

Η οικοδόμηση ενεργειακών εννοιών από μαθητές γυμνασίου για το σύνθετο τεχνολογικό σύστημα του αυτοκινήτου

Σταυρόπουλος Βασίλειος¹, Λαβίδας Κωνσταντίνος², Κολιόπουλος Δημήτρης³

Περίληψη: Η παρούσα μελέτη αποτελεί τμήμα ευρύτερης ερευνητικής εργασίας η οποία αφορά στην ανάλυση, το σχεδιασμό και την αξιολόγηση μιας διδακτικής παρέμβασης σχετικής με την ενεργειακή προσέγγιση του σύνθετου τεχνολογικού συστήματος του αυτοκινήτου. Η διδακτική παρέμβαση απευθύνεται σε μαθητές του ελληνικού γυμνασίου ηλικίας 12-13 ετών και εντάσσεται στο πλαίσιο μιας ενοποιημένης αντιμετώπισης της επιστήμης, της τεχνολογίας και του περιβάλλοντος. Η εργασία αναφέρεται στις τρεις συνιστώσες της επιδιωκόμενης σχολικής γνώσης (τεχνολογική, επιστημονική, περιβαλλοντική) δίδοντας έμφαση στην επιστημονική συνιστώσα η οποία συνδέεται με την ενεργειακή περιγραφή της κίνησης διαφόρων τύπων αυτοκινήτου. Στη συνέχεια περιγράφονται οι διδακτικοί στόχοι, η δομή και το εννοιολογικό περιεχόμενο της διδακτικής παρέμβασης. Τέλος, παρουσιάζεται μέρος της επεξεργασίας των δεδομένων που έχουν ληφθεί μετά από εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης στην σχολική τάξη. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται στην παρατηρηθείσα γνωστική πρόοδο των μαθητών και ιδιαίτερα στην οικοδόμηση μιας ημι-ποσοτικής ενεργειακής εξήγησης της λειτουργίας του αυτοκινήτου.

Λέξεις κλειδιά: Σύνθετα τεχνολογικά συστήματα, αυτοκίνητο, ενέργεια, περιβάλλον, δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

The construction of energy concepts by middle school students for a complex vehicle technological system

Vassilios Stavropoulos, Konstantinos Lavidas & Dimitris Koliopoulos

Abstract: The present study is part of a broader research work concerning the analysis, design and evaluation of a teaching intervention about a complex technological system (car) from the energy point of view. This teaching intervention is addressed to students of the Greek middle school, aged 12-13 and is part of the broader framework of the unified approach of science, technology and the environment. The research work refers to the three components (technological, scientific and environmental) of the knowledge that students are expected to have mastered, focusing on the science component related to the description of the type of operation different cars perform from an energy perspective. What follows is a description of the objectives, structure and conceptual content of the teaching intervention and finally is presented a part of the analysis of the data obtained after the application of the intervention in class. These data concern the students cognitive progress observed after the application of the intervention, and especially to the construction of a semi-quantitative explanation of the operation of the car from the energy perspective.

Keywords: Complex technological systems, car, energy, environment, secondary education.

¹ Βασίλειος Σταυρόπουλος: Υποψήφιος Διδάκτορας ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών, vasta5@yahoo.gr

² Κων/νος Λαβίδας: ΕΔΙΠ, ΤΕΕΑΠΗ Παν/μίου Πατρών, lavidas@upatras.gr

³ Κολιόπουλος Δημήτρης: Καθηγητής ΤΕΕΑΠΗ Πανεπιστημίου Πατρών, dkoliop@upatras.gr

Εισαγωγή

Πολλές από τις θέσεις που διατυπώνονται τις τελευταίες δεκαετίες σε σχέση με το ζητούμενο επιστημονικό υπόβαθρο των πολιτών και ιδιαίτερα των μαθητικών πληθυσμών, καταλήγουν στην ανάγκη σύγκλισης της επιστημονικής γνώσης με την τεχνολογική με στόχο την διαμόρφωση ενός ενιαίου επιστημονικού και τεχνολογικού αλφαριθμητισμού (Millar & Osborn, 1998; Καρύδας και Κουμαράς, 2002; Layton, 2004; Tala, 2009). Κάτι τέτοιο προϋποθέτει στόχευση της εκπαίδευσης προς αναλυτικά προγράμματα βασισμένα στην παράλληλη προσέγγιση επιστημονικών και τεχνολογικών πεδίων με λειτουργικές αναφορές σε κοινωνικά ζητήματα (Solomon, 1987; Σέρογλου, 2006).

Η παρούσα εργασία επιχειρεί την διερεύνηση των γνωστικών επιπτώσεων σε μαθητές της Α' τάξης του ελληνικού γυμνασίου που δημιουργεί μια διδακτική ακολουθία η οποία έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να συσχετίζει τεχνολογικές γνώσεις (σχετικές με την τεχνολογική υπόσταση του αυτοκινήτου), επιστημονικές γνώσεις (σχετικές με την ενεργειακή εξήγηση της λειτουργίας του) και περιβαλλοντικές γνώσεις (σχετικές με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας του). Το *αυτοκίνητο* αποτελεί ένα συνεχώς εξελισσόμενο σύνθετο τεχνολογικό σύστημα το οποίο μετατρέπει ενέργεια για την λειτουργία του και επηρεάζει, ανάλογα με το είδος του και τον τρόπο κατασκευής του, το *περιβάλλον*. Το περιβαλλοντικό ζήτημα είναι ικανό να κινητοποιήσει το ενδιαφέρον των ηλικιών που στοχεύουμε με τις διδακτικές παρεμβάσεις (Batterham, Stanisstreet, & Boyes, 1996). Από την άλλη μεριά, η *ενέργεια* και οι έννοιες που σχετίζονται με αυτήν (διατήρηση, υποβάθμιση, μετατροπή, βαθμός απόδοσης) είναι ένα ουσιώδες και δύσκολο στην προσέγγισή του επιστημονικό πεδίο. Εδώ και πολλές δεκαετίες έχουν επισημανθεί οι γνωστικές και διδακτικές δυσκολίες που παρουσιάζει το εγχείρημα της διδασκαλίας της έννοιας της ενέργειας ιδιαίτερα στις μικρές ηλικίες (Driver & Millar, 1985; Koliopoulos & Tiberghien, 1986; Lemeignan & Weil-Barais, 1997; Tiberghien, 1996; Domenech et al, 2007; Chen et al, 2014). Έχει επίσης επισημανθεί, ότι ένας κατάλληλος διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής γνώσης σε σχολική γνώση, ακόμη και για πολύ μικρές ηλικίες, είναι οι διάφορες μορφές του μοντέλου των *ενεργειακών αλυσίδων*, (Tiberghien & Megalakaki, 1995; Koliopoulos & Constantinou, 2012; Papadouris & Constantinou, 2016; Delengos & Koliopoulos, 2018). Ελάχιστη, ωστόσο, είναι η συνεισφορά της διεθνούς και ελληνικής βιβλιογραφίας σε σχέση με τις δυσκολίες που παρουσιάζει το εγχείρημα της διδασκαλίας της ενέργειας για σύνθετα τεχνολογικά συστήματα, όπως οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας ή το αυτοκίνητο, ιδιαίτερα στις μικρές ηλικίες. Οι δυσκολίες αυτές εντοπίζονται τόσο στη φύση της σύνθετης αυτής επιδιωκόμενης γνώσης (η οποία εμφανίζει συγχρόνως τεχνολογικά, επιστημονικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά), όσο και στις δυνατότητες και τους περιορισμούς της σκέψης των μαθητών (συστημική σκέψη, γραμμικός αιτιακός συλλογισμός) στους οποίους απευθύνεται η διδασκαλία αυτή (Σταυρόπουλος, Σισσαμπέρη & Κολιόπουλος, 2010).

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται σε τμήμα μιας ευρύτερης ερευνητικής εργασίας η οποία αφορά στην ανάλυση, τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση μιας διδακτικής παρέμβασης για τη διδασκαλία της τεχνολογικής και ενεργειακής προσέγγισης ενός σύνθετου τεχνολογικού συστήματος (του αυτοκινήτου) και η οποία απευθύνεται σε μαθητές του ελληνικού γυμνασίου ηλικίας 12-13 ετών. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία επικεντρώνεται στην *ενεργειακή προσέγγιση* της προτεινόμενης παρέμβασης, περιγράφονται οι στόχοι, η δομή και ορισμένα στοιχεία του περιεχομένου της παρέμβασης, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζεται το μέρος εκείνο της επεξεργασίας των δεδομένων που έχουν ληφθεί μετά από εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης στην σχολική τάξη, το οποίο σχετίζεται άμεσα με την παρατηρηθείσα γνωστική πρόοδο των μαθητών όσον αφορά αποκλειστικά στην σχολική επιστημονική γνώση. Στην ευρύτερη έρευνα αναζητήθηκε και η γνωστική πρόοδος των μαθητών σε σχέση και με τις δύο άλλες διαστάσεις της επιδιωκόμενης σχολικής γνώσης, την τεχνολογική και την περιβαλλοντική γνώση.

Θεωρητικό πλαίσιο

Εδώ και πολλές δεκαετίες, η ενέργεια χαρακτηρίζεται ως έννοια «κλειδί» στη σχολική γνώση για την κατανόηση του φυσικού, βιολογικού και τεχνολογικού κόσμου (Driver & Millar, 1986; Koliopoulos & Tiberghien, 1986; Millar, 2005; Domenech et al, 2007; Chen et al, 2014). Είναι επιστημονικά θεμελιώδης (ιδιαίτερα στα πλαίσια του εννοιολογικού πλαισίου της μακροσκοπικής θερμοδυναμικής), εμπλέκεται σε πολλά πεδία τεχνολογικής εφαρμογής (π.χ., μετακίνηση, διαχείριση ενεργειακών πόρων), ενώ παράλληλα αποκτά μεγάλο κοινωνικό ενδιαφέρον μέσω της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της ανάγκης εξοικονόμησης πόρων (Κολιόπουλος, 2006, 2014). Οι μαθητές χρησιμοποιούν τον όρο στην καθημερινή τους ζωή πριν μάθουν για αυτήν στο σχολείο. Το νόημα, όμως, με το οποίο χρησιμοποιείται η ενέργεια στην καθημερινή ζωή είναι εντελώς διαφορετικό από το νόημα που αποκτά η έννοια στην επιστήμη και στην τεχνολογία. Για παράδειγμα, ειδικότερα στις μικρότερες ηλικίες, οι μαθητές πιστεύουν ότι η ενέργεια σχετίζεται με ανθρώπους και κίνηση, είναι μια ποσότητα σαν καύσιμο που χρησιμοποιείται, ή είναι κάτι που κάνει τα πράγματα να συμβαίνουν και καταναλίσκεται κατά την διαδικασία αυτή. Σπανίως δε θεωρούν πως η ενέργεια είναι μετρήσιμη και υπολογίσιμη ποσοτικά. Η επιστημολογική αυτή διαφορά στη δομή και το περιεχόμενο της έννοιας στην καθημερινότητα και την επιστήμη, φαίνεται να την καθιστά ένα ιδιαιτέρως δύσκολο αντικείμενο διδασκαλίας και μάθησης, ιδιαίτερα στην πρωτοβάθμια αλλά και στις χαμηλότερες βαθμίδες της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Κολιόπουλος, 2014).

Παρ' όλα αυτά, έχει επισημανθεί ότι υπάρχουν διδακτικές προτάσεις με τις οποίες η διδασκαλία μπορεί να προσεγγίσει τη μαθητική σκέψη με τρόπο τέτοιο ώστε οι μαθητές, από πολύ μικρές μάλιστα ηλικίες να μπορούν να οικοδομούν πρόδρομα, ποιοτικά ή ημι-ποσοτικά εξηγητικά μοντέλα για την ενέργεια, υπό την παραδοχή ότι η πραγμάτευση της έννοιας θα συμβεί στα πλαίσια μιας ευρείας θεματικής ενότητας ει δυνατόν συνδεδεμένης οργανικά με ιστορικά, περιβαλλοντικά ή/και κοινωνικά ζητήματα ή προβλήματα. Βασικό όμως στοιχείο μιας τέτοιας προσέγγισης φαίνεται να είναι η χρήση του λεγόμενου εννοιολογικού μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων. Το εννοιολογικό αυτό μοντέλο βασίζεται σε μια δομή που περιλαμβάνει αποθήκευση, μεταφορά, μετασχηματισμό, μέτρηση, διατήρηση και υποβάθμιση ως θεμελιώδεις διακριτές ιδιότητες της έννοιας της ενέργειας (Κολιόπουλος, 2006; Koliopoulos, Aduriz-Bravo & Ravanis, 2012). Αποτελεί μια μορφή διδακτικού μετασχηματισμού της επιστημονικής σε σχολική γνώση που σχετίζεται, κυρίως, με την πλούσια παράδοση της ενεργειακής σύνθεσης και την εμφάνιση της αρχής διατήρησης της ενέργειας κατά τον δέκατο ένατο αιώνα και το εννοιολογικό πλαίσιο της μακροσκοπικής θερμοδυναμικής, ενώ συγχρόνως μπορεί να πάρει διάφορες μορφές ποιοτικής ή/και ποσοτικής αναπαράστασης, όπως οι προ-ενεργειακές αναπαραστάσεις της αλυσίδας αντικειμένων που βασίζονται στη λειτουργία τους και αλυσίδα αντικειμένων με βάση την ενεργειακή διανομή (Lemeignan & Weil-Barais 1997) ή ενεργειακές αλυσίδες που δίνουν έμφαση στην διαφοροποίηση μεταξύ μορφών αποθηκευμένης και μεταφερόμενης ενέργειας (Tiberghien & Megalakaki 1995).

