

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΑΓΩΓΗΣ

**ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΔΕΞΙΟΤΗΤΩΝ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΚΑΙ Η
ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΗ ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΝΙΚΟΣ ΠΑΠΑΔΟΥΡΗΣ

2010

Η παρούσα διατριβή παρουσιάστηκε δημόσια και εγκρίθηκε στις 12 Δεκεμβρίου 2009.

Αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση διδακτορικού τίτλου στη «Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες».

Ερευνητικός Σύμβουλος: Κωνσταντίνος Π. Κωνσταντίνου, Αν. Καθηγητής
Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Συμβουλευτική Επιτροπή: Αθανάσιος Ραφτόπουλος, Αν. Καθηγητής
Τμήμα Ψυχολογίας, Πανεπιστήμιο Κύπρου
Θεοδώρα Κυράτση, Επ. Καθηγήτρια
Τμήμα Μηχανικών Μηχανολογίας και
Κατασκευαστικής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

.....
Κωνσταντίνος Π. Κωνσταντίνου

.....
Αθανάσιος Ραφτόπουλος

.....
Θεοδώρα Κυράτση

Εξεταστική Επιτροπή:

— Ζαχαρίας Χ. Ζαχαρία (Πρόεδρος)

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

— Κωνσταντίνος Π. Κωνσταντίνου

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

— Αθανάσιος Ραφτόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ψυχολογίας, Πανεπιστήμιο Κύπρου

— Θεοδώρα Κυράτση

Επίκουρη Καθηγήτρια, Τμήμα Μηχανικών Μηχανολογίας και Κατασκευαστικής,
Πανεπιστήμιο Κύπρου

— Σταμάτης Βώκος

Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Seattle Pacific University

— Κώστας Κορφιάτης

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

ΝΙΚΟΣ ΠΑΠΑΔΟΥΡΗΣ



Η παρούσα διατριβή έχει διεκπεραιωθεί στο πλαίσιο των εργασιών της Ερευνητικής Ομάδας Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες (ΕΟΜΦΠΕ), στο Πανεπιστήμιο Κύπρου. Απαγορεύεται η μερική ή ολική αναδημοσίευση του έργου αυτού, καθώς και η αναπαραγωγή του με οποιοδήποτε άλλο μέσο χωρίς σχετική άδεια της ΕΟΜΦΠΕ και του συγγραφέα.

©2010, Ερευνητική Ομάδα Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες,

Πανεπιστήμιο Κύπρου

ISBN 978-9963-689-26-2

ΝΙΚΟΣ ΠΑΠΑΔΟΟΥΡΗΣ

Περίληψη

Η εργασία απευθύνθηκε σε δύο βασικές επιδιώξεις. Η πρώτη εστιάζει στην ανάπτυξη διδακτικού υλικού για την προώθηση (α) εννοιολογικής κατανόησης και επιστημολογικής ενημερότητας για την ενέργεια, (β) επάρκειας για βασικές πτυχές της φύσης της επιστήμης και (γ) της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης. Η δεύτερη αφορά στη διαχείριση συγκεκριμένων ερευνητικών ερωτημάτων τα οποία συνδέονται άμεσα με την ανάπτυξη και την αξιολόγηση του διδακτικού υλικού. Αυτά τα ερευνητικά ερωτήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Τα τρία πρώτα ερωτήματα συνδέονται με την ενίσχυση του διαθέσιμου ερευνητικού υποβάθρου για τις αρχικές ιδέες των μαθητών αναφορικά με τις βασικές μαθησιακές επιδιώξεις του διδακτικού υλικού και τις σχετικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Τα τελευταία δύο ερωτήματα αποσκοπούν να συνεισφέρουν στην υφιστάμενη τεχνογνωσία σχετικά με το βαθμό στον οποίο είναι εφικτή η επίδραση στις αρχικές ιδέες των μαθητών, μέσα από ειδικά σχεδιασμένες διδακτικές επινοήσεις, με στόχο την εξέλιξη και τη βελτίωσή τους.

Η πορεία υλοποίησης της εργασίας περιέλαβε πέντε στάδια. Στο πρώτο στάδιο αναπτύχθηκε μια πρώτη εκδοχή του διδακτικού υλικού. Για το σκοπό αυτό αξιοποιήθηκε πληροφόρηση από τρεις πηγές. Η πρώτη συνδέεται με την επισκόπηση της βιβλιογραφίας αναφορικά με (α) βασικές αρχές μάθησης και διδακτικές στρατηγικές και (β) το διαθέσιμο ερευνητικό υπόβαθρο για τη μάθηση και τη διδασκαλία για την καθεμιά από τις τρεις μαθησιακές επιδιώξεις, ώστε να αξιοποιηθεί η υφιστάμενη τεχνογνωσία κατά τη διαμόρφωση της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Η δεύτερη πηγή περιλαμβάνει την ανάλυση του περιεχομένου και της δομής των τριών μαθησιακών επιδιώξεων και την καταγραφή των εννοιολογικών, συλλογιστικών και επιστημολογικών στοιχείων που προϋποτίθενται για να καταστεί εφικτή η επίτευξή τους. Τέλος, η τρίτη πηγή περιλαμβάνει τη συλλογή και επεξεργασία εμπειρικών δεδομένων σε σχέση με τις αρχικές ιδέες που διαθέτουν οι μαθητές και τις δυσκολίες που συναντούν αναφορικά με τις τρεις μαθησιακές επιδιώξεις. Σε αυτό το πλαίσιο υλοποιήθηκαν δύο ανεξάρτητες εμπειρικές εργασίες στις οποίες είχαν συλλεγεί δεδομένα τόσο μέσα από τη συμπλήρωση έργων αξιολόγησης ανοικτού τύπου από σχετικά μεγάλο αριθμό μαθητών που προέρχονταν από τις βαθμίδες εκπαίδευσης στις οποίες απευθύνεται το διδακτικό υλικό (240 στη μια περίπτωση και 96 στην άλλη) όσο και δεδομένα μέσω ατομικών συνεντεύξεων με μικρότερα δείγματα μαθητών (20 μαθητές σε κάθε περίπτωση). Συνδυάζοντας την πληροφόρηση που προέκυψε από τις τρεις αυτές πηγές διαμορφώθηκε μια πρώτη εκδοχή του διδακτικού υλικού, η οποία αποτελείται από δύο ενότητες. Η πρώτη εστιάζει στην επεξεργασία της ενέργειας και επικεντρώνεται στην

προώθηση (α) επιστημολογικής επάρκειας για συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της φύσης της επιστήμης, περιλαμβανομένης της κατανόησης για τη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία και για το ρόλο της επινόησης στην ερμηνεία φαινομένων και (β) εννοιολογικής κατανόησης για την ενέργεια και την εφαρμογή της στην ανάλυση μεταβολών σε φυσικά συστήματα. Η επιστημολογική συζήτηση δημιουργεί ένα πλαίσιο εντός του οποίου εισάγεται σε επόμενο στάδιο η ενέργεια ως μια επινοημένη ιδέα που αποσκοπεί στην ενιαία ερμηνεία μεταβολών σε συστήματα ανεξάρτητα από το πεδίο από το οποίο προέρχονται. Η εννοιολογική επεξεργασία στην οποία υπόκειται η ενέργεια, η οποία υλοποιείται προοδευτικά μέσα από τη σταδιακή εισαγωγή των ιδιοτήτων της, παρέχει ένα συγκείμενο για επιστημολογική συζήτηση αναφορικά με το ρόλο των επιστημονικών θεωριών σε σχέση με την ερμηνεία και πρόβλεψη μεταβολών και τη δυνατότητά τους να εξελίσσονται και να ενσωματώνουν πρόσθετα στοιχεία τα οποία συνεισφέρουν στην προβλεπτική και ερμηνευτική τους ικανότητα. Συνεπώς, οι δύο επιδιώξεις προσεγγίζονται συνδυασμένα και λειτουργούν αλληλοενισχυτικά. Αυτός ο διδακτικός σχεδιασμός προέκυψε ως μια επινόηση για την παράκαμψη των δυσκολιών που προκύπτουν συνήθως στη διδασκαλία της ενέργειας, λόγω της αφηρημένης και της ποσοτικής της φύσης, αφενός, και του διαφαινομενολογικού της χαρακτήρα, αφετέρου.

Η δεύτερη ενότητα αποσκοπεί στην καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Η ακολουθία που έχει αναπτυχθεί αξιοποιεί ως συγκείμενο κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα ενεργειακού χαρακτήρα. Συνεπώς, η σύνδεση ανάμεσα στις δύο ενότητες προκύπτει από την αξιοποίηση του θεματικού πλαισίου της ενέργειας.

Το δεύτερο στάδιο περιέλαβε την εφαρμογή του διδακτικού υλικού στο πλαίσιο ενός απογευματινού μαθητικού ομίλου. Η λειτουργία του ομίλου στηριζόταν σε δύο εβδομαδιαίες συναντήσεις διάρκειας ενενήντα λεπτών και συμμετείχαν σε αυτόν 28 μαθητές. Παράλληλα με την υλοποίηση του διδακτικού υλικού εφαρμόστηκαν διαδικασίες συλλογής εμπειρικών δεδομένων αναφορικά με την εξέλιξη της κατανόησης των μαθητών σε σχέση με τις μαθησιακές επιδιώξεις. Τα δεδομένα που προέκυψαν παρείχαν ενθαρρυντικές ενδείξεις σχετικά με την προώθηση των υπό έμφαση μαθησιακών επιδιώξεων. Επίσης, προέκυψαν ενδείξεις για πτυχές της ακολουθίας δραστηριοτήτων που δεν λειτούργησαν ιδιαίτερα αποτελεσματικά. Αυτές οι ενδείξεις αποτέλεσαν βασική πηγή αναφοράς στο τρίτο στάδιο, το οποίο επικεντρώθηκε στην αναθεώρηση του διδακτικού υλικού. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη αυτή την πληροφόρηση αναθεωρήθηκε τόσο η

ακολουθία δραστηριοτήτων όσο και τα έργα αξιολόγησης που αξιοποιήθηκαν για τη συλλογή δεδομένων, ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητά τους.

Στο τέταρτο στάδιο εφαρμόστηκε η αναθεωρημένη ακολουθία δραστηριοτήτων σε πραγματικά περιβάλλοντα τάξης. Οι δύο ενότητες εφαρμόστηκαν ανεξάρτητα. Η πρώτη υλοποιήθηκε σε τρεις έκτες τάξεις ενός δημοτικού σχολείου (N=64) και η δεύτερη σε δύο έκτες τάξεις ενός άλλου σχολείου (N=48). Κατά την υλοποίηση του διδακτικού υλικού αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητά του σε σχέση με την προώθηση των μαθησιακών επιδιώξεων στις οποίες απευθύνεται. Η επεξεργασία των εμπειρικών δεδομένων που προέκυψαν κατέδειξε αξιολογη εξέλιξη στο σκεπτικό των μαθητών σε σχέση με το σύνολο των μαθησιακών επιδιώξεων, η οποία είναι ενδεικτική της αποτελεσματικότητάς του. Ωστόσο, υπήρξαν επίσης ενδείξεις για πτυχές του διδακτικού υλικού οι οποίες δεν λειτούργησαν σε ικανοποιητικό βαθμό. Αυτές οι ενδείξεις καθοδήγησαν τη διαδικασία αναθεώρησής του στο πέμπτο στάδιο της πορείας υλοποίησης της εργασίας, ώστε να βελτιωθεί περαιτέρω η αποτελεσματικότητά του.

Η συνεισφορά της εργασίας στο ερευνητικό πεδίο της μάθησης και της διδασκαλίας στις φυσικές επιστήμες αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Η πρώτη αφορά στο διδακτικό υλικό που προέκυψε ως προϊόν της εργασίας. Τόσο η ακολουθία δραστηριοτήτων όσο και τα αντίστοιχα έργα αξιολόγησης που προέκυψαν στο πλαίσιο της εργασίας, έχουν περάσει από διαδικασίες δοκιμής, αξιολόγησης και αναθεώρησης σε δύο περιπτώσεις και έχουν καταλήξει σε μια εκδοχή η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο τοπικό εκπαιδευτικό σύστημα για τη διαχείριση των μαθησιακών επιδιώξεων για τις οποίες έχει σχεδιαστεί. Είναι σημαντικό, ωστόσο, να τονιστεί ότι το διδακτικό υλικό αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο δεν αντικαθιστά τον εκπαιδευτικό και να σημειωθεί η ανάγκη για κατάλληλη προετοιμασία των εκπαιδευτικών, ώστε να το αξιοποιούν με κατάλληλο και αποτελεσματικό τρόπο. Η δεύτερη συνεισφορά αφορά στην ενίσχυση πτυχών του θεωρητικού πλαισίου στο οποίο εντάσσεται η εργασία. Συγκεκριμένα, τα ευρήματα που έχουν προκύψει από την επεξεργασία των εμπειρικών δεδομένων στα διάφορα στάδια υλοποίησης του διδακτικού υλικού προσθέτουν στην υφιστάμενη τεχνογνωσία και εμπλουτίζουν το διαθέσιμο ερευνητικό υπόβαθρο, τόσο σε σχέση με τις αρχικές ιδέες και τις δυσκολίες των μαθητών αναφορικά με τις υπό έμφαση μαθησιακές επιδιώξεις (εννοιολογική κατανόηση και επιστημολογική ενημερότητα για την ενέργεια, εκτίμηση βασικών πτυχών της φύσης της επιστήμης και διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης) όσο και για τη διδακτική τους διαχείριση στο μαθησιακό περιβάλλον.

Abstract

The study has sought to address two main objectives. The first is concerned with the development of teaching and learning materials to help students develop (a) conceptual understanding about energy and its properties as a framework for analyzing changes in physical systems, (b) epistemological awareness with respect to certain aspects of the Nature of Science (NOS) and (c) optimization as a reasoning strategy for dealing with decision-making situations. The second main objective involves the investigation of certain research questions in the context of the process of developing the teaching and learning materials and evaluating their effectiveness. These questions fall into two categories. The first category includes three research questions that pertain to the enrichment of the available research-based knowledge regarding students' initial ideas in relation to the targeted learning objectives and the various reasoning, conceptual, epistemological, or other difficulties they encounter in this respect. The second category comprises two research questions which were intended to contribute to the existing knowledge base with respect to the extent to which it is possible to impact on students' understanding about the ideas targeted at by the curriculum materials through specially designed teaching innovations.

The study evolved through five stages. The first stage involved the design and development of an initial version of the activity sequence. This relied on information that stemmed from three directions. The first involved the review of the research literature relevant to (a) principles related to learning in science and corresponding teaching strategies and (b) teaching and learning about each of the three targeted learning objectives. This was intended to ensure that the existing knowledge base is taken into account while developing the activity sequence. The second related to the analysis of the content of each of the learning objectives. This led to the identification of the various conceptual, epistemological, reasoning or other resources that function as prerequisites for their attainment. Additionally, this analysis contributed towards the enhancement of the consistency between the activity sequence and the epistemological structure of the targeted learning objectives. The last direction pertained to the identification of students' initial ideas and the difficulties they encounter with respect to the learning objectives. Towards this end, two empirical studies had been conducted which involved the collection of data (a) through open-ended tasks from a large sample of the targeted student population (240 and 96 students) and (b) through individual semi-structured interviews with a subsample of these students (20 students in each case). The results that emerged from these studies

served to ensure that the design of the activity sequence, firstly, takes into account the existing knowledge within the research field of science education research and, secondly, makes productive use of students' initial ideas and supports them to overcome relevant difficulties.

The information that stemmed from these three directions significantly informed and guided the design of the initial version of the teaching/learning materials. The learning materials consist of two units. The first focuses on the construct of energy and it seeks to help students develop (a) epistemological awareness with respect to certain aspects of NOS including the distinction between observation and inference and the role of imagination and creativity in formulating explanatory accounts for observed phenomena, and (b) the ability to employ energy and its properties in analyzing changes observed in physical systems. Epistemological discourse contributes to the formulation of a working framework within which energy is introduced as a theoretical construct that has been invented in science and allows a unified perspective in the analysis of systems regardless of the domain they are drawn from. Energy is progressively exposed to conceptual elaboration through the gradual introduction of its various properties (i.e., transfer, form conversion, conservation and degradation), provides a context for epistemological discourse on the role of theories in the interpretation and prediction of phenomena (i.e., changes in physical systems) and their ability to evolve and become more elaborated with increased explanatory and predictive capability. Thus, these two dimensions are combined in such a way that each fosters the development of the other in a reciprocal manner. This teaching design has emerged as the result of our attempt to bypass the various difficulties that typically undermine traditional approaches to introduce energy in school science, given its abstract, quantitative and transphenomenological nature.

The second section is targeted at the development of a certain reasoning strategy for dealing with decision making situations and the comparison of rival solutions, in particular. The activity sequence relies on energy-based decision-making situations and therefore it maintains a strong link with the first section even though it could be implemented independently.

The second stage involved the implementation of the teaching/learning materials in the context of an after school science club. Participants were 28 students in the age range 11 to 14. Students met with instructors twice a week for a ninety-minute session. Data were

collected prior to and after the completion of each of the sections so as to assess for students' possible learning gains. Data analysis provided encouraging indications with respect to the attainment of the learning objectives. In addition to this, it also indicated aspects of the teaching/learning materials that did not function quite effectively. These indications informed and guided the refinement of the activity sequence, which took place at the third stage, so as to enhance their effectiveness.

The fourth stage involved the implementation of the revised version of the activity sequence in real classroom environments. In this case, the two units were implemented independently in two different school settings. The first unit was implemented in three intact sixth grade classes of an urban elementary school (N=64) whereas the second unit was implemented in two intact sixth grade classes of a different urban elementary school (N=48). During the implementation of the learning materials we collected empirical data in an attempt to derive measures of students' learning gains and, hence, evaluate the effectiveness of the activity sequence. The results that emerged from data analysis suggested a significant improvement in students' competence with respect to each of the learning objectives addressed by the learning materials. At the same time it also indicated aspects that did not function as effectively as we would like them to. The fifth stage included the refinement of the activity sequence, for the second time, taking into account the research data so as to further enhance its effectiveness.

This study can contribute to the research field of science education in two main ways. The first relates to the teaching and learning materials that have emerged as a result of the study. The activity sequence and the assessment tasks that have been developed were subjected to progressive refinement, on the basis of the empirical data that were collected in the context of their implementation in classroom environments, and have converged to a form, which can be readily used (at least within the context of the local educational system) to address the learning objectives they were designed for. This contribution becomes more apparent given the fact that each of the learning objectives is directly linked to widely recognized challenges in the science education research literature. However, it is important to stress that the activity sequence itself is a mere tool that cannot replace teachers. Despite the crucial role of curriculum materials, teachers' ability to appropriately use these tools is of critical importance and there is clearly a need to ensure that teachers are adequately prepared to undertake the important role of facilitating a productive learning environment that sustains students' intellectual engagement and active participation.

The second aspect of the contribution of the present study relates to the enrichment of certain areas of its theoretical framework. Specifically, the analysis of the data that had emerged at various stages during the implementation of the research study yielded significant findings that could supplement the existing knowledge basis. Specifically, they could extend and deepen what is already known with respect to students' initial ideas concerning the learning objectives that were addressed by the learning materials (conceptual understanding about energy, understanding of fundamental aspects of NOS and the ability to deal with socio-scientific, decision-making situations) and the various difficulties they are likely to encounter in this respect. In addition to this, they could contribute to the available research-based knowledge with respect to attempts to tackle each of the objectives in classroom settings through specially designed activity sequences.

Ευχαριστίες

Αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες μου προς τον κ. Κ. Π. Κωνσταντίνου. Θεωρώ τον εαυτό μου ιδιαίτερα τυχερό που είχα τον κ. Κωνσταντίνου ως επόπτη της διδακτορικής μου διατριβής. Η αλληλεπίδραση μαζί του με ενέπνευσε και μου παρείχε συνεχή καθοδήγηση στην υλοποίηση του κάθε σταδίου της εργασίας προωθώντας την παραγωγική εμπλοκή μου σε μια συνεχή διαδικασία διαπραγμάτευσης, επαναπροσδιορισμού, διευκρίνισης και εμβάθυνσης του σκεπτικού μου. Χωρίς τη δική του καθοδήγηση, δεν θα ήταν εφικτή η διεκπεραίωση της εργασίας. Ταυτόχρονα, χωρίς το ενθαρρυντικό, παραγωγικό και διανοητικά προκλητικό πλαίσιο συνεργασίας στο οποίο μου έδωσε την ευκαιρία να εργαστώ δεν θα ήταν εφικτή η υλοποίηση μιας εργασίας για το περιεχόμενο και το βάθος της οποίας να αισθάνομαι ικανοποιημένος. Ο κ. Κωνσταντίνου αποτέλεσε, και εξακολουθεί να αποτελεί, για μένα αστείρευτη πηγή άντλησης έμπνευσης και καθοδήγησης.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τα υπόλοιπα μέλη της συμβουλευτικής μου επιτροπής, κ. Θεοδώρα Κυράτση και κ. Αθανάσιο Ραφτόπουλο. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ειδικά την κ. Κυράτση η οποία διαδραμάτισε σημαντικότατο ρόλο στη διαμόρφωση του σκεπτικού που ενσωμάτωσε η διδακτορική διατριβή. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω επίσης στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κ. Σταμάτη Βώκο, κ. Κώστα Κορφιάτη και κ. Ζαχαρία Ζαχαρία. Τα εποικοδομητικά σχόλιά τους και η ιδιαίτερα παραγωγική συζήτηση στην οποία είχαμε την ευκαιρία να εμπλακούμε μου επέτρεψαν να διευκρινίσω περαιτέρω πτυχές διαφόρων ζητημάτων που εμπλέκονται στη διατριβή και να βελτιώσω το σκεπτικό μου.

Η διεκπεραίωση της διατριβής υποβοηθήθηκε ιδιαίτερα από τη συνεισφορά συνεργατών στην ερευνητική ομάδα μάθησης στις φυσικές και περιβαλλοντικές επιστήμες. Συγκεκριμένα, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς την κ. Γεωργία Μιχαήλ και τον κ. Γιώργο Ολυμπίου οι οποίοι συμμετείχαν στην εφαρμογή του διδακτικού υλικού που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της διατριβής, συνεισέφεραν στην επεξεργασία των δεδομένων και διάβασαν μέρη της διατριβής συμβάλλοντας στη βελτίωση του κειμένου. Ένας άλλος συνεργάτης στον οποίο θα ήθελα να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες είναι ο κ. Δημήτρης Παπαδημητρίου ο οποίος συνέβαλε στον πληροφορικό εμπλουτισμό του διδακτικού υλικού που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της εργασίας.

Το οικογενειακό περιβάλλον διαδραματίζει σημαντικότατο ρόλο κατά τη μακρόχρονη και επίπονη πορεία της υλοποίησης ενός διδακτορικού. Ήμουν πολύ τυχερός να λειτουργώ σε ένα ιδιαίτερα ενθαρρυντικό, υποστηρικτικό και κατανοητικό περιβάλλον και αυτό οφείλεται στη σύζυγό μου Νίκη την οποία ευχαριστώ θερμά. Η συνεχής της στήριξη και η ενθάρρυνση που μου παρείχε αποτέλεσαν βασικά εφόδια που μου έδιναν ώθηση σε όλη μου τη διαδρομή ως διδακτορικός φοιτητής.

ΝΙΚΟΣ ΠΑΠΑΔΟΟΥΡΗΣ

Στη Νίκη

ΝΙΚΟΣ ΠΑΠΑΔΟΥΡΗΣ

ΝΙΚΟΣ ΠΑΠΑΔΟΟΥΡΗΣ

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1 Η επιδίωξη της εργασίας: ανάπτυξη διδακτικού υλικού	6
1.2 Τεκμηρίωση της επιλογής των θεματικών περιοχών στις οποίες εστιάζεται το διδακτικό υλικό.....	8
1.2.1. Εννοιολογική κατανόηση: ενέργεια.....	8
1.2.2. Καλλιέργεια δεξιοτήτων συλλογισμού: η συλλογιστική στρατηγική της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης.....	10
1.2.3. Επιστημολογική επάρκεια	11
1.3. Δομή εργασίας	12
2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	14
2.1. Δεξιότητες λήψης απόφασης	14
2.1.1. Δεξιότητες Λήψης Απόφασης και Διδακτική των Φυσικών Επιστημών	15
2.1.2. Δεξιότητα επεξεργασίας δεδομένων στο πλαίσιο καταστάσεων λήψης απόφασης: υφιστάμενη τεχνογνωσία.....	20
2.1.3. Υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με την καλλιέργεια δεξιοτήτων λήψης απόφασης στο πλαίσιο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών.....	26
2.2. Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση της επιστήμης	30
2.2.1. Η χρησιμότητα της διδασκαλίας για τη φύση της επιστήμης.....	31
2.2.2. Αντιπαραθέσεις και ενδοιασμοί αναφορικά με τη διδασκαλία επιστημολογικής επάρκειας	34
2.2.3. Βασικά χαρακτηριστικά της φύσης της επιστήμης	40
2.2.4. Χαρτογράφηση του βαθμού ενημερότητας των μαθητών για τη φύση της επιστήμης.....	46
2.2.5. Προσεγγίσεις για την αξιολόγηση των αρχικών ιδεών των μαθητών	49
2.2.6. Υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με τη διδασκαλία επιστημολογικής επάρκειας	51
2.3. Μάθηση και διδασκαλία για την ενέργεια.....	56
2.3.1. Η εξέλιξη της έννοιας της ενέργειας μέσα από την ιστορία της επιστήμης	56
2.3.2. Το πλαίσιο διδασκαλίας της ενέργειας	60
2.3.3. Υφιστάμενη τεχνογνωσία για τη διδασκαλία της ενέργειας.....	64
2.3.4. Η διδακτική εισήγηση της εργασίας.....	69
2.4. Ανάπτυξη διδακτικού υλικού: το πρότυπο της σχεδιαστικής έρευνας (design-based research).....	75
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	80
3.1. Προσδιορισμός της ερευνητικής επιδίωξης και των ερευνητικών ερωτημάτων	80
3.2. Περιγραφή προσέγγισης ανάπτυξης διδακτικού υλικού.....	81
3.2.1. Σχεδιασμός και ανάπτυξη αρχικής εκδοχής διδακτικού υλικού.....	82
3.2.2. Ανάπτυξη της ακολουθίας δραστηριοτήτων.....	86
3.2.3. Ερευνητική εγκυροποίηση διδακτικού υλικού: εφαρμογή, αξιολόγηση και αναθεώρηση ακολουθίας δραστηριοτήτων.....	86
3.2.4. Εφαρμογή και περαιτέρω τροποποίηση της δεύτερης εκδοχής της ακολουθίας δραστηριοτήτων	87
3.3. Γενικά μεθοδολογικά στοιχεία για επιμέρους στάδια της υλοποίησης της εργασίας	88
3.3.1. Μέσα συλλογής δεδομένων	88
3.3.2. Σχεδιασμός και ανάπτυξη έργων αξιολόγησης.....	92
3.3.3. Επεξεργασία δεδομένων	92
3.3.4. Μεθοδολογικοί περιορισμοί	98

4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΧΙΚΩΝ ΙΔΕΩΝ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΥΣΚΟΛΙΩΝ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΥΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΕΠΙΔΙΩΞΕΙΣ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΕΣΤΙΑΖΕΤΑΙ ΤΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....	104
4.1. Διερεύνηση των αρχικών ιδεών των μαθητών για την ενέργεια και το ρόλο της στην ανάλυση των μεταβολών σε φυσικά συστήματα.....	104
4.1.1. Μεθοδολογικά στοιχεία.....	105
4.1.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων.....	112
4.1.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων και απορρέουσες διδακτικές συνέπειες.....	132
4.2. Διερεύνηση αρχικών ιδεών των μαθητών για τη διαχείριση της σύγκρισης πιθανών λύσεων σε καταστάσεις λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα.....	136
4.2.1. Μεθοδολογικά στοιχεία.....	137
4.2.2. Αποτελέσματα.....	145
4.2.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	161
5. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ.....	166
5.1. Γενικά στοιχεία αναφορικά με το διδακτικό σχεδιασμό.....	167
5.1.1. Διδακτική προσέγγιση και διδακτικές στρατηγικές που υλοποιούνται στο σχεδιασμό του διδακτικού υλικού.....	167
5.1.2. Στοιχεία πληροφορικού εμπλουτισμού διδακτικού υλικού.....	172
5.2. Μέρος Α: Επιστημολογική και εννοιολογική επεξεργασία της ενέργειας.....	173
5.2.1. Ανάλυση της μαθησιακής επιδίωξης για την ενέργεια.....	174
5.2.2. Δομή διδακτικού υλικού.....	181
5.3. Μέρος Β: Καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης.....	200
5.3.1. Περιγραφή της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης.....	200
5.3.2. Ανάλυση του περιεχομένου της επιδίωξης για καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης.....	204
5.3.3. Μαθησιακές επιδιώξεις.....	207
5.3.4. Σύνοψη του σκεπτικού του διδακτικού σχεδιασμού.....	207
5.3.5. Γενικά στοιχεία για τη δομή των ενοτήτων.....	212
5.3.6. Περιγραφή ενοτήτων.....	213
6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ Ι: ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	220
6.1. Μεθοδολογικά στοιχεία για την εφαρμογή του διδακτικού υλικού.....	220
6.1.1. Γενικά στοιχεία για τις εφαρμογές του διδακτικού υλικού.....	220
6.2. Πιλοτική εφαρμογή.....	228
6.2.1. Περιγραφή έργων αξιολόγησης.....	228
6.2.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων.....	230
6.2.3. Συζήτηση αποτελεσμάτων αξιολόγησης.....	246
6.3. Αποτελέσματα της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της αναθεωρημένης εκδοχής του διδακτικού υλικού.....	251
6.3.1. Κατανόηση μαθητών για τη φύση της ενέργειας.....	252
6.3.2. Η ενέργεια ως ενιαία ερμηνεία μεταβολών.....	284
6.3.3. Ικανότητα των μαθητών για ενεργειακή ανάλυση συστημάτων.....	294
6.3.4. Αντιλήψεις εκπαιδευτικών για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού.....	366
6.3.5. Αναθεώρηση διδακτικού υλικού.....	372
6.4. Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	381
6.4.1. Σύνδεση ευρημάτων εργασίας με την ευρύτερη συζήτηση για τη μάθηση και τη διδασκαλία της ενέργειας.....	382

7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ II: ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΣΥΛΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	396
7.1. Μεθοδολογικά στοιχεία για την εφαρμογή του διδακτικού υλικού	396
7.1.1. Πλαίσιο εφαρμογής διδακτικού υλικού	396
7.1.2. Διδακτική προσέγγιση	397
7.1.3. Οργάνωση της τάξης.....	398
7.1.4. Μέσα συλλογής δεδομένων	398
7.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων από την πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού.....	408
7.3. Αποτελέσματα από τη δεύτερη εφαρμογή του διδακτικού υλικού	429
7.3.1. Αρχική αξιολόγηση.....	429
7.3.2. Τελική αξιολόγηση	443
7.3.3. Σύνθεση αποτελεσμάτων από το σύνολο των έργων αξιολόγησης.....	496
7.3.4. Σύνοψη των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών για την αποτελεσματικότητα της ακολουθίας δραστηριοτήτων	506
7.3.5. Συζήτηση	509
7.3.6. Αναθεώρηση ακολουθίας δραστηριοτήτων και διαδικασιών/μέσων αξιολόγησης.....	514
8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	521
8.1. Ανακεφαλαίωση αποτελεσμάτων της εργασίας	521
8.1.1. Αρχικές ιδέες μαθητών και δυσκολίες που αντιμετωπίζουν σε σχέση με τις υπό έμφαση μαθησιακές επιδιώξεις.....	522
8.1.2. Αποτελεσματικότητα του διδακτικού σχεδιασμού και της ακολουθίας δραστηριοτήτων που αναπτύχθηκαν σε σχέση με την προώθηση των μαθησιακών επιδιώξεων	524
8.2. Συνεισφορά της εργασίας στην ενίσχυση του θεωρητικού πλαισίου.....	526
8.2.1. Εμπλουτισμός ερευνητικού υποβάθρου για αρχικές ιδέες μαθητών	526
8.2.2. Εμπλουτισμός διαθέσιμου υποβάθρου για τη διδακτική επεξεργασία των υπό έμφαση μαθησιακών επιδιώξεων.....	528
8.2.3. Συνέπειες για την ανάπτυξη διδακτικού υλικού για την προώθηση της μάθησης στις φυσικές επιστήμες	533
8.3. Εισηγήσεις για επέκταση της παρούσας εργασίας	539
8.3.1. Υποβολή της αναθεωρημένης εκδοχής του διδακτικού υλικού σε πρόσθετη διαδικασία βελτιωτικής ρύθμισης.....	539
8.3.2. Προσαρμογή του διδακτικού υλικού ώστε να μειωθεί η απόσταση από τις συνθήκες των πραγματικών περιβαλλόντων τάξης	540
8.3.3. Εγκυροποίηση της διαβάθμισης των εκδοχών που έχουν προταθεί για τη συνολική διδακτική επεξεργασία της ενέργειας.....	541
8.3.4. Ενίσχυση και θεμελίωση του μεθοδολογικού πλαισίου για την ανάπτυξη διδακτικού υλικού.....	541

Κατάλογος Διαγραμμάτων

- Διάγραμμα 1 Ανάλυση βασικών συνιστωσών της δεξιότητας διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα...16
- Διάγραμμα 2 Παράδειγμα δραστηριότητας (ανεξάρτητης περιεχομένου) για προώθηση επιστημολογικής επάρκειας...54
- Διάγραμμα 3 Ερευνητική προσέγγιση υλοποίησης των στόχων της εργασίας...83
- Διάγραμμα 4 Σύνοψη περιεχομένου και δομής των έργων αξιολόγησης...108
- Διάγραμμα 5 Σύνοψη ερμηνειών που πρότειναν οι μαθητές για τις μεταβολές...133
- Διάγραμμα 6 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης I...139
- Διάγραμμα 7 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης II...139
- Διάγραμμα 8 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης III...140
- Διάγραμμα 9 Δυσκολίες που υποσκιάζουν την προσπάθεια των μαθητών να διαχειριστούν τη σύγκριση των πιθανών λύσεων σε καταστάσεις λήψης απόφασης...163
- Διάγραμμα 10 Δομή της μαθησιακής επιδίωξης για εννοιολογική κατανόηση και επιστημολογική ενημερότητα για την ενέργεια...175
- Διάγραμμα 11 Το σύστημα ενός ελατηρίου που αποσυμπιέζεται...180
- Διάγραμμα 12 Αποτύπωση της ροής δραστηριοτήτων στο διδακτικό υλικό...182
- Διάγραμμα 13 Αναπαράσταση της αρχικής δραστηριότητας για τη διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας παρατήρησης...184
- Διάγραμμα 14 Μεταβολές σε φυσικά συστήματα...188
- Διάγραμμα 15 Παραδείγματα από την ανάλυση μεταβολών σε συστήματα μέσα από την εφαρμογή του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας...195
- Διάγραμμα 16 Ένα παράδειγμα ενεργειακής αλυσίδας με τη χρήση του εργαλείου...196
- Διάγραμμα 17 Η δομή της μαθησιακής επιδίωξης για καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης...206
- Διάγραμμα 18 Διαγραμματική απεικόνιση του διδακτικού σχεδιασμού της ενότητας για καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης...211
- Διάγραμμα 19 Η εμφάνιση της εισαγωγικής σελίδας των ενοτήτων...213
- Διάγραμμα 20 Έργα αξιολόγησης ικανότητας ενεργειακής ανάλυσης και παραδείγματα έγκυρων απαντήσεων...230
- Διάγραμμα 21 Περιεχόμενο έργου αξιολόγησης ικανότητας διάκρισης παρατήρησης-ερμηνείας παρατήρησης...252
- Διάγραμμα 22 Σύνοψη έργου αξιολόγησης ικανότητας ενεργειακής ανάλυσης και αναμενόμενων απαντήσεων...296
- Διάγραμμα 23 Φύλλο εργασίας για αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών για την ιδιότητα της ενέργειας να υποβαθμίζεται...361
- Διάγραμμα 24 Σύνοψη της προκαταρκτικής εισήγησης για συνολική διδακτική διαχείριση της ενέργειας από το δημοτικό μέχρι το λύκειο...391
- Διάγραμμα 25 Στάδια της υλοποίησης του διδακτικού υλικού κατά τα οποία χορηγήθηκε το κάθε έργο αξιολόγησης...401
- Διάγραμμα 26 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης I...410
- Διάγραμμα 27 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης II...412
- Διάγραμμα 28 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης IV...421

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1	Εναλλακτικές αντιλήψεις μαθητών για την ενέργεια...65
Πίνακας 2	Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων και δεδομένων που αξιοποιήθηκαν για τη διερεύνησή τους...91
Πίνακας 3	Κατηγορίες απάντησης και ενδεικτικά παραδείγματα...113
Πίνακας 4	Κατηγορίες απάντησης για την ερμηνεία των μεμονωμένων μεταβολών στα τέσσερα συστήματα...114
Πίνακας 5	Κατηγορίες απάντησης για τα δύο ζεύγη συστημάτων...116
Πίνακας 6	Κατηγορίες ενεργειακών απαντήσεων και ενδεικτικά παραδείγματα...119
Πίνακας 7	Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης ενεργειακών απαντήσεων...121
Πίνακας 8	Προσεγγίσεις διαχείρισης πρώτου έργου αξιολόγησης...146
Πίνακας 9	Προσεγγίσεις διαχείρισης κατάστασης λήψης απόφασης δεύτερου έργου αξιολόγησης...151
Πίνακας 10	Προσεγγίσεις διαχείρισης κατάστασης λήψης απόφασης έργου αξιολόγησης III (αυθόρμητη απόφαση)...155
Πίνακας 11	Προσεγγίσεις διαχείρισης κατάστασης λήψης απόφασης έργου αξιολόγησης III (τελική απόφαση)...157
Πίνακας 12	Αντιπαραβολή προσεγγίσεων που υιοθέτησαν οι μαθητές για τη διαχείριση των διαφόρων έργων αξιολόγησης...159
Πίνακας 13	Συγκείμενο εισαγωγής της κάθε μορφής αποθήκευσης ενέργειας...190
Πίνακας 14	Συμβολικές αναπαραστάσεις μορφών αποθήκευσης και διεργασιών διάδοσης ενέργειας...193
Πίνακας 15	Παράδειγμα κατάστασης λήψης απόφασης...201
Πίνακας 16	Μετατροπή πληροφοριών σε ενιαία κλίμακα μέτρησης...201
Πίνακας 17	Ανάθεση συντελεστών βαρύτητας και υπολογισμός συνολικής σταθμισμένης βαθμολογίας για την κάθε λύση...202
Πίνακας 18	Σενάρια λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στα έργα αξιολόγησης...208
Πίνακας 19	Αποτύπωση της δομής των ενοτήτων...212
Πίνακας 20	Κατηγορίες απαντήσεων για το πρώτο διαγνωστικό δοκίμιο...231
Πίνακας 21	Κατηγοριοποίηση ερμηνειών των μαθητών για μεμονωμένες μεταβολές...232
Πίνακας 22	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κατηγοριοποίησης των απαντήσεων μετά τη διδασκαλία...233
Πίνακας 23	Κατηγορίες απάντησης για την ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών...234
Πίνακας 24	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κατηγοριοποίησης των απαντήσεων πριν και μετά τη διδασκαλία...235
Πίνακας 25	Βαθμός επικάλυψης ενεργειακών ερμηνειών για μεμονωμένες και ενιαίες μεταβολές...237
Πίνακας 26	Βαθμός εγκυρότητας ενεργειακών αλυσίδων που κατασκεύασαν οι μαθητές...241
Πίνακας 27	Αποτελέσματα επεξεργασίας αρχικών απαντήσεων αναφορικά με τη διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας παρατήρησης...255
Πίνακας 28	Αποτελέσματα επεξεργασίας τελικών απαντήσεων αναφορικά με τη διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας παρατήρησης...261
Πίνακας 29	Αποτελέσματα ποσοτικής σύγκρισης αρχικών και τελικών απαντήσεων στα ερωτήματα κλειστού τύπου...265
Πίνακας 30	Αντιπαραβολή κατηγοριοποίησης αρχικών και τελικών απαντήσεων...273
Πίνακας 31	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων για διάκριση επινόησης

	και ανακάλυψης στην περίπτωση του φαινομένου της μαγνητικής έλξης...274
Πίνακας 32	Αντιπαραβολή κωδικοποίησης αρχικών και τελικών απαντήσεων για τη φύση της ενέργειας...280
Πίνακας 33	Κωδικοποίηση απαντήσεων κατά την αρχική αξιολόγηση...285
Πίνακας 34	Κωδικοποίηση απαντήσεων κατά την τελική αξιολόγηση...286
Πίνακας 35	Αντιπαραβολή της κατηγοριοποίησης των ενεργειακών απαντήσεων κατά την αρχική και τελική αξιολόγηση...288
Πίνακας 36	Αντιπαραβολή κατηγοριοποίησης των απαντήσεων των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία για την ενιαία ερμηνεία του ζεύγους των μεταβολών...289
Πίνακας 37	Αντιπαραβολή της κατηγοριοποίησης των ενεργειακών απαντήσεων για την ενιαία ερμηνεία του ζεύγους μεταβολών πριν και μετά τη διδασκαλία...291
Πίνακας 38	Επικάλυψη ενεργειακών ερμηνειών για μεμονωμένες μεταβολές και ζεύγη μεταβολών πριν και μετά τη διδασκαλία...292
Πίνακας 39	Κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι απαντήσεις των μαθητών που απέφυγαν να προτείνουν ενεργειακές αλυσίδες...303
Πίνακας 40	Συχνότητα και ποσοστό μαθητών που είχαν εμπλακεί στη διαδικασία της ενεργειακής ανάλυσης, ανά σύστημα...304
Πίνακας 41	Επίδοση μαθητών ως προς την εγκυρότητα των ενεργειακών αναλύσεων που πρότειναν για το κάθε σύστημα στο πρώτο δοκίμιο...304
Πίνακας 42	Επίδοση μαθητών ως προς την εγκυρότητα των ενεργειακών αναλύσεων που πρότειναν για το κάθε σύστημα στο πρώτο και στο δεύτερο δοκίμιο...312
Πίνακας 43	Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στην επίδοση των μαθητών σε ζεύγη συστημάτων...314
Πίνακας 44	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της ελαστικής ενέργειας ως της αρχικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα...316
Πίνακας 45	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση του μηχανικού έργου ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα...319
Πίνακας 46	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας ως της τελικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα...320
Πίνακας 47	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της χημικής ενέργειας ως της αρχικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα...325
Πίνακας 48	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση του μηχανικού έργου ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα...329
Πίνακας 49	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας ως της τελικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα...330
Πίνακας 50	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση του μηχανικού έργου ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα...332
Πίνακας 51	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της χημικής ενέργειας ως της αρχικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα του ηλεκτρικού τρυπανιού...339
Πίνακας 52	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της ηλεκτρικής ενέργειας ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα του ηλεκτρικού τρυπανιού...340

Πίνακας 53	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας ως της τελικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα του ηλεκτρικού τρυπανιού...341
Πίνακας 54	Πλήθος εναλλακτικών επιλογών στις οποίες κατέφυγαν οι μαθητές για τον προσδιορισμό των μορφών αποθήκευσης και διεργασιών διάδοσης της ενέργειας σε κάθε σύστημα...343
Πίνακας 55	Επικάλυψη ανάμεσα στις επιλογές στις οποίες κατέφυγαν οι μαθητές στα δύο δοκίμια για τις διάφορες μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης στο κάθε σύστημα...344
Πίνακας 56	Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης αρχικών απαντήσεων για τη διατήρηση της ενέργειας (η ενέργεια δεν παράγεται)...348
Πίνακας 57	Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης αρχικών απαντήσεων για τη διατήρηση της ενέργειας (η ενέργεια δεν καταστρέφεται)...350
Πίνακας 58	Αρχικές απαντήσεις μαθητών στο φύλλο εργασίας (διατήρηση/υποβάθμιση ενέργειας)...362
Πίνακας 59	Αναθεωρημένες απαντήσεις μαθητών στο φύλλο εργασίας (διατήρηση/υποβάθμιση ενέργειας)...363
Πίνακας 60	Περιεχόμενο και δομή των σεναρίων λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στα έργα αξιολόγησης στο πλαίσιο της πιλοτικής εφαρμογής του διδακτικού υλικού...399
Πίνακας 61	Περιεχόμενο και δομή των σεναρίων λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στα έργα αξιολόγησης στο πλαίσιο της δεύτερης εφαρμογής του διδακτικού υλικού...403
Πίνακας 62	Αντιστοίχιση ανάμεσα στα έργα αξιολόγησης των ομάδων Α και Γ και προσδιορισμός της εισήγησης που κλήθηκαν να αξιολογήσουν οι μαθητές σε κάθε περίπτωση...405
Πίνακας 63	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης Ι κατά την αρχική αξιολόγηση...409
Πίνακας 64	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙΙ κατά την αρχική αξιολόγηση...411
Πίνακας 65	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙΙΙ...413
Πίνακας 66	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων μαθητών στο έργο αξιολόγησης Ι (ενδιάμεση αξιολόγηση)...416
Πίνακας 67	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙΙΙ (ενδιάμεση αξιολόγηση)...417
Πίνακας 68	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙΙΙ (τελική αξιολόγηση)...420
Πίνακας 69	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙV (τελική αξιολόγηση)...421
Πίνακας 70	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης Ι (αρχική αξιολόγηση)...432
Πίνακας 71	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΙΙ (αρχική αξιολόγηση)...434
Πίνακας 72	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΙΙΙ (αρχική αξιολόγηση)...438
Πίνακας 73	Σύνοψη αποτελεσμάτων αρχικής αξιολόγησης για το σύνολο των έργων αξιολόγησης...442
Πίνακας 74	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΒΙ (τελική αξιολόγηση)...443
Πίνακας 75	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΒΙΙ (τελική αξιολόγηση)...447

- Πίνακας 76 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙ (τελική αξιολόγηση)...451
- Πίνακας 77 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙΙ (αρχική αξιολόγηση)...455
- Πίνακας 78 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙΙΙ (τελική αξιολόγηση)...461
- Πίνακας 79 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙV (τελική αξιολόγηση)...466
- Πίνακας 80 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑV (τελική αξιολόγηση)...471
- Πίνακας 81 Συχνότητα των περιπτώσεων αυθόρμητης εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση των σεναρίων λήψης απόφασης...479
- Πίνακας 82 Συχνότητα εμφάνισης περιπτώσεων όπου ενώ εφαρμόστηκε η στρατηγική της βελτιστοποίησης δεν υπήρξε ρητή αναφορά στα αποτελέσματά της...480
- Πίνακας 83 Πλήθος διαφορετικών έργων αξιολόγησης στα οποία εφαρμόστηκε η στρατηγική της βελτιστοποίησης χωρίς ρητή αναφορά στα αποτελέσματά της, από τον ίδιο μαθητή...481
- Πίνακας 84 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΙ (τελική αξιολόγηση)...484
- Πίνακας 85 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΙΙ (τελική αξιολόγηση)...487
- Πίνακας 86 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΙΙΙ (τελική αξιολόγηση)...489
- Πίνακας 87 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΙV (τελική αξιολόγηση)...491
- Πίνακας 88 Αποτύπωση του τρόπου με τον οποίο τοποθετήθηκαν οι μαθητές στα τέσσερα έργα αξιολόγησης της ομάδας Γ...495
- Πίνακας 89 Αντιπαραβολή απαντήσεων ανάμεσα στην επάρκεια των μαθητών να εφαρμόζουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης (ΒΙ) και την ικανότητά τους να την επιλέγουν αυθόρμητα για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης (έργα αξιολόγησης ομάδας Α)...497
- Πίνακας 90 Αντιστοίχιση ανάμεσα σε συλλογιστικά στρεβλωμένες προσεγγίσεις και σεναρία λήψης απόφασης (έργα αξιολόγησης Α) που ευνοούν την εφαρμογή τους...502
- Πίνακας 91 Συσχέτιση ανάμεσα στην ικανότητα αναγνώρισης του στρεβλωμένου χαρακτήρα μιας προσέγγισης σύγκρισης πιθανών λύσεων και στην επιλογή (και έγκυρη εφαρμογή) της στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση ανάλογων καταστάσεων λήψης απόφασης...503
- Πίνακας 92 Αριθμός περιπτώσεων όπου προσδιορίστηκε ως λανθασμένη η κάθε εναλλακτική προσέγγιση αλλά δεν επιλέγηκε η βελτιστοποίηση για τη διαχείριση αντίστοιχων καταστάσεων λήψης απόφασης στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α...504

Η παρούσα διατριβή παρουσιάστηκε δημόσια και εγκρίθηκε στις 12 Δεκεμβρίου 2009.

Αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση διδακτορικού τίτλου στη «Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες».

Ερευνητικός Σύμβουλος: Κωνσταντίνος Π. Κωνσταντίνου, Αν. Καθηγητής
Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Συμβουλευτική Επιτροπή: Αθανάσιος Ραφτόπουλος, Αν. Καθηγητής
Τμήμα Ψυχολογίας, Πανεπιστήμιο Κύπρου
Θεοδώρα Κυράτση, Επ. Καθηγήτρια
Τμήμα Μηχανικών Μηχανολογίας και
Κατασκευαστικής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

.....
Κωνσταντίνος Π. Κωνσταντίνου

.....
Αθανάσιος Ραφτόπουλος

.....
Θεοδώρα Κυράτση

Εξεταστική Επιτροπή:

— Ζαχαρίας Χ. Ζαχαρία (Πρόεδρος)

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

— Κωνσταντίνος Π. Κωνσταντίνου

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

— Αθανάσιος Ραφτόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ψυχολογίας, Πανεπιστήμιο Κύπρου

— Θεοδώρα Κυράτση

Επίκουρη Καθηγήτρια, Τμήμα Μηχανικών Μηχανολογίας και Κατασκευαστικής,
Πανεπιστήμιο Κύπρου

— Σταμάτης Βώκος

Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Seattle Pacific University

— Κώστας Κορφιάτης

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Πανεπιστήμιο Κύπρου



Η παρούσα διατριβή έχει διεκπεραιωθεί στο πλαίσιο των εργασιών της Ερευνητικής Ομάδας Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες (ΕΟΜΦΠΕ), στο Πανεπιστήμιο Κύπρου. Απαγορεύεται η μερική ή ολική αναδημοσίευση του έργου αυτού, καθώς και η αναπαραγωγή του με οποιοδήποτε άλλο μέσο χωρίς σχετική άδεια της ΕΟΜΦΠΕ και του συγγραφέα.

©2010, Ερευνητική Ομάδα Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες,

Πανεπιστήμιο Κύπρου

ISBN 978-9963-689-26-2

ΝΙΚΟΣ ΠΑΠΑΔΟΟΥΡΗΣ

Περίληψη

Η εργασία απευθύνθηκε σε δύο βασικές επιδιώξεις. Η πρώτη εστιάζει στην ανάπτυξη διδακτικού υλικού για την προώθηση (α) εννοιολογικής κατανόησης και επιστημολογικής ενημερότητας για την ενέργεια, (β) επάρκειας για βασικές πτυχές της φύσης της επιστήμης και (γ) της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης. Η δεύτερη αφορά στη διαχείριση συγκεκριμένων ερευνητικών ερωτημάτων τα οποία συνδέονται άμεσα με την ανάπτυξη και την αξιολόγηση του διδακτικού υλικού. Αυτά τα ερευνητικά ερωτήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Τα τρία πρώτα ερωτήματα συνδέονται με την ενίσχυση του διαθέσιμου ερευνητικού υποβάθρου για τις αρχικές ιδέες των μαθητών αναφορικά με τις βασικές μαθησιακές επιδιώξεις του διδακτικού υλικού και τις σχετικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Τα τελευταία δύο ερωτήματα αποσκοπούν να συνεισφέρουν στην υφιστάμενη τεχνογνωσία σχετικά με το βαθμό στον οποίο είναι εφικτή η επίδραση στις αρχικές ιδέες των μαθητών, μέσα από ειδικά σχεδιασμένες διδακτικές επινοήσεις, με στόχο την εξέλιξη και τη βελτίωσή τους.

Η πορεία υλοποίησης της εργασίας περιέλαβε πέντε στάδια. Στο πρώτο στάδιο αναπτύχθηκε μια πρώτη εκδοχή του διδακτικού υλικού. Για το σκοπό αυτό αξιοποιήθηκε πληροφόρηση από τρεις πηγές. Η πρώτη συνδέεται με την επισκόπηση της βιβλιογραφίας αναφορικά με (α) βασικές αρχές μάθησης και διδακτικές στρατηγικές και (β) το διαθέσιμο ερευνητικό υπόβαθρο για τη μάθηση και τη διδασκαλία για την καθεμιά από τις τρεις μαθησιακές επιδιώξεις, ώστε να αξιοποιηθεί η υφιστάμενη τεχνογνωσία κατά τη διαμόρφωση της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Η δεύτερη πηγή περιλαμβάνει την ανάλυση του περιεχομένου και της δομής των τριών μαθησιακών επιδιώξεων και την καταγραφή των εννοιολογικών, συλλογιστικών και επιστημολογικών στοιχείων που προϋποτίθενται για να καταστεί εφικτή η επίτευξή τους. Τέλος, η τρίτη πηγή περιλαμβάνει τη συλλογή και επεξεργασία εμπειρικών δεδομένων σε σχέση με τις αρχικές ιδέες που διαθέτουν οι μαθητές και τις δυσκολίες που συναντούν αναφορικά με τις τρεις μαθησιακές επιδιώξεις. Σε αυτό το πλαίσιο υλοποιήθηκαν δύο ανεξάρτητες εμπειρικές εργασίες στις οποίες είχαν συλλεγεί δεδομένα τόσο μέσα από τη συμπλήρωση έργων αξιολόγησης ανοικτού τύπου από σχετικά μεγάλο αριθμό μαθητών που προέρχονταν από τις βαθμίδες εκπαίδευσης στις οποίες απευθύνεται το διδακτικό υλικό (240 στη μια περίπτωση και 96 στην άλλη) όσο και δεδομένα μέσω ατομικών συνεντεύξεων με μικρότερα δείγματα μαθητών (20 μαθητές σε κάθε περίπτωση). Συνδυάζοντας την πληροφόρηση που προέκυψε από τις τρεις αυτές πηγές διαμορφώθηκε μια πρώτη εκδοχή του διδακτικού υλικού, η οποία αποτελείται από δύο ενότητες. Η πρώτη εστιάζει στην επεξεργασία της ενέργειας και επικεντρώνεται στην

προώθηση (α) επιστημολογικής επάρκειας για συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της φύσης της επιστήμης, περιλαμβανομένης της κατανόησης για τη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία και για το ρόλο της επινόησης στην ερμηνεία φαινομένων και (β) εννοιολογικής κατανόησης για την ενέργεια και την εφαρμογή της στην ανάλυση μεταβολών σε φυσικά συστήματα. Η επιστημολογική συζήτηση δημιουργεί ένα πλαίσιο εντός του οποίου εισάγεται σε επόμενο στάδιο η ενέργεια ως μια επινοημένη ιδέα που αποσκοπεί στην ενιαία ερμηνεία μεταβολών σε συστήματα ανεξάρτητα από το πεδίο από το οποίο προέρχονται. Η εννοιολογική επεξεργασία στην οποία υπόκειται η ενέργεια, η οποία υλοποιείται προοδευτικά μέσα από τη σταδιακή εισαγωγή των ιδιοτήτων της, παρέχει ένα συγκείμενο για επιστημολογική συζήτηση αναφορικά με το ρόλο των επιστημονικών θεωριών σε σχέση με την ερμηνεία και πρόβλεψη μεταβολών και τη δυνατότητά τους να εξελίσσονται και να ενσωματώνουν πρόσθετα στοιχεία τα οποία συνεισφέρουν στην προβλεπτική και ερμηνευτική τους ικανότητα. Συνεπώς, οι δύο επιδιώξεις προσεγγίζονται συνδυασμένα και λειτουργούν αλληλοενισχυτικά. Αυτός ο διδακτικός σχεδιασμός προέκυψε ως μια επινόηση για την παράκαμψη των δυσκολιών που προκύπτουν συνήθως στη διδασκαλία της ενέργειας, λόγω της αφηρημένης και της ποσοτικής της φύσης, αφενός, και του διαφαινομενολογικού της χαρακτήρα, αφετέρου.

Η δεύτερη ενότητα αποσκοπεί στην καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Η ακολουθία που έχει αναπτυχθεί αξιοποιεί ως συγκείμενο κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα ενεργειακού χαρακτήρα. Συνεπώς, η σύνδεση ανάμεσα στις δύο ενότητες προκύπτει από την αξιοποίηση του θεματικού πλαισίου της ενέργειας.

Το δεύτερο στάδιο περιέλαβε την εφαρμογή του διδακτικού υλικού στο πλαίσιο ενός απογευματινού μαθητικού ομίλου. Η λειτουργία του ομίλου στηριζόταν σε δύο εβδομαδιαίες συναντήσεις διάρκειας ενενήντα λεπτών και συμμετείχαν σε αυτόν 28 μαθητές. Παράλληλα με την υλοποίηση του διδακτικού υλικού εφαρμόστηκαν διαδικασίες συλλογής εμπειρικών δεδομένων αναφορικά με την εξέλιξη της κατανόησης των μαθητών σε σχέση με τις μαθησιακές επιδιώξεις. Τα δεδομένα που προέκυψαν παρείχαν ενθαρρυντικές ενδείξεις σχετικά με την προώθηση των υπό έμφαση μαθησιακών επιδιώξεων. Επίσης, προέκυψαν ενδείξεις για πτυχές της ακολουθίας δραστηριοτήτων που δεν λειτούργησαν ιδιαίτερα αποτελεσματικά. Αυτές οι ενδείξεις αποτέλεσαν βασική πηγή αναφοράς στο τρίτο στάδιο, το οποίο επικεντρώθηκε στην αναθεώρηση του διδακτικού υλικού. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη αυτή την πληροφόρηση αναθεωρήθηκε τόσο η

ακολουθία δραστηριοτήτων όσο και τα έργα αξιολόγησης που αξιοποιήθηκαν για τη συλλογή δεδομένων, ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητά τους.

Στο τέταρτο στάδιο εφαρμόστηκε η αναθεωρημένη ακολουθία δραστηριοτήτων σε πραγματικά περιβάλλοντα τάξης. Οι δύο ενότητες εφαρμόστηκαν ανεξάρτητα. Η πρώτη υλοποιήθηκε σε τρεις έκτες τάξεις ενός δημοτικού σχολείου (N=64) και η δεύτερη σε δύο έκτες τάξεις ενός άλλου σχολείου (N=48). Κατά την υλοποίηση του διδακτικού υλικού αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητά του σε σχέση με την προώθηση των μαθησιακών επιδιώξεων στις οποίες απευθύνεται. Η επεξεργασία των εμπειρικών δεδομένων που προέκυψαν κατέδειξε αξιολογη εξέλιξη στο σκεπτικό των μαθητών σε σχέση με το σύνολο των μαθησιακών επιδιώξεων, η οποία είναι ενδεικτική της αποτελεσματικότητάς του. Ωστόσο, υπήρξαν επίσης ενδείξεις για πτυχές του διδακτικού υλικού οι οποίες δεν λειτούργησαν σε ικανοποιητικό βαθμό. Αυτές οι ενδείξεις καθοδήγησαν τη διαδικασία αναθεώρησής του στο πέμπτο στάδιο της πορείας υλοποίησης της εργασίας, ώστε να βελτιωθεί περαιτέρω η αποτελεσματικότητά του.

Η συνεισφορά της εργασίας στο ερευνητικό πεδίο της μάθησης και της διδασκαλίας στις φυσικές επιστήμες αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Η πρώτη αφορά στο διδακτικό υλικό που προέκυψε ως προϊόν της εργασίας. Τόσο η ακολουθία δραστηριοτήτων όσο και τα αντίστοιχα έργα αξιολόγησης που προέκυψαν στο πλαίσιο της εργασίας, έχουν περάσει από διαδικασίες δοκιμής, αξιολόγησης και αναθεώρησης σε δύο περιπτώσεις και έχουν καταλήξει σε μια εκδοχή η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο τοπικό εκπαιδευτικό σύστημα για τη διαχείριση των μαθησιακών επιδιώξεων για τις οποίες έχει σχεδιαστεί. Είναι σημαντικό, ωστόσο, να τονιστεί ότι το διδακτικό υλικό αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο δεν αντικαθιστά τον εκπαιδευτικό και να σημειωθεί η ανάγκη για κατάλληλη προετοιμασία των εκπαιδευτικών, ώστε να το αξιοποιούν με κατάλληλο και αποτελεσματικό τρόπο. Η δεύτερη συνεισφορά αφορά στην ενίσχυση πτυχών του θεωρητικού πλαισίου στο οποίο εντάσσεται η εργασία. Συγκεκριμένα, τα ευρήματα που έχουν προκύψει από την επεξεργασία των εμπειρικών δεδομένων στα διάφορα στάδια υλοποίησης του διδακτικού υλικού προσθέτουν στην υφιστάμενη τεχνογνωσία και εμπλουτίζουν το διαθέσιμο ερευνητικό υπόβαθρο, τόσο σε σχέση με τις αρχικές ιδέες και τις δυσκολίες των μαθητών αναφορικά με τις υπό έμφαση μαθησιακές επιδιώξεις (εννοιολογική κατανόηση και επιστημολογική ενημερότητα για την ενέργεια, εκτίμηση βασικών πτυχών της φύσης της επιστήμης και διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης) όσο και για τη διδακτική τους διαχείριση στο μαθησιακό περιβάλλον.

Abstract

The study has sought to address two main objectives. The first is concerned with the development of teaching and learning materials to help students develop (a) conceptual understanding about energy and its properties as a framework for analyzing changes in physical systems, (b) epistemological awareness with respect to certain aspects of the Nature of Science (NOS) and (c) optimization as a reasoning strategy for dealing with decision-making situations. The second main objective involves the investigation of certain research questions in the context of the process of developing the teaching and learning materials and evaluating their effectiveness. These questions fall into two categories. The first category includes three research questions that pertain to the enrichment of the available research-based knowledge regarding students' initial ideas in relation to the targeted learning objectives and the various reasoning, conceptual, epistemological, or other difficulties they encounter in this respect. The second category comprises two research questions which were intended to contribute to the existing knowledge base with respect to the extent to which it is possible to impact on students' understanding about the ideas targeted at by the curriculum materials through specially designed teaching innovations.

The study evolved through five stages. The first stage involved the design and development of an initial version of the activity sequence. This relied on information that stemmed from three directions. The first involved the review of the research literature relevant to (a) principles related to learning in science and corresponding teaching strategies and (b) teaching and learning about each of the three targeted learning objectives. This was intended to ensure that the existing knowledge base is taken into account while developing the activity sequence. The second related to the analysis of the content of each of the learning objectives. This led to the identification of the various conceptual, epistemological, reasoning or other resources that function as prerequisites for their attainment. Additionally, this analysis contributed towards the enhancement of the consistency between the activity sequence and the epistemological structure of the targeted learning objectives. The last direction pertained to the identification of students' initial ideas and the difficulties they encounter with respect to the learning objectives. Towards this end, two empirical studies had been conducted which involved the collection of data (a) through open-ended tasks from a large sample of the targeted student population (240 and 96 students) and (b) through individual semi-structured interviews with a subsample of these students (20 students in each case). The results that emerged from these studies

served to ensure that the design of the activity sequence, firstly, takes into account the existing knowledge within the research field of science education research and, secondly, makes productive use of students' initial ideas and supports them to overcome relevant difficulties.

The information that stemmed from these three directions significantly informed and guided the design of the initial version of the teaching/learning materials. The learning materials consist of two units. The first focuses on the construct of energy and it seeks to help students develop (a) epistemological awareness with respect to certain aspects of NOS including the distinction between observation and inference and the role of imagination and creativity in formulating explanatory accounts for observed phenomena, and (b) the ability to employ energy and its properties in analyzing changes observed in physical systems. Epistemological discourse contributes to the formulation of a working framework within which energy is introduced as a theoretical construct that has been invented in science and allows a unified perspective in the analysis of systems regardless of the domain they are drawn from. Energy is progressively exposed to conceptual elaboration through the gradual introduction of its various properties (i.e., transfer, form conversion, conservation and degradation), provides a context for epistemological discourse on the role of theories in the interpretation and prediction of phenomena (i.e., changes in physical systems) and their ability to evolve and become more elaborated with increased explanatory and predictive capability. Thus, these two dimensions are combined in such a way that each fosters the development of the other in a reciprocal manner. This teaching design has emerged as the result of our attempt to bypass the various difficulties that typically undermine traditional approaches to introduce energy in school science, given its abstract, quantitative and transphenomenological nature.

The second section is targeted at the development of a certain reasoning strategy for dealing with decision making situations and the comparison of rival solutions, in particular. The activity sequence relies on energy-based decision-making situations and therefore it maintains a strong link with the first section even though it could be implemented independently.

The second stage involved the implementation of the teaching/learning materials in the context of an after school science club. Participants were 28 students in the age range 11 to 14. Students met with instructors twice a week for a ninety-minute session. Data were

collected prior to and after the completion of each of the sections so as to assess for students' possible learning gains. Data analysis provided encouraging indications with respect to the attainment of the learning objectives. In addition to this, it also indicated aspects of the teaching/learning materials that did not function quite effectively. These indications informed and guided the refinement of the activity sequence, which took place at the third stage, so as to enhance their effectiveness.

The fourth stage involved the implementation of the revised version of the activity sequence in real classroom environments. In this case, the two units were implemented independently in two different school settings. The first unit was implemented in three intact sixth grade classes of an urban elementary school (N=64) whereas the second unit was implemented in two intact sixth grade classes of a different urban elementary school (N=48). During the implementation of the learning materials we collected empirical data in an attempt to derive measures of students' learning gains and, hence, evaluate the effectiveness of the activity sequence. The results that emerged from data analysis suggested a significant improvement in students' competence with respect to each of the learning objectives addressed by the learning materials. At the same time it also indicated aspects that did not function as effectively as we would like them to. The fifth stage included the refinement of the activity sequence, for the second time, taking into account the research data so as to further enhance its effectiveness.

This study can contribute to the research field of science education in two main ways. The first relates to the teaching and learning materials that have emerged as a result of the study. The activity sequence and the assessment tasks that have been developed were subjected to progressive refinement, on the basis of the empirical data that were collected in the context of their implementation in classroom environments, and have converged to a form, which can be readily used (at least within the context of the local educational system) to address the learning objectives they were designed for. This contribution becomes more apparent given the fact that each of the learning objectives is directly linked to widely recognized challenges in the science education research literature. However, it is important to stress that the activity sequence itself is a mere tool that cannot replace teachers. Despite the crucial role of curriculum materials, teachers' ability to appropriately use these tools is of critical importance and there is clearly a need to ensure that teachers are adequately prepared to undertake the important role of facilitating a productive learning environment that sustains students' intellectual engagement and active participation.

The second aspect of the contribution of the present study relates to the enrichment of certain areas of its theoretical framework. Specifically, the analysis of the data that had emerged at various stages during the implementation of the research study yielded significant findings that could supplement the existing knowledge basis. Specifically, they could extend and deepen what is already known with respect to students' initial ideas concerning the learning objectives that were addressed by the learning materials (conceptual understanding about energy, understanding of fundamental aspects of NOS and the ability to deal with socio-scientific, decision-making situations) and the various difficulties they are likely to encounter in this respect. In addition to this, they could contribute to the available research-based knowledge with respect to attempts to tackle each of the objectives in classroom settings through specially designed activity sequences.

Ευχαριστίες

Αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες μου προς τον κ. Κ. Π. Κωνσταντίνου. Θεωρώ τον εαυτό μου ιδιαίτερα τυχερό που είχα τον κ. Κωνσταντίνου ως επόπτη της διδακτορικής μου διατριβής. Η αλληλεπίδραση μαζί του με ενέπνευσε και μου παρείχε συνεχή καθοδήγηση στην υλοποίηση του κάθε σταδίου της εργασίας προωθώντας την παραγωγική εμπλοκή μου σε μια συνεχή διαδικασία διαπραγμάτευσης, επαναπροσδιορισμού, διευκρίνισης και εμβάθυνσης του σκεπτικού μου. Χωρίς τη δική του καθοδήγηση, δεν θα ήταν εφικτή η διεκπεραίωση της εργασίας. Ταυτόχρονα, χωρίς το ενθαρρυντικό, παραγωγικό και διανοητικά προκλητικό πλαίσιο συνεργασίας στο οποίο μου έδωσε την ευκαιρία να εργαστώ δεν θα ήταν εφικτή η υλοποίηση μιας εργασίας για το περιεχόμενο και το βάθος της οποίας να αισθάνομαι ικανοποιημένος. Ο κ. Κωνσταντίνου αποτέλεσε, και εξακολουθεί να αποτελεί, για μένα αστείρευτη πηγή άντλησης έμπνευσης και καθοδήγησης.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τα υπόλοιπα μέλη της συμβουλευτικής μου επιτροπής, κ. Θεοδώρα Κυράτση και κ. Αθανάσιο Ραφτόπουλο. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ειδικά την κ. Κυράτση η οποία διαδραμάτισε σημαντικότατο ρόλο στη διαμόρφωση του σκεπτικού που ενσωμάτωσε η διδακτορική διατριβή. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω επίσης στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κ. Σταμάτη Βώκο, κ. Κώστα Κορφιάτη και κ. Ζαχαρία Ζαχαρία. Τα εποικοδομητικά σχόλιά τους και η ιδιαίτερα παραγωγική συζήτηση στην οποία είχαμε την ευκαιρία να εμπλακούμε μου επέτρεψαν να διευκρινίσω περαιτέρω πτυχές διαφόρων ζητημάτων που εμπλέκονται στη διατριβή και να βελτιώσω το σκεπτικό μου.

Η διεκπεραίωση της διατριβής υποβοηθήθηκε ιδιαίτερα από τη συνεισφορά συνεργατών στην ερευνητική ομάδα μάθησης στις φυσικές και περιβαλλοντικές επιστήμες. Συγκεκριμένα, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς την κ. Γεωργία Μιχαήλ και τον κ. Γιώργο Ολυμπίου οι οποίοι συμμετείχαν στην εφαρμογή του διδακτικού υλικού που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της διατριβής, συνεισέφεραν στην επεξεργασία των δεδομένων και διάβασαν μέρη της διατριβής συμβάλλοντας στη βελτίωση του κειμένου. Ένας άλλος συνεργάτης στον οποίο θα ήθελα να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες είναι ο κ. Δημήτρης Παπαδημητρίου ο οποίος συνέβαλε στον πληροφορικό εμπλουτισμό του διδακτικού υλικού που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της εργασίας.

Το οικογενειακό περιβάλλον διαδραματίζει σημαντικότατο ρόλο κατά τη μακρόχρονη και επίπονη πορεία της υλοποίησης ενός διδακτορικού. Ήμουν πολύ τυχερός να λειτουργώ σε ένα ιδιαίτερα ενθαρρυντικό, υποστηρικτικό και κατανοητικό περιβάλλον και αυτό οφείλεται στη σύζυγό μου Νίκη την οποία ευχαριστώ θερμά. Η συνεχής της στήριξη και η ενθάρρυνση που μου παρείχε αποτέλεσαν βασικά εφόδια που μου έδιναν ώθηση σε όλη μου τη διαδρομή ως διδακτορικός φοιτητής.

ΝΙΚΟΣ ΠΑΠΑΔΟΟΥΡΗΣ

Στη Νίκη

ΝΙΚΟΣ ΠΑΠΑΔΟΥΡΗΣ

ΝΙΚΟΣ ΠΑΠΑΔΟΟΥΡΗΣ

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1 Η επιδίωξη της εργασίας: ανάπτυξη διδακτικού υλικού	6
1.2 Τεκμηρίωση της επιλογής των θεματικών περιοχών στις οποίες εστιάζεται το διδακτικό υλικό.....	8
1.2.1. Εννοιολογική κατανόηση: ενέργεια.....	8
1.2.2. Καλλιέργεια δεξιοτήτων συλλογισμού: η συλλογιστική στρατηγική της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης.....	10
1.2.3. Επιστημολογική επάρκεια	11
1.3. Δομή εργασίας	12
2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	14
2.1. Δεξιότητες λήψης απόφασης	14
2.1.1. Δεξιότητες Λήψης Απόφασης και Διδακτική των Φυσικών Επιστημών	15
2.1.2. Δεξιότητα επεξεργασίας δεδομένων στο πλαίσιο καταστάσεων λήψης απόφασης: υφιστάμενη τεχνογνωσία.....	20
2.1.3. Υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με την καλλιέργεια δεξιοτήτων λήψης απόφασης στο πλαίσιο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών.....	26
2.2. Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση της επιστήμης	30
2.2.1. Η χρησιμότητα της διδασκαλίας για τη φύση της επιστήμης.....	31
2.2.2. Αντιπαραθέσεις και ενδοιασμοί αναφορικά με τη διδασκαλία επιστημολογικής επάρκειας	34
2.2.3. Βασικά χαρακτηριστικά της φύσης της επιστήμης	40
2.2.4. Χαρτογράφηση του βαθμού ενημερότητας των μαθητών για τη φύση της επιστήμης.....	46
2.2.5. Προσεγγίσεις για την αξιολόγηση των αρχικών ιδεών των μαθητών	49
2.2.6. Υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με τη διδασκαλία επιστημολογικής επάρκειας	51
2.3. Μάθηση και διδασκαλία για την ενέργεια.....	56
2.3.1. Η εξέλιξη της έννοιας της ενέργειας μέσα από την ιστορία της επιστήμης	56
2.3.2. Το πλαίσιο διδασκαλίας της ενέργειας	60
2.3.3. Υφιστάμενη τεχνογνωσία για τη διδασκαλία της ενέργειας.....	64
2.3.4. Η διδακτική εισήγηση της εργασίας.....	69
2.4. Ανάπτυξη διδακτικού υλικού: το πρότυπο της σχεδιαστικής έρευνας (design-based research).....	75
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	80
3.1. Προσδιορισμός της ερευνητικής επιδίωξης και των ερευνητικών ερωτημάτων	80
3.2. Περιγραφή προσέγγισης ανάπτυξης διδακτικού υλικού.....	81
3.2.1. Σχεδιασμός και ανάπτυξη αρχικής εκδοχής διδακτικού υλικού.....	82
3.2.2. Ανάπτυξη της ακολουθίας δραστηριοτήτων.....	86
3.2.3. Ερευνητική εγκυροποίηση διδακτικού υλικού: εφαρμογή, αξιολόγηση και αναθεώρηση ακολουθίας δραστηριοτήτων.....	86
3.2.4. Εφαρμογή και περαιτέρω τροποποίηση της δεύτερης εκδοχής της ακολουθίας δραστηριοτήτων	87
3.3. Γενικά μεθοδολογικά στοιχεία για επιμέρους στάδια της υλοποίησης της εργασίας	88
3.3.1. Μέσα συλλογής δεδομένων	88
3.3.2. Σχεδιασμός και ανάπτυξη έργων αξιολόγησης.....	92
3.3.3. Επεξεργασία δεδομένων	92
3.3.4. Μεθοδολογικοί περιορισμοί	98

4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΧΙΚΩΝ ΙΔΕΩΝ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΥΣΚΟΛΙΩΝ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΥΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΕΠΙΔΙΩΞΕΙΣ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΕΣΤΙΑΖΕΤΑΙ ΤΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....	104
4.1. Διερεύνηση των αρχικών ιδεών των μαθητών για την ενέργεια και το ρόλο της στην ανάλυση των μεταβολών σε φυσικά συστήματα.....	104
4.1.1. Μεθοδολογικά στοιχεία.....	105
4.1.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων.....	112
4.1.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων και απορρέουσες διδακτικές συνέπειες.....	132
4.2. Διερεύνηση αρχικών ιδεών των μαθητών για τη διαχείριση της σύγκρισης πιθανών λύσεων σε καταστάσεις λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα.....	136
4.2.1. Μεθοδολογικά στοιχεία.....	137
4.2.2. Αποτελέσματα.....	145
4.2.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	161
5. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ.....	166
5.1. Γενικά στοιχεία αναφορικά με το διδακτικό σχεδιασμό.....	167
5.1.1. Διδακτική προσέγγιση και διδακτικές στρατηγικές που υλοποιούνται στο σχεδιασμό του διδακτικού υλικού.....	167
5.1.2. Στοιχεία πληροφορικού εμπλουτισμού διδακτικού υλικού.....	172
5.2. Μέρος Α: Επιστημολογική και εννοιολογική επεξεργασία της ενέργειας.....	173
5.2.1. Ανάλυση της μαθησιακής επιδίωξης για την ενέργεια.....	174
5.2.2. Δομή διδακτικού υλικού.....	181
5.3. Μέρος Β: Καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης.....	200
5.3.1. Περιγραφή της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης.....	200
5.3.2. Ανάλυση του περιεχομένου της επιδίωξης για καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης.....	204
5.3.3. Μαθησιακές επιδιώξεις.....	207
5.3.4. Σύνοψη του σκεπτικού του διδακτικού σχεδιασμού.....	207
5.3.5. Γενικά στοιχεία για τη δομή των ενοτήτων.....	212
5.3.6. Περιγραφή ενοτήτων.....	213
6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ Ι: ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	220
6.1. Μεθοδολογικά στοιχεία για την εφαρμογή του διδακτικού υλικού.....	220
6.1.1. Γενικά στοιχεία για τις εφαρμογές του διδακτικού υλικού.....	220
6.2. Πιλοτική εφαρμογή.....	228
6.2.1. Περιγραφή έργων αξιολόγησης.....	228
6.2.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων.....	230
6.2.3. Συζήτηση αποτελεσμάτων αξιολόγησης.....	246
6.3. Αποτελέσματα της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της αναθεωρημένης εκδοχής του διδακτικού υλικού.....	251
6.3.1. Κατανόηση μαθητών για τη φύση της ενέργειας.....	252
6.3.2. Η ενέργεια ως ενιαία ερμηνεία μεταβολών.....	284
6.3.3. Ικανότητα των μαθητών για ενεργειακή ανάλυση συστημάτων.....	294
6.3.4. Αντιλήψεις εκπαιδευτικών για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού.....	366
6.3.5. Αναθεώρηση διδακτικού υλικού.....	372
6.4. Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	381
6.4.1. Σύνδεση ευρημάτων εργασίας με την ευρύτερη συζήτηση για τη μάθηση και τη διδασκαλία της ενέργειας.....	382

7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ II: ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΣΥΛΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	396
7.1. Μεθοδολογικά στοιχεία για την εφαρμογή του διδακτικού υλικού	396
7.1.1. Πλαίσιο εφαρμογής διδακτικού υλικού	396
7.1.2. Διδακτική προσέγγιση	397
7.1.3. Οργάνωση της τάξης.....	398
7.1.4. Μέσα συλλογής δεδομένων	398
7.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων από την πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού.....	408
7.3. Αποτελέσματα από τη δεύτερη εφαρμογή του διδακτικού υλικού	429
7.3.1. Αρχική αξιολόγηση.....	429
7.3.2. Τελική αξιολόγηση	443
7.3.3. Σύνθεση αποτελεσμάτων από το σύνολο των έργων αξιολόγησης.....	496
7.3.4. Σύνοψη των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών για την αποτελεσματικότητα της ακολουθίας δραστηριοτήτων	506
7.3.5. Συζήτηση	509
7.3.6. Αναθεώρηση ακολουθίας δραστηριοτήτων και διαδικασιών/μέσων αξιολόγησης.....	514
8. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	521
8.1. Ανακεφαλαίωση αποτελεσμάτων της εργασίας	521
8.1.1. Αρχικές ιδέες μαθητών και δυσκολίες που αντιμετωπίζουν σε σχέση με τις υπό έμφαση μαθησιακές επιδιώξεις.....	522
8.1.2. Αποτελεσματικότητα του διδακτικού σχεδιασμού και της ακολουθίας δραστηριοτήτων που αναπτύχθηκαν σε σχέση με την προώθηση των μαθησιακών επιδιώξεων	524
8.2. Συνεισφορά της εργασίας στην ενίσχυση του θεωρητικού πλαισίου.....	526
8.2.1. Εμπλουτισμός ερευνητικού υποβάθρου για αρχικές ιδέες μαθητών	526
8.2.2. Εμπλουτισμός διαθέσιμου υποβάθρου για τη διδακτική επεξεργασία των υπό έμφαση μαθησιακών επιδιώξεων.....	528
8.2.3. Συνέπειες για την ανάπτυξη διδακτικού υλικού για την προώθηση της μάθησης στις φυσικές επιστήμες	533
8.3. Εισηγήσεις για επέκταση της παρούσας εργασίας	539
8.3.1. Υποβολή της αναθεωρημένης εκδοχής του διδακτικού υλικού σε πρόσθετη διαδικασία βελτιωτικής ρύθμισης.....	539
8.3.2. Προσαρμογή του διδακτικού υλικού ώστε να μειωθεί η απόσταση από τις συνθήκες των πραγματικών περιβαλλόντων τάξης	540
8.3.3. Εγκυροποίηση της διαβάθμισης των εκδοχών που έχουν προταθεί για τη συνολική διδακτική επεξεργασία της ενέργειας.....	541
8.3.4. Ενίσχυση και θεμελίωση του μεθοδολογικού πλαισίου για την ανάπτυξη διδακτικού υλικού.....	541

Κατάλογος Διαγραμμάτων

- Διάγραμμα 1 Ανάλυση βασικών συνιστωσών της δεξιότητας διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα...16
- Διάγραμμα 2 Παράδειγμα δραστηριότητας (ανεξάρτητης περιεχομένου) για προώθηση επιστημολογικής επάρκειας...54
- Διάγραμμα 3 Ερευνητική προσέγγιση υλοποίησης των στόχων της εργασίας...83
- Διάγραμμα 4 Σύνοψη περιεχομένου και δομής των έργων αξιολόγησης...108
- Διάγραμμα 5 Σύνοψη ερμηνειών που πρότειναν οι μαθητές για τις μεταβολές...133
- Διάγραμμα 6 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης I...139
- Διάγραμμα 7 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης II...139
- Διάγραμμα 8 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης III...140
- Διάγραμμα 9 Δυσκολίες που υποσκιάζουν την προσπάθεια των μαθητών να διαχειριστούν τη σύγκριση των πιθανών λύσεων σε καταστάσεις λήψης απόφασης...163
- Διάγραμμα 10 Δομή της μαθησιακής επιδίωξης για εννοιολογική κατανόηση και επιστημολογική ενημερότητα για την ενέργεια...175
- Διάγραμμα 11 Το σύστημα ενός ελατηρίου που αποσυμπιέζεται...180
- Διάγραμμα 12 Αποτύπωση της ροής δραστηριοτήτων στο διδακτικό υλικό...182
- Διάγραμμα 13 Αναπαράσταση της αρχικής δραστηριότητας για τη διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας παρατήρησης...184
- Διάγραμμα 14 Μεταβολές σε φυσικά συστήματα...188
- Διάγραμμα 15 Παραδείγματα από την ανάλυση μεταβολών σε συστήματα μέσα από την εφαρμογή του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας...195
- Διάγραμμα 16 Ένα παράδειγμα ενεργειακής αλυσίδας με τη χρήση του εργαλείου...196
- Διάγραμμα 17 Η δομή της μαθησιακής επιδίωξης για καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης...206
- Διάγραμμα 18 Διαγραμματική απεικόνιση του διδακτικού σχεδιασμού της ενότητας για καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης...211
- Διάγραμμα 19 Η εμφάνιση της εισαγωγικής σελίδας των ενοτήτων...213
- Διάγραμμα 20 Έργα αξιολόγησης ικανότητας ενεργειακής ανάλυσης και παραδείγματα έγκυρων απαντήσεων...230
- Διάγραμμα 21 Περιεχόμενο έργου αξιολόγησης ικανότητας διάκρισης παρατήρησης-ερμηνείας παρατήρησης...252
- Διάγραμμα 22 Σύνοψη έργου αξιολόγησης ικανότητας ενεργειακής ανάλυσης και αναμενόμενων απαντήσεων...296
- Διάγραμμα 23 Φύλλο εργασίας για αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών για την ιδιότητα της ενέργειας να υποβαθμίζεται...361
- Διάγραμμα 24 Σύνοψη της προκαταρκτικής εισήγησης για συνολική διδακτική διαχείριση της ενέργειας από το δημοτικό μέχρι το λύκειο...391
- Διάγραμμα 25 Στάδια της υλοποίησης του διδακτικού υλικού κατά τα οποία χορηγήθηκε το κάθε έργο αξιολόγησης...401
- Διάγραμμα 26 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης I...410
- Διάγραμμα 27 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης II...412
- Διάγραμμα 28 Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης IV...421

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1	Εναλλακτικές αντιλήψεις μαθητών για την ενέργεια...65
Πίνακας 2	Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων και δεδομένων που αξιοποιήθηκαν για τη διερεύνησή τους...91
Πίνακας 3	Κατηγορίες απάντησης και ενδεικτικά παραδείγματα...113
Πίνακας 4	Κατηγορίες απάντησης για την ερμηνεία των μεμονωμένων μεταβολών στα τέσσερα συστήματα...114
Πίνακας 5	Κατηγορίες απάντησης για τα δύο ζεύγη συστημάτων...116
Πίνακας 6	Κατηγορίες ενεργειακών απαντήσεων και ενδεικτικά παραδείγματα...119
Πίνακας 7	Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης ενεργειακών απαντήσεων...121
Πίνακας 8	Προσεγγίσεις διαχείρισης πρώτου έργου αξιολόγησης...146
Πίνακας 9	Προσεγγίσεις διαχείρισης κατάστασης λήψης απόφασης δεύτερου έργου αξιολόγησης...151
Πίνακας 10	Προσεγγίσεις διαχείρισης κατάστασης λήψης απόφασης έργου αξιολόγησης III (αυθόρμητη απόφαση)...155
Πίνακας 11	Προσεγγίσεις διαχείρισης κατάστασης λήψης απόφασης έργου αξιολόγησης III (τελική απόφαση)...157
Πίνακας 12	Αντιπαραβολή προσεγγίσεων που υιοθέτησαν οι μαθητές για τη διαχείριση των διαφόρων έργων αξιολόγησης...159
Πίνακας 13	Συγκείμενο εισαγωγής της κάθε μορφής αποθήκευσης ενέργειας...190
Πίνακας 14	Συμβολικές αναπαραστάσεις μορφών αποθήκευσης και διεργασιών διάδοσης ενέργειας...193
Πίνακας 15	Παράδειγμα κατάστασης λήψης απόφασης...201
Πίνακας 16	Μετατροπή πληροφοριών σε ενιαία κλίμακα μέτρησης...201
Πίνακας 17	Ανάθεση συντελεστών βαρύτητας και υπολογισμός συνολικής σταθμισμένης βαθμολογίας για την κάθε λύση...202
Πίνακας 18	Σενάρια λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στα έργα αξιολόγησης...208
Πίνακας 19	Αποτύπωση της δομής των ενοτήτων...212
Πίνακας 20	Κατηγορίες απαντήσεων για το πρώτο διαγνωστικό δοκίμιο...231
Πίνακας 21	Κατηγοριοποίηση ερμηνειών των μαθητών για μεμονωμένες μεταβολές...232
Πίνακας 22	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κατηγοριοποίησης των απαντήσεων μετά τη διδασκαλία...233
Πίνακας 23	Κατηγορίες απάντησης για την ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών...234
Πίνακας 24	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κατηγοριοποίησης των απαντήσεων πριν και μετά τη διδασκαλία...235
Πίνακας 25	Βαθμός επικάλυψης ενεργειακών ερμηνειών για μεμονωμένες και ενιαίες μεταβολές...237
Πίνακας 26	Βαθμός εγκυρότητας ενεργειακών αλυσίδων που κατασκεύασαν οι μαθητές...241
Πίνακας 27	Αποτελέσματα επεξεργασίας αρχικών απαντήσεων αναφορικά με τη διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας παρατήρησης...255
Πίνακας 28	Αποτελέσματα επεξεργασίας τελικών απαντήσεων αναφορικά με τη διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας παρατήρησης...261
Πίνακας 29	Αποτελέσματα ποσοτικής σύγκρισης αρχικών και τελικών απαντήσεων στα ερωτήματα κλειστού τύπου...265
Πίνακας 30	Αντιπαραβολή κατηγοριοποίησης αρχικών και τελικών απαντήσεων...273
Πίνακας 31	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων για διάκριση επινόησης

	και ανακάλυψης στην περίπτωση του φαινομένου της μαγνητικής έλξης...274
Πίνακας 32	Αντιπαραβολή κωδικοποίησης αρχικών και τελικών απαντήσεων για τη φύση της ενέργειας...280
Πίνακας 33	Κωδικοποίηση απαντήσεων κατά την αρχική αξιολόγηση...285
Πίνακας 34	Κωδικοποίηση απαντήσεων κατά την τελική αξιολόγηση...286
Πίνακας 35	Αντιπαραβολή της κατηγοριοποίησης των ενεργειακών απαντήσεων κατά την αρχική και τελική αξιολόγηση...288
Πίνακας 36	Αντιπαραβολή κατηγοριοποίησης των απαντήσεων των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία για την ενιαία ερμηνεία του ζεύγους των μεταβολών...289
Πίνακας 37	Αντιπαραβολή της κατηγοριοποίησης των ενεργειακών απαντήσεων για την ενιαία ερμηνεία του ζεύγους μεταβολών πριν και μετά τη διδασκαλία...291
Πίνακας 38	Επικάλυψη ενεργειακών ερμηνειών για μεμονωμένες μεταβολές και ζεύγη μεταβολών πριν και μετά τη διδασκαλία...292
Πίνακας 39	Κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι απαντήσεις των μαθητών που απέφυγαν να προτείνουν ενεργειακές αλυσίδες...303
Πίνακας 40	Συχνότητα και ποσοστό μαθητών που είχαν εμπλακεί στη διαδικασία της ενεργειακής ανάλυσης, ανά σύστημα...304
Πίνακας 41	Επίδοση μαθητών ως προς την εγκυρότητα των ενεργειακών αναλύσεων που πρότειναν για το κάθε σύστημα στο πρώτο δοκίμιο...304
Πίνακας 42	Επίδοση μαθητών ως προς την εγκυρότητα των ενεργειακών αναλύσεων που πρότειναν για το κάθε σύστημα στο πρώτο και στο δεύτερο δοκίμιο...312
Πίνακας 43	Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στην επίδοση των μαθητών σε ζεύγη συστημάτων...314
Πίνακας 44	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της ελαστικής ενέργειας ως της αρχικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα...316
Πίνακας 45	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση του μηχανικού έργου ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα...319
Πίνακας 46	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας ως της τελικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα...320
Πίνακας 47	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της χημικής ενέργειας ως της αρχικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα...325
Πίνακας 48	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση του μηχανικού έργου ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα...329
Πίνακας 49	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας ως της τελικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα...330
Πίνακας 50	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση του μηχανικού έργου ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα...332
Πίνακας 51	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της χημικής ενέργειας ως της αρχικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα του ηλεκτρικού τρυπανιού...339
Πίνακας 52	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της ηλεκτρικής ενέργειας ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα του ηλεκτρικού τρυπανιού...340

