέσματα των pre-test και των αντίστοιχων post-test ελέγχθηκε και με υπολογισμό της βελτίωσης κατά Hake (Hake gain) (Hake, 1998) η οποία, σταθμίζοντας τη βελτίωση των επιδόσεων των μαθητών, διορθώνει τις επιδράσεις σε αυτήν που προέρχονται από τις διαφορετικές αρχικές γνώσεις τους (Lenaerts et al., 2003).

Αποτελέσματα

Το test A (ερωτηματολόγιο Ε.Δ.Κ.Η.Κ.) συμπληρώθηκε από τους μαθητές ατομικά μέσα σε διαθέσιμο χρόνο μίας διδακτικής ώρας. Η πλειονότητα των μαθητών παρέδωσε το ερωτηματολόγιο σε 25-30 λεπτά ενώ οι περισσότεροι μαθητές δήλωσαν ότι οι ερωτήσεις τους φάνηκαν απλές και κατανοητές. Οι σημαντικότερες εναλλακτικές απόψεις που εμφάνισαν οι μαθητές πριν τη διδασκαλία φαίνονται στον πίνακα 1. Μία ανάλυση ANOVA μεταξύ των τριών τμημάτων φανερώνει ότι αυτά είναι στατιστικά ισοδύναμα ($p=0.979 > 0.05$).

Πίνακας 1. Οι κυριότερες εναλλακτικές αντιλήψεις πριν τη διδασκαλία

Εναλλακτικές απόψεις πριν τη διδασκαλία	Ποσοστά		
	ΕΕ	Κ Ε	Α Ε
Κάθε στοιχείο του κυκλώματος αντιμετωπίζεται ξεχωριστά και ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα.	76	62	67
Δεν λαμβάνονται υπόψη ποια μεγέθη παραμένουν κατά περίπτωση σταθερά.	68	69	58
Οι ενεργοβόρες συσκευές έχουν μεγαλύτερες αντιστάσεις.	60	69	67
Τάση και ρεύμα υπάρχουν πάντα μαζί. Όταν υπάρχει ρεύμα υπάρχει και τάση.	60	54	67
Το ρεύμα καταναλώνεται (σε λάμπες ή αντιστάτες).	56	46	50
Η τάση αυξάνεται όταν αυξάνεται το ρεύμα.	40	54	58
Θεωρείται ότι η μπαταρία διανέμει σταθερό ρεύμα σε ένα κύκλωμα.	44	46	42
Κάθε διαταραχή ταξιδεύει προς μια κατεύθυνση επηρεάζοντας τα στοιχεία του κυκλώματος σε γραμμική διαδοχή τοπική/ χρονική.	44	38	33

Οι εναλλακτικές αντιλήψεις που εμφάνισαν οι μαθητές μετά τη διδασκαλία φαίνονται στον Πίνακα 2. Μία ανάλυση ANOVA μεταξύ των τριών τμημάτων φανερώνει ότι και μετά τη διδασκαλία τα τρία τμήματα είναι στατιστικά ισοδύναμα ($p=0.958 > 0.05$).

Συγκρίνοντας τον Πίνακα 1 με τον Πίνακα 2 παρατηρούμε σημαντική διαφορά των απόψεων των μαθητών και σε ποιοτικό και σε ποσοτικό επίπεδο. Ο αριθμός των εναλλακτικών αντιλήψεων πλέον έχει μειωθεί σε σχέση με εκείνες που εμφανίζονταν αρχικά, ενώ σημαντικά έχει μειωθεί και το ποσοστό των μαθητών που τις εμφανίζουν. Ένας έλεγχος t για ζευγαρωτά δείγματα ανά εναλλακτική άποψη για κάθε τμήμα επιβεβαιώνει στατιστικά την εννοιολογική αλλαγή (πιθανότητα μη αλλαγής $p=0.001 < 0.05$ για κάθε

τμήμα). Παραμένουν σε ένα ποσοστό των μαθητών αποκλίσεις από τις επιστημονικά αποδεκτές αντιλήψεις με κυριότερες την άποψη ότι το ηλεκτρικό ρεύμα καταναλώνεται στους καταναλωτές και ως εκ τούτου μειώνεται η ένταση του ρεύματος κατά τη διέλευσή του από έναν λαμπτήρα ή αντιστάτη, και την άποψη ότι μία μπαταρία διανέμει σε ένα κύκλωμα ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής έντασης. Τα μικρότερα όμως ποσοστά των μαθητών που χρησιμοποιούν πλέον τέτοιες απόψεις μας επιτρέπουν να θεωρήσουμε ότι η διδακτική παρέμβαση αντιμετώπισε με επιτυχία πολλές εναλλακτικές απόψεις που εμφάνιζαν οι μαθητές πριν τη διδασκαλία. Η σειρά έχει πετύχει να διαχωρίζουν οι μαθητές τις έννοιες της τάσης και της έντασης και να μην εμφανίζονται πλέον απόψεις όπως ότι τα δύο αυτά μεγέθη συμμεταβάλλονται ή αν δεν υπάρχει ρεύμα δεν υπάρχει και τάση. Επίσης, απόψεις όπως ότι οι ενεργοβόρες συσκευές έχουν μεγάλες αντιστάσεις έχουν αντιμετωπιστεί από τη σειρά με τη χρήση προβλημάτων με συσκευές που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή.