Ένα βασικό πλεονέκτημα του μοντέλου αυτού είναι ότι η εσωτερική δομή του είναι συμβατή με ένα τρόπο σκέψης ο οποίος εμφανίζεται από πολύ μικρές ηλικίες, τον λεγόμενο γραμμικό αιτιακό συλλογισμό. Σε σχετικές έρευνες που πραγματοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια από την Ομάδα «Ενέργεια στην Εκπαίδευση»⁴ του Εργαστηρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών στο ΤΕΕΑΠΗ του Παν/μίου Πατρών έχει παρατηρηθεί ότι, όταν οι μαθητές αρχίσουν να χρησιμοποιούν αυτόν τον τρόπο εξήγησης των φυσικών φαινομένων, ειδικότερα στα επίπεδα της προσχολικής, πρωτοβάθμιας και της χαμηλότερης βαθμίδας της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, είναι σε θέση να οικοδομούν ποιοτικές και έως ένα βαθμό ημι-

⁴ <http://energyineducation.blogspot.com/>

ποσοτικές⁵ εκφράσεις του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων (Koliopoulos & Ravanis, 2000; Κολιόπουλος & Αργυροπούλου, 2010; Sissamberi & Koliopoulos, 2015; Delengos & Koliopoulos, 2018).

Τέλος, υφίστανται απόψεις και ερευνητικά δεδομένα που υποστηρίζουν ότι η σύνδεση της επιστημονικής με την τεχνολογική γνώση είναι δυνατόν να ευνοήσουν την οικοδόμηση ενεργειακών αντιλήψεων σε διάφορες εκπαιδευτικές βαθμίδες. Οι απόψεις αυτές στηρίζονται τόσο στην αντίληψη ότι ο τεχνολογικός αλφαριθμητισμός πρέπει να είναι ένας από τους στόχους της διδασκόμενης σχολικής επιστήμης όπως αναφέρθηκε στην αρχή αυτής της εργασίας, όσο και σε έρευνες σύμφωνα με τις οποίες η διδασκαλία επιστημονικών εννοιών μέσω της τεχνολογίας φαίνεται να εμφανίζει πλεονεκτήματα σε σχέση με τη διδασκαλία επιστημονικών εννοιών εντός του σχετικού «εσωτερικού» επιστημονικού πεδίου διότι οι τεχνολογικο-κεντρικές δραστηριότητες εστιάζουν στην οικοδόμηση στιβαρών τεχνημάτων και αναπαραστάσεων και όχι σε αφηρημένες γνωστικές παρουσιάσεις (Roth, 2001). Παρά τις επιστημολογικές διαφορές που εντοπίζονται στους στόχους, το περιεχόμενο και τις πρακτικές της Τεχνολογίας και της Επιστήμης (Arageorgis & Baltas, 1989), η τεχνολογική και η επιστημονική γνώση στην εκπαίδευση φαίνεται να συσχετίζονται με ποικίλους τρόπους. Η εισαγωγή τεχνολογικής γνώσης και πρακτικών ως κατάλληλου εργαλείου με στόχο την οικοδόμηση επιστημονικών εννοιών είναι ένας εξ αυτών (Layton, 2004). Η εμπλοκή τεχνολογικών θεμάτων στη διδασκαλία της ενέργειας έχει προταθεί ήδη από τη δεκαετία του '80 (Kirwan, 1987), ενώ πιο πρόσφατα έχει βρει πρόσφορο έδαφος ανάπτυξης στο πλαίσιο της STEM εκπαίδευσης (Wendell, 2014) ή στις μη τυπικές μορφές εκπαίδευσης (Powerhouse Museum, 2002), ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται με κοινωνικούς παράγοντες και ειδικά περιβαλλοντικά ζητήματα. Παρ' όλα αυτά, δεν είναι πολλές οι έρευνες που διερευνούν την αποτελεσματικότητα τεχνο-επιστημονικών προσεγγίσεων σχετικών με την έννοια της ενέργειας. Σε μια σειρά πρόσφατων ερευνών που διεξάγονται επίσης στο Εργαστήριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών στο ΤΕΕΑΠΗ του Παν/μίου Πατρών, έχει επισημανθεί ότι μαθητές των ανώτερων βαθμίδων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης είναι σε θέση να οικοδομούν στοιχεία του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων σύνθετων τεχνολογικών συστημάτων όπως είναι τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας ή προσαρμοσμένα τεχνολογικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται σε πανεπιστημιακά εργαστήρια (Sissamberi & Koliopoulos, 2015; Dalara, Vagena, Sissamberi & Koliopoulos, 2019). Η ενεργειακή προσέγγιση του τεχνολογικού συστήματος του αυτοκινήτου είναι από τα λιγότερο μελετημένα θέματα σε ενδιάμεσες εκπαιδευτικές βαθμίδες.

Δομή και περιεχόμενο της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας

Η γνώση που επιδιώκουμε να οικοδομηθεί από τους μαθητές αφορά σε φαινομενολογικά, τεχνολογικά, επιστημονικά και περιβαλλοντικά στοιχεία της γνώσης και των πρακτικών αναφοράς που σχετίζονται με τη λειτουργία του αυτοκινήτου. Πιο συγκεκριμένα επιδιώκεται οι μαθητές: (α) να αναγνωρίζουν και να κατονομάζουν τα εξαρτήματα καθώς και τη λειτουργία τους για ένα συμβατικό και ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο, (β) να περιγράφουν και εξηγούν τη λειτουργία του αυτοκινήτου κάνοντας χρήση της ποιοτικής/ημι-ποσοτικής διάστασης ενός εξηγητικού ενεργειακού μοντέλου (του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων) και (γ) να μπορούν να αντιληφθούν και να καταγράψουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας των αυτοκινήτων σχετίζοντάς τις με το εξηγητικό ενεργειακό μοντέλο.

⁵ Η ποσοτική διάσταση του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων μπορεί να εκφραστεί με διάφορες μορφές όπως με αριθμητικά δεδομένα που προέρχονται από σχετικές μετρήσεις (για παράδειγμα, με ένα σχολικό ή οικιακό μετρητή ενέργειας) ή με μαθηματικές εκφράσεις. Μια από τις μορφές αυτές, η καλούμενη «ημι-ποσοτική», βασίζεται στη χρήση λογικο-μαθηματικών σχέσεων οι οποίες μπορεί να εκφραστούν και με τη φυσική γλώσσα χωρίς την χρήση μαθηματικών.

Η διδακτική ακολουθία που προτείνουμε αποτελείται από οκτώ ωριαία μαθήματα τα οποία αντιστοιχούν σε δύο κύριες διδακτικές ενότητες. Η πρώτη διδακτική ενότητα επικεντρώνεται στην μελέτη του συμβατικού (βενζινοκίνητου) αυτοκινήτου, την δομή του, τα επιμέρους υποσυστήματά του, τα εξαρτήματα και την λειτουργία τους, την ενεργειακή συμπεριφορά του και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας του. Βασικό αντικείμενο γύρω από το οποίο σχεδιάστηκαν οι δραστηριότητες - προβλήματα που ετέθησαν στους μαθητές είναι ένα λειτουργικό αυτοκίνητο μοντελισμού με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η δεύτερη διδακτική ενότητα αφορά στη μελέτη των αντίστοιχων στοιχείων του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Και σε αυτή την περίπτωση το βασικό αντικείμενο είναι ένα μοντέλο ηλεκτρικού αυτοκινήτου αντίστοιχο του συμβατικού. Η διάρθρωση του περιεχομένου της διδακτικής ακολουθίας παρουσιάζεται στον *Πίνακα 1*.

Ωριαία ενότητα	Δραστηριότητα-Πρόβλημα	Τεχνο-επιστημονική γνώση
1η	Ποια είναι τα βασικά μέρη ενός συμβατικού αυτοκινήτου;	Τεχνολογική προσέγγιση (δομή τεχν. συστήματος)
2η	Πως κινείται το συμβατικό αυτοκίνητο;	Τεχνολογική προσέγγιση (λειτουργία τεχν. συστήματος)
3η	Γιατί κινείται το συμβατικό αυτοκίνητο;	Ενεργειακή προσέγγιση (η ενέργεια ως ποιότητα)
4η	Τι θα συμβεί αν ανάψουμε φώτα ή κλιματιστικό όταν το συμβατικό αυτοκίνητο κινείται;	Ενεργειακή προσέγγιση (η ενέργεια ως ποσότητα)
5η	Ποιες είναι οι επιπτώσεις στο περιβάλλον όταν το συμβατικό αυτοκίνητο κινείται; Πως μπορούμε να μειώσουμε τις επιπτώσεις στο περιβάλλον;	- Ενεργειακή προσέγγιση (η ενέργεια ως ποσότητα) - Περιβαλλοντική προσέγγιση
6η	Πότε ένα συμβατικό αυτοκίνητο είναι ενεργειακά αποδοτικό;	Ενεργειακή προσέγγιση (η ενέργεια ως μετρήσιμη ποσότητα) – Απόδοση
7η	Ποιες τεχνολογικές διαφορές διακρίνετε σε ένα ηλεκτρικό σε σχέση με ένα συμβατικό αυτοκίνητο;	Τεχνολογική προσέγγιση (δομή και λειτουργία τεχν. συστήματος)
8η	Ποιες ενεργειακές διαφορές διακρίνετε σε ένα ηλεκτρικό σε σχέση με ένα συμβατικό αυτοκίνητο;	Ενεργειακή προσέγγιση (η ενέργεια ως ποιότητα και ως μετρήσιμη ποσότητα)

Πίνακας 1: Δομή των περιεχομένων της διδακτικής ακολουθίας

Κάθε ωριαίο μάθημα υλοποιείται με την βοήθεια του αντίστοιχου σχεδίου μαθήματος. Κάθε σχέδιο μαθήματος βασίζεται σε μια κύρια «δραστηριότητα- πρόβλημα». Η έννοια της δραστηριότητας-προβλήματος αποτελεί μια εκδοχή διδακτικού μετασχηματισμού της υποθετικο-παραγωγικής εικόνας της επιστήμης και ανήκει στην γαλλόφωνη παράδοση της Διδακτικής των φυσικών επιστημών. Σύμφωνα με την αντίληψη αυτή, οι μαθητές καλούνται να «επιλύσουν» προβλήματα παράγοντας συγχρόνως μια υποθετική γνώση σχετική με το υπό μελέτη αντικείμενο (Κολιόπουλος, 2006). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η υποθετική αυτή γνώση οικοδομείται μέσω μιας τεχνολογικής, μιας επιστημονικής (ενεργειακής) και μιας

περιβαλλοντικής προσέγγισης (3η στήλη πίνακα 1). Η διδασκαλία μέσω δραστηριοτήτων-προβλημάτων είναι απολύτως συμβατή με τη λεγόμενη «διερευνητική» προσέγγιση της διδασκαλίας (inquiry-based teaching). Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιασθεί ένα ενδεικτικό σχέδιο μαθήματος με τη μορφή ερευνητικού πρωτοκόλλου.

Μεθοδολογική προσέγγιση

Η στρατηγική της έρευνας

Στόχος της ευρύτερης έρευνας είναι να διαπιστωθεί αν η διδακτική ακολουθία που περιγράφεται στον πίνακα 1 είναι δυνατόν να οδηγήσει μαθητές της α' γυμνασίου σε γνωστική πρόοδο σχετικά με την τεχνολογική, επιστημονική και περιβαλλοντική προσέγγιση της προτεινόμενης σχολικής γνώσης. Στη συγκεκριμένη εργασία θα περιοριστούμε στην παρουσίαση αποτελεσμάτων που σχετίζονται αποκλειστικά με την επιστημονική (ενεργειακή) προσέγγιση της επιδιωκόμενης σχολικής γνώσης. Ο σχεδιασμός της έρευνας έγινε σύμφωνα με το πρότυπο των προ-πειραματικών ερευνών (Cohen, Manion & Morrison, 2007). Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η επίδραση μιας ανεξάρτητης μεταβλητής (διδακτική ακολουθία) στην εξαρτημένη μεταβλητή (νοητικές παραστάσεις ενός "βολικού" δείγματος μαθητών). Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση άλλων μεταβλητών πέραν της ανεξάρτητης (π.χ. ο εκπαιδευτικός που εφάρμοσε τη διδακτική ακολουθία ήταν ένας εκ των ερευνητών της παρούσας εργασίας σε ένα δείγμα μαθητών που γνώριζαν εκ των προτέρων τη μέθοδο διδασκαλίας του). Επιπλέον υπήρξε πρόβλεψη ώστε να μην συμπέσει χρονικά η διδακτική παρέμβαση με σχετικά αντικείμενα διδασκαλίας άλλων μαθημάτων.

