ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2022)

7ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»

Ανάπτυξη και εφαρμογή δικτυακών μαθησιακών δραστηριοτήτων με το μοντέλο POE σε απλά ηλεκτρικά κυκλώματα, με τη χρήση του υδραυλικού ανάλογου

Αναστάσιος Σαράφογλου, Αναστάσιος Μολοχίδης, Ευριπίδης Χατζηκρανιώτης

Βιβλιογραφική αναφορά:

Σαράφογλου Α., Μολοχίδης Α., & Χατζηκρανιώτης Ε. (2023). Ανάπτυξη και εφαρμογή δικτυακών μαθησιακών δραστηριοτήτων με το μοντέλο POE σε απλά ηλεκτρικά κυκλώματα, με τη χρήση του υδραυλικού ανάλογου. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 0835–0848. ανακτήθηκε από https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/5789

Ανάπτυξη και εφαρμογή δικτυακών μαθησιακών δραστηριοτήτων με το μοντέλο POE σε απλά ηλεκτρικά κυκλώματα, με τη χρήση του υδραυλικού ανάλογου

Σαράφογλου Αναστάσιος[1], Μολοχίδης Αναστάσιος[2], Χατζηκρανιώτης Ευριπίδης[2]
tasossarafog@gmail.com, tasosmol@physics.auth.gr, evris@physics.auth.gr
[1] ΠΜΣ Διδακτική της Φυσικής & Εκπαιδευτική Τεχνολογία, Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ
[2] Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Περίληψη

Η παρούσα εργασία, αποτελεί τμήμα διπλωματικής εργασίας και προσπάθεια ανάπτυξης διδακτικού υλικού με στόχο να ερευνηθεί εάν το διδακτικό μοντέλο POE (Predict-Observe-Explain) και το υδραυλικό ανάλογο μπορεί να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό διδακτικό εργαλείο και να βοηθήσει τους μαθητές στην κατανόηση της λειτουργίας απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν δικτυακές δραστηριότητες με διαδραστικό περιεχόμενο, ενώ για την ανάπτυξη των φύλλων εργασίας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο POE. Περιγράφεται η διαδικασία, η μεθοδολογία, καθώς και τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της έρευνας, μετά από πιλοτική εφαρμογή σε 41 μαθητές της Γ' τάξης του 3ου Γυμνασίου Καβάλας. Επιπλέον δίνονται προτάσεις για ένταξη του υλικού στο σχολικό περιβάλλον.

Λέξεις κλειδιά: υδραυλικό ανάλογο, μοντέλο POE, δικτυακές δραστηριότητες, ηλεκτρικά κυκλώματα

Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια της σχολικής επιστήμης αφορά τον ηλεκτρισμό και τις εφαρμογές του και ενώ ο ηλεκτρισμός είναι συνεχώς παρών στη ζωή μας, οι εμπειρίες που έχουν οι μαθητές από τα ηλεκτρικά φαινόμενα μπορεί να είναι παραπλανητικές και να μην βοηθούν στην κατανόησή του. Οι μαθητές ζουν σε έναν κόσμο τον οποίο αντιλαμβάνονται διαισθητικά, διαμορφώνουν έννοιες και προσπαθούν να συνδέσουν μια έννοια με μια άλλη για να εξηγήσουν τον κόσμο γύρω τους. Για παράδειγμα, μπορεί να σκεφτούν ότι στο απλό κύκλωμα αρκεί ένα μόνο καλώδιο να είναι συνδεδεμένο στην μπαταρία για να ανάψει το λαμπάκι, ή ότι το ηλεκτρικό ρεύμα καταναλώνεται και εξασθενεί καθώς κυκλοφορεί σε ένα κύκλωμα (Χαλκιά, 2012). Βρίσκουν, λοιπόν, τέτοιες (εναλλακτικές) ιδέες χρήσιμες και λειτουργικές στη ζωή τους, οπότε είναι δύσκολο να τις αλλάξουν.

Στην προσπάθεια να βοηθηθούν οι μαθητές στην αλλαγή των εναλλακτικών τους ιδεών και στην κατανόηση της νέας γνώσης, ένα από τα σύγχρονα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών είναι οι αναλογίες (Dikmenli, 2015). Ο αναλογικός συλλογισμός είναι κυρίαρχος στην καθημερινή ομιλία των ανθρώπων και λειτουργεί ως εργαλείο σκέψης και ερμηνείας (Χαριτωνίδης, 2016). Στην διδασκαλία το «υδραυλικό ανάλογο» είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη αναλογία για τη «ροή των ηλεκτρονίων» μέσα σε μεταλλικό αγωγό.

Η παρούσα εργασία, αποτελεί τμήμα διπλωματικής εργασίας και προσπάθεια ανάπτυξης διδακτικού υλικού λαμβάνοντας υπόψη προηγούμενες απόψεις, αντιλήψεις και αδυναμίες των μαθητών. Μετά από βιβλιογραφική έρευνα για τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών του Γυμνασίου, έγινε η σχεδίαση & ανάπτυξη δικτυακών δραστηριοτήτων για την αναδόμηση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών και την οικοδόμηση του επιστημονικού προτύπου για

Παναγιωτακόπουλος, Χ., Καρατράντου, Α., & Αρμακόλας, Σ. (Επιμ.), *Πρακτικά Εργασιών 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»*, σ. 835-848, Τμήμα Επιστημών της Εκπαίδευσης και Κοινωνικής Εργασίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 16-18 Σεπτεμβρίου 2022. ISBN 978-618-83186-7-0.

το ηλεκτρικό ρεύμα σε απλά ηλεκτρικά κυκλώματα, με βάση το υδραυλικό ανάλογο του ηλεκτρικού ρεύματος. Για την ανάρτηση του δικτυακού υλικού επιλέχθηκε η πλατφόρμα μάθησης Graasp (https://graasp.eu), η οποία υποστηρίζει τη συνεργατική μάθηση, τη διερευνητική μάθηση, παρέχει δυνατότητα χρήσης διαδικτυακών εργαστηρίων και πολλών άλλων εργαλείων, ενώ παράλληλα διασφαλίζει την εύκολη συλλογή δεδομένων. Σκοπός της εργασίας ήταν να απαντηθούν δύο ερευνητικά ερωτήματα: α) Αν το υδραυλικό ανάλογο μπορεί να αποτελέσει ένα ερμηνευτικό πλαίσιο ώστε να βοηθήσει τους μαθητές στην κατανόηση της λειτουργίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, και β) Αν το διδακτικό μοντέλο POE μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές στην προσπάθεια τους να κατανοήσουν τις έννοιες και να ολοκληρώσουν τις δραστηριότητες, ή εάν εν τέλει τους δυσκολεύει.

