

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Ψύλλος¹, Αθανάσιος Ταραμόπουλος²

¹αφ. Καθηγητής ΑΠΘ

²Σύμβουλος Εκπαίδευσης Φυσικών Επιστημών Σερρών

psillos@auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, υποστηρίζουμε ότι η παιδαγωγική αξιοποίηση και ένταξη των τεχνολογιών και ειδικά των εικονικών εργαστηρίων μπορεί να συντελέσει, σε κατάλληλες συνθήκες, στη βελτίωση και το δραστικό μετασχηματισμό της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες. Για τον σκοπό αυτό, εξετάζουμε, τις παροχές και την ένταξη των εικονικών εργαστηρίων στην διδασκαλία των ΦΕ στο πλαίσιο σύγχρονων διδακτικών προσεγγίσεων όπως η εποικοδομητική και η διερευνητική. Αναλύουμε έρευνες στην χώρα μας και διεθνώς και παρουσιάζουμε πτυχές πολυετούς ερευνητικού προγράμματος αξιοποίησης των εικονικών εργαστηρίων που υλοποιήσαμε και εφαρμόσαμε στην περιοχή των ηλεκτρικών κυκλωμάτων στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Υποστηρίζουμε ότι η ένταξη των ψηφιακών τεχνολογιών έχει τη δυνατότητα υποστήριξης διδακτικού μετασχηματισμού και εμπλουτισμού της εργαστηριακής εργασίας σε κατάλληλες συνθήκες.

Λέξεις κλειδιά: διερεύνηση, εικονικά εργαστήρια, πραγματικά εργαστήρια

Αναφορά: Ψύλλος, Δ., & Ταραμόπουλος, Α. (2025). *Η Συμβολή των Εικονικών Εργαστηρίων στην Πειραματική Εργασία*, στο Κώτσης Κ.Θ. & Στύλος Γ., (Επιμέλεια), *Πείραμα και Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, Επετειακός Τόμος για τα 40 χρόνια του ΠΤΔΕ Ιωαννίνων*, Εργαστήριο Εκπαίδευσης και Διδασκαλίας της Φυσικής, Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. ISBN: 978-618-82063-5-9

THE CONTRIBUTION OF VIRTUAL LABORATORIES TO EXPERIMENTAL WORK

Dimitrios Psillos¹, Athanasios Taramopoulos²

¹*ret. Professor of Aristotle University of Thessaloniki, Greece*

²*Educational Counselor of Physical Sciences of Serres, Greece*

psillos@eled.auth.gr

ABSTRACT

In the present paper, we argue that the pedagogical utilization and integration of digital technologies, particularly virtual laboratories, may, under appropriate conditions, contribute to the improvement and transformative change of education in natural sciences. To this end, we consider the affordances and integration of virtual laboratories in sciences teaching within the framework of contemporary teaching approaches such as constructivism and inquiry-based learning. We analyze research conducted in our country and internationally and present aspects of a long-term research project which we implemented in the field of electric circuits in secondary education. We conclude that the integration of digital technologies has the potential to support instructional transformations and enhance laboratory work under appropriate conditions.

Keywords: *inquiry, virtual laboratories, physical laboratories*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ερευνητές στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (ΦΕ), εκπαιδευτικοί, συγγραφείς αναλυτικών προγραμμάτων, διαμορφωτές εκπαιδευτικής πολιτικής, σε πολλές χώρες υποστηρίζουν ότι η εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες πρέπει να είναι πολυδιάστατη, να προωθεί την παράλληλη ανάπτυξη εννοιολογικής, διαδικαστικής και επιστημολογικής γνώσης, τις αξίες και τον κοινωνικό ρόλο της επιστήμης στις σύγχρονες κοινωνίες. Σκοπός της εκπαίδευσης στις ΦΕ δε πρέπει να είναι η εκμάθηση μόνο κατά κύριο λόγο εννοιών και θεωριών αλλά και η δυνατότητα των μαθητών να «κάνουν επιστήμη» στο εργαστήριο ή στο πεδίο. Η βαθειά και ουσιαστική κατανόηση των ΦΕ εμπεριέχει την εννοιολογική γνώση, την καλλιέργεια επιστημονικών διερευνητικών δεξιοτήτων και την επιστημολογική ενημερότητα για

τη φύση της επιστήμης των μαθητών καθώς και για την κοινωνική διάσταση των ΦΕ. Η ισόρροπη ανάπτυξη αυτών των διαστάσεων οδηγεί στη νοηματοδοτημένη κατανόηση και τον επιστημονικό εγγραμματισμό δεδομένου ότι όλες συνδέονται και αλληλεπιδρούν.

Όμως, πολλοί μελετητές υποστηρίζουν ότι στις Ευρωπαϊκές χώρες η ποιότητα της εκπαίδευσης στις ΦΕ δεν ανταποκρίνεται στις κοινωνικές προσδοκίες και τις ανάγκες επιστημονικού γραμματισμού των πολιτών. Σε έκθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης είχε διαπιστωθεί ότι υπάρχουν προβλήματα τόσο στη φύση όσο και στη δομή των προσπαθειών που γίνονταν για τη βελτίωση της εκπαίδευσης στις ΦΕ και την προώθηση του επιστημονικού εγγραμματισμού στους πολίτες των Ευρωπαϊκών χωρών (Osborne & Dillon, 2008; Rocard 2007). Η υποχρηματοδότηση της δημόσιας εκπαίδευσης και οι ελλείψεις υποδομές, ειδικά στην χώρα μας, το υποβαθμισμένο κοινωνικο-οικονομικό περιβάλλον σε πολλές περιοχές, η υπερφόρτωση των αναλυτικών προγραμμάτων, η έλλειψη εκπαιδευτικών και οι αμφιλεγόμενες εκπαιδευτικές πολιτικές δε συμβάλλουν στην ποιοτική βελτίωση της εκπαίδευσης στις ΦΕ. Αρνητικά επιδρά η περιορισμένη διάδοση και παιδαγωγική αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών στην εκπαίδευση στις ΦΕ, ειδικά στην εργαστηριακή μελέτη των μαθητών στην χώρα μας, η οποία αποτελεί αντικείμενο διαπραγμάτευσης της παρούσας (Anastasiades & Zaranis, 2016).

Οι ψηφιακές τεχνολογίες διαθέτουν πολλές παροχές που μπορεί να υποστηρίξουν αξιόλογες εφαρμογές στην εκπαίδευση, π.χ. πολυμεσικές αναπαραστάσεις, μορφές ατομικής και κοινωνικής επικοινωνιακής νοηματοδότησης, σύγχρονες μεθόδους πλοήγησης, εμπλουτισμένα αποθετήρια, δημιουργική έκφραση, διαδικτυακή επικοινωνία, σύγχρονη ή ασύγχρονη σύνθεση κειμένων, ψηφιακές αφηγήσεις (Bumbacher et al., 2017). Συχνά, όμως, παρατηρείται τεχνοκρατική προσέγγισή τους στην εκπαιδευτική πρακτική, όπως στην έμφαση στην εξοικείωση των μαθητών με τα ψηφιακά εργαλεία, στην απλή αναζήτηση και συσσώρευση πληροφοριών από το διαδίκτυο και την ανάπτυξη τεχνικών δεξιοτήτων.