Το δείγμα της έρευνας

Το δείγμα αποτέλεσαν 42 μαθητές και μαθήτριες τεσσάρων τμημάτων της α' Γυμνασίου. Οι μαθητές αν και ανήκαν σε τέσσερα διαφορετικά τμήματα αντιμετωπίστηκαν ως ενιαίο δείγμα αφού είχαν εκτός από το ίδιο πρόγραμμα σπουδών και τον ίδιο διδάσκοντα στα σχετικά προς τη θεματολογία της παρέμβασης μαθήματα (Φυσική, Τεχνολογία). Σε κανένα από τα μαθήματα αυτά δεν υπήρξε αναφορά σε θέματα ενέργειας πριν από τη συγκεκριμένη παρέμβαση.

Η ανεξάρτητη μεταβλητή

Η διδακτική παρέμβαση πραγματοποιήθηκε εμβόλιμα στο μάθημα της Τεχνολογίας της α' Γυμνασίου και προς το τέλος του εκπαιδευτικού έτους (τελευταίο τρίμηνο). Κάθε μια από τις οκτώ ωριαίες ενότητες που αποτελούν την ακολουθία ενοτήτων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υλοποιήθηκε στη βάση ενός σχεδίου μαθήματος. Κάθε σχέδιο μαθήματος μετασχηματίστηκε σε *ερευνητικό πρωτόκολλο*, δηλαδή σε ένα τεχνικό έγγραφο το οποίο ορίζεται από δύο πλαίσια. Το πλαίσιο της πράξης (διδασκαλία) στο οποίο περιγράφονται οι δραστηριότητες του εκπαιδευτικού και οι αναμενόμενες δραστηριότητες των μαθητών και το πλαίσιο της θεωρίας (Διδακτική φυσικών επιστημών) όπου αντιστοιχίζεται αφ' ενός η προτεινόμενη σχολική γνώση και αφ' ετέρου η προσδοκώμενη γνωστική εξέλιξη των μαθητών. Το ερευνητικό πρωτόκολλο είναι συγχρόνως εγχειρίδιο έρευνας και πινακίδα προσανατολισμού του εκπαιδευτικού ο οποίος καλείται να υλοποιήσει την διδακτική παρέμβαση. Καθοδηγεί την διδασκαλία και ταυτόχρονα περιέχει και το πλαίσιο της θεωρητικής εξήγησής της (Tiberghien, 1997; Delengos & Koliopoulos, 2018).

Ένα παράδειγμα ερευνητικού πρωτοκόλλου παρατίθεται στον Πίνακα 2. Πρόκειται για το πρωτόκολλο του ωριαίου μαθήματος 3 το οποίο βασίζεται στη δραστηριότητα - πρόβλημα «Γιατί κινείται το συμβατικό αυτοκίνητο» και πραγματοποιείται μια πρώτη ποιοτική ενεργειακή εξήγηση της κίνησης του συμβατικού αυτοκινήτου.

ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ (ΠΡΑΞΗ)		ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΦΕ (ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ)			
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΜΑΘΗΤΩΝ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΣΧΟΛΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ	ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΣΧΟΛΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΣΧΟΛΙΚΗΣ ΓΝΩΣΗΣ	ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΝΟΗΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ
<p>1. Επιδεικνύει στους μαθητές το τεχνολογικό σχέδιο που αναπαριστά τη δομή των εξαρτημάτων του βενζινοκίνητου αυτοκινήτου και τους ζητά να ονομάσουν εξαρτήματα και λειτουργίες.</p> <p>2. Εστιάζει στο υποσύστημα που εξασφαλίζει την κίνηση στο όχημα και ζητά από τους μαθητές. Τους ζητά να απαντήσουν στην ερώτηση E3 (να εξηγήσουν γιατί κινείται ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο κάνοντας διάκριση μεταξύ "γιατί" και "πώς").</p> <p>3. Συζητά και σχολιάζει τις απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση E3 εστιάζοντας τη συζήτηση στις "προ-ενεργειακές" απαντήσεις των μαθητών.</p> <p>4. Ζητά από τους μαθητές να απαντήσουν στην ερώτηση E4 (κατασκευή αλυσίδας αντικειμένων).</p> <p>5. Συζητά και σχολιάζει τις απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση E4.</p> <p>6. Εισάγει την έννοια της ενεργειακής αλυσίδας ως εξήγησης του φαινομένου της κίνησης ενός βενζινοκίνητου αυτοκινήτου.</p>	<p>1. Να ανακαλέσουν τις γνώσεις τους για τη δομή και τη λειτουργία συστημάτων του βενζινοκίνητου αυτοκινήτου</p> <p>2. Να απαντήσουν γραπτώς στην ερώτηση E3</p> <p>3. Να συμμετέχουν στην από τον εκπαιδευτικό προκαλούμενη συζήτηση</p> <p>4. Να απαντήσουν γραπτώς στην ερώτηση E4</p> <p>5. Να συμμετέχουν στην από τον εκπαιδευτικό προκαλούμενη συζήτηση</p> <p>6. Να σημειώσουν την ενεργειακή εξήγηση της κίνησης ενός αυτοκινήτου καθώς και την συμβολική της αναπαράσταση</p>		Μοντέλο ενεργειακών αλυσίδων (ποιοτική ενεργειακή ή προσέγγιση)		<p>- Ανάδειξη / ενεργοποίηση "προ-ενεργειακών" αντιλήψεων των μαθητών (νοητική παράσταση «λειτουργίας» ή/και «διανομής»)</p> <p>- Ενεργοποίηση του γραμμικού αιτιακού συλλογισμού</p>

Πίνακας 2: Παράδειγμα ερευνητικού πρωτοκόλλου

Η εξαρτημένη μεταβλητή και οι τεχνικές λήψης δεδομένων

Ως εξαρτημένη μεταβλητή εννοούμε την αλλαγή των νοητικών παραστάσεων των μαθητών η οποία προέρχεται από τη σύγκριση ερωτηματολογίων τα οποία δόθηκαν στους μαθητές πριν (προέλεγχος) και μετά (μετέλεγχος) τη συμμετοχή τους στην διδακτική ακολουθία. Ο σχεδιασμός των δύο ερωτηματολογίων έγινε με τρόπο ώστε να καλύπτονται οι διάφορες προσεγγίσεις της επιδιωκόμενης σχολικής γνώσης. Το συνολικό ερωτηματολόγιο προελέγχου περιείχε δεκατρείς ερωτήσεις. Το ερωτηματολόγιο μετελέγχου περιείχε τις δεκατρείς ερωτήσεις του ερωτηματολογίου προελέγχου καθώς και πέντε ακόμη ερωτήσεις (συνολικά δεκαοκτώ ερωτήσεις). Στην παρούσα εργασία θα παρουσιάσουμε αποτελέσματα από οκτώ ερωτήσεις οι οποίες αφορούν αποκλειστικά στην ενεργειακή προσέγγιση της γνώσης. Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιασθούν αποτελέσματα από τέσσερα ζεύγη ομοειδών ερωτήσεων. Το πρώτο ζεύγος (ερωτήσεις 1 και 2) αναφέρεται στην εξήγηση της λειτουργίας των δύο τύπων αυτοκινήτου (συμβατικό βενζινοκίνητο, ηλεκτρικό) που αποτέλεσαν αντικείμενα της διδασκαλίας. Το δεύτερο ζεύγος (ερωτήσεις 3 και 4) αναφέρεται στην ενεργειακή αναπαράσταση με ποιοτικούς όρους της λειτουργίας των δύο παραπάνω τύπων αυτοκινήτου. Το τρίτο ζεύγος (ερωτήσεις 5 και 6) αναφέρεται στην ενεργειακή αναπαράσταση της λειτουργίας δύο τύπων αυτοκινήτου (ηλιακό, υβριδικό) τα οποία δεν αποτέλεσαν αντικείμενα μελέτης της διδακτικής ακολουθίας. Οι ερωτήσεις αυτές σχεδιάστηκαν ώστε να διαπιστωθεί αν οι μαθητές είναι σε θέση να εφαρμόσουν το μοντέλο των ενεργειακών αλυσίδων σε μια άγνωστη φαινομενολογική κατάσταση. Τέλος, το τέταρτο ζεύγος (ερωτήσεις 7 και 8) αναφέρεται στη δυνατότητα να εξηγηθούν κάποιες καταστάσεις στην κίνηση ενός βενζινοκίνητου και ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου με τη χρήση μιας ημι-ποσοτικής ενεργειακής προσέγγισης. Στα αποτελέσματα της έρευνας που παρατίθενται στη συνέχεια, παρουσιάζεται το περιεχόμενο των οκτώ ερωτήσεων.

Τα αποτελέσματα της έρευνας

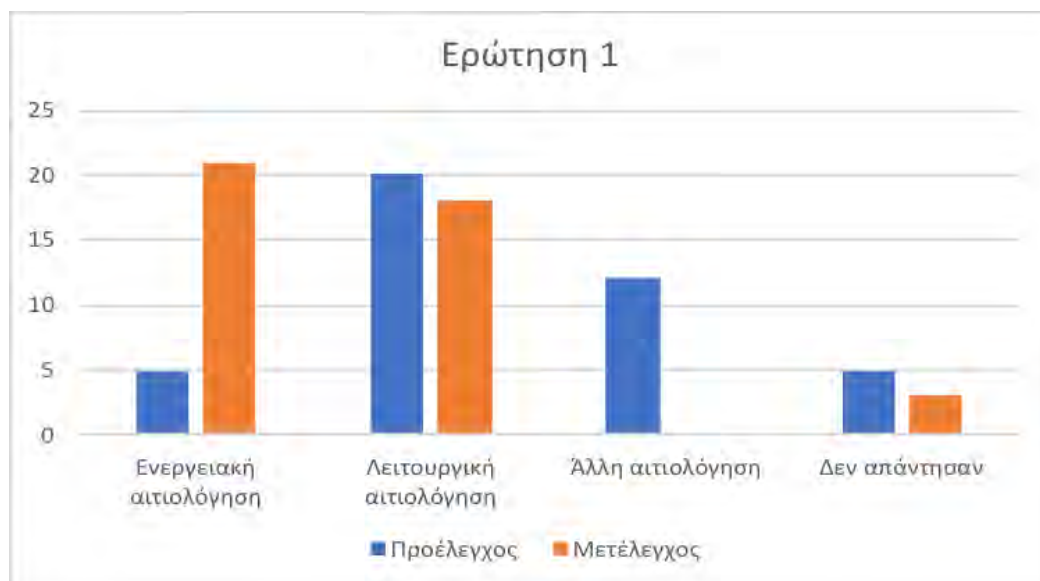
Τα δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία προέρχονται από την ανάλυση των ποσοτικών αποτελεσμάτων (απόλυτες συχνότητες των κατηγοριών που έχουν διαμορφωθεί από τις απαντήσεις των μαθητών), καθώς και από την ποιοτική ανάλυση (περιπτώσεις αντιπροσωπευτικών αιτιολογήσεων από τους μαθητές).

Η οικοδόμηση της ποιοτικής προσέγγισης της έννοιας της ενέργειας

Τα ζεύγη ομοειδών ερωτήσεων (1,2), (3,4), (5,6) εστιάζουν στην σύγκριση κατηγοριών απαντήσεων που δόθηκαν από τους μαθητές κατά τον προέλεγχο και τον μετέλεγχο όσον αφορά στην ποιοτική προσέγγιση της έννοιας της ενέργειας (χρήση του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων σε ποιοτικό επίπεδο).

*Ερώτηση 1**«Εξηγήστε γιατί κινείται ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο»*

Οι απαντήσεις στο ερώτημα αυτό κατηγοριοποιήθηκαν ως «ενεργειακές», «λειτουργικές» και «άλλες» αιτιολογήσεις. Ως ενεργειακές αιτιολογήσεις θεωρήθηκαν εκείνες οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές χρησιμοποιούν ενεργειακή γλώσσα (ανεξάρτητα από την επάρκειά τους). Στις λειτουργικές αιτιολογήσεις κατατάχθηκαν οι τεχνολογικού τύπου (ανεξαρτήτως της επάρκειάς τους). Ως άλλες αιτιολογήσεις θεωρήθηκαν εκείνες οι οποίες δεν σχετίζονται με ενεργειακά ή λειτουργικά χαρακτηριστικά (δηλαδή απαντήσεις του τύπου «κινείται γιατί οι άνθρωποι θέλουν να οδηγήσουν»). Χρησιμοποιήθηκαν, επίσης, υποκατηγορίες για την επάρκεια των ενεργειακών και λειτουργικών αιτιολογήσεων, οι οποίες δεν παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία. Στο *Διάγραμμα 1* παρατίθενται τα αποτελέσματα γι' αυτή την ερώτηση.