Μοντέλα και αναλογίες για το ηλεκτρικό κύκλωμα

Τα μοντέλα και οι αναλογίες παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στην ανάπτυξη και εξέλιξη των φυσικών επιστημών, όσο και στην διδασκαλία και τη μάθηση της φυσικής (Duit, 1991; Heywood, 2002). Στην περίπτωση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων τα κοινώς αποδεκτά επιστημονικά μοντέλα είναι σε μεγάλο βαθμό αφαιρετικά και κατά συνέπεια απρόσιτα στους μαθητές (Mulhall et al., 2001; Stocklmayer and Treagust, 1994). Καθώς το ηλεκτρικό ρεύμα είναι αόρατο και οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στα κυκλώματα είναι δύσκολο να γίνουν εμφανείς, τα διάφορα ηλεκτρονικά εξαρτήματα αντιπροσωπεύονται από ανάλογα ισοδύναμα. Έτσι, τόσο οι εκπαιδευτικοί όσο και οι συγγραφείς των διδακτικών εγχειριδίων κάνουν χρήση διδακτικών αναλόγων (Dagher, 1995) για να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν νέες και δύσκολες έννοιες (Beall, 1999; Orgill, 2013).

Στα σχολικά εγχειρίδια για την διδασκαλία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, τόσο διεθνώς όσο και στα ελληνικά, συνήθως υιοθετείται το μοντέλο «μεταφοράς των ηλεκτρονίων», που εξηγεί το ηλεκτρικό ρεύμα με όρους όπως η ροή των ηλεκτρονίων σε ένα κύκλωμα (Nardelli 2006, Lofts and Evergreen 2007) με διάφορες αναλογίες όπως «άνθρωποι που κινούνται σε διαδρόμους», ή «αυτοκίνητα σε αυτοκινητόδρομους» για να μπορέσουν να μοντελοποιήσουν αποτελεσματικά την κίνηση των ηλεκτρονίων σε ένα αγωγό, ή ακόμα παραλλαγές όπως «άνθρωποι που μεταφέρουν πακέτα» ή «φορτηγά φορτωμένα», για να βοηθήσουν στη διάκριση μεταξύ του φορτίου και της ενέργειας και να τα μοντελοποιήσουν.

Για μια ολιστική προσέγγιση του ηλεκτρικού κυκλώματος ως σύνολο, και όχι μόνο των επιμέρους στοιχείων του, ο Hewitt (1987) στο βιβλίο του εισηγείται το υδραυλικό ανάλογο, όπου η πηγή μοντελοποιείται με μια αντλία και ο αντιστάτης είναι ένας σωλήνας με στένωση. Η διαφορά πίεσης κατά μήκος του σωλήνα παίζει το ρόλο μιας διαφοράς δυναμικού που προκαλεί τη ροή του «φορτίου», που σε αυτή την περίπτωση είναι το ρευστό. Οι Halliday & Resnick (1988) χρησιμοποιούν το βαρυτικό ανάλογο, όπου μια σειρά από σφαιρίδια κυλούν μεταξύ σημείων διαφορετικής υψομετρικής στάθμης και η πηγή μοντελοποιείται ως ένα ανεβατόρι. Το πλεονέκτημα τόσο του υδραυλικού όσο και του βαρυτικού ανάλογου είναι ότι υπάρχει ένας παραλληλισμός στο μαθηματικό φορμαλισμό ανάμεσα στην κίνηση είτε μιας μάζας σε ένα βαρυτικό πεδίο, είτε του υγρού σε ένα σωλήνα, και της κίνησης των φορτισμένων σωματιδίων σε ένα ηλεκτρικό πεδίο (Hart, 2008). Αυτός ο παράλληλος μαθηματικός φορμαλισμός επιτρέπει την ενοποίηση της εννοιολογικής δομής σε διαφορετικά πεδία Φυσικής, εγκαθιδρύοντας σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος.

Τόσο το υδραυλικό, όσο και το βαρυτικό ανάλογο, έχουν τύχει ευρείας αποδοχής στην εκπαιδευτική κοινότητα, με εικόνες όπου δίπλα-δίπλα βρίσκεται το ανάλογο και το ηλεκτρικό κύκλωμα, με προσομοιώσεις, ή με hands-on πειράματα, όπως για παράδειγμα η 3D εκτύπωση μιας σύνθετης κατασκευής με πολλαπλά επίπεδα (Bodensiek et al., 2019) ή η κατασκευή σύνθετων υδραυλικών ανάλογων (Bobowski, 2020). Βέβαια, η επιτυχής μεταφορά μιας

αναλογίας μεταξύ ενός πεδίου στόχου (ηλεκτρικό κύκλωμα) και ενός πεδίου βάσης (υδραυλικό ή βαρυτικό ανάλογο) επιτυγχάνεται σύμφωνα με τους Gentner & Markman (1997) μέσω μιας διαδικασίας αντιστοίχισης των δομικών στοιχείων (structural alignment and mapping). Δηλαδή, το άτομο πρέπει να ανακαλύψει ποια αντικείμενα και γνωστικά στοιχεία στο πεδίο στόχου έχουν αντιστοιχίες στο πεδίο βάσης. Όταν επιτευχθεί αυτό, επιπρόσθετα μέρη της δομής του πεδίου βάσης αντιστοιχίζονται στη δομή στόχου.

Μεθοδολογία

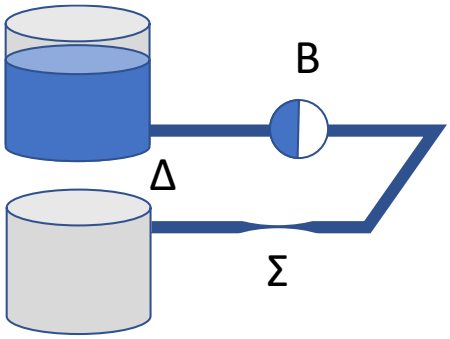
Το δείγμα & τα εργαλεία αποτίμησης

Οι δραστηριότητες αναπτύχθηκαν στην πλατφόρμα Graasp και χορηγήθηκαν στους μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου από το 3ο Γυμνάσιο Καβάλας, οι οποίοι είχαν οικειοθελή και ανώνυμη συμμετοχή. Με βάση τα στατιστικά της πλατφόρμας, 41 μαθητές προσπέλασαν την πλατφόρμα, από τους οποίους 33 ολοκλήρωσαν και τις δυο δραστηριότητες που τους ανατέθηκαν, ενώ 19 μαθητές συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο αποδοχής.

Μέσω της ίδιας πλατφόρμας Graasp έγινε η συλλογή των δεδομένων για τη μαθησιακή επίδοση από τις ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών που υπήρχαν στο τέλος της κάθε δραστηριότητας, ενώ δεδομένα στάσεων συλλέχθηκαν από ερωτηματολόγιο, που τους δόθηκε στο τέλος. Οι ερωτήσεις για το ερωτηματολόγιο αποδοχής αποτελούνται από ερωτήσεις κλειστού τύπου δομημένες σε 5-βάθμια κλίμακα Likert, με διαβάθμιση «καθόλου–λίγο–μέτρια– πολύ–πάρα πολύ». Οι ερωτήσεις βασίστηκαν στο ερωτηματολόγιο SMQII (Glynn et al., 2011) και μεταφράστηκαν στα ελληνικά, διατηρώντας το νόημα των αρχικών.

