

Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 14, Αρ. 2 (2026)


Πρακτικά 14ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

14^ο

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
και ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ στην ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες
στην Εποχή της Τεχνητής Νοημοσύνης: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές




Στην μνήμη της Άννας Σπύριου

12-14 Απριλίου 2025

ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, ΑΠΘ
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΑΠΘ

Εργαστήριο Διδακτικής της Φυσικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας,
Τμήμα Φυσικής, Σχολή Θετικών Επιστημών,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

synedrio2025.enepht.gr



Το Πιεζοηλεκτρικό Φαινόμενο ως Εργαλείο Βιωματικής Μάθησης στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

Ευθυμία Αρβανίτου, Νικόλαος Βλαχοστέργιος, Χαρίτων Πολάτογλου

doi: [10.12681/codiste.9912](https://doi.org/10.12681/codiste.9912)

Το Πιεζοηλεκτρικό Φαινόμενο ως Εργαλείο Βιωματικής Μάθησης στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

Ευθυμία Αρβανίτου¹, Νικόλαος Βλαχοστέργιος² και Χαρίτων Πολάτογλου³

¹ΠΜΣ «Διδακτική της Φυσικής και Εκπαιδευτική Τεχνολογία»,

²Μεταπτυχιακός φοιτητής ΠΜΣ «Διδακτική της Φυσικής και Εκπαιδευτική Τεχνολογία»,

^{1,2}Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

³Ομότιμος Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

¹*efarvanit@physics.auth.gr*

Περίληψη

Η εργασία παρουσιάζει μια διδακτική πρόταση για την εισαγωγή μαθητών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη χρήση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου για τη συγκομιδή ενέργειας. Με συνδυασμό της μάθησης μέσω έργων (PBL) και του μοντέλου Predict-Observe-Explain (POE), οι μαθητές διερευνούν πειραματικά το φαινόμενο, αναπτύσσουν κυκλώματα και συνδέουν τη θεωρία με εφαρμογές καθημερινής ζωής. Η πρόταση προάγει την ενεργή συμμετοχή, την κατανόηση θεμελιωδών επιστημονικών εννοιών και την ανάπτυξη δεξιοτήτων, όπως η κριτική σκέψη και η επίλυση προβλημάτων. Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο αναδεικνύεται ως χρήσιμο αντικείμενο εκπαίδευσης για τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη διαχείριση ενέργειας.

Λέξεις κλειδιά: βιωσιμότητα, μάθηση μέσω έργων, πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, συγκομιδή ενέργειας

The Piezoelectric Phenomenon as a Tool of Life Learning in Secondary Education

Efthymia Arvanitou¹ Vlachostergios Nikolaos² and Chariton Polatoglou³

¹PGS "Didactics of Physics and Educational Technology",

²PGS Student, PGS "Didactics of Physics and Educational Technology",

^{1,2}School of Physics, Aristotle University of Thessaloniki

³Emeritus Professor, Aristotle University of Thessaloniki

¹*efarvanit@physics.auth.gr*

Abstract

This work presents a didactical proposal about the introduction of secondary education students to the usage of the piezoelectric phenomenon in energy harvesting. In combination with problem-based learning (PBL) and the model of Predict-Observe-Explain (POE), students investigate experimentally the phenomenon, they are constructing electrical circuits and they connect theory with everyday applications. The proposal promotes the active participation, like critical thinking and problem solving. The piezoelectric effect is highlighted as a useful education theme about the sustainability and energy management.

Keywords: energy harvesting, piezoelectric effect, project-based learning, sustainability

Εισαγωγή

Η συγκομιδή ενέργειας αφορά τη μετατροπή διάχυτης ενέργειας του περιβάλλοντος σε ηλεκτρική, σε μικρή κλίμακα ισχύος (μW έως mW), διαφοροποιούμενη έτσι από την παραδοσιακή παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας (Kazmierski & Beeby, 2011). Η ανάγκη για τέτοιες τεχνολογίες έχει ενισχυθεί από την εξάπλωση των αυτόνομων ασύρματων ηλεκτρονικών συστημάτων, ιδίως των δικτύων ασύρματων αισθητήρων (WSN), τα οποία συλλέγουν κατανεμημένα δεδομένα για περιβαλλοντικές, βιομηχανικές και ασφάλειας εφαρμογές (Clerckx et al., 2018 · Stojmenovic, 2005). Οι εξελίξεις στη μικροηλεκτρονική και στη σχεδίαση συσκευών χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης έχουν επιτρέψει την κατασκευή φορητών ηλεκτρονικών συσκευών (wearables), ενσωματωμένων σε αντικείμενα καθημερινής χρήσης, τα οποία ωστόσο παραμένουν εξαρτώμενα από εξωτερική τροφοδοσία (Stoppa & Chiolerio, 2014). Οι μπαταρίες, αν και ευρέως χρησιμοποιούμενες, παρουσιάζουν περιορισμούς όσον αφορά τη διάρκεια ζωής, την ανάγκη πρόσβασης για αντικατάσταση και τον περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο, ενισχύοντας την ανάγκη για εναλλακτικές λύσεις όπως η συγκομιδή ενέργειας (Kazmierski & Beeby, 2011 · Matteu & Moll, 2005).

