

Διδασκαλία ηλεκτρικών κυκλωμάτων με το εικονικό εργαστήριο και τα applets του Ανοικτού Μαθησιακού Περιβάλλοντος (ΑΜΑΠ)

Α. Ταραμόπουλος¹, Δ. Ψύλλος¹, Ε. Χατζηκρανιώτης²

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

¹ ΠΤΔΕ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

² Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται το εργαστήριο ηλεκτρικών κυκλωμάτων του Ανοικτού Μαθησιακού Περιβάλλοντος (ΑΜΑΠ) και τα applets ηλεκτρικών κυκλωμάτων που παράγονται από αυτό. Αναπτύσσεται μία διδακτική παρέμβαση σε μαθητές Γ' Γυμνασίου με χρήση του τριδιάστατου εικονικού εργαστηρίου κατά τη διδασκαλία στην τάξη και των διδιάστατων διερευνητικών applets κατά την εργασία είτε στην τάξη είτε στο σπίτι μέσω του Διαδικτύου. Τα αποτελέσματα φανερώνουν βελτίωση των επιδόσεων των μαθητών στο γνωστικό αντικείμενο είτε η διδασκαλία γίνεται με το εικονικό εργαστήριο είτε γίνεται με τα applets που αυτό παράγει.

Λέξεις κλειδιά: εικονικά εργαστήρια, ηλεκτρισμός, applets, μοντέλα

Εισαγωγή

Η εξοικείωση και κατανόηση της σχεδίασης, εκτέλεσης και ερμηνείας των πειραμάτων από τους μαθητές αποτελούν σκοπό της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών. Όμως, πολλές φορές, κατά την εκτέλεση ενός πραγματικού πειράματος οι μαθητές έρχονται αντιμέτωποι με δυσκολίες χειρισμού των πραγματικών οργάνων και διατάξεων, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας (Niedderer et. al., 2003). Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι η χρήση των ΤΠΕ μπορεί να ξεπεράσει, ως ένα βαθμό, τεχνικούς και διδακτικούς περιορισμούς του πραγματικού εργαστηρίου (Sassi, 2001).

Τα εικονικά εργαστήρια (virtual laboratories) προσομοιώνουν με εικονικό και λειτουργικό τρόπο, στην οθόνη του υπολογιστή, εργαστήρια Φυσικών Επιστημών, αξιοποιώντας τη δυναμική που παρέχει η σύγχρονη τεχνολογία πολυμέσων με βασικό χαρακτηριστικό την τεχνική αλληλεπίδρασης και τον άμεσο και αληθοφανή χειρισμό των αντικειμένων και των παραμέτρων (Λεύκος κ.ά., 2005). Επίσης, τα εικονικά εργαστήρια ενσωματώνουν κατά κανόνα διασυνδεδεμένες πολλαπλές αναπαραστάσεις της εξέλιξης ενός φαινομένου καθώς και συμβολικές γραφικές παραστάσεις των μεταβολών των εμπλεκόμενων μεγεθών (Kocijancic & O'Sullivan, 2004). Η αποτελεσματικότητα των εικονικών εργαστηρίων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνητικών εργασιών. Σημαντικός αριθμός ερευνών έχει δείξει ότι προάγουν την εννοιολογική κατανόηση σε διαφορετικά πεδία αν και υπάρχουν μελέτες με αμφίσημα αποτελέσματα (Zacharia, 2003; Jaakkola & Nurmi, 2008).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Harms, 2000), τα σύγχρονα εικονικά εργαστηριακά περιβάλλοντα μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κατηγορίες: Προσομοιώσεις (Simulations), Δικτυακά εργαστήρια με applets (Cyber Labs), Εικονικά Εργαστήρια (Virtual