Πίνακας 2. Οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών μετά τη διδακτική εφαρμογή

Εναλλακτικές απόψεις μετά τη διδασκαλία	Ποσοστά		
	ΕΕ	ΚΕ	ΑΕ
Το ρεύμα καταναλώνεται (σε λάμπες ή αντιστάτες).	36	38	31
Θεωρείται ότι η μπαταρία διανέμει σταθερό ρεύμα σε ένα κύκλωμα.	36	31	31
Κάθε στοιχείο του κυκλώματος αντιμετωπίζεται ξεχωριστά και ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα.	28	15	23
Δεν λαμβάνονται υπόψη ποια μεγέθη παραμένουν κατά περίπτωση σταθερά.	20	31	23
Κάθε διαταραχή ταξιδεύει προς μια κατεύθυνση επηρεάζοντας τα στοιχεία του κυκλώματος σε γραμμική διαδοχή τοπική/ χρονική.	16	23	23

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τριών τμημάτων ως προς το test B (ποσοτικό ερωτηματολόγιο DIRECT).

Πίνακας 3. Αποτελέσματα των τριών τμημάτων

Μέση τιμή επίδοσης μαθητών ανά ερώτηση	Pre-test	Post-test	Βελτίωση κατά Hake
	Επίδοση ανά μαθητή	Επίδοση ανά μαθητή	
Τμήμα ΕΕ	2,92	8,56	0,79
Τμήμα ΚΕ	2,62	8,54	0,80
Τμήμα ΑΕ	2,83	8,58	0,80

Στο τμήμα που χρησιμοποίησε το πλήρες τρισδιάστατο εικονικό εργαστήριο ηλεκτρικών κυκλωμάτων του Α.ΜΑ.Π. (τμήμα ΕΕ), στο pre-test, υπάρχει μόνο μία μαθήτρια με περισσότερους από πέντε βαθμούς, ενώ στο post-test ο αριθμός αυτός αυξάνεται σε 23 μαθητές από τους 25 συνολικά. Μία σύγκριση ανάμεσα στα αποτελέσματα του pre-test και του post-test με στατιστική επεξεργασία με το paired samples t-test δηλώνει ότι η υπόθεση να μην υπάρχει βελτίωση μπορεί ασφαλώς να απορριφθεί ($p=0,000 < 0,05$). Η μέση τιμή επίδοσης των μαθητών αυξήθηκε από 7,3 σε 21,4 δίνοντας μία συνολική πολύ μεγάλη βελτίωση της επίδοσης του τμήματος κατά Hake ίση με 0,79.

Στο τμήμα που χρησιμοποίησε το Α.ΜΑ.Π. χωρίς το μοντελοχώρο στο pre-test δεν υπήρχε μαθητής με περισσότερους από 5 βαθμούς, ενώ αντίστοιχα στο post-test σε αυτό το τμήμα δεν υπήρχε μαθητής με λιγότερους από 6 βαθμούς. Μία στατιστική επεξεργασία με paired samples t-test δηλώνει ότι η υπόθεση να μην υπάρχει βελτίωση μπορεί ασφαλώς να απορριφθεί ($p=0,000 < 0,05$). Η μέση τιμή επίδοσης των μαθητών ανά ερώτηση αυξήθηκε

από 3,4 σε 11,1 δίνοντας μία συνολική βελτίωση της επίδοσης του τμήματος κατά Hake ίση με 0,80 φανερώνοντας και εδώ μία μεγάλη βελτίωση του τμήματος.

Στο τμήμα που χρησιμοποίησε το εικονικό εργαστήριο με τη μορφή των applets του Α.ΜΑ.Π. παρατηρούμε ότι και οι 12 μαθητές του τμήματος παρουσιάζουν βελτίωση, καθώς κατά το pre-test μόνο μία μαθήτρια είχε επίδοση καλύτερη των 5 βαθμών ενώ στο post-test όλοι οι μαθητές είχαν επίδοση 7 βαθμών ή καλύτερη. Η στατιστική επεξεργασία με paired samples t-test δηλώνει ότι η υπόθεση να μην υπάρχει βελτίωση μπορεί ασφαλώς να απορριφθεί ($p=0,000 < 0,05$). Η μέση τιμή επίδοσης των μαθητών ανά ερώτηση αυξήθηκε από 3,4 σε 10,3 δίνοντας μία συνολική βελτίωση της επίδοσης του τμήματος κατά Hake ίση με 0,80 υποδεικνύοντας και εδώ μία σημαντική βελτίωση.