Ο διδακτικός μετασχηματισμός

Το διδακτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε, περιλαμβάνει μετασχηματισμένη την επιστημονική γνώση σε σχολική με βάση το Μοντέλο της Εκπαιδευτικής Αναδόμησης (MER) (Duit, 2007; Duit et al., 2012). Τα στοιχεία του ηλεκτρικού κυκλώματος αντιστοιχήθηκαν με τα υδραυλικά τους ανάλογα. Το υδραυλικό ανάλογο για ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα παρουσιάζεται στην εικόνα 1. Στο υδραυλικό ανάλογο ένας αντιστάτης μπορεί να αντιστοιχηθεί με ένα σωλήνα που έχει στένωση (Σ), η οποία μειώνει την ροή του νερού, ενώ ο διακόπτης με μια βάνα (Β). Η πηγή σε ένα κύκλωμα, συνήθως αναπαρίσταται με μια αντλία. Όμως, η αντλία νερού χαρακτηρίζεται από το ρυθμό ροής (λίτρα/ώρα), συνεπώς αντιστοιχεί σε πηγή ρεύματος (και όχι σε πηγή τάσης). Μια πηγή ρεύματος παρέχει στο κύκλωμα ρεύμα σταθερής έντασης (π.χ. 100mA), ασχέτως αν συνδεθούν ένας ή περισσότεροι αντιστάτες σε σειρά ή παράλληλα. Στην προσέγγιση μας, η πηγή-μπαταρία αναπαρίσταται με δυο δεξαμενές (πάνω-κάτω), όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Η ύπαρξη δυο μη-συγκοινωνούντων δεξαμενών (Δ) προωθεί την αντιμετώπιση της εναλλακτικής αντίληψης ότι τα ηλεκτρόνια κινούνται *και* μέσα στη μπαταρία (μοντέλο της αλυσίδας του ποδηλάτου) (Nuffield Chelsea Curriculum Trust, 1993). Η επιλογή δυο δεξαμενών είναι πλεονεκτική καθώς το ύψος της στάθμης στην άνω δεξαμενή αντιστοιχεί στην ΗΕΔ της μπαταρίας, ενώ η χωρητικότητα της δεξαμενής αντιστοιχεί στη χωρητικότητα της μπαταρίας (mAh).



Εικόνα 1. Αναπαράσταση του υδραυλικού ανάλογου ενός απλού κυκλώματος

Το πλαίσιο ανάπτυξης των δραστηριοτήτων

Το μοντέλο ADDIE αποτέλεσε το βασικό μεθοδολογικό πλαίσιο για την ανάπτυξη των δραστηριοτήτων. Το μοντέλο ADDIE προδιαγράφεται από 5 γενικές φάσεις εργασίας (από τα αρχικά των οποίων προέρχεται και το όνομά του), την «Ανάλυση» (Analyze), τη «Σχεδίαση» (Design), την «Ανάπτυξη» (Develop), την «Εφαρμογή» (Implement) και την «Αξιολόγηση» (Evaluate) (Branch, 2009).

Σύμφωνα με το μοντέλο στην φάση της «Ανάλυσης» καθορίστηκαν οι διδακτικοί σκοποί, ερευνώντας τα χαρακτηριστικά των μαθητών, τις γνώσεις και τις δεξιότητες που έχουν αναπτύξει, καθώς και τις εναλλακτικές ιδέες που έχουν διαμορφώσει για το συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Παράλληλα ερευνήθηκαν και οι απαιτούμενοι πόροι, όπως το περιεχόμενο προς διδασκαλία, η χρήση της τεχνολογίας και γενικά οι δυνατοί τρόποι παράδοσης του εκπαιδευτικού υλικού. Στην φάση της «Σχεδίασης» καθορίστηκαν οι μαθησιακοί στόχοι, που αφορούν συγκεκριμένα μετρούμενα αποτελέσματα που πρέπει να πάρουμε από τους μαθητές μετά το πέρας μια δραστηριότητας. Ως διδακτικό μοντέλο επιλέχθηκε το μοντέλο POE. Στην φάση της «Ανάπτυξης» έγινε η ενσωμάτωση του περιεχομένου και των στρατηγικών με τα υποστηρικτικά μέσα που επιλέξαμε (πλατφόρμα Graasp). Στην συνέχεια το αναπτυγμένο δικτυακό υλικό δόθηκε ως δοκιμαστική εφαρμογή στους συνεργαζόμενους εκπαιδευτικούς, ώστε από τα δεδομένα και τις παρατηρήσεις τους να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις, πριν την κανονική εφαρμογή της διδασκαλίας. Στην φάση της «Εφαρμογής» έγινε η εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης στο 3ο Γυμνάσιο Καβάλας με εθελοντική συμμετοχή των μαθητών υπό την μορφή εργασίας για το σπίτι. Στην τελευταία φάση της «Αξιολόγησης», γίνεται η συλλογή και η αξιολόγηση των δεδομένων από τους μαθητές.

Το μοντέλο διδασκαλίας POE

Στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών το μοντέλο POE (Predict-Observe-Explain) είναι ένα διδακτικό μοντέλο που χρησιμοποιείται ευρέως και αναφέρεται στην σχετική βιβλιογραφία για περίπου 30 χρόνια (White and Gunstone, 1992). Σε μια δραστηριότητα που έχει σχεδιαστεί βασισμένη στο μοντέλο POE, ζητείται από τους μαθητές να προβλέψουν το αποτέλεσμα μιας επίδειξης (ή βίντεο) και στη συνέχεια να εξηγήσουν τυχόν αποκλίσεις μεταξύ της πρόβλεψης που έκαναν και του αποτελέσματος της παρατήρησης. Το μοντέλο αυτό βοηθά τους μαθητές να αντιπαραθέσουν τις υπάρχουσες γνώσεις και αντιλήψεις τους με τις νέες (Tan, 2005).

Πίνακας 1. Τα Βήματα του εμπλουτισμένου μοντέλου POE

Βήμα	Περιγραφή βήματος/σελίδας	POE
Βήμα 1	Εισαγωγή (Προσανατολισμός)	Engage
Βήμα 2	α: Εισαγωγή στο Πείραμα, Πρόβλημα, ή Ερώτημα β: Εισαγωγή στο υδραυλικό ανάλογο	Problem
Βήμα 3	Πρόβλεψη, με βάση το υδραυλικό ανάλογο	Predict
Βήμα 4	Αιτιολόγηση της Πρόβλεψης με βάση το υδραυλικό ανάλογο	Reason
Βήμα 5	Παρατήρηση του πραγματικού πειράματος	Observe
Βήμα 6	Ερμηνεία της Παρατήρησης με βάση το υδραυλικό ανάλογο	Explain
Βήμα 7	Σύγκριση της Πρόβλεψης–Παρατήρησης και Αιτιολόγησης–Ερμηνείας	Compare
Βήμα 8	Προσομοίωση και ερμηνεία με βάση την προσομοίωση	Simulate
Βήμα 9	Παροχή της επιστημονικής ερμηνείας	Scientific
Βήμα 10	Ανακεφαλαίωση & Ερωτήσεις αξιολόγησης	Summary