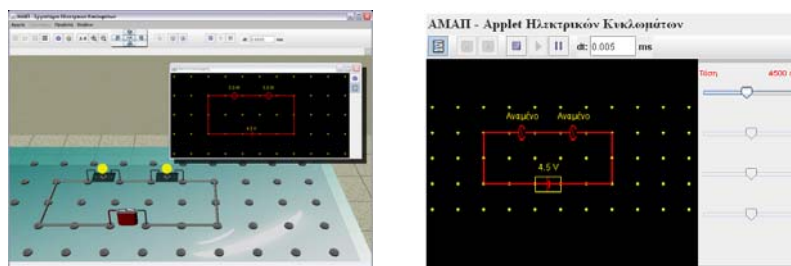
Labs), Εργαστήρια Εικονικής Πραγματικότητας (VR Labs) και Εργαστήρια Ελεγχόμενα από Απόσταση (Remote Labs). Τα περισσότερα λογισμικά εικονικού εργαστηριακού περιβάλλοντος (Simulations, Virtual Labs, VR Labs) είναι υπολογιστικές εφαρμογές που εκτελούνται στον τοπικό υπολογιστή του χρήστη κυρίως για λόγους ταχύτητας και ασφάλειας. Αυτό περιορίζει τη χρήση τους στο χώρο του σχολείου και εμποδίζει την ανάθεση διερευνητικών εργασιών με το εικονικό εργαστήριο στο σπίτι. Προς τούτο, πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί εργαστηριακά περιβάλλοντα που μπορούν να λειτουργούν από απόσταση, όπως τα εικονικά εργαστήρια που βασίζονται σε applets (Cyber Labs) και τα ρομποτικά πραγματικά εργαστήρια (Remote Labs) που μπορούν να δέχονται εντολές μέσω Διαδικτύου (Fischer et. al., 2007). Βέβαια, λόγω των δυσκολιών που παρουσιάζει η κατασκευή ενός ρομποτικού πραγματικού εργαστηρίου, η πιο συνηθισμένη λύση για εξ' αποστάσεως λειτουργικό εργαστηριακό περιβάλλον είναι η λύση των προσομοιώσεων που εκτελούνται ως java applets (Cyber Labs), όπως π.χ. η συλλογή Java applets on Physics (Fendt, 2008) ή τα Physlets (Christian, 2005). Η κατασκευή ενός applet όμως, προϋποθέτει γνώσεις προγραμματισμού της γλώσσας Java, κάτι που ο μέσος εκπαιδευτικός δε διαθέτει. Επομένως, όταν ένας εκπαιδευτικός θέλει να χρησιμοποιήσει ένα applet με κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που δεν βρίσκονται σε κάποιο από τα applets που είναι διαθέσιμα στο Διαδίκτυο, αδυνατεί να το κάνει. Αυτό το κενό έρχεται να καλύψει το Ανοικτό Μαθησιακό Περιβάλλον (ΑΜΑΠ), με τη δυνατότητα που δίνει στο χρήστη να κατασκευάζει μέσα από το εικονικό εργαστήριο applets της επιλογής του και να τα χρησιμοποιεί τοπικά, ή απομακρυσμένα.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της εννοιολογικής βελτίωσης που παρατηρείται σε μαθητές Γυμνασίου στο χώρο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων όταν η διδασκαλία γίνεται με χρήση του εικονικού εργαστηρίου ηλεκτρισμού του ΑΜΑΠ και των applets που αυτό παράγει. Το εικονικό εργαστήριο που χρησιμοποιείται από τους μαθητές στην τάξη παρουσιάζει χαρακτηριστικά VR Lab, ενώ τα applets που χρησιμοποιούνται τόσο στην τάξη, όσο και εξ' αποστάσεως για την εκτέλεση εργασίας από το σπίτι έχουν χαρακτηριστικά Cyber Lab.

Περιγραφή του εικονικού εργαστηρίου και των παραγόμενων applets του ΑΜΑΠ

Το Ανοικτό Μαθησιακό Περιβάλλον (ΑΜΑΠ) σχεδιάστηκε ως ένα πολυ-λειτουργικό λογισμικό εικονικού εργαστηρίου στο χώρο της Οπτικής και του Ηλεκτρισμού (Μπισδικιάν κ.α., 2006; Ψύλλος κ.α., 2008). Όπως υποδηλώνει και το όνομά του, είναι ένας μικρόκοσμος φυσικής, δηλαδή ένα ανοικτό εικονικό εργαστηριακό περιβάλλον στο οποίο οι χρήστες κατασκευάζουν τη διάταξη της επιλογής τους και όλα τα όργανα λειτουργούν από την πρώτη έως την τελευταία στιγμή εμφάνισής τους στον εργαστηριακό χώρο, όπως ακριβώς συμβαίνει και σε ένα πραγματικό εργαστήριο.

Εκτός από το τρισδιάστατο εικονικό εργαστήριο με δυνατότητες πλοήγησης και περιστροφής στο χώρο, zoom, κλπ, το ΑΜΑΠ παρέχει στους χρήστες του έναν επιπλέον χώρο στο εικονικό εργαστήριο, το μοντελοχώρο (Σχήμα 1), ο οποίος εμφανίζει μία διδιάστατη συμβολική απεικόνιση του πραγματικού χώρου του εργαστηρίου. Στο εργαστήριο ηλεκτρικών κυκλωμάτων ο μοντελοχώρος εμφανίζει τη σχηματική απεικόνιση του κυκλώματος που χρησιμοποιείται. Αναλυτικότερη παρουσίαση και περιγραφή του περιβάλλοντος του ΑΜΑΠ και του εικονικού εργαστηρίου ηλεκτρισμού έχει γίνει στο 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΤΠΕ στην Εκπαίδευση (Ψύλλος κ.α., 2008).