Διάγραμμα 1: Συγκριτικό γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 1

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι μετά την διδακτική παρέμβαση, περισσότεροι μαθητές τεκμηριώνουν τις απαντήσεις τους με ενεργειακό τρόπο από όσους το κάνουν χρησιμοποιώντας τεχνολογικούς-λειτουργικούς όρους. Μεγάλο ποσοστό από τις ενεργειακές εξηγήσεις δε, είναι διατυπωμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να θεωρηθούν επαρκείς, δηλαδή κατά το δυνατόν πλήρεις και ορθές διατυπώσεις του ποιοτικού μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων. Ορισμένες τέτοιες επαρκείς απαντήσεις αναφέρονται εδώ: «Αφού βάλουμε τα καύσιμα στο ντεπόζιτο καυσίμου και αφού γίνει η καύση στον κινητήρα και παραχθεί ενέργεια, μεταφέρεται στο σύστημα μετάδοσης κίνησης και τέλος στον άξονα με τις ρόδες», «Το βενζινοκίνητο αυτοκίνητο κινείται γιατί η βενζίνη που του προσφέρουμε καίγεται και δημιουργείται ενέργεια. Μετά η μηχανή "μοιράζει" την ενέργεια σε διάφορα εξαρτήματα. Μετά το σύστημα μετάδοσης κίνησης δίνει ενέργεια στους άξονες και τις ρόδες και έτσι κινείται το αυτοκίνητο», «Ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο κινείται χάρη στην ενέργεια που παίρνει ο κινητήρας του από την βενζίνη την οποία και μεταδίδει στα υπόλοιπα εξαρτήματα όπου ένα μέρος του καταλήγει στον άξονα με τις ρόδες. Έτσι κινείται».

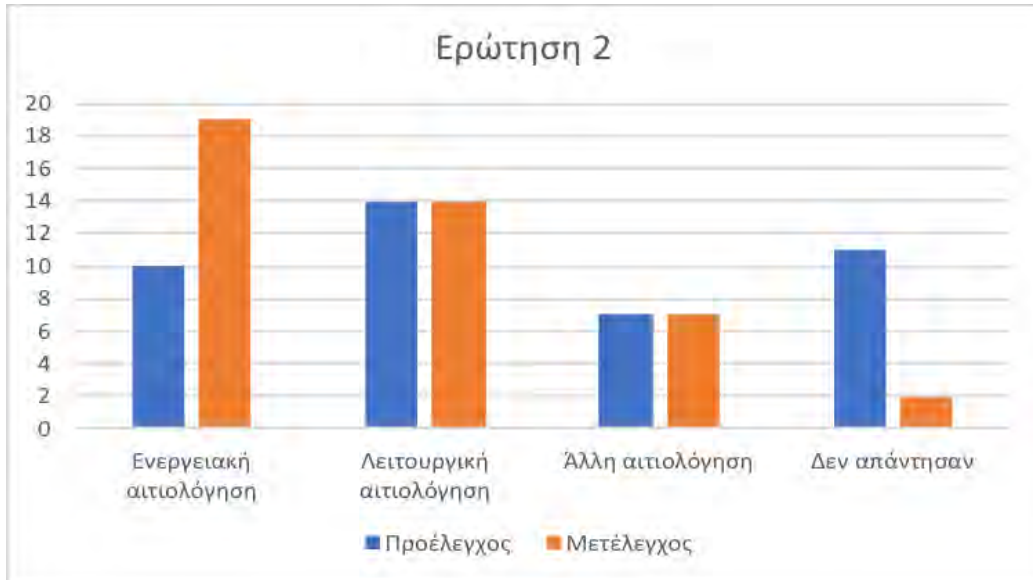
Ερώτηση 2

«Εξηγήστε γιατί κινείται ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο»

Οι απαντήσεις στο ερώτημα αυτό κατηγοριοποιήθηκαν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως στην ερώτηση 1. Στο **Διάγραμμα 2** παρατίθενται τα αποτελέσματα γι' αυτή την ερώτηση.

Και στην περίπτωση αυτή η αύξηση των ενεργειακών απαντήσεων των μαθητών είναι μεγάλη, ενώ παρατηρείται συγχρόνως μείωση των λειτουργικών και άλλων απαντήσεων. Το πιο σημαντικό στοιχείο είναι ότι οι ενεργειακές αιτιολογήσεις σε μεγάλο βαθμό διατυπώνονται με επάρκεια. Στη συνέχεια παραθέτουμε τις απαντήσεις ενός μαθητή ο οποίος μετακινήθηκε από μια ανεπαρκή ενεργειακή εξήγηση την οποία διατύπωσε στον προέλεγχο προς μια επαρκή ενεργειακή εξήγηση την οποία διατύπωσε στον μετέλεγχο. Πιο συγκεκριμένα μετακινήθηκε από την αιτιολόγηση «Ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο κινείται χάρη την ηλεκτρική ενέργεια ενός μαγνήτη ηλιακού φωτός που απορροφά την ενέργεια» στην αιτιολόγηση «Ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο κινείται χάρη στην ενέργεια που παράγει η μπαταρία την οποία στέλνει στον κινητήρα, ο οποίος δίνει ένα μέρος από αυτή στο ΣΜΚ που τελικά δίνει ένα μέρος στον

άξονα με τις ρόδες και έτσι το όχημα κινείται». Παραθέτουμε επίσης τις εξηγήσεις ενός άλλου μαθητή ο οποίος μετακινήθηκε από μια λειτουργική (τεχνολογική) εξήγηση προς μια επαρκή ενεργειακή εξήγηση. Συγκεκριμένα από την αιτιολόγηση «Κινείται λόγω του ηλεκτρισμού» διαπιστώσαμε μετακίνηση προς την επαρκέστερη «Ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο κινείται αφού η ενέργεια από την μπαταρία πηγαίνει στον ηλεκτρικό κινητήρα, μετά στο σύστημα μετάδοσης κίνησης και τέλος στον άξονα με τις ρόδες για να κινηθεί».



Διάγραμμα 2: Συγκριτικό γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 2

Οι παρατηρούμενες ελαφρώς αυξημένες συχνότητες ενεργειακών αιτιολογήσεων σε σχέση με την ερώτηση 1, τόσο στον προέλεγχο όσο και στον μετέλεγχο, ίσως εξηγούνται λόγω της συσχέτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με έννοιες όπως η «εξοικονόμηση ενέργειας» ή «καθαρή ενέργεια» οι οποίες έχουν ένα κοινωνικό χαρακτήρα και εντάσσονται πλέον στο καθημερινό λεξιλόγιο που χρησιμοποιούν οι πολίτες. Όπως θα δούμε παρακάτω, τα αποτελέσματα για το επόμενο ζεύγος ερωτήσεων (3α/3β, 4α/4β) επιβεβαιώνουν την τάση που παρατηρείται στα αποτελέσματα του ζεύγους ερωτήσεων (1,2).

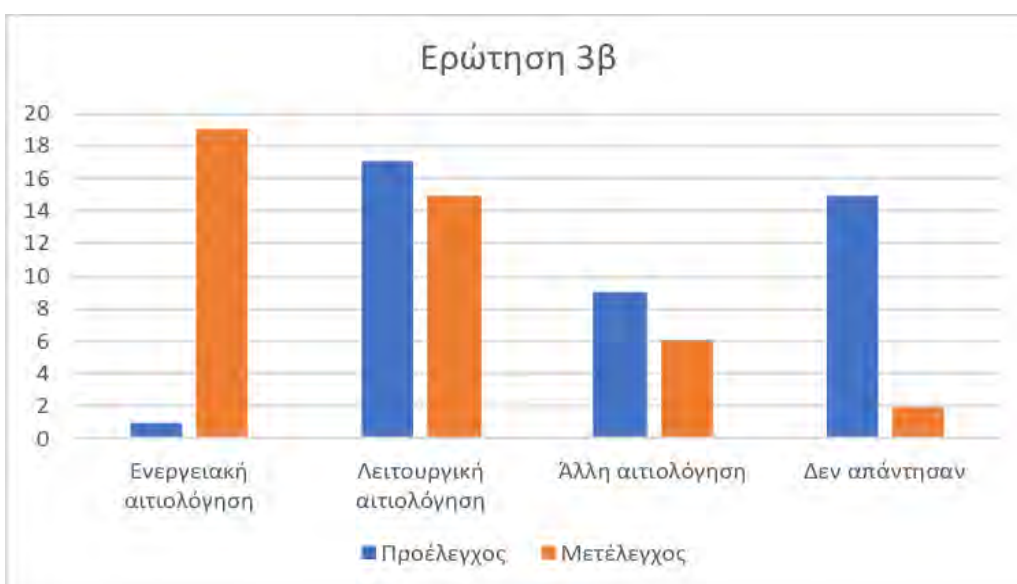
Ερωτήσεις 3α/3β

Ερώτηση 3α: «Τοποθετήστε ΣΤΗ ΣΩΣΤΗ ΣΕΙΡΑ (δηλαδή, σχηματίζοντας μια οριζόντια αλυσίδα βάζοντας κουτάκια το ένα μετά το άλλο και συνδέοντάς τα με βελάκια) τα εξαρτήματα ενός βενζινοκίνητου αυτοκινήτου που βλέπετε στα κουτάκια» (1. Άξονας με ρόδες, 2. Κινητήρας εσωτερικής καύσης, 3. Ντεπόζιτο καυσίμου, 4. Σύστημα μετάδοσης κίνησης).
 Ερώτηση 3β: «Αιτιολογήστε την απάντησή σας».

Οι απαντήσεις στην ερώτηση 3α κατηγοριοποιήθηκαν ως «επαρκείς» (σωστή σειρά αλυσίδας: 3-2-4-1) και «ανεπαρκείς» (λανθασμένη σειρά αλυσίδας). Οι απαντήσεις στην ερώτηση 3β κατηγοριοποιήθηκαν ως «ενεργειακές», «λειτουργικές» (ανεξαρτήτως της επάρκειάς τους) και «άλλες» αιτιολογήσεις. Ως άλλες αιτιολογήσεις θεωρήθηκαν εκείνες οι οποίες δεν μπορούν να ενταχθούν σε καμία από τις δύο προηγούμενες κατηγορίες (ενεργειακές και λειτουργικές-τεχνολογικές). Στα Διαγράμματα 3 και 4 παρατίθενται τα αποτελέσματα για τις ερωτήσεις 3α και 3β.



Διάγραμμα 3: Συγκριτικό γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 3α



Διάγραμμα 4: Συγκριτικό γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 3β

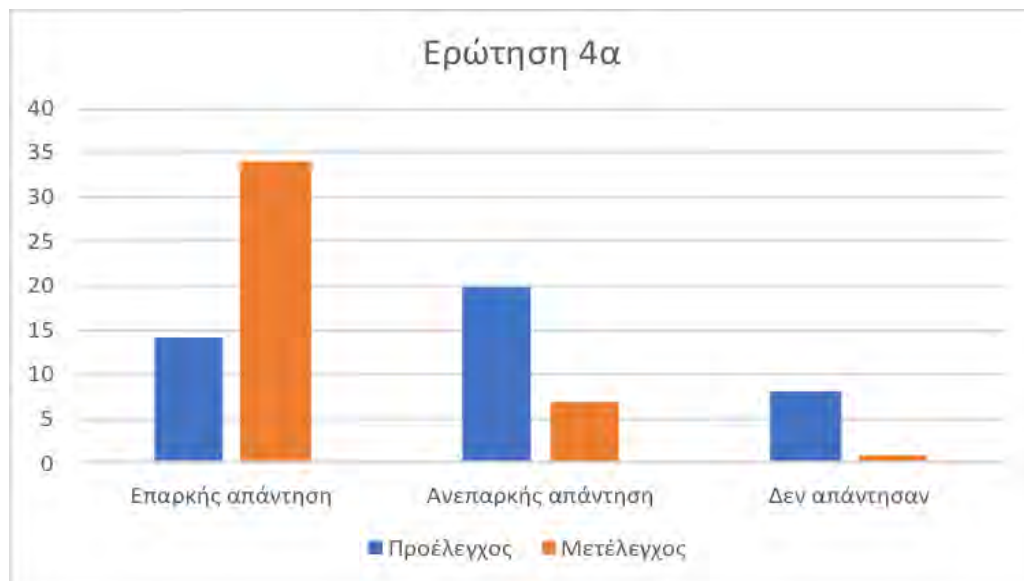
Από το διάγραμμα 3 διαπιστώνεται διπλασιασμός των επαρκών απαντήσεων και υποδιπλασιασμός των ανεπαρκών κατά τον μετέλεγχο σε σχέση με το προέλεγχο. Ενώ από το διάγραμμα 4 φαίνεται η σαφής ενεργειακή στροφή στις απαντήσεις. Είναι σαφές, δηλαδή, η τάση αρκετών μαθητών μετά τη διδακτική παρέμβαση, να απαντούν επικαλούμενοι ενεργειακούς όρους για να δικαιολογήσουν τις απαντήσεις που έδωσαν πρωτύτερα (ερώτηση 3α), ενώ αρκετές τέτοιες απαντήσεις διαθέτουν ακριβή επιστημονική ορολογία και χαρακτηρίζονται από γλωσσική επάρκεια όπως για παράδειγμα οι ακόλουθες: «Τα βελάκια σημαίνουν ενέργεια. Με αυτά τα βελάκια δείχνουμε ότι το ντεπόζιτο καυσίμου δίνει ενέργεια στον κινητήρα ο οποίος δίνει ένα μέρος της ενέργειάς στο ΣΜΚ (σύστημα μετάδοσης κίνησης), τα οποία δίνουν πάλι ένα μέρος ενέργειας στον άξονα και τις ρόδες και έτσι το αυτοκίνητο

κινείται» και «Από το ντεπόζιτο καυσίμου η βενζίνη μεταφέρεται στον κινητήρα εσωτερικής καύσης, εκεί καίγεται, μετατρέπεται σε ενέργεια, πηγαίνει στο σύστημα μετάδοσης κίνησης και κινεί τον άξονα με τις ρόδες». Συγχρόνως, όμως, παρατηρούμε ότι ο αριθμός λειτουργικών εξηγήσεων τεχνολογικού τύπου παραμένει σχετικά υψηλός. Αυτό φαίνεται να συμβαίνει διότι οι μαθητές προσπαθούν να δώσουν μια εξήγηση αντικαθιστώντας την ενέργεια με την βενζίνη ως το συνδετικό στοιχείο των επιμέρους εξαρτημάτων του αυτοκινήτου. Μια ενδεικτική απάντηση είναι η εξής: «Τα βελάκια σημαίνουν ότι από το ντεπόζιτο το καύσιμο πηγαίνει στον κινητήρα, μετά στο σύστημα μετάδοσης κίνησης και όλα αυτά στους άξονες με τις ρόδες». Η αμηχανία σε σχέση με αυτό το ζήτημα αυτό φαίνεται και στην δεύτερη ενδεικτική απάντηση την οποία έχουμε παραθέσει πιο πάνω και έχουμε κατατάξει στις ενεργειακές αιτιολογήσεις. Παρατηρούμε, τέλος, ότι στον μετέλεγχο έχουν μειωθεί οι άλλες αιτιολογήσεις, ενώ απαντούν σχεδόν όλοι οι μαθητές σε αντίθεση με τον μεγάλο αριθμό μαθητών που αποφεύγουν οποιαδήποτε απάντηση κατά τον προέλεγχο.