Συγκρίνοντας στατιστικά τα αποτελέσματα στο pre-test των τριών τμημάτων παρατηρούμε ότι οι επιδόσεις τους είναι παρόμοιες και επομένως τα τρία τμήματα ήταν ισοδύναμα ως προς τις αρχικές τους γνώσεις. Η σύγκριση των επιδόσεων των τριών τμημάτων στο post-test οδηγεί σε παρόμοια συμπεράσματα. Χρησιμοποιώντας ανάλυση διακυμάνσεων (ANOVA) για τα τρία τμήματα ταυτόχρονα βρίσκουμε ότι οι διαφορές των επιδόσεων στο post-test οφείλονται σε στατιστικούς λόγους ($p=0,997 > 0,05$). Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται και στο διάγραμμα του Σχήματος 1. Επιπλέον, έγινε ανάλυση διακυμάνσεων των επιδόσεων των μαθητών στο pre-test και στο post-test (ANOVA repeated measures), η οποία επιβεβαίωσε την ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς ανάμεσα στις επιδόσεις των τμημάτων στο post-test και στο pre-test ($p=0,000 < 0,05$), την ανυπαρξία στατιστικά σημαντικής διαφοράς ανάμεσα στις επιδόσεις στο post-test των τριών τμημάτων ($p=0,92 > 0,05$) και την έλλειψη αλληλεπίδρασης ανάμεσα στα τμήματα των μαθητών και στις επιδόσεις των μαθητών των τμημάτων στο pre-test και στο post-test ($p=0,92 > 0,05$).

Συζήτηση - συμπεράσματα

Ως προς την εννοιολογική εξέλιξη των μαθητών Γυμνασίου στο χώρο των απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων προκύπτει ότι όταν η διδασκαλία γίνεται με χρήση του εικονικού εργαστηρίου ηλεκτρικών κυκλωμάτων του Α.ΜΑ.Π. ή των applets που αυτό παράγει στο πλαίσιο διερευνητικής προσέγγισης, παρατηρείται σημαντική βελτίωση των γνώσεων των μαθητών. Η βελτίωση αφορά τόσο την ποιοτική κατανόηση, την αντιμετώπιση και ανασκευή των εναλλακτικών αντιλήψεων όσο και την ποσοτική κατανόηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και υπάρχει είτε το Α.ΜΑ.Π. χρησιμοποιηθεί ως εργαστήριο εικονικής πραγματικότητας με την πλήρη μορφή του, με ή χωρίς χρήση του μοντελοχώρου, είτε χρησιμοποιηθούν μόνο τα java applets που παράγει (Ταραμόπουλος κ.ά., 2010).

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας η παρατηρούμενη βελτίωση σε όλες τις διδακτικές εφαρμογές δείχνει ότι όταν τα εικονικά εργαστήρια ενταχθούν σε διδασκαλίες με διερεύνηση, είτε με την αληθοφανή μορφή τους είτε με τη μορφή applets, μπορούν να συμβάλλουν στην εννοιολογική κατανόηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων από μαθητές Γυμνασίου. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 3, μεγάλη εννοιολογική βελτίωση έγινε και για τα τρία τμήματα της εφαρμογής. Πιθανά χαρακτηριστικά της διδακτικής εφαρμογής που συντέλεσαν σε αυτή τη μεγάλη βελτίωση μπορεί να αποτελούν η εμπλοκή των μαθητών σε διερευνητικές εργαστηριακές εργασίες, η σταδιακή τους αυτονόμηση σε συνδυασμό με τις παροχές του εικονικού εργαστηριακού περιβάλλοντος στο οποίο εργάζονταν, ο συνολικός χρόνος της διδακτικής εφαρμογής στην τάξη (δέκα διδακτικές ώρες αντί για οκτώ που προβλέπονται στο Αναλυτικό Πρόγραμμα) και η εισαγωγή ποιοτικών καθημερινών προβλημάτων που κέντριζαν το ενδιαφέρον τους. Σύμφωνα και με δηλώσεις των μαθητών μετά το τέλος της διδακτικής εφαρμογής, κάθε φύλλο εργασίας είχε «ποικιλία ασκήσεων και