Σχήμα 1. Το εργαστήριο ηλεκτρικών κυκλωμάτων του AMAPI με τον μοντελοχώρο (αριστερά) και το αντίστοιχο applet που παράγεται (δεξιά)

Ένα ακόμα καινοτόμο στοιχείο του AMAPI είναι η δυνατότητα αποθήκευσης της χρησιμοποιούμενης διάταξης με τη μορφή πλήρως λειτουργικού java applet. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι από κάθε πειραματική διάταξη που συνθέτει ο χρήστης στο εικονικό εργαστήριο, μπορεί να δημιουργηθεί μια νέα προσομοίωση, η οποία να εκτελείται ανεξάρτητα από το AMAPI, με το μορφή applet. Οι προσομοιώσεις αυτές είναι όμοιες στην εμφάνιση με τη διδιάστατη εικόνα του μοντελοχώρου, με την προσθήκη όμως της ελευθερίας χειρισμών του τρισδιάστατου εικονικού εργαστηρίου (ελευθερία μετακινήσεων των αντικειμένων και αλλαγής των ιδιοτήτων τους). Πρόκειται δηλαδή για πλήρως λειτουργικές διδιάστατες συμβολικές πολυπαραμετρικές προσομοιώσεις υψηλής συνέπειας με τη θεωρία (Σχήμα 1). Επιπλέον, η ελευθερία μεταβολών των ιδιοτήτων των αντικειμένων σε αυτές τις προσομοιώσεις είναι μεγαλύτερη από ότι στο εικονικό εργαστήριο, καθώς το εικονικό εργαστήριο, προσομοιάζοντας όσο το δυνατόν περισσότερο τον πραγματικό κόσμο, υπόκειται και στους περιορισμούς του εύρους τιμών των ιδιοτήτων των πραγματικών αντικειμένων.

Μέθοδος

Το δείγμα

Η διδακτική εφαρμογή έλαβε χώρα σε Γυμνάσιο της Κεντρικής Μακεδονίας στην ενότητα των ηλεκτρικών κυκλωμάτων κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο 2010. Συμτείχαν 16 μαθητές και μαθήτριες της Γ' Γυμνασίου που δεν είχαν παρακολουθήσει προηγουμένως κάποιο άλλο μάθημα σχετικά με ηλεκτρικά κυκλώματα στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση.

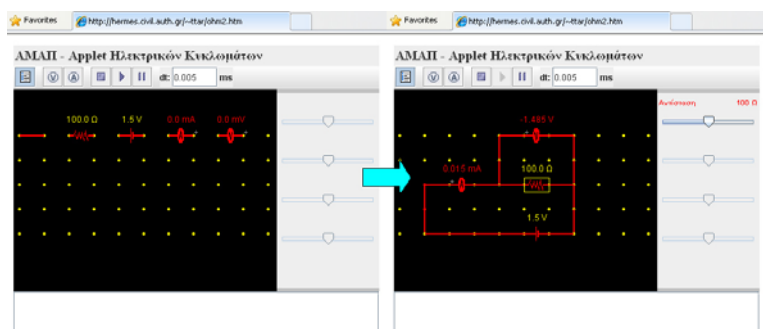
Η διδακτική προσέγγιση

Η διδακτική προσέγγιση χωρίζεται σε δύο μέρη: Το πρώτο μέρος εκτελέστηκε με διδασκαλία στο εργαστήριο Πληροφορικής και χρήση του εικονικού εργαστηρίου του AMAPI (VR-Lab), ενώ το δεύτερο μέρος (Cyber Lab) εκτελέστηκε αποκλειστικά με χρήση των java applets που παράγει το AMAPI. Είναι γνωστό ότι οι μαθητές αυτής της ηλικίας εμφανίζουν εναλλακτικές αντιλήψεις στο χώρο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, οι οποίες διατηρούνται παρά τη συμμετοχή τους σε, κατά κανόνα, παραδοσιακές διδακτικές προσεγγίσεις, (Shipstone, 1984; McDermott & Shaffer, 1992; Psillos 1997). Στόχος της εφαρμογής αποτελεί η εννοιολογική βελτίωση των μαθητών στο χώρο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η προσέγγιση στοχεύει στη διδασκαλία των εννοιών των απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων, στη βελτίωση της κατανόησης της λειτουργίας ενός κλειστού ηλεκτρικού