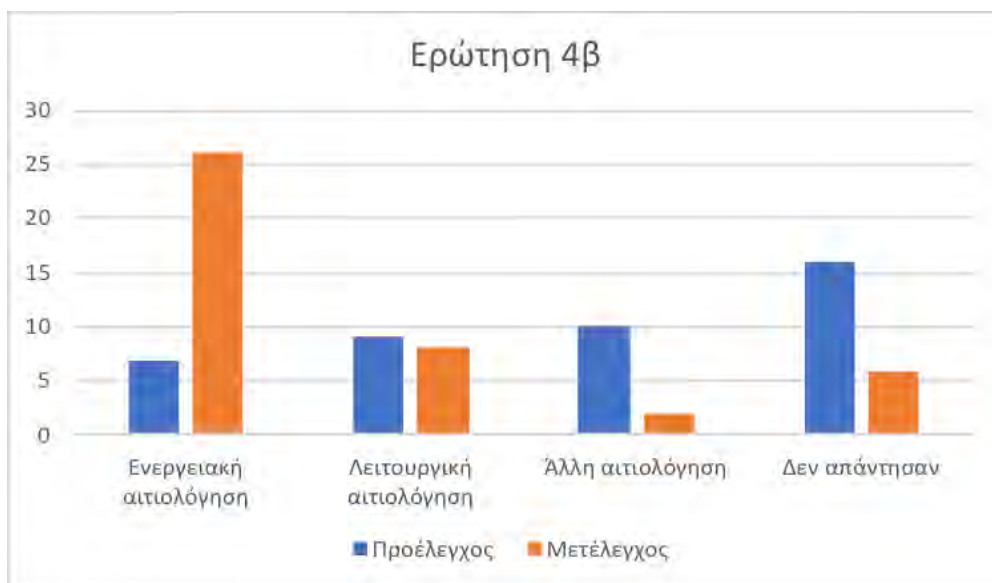
Ερωτήσεις 4α/4β

Ερώτηση 4α: «Τοποθετήστε ΣΤΗ ΣΩΣΤΗ ΣΕΙΡΑ (δηλαδή, σχηματίζοντας μια οριζόντια αλυσίδα βάζοντας κουτάκια το ένα μετά το άλλο και συνδέοντάς τα με βελάκια) τα εξαρτήματα ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου που βλέπετε στα κουτάκια» (1. Σύστημα μετάδοσης κίνησης, 2. Ηλεκτρικός κινητήρας, 3. Μπαταρίες, 4. Άξονας με ρόδες). Ερώτηση 4β: «Αιτιολογήστε την απάντησή σας. Τι σημαίνουν τα βελάκια;»

Οι απαντήσεις σε αυτές τις ερωτήσεις κατηγοριοποιήθηκαν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με τον οποίον κατηγοριοποιήθηκαν οι απαντήσεις στις ερωτήσεις 3α/3β. Στα Διαγράμματα 5 και 6 παρατίθενται τα αποτελέσματα για τις ερωτήσεις 4α και 4β.



Διάγραμμα 5: Συγκριτικό γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 4α



Διάγραμμα 6: Συγκριτικό γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 4β

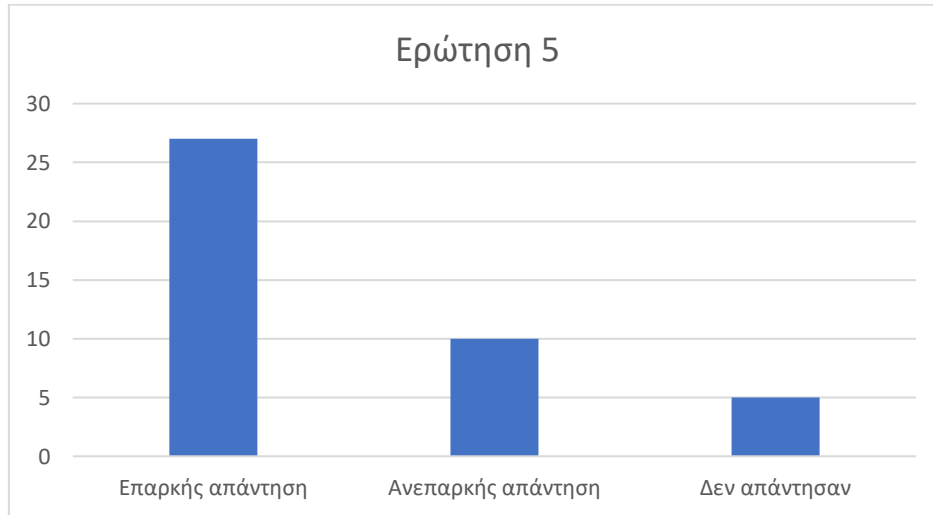
Από το διάγραμμα 5, όπως και στη δίδυμη ερώτησή της, φαίνεται υπερδιπλασιασμός των επαρκών απαντήσεων και φανερή μείωση των ανεπαρκών απαντήσεων. Συγχρόνως, από το διάγραμμα 6 και τα αποτελέσματα που καταγράφονται εκεί φαίνεται μια σαφής τάση των μαθητών να απαντούν επικαλούμενοι ενεργειακούς όρους για να δικαιολογήσουν τις απαντήσεις που έδωσαν στην ερώτηση 4α. Επίσης, φαίνεται ακόμη πιο καθαρά, σε σχέση με το ζεύγος ερωτήσεων (1, 2), ότι οι μαθητές αντιλαμβάνονται τη σχέση των βασικών τεχνολογικών αντικειμένων του ηλεκτρικού αυτοκινήτου περισσότερο με ενεργειακούς όρους παρά με τεχνολογικούς. Αυτό αποκαλύπτεται ακόμη καλύτερα από τη σύγκριση των διαγραμμάτων 4 (για το συμβατικό αυτοκίνητο) και 6 (για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο). Η «πρωτοτυπική» λειτουργική αλυσίδα «μπαταρία-κινητήρας», η οποία αναφέρεται από πληθώρα ερευνητών ως βασικός φαινομενολογικός τύπος πάνω στον οποίο είναι δυνατόν να οικοδομηθούν τα στοιχεία του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων ήδη από πολύ μικρές ηλικίες, φαίνεται να λειτουργεί και στην περίπτωση του σύνθετου αυτού τεχνολογικού συστήματος. Όπως και στις προηγούμενες ερωτήσεις, οι περισσότερες από τις ενεργειακές αιτιολογήσεις κατά τον μετέλεγχο φαίνεται να είναι ικανοποιητικές, δηλαδή να χαρακτηρίζονται από επιστημονική επάρκεια και η λεκτική τους απόδοση να είναι ικανοποιητική. Κάποιες τέτοιες χαρακτηριστικές απαντήσεις που λάβαμε είναι: «Από τις μπαταρίες μεταφέρεται ενέργεια στον ηλεκτρικό κινητήρα, μετά μεταφέρεται στο σύστημα μετάδοσης κίνησης και έτσι κινεί τον άξονα με τις ρόδες» αλλά και «Τα βελάκια δείχνουν την πορεία της ενέργειας με σκοπό να φτάσει στις ρόδες και να λειτουργήσει το αυτοκίνητο».

Ερώτηση 5

«Σχεδιάστε την ενεργειακή αλυσίδα ενός ηλιακού αυτοκινήτου»

Η ερώτηση τίθεται μόνο στο ερωτηματολόγιο μετελέγχου και αφορά στο σχεδιασμό μιας αναπαράστασης του ποιοτικού μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων σε ένα άγνωστο φαινομενολογικό πεδίο, αφού το ηλιακό αυτοκίνητο δεν είχε διδαχθεί κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης. Στόχος του ερωτήματος ήταν να διαπιστωθεί αν οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα είδος αναλογίας τοποθετώντας στην ενεργειακή αναπαράσταση ως μετατροπέα ενέργειας μια διάταξη μετατροπής του φωτός σε ηλεκτρισμό. Οι απαντήσεις

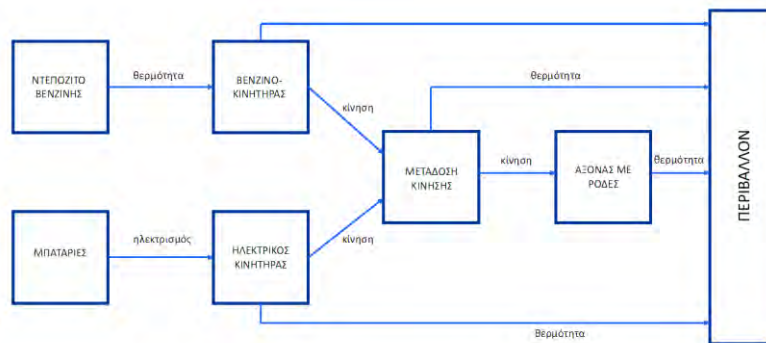
κατηγοριοποιήθηκαν σε δύο κατηγορίες: «επαρκής αναπαράσταση» και «ανεπαρκής αναπαράσταση». Στην κατηγορία «επαρκής αναπαράσταση» τοποθετήθηκαν εκείνες οι αναπαραστάσεις που απεικονίζουν με πληρότητα ή σχετική πληρότητα την ενεργειακή αλυσίδα με όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για να λειτουργήσει το ηλιακό αυτοκίνητο (φωτοβολταϊκή διάταξη, ηλεκτροκινητήρας, σύστημα μετάδοσης κίνησης, άξονας με ρόδες). Σε ορισμένες αναπαραστάσεις είχε τοποθετηθεί και η μπαταρία, ενώ σε κάποιες άλλες δεν περιλαμβάνονταν οι απώλειες ενέργειας προς το περιβάλλον από όλα ή κάποια εξαρτήματα. Στην κατηγορία «ανεπαρκής αναπαράσταση» τοποθετήθηκαν όλες οι αναπαραστάσεις που δεν περιέχουν φωτοβολταϊκή διάταξη ή/και τα διάφορα εξαρτήματα τοποθετούνται σε λάθος σειρά. Στο **Διάγραμμα 7** παρατίθενται τα αποτελέσματα για την ερώτηση 5.



Διάγραμμα 7: Γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 5

Τα αποτελέσματα σε αυτή την ερώτηση είναι ενθαρρυντικά όσον αφορά στις ενδείξεις που έχουμε, σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες ερωτήσεις, ότι ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μαθητών είναι σε θέση όχι μόνο να χρησιμοποιήσει την αιτιακή ενεργειακή εξήγηση του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων στην ποιοτική του μορφή σε γνωστά φαινομενολογικά πεδία, αλλά και σε νέα πεδία αφ’ ενός χρησιμοποιώντας αναλογικά μοντέλα σκέψης και αφ’ ετέρου συνδυάζοντας πρότερη γνώση σχετική με συστήματα που χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια. Στις δύο επόμενες ερωτήσεις 6α/6β, θεωρούμε ότι επιβεβαιώνεται η άποψή μας αυτή.