Στην παρούσα εργασία, προσεγγίζουμε τις τεχνολογίες και τη χρήση τους ως γνωστικά εργαλεία, τα οποία έχουν τη δυνατότητα σε κατάλληλο παιδαγωγικό πλαίσιο να υποστηρίξουν σε βάθος την κατανόηση της εννοιολογικής, διαδικαστικής και επιστημολογικής γνώσης των Φυσικών Επιστημών (ΦΕ). Η θέση μας είναι ότι ειδικά η παιδαγωγική αξιοποίηση των εικονικών εργαστηρίων στις ΦΕ είναι πρόσφορη όταν εντάσσεται στις σύγχρονες παιδαγωγικές θεωρίες και διδακτικές προσεγγίσεις, όπως η εποικοδομητική και η διερευνητική. Υποστηρίζουμε ότι η παιδαγωγική αξιοποίηση και ένταξη των τεχνολογιών μπορεί να συντελέσει, σε κατάλληλες συνθήκες, στη βελτίωση και τον δραστικό μετασχηματισμό της εκπαίδευσης στις ΦΕ γενικά και ειδικά της εργαστηριακής εργασίας (Psillos, 2023). Για τον σκοπό αυτό εξετάζουμε, επιλεκτικά λόγω περιορισμένου χώρου, τις παροχές και την αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών και ειδικά των εικονικών εργαστηρίων (Virtual Laboratories, VL) σε συνάρτηση με σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις στην περιοχή της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Παρουσιάζουμε

συνοπτικά και συζητούμε έρευνες και εφαρμογές στη χώρα μας και στο διεθνή χώρο και αναλύουμε και συζητούμε τη δημιουργική χρήση και τη δυνατότητα συμβολής των εικονικών εργαστηρίων στον εμπλουτισμό και δραστικό διδακτικό μετασχηματισμό της εργαστηριακής εργασίας.

Η ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ ΩΣ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Στη Διδακτική των ΦΕ, πολυετείς έρευνες έχουν τεκμηριώσει ότι οι μαθητές έχουν εναλλακτικές αντιλήψεις για τα φυσικά φαινόμενα και θεωρίες, οι οποίες διατηρούνται ακόμα και μετά τη διδασκαλία τους. Έχει τεκμηριωθεί η σημασία της διδακτικής αξιοποίησης αυτών των ευρημάτων για την προώθηση της ενεργητικής και συνεργατικής συμμετοχής των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία, την εποικοδόμηση και κατανόηση των επιστημονικών γνώσεων. Διαμορφώθηκαν τα θεωρητικά πλαίσια του γνωσιακού και κοινωνικοπολιτισμικού εποικοδομητισμού, τέθηκε το θέμα της εννοιολογικής αλλαγής ή επαύξησης (π.χ. Duit & Treagust, 1998), σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν καινοτόμες διδακτικές στρατηγικές με θετικά αποτελέσματα, όπως η γνωστική σύγκρουση, η χρήση αναλογιών, οι μεταγνωστικές δραστηριότητες, τα ιστορικά πειράματα καθώς και εκπαιδευτικά λογισμικά.

Βασικές αρχές και διδακτικές στρατηγικές του εποικοδομητισμού ενσωματώθηκαν στη διερευνητική προσέγγιση για τη διδασκαλία και μάθηση των ΦΕ, η οποία έχει ήδη προταθεί ή εφαρμοστεί σε πολλά εκπαιδευτικά συστήματα (ΙΕΠ, 2014· Duschl & Grandy, 2008· Windschitl, et al., 2008). Η νοηματοδότηση της διερεύνησης ως διδακτική μαθησιακή διαδικασία έχει αλλάξει. Αναφερόταν αρχικά στην εννοιολογική κατανόηση, στην ανάπτυξη δεξιοτήτων και στον συνδυασμό τους, ενώ με την πάροδο του χρόνου συμπεριλαμβάνεται η κατανόηση της φύσης της επιστήμης και της διερεύνησης (Karagianni & Psillos, 2022· Strippel & Sommer 2015). Η σύγχρονη διερεύνηση εμπεριέχει διαφορετικές στρατηγικές και νοηματοδοτήσεις. Παρά την πολυσημία στον ορισμό, κοινό στοιχείο είναι η εστίαση στην ενεργητική συμμετοχή των μαθητών, η αλληλεπίδραση με το φυσικό και τεχνολογικό περιβάλλον τους, η κοινωνική διαπραγμάτευση για την εποικοδόμηση του επιστημονικού «κόσμου τους» και η κατασκευή νοήματος με πρακτικές που αντιστοιχούν στις πρακτικές των επιστημόνων, όπως η διατύπωση ερωτήματος, ο σχεδιασμός της διερευνητικής διαδικασίας, η ερμηνεία των δεδομένων, η μοντελοποίηση και η τεκμηριωμένη επιχειρηματολογία (Ψύλλος, 2011· Crawford, 2014). Η διερεύνηση έχει διπλό χαρακτήρα, αποτελεί παιδαγωγική προσέγγιση καθώς και αντικείμενο μάθησης. Οι μαθητές, καθώς διερευνούν ένα φαινόμενο, καθοδηγούνται να αναπτύξουν τις δεξιότητες που απαιτούνται για να υλοποιηθεί η διερευνητική διαδικασία και να εμβαθύνουν στη φύση και τα χαρακτηριστικά της διερεύνησης.

Η διερευνητική μάθηση μπορεί να λάβει χώρα αν οι μαθητές κατασκευάσουν καινούριες γνώσεις με επαγωγικούς ή παραγωγικούς συλλογισμούς, βασιζόμενοι στα

δεδομένα και τις πληροφορίες που συλλέγουν μέσω παρατηρήσεων, πειραμάτων, εργασιών πεδίου και των συνδέσεών τους με τις προηγούμενες βιωματικές εμπειρίες και αντιλήψεις τους. Οι μαθητές εμπλέκονται σε γνωσιακές διαδικασίες όπως η παρατήρηση ενός φαινομένου ή προβλήματος, η δημιουργία υποθέσεων, η διατύπωση ερωτημάτων, ο σχεδιασμός πειράματος ή εργασίας πεδίου, η συλλογή δεδομένων, η ανάλυση και ερμηνεία τους, η εξαγωγή συμπερασμάτων, η αξιολόγηση εναλλακτικών ερμηνειών με λογικούς συλλογισμούς. Συμμετέχουν σε μεταγνωστικές δραστηριότητες αναφορικά με τις ενέργειές τους κατά τον σχεδιασμό ή την εκτέλεση πειραματικής εργασίας.

Η διερεύνηση και ειδικά η πειραματική διερεύνηση είναι πολύ απαιτητική εκπαιδευτική διαδικασία για τους μαθητές. Εμπειρικές έρευνες δείχνουν ότι οι μαθητές έχουν δυσκολίες στην εμπλοκή, αντιμετώπιση και απόκτηση διαδικαστικών γνώσεων και διερευνητικών διαδικασιών όπως η διατύπωση ερωτημάτων ή υποθέσεων, ο σχεδιασμός της εργασίας τους, η αναγνώριση και επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών, ή η διάκριση των εξαρτημένων μεταβλητών από τις ανεξάρτητες. Από τις εργασίες μας, όπως και άλλων ερευνητών, έχουμε συμπεράνει ότι για να υπερβούν τις δυσκολίες τους πρέπει η εμπλοκή των μαθητών να είναι σταδιακή, από αρχικά δομημένες διερευνητικές δραστηριότητες σε καθοδηγούμενες και στη συνέχεια σε ανοιχτές, ειδικά στη χώρα μας όπου οι δυνατότητες πειραματισμού και διερεύνησης φαινομένων είναι περιορισμένες. Στους μαθητές πρέπει να προσφέρεται σταδιακά από τους εκπαιδευτικούς και τα εκπαιδευτικά υλικά η δυνατότητα να ελέγχουν τη δική τους μάθηση παίρνοντας πρωτοβουλίες κατά τη μαθησιακή διαδικασία και προσαρμόζοντας τη διαδικασία στις εμπειρίες τους (Καραγιάννη και Ψύλλος, 2019· Χατζηκρανιώτης & Μολοχίδης, 2017· Sadeh & Zion, 2009).