κυκλώματος, στην ενίσχυση της ικανότητας διάκρισης σχετιζομένων μεταξύ τους εννοιών όπως το ηλεκτρικό ρεύμα και η τάση, στην κατανόηση των συνδέσεων στοιχείων σε σειρά και παράλληλα και τη διαγραμματική απεικόνιση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Το *πρώτο μέρος* της διδασκαλίας είχε διάρκεια 7 διδακτικές ώρες και διαπραγματεύτηκε τις έννοιες του ηλεκτρικού κυκλώματος, του ηλεκτρικού ρεύματος, της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, της ηλεκτρικής αντίστασης και της διαφοράς δυναμικού (τάσης) σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, με την καθοδήγηση των κατάλληλων φύλλων εργασίας και του καθηγητή. Οι έννοιες αυτές περιλαμβάνονται στο σχολικό εγχειρίδιο καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος του κεφαλαίου «Ηλεκτρικό Ρεύμα» της Φυσικής Γ' Γυμνασίου (Αντωνίου κ.α., 2008) και αποτελούν μέρος της διδακτέας ύλης του μαθήματος της Φυσικής Γ' Γυμνασίου, ενώ η διδασκαλία τους έγινε αποκλειστικά με τη χρήση του ΑΜΑΠ.

Αρχικά, με τη βοήθεια ηλεκτρικών λαμπτήρων που χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες, εισήχθη η έννοια του ηλεκτρικού κυκλώματος και μελετήθηκαν οι προϋποθέσεις που πρέπει να ικανοποιεί ένα κύκλωμα για να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Στη συνέχεια, εισήχθη η έννοια της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος και έγινε χρήση του αμπερομέτρου ως οργάνου μέτρησης. Βρέθηκε ότι η φωτοβολία ενός λαμπτήρα μπορεί να αποτελέσει δείκτη της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος και με τη βοήθεια λαμπτήρων και αμπερομέτρων μελετήθηκαν οι συνδέσεις λαμπτήρων σε σειρά και παράλληλα. Ακολούθησε η εισαγωγή της διαφοράς δυναμικού (τάση) ως το μέγεθος που διατηρείται σταθερό στα άκρα μιας μπαταρίας. Οι μαθητές χρησιμοποίησαν το βολτόμετρο ως όργανο μέτρησης της τάσης. Τέλος, διαπραγματεύτηκε η έννοια της ηλεκτρικής αντίστασης και συνδέθηκε ποιοτικά με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος όταν η τάση παραμένει σταθερή.



Σχήμα 2. Applet του ΑΜΑΠ για εργασία διερεύνησης του νόμου Ohm στο σπίτι

Στο *δεύτερο μέρος* προωθήθηκε ένα ποσοτικό μοντέλο για την ερμηνεία της λειτουργίας απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Το μέρος αυτό (Cyber Lab) είχε διάρκεια 5 διδακτικές ώρες και εκτελέστηκε με διερευνητικές δραστηριότητες στο εργαστήριο Πληροφορικής αλλά και επεκτάσεις οι οποίες εκτελέστηκαν από τους μαθητές ως εργασίες στο σπίτι. Διαπραγματεύτηκε το νόμο Ohm, τη σύνδεση αντιστάτων σε σειρά και παράλληλα και τους δύο κανόνες Kirchhoff. Σε δύο από τις δραστηριότητες (σύνδεση αντιστάτων σε σειρά και παράλληλα) υπήρχε η ανάθεση επιπλέον διερεύνησης στο σπίτι με χρήση applets που εκτελούνταν μέσω του Διαδικτύου. Τα applets είχαν παραχθεί από το ΑΜΑΠ και βρίσκονταν εγκατεστημένα σε server στο Α.Π.Θ. Οι μαθητές συνδέονταν από τον υπολογιστή στο σπίτι τους, εκτελούσαν τα applets, κατασκεύαζαν τα επιθυμητά κυκλώματα από τα ηλεκτρικά στοιχεία που περιείχονταν και διερευνούσαν τη λειτουργία τους

μεταβάλλοντας διάφορες παραμέτρους, όπως την τιμή της αντίστασης των αντιστάτων που χρησιμοποιούσαν (Σχήμα 2).

Η προσέγγιση και στα δύο μέρη της εφαρμογής ήταν διερευνητική (Shaffer & McDermott, 1992). Οι μαθητές, εργάζονται καθοδηγούμενοι διακριτικά από τον καθηγητή και κατάλληλα Φύλλα Εργασίας. Στο Α μέρος οι μαθητές διερευνούσαν τα υπό μελέτη φαινόμενα εκτελώντας αληθοφανείς χειρισμούς στο φιλικό εικονικό εργαστήριο, παρατηρώντας άμεσα και κατ' επανάληψη τα αποτελέσματα των κατασκευών τους. Με τον τρόπο αυτό προωθήθηκε ένα ποιοτικό, ημι-ποσοτικό μοντέλο με το οποίο οι μαθητές μπορούσαν να ερμηνεύσουν τη συμπεριφορά απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Στο Β μέρος οι μαθητές κατασκεύαζαν εικονικά κυκλώματα στα applets και διερευνούσαν μέσω μετρήσεων τις μαθηματικές σχέσεις που διέπουν τα υπό μελέτη φαινόμενα. Η εργασία στην τάξη γινόταν σε ομάδες των δύο ατόμων, ενώ τα Φύλλα Εργασίας συμπληρώνονταν ατομικά. Η εργασία στο σπίτι γινόταν ατομικά.