Ένα σύστημα συγκομιδής ενέργειας περιλαμβάνει την πηγή, τον μηχανισμό μετατροπής και το φορτίο κατανάλωσης ή αποθήκευσης (Sudevalayam & Kulkarni, 2010). Οι διαθέσιμες πηγές περιλαμβάνουν φυσικές και τεχνητές μορφές ενέργειας όπως η θερμότητα, οι δονήσεις, η ηλιακή ακτινοβολία και η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Rogdakis et al., 2021 · Shaikh & Zeadally, 2016). Η τεχνολογία αυτή εντάσσεται πλέον στον πυρήνα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things), καθιστώντας τη συγκομιδή ενέργειας τομέα αιχμής με ευρύτερες κοινωνικές και περιβαλλοντικές προεκτάσεις. Ως εκ τούτου, η ένταξή της στην εκπαίδευση Φυσικών Επιστημών προάγει τον επιστημονικό εγγραμματισμό. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία προτείνει μια διδακτική προσέγγιση εισαγωγής του θέματος μέσω του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου και του μοντέλου Predict–Observe–Explain (POE), σε μαθητές Β΄ Λυκείου.

Θεωρητικό πλαίσιο

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1880 από τους αδελφούς Curie και βασίζεται στη δημιουργία διαφοράς δυναμικού στην επιφάνεια ενός υλικού υπό την επίδραση μηχανικής τάσης (Manbachi & Cobbold, 2011). Πιεζοηλεκτρικά υλικά όπως ο χαλαζίας και το κεραμικό PZT έχουν υψηλή αποδοτικότητα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές που απαιτούν αυτονομία ενέργειας (Mason, 1981 · Mishra et al., 2019). Οι εφαρμογές του πιεζοηλεκτρισμού είναι ποικίλες, από αισθητήρες σε ιατρικές και βιομηχανικές συσκευές έως την ενσωμάτωσή του σε φορητές τεχνολογίες και συστήματα συγκομιδής ενέργειας από δονήσεις ή ανθρώπινες κινήσεις (Beeby et al., 2006).

Η συγκομιδή πιεζοηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στη μετατροπή της μηχανικής τάσης και των δονήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση πιεζοηλεκτρικών υλικών τα οποία όταν υποβάλλονται σε μηχανική τάση συγκεντρώνουν ηλεκτρικό φορτίο (Beeby et al., 2006). Αρχικά παρατηρείται συσσώρευση φορτίου σε έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο σε σχήμα δίσκου λόγω του άμεσου πιεζοηλεκτρικού φαινομένου, όπου η μηχανική τάση που ασκείται στον κρύσταλλο προκαλεί ηλεκτρική πόλωση. Όταν ένας τέτοιος κρύσταλλος παραμορφώνεται - συνήθως από συμπίεση ή τάση - η εσωτερική ατομική του δομή μετατοπίζεται, με αποτέλεσμα μια καθαρή μετατόπιση θετικών και αρνητικών φορτίων. Αυτή η μετατόπιση δημιουργεί μια ηλεκτρική διπολική ροπή και καθώς πολλά τέτοια δίπολα ευθυγραμμίζονται υπό μηχανική τάση, εμφανίζεται μακροσκοπική πόλωση. Στην περίπτωση ενός δισκοειδούς κρυστάλλου, ο οποίος μοιάζει με επίπεδο κύλινδρο, η πιο συνηθισμένη μηχανική παραμόρφωση προκαλείται με την εφαρμογή μηχανικής τάσης κατά μήκος του άξονα κάθετου στις επίπεδες επιφάνειες. Η μηχανική τάση και η ηλεκτρική μετατόπιση που προκύπτει είναι προς την ίδια κατεύθυνση. Το θετικό φορτίο συσσωρεύεται σε μία επίπεδη κυκλική επιφάνεια του δίσκου και το αρνητικό φορτίο συσσωρεύεται στην αντίθετη