Πίνακας 53	Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας ως της τελικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα του ηλεκτρικού τρυπανιού...341
Πίνακας 54	Πλήθος εναλλακτικών επιλογών στις οποίες κατέφυγαν οι μαθητές για τον προσδιορισμό των μορφών αποθήκευσης και διεργασιών διάδοσης της ενέργειας σε κάθε σύστημα...343
Πίνακας 55	Επικάλυψη ανάμεσα στις επιλογές στις οποίες κατέφυγαν οι μαθητές στα δύο δοκίμια για τις διάφορες μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης στο κάθε σύστημα...344
Πίνακας 56	Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης αρχικών απαντήσεων για τη διατήρηση της ενέργειας (η ενέργεια δεν παράγεται)...348
Πίνακας 57	Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης αρχικών απαντήσεων για τη διατήρηση της ενέργειας (η ενέργεια δεν καταστρέφεται)...350
Πίνακας 58	Αρχικές απαντήσεις μαθητών στο φύλλο εργασίας (διατήρηση/υποβάθμιση ενέργειας)...362
Πίνακας 59	Αναθεωρημένες απαντήσεις μαθητών στο φύλλο εργασίας (διατήρηση/υποβάθμιση ενέργειας)...363
Πίνακας 60	Περιεχόμενο και δομή των σεναρίων λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στα έργα αξιολόγησης στο πλαίσιο της πιλοτικής εφαρμογής του διδακτικού υλικού...399
Πίνακας 61	Περιεχόμενο και δομή των σεναρίων λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στα έργα αξιολόγησης στο πλαίσιο της δεύτερης εφαρμογής του διδακτικού υλικού...403
Πίνακας 62	Αντιστοίχιση ανάμεσα στα έργα αξιολόγησης των ομάδων Α και Γ και προσδιορισμός της εισήγησης που κλήθηκαν να αξιολογήσουν οι μαθητές σε κάθε περίπτωση...405
Πίνακας 63	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης Ι κατά την αρχική αξιολόγηση...409
Πίνακας 64	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙΙ κατά την αρχική αξιολόγηση...411
Πίνακας 65	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙΙΙ...413
Πίνακας 66	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων μαθητών στο έργο αξιολόγησης Ι (ενδιάμεση αξιολόγηση)...416
Πίνακας 67	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙΙΙ (ενδιάμεση αξιολόγηση)...417
Πίνακας 68	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙΙΙ (τελική αξιολόγηση)...420
Πίνακας 69	Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙV (τελική αξιολόγηση)...421
Πίνακας 70	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης Ι (αρχική αξιολόγηση)...432
Πίνακας 71	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΙΙ (αρχική αξιολόγηση)...434
Πίνακας 72	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΙΙΙ (αρχική αξιολόγηση)...438
Πίνακας 73	Σύνοψη αποτελεσμάτων αρχικής αξιολόγησης για το σύνολο των έργων αξιολόγησης...442
Πίνακας 74	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΒΙ (τελική αξιολόγηση)...443
Πίνακας 75	Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΒΙΙ (τελική αξιολόγηση)...447

- Πίνακας 76 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙ (τελική αξιολόγηση)...451
- Πίνακας 77 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙΙ (αρχική αξιολόγηση)...455
- Πίνακας 78 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙΙΙ (τελική αξιολόγηση)...461
- Πίνακας 79 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙV (τελική αξιολόγηση)...466
- Πίνακας 80 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑV (τελική αξιολόγηση)...471
- Πίνακας 81 Συχνότητα των περιπτώσεων αυθόρμητης εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση των σεναρίων λήψης απόφασης...479
- Πίνακας 82 Συχνότητα εμφάνισης περιπτώσεων όπου ενώ εφαρμόστηκε η στρατηγική της βελτιστοποίησης δεν υπήρξε ρητή αναφορά στα αποτελέσματά της...480
- Πίνακας 83 Πλήθος διαφορετικών έργων αξιολόγησης στα οποία εφαρμόστηκε η στρατηγική της βελτιστοποίησης χωρίς ρητή αναφορά στα αποτελέσματά της, από τον ίδιο μαθητή...481
- Πίνακας 84 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΙ (τελική αξιολόγηση)...484
- Πίνακας 85 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΙΙ (τελική αξιολόγηση)...487
- Πίνακας 86 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΙΙΙ (τελική αξιολόγηση)...489
- Πίνακας 87 Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΙV (τελική αξιολόγηση)...491
- Πίνακας 88 Αποτύπωση του τρόπου με τον οποίο τοποθετήθηκαν οι μαθητές στα τέσσερα έργα αξιολόγησης της ομάδας Γ...495
- Πίνακας 89 Αντιπαραβολή απαντήσεων ανάμεσα στην επάρκεια των μαθητών να εφαρμόζουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης (ΒΙ) και την ικανότητά τους να την επιλέγουν αυθόρμητα για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης (έργα αξιολόγησης ομάδας Α)...497
- Πίνακας 90 Αντιστοίχιση ανάμεσα σε συλλογιστικά στρεβλωμένες προσεγγίσεις και σεναρία λήψης απόφασης (έργα αξιολόγησης Α) που ευνοούν την εφαρμογή τους...502
- Πίνακας 91 Συσχέτιση ανάμεσα στην ικανότητα αναγνώρισης του στρεβλωμένου χαρακτήρα μιας προσέγγισης σύγκρισης πιθανών λύσεων και στην επιλογή (και έγκυρη εφαρμογή) της στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση ανάλογων καταστάσεων λήψης απόφασης...503
- Πίνακας 92 Αριθμός περιπτώσεων όπου προσδιορίστηκε ως λανθασμένη η κάθε εναλλακτική προσέγγιση αλλά δεν επιλέγηκε η βελτιστοποίηση για τη διαχείριση αντίστοιχων καταστάσεων λήψης απόφασης στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α...504

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η επιδίωξη της εργασίας: ανάπτυξη διδακτικού υλικού

Ένα εύρημα που καταγράφεται με συνέπεια στο ερευνητικό πεδίο της μάθησης στις φυσικές επιστήμες αφορά στην αποτυχία της διδακτικής πρακτικής που υλοποιείται παραδοσιακά να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν λειτουργική εννοιολογική κατανόηση. Αυτό καθίσταται προφανές από τα ερευνητικά δεδομένα που καταδεικνύουν ότι, παρόλο που συχνά αρκετοί μαθητές είναι ικανοί να διατυπώσουν βασικούς νόμους και ορισμούς εννοιών και να εφαρμόσουν μαθηματικές σχέσεις για την επίλυση ποσοτικών προβλημάτων, η συντριπτική πλειοψηφία αποτυγχάνει να αξιοποιήσει λειτουργικά το εννοιολογικό περιεχόμενο των φυσικών επιστημών, ώστε να προβλέψει ή να εξηγήσει τη συμπεριφορά πολύ απλών φυσικών συστημάτων (Goldberg & McDermott, 1986, 1987; Halloun & Hestenes, 1985; Kim & Pak, 2002; Mazur, 1997; McDermott, 1998; McDermott, Rosenquist & van Zee, 1987; McDermott, 1991; McDermott & van Zee, 1985; Peters, 1992; Rosenquist, Popp & McDermott, 1983; Wheeler & Mazur, 2000).

Ένα στοιχείο που συμβάλλει σε αυτή την αδυναμία της τυπικής διδακτικής πρακτικής αφορά στην ασυμβατότητα που παρουσιάζει σε σχέση με τη φύση της μάθησης στις φυσικές επιστήμες. Πιο συγκεκριμένα, η σύγκρουση έγκειται στην αποκλειστική επικέντρωση στο εννοιολογικό περιεχόμενο, η οποία ανακλάται στη δομή των σχολικών εγχειριδίων και στην τάση τους να παρουσιάζουν περιγραφικά επιστημονικές θεωρίες και νόμους και να εστιάζονται στην επίλυση ποσοτικών προβλημάτων (Kesidou & Roseman, 2002; Newton, Newton & Blake, 2002). Αυτή η προσέγγιση, πέρα από την αποτυχία της να προωθήσει πραγματική εννοιολογική κατανόηση, ελλοχεύει επίσης τον κίνδυνο διαμόρφωσης της εσφαλμένης και επιζήμιας για τις στάσεις των μαθητών αντίληψης ότι οι φυσικές επιστήμες αποτελούν μια συλλογή από ασύνδετες έννοιες, θεωρίες και ποσοτικές σχέσεις και, κατά συνέπεια, ότι η μάθηση προκύπτει από τη γνώση αυτών των θεωριών και την επάρκεια εφαρμογής συγκεκριμένων αλγόριθμων για την επίλυση ποσοτικών προβλημάτων (Hammer, 1994).

Δύο σημαντικές συνιστώσες, οι οποίες αγνοούνται σε μεγάλο βαθμό από την παραδοσιακή διδακτική πρακτική, αφορούν στις **δεξιότητες συλλογισμού** (Chen & Klahr, 1999; Gott & Duggan, 2003; Klahr, 2000; Masnick & Klahr, 2003; Zimmerman, 2000), και στην

επιστημολογική επάρκεια (Duschl, 1990; Lederman, 2004; McComas, 2000a; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar & Duschl, 2003; Sandoval & Morrison, 2003; Selley, 1989). Η πρώτη προϋποτίθεται για την αποτελεσματική αλληλεπίδραση με το διερευνητικό μαθησιακό περιβάλλον των φυσικών επιστημών και περιλαμβάνει δεξιότητες όπως η αναγνώριση και διατύπωση διερευνήσιμων ερωτημάτων, η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων για τη συλλογή πειραματικών δεδομένων και η αξιολόγηση αποτελεσματικών και έγκυρων στρατηγικών για την επεξεργασία τους. Η δεύτερη, αφορά στην κατανόηση της επιστήμης ως της προσπάθειας για παραγωγή αξιόπιστης γνώσης για τη νομοτέλεια που διέπει τη λειτουργία του φυσικού κόσμου (Duschl, 1990; Flick & Lederman, 2004; McComas, 2000a; Selley, 1989). Παραδείγματα μαθησιακών επιδιώξεων που εντάσσονται σε αυτό το πλαίσιο περιλαμβάνουν την κατανόηση για τον υποκειμενικό και διαπραγματεύσιμο χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης και για το ρόλο της δημιουργικότητας και της ανθρώπινης επινόησης στη διαμόρφωση και επεξεργασία επιστημονικών θεωριών (R. Bell, 2004; Lederman, 2007).

Μια πιθανή ερμηνεία για την τάση της παραδοσιακής διδακτικής πρακτικής να αγνοεί τις δύο αυτές μαθησιακές επιδιώξεις σχετίζεται με την άδηλη παραδοχή ότι προκύπτουν αυθόρμητα, ως υποπροϊόντα της αλληλεπίδρασης των μαθητών με το μαθησιακό περιβάλλον των φυσικών επιστημών και της επαφής τους με το εννοιολογικό περιεχόμενο. Ωστόσο, τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα διαψεύδουν αυτή την παραδοχή υποδεικνύοντας την ανάγκη για άμεση προώθηση των δύο συνιστωσών μέσα από ειδικά σχεδιασμένες ακολουθίες δραστηριοτήτων (Abd-El-Khalick, 2004; Duggan & Gott, 2002; Duggan, Johnson & Gott, 1996; Duggan & Gott, 1995; Khishfe & Lederman, 2006; Kuhn, 2009; Lederman, 2004, 2007; Lederman & O'Malley, 1990; McComas, 2000a; Sandoval & Morrison, 2003). Σε αυτό το πλαίσιο, μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η διδασκαλία των φυσικών επιστημών αφορά στην ανάγκη για μετάθεση των μαθησιακών επιδιώξεων από τη γνωσιολογική εξειδίκευση στην καλλιέργεια μεταφέρεσιμων δεξιοτήτων σκέψης και επιστημολογικής ενημερότητας (Millar & Osborne, 1998; Tytler, Duggan & Gott, 2001a, 2001b). Ένα μέρος αυτής της πρόκλησης περιλαμβάνει την ανάπτυξη επιστημολογικά κατάλληλων διδακτικών επινοήσεων οι οποίες ενσωματώνουν την τεχνογνωσία που έχει προκύψει στο ερευνητικό πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών, συνεισφέροντας έτσι στη γεφύρωση του χάσματος ανάμεσα στην ακαδημαϊκή έρευνα και στη διδακτική πρακτική και στην προώθηση της επικοινωνίας ανάμεσα στις δύο αυτές περιοχές.

Η παρούσα εργασία εντάσσεται στην ευρύτερη προσπάθεια αντιμετώπισης αυτής της πρόκλησης. Η βασική επιδίωξη στην οποία απευθύνθηκε αφορά στο σχεδιασμό, στην ανάπτυξη και στην αξιολόγηση διδακτικού υλικού που ενσωματώνει αρχές μάθησης στις φυσικές επιστήμες, οι οποίες καταγράφονται στη βιβλιογραφία (Donovan & Bransford, 2005; Linn, Bell & Davis, 2004; National Research Council [NRC], 1996, 2007). Η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε στην εργασία για την υλοποίηση αυτού του στόχου αντλεί στοιχεία από τη σχεδιαστική έρευνα (design based research) (Barab, 2006; Brown, 1992; Collins, 1992; Confrey, 2006) αφού προσεγγίζει την ανάπτυξη διδακτικού υλικού ως μια κυκλική διαδικασία (α) σχεδιασμού, (β) δοκιμής σε περιβάλλοντα τάξης με παράλληλη συλλογή δεδομένων και (γ) αναθεώρησης.

Η βασικότερη ίσως αρχή που υιοθετεί και επιχειρεί να υλοποιήσει το διδακτικό υλικό που αναπτύχθηκε στην εργασία, αφορά στην προσέγγιση της μάθησης στις φυσικές επιστήμες ως ενός πολυδιάστατου οικοδομήματος το οποίο περιλαμβάνει εννοιολογική κατανόηση, δεξιότητες σκέψης και επιστημολογική επάρκεια για βασικές πτυχές της φύσης της επιστήμης. Πιο συγκεκριμένα, το διδακτικό υλικό απευθύνεται σε μαθητές ηλικίας 11 ως 14 ετών, εντάσσεται στο θεματικό περιεχόμενο της ενέργειας και επιδιώκει την προώθηση (α) εννοιολογικής κατανόησης για την ενέργεια ως θεωρητικό πλαίσιο ανάλυσης της λειτουργία φυσικών συστημάτων, (β) επιστημολογικής επάρκειας για βασικά στοιχεία της φύσης της επιστήμης, όπως ο ρόλος της δημιουργικότητας στην ερμηνεία φαινομένων, και (γ) δεξιοτήτων αναφορικά με τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η καθεμιά από τις τρεις μαθησιακές επιδιώξεις ανάγεται σε προκλήσεις που αντιμετωπίζει η διδακτική των φυσικών επιστημών. Πιο κάτω αναλύονται σε περισσότερη λεπτομέρεια οι τρεις μαθησιακές επιδιώξεις και επιχειρείται να αναδειχθεί η σύνδεσή τους με ανάγκες και προκλήσεις που αντιμετωπίζει το ερευνητικό πεδίο της διδασκαλίας και μάθησης στις φυσικές επιστήμες.

1.2 Τεκμηρίωση της επιλογής των θεματικών περιοχών στις οποίες εστιάζεται το διδακτικό υλικό

1.2.1. Εννοιολογική κατανόηση: ενέργεια

Η μαθησιακή επιδίωξη του διδακτικού υλικού σε σχέση με το εννοιολογικό περιεχόμενο αφορά στην ενέργεια. Συγκεκριμένα αποσκοπεί στην καθοδήγηση των μαθητών, ώστε να αναπτύξουν σταδιακά ένα θεωρητικό πλαίσιο το οποίο ενσωματώνει τις βασικές ιδιότητες της ενέργειας και μπορεί να αξιοποιηθεί για την ανάλυση μεταβολών σε συστήματα. Η επιλογή εστίασης στην ενέργεια μπορεί να αιτιολογηθεί με διάφορα επιχειρήματα. Ένα

από αυτά αφορά στην ιδιότητά της να υπεισέρχεται σε όλους τους κλάδους των φυσικών επιστημών. Ένα δεύτερο επιχείρημα επικεντρώνεται στη σύνδεσή της με σύγχρονα ζητήματα κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα, όπως η διαχείριση ενεργειακών πόρων (Hinrichs & Kleinbach, 2002; Solomon, 1992), τα οποία θεωρείται ότι οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να παρακολουθούν και να αντιλαμβάνονται. Ενδεχομένως, το σημαντικότερο επιχείρημα σχετίζεται με την πρόκληση που παρουσιάζει το ζήτημα της διδακτικής διαχείρισης της ενέργειας, ειδικότερα στις χαμηλότερες βαθμίδες της εκπαίδευσης (π.χ. δημοτικό σχολείο) (Driver & Millar, 1986; Doménech, Gil-Pérez, Gras-Martí, Guisasola, Martínez-Torregrosa, Salinas, Trumper & Valdés, 2007; Millar, 2000). Αυτή η πρόκληση πηγάζει από τη φύση της ενέργειας ως μιας αφηρημένης ποσοτικής ιδέας η οποία αποκτά ιδιαίτερη αξία λόγω του νόμου διατήρησης στον οποίο υπόκειται και της ενοποιητικής της δυνατότητας (Baldin, 1942; Bridgman, 1941; Feynman, Leighton & Sands, 1965; Theobald, 1966). Το ψηλό επίπεδο αφάιρεσης που χαρακτηρίζει την ενέργεια δημιουργεί την ανάγκη για διδακτικό μετασχηματισμό, ώστε να ανταποκρίνεται στις δυνατότητες των μαθητών. Παρά το γεγονός ότι αυτό το ζήτημα έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό την έρευνα για τη μάθηση και τη διδασκαλία για την ενέργεια (Duit, 1986, 1987; Falk, Herrmann & Schmid, 1983; Kaper & Goedhart, 2002; Lehrman, 1973; Ogborn, 1986; Solomon, 1992) δεν έχει επιτευχθεί συναίνεση ως προς ένα παράδειγμα αποτελεσματικής διδακτικής προσέγγισης και εξακολουθούν να υφίστανται σημαντικά σημεία αντιπαράθεσης, τα οποία συζητούνται σε λεπτομέρεια στο επόμενο κεφάλαιο. Η παρούσα εργασία επιχειρεί να συνεισφέρει στην ευρύτερη προσπάθεια διαχείρισης αυτής της πρόκλησης μέσα από την ανάπτυξη μιας εμπειρικά θεμελιωμένης πρότασης για την εισαγωγή και διδακτική διαπραγμάτευση της ενέργειας ως ενός θεωρητικού πλαισίου για την ανάλυση της λειτουργίας φυσικών συστημάτων. Αυτό το πλαίσιο αποσκοπεί να παρέχει μια δομή στην οποία να ενταχθούν και να συνδεθούν οι βασικές ιδιότητες της ενέργειας (διάδοση, μετατροπή μορφής, διατήρηση και υποβάθμιση) με τρόπο που να τους προσδίδεται νόημα και ρόλος στην ανάλυση της λειτουργίας συστημάτων. Επίσης, όπως αναφέρεται αργότερα και συζητείται σε περισσότερη λεπτομέρεια στο δεύτερο και στο πέμπτο κεφάλαιο, η διδακτική πρόταση ενσωματώνει μια επιστημολογική διάσταση επιδιώκοντας να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν μια αρχική αντίληψη για τη φύση της ενέργειας ως μιας επινοημένης ιδέας.

Ένα τέταρτο στοιχείο που αιτιολογεί την επιλογή για εστίαση στο εννοιολογικό περιεχόμενο της ενέργειας σχετίζεται με την καταλληλότητά της ως ενοποιητικό πλαίσιο για συνδυασμένη προώθηση εννοιολογικής κατανόησης, επιστημολογικής επάρκειας και

συλλογιστικών στρατηγικών. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο διδακτικός μετασχηματισμός που προτείνεται στην παρούσα εργασία στηρίζεται στην εισαγωγή και διαπραγμάτευση της ενέργειας σε ένα επιστημολογικά ενημερωμένο πλαίσιο. Έτσι, η καλλιέργεια επιστημολογικής επάρκειας διαπλέκεται άμεσα με την προώθηση εννοιολογικής κατανόησης. Επιπρόσθετα, ο τομέας της διαχείρισης των ενεργειακών πόρων περιλαμβάνει πολλαπλά ζητήματα κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα τα οποία αξιοποιούνται ως συγκείμενα για το διδακτικό χειρισμό της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης.

1.2.2. Καλλιέργεια δεξιοτήτων συλλογισμού: η συλλογιστική στρατηγική της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης

Μια ρητά διατυπωμένη επιδίωξη της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών περιλαμβάνει την προετοιμασία των μαθητών, ώστε να μπορούν να αλληλεπιδρούν αποτελεσματικά με διλήμματα που συνδέονται άμεσα με την εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας και έχουν συνέπειες για την κοινωνία (Campbell, Lofstrom & Jerome, 1997; Gott & Duggan, 2003; Kolsto, 2001; Patronis, Potari & Spiliotopoulou, 1999; Sadler & Zeidler, 2005; Seethaler & Linn, 2004; Tytler *et al.*, 2001a; Tytler *et al.*, 2001b). Μερικά παραδείγματα τέτοιων κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων (socioscientific issues) περιλαμβάνουν τα εξής:

- Να επιτραπούν ή να απαγορευθούν οι μεταμοσχεύσεις γενετικά τροποποιημένων ζωτικών οργάνων από ζώα σε ανθρώπους;
- Ποια είναι η καταλληλότερη λύση στο πρόβλημα χαμηλής βροχόπτωσης: η κατασκευή ενός νέου υδατοφράκτη ή ενός σταθμού αφαλάτωσης;
- Ποια θα ήταν η καταλληλότερη περιοχή στην Κύπρο για να κατασκευαστεί ένας νέος θερμοηλεκτρικός ηλεκτροπαραγωγός σταθμός για να καλύψει της αυξανόμενες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια; Ποιο καύσιμο θα ήταν καλύτερα να χρησιμοποιείται;

Η διαχείριση τέτοιων ζητημάτων αναλύεται σε διάφορες συνιστώσες. Μια από αυτές αφορά στην εννοιολογική κατανόηση που πρέπει να διαθέτει κανείς σε σχέση με το περιεχόμενο του υπό μελέτη ζητήματος, ώστε να μπορεί να αντιλαμβάνεται και να αξιολογεί τις διαθέσιμες πληροφορίες (Sadler & Zeidler, 2005; Seethaler & Linn, 2004). Μια άλλη συνιστώσα σχετίζεται με την ικανότητα διαχείρισης και σύνθεσης των διαθέσιμων πληροφοριών μέσα από την εφαρμογή κατάλληλων συλλογιστικών στρατηγικών, ώστε να εντοπίζεται η προτιμητέα επιλογή (Arvai, Campbell, Baird & Rivers, 2004; Edelson, Tarnoff, Schwille, Bruozas & Switzer, 2006; Kim, Kwak & Yoo,

1998). Παρά τον πολυδιάστατο χαρακτήρα της δεξιάτητας διαχείρισης κοινωνικο-επιστημονικών καταστάσεων λήψης απόφασης, ο οποίος συζητείται σε περισσότερη λεπτομέρεια στο δεύτερο κεφάλαιο, είναι σημαντικό να σημειωθεί η τάση της τυπικής διδακτικής πρακτικής για αποκλειστική επικέντρωση στο εννοιολογικό περιεχόμενο χωρίς άμεσο διδακτικό χειρισμό άλλων συνιστωσών, όπως οι συλλογιστικές στρατηγικές για την επεξεργασία των δεδομένων. Ταυτόχρονα, χρειάζεται να καταγραφεί η ιδιαίτερα περιορισμένη ερευνητική δραστηριοποίηση αναφορικά με την καλλιέργεια συλλογιστικών στρατηγικών για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης. Αυτά τα στοιχεία καταδεικνύουν την ανάγκη για επικέντρωση ερευνητικών εργασιών στην κατεύθυνση της ενίσχυσης του διαθέσιμου επιστημονικού υποβάθρου, ώστε να ενημερωθεί η προσπάθεια ανάπτυξης σχετικών διδακτικών επινοήσεων. Η παρούσα εργασία προσδοκεί να αποτελέσει ένα μικρό βήμα προς τη διαχείριση αυτής της ανάγκης μέσα από το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την αξιολόγηση διδακτικού υλικού για την καλλιέργεια μιας συγκεκριμένης συλλογιστικής στρατηγικής βελτιστοποίησης (Baron, 2000; Kim *et al.*, 1998). Συνοπτικά, αυτή η στρατηγική, η οποία αναλύεται σε λεπτομέρεια στο πέμπτο κεφάλαιο, αποσκοπεί στη συστηματικοποίηση της διαχείρισης των δεδομένων σε καταστάσεις λήψης απόφασης, με στόχο το συνυπολογισμό και τη στάθμιση όλων των διαθέσιμων πληροφοριών, ώστε να επιλέγεται η βέλτιστη λύση.

1.2.3. Επιστημολογική επάρκεια

Η ανάπτυξη επιστημολογικής επάρκειας σε σχέση με τη φύση της επιστήμης αποτελεί μια ρητά διατυπωμένη μαθησιακή επιδίωξη της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών για περίπου μια εκατονταετία (AAAS, 1990; Central Association of Science and Mathematics Teachers, 1907; Lederman, 2007). Ωστόσο, η διδακτική πρακτική που ακολουθείται παραδοσιακά σε διεθνές επίπεδο δεν έχει επιτύχει να ανταποκριθεί στον επιθυμητό βαθμό (Abd-El-Khalick, 2004; Flick & Lederman, 2004; Grosslight, Unger & Jay, 1991; Lederman, 1992, 2007; McComas, 2000a; Sadler, 2004; Sandoval & Morrison, 2003). Παρόλο που η μέχρι στιγμής έρευνα έχει συνεισφέρει σημαντικά ευρήματα αναφορικά με τις παραμέτρους που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας σε σχέση με τη φύση της επιστήμης (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Khishfe & Lederman, 2006; Sandoval & Morrison, 2003) εντοπίζεται μια ξεκάθαρη ανάγκη για πρόσθετη έρευνα ώστε να κατανοηθούν σε μεγαλύτερο βαθμό (Lederman, 2007). Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να συνεισφέρει προς αυτή την κατεύθυνση μέσα από την ανάπτυξη διδακτικών επινοήσεων για την προώθηση κατανόησης για τη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης και το ρόλο της ανθρώπινης επινόησης και

δημιουργικότητας στη διατύπωση και επεξεργασία επιστημονικών ερμηνειών. Η επιλογή για εστίαση στις συγκεκριμένες πτυχές της φύσης της επιστήμης προκύπτει κυρίως από τη συνεισφορά τους στην ανάπτυξη του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας, η οποία αναλύεται στο πέμπτο κεφάλαιο. Επίσης είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι υποστηρίζεται από ερευνητικά δεδομένα που τεκμηριώνουν την εξελικτική καταλληλότητά τους αναφορικά με το επίπεδο ηλικιακής ωρίμανσης και γνωστικής ετοιμότητας μαθητών δημοτικού και γυμνασίου (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Khishfe & Lederman, 2006; Osborne *et al.*, 2003).

1.3. Δομή εργασίας

Στη συνέχεια, συνοψίζεται επιγραμματικά η δομή της εργασίας και το περιεχόμενο του κάθε κεφαλαίου.

Το δεύτερο κεφάλαιο επιχειρεί να διαμορφώσει το θεωρητικό πλαίσιο της εργασίας συνοψίζοντας και συνθέτοντας τα πορίσματα που έχουν δημοσιευθεί στη σχετική βιβλιογραφία αναφορικά με τις εμφάσεις της. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτό το κεφάλαιο προσδιορίζεται η υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με τη διδασκαλία και τη μάθηση για την ενέργεια, τις δεξιότητες λήψης απόφασης στο πλαίσιο κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων και την επιστημολογική επάρκεια για τη φύση της επιστήμης. Επίσης, περιλαμβάνεται μια συζήτηση για την ανάπτυξη διδακτικού υλικού και πιο συγκεκριμένα για το πρότυπο της σχεδιαστικής έρευνας (design-based research).

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται μεθοδολογικά στοιχεία που αφορούν στην πορεία από την οποία διήλθε η υλοποίηση της εργασίας. Ειδικότερα, συζητούνται τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την ανάπτυξη του διδακτικού υλικού και προσδιορίζονται οι βασικές παράμετροι των εμπειρικών εργασιών που έχουν υλοποιηθεί σε αυτό το πλαίσιο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την εμπειρική διερεύνηση των αρχικών ιδεών και των διαφόρων δυσκολιών που τείνουν να αντιμετωπίζουν οι μαθητές αναφορικά με τις βασικές μαθησιακές επιδιώξεις στις οποίες εστιάζεται το διδακτικό υλικό που έχει αναπτυχθεί στην εργασία. Το κεφάλαιο καταλήγει σε συγκεκριμένες εισηγήσεις για στοιχεία που αξιοποιήθηκαν για να ενημερώσουν τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού, ώστε να λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες των μαθητών, να συνάδει με τις δυνατότητές τους και να αξιοποιεί τις αρχικές τους ιδέες.

Το πέμπτο κεφάλαιο εστιάζεται στο περιεχόμενο του διδακτικού υλικού, το οποίο αποτελεί βασικό προϊόν της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτό το κεφάλαιο (α) περιγράφεται το γενικότερο διδακτικό πρότυπο που έχει υιοθετηθεί και οι βασικότερες διδακτικές στρατηγικές και αρχές μάθησης που έχουν ενσωματωθεί, (β) παρουσιάζεται λεπτομερώς η δομή και το περιεχόμενο της ακολουθίας δραστηριοτήτων και (γ) αναλύεται το σκεπτικό του διδακτικού σχεδιασμού και η θέση του σχετικά με διάφορα ζητήματα αντιπαράθεσης που εμφανίζονται στην ερευνητική βιβλιογραφία.

Τα δύο επόμενα κεφάλαια παρουσιάζουν τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την αξιολόγηση του διδακτικού υλικού και τις σχετικές αναθεωρήσεις που έχουν υλοποιηθεί. Όπως συζητείται στη συνέχεια, το διδακτικό υλικό αναλύεται σε δύο αλληλένδετες ενότητες οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν αυτόνομα. Το καθένα από τα κεφάλαια εστιάζει σε μια από τις δύο ενότητες. Συγκεκριμένα, το έκτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αξιολόγηση της ενότητας για την επιστημολογική και εννοιολογική διαπραγμάτευση της ενέργειας και το έβδομο επικεντρώνεται στην ενότητα για την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Και στα δύο κεφάλαια συζητούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της αντίστοιχης ενότητας σε δύο περιπτώσεις: στο πλαίσιο ενός απογευματινού ομίλου και ακολούθως, μετά από σχετικές αναθεωρήσεις, σε πραγματικό περιβάλλον τάξης. Το περιεχόμενο των δύο κεφαλαίων εστιάζει στην τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού με εμπειρικά δεδομένα και στη συζήτηση των συνεπειών που απορρέουν σε σχέση με την αναθεώρησή του, ώστε να ενισχυθεί περαιτέρω η δυνατότητά του να προωθεί τις μαθησιακές επιδιώξεις για τις οποίες σχεδιάστηκε.

Τέλος, το όγδοο κεφάλαιο συνοψίζει τα πορίσματα που έχουν προκύψει από την εργασία, συζητά τις συνέπειές τους καθώς και τη συνεισφορά τους στο ευρύτερο ερευνητικό πεδίο και καταλήγει με εισηγήσεις για περαιτέρω εξέλιξη της ερευνητικής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Αυτό το κεφάλαιο επιχειρεί να συνοψίσει την υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με τις ερευνητικές περιοχές με τις οποίες συνδέεται η παρούσα εργασία, ώστε να διαμορφωθεί ένα θεωρητικό πλαίσιο το οποίο να της προσδώσει νόημα και να προσδιορίσει τη θέση της στη σχετική βιβλιογραφία. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει τέσσερις ενότητες. Η πρώτη αφορά στη μέχρι στιγμής έρευνα αναφορικά με τις δεξιότητες λήψης απόφασης και την προσπάθεια διδακτικής διαχείρισής τους. Η δεύτερη επιχειρεί να προσδιορίσει το σχετικό εμπειρικό και θεωρητικό υπόβαθρο που έχει διαμορφωθεί αναφορικά με τη διδασκαλία επιστημολογικών στοιχείων για τη φύση της επιστήμης. Η τρίτη ενότητα αναδεικνύει τη διδακτική πρόκληση που παρουσιάζει η διδασκαλία της ενέργειας και συνοψίζει τα σημεία συναίνεσης και ασυμφωνίας που έχουν καταγραφεί στη μέχρι στιγμής ερευνητική δραστηριότητα σε αυτό το πεδίο. Τέλος, η τέταρτη ενότητα συζητά βασικές πτυχές του θεωρητικού πλαισίου της σχεδιαστικής έρευνας, από την οποία αντλεί στοιχεία η παρούσα εργασία.

2.1. Δεξιότητες λήψης απόφασης

Η λήψη απόφασης αποτελεί μια ιδιαίτερα κοινή διεργασία η οποία εμφανίζεται σε κάθε τομέα της ζωής. Πολλές φορές οι αποφάσεις λαμβάνονται χωρίς ιδιαίτερη σκέψη αφού σχετίζονται με απλά ζητήματα που δεν έχουν σημαντικές συνέπειες. Αντίθετα, σε άλλες περιπτώσεις οι αποφάσεις είναι κρίσιμης σημασίας και χρειάζεται να λαμβάνονται με ιδιαίτερη προσοχή. Η ικανότητα αποτελεσματικής ανάλυσης και επεξεργασίας καταστάσεων λήψης απόφασης αναγνωρίζεται ως βασική δεξιότητα συλλογισμού και έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτενούς έρευνας (Baron, 2000; Birnbaum, 1998; Garnham & Oakhill, 1994; Sternberg, 1996). Ταυτόχρονα, η προώθηση δεξιοτήτων λήψης απόφασης αναγνωρίζεται ευρέως ως βασική μαθησιακή επιδίωξη του εκπαιδευτικού συστήματος (AAAS, 1990; Aikenhead, 1985; Baron & Brown, 1991; Beyth-Marom, Fischhoff & Quadrel, 1991; NAAEE, 2000; Solomon & Aikenhead, 1994). Αυτή η ενότητα επιχειρεί να συνοψίσει την υφιστάμενη τεχνογνωσία και διακρίνεται σε τρία κύρια μέρη. Το πρώτο εστιάζει στη σύνδεση των δεξιοτήτων λήψης απόφασης με τη διδακτική των φυσικών επιστημών και επιχειρεί μια ανάλυση των συνιστωσών που συνθέτουν τη δεξιότητα διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης στο πλαίσιο ζητημάτων κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα. Το δεύτερο μέρος παρουσιάζει το ερευνητικό υπόβαθρο που

έχει διαμορφωθεί αναφορικά με τη διαδικασία λήψης απόφασης και σχετικές δυσκολίες που τείνουν να υπονομεύουν την αξιοπιστία τους. Τέλος, το τρίτο μέρος συνοψίζει τα αποτελέσματα από τη μέχρι στιγμής ερευνητική δραστηριότητα που έχει αναπτυχθεί στο πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών αναφορικά με την καλλιέργεια δεξιοτήτων λήψης απόφασης.

2.1.1. Δεξιότητες Λήψης Απόφασης και Διδακτική των Φυσικών Επιστημών

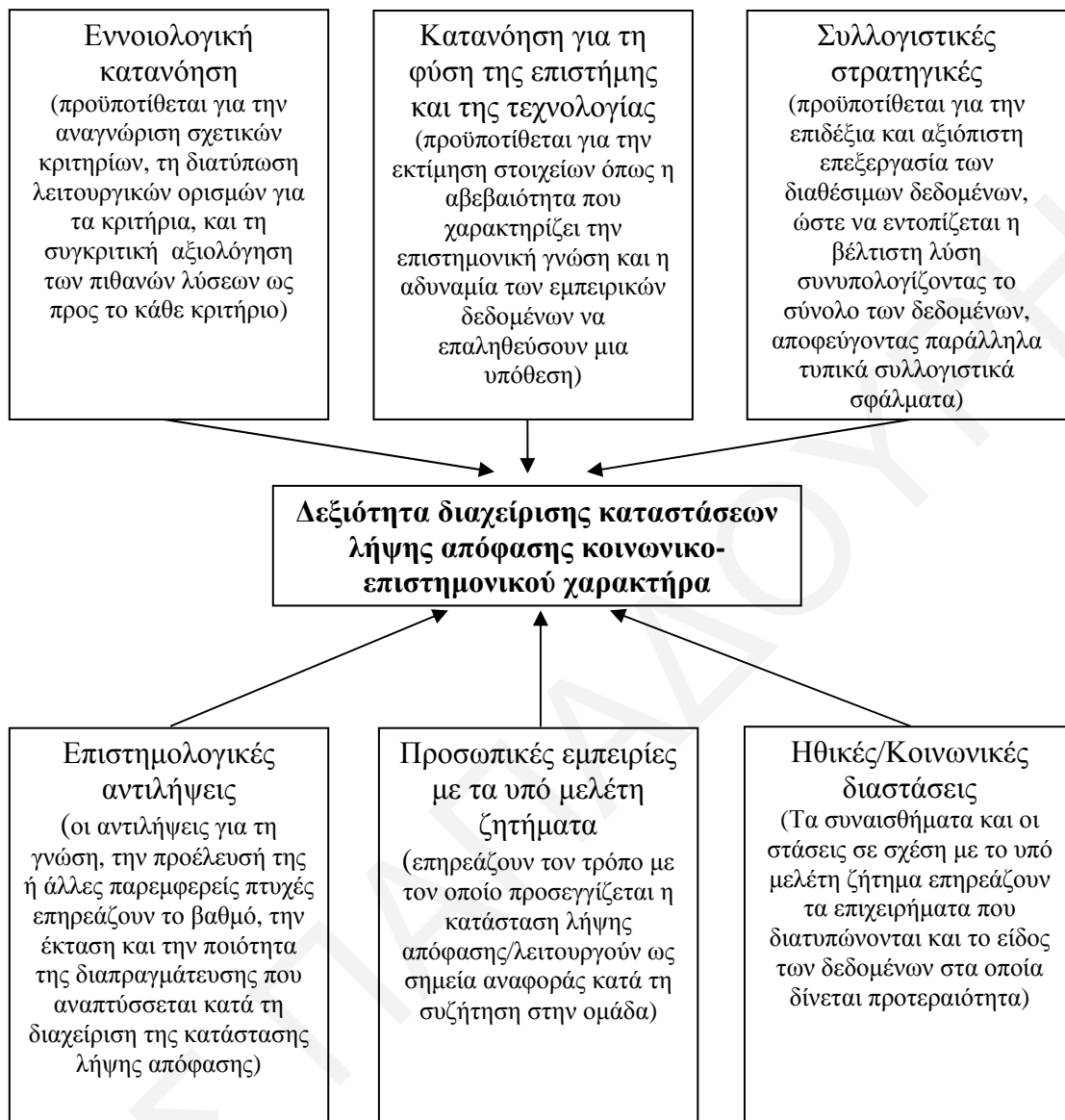
2.1.1.α. Ικανότητα διαχείρισης κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων και η θέση της στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών

Παρά το γεγονός ότι η ικανότητα για αποτελεσματική διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης χαρακτηρίζεται από μεγάλο εύρος εφαρμογής είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι παρουσιάζει μια ιδιαίτερη σύνδεση με τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Αυτή η σύνδεση καθίσταται προφανής από το γεγονός ότι η καλλιέργεια δεξιοτήτων λήψης απόφασης αποτελεί μια ρητά διατυπωμένη μαθησιακή επιδίωξη της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών (AAAS, 1990; NRC, 1996). Ένα βασικό στοιχείο που αιτιολογεί αυτή τη σύνδεση σχετίζεται, αφενός, με τα ποικίλα διλήμματα που έχουν τη βάση τους στην ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας και, αφετέρου, με την επιδίωξη του εκπαιδευτικού συστήματος να προετοιμάσει τους μαθητές, ώστε να είναι σε θέση να παρακολουθούν τη συζήτηση που αναπτύσσεται γύρω από αυτά τα ζητήματα, να διαμορφώνουν ενημερωμένη άποψη και να κρίνουν τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζονται από τα αρμόδια όργανα (AAAS, 1990; Driver, Newton & Osborne, 2000; Kolsto, 2001; Millar, 1996; NRC, 1996; Zoller, 1982).

2.1.1.β. Σύνοψη της δομής της δεξιότητας διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης στο πλαίσιο κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων

Η αποτελεσματική αλληλεπίδραση με καταστάσεις λήψης απόφασης στο πλαίσιο ζητημάτων κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα αποτελεί μια σύνθετη δεξιότητα η οποία μπορεί να αναλυθεί σε διάφορες συνιστώσες. Στη συνέχεια επιχειρείται η χαρτογράφηση των σημαντικότερων από αυτές, οι οποίες διακρίνονται στο διάγραμμα 1.

Διάγραμμα 1: Ανάλυση βασικών συνιστωσών της δεξιάτητας διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα



Εννοιολογική κατανόηση. Ένα από τα συστατικά της δεξιάτητας διαχείρισης κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων αφορά στην κατανόηση που πρέπει να έχει κανείς για το εννοιολογικό περιεχόμενό τους (AAAS, 1990; Hogan, 2002; NRC, 1996; Patronis *et al.*, 1999). Αυτή η κατανόηση προϋποτίθεται για την ικανότητα αναγνώρισης των παραμέτρων που υπεισέρχονται στη λήψη της σχετικής απόφασης και στη διατύπωση λειτουργικών ορισμών. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της επιλογής της καταλληλότερης τεχνολογίας παραγωγής ηλεκτρισμού για την κάλυψη των πρόσθετων αναγκών που αναμένεται να αντιμετωπίσει ένα κράτος θα πρέπει να είναι σε θέση κανείς να κατανοήσει τον τρόπο με τον οποίο διάφοροι παράγοντες, όπως η αποδοτικότητα και οι κλιματικές συνθήκες, συνεισφέρουν στον προσδιορισμό της καταλληλότητας της κάθε λύσης.

Εκτίμηση βασικών πτυχών της φύσης της επιστήμης και της τεχνολογίας. Μια πρόσθετη πτυχή αφορά στην επιστημολογική επάρκεια που χρειάζεται να διαθέτει κανείς αναφορικά με βασικές πτυχές της φύσης της επιστήμης και της τεχνολογίας (Ratcliffe & Grace, 2003). Ειδικότερα, η εκτίμηση των περιορισμών που χαρακτηρίζουν την επιστημονική γνώση και την τεχνολογική επινόηση προϋποτίθεται για να μπορεί κανείς να αντιμετωπίζει με ενημερωμένο τρόπο διάφορες πτυχές των κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων. Για παράδειγμα, στο σενάριο της επιλογής της καταλληλότερης τεχνολογίας παραγωγής ηλεκτρισμού η κατανόηση του ρόλου της επιστημονικής και της τεχνολογικής έρευνας στη βελτίωση της αποδοτικότητας των μεθόδων παραγωγής ηλεκτρισμού και της μείωσης του κόστους της, αυξάνει την πιθανότητα για την υιοθέτηση πιο αποτελεσματικών και ενημερωμένων προσεγγίσεων διαχείρισης αυτού του ζητήματος. Επίσης, η κατανόηση βασικών στοιχείων της φύσης της επιστήμης μπορεί να εμποδίζει την υιοθέτηση αφελών αντιλήψεων και να συνεισφέρει στη μετάθεση της έμφασης από το περιεχόμενο ενός επιστημονικού ισχυρισμού στην αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο τεκμηριώνεται από τα διαθέσιμα δεδομένα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της ανακοίνωσης ενός καινούριου εμβολίου για κάποια ασθένεια η κατανόηση για την ανεπάρκεια των επιστημονικών δεδομένων να οδηγήσουν σε απολύτως βέβαια συμπεράσματα μπορεί να συνεισφέρει στην κριτική αντιμετώπιση ισχυρισμών όπως «το εμβόλιο είναι σε θέση να λειτουργεί πάντα αποτελεσματικά χωρίς καμιά εξαίρεση» ή «όλες οι πιθανές παρενέργειες έχουν προσδιοριστεί».