Τα εργαλεία

Η αξιολόγηση της βελτίωσης των γνώσεων των μαθητών στο αντικείμενο κατά το πρώτο στάδιο της εφαρμογής έγινε με σύγκριση των απαντήσεών τους σε πέντε ερωτήσεις πριν το πρώτο στάδιο της εφαρμογής και μετά από αυτό (pre-test1 και post-test1). Οι ερωτήσεις αξιολόγησης ήταν ίδιες στο pre-test1 και στο post-test1, ήταν ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών και αφορούσαν τη βελτίωση των μαθητών στο γνωστικό αντικείμενο. Η πρώτη ερώτηση αφορούσε τη σύγκριση της φωτοβολίας λαμπτήρων σε κύκλωμα με ένα λαμπτήρα και σε κύκλωμα με δύο λαμπτήρες σε σύνδεση σε σειρά. Η δεύτερη ερώτηση αφορούσε τη σύγκριση της φωτοβολίας λαμπτήρων σε κύκλωμα με ένα λαμπτήρα και σε κύκλωμα με δύο λαμπτήρες σε παράλληλη σύνδεση. Η τρίτη ερώτηση αφορούσε την ένταση του ρεύματος που διέρχεται από πηγή τάσης σε κυκλώματα με έναν λαμπτήρα, ή με δύο λαμπτήρες σε σύνδεση σε σειρά και παράλληλα. Η τέταρτη και η πέμπτη ερώτηση αφορούσαν την τάση της πηγής και τη συνολική αντίσταση των λαμπτήρων αντίστοιχα, στα κυκλώματα της τρίτης ερώτησης.

Ομοίως, για το δεύτερο στάδιο της εφαρμογής, έγινε σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών σε πέντε ερωτήσεις πριν και μετά από αυτό (pre-test2 και post-test2). Και εδώ οι ερωτήσεις ήταν όμοιες πριν και μετά και ήταν ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών με τις οποίες γινόταν έλεγχος της βελτίωσης των γνώσεων των μαθητών στο γνωστικό αντικείμενο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Η πρώτη ερώτηση αφορούσε την ένταση του ρεύματος πριν και αφού περάσει από δύο λαμπτήρες συνδεδεμένους σε σειρά. Η δεύτερη ερώτηση αφορούσε τη μεταβολή φωτοβολίας λαμπτήρα συνδεδεμένου σε σειρά με δεύτερο λαμπτήρα, όταν παράλληλα σε αυτόν προστίθεται τρίτος λαμπτήρας, έτσι ώστε η συνολική αντίσταση του κυκλώματος να μικραίνει. Η τρίτη ερώτηση αφορούσε την εξάρτηση της έντασης και της τάσης ενός αντιστάτη από την τιμή της αντίστασής του όταν συνδέεται με πηγή τάσης. Η τέταρτη ερώτηση αφορούσε μία αριθμητική εφαρμογή του πρώτου κανόνα Kirchhoff σε κόμβο κυκλώματος με πηγή τάσης και δύο αντιστάτες σε παράλληλη σύνδεση. Η πέμπτη ερώτηση αφορούσε αριθμητική εφαρμογή του δεύτερου κανόνα Kirchhoff σε κύκλωμα με πηγή τάσης και δύο αντιστάτες συνδεδεμένους σε σειρά.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στατιστικά ως προς την εσωτερική αξιοπιστία τους με τον υπολογισμό του Cronbach α για κάθε σετ. 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). Η βελτίωση κατά Hake ορίζεται ως η βελτίωση ανάμεσα

στα αποτελέσματα του pre-test και του post-test σταθμισμένη κατά τη μέγιστη δυνατή βελτίωση (Hake, 1998) και υπολογίζεται από τη σχέση

$$g = \frac{post - pre}{max_score - pre}$$

όπου pre και post είναι τα αποτελέσματα στα pre-test και post-test αντίστοιχα και max_score είναι η μέγιστη επίδοση που μπορεί να επιτευχθεί. Η βελτίωση κατά Hake (Hake gain) είναι μία σημαντική παράμετρος μέτρησης της αποδοτικότητας της διδασκαλίας καθώς σταθμίζοντας τη βελτίωση των επιδόσεων των μαθητών, διορθώνονται οι επιδράσεις σε αυτήν που προέρχονται από τις διαφορετικές αρχικές γνώσεις τους (Lenaerts κ.α., 2003).