επιφάνεια. Αυτά είναι γνωστά ως συνδεδεμένα επιφανειακά φορτία και δεν είναι ελεύθερα να κινούνται μέσα στον κρύσταλλο, αλλά εκδηλώνονται ως επιφανειακό φορτίο λόγω της εσωτερικής πόλωσης. Τα επιφανειακά φορτία συνήθως συλλέγονται χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια στις επίπεδες επιφάνειες του δίσκου (Manbachi & Cobbold, 2011). Η δυνατότητα συνδυασμού του με μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS) το καθιστά κρίσιμο στοιχείο της βιώσιμης τεχνολογίας. Οι προσπάθειες αξιοποίησης του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου, ιδιαίτερα για την τροφοδότηση δικτύων αισθητήρων, συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από μπαταρίες, προωθώντας παράλληλα την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Kazmierski & Beeby, 2011).

Η μέθοδος Project Based Learning (PBL), σύμφωνα με τους Bransford et al. (2000), ενθαρρύνει την ενεργή συμμετοχή των μαθητών μέσω αυθεντικών προβλημάτων, που συνδέονται με καθημερινά ζητήματα, προάγοντας παράλληλα τη συνεργασία και την κριτική σκέψη. Υπάρχουν διαφορετικές εκδοχές του PBL (Barron et al., 1998, Krajcik et al., 1998), αλλά όλες έχουν τα εξής κοινά: Το PBL χρησιμοποιεί ένα ερώτημα αφόρμησης το οποίο έχει νόημα για τους μαθητές και οδηγεί την εξερεύνηση και διατηρεί τα κίνητρα με την πάροδο του χρόνου. Το σχέδιο δράσης έχει ως αποτέλεσμα αντικείμενα που είναι συγκεκριμένα, απαντούν στο ερώτημα αφόρμησης και είναι το εξαγόμενο μιας ακολουθίας μάθησης. Τέλος, στο PBL, το ερώτημα και το τεχνούργημα έχουν μια αυθεντική σύνδεση με την κοινότητα (Helle et al., 2006). Η μάθηση βάσει έργων μπορεί να εφαρμοστεί στους κλάδους των κοινωνικών σπουδών, της επιστήμης, της τεχνολογίας, της γλωσσικής παιδείας και των μαθηματικών.

Αντίστοιχα, το εκπαιδευτικό μοντέλο Predict – Observe – Explain (POE), περιλαμβάνει τρεις φάσεις: πρόβλεψη, παρατήρηση και εξήγηση, διευκολύνοντας την κατανόηση επιστημονικών εννοιών μέσω πειραματικών δραστηριοτήτων (Nurrahmah & Widyaningrum, 2023). Το φύλλο εργασίας που υποστηρίζει την πρόταση, αναπτύχθηκε με βάση το διδακτικό μοντέλο POE και υποστηρίζεται από ένα κατάλληλα δομημένο αρχείο PowerPoint. Η διαδικασία POE βασίζεται στο κλασικό μοντέλο επιστημονικής έρευνας όπου δηλώνεται μια υπόθεση και δίνονται λόγοι για τους οποίους αυτό μπορεί να είναι αλήθεια, συλλέγονται σχετικά δεδομένα και συζητούνται τα αποτελέσματα (White, 1988). Η διαδικασία αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Πίτσμπουργκ (Champagne et al., 1980) όπου αρχικά χαρακτηρίστηκε ως DOE (Demonstration, Observation and Explanation). Αξιοποιεί παρατηρήσιμα γεγονότα σε πραγματικό χρόνο ως ερεθίσματα για να προκαλέσει τη σκέψη των μαθητών σχετικά με τις έννοιες. Από μια κοινωνική κονστрукτιβιστική προοπτική, η συνεργατική χρήση της στρατηγικής POE προσφέρει στους μαθητές την ευκαιρία να αρθρώσουν επιχειρήματα, να δικαιολογήσουν, να συζητήσουν και να προβληματιστούν σχετικά τόσο με τις δικές τους επιστημονικές απόψεις όσο και αυτές των συνομηλίκων τους και έτσι να διαπραγματευτούν νέες και κοινές έννοιες (Keaney, 2004).