Επιστημολογικές αντιλήψεις (epistemological understanding). Ένα πρόσθετο στοιχείο το οποίο υπεισέρχεται στη δεξιότητα διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα αφορά στις αντιλήψεις για τη φύση της γνώσης και τον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσεται (Hofer & Pintrich, 1997). Η Kuhn και οι συνεργάτες της (Kuhn, Cheney & Weinstock, 2000) έχουν εισηγηθεί μια ιεράρχηση με τρία επίπεδα για την περιγραφή της εξέλιξης αυτών των αντιλήψεων. Το χαμηλότερο επίπεδο περιλαμβάνει τα άτομα που αποδίδουν στη γνώση έναν απόλυτα αντικειμενικό και βέβαιο χαρακτήρα (absolutists). Το δεύτερο επίπεδο περιλαμβάνει τα άτομα που αναγνωρίζουν τον αβέβαιο χαρακτήρα της γνώσης αλλά ταυτόχρονα θεωρούν ότι δεν υπάρχουν αντικειμενικά κριτήρια με βάση τα οποία να μπορούν να ιεραρχηθούν οι διάφορες απόψεις ως προς την εγκυρότητά τους (multiplists). Ειδικότερα, η αντίληψή τους στηρίζεται στην ιδέα ότι όλα τα άτομα έχουν το δικαίωμα να έχουν τη δική τους άποψη για ένα ζήτημα και δεν τίθεται ζήτημα αντιπαραβολής των διαφορετικών απόψεων σε κριτική με στόχο τη διαβάθμισή τους ως προς την εγκυρότητά τους μέσα από την εφαρμογή εξωτερικών κριτηρίων. Τέλος,

τα άτομα που εντάσσονται στο τρίτο επίπεδο επιτυγχάνουν να συγχωνεύσουν και να συντονίσουν την υποκειμενική και την αντικειμενική διάσταση της γνώσης (evaluativists). Συγκεκριμένα, ενώ αναγνωρίζουν την αβεβαιότητα ως εγγενές στοιχείο της γνώσης και αντιλαμβάνονται την πιθανότητα να υπάρχουν διαφωνίες στις απόψεις και στις εκτιμήσεις διαφορετικών ατόμων για ένα ζήτημα, κατανοούν ότι είναι εφικτό (και χρήσιμο) να ιεραρχούνται αυτές οι απόψεις με βάση την εγκυρότητα και την αξιοπιστία τους. Η κατανόηση για τη φύση της γνώσης και του τρόπου με τον οποίο παράγεται θεωρείται ότι επηρεάζει τη στάση που υιοθετείται κατά τη διαχείριση κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων (Mason & Scirica, 2006). Για παράδειγμα, θεωρείται ότι τα άτομα που κατατάσσονται στο τρίτο επίπεδο της ιεράρχησης που αναλύθηκε προηγουμένως (evaluativists) βρίσκονται σε πλεονεκτικότερη θέση αφού είναι πιο πιθανό να υιοθετούν μια κριτική στάση δίνοντας προτεραιότητα στην αξιολόγηση των δεδομένων στα οποία στηρίζονται οι διάφοροι επιστημονικοί ισχυρισμοί.

Συλλογιστικές στρατηγικές για επεξεργασία πληροφοριών. Μια τέταρτη συνιστώσα η οποία έχει συλλογιστικό χαρακτήρα αφορά στην ικανότητα εφαρμογής κατάλληλων στρατηγικών για την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων με έγκυρο, αξιόπιστο και συνεπή τρόπο (Arvai *et al.*, 2004; Hong & Chang, 2004). Η σημασία αυτής της συνιστώσας καθίσταται προφανής λαμβάνοντας υπόψη τη συνθετότητα που παρουσιάζουν συνήθως οι καταστάσεις λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα λόγω της παρουσίας πολλαπλών επιλογών και κριτηρίων διαφοροποιημένης βαρύτητας. Η συγκριτική αξιολόγηση των επιλογών, μέσα από το συνυπολογισμό των κριτηρίων και τη στάθμιση της σχετικής βαρύτητάς τους, αποφεύγοντας στρεβλωμένες προσεγγίσεις και συλλογιστικά σφάλματα, αποτελεί μια σύνθετη δεξιότητα η οποία δεν μπορεί να θεωρείται δεδομένη.

Προσωπικές εμπειρίες. Οι εμπειρίες που διαθέτει κανείς (ή η έλλειψή τους) σε σχέση με το υπό μελέτη κοινωνικο-επιστημονικό ζήτημα ασκούν σημαντική επίδραση στη λήψη απόφασης (Halverson, Siegel & Freyermuth, 2009). Ειδικότερα, προϋποτίθενται για την εξοικείωση με το υπό μελέτη ζήτημα και παρέχουν ένα σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση των απόψεων που εκφράζονται στο πλαίσιο της διαχείρισής του (Fleming, 1986; Sadler & Zeidler, 2005).

Κοινωνικές διαστάσεις του ζητήματος. Τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα εισηγούνται την τάση των μαθητών να επικεντρώνονται στις κοινωνικές πτυχές των καταστάσεων λήψης

απόφασης σε σχέση με θέματα που συνδέονται με την επιστήμη ή την τεχνολογία (Halverson *et al.*, 2009; Yang & Anderson, 2003). Για παράδειγμα, μια ένδειξη που καταγράφεται στη βιβλιογραφία αφορά στην τάση των μαθητών να στηρίζουν τους ισχυρισμούς τους τόσο σε πληροφορίες κοινωνικού χαρακτήρα (απόψεις που εκφράζονται από απλό κόσμο) όσο και σε επιστημονικά δεδομένα (π.χ. δεδομένα από τεχνικές αναφορές) χωρίς να επιδεικνύουν ιδιαίτερη προτίμηση προς κάποια από αυτές (Yang & Anderson, 2003).

Ηθικές και συναισθηματικές πτυχές. Τέλος, μια άλλη συνιστώσα σχετίζεται με τα συναισθήματα, τις αξίες και τις ηθικές προκαταλήψεις και ευαισθησίες των ατόμων αναφορικά με την υπό μελέτη κατάσταση λήψης απόφασης. Αυτή η σύνδεση καθίσταται εύκολα προφανής στο πλαίσιο διλημμάτων αναφορικά με ζητήματα που άπτονται της γενετικής μηχανικής όπως για παράδειγμα η κλωνοποίηση και η τροποποίηση τροφίμων. Επιπρόσθετα, η σύνδεση αυτή τεκμηριώνεται με εμπειρικά δεδομένα που εισηγούνται την τάση των μαθητών να διατυπώνουν επιχειρήματα και ισχυρισμούς για τα υπό μελέτη ζητήματα που στηρίζονται κυρίως στα συναισθήματά τους και στις προκαταλήψεις τους (Fleming, 1986; Halverson *et al.*, 2009; Hogan, 2002; Sadler & Zeidler, 2005).

Παρόλο που η επιδίωξη της πιο πάνω ανάλυσης δεν περιλαμβάνει το λεπτομερή προσδιορισμό όλων των συνιστωσών που συνθέτουν τη δεξιότητα διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα επαρκεί για να φανερώσει τον πολυδιάστατο χαρακτήρα της. Επίσης αναδεικνύει ένα παράδοξο που χαρακτηρίζει τη διδακτική πρακτική που υλοποιείται παραδοσιακά στις φυσικές επιστήμες. Το παράδοξο έγκειται στη ρητά διατυπωμένη επιδίωξη για καλλιέργεια της ικανότητας διαχείρισης κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων και των καταστάσεων λήψης απόφασης που εμπλέκουν, από τη μια, και την τάση για αποκλειστική εστίαση στο εννοιολογικό περιεχόμενο των φυσικών επιστημών, από την άλλη. Όπως προκύπτει από την πιο πάνω ανάλυση, ενώ η εννοιολογική κατανόηση για τα θέματα που υπεισέρχονται σε ένα ζήτημα κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα προϋποτίθεται για την ερμηνεία των πληροφοριών και του τρόπου με τον οποίο επηρεάζουν την απόφαση, δεν επαρκεί για την αποτελεσματική επεξεργασία και σύνθεση της διαθέσιμης πληροφόρησης. Η στρεβλωμένη προσέγγιση που ακολουθείται φαίνεται να στηρίζεται στην παραδοχή ότι οι υπόλοιπες συνιστώσες της δεξιότητας διαχείρισης κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων αναπτύσσονται αυθόρμητα από τους μαθητές ως αποτέλεσμα της ηλικιακής τους ωρίμανσης, των αυξανόμενων εμπειριών που αποκτούν και της έκθεσής τους στο τυπικό

μαθησιακό περιβάλλον του σχολείου. Έτσι, θεωρείται ότι δεν υπάρχει ανάγκη να διδάσκονται άμεσα στο πλαίσιο εξειδικευμένων διδακτικών παρεμβάσεων. Αυτή η παραδοχή, ωστόσο, φαίνεται να συγκρούεται με τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των συλλογιστικών στρατηγικών, οι οποίες αφορούν άμεσα στην παρούσα εργασία, ένα συμπέρασμα που προκύπτει από τη μέχρι στιγμής έρευνα είναι ότι η ικανότητα αποτελεσματικής επεξεργασίας δεδομένων με έγκυρο τρόπο δεν αποτελεί τυπικό προϊόν της αλληλεπίδρασης με το συμβατικό μαθησιακό περιβάλλον (Boudreaux, Shaffer, Heron, & McDermott, 2007; Gott & Duggan, 1996). Ένα παρεμφερές στοιχείο που χρειάζεται να σημειωθεί αφορά στην αποτυχία των μαθητών να επεξεργαστούν εννοιολογικές πτυχές των κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων και την τάση τους να περιορίζονται κυρίως σε άλλες πτυχές όπως οι ηθικές διαστάσεις τους (Halverson *et al.*, 2009). Συνεπώς, τα διαθέσιμα δεδομένα υποδεικνύουν ότι οι διάφορες πτυχές της δεξιότητας διαχείρισης κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων, όπως οι συλλογιστικές στρατηγικές για την επεξεργασία των δεδομένων, δεν αναπτύσσονται αυθόρμητα και ότι ακόμη και πτυχές οι οποίες λαμβάνουν συνήθως εκτεταμένη προσοχή στο πλαίσιο της διδασκαλίας δεν ενσωματώνονται αυθόρμητα στην προσπάθεια διαχείρισης κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων. Επομένως, φανερώνεται η ανάγκη υποστήριξης των μαθητών, ώστε να συνθέτουν τις διάφορες διαστάσεις που εμπλέκει η διαχείριση κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων. Τέλος, ένα άλλο στοιχείο που καταγράφεται στην ερευνητική βιβλιογραφία και παρουσιάζει ενδιαφέρον και άμεση σύνδεση με την παρούσα εργασία αφορά στην καταγραφή επιτυχών προσπαθειών προώθησης δεξιοτήτων και συλλογιστικών στρατηγικών, όπως ο έλεγχος μεταβλητών (Chen & Klahr, 1999; Kuhn, Garcia-Mila, Zohar & Andersen, 1995; Linn & Lehman, 1999; Schauble, 1996) και η μοντελοποίηση φυσικών φαινομένων (Penner, Giles, Lehrer & Schauble, 1997; Παπαευριπίδου, 2004).

2.1.2. Δεξιότητα επεξεργασίας δεδομένων στο πλαίσιο καταστάσεων λήψης απόφασης: υφιστάμενη τεχνογνωσία

Η δεξιότητα επεξεργασίας δεδομένων σε καταστάσεις λήψης απόφασης έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης στο πεδίο της γνωστικής ψυχολογίας και σε λιγότερο βαθμό στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Πιο κάτω συνοψίζονται δύο κύριες κατευθύνσεις στις οποίες έχει αναπτυχθεί αυτή η μελέτη και καταγράφονται μερικά βασικά ευρήματα που έχουν προκύψει.

2.1.2.α. Στρατηγικές επεξεργασίας δεδομένων για τη λήψη απόφασης

Μια βασική πτυχή της συνεισφοράς της έρευνας που έχει δημοσιευθεί στο πεδίο της γνωστικής ψυχολογίας αφορά στον προσδιορισμό πιθανών στρατηγικών (normative strategies) για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης και την επιλογή προτιμητέας λύσης (Baron, 2000; Birnbaum, 1998; LeBoeuf & Shafir, 2005; Sternberg, 1996). Στη βιβλιογραφία γίνεται ένας διαχωρισμός ανάμεσα στις αποφάσεις που λαμβάνονται κάτω από συνθήκες όπου όλη η απαιτούμενη πληροφόρηση είναι διαθέσιμη (decision-making under certainty) ή κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας (decision-making under uncertainty) όπου οι συνέπειες που συνδέονται με την κάθε εναλλακτική λύση δεν είναι προκαθορισμένες αλλά προσεγγίζονται πιθανοκεντρικά (Baron, 2000). Τα βασικά στάδια των συνηθέστερων στρατηγικών για τη διαχείριση των δύο περιπτώσεων λήψης απόφασης είναι κοινά ενώ η διαφοροποίησή τους περιορίζεται στο υπολογιστικό μέρος. Πιο συγκεκριμένα, οι στρατηγικές λήψης απόφασης σε συνθήκες αβεβαιότητας ενσωματώνουν πρόσθετες πτυχές που αφορούν στον υπολογισμό και αξιολόγηση της πιθανότητας εμφάνισης των διαφόρων ενδεχομένων που σχετίζονται με την απόφαση. Πιο κάτω παρατίθενται οι βασικότερες στρατηγικές λήψης απόφασης που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία. Η συζήτηση περιορίζεται σε περιπτώσεις λήψης απόφασης σε συνθήκες βεβαιότητας αφού η διαχείριση της αβεβαιότητας εκτείνεται πέρα από τους στόχους της εργασίας και τις μαθησιακές επιδιώξεις του διδακτικού υλικού που έχει αναπτυχθεί.

- Διασφάλιση Ελάχιστων Προσδοκιών (Satisficing)

Σε αυτή την προσέγγιση οι εναλλακτικές επιλογές που περιλαμβάνονται σε μια κατάσταση λήψης απόφασης τυγχάνουν σειριακής επεξεργασίας. Η κάθε επιλογή αξιολογείται σε σχέση με τα προκαθορισμένα κριτήρια και εφόσον αποτύχει να ανταποκριθεί στις ελάχιστες απαιτήσεις που έχουν τεθεί για κάποιο από αυτά, εξαιρείται από περαιτέρω επεξεργασία. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να εντοπιστεί κάποια επιλογή που ικανοποιεί το ελάχιστο αποδεκτό όριο για το σύνολο των κριτηρίων. Εάν δεν υπάρξει καμιά τέτοια επιλογή, τότε αναπροσαρμόζεται το κατώτατο αποδεκτό όριο και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι κάποια επιλογή να ικανοποιεί όλα τα κριτήρια. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτής της στρατηγικής είναι ότι η λήψη απόφασης επηρεάζεται από τη σειρά με την οποία αξιολογούνται οι υποψήφιες λύσεις. Συνεπώς, είναι εφικτό να εντοπιστεί προτιμητέα λύση χωρίς να αξιολογηθούν όλες οι επιλογές και αυτό επιτρέπει την πιθανότητα να υπάρχουν καταλληλότερες λύσεις οι οποίες έχουν αγνοηθεί.

- Επιλογή με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία υπερτερεί η κάθε λύση (The Majority of Confirming Dimensions)

Αυτό το μοντέλο λήψης απόφασης περιλαμβάνει σειριακές συγκρίσεις ζευγών από πιθανές λύσεις, στο σύνολο των σχετικών κριτηρίων. Η σύγκριση των δύο λύσεων στηρίζεται στο πλήθος των κριτηρίων στα οποία μειονεκτούν ή πλεονεκτούν και, η λύση που μειονεκτεί στα περισσότερα κριτήρια εξαιρείται από περαιτέρω επεξεργασία. Η άλλη λύση συγκρίνεται με μία από τις υπόλοιπες πιθανές λύσεις. Οι δυαδικές συγκρίσεις επαναλαμβάνονται μέχρι να εξαντληθούν όλα τα ζεύγη και η λύση η οποία υπερτερεί στην τελική σύγκριση καθορίζεται ως βέλτιστη. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτή η στρατηγική αποτυγχάνει να λάβει υπόψη την πιθανότητα διαφοροποίησης της σχετικής βαρύτητας των κριτηρίων, αφού όλα αντιμετωπίζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Επίσης αποτυγχάνει να αντιπαραβάλει ταυτόχρονα όλες τις πιθανές λύσεις. Αυτές οι αδυναμίες ενδέχεται να οδηγούν σε στρεβλωμένες αποφάσεις.

- Επιλογή βάσει ενός μεμονωμένου κριτηρίου (The Lexicographic Heuristic)

Αυτή η στρατηγική εφαρμόζει σε περιπτώσεις όπου υπάρχει διαφοροποίηση στη βαρύτητα των κριτηρίων και στηρίζεται στην παράλληλη σύγκριση όλων των πιθανών λύσεων σε σχέση με το κριτήριο στο οποίο αποδίδεται ιδιαίτερη βαρύτητα. Η λύση που υπερτερεί στο συγκεκριμένο κριτήριο θεωρείται βέλτιστη ενώ σε περιπτώσεις όπου ισοβαθούν περισσότερες από μία λύσεις τότε αξιολογούνται με βάση το αμέσως επόμενο κριτήριο στην κατάταξη της βαρύτητας. Ένα βασικό μειονέκτημα αυτής της στρατηγικής είναι ότι περιορίζεται σε ένα μόνο κριτήριο αγνοώντας έτσι ένα σημαντικό μέρος των δεδομένων.

- Αποκλεισμός επιλογών με βάση ένα κριτήριο (Elimination by aspect)

Σε αυτή τη στρατηγική καθορίζεται εξ αρχής το κατώτατο αποδεκτό όριο για τα διάφορα κριτήρια. Η διαδικασία ξεκινά συνήθως με την αξιολόγηση των πιθανών λύσεων σε σχέση με το σημαντικότερο κριτήριο και απορρίπτονται όλες οι λύσεις που αποτυγχάνουν να ανταποκριθούν στο ελάχιστο αποδεκτό όριο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το καθένα από τα υπόλοιπα κριτήρια μέχρι να αποκλειστούν όλες οι πιθανές λύσεις εκτός από μία η οποία θα αποτελέσει τη βέλτιστη λύση. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι συνήθως αυτή η προσέγγιση δεν λαμβάνει υπόψη όλα τα κριτήρια αφού είναι πιθανό να εντοπιστεί η βέλτιστη επιλογή αρκετά νωρίς, μετά από την αξιολόγηση μόνο μερικών από τα διαθέσιμα κριτήρια.

- Η στρατηγική της βελτιστοποίησης (Weighted Additive Value)

Η στρατηγική της βελτιστοποίησης στηρίζεται στον εντοπισμό της προτιμητέας επιλογής μέσα από το συστηματικό ισοζυγισμό των διαθέσιμων πληροφοριών ανάλογα με τη βαρύτητα των αντίστοιχων κριτηρίων. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες στρατηγικές παρέχει μια διαδικασία σύνθεσης όλων των διαθέσιμων πληροφοριών και στηρίζεται στην παράλληλη σύγκριση όλων των πιθανών λύσεων, ώστε να εντοπίζεται η λύση που παρουσιάζει το βέλτιστο συνδυασμό πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων. Πρόκειται για μια ιδιαίτερα σύνθετη διεργασία η οποία επιδιώκει την ποσοτικοποίηση της διαδικασίας λήψης απόφασης μέσα από τη μετατροπή όλων των διαθέσιμων δεδομένων σε μια κοινή ισοδιαστημική κλίμακα μέτρησης (Baron, 2000; Birnbaum, 1998, Kim *et al.*, 1998). Αυτό καθιστά εφικτή τη διενέργεια ταυτόχρονης, συνολικής σύγκρισης των πιθανών λύσεων, λαμβάνοντας υπόψη τη διαφοροποίηση στη βαρύτητα των κριτηρίων. Το διδακτικό υλικό που έχει αναπτυχθεί στην παρούσα εργασία εστιάζεται στην καλλιέργεια μιας απλοποιημένης εκδοχής αυτής της στρατηγικής η οποία περιγράφεται λεπτομερώς στο πέμπτο κεφάλαιο.

2.1.2.β. Μελέτη του τρόπου με τον οποίο τυγχάνουν επεξεργασίας οι καταστάσεις λήψης απόφασης

Μια άλλη πτυχή της υφιστάμενης τεχνογνωσίας αφορά στην περιγραφή των προσεγγίσεων που ακολουθούνται κατά τη λήψη απόφασης σε πραγματικές συνθήκες. Αυτή η κατεύθυνση έρευνας οδήγησε σε ενδιαφέροντα ευρήματα τα οποία περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των τάσεων που εμφανίζονται κατά την επεξεργασία των δεδομένων και των διαφόρων δυσκολιών που υπονομεύουν την προσπάθεια σύγκρισης των πιθανών λύσεων και επιλογής της βέλτιστης λύσης. Η μεγαλύτερη συνεισφορά σε σχέση με τη διερεύνηση αυτού του ζητήματος προέρχεται κυρίως από τον τομέα της γνωστικής ψυχολογίας ενώ η προσοχή που έχει λάβει στο πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών είναι ιδιαίτερα περιορισμένη (Hong & Chang, 2004). Πιο κάτω συνοψίζονται τα σημαντικότερα πορίσματα αυτής της ερευνητικής δράσης.

- Αναζήτηση μηχανισμών μείωσης των επιπτώσεων της προτιμητέας λύσης με στόχο να αποφευχθεί η απόρριψή της

Ένα ενδιαφέρον εύρημα αφορά στις περιπτώσεις διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης όπου η λύση που τείνει να εκλαμβάνεται εξ αρχής ως προτιμότερη ενέχει τον κίνδυνο ανεπιθύμητων συνεπειών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αντί να επιλέγεται μια από τις υπόλοιπες υποψήφιες λύσεις, η οποία δεν υπόκειται σε αυτές τις συνέπειες, έχει

παρατηρηθεί η τάση για αναζήτηση ενός μηχανισμού ο οποίος μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης αυτών των συνεπειών (risk defusing operators) προκειμένου να διασωθεί η προτιμητέα λύση (Bar & Huber, 2008).

- Τάση για επικέντρωση σε μεμονωμένα κριτήρια (noncompensatory strategies)

Κατά τη διαδικασία λήψης απόφασης παρατηρείται μια τάση για επικέντρωση σε ένα μεμονωμένο κριτήριο, στο οποίο στηρίζεται αποκλειστικά η επιλογή προτιμητέας λύσης, αγνοώντας τα υπόλοιπα. Αυτή η τάση διαφαίνεται από το γεγονός ότι ακόμη και σε περιπτώσεις όπου καθορίζονται ρητά πολλαπλά κριτήρια που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, οι μαθητές προσπαθούν να αποκλείσουν κάποια από αυτά, ώστε η επιλογή να καταλήξει να γίνεται βάσει ενός μόνο κριτηρίου (Baron, 2000; Hong & Chang, 2004). Ένα πρόσθετο στοιχείο που καταδεικνύει αυτό το σημείο είναι ότι σε περιπτώσεις όπου η ευθύνη του εντοπισμού σχετικών κριτηρίων ανατίθεται στους μαθητές τείνουν να περιορίζονται στη διατύπωση ενός μόνο κριτηρίου. Αυτές οι παρατηρήσεις αποτελούν ένδειξη για την αποτυχία των μαθητών να αντιληφθούν τη σημασία και το ρόλο των κριτηρίων στην ενίσχυση της αξιοπιστίας της διαδικασίας λήψης απόφασης (Baron, 2000).

- Επίδραση του πλαισίου ερμηνείας πληροφοριών: Ενιαία ή αποσπασματική αξιολόγηση.

Μια άλλη παράμετρος που επιδρά στη διαδικασία επεξεργασίας πληροφοριών σχετίζεται με το βαθμό στον οποίο αξιολογούνται αποσπασματικά και απομονωμένα ή σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες σχετικές πληροφορίες. Ένα απλό παράδειγμα που φανερώνει αυτή την επίδραση σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο εκφράζεται η έκπτωση στην τιμή ενός προϊόντος. Πιο κάτω φαίνονται λεπτομέρειες για δύο προσφορές αναφορικά με την αγορά του ίδιου αυτοκινήτου.

Προσφορά Α	Τιμή πώλησης = 7000 Επιστροφή χρημάτων μετά την αγορά (rebate) = 500 Συνολικό κόστος αυτοκινήτου 6500
Προσφορά Β	Αρχική τιμή = 7000 Έκπτωση στην τιμή = 500 Τιμή πώλησης = 6500

Παρόλο που το συνολικό κόστος στις δύο περιπτώσεις είναι το ίδιο (6500), υπάρχει μια τάση να κρίνεται ευνοϊκότερα η πρώτη προσφορά (Baron, 2000; LeBoeuf & Shafir, 2005).

Η εξήγηση που προτείνεται για αυτό το παράδοξο φαινόμενο είναι ότι στην πρώτη περίπτωση (επιστροφή χρημάτων μετά την αγορά) οι αγοραστές προσεγγίζουν το κόστος και το ποσό χρημάτων που θα επιστραφεί ως δύο χωριστές οντότητες (information segregation). Έτσι, το ποσό των επιστρεφόμενων χρημάτων κρίνεται ανεξάρτητα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υπερτίμηση της αξίας του. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση η σχετική έκπτωση και το κόστος αντιμετωπίζονται με ενιαίο τρόπο (information integration) και η σύγκριση του ποσού της έκπτωσης με το συνολικό κόστος του αυτοκινήτου τείνει να υποβαθμίζει την αξία του.

- Επίδραση πλαισίου ερμηνείας πληροφοριών (framing effect)

Ένα άλλο εύρημα που καταγράφεται στη σχετική βιβλιογραφία εισηγείται ότι τα αποτελέσματα της διαδικασίας λήψης απόφασης επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από το πλαίσιο στο οποίο εντάσσονται και ερμηνεύονται οι σχετικές πληροφορίες. Ένα ενδεικτικό έργο αξιολόγησης (Tversky & Kahneman, 1981) που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην έρευνα περιλαμβάνει μια κατάσταση όπου μια θανατηφόρα επιδημία απειλεί τις ζωές 600 ανθρώπων και χρειάζεται να αποφασιστούν τα μέτρα που θα ληφθούν από την κυβέρνηση. Οι συμμετέχοντες χωρίζονται σε δύο ομάδες, η καθεμιά από τις οποίες χρειάζεται να επιλέξει ανάμεσα σε δύο πιθανά σχέδια δράσης, τα οποία φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Ομάδα Α.	<u>Δράση 1:</u> Εφαρμογή σχεδίου με το οποίο θα σωθούν 200 άνθρωποι <u>Δράση 2:</u> Εφαρμογή σχεδίου που έχει 33.3% πιθανότητα να οδηγήσει στη διάσωση 600 ανθρώπων και 66.6% πιθανότητα να μην σωθεί κανένας.
Ομάδα Β	<u>Δράση 1:</u> Εφαρμογή σχεδίου που θα οδηγήσει στο θάνατο 400 ανθρώπων <u>Δράση 2:</u> Εφαρμογή σχεδίου που έχει 33.3% πιθανότητα να μην πεθάνει κανείς και 66.6% πιθανότητα να πεθάνουν και οι 600 άνθρωποι

Μια σημαντική παρατήρηση που προκύπτει από τη σύγκριση ανάμεσα στις δύο ομάδες σε σχέση με τις εναλλακτικές δράσεις είναι ότι παρουσιάζουν αντιστοιχία. Πιο συγκεκριμένα, τόσο η πρώτη όσο και η δεύτερη δράση στις δύο ομάδες έχουν ισοδύναμο αποτέλεσμα. Ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι η προτίμηση που επιδεικνύουν οι συμμετέχοντες στις δύο ομάδες δεν είναι συμβατή με αυτή την ισοδυναμία. Πιο συγκεκριμένα, η πλειοψηφία των συμμετεχόντων στην πρώτη ομάδα τείνει να επιλέγει την

πρώτη εναλλακτική δράση, ενώ οι περισσότεροι συμμετέχοντες στη δεύτερη ομάδα προτιμούν τη δεύτερη δράση. Μια πιθανή εξήγηση που προτείνεται στη βιβλιογραφία για αυτό το παράδοξο φαινόμενο σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο διατυπώνονται οι εναλλακτικές δράσεις (Baron, 2000; Sternberg, 1996; Tversky & Kahneman, 1981). Πιο συγκεκριμένα, παρά την ισοδυναμία τους, η δήλωση «θα σωθούν 200 (από τις 600) ζωές» τείνει να κρίνεται ευνοϊκότερα από τη δήλωση «θα χαθούν 400 (από τις 600) ζωές».

2.1.3. Υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με την καλλιέργεια δεξιοτήτων λήψης απόφασης στο πλαίσιο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών

Ένα σημαντικό στοιχείο το οποίο αξίζει να συζητηθεί αφορά σε απόψεις οι οποίες, αφενός, τάσσονται υπέρ της άμεσης διδασκαλίας δεξιοτήτων ανάλυσης αποφάσεων αλλά, αφετέρου, αμφισβητούν την καταλληλότητα της προώθησης συγκεκριμένων μεθόδων σύνθεσης και ανάλυσης των διαθέσιμων πληροφοριών. Αυτό το επιχείρημα στηρίζεται στη θέση ότι η διαδικασία διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης περιλαμβάνει πτυχές οι οποίες είναι πιο στοιχειώδεις από τη σύγκριση εναλλακτικών επιλογών και προτείνεται ότι η διδασκαλία στις κατώτερες βαθμίδες της εκπαίδευσης θα ήταν προτιμότερο να εστιάζεται σε αυτές τις πτυχές, για τις οποίες υπάρχει ήδη σημαντική διάσταση ανάμεσα στους ειδικούς και τους μαθητές (Beyth-Marom, Novik & Sloan, 1987; Campbell & Laskey, 1991). Παραδείγματα αυτών των πτυχών αποτελούν η ικανότητα εντοπισμού και καταγραφής κριτηρίων, η διατύπωση λειτουργικών ορισμών για τα κριτήρια, και η οργάνωση των σχετικών πληροφοριών. Η προτεινόμενη εργασία βρίσκεται σε διάσταση με αυτή την εισήγηση αφού επικεντρώνεται σε μια συλλογιστική στρατηγική συστηματικοποίησης της διαδικασίας σύνθεσης και στάθμισης πληροφοριών για τον εντοπισμό της επιλογής που παρουσιάζει το βέλτιστο συνδυασμό πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων. Ο προσανατολισμός της εργασίας προς αυτή την κατεύθυνση ενθαρρύνεται από εισηγήσεις που έχουν διατυπωθεί στη σχετική βιβλιογραφία (Acar, Turkmen & Roychoudhury, in press; Arvai *et al.*, 2004) και συνάδει με ερευνητικά δεδομένα που καταδεικνύουν ότι η διαδικασία συγκριτικής αξιολόγησης των εναλλακτικών επιλογών αποτελεί μια από τις σημαντικότερες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές (Hong & Chang, 2004; Ratcliffe & Grace, 2003; Ratcliffe, 1997; Seethaler & Linn, 2004).

Η καλλιέργεια συγκεκριμένων συλλογιστικών στρατηγικών λήψης απόφασης έχει λάβει ιδιαίτερα περιορισμένη προσοχή στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Παρά το γεγονός ότι συναντά κανείς στη βιβλιογραφία (σε μεμονωμένες περιπτώσεις) σχετικό διδακτικό

υλικό (Campbell *et al.*, 1997) είναι σημαντικό να τονιστεί η απουσία ερευνητικών δεδομένων από την εφαρμογή του σε μαθησιακά περιβάλλοντα. Έτσι, ενόψει της απουσίας εμπειρικών εργασιών στο πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών που να αναφέρονται σε προσπάθειες καλλιέργειας δεξιοτήτων διαχείρισης πληροφοριών για τη σύγκριση των πιθανών λύσεων, η επισκόπηση που ακολουθεί περιορίζεται σε εργασίες που σχετίζονται έμμεσα με αυτό το ζήτημα.

2.1.3.α. Αξιολόγηση αξιοπιστίας δεδομένων

Ένα θέμα το οποίο έχει λάβει αρκετή προσοχή αφορά στα κριτήρια που χρησιμοποιούν οι μαθητές για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των διαθέσιμων πληροφοριών σε καταστάσεις λήψης απόφασης (Kolsto, 2001). Αυτή η ερευνητική κατεύθυνση έχει συνεισφέρει χρήσιμη πληροφόρηση για τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αξιολογούν την αξιοπιστία τόσο του περιεχομένου των πληροφοριών όσο και των πηγών από τις οποίες προέρχονται. Ένα ενδιαφέρον εύρημα που έχει προκύψει καταδεικνύει ότι παρόλο που οι μαθητές αντιλαμβάνονται, σε σημαντικό βαθμό, την ανάγκη για αξιολόγηση της αξιοπιστίας των πληροφοριών και εισηγούνται ότι δεν πρέπει να θεωρείται δεδομένη, δεν είναι σε θέση να εφαρμόσουν με συνέπεια διαδικασίες συστηματικής αξιολόγησης. Αυτό εισηγείται ότι οι μαθητές στερούνται δεξιοτήτων αξιολόγησης της αξιοπιστίας δεδομένων και αυτό συνάδει με τη θέση ότι η διδασκαλία στις φυσικές επιστήμες δεν πρέπει να περιορίζεται απλώς στο περιεχόμενο, αλλά πρέπει να στοχεύει επίσης στην καλλιέργεια συλλογιστικών στρατηγικών αλλά και πτυχών επιστημολογικής επάρκειας όπως η φύση των δεδομένων και οι παράγοντες που επηρεάζουν την αξιοπιστία τους (Duggan & Gott, 2002; Gott & Duggan, 2003; Tytler *et al.*, 2001a; Tytler *et al.*, 2001b).

2.1.3.β. Διδασκαλία για βελτίωση της κατανόησης για την ανάγκη συμβιβαστικών λύσεων

Ένα τυπικό χαρακτηριστικό των καταστάσεων λήψης απόφασης αφορά στην απουσία τέλειων λύσεων που υπερτερούν σε όλα τα κριτήρια. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για εντοπισμό συμβιβαστικών λύσεων που να παρουσιάζουν τον ικανοποιητικότερο συνδυασμό πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων. Η καλλιέργεια της ικανότητας αποτελεσματικής διαχείρισης των συμβιβασμών (tradeoffs) έχει αποτελέσει σημείο εστίασης (περιορισμένων) ερευνητικών προσπαθειών που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία και έχουν απευθυνθεί κυρίως σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Seethaler & Linn, 2004; Siegel, 2006). Σε αυτές τις περιπτώσεις οι μαθητές εμπλέκονται συνήθως σε καταστάσεις λήψης απόφασης που αφορούν στη διαχείριση κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων (π.χ. γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα). Από αυτή την

ερευνητική κατεύθυνση έχουν προκύψει ενθαρρυντικές ενδείξεις σε σχέση με τη δυνατότητα της επίδρασης στην ικανότητα των μαθητών να δίνουν προτεραιότητα στα δεδομένα και να αντιλαμβάνονται την ανάγκη να λαμβάνουν υπόψη το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων χωρίς να περιορίζονται σε εκείνα που συνάδουν με τη θέση που είναι προδιατεθειμένοι να υιοθετήσουν εξ αρχής. Επιπρόσθετα, τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα αναδεικνύουν την προστιθέμενη αξία της αναστοχαστικής υποστήριξης των μαθητών καθώς επεξεργάζονται τα δεδομένα για να καταλήξουν σε απόφαση (Siegel, 2006). Τέλος, ένα άλλο στοιχείο που προέκυψε από αυτή την κατεύθυνση και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφορά στην αδυναμία των μαθητών να εξηγήσουν ρητά την προσέγγιση που ακολουθούν για να συνυπολογίσουν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και να καταλήξουν σε απόφαση. Μια πιθανή ερμηνεία για αυτή την παρατήρηση είναι ότι οι μαθητές αισθάνονται ότι η απλή παράθεση των διαφόρων δεδομένων, υπέρ ή κατά της επιλογής που στηρίζουν, αρκεί για να τεκμηριώσει το επιχείρημά τους (Seethaler & Linn, 2004). Μια εναλλακτική ερμηνεία, εισηγείται την απουσία συλλογιστικών στρατηγικών για τη στάθμιση των μειονεκτημάτων και πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν οι πιθανές λύσεις. Αυτή η ερμηνεία, ενθαρρύνει τον προσανατολισμό της προτεινόμενης εργασίας καταδεικνύοντας τη χρησιμότητα της ανάπτυξης συλλογιστικών στρατηγικών, ώστε να συστηματικοποιείται η σύγκριση ανάμεσα στις υποψήφιες λύσεις.

2.1.3.γ. Ανάλυση διλημάτων μέσα από υπόδυση ρόλων

Μια άλλη προσπάθεια καλλιέργειας δεξιοτήτων λήψης απόφασης που έχει καταγραφεί στη βιβλιογραφία εστιάζεται στην ανάπτυξη της ικανότητας κριτικής ανάλυσης ενός κοινωνικο-επιστημονικού διλήματος (consensus projects) (Kolsto, 2000). Συγκεκριμένα, οι μαθητές εμπλέκονται με συστηματικό τρόπο σε μια διαδικασία εντοπισμού και αξιολόγησης πληροφοριών που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο ζήτημα. Οι μαθητές σχηματίζουν μικρές ομάδες εργασίας στις οποίες ανατίθεται συγκεκριμένος ρόλος. Κάποιες ομάδες αναλαμβάνουν το ρόλο των ειδικών σε ένα συγκεκριμένο θέμα που αφορά στο ζήτημα και τους ανατίθεται η ευθύνη του εντοπισμού, οργάνωσης και παρουσίασης των σχετικών πληροφοριών. Έτσι, διαμορφώνεται ένα περιβάλλον στο οποίο υπάρχει αντιπροσώπευση των διαφόρων περιοχών εξειδίκευσης. Πέρα από τις ομάδες των «ειδικών» σχηματίζεται επίσης μια ομάδα η οποία αντιπροσωπεύει το κοινό των πολιτών, οι οποίοι δεν διαθέτουν εξειδικευμένες γνώσεις για το ζήτημα. Αυτή η ομάδα αναλαμβάνει να διαμορφώσει κριτήρια που θα καθορίσουν τη θέση που θα αναπτύξουν σε σχέση με το ζήτημα και προετοιμάζει ερωτήσεις που θεωρεί σημαντικό να τύχουν απάντησης από τους

«ειδικούς» ώστε να ενημερωθεί η διαδικασία λήψης απόφασης. Το τελικό στάδιο του μαθησιακού περιβάλλοντος περιλαμβάνει την παρουσίαση των πληροφοριών από τις ομάδες των ειδικών, όπως προκύπτουν από την προοπτική της κάθε ομάδας ανάλογα με την ειδίκευσή της, ενώ η ομάδα των «πολιτών» θέτει διευκρινιστικές ερωτήσεις ώστε να διαμορφώσει άποψη για το περιεχόμενο και την αξιοπιστία τους. Ο στόχος, σε κάθε περίπτωση, περιλαμβάνει τη λήψη απόφασης, διασφαλίζοντας συναίνεση, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των πληροφοριών.

Μέσα από αυτή τη διδακτική προσέγγιση, παρέχεται στους μαθητές η ευκαιρία να προσεγγίσουν με κριτικό τρόπο το υπό μελέτη ζήτημα και τα σχετικά δεδομένα. Η άμεση εμπλοκή τους με τις διεργασίες που περιλαμβάνονται στη διαπραγμάτευση του ζητήματος αναμένεται να συμβάλει άμεσα στην ανάπτυξη κατανόησης για το ρόλο της επιστημονικής γνώσης στην αξιολόγηση των επιλογών και για τους περιορισμούς που προκύπτουν από τις εναλλακτικές δυνατές ερμηνείες για τα σχετικά φαινόμενα, ανάλογα με την προοπτική υπό την οποία προσεγγίζονται. Επίσης, αναμένεται να στηρίξει την ανάπτυξη κατανόησης για το ρόλο των ειδικών στις διαδικασίες λήψης απόφασης και για τη σημασία της συλλογικότητας.

2.1.3.δ. Συστηματοποίηση της προσέγγισης καταστάσεων λήψης απόφασης

Η Ratcliffe (1997), χρησιμοποίησε ένα προκαθορισμένο πλαίσιο ανάλυσης καταστάσεων λήψης απόφασης και παρακολούθησε την εφαρμογή του από ομάδες μαθητών για την προσέγγιση διλημάτων κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα. Αυτό το πλαίσιο αποτελείται από τα εξής στάδια:

- Καταγραφή εναλλακτικών επιλογών
- Διατύπωση σχετικών κριτηρίων
- Εντοπισμός και καταγραφή πληροφοριών που συνδέουν τις επιλογές με τα κριτήρια
- Αξιολόγηση πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων
- Επιλογή καταλληλότερης λύσης με βάση την ανάλυση
- Αναστοχασμός για την καταλληλότητα της απόφασης που λήφθηκε και τη διαδικασία που ακολουθήθηκε

Η έμφαση της εργασίας τοποθετήθηκε στον εντοπισμό και περιγραφή των παραγόντων που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της προσέγγισης καταστάσεων λήψης απόφασης. Ένας από αυτούς τους παράγοντες σχετίζεται με την ικανότητα των μαθητών να αξιοποιούν γνώσεις περιεχομένου από το αντίστοιχο πεδίο στο οποίο εντάσσεται το

θέμα που διερευνάται σε κάθε περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, η έλλειψη εννοιολογικής κατανόησης για τα ζητήματα που υπεισέρχονται στην υπό μελέτη κατάσταση λήψης απόφασης υπονομεύει την αποτελεσματικότητα της προσπάθειας διαχείρισής της και αυτό συνάδει με πρόσθετα ερευνητικά δεδομένα που έχουν δημοσιευθεί στη βιβλιογραφία (Fleming, 1986; Hogan, 2002; Sadler & Zeidler, 2005; Tytler *et al.*, 2001a).

Ένας άλλος παράγοντας σχετίζεται με τη συστηματικότητα με την οποία προσεγγίζεται η διαδικασία επεξεργασίας των διαθέσιμων πληροφοριών. Πιο συγκεκριμένα, τα ερευνητικά δεδομένα που έχουν προκύψει σε αυτή την εργασία εισηγούνται ότι η εκ των προτέρων αναγνώριση, καταγραφή και διευκρίνιση των κριτηρίων που θα χρησιμοποιηθούν κατά την επεξεργασία του ζητήματος επιτελεί χρήσιμο ρόλο συμβάλλοντας στην παραγωγική εξέλιξη της συζήτησης. Επιπρόσθετα, προωθείται η συστηματικότητα και συνέπεια της σύγκρισης των εναλλακτικών επιλογών.

Τέλος, ένα άλλο σημαντικό στοιχείο, το οποίο έχει άμεσες συνέπειες για την παρούσα εργασία, αφορά στην επιλογή της Ratcliffe να εξαιρέσει από το πρότυπο που χρησιμοποίησε υπολογιστικές πτυχές για τη σύγκριση των πιθανών λύσεων. Το επιχείρημα που χρησιμοποιήθηκε για να στηρίξει αυτή την επιλογή σχετίζεται με την πολυπλοκότητα που παρουσιάζουν οι σχετικοί αλγόριθμοι και την πεποίθηση ότι οι μαθητές μπορούν να χειριστούν αυτό το ζήτημα χωρίς να χρησιμοποιήσουν προκαθορισμένες στρατηγικές. Τα δεδομένα αποτυγχάνουν να παρέχουν εμπειρική στήριξη για αυτό το επιχείρημα υποδεικνύοντας ότι οι μαθητές τείνουν να περιορίζονται σε σύντομες συζητήσεις που οδηγούν σε επιφανειακή συναίνεση για την καταλληλότερη επιλογή. Η έλλειψη δέσμευσης από πλευράς των μαθητών σε μια συγκεκριμένη στρατηγική σύνθεσης πληροφοριών καθιστά τη συναίνεση ιδιαίτερα εύθραυστη και σε περιπτώσεις όπου οι μαθητές δεν είναι πρόθυμοι να συμφωνήσουν, απλώς για να προχωρήσει η συζήτηση, τότε προκύπτει συνήθως αδιέξοδο το οποίο δεν μπορεί να αρθεί εύκολα (Ratcliffe, 1997).