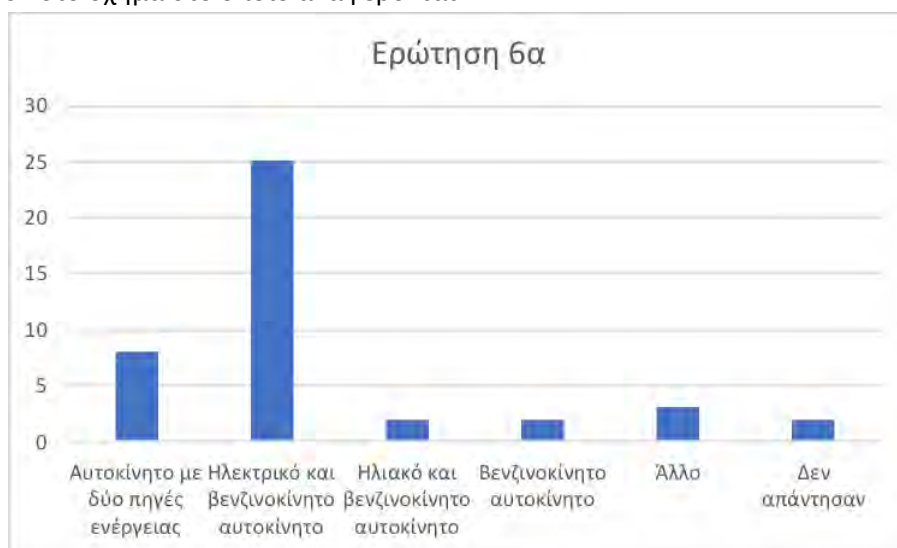
Ερωτήσεις 6α/6β



Ερώτηση 6α: «Τι είδους όχημα μπορεί να αναπαραστήσει η παρακάτω ενεργειακή αλυσίδα;»

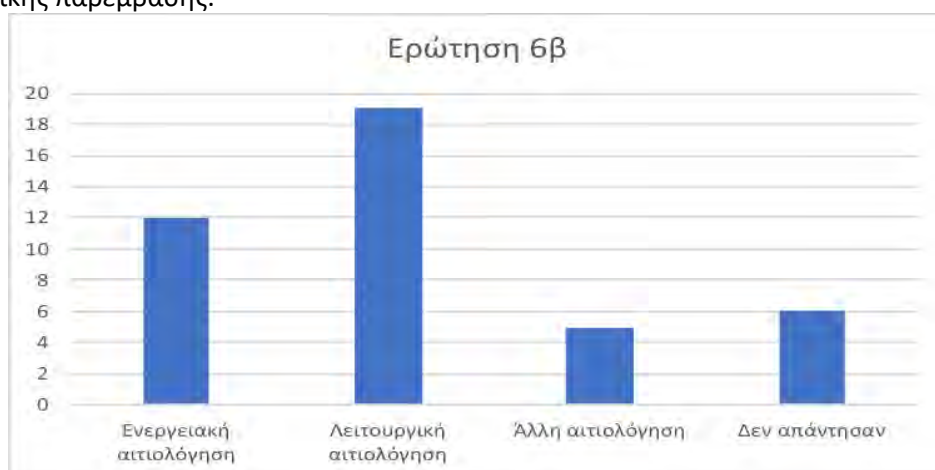
Ερώτηση 6β: «Αιτιολογήστε την απάντησή σας».

Και αυτή η ερώτηση τίθεται μόνο στο ερωτηματολόγιο μετελέγχου. Στο Διάγραμμα 8 αναφέρονται τα είδη των απαντήσεων των μαθητών ως προς τον χαρακτηρισμό που αποδίδουν στο όχημα στο οποίο αναφέρονται.



Διάγραμμα 8: Γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 6α

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η πλειοψηφία των απαντήσεων μπορεί να θεωρηθεί επαρκής. Ως επαρκή εξήγηση θεωρούμε οποιαδήποτε αναφορά μπορεί να θεωρηθεί ως περιγραφή υβριδικού αυτοκινήτου. Οι μαθητές θεωρούμε ότι δεν γνωρίζουν εκ των προτέρων τον ορισμό του υβριδικού οχήματος οπότε αναμένονταν σχετικές περιφραστικές ονοματοδοσίες του τύπου «αυτοκίνητο δύο πηγών ενέργειας» ή «ηλεκτροβενζινοκίνητο». Στις επαρκείς απαντήσεις έχουμε συμπεριλάβει ακόμη και περιγραφές που δείχνουν περισσότερο αδυναμία έκφρασης αλλά και την ικανότητα να διαβάζουν την διττή υπόσταση της ενεργειακής πηγής αλυσίδας που δίδεται (π.χ. «έχει και τα δύο» ή «ηλιακό και βενζινοκίνητο»). Θεωρούμε, συνεπώς, ότι 35 στους 42 μαθητές «διαβάζουν» σωστά την ενεργειακή αλυσίδα ενός είδους αυτοκινήτου που δεν έχει αναφερθεί κατά την διάρκεια των μαθημάτων της διδακτικής παρέμβασης.



Διάγραμμα 9: Γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 6β

Στο Διάγραμμα 9 παρατίθενται τα αποτελέσματα για την ερώτηση 6β η οποία αναφέρεται στις αιτιολογήσεις των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στην ερώτηση 6α.

Εδώ, οι απαντήσεις των μαθητών κατηγοριοποιήθηκαν στις κατηγορίες «Ενεργειακή αιτιολόγηση», «Λειτουργική - τεχνολογική αιτιολόγηση», «Άλλη αιτιολόγηση». Στην πρώτη κατηγορία τοποθετήθηκαν απαντήσεις οι οποίες αναφέρονταν στην αναπαράσταση της συγκεκριμένης ενεργειακής αλυσίδας ή έκαναν ρητή αναφορά στον όρο «ενέργεια».

Πολλοί εκ των ερωτώμενων (19 στους 42) αιτιολογούν την απάντησή τους με επίκληση τεχνολογικών χαρακτηριστικών που θεώρησαν ότι συνάδουν με τον τύπο αυτοκινήτου που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη αναπαράσταση της ενεργειακής αλυσίδας. Μια τέτοια απάντηση είναι: «Παρατηρούμε ότι δεν είναι ένα απλό αυτοκίνητο. Εκτός από τα εξαρτήματα του βενζινοκίνητου αυτοκινήτου έχει και μπαταρίες και ηλεκτρικό κινητήρα». Συγχρόνως, αρκετοί μαθητές (12 στους 42) αιτιολογούν την απάντησή τους «διαβάζοντας» αυτό που βλέπουν, δηλαδή με παρατήρηση της δεδομένης αναπαράστασης της ενεργειακής αλυσίδας ή επεξηγώντας τους ενεργειακούς όρους που περιλαμβάνει η αναπαράσταση. Στην πρώτη περίπτωση απαντούν π.χ. «Αυτό το λέω γιατί βλέπω δύο ενεργειακές αλυσίδες στο αυτοκίνητο», ενώ στην δεύτερη ένα παράδειγμα απάντησης αποτελεί το «Βλέπω στο σχήμα δύο διαφορετικές πηγές ενέργειας και δύο διαφορετικούς κινητήρες». Και στις δύο περιπτώσεις, όμως, φαίνεται οι μαθητές να έχουν αποκτήσει την ικανότητα να αντιστοιχίζουν την οποιαδήποτε ενεργειακή αλυσίδα με την αντίστοιχη τεχνολογική δομή εξαρτημάτων καθώς και να ανιχνεύουν τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των τύπων των αυτοκινήτων που διδάχθηκαν και ενός νέου τύπου ερμηνεύοντας αυτό που παριστάνει η αναπαράσταση της ενεργειακής αλυσίδας του συστήματος.

Η οικοδόμηση της ποσοτικής προσέγγισης της έννοιας της ενέργειας

Οι ερωτήσεις 7, 8 εστιάζουν στην σύγκριση κατηγοριών απαντήσεων που δόθηκαν από τους μαθητές κατά τον προέλεγχο και τον μετέλεγχο όσον αφορά στην ποσοτική προσέγγιση της έννοιας της ενέργειας (χρήση ενός ημι-ποσοτικού μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων).

Ερωτήσεις 7α/7β

Ερώτηση 7α: «Ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο τρέχει με σταθερή ταχύτητα 80 Km/h (χιλιόμετρα την ώρα). Κάποια στιγμή ο οδηγός ανάβει τα φώτα και το κλιματιστικό του αυτοκινήτου χωρίς να αλλάξει την πίεση που ασκεί το πόδι του στο γκάζι. Κυκλώστε το σωστό: 1. Η ταχύτητα του αυτοκινήτου παραμένει σταθερή, 2. Η ταχύτητα του αυτοκινήτου μειώνεται λιγάκι, 3. Η ταχύτητα του αυτοκινήτου αυξάνεται λιγάκι, 4. Δεν γνωρίζω».

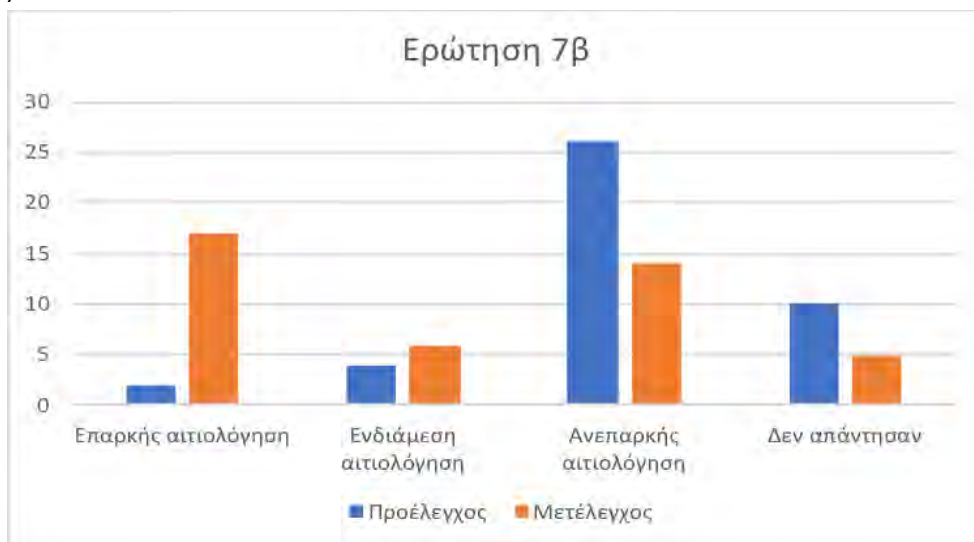
Ερώτηση 7β: «Αιτιολογήστε την απάντησή σας».

Η ερώτηση 7α είναι κλειστή και συνεπώς οι απαντήσεις των μαθητών κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τις προτεινόμενες επιλογές. Στο **Διάγραμμα 10** παρατίθενται τα αποτελέσματα γι' αυτή την ερώτηση.



Διάγραμμα 10: Συγκριτικό γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 7α

Συγκρίνοντας τις συχνότητες των απαντήσεων πριν και μετά την διδακτική παρέμβαση φαίνεται ότι κατά τον μετέλεγχο, σχεδόν όλοι οι μαθητές επιλέγουν τη σωστή απάντηση («Η ταχύτητα του αυτοκινήτου μειώνεται λιγάκι») η οποία όμως έχει εκφρασθεί ως ένα βαθμό και στον προέλεγχο όπου κάποιοι μαθητές φαίνεται να αντιλαμβάνονται εμπειρικά τη μείωση της ταχύτητας (π.χ. «Θα μειώνεται η ταχύτητα του αυτοκινήτου γιατί δεν θα μπορεί να κάνει όλες τις λειτουργίες μαζί και να είναι σταθερές»). Οι απαντήσεις των μαθητών στην ερώτηση 7β, η οποία περιλαμβάνει τις αιτιολογήσεις που έδωσαν οι μαθητές στις διάφορες επιλογές τους, δείχνουν ότι η μεγάλη αύξηση των σωστών απαντήσεων οφείλεται στη χρήση της ενεργειακής εξήγησης. Οι αιτιολογήσεις αυτές κατηγοριοποιήθηκαν ως «επαρκής αιτιολόγηση», «ενδιάμεση αιτιολόγηση» και «ανεπαρκής αιτιολόγηση». Στην πρώτη κατηγορία τοποθετήθηκαν οι αιτιολογήσεις όπου χρησιμοποιήθηκε μια σωστή και πλήρης παρουσίαση εννοιολογικών στοιχείων του μοντέλου ενεργειακών αλυσίδων. Στην δεύτερη κατηγορία τοποθετήθηκαν οι αιτιολογήσεις όπου χρησιμοποιήθηκε μια ελλιπής εκδοχή των στοιχείων του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων ή κάποια άλλη ελλιπής αναφορά σε ενεργειακούς όρους.



Διάγραμμα 11: Συγκριτικό γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 7β

Τέλος, στην τρίτη κατηγορία τοποθετήθηκαν αιτιολογήσεις ταυτολογικού, τεχνολογικού ή φαινομενολογικού χαρακτήρα. Στο Διάγραμμα 11 παρατίθενται τα αποτελέσματα γι' αυτή την ερώτηση.