Οι συνδυασμένες μέθοδοι ενσωματώνουν τη διερεύνηση, τη συνεργασία και την επίλυση προβλημάτων, δημιουργώντας ένα μαθησιακό περιβάλλον που προάγει τον επιστημονικό εγγραμματισμό. Το πλαίσιο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες, καθώς οι μαθητές καλούνται να συνδέσουν τη θεωρία με την πράξη, να κατανοήσουν πολυδιάστατα φαινόμενα, όπως το πιεζοηλεκτρικό, και να αναπτύξουν δεξιότητες απαραίτητες για τον 21^ο αιώνα (Geisinger, 2016).

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει το ερευνητικό ερώτημα: Πώς μπορούν να αξιοποιηθούν η διδακτική μέθοδος PBL και το μοντέλο POE για τον σχεδιασμό μιας σειράς δραστηριοτήτων που εισάγουν τους μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο και τις εφαρμογές του στη βιώσιμη ανάπτυξη;

Μεθοδολογία

Η παρούσα εργασία αφορά τον σχεδιασμό διδακτικής πρότασης και όχι την υλοποίησή της σε πραγματικό σχολικό περιβάλλον. Η διδακτική πρόταση παρουσιάστηκε σε μεταπτυχιακούς φοιτητές/τριες και είχαμε ανάδραση που βασίστηκε στην εμπειρία που έχουν, καθώς

αρκετοί/ες φοιτητές/τριες έχουν διδακτική εμπειρία ως εκπαιδευτικοί. Επιπλέον όλες οι συνδεσμολογίες και το τελικό τεχνούργημα της συσκευής συγκομιδής ενέργειας από το περπάτημα πραγματοποιήθηκαν και επαληθεύτηκαν ως προς το εφικτό της κατασκευής και της λειτουργίας τους. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται αφορούν τη θεωρητική ανάπτυξη και τη δομή του σεναρίου, χωρίς την υποστήριξη εμπειρικών δεδομένων.

Η δόμηση των δραστηριοτήτων βασίστηκε σε προσεγγίσεις ενεργητικής μάθησης, συγκεκριμένα στο μοντέλο διερεύνησης PBL και στο μοντέλο POE. Οι δραστηριότητες σχεδιάστηκαν ώστε μέσα από δραστηριότητες διαβαθμισμένης δυσκολία και σύνδεσης με προϋπάρχουσες, να εμπλέκουν ενεργά τους μαθητές στη διερεύνηση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου μέσω κατασκευών και πειραματισμών, ενισχύοντας τη σύνδεση θεωρίας και πράξης.

Χρησιμοποιήθηκαν τα εξής υλικά: λαμπτήρες LED, πιεζοηλεκτρικά στοιχεία, βολτόμετρο, πυκνωτής, δίοδοι, raster, καθώς και υποστηρικτικά εργαλεία, όπως φύλλο εργασίας, παρουσίαση PowerPoint και η προσομοίωση PhET Circuit Construction Kit. Οι μαθητές ενθαρρύνονται, μέσα από κατάλληλα καθοδηγούμενες φάσεις, να κατασκευάσουν κυκλώματα, να παρατηρήσουν τη μετατροπή και αποθήκευση ενέργειας, και να συζητήσουν τη χρησιμότητα του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου στο πλαίσιο της ενεργειακής εκπαίδευσης και της αειφορίας.

Διδακτικοί στόχοι

Εκπαιδευτικός στόχος είναι η σύνδεση της θεωρίας με την πράξη μέσω μαθητοκεντρικών δραστηριοτήτων που ενσωματώνουν στοιχεία φυσικής, ηλεκτρονικής και μηχανικής. Παράλληλα, προωθείται η αξιοποίηση της τεχνολογίας για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας με τη χρήση διόδων και πυκνωτή. Οι διδακτικοί στόχοι της πρότασης είναι:

1. Οι μαθητές να εξοικειωθούν με στοιχεία ηλεκτρονικής όπως το led, δίοδους, και το raster.
2. Να εξερευνήσουν το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.
3. Να εξηγήσουν τη συγκομιδή ενέργειας μέσω του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου.
4. Να κατασκευάσουν κύκλωμα για συγκομιδή ενέργειας από το περπάτημά τους.