2.2. Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση της επιστήμης

Σε αυτή την ενότητα επιδιώκεται να αποτυπωθεί το διαθέσιμο θεωρητικό και εμπειρικό υπόβαθρο που αφορά στην καλλιέργεια επιστημολογικής επάρκειας για στοιχεία της φύσης της επιστήμης. Η ενότητα αναπτύσσεται σε έξι μέρη. Το πρώτο συζητά τη θέση της επιστημολογικής επάρκειας σε σχέση με τη μάθηση στις φυσικές επιστήμες. Το δεύτερο παρουσιάζει τους βασικούς ενδοιασμούς που έχουν εμφανιστεί στη σχετική βιβλιογραφία αναφορικά με τη διδασκαλία της φύσης της επιστήμης και προσδιορίζει τη θέση που

υιοθετείται από την παρούσα εργασία. Το τρίτο μέρος παρουσιάζει κάποια θεμελιώδη χαρακτηριστικά της φύσης της επιστήμης τα οποία συνδέονται με την εργασία. Η παρουσίαση αυτών των στοιχείων αποσκοπεί στη διαμόρφωση ενός ερμηνευτικού πλαισίου στο οποίο θα μπορούσε να ενταχθεί η μετέπειτα συζήτηση τόσο σε σχέση με τη δομή, το περιεχόμενο και το σκεπτικό του διδακτικού υλικού που έχει αναπτυχθεί όσο και με τα αποτελέσματα από την αξιολόγησή του. Το τέταρτο μέρος συνοψίζει τα βασικά πορίσματα που έχουν προκύψει από τη μέχρι στιγμής έρευνα για τη χαρτογράφηση των επιστημολογικών αντιλήψεων των μαθητών για τη φύση της επιστήμης ενώ στο πέμπτο μέρος συζητούνται ζητήματα αναφορικά με την καταλληλότητα των τυπικών προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρησή τους. Τέλος, η καταληκτική ενότητα παρουσιάζει τις βασικές τάσεις που έχουν καταγραφεί αναφορικά με τη διδασκαλία της φύσης της επιστήμης.

2.2.1. Η χρησιμότητα της διδασκαλίας για τη φύση της επιστήμης

Η επιστημολογική επάρκεια για τη φύση της επιστήμης αναγνωρίζεται ως μια βασική συνιστώσα της μάθησης στις φυσικές επιστήμες και του επιστημονικού αλφαριθμητισμού (R. Bell, 2004; Flick & Lederman, 2004; Lederman, 1992; Lederman, 2004; McComas, 2000a; Selley, 1989). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μια βασική πτυχή της αποστολής του εκπαιδευτικού συστήματος περιλαμβάνει την προετοιμασία των μαθητών, ώστε να μπορούν να αλληλεπιδρούν αποτελεσματικά με τα σύγχρονα ζητήματα κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα και να παρακολουθούν και να συνεισφέρουν στο δημόσιο διάλογο. Η κατανόηση βασικών στοιχείων για τη φύση της επιστήμης μπορεί να συνεισφέρει προς αυτή την κατεύθυνση καθιστώντας τους μαθητές ικανούς να αντιλαμβάνονται το ρόλο, την επιδίωξη, τις δυνατότητες και τους περιορισμούς της επιστήμης (Driver, Leach, Millar & Scott, 1996; Kolsto, 2001). Επίσης, δεδομένης της αυξανόμενης αναγνώρισης της σημασίας της εμπλοκής του κοινού στις αποφάσεις για καθορισμό πολιτικής αναφορικά με τις εμφάνσεις της επιστημονικής έρευνας που λαμβάνει χρηματοδότηση (Rudolph, 2005), η κατανόηση για βασικά στοιχεία της φύσης της επιστήμης μπορεί να συνεισφέρει στην προετοιμασία των μαθητών ώστε να μπορούν να υπηρετήσουν αποτελεσματικά αυτό το ρόλο και να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις που επιβάλλει. Συνεπώς, η προώθηση κατανόησης για τη φύση, τη δομή, την οργάνωση και το χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης αποτελεί μια θεμελιώδη μαθησιακή επιδίωξη που χρειάζεται να τυγχάνει χειρισμού στο διδακτικό περιβάλλον των φυσικών επιστημών. Ταυτόχρονα, παρά το γεγονός ότι αποτελεί μια μαθησιακή επιδίωξη η σημασία και η αξία της οποίας μπορεί να τεκμηριωθεί ανεξάρτητα από άλλες μαθησιακές επιδιώξεις (π.χ.

εννοιολογική κατανόηση), είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η προώθησή της μπορεί επιπρόσθετα να συνεισφέρει και στην καλλιέργεια των υπόλοιπων συνιστωσών της μάθησης στις φυσικές επιστήμες, όπως συζητείται στη συνέχεια.

2.2.1.α. Επιστημολογική επάρκεια και εννοιολογική κατανόηση

Μια πτυχή της συνεισφοράς της επιστημολογικής επάρκειας σχετίζεται με τη δυνατότητά της να στηρίζει την εννοιολογική κατανόηση για το περιεχόμενο των φυσικών επιστημών. Συγκεκριμένα, μπορεί να συνεισφέρει στη διαμόρφωση ενός κατάλληλου πλαισίου που να προσδίδει νόημα στο εννοιολογικό περιεχόμενο. Η σύνδεση ανάμεσα σε αυτές τις δύο συνιστώσες της μάθησης στις φυσικές επιστήμες τεκμηριώνεται εμπειρικά με ερευνητικά δεδομένα που καταδεικνύουν τη θετική συσχέτιση ανάμεσα στις πεποιθήσεις των μαθητών για τη φύση της επιστήμης και τη δυνατότητά τους για ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης (Songer & Linn, 1991). Ένα απλό παράδειγμα που φανερώνει την υποστηρικτική δυνατότητα της επιστημολογικής επάρκειας σε σχέση με την εννοιολογική κατανόηση αφορά στην ερμηνεία της συμπεριφοράς ηλεκτρικών συστημάτων. Παρά το γεγονός ότι οι μαθητές είναι, συχνά, σε θέση να διατυπώσουν ορθές προβλέψεις για τη λειτουργία τους, χρησιμοποιώντας την ιδέα των ηλεκτρονίων, τείνουν να αποδίδουν σε αυτά υλική υπόσταση, κατατάσσοντας τα στην ίδια οντολογική κατηγορία με αντικείμενα όπως το δέντρο και το θρανίο (Chi, Slotta & Leeuw, 1994). Αυτό δημιουργεί ένα ζήτημα για το κατά πόσο θα ήταν αποδεκτό να πιστωθούν με πραγματική εννοιολογική κατανόηση. Η επάρκεια των μαθητών θα μπορούσε να επωφεληθεί σε σημαντικό βαθμό από την κατανόησή τους για το ρόλο της δημιουργικότητας στην επιστήμη, τη δυνατότητα επινόησης θεωρητικών ιδεών, όπως το ηλεκτρόνιο, και το ρόλο των μοντέλων. Η κατανόηση αυτών των επιστημολογικών ιδεών θα μπορούσε να λειτουργήσει συμπληρωματικά, ισχυροποιώντας την εννοιολογική κατανόηση και περιορίζοντας, ταυτόχρονα, την άνευ νοήματος χρήση τεχνικής ορολογίας (Lederman, 2004).

2.2.1.β. Επιστημολογική επάρκεια και ενδιαφέρον των μαθητών για την επιστήμη

Όπως έχει ήδη συζητηθεί στο εισαγωγικό κεφάλαιο, η διδασκαλία των φυσικών επιστημών τείνει να ακολουθεί μια επιστημολογικά στρεβλωμένη προσέγγιση εστιάζοντας συνήθως στην παρουσίαση βασικών νόμων και θεωριών σε περιγραφική μορφή και στην εφαρμογή μαθηματικών σχέσεων για την επίλυση ποσοτικών προβλημάτων (Kesidou & Roseman, 2002). Αυτό, ενδεχομένως, οδηγεί τους μαθητές να αναπτύξουν την εσφαλμένη αντίληψη ότι η μάθηση στις φυσικές επιστήμες στηρίζεται στην απομνημόνευση πληροφοριών και στρατηγικών επίλυσης προβλημάτων (Hammer, 1994; Mazur, 1997), η

οποία τείνει να υποσκάπτει την ανάπτυξη θετικών στάσεων σε σχέση με το μάθημα της επιστήμης (Driver *et al.*, 1996). Η διδακτική επεξεργασία του περιεχομένου των φυσικών επιστημών με τρόπο που τονίζει πτυχές της φύσης της επιστήμης, όπως η εξέλιξη των θεωριών και ο κοινωνικός χαρακτήρας των επιστημονικών διεργασιών, μπορεί να συμβάλει στην κατάργηση αυτής της αντίληψης και στην ενίσχυση του ενδιαφέροντος και του κινήτρου των μαθητών για αυθεντική εμπλοκή με το μαθησιακό περιβάλλον των φυσικών επιστημών (Duschl, 1990; Lederman, 2004).

2.2.1.γ. Επιστημολογική επάρκεια και συλλογιστικές στρατηγικές

Η επιστημολογική επάρκεια μπορεί να παρέχει ένα λειτουργικό πλαίσιο για τη στήριξη της προσπάθειας καλλιέργειας δεξιοτήτων συλλογισμού και συλλογιστικών στρατηγικών, η οποία αποτελεί μια κεντρική συνιστώσα της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών. Η συνεισφορά της επιστημολογικής επάρκειας προς αυτή την κατεύθυνση σχετίζεται με τη διάκριση που γίνεται στη βιβλιογραφία ανάμεσα στην ικανότητα για εφαρμογή συλλογιστικών στρατηγικών (strategic competence) και στην κατανόηση του υποβάθρου και του σκεπτικού στο οποίο στηρίζονται (meta-strategic competence) (Kuhn *et al.*, 1995). Ένα σχετικό παράδειγμα που φανερώνει αυτό το σημείο συνδέεται με τη συλλογιστική στρατηγική του ελέγχου μεταβλητών, η οποία έχει λάβει αρκετά μεγάλη προσοχή στο ερευνητικό πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών (Boudreaux *et al.*, 2007; Chen & Klahr, 1999; Gott & Duggan, 2003; Linn & Lehman, 1999; Zohar, 1995). Η καλλιέργεια επάρκειας για συγκεκριμένα στοιχεία της φύσης της επιστήμης θα μπορούσε να στηρίξει την ανάπτυξη βαθύτερης κατανόησης για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς της συγκεκριμένης στρατηγικής, ώστε να αποφεύγεται τόσο η αλγοριθμική εφαρμογή της όσο και η εφαρμογή της σε περιπτώσεις για τις οποίες δεν είναι κατάλληλη. Για παράδειγμα, η διδασκαλία θα μπορούσε να εστιάζεται, παράλληλα με το συλλογιστικό μέρος, στη συζήτηση της αδυναμίας να διασφαλισθεί ότι έχουν ληφθεί υπόψη όλα τα πιθανά δεδομένα και στις συνέπειες που απορρέουν αναφορικά με τη βεβαιότητα με την οποία μπορούν να διατυπώνονται τα σχετικά συμπεράσματα. Ένα πρόσθετο θέμα συζήτησης σχετίζεται με τη φύση των σχέσεων αιτιότητας (Kuhn *et al.*, 2000). Πιθανές πτυχές αυτού του ζητήματος περιλαμβάνουν τη σχέση ανάμεσα στη συμμεταβολή (covariation) και την αιτιότητα και τη δυνατότητα ανεξάρτητων μεταβλητών να επιδρούν αθροιστικά στην εξαρτημένη μεταβλητή (additive effect), να αλληλοεξουδετερώνονται ή να αλληλεπιδρούν με άλλους τρόπους (variable interaction) (Kuhn 2007, Kuhn *et al.*, 2000; Schauble, 1996; Zimmerman, 2000).

2.2.2. Αντιπαραθέσεις και ενδοιασμοί αναφορικά με τη διδασκαλία επιστημολογικής επάρκειας

Παρά την ευρεία αναγνώριση της ανάγκης για προώθηση επιστημολογικής επάρκειας υπάρχουν ερευνητές που διατυπώνουν ενδοιασμούς για την καταλληλότητά της ως περιεχομένου διδασκαλίας. Πιο κάτω συζητούνται τρεις ενδοιασμοί που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία.

2.2.2.α. Απουσία συναίνεσης για το περιεχόμενο της «φύσης της επιστήμης»

Ένα επιχείρημα που έχει διατυπωθεί στη βιβλιογραφία το οποίο αμφισβητεί την καταλληλότητα της καλλιέργειας κατανόησης για τη φύση της επιστήμης ως μαθησιακής επιδίωξης της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών στηρίζεται στην απουσία συναίνεσης για τον ορισμό της φύσης της επιστήμης (Kuhn, 1996; Latour, 1987). Ειδικότερα, αυτό το επιχείρημα εισηγείται ότι δεν θα ήταν αποδεκτό να αναμένεται από τους μαθητές να αναπτύξουν κατανόηση για ένα θέμα για το οποίο δεν υπάρχει μια σαφώς καθορισμένη αντίληψη από τους ειδικούς που εκπροσωπούν το αντίστοιχο ακαδημαϊκό πεδίο. Σε μια προσπάθεια εμπειρικής τεκμηρίωσης αυτής της θέσης, ο Alters (1997) επιχείρησε να αναδείξει τη διάσταση ανάμεσα στις απόψεις ακαδημαϊκών από τον τομέα της φιλοσοφίας της επιστήμης αναφορικά με διάφορα χαρακτηριστικά της επιστήμης.

Αυτή η θέση έχει τύχει επίκρισης στη διδακτική των φυσικών επιστημών και έχει αμφισβητηθεί τόσο το μεθοδολογικό πλαίσιο που υιοθετήθηκε για τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων στην εμπειρική εργασία του Alters (Eflin, Glenman & Reisch, 1999; Osborne *et al.*, 2003; Smith, Lederman, Bell, McComas & Clough, 1997) όσο και το σκεπτικό στο οποίο στηρίχθηκε, το οποίο θεωρεί ότι η ασυμφωνία ανάμεσα στους φιλόσοφους για χαρακτηριστικά της φύσης της επιστήμης αφαιρεί τη δυνατότητα διδακτικής διαχείρισής της στη σχολική επιστήμη (Osborne *et al.*, 2003). Αυτό το αντεπιχείρημα τεκμηριώνεται μέσα από τη συζήτηση παραδειγμάτων από άλλες γνωστικές περιοχές (π.χ. φυσική και βιολογία) όπου διδάσκονται ιδέες και έννοιες για τις οποίες δεν υπάρχει πλήρης συναίνεση στο αντίστοιχο ακαδημαϊκό πεδίο χωρίς να καταγράφονται αντίστοιχες επιφυλάξεις (R. Bell, 2004; Osborne *et al.*, 2003). Συνεπώς, παρά το γεγονός ότι ο τομέας της φιλοσοφίας από τη φύση του ευνοεί τη συνεχή διαπραγμάτευση, αναδιατύπωση και επαναπροσδιορισμό ιδεών, το ζήτημα της διδασκαλίας εννοιών για τις οποίες δεν υπάρχει συναίνεση εντός της αντίστοιχης επιστημονικής κοινότητας είναι ευρύτερο. Μια παρεμφερής πτυχή αυτού του αντεπιχειρήματος περιλαμβάνει την ανάδειξη των πολλαπλών περιπτώσεων όπου η διδασκαλία στις φυσικές επιστήμες εστιάζεται σε

ιδέες που έχουν ξεπεραστεί και θεωρούνται ανεπαρκείς και ανακριβείς (π.χ. μοντέλο του Bohr). Η ανάδειξη τέτοιων παραδειγμάτων οδηγεί στη θέση ότι η διδακτική διαχείριση ανακριβών αναπαραστάσεων αποτελεί μια συνήθη διδακτική πρακτική καθώς η κατανόησή τους διαδραματίζει συχνά παραγωγικό ρόλο στηρίζοντας τη μετέπειτα μετάβαση σε πιο εξελιγμένες αναπαραστάσεις (Kaper & Goedhart, 2002). Τέλος, μια τρίτη πτυχή του αντεπιχειρήματος εστιάζεται στη διευκρίνιση της παραδοχής ότι το μαθησιακό περιβάλλον των φυσικών επιστημών αποσκοπεί στην ανάπτυξη κατανόησης για μια απλουστευμένη αναπαράσταση της φύσης της επιστήμης από την οποία μπορούν να εξαιρεθούν σύνθετες πτυχές που τυγχάνουν διαπραγμάτευσης στο αντίστοιχο ακαδημαϊκό πεδίο (Osborne *et al.*, 2003). Η συζήτηση αυτής της παραδοχής συνδυάζεται με την ανάδειξη της συναίνεσης που υπάρχει για μια σειρά από χαρακτηριστικά της επιστήμης τα οποία θεωρούνται κατάλληλα για διδασκαλία. Αυτή η συναίνεση διαφαίνεται στην επικάλυψη που παρατηρείται, σε διεθνές επίπεδο, στις σχετικές μαθησιακές επιδιώξεις που περιλαμβάνονται στα αναλυτικά προγράμματα. Επίσης, στηρίζεται από εμπειρικά δεδομένα που έχουν προκύψει από την εφαρμογή μιας ερευνητικής προσέγγισης πρόγνωσης (Delphi), η οποία κατέδειξε τη συμφωνία που υπάρχει ανάμεσα σε ειδικούς που εκπροσωπούν διάφορα σχετικά πεδία (π.χ. διδακτική της επιστήμης, φιλοσοφία της επιστήμης κ.τ.λ.) σε μια σειρά από επιστημολογικές ιδέες που θεωρείται χρήσιμο να τυγχάνουν διδακτικού χειρισμού στη σχολική επιστήμη (Osborne *et al.*, 2003). Στην επόμενη ενότητα του κεφαλαίου συζητούνται τα σημαντικότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά, τα οποία συνδέονται με την παρούσα εργασία.

Η προοπτική υπό την οποία προσεγγίζει η παρούσα εργασία αυτό τον ενδιασμό στηρίζεται στη θέση ότι η απουσία πλήρους διασάφησης του περιεχομένου μιας επιστημολογικής ιδέας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης δεν αποτελεί ικανή συνθήκη για την εξαίρεσή της από διδακτική διαχείριση στη σχολική επιστήμη. Ένα παράδειγμα το οποίο καθιστά πιο προφανές αυτό το σημείο και συνδέεται άμεσα με την παρούσα εργασία, αφού αποτελεί μια από τις μαθησιακές επιδιώξεις που επιχειρεί να χειριστεί το διδακτικό υλικό που έχει αναπτυχθεί, αφορά στην περίπτωση της ιδέας της επιστημονικής εξήγησης. Η διευκρίνιση του όρου «επιστημονική εξήγηση» εξακολουθεί να αποτελεί ένα ανοικτό ζήτημα στη φιλοσοφία της επιστήμης και δεν έχει προσδιοριστεί με σαφήνεια το περιεχόμενό του (Psillos 2002, 2007, Woodward 2008). Ταυτόχρονα, είναι σημαντικό να παρατηρήσει κανείς ότι η εξήγηση φαινομένων αποτελεί ένα βασικό στοιχείο της σχολικής επιστήμης και, συνεπώς, θα ήταν χρήσιμο να βοηθηθούν οι μαθητές, ώστε να αναπτύξουν στοιχειώδη κατανόηση αναφορικά με βασικά

χαρακτηριστικά των επιστημονικών εξηγήσεων και του ρόλου και της επιδίωξής τους στην επιστήμη. Προφανώς, η απουσία συναίνεσης στο ακαδημαϊκό πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης για το περιεχόμενο του όρου «επιστημονική εξήγηση» δεν αναιρεί την ανάγκη των μαθητών να απευθυνθούν στο ερώτημα «τι είναι μια επιστημονική εξήγηση;» και δεν μειώνει τη σημασία και τη χρησιμότητα της διδακτικής επεξεργασίας αυτού του ερωτήματος. Το επιχείρημα που προκύπτει από το πιο πάνω παράδειγμα, το οποίο έχει γενικότερη εφαρμογή, είναι ότι η απουσία καταληκτικής συμφωνίας ανάμεσα στους φιλοσόφους της επιστήμης για ένα συγκεκριμένο θέμα δεν αποτελεί ικανή συνθήκη για την εξαίρεσή του από τη διδασκαλία. Ωστόσο, είναι αναγκαίο να αναγνωρίσει κανείς το σημαντικό ζήτημα που υπάρχει αναφορικά με την καταλληλότητα του διδακτικού μετασχηματισμού που υφίσταται ένα θέμα κατά τη μεταφορά του από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης στο μαθησιακό περιβάλλον των φυσικών επιστημών (Taber, 2008). Ειδικότερα, εφόσον διατυπωθούν συγκεκριμένες μαθησιακές επιδιώξεις, οι οποίες συνδέονται με στοιχεία της φιλοσοφίας της επιστήμης, είναι σημαντικό να αναλυθούν και να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο θα προσεγγιστούν διδακτικά, ώστε να διασφαλιστεί η καταλληλότητα της απλούστευσης στην οποία θα εκτεθούν. Για παράδειγμα, χρειάζεται να διασφαλιστεί ότι η απλουστευμένη αναπαράσταση μιας έννοιας ή ιδέας, η οποία προκύπτει στο πλαίσιο του διδακτικού της μετασχηματισμού, έχει τη δυνατότητα να τύχει επεξεργασίας με παραγωγικό τρόπο στην πορεία της μαθησιακής εξέλιξης, ώστε να αυξηθεί ο βαθμός εγκυρότητας και ενημερότητάς της.

2.2.2.β. Διαφοροποίηση ανάμεσα στη φύση των επιμέρους κλάδων της επιστήμης

Ένα άλλο ζήτημα που απασχολεί ερευνητές στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών συνδέεται με τις διαφοροποιήσεις που υφίστανται ανάμεσα σε επιμέρους κλάδους της επιστήμης αναφορικά με τον τρόπο με τον οποίο αναπαρίσταται, αναπτύσσεται και θεμελιώνεται η γνώση και στις συνέπειες που απορρέουν σε σχέση με τη διδασκαλία της φύσης της επιστήμης.

Η αντίληψη που εκφράζεται συνήθως σε διάφορα έγγραφα για την αναθεώρηση της διδακτικής πρακτικής στην επιστήμη (American Association for the Advancement of Science, 1993; NRC, 1996) αλλά και σε σχετικά άρθρα στην περιοχή του ερευνητικού πεδίου της διδακτικής των φυσικών επιστημών ευρύτερα (Matthews, 1998; Millar & Osborne, 1998; Osborne *et al.*, 2003; Ryan & Aikenhead, 1992) τείνει να προσδιορίζει γενικά στοιχεία στα οποία θα μπορούσε να επικεντρωθεί η διδασκαλία για τη φύση της επιστήμης. Αυτή η αντίληψη έχει δεχθεί επικρίσεις οι οποίες αμφισβητούν την άδηλη

παραδοχή στην οποία στηρίζεται, ότι είναι εφικτό να διαμορφωθεί μια γενική περιγραφή για τη φύση της επιστήμης η οποία να αφορά και να καλύπτει ταυτόχρονα όλους τους επιμέρους κλάδους της (Rudolph 2000, 2003; Wong & Hodson, in press). Μια διάσταση που έχει ενσωματωθεί στη σχετική έρευνα περιλαμβάνει τη μελέτη και καταγραφή των αντιλήψεων έμπειρων ερευνητών από διάφορα πεδία των φυσικών επιστημών αναφορικά με μια σειρά από επιστημολογικά ζητήματα, όπως ο ρόλος του πειράματος και της δημιουργικότητας στην επιστήμη. Τα πορίσματα που έχουν προκύψει από αυτή την κατεύθυνση έρευνας δίστανται σε σχέση με το μέγεθος των διαφοροποιήσεων ανάμεσα στους κλάδους της επιστήμης και του ρόλου τους στη διδασκαλία για τη φύση της επιστήμης. Από τη μια πλευρά εκφράζεται η θέση ότι οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται δεν είναι έντονες και δεν διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διδασκαλία της φύσης της επιστήμης (Schwartz & Lederman, 2008). Ειδικότερα, τα δεδομένα που προέκυψαν οδήγησαν στον ισχυρισμό ότι η διαφοροποίηση ανάμεσα στους επιμέρους κλάδους της επιστήμης είναι συγκρίσιμη με τη διαφοροποίηση που εμφανίζεται ανάμεσα στους ερευνητές εντός του ίδιου επιστημονικού κλάδου και, επομένως, δεν αναιρείται η πιθανότητα μιας ενιαίας προσέγγισης της φύσης της επιστήμης. Από την άλλη πλευρά, διατυπώνεται ο ισχυρισμός ότι οι διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα πεδία της επιστήμης είναι προφανείς και έντονες και επισημαίνεται ο προβληματικός χαρακτήρας της ενοποιημένης προσέγγισής τους ως προς τη φύση τους (Wong & Hodson, 2008).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, αυτό το ζήτημα είναι ερευνητικά ενεργό και εξακολουθεί να υπάρχει διαπραγματεύση και επαναπροσδιορισμός ιδεών. Η παρούσα εργασία αναγνωρίζει ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάμεσα στους επιμέρους κλάδους της επιστήμης και εκτιμά την ανάγκη να δοθούν σταδιακά στους μαθητές οι απαραίτητες ευκαιρίες να έρθουν σε επαφή και να αναπτύξουν ενημερωμένες αντιλήψεις για τους διάφορους τρόπους παραγωγής και θεμελίωσης της γνώσης στην επιστήμη. Σε αυτό θα μπορούσε να συνεισφέρει η αξιοποίηση μελετών περίπτωσης από διάφορες περιοχές έρευνας εντός των φυσικών επιστημών, όπως έχει ήδη προταθεί στη βιβλιογραφία (Wong & Hodson, in press). Ταυτόχρονα, η προσέγγιση που υιοθετεί η εργασία αναφορικά με τη διδασκαλία επιστημολογικών αντιλήψεων στις βαθμίδες εκπαίδευσης στις οποίες απευθύνεται εξαιρεί τη ρητή διδακτική διαχείριση της διαφοροποίησης που εμφανίζεται στους κλάδους της επιστήμης. Ειδικότερα, προτείνεται να διδάσκονται εξελικτικά κατάλληλες επιστημολογικές ιδέες χωρίς να συζητείται το περιορισμένο εύρος εφαρμογής τους (π.χ. χωρίς να προσδιορίζονται οι κλάδοι στους οποίους δεν αφορούν) και, ταυτόχρονα, χωρίς να δηλώνεται (ή να υπονοείται) ότι χαρακτηρίζουν απόλυτα και καθολικά την

οποιαδήποτε ερευνητική δραστηριότητα στην επιστήμη. Συνεπώς, προτείνεται η υιοθέτηση μιας ουδέτερης προσέγγισης η οποία αποφεύγει οποιεσδήποτε δεσμεύσεις για την περιεκτικότητα και καθολικότητα των επιστημολογικών ιδεών που διδάσκονται. Αυτή η προσέγγιση θα μπορούσε να αναθεωρηθεί σε ένα επόμενο στάδιο, όταν οι μαθητές θα έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν μια αντίληψη για το εύρος των τομέων εξειδίκευσης που συναντά κανείς εντός των φυσικών επιστημών, ώστε να ενσωματωθεί ρητός διδακτικός χειρισμός της ανομοιογένειας ως προς τα χαρακτηριστικά της επιστημονικής διεργασίας σε αυτά.

2.2.2.γ. Η χρησιμότητα της διδακτικής διαχείρισης στοιχείων της φιλοσοφίας της επιστήμης

Ένα άλλο στοιχείο που έχει εμφανιστεί στη βιβλιογραφία και θα μπορούσε να κωδικοποιηθεί ως μια αντιπαράθεση σε σχέση με τη διδασκαλία της φύσης της επιστήμης αφορά στο δυνητικό όφελος από την προσπάθεια καλλιέργειας επιστημολογικά ενημερωμένων αντιλήψεων. Ειδικότερα, η διαθέσιμη ερευνητική βιβλιογραφία περιλαμβάνει μεμονωμένες αναφορές στις οποίες επισημαίνεται ο κίνδυνος που ελλοχεύει από τη ρητή και συστηματική αμφισβήτηση των αντιλήψεων που τείνουν να υιοθετούν οι μαθητές για την επιστήμη ως μια απόλυτη, βέβαιη και αλάνθαστη οδό για την ανακάλυψη της αλήθειας για τη λειτουργία του φυσικού κόσμου. Συγκεκριμένα, θεωρείται ότι η προσπάθεια τροποποίησης αυτών των αντιλήψεων μέσα από την ανάδειξη στοιχείων όπως η υποκειμενικότητα και η αβεβαιότητα που χαρακτηρίζουν τις επιστημονικές θεωρίες και ο υποκαθορισμός τους από τα δεδομένα, τείνει να υπονομεύει την εμπιστοσύνη προς την επιστήμη (Theocharis & Psimopoulos, 1987) και να μειώνει την πιθανότητα επιλογής ακαδημαϊκής ή επαγγελματικής ενασχόλησης με την επιστήμη από μέρους των μαθητών (Winchester, 1993). Αυτή η τοποθέτηση, εκ πρώτης όψεως, φαίνεται συμβατή με τη θέση που παρουσιάστηκε νωρίτερα (2.2.2.α.) αναφορικά με την καταλληλότητα της διδασκαλίας ιδεών και εννοιών που έχουν πάψει να θεωρούνται έγκυρες ή έχουν ξεπεραστεί στα αντίστοιχα ακαδημαϊκά πεδία (π.χ. Νευτώνεια φυσική). Μια πτυχή αυτού του ζητήματος η οποία χρειάζεται να τονιστεί είναι ότι η καταλληλότητα αυτής της διδακτικής πρακτικής δεν είναι δεδομένη. Αντίθετα, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να αξιολογείται και να τεκμηριώνεται ο βαθμός στον οποίο μπορεί να θεωρηθεί παραγωγική για τη μετέπειτα μαθησιακή πορεία¹. Σε αυτό το πλαίσιο, θα μπορούσε κανείς να

¹ Ο Slater (2008) παρέχει μια τεκμηρίωση της καταλληλότητας της Νευτώνειας φυσικής ως αντικείμενο διδασκαλίας η οποία υιοθετεί επιχειρήματα που αναδεικνύουν τον εργαλειοκεντρικό χαρακτήρα της και προνοούν την παράλληλη διαχείριση σχετικών ζητημάτων που άπτονται της φιλοσοφίας της επιστήμης

ισχυριστεί ότι η εισήγηση για αποφυγή ρητής διδακτικής διαχείρισης των περιορισμών της επιστήμης ή για συνειδητή συντήρηση ή υπόθαλψη στρεβλωμένων ιδεών δεν μπορεί να θεωρηθεί παραγωγική αφού δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα χρήσιμο ενδιάμεσο στάδιο που υποστηρίζει τη μετέπειτα ανάπτυξη επιστημολογικά ενημερωμένων αντιλήψεων σε επόμενες βαθμίδες εκπαίδευσης.

Σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα ζητήματα που έχουν συζητηθεί πιο πάνω, ο συγκεκριμένος ενδοιασμός δεν φαίνεται να έχει ιδιαίτερο βάθος. Αυτό καθίσταται προφανές από την ευρεία συναίνεση που έχει διασφαλισθεί στην κοινότητα της διδακτικής των φυσικών επιστημών, η οποία κατακρίνει το μεμπτό χαρακτήρα της συνειδητής συντήρησης στρεβλωμένων φιλοσοφικών αντιλήψεων για την επιστήμη και την αδυναμία αυτής της τακτικής να συνεισφέρει στην υλοποίηση της επιδίωξης της διδασκαλίας της επιστήμης αναφορικά με την προετοιμασία μιας επιστημολογικά ενημερωμένης κοινωνίας (R. Bell, 2004). Ένα άλλο επιχείρημα υπέρ της ρητής διδακτικής διαχείρισης φιλοσοφικών ιδεών για την επιστήμη και τους περιορισμούς της αφορά στην ανάγκη διεύρυνσης των στόχων της διδασκαλίας της επιστήμης, ώστε να ενσωματώνουν την προετοιμασία των μαθητών, να μπορούν να λειτουργούν παραγωγικά και ενημερωμένα στη σύγχρονη δημοκρατική κοινωνία και να εμπλέκονται στη διαμόρφωση επιστημονικής και τεχνολογικής πολιτικής για τον καθορισμό των εμφάσεων της ερευνητικής χρηματοδότησης (Rudolph, 2005). Προφανώς, η υλοποίηση αυτής της επιδίωξης προϋποθέτει την καλλιέργεια επιστημολογικά ενημερωμένων αντιλήψεων οι οποίες αναγνωρίζουν τις δυνατότητες αλλά και τα όρια και τους περιορισμούς της επιστήμης και της τεχνολογίας.

Καταλήγοντας, χρειάζεται να επισημανθεί ότι ενώ η παρούσα εργασία αναγνωρίζει τη χρησιμότητα της εισαγωγής στοιχείων από τη φιλοσοφία της επιστήμης υιοθετεί ταυτόχρονα τη θέση ότι η αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας και η δυνατότητά της να λειτουργεί παραγωγικά καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη συμβατότητα που υπάρχει ανάμεσα στις μαθησιακές επιδιώξεις που τίθενται και τις δυνατότητες των μαθητών στους οποίους απευθύνονται. Για παράδειγμα, ενώ μερικές ιδέες θα μπορούσαν να εισαχθούν πολύ νωρίς στη σχολική επιστήμη (π.χ. διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία), υποβοηθώντας την ανάπτυξη νοήματος και κατανόησης στις φυσικές επιστήμες, υπάρχουν άλλες ιδέες οι οποίες δεν θα ήταν κατάλληλες ακόμη και στην περίπτωση των ανώτερων βαθμίδων της μέσης εκπαίδευσης (π.χ. επιστημονικός ρεαλισμός) και η διδακτική τους επεξεργασία θα είχε ενδεχομένως δυσμενείς συνέπειες

(Eflin *et al.*, 1999). Συνεπώς, κατά τη διατύπωση μαθησιακών επιδιώξεων αναφορικά με τη διαχείριση επιστημολογικών και φιλοσοφικών στοιχείων θα πρέπει, όπως και με οποιαδήποτε άλλη μαθησιακή επιδίωξη, να λαμβάνεται υπόψη και να αξιολογείται η εξέλικτική τους καταλληλότητα.

2.2.3. Βασικά χαρακτηριστικά της φύσης της επιστήμης

2.2.3.α. Ο ρόλος των εμπειρικών δεδομένων στην επιστήμη

Τα εμπειρικά δεδομένα διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη λειτουργία της επιστήμης και αυτό καθίσταται προφανές με πολλούς τρόπους. Πρώτον, τα εμπειρικά δεδομένα, όπως οι παρατηρήσεις της λειτουργίας φυσικών συστημάτων, αποτελούν βασικό αντικείμενο μελέτης της επιστήμης. Ο φυσικός κόσμος περιλαμβάνει ένα τεράστιο εύρος φαινομένων και εμπειρικών δεδομένων και ο στόχος της επιστήμης εστιάζεται στον εντοπισμό τάξης μέσα από την αποκρυπτογράφηση των νόμων που διέπουν τη λειτουργία του (Campbell, 1953; Holton & Brush, 2001). Ένα δεύτερο στοιχείο είναι ότι τα εμπειρικά δεδομένα αποτελούν ένα μέσο για την αξιολόγηση της επάρκειας θεωριών για την ερμηνεία φαινομένων. Ειδικότερα, η σύγκριση ανάμεσα στις προβλέψεις που παρέχει μια θεωρία και τις αντίστοιχες παρατηρήσεις μπορεί να αξιοποιηθεί για να οδηγήσει στην περαιτέρω επεξεργασία της, ώστε να ενισχυθεί η συμβατότητά της με τα εμπειρικά δεδομένα (Duschl, 1990).

Ένα βασικό στοιχείο που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι παρά το σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν τα εμπειρικά δεδομένα, σε καμιά περίπτωση δεν αποτελούν το μοναδικό ή τον καθοριστικό παράγοντα της εξέλιξης της επιστήμης και των επιστημονικών θεωριών. Ένα στοιχείο που φανερώνει αυτή την προοπτική σχετίζεται με την αδυναμία να διασφαλισθεί ότι έχουν ληφθεί υπόψη όλα τα σχετικά δεδομένα. Έτσι, ανά πάσα στιγμή είναι εφικτό να προκύψουν νέα δεδομένα τα οποία να διαταράζουν την ισορροπία που ενδεχομένως να είχε δημιουργηθεί στη βάση των προηγούμενων δεδομένων. Ένα άλλο στοιχείο που περιπλέκει το ρόλο των παρατηρησιακών δεδομένων αφορά στην αδυναμία διασφάλισης αντικειμενικών και ουδέτερων παρατηρήσεων και της εξάρτησής τους από το θεωρητικό πλαίσιο που υιοθετεί ο παρατηρητής. Για παράδειγμα, το υπόβαθρο των επιστημόνων, το θεωρητικό σκεπτικό που έχουν αναπτύξει για το υπό μελέτη φαινόμενο και οι γενικότερες φιλοσοφικές τους αντιλήψεις, μπορεί να επηρεάσουν τον τρόπο με τον οποίο προσδιορίζονται και περιγράφονται τα παρατηρησιακά δεδομένα (R. Bell, 2004; Duschl, 1990; Hanson, 1998; Holton & Brush, 2001; Lederman, 2007; Lederman, 2004; McComas, 2000a). Επιπρόσθετα, αυτά τα στοιχεία είναι πιθανό να επηρεάσουν τη

διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων. Για παράδειγμα, δύο ερευνητές που έχουν πρόσβαση στα ίδια δεδομένα είναι πιθανό να εστιάσουν την προσοχή τους σε διαφορετικές πτυχές τους. Τέλος, ένα τρίτο βασικό στοιχείο που καθιστά ακόμη πιο προφανή τον περιορισμό στο ρόλο των εμπειρικών δεδομένων στην εξέλιξη της επιστήμης σχετίζεται με την αδυναμία τους να επαληθεύσουν ή να διαψεύσουν μια επιστημονική θεωρία (ακόμη και αν υποθεθεί για σκοπούς συζήτησης ότι έχουν μελετηθεί όλα τα σχετικά δεδομένα με ουδέτερο τρόπο). Η αδυναμία επαλήθευσης συνδέεται με το πρόβλημα των εναλλακτικών υποθέσεων (υποκαθορισμός θεωριών από τα δεδομένα) (Salmon, Earman, Lennox, Machamer & Glymour, 1992). Αυτό το φιλοσοφικό πρόβλημα στηρίζεται στην ιδέα ότι υπάρχει ένας άπειρος αριθμός υποθέσεων από τις οποίες συνάγεται η ίδια πρόβλεψη. Συνεπώς, παρά το γεγονός ότι μια πρόβλεψη διατυπώνεται με βάση ένα συγκεκριμένο θεωρητικό πλαίσιο, η επαλήθευσή της επικυρώνει ταυτόχρονα πολλαπλά θεωρητικά πλαίσια. Έτσι, δεν θα ήταν συλλογιστικά έγκυρο να θεωρηθεί ότι η επαλήθευση μιας πρόβλεψης αποδεικνύει την εγκυρότητα μιας και μόνο θεωρίας. Αντίθετα, το συμπέρασμα που μπορεί να διατυπωθεί περιορίζεται απλώς στην ανάδειξη της εμπειρικής ενίσχυσης της θεωρίας από την οποία εξάχθηκε η πρόβλεψη, η οποία αυξάνει την πεποίθηση για την εγκυρότητά της.

Η ιδέα της διάψευσης, η οποία έχει προταθεί ως ένα ορθολογικό κριτήριο που θεμελιώνει την επιστημονική γνώση και διαχωρίζει την επιστήμη από άλλους τρόπους παραγωγής γνώσης (Popper, 1963), αντιμετωπίζει ανάλογα προβλήματα². Ένα από αυτά απορρέει από την πολυπλοκότητα της δομής των επιστημονικών θεωριών. Ειδικότερα, οι επιστημονικές θεωρίες αποτελούν σύνθετα πλέγματα ιδεών και, επομένως, οι συνέπειες που απορρέουν από την επαλήθευση ή διάψευση μιας πρόβλεψης αφορούν στην επιστημονική θεωρία από την οποία προέκυψε στο σύνολό της. Έτσι, μια πιθανή ασυμβατότητα ανάμεσα στην πρόβλεψη και την παρατήρηση δεν αποτελεί ικανή συνθήκη για τη διάψευση μιας επιστημονικής θεωρίας αφού είναι δυνατό να οφείλεται σε οποιαδήποτε από τις επιμέρους ιδέες ή υποθέσεις που ενσωματώνει. Αυτό το ζήτημα αναγνωρίζεται στη βιβλιογραφία ως το πρόβλημα του Duhem (Salmon *et al.*, 1992). Ένα πρόσθετο στοιχείο που συνδέεται με

² Αξίζει να σημειωθεί ότι η ιδέα της (δυναμικής) διαψευσιμότητας αρχίζει να αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον στις σύγχρονες θεωρίες (π.χ. υπερχορδές) λόγω της αδυναμίας διατύπωσης αποφάνσεων οι οποίες μπορούν να υποβληθούν σε εμπειρικό έλεγχο. Αυτό εισάγει ένα πρόσθετο ζήτημα για το βαθμό στον οποίο το κριτήριο της διαψευσιμότητας είναι κατάλληλο για τη διάκριση της επιστήμης από άλλους τρόπους παραγωγής γνώσης. Ταυτόχρονα, δημιουργεί προβληματισμό εντός της επιστημονικής κοινότητας για τις συνέπειες από την αποσύνδεση που προκύπτει ανάμεσα στη θεωρία και το πείραμα και το βαθμό στον οποίο περιορίζεται η δυνατότητα παραγωγής γνώσης η οποία διατηρεί τα χαρακτηριστικά των επιστημονικών θεωριών (Woit, 2006).

τη δυνατότητα της διάψευσης μιας πρόβλεψης να λειτουργήσει ως ικανή συνθήκη για την απόρριψη μιας θεωρίας αφορά στα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα που εισηγούνται ότι η παρουσία αντιφατικών δεδομένων στην επιστήμη δεν οδηγεί αυτόματα στην απόρριψη μιας υπόθεσης ή θεωρίας. Μια πτυχή αυτού ζητήματος φανερώνεται από ευρήματα που εισηγούνται ότι οι επιστήμονες τείνουν να χειρίζονται τα αντιφατικά δεδομένα με διάφορους εναλλακτικούς τρόπους, όπως η αμφισβήτηση της εγκυρότητάς τους ή η διατύπωση πρόσθετων διορθωτικών ad hoc υποθέσεων (Chinn & Brewer, 1999). Μια δεύτερη πτυχή προκύπτει από την ιστορία της εξέλιξης των ιδεών στην επιστήμη όπου μπορεί κανείς να εντοπίσει περιπτώσεις όπου ενώ εμφανίστηκαν δεδομένα που συγκρούονταν με τις προβλέψεις μιας θεωρίας δεν οδήγησαν στην απόρριψή της. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα σχετίζεται με το νόμο της παγκόσμιας έλξης και πιο συγκεκριμένα με την αντίφαση που παρουσιάστηκε ανάμεσα στις προβλέψεις και τα παρατηρησιακά δεδομένα για την τροχιά του πλανήτη Ουρανού. Ενώ αυτή η απόκλιση ερμηνεύθηκε από κάποιους επιστήμονες ως στοιχείο που έπληττε την εγκυρότητα του νόμου, μια εναλλακτική ερμηνεία που προτάθηκε από άλλους επιστήμονες στηριζόταν στη θέση ότι η απόκλιση δεν οφειλόταν στην ανεπάρκεια του νόμου αλλά στο γεγονός ότι υπήρχαν παράμετροι που δεν είχαν ληφθεί υπόψη. Συγκεκριμένα, η απόκλιση ανάμεσα στην προβλεπόμενη και την παρατηρούμενη τροχιά αποδόθηκε στην πιθανή παρουσία ενός καινούριου πλανήτη, ο οποίος δεν ήταν γνωστός μέχρι τότε, και στην επίδρασή που ασκούσε στην τροχιά του Ουρανού. Αυτή η υπόθεση επιβεβαιώθηκε περίπου μια δεκαπενταετία αργότερα με την ανακάλυψη του πλανήτη Ποσειδώνα και έτσι η εμμονή στην εγκυρότητα του νόμου λειτούργησε παραγωγικά οδηγώντας σε μια νέα σημαντική ανακάλυψη (Holton & Brush, 2001).

2.2.3.β. Ο ρόλος της δημιουργικότητας στην επιστήμη

Η εξέλιξη της επιστήμης δεν προκύπτει ως άμεσο και αυθόρμητο αποτέλεσμα της προσεκτικής παρατήρησης των δεδομένων και της εφαρμογής των κανόνων λογικής και δεν υπάρχει κανένας προκαθορισμένος αλγόριθμος ή συγκεκριμένη *επιστημονική μέθοδος* η οποία οδηγεί με συνέπεια και βεβαιότητα στην επιστημονική γνώση (Chalmers, 1993; Lederman, 2004; McComas, 2000a). Αντίθετα, υπάρχουν πολλαπλές διεργασίες που αξιοποιούνται συνδυαστικά στο πλαίσιο της επιστήμης και υπάρχει πάντοτε περιθώριο για ανθρώπινη επινόηση μέσα από την αξιοποίηση της δημιουργικότητας.