Ενθαρρυντικά αποτελέσματα παρατηρούνται όταν η σταδιακή καθοδήγηση των μαθητών υποστηρίζεται με κατάλληλες σκαλωσιές μάθησης. Οι ψηφιακές τεχνολογίες παρέχουν σκαλωσιές πολλών ειδών που μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην υποστήριξη αποτελεσματικής διερευνητικής μάθησης π.χ. με περιβάλλοντα τα οποία ενσωματώνουν γνωσιακά εργαλεία, όπως κατάλληλες υποδείξεις, πληροφοριακά κείμενα, φύλλα εργασίας, εργαλεία καταγραφής δεδομένων ή ενεργειών (Bumbacher et al., 2017· Smetana & Bell 2012).

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στο σχολείο ή στο πανεπιστήμιο, μαθητές και φοιτητές έχουν τη δυνατότητα να «κάνουν επιστήμη» διότι στα εργαστήρια υπάρχει το κατάλληλο εκπαιδευτικό και τεχνολογικό πλαίσιο για να μπορούν να εμπλακούν ενεργητικά σε μαθησιακές δραστηριότητες μέσα από τις οποίες θα αποκτήσουν το πρόσφορο εμπειρικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο θα εποικοδομήσουν νέες επιστημονικές γνώσεις και θα καλλιεργήσουν πειραματικές διερευνητικές δεξιότητες. Πολλές εργασίες έχουν εξετάσει τις δραστηριότητες μαθητών και φοιτητών στο πραγματικό εργαστήριο και τις αλληλεπιδράσεις τους με όργανα και υλικά, οι οποίες προσελκύουν το ενδιαφέρον

τους, δημιουργούν κίνητρα, προκαλούν την ενεργητική συμμετοχή τους και παρέχουν δυνατότητες διερεύνησης του φυσικού και τεχνολογικού κόσμου. Με την κατάλληλη διδασκαλία και καθοδήγηση συμμετέχουν σε διερευνητικές δραστηριότητες και αναπτύσσουν τις απαραίτητες γνώσεις και δεξιότητες για να διεξάγουν επιστημονική διερεύνηση των φαινομένων. Είναι φανερό ότι νοσηματοδοτημένη διδασκαλία της επιστήμης και ειδικά της φυσικής δεν μπορεί να συντελεστεί χωρίς εργαστηριακή εργασία (Hofstein and Lunetta, 2004· NGSE, 2013· Psillos and Niedertter, 2002). Συνοπτικά η εργαστηριακή εργασία αποτελεί ή πρέπει να αποτελεί απαραίτητη πτυχή της διδασκαλίας και μάθησης της επιστήμης και ειδικά της φυσικής. Όμως επισημαίνουμε ότι μαθητές και φοιτητές αντιμετωπίζουν πολλές δυσκολίες για να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις των εργαστηριακών ασκήσεων. Για παράδειγμα συχνά εστιάζουν στο χειρισμό των οργάνων, στη λήψη μετρήσεων και στην επεξεργασία των δεδομένων αναλώνοντας τον περισσότερο χρόνο στην διεξαγωγή μιας άσκησης παρά στην σύνδεση με τη θεωρία της φυσικής.

Τα τελευταία χρόνια διάφορα είδη εργαστηρίων βασισμένα στην ψηφιακή τεχνολογία, όπως τα προσομοιωμένα, τα εικονικά τα απομακρυσμένα, τα κινητά διαδίδονται και εφαρμόζονται σε πανεπιστήμια και σχολεία σε πολλές χώρες λόγω των ραγδαίων εξελίξεων στην τεχνολογία, της εύκολης προσβασιμότητάς τους, του χαμηλού κόστους και κατάλληλων εκπαιδευτικών πολιτικών (όταν υπάρχουν). Στην παρούσα εργασία εστιάζουμε, συζητούμε και αναλύουμε χαρακτηριστικά και εφαρμογές προσομοιωμένων και εικονικών εργαστηρίων τα οποία αποκαλούμε εικονικά (EE) παρόλο που υπάρχουν ορισμένες διαφορές μεταξύ τους (de Jong et al., 2013· Ruten et al. 2012).

Τα εικονικά εργαστήρια εμπεριέχουν δυναμικά και αξιόπιστα επιστημονικά μοντέλα του πραγματικού κόσμου, πολλαπλές αναπαραστάσεις των υλικών και οργάνων, φαινομένων και διαδικασιών, οι οποίες εστιάζουν στα απαραίτητα για τη μελέτη χαρακτηριστικά τους χωρίς περιττές λεπτομέρειες μειώνοντας την πολυπλοκότητα και το γνωστικό φορτίο των χρηστών (Ταραμόπουλος και Ψύλλος, 2019). Η βασική θεωρητική και παιδαγωγική θεώρηση στην οποία στηρίζεται η χρήση τους είναι ότι οι εμπειρίες και αλληλεπιδράσεις πάνω στις οποίες θα εποικοδομήσουν γνώσεις και δεξιότητες οι μαθητές μπορεί να είναι εικονικές και δεν περιορίζονται αποκλειστικά στις πραγματικές. Ενεργητική συμμετοχή σε εργαστηριακή εργασία δεν αφορά αποκλειστικά φυσικές αλληλεπιδράσεις και χειρισμούς. Οι Olymriou και Zacharia (2013) θεωρούν τη «φυσικότητα» ως θεμελιώδη διαφορά μεταξύ εργαστηριακής εργασίας σε εικονικό και πραγματικό εργαστήριο ενώ οι υποστηρικτές των εικονικών εργαστηρίων θεωρούν ότι η αισθητηριακή πληροφορία που παρέχεται από την «φυσικότητα» δεν είναι πάντοτε απαραίτητη. ***Πρόκειται για ριζική αλλαγή στις θεωρητικές και εμπειρικές βάσεις της διδασκαλίας και μάθησης στις ΦΕ, οι επιπτώσεις της οποίας αποτελούν αντικείμενο διαρκούς μελέτης.***

Τα εικονικά εργαστηριακά περιβάλλοντα που βασίζονται σε επιστημονικά μοντέλα παρέχουν ευέλικτη και συστηματική αντιμετώπιση των φυσικών μεγεθών, τα οποία αφορούν τα υπό μελέτη φαινόμενα. Συγκεκριμένα, σχεδιαστικά χαρακτηριστικά τους

επιτρέπουν -μεταξύ άλλων- την αλλαγή περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, τη συγχρονική κατασκευή γραφικών παραστάσεων, τη συγχρονική μελέτη και αναπαράσταση της εξέλιξης φυσικών μεγεθών π.χ. V-I, παρέχουν ασφάλεια και επαναληπτικότητα χειρισμών και είναι οικονομικά σε σχέση με ακριβούς εργαστηριακούς εξοπλισμούς. Σημαντικό πλεονέκτημα των εικονικών εργαστηρίων σε σχέση με τα πραγματικά είναι ότι η «πραγματικότητα» μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να υποστηρίζει τη μαθησιακή διαδικασία καθώς και η ύπαρξη δυναμικώς συνδεδεμένων αναπαραστάσεων και μοντέλων διαφόρων επιπέδων ρεαλισμού ή αφαίρεσης. Η «πραγματικότητα» μπορεί να απλοποιηθεί μειώνοντας την πολυπλοκότητά της και αναδεικνύοντας τις βασικότερες πληροφορίες ώστε να επικεντρωθεί η προσοχή των μαθητών μόνο στο υπό μελέτη φαινόμενο και να αποφευχθεί η ανάγκη κατάκτησης υπερβολικού όγκου πληροφοριών που μπορεί να εμποδίσει τη μάθηση.