Αποτελέσματα

Στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής, στο pre-test1 το Cronbach α βρέθηκε ίσο με 0.846 ενώ για το post-test1 ήταν 0.802. Στο δεύτερο στάδιο της παρέμβασης, στο pre-test2 το Cronbach α βρέθηκε ίσο με 0.715 και στο post-test2 με 0.781. Σε όλες τις περιπτώσεις οι κατανομές των σωστών απαντήσεων είναι συμβατές με την κανονική κατανομή σύμφωνα με το test Kolmogorov-Smirnov.

Η επίδοση στις πέντε συνολικά ερωτήσεις του pre-test1 δίνουν ένα μέσο όρο 0.75 σωστών απαντήσεων *ανά μαθητή* με τυπική απόκλιση 1.2. Στο post-test1 τα αποτελέσματα δείχνουν ένα μέσο όρο 2.7 σωστών απαντήσεων *ανά μαθητή* με τυπική απόκλιση 1.7. Μία σύγκριση με τα αποτελέσματα του pre-test φανερώνουν βελτίωση της επίδοσης του μέσου μαθητή του τμήματος, καθώς από περίπου μία σωστή απάντηση στις πέντε έφτασε στο επίπεδο των περίπου τριών σωστών απαντήσεων. Η στατιστική επεξεργασία με έλεγχο t για ζευγαρωτά δείγματα (paired sample t-test) δηλώνει ότι η υπόθεση να μην υπάρχει βελτίωση μπορεί ασφαλώς να απορριφθεί καθώς συγκεντρώνει πιθανότητα 0.2% να συμβαίνει ($p=0.002 < 0.05$).

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τμήματος ανά ερώτηση καθώς και η βελτίωση κατά Hake. Ο μέσος όρος του αριθμού των μαθητών που έδωσαν σωστές απαντήσεις *ανά ερώτηση* αυξήθηκε από 2.4 (15%) σε 8.4 (53%) δίνοντας μία συνολική βελτίωση της επίδοσης του τμήματος κατά Hake ίση με 0.44.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα ανά ερώτηση κατά την πρώτη φάση της εφαρμογής

Ερώτηση	Pre-test 1	Post-test 1	Βελτίωση κατά Hake
	Σωστές Απαντήσεις	Σωστές Απαντήσεις	
Φωτοβολία λαμπ. σε σειρά	4	9	0.42
Φωτοβ. λαμπ. παράλληλα	3	10	0.54
Ένταση ρεύματος μπαταρίας	1	7	0.40
Τάση μπαταρίας	4	10	0.50
Ολική αντίσταση	0	6	0.38
Μέσος όρος σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση	2.4	8.4	0.44

Στο δεύτερο τμήμα της εφαρμογής τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια. Η επίδοση στις πέντε συνολικά ερωτήσεις του pre-test2 δίνουν ένα μέσο όρο 1.1 σωστών απαντήσεων *ανά μαθητή* με τυπική απόκλιση 1.4. Όπως είναι φανερό από αυτή την επίδοση, οι γνώσεις που απέκτησαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης της εφαρμογής δεν επαρκούσαν για να απαντήσουν ικανοποιητικά στις ερωτήσεις του δεύτερου test αξιολόγησης.

Στο post-test2 τα αποτελέσματα δείχνουν ένα μέσο όρο 2.3 σωστών απαντήσεων *ανά μαθητή* με τυπική απόκλιση 1.7. Μία σύγκριση με τα αποτελέσματα του pre-test2 φανερώσουν και πάλι βελτίωση της επίδοσης του μέσου μαθητή. Η στατιστική επεξεργασία με έλεγχο t για ζευγαρωτά δείγματα (paired sample t-test) δηλώνει ότι η υπόθεση να μην υπάρχει βελτίωση μπορεί να απορριφθεί καθώς συγκεντρώνει πιθανότητα μόλις 0.3% να συμβαίνει ($p=0.003 < 0.05$).

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τμήματος *ανά ερώτηση* καθώς και η βελτίωση κατά Hake για τη δεύτερη φάση της εφαρμογής. Ο μέσος όρος του αριθμού των μαθητών που έδωσαν σωστές απαντήσεις *ανά ερώτηση* αυξήθηκε από 3.6 (23%) σε 7.2 (45%) δίνοντας μία συνολική βελτίωση του τμήματος κατά Hake ίση με 0.29.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ανά ερώτηση κατά τη δεύτερη φάση της εφαρμογής

Ερώτηση	Pre-test 2	Post-test 2	Βελτίωση κατά Hake
	Σωστές Απαντήσεις	Σωστές Απαντήσεις	
Συνέχεια ρεύματος	6	10	0.40
Φωτ. λαμπ. μικτής σύνδεσης	4	6	0.17
Νόμος Ohm	5	8	0.27
1 ^{ος} κανόνας Kirchhoff	2	6	0.29
2 ^{ος} κανόνας Kirchhoff	1	6	0.33
Μέσος όρος σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση	3.6	7.2	0.29