Ένα στοιχείο που καταδεικνύει τη συνεισφορά της ανθρώπινης δημιουργικότητας προέρχεται από παραδείγματα από την ιστορία της επιστήμης τα οποία καταδεικνύουν ότι

η εξέλιξη των ιδεών αναφορικά με την ερμηνεία ενός φαινομένου είναι δυνατό να προκύπτει ως αποτέλεσμα μετάθεσης σκεπτικού ή της επινόησης καινούριων ιδεών, χωρίς να έχει μεσολαβήσει συλλογή πρόσθετων δεδομένων. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα αφορά στη θεμελιώδη αντίληψη της αριστοτελικής φυσικής ότι η διατήρηση μιας οριζόντιας κίνησης προϋποθέτει τη συνεχή επίδραση μιας κινητήριας δύναμης. Η διαπίστωση ότι η συγκεκριμένη αντίληψη στηριζόταν σε λανθασμένο σκεπτικό δεν θα ήταν εύκολο να προκύψει ως αποτέλεσμα παρατηρήσεων και εμπειρικών δεδομένων τα οποία, αντίθετα, έτειναν να την επιβεβαιώνουν³. Η επιτυχία του Γαλιλαίου να απεγκλωβιστεί από αυτή την αντίληψη οφείλεται κυρίως στη δυνατότητά του να φανταστεί μια κίνηση χωρίς τριβή και χωρίς αντίσταση του αέρα (Butterfield, 1957).

Μια πρόσθετη πτυχή αυτού του ζητήματος, η οποία όπως συζητείται αργότερα αποτελεί μια από τις μαθησιακές επιδιώξεις του διδακτικού υλικού που έχει αναπτυχθεί, αφορά στη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και στην ερμηνεία της παρατήρησης. Ενώ είναι δυνητικά εφικτό να διασφαλίζεται συναίνεση ως προς την περιγραφή συγκεκριμένων παρατηρήσεων υπάρχουν πάντοτε πολλαπλοί εναλλακτικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί κανείς να τις ερμηνεύσει (Lederman, 2004; R. Bell, 2004). Σε αντίθεση με την απλή περιγραφή των δεδομένων, η εξήγησή τους δεν ενυπάρχει σε αυτά αλλά προκύπτει από την προέκτασή τους, μέσα από την επινόηση ενός πιθανού ερμηνευτικού μηχανισμού, και σε κάθε περίπτωση υπάρχουν πολλαπλοί μηχανισμοί που μπορούν να εξηγήσουν τις ίδιες παρατηρήσεις.

Τέλος, ένα άλλο παράδειγμα για την επίδραση της επινόησης στην εξέλιξη της επιστήμης αφορά στη διαδικασία σχεδιασμού πειραμάτων. Μέσα από την ιστορία της επιστήμης μπορεί κανείς να εντοπίσει πολλαπλά σχετικά παραδείγματα. Ένα από αυτά αφορά στη μελέτη του φαινομένου της ελεύθερης πτώσης από το Γαλιλαίο. Η μελέτη της συγκεκριμένης κίνησης περιοριζόταν από σημαντικές παραμέτρους, όπως η υπερβολικά σύντομη διάρκειά της. Ο Γαλιλαίος κατάφερε να χειριστεί αυτό το ζήτημα στηριζόμενος σε μια εναλλακτική περίπτωση κίνησης, η οποία παρουσίαζε ομοιότητες που επέτρεπαν την εξαγωγή αντίστοιχων συμπερασμάτων για την ελεύθερη πτώση. Συγκεκριμένα, εστιάσθηκε στη μελέτη της κίνησης αντικειμένων σε κεκλιμένο επίπεδο, η οποία καθοριζόταν από την ίδια «κινητήρια δύναμη» όπως και η ελεύθερη πτώση, και προσέγγισε στη συνέχεια την ελεύθερη πτώση μέσα από ένα νοητικό πείραμα όπου η

³ Για παράδειγμα, μια άμαξα σταματά να κινείται μόλις σταματήσουν να κινούνται τα άλογα που την τραβούν και ένα μεγάλο κιβώτιο κινείται μόνο εφόσον το σπρώχνει κάποιος.

κλίση του επιπέδου αυξανόταν σταδιακά μέχρι τις ενενήντα μοίρες. Ένας δεύτερος περιορισμός που δυσχέραινε τη μελέτη του Γαλιλαίου αφορούσε στην έλλειψη οργάνων μέτρησης των σχετικών μεγεθών, όπως η στιγμιαία ταχύτητα και ο χρόνος. Ο Γαλιλαίος κατάφερε να άρει τον πρώτο περιορισμό καταφεύγοντας στα μαθηματικά, με τα οποία κατόρθωσε να εξαλείψει τη στιγμιαία ταχύτητα από τους υπολογισμούς. Αντίστοιχα, ξεπέρασε το εμπόδιο της απουσίας χρονομέτρων μέσα από την κατασκευή μιας μεθόδου μέτρησης η οποία στηριζόταν σε μια συσκευή με δοχεία νερού από τα οποία υπήρχε ροή με σταθερό ρυθμό (Cassidy *et al.*, 2002).

2.2.3.γ. Ο αβέβαιος και δυναμικός χαρακτήρας των επιστημονικών θεωριών

Οι επιστημονικές θεωρίες αποτελούν ανθρώπινα κατασκευάσματα που προκύπτουν στην προσπάθεια ερμηνείας της λειτουργίας του φυσικού κόσμου μέσα από δημιουργικές διεργασίες σύνθεσης και ανάλυσης. Πρόκειται για ένα δυναμικό σύστημα γνώσης που εξελίσσεται και αναθεωρείται ώστε, ανά πάσα στιγμή, να αναπαριστά την τρέχουσα κατανόηση. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των επιστημονικών θεωριών είναι η αβεβαιότητά τους και αυτό συνδέεται άμεσα με αρκετά από τα σημεία που έχουν ήδη αναφερθεί. Ένα από αυτά σχετίζεται με το ρόλο της επινόησης και της δημιουργικότητας σε διεργασίες όπως η συλλογή, αξιολόγηση και ερμηνεία των εμπειρικών δεδομένων. Ένα άλλο στοιχείο σχετίζεται με το γεγονός ότι οι επιστημονικές θεωρίες στηρίζονται συνήθως σε επινοημένες οντότητες οι οποίες δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμες, όπως το ηλεκτρόνιο (Carnap, 1966; Maxwell, 1962; Toulmin, 1998) και αυτό αποκλείει την πιθανότητα επαλήθευσης ή διάψευσης μιας θεωρίας.

2.2.3.δ. Σχέση θεωρίας-μοντέλων

Οι επιστημονικές θεωρίες εκφράζονται σε γενική μορφή και αφορούν σε μια κλάση φυσικών συστημάτων που εμπίπτουν στο εύρος εφαρμογής τους. Η συγκεκριμενοποίησή τους, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση ενός συγκεκριμένου συστήματος και να παρέχουν σχετικές προβλέψεις, επιτυγχάνεται μέσα από τη διατύπωση αντίστοιχων μοντέλων (Suarez, 1999). Για παράδειγμα, ο νόμος της παγκόσμιας έλξης έχει γενική εφαρμογή σε οποιοδήποτε σύστημα δύο μαζών. Η αξιοποίηση αυτού του θεωρητικού πλαισίου για τον υπολογισμό της σχετικής δύναμης ανάμεσα σε δύο συγκεκριμένα σώματα και την πρόβλεψη του αποτελέσματος της αλληλεπίδρασής τους υλοποιείται μέσα από την παραγωγή ενός μοντέλου στο οποίο λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα που αφορούν στα υπό μελέτη σώματα (π.χ. μάζα αντικειμένων και σχετική απόσταση). Έτσι, τα μοντέλα διαμεσολαβούν ανάμεσα στα φαινόμενα και τις

επιστημονικές θεωρίες, παρέχοντας μια ένδειξη για τα όρια, τις δυνατότητες και την αξιοπιστία των τελευταίων. Ταυτόχρονα, τα μοντέλα στηρίζονται συνήθως σε εξιδανικευμένες αναπαραστάσεις των φαινομένων από τις οποίες εξαιρούνται κάποιες πτυχές της λειτουργίας τους (Grosslight *et al.*, 1991; Halloun, 2004; Portides, 2007). Αυτό, μπορεί να οδηγήσει στην περαιτέρω εξέλιξη μιας θεωρίας συμβάλλοντας στην κατανόηση της επίδρασης των πτυχών που έχουν εξαιρεθεί. Πιο συγκεκριμένα, η αντιπαραβολή ανάμεσα στις προβλέψεις που προκύπτουν από το εξιδανικευμένο μοντέλο και τα δεδομένα από το πραγματικό φαινόμενο και η προσπάθεια ερμηνείας της απόκλισης που παρουσιάζουν (π.χ. μέσα από την ενσωμάτωση μαθηματικών διορθωτικών παραγόντων) μπορεί να οδηγήσει στη βελτίωση της κατανόησης για την επίδραση των παραγόντων που έχουν εξαιρεθεί από το μοντέλο (Portides, 2007; Suarez, 1999).

2.2.3.ε. Ο ενοποιητικός χαρακτήρας των επιστημονικών θεωριών

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των επιστημονικών θεωριών αφορά στην επιδίωξή τους για ενοποιημένη περιγραφή και ερμηνεία διακριτών φαινομένων. Η κοινή αναπαράσταση διαφορετικών φαινομένων χρησιμοποιώντας το ίδιο ερμηνευτικό πλαίσιο θεωρείται παραγωγικό βήμα προς τη βελτίωση της κατανόησής μας για τη λειτουργία του φυσικού κόσμου (Barnes, 1992; Duschl, 1990; Holton & Brush, 2001; Kitcher, 1981; Kuhn, 1959). Η σημαντικότητα του αιτήματος της ενοποίησης διακρίνεται σε πολλαπλά παραδείγματα από την ιστορία της επιστήμης όπου η ενοποιητική δυνατότητα αποτέλεσε σημαντικό πλεονέκτημα που κατέστησε μια θεωρία προτιμητέα σε σύγκριση με μια εναλλακτική θεωρία. Ένα τέτοιο παράδειγμα αφορά στη μετάβαση από τη γεωκεντρική στην ηλιοκεντρική θεώρηση του πλανητικού συστήματος. Η πρώτη, η οποία στηριζόταν στη θέση ότι τα επίγεια σώματα υπόκεινται σε διαφορετικούς νόμους από τα ουράνια, επικράτησε για μια εκτεταμένη περίοδο παρά το γεγονός ότι είχαν εμφανιστεί κατά καιρούς εμπειρικά δεδομένα που συγκρούονταν με τις πρόνοιές της. Ενώ η ηλιοκεντρική θεωρία είχε προταθεί αρκετά νωρίς, δεν είχε σημαντική επίδραση στο κλίμα που είχε διαμορφωθεί υπέρ της γεωκεντρικής θεωρίας. Ο καθοριστικός παράγοντας που συνεισέφερε στην αντιστροφή αυτού του κλίματος ευνοώντας την ηλιοκεντρική θεωρία ήταν η διατύπωση του νόμου της παγκόσμιας έλξης, ο οποίος έπληξε το σκληρό πυρήνα της γεωκεντρικής θεωρίας καθορίζοντας ότι τόσο τα επίγεια όσο και τα ουράνια σώματα υπόκεινται στην ίδια νομοτέλεια (Duschl, 1990; Holton & Brush, 2001).

2.2.4. Χαρτογράφηση του βαθμού ενημερότητας των μαθητών για τη φύση της επιστήμης

Μια σημαντική κατεύθυνση της έρευνας στη διδακτική των φυσικών επιστημών εστιάζεται στη χαρτογράφηση των επιστημολογικών αντιλήψεων των μαθητών για τον τρόπο με τον οποίο δομείται και οργανώνεται η επιστημονική γνώση. Ένα εύρημα που εντοπίζεται με συνέπεια καταδεικνύει ότι οι μαθητές διαθέτουν επιστημολογικά αφελείς αντιλήψεις για τη φύση της επιστημονικής διεργασίας και της επιστημονικής γνώσης (Lederman, 2007). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι εναλλακτικές αντιλήψεις που εντοπίζονται στους μαθητές δεν διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με τη βαθμίδα στην οποία φοιτούν (Kang, Scharmann & Noh, 2005; Lederman, 2007). Ένα συμπέρασμα που θα μπορούσε να διατυπωθεί με βάση αυτό το στοιχείο είναι ότι η ηλικιακή ωρίμανση και η αυξανόμενη έκθεση των μαθητών στη διδακτική πρακτική που υλοποιείται παραδοσιακά στο εκπαιδευτικό σύστημα δεν έχει σημαντική επίδραση στις αντιλήψεις τους και δεν επιτυγχάνει να συμβάλει στην προώθηση επιστημολογικής επάρκειας (Lederman, 2007). Πιο κάτω συζητούνται σε περισσότερη λεπτομέρεια οι συνηθέστερες αντιλήψεις των μαθητών αναφορικά με τα τρία βασικά θέματα, τα οποία συνδέονται άμεσα με την παρούσα εργασία: (α) τη φύση και το ρόλο των επιστημονικών θεωριών, (β) το ρόλο της δημιουργικότητας στην ανάπτυξη και επεξεργασία επιστημονικών θεωριών και (γ) τη φύση και το ρόλο των μοντέλων στην επιστήμη.

2.2.4.α. Η φύση και ο ρόλος των επιστημονικών θεωριών

Ένα από τα βασικά ευρήματα της μέχρι στιγμής έρευνας σχετίζεται με την αποτυχία των μαθητών να αντιληφθούν το δυναμικό και αβέβαιο χαρακτήρα των επιστημονικών θεωριών και την τάση τους να τις εκλαμβάνουν ως αποδεδειγμένες, αντικειμενικά ορθές και αληθείς δηλώσεις για τη λειτουργία του φυσικού κόσμου (Driver *et al.*, 1996; Kang *et al.*, 2005; Lederman, 2007; Sadler, Chambers & Zeidler, 2004). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ενώ υπάρχουν αρκετοί μαθητές που αναγνωρίζουν και δηλώνουν ρητά ότι οι επιστημονικές θεωρίες μεταβάλλονται, συχνά στηρίζονται σε λανθασμένο σκεπτικό. Πιο συγκεκριμένα, τείνουν να περιγράφουν την εξέλιξη των θεωριών ως μια συσσωρευτική διεργασία κατά την οποία οι θεωρίες εμπλουτίζονται περιφερειακά με την προσθήκη πληροφοριών χωρίς ωστόσο να μεταβάλλεται ο πυρήνας τους. Ακόμη και σε περιπτώσεις όπου οι μαθητές αντιλαμβάνονται και επισημαίνουν ρητά την πιθανότητα τροποποίησης των επιστημονικών θεωριών αναγνωρίζουν, συνήθως, ως αποκλειστικό παράγοντα την εξέλιξη της τεχνολογίας και τη βελτίωση των διαθέσιμων οργάνων μέτρησης, αγνοώντας το ρόλο της δημιουργικότητας και την πιθανότητα τροποποίησης ή και αντικατάστασης

μιας θεωρίας λόγω μετάθεσης στο σκεπτικό της ερμηνείας και αναπαράστασης των υφιστάμενων δεδομένων (Duschl, 1990; Holton & Brush, 2001; Lederman, 2007).

Μια επιμέρους πτυχή της φύσης των θεωριών η οποία έχει λάβει αρκετή προσοχή στη βιβλιογραφία αφορά στην ικανότητα των μαθητών να διαφοροποιούν τις επιστημονικές θεωρίες από τους επιστημονικούς νόμους (Lederman, 2004, 2007; McComas, 2000a, 2000b). Τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα καταδεικνύουν την αδυναμία των μαθητών να διαφοροποιήσουν ανάμεσα στις δύο δομές οργάνωσης της επιστημονικής γνώσης ως προς τη λειτουργία τους στην επιστήμη. Η συνηθέστερη αντίληψη που εντοπίζεται στους μαθητές είναι ότι η μοναδική διαφορά ανάμεσα στα δύο αφορά στη σχετική τους αξιοπιστία. Ειδικότερα, τείνουν να κατατάσσουν τους επιστημονικούς νόμους σε μια ανώτερη βαθμίδα στην ιεραρχία της αξιοπιστίας και να αντιλαμβάνονται ότι οι επιστημονικές θεωρίες που επικυρώνονται μετατρέπονται σε νόμους (R. Bell, 2004; Lederman, 2004, 2007).

2.2.4.β. Ο ρόλος της δημιουργικότητας στην επιστήμη

Ερευνητικά δεδομένα εισηγούνται ότι οι μαθητές αποτυγχάνουν να αντιληφθούν το δημιουργικό χαρακτήρα της επιστήμης και το ρόλο της ανθρώπινης επινόησης στην εξέλιξη των επιστημονικών θεωριών. Αντίθετα, αντιλαμβάνονται την επιστήμη ως ένα αυστηρά δομημένο κλάδο που ακολουθεί μια προκαθορισμένη «επιστημονική μέθοδο» και πιστεύουν ότι οι επιστημονικές θεωρίες προκύπτουν ως άμεσο προϊόν της προσεκτικής επισκόπησης και αξιολόγησης των εμπειρικών δεδομένων (Kang *et al.*, 2005; Lederman, 2007). Αυτό υποσκάπτει τη δυνατότητα των μαθητών να αντιληφθούν το δυναμικό και επινοημένο χαρακτήρα των θεωριών και το ρόλο των αφηρημένων, θεωρητικών οντοτήτων στην ερμηνευτική τους λειτουργία. Αντίθετα, τείνουν να αποκλείουν την πιθανότητα ύπαρξης θεωρητικών οντοτήτων αφού αυτό θα καταργούσε την αντικειμενικότητα και την αξιοπιστία της επιστημονικής γνώσης (Carey, Evans, Honda, Unger & Jay, 1989; Kang *et al.*, 2005).

2.2.4.γ. Ο ρόλος των μοντέλων στην επιστήμη

Πολλοί μαθητές αδυνατούν να αντιληφθούν μερικά βασικά χαρακτηριστικά της φύσης των μοντέλων στην επιστήμη. Ειδικότερα, αποτυγχάνουν, σε μεγάλο βαθμό, να αναπτύξουν την ιδέα ότι τα μοντέλα αναπαριστούν συγκεκριμένες πτυχές του υπό μελέτη φαινομένου, αγνοώντας επιμέρους στοιχεία, ώστε να περιορίζεται το επίπεδο πολυπλοκότητας και να υποβοηθείται η ανάλυση και κατανόησή του (Grosslight *et al.*, 1991; Treagust,

Chittleborough & Mamiala, 2002). Αντίθετα, τείνουν να θεωρούν ότι ένα έγκυρο μοντέλο οφείλει να αναπαριστά επακριβώς το πραγματικό φαινόμενο και αυτό οδηγεί συνήθως σε πολλαπλές δυσκολίες. Ένα σχετικό παράδειγμα αφορά στα μηχανικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται συχνά για την περιγραφή φαινομένων που προέρχονται από άλλα πεδία. Στην περίπτωση του ηλεκτρικού κυκλώματος μια συνήθης διδακτική πρακτική στηρίζεται στην αναλογία ανάμεσα στο ηλεκτρικό ρεύμα και της ροής υλικών αντικειμένων, τα οποία αναπαριστούν τα ηλεκτρόνια. Αυτή η αναλογία θεωρείται ότι λειτουργεί υποστηρικτικά σε σχέση με την κατανόηση σχετικών φαινομένων, όπως ο ρόλος της ηλεκτρικής αντίστασης και η επίδρασή της στην ένταση της ηλεκτρικής ροής. Παρόλο που η τάση για χρήση μηχανικών μοντέλων είναι ιδιαίτερα συνήθης στον ακαδημαϊκό κλάδο της φυσικής (Holton & Brush, 2001; Reiner, Slotka, Chi & Resnick, 2000) μια σημαντική διαφοροποίηση που παρουσιάζουν οι ειδικοί σε σύγκριση με τους μαθητές αφορά στην επιστημολογική επάρκεια που διαθέτουν για το ρόλο των μοντέλων και για τους σχετικούς περιορισμούς και αναντιστοιχίες που παρουσιάζουν σε σχέση με το πραγματικό φαινόμενο (π.χ. το ηλεκτρόνιο δεν είναι μια υλική οντότητα με μακροσκοπικές ιδιότητες που έχει παρατηρηθεί άμεσα). Έτσι, σε αντίθεση με τους μαθητές, έχουν την ικανότητα να χειρίζονται το μοντέλο και το πραγματικό φαινόμενο ως δύο διακριτές οντότητες και να εκτιμούν πότε θα ήταν χρήσιμο και παραγωγικό να χρησιμοποιούν απλουστευμένα μοντέλα για την ανάλυση συστημάτων και να μεταβαίνουν από τη μια αναπαράσταση στην άλλη, όπως απαιτείται από το πλαίσιο της συζήτησης σε κάθε περίπτωση.

2.2.4.δ. Η συνοχή των επιστημολογικών αντιλήψεων των μαθητών

Ένα πρόσθετο ζήτημα που αφορά στις αντιλήψεις των μαθητών για τη φύση της επιστήμης σχετίζεται με το βαθμό οργάνωσης και συνοχής που παρουσιάζουν. Μερικές ερευνητικές εργασίες που έχουν δημοσιευθεί αποδίδουν συνοχή στις επιστημολογικές αντιλήψεις των μαθητών και προχωρούν στην κατηγοριοποίησή τους σε επίπεδα κατανόησης που ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες επιστημολογικές στάσεις (Carey *et al.*, 1989; Ibrahim, Buffler & Lubben, 2009; Smith, Maclin, Houghton & Hennessey, 2000). Ωστόσο, άλλες εργασίες, στις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί παρόμοια (ή και τα ίδια) μέσα συλλογής δεδομένων, δεν έχουν επιτύχει να αναπαράγουν αυτό το εύρημα. Πιο συγκεκριμένα, καταδεικνύουν ότι οι μαθητές διαθέτουν ταυτόχρονα πολλαπλές αντιλήψεις για συγκεκριμένα στοιχεία της φύσης της επιστήμης, τις οποίες ενεργοποιούν ανάλογα με το συγκείμενο της συζήτησης σε κάθε περίπτωση (Abd-El-Khalick, 2004; Sandoval & Morrison, 2003). Επίσης, διατυπώνεται η θέση ότι η συνοχή στις αντιλήψεις των μαθητών αποτελεί ένα τεχνητό προϊόν που προκύπτει από την προσέγγιση που ακολουθείται συχνά

για την καταγραφή τους (Kang *et al.*, 2005; Lederman, Wade & Bell, 1998; Lederman, 2007). Αυτό το σημείο συζητείται σε περισσότερη λεπτομέρεια στην επόμενη ενότητα.

2.2.5. Προσεγγίσεις για την αξιολόγηση των αρχικών ιδεών των μαθητών

2.2.5.α. Παραδοσιακές προσεγγίσεις μέτρησης

Η αποτελεσματικότητα των οργάνων για τη μέτρηση της επιστημολογικής επάρκειας των μαθητών αποτελεί ένα ζήτημα που απασχολεί την ερευνητική κοινότητα (Kang *et al.*, 2005; Lederman, 1992, 2007; Lederman *et al.*, 1998; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002). Τα πρώτα όργανα μέτρησης που αναπτύχθηκαν στηρίζονται σε ερωτήματα κλειστού τύπου, όπως για παράδειγμα τα ερωτηματολόγια πολλαπλής επιλογής, και εντάσσονται σε μια παράδοση που επιδιώκει τη συλλογή μεγάλου πλήθους δεδομένων σε σύντομο χρονικό διάστημα και την απλοποίηση της διαδικασίας κωδικοποίησής τους, ώστε να μπορούν να εκτίθενται σε στατιστική επεξεργασία και να διατυπώνονται σχετικά συμπεράσματα⁴. Η καταλληλότητα αυτής της προσέγγισης έχει υποστεί σημαντική κριτική (Lederman, 1992, 2007; Lederman *et al.*, 1998; Lederman *et al.*, 2002; Sandoval & Morrison, 2003) η οποία εστιάζεται σε δύο βασικά σημεία. Το πρώτο αφορά στο γεγονός ότι τα ερωτήματα και οι συνοδευτικές τους εναλλακτικές επιλογές σχεδιάζονται με τρόπο που ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες φιλοσοφικές αντιλήψεις που έχουν εμφανιστεί στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Αυτό ελλοχεύει τον κίνδυνο στρεβλωμένης ερμηνείας των δεδομένων αφού μπορεί να οδηγήσει στην απόδοση συνοχής στις απαντήσεις των μαθητών, χωρίς ωστόσο να υπάρχει πραγματικά. Ειδικότερα, ακόμη και εάν οι μαθητές επιλέγουν συστηματικά απαντήσεις που ανταποκρίνονται σε μια συγκεκριμένη φιλοσοφική θέση (π.χ. εμπειρισμός) δεν θα ήταν αποδεκτό να θεωρηθεί ότι αντιλαμβάνονται και υιοθετούν τις σχετικές αντιλήψεις που συνθέτουν αυτή τη θέση. Αντίθετα, τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα εισηγούνται ότι οι μαθητές ερμηνεύουν με πολλαπλούς εναλλακτικούς τρόπους, και συνήθως με ασυνέπεια, τους διάφορους όρους που σχετίζονται με τη φύση της επιστήμης, όπως η *θεωρία*, και αυτό εισηγείται απουσία συνοχής στις αντιλήψεις τους (Abd-El-Khalick, 2004; Kang *et al.*, 2005; Lederman, 2004; Sandoval & Morrison, 2003).

Το δεύτερο σημείο αναφέρεται στο γεγονός ότι οι μαθητές ενδέχεται να αντιλαμβάνονται τα ερωτήματα και τις εναλλακτικές επιλογές απάντησης με τρόπο διαφορετικό από αυτό

⁴ Ενδεικτικά παραδείγματα κλιμάκων που έχουν αναπτυχθεί αποτελούν το Facts About Science Test (FAST), Test On Understanding Science (TOUS), Wisconsin Inventory of Science Processes (WISP) και το Nature of Scientific Knowledge Scale (NSKA). Μια πιο λεπτομερής περιγραφή των κλιμάκων μέτρησης παρέχεται από τους Lederman, Wade & Bell (1998).

που είχε προβλεφθεί από τους σχεδιαστές τους και αυτό δημιουργεί σημαντικό κίνδυνο για την εγκυρότητα της ερμηνείας των αποτελεσμάτων της μέτρησης (Kang *et al.*, 2005; Lederman, 2007; Lederman *et al.*, 2002; Sandoval & Morrison, 2003). Για παράδειγμα, οι μαθητές τείνουν να αντιλαμβάνονται τον όρο «θεωρία» ως μια προσωπική άποψη για τη λειτουργία του φυσικού κόσμου (Kang *et al.*, 2005), παρά ως ένα συγκροτημένο πλαίσιο ιδεών που αναπαριστά την τρέχουσα κατανόησή μας και χαρακτηρίζεται από προβλεπτική δυνατότητα. Προφανώς, οι μαθητές που αντιλαμβάνονται τις θεωρίες ως προσωπικές απόψεις είναι πιθανό να υιοθετούν τη θέση ότι υπόκεινται σε αναθεωρήσεις και ότι είναι αβέβαιες. Η πιθανότητα διάστασης ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο ερμηνεύονται τα έργα αξιολόγησης από τους μαθητές και τους ερευνητές τείνει να περιπλέκει τη μέτρηση και να υποσκάπτει την εγκυρότητα των συμπερασμάτων που προκύπτουν.

2.2.5.β. Εναλλακτικές προσεγγίσεις μέτρησης

Αναγνωρίζοντας αυτούς τους περιορισμούς διάφοροι ερευνητές έχουν προχωρήσει στην εισήγηση εναλλακτικών προσεγγίσεων μέτρησης. Μια ιδιαίτερα διαδεδομένη προσέγγιση περιλαμβάνει το συνδυασμό δεδομένων από δύο πηγές: (α) απαντήσεις μαθητών σε γραπτά ερωτηματολόγια ανοικτού τύπου και (β) ατομικές συνεντεύξεις με σημαντικό ποσοστό των ίδιων μαθητών χρησιμοποιώντας ως πρωτόκολλο τις απαντήσεις που έδωσαν στα ερωτηματολόγια (Lederman *et al.*, 2002). Με αυτό τον τρόπο επιτρέπεται ευελιξία στους μαθητές, ώστε να διαμορφώνουν απαντήσεις χωρίς περιορισμούς ενώ η υποβολή διευκρινιστικών ερωτημάτων στο πλαίσιο των συνεντεύξεων συμβάλλει στην ενίσχυση της αξιοπιστίας της ερμηνείας των δεδομένων.

Μια δεύτερη προσέγγιση για την αξιολόγηση των αντιλήψεων των μαθητών περιλαμβάνει ερωτηματολόγια πολλαπλής επιλογής τα οποία, ωστόσο, διαφοροποιούνται σε σχέση με τον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσονται. Ειδικότερα, οι εναλλακτικές απαντήσεις αντί να επιλέγονται με βάση τα διάφορα σχετικά φιλοσοφικά ρεύματα διαμορφώνονται με τρόπο που αναπαριστά τις αντιλήψεις που διαθέτουν οι μαθητές (Kang *et al.*, 2005). Επιπρόσθετα, σε κάθε ερώτηση δίνεται η επιλογή στους μαθητές να διαφωνήσουν με όλες τις δοσμένες εναλλακτικές απαντήσεις και να διατυπώσουν μια δική τους απάντηση. Αυτό παρέχει ένα τρόπο υπέρβασης του περιορισμού που υπάρχει στα συμβατικά ερωτηματολόγια πολλαπλής επιλογής όπου οι μαθητές χρειάζεται να επιλέξουν από μια προκαθορισμένη συλλογή εναλλακτικών απαντήσεων.

Τέλος, μια τρίτη προσέγγιση στηρίζεται στη μετάθεση από την αξιοποίηση γενικών και αφηρημένων ερωτημάτων (π.χ. τι είναι η επιστήμη;) στην ένταξή τους σε συγκεκριμένα συγκείμενα τα οποία αφορούν σε σύγχρονα ζητήματα κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα (Sadler *et al.*, 2004; Smith & Wenk, 2006). Για παράδειγμα, σε πρόσφατη εργασία η οποία επικεντρώθηκε στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, δόθηκαν στους μαθητές εναλλακτικές ερμηνείες που δίνονται από ειδικούς για το φαινόμενο και προβλέψεις για την εξέλιξή και τις συνέπειές του και στη συνέχεια τους ζητήθηκε να απαντήσουν σε ερωτήματα που αποσκοπούσαν στην αξιολόγηση της κατανόησής τους για διάφορα ζητήματα, όπως η δυνατότητα διαφοροποίησης των ερμηνειών που δίνουν οι επιστήμονες για τις ίδιες παρατηρήσεις ανάλογα με τις προσωπικές τους προκαταλήψεις και πεποιθήσεις (Sadler *et al.*, 2004). Έτσι, το ζήτημα της αξιολόγησης των επιστημολογικών αντιλήψεων εντάσσεται σε συγκεκριμένο πλαίσιο και αποφεύγεται η διατύπωση των γενικών ερωτημάτων που χρησιμοποιούνται συχνά όπως «τι είναι μια επιστημονική θεωρία;».

2.2.6. Υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με τη διδασκαλία επιστημολογικής επάρκειας

2.2.6.α. Η επιστημολογική επάρκεια ως αυθόρμητο υποπροϊόν της τυπικής διδακτικής προσέγγισης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην προηγούμενη ενότητα η ανάπτυξη επιστημολογικής επάρκειας για τη φύση της επιστήμης δεν αποτελεί τυπικό προϊόν της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών και αυτό αμφισβητεί την εγκυρότητα και καταλληλότητα της συμβατικής διδακτικής προσέγγισης, η οποία αποφεύγει να χειριστεί άμεσα την επιστημολογική επάρκεια ως περιεχόμενο διδασκαλίας (Kang *et al.*, 2005; Lederman, 2004, 2007). Επίσης, τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα καταδεικνύουν ότι ακόμη και σε περιπτώσεις όπου οι μαθητές εμπλέκονται σε ειδικά σχεδιασμένα μαθησιακά περιβάλλοντα με δραστηριότητες που αφορούν σε διεργασίες επιστημονικής μεθόδου, όπως η συλλογή δεδομένων από παρατηρήσεις για ένα φαινόμενο, η επεξεργασία και αξιολόγησή τους καθώς και η διατύπωση μηχανισμών για τη λειτουργία τους, δεν αναπτύσσουν αυτόματα κατανόηση για τη φύση της επιστήμης, Έτσι, ακόμη και η εμπλοκή των μαθητών σε αυθεντικά περιβάλλοντα διερεύνησης, χωρίς να συζητούνται άμεσα ζητήματα που αφορούν στη φύση της επιστήμης, εξακολουθεί να μην αποτελεί επαρκή και ικανή συνθήκη για τη βελτίωση των επιστημολογικών τους αντιλήψεων (Lederman, 2007; Meichtry, 1992; Sandoval & Morrison, 2003).

Ένα άλλο στοιχείο το οποίο φανερώνει ακόμη πιο έντονα την ανεπάρκεια της αλληλεπίδρασης με το περιεχόμενο των φυσικών επιστημών και της εμπλοκής με τη διερώτηση να λειτουργήσει ως ικανή συνθήκη για βελτίωση των επιστημολογικών αντιλήψεων για τη φύση της επιστήμης και της επιστημονικής γνώσης προέρχεται από δεδομένα αναφορικά με τις επιστημολογικές αντιλήψεις ερευνητών που κατέχουν διδακτορικούς τίτλους σε διάφορα πεδία των φυσικών επιστημών (π.χ. θεωρητική φυσική, οργανική χημεία κ.τ.λ.) και δραστηριοποιούνται ερευνητικά σε αυτά. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτή την κατεύθυνση καταδεικνύουν ότι ακόμη και σε αυτές τις περιπτώσεις εντοπίζονται συχνά αντιλήψεις που βρίσκονται σε σύγκρουση με κοινά αποδεκτές ιδέες στο χώρο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Επίσης, αποτυγχάνουν να ανιχνεύσουν αξιόλογες διαφοροποιήσεις συγκριτικά με άτομα τα οποία είχαν τις ίδιες βασικές σπουδές αλλά δεν είχαν περαιτέρω εμπλοκή σε έρευνα στα σχετικά ακαδημαϊκά πεδία (Kimball, 1967). Αυτά τα δεδομένα φανερώνουν ότι η επιστημολογική επάρκεια δεν αναπτύσσεται ολοκληρωτικά ακόμη και σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μια συνεχής και συστηματική σύνδεση με την έρευνα σε ακαδημαϊκά πεδία της επιστήμης. Αυτό αποτελεί μια ισχυρή ένδειξη κατά της εγκυρότητας της παραδοχής ότι η επιστημολογική επάρκεια μπορεί να προκύψει έμμεσα ως υποπροϊόν της εξοικείωσης με το εννοιολογικό περιεχόμενο και άλλες πτυχές των φυσικών επιστημών όπως οι δεξιότητες συλλογισμού και η ικανότητα ποσοτικής ανάλυσης.

2.2.6.β. Εμπλοκή σε ρητές, αναστοχαστικές επιστημολογικές συζητήσεις

Η σύγχρονη βιβλιογραφία επισημαίνει και τεκμηριώνει την ανάγκη για σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων που θα επιδιώκουν ρητά να βοηθήσουν τους μαθητές να αναπτύξουν επιστημολογική επάρκεια (Lederman, 2007; Sandoval & Morrison, 2003). Έτσι, το ίδιο ακριβώς σκεπτικό που εφαρμόζει στην περίπτωση των εννοιολογικά προσανατολισμένων μαθησιακών επιδιώξεων, το οποίο επιβάλλει την ανάπτυξη σχετικών ακολουθιών δραστηριοτήτων για την άμεση προώθησή τους (π.χ. δραστηριότητες για ανάπτυξη λειτουργικού ορισμού για τη μάζα, θερμοκρασία), θα πρέπει να ισχύει και στην περίπτωση της επιστημολογικής επάρκειας (π.χ. δραστηριότητες για προώθηση κατανόησης για το ρόλο της δημιουργικότητας στην ανάπτυξη επιστημονικών θεωριών). Παρόλο που η σχετική βιβλιογραφία είναι ιδιαίτερα περιορισμένη ώστε να τεκμηριωθεί επαρκώς αυτή τη θέση, υπάρχουν ιδιαίτερα ενθαρρυντικές ενδείξεις που καταδεικνύουν τη δυναμική αποτελεσματικότητα αυτής της προσέγγισης στις βαθμίδες εκπαίδευσης στις οποίες εστιάζεται η παρούσα εργασία (Carey *et al.*, 1989; Khishfe & Abd-el-Khalick, 2002; Khishfe & Lederman, 2006). Αξίζει να σημειωθεί η θετική προσπάθεια που έχει

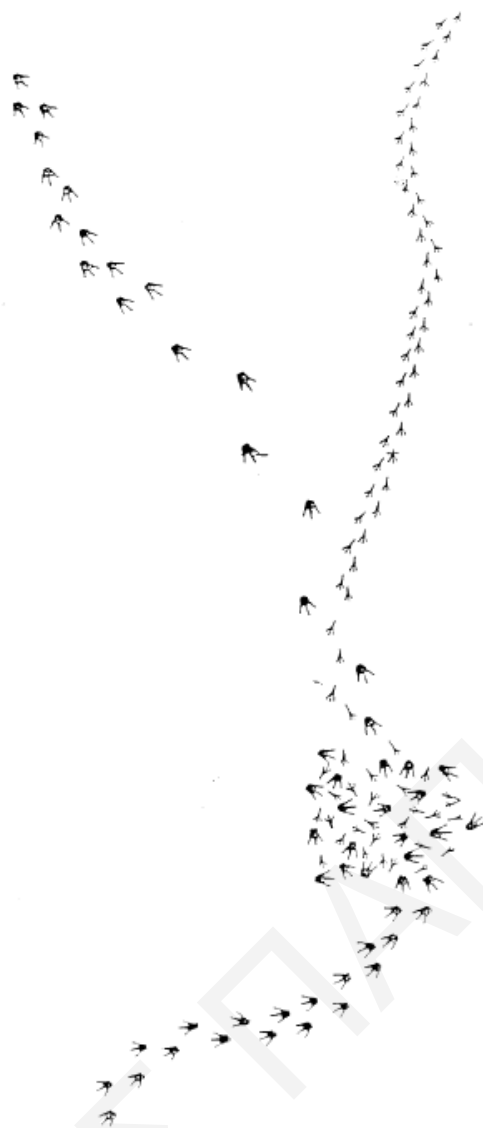
καταγραφεί στη βιβλιογραφία αναφορικά με την επίδραση στις επιστημολογικές αντιλήψεις μαθητών στην πρώτη τάξη δημοτικού (6-7 ετών) μέσα από ένα ειδικά σχεδιασμένο διδακτικό περιβάλλον (Akerson & Volrich, 2006).

Δύο εναλλακτικές διδακτικές προσεγγίσεις που έχουν εμφανιστεί σε αυτό το πλαίσιο διαφοροποιούνται ανάλογα με το βαθμό στον οποίο το διδακτικό υλικό διαπλέκεται με το εννοιολογικό περιεχόμενο των φυσικών επιστημών. Η μια από αυτές προσεγγίζει το εννοιολογικό περιεχόμενο και τις πτυχές της φύσης της επιστήμης με ενοποιημένο τρόπο (integrative approach). Συγκεκριμένα, στηρίζεται σε ακολουθίες δραστηριοτήτων που εντάσσονται στο περιεχόμενο των φυσικών επιστημών και έτσι η επιστημολογική συζήτηση συνδυάζεται με αυτό. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα από μια δημοσιευμένη εργασία (Khishfe & Lederman, 2006) αφορά στη διδασκαλία για το φαινόμενο του θερμοκηπίου στο πλαίσιο του οποίου οι μαθητές εμπλέκονται σε συζήτηση για ζητήματα όπως η πιθανότητα διαφωνίας ανάμεσα στους επιστήμονες ως προς την ερμηνεία των δεδομένων από τις παρατηρήσεις και τις αντίστοιχες προβλέψεις για την εξέλιξη του σχετικού φαινομένου.

Η δεύτερη προσέγγιση χειρίζεται τη διδασκαλία του εννοιολογικού περιεχομένου και της φύσης της επιστήμης ως δύο σαφώς διακριτών διδακτικών περιοχών. Έτσι, οι δραστηριότητες που απευθύνονται σε ζητήματα αναφορικά με τη φύση της επιστήμης δεν συνδέονται, με κανένα τρόπο, με το περιεχόμενο των φυσικών επιστημών. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα δραστηριότητας για τη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης παρατίθεται στο διάγραμμα 2. Οι Lederman και Abd-El-Khalick (1998) περιγράφουν μια σειρά από δραστηριότητες για προώθηση κατανόησης για τη φύση της επιστήμης, οι οποίες στηρίζονται σε αυτό το σκεπτικό.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι παρόλο που η σύγκριση της αποτελεσματικότητας των δύο προσεγγίσεων δεν έχει μελετηθεί επαρκώς τα διαθέσιμα δεδομένα αποτυγχάνουν να ανιχνεύσουν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στην επίδοση των μαθητών που ακολούθησαν τη μία ή την άλλη προσέγγιση (Khishfe & Lederman, 2006). Ένα αξιοσημείωτο στοιχείο είναι ότι και τις δύο περιπτώσεις οι μαθητές αποκόμισαν σημαντικό μαθησιακό όφελος, και αυτό συνάδει με τη θέση ότι η εμπλοκή των μαθητών σε αναστοχαστικές συζητήσεις επιστημολογικού περιεχομένου αποτελεί μια αποτελεσματική προσέγγιση για τη βελτίωση της κατανόησής τους για τη φύση της επιστήμης.

Διάγραμμα 2: Παράδειγμα δραστηριότητας (ανεξάρτητης περιεχομένου) για προώθηση επιστημολογικής επάρκειας



- Τι παρατηρείτε;
- Πώς εξηγείτε τις παρατηρήσεις σας;

Σκεπτικό:

Η παρατήρηση περιορίζεται σε πληροφορίες που μπορούν να καταγραφούν άμεσα με τις αισθήσεις μας (ή έμμεσα με τη χρήση οργάνων που επεκτείνουν τις αισθήσεις μας). Μια πιθανή απάντηση στο πρώτο ερώτημα είναι «παρατηρούμε ίχνη που διατάσσονται με συγκεκριμένο τρόπο». Το δεύτερο ερώτημα επιδέχεται πολλαπλές εναλλακτικές απαντήσεις. Ενδεικτικά παραδείγματα είναι τα εξής: (i) δύο πουλιά πλησιάζουν μεταξύ τους, παίζουν και μετά το μικρό πετά ενώ το μεγάλο συνεχίζει να περπατά και (ii) δύο πουλιά κινούνται προς μια τροφή που έχουν εντοπίσει και αρχίζουν να τη διεκδικούν οπότεν το μεγάλο τραυματίζει και ακινητοποιεί το μικρό.

Η συζήτηση εστιάζεται στο γεγονός ότι είναι σχετικά εύκολο να συμφωνούν όλοι ως προς την περιγραφή των παρατηρήσεων. Αντίθετα, η ερμηνεία μιας παρατήρησης αποτελεί προϊόν επινόησης και τα ίδια δεδομένα μπορούν να εξηγηθούν επαρκώς με διαφορετικές εναλλακτικές ερμηνείες.

Lederman & Abd-El-Khalick (1998)

Ένα παρεμφερές στοιχείο που αξίζει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο αφορά στο ρόλο της τυπικής διδασκαλίας στη διαμόρφωση των επιστημολογικά στρεβλωμένων αντιλήψεων που αναπτύσσουν οι μαθητές για τη φύση της επιστήμης. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένου ότι οι επιστημολογικές αντιλήψεις δεν αναπτύσσονται αυθόρμητα αλλά προκύπτουν μόνο μέσα από τη συστηματική και ρητή διδακτική διαπραγμάτευσή τους, μια πιθανή υπόθεση είναι ότι οι λανθασμένες αντιλήψεις που διαμορφώνουν, αποτελούν άμεσο προϊόν της διδασκαλίας της επιστήμης. Έτσι, εκτός από το ότι αποτυγχάνει να συμβάλει στη βελτίωση της επιστημολογικής επάρκειας των μαθητών, είναι πιθανό να προωθεί (ή να υποθάλπει) εσφαλμένες επιστημολογικές αντιλήψεις (Abd-El-Khalick, 2004; Lederman, 2007).

2.2.6.γ. Ιστοριογραφική προσέγγιση

Μια άλλη τάση που έχει εμφανιστεί στη βιβλιογραφία αναφορικά με την προώθηση επιστημολογικής επάρκειας περιλαμβάνει τη μελέτη της εξέλιξης των επιστημονικών ιδεών σε ένα ιστορικό πλαίσιο (Klopfer & Cooley, 1963; Rudge & Howe, 2009; Solomon, Duveen, Scot & McCarthy, 1992; Welch & Walberg, 1967; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000). Αυτή η προσέγγιση στηρίζεται στο σκεπτικό ότι η μελέτη της εξέλιξης των διαφόρων ιδεών συμβάλλει ταυτόχρονα στην ανάπτυξη της κατανόησης των μαθητών για βασικά χαρακτηριστικά των επιστημονικών θεωριών. Δύο από τα σημαντικότερα προγράμματα που έχουν σχεδιασθεί με βάση αυτή την προοπτική είναι το *History of Science Cases for High Schools* (HOSC) και το *Harvard Project Physics* (HPP). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η δυνητική συμβολή της ιστοριογραφικής προσέγγισης δεν έχει τεκμηριωθεί επαρκώς αφού η βιβλιογραφία περιλαμβάνει τόσο δεδομένα που καταδεικνύουν βελτίωση στην επιστημολογική επάρκεια των μαθητών (Klopfer & Cooley, 1963) όσο και δεδομένα που δεν εντοπίζουν σημαντική επίδραση (Solomon *et al.*, 1992; Welch & Walberg, 1967).