Τα εικονικά εργαστήρια αποτελούνται από εικονικές οντότητες και διαδικασίες που συγκροτούν εμπλουτισμένα και νέα πεδία πειραματισμού για μαθητές και εκπαιδευτικούς όπως προκύπτουν από εφαρμογές στη φυσική, τη χημεία και άλλες επιστημονικές περιοχές (Psillos, 2023). Συγκεκριμένες και αφαιρετικές αναπαραστάσεις αντικειμένων, φυσικών φαινομένων και διαδικασιών συγκροτούν μία εικονική φαινομενολογία, η οποία μπορεί να είναι, ρεαλιστική, ευρύτερη ή απλοποιημένη συγκριτικά με τη φαινομενολογία ενός πραγματικού συμβατικού εργαστηρίου. Τα εικονικά πεδία εμπλουτίζονται και μετασχηματίζονται με την ενσωμάτωση αναπαραστάσεων αφαιρετικών αντικειμένων και διαδικασιών που μετατρέπονται σε ορατές υλικές οντότητες. Η οπτικοποίηση του μη παρατηρήσιμου η «αόρατου» συνεπάγεται ότι οι μαθητές μπορεί να αντιληφθούν και να χειριστούν αυτές τις οντότητες και να τις συσχετίσουν σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο π.χ ροή ηλεκτρικών φορτίων και ηλεκτρικό ρεύμα, βρασμός και ερμηνεία του (Wang et al., 2018). Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνονται οι μαθητές να υπερβούν το γνωστικό εμπόδιο της σύνδεσης των μακροσκοπικών φαινομένων με τους μικροσκοπικούς μηχανισμούς που τα παράγουν (Evangelou & Kotsis, 2019· Tsaparlis & Sevian, 2013).

Σε αυτό το πλαίσιο, η ενσωμάτωση εικονικών εργαστηριακών περιβαλλόντων στην τάξη, οι αντίστοιχες εφαρμογές τους, τα αποτελέσματα και οι διεργασίες που συμβαίνουν κατά την αλληλεπίδραση μαθητών και εκπαιδευτικών μόνο με τα εικονικά ή σε συνδυασμό με τα πραγματικά εργαστήρια αποτελούν αντικείμενο συνεχών ερευνών καθώς και καινοτομικών εφαρμογών (Ταραμόπουλος & Ψύλλος, 2016· Jaakkola & Veermans, 2015· Zacharia & Olympiou, 2011). Πολλές εργασίες εστιάζουν κυρίως στην εννοιολογική εξέλιξη και τις επιδόσεις των μαθητών σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Διεξάγονται έρευνες που εστιάζουν στην ανάπτυξη επιστημονικών δεξιοτήτων και πρακτικών οι οποίες τεκμηριώνουν ότι η ενσωμάτωση εικονικών εργαστηρίων στην διδασκαλία των ΦΕ προωθεί και υποστηρίζει την καλλιέργειά τους υπό κατάλληλες προϋποθέσεις (π.χ. Wang & Tseng, 2018).

Υπογραμμίζουμε ότι μία από τις πιο σημαντικές δεξιότητες συνδεδεμένες με την εργαστηριακή εργασία στο πλαίσιο της διερεύνησης θεωρείται ότι είναι ο σχεδιασμός των πειραμάτων διότι σχετίζεται με την κατανόηση του αντίστοιχου γνωστικού πεδίου αλλά και με την επιστημονική μεθοδολογία (Riesen et al., 2018). Για παράδειγμα σε μία εργασία μας (Lefkos et al., 2011), αξιολογήθηκε η ικανότητα των μαθητών να σχεδιάζουν πειράματα στην περιοχή της θερμότητας σε οκτώ διαστάσεις, όπως η διατύπωση υπόθεσης, η επιλογή των μεταβλητών, η περιγραφή των αρχικών συνθηκών του πειράματος. Από τα αποτελέσματα αυτά όπως και άλλων ερευνητών προκύπτει ότι τα περιβάλλοντα εικονικών εργαστηρίων ενσωματώνουν τις κατάλληλες σκαλωσιές και δομές που θα τους βοηθήσουν να ανταπεξέλθουν σε καθοδηγούμενες δραστηριότητες με σκοπό την κατανόηση και καλλιέργεια του πειραματικού σχεδιασμού.

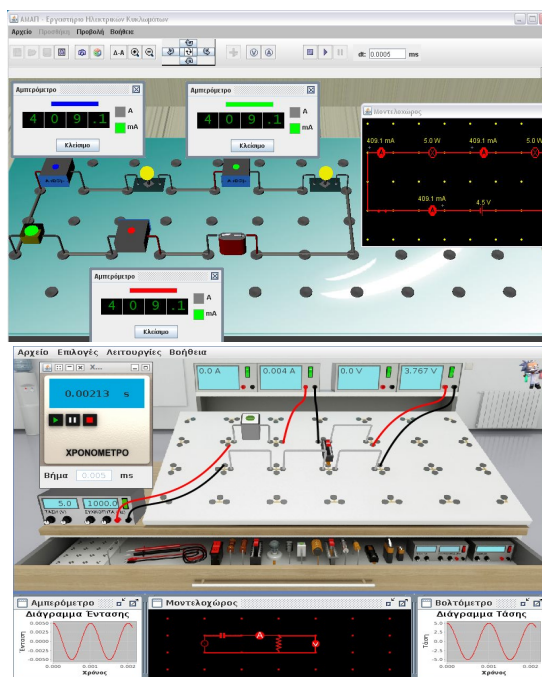
Από τις εφαρμογές στην τάξη και την αποτίμησή τους προκύπτει ότι τα εικονικά και τα πραγματικά εργαστήρια ενσωματώνουν ειδικά χαρακτηριστικά και παροχές τα οποία ρητά ή υπόρρητα ενεργοποιούν και προάγουν δομές και μορφές εργαστηριακών δραστηριοτήτων που επηρεάζουν και κατευθύνουν τον πειραματισμό των μαθητών (π.χ. Lefkos et.al. 2011, Vorholzer et al., 2020). Επίσης προκύπτει ότι τα εικονικά ή τα πραγματικά εργαστήρια μπορεί να προωθούν την καλλιέργεια διαφορετικών δεξιοτήτων ανάλογα με τη φύση του περιεχομένου και τους διδακτικούς στόχους. Αξιοσημείωτη είναι η δυνατότητα των εικονικών εργαστηρίων να προωθούν την παράλληλη ανάπτυξη εννοιολογικής γνώσης και επιστημονικών δεξιοτήτων με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η διασύνδεση της θεωρίας με τις επιστημονικές πρακτικές.