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η πλειοψηφία των μαθητών πριν από την διδακτική παρέμβαση προσπαθούν να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους με ανεπαρκείς αιτιολογήσεις. Σε αυτές περιλαμβάνονται ταυτολογικές αιτιολογήσεις (π.χ., «Επειδή ένα οποιοδήποτε αυτοκίνητο παραμένει σταθερό»), τεχνολογικές αιτιολογήσεις (π.χ., «Η ταχύτητα του αυτοκινήτου μένει ίδια γιατί δεν παίζει κανένα ρόλο το κλιματιστικό και τα φώτα. Αυτά λειτουργούν με την μπαταρία ενώ η ταχύτητα του αυτοκινήτου εξαρτάται από την βενζίνη ή το πετρέλαιο») ή φαινομενολογικές αιτιολογήσεις («Θα μειώνεται η ταχύτητα του αυτοκινήτου γιατί δεν θα μπορεί να κάνει όλες τις λειτουργίες μαζί και να είναι σταθερές»). Μετά τη διδακτική παρέμβαση έχουμε μια σχετικά ικανοποιητική υποχώρηση των ανεπαρκών αιτιολογήσεων. Οι μαθητές στην πλειοψηφία τους (25/42), κατά τον μετέλεγχο, αιτιολογούν την επιλογή τους στο πρώτο ερώτημα (7α) κάνοντας χρήση κυρίως του εννοιολογικού πλαισίου των ενεργειακών αλυσίδων με σωστό ή λιγότερο σωστό τρόπο. Παραδείγματα τέτοιων αιτιολογήσεων είναι τα εξής: «Πιστεύω ότι μειώνεται, αφού ένα μέρος της ενέργειας

το παίρνει το κλιματιστικό και τα φώτα. Ενώ όλη η ενέργεια θα πήγαινε στην διαδικασία κίνησης του αυτοκινήτου, τώρα πηγαίνει λιγότερο», «Η ταχύτητα μειώνεται λιγάκι γιατί το αυτοκίνητο τώρα θα πρέπει να δίνει ενέργεια σε περισσότερα εξαρτήματα, έτσι για να δώσει ενέργεια στα φώτα και τον κλιματισμό 'φεύγει' λίγη ενέργεια από τις ρόδες για να πάει στα άλλα εξαρτήματα», «Η ταχύτητα του αυτοκινήτου μειώνεται λιγάκι γιατί τα φώτα και το κλιματιστικό 'παίρνουν' ενέργεια και έτσι η απόδοση του αυτοκινήτου είναι μικρότερη». Αυτό σημαίνει ότι αρκετοί μαθητές είναι σε θέση να αρχίζουν να αντιλαμβάνονται την ποσοτική διάσταση του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων μέσα από τις εκφράσεις «μεγαλύτερη / μικρότερη» ή «αυξάνεται / μειώνεται» ή «διανέμεται». Ο αυξημένος αριθμός των επαρκών απαντήσεων σε σχέση με τις ενδιάμεσες θεωρούμε ότι οφείλεται στη χρήση του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων στην ποιοτική του μορφή. Δηλαδή, θεωρούμε ότι αναγκαία (αλλά όχι και επαρκής) συνθήκη οικοδόμησης ποσοτικών ενεργειακών εξηγήσεων είναι, κατ' αρχάς, η οικοδόμηση της ποιοτικής μορφής του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων. Το ποσοστό, πάντως, των ανεπαρκών (μη ενεργειακών) απαντήσεων σε αυτή την ποσοτικού χαρακτήρα ερώτηση παραμένει σχετικά υψηλό (15/42).

Ερωτήσεις 8α/8β

Οι ερωτήσεις 8α/8β είναι απολύτως ίδιες με τις 7α/7β με τη διαφορά ότι αναφέρονται στον τύπο του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Οι κατηγοριοποιήσεις συνεπώς παραμένουν ίδιες. Στα Διαγράμματα 12 και 13 παρατίθενται τα αποτελέσματα για τις δύο αυτές ερωτήσεις.

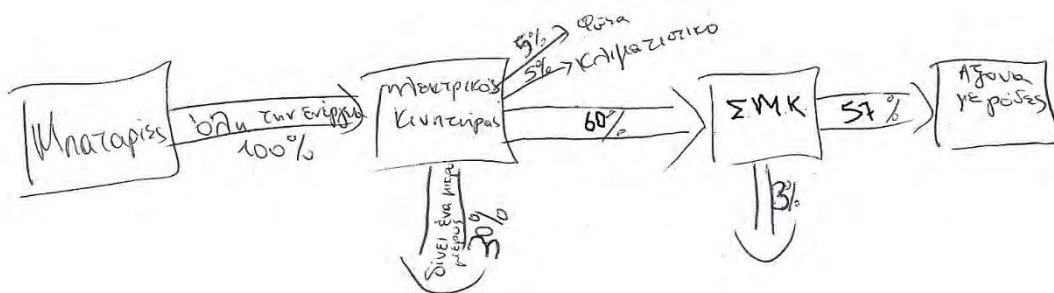


Διάγραμμα 12: Συγκριτικό γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 8α



Διάγραμμα 13: Συγκριτικό γράφημα απόλυτων συχνοτήτων των απαντήσεων των μαθητών στην ερώτηση 8β

Τα δύο διαγράμματα παρουσιάζουν ομοιότητες με τα αντίστοιχα διαγράμματα 10 και 11 (απαντήσεις και αιτιολογήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις 7α/7β). Και για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο φαίνεται ότι η πλειοψηφία των μαθητών πριν από την διδακτική παρέμβαση προσπαθούν να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους με ανάλογες ανεπαρκείς αιτιολογήσεις. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο αριθμός των μαθητών που δεν απάντησαν στην ερώτηση 8α είναι δυσανάλογα μεγαλύτερος (μια εξήγηση μπορεί να είναι ότι δεν διέθεταν τον απαραίτητο χρόνο για να απαντήσουν στην ερώτηση, η οποία ήταν τοποθετημένη προς το τέλος του ερωτηματολογίου). Μετά τη διδακτική παρέμβαση έχουμε κι εδώ μια σχετικά ικανοποιητική μετακίνηση προς τις επαρκείς και ενδιάμεσες αιτιολογήσεις. Εικοσιπέντε και πάλι μαθητές, κατά τον μετέλεγχο, αιτιολογούν την επιλογή τους στο πρώτο ερώτημα (8α) κάνοντας χρήση κυρίως του εννοιολογικού πλαισίου των ενεργειακών αλυσίδων με επαρκή κατά το μάλλον ή ήττον τρόπο. Το περιεχόμενο των επαρκών αιτιολογήσεων μοιάζει, επίσης, με αυτό των αντίστοιχων αιτιολογήσεων στην ερώτηση 7β. Η παρακάτω αιτιολόγηση συνοδεύεται και από την αναπαράσταση της ενεργειακής αλυσίδας (Εικόνα 1) με την αναγραφή ποσοστών για τις διάφορες ποσότητες της μεταφερόμενης ενέργειας: «Η ταχύτητα μειώνεται λιγάκι. Αυτό είναι λογικό μιας και θα πρέπει να δοθεί ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται από τις μπαταρίες στα φώτα και τον κλιματισμό. Δηλαδή θα ισχύει το παρακάτω σχήμα».



Εικόνα 1: Εικονική αναπαράσταση του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας (Απάντηση μαθητή στην ερώτηση 8β)

Η συγκεκριμένη απάντηση δηλώνει ότι είναι δυνατόν μαθητές αυτής της ηλικίας όχι μόνο να αντιλαμβάνονται την ποσοτική διάσταση του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας

αλλά και να τη δηλώνουν αριθμητικά, κάτι που μπορεί να σημαίνει ότι είναι έτοιμοι να αποδεχθούν και την ιδιότητα της μέτρησης της ενέργειας.

Συζήτηση - Συμπεράσματα

Η ιδέα της εισαγωγής στην εκπαίδευση διαθεματικών προσεγγίσεων και ιδιαίτερα ενοποιημένων προσεγγίσεων επιστήμης και τεχνολογίας, αν και αποτελεί μια παλιά στόχευση διαφόρων εκπαιδευτικών συστημάτων (Layton, 2004; Κολιόπουλος, 2004), τα τελευταία χρόνια επανέρχεται όλο και συχνότερα, κυρίως μέσα από την αντίληψη STEM που τείνει να ενσωματώσει ολοκληρωτικά αυτή την ιδέα. Παράλληλα με τον αναπτυξιακό χαρακτήρα αυτής της ιδέας, αναπτύσσεται και ένα ερευνητικό ρεύμα μέσα στο χώρο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών το οποίο καλείται να δώσει απαντήσεις σε ερωτήματα του τύπου «είναι δυνατή επιστημολογικά μια ενοποιημένη προσέγγιση επιστήμης και τεχνολογίας», «ποιες μορφές μπορεί να πάρουν διδακτικές προτάσεις που υποστηρίζουν την ιδέα της ενοποιημένης διδασκαλίας» ή «ποιες είναι ή πρέπει να είναι οι γνωστικές δυνατότητες των μαθητών διαφόρων ηλικιών ώστε να είναι σε θέση να οικοδομήσουν νοητικές παραστάσεις που συνάδουν με εννοιολογικά και μεθοδολογικά μοντέλα της γνώσης που απαιτείται στην ενοποιημένη προσέγγιση». Σε αυτό το ρεύμα εντάσσεται και η ευρύτερη έρευνα μέρος της οποίας αποτελεί η παρούσα μελέτη.

Το ζητούμενο και η κεντρική υπόθεση της ευρύτερης έρευνάς μας είναι η δυνατότητα συγκρότησης μιας διδακτικής ακολουθίας με συγκεκριμένο και αυτόνομο γνωστικό αντικείμενο την τεχνολογία και την ενεργειακή συμπεριφορά διαφόρων τύπων αυτοκινήτου, το περιεχόμενο της οποίας να καλύπτει τις εξής προϋποθέσεις: (α) να αποτελεί επιστημολογικά έγκυρο διδακτικό μετασχηματισμό της γνώσης αναφοράς, (β) να ανταποκρίνεται στις γνωστικές δυνατότητες και την νοητική υποδομή των μαθητών της α' γυμνασίου και (γ) να είναι συμβατό με το ελληνικό αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών, αλλά συγχρόνως να αποτελεί και τη βάση μιας νέας καινοτομικής πρότασης. Στην παρούσα εργασία παρουσιάσαμε ένα μέρος των δεδομένων της έρευνας που αφορούν στον έλεγχο της ικανοποίησης αυτών των προϋποθέσεων.

Ως προς την πρώτη προϋπόθεση δείξαμε ότι είναι δυνατός ο σχεδιασμός δραστηριοτήτων οι οποίες να είναι συμβατές με μια επιστημολογικά έγκυρη γνώση η οποία συγκροτήθηκε από συναρμογή στοιχείων «Μηχανολογίας αυτοκινήτου» και «Τεχνικής θερμοδυναμικής». Η σύνθεση στοιχείων αυτών των κλάδων δημιούργησε τρεις προσεγγίσεις επιδιωκόμενης σχολικής γνώσης: την τεχνολογική προσέγγιση που σχετίζεται με την περιγραφή του σύνθετου μεσαίας κλίμακας τεχνολογικού συστήματος του αυτοκινήτου, αποτελούμενο από υποσυστήματα τα οποία εισφέρουν στο τελικό λειτουργικό αποτέλεσμα, την επιστημονική προσέγγιση η οποία σχετίζεται με την ενεργειακή ερμηνεία της λειτουργίας διαφόρων τύπων αυτοκινήτου και της περιβαλλοντικής προσέγγισης η οποία συνδέει τις δύο προηγούμενες με την κοινωνική /πολιτισμική διάσταση της γνώσης. Στην παρούσα εργασία η έμφαση δόθηκε στον έλεγχο της επιστημολογικής εγκυρότητας της επιστημονικής προσέγγισης της γνώσης, δηλαδή στην ενεργειακή προσέγγιση. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκε και αιτιολογήθηκε η επιστημολογική εγκυρότητα, έτσι όπως έχει εκφραστεί τόσο σε θεωρητικές εργασίες όσο και σε εμπειρικές έρευνες, του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων (Κολιόπουλος, 2014), επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα της εφαρμογής του στο σύνθετο φαινομενολογικό πεδίο που αφορά στο τεχνολογικό σύστημα του αυτοκινήτου.

Το επιστημολογικό περιεχόμενο της προτεινόμενης σχολικής γνώσης οφείλει, όμως, να είναι συμβατό με τα εξηγητικά σχήματα που αναπτύσσουν τα παιδιά όταν αντιμετωπίζουν φυσικά ή τεχνολογικά συστήματα. Έτσι, ως προς τη δεύτερη προϋπόθεση, προσπαθήσαμε να δείξουμε ότι μετά από μια διδακτική παρέμβαση βασιζόμενη στην επιδιωκόμενη σχολική γνώση που περιγράψαμε παραπάνω, μαθητές της α' γυμνασίου που αποτέλεσαν το δείγμα της εμπειρικής μας έρευνας, είναι δυνατόν να υπερβούν τις αρχικές τους ιδέες σχετικά με την

ενεργειακή ερμηνεία της κίνησης του αυτοκινήτου και να οικοδομήσουν ποιοτικά και ημι-ποσοτικά στοιχεία του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων. Πιο συγκεκριμένα, από την ανάλυση των δεδομένων που λάβαμε από τα ερωτηματολόγια προελέγχου και μετελέγχου έχουμε ισχυρές ενδείξεις ότι:

(α) Η πλειοψηφία των μαθητών του δείγματος της έρευνας παρουσιάζει μετά την διδακτική παρέμβαση, μετάβαση από νοητικές παραστάσεις κυρίως μη ενεργειακές σε νοητικές παραστάσεις που προσεγγίζουν το μοντέλο των ενεργειακών αλυσίδων (όλες οι ερωτήσεις) και ότι μπορεί να εφαρμόζει αυτόν τον τρόπο προσέγγισης ακόμη και σε πεδία τα οποία δεν διδάχθηκαν κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας και για τα οποία ενδεχομένως οι μαθητές δεν είχαν άμεση εποπτεία (ερωτήσεις 5 και 6). Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα όλων των σχετικών ερευνών που αναφέρθηκαν στην εισαγωγή αυτής της εργασίας και οι οποίες αναφέρονται στη δυνατότητα μαθητών πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης να εξηγούν σύνθετα φαινομενολογικά συστήματα (για τα οποία δεν έχουν πολλές φορές σαφή και άμεση αντίληψη των φαινομενολογικών και τεχνολογικών τους χαρακτηριστικών) με την ενεργειακή γλώσσα (Σταυρόπουλος, Σισσαμπέρη & Κολιόπουλος, 2010; Sissamberi & Koliopoulos, 2015).