Για την ανάπτυξη των φύλλων εργασίας χρησιμοποιήθηκε μια εμπλουτισμένη μορφή του διδακτικού μοντέλου POE, η οποία περιλαμβάνει συνολικά 10 βήματα (Πίνακας 1). Το 1ο βήμα του μοντέλου είναι η «Εισαγωγή–Προσανατολισμός» (Engage), στο οποίο γίνεται μια μικρή εισαγωγή πάνω στο θέμα που διαπραγματεύεται η δραστηριότητα, ώστε να κινηθεί το ενδιαφέρον των μαθητών. Μετά την εισαγωγή ακολουθεί το 2ο βήμα του μοντέλου, η «Εισαγωγή στο Πείραμα, Πρόβλημα, ή Ερώτημα» (Problem). Σε αυτό το βήμα γίνεται η εισαγωγή στο πείραμα ή πρόβλημα, συνδέοντάς το με τα όσα αναφέρθηκαν στο προηγούμενο βήμα, ενώ παράλληλα γίνεται και η «Εισαγωγή στο υδραυλικό ανάλογο». Το 3ο βήμα είναι η «Πρόβλεψη» (Predict), στο οποίο ζητείται από τους μαθητές να προβλέψουν την εξέλιξη σε ένα πολύ συγκεκριμένο πείραμα (ή πρόβλημα). Σκοπός είναι η ανάδειξη της υπάρχουσας άποψης του μαθητή. Στη συνέχεια στο 4ο βήμα που είναι η «Αιτιολόγηση» (Reason), οι μαθητές καλούνται να αιτιολογήσουν την πρόβλεψή τους (Sassi and Vicentini., 2008). Το 5ο βήμα είναι η «Παρατήρηση» (Observe), π.χ. ενός πειράματος. Η παρατήρηση, χωρίς να λέει ποια είναι η σωστή απάντηση, υποδεικνύει αναλυτικά τον τρόπο με τον οποίο θα οδηγηθούν οι μαθητές σε αυτήν. Το 6ο βήμα είναι η «Ερμηνεία» (Explain) του αποτελέσματος της παρατήρησης. Οι μαθητές καλούνται να εξηγήσουν αυτό που παρατήρησαν, δείχνοντας αν απέκτησαν την επιθυμητή γνώση (Liew, 2004). Στο 7ο βήμα γίνεται η «Σύγκριση» (Compare) της «Πρόβλεψης–Παρατήρησης» και της «Αιτιολόγησης–Ερμηνείας», ώστε μέσα από αυτή την σύγκριση να αναστοχαστούν οι μαθητές και να οδηγηθούν είτε στην επιβεβαίωση είτε στην εννοιολογική αλλαγή. Στο 8ο βήμα εισάγεται η «Προσομοίωση» (Simulate). Στο βήμα αυτό οι μαθητές προσπαθούν να κατασκευάσουν στο περιβάλλον της προσομοίωσης τα πειράματα που παρατήρησαν και να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματα με βάση την προσομοίωση. Στο 9ο βήμα γίνεται η «Παροχή της επιστημονικής ερμηνείας» (Scientific), ενώ το 10ο βήμα περιλαμβάνει την «Ανακεφαλαίωση & τις Ερωτήσεις αξιολόγησης» (Summary).

Αποτελέσματα και συζήτηση

Σχεδίαση & Ανάπτυξη του διδακτικού υλικού

Το υδραυλικό ανάλογο αναπτύχθηκε με βάση τα 4 στάδια της διαδικασίας αντιστοίχισης των δομικών στοιχείων (Gentner and Markman, 1997), σύμφωνα με την οποία, οι μαθητές πρέπει να εισαχθούν σταδιακά και να ανακαλύψουν ποια γνωστικά στοιχεία και σχέσεις του ηλεκτρικού κυκλώματος έχουν αντιστοιχίες με το συγκεκριμένο υδραυλικό ανάλογο. Στον πίνακα 2 φαίνονται τα βήματα του εμπλουτισμένου διδακτικού μοντέλου POE που ενσωματώνονται σε κάθε δραστηριότητα, καθώς και το αντίστοιχο στάδιο της διαδικασίας αντιστοίχισης των δομικών στοιχείων των Gentner and Markman.

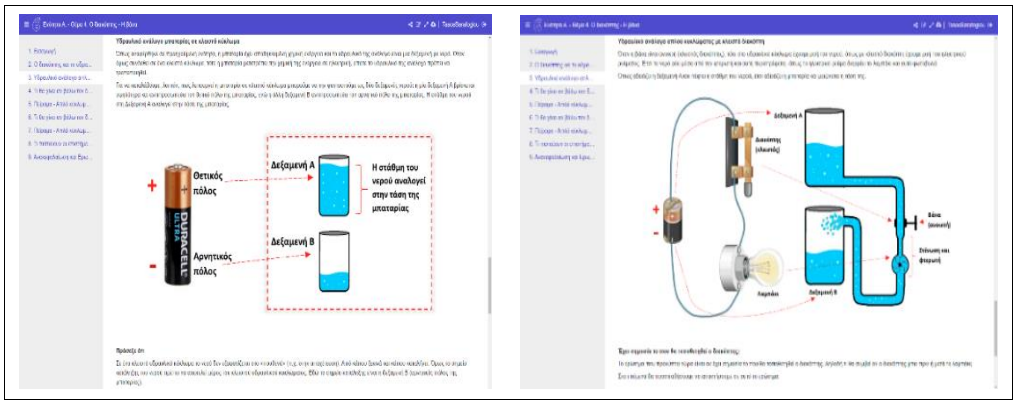
Πίνακας 2. Βήματα του εμπλουτισμένου διδακτικού μοντέλου POE ανά δραστηριότητα

Ενότητα	Θέμα (δραστηριότητα)	Βήματα του εμπλουτισμένου μοντέλου POE										Στάδιο G-M*
		ENG	PROB	P	R	O	E	COMP	SIM	SCIE	SUM	
Α	Μπαταρία–Δεξαμενή	X	X	X			X			X	X	1ο
	Λαμπάκι–στένωση+φτερωτή	X	X	X			X			X	X	
	Καλώδιο–σωλήνας	X	X	X	X		X			X	X	2ο
	Διακόπτης – βάνα	X	X	X	X	X	X			X	X	
Β	Σύνδεση σε σειρά	X	X	X	X	X	X		X	X	X	3ο
	Σύνδεση παράλληλα	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
Γ	Μεικτή σύνδεση: ένα λαμπάκι σε σειρά με δυο παράλληλα	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4ο
	Μεικτή σύνδεση: δυο λαμπάκια σε σειρά με ένα παράλληλα	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

* Στάδιο κατά Gentner and Markman

Σύμφωνα με το πλαίσιο των Gentner and Markman, στο 1ο στάδιο γίνεται η «*ενεργοποίηση ενός δυνητικού βασικού γνωστικού στοιχείου*» και περιγράφονται οι στόχοι που θα επιτευχθούν με την χρήση της αναλογίας. Στη συνέχεια στο 2ο στάδιο ξεκινά η «*πρόβλεψη τοπικών αντιστοιχιών*», δηλαδή η διαδικασία της αντιστοίχισης των δομικών στοιχείων, υποθέτοντας αντιστοιχίσεις ανάμεσα σε αντικείμενα ή ιδιότητες, ή άλλους συσχετισμούς. Έτσι οι μαθητές προσπαθούν να δημιουργήσουν νοητικούς συνδετικούς κρίκους, ώστε να κατανοήσουν αυτούς τους συσχετισμούς και σταδιακά να χτίσουν το δίκτυ της γνώσης. Έπειτα στο 3ο στάδιο γίνεται η «*σύνδεση σε μια κεντρική αντιστοιχία*», έτσι τα μεμονωμένα αντικείμενα και οι συσχετισμοί διασυνδέονται περαιτέρω και δημιουργείται μια πιο κεντρική αντιστοιχία μεταξύ τους, ώστε ο μαθητής μέσω του υδραυλικού ανάλογου να μπορεί να αναγνωρίσει την αντιστοίχιση των αντικειμένων ή ιδιοτήτων με το ηλεκτρικό κύκλωμα. Στο τελευταίο στάδιο «*συναγωγές & συναγόμενα*» αναδεικνύονται τα οφέλη της αναλογικής σκέψης και οικοδομείται

μια ισχυρή δομική διασύνδεση μεταξύ του υδραυλικού ανάλογου ως ερμηνευτικού πλαισίου για το ηλεκτρικό κύκλωμα (Paatz et al., 2004).