Σε αυτό το δυναμικά εξελισσόμενο ερευνητικό και εκπαιδευτικό πεδίο έχει γίνει φανερό ότι η κύρια ερώτηση δεν είναι αν τα πραγματικά ή τα εικονικά εργαστήρια είναι γενικά πιο πρόσφορα επειδή πολλοί παράγοντες επηρεάζουν τη διδασκαλία και μάθηση των ΦΕ, όπως το εκπαιδευτικό πλαίσιο, η φύση και το περιεχόμενο του γνωστικού αντικειμένου, οι αντιλήψεις των μαθητών και οι διδακτικοί στόχοι. Για αυτό το λόγο οι νεότερες εργασίες μελετούν ποιες παροχές των εικονικών εργαστηρίων είναι κατάλληλες ως προς συγκεκριμένους διδακτικούς στόχους και γνωστικό περιεχόμενο, όταν εφαρμόζονται είτε κατ' αποκλειστικό τρόπο είτε σε συνδυασμό με πραγματικά εργαστήρια στο πλαίσιο πρόσφορων διδακτικών προσεγγίσεων και δραστηριοτήτων. Σε αυτό το πλαίσιο στο επόμενο μέρος της εργασίας μας παρουσιάζουμε όψεις ενός ερευνητικού εκπαιδευτικού προγράμματος αξιοποίησης των εικονικών εργαστηρίων για τη διδασκαλία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων στην Δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην χώρα μας.

ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΣ ΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΣΤΗΝ ΤΑΞΗ

Τα ηλεκτρικά κυκλώματα αποτελούν ένα πεδίο των Φυσικών Επιστημών με το οποίο ερχόμαστε καθημερινά σε επαφή, μελετάται συνεχώς από διδακτικής απόψεως τα τελευταία τριάντα χρόνια και έχει βρεθεί ότι υπάρχουν σημαντικές και ευρέως διαδεδομένες εναλλακτικές αντιλήψεις οι οποίες δύσκολα ανασκευάζονται (Jaakkola

et al., 2011; Psillos, 1997). Στο πλαίσιο αυτό, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα ερευνητικό και αναπτυξιακό πρόγραμμα συνεργασίας ερευνητών και εμπειρών εκπαιδευτικών με στόχο την ανάπτυξη κατάλληλων μαθησιακών περιβαλλόντων και την πολύπλευρη αποτίμηση του ρόλου που μπορούν να διαδραματίσουν τα εικονικά εργαστηριακά περιβάλλοντα όταν ενταχθούν σε διδασκαλία με διερευνητική προσέγγιση στο γνωστικό αντικείμενο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων (Ψύλλος κ.α., 2008; Molohidis et al., 2015).



Σχήμα 1. Εικονικά εργαστήρια ηλεκτρικών κυκλωμάτων που επιτρέπουν τη χρήση εικονικών οργάνων με διαφορετική πιστότητα αναπαράστασης

Το πρόγραμμα υλοποιήθηκε μέσα από ερευνητικές εργασίες πεδίου σε μαθητές Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα (Taramopoulos & Psillos, 2018), συγκρίνοντας σε διάφορους τομείς την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας, όταν αυτή γίνεται με εικονικά εργαστηριακά περιβάλλοντα διαφόρων χαρακτηριστικών (σχήμα 1), όπως εικονικό εργαστηριακό περιβάλλον με υψηλή πιστότητα αναπαράστασης του πραγματικού εργαστηρίου (ρεαλιστικά τρισδιάστατα γραφικά), ή με τη χρήση συμβολικών εικονικών οργάνων (αφηρημένα γραφικά σε μορφή applet) ή το συνδυασμό των παραπάνω αναπαραστάσεων (χρήση ηλεκτρικών κυκλωμάτων μέσω ρεαλιστικών εικονικών οργάνων και ταυτόχρονη αναπαράστασή τους μέσω διασυνδεδεμένων αφηρημένων συμβολικών αναπαραστάσεων). Παράλληλα, η ύπαρξη παροχών όπως οι συγχρονικές γραφικές παραστάσεις και η δυναμική διαχείριση του χρόνου διευκόλυναν την ανάλυση και επαναληψιμότητα των φαινομένων μειώνοντας το γνωστικό φορτίο του χρήστη κατά τη διεξαγωγή εργαστηριακών πειραμάτων.

Μελετώντας τη δεξιότητα κατασκευής ηλεκτρικών κυκλωμάτων μαθητών Γυμνασίου, βρέθηκε ότι στην περίπτωση που κατά την κατασκευή των πραγματικών κυκλωμάτων απαιτείται κάποια ιδιαίτερη χειριστική δεξιότητα, οι μαθητές που είχαν χρησιμοποιήσει το πραγματικό εργαστήριο κατά τη διδασκαλία πλεονεκτούν έναντι αυτών που είχαν χρησιμοποιήσει μόνο το εικονικό εργαστήριο (Ταραμόπουλος & Ψύλλος, 2013).

Επομένως, τα εικονικά εργαστήρια, ακόμα και με τρισδιάστατα ρεαλιστικά γραφικά, δε φαίνεται να μπορούν να προσφέρουν στους μαθητές την πλήρη χειραπτική εμπειρία ενός πραγματικού εργαστηρίου ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Όμως, παρατηρήθηκε επίσης ότι όταν οι μαθητές καλούνται να μετασχηματίσουν δοσμένα ηλεκτρικά κυκλώματα από μία μορφή σε άλλη (πραγματική, αληθοφανή εικονική, σχηματική) τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την πολυπλοκότητα του κυκλώματος: για απλά κυκλώματα οι μαθητές κάνουν το μετασχηματισμό με επιτυχία ανεξάρτητα από το είδος του εικονικού εργαστηρίου που χρησιμοποίησαν κατά τη διδασκαλία, αλλά για σύνθετα κυκλώματα οι μαθητές που χρησιμοποίησαν στη διδασκαλία εικονικά περιβάλλοντα με διασυνδεδεμένες αληθοφανείς και σχηματικές αναπαραστάσεις φαίνεται να υπερτερούν έναντι των υπολοίπων (Ταραμόπουλος, 2012). Αυτό το εύρημα είναι σε συμφωνία με αντίστοιχο εύρημα των Finkelstein et al. (2005) για την Τριτοβάθμια εκπαίδευση και υπογραμμίζει εμφατικά την υποστήριξη που παρέχουν τέτοια περιβάλλοντα στην ανάπτυξη συνδέσεων ανάμεσα στον πραγματικό και τον εικονικό εργαστηριακό κόσμο. Οι συνδέσεις αυτές αποτελούν γέφυρες που λειτουργούν ως σκαλωσιές που επιτρέπουν τους μαθητές να μπορούν να κινούνται με ευχέρεια ανάμεσα στον πραγματικό κόσμο όπου γίνεται η παρατήρηση των φυσικών φαινομένων και στον εικονικό αφηρημένο κόσμο όπου γίνεται η ανάπτυξη των μοντέλων επάνω στα οποία στηρίζεται η ερμηνεία των φυσικών φαινομένων. Επιπλέον, οι έρευνές μας δείχνουν ότι στην ηλικία του Λυκείου οι μαθητές ωριμάζουν πνευματικά και πλέον μπορούν να διαχειριστούν το γνωστικό φόρτο σύνθετων αφηρημένων μοντέλων για την ερμηνεία φυσικών φαινομένων (Taramopoulos & Psillos, 2019). Αυτό, σε συνδυασμό με τις συνδέσεις πραγματικού και αφηρημένου που υποβοηθούνται από κατάλληλα μαθησιακά περιβάλλοντα μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικά τον μαθητή στη μετάβαση από την απλή παρατήρηση φαινομένων στη βαθύτερη κατανόησή τους (Taramopoulos & Psillos, 2017).

