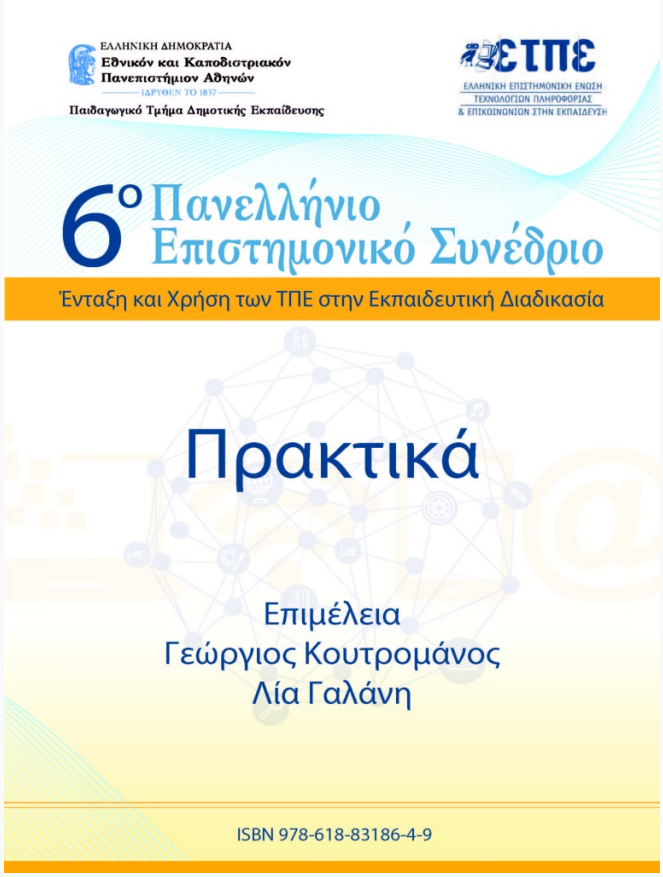
ePublishing

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2019)

6ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»



Ανάπτυξη και εφαρμογή μιας διδακτικής σειράς ψηφιακών σεναρίων με εικονικά πειράματα – σύγκριση με την συμβατική προσέγγιση

Νικόλαος Παπαλαζάρου, Ιωάννης Λεύκος, Νικόλαος Φαχαντίδης

Βιβλιογραφική αναφορά:

Παπαλαζάρου Ν., Λεύκος Ι., & Φαχαντίδης Ν. (2022). Ανάπτυξη και εφαρμογή μιας διδακτικής σειράς ψηφιακών σεναρίων με εικονικά πειράματα – σύγκριση με την συμβατική προσέγγιση. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 347–358. ανακτήθηκε από https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/3655

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 26/02/2026 18:48:12

Ανάπτυξη και εφαρμογή μιας διδακτικής σειράς ψηφιακών σεναρίων με εικονικά πειράματα - σύγκριση με την συμβατική προσέγγιση

Νικόλαος Παπαλαζάρου, Ιωάννης Λεύκος, Νικόλαος Φαχαντίδης
nik.papalazarou@gmail.com, lefkos@uom.edu.gr, nfachantidis@uom.edu.gr
Τμήμα Εκπαιδευτικής και Κοινωνικής Πολιτικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

Περίληψη

Αν και τα Εικονικά Εργαστήρια αποτελούν πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση καινούριων και δύσκολων εννοιών της Φυσικής, η αντικατάσταση των Πραγματικών Εργαστηρίων από τα Εικονικά, είναι έναπολύπλευρο θέμα ανοιχτό ακόμη για πρόσθετη έρευνα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναιη σύγκριση των δύο προσεγγίσεων όσον αφορά (α) τη συνεισφορά τους στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης και (β)την ευκολία υλοποίησης της κάθε μιας. Η έρευνα διεξήχθη σε Γυμνάσιο της Θεσσαλονίκης, σε πραγματικές συνθήκες, βάσει 4 πρωτότυπων εκπαιδευτικών σεναρίων. Ως αντικείμενο επιλέχθηκαν δύο θέματα από τη Μηχανική και δύο θέματα από τον Ηλεκτρισμό. Ως αποτέλεσμα της μελέτης προέκυψε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις, αναφορικά με την εννοιολογική βελτίωση των μαθητών. Υπάρχουν όμως σημαντικές διαφορές όσον αφορά την ευκολία υλοποίησης του μαθήματος και τους διδακτικούς στόχους που εξυπηρετεί. Θεωρούμε ότι τα αποτελέσματα αυτά συνεισφέρουν σε μια διευρυμένη οπτική για τη χρήση των εικονικών εργαστηρίων.

Λέξεις κλειδιά: Εικονικό Εργαστήριο, Πραγματικό Εργαστήριο, Διερευνητική προσέγγιση, Ψηφιακό σενάριο, Φυσικές Επιστήμες

Εισαγωγή

Το επίπεδο εργαστηριακού εξοπλισμού των Γυμνασίων ποικίλει και συχνά δεν επαρκεί για την δημιουργία των Πραγματικών Πειραματικών Διατάξεων, που θα αποτελέσουν τη βάση για τη διεξαγωγή της έρευνας από τους μαθητές. Η χρήση Τ.Π.Ε και ιδιαίτερα των Εικονικών Εργαστηρίων είναι πιθανό να αποτελέσει μια λύση.

Η τάση στη σύγχρονη εκπαίδευση βασίζεται στην ιδέα ότι οι μαθητές δεν πρέπει να αποκτούν γνώσεις παθητικά, αλλά η διαδικασία να βασίζεται στις εμπειρίες, τις γνώσεις και τα προσόντα τους. Παραδείγματα και καταστάσεις από την καθημερινή ζωή δίνουν στους μαθητές την ευκαιρία να εκλάβουν την απόκτηση γνώσης ως μία χρήσιμη διαδικασία για την προσωπική τους ζωή και τον κόσμο που τους περιβάλλει (Přinosilová et al., 2013). Ο πλέον ενδεδειγμένος τρόπος για να μη δεχτούν τη μάθηση παθητικά, αλλά να βασίζεται σε δική τους πνευματική και φυσική δραστηριότητα, είναι αυτός της διερευνητικής μάθησης.

Η διερευνητική μάθηση έχει παραδοσιακά εφαρμοστεί σε πραγματικό εργαστηριακό περιβάλλον. Ο κύριος στόχος είναι να παρέχονταιστους εκπαιδευόμενους τα μέσα για τη διερεύνηση φαινομένων μέσω του χειρισμού φυσικών υλικών, καθώς και η δυνατότητα εργάζονται σε αυθεντικές συνθήκες (Jaakkola & Nurmi, 2008). Ωστόσο, υπάρχει και η άποψη ότι ο πραγματικός εξοπλισμός μπορεί να αντικατασταθεί απόψηφιακό (Triona et al., 2005) και ότι οι χειροπιαστές πληροφορίες δεν είναι απαραίτητες για την εννοιολογική κατανόηση (de Jong et al., 2013) ή ακόμη και για την ανάπτυξη δεξιοτήτων πειραματισμού (Lefkos et al., 2011).