Μια σημαντική συνεισφορά της μέχρι στιγμής έρευνας σε αυτό το πεδίο περιλαμβάνει τον εντοπισμό παραγόντων που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της ιστοριογραφικής προσέγγισης. Ένας καθοριστικός παράγοντας που έχει καταγραφεί στη βιβλιογραφία αφορά στο βαθμό στον οποίο η μελέτη των ιστοριών συνοδεύεται από δραστηριότητες που επικεντρώνουν την προσοχή των μαθητών στις υπό έμφαση πτυχές της φύσης της επιστήμης εμπλέκοντας τους σε ρητή και συστηματική επιστημολογική συζήτηση (Abd-el-Khalick & Lederman, 2000; Rudge & Howe, 2009). Αυτό το εύρημα συνάδει με τη διάκριση ανάμεσα στη ρητή και την έμμεση διδακτική επεξεργασία, που έχει συζητηθεί προηγουμένως, και παρέχει πρόσθετη εμπειρική στήριξη για την αποτελεσματικότητα της πρώτης.

Ένας δεύτερος παράγοντας σχετίζεται με την κατάλληλη αναπλαισίωση των μελετών περίπτωσης από την ιστορία των φυσικών επιστημών, ώστε να αντιμετωπίζονται υπό το πρίσμα του εκάστοτε κοινωνικο-πολιτισμικού πλαισίου και των επικρατουσών αντιλήψεων για τη λειτουργία του κόσμου. Ειδικότερα, επισημαίνεται ότι η αποτελεσματική αλληλεπίδραση με το περιεχόμενο της ιστορίας της επιστήμης προϋποθέτει τη μετάθεση σκεπτικού, ώστε να αποστασιοποιείται κανείς από την τρέχουσα κατανόηση για τα σχετικά φαινόμενα και να μελετά την κάθε περίπτωση αναπαράγοντας

το πλαίσιο στο οποίο εμφανίστηκαν οι υπό μελέτη ιδέες (Abd-el-Khalick & Lederman, 2000; Solomon *et al.*, 1992).

Καταληκτικά, η ιστοριογραφική προσέγγιση θεωρείται μια δυνητικά αποτελεσματική μέθοδος εισαγωγής χαρακτηριστικών της φύσης της επιστήμης υπό δύο βασικές προϋποθέσεις: (α) ρητή εστίαση της προσοχής των μαθητών στις υπό έμφαση πτυχές της φύσης της επιστήμης, και (β) παρουσίαση των περιπτώσεων που μελετούνται με κατάλληλη αναπλαισίωση του αντίστοιχου κοινωνικο-πολιτισμικού πλαισίου. Μια επιμέρους εισήγηση που διατυπώνεται αφορά στην αξιοποίηση των μελετών περίπτωσης από την ιστορία των φυσικών επιστημών στο μαθησιακό περιβάλλον για την περαιτέρω εξοικείωση, παρά για την αρχική εισαγωγή, χαρακτηριστικών της φύσης της επιστήμης. Ειδικότερα, θεωρείται ότι η μελέτη περιπτώσεων αποτελεί ένα κατάλληλο συγκείμενο για εμπέδωση επιστημολογικών ιδεών που έχουν ήδη παρουσιασθεί μέσω άλλων διδακτικών προσεγγίσεων (Abd-el-Khalick & Lederman, 2000).

2.3. Μάθηση και διδασκαλία για την ενέργεια

Αυτή η ενότητα χωρίζεται σε τρία μέρη. Το πρώτο επιχειρεί να συνοψίσει την πορεία εξέλιξης και σταδιακής διαμόρφωσης της έννοιας της ενέργειας και ειδικότερα του γενικευμένου νόμου της διατήρησής της, μέσα από την επισκόπηση της ιστορίας της επιστήμης. Το δεύτερο επιχειρεί να περιγράψει την υφιστάμενη τεχνογνωσία σε σχέση με τη διδασκαλία και τη μάθηση για την ενέργεια και αναπτύσσεται σε τρεις κατευθύνσεις. Η πρώτη συνοψίζει τη βιβλιογραφία αναφορικά με τις αρχικές ιδέες των μαθητών και τις σχετικές εννοιολογικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Η δεύτερη, συζητά το πλαίσιο διδασκαλίας της ενέργειας. Τέλος, η τρίτη καταγράφει διδακτικές εισηγήσεις για τις οποίες διακρίνεται συναίνεση στη βιβλιογραφία. Το τρίτο μέρος παρουσιάζει τη διδακτική προσέγγιση που προτείνεται στην παρούσα εργασία και προσδιορίζει τη θέση της σε σχέση με το ευρύτερο πλαίσιο της διδασκαλίας της ενέργειας, και ειδικότερα, σε σχέση με τα διάφορα σημεία αντιπαράθεσης.

2.3.1. Η εξέλιξη της έννοιας της ενέργειας μέσα από την ιστορία της επιστήμης

Η σύγχρονη έννοια της ενέργειας διαμορφώθηκε μέσα από μια πολύχρονη πορεία κατά την οποία απέκτησε το διαφανομενολογικό χαρακτήρα και τη δυνατότητα να ενοποιεί διαφορετικά πεδία της επιστήμης. Πιο κάτω επισημαίνονται μερικά ορόσημα που χαρακτηρίζουν αυτή την πορεία.

2.3.1.α. Ενεργειακές αντιλήψεις στο πεδίο της μηχανικής

Η βασικότερη ίσως ιδέα που μπορεί να εντοπίσει κανείς στο πεδίο της μηχανικής αναφορικά με τη σταδιακή διαμόρφωση της σύγχρονης έννοιας της ενέργειας συνδέεται με το νόμο διατήρησης της *vis viva* ο οποίος διατυπώθηκε από τον Χόουχενς το 1669. Η *vis viva* αναφέρεται σε μια ποσότητα κίνησης που προέκυψε στο πλαίσιο της μελέτης του τρόπου με τον οποίο μεταβάλλεται η κίνηση των σωμάτων όταν συγκρούονται μεταξύ τους (Lindsay 1971, 1975). Η *vis viva* ήταν ίση με το γινόμενο της μάζας και του τετραγώνου της ταχύτητας ενός αντικειμένου και ο νόμος διατήρησής της, συνοπτικά, καθόριζε ότι το άθροισμα αυτής της ποσότητας για όλα τα αντικείμενα του συστήματος παρέμενε πάντοτε σταθερό μετά από μια σύγκρουση. Προφανώς, ένας σημαντικός περιορισμός αυτού του νόμου είναι ότι εφαρμόζει σε ιδανικές περιπτώσεις διατηρητικών συστημάτων (Holton & Brush, 2001) από τα οποία εξαιρούνται περιπτώσεις όπως οι μη ελαστικές κρούσεις ή η κίνηση υπό την επίδραση της δύναμης της τριβής. Αυτός ο περιορισμός είναι ενδεικτικός της χωριστής αντιμετώπισης της οποίας τύγχαναν τα θερμικά και τα μηχανικά φαινόμενα.

2.3.1.β. Αρχικές ιδέες για την αναπαράσταση για τη φύση της θερμότητας

Οι πρώτες αντιλήψεις για τα θερμικά φαινόμενα, οι οποίες επικράτησαν μέχρι και τα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα, προσέγγιζαν τη θερμότητα ως μια υλική οντότητα η οποία καθόριζε τη θερμοκρασία ενός αντικειμένου. Ειδικότερα, η συγκέντρωση αυτής της ουσίας σε ένα αντικείμενο καθόριζε το πόσο ζεστό ή κρύο το αισθανόταν κανείς. Το πιο συγκροτημένο θεωρητικό πλαίσιο το οποίο ενσωμάτωνε αυτή την ιδέα προήλθε από το Λαβουαζιέ το 1787 και στηριζόταν στην ιδέα ότι τα θερμικά φαινόμενα θα μπορούσαν να ερμηνευθούν με αναφορά στη διάδοση μιας υλικής αβαρούς και μη ανιχνεύσιμης ουσίας, του *θερμογόνου* (Holton & Brush, 2001). Αυτό το θεωρητικό πλαίσιο είχε τη δυνατότητα να παρέχει ευλογοφανείς και διαισθητικά απλές ερμηνείες για διάφορα σχετικά φαινόμενα όπως, για παράδειγμα, η θερμική ισορροπία και η διαστολή αντικειμένων.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το θεωρητικό πλαίσιο του θερμογόνου είχε αρχίσει να δέχεται έντονη κριτική, ξεκινώντας από τα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα, με κύριο εκφραστή τον κόμη Ράμφορντ. Η κριτική εστιάστηκε σε δύο σημεία. Το πρώτο αφορά στην παραδοχή ότι το θερμογόνο ήταν μια υλική οντότητα ή οποία ωστόσο ήταν αβαρής και μη ανιχνεύσιμη, η οποία προσεγγιζόταν με σκεπτικισμό. Το δεύτερο αφορά στη διαπίστωση ότι το θερμογόνο δεν υπάκουε στο νόμο διατήρησης της ύλης. Η συζήτηση για το δεύτερο σημείο θεμελιώθηκε με εμπειρικά δεδομένα που κατέδειξαν ότι η αύξηση

της θερμοκρασίας μπορούσε να συμβαίνει απεριόριστα, ως αποτέλεσμα της τριβής. Για παράδειγμα, ο κόμης Ράμφορντ αναφερόταν στις παρατηρήσεις που είχε κάνει στο πλαίσιο της διαδικασίας διάτρησης πυροβόλων, όπου η τριβή της κάννης οδηγούσε σε συνεχή και σπεριόριστη αύξηση της θερμοκρασίας της. Αντίστοιχα δεδομένα παρουσιάστηκαν από το Χάμφρυ Ντέιβι ο οποίος σχεδίασε και εκτέλεσε ένα πείραμα για να δείξει ότι η τριβή ανάμεσα σε δύο κομμάτια πάγου (και όχι η διάδοση θερμότητας) οδηγούσε στο λιώσιμο τους⁵.

Ένα σημαντικό στοιχείο που χρειάζεται να σημειωθεί είναι ότι παρά την εμπειρική τεκμηρίωσή της, η κριτική που είχε διατυπωθεί κατά της θεωρίας του θερμογόνου δεν ήταν ικανή να πείσει την ευρύτερη επιστημονική κοινότητα για τη στρεβλωμένη βάση τη. Ο βασικός λόγος για αυτό συνδέεται με την απουσία κάποιου άλλου θεωρητικού πλαισίου που μπορούσε να ανταγωνιστεί την ερμηνευτική και περιγραφική δυνατότητα της θεωρίας του θερμογόνου. Ειδικότερα, η εναλλακτική ερμηνεία που διατυπώθηκε από τον κόμη Ράμφορντ πρότεινε την προσέγγιση της θερμότητας ως του αποτελέσματος της κίνησης στην εσωτερική δομή των αντικειμένων. Η αφηρημένη φύση αυτής της προοπτικής και η ασυμβατότητά της με τις αντιλήψεις που επικρατούσαν για τη δομή της ύλης περιόρισε σημαντικά την πιθανότητα να αντιμετωπιστεί ως ένα αξιόλογο θεωρητικό πλαίσιο ανάλυσης θερμικών φαινομένων και επέτρεψε στη θεωρία του θερμογόνου να κυριαρχήσει για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα αυξάνοντας την ανοχή της επιστημονικής κοινότητας στις αδυναμίες που είχαν καταδείξει τα εμπειρικά δεδομένα.

2.3.1.γ. Η πορεία προς την ενεργειακή σύνθεση και τη διατύπωση του γενικευμένου νόμου της διατήρησης της ενέργειας

Η ενεργειακή σύνθεση, η οποία είχε ως αποτέλεσμα τη διατύπωση του πρώτου νόμου της θερμοδυναμικής, ευνοήθηκε σε μεγάλο βαθμό από τρεις παράγοντες. Ο πρώτος αφορά στην πρόοδο που σημειώθηκε σε σχέση με την κατανόηση της φύσης του φωτός, ως μιας κυματικής κίνησης στον αιθέρα και της θεωρητικής επεξεργασίας που είχε οδηγήσει στην εγκαθίδρυση της σύνδεσης ανάμεσα στο φως και στη θερμότητα (Holton & Brush, 2001). Αντίστοιχη βελτίωση παρατηρήθηκε σε σχέση με την κατανόηση της φύσης της εσωτερικής δομής των υλικών η οποία άρχισε να κατευθύνεται προς την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας των μορίων. Αυτές οι εξελίξεις είχαν διαμορφώσει ένα ευνοϊκό

⁵ Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι υπάρχουν δεδομένα που εισηγούνται ότι το λιώσιμο προήλθε τελικά λόγω ανεπαρκούς θερμομόνωσης της πειραματικής διάταξης που είχε χρησιμοποιήσει (Holton & Brush, 2001)

πλαίσιο τόσο για την οριστική εγκατάλειψη της θεωρίας του θερμογόνου όσο και για την αναπαράσταση της θερμότητας ως μιας μορφής (διάδοσης) ενέργειας.

Ο δεύτερος παράγοντας συνδέεται με την επίδραση του φιλοσοφικού ρεύματος *natural philosophy* στην εξέλιξη των ιδεών στην επιστήμη (Cassidy *et al.*, 2002). Αυτό το φιλοσοφικό ρεύμα στηριζόταν στη θέση ότι τα διάφορα φυσικά φαινόμενα προέκυπταν ως αποτέλεσμα μιας ενοποιητικής δύναμης και ενθάρρυνε εργασίες οι οποίες αποσκοπούσαν στην αναγνώριση και τη διευκρίνιση των σχέσεων ανάμεσα στα διάφορα, εκ πρώτης όψεως ασύνδετα, φαινόμενα. Παρόλο που η ιδέα της «μετατροπής» δεν ήταν καινούρια αφού είχαν ήδη καταγραφεί διάφορα σχετικά φαινόμενα (π.χ. αλληλεπίδραση ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων), η κάθε περίπτωση αντιμετωπιζόταν μεμονωμένα. Η συνεισφορά αυτού του φιλοσοφικού ρεύματος έγκειται στις συνθήκες που δημιούργησε για την ανάληψη ερευνητικών εργασιών με στόχο την αποκάλυψη της ενοποιητικής «δύναμης» που συνέδεε όλες αυτές τις περιπτώσεις. Αυτό διαμόρφωσε ένα ευνοϊκό κλίμα για την αποδοχή της ιδέας ενός γενικευμένου νόμου διατήρησης της ενέργειας.

Ο τρίτος παράγοντας αφορά στη μετάβαση από την ποιοτική περιγραφή των φαινομένων της μετατροπής στην ποσοτική διευκρίνιση των σχέσεων που καθορίζουν τη σχέση ισοδυναμίας ανάμεσα σε διαφορετικές μορφές ενέργειας σε διάφορα πεδία της επιστήμης (Lindsay, 1975; Holton & Brush, 2001). Η περίπτωση που έχει ελκύσει περισσότερο ενδιαφέρον αφορά στον υπολογισμό του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας (Kuhn, 1959; Lindsay, 1975), κυρίως μέσα από τις εργασίες του Μάγερ και του Τζουλ (Holton & Brush, 2001). Ο Χέλμολτς επιχείρησε στη συνέχεια να συνθέσει και να επεκτείνει τις ιδέες που είχαν αναπτυχθεί ώστε, αφενός, να επεξεργαστεί μαθηματικά το νόμο διατήρησης και να αναδείξει το εύρος εφαρμογής του σε διάφορα πεδία της επιστήμης, και, αφετέρου, να φανερώσει τη δυναμική συνεισφορά του στην επίλυση εννοιολογικών προβλημάτων που απασχολούσαν την επιστημονική κοινότητα.

Μέσα από αυτή τη μακρόχρονη πορεία και τη σταδιακή διαμόρφωση του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας αναδεικνύονται διάφορα χαρακτηριστικά της ενέργειας τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να ενημερώνουν προσπάθειες ανάπτυξης διδακτικού υλικού για τη διδασκαλία της ενέργειας, ώστε να διασφαλίζεται η επιστημολογική τους εγκυρότητα. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό, για παράδειγμα, αφορά στο διαφανομενολογικό και ενοποιητικό χαρακτήρα της ενέργειας. Προφανώς, η παράλειψη αυτού του στοιχείου από τη διδακτική διαχείριση της ενέργειας (π.χ. μέσα από την εισαγωγή της ως ενός

φυσικού μεγέθους στο πλαίσιο ενός μεμονωμένου πεδίου, όπως η μηχανική) οδηγεί σε μια στρεβλωμένη προσέγγιση που συγκρούεται με τη φύση της.

2.3.2. Το πλαίσιο διδασκαλίας της ενέργειας

2.3.2.α. Το πρόβλημα

Η ενέργεια είναι μια αφηρημένη, θεωρητική, μαθηματική, ιδέα η οποία ανάγεται σε ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στην επιστήμη κυρίως λόγω του νόμου διατήρησης στον οποίο υπόκειται και του διαφανομενολογικού και ενοποιητικού της χαρακτήρα (Baldin, 1942; Feynman *et al.*, 1965). Αυτά τα στοιχεία καθιστούν την ενέργεια ένα ιδιαίτερα χρήσιμο και ισχυρό εργαλείο σε σχέση με τη δυνατότητα πρόβλεψης, ερμηνείας και ποσοτικής ανάλυσης της συμπεριφοράς φυσικών συστημάτων (Bridgman, 1941; Feynman *et al.*, 1965; Holton & Brush, 2001; Lightman, 1992; Theobald, 1966). Ωστόσο, η ιδιαίτερα αφηρημένη φύση της ενέργειας δυσχεραίνει τη σύνδεσή της με συγκεκριμένες αναπαραστάσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την προσπάθεια οικοδόμησης νοήματος από μέρους των μαθητών. Συγκεκριμένα, το οντολογικό στάτους της ενέργειας περιορίζει τη δυνατότητα διαμόρφωσης διαισθητικά απλών αναπαραστάσεων που να απαντούν στο ερώτημα «τι είναι η ενέργεια;» με τρόπο που ικανοποιεί τις ανάγκες των μαθητών και ταυτόχρονα τυγχάνει αποδοχής ως ένα εννοιολογικά και επιστημολογικά έγκυρο αφηρητικό πλαίσιο.

Ο αφηρημένος χαρακτήρας της ενέργειας και οι διδακτικές του επιπτώσεις καθίστανται ακόμη πιο προφανείς μέσα από την αντιπαραβολή της με άλλες έννοιες και ιδέες που περιλαμβάνονται στα αναλυτικά προγράμματα. Ένα τέτοιο παράδειγμα, αφορά στην έννοια της δύναμης. Πρόκειται για μια επινοημένη ιδέα η οποία οντολογικά θα μπορούσε να αναπαρασταθεί ως ένα είδος αλληλεπίδρασης. Συνεπώς, θα ήταν εφικτό να σχεδιαστεί μια ακολουθία δραστηριοτήτων με αφετηρία τη διδακτική διαπραγμάτευση της ιδέας της αλληλεπίδρασης και ακολούθως την εισαγωγή της δύναμης ως αλληλεπίδρασης ανάμεσα σε δύο τουλάχιστον αντικείμενα η οποία εμφανίζεται με συγκεκριμένους τρόπους (π.χ. σπρώξιμο) και έχει συγκεκριμένες συνέπειες (π.χ. μεταβολή στην ταχύτητα)⁶. Η δυνατότητα σύνδεσης της ιδέας της αλληλεπίδρασης με απλές καθημερινές εμπειρίες (π.χ. χειραψία) επιτρέπει σε μια τέτοια προσέγγιση να παρέχει μια απάντηση στο ερώτημα «τι είναι η δύναμη;» η οποία θα ήταν κατάλληλη και ενδεχομένως ικανοποιητική ακόμη και για μαθητές δημοτικού. Ένα άλλο σχετικό παράδειγμα αφορά στην ιδέα του ηλεκτρονίου

⁶ Οι Dekkers & Thijs (1998) προτείνουν μια ακολουθία δραστηριοτήτων για τη διδασκαλία της δύναμης η οποία στηρίζεται σε αυτό το σκεπτικό.

η οποία εισάγεται συνήθως στο πλαίσιο του δυναμικού ηλεκτρισμού για την ερμηνεία και την ανάλυση της λειτουργίας ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Τα ηλεκτρόνια, τείνουν να εκλαμβάνονται ως σωματίδια με μακροσκοπικές ιδιότητες τα οποία μπορούν να εντοπιστούν και να απομονωθούν εύκολα στο φυσικό κόσμο (Reiner *et al.*, 2000). Είναι σημαντικό ωστόσο να σημειωθεί ότι ο προβληματικός χαρακτήρας αυτής της προσέγγισης δεν οφείλεται στην αναλογία ανάμεσα στο ηλεκτρόνιο και ένα υλικό αντικείμενο. Αντίθετα, προκύπτει λόγω της τάσης για ταύτιση του με μακροσκοπικό αντικείμενο το οποίο μπορεί εύκολα να απομονωθεί στο φυσικό κόσμο και της αποτυχίας προσέγγισής του ως ενός μαθηματικού μοντέλου που επιτρέπει την ερμηνεία συγκεκριμένων φαινομένων. Το σημαντικότερο στοιχείο που χρειάζεται να επισημανθεί είναι ότι παρά την ιδιαιτερότητα που παρουσιάζει αυτή η αναλογία και την ανάγκη που απορρέει για παράλληλο διδακτικό χειρισμό σχετικών επιστημολογικών ιδεών (π.χ. η ιδέα του μοντέλου στην επιστήμη) η αντιστοίχιση του ηλεκτρονίου με ένα σωματίδιο επιτρέπει την άμεση διαχείριση του ερωτήματος αναφορικά με το οντολογικό στάτους του ηλεκτρονίου στην επιστήμη. Σε αντίθεση με τα πιο πάνω παραδείγματα, (τα οποία είναι ενδεικτικά αφού μπορεί κανείς εύκολα να επισημάνει πολύ περισσότερα παρόμοια παραδείγματα), η ενέργεια δεν μπορεί να αντιστοιχιστεί με μια οικεία αναπαράσταση η οποία να επιτρέπει τη διαχείριση του οντολογικού στάτους της προτού διαμορφωθεί ένα ισχυρό γνωσιολογικό υπόβαθρο. Συνεπώς, δεδομένου ότι η ενέργεια αποτελεί τυπική μαθησιακή επιδίωξη των αναλυτικών προγραμμάτων για το μάθημα της επιστήμης (στο δημοτικό) και της φυσικής (στο γυμνάσιο) προκύπτει μια έντονη ανάγκη για διδακτικές επινοήσεις που θα επιτρέπουν την κατάλληλη διαχείριση των ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζει.

Ένα πρόσθετο στοιχείο που αυξάνει την πολυπλοκότητα της διδασκαλίας της ενέργειας αφορά στη δυνατότητα διατύπωσης λειτουργικού ορισμού, στον οποίο, γενικά, αποδίδεται παραγωγικός και χρήσιμος ρόλος στην ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης (Arons 1990, Karplus, 1981). Αυτό το στοιχείο συνδέεται άμεσα με το διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας. Συγκεκριμένα, η διατύπωση λειτουργικού ορισμού για την ενέργεια (π.χ. προσδιορισμό μιας διαδικασίας για τον υπολογισμό της) τείνει να περιορίζει τη διδακτική διαχείρισή της σε ένα μεμονωμένο πεδίο των φυσικών επιστημών. Συνεπώς, σε αντίθεση με άλλες έννοιες, όπως για παράδειγμα, η δύναμη, η προσέγγιση της ενέργειας ως ενός φυσικού μεγέθους στο πλαίσιο ενός συγκεκριμένου πεδίου της φυσικής (π.χ. θερμιδομετρία, μηχανική), παρόλο που επιτρέπει τη διατύπωση ενός λειτουργικού ορισμού, στερείται, συνήθως, επιστημολογικής εγκυρότητας αφού αποτυγχάνει να

χειριστεί τον ενοποιητικό και διαφαινομενολογικό της χαρακτήρα (Baldin, 1942; Becu-Robinault & Tiberghien, 1998; Holton & Brush, 2001).

2.3.2.β. Η διδακτική πρόκληση

Μια εισήγηση που έχει διατυπωθεί στη βιβλιογραφία, ενόψει αυτής της ιδιαιτερότητας που παρουσιάζει η ενέργεια, περιλαμβάνει την αναβολή της διδασκαλίας της μέχρι τις ανώτερες βαθμίδες της εκπαίδευσης όταν οι μαθητές θα έχουν αναπτύξει πλέον τη μαθηματική επάρκεια που απαιτείται για την κατανόηση της αφηρημένης, ποσοτικής, φύσης της. Αυτή η εισήγηση απορρίπτεται από πολλούς ερευνητές (Driver & Millar, 1986; Solomon, 1992; Trumper, 1990) και η ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης για την ενέργεια αναγνωρίζεται ευρέως ως μια βασική μαθησιακή επιδίωξη της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, ξεκινώντας από τη δημοτική εκπαίδευση (AAAS, 1993). Αυτό καθιστά αναγκαίο το διδακτικό μετασχηματισμό της ενέργειας, ώστε να περιοριστεί η πολυπλοκότητα της, και κάθε τέτοια προσπάθεια χρειάζεται να χειριστεί ένα σημαντικό ζήτημα. Συγκεκριμένα, από τη μια, η οποιαδήποτε προσπάθεια απλούστευσης τείνει να υποσκάπτει την εγκυρότητα του περιεχομένου (Taber, 2000b), ενώ, από την άλλη, η απουσία διδακτικών απλουστεύσεων καθιστά αδύνατη την ανάπτυξη ενός ποιοτικού μοντέλου για την αναπαράσταση της ενέργειας. Έτσι, προκύπτει η πρόκληση της ανάπτυξης διδακτικών προσεγγίσεων που διασφαλίζουν ισορροπία ανάμεσα στην απλοποίηση του περιεχομένου, ώστε να ικανοποιείται η ανάγκη των μαθητών για μια απλή ποιοτική αναπαράσταση της ενέργειας, και της εγκυρότητας του περιεχομένου. Η αναζήτηση αυτής της ισορροπίας αποτελεί ένα ιδιαίτερα δύσκολο και απαιτητικό εγχείρημα, το οποίο είναι καθοριστικής σημασίας για την ανάπτυξη αποτελεσματικών διδακτικών περιβαλλόντων.

2.3.2.γ. Η παραδοσιακή προσέγγιση για τη διαχείριση της διδακτικής πρόκλησης

Η διδασκαλία της ενέργειας ξεκινά από την πρωτοβάθμια εκπαίδευση και η προσέγγιση που ακολουθείται τείνει να παρουσιάζει την ενέργεια ως κάτι που προϋποτίθεται ώστε να μπορούν να συμβαίνουν οι διάφορες διεργασίες που παρατηρούνται στη φύση⁷. Έτσι, η ενέργεια εισάγεται με ένα ασαφή και αόριστο τρόπο χωρίς να επιδιώκεται η ανάπτυξη ενός πλαισίου που να επιτρέπει στους μαθητές να διαμορφώσουν μια αντίληψη για τη φύση της. Συνήθως, η διδασκαλία τείνει να επικεντρώνεται στην ανάπτυξη τεχνικής ορολογίας

⁷ Ενδεικτικά παραδείγματα διδακτικού υλικού αποτελούν τα: Science Curriculum Improvement Study (SCIS), Parallel Alternative Strategies for Students (PASS) και Primary Investigations

για τις διάφορες μορφές της ενέργειας και στον εντοπισμό των μετατροπών μορφής που παρουσιάζονται σε συγκεκριμένες συσκευές ή εργαλεία. Επίσης, μια πρόσθετη έμφαση της διδασκαλίας αφορά στην ανάγκη για προσεκτική διαχείριση των ενεργειακών πόρων και στη σημασία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ακολούθως, στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, γίνεται μια προσπάθεια διευκρίνησης του περιεχομένου της *ενέργειας* ακολουθώντας ένα εννοιολογικά προσανατολισμένο σκεπτικό. Αυτή η προσπάθεια εστιάζεται στη διατύπωση ενός ορισμού που να είναι κατάλληλος και ικανοποιητικός για τους μαθητές, και, ταυτόχρονα, να χαρακτηρίζεται από εγκυρότητα περιεχομένου. Ωστόσο, αυτή η εννοιολογικά προσανατολισμένη προσέγγιση, αποτυγχάνει να ικανοποιήσει τις δύο αυτές προδιαγραφές. Πιο κάτω συνοψίζονται τα στοιχεία που θέτουν υπό αμφισβήτηση την επιστημολογική, εννοιολογική και διδακτική καταλληλότητα αυτής της προσέγγισης, χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα το συνηθέστερο ορισμό που δίνεται για την ενέργεια, ως της ικανότητας παραγωγής έργου.

(i) Επιστημολογική καταλληλότητα του ορισμού

Η ισχύς του ορισμού περιορίζεται αποκλειστικά σε μηχανικά συστήματα και αυτό συγκρούεται με τη φύση της ενέργειας ως μιας διαφαινομενολογικής ιδέας που εφαρμόζει σε όλους τους κλάδους της φυσικής (Duit, 1986; Holton & Brush, 2001).

(ii) Εγκυρότητα περιεχομένου του ορισμού

- Η ιδέα της ενέργειας ως η ικανότητα παραγωγής έργου παρουσιάζει ασυμβατότητα με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, ο οποίος καθορίζει ότι σε οποιαδήποτε διεργασία είναι ανέφικτο να αξιοποιηθεί όλη η ποσότητα ενέργειας για την παραγωγή έργου (Duit, 1986; Hicks, 1983; Kesidou & Duit, 1993; Lehrman, 1973; Solomon, 1992). Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν ερευνητές που υπερασπίζονται την εγκυρότητα του ορισμού, τονίζοντας ότι αναφέρεται σε ιδεώδεις συνθήκες (Hodson, 2004; Warren, 1982) είναι προφανές ότι υφίσταται ένα σημαντικό διδακτικό ζήτημα αναφορικά με το πώς θα μπορούσαν να καθοδηγηθούν οι μαθητές ώστε να αντιληφθούν αυτό το σημείο.
- Το μηχανικό έργο αποτελεί μια διεργασία διάδοσης ενέργειας. Συνεπώς, ο ορισμός της ενέργειας ως ικανότητας παραγωγής έργου είναι κυκλικός.
- Η ικανότητα παραγωγής έργου δεν μπορεί να εξισωθεί με την ενέργεια αφού το πρώτο μέγεθος, σε αντίθεση με το δεύτερο, δεν υπακούει σε νόμο διατήρησης.

(iii) *Παιδαγωγική καταλληλότητα του ορισμού*

- Ο ορισμός προϋποθέτει κατανόηση για τη δύναμη και το έργο, ως του γινομένου της δύναμης και της μετατόπισης του σημείου εφαρμογής της. Κατά συνέπεια, αυτός ο (αχρείαστος) περιορισμός αποκλείει την εισαγωγή της ενέργειας στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση.
- Δημιουργείται το επιστημολογικό ερώτημα «γιατί χρειαζόμαστε την έννοια της ενέργειας αφού έχουμε ήδη αναπτύξει ένα τρόπο να μετρούμε άμεσα το έργο σε κάθε περίπτωση;». Αυτό το ερώτημα, το οποίο είναι θεμελιώδους σημασίας, δεν τυγχάνει διδακτικής διαπραγμάτευσης και αυτό υποσκιάζει την ανάπτυξη κατανόησης.
- Περιπλέκεται η διάκριση ανάμεσα στις έννοιες *δύναμη* και *ενέργεια* και ελλοχεύει ο κίνδυνος ενίσχυσης της τάσης των μαθητών να τις θεωρούν ταυτόσημες.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από αυτή τη σύντομη συζήτηση είναι ότι η προσπάθεια διδακτικής προσέγγισης της ενέργειας στο δημοτικό σχολείο και στο γυμνάσιο, ακολουθώντας ένα εννοιολογικά προσανατολισμένο σκεπτικό παρουσιάζει πολλαπλές δυσκολίες. Παρόλο που η συζήτηση που έχει αναπτυχθεί σε αυτή την υποενότητα εστιάστηκε σε μία μόνο διδακτική προσέγγιση (εισαγωγή ενέργειας ως ικανότητας παραγωγής έργου), είναι ενδεικτική των δυσκολιών που προκύπτουν σε κάθε προσπάθεια εισαγωγής της ενέργειας σε αυτές τις βαθμίδες με τρόπο απλό και ταυτόχρονα εννοιολογικά έγκυρο.

2.3.3. Υφιστάμενη τεχνογνωσία για τη διδασκαλία της ενέργειας

Η διδασκαλία και η μάθηση για την ενέργεια έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό την έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών και τα πορίσματα που έχουν προκύψει μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη αφορά στην καταγραφή των αρχικών ιδεών και των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές, η δεύτερη συνδέεται με βασικές αρχές που θα ήταν χρήσιμο να ενσωματώνονται σε σχετικές προσπάθειες διδασκαλίας ενώ η τρίτη αφορά σε ανοικτά ζητήματα για τα οποία δεν έχει διασφαλιστεί ακόμη συναίνεση. Πιο κάτω συνοψίζονται τα βασικότερα στοιχεία που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για την καθεμιά από αυτές τις κατηγορίες.

2.3.3.α. Αρχικές ιδέες και δυσκολίες μαθητών αναφορικά με την ενέργεια

Η καταγραφή των αρχικών ιδεών των μαθητών για την έννοια της ενέργειας αποτελεί μια περιοχή που έχει μελετηθεί εκτενώς στην έρευνα για τη μάθηση και τη διδασκαλία στις φυσικές επιστήμες (Ault, Novak & Gowin, 1988; Driver & Warrington, 1985; Duit, 1984;

Goldring & Osborne, 1994; Kesidou & Duit, 1993; Lawson & McDermott, 1987; Liu & McKeough, 2005; Watts, 1983). Αυτή η ερευνητική προσπάθεια έχει καταδείξει ότι οι μαθητές τείνουν να χρησιμοποιούν και να αντιλαμβάνονται τον όρο «ενέργεια» με διάφορους τρόπους οι οποίοι συνήθως συγκρούονται με τις αντίστοιχες ιδέες που τυγχάνουν αποδοχής στο ακαδημαϊκό πεδίο της *Φυσικής*. Για παράδειγμα, τείνουν να ταυτίζουν την *ενέργεια* με τον όρο *ενεργητικότητα*, όπως χρησιμοποιείται στην καθομιλουμένη και έτσι θεωρούν ότι αποτελεί ιδιότητα των κινούμενων αντικειμένων και κυρίως των έμβιων όντων (Solomon, 1992; Watts, 1983). Ο Watts (1983), έχει προτείνει ένα σύστημα περιγραφής των ποιοτικά διαφορετικών τρόπων με τους οποίους αντιλαμβάνονται οι μαθητές την έννοια της ενέργειας. Πρόκειται για ένα περιεκτικό πλαίσιο περιγραφής των αρχικών ιδεών που έχει εφαρμοσθεί σε πρόσθετες έρευνες που έχουν υλοποιηθεί τόσο στον ελλαδικό (Κουλαϊδής & Τσελφές, 1995) όσο και στο διεθνή χώρο (Trumper & Gorsky, 1993), οι οποίες έχουν διαπιστώσει τη συνέπεια και την περιγραφική του δυνατότητα. Στον πίνακα 1 συνοψίζονται οι εναλλακτικές αντιλήψεις που επισημαίνονται σε αυτό το πλαίσιο.

Πίνακας 1: Εναλλακτικές αντιλήψεις μαθητών για την ενέργεια

Αντίληψη για την ενέργεια	Σύντομη περιγραφή
Ανθρωποκεντρικό μοντέλο (anthropocentric)	Η ενέργεια θεωρείται ιδιότητα του ανθρώπινου είδους
Η ενέργεια ως πηγή δύναμης (depository)	Μερικά αντικείμενα έχουν ενέργεια (και μπορούν να επαναφορτίζονται) και μερικά άλλα αντικείμενα χρειάζονται ενέργεια την οποία χρησιμοποιούν
Η ενέργεια ως συστατικό (ingredient)	Η ενέργεια υπάρχει (ενδεχομένως σε λανθάνουσα μορφή) σε κάποια αντικείμενα και ελευθερώνεται μετά από το κατάλληλο έναυσμα και την παρουσία του κατάλληλου μέσου
Η ενέργεια ως δραστηριότητα (activity)	Η ενέργεια ταυτίζεται με συγκεκριμένες διεργασίες και η εμφάνιση της δράσης καθαυτή είναι η ενέργεια

Η ενέργεια ως προϊόν (Product)	Η ενέργεια προκύπτει ως προϊόν μιας διεργασίας και η εμφάνισή τους είναι σύντομης διάρκειας
Η ενέργεια ως Λειτουργικότητα (functional)	Η ενέργεια αποτελεί κάποιου είδους καύσιμο το οποίο αφορά κυρίως μηχανές και άλλες τεχνικές συσκευές οι οποίες σχετίζονται με τις ανάσεις της σύγχρονης ζωής
Μοντέλο ροής-μεταφοράς (Flow-transfer)	Η ενέργεια αποτελεί ρευστή ουσία που διαδίδεται στο πλαίσιο συγκεκριμένων διεργασιών

Πέρα από τις λανθασμένες αναπαραστάσεις που διαμορφώνουν οι μαθητές για την έννοια της ενέργειας, υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα που καταδεικνύουν πρόσθετες εννοιολογικές δυσκολίες. Μια από αυτές, η οποία έχει λάβει ιδιαίτερη προσοχή, αφορά στο νόμο διατήρησης της ενέργειας. Ένα εύρημα που αναπαράγεται με συνέπεια στη βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι ενώ οι πλείστοι μαθητές είναι σε θέση να διατυπώσουν, με σχετική ευκολία, το νόμο διατήρησης και να τον εφαρμόσουν σωστά σε ποσοτικά προβλήματα, αποτυγχάνουν να απαντήσουν απλά ερωτήματα που αξιολογούν την κατανόησή τους αναφορικά με το περιεχόμενό του (Duit, 1981, 1984; Goldring & Osborne, 1994; Solomon, 1992). Αυτό το συμπέρασμα ενισχύεται από πρόσθετα ερευνητικά δεδομένα που φανερώνουν την τάση των μαθητών να αποφεύγουν να χρησιμοποιήσουν την ιδέα της διατήρησης της ενέργειας κατά την ανάλυση της συμπεριφοράς διαφόρων φυσικών συστημάτων και τη διατύπωση σχετικών προβλέψεων (Driver & Warrington, 1985; Duit, 1984). Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο νόμος διατήρησης κατέχει κεντρική θέση στην τυπική διδακτική πρακτική, η περιορισμένη κατανόηση των μαθητών μπορεί να θεωρηθεί ένδειξη της αποτυχίας της να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν λειτουργική κατανόηση για την ενέργεια.

2.3.3.β. Βασικές αρχές της διδασκαλίας της ενέργειας

Παρά το γεγονός ότι η διδασκαλία της ενέργειας έχει απασχολήσει σε σημαντικό βαθμό τη βιβλιογραφία η μέχρι στιγμής συζήτηση δεν υπήρξε ιδιαίτερα παραγωγική, αφού εξακολουθεί να μην υπάρχει συναίνεση στα χαρακτηριστικά που συνθέτουν μια ολοκληρωμένη και αποτελεσματική διδακτική προσέγγιση, ιδιαίτερα στην περίπτωση του δημοτικού και του γυμνασίου. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι έχει συνεισφέρει

στη διατύπωση διδακτικών εισηγήσεων που μπορούν να υποστηρίξουν και να ενημερώσουν προσπάθειες ανάπτυξης σχετικών διδακτικών επινοήσεων. Στη συνέχεια συνοψίζονται οι βασικότερες από αυτές τις εισηγήσεις.

2.3.3.β1. Η ενέργεια αποθηκεύεται σε συστήματα παρά σε μεμονωμένα αντικείμενα

Μια από τις εισηγήσεις που διατυπώνονται στη βιβλιογραφία αφορά στη σημασία της προώθησης της ιδέας της αποθήκευσης της ενέργειας σε συστήματα αντικειμένων παρά σε μεμονωμένα αντικείμενα (McClelland, 1989; Millar, 2000; Ross, 1993). Για παράδειγμα, στην περίπτωση της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας οι μαθητές τείνουν να θεωρούν ότι η ενέργεια βρίσκεται αποθηκευμένη στα ανυψωμένα αντικείμενα παρά στο σύστημα αντικειμένου-γης. Αυτή η εσφαλμένη αντίληψη προωθείται σε μεγάλο βαθμό μέσω των σχολικών εγχειριδίων τα οποία, ενδεχομένως στην προσπάθεια για απλοποίηση, είτε αγνοούν αυτό το σημείο είτε το υποβαθμίζουν σχολιάζοντας το, απλώς, σε μορφή υποσημείωσης. Ωστόσο, η συγκεκριμένη απλούστευση δεν μπορεί να θεωρηθεί παραγωγική αφού αποτυγχάνει να οδηγήσει σε ορθές προβλέψεις της λειτουργίας φυσικών συστημάτων. Ένα σχετικό παράδειγμα αφορά στην αποτυχία της συγκεκριμένης αντίληψης να εξηγήσει τη διαφοροποίηση που υπάρχει στο χρόνο πτώσης ενός αντικειμένου όταν αφεθεί από το ίδιο ύψος στη γη και στη σελήνη. Επίσης, αυτή η προσέγγιση οδηγεί στη λανθασμένη περιγραφή ότι σε κάθε στάδιο της πτώσης του αντικειμένου, η ενέργεια βρίσκεται αποθηκευμένη στο ίδιο σώμα (ανυψωμένο αντικείμενο) και μετατρέπεται σταδιακά σε κινητική ενέργεια χωρίς να μεσολαβεί διάδοση ενέργειας. Αυτή η περιγραφή αγνοεί τη δύναμη του βάρους που εξασκείται κατά τη διάρκεια της πτώσης, η οποία επιτελεί μηχανικό έργο διαδίδοντας ενέργεια από το σύστημα γη-αντικείμενο (βαρυτική δυναμική) στο αντικείμενο (κινητική). Τέλος, ένα παρεμφερές στοιχείο που καταδεικνύει περαιτέρω την αποτυχία της τυπικής διδασκαλίας να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν ένα λειτουργικό εννοιολογικό μοντέλο για την ενέργεια είναι ότι ενώ ο ρόλος της γης στην αποθήκευση της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας ενυπάρχει στην αντίστοιχη μαθηματική σχέση ($m \cdot g \cdot h$) δεν τυγχάνει καθόλου διδακτικής αξιοποίησης.

2.3.3.β2. Έμφαση στην υποβάθμιση της ενέργειας

Ένα άλλο ζήτημα το οποίο συζητείται στη βιβλιογραφία αφορά στο νόμο της διατήρησης της ενέργειας. Θεωρείται, ότι ένας από τους λόγους για την αποτυχία της παραδοσιακής διδασκαλίας να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν λειτουργική κατανόηση για το νόμο της διατήρησης είναι ότι συγκρούεται σε μεγάλο βαθμό με τις καθημερινές

εμπειρίες, οι οποίες φαίνονται πιο συμβατές με την ιδέα ότι κάτι εξαντλείται παρά ότι παραμένει σταθερό (π.χ. ένα κινούμενο αντικείμενο τείνει να σταματά, ένας λαμπτήρας δεν φωτοβολεί για πάντα κ.τ.λ.) (Duit, 1984; Solomon, 1992).

Ένας πιθανός τρόπος επίλυσης αυτής της «ασυμβατότητας» σχετίζεται με τη συνδυασμένη διδασκαλία του νόμου διατήρησης και της ιδιότητας της υποβάθμισης της ενέργειας, η οποία παραδοσιακά είτε αγνοείται εντελώς είτε λαμβάνει ανεπαρκή προσοχή (Duit, 1981; Solomon, 1985, 1992). Αυτή η προσέγγιση θεωρείται ότι μπορεί να προωθήσει την ιδέα ότι ενώ η ενέργεια διατηρείται σταθερή σε ποσότητα, ταυτόχρονα τείνει να διασκορπίζεται και να μετατρέπεται σε λιγότερο αξιοποιήσιμες μορφές, κυρίως μέσα από τη διάδοση θερμότητας στο περιβάλλον.

2.3.3.β3. Έμφαση στο διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας

Ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό της ενέργειας αφορά στο διαφαινομενολογικό της χαρακτήρα: κάθε σύστημα μπορεί να αναλυθεί χρησιμοποιώντας αποκλειστικά έννοιες από το αντίστοιχο φαινομενολογικό πεδίο (π.χ. ηλεκτρικό ρεύμα στην περίπτωση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, δύναμη στην περίπτωση των μηχανικών συστημάτων) χωρίς να χρειάζεται η ιδέα της ενέργειας. Η περιγραφική, προβλεπτική και επεξηγηματική ισχύς της ενέργειας έγκειται στη δυνατότητά της να ενοποιεί διαφορετικά φαινόμενα θέτοντας τα σε ένα κοινό ερμηνευτικό πλαίσιο (Baldin, 1942; Becu-Robinault & Tiberghien, 1998; Duit, 1986; Holton & Brush, 2001; Kuhn, 1959; Κολιόπουλος, 1997). Παραδοσιακά, η διδασκαλία τείνει να αγνοεί αυτό το σημαντικό χαρακτηριστικό ακολουθώντας μια επιστημολογικά στρεβλωμένη προσέγγιση η οποία εισάγει την ενέργεια, απομονωμένα, στο πλαίσιο της μηχανικής (Arons, 1999; Driver & Millar, 1986; Duit, 1981, 1986). Μια σχετική εισήγηση τονίζει την ανάγκη ανάδειξης των συνδέσεων ανάμεσα στα θερμικά και τα μηχανικά φαινόμενα και της σύνθεσης από την οποία προέκυψε ο γενικευμένος νόμος διατήρησης της ενέργειας (Arons, 1999; Holton & Brush, 2001; Kuhn, 1959).