Συζήτηση - συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η μελέτη της εννοιολογικής βελτίωσης που παρατηρείται σε μαθητές Γυμνασίου στο χώρο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων όταν η διδασκαλία γίνεται με χρήση του εικονικού εργαστηρίου ηλεκτρισμού του ΑΜΑΠ και των applets που αυτό παράγει. Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω προκύπτει ότι η διδασκαλία με τη χρήση του Ανοικτού Μαθησιακού Περιβάλλοντος στο πλαίσιο διερευνητικής προσέγγισης οδηγεί σε βελτίωση των γνώσεων των μαθητών στο αντικείμενο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Η βελτίωση υπάρχει είτε το ΑΜΑΠ χρησιμοποιηθεί με την πλήρη μορφή του, ως εργαστήριο εικονικής πραγματικότητας, είτε χρησιμοποιηθούν μόνο τα java applets που παράγει. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας η παρατηρούμενη βελτίωση και στις δύο φάσεις της εφαρμογής δείχνει ότι τα εικονικά εργαστήρια, είτε με την αληθοφανή μορφή τους είτε με τη μορφή applets, μπορούν να συμβάλλουν στην εννοιολογική κατανόηση των μαθητών Γυμνασίου κατά τη διδασκαλία της ενότητας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Τα χαρακτηριστικά με τα οποία είναι σχεδιασμένο το εικονικό εργαστήριο ΑΜΑΠ φαίνεται ότι συμβάλλουν στην παιδαγωγική του αξιοποίηση του στο πλαίσιο διερευνητικής προσέγγισης για την αντιμετώπιση εννοιολογικών προβλημάτων στην περιοχή των ηλεκτρικών κυκλωμάτων (Ψύλλος κ.α., 2008). Επισημαίνουμε επίσης ότι η ύπαρξη παροχών όπως ο μοντελοχώρος, συμβάλει στην αντιμετώπιση επιπλέον δυσκολιών των μαθητών σχετιζόμενων με τον επιστημονικό τρόπο αναπαράστασης των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Η διαγραμματική διάταξη που εμφανίζεται στο μοντελοχώρο και μεταβάλλεται συγχρονικά με την εικονική εργαστηριακή διάταξη βοήθησε τους μαθητές να συνειδητοποιήσουν καλύτερα τις αντιστοιχίες ανάμεσα στα εικονικά όργανα και στα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στις διαγραμματικές αναπαραστάσεις ηλεκτρικών κυκλωμάτων και με τη

βοήθειά της φαίνεται ότι κατανόησαν ότι οι θέσεις των συμβόλων στη διαγραμματική απεικόνιση δεν αντιστοιχούν στις θέσεις των πραγματικών (εικονικών) οργάνων του κυκλώματος.

Επισκόπηση των Πινάκων 1 και 2 δείχνει ότι η βελτίωση κατά Hake είναι μεγαλύτερη κατά την πρώτη φάση της εφαρμογής σε σχέση με τη βελτίωση που παρατηρείται κατά τη δεύτερη φάση της εφαρμογής (0.44 και 0.29 αντίστοιχα). Αυτό μπορεί να οφείλεται στη διεξαγωγή της διδασκαλίας με εικονικό εργαστήριο ή με applets κατά τις δύο φάσεις της εφαρμογής. Η μικρότερη βελτίωση κατά τη δεύτερη φάση, όπως φαίνεται και από το Hake gain, ίσως να οφείλεται στην ενδεχόμενα μεγαλύτερη δυσκολία των μαθητών να καταλάβουν και να χρησιμοποιήσουν ένα ποσοτικό μοντέλο σε σχέση με ένα ποιοτικό στην κατανόηση της λειτουργίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Δεν πρέπει επίσης να παραγνωρίζεται και η πιθανώς διαφορετική δυσκολία που υπάρχει στην κατανόηση των αντικειμένων της δεύτερης φάσης της εφαρμογής (νόμος Ohm και κανόνες Kirchhoff) από μαθητές Γυμνασίου, σε σχέση με την κατανόηση εννοιών όπως το ηλεκτρικό κύκλωμα, το ηλεκτρικό ρεύμα και η ηλεκτρική αντίσταση που πραγματεύτηκε η πρώτη φάση της εφαρμογής. Σε ποιο βαθμό όμως, αυτή η διαφορά στη βελτίωση της επίδοσης οφείλεται στη διαφορετικότητα του αντικειμένου ή στην εφαρμογή των διαφορετικών δυνατοτήτων του AMAΠ, μένει να διερευνηθεί περαιτέρω.