Γ. Κουτρομάνος, Λ. Γαλάνη (επιμ.), Πρακτικά Εργασιών 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία», σ. 347-358, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 18-20 Οκτωβρίου 2019. ISBN 978-618-83186-4-9.

Προς την κατεύθυνση αυτή, έχουν αναφερθεί ως παιδαγωγικά πλεονεκτήματα της χρήσης Εικονικών Εργαστηρίων στην εκπαιδευτική διαδικασία, μεταξύ άλλων, τα εξής:

- Παρέχουν ασφαλές και προσαρμόσιμο περιβάλλον, όπου οι μαθητές μπορούν να διεξάγουν ψηφιακά πειράματα, (π.χ. με θέμα τα ηλεκτρικά κυκλώματα), αλλάζοντας τις μεταβλητές και μελετώντας τα παραγόμενα δεδομένα (Jaakkola & Nurmi, 2008).
- Οι μαθητές βλέπουν ό,τι συμβαίνει όχι μόνο μακροσκοπικά, αλλά αντιλαμβάνονται τις διαδικασίες και τους μηχανισμούς, που είναι σημαντικοί για τη θεωρητική κατανόηση των φαινομένων (π.χ. ροή των ηλεκτρονίων σε έναν αγωγό) (Hennessy et al., 2006).
- Οι μαθητές εστιάζουν την προσοχή τους στην κατανόηση του φαινομένου και όχι στην κατασκευή της πειραματικής διάταξης (Taramopoulos et al., 2012).

Έως σήμερα έχουν γίνει αρκετές μελέτες που περιλαμβάνουν συγκρίσεις ανάμεσα στα Εικονικά Εργαστήρια και τις Πραγματικές Πειραματικές Διατάξεις, παρουσιάζουν όμως αντικρουόμενα αποτελέσματα. Σε κάποιες περιπτώσεις υπερτερούν τα πρώτα, σε άλλες περιπτώσεις συμβαίνει το αντίθετο, ενώ σε κάποιες άλλες εμφανίζεται ισοδυναμία.

Σε έρευνα των Finkelstein et al. (2005), οι φοιτητές που πειραματίστηκαν σε εικονικό εργαστήριο, με θέμα τα ηλεκτρικά κυκλώματα πέτυχαν καλύτερη εννοιολογική κατανόηση από εκείνους που πειραματίστηκαν σε πραγματικό εργαστήριο, διότι εξέλαβαν πρόσθετες πληροφορίες, όπως η κίνηση των ηλεκτρονίων. Σε παρόμοιο συμπέρασμα καταλήγει η έρευνα των Olympiou & Zacharia (2012), συγκρίνοντας εικονικό και πραγματικό εργαστήριο οπτικής, διότι στο εικονικό μπορούσαν να βλέπουν τις ακτίνες του φωτός.

Αντίθετα, σε έρευνα των Ευαγγέλου & Κώτση (2014) στην Ε΄ και ΣΤ΄ Δημοτικού για την κατανόηση του βρασμού του νερού, διαπιστώθηκε ότι τα πραγματικά πειράματα υπερτερούν έναντι των εικονικών στην εννοιολογική κατανόηση και μάθηση της υπό εξέταση έννοιας. Ομοίως, οι Zacharia et al. (2012), βρήκαν ότι τα εικονικά εργαστήρια για να είναι το ίδιο αποτελεσματικά με τα πραγματικά, πρέπει να παιδιά να έχουν πρώτα φυσική επαφή με το αντικείμενο μελέτης, έστω και χωρίς να το διερευνήσουν. Σε έρευνα παιδιών ηλικίας 5 και 6 χρονών, με θέμα την ισορροπία δοκού, υστερούν των πραγματικών.

Πολλές όμως είναι οι μελέτες που καταλήγουν σε ισοδυναμία των Εικονικών και Πραγματικών Εργαστηρίων. Για παράδειγμα, οι Wiesner & Lan (2004) σύγκριναν εικονικό και πραγματικό εξοπλισμό με θέμα την ανταλλαγή θερμότητας, τη μεταφορά μάζας και την υγροποίηση σε φοιτητές των Χημικών Μηχανικών και δε βρήκαν διαφορά σε τεστ με θέμα τις βασικές αρχές των φαινομένων. Πρόσθετα, οι Klahr et al. (2007) έκαναν σύγκριση σε μαθητές Γυμνασίου, με θέμα τη σχεδίαση μοντέλων αυτοκινήτου είτε με πραγματικά υλικά είτε με ψηφιακή προσομοίωση και δε βρήκαν στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες. Επίσης οι Triona & Klahr (2003), σε παρόμοια έρευνα στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση, με θέμα τη συμπεριφορά των ελατηρίων, δε βρήκαν διαφορά στις δύο μεθόδους. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν οι Zacharia & Constantinou (2008), σε έρευνα φοιτητών, με θέμα τη θερμότητα και τη θερμοκρασία, όπως και οι Taramopoulos et al. (2012), σε έρευνα σχετικά με ηλεκτρικά κυκλώματα, που διεξήχθη σε μαθητές Γ Γυμνασίου.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι μελέτες που συνδύασαν τη χρήση Εικονικού και Πραγματικού Εργαστηρίου. Ο συνδυασμός τους συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο μεθόδων. Οι Huppert et al. (2002) για παράδειγμα, κάνοντας έρευνα σε μαθητές γυμνασίου με θέμα τη μικροβιολογία, βρήκαν ότι οι μαθητές που συνδύασαν τα δύο εργαστήρια, πέτυχαν υψηλότερη απόδοση από αυτούς που χρησιμοποίησαν μόνο πραγματικό. Παρόμοια, ήταν και τα συμπεράσματα των Jaakkola et al. (2011), με θέμα τον ηλεκτρισμό, ενώ η έρευνα αυτή επιβεβαιώνει και παλαιότερη εργασία από τους Jaakkola & Nurmi (2008), με θέμα τα ηλεκτρικά κυκλώματα σε μαθητές του Δημοτικού. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει η

έρευνα που προαναφέρθηκε, των Olympiou & Zacharia (2012), με αντικείμενο το φως και το χρώμα, όπου συμπεραίνουν ότι καλύτερα αποτελέσματα είχε ο συνδυασμός των δύο μεθόδων. Το ίδιο διαπιστώθηκε και σε έρευνες των Παντάζου & Καλογιαννάκη (2017) σε 106 μαθητές της Ε΄ Δημοτικού με θέμα τα ηλεκτρικά κυκλώματα.

Όπως φαίνεται από τα ποικίλα συμπεράσματα των παραπάνω ενδεικτικών μελετών, το πεδίο της σύγκρισης είναι ακόμα ανοιχτό για έρευνα και σύμφωνα με τους Ma & Nickerson (2006) τα ποικίλα αποτελέσματα δικαιολογούνται, διότι οι συγκρίσεις είναι δύσκολο να έχουν τις ίδιες παραμέτρους.