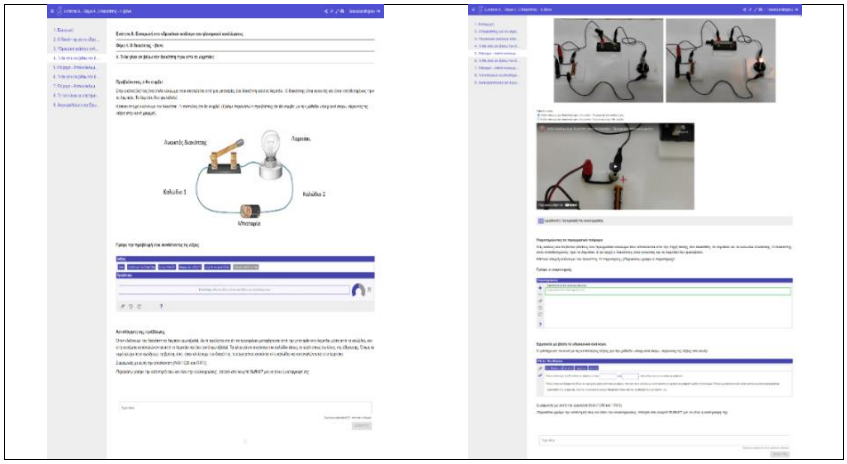
Εικόνα 2. Στιγμιότυπα όπου φαίνονται δυο διαφορετικά στάδια της διαδικασίας αντιστοίχισης των δομικών στοιχείων σύμφωνα με τους Gentner & Markman.

Το υλικό που αναπτύχθηκε αποτελείται από τρεις Ενότητες που συνολικά περιλαμβάνουν οκτώ «Θέματα» (δραστηριότητες), τέσσερα από τα οποία ανήκουν στην Ενότητα Α, δύο στην ενότητα Β και δύο στην ενότητα Γ. Σε κάθε Θέμα των Ενοτήτων Α και Β υιοθετούμε δύο συνεχόμενους κύκλους ΡΟΕ με τα συστατικά της μεθόδου να εισάγονται σιγά-σιγά (κλιμακωτά). Σε κάθε θέμα της Ενότητας Γ υιοθετούμε ένα κύκλο ΡΟΕ, ενώ προστίθεται το Βήμα της Σύγκρισης της «Πρόβλεψης–Παρατήρησης» και «Αιτιολόγησης–Ερμηνείας». Στον Πίνακα 3 αναφέρονται τα στοιχεία του μοντέλου ΡΟΕ που εμφανίζονται σε κάθε ενότητα.

Πίνακας 3. Ενότητες και στοιχεία του διδακτικού μοντέλου ΡΟΕ

Ενότητα	Στοιχεία του μοντέλου ΡΟΕ που εμφανίζονται σε κάθε ενότητα
Ενότητα Α	Στην Ενότητα Α επιχειρείται η αντιστοίχιση των στοιχείων του απλού ηλεκτρικού κυκλώματος με του υδραυλικού ανάλογου και η εισαγωγή των μαθητών στην άγνωστη διαδικασία του μοντέλου ΡΟΕ. Τα συστατικά του μοντέλου εισάγονται σιγά-σιγά και η εισαγωγή στο Graasp γίνεται σταδιακά. Στην 4η δραστηριότητα, εφαρμόζεται για πρώτη φορά ο πλήρης κύκλος Πρόβλεψη-Αιτιολόγηση-Παρατήρηση-Ερμηνεία.
Ενότητα Β	Στην Ενότητα Β γίνεται εισαγωγή του υδραυλικού ανάλογου για την σύνδεση σε σειρά ή παράλληλα και επιχειρείται η πλήρης εφαρμογή της μεθόδου με στόχο την εμπέδωση της. Η χρήση του Graasp γίνεται με περισσότερα βήματα (προσθήκη της προσομοίωσης ηλεκτρικών κυκλωμάτων «Electrical Circuit Lab»).
Ενότητα Γ	Στην Ενότητα Γ γίνεται εμπέδωση του ηλεκτρικού κυκλώματος με την βοήθεια του υδραυλικού ανάλογου για τις δυο περιπτώσεις της μεικτής σύνδεσης. Οι μαθητές έχουν (πλέον) ευχέρεια εφαρμογής του μοντέλου ΡΟΕ και άνεση χρήσης του Graasp. Παράλληλα εισάγεται και το βήμα της σύγκρισης για Πρόβλεψη-Παρατήρηση και Αιτιολόγηση-Ερμηνεία.

Για την δημιουργία του δικτυακού υλικού χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα του Graasp. Στους μαθητές του Γυμνασίου Καβάλας δόθηκαν δύο δραστηριότητες (Θέματα) από την Ενότητα Α. Στις Εικόνες 2 και 3 φαίνονται χαρακτηριστικά στιγμιότυπα από το «*Θέμα 4. Ο διακόπτης - Η βάνα*» της Ενότητας Α. Στην Εικόνα 2 φαίνονται στιγμιότυπα από το Βήμα της «Εισαγωγής στο Υδραυλικό Ανάλογο», αριστερά παρουσιάζεται η μπαταρία ως σύστημα δύο δεξαμενών με νερό, ενώ στο στιγμιότυπο δεξιά φαίνεται το απλό ηλεκτρικό κύκλωμα και το αντίστοιχο υδραυλικό του ανάλογο. Στην Εικόνα 3 φαίνονται στιγμιότυπα του πρώτου από τους δύο κύκλους POE, αριστερά φαίνεται το Βήμα της «Πρόβλεψης-Αιτιολόγησης» (Predict-Reason) και δεξιά το Βήμα της «Παρατήρησης-Ερμηνείας» (Observe-Explain).



Εικόνα 3. Στιγμιότυπα του κύκλου POE, Predict-Reason (αριστερά) και Observe-Explain (δεξιά).