Όμως, πέρα από την υποστήριξη του μαθησιακού περιβάλλοντος, η βαθύτερη κατανόηση των φυσικών φαινομένων απαιτεί και την ενεργό συμμετοχή των μαθητών (Kuhn et al., 2017). Ένας αποτελεσματικός τρόπος είναι η εμπλοκή των μαθητών σε εργαστηριακές δραστηριότητες κατά τις οποίες οι μαθητές, καθοδηγούμενοι από τον εκπαιδευτικό, πειραματίζονται διερευνώντας το φυσικό κόσμο (Minner et al., 2010). Τα εικονικά εργαστηριακά περιβάλλοντα με τις παροχές τους μπορούν να ξεπεράσουν εμπόδια όπως η έλλειψη εργαστηριακού εξοπλισμού, το οικονομικό κόστος, η ασφάλεια των πειραματιζομένων και χρονικοί περιορισμοί της διδασκαλίας και να συμβάλλουν αποφασιστικά στην επιτυχή υλοποίηση εργαστηριακών διδασκαλιών με διερευνητική προσέγγιση στο πλαίσιο κατάλληλα

σχεδιασμένων Διδακτικών Μαθησιακών Ακολουθιών (Brinson, 2015· Psillos & Kariotoglou, 2016).

Στη χώρα μας, στο πλαίσιο του γνωσιοκεντρικού χαρακτήρα της διδασκαλίας των ΦΕ και της έλλειψης υποδομών, οι μαθητές δεν έχουν συνήθως ευκαιρίες συμμετοχής και εξουκείωσης με την εργαστηριακή διδασκαλία. Στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση κατά κανόνα όταν υπάρχουν εργαστηριακές ασκήσεις αυτές είναι κλειστού χαρακτήρα. Επομένως πέρα από τη διδασκαλία εννοιών και θεωριών, οι μαθητές θα πρέπει να εκπαιδευτούν στη σχεδίαση και εκτέλεση διερευνητικής εργαστηριακής εργασίας. Μελέτες μας έχουν δείξει ότι αυτό μπορεί να γίνει είτε ρητά, με άμεση διδασκαλία των πειραματικών διαδικασιών σε εργαστηριακές διδασκαλίες (Taramopoulos & Psillos, 2022), είτε υπόρηρητα, με συνεχή εμπλοκή των μαθητών σε πειραματικές διαδικασίες χωρίς ρητή διδασκαλία των διαδικασιών αυτών (Taramopoulos et al., 2011). Μέσα από κατάλληλες Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες, οι μαθητές καταφέρνουν να διατυπώνουν υποθέσεις για την απάντηση ενός δοθέντος ερευνητικού ερωτήματος, να αναγνωρίζουν τις μεταβλητές που επηρεάζουν το υπό μελέτη φαινόμενο, να βρίσκουν τα όργανα που πρέπει να χρησιμοποιήσουν για την πειραματική τους διάταξη, να σχεδιάζουν διαγραμματικά ένα κύκλωμα για τη διερεύνηση του προβλήματος, να περιγράφουν την πειραματική διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσουν, να κατασκευάζουν το κύκλωμα της πειραματικής τους διάταξης, να κάνουν τις απαραίτητες μετρήσεις, να επεξεργάζονται τα πειραματικά τους δεδομένα, να καταγράφουν τα αποτελέσματά τους και τελικά να τα αξιολογούν. Αυτό γίνεται ανεξάρτητα από την αναπαράσταση που χρησιμοποιείται στο εικονικό εργαστήριο, είτε αυτή είναι αληθοφανής, είτε είναι σχηματική, είτε διασυνδεδεμένη αληθοφανής και σχηματική. Σε κάθε περίπτωση όμως, όπως επισημάνθηκε προηγούμενα, η διδασκαλία της διαδικαστικής γνώσης θα πρέπει να γίνει σταδιακά: στις πρώτες εργαστηριακές διδασκαλίες θα πρέπει να υπάρχει πλήρης καθοδήγηση των μαθητών στις πειραματικές διαδικασίες (δομημένη διερεύνηση) και στη συνέχεια αυτή η καθοδήγηση να μειώνεται σταδιακά παραχωρώντας στους μαθητές συνεχώς μεγαλύτερη ελευθερία αυτενέργειας και ανάληψης πρωτοβουλιών (καθοδηγούμενη διερεύνηση). Με τον τρόπο αυτό οι μαθητές διδάσκονται και εφαρμόζουν τις πειραματικές διαδικασίες χωρίς να δυσχεραίνεται η παράλληλη διδασκαλία του γνωστικού αντικείμενου καθώς το γνωστικό αντικείμενο αναπτύσσεται παράλληλα με τις πειραματικές δεξιότητες. Μάλιστα, δημιουργείται μία σπειροειδής ανάπτυξη γνωστικής και διαδικαστικής γνώσης κατά την οποία η ανάπτυξη της μίας υποβοηθάει την ανάπτυξη της άλλης. Από τη μία η προσπάθεια κατανόησης των υπό μελέτη φυσικών φαινομένων οδηγεί σε ανάπτυξη νέων ερευνητικών ερωτημάτων που μπορούν να διερευνηθούν πειραματικά συντελώντας στη βελτίωση των δεξιοτήτων πειραματισμού και από την άλλη η ανάπτυξη πειραματικών δεξιοτήτων οδηγεί σε εργαστηριακή διερεύνηση και αποτελέσματα που συντελούν στη βαθύτερη κατανόηση των φυσικών φαινομένων.

Αν, επιπλέον, οι πειραματικές γνώσεις που αποκτήθηκαν σε ένα γνωστικό αντικείμενο (πχ ηλεκτρικά κυκλώματα), συνδυαστούν με τις πειραματικές γνώσεις που μπορεί να αποκτηθούν σε ένα άλλο παρεμφερές γνωστικό αντικείμενο (πχ

θερμότητα), κάτι που μπορεί να διευκολυνθεί πολύ με τη χρήση εικονικών εργαστηρίων, οι μαθητές μπορούν, μέσω της παρατήρησης των κοινών χαρακτηριστικών πειραματισμού στις δύο περιπτώσεις, να αποπλαισιώσουν τη διαδικαστική γνώση και αυτή πλέον να αποτελέσει στα χέρια τους ένα ισχυρό εργαλείο που μπορούν να χρησιμοποιήσουν και σε άλλα γνωστικά αντικείμενα. Με τον τρόπο αυτό οι μαθητές πλέον εξελίσσονται και περνούν από το "τι" μαθαίνω στο "πώς" μαθαίνω: μετατρέπονται δηλαδή από υποκείμενα της μάθησης σε συντελεστές της μάθησης. Και αυτό αποτελεί έναν ιδιαίτερα υψηλό και δύσκολο στόχο της σύγχρονης εκπαίδευσης, προς την επίτευξη του οποίου μπορούν να συμβάλλουν τα σύγχρονα εικονικά εργαστηριακά περιβάλλοντα μάθησης ως ισχυρά εργαλεία στα πλαίσια κατάλληλα δομημένων διδασκαλιών με διερευνητικές προσεγγίσεις. Οι διαστάσεις αυτής της εκπαιδευτικής διαδικασίας ανταπασχολούν συνεχώς ερευνητές και εκπαιδευτικούς.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάσαμε τις παροχές και την αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών και ειδικά των εικονικών εργαστηρίων σε συνάρτηση με τις σύγχρονες έρευνες, διδακτικές προσεγγίσεις και θεωρίες στο πεδίο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Συνοπτικά υποστηρίζουμε ότι τα εικονικά περιβάλλοντα ενταγμένα σε κατάλληλες παιδαγωγικές προσεγγίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε πρωτόγνωρες μαθησιακές εμπειρίες, στην υποστήριξη, τον εμπλουτισμό και τον ριζικό μετασχηματισμό συνεργατικής πειραματικής εργασίας και αλληλεπιδραστικών επιδείξεων στα σχολεία ιδιαίτερα στη χώρα μας με τις υποβαθμισμένες εργαστηριακές υποδομές.