Η εργασία που παρουσιάζεται εδώ, είναι τμήμα ευρύτερης έρευνας που προσπαθεί να συμβάλλει προς αυτή την κατεύθυνση διερεύνησης της χρήσης των εικονικών εργαστηρίων, σε πραγματικές συνθήκες τάξης. Ειδικότερα, παρουσιάζονται τα ευρήματα που σχετίζονταιαπό τη μια μεριά με την γνωστική βελτίωση των μαθητών συγκρίνοντας τον πραγματικό και τον εικονικό πειραματισμόκαι από την άλλη την ευκολία υλοποίησης του μαθήματος με τις δύο μεθόδους, με την ματιά του εκπαιδευτικού.

Ερευνητικά ερωτήματα

Η έρευνα αποσκοπεί να συγκρίνει δυο διδακτικές προσεγγίσεις, όπου η μία υλοποιείται με εικονικά και η άλλη με πραγματικά εργαστήρια, με σκοπό να απαντήσει στα εξής ερωτήματα:

- Προκύπτει διαφορά στην κατανόηση των Φυσικών εννοιών από τους μαθητές, όταν αυτοί ασκούνται με τα εικονικά πειράματα σε σχέση με τα πραγματικά;
- Ποιο είδος εργαστηρίου παρέχει τη μεγαλύτερη ευκολία υλοποίησης του μαθήματος;

Ο σχεδιασμός και η δομή της διδακτικής σειράς

Η επιλογή των θεμάτων της Φυσικής, πάνω στα οποία διεξήχθη η έρευνα, έγινε με βάση το επίπεδο γνώσης των μαθητών του Γυμνασίου, τη σύνδεση με το φυσικό κόσμο (ώστε να τραβήξει περισσότερο το ενδιαφέρον των μαθητών, την ευκολία κατασκευής πραγματικής πειραματικής διάταξης, λαμβάνοντας υπόψη και τον εξοπλισμό του σχολείου και την ύπαρξη εύχρηστης προσομοίωσης, η οποία έχει παρόμοια χαρακτηριστικά.

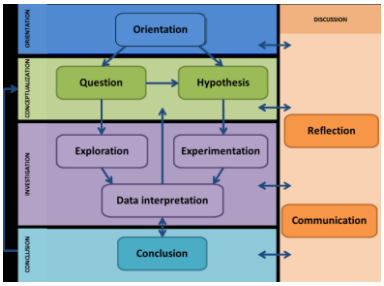
Τα θέματα που διαπραγματεύεται η διδακτική σειρά χωρίζονται σε δύο ομάδες. Η 1η αφορά τη *μηχανική* και περιλαμβάνει την ισορροπία δοκού και τις τροχαλίες. Η 2η ασχολείται με τον *ηλεκτρισμό* και περιλαμβάνει τη σύνδεση λαμπτήρων σε σειρά και παράλληλα και τον διαιρέτη τάσης και διαιρέτη ρεύματος. Για την υλοποίηση των παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις που παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.

Σχήμα 1. (α) Εικονικό Εργαστήριο Ισορροπίας Δοκού & (β) το Εικονικό Εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτωνκαι (γ) το Εικονικό Εργαστήριο Τροχαλιών

Η Διερευνητική προσέγγιση

Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε κατά την πειραματική διαδικασία τόσο σε σχέση με τα πραγματικά, όσο και με τα εικονικά πειράματα,βασίζεται στον «κύκλο της διερεύνησης» όπως αυτός προτάθηκε στα πλαίσια του ευρωπαϊκού έργου Go-Lab. Το Go-Lab, στοχεύει στην

ενίσχυση της Τεχνολογικά Υποστηριζόμενης Διδασκαλίας των Επιστημών στην Ευρώπη, δίνοντας την δυνατότητα σε σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης να έχουν πρόσβαση μέσω διαδικτύου (www.golabz.eu) σε εικονικά και απομακρυσμένα εργαστήρια για τη διεξαγωγή πειραμάτων. Πρόσθετα, παρέχει πλήρη υποστηρικτική δομή για τη σωστή παιδαγωγική χρήση τους και εφαρμογή στην πράξη της Διερευνητικής Μάθησης.



Σχήμα 2. Ο κύκλος της διερεύνησης που εφαρμόστηκε (από Pedaste et al., 2015)

Ο κύκλος διερεύνησης που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2, εκφράζει μία παιδαγωγική προσέγγιση που ακολουθεί την αρχή της Διερευνητικής Μάθησης (De Jong & Lazonder, 2014), κατά την οποία, οι πληροφορίες δε δίνονται απευθείας από το διδάσκοντα στους μαθητές, αλλά η διαδικασία της έρευνας καθοδηγείται από μια ερευνητική ερώτηση ή υπόθεση, απαιτεί ερμηνεία των αποτελεσμάτων και της διατύπωσης συμπερασμάτων και συζήτηση των αποτελεσμάτων. Στη συγκεκριμένη εργασία εφαρμόστηκε η διαδικασία της καθοδηγούμενης διερευνητικής μάθησης, διότι μελέτες έχουν δείξει ότι η διερεύνηση είναι αποτελεσματικότερη, όταν συνδυάζεται με καθοδήγηση (π.χ. Eysink et al., 2009; Linn et al., 2006; Plass et al., 2012).

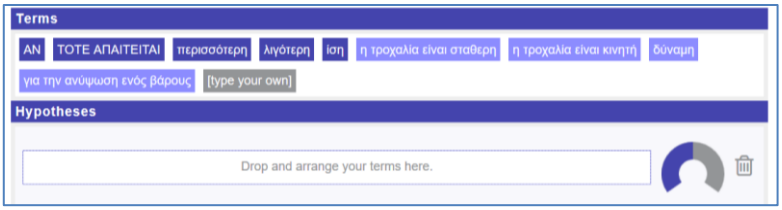
Σε αυτόν τον κύκλο, οι βασικές διερευνητικές δραστηριότητες συνοψίζονται σε πέντε φάσεις. Ο *Προσανατολισμός* εστιάζει στη διέγερση του ενδιαφέροντος για τον τομέα και την αφύπνιση της περιέργειας για τη διεξαγωγή της έρευνας. Η *εννοιολόγηση* συνίσταται από δύο εναλλακτικές υπο-φάσεις: Ερώτηση και Υπόθεση. Και οι δύο υπο-φάσεις αφορούν στις σχέσεις μεταξύ ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών σχετικά με το υπό μελέτη φαινόμενο. Η *έρευνα* διακρίνεται σε τρεις υπο-φάσεις: Τη Διερεύνηση, τον Πειραματισμό και την Ερμηνεία Δεδομένων. Το *συμπέρασμα* είναι η φάση συναγωγής βασικών συμπερασμάτων από τα πειράματα/έρευνες. Τέλος, ακολουθεί η φάσης της *συζήτησης* όλης της ερευνητικής διαδικασίας ή μιας συγκεκριμένης φάσης της (Pedaste et al., 2015).

Η μέθοδος παρουσιάζει το πλεονέκτημα της «αυτό-ρυθμιζόμενης μάθησης», με την οποία οι μαθητές/τριες καθίστανται υπεύθυνοι για την εκπαιδευτική τους διαδικασία και αντιμετωπίζουν μόνοι τους τις δυσκολίες και τα προβλήματα που προκύπτουν (Zacharia et al., 2015).