Μαθησιακά αποτελέσματα

Όπως αναφέρθηκε στην 1η δραστηριότητα της Ενότητας Α με «*Θέμα 1. Η Μπαταρία – Δεξαμενή*» συμμετείχαν 41 μαθητές, ενώ την 2η δραστηριότητα με «*Θέμα 4. Ο διακόπτης - Η βάνα*» ολοκλήρωσαν 33 από τους μαθητές. Στα δεδομένα που προέκυψαν έγινε περιγραφική ανάλυση. Οι Πίνακες 4 και 5 δείχνουν τον αριθμό των μαθητών που έδωσαν σωστή απάντηση

Πίνακας 4. Αριθμός σωστών απαντήσεων των μαθητών σε θέματα γνώσεων από το «Θέμα 1. Η Μπαταρία – Δεξαμενή»

Ερωτήσεις αξιολόγησης	Σωστό
1. Η μπαταρία είναι: ……..	29 (71 %)
2. Η μπαταρία έχει αποθηκευμένη: ……..	34 (83 %)
3. Ποιο είναι το υδραυλικό ανάλογο μιας μπαταρίας;	36 (88 %)
4. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά μια μπαταρίας;	35 (85 %)
5. Ποια είναι η διαφορά ανάμεσα σε μια μπαταρία ΑΑ και μια ΑΑΑ;	33 (80 %)
6. Ποιο κοινό χαρακτηριστικό έχουν μια μπαταρία ΑΑ και μια ΑΑΑ;	33 (80 %)
7. Τι συμβαίνει όταν αδειάζει μια μπαταρία;	27 (66 %)

στις ερωτήσεις αξιολόγησης στο τέλος εκάστης δραστηριότητας. Και στις δύο δραστηριότητες οι μαθητές εμφανίζουν υψηλά ποσοστά σωστών απαντήσεων κατά μέσο όρο. Παράλληλα, από την ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών μπορέσαμε να εξάγουμε και τυχόν εναλλακτικές αντιλήψεις ή αδυναμίες τους. Για παράδειγμα, στην 2η Ερώτηση της 1ης δραστηριότητας, αν και 34 μαθητές απάντησαν σωστά ότι η μπαταρία έχει αποθηκευμένη «χημική ενέργεια», όμως 5 μαθητές έδωσαν ως απάντηση την «ηλεκτρική ενέργεια», ενώ 2 έδωσαν ως απάντηση την «ποσότητα ηλεκτρονίων».

Πίνακας 5. Αριθμός σωστών απαντήσεων των μαθητών σε θέματα γνώσεων από το «Θέμα 4. Ο διακόπτης - Η βάνα»

Ερωτήσεις αξιολόγησης	Σωστό
1. Σε ένα απλό κύκλωμα με τον διακόπτη ελέγχουμε την ……..	29 (88 %)
2. Ποιο είναι το υδραυλικό ανάλογο ενός διακόπτη;	31 (94 %)
3. Στο απλό κύκλωμα πού πρέπει να τοποθετηθεί ο διακόπτης;	26 (79 %)
4. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός τότε το κύκλωμα ……	23 (70 %)
5. Όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός τότε το κύκλωμα …..	24 (73 %)
6. Ο κλειστός διακόπτης αντιστοιχεί σε ……	24 (73 %)
7. Ο ανοικτός διακόπτης αντιστοιχεί σε ……	26 (79 %)
8. Όταν λέμε «σβήσε το φως» στην πραγματικότητα εννοούμε να …..	27 (82 %)
9. Στο υδραυλικό ανάλογο οι σωλήνες έχουν πάντα νερό ή αδειάζουν όταν κλείνουμε την βάνα;	20 (61 %)

Αποτελέσματα αποδοχής

Μετά την ολοκλήρωση των δύο δραστηριοτήτων, δόθηκε στους μαθητές το ερωτηματολόγιο αποδοχής, το οποίο συμπλήρωσαν 19 από αυτούς. Ο Πίνακας 6 δείχνει τις μέσες τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις για τις ερωτήσεις των εξεταζόμενων πέντε παραγόντων στο ερωτηματολόγιο αποδοχής. Ο συντελεστής αξιοπιστίας Cronbach alpha ήταν α=0,733, υποδεικνύοντας ικανοποιητική εσωτερική συνάφεια του ερωτηματολογίου. Οι ερωτήσεις της 1ης ομάδας δεν εξετάζουν κάποιον συγκεκριμένο παράγοντα, αφού δίνουν στοιχεία σχετικά με το φύλο του μαθητή, ή σχετικά με το αν συνεργάστηκε ή όχι με τους συμμαθητές του για την συμπλήρωση των δραστηριοτήτων ή των ερωτήσεων αξιολόγησης. Οι ερωτήσεις 2.1 και 2.3 της 2ης ομάδας εξετάζουν την στάση των μαθητών ως προς το υδραυλικό ανάλογο. Η ερώτηση 2.1 εξετάζει εάν το υδραυλικό ανάλογο ως εργαλείο βοήθησε τους μαθητές, ενώ η ερώτηση 2.3 είναι ακριβώς αντίθετη και εξετάζει αν το υδραυλικό ανάλογο δυσκόλεψε τους μαθητές. Ουσιαστικά πρόκειται για την ίδια ερώτηση, οπότε συμπεριλάβαμε στον Πίνακα 6 μόνο την Ερώτηση 2.1. Ομοίως πράξαμε και για τις ερωτήσεις 3.1 και 3.3 της 3ης ομάδας, που εξετάζουν την στάση των μαθητών ως προς το μοντέλο ΡΟΕ. Οι ερωτήσεις 4.1, 4.2 και 4.3 της 4ης ομάδας εξετάζουν τα «Εσωτερικά κίνητρα» ως προς την Φυσική και το αν οι μαθητές την βρίσκουν χρήσιμη για να εξηγήσουν φαινόμενα που παρατηρούν στην καθημερινή τους ζωή. Η 5η ομάδα των ερωτήσεων εξετάζει δύο παράγοντες. Οι ερωτήσεις 5.1 και 5.2 αφορούν τον παράγοντα της «Αυτοδιάθεσης», δηλαδή το πόσο πολύ προσπαθούν οι μαθητές για να μάθουν Φυσική, ενώ η ερώτηση 5.3 αφορά τον παράγοντα της «Αυτοαποτελεσματικότητας», δηλαδή το πόσο σίγουροι είναι οι μαθητές για την επίδοσή τους σε τεστ Φυσικής.

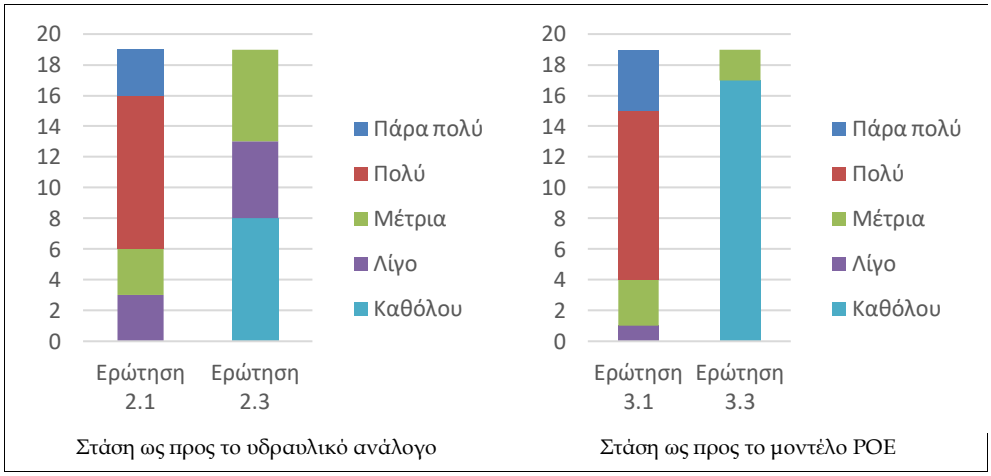
Από τα δεδομένα των ερωτήσεων της 1ης ομάδας του ερωτηματολογίου αποδοχής, προέκυψε ότι από τους 19 μαθητές, 12 ήταν αγόρια και 7 κορίτσια, ενώ 18 μαθητές απάντησαν ότι δεν συνεργάστηκαν με κάποιον συμμαθητή τους για την συμπλήρωση των δραστηριοτήτων ή των ερωτήσεων αξιολόγησης. Στην Εικόνα 4 φαίνονται οι απαντήσεις στις