είχε και ένα πρόβλημα, μία υπόθεση», ενώ «τα φυλλάδια έκαναν συχνές επαναλήψεις στα ίδια κεφάλαια, αλλά με διαφορετικές ασκήσεις» και «δεν έτρεχαν τη Φυσική», κάτι που βοήθησε τους μαθητές να οικοδομήσουν καλύτερα τις νέες γνώσεις. Ο προσανατολισμός των Φύλλων Εργασίας προς τη διεξαγωγή συζήτησης στην τάξη με τις απόψεις των μαθητών σε σχέση με την καταγραφή των απόψεων αυτών στα Φύλλα Εργασίας βοήθησε τους μαθητές να αφιερώνουν περισσότερο χρόνο στην ανταλλαγή απόψεων με όλη την τάξη, τον αναστοχασμό και τη διερεύνηση του προβλήματος που αντιμετώπιζαν κάθε φορά χωρίς να αφιερώνεται πολύς χρόνος στην γραπτή περιγραφή των ενεργειών και των σκέψεών τους, κάτι που έχει παρατηρηθεί ότι μειώνει τον ενθουσιασμό τους για τη διδασκαλία.

Αναφορές

- Engelhardt, P.V., & Beichner, R.J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72 (1), 98-115.
- Gunstone, R., Mulhall, P., & McKittrick, B. (2009). Physics Teachers perceptions of the difficulty of teaching electricity. *Res. Sci. Educ.* 39, 515-538.
- Hake, R.R. (1998). Interactive-engagement vs. traditional methods: a six-thousand- student survey of mechanics test data for introductory physics. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Jaakkola T., & Nurmi S. (2008). Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24, 271-283.
- Jong de, T., & van Joolingen, W.R. (1998). Scientific discovery learning with a computer simulations of conceptual domains. *Rev. Educ. Res.*, 68(2), 179-201.
- Lenaerts, J., Wieme, W. & van Zele, E. (2003). Peer instruction: a case study for an introductory magnetism course. *European Journal of Physics*, 24, 7-14.
- Psillos, D. (1997). Teaching introductory electricity. In (eds.), A.Tiberghien, E.L. Jossem, J. Barojas, *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. I.C.P.E.
- Ruten, N., van Joolingen, W.R., & van der Veen, J.T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers and Education*, 58, 136-153.
- Taramopoulos, A., Psillos, D., & Hatzikraniotis, E. (2011). Teaching by inquiry electric circuits in virtual and real laboratory environments. In A. Jimoyiannis (ed.), *Research on e-learning and ICT in Education: Technological, Pedagogical and Instructional Issues*, ch. 16, (pp. 209-222). New York: Springer.
- White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. London: Palmer Press.
- Zion, M., & Shedletsky, E. (2006). Overcoming the challenge of teaching open inquiry. *The Science Education Review*, 5(1), 8-10.
- Ευαγγέλου Φ., Κώτσης Κ., (2009). Γνωρίσματα ερευνών της Διεθνούς Βιβλιογραφίας σχετικά με τα μαθησιακά αποτελέσματα από τη σύγκριση εικονικών και πραγματικών πειραμάτων στη διδασκαλία και μάθηση της Φυσικής. Στο Π. Καριώτογλου, Α. Σπύρτου & Α. Ζουπίδης (επ.), *Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*, (σ. 335-342). Ανακτήθηκε στις 15/09/2010 από <http://www.uowm.gr/kodifeet>
- Κεραμουδάς, Κ., & Ψύλλος, Δ. (2004) Ανάπτυξη ερωτηματολογίου και μελέτη των αντιλήψεων των μαθητών σε θέματα ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Στο 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση, Αθήνα 2004.
- Ταραμόπουλος, Α., Ψύλλος, Δ., & Χατζηκρανιώτης, Ε. (2010). Διδασκαλία ηλεκτρικών κυκλωμάτων με το εικονικό εργαστήριο και τα applets του Ανοικτού Μαθησιακού Περιβάλλοντος (ΑΜΑΠ), Στο 7^ο Συνέδριο Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση (ΕΤΠΕ), Κόρινθος, Τόμ. ΙΙ, (σ. 355-363).
- Ψύλλος, Δ., Ταραμόπουλος, Α., Χατζηκρανιώτης, Ε., Μπάρμπας, Α., Μολοχίδης, Τ., Μπισδικιάν, Γ. (2008), Ένα Ανοικτό Μαθησιακό Περιβάλλον (Α.ΜΑ.Π.) στην περιοχή του Ηλεκτρισμού. Στο Χ. Αγγελή & Ν. Βαλανίδης (επ.), *Πρακτικά 6ου Συνεδρίου ΕΤΠΕ (Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση)*, Κύπρος, (σ. 384-391).