Το περιβάλλον συγγραφής και υλοποίησης των ψηφιακών σεναρίωνGraasp

Για το σχεδιασμό και τη διδασκαλία του μαθήματος χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτρονική πλατφόρμα: www.graasp.eu, για τη δημιουργία ψηφιακών εκπαιδευτικών σεναρίων με σαφείς οδηγίες και εφαρμογές για χρήση από τους μαθητές (GoLab, 2015). Η πλατφόρμα παρέχει πρόσβαση σε εκατοντάδες μικρο-εφαρμογές για την υποστήριξη των μαθητών «με σκαλωσιές» (scaffolding apps) κατά τη διάρκεια των διερευνήσεών τους. Οι μικρο-εφαρμογές μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να συγκροτούν υποθέσεις (Van Joolingen & de Jong,

1991), να σχεδιάζουν πειράματα (Lin & Lehman, 1999), να κάνουν προβλέψεις (Lewis et al., 1993),να διατυπώνουν ερμηνείες (Edelson et al., 1999),να στοχάζονται πάνω στη μαθησιακή διαδικασία (Davis, 2000),να οργανώνουν και να δομούν τη δουλειά τους (Van Joolingen et al., 2005) και να παρακολουθούν τι έχει γίνει (Hulshof et al., 2005). Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται χαρακτηριστικά η μικρο-εφαρμογή δημιουργίας υποθέσεων.

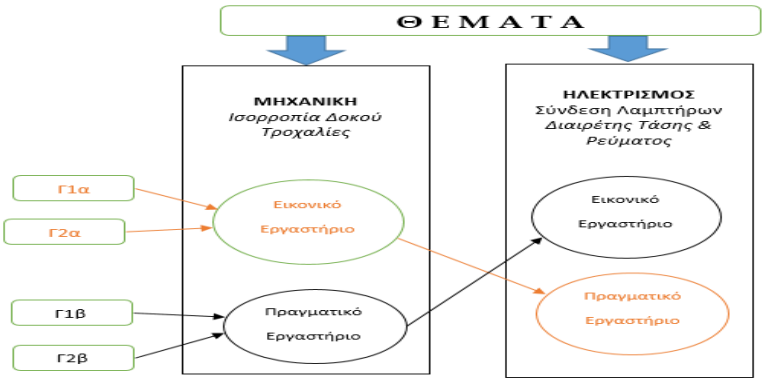


Σχήμα 3. Μικρο-εφαρμογή δημιουργίας υποθέσεων του graasp. Οι μαθητές δημιουργούν την υπόθεση, τοποθετώντας τις λέξεις στη σωστή σειρά

Μεθοδολογία της έρευνας

Δείγμα και συνθήκες της έρευνας

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στη Γ' Τάξη Γυμνασίου της Θεσσαλονίκης, κατά τη διάρκεια του σχολικού έτους 2018–19, στα πλαίσια του μαθήματος της Τεχνολογίας. Αντικείμενο του μαθήματος είναι το πεδίο «Έρευνα και Πειραματισμός».



Σχήμα 4. Πορεία εναλλαγής μαθητών από εικονικά σε πραγματικά εργαστήρια

Η Γ' Γυμνασίου αποτελείται από δύο τμήματα (Γ1, Γ2) με συνολικό πλήθος 38 μαθητών. Ειδικά για τα μαθήματα της Τεχνολογίας και της Πληροφορικής, κάθε τμήμα χωρίζεται σε δύο υπο–τμήματα (Γ1α, Γ1β, Γ2α, Γ2β). Την ώρα που το ένα (π.χ. Γ1α) παρακολουθεί το μάθημα της Πληροφορικής στο αντίστοιχο εργαστήριο, ταυτόχρονα το άλλο (π.χ. Γ1β) παρακολουθεί το μάθημα της Τεχνολογίας, στο αντίστοιχο εργαστήριο και σε επόμενη ώρα συμβαίνει το αντίστροφο. Κάθε υπο-τμήμα αποτελείται από 10–12 μαθητές, αλλά λόγω απουσιών συνήθως βρίσκονταν λιγότεροι. Στο εργαστήριο Τεχνολογίας βρίσκονται 4 Η/Υ, συνεπώς σε κάθε Η/Υ υπήρχαν 2-3 άτομα. Η έρευνα διεξήχθη σε πραγματικές συνθήκες του μαθήματος. Για το λόγο αυτό οι μαθητές δεν γνώριζαν ότι λαμβάνουν μέρος σε κάποια

ερευνητική διαδικασία. Όλοι οι μαθητές εργάστηκαν και σε εικονικά και σε πραγματικά εργαστήρια, αλλά σε διαφορετικά αντικείμενα, όπως δείχνει το Σχήμα 4.

Εργαλεία της έρευνας

Α) Ερωτηματολόγια pre-post για τη διερεύνηση της γνωστικής βελτίωσης (ποσοτική έρευνα). Το αρχικό test δόθηκε μετά τη φάση του προσανατολισμού, όπου τα παιδιά ήρθαν σε μία πρώτη επαφή με το θέμα μελέτης, χωρίς όμως να τους έχουν δοθεί πληροφορίες για τις σχέσεις που συνδέουν τις μεταβλητές, έτσι ώστε να διαπιστωθεί το προϋπάρχον επίπεδο γνώσεων και κατανόησης ενός φαινομένου ή έννοιας. Μετά το τέλος της διαδικασίας δόθηκε post-test, το οποίο περιέχει τις ίδιες ερωτήσεις, αλλά και κάποιες ακόμα πιο δύσκολες και πολύπλοκες. Τα ερωτηματολόγια αποτελούνται από ερωτήσεις που συντέθηκαν για την έρευνα με σκοπό να εστιάζουν στα κύρια σημεία των υπό μελέτη θεμάτων.

Η εγκυρότητα του περιεχομένου εξασφαλίστηκε κατόπιν συμφωνίας του πρώτου συγγραφέα με δύο ειδικούς επιστήμονες του πεδίου, οι οποίοι επέλεξαν τις πλέον κατάλληλες από ένα αρχικό σετ ερωτήσεων, προτείνοντας επιπλέον κατά περίπτωση αλλαγές στη διατύπωση ή τα σχήματα. Η αξιοπιστία του ερωτηματολογίου ελέγχθηκε με το δείκτη α του Cronbach. Στα post-test για τα τέσσερα θέματα της έρευνας ο δείκτης είχε τιμές 0,876, 0,724, 0,796 και 0,709 αντίστοιχα. Στα pre-test όμως ήταν μικρότερος από 0,7. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονόςοτι τα παιδιά είχαν ελλιπείς γνώσεις ή αόριστες αντιλήψεις και οι απαντήσεις τους δεν είχαν καμία ομοιομορφία. Βέβαια, πρέπει να τεθεί στους περιορισμούς της έρευνάς μας.

Β) Προσωπικό ημερολόγιο του διδάσκοντα,αναφορικά με την ευκολία στον σχεδιασμό και στην υλοποίηση των διερευνητικών σεναρίων σε σχέση με τα πραγματικά και τα εικονικά πειράματα (ποιοτική έρευνα).

Αποτελέσματα της έρευνας

Α) Ως προς την εννοιολογική κατανόηση

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται τα ποσοστιαία αποτελέσματα στο αρχικό και τελικό τεστ, και φαίνεται η ποσοστιαία βελτίωση που επιτεύχθηκε με τις δύο προσεγγίσεις.