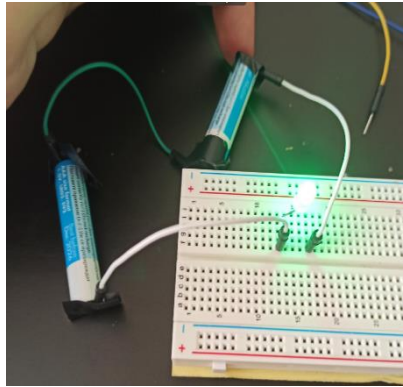
Αποτελέσματα του Διδακτικού Σχεδιασμού

Η διδακτική παρέμβαση αποτελείται από τέσσερις διαδοχικές δραστηριότητες βασιζόμενες σε σαφώς καθορισμένα στάδια που εστιάζουν στη μαθητοκεντρική μάθηση και την πειραματική διερεύνηση. Οι δραστηριότητες στοχεύουν στην κατανόηση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου, της φύσης της παραγόμενης τάσης και της ανάγκης αποθήκευσης ενέργειας. Κάθε δραστηριότητα συνοδεύεται από φύλλα εργασίας, παρουσιάσεις PowerPoint με οδηγίες συνδεσμολογίας, καθοδηγητικές ερωτήσεις και βοηθητικό οπτικό υλικό.

1: Εξοικείωση με το raster και βασική ηλεκτρολογική σύνδεση

Η πρώτη δραστηριότητα έχει εισαγωγικό χαρακτήρα και αποσκοπεί στην εξοικείωση των μαθητών με τη χρήση του raster και την κατασκευή απλών κυκλωμάτων. Μέσω της παρουσίασης, οι μαθητές ενημερώνονται για τη χρήση του raster ως εργαλείο δοκιμών ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Παρέχονται αναλυτικές οδηγίες με σχήματα και εικόνες, ώστε να κατανοήσουν πώς τοποθετούνται σωστά τα εξαρτήματα. Στόχος της δραστηριότητας είναι να κατασκευάσουν ένα απλό κύκλωμα που να τροφοδοτεί έναν μικρό λαμπτήρα LED με τη βοήθεια μπαταρίας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Η επιτυχής ολοκλήρωση της δραστηριότητας τους εξοικειώνει με τα βασικά ηλεκτρονικά στοιχεία και την ασφαλή χρήση τους, προετοιμάζοντάς τους για τις επόμενες πιο σύνθετες δραστηριότητες.

Εικόνα 1. Κύκλωμα εξοικείωσης και γνωριμίας με τον εξοπλισμό



2: Εισαγωγή και διερεύνηση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου

Η δεύτερη δραστηριότητα αποτελείται από δύο μέρη και έχει ως στόχο την πρώτη επαφή των μαθητών με το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Στο πρώτο μέρος, ζητείται από τους μαθητές να συνδέσουν ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο με έναν λαμπτήρα LED και να προβλέψουν τι θα συμβεί αν ασκήσουν πίεση στο στοιχείο. Ακολουθεί η εκτέλεση του πειράματος, όπου παρατηρούν ότι το λαμπάκι ανάβει στιγμιαία. Στη συνέχεια, απαντούν σε ερώτηση πολλαπλής επιλογής για να εξηγήσουν την παρατήρηση, ενισχύοντας τη διατύπωση προσωπικών υποθέσεων και την κατανόηση της σχέσης μεταξύ μηχανικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Εικόνα 2. Κύκλωμα πειραματισμού με το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο και τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού στα άκρα του



Στο δεύτερο μέρος της δραστηριότητας, οι μαθητές διερευνούν περαιτέρω το φαινόμενο μέσω της χρήσης του βολτομέτρου. Συνδέουν το βολτόμετρο στο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο και προβλέπουν την ένδειξη κάθε φορά που ασκείται μηχανική τάση όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2. Αφού καταγράψουν τις παρατηρήσεις, καλούνται να εξηγήσουν με βάση τη θεωρία γιατί εμφανίζεται διαφορά δυναμικού στα άκρα του στοιχείου. Η δραστηριότητα ολοκληρώνεται με ερώτηση σύγκρισης της φωτοβολίας λαμπτήρων όταν αυτοί τροφοδοτούνται από εναλλασσόμενη ή συνεχή τάση. Με τη βοήθεια της προσομοίωσης Circuit Construction Kit: AC - Virtual Lab ([https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab_all.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab_all.html)), κατασκευάζουν δύο κυκλώματα και παρατηρούν τη συμπεριφορά του λαμπτήρα, οδηγούμενοι στο συμπέρασμα ότι το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο παράγει εναλλασσόμενη τάση, η οποία δεν παρέχει συνεχή φωτοβολία.