ερωτήσεις της 2ης και της 3ης ομάδας, σχετικά με το αν τους βοήθησε (2.1) ή τους δυσκόλεψε (2.3) το υδραυλικό ανάλογο, ή σχετικά με το αν τους βοήθησε (3.1) ή τους δυσκόλεψε (3.3) το μοντέλο POE.

Πίνακας 6. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των πέντε Παραγόντων του ερωτηματολογίου (Cronbach-α = 0,733) (N=19)

Ερώτηση	M	SD
Παράγοντας 1: Στάση ως προς το υδραυλικό ανάλογο		
2.1. Σε βοήθησε (σε αυτό) το υδραυλικό ανάλογο;	3,68	0,946
Παράγοντας 2: Στάση ως προς το μοντέλο POE		
3.1. Αυτός ο τρόπος διδασκαλίας σε βοήθησε;	3,95	0,780
Παράγοντας 3: Εσωτερικά κίνητρα (μου αρέσει η Φυσική) (Cronbach-α = 0,821)		
4.1. Το να μαθαίνω για τα φυσικά φαινόμενα και τους νόμους της φυσικής το βρίσκω ενδιαφέρον.	4,37	0,496
4.2. Μου αρέσει να διαβάζω για φυσικά φαινόμενα που δεν καλύπτονται από την ύλη του σχολείου.	4,05	0,621
4.3. Τις γνώσεις φυσικής που μαθαίνω από το σχολείο τις βρίσκω πολύ χρήσιμες για να εξηγήσω φαινόμενα που συναντώ γύρω μου καθημερινά.	4,11	0,737
*Παράγοντας 4: Αυτοδιάθεση (προσπάθεια για τη Φυσική) (Cronbach-α = 0,466)**		
5.1. Ασχολούμαι καθημερινά αρκετές ώρες διαβάζοντας φυσική.	2,74	0,872
5.2. Πριν από ένα διαγώνισμα φυσικής προετοιμάζομαι πάντα καλά, διαβάζοντας πολλές ώρες.	3,95	0,780
Παράγοντας 5: Αυτοαποτελεσματικότητα		
5.3. Είμαι σίγουρος ότι θα έχω καλή επίδοση σε τεστ που αφορούν τις φυσικές επιστήμες.	3,68	0,820

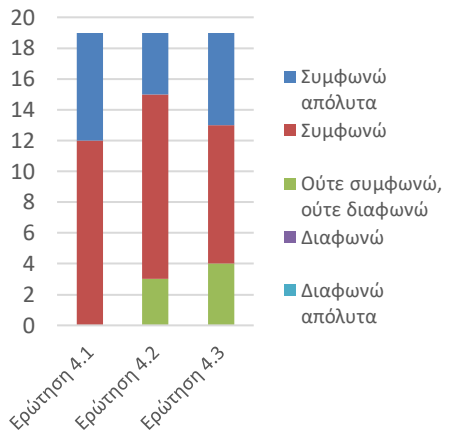
** Η μικρή τιμή του Cronbach-α σε σύγκριση με τις άλλες οφείλεται στον μικρό αριθμό αντικειμένων για τον συγκεκριμένο παράγοντα.*



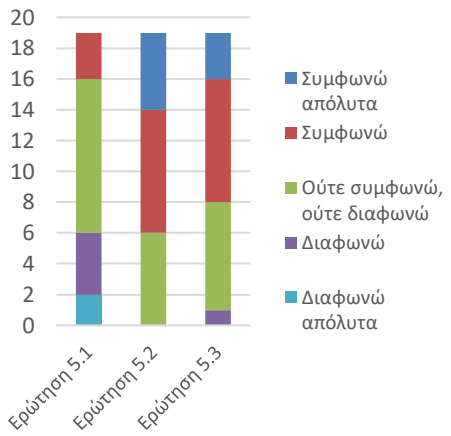
Εικόνα 4. Απαντήσεις στις ερωτήσεις της 2ης και 3ης ομάδας

Στην Εικόνα 5 φαίνονται οι απαντήσεις στις ερωτήσεις της 4ης και της 5ης ομάδας, οι οποίες αφορούν τους παράγοντες «Εσωτερικά κίνητρα», «Αυτοδιάθεση» και «Αυτοαποτελεσματικότητα», όπως αναφέρονται και στον Πίνακα 6. Από την ανάλυση των απαντήσεων

προκύπτει ότι 13 από τους 19 μαθητές θεώρησαν ότι το υδραυλικό ανάλογο τους βοήθησε (πολύ ή πάρα πολύ) και δεν τους δυσκόλεψε, ενώ 15 μαθητές θεώρησαν ότι τους βοήθησε (πολύ ή πάρα πολύ) το μοντέλο POE.



Εσωτερικά κίνητρα (μου αρέσει η Φυσική)



Αυτοδιάθεση (5.1, 5.2) & Αυτοαποτελεσματικότητα (5.3)

Εικόνα 5. Απαντήσεις στις ερωτήσεις της 4ης και 5ης ομάδας

Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην σχεδίαση και πιλοτική εφαρμογή μέρους ενός διδακτικού πακέτου για την εισαγωγή του υδραυλικού ανάλογου ως ερμηνευτικό πλαίσιο για τη λειτουργία του ηλεκτρικού κυκλώματος. Έγινε ο διδακτικός μετασχηματισμός του ηλεκτρικού κυκλώματος στο υδραυλικό ανάλογο και επιλέχθηκε το λαμπάκι στο ηλεκτρικό κύκλωμα να αντιστοιχηθεί με μια φτερωτέ στένωση και η πηγή-μπαταρία να αναπαρασταθεί με δυο μη-συγκοινωνούσες δεξαμενές (πάνω-κάτω). Η επιλογή των δυο δεξαμενών είναι πλεονεκτική καθώς το ύψος της στάθμης στην άνω δεξαμενή αντιστοιχεί στην ΗΕΔ της μπαταρίας, ενώ η χωρητικότητα της δεξαμενής αντιστοιχεί στη χωρητικότητα της μπαταρίας (mAh). Το μοντέλο ADDIE αποτέλεσε το βασικό μεθοδολογικό πλαίσιο για την ανάπτυξη των δραστηριοτήτων, οι αναλογίες αναπτύχθηκαν σύμφωνα με τα 4 στάδια της διαδικασίας αντιστοίχισης των δομικών στοιχείων των Gentner & Markman, ενώ ως μοντέλο διδασκαλίας επελέγη η εμπλουτισμένη εκδοχή του μοντέλου POE.