Στην Ισορροπία Δοκού, ο μέσος όρος (Μ.Ο.) της ομάδας του ψηφιακού εργαστηρίου στο αρχικό τεστ ήταν 42,5% και στο τελικό τεστ ανέβηκε στο 53,55 % (βελτίωση 11,05%). Ο Μ.Ο. της ομάδας του πραγματικού εργαστηρίου, ήταν στο αρχικό τεστ 47,6% και στο τελικό τεστ ανέβηκε στο 58%. (βελτίωση 10,4%). Στις Τροχαλίες ο Μ.Ο. της ομάδας του ψηφιακού εργαστηρίου στο αρχικό τεστ ήταν 21,89% και στο τελικό τεστ ανέβηκε στο 56,35% (βελτίωση 34,46%). Ο Μ.Ο. της ομάδας του πραγματικού εργαστηρίου, στο αρχικό τεστ ήταν 39,56% και στο τελικό τεστ ανέβηκε στο 64,39% (βελτίωση 24,83%). Παρατηρούμε ότι προέκυψε μεγάλη βελτίωση σε αυτό το θέμα, κυρίως λόγω των χαμηλών επιδόσεων στο αρχικό τεστ. Ιδιαίτερα υψηλή ήταν εδώ η βελτίωση της ομάδας του ψηφιακού εργαστηρίου (η υψηλότερη σε όλη την ερευνητική διαδικασία). Στη Σύνδεση Λαμπτήρων, η ομάδα του ψηφιακού εργαστηρίου είχε Μ.Ο. στο αρχικό τεστ 62,29% και στο τελικό τεστ μόλις 62,58% (βελτίωση 0,29%). Η ομάδα του πραγματικού εργαστηρίου είχε Μ.Ο. στο αρχικό τεστ 64,33% και στο τελικό τεστ 70,87% (βελτίωση 6,53%). Ο Μ.Ο. του τελικού τεστ αυτής της ομάδας ήταν και ο υψηλότερος που παρατηρήθηκε σε όλη την ερευνητική διαδικασία, αν και συνοδεύεται από μικρή βελτίωση, κυρίως λόγω του σχετικά υψηλού βαθμού στο αρχικό τεστ. Τη χρονική στιγμή που μελετήθηκε το θέμα, ίσως υπήρχαν ήδη διαμορφωμένες αρχικές απόψεις από το μάθημα της Φυσικής.

Σχήμα 5. Βελτίωση στην εννοιολογική κατανόηση

Τέλος, στο θέμα του διαιρέτη τάσης και ρεύματος, η ομάδα του ψηφιακού εργαστηρίου είχε Μ.Ο. στο αρχικό τεστ 46,67% και στο τελικό τεστ 51,17% (βελτίωση 4,5%). Ο Μ.Ο. του αρχικού τεστ των μαθητών του πραγματικού εργαστηρίου ήταν 56,67% και του τελικού τεστ 68,80% (βελτίωση 12,13%). Αξίζει να σημειωθεί ότι το τελικό τεστ ήταν πιο μεγάλο και δύσκολο από το αρχικό τεστ, συνεπώς η όποια βελτίωση σημειώθηκε αποκτά μεγαλύτερη αξία από αυτήν που δείχνουν μόνο τα ανωτέρω στατιστικά, διότι αναφέρεται σε περισσότερες και δυσκολότερες ερωτήσεις. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του SPSS ελέγχθηκε η ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς μίας ποσοτικής μεταβλητής (βελτίωση pre – post για κάθε μαθητή) και στις δύο ομάδες υποκειμένων (τους μαθητές που εργάστηκαν σε ψηφιακό ή πραγματικό εργαστήριο).

Πίνακας 1. Αποτελέσματα ελέγχων στατιστικά σημαντικής διαφοράς

Αντικείμενο	Κανονικότητα	Κριτήριο	Αποτέλεσμα	Συμπέρασμα
Ισορροπία δοκού	Ναι	t- test (έλεγχος ισότητας μέσων τιμών)	sig (2 – tailed) = 0,976 > 0,05	Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά
Τροχαλίες	Ναι	t- test (έλεγχος ισότητας μέσων τιμών)	Sig. (2-tailed) = 0,315 > 0,05	Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά
Σύνδεση λαμπτήρων	Όχι	Mann - Whitney	Monte CarloSig. (1-tailed) = 0,160 > 0,05	Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά
Διαιρέτης Τάσης & Ρεύματος	Όχι	Mann - Whitney	Monte CarloSig. (1-tailed) = 0,467 > 0,05	Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά

Πρώτα έγινε έλεγχος κανονικότητας των δεδομένων, κατά πόσο δηλαδή η ποσοτική μεταβλητή (βελτίωση pre – post) ακολουθεί κανονική κατανομή. Ο έλεγχος έγινε με βάση το κριτήριο Shapiro – Wilk, επειδή το μέγεθος του δείγματος ήταν 38 < 50. Στις περιπτώσεις της μελέτης ισορροπίας δοκού και τροχαλιών διαπιστώθηκε κανονικότητα στις τιμές της ποσοτικής μεταβλητής και εφαρμόστηκε ο έλεγχος ισότητας μέσων τιμών (t – test). Αντίθετα, στις περιπτώσεις της μελέτης σύνδεσης λαμπτήρων και διαιρέτη τάσης και ρεύματος, δεν υπήρξε κανονικότητα στα δεδομένα και εφαρμόστηκε το μη παραμετρικό κριτήριο Mann – Whitney. Οι έλεγχοι και τα αποτελέσματα φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.

Β) Ως προς την ευκολία υλοποίησης

Γενικές παρατηρήσεις για τη σύγκριση ανάμεσα στα εικονικά και πραγματικά εργαστήρια:

Σε κάθε περίπτωση οι μαθητές/τριες πρέπει να χωρίζονται σε ομάδες, ώστε να αναπτύσσεται το πνεύμα συνεργασίας μεταξύ τους. Ιδανικός αριθμός είναι τα 2 ή 3 άτομα/ομάδα, όταν κάποιος μαθητής είναι ιδιαίτερα αδύναμος. Ο αριθμός αυτός τηρήθηκε σε γενικές γραμμές στην περίπτωση του εικονικού εργαστηρίου, όμως λόγω έλλειψης πραγματικού εξοπλισμού δεν τηρήθηκε στην περίπτωση του πραγματικού εργαστηρίου (με εξαίρεση την ισορροπία δοκού, υπήρχαν 4 άτομα/ομάδα). Και στα 4 θέματα έρευνας υπήρξαν ελλείψεις στον απαιτούμενο πραγματικό εξοπλισμό. Χρειάστηκαν αρκετές μέρες διερεύνησης στο εμπόριο για την αναπλήρωσή του και την απρόσκοπτη διεξαγωγή της εργασίας. Στα πλαίσια της σωστής προετοιμασίας του μαθήματος, πρέπει πρώτα ο διδάσκων να έχει εκτελέσει το πείραμα μόνος του. Αυτό είναι πολύ πιο χρονοβόρο στην περίπτωση των πραγματικών πειραμάτων, καθώς απαιτείται και το στήσιμο της διάταξης. Πρόσθετα, οι οδηγίες που πιθανώς χρειάζονται οι μαθητές κατά την πορεία, δίνονται πολύ πιο σύντομα στην περίπτωση του εικονικού εργαστηρίου, εφόσον στην περίπτωση του πραγματικού οι οδηγίες αφορούν και χειραπτικές ικανότητες. Στα σημεία αυτά επομένως, υπερτερεί το εικονικό εργαστήριο.