Ο βέλτιστος τρόπος αξιοποίησης εικονικών εργαστηρίων, όπως το AMAΠ, στη διδακτική διαδικασία των Φυσικών Επιστημών αποτελεί αντικείμενο διεθνούς έρευνας και, όπως έχει επισημανθεί, μεγάλος αριθμός ερευνών έχει δείξει ότι τα εικονικά εργαστήρια, ως περιβάλλοντα μάθησης, δεν υστερούν σε σχέση με τα πραγματικά εργαστήρια (Ευαγγέλλου & Κώτσης, 2009). Όμως μία αναλυτική σύγκριση της εννοιολογικής βελτίωσης κατά τη διδασκαλία με χρήση του AMAΠ σε σχέση με τη διδασκαλία με χρήση του παραδοσιακού εργαστηρίου ξεφεύγει από το ερευνητικό ερώτημα της παρούσας εργασίας και θα διερευνηθεί στο μέλλον.

Ευχαριστίες

Η ανάπτυξη του λογισμικού AMAΠ χρηματοδοτήθηκε από το ΕΑΠΤΥ/ΥΠΕΠΘ στο πλαίσιο του έργου Χρυσάλλιδες.

Αναφορές

- Christian, W. (2005). *Physics Applets (Physlets) Home page*. Διαθέσιμα στη διεύθυνση <http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>
- Fendt, W. (2008). *Συλλογή από java applets*. Retrieved 10 July 2008 from <http://www.walter-fendt.de/ph14gr>
- Fischer, J., Mitchell, R., & del Alamo, J. (2007). Inquiry learning with WebLab: undergraduate attitudes and experiences. *Journal of Science Education and Technology*, 16(4), 337-348.
- 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.
- Harms, U. (2000). Virtual and remote labs in physics education. *Second european Conference On Physics Teaching in Engineering Education*. Budapest. Retrieved 25 June 2005 from <http://www.bme.hu/ptee2000/papers/harms1.pdf>
- Jaakola, 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.
- Kocijancic, S. & O'Sullivan, C. (2004). Real or virtual laboratories in science teaching - is this actually a dilemma?. *Informatics in Education*, 3(2), 239- 249.

- 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.
- McDermott, L.C., & Shaffer, P.S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60 (11), 994.
- Niedderer, H., Sander, F., Goldberg, F., Otero, V., Jorde, D., Slotta, J., Stroemme, A., Fisher, H.E., Hucke, L., Tiberghien, A., & Vince, J. (2003). Research about the use of information technology in Science Education. *Science Education Research in the Knowledge Based Society* (pp. 300-312). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Psillos, D. (1997). Teaching introductory electricity. In A. Tiberghien, E. L. Jossem, J. Barojas (eds.), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education, International Commission on Physics Education*. Retrieved 25 June 2005 from <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/E4.html>
- Sassi, E. (2001). Computer supported lab-work in physics education: advantages and problems. *Proceedings of the International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000*. CD Production Calidos, Barcelona.
- Shaffer, P. S., & McDermott, L. C. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies. *American Journal of Physics*, 60(11), 1003.
- Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *International Journal of Science Education*, 6(2), 185-198.
- Zacharia, Z. C. (2003). Using interactive simulations to enhance students' explanations regarding physical phenomena. *Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Based Learning in Science* (pp. 471-476). University of Cyprus.
- Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ., & Παπατσιμπα, Λ. (2008). Φυσική Γ' Γυμνασίου. Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων (ΟΕΔΒ).
- Λεύκος, Ι., Ψύλλος, Δ., Χατζηκρανιώτης, Ε., & Παπαδόπουλος, Α. (2005). Μία πρόταση για την εργαστηριακή υποστήριξη της διδασκαλίας της θερμικής ακτινοβολίας με συνδυασμένη χρήση εργαλείων ΤΠΕ. *Πρακτικά του 3ου Πανελληνίου συνεδρίου των Εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ «Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στη Διδακτική Πράξη»* (σ. 114-120). Σύρος.
- Μπισδικιάν, Γ., Ψύλλος, Δ., Χατζηκρανιώτης, Ε., & Μπάρμπας, Α. (2006). Ένα Ανοικτό Μαθησιακό Περιβάλλον (ΑΜΑΠ) στην περιοχή της Οπτικής. *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΤΠΕ στην Εκπαίδευση*. Θεσσαλονίκη.
- Ψύλλος, Δ., Ταραμόπουλος, Α., Χατζηκρανιώτης, Ε., Μπάρμπας, Α., Μολοχίδης, Α., & Μπισδικιάν, Γ. (2008). Ένα Ανοικτό Μαθησιακό Περιβάλλον (ΑΜΑΠ) στην περιοχή του Ηλεκτρισμού. *Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΤΠΕ στην Εκπαίδευση* (σ. 384-391). Λεμεσός Κύπρου.
- Ευαγγέλλου, 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. *Πρακτικά 6ου συνεδρίου διδακτικής των φυσικών επιστημών και νέων τεχνολογιών στην εκπαίδευση*, Φλώρινα.