Οι δραστηριότητες του πακέτου αναπτύχθηκαν στην πλατφόρμα Graasp και χορηγήθηκαν στους μαθητές της Γ΄ Γυμνασίου από το 3ο Γυμνάσιο Καβάλας, οι οποίοι είχαν οικειοθελή και ανώνυμη συμμετοχή. Τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής έδειξαν ότι οι μαθητές και στις δύο δραστηριότητες εμφανίζουν κατά μέσο όρο υψηλά ποσοστά σωστών απαντήσεων, ενώ από την ανάλυση των απαντήσεων του ερωτηματολόγιου αποδοχής προέκυψε ότι οι περισσότεροι θεώρησαν ότι το υδραυλικό ανάλογο και το μοντέλο POE τους βοήθησαν στην κατανόηση του περιεχομένου και την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων.

Η διδακτική μας πρόταση θα μπορούσε να εφαρμοστεί με την μέθοδο της ανεστραμμένης τάξης (flipped classroom), όπου το υλικό θα μοιράζεται στους μαθητές για μελέτη στο σπίτι και στη συνέχεια, στη διδασκαλία θα γίνεται συζήτηση μέσα στην τάξη, ώστε οι μαθητές να

εμπεδώσουν καλύτερα την διδακτέα ύλη και με την βοήθεια του εκπαιδευτικού να λυθούν τυχόν απορίες τους. Η ανεστραμμένη τάξη (Lage et al., 2000) είναι μια μεικτή μέθοδος διδασκαλίας κατά την οποία το διδακτικό υλικό διαμοιράζεται ηλεκτρονικά μέσω του διαδικτύου, με αποτέλεσμα η διαδικτυακή διδασκαλία στο σπίτι να αφήνει περισσότερο χρόνο για βελτιωμένη μάθηση μέσα στην τάξη (Berrett, 2012; Roehl et al., 2013; Tucker, 2012). Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της ανεστραμμένης τάξης πιθανόν να είναι ότι μπορεί να εξασφαλίσει μεγαλύτερο αριθμό συμμετεχόντων μαθητών και να κινήσει το ενδιαφέρον τους.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Beall, H. (1999). The ubiquitous metaphors of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education, 76* (3), 366-368.

Berrett, D. (2012). How 'flipping' the classroom can improve the traditional lecture. *The chronicle of higher education, 12*, 1-14.

Bobowski, J.S. (2020). The Hydraulic Analogues of Basic Circuits: Labs for Online Learning Environments. *arXiv: Physics Education*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.14081

Bodensiek, O., Sonntag, D. A., Glawe, I., & Müller, R. (2019). 3D-printable height models for dc circuits. *Journal of Physics: Conference Series, 1286*(1), 012010. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1286/1/012010

Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. New York, NY: Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6

Dagher, Z.R. (1995). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in Science education. *Science Education, 79* (3), 295-312.

Dikmenli, M. (2015). A study on analogies used in new ninth grade biology textbook. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 16* (1). Retrieved February 20, 2017 from https://www.ied.edu.hk/apfslt/download/v16_issue1_files/dikmenli.pdf

Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education, 75*(6), 649–672.

Duit, R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education, 3*(1), 3-15.

Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a framework for improving teaching and learning science. *In Science Education Research and Practice in Europe*, 13-37. Brill Sense. https://doi.org/10.13140/2.1.2848.6720

Gentner, D., & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist, 52*(1), 45–56. https://doi.org/10.1037/0003-066X.52.1.45

Glynn, S. M., Brickman, P., Armstrong, N., & Taasoobshirazi, G. (2011). Science motivation questionnaire II: Validation with science majors and nonscience majors. *Journal of Research in Science Teaching, 48*(10), 1159-1176. https://doi.org/10.1002/tea.20442

Halliday, D., & Resnick R. (1988). *Fundamentals of physics (3rd ed.)*. New York: Wiley.

Hart, C. (2008). Models in Physics, Models for Physics Learning, and Why the Distinction may Matter in the Case of Electric Circuits. *Res Sci Educ 38*, 529–544. https://doi.org/10.1007/s11165-007-9060-y

Hewitt, P. (1987). *Conceptual physics*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley.

Heywood, D. (2002). The place of analogies in science education. *Cambridge Journal of Education, 32*(2), 233–246.

Lage, M. J., Platt, G. J., & Treglia, M. (2000). Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive learning environment. *The Journal of Economic Education, 31*(1), 30-43.

Liew, C. W. (2004). *The effectiveness of predict-observe-explain technique in diagnosing students' understanding of science and identifying their level of achievement* [Thesis, Curtin University]. https://espace.curtin.edu.au/handle/20.500.11937/2432

Lofts, G., & Evergreen, M. (2007). *Science quest 3 (3rd ed.)*. Milton, Queensland: Jacaranda Wiley.

Mulhall, P., McKittrick, B., & Gunstone, R. (2001). A perspective on the resolution of confusions in the teaching of electricity. *Research in Science Education, 31*, 575–587.

Nardelli, D. (2006). *Science alive 2*. Milton, Queensland: Jacaranda Wiley.

Nuffield Chelsea Curriculum Trust. (1993). *Nuffield primary science: Electricity and magnetism key stage 2 teachers' guide*. London: Collins Educational for Nuffield Chelsea Curriculum Trust.

Orgill, M. (2013). How Effective Is the Use of Analogies in Science Textbooks?. *In M. Swe Khine (Eds.), Critical Analysis of Science Textbooks* (pp. 79-99). Netherlands: Springer Netherlands.

Paatz, R., Ryder, J., Schwedes, H., & Scott, P. (2004). A case study analysing the process of analogy-based learning in a teaching unit about simple electric circuits. *International Journal of Science Education, 26*(9), 1065–1081. https://doi.org/10.1080/1468181032000158408

Roehl, A., Reddy, S. L., & Shannon, G. J. (2013). The flipped classroom: An opportunity to engage millennial students through active learning. *Journal of Family and Consumer Sciences, 105*(2), 44-49.

Sassi, E., Vicentini, M. (2008). Aims and Strategies of Laboratory Work, in Connecting Research in Physics Education with Teacher Education, eds. M. Vicentini and E. Sassi, I.C.P.E. Book.

Stocklmayer, S. M., & Treagust, D. F. (1994). A historical analysis of electric currents in textbooks: A century of influence on physics education. *Science and Education, 3*, 131–154.

Tan, H. T., (2005). *Effects of the Predict-Observe-Explain (POE) method*. University of Sheffield, School of Education.

Tucker, B. (2012). The flipped classroom. *Education Next, 12*(1), 82-83.

White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. London: The Falmer Press.

Χαλκιά, Κ. (2012). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες. Θεωρητικά ζητήματα, προβληματισμοί, προτάσεις*. Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα.

Χαριτωνίδης, Η. (2016). *Η χρήση των αναλογιών ως διδακτικό εργαλείο για την επεξήγηση βασικών εννοιών της φυσικής στην τριτοβάθμια εκπαίδευση* (Μεταπτυχιακή Διατριβή). Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Σχολή Επιστημών της Αγωγής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης. Ιωάννινα.