Από την άλλη, το πραγματικό εργαστήριο παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι κατά τη διαδικασία συμμετέχουν περισσότερες αισθήσεις (π.χ. η αίσθηση της θερμοκρασίας των αντιστάσεων) και τα μεγέθη έχουν επίδραση στο σώμα (π.χ. απαιτούμενη δύναμη τροχαλίας). Έτσι ενισχύεται η ενσώματη μάθηση.

Η ενσώματη μάθηση αποτελεί μια σύγχρονη παιδαγωγική θεωρία της μάθησης, η οποία δίνει έμφαση στη χρήση του σώματος στην εκπαιδευτική πρακτική (Smyrnaiou et al., 2016). Είναι μία βιωματική γνώση, που αφορά τις αισθήσεις, την αντίληψη, αλλά και τη διανοητική και σωματική δράση και αντίδραση (Mathews, 1998). Οι υποστηρικτές της ενσώματης μάθησης, έχουν ως θεωρητική τους αφετηρία, όχι ένα μυαλό που εργάζεται σε αφηρημένα προβλήματα, αλλά ένα σώμα που απαιτεί ένα μυαλό, ώστε να το κάνει να λειτουργήσει. Βασική θέση που εκφράζεται από τις προσεγγίσεις της ενσώματης γνώσης είναι ότι το σώμα, η κίνηση και τα συνδεόμενα με αυτά βιώματα, διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο στις διαδικασίες εκπαίδευσης, μάθησης και ανάπτυξης (Θεοφανίδου, 2018). Ο Merleau-Ponty (2002), ισχυρίζεται ότι κατανοούμε μέσω του σώματος. Πρόσθετα, ερευνητές της εκπαίδευσης (Jarvis, 2006; Jarvis & Parker, 2007), ισχυρίζονται ότι η μάθηση είναι μία ολιστική διαδικασία που περιλαμβάνει τόσο το μυαλό όσο και το σώμα (Kelan, 2010).

Ακολουθούν ειδικότερες παρατηρήσεις στα συγκεκριμένα θέματα έρευνας.

Θέμα 1ο: Ισορροπία δοκού

Με εικονικές πειραματικές διατάξεις

Τα παιδιά ήταν πιο συγκεντρωμένα στην εργασία τους χωρίς να διασπάται η προσοχή τους. Η προσέγγιση αυτή προσηλώνει τα παιδιά περισσότερο στη μελέτη του φυσικού φαινομένου και όχι στην κατασκευή της πειραματικής διάταξης.

Με πραγματικές πειραματικές διατάξεις

Η μέθοδος με πραγματική δοκό δεν παρουσίαζε σχεδόν καμία διαφορά από την προσομοίωση, εφόσον η δοκός ήταν αλουμινένια ράβδος με εγκοπές σε συγκεκριμένες θέσεις και με συγκεκριμένα βάρη. Μπορεί να χρησιμοποιείται ακριβώς το ίδιο εκπαιδευτικό σενάριο.

Θέμα 2ο: Τροχαλίες

Με εικονικές πειραματικές διατάξεις

Η συγκεκριμένη προσομοίωση φάνηκε να δυσκολεύει τα παιδιά, εφόσον υπήρχαν πολλά στοιχεία τα οποία δεν αφορούσαν τη διαδικασία, όπως η τάση του νήματος, και το παραγόμενο έργο, μεγέθη που δεν ήταν προς εξέταση και κατανόηση.

Με πραγματικές πειραματικές διατάξεις

Η πραγματική πειραματική διάταξη δεν διέφερε στο στήσιμο από τη διάταξη της προσομοίωσης. Το θέμα φάνηκε ευχάριστο και τράβηξε το ενδιαφέρον των μαθητών/τριών, κρίνοντας από τη συμμετοχή και την προσοχή που έδειξαν κατά τη φάση του προσανατολισμού, αλλά και κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Επιπλέον, η πειραματική διάταξη με πραγματικές τροχαλίες βελτίωσε και κατά πολύ τις χειραπτικές δεξιότητες των μαθητών. Από την άλλη, χάθηκε πολύς χρόνος για το στήσιμο των διατάξεων (σταθερή τροχαλία, ελεύθερη τροχαλία, πολύσπαστο).

Θέμα 3ο: Σύνδεση λαμπτήρων

Με εικονικές πειραματικές διατάξεις

Κρίνοντας από τις αντιδράσεις των μαθητών φάνηκε να είναι ευχάριστο και ενδιαφέρον. Ήταν συγκεντρωμένοι/ες στην άσκηση. Η ροή του μαθήματος ήταν χωρίς προβλήματα. Υπήρχαν 2-3 μαθητές ανά Η/Υ, αναλογία ιδανική. Επίσης, μπορούν να γίνουν πολλές μετρήσεις σε μικρό χρόνο και να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα.

Με πραγματικές πειραματικές διατάξεις

Σε αντίθεση με τα πειράματα της μηχανικής, η πραγματική πειραματική διάταξη παρουσίαζε αρκετές διαφορές στο στήσιμο και την πορεία του μαθήματος από την προσομοίωση.

Μειονεκτήματα πραγματικών διατάξεων:

- Υπάρχουν ανακρίβειες στις μετρήσεις που οφείλονται σε ανακρίβεια των οργάνων, και έλλειψη εμπειρίας από τους μαθητές. Συνεπώς, Χρειάζονται περισσότερες παρεμβάσεις και εξηγήσεις από το διδάσκοντα.
- Δεν μπορεί να γίνει σύγκριση του ιδανικού κυκλώματος (με μηδενικές αντιστάσεις καλωδίων και σταθερή τιμή μπαταρίας) με το πραγματικό.
- Σε διαφορετικές μετρήσεις απαιτείται πιθανώς και διαφορετικός εξοπλισμός. Για παράδειγμα για να ανάψουν δύο λαμπάκια των 4,5 Volt σε σειρά, απαιτείται μία μπαταρία των 9 Volt, ενώ για παράλληλη σύνδεση απαιτείται μία μπαταρία των 4,5 Volt. Το ίδιο ισχύει και για το είδος των καλωδίων (με «κροκοδειλάκι» ή «βύσμα»).
- Οι μαθητές/τριες φάνηκαν να δυσκολεύονται περισσότερο στο στήσιμο της διάταξης, ειδικά στην παράλληλη σύνδεση λαμπτήρων. Ελάχιστες ομάδες κατάφεραν να στήσουν την παράλληλη σύνδεση χωρίς τη βοήθεια του διδάσκοντος. Αντίθετα, στην προσομοίωση, το στήσιμο της διάταξης ήταν εύκολο με την τεχνική «σύρε και άσε».