3: Αναζήτηση τρόπων αποθήκευσης ενέργειας

Η τρίτη δραστηριότητα ξεκινά με ένα ερώτημα πρόβλεψης σχετικά με το πώς θα μπορούσε να αυξηθεί η διάρκεια στη φωτεινότητα του λαμπτήρα. Η σωστή απάντηση σχετίζεται με την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Οι μαθητές έρχονται έτσι σε επαφή με την ανάγκη

αποθήκευσης φορτίου μέσω της χρήσης πυκνωτή. Στο φύλλο εργασίας, τμήμα του οποίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 3, τίθενται ερωτήσεις που τους κατευθύνουν στην κατανόηση του ρόλου του πυκνωτή.

Ακολουθεί πειραματική δραστηριότητα με χρήση της ίδιας προσομοίωσης, όπου οι μαθητές συνδέουν τον πυκνωτή με πηγή συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης, παρατηρώντας σε ποια περίπτωση ο πυκνωτής μπορεί να αποθηκεύσει φορτίο. Μέσα από καθοδηγητικές ερωτήσεις διερευνούν τη διαδικασία φόρτισης του πυκνωτή και τη συμπεριφορά του στο κύκλωμα.

Εικόνα 3. Κατεύθυνση παρατηρήσεων των μαθητών με την ενασχόλησή τους με την προσομοίωση

	Κύκλωμα εναλλασσόμενης τάσης	Κύκλωμα σταθερής τάσης
Ο πυκνωτής μπορεί να φορτιστεί και να παραμείνει φορτισμένος		
Ο πυκνωτής φορτίζεται και αποφορτίζεται συνεχώς		
Αυξάνεται συνεχώς η τάση στα άκρα του πυκνωτή		
Αυξάνεται το φορτίο που αποθηκεύεται στα άκρα του πυκνωτή		

Τέλος, μέσω της παρουσίασης, εισάγονται στην έννοια της διόδου και κατανοούν τη λειτουργία της ως στοιχείου που επιτρέπει την ροή ρεύματος μόνο προς μία κατεύθυνση. Εξετάζουν πώς η συνδυασμένη χρήση πυκνωτή και διόδου επιτρέπει τη μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε κατάλληλη μορφή για αποθήκευση και αξιοποίηση.

4: Τελικό έργο: Κατασκευή κυκλώματος συγκομιδής ενέργειας από το βάδισμα

Η τελευταία δραστηριότητα αποτελεί σύνθεση όλων των προηγούμενων εννοιών, δίνοντας στους μαθητές την ευκαιρία να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους στην κατασκευή ενός πλήρους κυκλώματος συγκομιδής ενέργειας. Αρχικά, ζητείται να προβλέψουν αν με τη χρήση πυκνωτή και διόδου μπορούν να κάνουν ένα λαμπάκι LED (3 V) ή μία ταινία LED (12 V) να φωτοβολήσει. Επίσης να αναλύσουν το συνολικό σύστημα σε επιμέρους συστήματα που το καθένα να έχει μια συγκεκριμένη λειτουργία. Αυτό θα βοηθήσει στην ανάπτυξη της σχεδιαστικής σκέψης, καθώς μπορεί να οδηγήσει στο σχεδιασμό επιπλέον επιμέρους συστημάτων, για παράδειγμα σύστημα με μικροελεγκτή για την καταγραφή της αποθηκευμένης ενέργειας. Ακολουθεί κατασκευή κυκλώματος με χρήση του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου, σύμφωνα με το σχέδιο που παρέχεται στην παρουσίαση, η οποία εξηγεί τον ρόλο κάθε στοιχείου. Με την πειραματική επιβεβαίωση της λειτουργικότητας του κυκλώματος, οι μαθητές ερωτώνται πώς μπορούν να αξιοποιήσουν αυτήν την τεχνολογία στην καθημερινή ζωή. Στην Εικόνα 4 διακρίνονται τα διαθέσιμα υλικά.