Όμως υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στην εμπλοκή των μαθητών με εικονικές δραστηριότητες οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από εκπαιδευτικούς και συγγραφείς αναλυτικών προγραμμάτων κατά τη διαμόρφωση εκπαιδευτικής πολιτικής. Ερευνητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η ευκολία στους εικονικούς χειρισμούς συγκριτικά με τους πραγματικούς μπορεί να οδηγήσει στην άσκοπη περιოდολόγηση των μαθητών στον εικονικό κόσμο, σε χειρισμούς και δράσεις τυχαίες χωρίς πειραματικό σχεδιασμό, που δεν είναι επικεντρωμένες στους διδακτικούς στόχους. Συνοπτικά σε ό,τι αναφέρεται ως «κάνω πριν σκεφτώ» ή ό,τι η πειραματική δράση και η επιστημονική σκέψη δεν συνδέονται. (Chien et al., 2015).

Τέλος, παρά τους περιορισμούς και το κόστος τους τα πραγματικά εργαστήρια παρέχουν μοναδικές εμπειρίες στους μαθητές όσον αφορά στην αίσθηση της εργαστηριακής πρακτικής, αισθητηριακές και απτικές εμπειρίες, στην εκτίμηση των δυσκολιών διεξαγωγής της εργασίας, λήψης, μετρήσεων, χειρισμού σφαλμάτων, στη συγκρότηση αξιόπιστων δεδομένων. Σύγχρονες επισκοπήσεις τεκμηριώνουν ότι ο συνδυασμός εικονικών και πραγματικών εργαστηρίων σε κατάλληλα πλαίσια έχει προστιθέμενη παιδαγωγικά αξία για τους μαθητές και εκπαιδευτικούς διότι οι παροχές των εικονικών εργαστηρίων υποστηρίζουν τη γνωστική εστίαση και την αλληλεπίδραση θεωρίας και πρακτικής ενώ τα πραγματικά εργαστήρια προωθούν την

εξοικείωση με τα φαινόμενα, τα όργανα και τις επιστημονικές πρακτικές (Worner et al., 2022).

Τα τεχνολογικά εργαλεία αποτελούν προϊόντα αλληλεπίδρασης της κοινωνίας με την τεχνολογία και τη φύση. Η χρήση τους καθορίζεται από αυτή τη διαλεκτική σχέση και δεν μπορούν να νοηματοδοτηθούν εκτός των ανθρωπίνων σχέσεων. Θεωρούμε ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες και ειδικά τα εικονικά εργαστήρια παρέχουν γνωστικά εργαλεία τα οποία αλληλεπιδρούν και (συν)διαμορφώνουν την ανθρώπινη σκέψη και πράξη. Στην εκπαίδευση, δεν ενδιαφέρουν μόνο τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των ψηφιακών τεχνημάτων αλλά και πώς μπορούν να αξιοποιηθούν στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού και κοινωνικού περιβάλλοντος. Η διάδοση και ένταξη των εικονικών εργαστηρίων στη διδασκαλία και μάθηση των Φυσικών Επιστημών, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούνται κατάλληλες συνθήκες όπως υποδομές, αναλυτικά προγράμματα, επιμόρφωση εκπαιδευτικών, μπορεί να συντελέσει στη βελτίωση, τον δραστικό μετασχηματισμό και την πολυδιάστατη εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και να δημιουργήσει νέα πεδία έρευνας στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ΙΕΠ (2014). Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών Δημοτικού για το «Νέο Σχολείο»
- Καραγιάννη, Χ. & Ψύλλος, Δ., (2019). Ρητή διδασκαλία της δεξιότητας διατύπωσης ερωτήματος. *Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*, Φλώρινα, 19-21 Απριλίου
- Ταραμόπουλος, Α. (2012). «Διερεύνηση εφαρμογών προσομοιωμένων εικονικών εργαστηρίων στη διδασκαλία της Φυσικής στην υποχρεωτική εκπαίδευση». *Διδακτορική Διατριβή*, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Α.Π.Θ.
- Ταραμόπουλος, Α. & Ψύλλος, Δ. (2013). Σύγκριση πραγματικού και εικονικού εργαστηρίου ως προς την ικανότητα κατασκευής πραγματικών ηλεκτρικών κυκλωμάτων για μαθητές Γυμνασίου. *Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση (ΕΝΕΦΕΤ)*, σελ. 280-287, Βόλος
- Ταραμόπουλος, Α. & Ψύλλος, Δ. (2016). Αποτελεσματικότητα των εικονικών εργαστηριακών περιβαλλόντων στη διδασκαλία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων στην Ελληνική Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. *Πρακτικά 10ου Πανελληνίου και Διεθνούς Συνεδρίου "Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση"*, Επιμέλεια: Α. Μικρόπουλος, Ν. Παπαχρήστος, Α. Τσιάρα, Π. Χαλκή, 23-25 Σεπτεμβρίου 2016, Ιωάννινα, σελ. 447-453
- Ταραμόπουλος, Α. & Ψύλλος, Δ. (2019). Σύγκριση εικονικών περιβαλλόντων μάθησης ως προς την υποστήριξη ανάπτυξης πειραματικών δεξιοτήτων στο χώρο των απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων. *Πρακτικά 11ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΝ.Ε.Φ.Ε.Τ.*, Φλώρινα
- Χατζηκρανιώτης, Ε. & Μολοχίδης, Α. (2017). Εισάγοντας μαθητές Γυμνασίου σε πειραματικές διερευνητικές δραστηριότητες. Σταύρου Δ., Μιχαηλίδη Α. & Κοκολάκη Α. (eds), *Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών*

Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης, 7-9 Απριλίου 2017 (σσ. 689-697).
Ρέθυμνο: Εκδόσεις GUTENBERG. ISBN: 978-960-86978-3-6