Πλεονεκτήματα πραγματικών διατάξεων

Ωστόσο, οι πραγματικές πειραματικές διατάξεις παρουσιάζουν και πλεονεκτήματα:

- Τα παιδιά, με την πραγματική διάταξη, έρχονται σε επαφή με ένα θέμα (ηλεκτρικές συνδέσεις και μετρήσεις) που θα συναντήσουν και στο μέλλον όσοι ασχοληθούν με τις θετικές επιστήμες και γενικότερα με πρακτικές ειδικότητες.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η *εκμάθηση της χρήσης του πολύμετρου*, που μπορεί να θεωρηθεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα του μαθήματος με πραγματική διάταξη.

Θέμα 4ο: Διαιρέτης Τάσης και Διαιρέτης Ρεύματος

Οι παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στη σύνδεση λαμπτήρων ισχύουν σε γενικές γραμμές και για το Διαιρέτη Τάσης και Ρεύματος. Αξίζει να αναφερθεί όμως ότι η σύνδεση των αντιστάσεων με διάφορους τρόπους, βελτιώνει τη δεξιοτεχνία τους. Πρόσθετα, αγγίζοντας τις

αντιστάσεις όταν περνάει ρεύμα, νοιώθουν την αυξημένη θερμοκρασία (ενσώματη μάθηση). Οι περισσότεροι μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου βλέπουν ή/και αγγίζουν για πρώτη φορά πραγματικές αντιστάσεις (εντυπωσιάστηκαν από το μικρό τους μέγεθος και βάρος).

Ως πρόβλημα του πραγματικού εργαστηρίου αναφέρεται ότι οι πραγματικές αντιστάσεις δεν είχαν πάντα τιμές πολλαπλάσιες μεταξύ τους, είτε γιατί δεν βρέθηκαν στο εμπόριο αλλά και λόγω απόκλισης της θεωρητικής από την πραγματική τιμή. Αποτέλεσμα ήταν η δυσκολότερη εξαγωγή συμπερασμάτων (π.χ. ότι η αναλογία αντιστάσεων είναι και αναλογία των τάσεων).

Συμπεράσματα

Αναφορικά με τη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης, σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα και υπό τους περιορισμούς που έχουμε αναφέρει, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι προσομοιώσεις μπορούν να χρησιμοποιούνται εναλλακτικά και ισοδύναμα με τις πραγματικές πειραματικές μεθόδους. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί σε γενικές γραμμές με κάποιες από, τις προϋπάρχουσες μελέτες (Wiesner & Lan, 2004; Klahr et al., 2007; Triona & Klahr, 2003; Zacharia & Constantinou, 2008; Taramopoulos et al., 2012).

Όσον αφορά την υλοποίηση της διδασκαλίας, κατά την άποψή μας, φαίνεται να είναι πιο εύκολη διαδικασία για το διδάσκοντα η μέθοδος των εικονικών πειραμάτων και των ψηφιακών σεναρίων, καθώς απαιτείται μικρότερη προετοιμασία και οι μαθητές είναι συνήθως πιο συγκεντρωμένοι σε μία οθόνη. Επίσης, είναι ευκολότερος ο έλεγχος της τάξης, καθώς η ροή του μαθήματος είναι ταχύτερη, ενώ μπορούν ευκολότερα να συζητηθούν μη-ορατές έννοιες (π.χ. ηλεκτρόνια, διανύσματα). Παράλληλα, δεν υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής εργαστηριακού εξοπλισμού (π.χ. απώλεια αντιστάσεων) από κακή χρήση, αλλά και ελλείψεων. Από την άλλη μεριά βέβαια, με τις πραγματικές διατάξεις, υπάρχει το πλεονέκτημα της ενσώματης μάθησης και οι μαθητές αποκτούν πρόσθετες δεξιότητες (π.χ. κατασκευή πολύσπαστου), που δεν μπορεί να προσφέρει ένα εικονικό περιβάλλον.

Ιδιαίτερα πρέπει να σημειωθεί το πλεονέκτημα που προσφέρει στη μαθησιακή διαδικασία η πλατφόρμα Graasp, λόγω των μικρο-εφαρμογών που προσφέρει, αποτελεί ιδανικό εργαλείο για τη σχεδίαση του μαθήματος με βάση τις αρχές της διερευνητικής μάθησης. Το γεγονός αυτό έχει αποτέλεσμα τόσο στην ευκολία σύνθεσης των ψηφιακών σεναρίων από μεριάς του εκπαιδευτικού, όσο και στην ευκολία χρήσης από μεριάς των μαθητών.

Εφόσον τα αποτελέσματα στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης φαίνεται να είναι παρόμοια, υποστηρίζουμε την άποψη ότι ο εκπαιδευτικός μπορεί να επιλέξει εικονικό ή πραγματικό πείραμα ανάλογα με τους υπόλοιπος στόχους που έχει. Για παράδειγμα αν θέλει οι μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα το μικροσκοπικό μοντέλο, θα προτιμήσει το εικονικό εργαστήριο. Αντίθετα, αν θέλει να βελτιώσουν τις χειραπτικές δεξιότητές τους θα επιλέξει το πραγματικό εργαστήριο. Η επιλογή μπορεί επίσης να καθορίζεται σύμφωνα με τον διαθέσιμο εξοπλισμό, την ηλικία των παιδιών, το επίπεδο των εμπειριών ή της αφαιρετικής τους σκέψης. Θεωρούμε πως είναι σημαντικό για τον εκπαιδευτικό να μπορεί να εναλλάσσει προσεγγίσεις, ανάλογα με τα προσδοκώμενα αποτελέσματα.

Ευχαριστίες (για την οικονομική υποστήριξη)

«Μελέτη της ανάπτυξης όψεων του επιστημονικού εγγραμματισμού μαθητευομένων σε συνθήκες τυπικής και άτυπης εκπαίδευσης με τη χρήση διαδικτυακών εικονικών εργαστηρίων και την αξιοποίηση γεωγραφικών δεδομένων» (κωδ. MIS/ΟΠΣ 5002552). Το έργο εντάσσεται στη «Δράση Στρατηγικής Ανάπτυξης Ερευνητικών & Τεχνολογικών Φορέων» του προγράμματος ΕΠΑνΕΚ 2014-2020 και συγχρηματοδοτείται από το ΕΤΠΑ.

Αναφορές

Davis, E. A. (2000). Scaffolding students' knowledge integration: Prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education, 22*, 819–837.

de Jong, T., & Lazonder, A. W. (2014). The guided discovery principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning 2nd edition* (pp. 371–390). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, *340*(6130), 305–308.

Edelson, D. C., Gordin, D. N., & Pea, R. D. (1999). Addressing the challenges of inquiry-based learning through technology and curriculum design. *Journal of the Learning Sciences, 8*, 391–450.

Eysink, T. H. S., De Jong, T., Berthold, K., Kolloffel, B., Opfermann, M., & Wouters, P. (2009). Learner performance in multimedia learning arrangements: An analysis across instructional approaches. Am. *Educ. Res. J.*, *46*(4), 1107–1149.

Finkelstein, N., Adams, W.K., Keller, C., Kohl, P.B., Perkins, K.K., Podolefsky, N.S., Reid, S., & LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics – Ph. Ed. Res.*, *1*(1), 1-8.