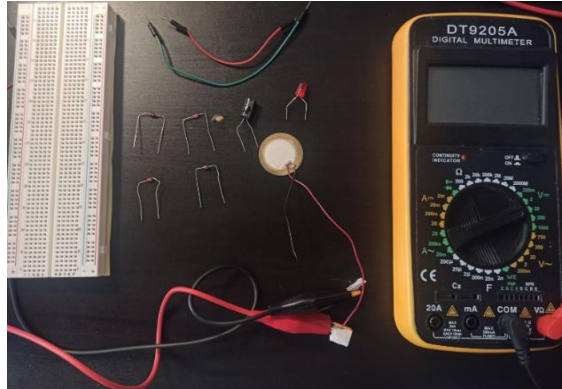
Καλούνται να προτείνουν δραστηριότητες ή εφαρμογές όπου η μηχανική ενέργεια (π.χ. περπάτημα, πίεση από δάχτυλο) θα μπορούσε να μετατραπεί σε ηλεκτρική, οδηγώντας σε ενεργειακή αυτονομία ή βιώσιμες λύσεις, ενισχύοντας ταυτόχρονα τη φαντασία και την περιβαλλοντική συνείδηση.

Τα αναμενόμενα αποτελέσματα μετά την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων είναι οι μαθητές:

1. Να μπορούν να εξηγήσουν τη χρησιμότητα κάθε στοιχείου του κυκλώματος (πιεζοηλεκτρικό στοιχείο, δίοδο, πυκνωτή και led).
2. Να μπορούν να εξηγήσουν τι είναι η συγκομιδή ενέργειας.

3. Να μπορούν να εξηγήσουν τον βασικό μηχανισμό του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου.
4. Να προτείνουν δραστηριότητες της καθημερινότητας στις οποίες μπορεί να αξιοποιηθεί.

Εικόνα 4. Υλικά για την πραγματοποίηση του τελικού κυκλώματος



Συμπεράσματα

Η εργασία παρουσιάζει το σχεδιασμό μιας καινοτόμου διδακτικής προσέγγισης για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, που συνδυάζει το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο με τις μεθόδους PBL και POE. Στόχος είναι η ενεργή εμπλοκή των μαθητών, καλλιεργώντας δεξιότητες όπως η κριτική σκέψη, η συνεργασία και η επίλυση προβλημάτων, παράλληλα με την κατανόηση θεμελιωδών επιστημονικών εννοιών. Η σειρά των δραστηριοτήτων δομήθηκε έτσι ώστε να χτίζει σταδιακά τη γνώση: από την τεχνική εξοικείωση, στην εννοιολογική κατανόηση και τελικά στην εφαρμογή σε πραγματικό πρόβλημα. Η χρήση εργαστηριακού υλικού, προσομοιώσεων και φύλλων εργασίας υποστηρίζει ενεργά τη διερευνητική και συνεργατική μάθηση, αναδεικνύοντας τη φύση της επιστημονικής διερεύνησης και τη σύνδεσή της με την τεχνολογική καινοτομία.

Η σύνδεση της τεχνολογίας με την καθημερινή ζωή και η έμφαση στη βιωσιμότητα καθιστούν το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο δόκιμο διδακτικό αντικείμενο για τις φυσικές επιστήμες. Ο στόχος της εργασίας είναι οι μαθητές, μέσα από την ανάπτυξη πρακτικών δεξιοτήτων και την κατανόηση της σημασίας της τεχνολογίας στη διαχείριση ενεργειακών πόρων, να διαμορφωθούν ως επιστημονικά ενημερωμένοι πολίτες του αύριο (Geisinger, 2016· Mishra et al., 2019). Η διδακτική πρόταση παρουσιάστηκε σε φοιτητές και φοιτήτριες μεταπτυχιακού επιπέδου, οι οποίοι/ες παρείχαν ουσιαστική ανατροφοδότηση, αξιοποιώντας τη διδακτική τους εμπειρία, καθώς αρκετοί/ές είναι ήδη εν ενεργεία εκπαιδευτικοί. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν με επιτυχία όλες οι απαραίτητες συνδεσμολογίες, ενώ το τελικό τεχνούργημα—μια συσκευή συγκομιδής ενέργειας από το περπάτημα—δοκιμάστηκε και επαληθεύτηκε ως προς τη λειτουργικότητα και την υλοποιησιμότητά του. Η συγκεκριμένη πρόταση μπορεί να ενταχθεί οργανικά και στα Εργαστήρια Δεξιοτήτων, ενισχύοντας τις θεματικές ενότητες «Δημιουργώ και Καινοτομώ» και «Φροντίζω το Περιβάλλον». Μέσα από τη βιωματική κατασκευή μιας ενεργειακής καινοτομίας, οι μαθητές αναπτύσσουν δεξιότητες στόχους των εργαστηρίων δεξιοτήτων. Παράλληλα, καλλιεργείται η περιβαλλοντική συνείδηση, καθώς οι μαθητές έρχονται σε επαφή με την ιδέα της αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσα από καθημερινές δραστηριότητες, όπως το περπάτημα. Η εφαρμογή της πρότασης σε σχολικά περιβάλλοντα μπορεί να αποτελέσει αφετηρία για την ανάπτυξη παρόμοιων project-based δραστηριοτήτων που ενισχύουν τον ενεργό ρόλο του μαθητή και συνδέουν τη μάθηση με την πραγματική ζωή.