(β) Το μοντέλο των ενεργειακών αλυσίδων φαίνεται να είναι ένα ισχυρό εννοιολογικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να ενοποιεί εξηγήσεις για διαφορετικούς τύπους αυτοκινήτων (ζεύγη ερωτήσεων (1,2), (3,4), (7,8)). Επίσης, φαίνεται η ενεργειακή εξήγηση να δίδει νόημα και στην τεχνολογική συνθετότητα του συστήματος (ερωτήσεις 3 και 4), με το σύστημα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου να φαίνεται ως προνομιακό φαινομενολογικό πεδίο συνάρθρωσης της τεχνολογικής με την επιστημονική γνώση (ερωτήσεις 1 και 2). Η ευρύτερη έρευνα περιλαμβάνει περισσότερες πληροφορίες για το πως οι μαθητές συνδέουν την τεχνολογική με την επιστημονική (ενεργειακή) γνώση μέσω της συσχέτισης αποτελεσμάτων που λαμβάνονται από ερωτήσεις που αφορούν μόνο τη τεχνολογική γνώση και ερωτήσεις που αφορούν μόνο την επιστημονική γνώση. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερης σημασίας αντικείμενο έρευνας (Constantinou, Hadjilouka & Papadouris, 2010) η πραγμάτευση του οποίου όμως δεν περιλαμβάνεται στους στόχους της παρούσας εργασίας.

(γ) Η ποιότητα των αιτιολογήσεων των μαθητών μετά τη διδακτική παρέμβαση δεν είναι πάντοτε επαρκής. Παρόλα αυτά παρατηρήθηκε ότι είναι δυνατόν να παραχθούν εκφράσεις οι οποίες εκτός της γλωσσικής τους επάρκειας υποδηλώνουν και επαρκή εννοιολογική οικοδόμηση. Τέτοιες περιπτώσεις γλωσσικά επαρκών αιτιολογήσεων που υποδηλώνουν εννοιολογική κατανόηση παρατηρήθηκαν σε όλες τις ερωτήσεις. Το αξιοσημείωτο αυτό εύρημα για παιδιά ηλικίας 12-13 ετών, έχει παρατηρηθεί και σε παλιότερες έρευνες που αφορούν το ηλικιακό φάσμα 10-14 ετών (Koliopoulos & Ravanis, 2000; Μαλανδράκης, 2007; Papadouris & Constantinou, 2016) περίοδος κατά την οποία δεν είναι πλήρως ανεπτυγμένα τα γλωσσικά εργαλεία που διαθέτουν οι μαθητές.

(δ) Όπως και σε προηγούμενες έρευνες διαπιστώθηκε μερική γνωστική πρόοδος ως προς τη δυνατότητα οι μαθητές του δείγματος να χρησιμοποιούν επαρκώς την ποσοτική διάσταση του μοντέλου των ενεργειακών αλυσίδων (ερωτήσεις 7 και 8). Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στην αδυναμία των παιδιών αυτής της ηλικίας να αποδεχθούν τον ποσοτικό χαρακτήρα της έννοιας της ενέργειας (τουλάχιστον με όρους «μεγαλύτερο / μικρότερο»), είτε σε αδυναμία του σχεδιασμού της διδακτικής ακολουθίας αφού υπάρχουν παραδείγματα αποδοχής της ποσοτικής διάστασης της ενέργειας ακόμη και σε μικρότερες ηλικίες υπό την προϋπόθεση να έχουν εισαχθεί με συστηματικό τρόπο διεργασίες μέτρησης της ενέργειας (Sissamberi & Koliopoulos, 2015; Delengos & Koliopoulos, 2018).

Ως προς την τρίτη προϋπόθεση, τέλος, το περιεχόμενο της προτεινόμενης διδακτικής ακολουθίας φαίνεται να είναι απολύτως συμβατό με το υφιστάμενο πρόγραμμα σπουδών της α' γυμνασίου και κυρίως με αυτό του μαθήματος της Τεχνολογίας στο οποίο δύο από τους

τρεις βασικούς άξονες αφορούν την ενέργεια και τα μεταφορικά μέσα. Πρόκειται ουσιαστικά για μια πρόταση εξειδίκευσης του βασικού πλαισίου «Τεχνολογία και Επιστήμη». Η πρόταση αυτή αντλεί στοιχεία από την καινοτομική αντίληψη για τη διδασκαλία (Κολιόπουλος, 2006), δηλαδή, συνιστά μια ευρεία θεματική ενότητα η οποία χαρακτηρίζεται από την εις βάθος πραγμάτευση ενός τεχνοεπιστημονικού εννοιολογικού πλαισίου, από την εφαρμογή μιας εκδοχής της υποθετικο-παραγωγικής μεθοδολογίας της επιστήμης και από την οργανική σύνδεση τεχνολογίας, επιστήμης και στοιχείων περιβαλλοντικής εκπαίδευσης. Συγχρόνως, λαμβάνονται υπόψιν οι γνωστικές ανάγκες και δυνατότητες των μαθητών της συγκεκριμένης εκπαιδευτικής βαθμίδας σύμφωνα με την εποικοδομητική προσέγγιση της διδασκαλίας και μάθησης (Gil-Pérez et al, 2002; Ραβάνης, 2018).

Βιβλιογραφία

- Arageorgis, A. & Baltas, A. (1989). Demarcating technology from science: Problems and problem solving in technology. *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, 20(2), 212-229.
- Batterham, D., Stanisstreet, M., & Boyes, E. (1996). Kids, cars and conservation: Children's ideas about the environmental impact of motor vehicles. *International Journal of Science Education*, 18(3), 347–354.
- Chen, R. F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J., & Scheff, A. (Eds.) (2014). *Teaching and learning of energy in K-12 education*. Springer International Publishing.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6th ed.). Routledge Falmer.
- Constantinou, C., Hadjilouka, R. & Papadouris, N. (2010). Students' epistemological awareness concerning the distinction between science and technology, *International Journal of Science Education*, 32(2), 143-172.
- Dalapa, M., Vagena, V., Sissamberi, N. & Koliopoulos, D. (2019). Using a hydraulics bench to investigate 6th grade students' energy conceptions. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 6(1), 225-231.
- De Boer, G. E. (2000) Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform, *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 582–601.
- Delegkos, N. & Koliopoulos, D. (2018). Constructing the 'energy' concept and its social use by students of primary education in Greece. *Research in Science Education*, <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9694-y>.
- Doménech, J.L., Gil-Pérez, D., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Vilches, A. (2007). Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation. *Science & Education*, 16(1), 43–64.
- Driver, R. & Millar, R. (1986). *Energy Matters*. University of Leeds.
- Falk, G., Hermann, F. & Bruno Schmid, G. (1983). Energy forms or energy carriers? *American Journal of Physics*, 51(12), 1074–1077.
- Gil-Pérez, D., Guisásola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., Pessoa de Carvalho, A.M., Martínez Torregrosa, J., Salinas, J., Valdés, P., González, E., Gené Duch, A., Dumas-Carré, A., Tricárico, H. & Gallego, R. (2002). Defending constructivism in science education. *Science & Education*, 11(6), 557-571.

- Καρύδας Α. & Κουμαράς Π. (2002). Διεθνείς τάσεις στην διδασκαλία και τη μάθηση των φυσικών επιστημών στην προοπτική του επιστημονικού και τεχνολογικού αλφαριθμητισμού. *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 126, 103 – 118.
- Kirwan, D.F. (Ed.) (1987). *Energy resources in science education*. Pergamon Press.
- Κολιόπουλος, Δ. (2004). Η διαθεματικότητα από τη σκοπιά του εξειδικευμένου αντικειμένου: Η περίπτωση των φυσικών επιστημών. Στο Κ. Αγγελάκου & Γ. Κόκκινου (Επιμ.) *Η διαθεματικότητα στο σύγχρονο σχολείο*. Μεταίχμιο, 31-42.
- Κολιόπουλος, Δ. (2006). Θέματα διδακτικής των φυσικών επιστημών. Η συγκρότηση της σχολικής γνώσης, *Εκδόσεις Μεταίχμιο*, Αθήνα.
- Κολιόπουλος, Δ. (2014). *Η ενέργεια στην εκπαίδευση*. Ίων.
- Κολιόπουλος, Δ. & Αργυροπούλου, Μ. (2010). Η διδασκαλία της ενέργειας στην α' δημοτικού. *Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Έρευνα και Πράξη*, 34/35, 19-39.
- Koliopoulos, D. & Tiberghien, A. (1986). Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèges. *Aster, Institut National de Recherche Pédagogique*, 2, 167-178.
- Koliopoulos, D. & Ravanis, K. (2000). Élaboration et évaluation du contenu conceptuel d'un programme constructiviste concernant l'approche énergétique des phénomènes mécaniques. *Didaskalia*, 16, 33-56.
- Koliopoulos, D., Aduriz-Bravo, A. & Ravanis, K. (2012). El «análisis del contenido conceptual» de los currículos y programas de ciencias: una posible herramienta de mediación entre la didáctica y la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 315–324.
- Koliopoulos, D. & Constantinou, C. (2012). Energy in education. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6(1), 3–6.
- Layton, D. (2004). *Η πρόκληση της τεχνολογίας στην διδασκαλία των φυσικών επιστημών*. Μεταίχμιο.
- Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1997). *Η οικοδόμηση των εννοιών της φυσικής*. Τυπωθήτω.
- Μαλανδράκης, Γ. (2007). Η εννοιολογική ανάπτυξη των παιδιών μέσα από τη χρήση της γλώσσας: Η περίπτωση των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου «Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση», τ. Α, 183-191.
- Millar, R. & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future. The report of a seminar series funded by the Nuffield Foundation*. King's College.
- Millar, R. (2005). Teaching about energy. Research Paper 2005/11. Department of Educational Studies. University of Work.
- Papadouris, N. & Constantinou, C. (2016). Investigating middle school students' ability to develop energy as a framework for analyzing simple physical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(1), 119–145.
- Powerhouse Museum (2002). *Design an energy-efficient car*. Powerhouse Museum.
- Ραβάνης, Κ. (2018). *Εισαγωγή στη διδακτική και στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών*. Εκδ. Νέων Τεχνολογιών.
- Roth, W.-M. (2001). Learning science through technological design, *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 768–790.
- Σέρογλου, Φ. (2006). *Φυσικές επιστήμες για την εκπαίδευση του πολίτη*. Επίκεντρο.
- Σταυρόπουλος, Β., Σισσαμπέρη, Ν. & Κολιόπουλος, Δ. (2010). Η διδασκαλία της έννοιας της ενέργειας για σύνθετα τεχνολογικά συστήματα: οι περιπτώσεις του αυτοκινήτου και

- του εργοστασίου παραγωγής ενέργειας. Ανακοίνωση στην Ημερίδα "Sustainable Energy Week", 23/3/2010, Πάτρα.
- Sissamberi, N. & Koliopoulos, D. (2015). A didactical approach of large - scale electricity generation systems at the elementary school level. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 2(2), 14-24.
- Solomon, J. (1987). Social influences on the construction of pupils' understanding of science. *Studies in Science Education*, 14, 63–82.
- Tala, S. (2009). Unified view of science and technology for education: Technoscience and technoscience education, *Science & Education*, 18(3-4), 275-298.
- Tiberghien, A. & Megalakaki, O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the energy concept. *European Journal of Psychology of Education*, 10(4), 369–383.
- Tiberghien, A. (1997). Learning and teaching: Differentiation and relation. *Research in Science Education*, 27(3), 359-382.
- Wendell, K.B. (2014). Opportunities for reasoning about energy within elementary school engineering experiences. In Chen, R.F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J., & Scheff, A. (Eds.) (2014). *Teaching and learning of energy in K-12 education*. Springer International Publishing, 267-283.

Βιβλιογραφική αναφορά

Σταυρόπουλος, Β., Λαβίδας, Κ., Κολιόπουλος, Δ. (2019). Η οικοδόμηση ενεργειακών εννοιών από μαθητές γυμνασίου για το σύνθετο τεχνολογικό σύστημα του αυτοκινήτου. *Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: Έρευνα και Πράξη*, (70-71): 27-51. Ανακτήθηκε από <http://www.lib.uoi.gr/serp/>