GoLab (2015). *Εγχειρίδιο Υποστήριξης Εκπαιδευτικών Go – Lab*. Go-Lab Project. Ανακτήθηκε στις 9 Μαΐου 2019 από https://www.golabz.eu/support/manuals.

Hennessy S., Deaney R., & Ruthven K. (2006). Situated expertise in integrating use of multimedia simulation into secondary science teaching. *International Journal of Science Education, 28*, 701–732.

Hulshof, C. D., Wilhelm, P., Beishuizen, J. J., & van Rijn, H. (2005). File: A tool for the study of inquiry learning. *Computers in Human Behavior, 21*, 945–956.

Huppert, J., Lomask, S. M., & Lazarowitz, R. (2002). Computer simulations in the high school: Students' cognitive stages, science process skills and academic achievement in microbiology. *International Journal of Science Education, 24,* 803–821.

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.

Jaakkola T., Nurmi S., Veermans K., & Res, J. (2011). A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, *48*(1), 71–93.

Jarvis, P., & Parker, S. (2007). *Human Learning: an holistic approach.* London: Routledge.

Jarvis, P. (2006). *Towards a comprehensive theory of human learning*. London: Routledge

Kelan E. (2010). Moving Bodies and Minds - The Quest for Embodiment in Teaching and Learning. *Higher Education Research Network Journal*, *3*, 39–46.

Klahr, D., L., Triona, M., & Williams, C. (2007). Hands on what? The relative effectiveness of physical vs virtual materials in an engineering design project by middle school children. *J. Res. Sci. Teach.*, *44*(1), 183–203.

Lefkos, I., Psillos, D., & Hatzikraniotis, E. (2011). Designing experiments on thermal interactions by secondary-school students in a simulated laboratory environment. *Research in Science & Technological Education*, *29*(2), 189–204.

Lewis, E. L., Stern, J. L., & Linn, M. C. (1993). The effect of computer simulations on introductory thermodynamics understanding. *Educational Technology, 33*, 45–58.

Lin, X. D., & Lehman, J. D. (1999). Supporting learning of variable control in a computer-based biology environment: Effects of prompting college students to reflect on their own thinking. *Journal of Research in Science Teaching, 36*, 837–858.

Linn, M. C., Lee, H.-S., Tinker, R., Husic, F., & Chiu, J. L. (2006). Teaching and Assessing Knowledge Integration in Science. *Science*, *313*(5790), 1049–1050.

Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-On, Simulated, and remote laboratories: a comparative literature review. *ACM Computing Surveys, 38*(3), Article 7.

Matthews, J. C. (1998). Somatic knowing and education. *The Educational Forum, 62(3).*

Merleau-Ponty, M. (2002). *Phenomenology of perception*. London: Routledge.

Olympiou, G., & Zacharia, Z. C. (2012). Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education, 96*(1), 21–47.

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z., C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, *14,* 47–61.

Plass, J. L., Milne, C., Homer B. D., Schwartz, R. N., Hayward, E. O., Jordan, T., & Barrientos, J. (2012). Investigating the effectiveness of computer simulations for chemistry learning. *J. Res. Sci. Teach.*, *49*, 394–419.

Přinosilová, J., Mechlová, E., & Kubicová, S. (2013). ICT on four levels of inquiry-based science, education in environmental education, *International Journal of Information and Communication Technologies in Education, 2*(1), 17–32.

Smyrnaiou, Z., Sotiriou M., Georgakopoulou, E., & Papadopoulou, O. (2016). Connecting Embodied Learning in educational practice to the realisation of science educational scenarios through performing arts. In A. Lazoudis & S. Cherouvis (eds.), *Proceedings of International Conference "Inspiring Science Education"* (pp. 37–45). Pallini: Ellinogermaniki Agogi.

Taramopoulos, A., Psillos, D., & Hatzikraniotis, E. (2012). Teaching Electric Circuits by Guided Inquiry in Virtual and Real Laboratory Environments In A. Jimoyiannis (Ed.), *Research on e-learning and ICT in Education: Technological, Pedagogical and Instructional Issues* (pp. 209–222). New York: Springer.

Triona, L. M, Klahr, D., & Williams, C. (2005). Point and Click or Build by Hand: Comparing the Effects of Physical vs. Virtual Materials on Middle School Students' Ability to Optimize an Engineering Design. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (pp. 2202–2205).

Triona, L., & Klahr, D. (2003). Point and click or grab and heft. Comparing the influence of physical and virtual instructional materials on elementary school students' ability to design experiments. *Cognition and Instruction*, *21,* 149–173.

Van Joolingen, W. R., & de Jong, T. (1991). Supporting hypothesis generation by learners exploring an interactive computer simulation. *Instructional Science*, *20*, 389–404.

Van Joolingen, W. R., De Jong, T., Lazonder, A. W., Savelsbergh, E., & Manlove, S. (2005). Co-lab: Research and development of an on-line learning environment for collaborative scientific discovery learning. *Computers in Human Behavior, 21*, 671–688.

Wiesner, T. F., & Lan, W. (2004). Comparison of Student Learning in Physical and Simulated Unit Operations Experiments. *Journal of Engineering Education*, *93*, 195–204.

Zacharia Z. C., & Constantinou C. P. (2008). Comparing the influence of physical and virtual manipulatives in the context of the *Physics by Inquiry* curriculum: The case of undergraduate students' conceptual understanding of heat and temperature. *American Journal of Physics*, *76*(4), 425–430.

Zacharia, Z. C., Loizou, E., & Papaevripidou, M. (2012). Is physicality an important aspect of learning through science experimentation among kindergarten students? *Early Childhood Research Quarterly*, *27*(3), 447–457.

Zacharia, Z. C., Manoli C., Xenofontos, N., De Jong T., Pedaste, M., Siswa, A., Van Riesen, N., Kamp, E. T., Maeots, M., Siiman, L., & Tsourlidaki, E. (2015). Identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science: a literature review. *Educational Technology Research and Development, 63*(2), 257–302.

Ευαγγέλου, Φ., & Κώτσης Κ. (2014). Συγκριτική μελέτη της επίδρασης πραγματικών και εικονικών πειραμάτων στη μάθηση για το φαινόμενο του βρασμού του νερού σε μαθητές Ε' και ΣΤ' Δημοτικού Σχολείου. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση, 7*(1-2), 5–24.

Θεοφανίδου, Χ. (2018). Συγκρίνοντας την ενσώματη μάθηση σε περιβάλλοντα μεικτής και συμβατικής πραγματικότητας: Η περίπτωση των νοερών αριθμογραμμών για τα κλάσματα. *Μεταπτυχιακή Εργασία. Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Φλώρινας.* Ανακτήθηκε στις 9 Μαΐου 2019 από https://dspace.uowm.gr/xmlui/handle/123456789/944

Παντάζου, Δ., & Καλογιαννάκης, Μ. (2017). Η χρήση διαφορετικών πειραματικών εργαλείων για τη διδασκαλία του ηλεκτρισμού της Ε' τάξης του Δημοτικού. *Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»* (σσ. 713–724). Αθήνα: ΕΤΠΕ.