Βιβλιογραφία

- Barron, B. J., Schwartz, D. L., Vye, N. J., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L., & Bransford, J. D. (1998). Doing with understanding: Lessons from research on problem-and project-based learning. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3-4), 271-311. ISBN: 9781315799285
- Beeby, S. P., Tudor, M. J., & White, N. M. (2006). Energy harvesting vibration sources for microsystems applications. *Measurement Science and Technology*, 17(12), R175. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-0233/17/12/R01>
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Επιμ.). (2000). *How people learn* (τ. 11). Washington, DC: National Academy Press. ISBN 978-0-309-07036-2.
- Champagne, A., Klopfer, L., & Anderson, J. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48(12), 1074-1079. <http://dx.doi.org/10.1119/1.12290>
- Clerckx, B., Zhang, R., Schober, R., Ng, D. W. K., Kim, D. I., & Poor, H. V. (2018). Fundamentals of wireless information and power transfer: From RF energy harvester models to signal and system designs. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 37(1), 4-33. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2018.2872615>
- Geisinger, K. F. (2016). 21st century skills: What are they and how do we assess them?. *Applied measurement in education*, 29(4), 245-249. <https://doi.org/10.1080/08957347.2016.1209207>
- Helle, L., Tynjälä, P., & Olkinuora, E. (2006). Project-based learning in postsecondary education— theory, practice and rubber sling shots. *Higher Education*, 51(2), 287-314. <https://doi.org/10.1007/s10734-004-6386-5>
- Kazmierski, T. J., & Beeby, S. (2011). *Energy harvesting systems: Principles, modeling and applications*. Springer. ISBN 978-1-4419-7565-2.
- Kearney, M. (2004). Classroom use of multimedia-supported predict-observe-explain tasks in a social constructivist learning environment. *Research in science education*, 34, 427-453. <https://doi.org/10.1007/s11165-004-8795-y>
- Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3-4), 313-350, ISBN: 9781315799285
- Manbachi, A., & Cobbold, R. S. (2011). Development and application of piezoelectric materials for ultrasound generation and detection. *Ultrasound*, 19(4), 187-196. <https://doi.org/10.1258/ult.2011.011027>
- Mason, W. P. (1981). Piezoelectricity, its history and applications. *The journal of the Acoustical Society of America*, 70(6), 1561-1566. <https://doi.org/10.1121/1.387221>
- Mishra, S., Unnikrishnan, L., Nayak, S. K., & Mohanty, S. (2019). Advances in piezoelectric polymer composites for energy harvesting applications: a systematic review. *Macromolecular Materials and Engineering*, 304(1), 1800463. <https://doi.org/10.1002/mame.201800463>
- Nurrahmah, A. H., & Widyaningrum, R. (2023). Development of POE (predict-observe-explain) teaching modules to improve students' scientific thinking skills in science subjects. *Annual International Conference on Islamic Education for Students*, 2(1), σ. 1-11. <https://doi.org/10.18326/aicoies.v2i1.542>
- Rogdakis, K., Karakostas, N., & Kymakis, E. (2021). Up-scalable emerging energy conversion technologies enabled by 2D materials: from miniature power harvesters towards grid-connected energy systems. *Energy & Environmental Science*, 14(6), 3352-3392. <https://doi.org/10.1039/DoEE04013D>
- Shaikh, F. K., & Zeadally, S. (2016). Energy harvesting in wireless sensor networks: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 1041-1054. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.010>
- Stojmenovic, I. (Ed.). (2005). *Handbook of sensor networks: algorithms and architectures* (τ. 49). John Wiley & Sons., ISBN: 13978 - 0 - 471 - 68472 - 5
- Stoppa, M., & Chiolerio, A. (2014). Wearable electronics and smart textiles: A critical review. *sensors*, 14(7), 11957-11992. <https://doi.org/10.3390/s140711957>
- Sudevalayam, S., & Kulkarni, P. (2010). Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications. *IEEE communications surveys & tutorials*, 13(3), 443-461. <https://doi.org/10.1109/SURV.2011.060710.00094>