- Ψύλλος, Δ., Ταραμπόπουλος, Α., Χατζηκρανιώτης, Ε., Μπάρμπας, Α., Μολοχίδης, Τ., και Μπισδικιάν, Γ. (2008). Ένα Ανοικτό Μαθησιακό Περιβάλλον (Α.ΜΑ.Π.) στην περιοχή του Ηλεκτρισμού, Αγγελή Η., Βαλανίδης Ν. (eds), *Πρακτικά 6ου Συνεδρίου ΕΤΠΕ*, Κύπρος, σ. 384-391
- Ψύλλος, Δ. (2011). Η διερεύνηση με χρήση μοντέλων στη διδακτική διαδικασία των Φυσικών Επιστημών. Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, σ. 58-66, Αλεξανδρούπολη
- Anastasiades, P., & Zaranis, N. (2016). (Eds) *Research on e-Learning and ICT in Education Technological, Pedagogical and Instructional Perspectives*. Springer
- Brinson, J.R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education* 87, 218-237.
- Bumbacher, E., Salehi, S., Wieman, C., & Blikstein, P. (2017). Tools for Science Inquiry Learning: Tool Affordances, Experimentation Strategies, and Conceptual Understanding. *Journal of Science Education and Technology*
- Crawford, B. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, Vol. II* (pp. 515–541). New York, NY: Routledge.
- Duschl, R., & Grandy, R. (2008). Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation. *Sense Publishers*, Rotterdam, Netherlands
- Duit, R., & Treagust, D. (1998). Learning in science: From behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. Fraser & K. Tobin, Eds. *International Handbook of Science Education* (pp. 3-25). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer
- Evangelou, F., & Kotsis, K. (2018). Real vs virtual physics experiments: comparison of learning outcomes among fifth grade primary school students. A case on the concept of frictional force. *International Journal of Science Education*, 41, 1-19. DOI:10.1080/09500693.2018.1549760.
- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., 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. *Phys. Rev. Sp. Top. - Phys. Educ. Res.* 1, p. 1-8
- Hofstein, A., & Lunetta, V. (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88, 28 - DOI:54. 10.1002/sc.10106.
- Jaakkola, T., Nurmi, S., & Lehtinen, E. (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
- Jaakkola, T., & Veermans, K. (2015) Effects of abstract and concrete simulation elements on science learning. *Journal of Computer Assisted Learning* 31:300–313.
- de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340, 305–308.

- Karagianni, C., & Psillos, D. (2022). Investigating the effectiveness of explicit and implicit inquiry-oriented instruction on primary students' views about the non-linear nature of inquiry. *International Journal of Science Education* 44(4): 604-626. [doi:10.1080/09500693.2022.2050486](https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2050486).
- Kuhn, D., Arvidsson, T. S., Lesperance, R., & Corprew, R. (2017). Can engaging in science practices promote deep understanding of them?. *Science Education*, 101(2), 232–250.
- Lefkos, I, Psillos, D, & Hatzikraniotis. E., (2011). Designing experiments on thermal interactions by secondary students in a simulated laboratory environment. *Research in Science & Technological Education* 29(2):189–204.
- Minner, D.D., Levy, A.J., & Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction—What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal Of Research In Science Teaching*, 47(4), 474-496.
- Molohidis, A., Lefkos, I., Taramopoulos, A., Hatzikraniotis, E., & Psillos, D. (2015). Web-based Virtual Labs: A Cosmos-Evidence-Ideas as a Design Framework Leading to Good Practice. In M. Helfert, M. Restivo, S. Zvacek & J. Uhomoihi (Eds.), *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Supported Education* (v.1 pp. 418-423), CSEDU, Lisbon, Portugal.
- Moore, E. B., Chamberlain, J. M., Parson, R., & Perkins, K. K. (2014). PhET interactive simulations: Transformative tools for teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1191–1197.
- National Research Council. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>.
- Olympiou, G., Zacharia, Z., & deJong, T. (2013). Making the invisible visible: Enhancing students' conceptual understanding by introducing representations of abstract objects in a simulation. *Instructional Science*, 41(3), 575–596. <https://doi.org/10.1007/s11251-012-9245-2>
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections* (Vol. 13). London: The Nuffield Foundation
- Psillos, D. (1997). Teaching electricity (invited paper). In: Tiberghien A., Jossem E.L. and Barojas J. (Eds) *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. International Commission on Physics Education, 1997-1998.
- Psillos, D., & Niedderer, H. (2006). Issues and Questions Regarding the Effectiveness of Labwork. In *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 21–30). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-48196-0_4.
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016). Theoretical Issues Related to Designing and Developing Teaching-Learning Sequences. In D. Psillos, P. Kariotoglou (eds.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences*, Springer Science+Business Media Dordrecht 2016.
- Psillos, D. (2023). The Role and Impact of Virtual Laboratories in Physics Teaching and Learning: A Synthesis of Literature. In In M. F.Tasar , P. R. L. Heron (Eds), *The International Handbook of Physics Education Research* (pp. 2-1–2-28.) . New York: AIP Publishing. Doi: [10.1063/9780735425712_002](https://doi.org/10.1063/9780735425712_002)

- Reeves, S., & Crippen, K. (2021). Virtual Laboratories in Undergraduate Science and Engineering Courses: a Systematic Review, 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology*, 30, DOI:10.1007/s10956-020-09866-0.
- Riesen, S., Gijlers, H., Anjewierden, A., de Jong, T., (2018). Supporting learners' experiment design. *Education Tech Research Dev* <https://doi.org/10.1007/s11423-017-9568-4>
- Rocard, M. (2007). *Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe*. EU report on science education_en.pdf. Retrieved 31 January 2011.
- Ruten, N., van Joolingen, W.R., & van der Veen, J.T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education* 58:136–153.
- Sadeh, I., & Zion, M. (2009). The development of dynamic inquiry performances within an open inquiry setting: A comparison to guided inquiry setting. *Journal of Research in Science Teaching* 46:1137–1160.
- Smetana, L., & Bell, R. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34:9, 1337-1370, DOI: 10.1080/09500693.2011.605182
- Strippel, C., & Sommer, S. (2015). Teaching Nature of Scientific Inquiry in Chemistry: How do German chemistry teachers use labwork to teach NOSI?, *International Journal of Science Education*, 37(18): 2965-2986, DOI: 10.1080/09500693.2015.1119330
- Taramopoulos, A., Psillos, D., & Hatzikraniotis, E. (2011). Designing virtual experiments in electric circuits by high school students. *Proceedings of the 9th International Conference of the European Science Education Research Association (ESERA)*, Lyon France, pp 186-190
- Taramopoulos, A., & Psillos, D. (2017). Complex phenomena understanding in electricity through dynamically linked concrete and abstract representations. *Journal of Computer Assisted Learning* 33(2): 151-163
- Taramopoulos, A., & Psillos, D. (2018). The impact of virtual laboratory environments in teaching-by-inquiry electric circuits in Greek secondary education: the ElectroLab project. In *Research on e-learning and ICT in Education: Technological, Pedagogical and Instructional Perspectives*, ed. T. A. Mikropoulos, ch. 17, p. 279, Springer, Switzerland
- Taramopoulos, A., & Psillos, D. (2019). Promoting Representational Fluency through Dynamically Linked Concrete and Abstract Representations in Electric Circuits. *Journal of Science Education and Technology* 28(6):638-650
- Taramopoulos, A., & Psillos, D. (2022). Developing procedural knowledge in secondary education students. *Journal of Physics: Conference Series* doi:10.1088/1742-6596/2297/1/012010
- Tsaparlis, G., & Sevian, H. (2013) (Eds.), *Concepts of matter in science education* (pp. 199–212). Dordrecht: Springer
- Vorholzer, A., Von Aufschnaiter, C. & Boone, W.J. (2020). Fostering Upper Secondary Students' Ability to Engage in Practices of Scientific Investigation: a Comparative

Analysis of an Explicit and an Implicit Instructional Approach. *Res Sci Educ* 50, 333–359 doi.org/10.1007/s11165-018-9691-1

- Wang, T.L., & Tseng, Y.K. (2018). The comparative effectiveness of physical, virtual, and virtual-physical manipulatives on third-grade students' science achievement and conceptual understanding of evaporation and condensation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(2), 203-219. doi:10.1007/s10763-016-9774-2
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967. doi:10.1002/sce.20259
- Worner, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2022). The Best of Two Worlds: A Systematic Review on Combining Real and Virtual Experiments in Science Education. *Review of Educational Research*, DOI: 10.3102/00346543221079417
- Zacharias, Z. C., & Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulatives: Rethinking physics experimentation. *Learning and Instruction*, 21, 317–331.