2.3.3.β4. Διάκριση ανάμεσα σε μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας.

Ένα από τα χαρακτηριστικά της τυπικής διδακτικής προσέγγισης αφορά στην τάση για επικέντρωση στις διάφορες μορφές ενέργειας (Falk *et al.*, 1983; Millar, 2000). Συχνά, το αποτέλεσμα αυτής της διδακτικής προσέγγισης καταλήγει να είναι η άνευ νοήματος χρήση τεχνικής ορολογίας. Η περίπτωση της θερμότητας αποτελεί ένα παράδειγμα που συζητείται εκτενώς στη βιβλιογραφία (Chisholm, 1992; Ellse, 1988; Kesidou & Duit, 1993; Romer, 2001). Συγκεκριμένα, συχνά, οι μαθητές αποτυγχάνουν να αντιληφθούν τη

θερμότητα ως μια διεργασία διάδοσης ενέργειας από ένα ζεστό σώμα σε ένα σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας και την μπερδεύουν με τη θερμοκρασία και την εσωτερική ενέργεια. Επίσης, τείνουν να θεωρούν ότι η αύξηση θερμοκρασίας συνδέεται κατά ανάγκη με τη θερμότητα και αυτό υποσκάπτει την ανάλυση της συμπεριφοράς συστημάτων όπου υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας χωρίς να μεσολαβεί οποιαδήποτε διάδοση ενέργειας με θερμότητα (π.χ. διάδοση ενέργειας με μηχανικό έργο στην περίπτωση της αδιαβατικής συμπίεσης ενός αερίου) (Loverude, Kautz & Heron, 2002; Meltzer, 2004; van Roon, van Sprang & Verdonk, 1994). Η διάκριση ανάμεσα στις μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας, θεωρείται ως μια διδακτική προσέγγιση με σημαντική δυνατότητα συνεισφοράς στη συστηματικοποίηση της χρήσης της τεχνικής ορολογίας και στην αποφυγή πολλών από τις δυσκολίες που έχουν προαναφερθεί (Millar, 2000; Williams & Reeves, 2003).

2.3.4. Η διδακτική εισήγηση της εργασίας

Μια εισήγηση που έχει διατυπωθεί στη βιβλιογραφία προτείνει ότι η διδασκαλία της ενέργειας δεν προϋποθέτει τη διατύπωση συγκεκριμένου ορισμού ή τη ρητή διδακτική διαχείριση της φύσης της (Nordine, Fortus & Krajcik, 2006). Αυτό το επιχείρημα προκύπτει από τη θέση ότι το ζήτημα της φύσης της ενέργειας είναι ιδιαίτερα απαιτητικό και δεν θα ήταν εφικτό να τύχει χειρισμού στο επίπεδο της πρωτοβάθμιας ή της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Επιπρόσθετα, το επιχείρημα αυτό προτείνει ότι εφόσον δεν υπάρχει απλή απάντηση στο θεμελιώδες ερώτημα «τι είναι ενέργεια;» θα ήταν λογικό να παρακάμπτεται η προσπάθεια ορισμού της και η έμφαση να μετατίθεται, εναλλακτικά, στην παρουσίαση των σχετικών μορφών με τις οποίες εμφανίζεται και στις μετατροπές μορφής που εμπλέκονται στα διάφορα φυσικά φαινόμενα. Η παρούσα εργασία στηρίζεται στο σκεπτικό ότι η αφηρημένη φύση της ενέργειας δεν αναιρεί, σε καμιά περίπτωση, την ανάγκη των μαθητών για μια απάντηση στο θεμελιώδες ερώτημα «τι είναι η ενέργεια και γιατί είναι χρήσιμη στην επιστήμη;». Ταυτόχρονα, λαμβάνοντας υπόψη την προηγούμενη συζήτηση η οποία καταδεικνύει τα προβλήματα και τους περιορισμούς που εμφανίζονται σε κάθε προσπάθεια διαχείρισης του ερωτήματος υιοθετώντας μια εννοιολογικά προσανατολισμένη προσέγγιση, η παρούσα εργασία προτείνει τη διαπραγματεύσή του σε ένα επιστημολογικό πλαίσιο.

Το σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται η προτεινόμενη προσέγγιση περιλαμβάνει, αρχικά, την προώθηση της κατανόησης των μαθητών για το ρόλο των επιστημονικών θεωριών στην επιστήμη, αναφορικά με την ερμηνεία και πρόβλεψη της συμπεριφοράς φυσικών

φαινόμενων, και για τη δυνατότητα επινόησης θεωρητικών οντοτήτων εφόσον επιτελούν ένα παραγωγικό ρόλο σε σχέση με αυτή την επιδίωξη. Στη συνέχεια, η ενέργεια εισάγεται ως μια χρήσιμη θεωρητική οντότητα που επινοήθηκε στην επιστήμη διότι επιτελεί ένα παραγωγικό ρόλο στην ενοποίηση της ανάλυσης διαφορετικών φυσικών συστημάτων: Η ιδέα ότι η διάδοση της ενέργειας από ένα μέρος του συστήματος (στο οποίο βρίσκεται αρχικά αποθηκευμένη) σε άλλα προκαλεί την αλλαγή κάποιων χαρακτηριστικών τους, μπορεί να εφαρμοστεί για την ερμηνεία μεταβολών σε φυσικά συστήματα, ανεξάρτητα από το φαινομενολογικό πεδίο στο οποίο εντάσσονται.

Σταδιακά, το θεωρητικό πλαίσιο της ενέργειας τυγχάνει περαιτέρω επεξεργασίας μέσα από την εισαγωγή των βασικών ιδιοτήτων της, περιλαμβανομένων (α) της διάδοσης, (β) της μετατροπής από μια μορφή σε μια άλλη, (γ) της υποβάθμισης και (δ) της διατήρησης. Η βασική επιδίωξη της διδακτικής πρότασης της εργασίας περιλαμβάνει τη διαμόρφωση ενός λειτουργικού πλαισίου που να χαρακτηρίζεται από συνοχή και να μπορεί να εφαρμόζεται για την ανάλυση των μεταβολών που παρατηρούνται στα φυσικά συστήματα. Έτσι, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε η κάθε ιδιότητα να εισάγεται με τρόπο που τονίζει τη συνεισφορά της στη βελτίωση της προβλεπτικής, ερμηνευτικής και περιγραφικής δυνατότητας του θεωρητικού πλαισίου.

Καταληκτικά, το διδακτικό υλικό αποσκοπεί στην προώθηση της εννοιολογικής κατανόησης για την ενέργεια σε συνδυασμό με επιστημολογική επάρκεια για βασικά στοιχεία της φύσης της επιστήμης. Οι δύο αυτοί άξονες αναμένεται ότι θα αλληλοενισχύονται, ώστε, αφενός, η κατανόηση της φύσης της επιστήμης να παρέχει ένα λειτουργικό πλαίσιο που να προσδίδει νόημα και ρόλο στην ενέργεια και στις ιδιότητές της και να στηρίζει την εφαρμογή της στην ανάλυση συστημάτων, ενώ, αφετέρου, η σταδιακή εννοιολογική επεξεργασία της θεωρίας της ενέργειας, μέσα από την εισαγωγή των ιδιοτήτων της, αναμένεται να συμβάλει στην περαιτέρω βελτίωση της κατανόησης των μαθητών για το δυναμικό χαρακτήρα των επιστημονικών θεωριών. Το περιεχόμενο, η δομή και το σκεπτικό της διδακτικής πρότασης αναλύονται σε λεπτομέρεια στο πέμπτο κεφάλαιο.

2.3.4.α. Ζητήματα αντιπαράθεσης αναφορικά με τη διδασκαλία της ενέργειας και η θέση της διδακτικής εισήγησης

Μια άλλη διάσταση της υφιστάμενης τεχνογνωσίας που έχει διαμορφωθεί στο ερευνητικό πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών αφορά στην καταγραφή σχετικών

ζητημάτων αντιπαράθεσης που έχουν προκύψει, γύρω από τα οποία αναπτύσσεται μια χρήσιμη συζήτηση. Πιο κάτω περιγράφονται τρία βασικά ζητήματα αντιπαράθεσης και παρατίθεται συνοπτικά η θέση που υιοθετεί η παρούσα εργασία η οποία τεκμηριώνεται σε λεπτομέρεια στο πέμπτο κεφάλαιο.

2.3.4.a1. Η φύση της ενέργειας

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα που έχουν συζητηθεί στη βιβλιογραφία σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο αναπαρίσταται η ενέργεια κατά την εισαγωγή της στη διδασκαλία, ιδιαίτερα στην περίπτωση του δημοτικού σχολείου και του γυμνασίου. Ο Warren (1982) διαφοροποιεί ανάμεσα σε δύο διακριτές διδακτικές προσεγγίσεις. Η υλιστική προσέγγιση (materialistic view), η οποία εμφανίζεται συχνά στα σχολικά εγχειρίδια, περιγράφει την ενέργεια, είτε άμεσα είτε έμμεσα, ως μια υλική οντότητα. Αντίθετα, η εννοιολογική προσέγγιση (conceptualist approach) αντιμετωπίζει την ενέργεια ως ένα αφηρημένο φυσικό μέγεθος του οποίου η ποσότητα διατηρείται πάντοτε σταθερή. Ο Warren (1982, 1986) εισηγείται ότι η μοναδική αποδεκτή διδακτική προσέγγιση είναι η δεύτερη, η οποία παρουσιάζει την ενέργεια ως μια επινοημένη μαθηματική ιδέα που παρέχει τη δυνατότητα ποσοτικής ανάλυσης της λειτουργίας φυσικών συστημάτων, και τονίζει ότι θα πρέπει να αποφεύγονται ρητά οι απλουστευμένες αναπαραστάσεις που συγκρούονται με τη φύση της ενέργειας. Μια άμεση απόρροια αυτής της θέσης είναι ότι η ενέργεια θα πρέπει να διδάσκεται μόνο σε μαθητές που είναι γνωστικά έτοιμοι και έχουν αναπτυγμένη μαθηματική επάρκεια και αφαιρετική σκέψη σε βαθμό που τους επιτρέπει την αξιοποίησύν για την ποσοτική ανάλυση φυσικών συστημάτων (Warren 1982, 1986). Αυτός ο περιορισμός αναβάλλει την εισαγωγή της ενέργειας μέχρι τις ανώτερες βαθμίδες της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης ή την τριτοβάθμια εκπαίδευση.

Αυτή η εισήγηση απορρίπτεται από πολλούς ερευνητές οι οποίοι θεωρούν ότι η ενέργεια θα πρέπει να διδάσκεται αρκετά νωρίς (Driver & Millar, 1986; Duit, 1987; Solomon, 1992; Trumper, 1990). Επίσης, σε μερικές περιπτώσεις διατυπώνεται η θέση ότι η εισαγωγή της ενέργειας με τρόπο που της αποδίδει υλική υπόσταση μπορεί να αποτελέσει μια παραγωγική απλούστευση (Duit, 1987). Αυτή η εισήγηση εδράζεται στο σκεπτικό ότι η προτεινόμενη απλούστευση μπορεί να διαδραματίσει ένα παραγωγικό ρόλο αφού ικανοποιεί την ανάγκη των μαθητών για μια σαφή, και διαισθητικά απλή περιγραφή της ενέργειας ως ιδιότητας συστημάτων, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να οδηγήσει σε ορθές προβλέψεις και έγκυρη ανάλυση της συμπεριφοράς φυσικών συστημάτων (Duit, 1987). Ταυτόχρονα, επισημαίνεται η ανάγκη για άμεση συζήτηση της αναντιστοιχίας που

παρουσιάζει αυτή η αναπαράσταση της ενέργειας (ως υλική οντότητα) με την πραγματικότητα και της ανάγκης για σταδιακή αποκατάστασή της σε μεταγενέστερο στάδιο.

Μια παρεμφερής προσέγγιση που καταγράφεται στη βιβλιογραφία στηρίζεται στη θέση ότι η εισαγωγή της ενέργειας ως υλικής οντότητας αποτελεί μια επιστημολογικά έγκυρη αναπαράσταση (Falk *et al.*, 1983). Ειδικότερα, θεωρείται ότι η ενέργεια μπορεί να χαρακτηριστεί ως κάποιου είδους υλική ουσία που ρέει, πάντοτε σε συνδυασμό με ένα εκτατικό μέγεθος το οποίο ποικίλλει ανάλογα με το υπό μελέτη σύστημα. Αυτό το εκτατικό μέγεθος θεωρείται ο φορέας της ενέργειας κατά τη διάδοσή της. Έτσι, για παράδειγμα, η ορμή αποτελεί το φορέα της ενέργειας που διαδίδεται στην περίπτωση μηχανικών συστημάτων. Κατά ανάλογο τρόπο, η ένταση του ηλεκτρικού φορτίου και η εντροπία αποτελούν τους φορείς της ενέργειας στην περίπτωση ηλεκτρικών και θερμικών συστημάτων, αντίστοιχα. Στηριζόμενος σε αυτή τη θέση ο Schmid (1982) έχει αναπτύξει διδακτικό υλικό για την ενέργεια το οποίο ξεκινά από τις ανώτερες τάξεις του δημοτικού σχολείου.

Η προσέγγιση που προτείνεται στην παρούσα εργασία αποκλίνει από αυτές τις δύο προοπτικές (αναβολή της διδασκαλίας της ενέργειας μέχρι οι μαθητές να είναι γνωστικά έτοιμοι να την αντιληφθούν ως μια αφηρημένη, ποσοτική ιδέα/εισαγωγή της ενέργειας χωρίς στη σχολική επιστήμη ως μιας υλικής οντότητας) υιοθετώντας μια ενδιάμεση θέση. Συγκεκριμένα, αναγνωρίζοντας τις δυσκολίες που χαρακτηρίζουν το εγχείρημα της διδακτικής διαπραγμάτευσης της φύσης της ενέργειας η έμφαση μετατίθεται από το εννοιολογικό στο επιστημολογικό επίπεδο εισάγοντας την ενέργεια ως ένα θεωρητικό πλαίσιο που έχει επινοηθεί στην επιστήμη διότι επιτελεί ένα χρήσιμο ρόλο στην ενοποιημένη ανάλυση της λειτουργίας φυσικών συστημάτων (συγκεκριμένα, των μεταβολών που υφίστανται τα συστήματα). Η υλοποίηση αυτής της μετάθεσης προωθείται συνδυάζοντας την εννοιολογική διαπραγμάτευση των ιδιοτήτων της ενέργειας και της εφαρμογής της στην ανάλυση συστημάτων με ρητή προσπάθεια καλλιέργειας επάρκειας για σχετικές πτυχές της φύσης της επιστήμης, όπως ο ρόλος της δημιουργικότητας στην ερμηνεία φαινομένων.

2.3.4.α2. *Η χρησιμότητα της ιδέας περί μορφών ενέργειας και μετατροπής ανάμεσα σε μορφές*

Παρόλο που η ιδέα ότι η ενέργεια εμφανίζεται με διάφορες μορφές και έχει τη δυνατότητα να μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη αποτελεί μια βασική πτυχή της έννοιας της ενέργειας (Duit, 1986; Feynman *et al.*, 1965) η χρησιμότητά της στη διδασκαλία αποτελεί ένα θέμα το οποίο έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό τη διεθνή βιβλιογραφία (Doménech *et al.*, 2007; Ellse, 1988; Falk *et al.*, 1983; Kaper & Goedhart, 2002; Millar, 2000).

Μια από τις ανησυχίες που διατυπώνονται είναι ότι η τάση της διδακτικής προσέγγισης να δίνει ιδιαίτερη έμφαση σε αυτή την πτυχή είναι πιθανό να παραπλανήσει τους μαθητές οδηγώντας τους στην εσφαλμένη αντίληψη ότι οι μορφές ενέργειας αποτελούν διαφορετικές οντότητες παρά διαφορετικούς τρόπους αναπαράστασης μίας μόνο οντότητας (Falk *et al.*, 1983). Μια άλλη ανησυχία αφορά στην τάση της διδασκαλίας να επικεντρώνεται στην ανάπτυξη της τεχνικής ορολογίας. Αυτή η προσέγγιση θεωρείται ότι δεν συνοδεύεται από οποιοδήποτε πραγματικό μαθησιακό όφελος και, επιπρόσθετα, προωθεί το λανθασμένο μήνυμα ότι η βασική επιδίωξη της διδασκαλίας περιορίζεται στην ανάπτυξη της σχετικής τεχνικής ορολογίας (Chisholm, 1992; Ellse, 1988).

Μια εισήγηση που έχει καταγραφεί στη βιβλιογραφία προτείνει τον αποκλεισμό της ιδέας των μορφών ενέργειας και της ιδιότητας της μετατροπής και τη μετάθεση της έμφασης αποκλειστικά στην ιδιότητα της διάδοσης ενέργειας (Ellse, 1988). Ειδικότερα, διατυπώνεται το επιχείρημα ότι η ιδέα της διάδοσης επαρκεί για την ενεργειακή περιγραφή της λειτουργίας φυσικών συστημάτων και συνεπώς η μετατροπή μορφής είναι περιττή αφού απλώς αυξάνει την πολυπλοκότητα χωρίς να υπάρχει πραγματικό μαθησιακό όφελος. Η ιδέα της κατάργησης των μορφών ενέργειας έχει προταθεί επίσης από τους Falk, Herrmann και Schmid (1983) οι οποίοι εισηγούνται εναλλακτικά τη χρήση ενός μοντέλου που στηρίζεται στη διάδοση ενέργειας χωρίς να διαφοροποιούνται οι μορφές της αλλά ο φορέας μέσω του οποίου διαδίδεται.

Οι Kaper και Doedhart (2002) εκφράζουν μια διαφοροποιημένη άποψη σε σχέση με τη διδασκαλία των μορφών ενέργειας. Το σκεπτικό στο οποίο στηρίζονται είναι ότι η εισαγωγή εννοιών της φυσικής στο μαθησιακό περιβάλλον σε μορφή που είναι ανακριβής είναι, συνήθως, αναπόφευκτη. Έτσι, προτείνουν ότι το κρίσιμο στοιχείο για την απόφαση του κατά πόσο θα πρέπει να περιληφθεί μια ιδέα στη διδασκαλία αφορά στη δυνατότητά της να λειτουργήσει ως ένα μεταβατικό στάδιο που μπορεί να υποστηρίξει την περαιτέρω εξέλιξη της μαθησιακής πορείας. Ένα διευκρινιστικό παράδειγμα που παραθέτουν αφορά στην περίπτωση της διδασκαλίας της μηχανικής, όπου οι έννοιες *ταχύτητα* και *θέση*

εισάγονται αρχικά ως μεγέθη που μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια η οποία περιορίζεται αποκλειστικά από την επάρκεια των οργάνων που χρησιμοποιούνται. Παρόλο που αυτή η ιδέα συγκρούεται με την κβαντική μηχανική, στην οποία οι δύο έννοιες προσεγγίζονται πιθανοκεντρικά, θεωρείται ότι διαδραματίζει ένα παραγωγικό ρόλο αφού λειτουργεί ως ενδιάμεσο στάδιο προετοιμάζοντας τους μαθητές για τη μετέπειτα αλληλεπίδρασή τους με αυτή την πιο απαιτητική αναπαράσταση. Ακολουθώντας αυτό το σκεπτικό, εισηγούνται ότι η ιδέα για τις μορφές ενέργειας μπορεί να λειτουργήσει ως ένα παραγωγικό, ενδιάμεσο στάδιο στην πορεία προς τη διδακτική διαχείριση του περιεχομένου της θερμοδυναμικής. Το επιχείρημα τους αναπτύσσεται σε δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη στοχεύει να φανερώσει τη συνοχή που χαρακτηρίζει τις διάφορες μορφές ενέργειας, η οποία υποδηλώνεται από το γεγονός ότι η κάθε μορφή συνδέεται με μια μετρήσιμη μεταβλητή (π.χ. η κινητική ενέργεια με την ταχύτητα) και ότι διαφορετικές μορφές συνδέονται με διαφορετικές μεταβλητές. Η δεύτερη κατεύθυνση στοχεύει να καταδείξει την ύπαρξη ενός εύρους συστημάτων στα οποία οι δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις – μορφές ενέργειας και θερμοδυναμική – οδηγούν σε αντίστοιχες αναλύσεις. Σε αυτό το εύρος εμπίπτουν τα συστήματα στα οποία η μεταβλητή που συνδέεται με μια μορφή ενέργειας μπορεί να μετρηθεί αυτόνομα και δεν επηρεάζεται από άλλες παραμέτρους που μεταβάλλονται ταυτόχρονα.

Όπως συζητείται στο πέμπτο κεφάλαιο, η ιδέα των μορφών ενέργειας ενσωματώνεται στο διδακτικό υλικό και αυτή η επιλογή συνδέεται αφενός με τη θέση ότι πρόκειται για μια βασική ιδιότητα της ενέργειας, και αφετέρου, με τον παραγωγικό ρόλο που μπορεί να της αποδοθεί στη λειτουργία του θεωρητικού πλαισίου στο οποίο εισάγεται και τυγχάνει διαπραγμάτευσης η ενέργεια.

2.3.4.α3. Η ενέργεια ως αιτία μεταβολών;

Η σύνδεση ανάμεσα στην ενέργεια και τις μεταβολές αποτελεί ένα πρόσθετο σημείο το οποίο έχει λάβει αρκετή προσοχή στη βιβλιογραφία. Ερευνητικά δεδομένα εισηγούνται ότι οι μαθητές τείνουν να αποδίδουν τις μεταβολές που παρατηρούνται σε διάφορα φυσικά συστήματα στην ενέργεια (Kesidou & Duit, 1993). Ταυτόχρονα, η σύνδεση ανάμεσα στην ενέργεια και τις μεταβολές αποτελεί μια συνήθη πρακτική που ακολουθείται στη διδασκαλία, ειδικότερα στις χαμηλότερες βαθμίδες της εκπαίδευσης, ώστε να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν μια διαισθητική αντίληψη για την ενέργεια⁸. Ωστόσο, είναι

⁸ Ενδεικτικά παραδείγματα διδακτικού περιλαμβάνουν τα εξής: Bradley, B. K. (2002). *Energy makes things happen*. Harper Collins; Challoner, J. (2001). *Eyewitness: Energy*, Dorling Kindersley; Australian

σημαντικό να σημειωθεί ότι η εγκυρότητα αυτής της σύνδεσης έχει κατακριθεί (Booahan & Ogborn, 1996; Millar, 2000; Ogborn, 1986, 1990). Το βασικό επιχείρημα που διατυπώνεται είναι ότι η ενέργεια αποτελεί απλώς μια ποσοτική ιδέα και συνεπώς, δεν θα ήταν ορθό να παρουσιάζεται ως αιτιακός μηχανισμός. Ένα πρόσθετο επιχείρημα σχετίζεται με το γεγονός ότι υπάρχουν μεταβολές που δεν περιλαμβάνουν διάδοση ενέργειας. Ένα σχετικό παράδειγμα αφορά στην τάση μια σταγόνας μελανιού που αφήνεται σε ένα ποτήρι με νερό να διαχέεται και να διασκορπίζεται σε αυτό. Εναλλακτικά, οι Booahan και Ogborn (1996) προτείνουν ότι μια ακριβέστερη ερμηνεία για τις μεταβολές αφορά στην ύπαρξη διαφορών σε φυσικά μεγέθη (π.χ. διαφορά συγκέντρωσης, πίεσης, θερμοκρασίας κ.τ.λ.) και στην τάση τους να εκμηδενίζονται. Στην περίπτωση του πιο πάνω παραδείγματος, ο διασκορπισμός του μελανιού μπορεί να ερμηνευθεί ως αποτέλεσμα της διαφοράς στη συγκέντρωση η οποία τείνει να μηδενίζεται.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η σύνδεση της ενέργειας με την ερμηνεία μεταβολών αποτελεί μια βασική ιδέα του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας που αναπτύσσεται στην εργασία. Η επιλογή αυτή αιτιολογείται στο πέμπτο κεφάλαιο όπου επιχειρείται να αναδειχθεί ο χρήσιμος ρόλος που μπορεί να διαδραματίσει αυτή η ιδέα ως αφετηριακό πλαίσιο στη διδακτική διαπραγμάτευση της ενέργειας και ταυτόχρονα αναγνωρίζονται τόσο οι περιορισμοί που το χαρακτηρίζουν όσο και πιθανοί τρόποι προστασίας από τους κινδύνους που ελλοχεύουν αναφορικά με την εγκυρότητα.

2.4. Ανάπτυξη διδακτικού υλικού: το πρότυπο της σχεδιαστικής έρευνας (design-based research)

Όπως αναφέρθηκε στο εισαγωγικό κεφάλαιο η έμφαση της παρούσας εργασίας βρίσκεται στην ανάπτυξη διδακτικού υλικού για την προώθηση συγκεκριμένων μαθησιακών επιδιώξεων που έχουν αναλυθεί ωρίτερα σε αυτό το κεφάλαιο. Η εργασία προσεγγίζει τη διαδικασία ανάπτυξης διδακτικού υλικού ως μια ερευνητική δραστηριότητα η οποία συνδυάζει διαδικασίες τεχνολογικού σχεδιασμού και επιστημονικής έρευνας. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία του σχεδιασμού αποσκοπεί στην ανάπτυξη ενός τεχνολογικού προϊόντος (π.χ. ακολουθία δραστηριοτήτων) το οποίο θα ικανοποιεί σαφώς καθορισμένες και λεπτομερώς αναλυμένες προδιαγραφές (π.χ. μαθησιακές επιδιώξεις). Παράλληλα, τόσο η διαδικασία του αρχικού σχεδιασμού όσο η διαδικασία της αξιολόγησης και

Academy of Science (1993). *Primary Investigations*; Florida Department of Education (1999). *Physical Science*.

αναθεώρησης του προϊόντος στηρίζονται σε επιστημονική έρευνα και σε επεξεργασία δεδομένων που προκύπτουν μέσα από ειδικά σχεδιασμένες εμπειρικές εργασίες. Αυτή η προσέγγιση αντλεί στοιχεία από το θεωρητικό πλαίσιο της σχεδιαστικής έρευνας (Design Based Research) (Barab, 2006; Brown, 1992; Collins, 1992) και κρίθηκε σκόπιμο να επισημανθούν οι βασικές πτυχές του.

Σε μια προσπάθεια αδρομερούς ορισμού της σχεδιαστικής έρευνας θα μπορούσε κανείς να την προσδιορίσει ως ένα θεωρητικό πλαίσιο το οποίο εστιάζεται στην επεξεργασία, αξιολόγηση και αναθεώρηση διδακτικών επινοήσεων μέσα από τη χρήση και δοκιμή τους στο περιβάλλον για το οποίο προορίζονται (π.χ. περιβάλλον τάξης). Προφανώς, το πρότυπο έρευνας που υιοθετείται σε αυτό το θεωρητικό πλαίσιο αποκλίνει από την ιδέα του πειραματικού σχεδιασμού, ο οποίος κατέχει προνομιακή θέση στην επιστημονική έρευνα, λόγω της δυνατότητάς του να απομονώνει και να διερευνά αιτιώδεις σχέσεις. Αυτή η απόκλιση είναι απόρροια του γεγονότος ότι η σχεδιαστική έρευνα υλοποιείται σε πραγματικά περιβάλλοντα τάξης η πολυπλοκότητα των οποίων καθιστά αδύνατη την απομόνωση μιας εξαρτημένης μεταβλητής ή τον εύκολο έλεγχο της επίδρασης άλλων μεταβλητών (Collins, Joseph & Bielaczyc, 2004). Παρά το γεγονός ότι αυτό το στοιχείο έχει οδηγήσει σε επικρίσεις οι οποίες επικεντρώθηκαν κυρίως στη δυνατότητα της σχεδιαστικής έρευνας να παρέχει γενικεύσιμα συμπεράσματα και να ικανοποιεί το κριτήριο της επαναληψιμότητας (Shavelson, Philips, Towne & Feuer, 2003) είναι σημαντικό να τονιστεί το όφελος που απορρέει από τη δυνατότητα που παρέχει για λεπτομερείς περιγραφές της αλληλεπίδρασης των μαθητών με το μαθησιακό περιβάλλον οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε αξιόπιστους και επαρκώς τεκμηριωμένους ισχυρισμούς (Confrey, 2006).

Η σχεδιαστική έρευνα εξυπηρετεί δύο βασικούς στόχους. Ο πρώτος αφορά στη βελτίωση του διδακτικού σχεδιασμού που έχει αναπτυχθεί, περιλαμβανομένης τόσο της ακολουθίας δραστηριοτήτων όσο και του σκεπτικού που υλοποιεί. Μια βασική ιδέα που ενσωματώνει η σχεδιαστική έρευνα και υποστηρίζει την προώθηση αυτής της επιδίωξης είναι η προοδευτική βελτιωτική ρύθμιση (progressive refinement) των διδακτικών επινοήσεων, λαμβάνοντας υπόψη την ανατροφοδότηση που προκύπτει κατά την εφαρμογή τους (π.χ., κατά την υλοποίησή τους σε περιβάλλοντα τάξης)⁹. Το σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται

⁹ Η ιδέα της προοδευτικής βελτιωτικής ρύθμισης συνδέεται συνήθως στη βιβλιογραφία (Brown & Campione, 1996; Collins, Joseph & Bielaczyc, 2004; Confrey, 2006) με τη βιομηχανία αυτοκινήτων της Ιαπωνίας. Ειδικότερα, η σύνδεση έγκειται στην προσέγγιση της διαχείρισης των ελαττωμάτων και των

αυτή η ιδέα είναι ότι η προσεκτική μελέτη μιας διδακτικής επινόησης κατά την εφαρμογή της σε περιβάλλοντα τάξης επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων για το βαθμό στον οποίο ο διδακτικός σχεδιασμός που ενσωματώνει έχει τη δυνατότητα να προωθεί τις μαθησιακές επιδιώξεις για τις οποίες σχεδιάστηκε.

Ο δεύτερος στόχος εστιάζει στην παραγωγή αξιολογής γνώσης για τη φύση της μάθησης τόσο σε σχέση με το συγκεκριμένο γνωστικό πεδίο στο οποίο απευθύνεται η διδακτική επινόηση όσο και γενικότερα (P. Bell, 2004; Confrey, 2006). Για παράδειγμα, ένας διδακτικός σχεδιασμός ενσωματώνει συγκεκριμένες αρχές μάθησης οι οποίες έχουν προκύψει από προηγούμενες έρευνες. Έτσι, μέσα από τη μελέτη της υλοποίησης του διδακτικού σχεδιασμού αναμένεται να προκύπτει χρήσιμη πληροφόρηση η οποία να εμπλουτίζει την υφιστάμενη τεχνογνωσία. Επίσης, η σχεδιαστική έρευνα στοχεύει στη διαμόρφωση καινούριων ερμηνευτικών πλαισίων για την ανάλυση πτυχών της μαθησιακής διαδικασίας που δεν είχαν μελετηθεί προηγουμένως. Αυτά τα ερμηνευτικά πλαίσια, τα οποία περιγράφονται στη βιβλιογραφία με τον όρο *οντολογικές επινοήσεις* (ontological innovations) (diSessa & Cobb, 2004), έχουν γενικεύσιμο χαρακτήρα αφού έχουν εφαρμογή σε περιπτώσεις που εκτείνονται πέρα από το συγκεκριμένο περιβάλλον στο οποίο έχουν αναπτυχθεί.

Πιο κάτω αναλύεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα σχεδιαστικής έρευνας από το χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών, το οποίο επιδεικνύει τις δύο βασικές της επιδιώξεις. Το παράδειγμα αφορά στην ανάπτυξη πληροφορικά εμπλουτισμένου διδακτικού υλικού το οποίο εντάσσεται θεματικά στο γνωστικό αντικείμενο της βιολογίας και πιο συγκεκριμένα στη θεωρία της εξέλιξης και το μηχανισμό της φυσικής επιλογής. Το διδακτικό υλικό στηριζόταν σε εκτεταμένες δραστηριότητες διερώτησης, όπως η επεξεργασία δεδομένων με στόχο τη διατύπωση συνεπών ερμηνειών για παρατηρούμενα μοτίβα και η αξιολόγηση εξηγήσεων με βάση επιστημολογικά κριτήρια. Το διδακτικό υλικό εστίαζε στη συνδυασμένη προώθηση εννοιολογικής κατανόησης για συγκεκριμένες έννοιες και μηχανισμούς από το γνωστικό αντικείμενο της βιολογίας (π.χ. φυσική επιλογή) και κατανόηση βασικών στοιχείων για τη φύση της επιστήμης τα οποία προκύπτουν ως επιστημολογικές προεκτάσεις των δραστηριοτήτων διερώτησης στις οποίες εμπλέκονταν οι μαθητές (π.χ. η ιδέα ότι η επεξεργασία των δεδομένων αποσκοπεί στη διατύπωση μιας συνεπούς εξήγησης ενός φαινομένου) (Sandoval, 2004; Sandoval & Morisson, 2003). Η

σχεδιαστικών ατελειών που εντοπίζονται, παράλληλα με τη διαδικασία παραγωγής αυτοκινήτων. Αυτή η προσέγγιση αντιπαραβάλλεται συνήθως με την περίπτωση των Ηνωμένων Πολιτειών όπου υπήρχε η τάση για υιοθέτηση μιας στάσης αναμονής, συχνά για εκτεταμένες χρονικές περιόδους, μέχρι την παραγωγή ενός βελτιωμένου μοντέλου το οποίο αντικαθιστούσε το προηγούμενο.

βασική παραδοχή στην οποία στηρίχθηκε ο αρχικός σχεδιασμός του διδακτικού υλικού ήταν ότι το μαθησιακό περιβάλλον χρειάζεται να ενσωματώνει κατάλληλα εργαλεία τα οποία θα προωθούν παράλληλα και με συνδυασμένο τρόπο τις δύο βασικές μαθησιακές επιδιώξεις (εννοιολογική κατανόηση και επιστημολογική ενημερότητα). Ενώ τα εργαλεία που ενσωματώθηκαν είχαν σχεδιαστεί, ώστε να ικανοποιούν αυτήν την προδιαγραφή η μελέτη της εφαρμογής του διδακτικού υλικού ανέδειξε την τάση των μαθητών να επικεντρώνονται κυρίως στη διεργασία της διατύπωσης εξήγησης δίνοντας πολύ λιγότερη προσοχή στην αξιολόγησή της. Τα δεδομένα που προέκυψαν κατά την εφαρμογή του διδακτικού υλικού κατεύθυναν τους ερευνητές στην αναθεώρηση του και πιο συγκεκριμένα στην τροποποίηση των εργαλείων και του τρόπου με τον οποίο ενσωματώνονταν ώστε να ενισχυθεί η σημασία που αποδίδεται στη διεργασία της αξιολόγησης μιας εξήγησης. Στη συνέχεια, ο αναθεωρημένος σχεδιασμός εφαρμόστηκε σε περιβάλλον τάξης και συλλέχθηκαν εμπειρικά δεδομένα τα οποία κατέδειξαν ότι οι τροποποιήσεις που έγιναν είχαν θετική επίδραση συνεισφέροντας στη συστηματικοποίηση της εμπλοκής των μαθητών με τη διεργασία της αξιολόγησης εξηγήσεων. Ένα παράδοξο στοιχείο που εντοπίστηκε είναι ότι ενώ υπήρξε μια σαφής βελτίωση της ικανότητας των μαθητών να εμπλέκονται σε διεργασίες διερώτησης (π.χ. διατύπωση εξηγήσεων με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, αξιολόγηση εξηγήσεων με βάση επιστημολογικά κριτήρια) οι μαθητές δεν ήταν ικανοί να συνδέσουν τις δραστηριότητες στις οποίες είχαν εμπλακεί με το ακαδημαϊκό πεδίο της επιστήμης, αφού δεν μπορούσαν να απαντήσουν με ενημερωμένο τρόπο σε ερωτήματα για τη φύση της επιστήμης τα οποία ήταν διατυπωμένα με γενικό τρόπο. Αυτό το στοιχείο κατέδειξε ότι οι μαθητές τείνουν να αποφεύγουν να στηριχθούν στις εμπειρίες που αποκτούν μέσα από την αλληλεπίδρασή τους με δραστηριότητες διερώτησης όταν τους ζητείται να απαντήσουν σε ερωτήματα που αφορούν στη φύση της επιστήμης, ως ακαδημαϊκού κλάδου, γενικότερα. Για την ερμηνεία αυτού του παράδοξου εισήχθη η διάκριση ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται οι μαθητές τις επιστημονικές διεργασίες που βιώνουν μέσα από την εμπλοκή τους σε σχετικά μαθησιακά περιβάλλοντα (practical epistemologies) και στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται τις διεργασίες εντός του ακαδημαϊκού πεδίου της επιστήμης.

Στο πιο πάνω παράδειγμα, μπορεί κανείς να διακρίνει τη συνεισφορά της σχεδιαστικής έρευνας στη βελτίωση του διδακτικού σχεδιασμού, μέσα από την εφαρμογή της διαδικασίας της προοδευτικής βελτιωτικής ρύθμισης αντλώντας ανατροφοδότηση από την υλοποίησή του σε περιβάλλοντα τάξης (π.χ. αναπροσαρμογή του διδακτικού σχεδιασμού,

ώστε να προωθει με περισσότερη αποτελεσματικότητα τις επιδιώξεις για τις οποίες σχεδιάστηκε και να ικανοποιεί τις αντίστοιχες παραδοχές στις οποίες στηρίζεται). Ταυτόχρονα, μπορεί να διακρίνει τη συνεισφορά της στη βελτίωση της κατανόησης για σχετικές πτυχές της μάθησης επινοώντας ιδέες για την ερμηνεία (καινούριων) ευρημάτων. Για παράδειγμα, η ιδέα της «πρακτικής επιστημολογίας» επινοήθηκε για να ερμηνεύσει την αδυναμία των μαθητών να συνδέσουν τις διεργασίες διερώτησης στις οποίες εμπλέκονται με το ευρύτερο ακαδημαϊκό πεδίο της επιστήμης. Συνεπώς, η σχεδιαστική έρευνα σε αυτή την περίπτωση επέτρεψε τη διαμόρφωση ενός ερμηνευτικού πλαισίου το οποίο χαρακτηρίζεται δυνητικά από γενικευσιμότητα αφού θα μπορούσε να συνεισφέρει στην ερμηνεία σχετικών ευρημάτων σε άλλες περιπτώσεις.

Ένα στοιχείο που υπονοείται στο παράδειγμα που αναφέρθηκε πιο πάνω και χρειάζεται να επισημανθεί αφορά στο σημαντικό ρόλο των εμπειρικών δεδομένων στην αποτελεσματικότητα της σχεδιαστικής έρευνας. Προφανώς, η αναδιαμόρφωση του διδακτικού σχεδιασμού προϋποθέτει τη συλλογή κατάλληλων δεδομένων στα οποία να μπορεί να στηριχθεί ο εντοπισμός αδυναμιών και η βελτιστοποίησή του. Αντίστοιχα, η δυνατότητα εντοπισμού καινούριων μαθησιακών φαινομένων τα οποία έχουν επίδραση στην αποτελεσματικότητα του διδακτικού σχεδιασμού και θα ήταν χρήσιμο να προσδιορισθούν και να ερμηνευθούν καθίσταται εφικτή λόγω του βάθους και του μεγάλου βαθμού λεπτομέρειας των δεδομένων που συλλέγονται. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπουν την ανίχνευση και απομόνωση πτυχών της μαθησιακής διαδικασίας που δεν είχαν προβλεφθεί και δεν είχαν προσδιοριστεί προηγουμένως στη σχετική βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1. Προσδιορισμός της ερευνητικής επιδίωξης και των ερευνητικών ερωτημάτων

Η υλοποίηση της εργασίας περιλαμβάνει δύο βασικά μέρη. Το πρώτο είναι τεχνολογικά προσανατολισμένο και αφορά στην ανάπτυξη διδακτικού υλικού για την προώθηση (α) κατανόησης για την ενέργεια (β) ενημερότητας για βασικές πτυχές της φύσης της επιστήμης και (γ) καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Το δεύτερο περιλαμβάνει τέσσερις ανεξάρτητες εμπειρικές εργασίες οι οποίες συνδέονται είτε με την παροχή πληροφόρησης για τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού είτε με την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς του και την αναθεώρησή του. Πιο συγκεκριμένα η πρώτη εργασία αφορά στη διερεύνηση των αρχικών ιδεών των μαθητών και των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν σε σχέση με την αξιοποίηση της ενέργειας για την ερμηνεία μεταβολών και επίσης σε σχέση με τη δυνατότητά της να παρέχει ένα ενοποιητικό πλαίσιο για την κοινή ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών. Η δεύτερη εστιάζεται στη διερεύνηση των προσεγγίσεων που υιοθετούν αυθόρμητα οι μαθητές για να συγκρίνουν τις πιθανές λύσεις και να επιλέξουν την προτιμητέα στο πλαίσιο δοσμένων καταστάσεων λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα. Οι άλλες δύο ερευνητικές εργασίες αφορούν στην εφαρμογή και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της καθεμιάς από τις δύο ενότητες¹⁰. Η τρίτη εργασία επικεντρώνεται στην ενότητα για προώθηση της εννοιολογικής και επιστημολογικής διαπραγμάτευσης της ενέργειας και η τέταρτη στην ενότητα για καλλιέργεια συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης ενεργειακού χαρακτήρα).

Συνολικά τα **ερευνητικά ερωτήματα** στα οποία απευθύνεται το εμπειρικό μέρος της εργασίας είναι τα ακόλουθα:

1. Ποιες στρατηγικές χρησιμοποιούν οι μαθητές για να επεξεργαστούν δεδομένα σε καταστάσεις λήψης απόφασης με πολλαπλά κριτήρια και πολλαπλές εναλλακτικές λύσεις και ποιες συλλογιστικές, ή άλλες, δυσκολίες αντιμετωπίζουν;

¹⁰ Όπως συζητείται στο έκτο κεφάλαιο, λόγω της έκτασης του διδακτικού υλικού που προέκυψε και των χρονικών απαιτήσεων που προκύπτουν στην προσπάθεια εφαρμογής του σε περιβάλλοντα τάξης, διαχωρίστηκε σε δύο ενότητες (εννοιολογική διαπραγμάτευση ενέργειας/καλλιέργεια συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης ενεργειακού χαρακτήρα) οι οποίες διδάχθηκαν ανεξάρτητα.

2. Ποιες εννοιολογικές δυσκολίες αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην προσπάθειά τους να οικοδομήσουν κατανόηση σε σχέση με την έννοια της ενέργειας;
3. Ποιες είναι οι αρχικές ιδέες που διαθέτουν οι μαθητές και οι επιστημολογικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές αναφορικά με (α) τη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης, (β) το ρόλο της επινόησης στην ερμηνεία φαινομένων και (γ) τη φύση της ενέργειας ως μιας επινοημένης ιδέας για την ερμηνεία φαινομένων;
4. Σε ποιο βαθμό επιτυγχάνει το προτεινόμενο διδακτικό υλικό να προωθήσει (α) εννοιολογική κατανόηση για την ενέργεια (β) ενημερότητα για τις υπό έμφαση πτυχές της φύσης της επιστήμης και (γ) την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης;
5. Ποιες εννοιολογικές, επιστημολογικές, συλλογιστικές ή άλλες δυσκολίες των μαθητών δεν τυγχάνουν επαρκούς χειρισμού στο πλαίσιο της υλοποίησης του μαθησιακού περιβάλλοντος και ποιες νέες δυσκολίες εμφανίζονται κατά την αλληλεπίδρασή τους με αυτό;

Με βάση τη δομή του εμπειρικού μέρους της εργασίας θεωρήθηκε χρήσιμο να περιοριστεί αυτό το κεφάλαιο στην περιγραφή γενικών βασικών μεθοδολογικών στοιχείων, τα οποία αφορούν σε όλες τις εμπειρικές εργασίες, και να δοθούν πιο λεπτομερείς περιγραφές οι οποίες συγκεκριμενοποιούν αυτά τα στοιχεία στις αντίστοιχες ενότητες στις οποίες συζητείται η καθεμιά.

Το κεφάλαιο είναι οργανωμένο σε δύο κύριες ενότητες. Η πρώτη παρουσιάζει συνοπτικά την πορεία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση των στόχων της εργασίας και τη διαχείριση των ερευνητικών ερωτημάτων στα οποία απευθύνθηκε. Σε αυτήν περιγράφεται η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη διεκπεραίωση των διαφόρων σταδίων της διαδικασίας σχεδιασμού, ανάπτυξης, αξιολόγησης και αναθεώρησης του διδακτικού υλικού και όπου είναι χρήσιμο διευκρινίζονται βασικά μεθοδολογικά στοιχεία. Η δεύτερη ενότητα παρουσιάζει και περιγράφει μεθοδολογικά στοιχεία που αφορούν στην υλοποίηση του εμπειρικού μέρους της εργασίας.

3.2. Περιγραφή προσέγγισης ανάπτυξης διδακτικού υλικού

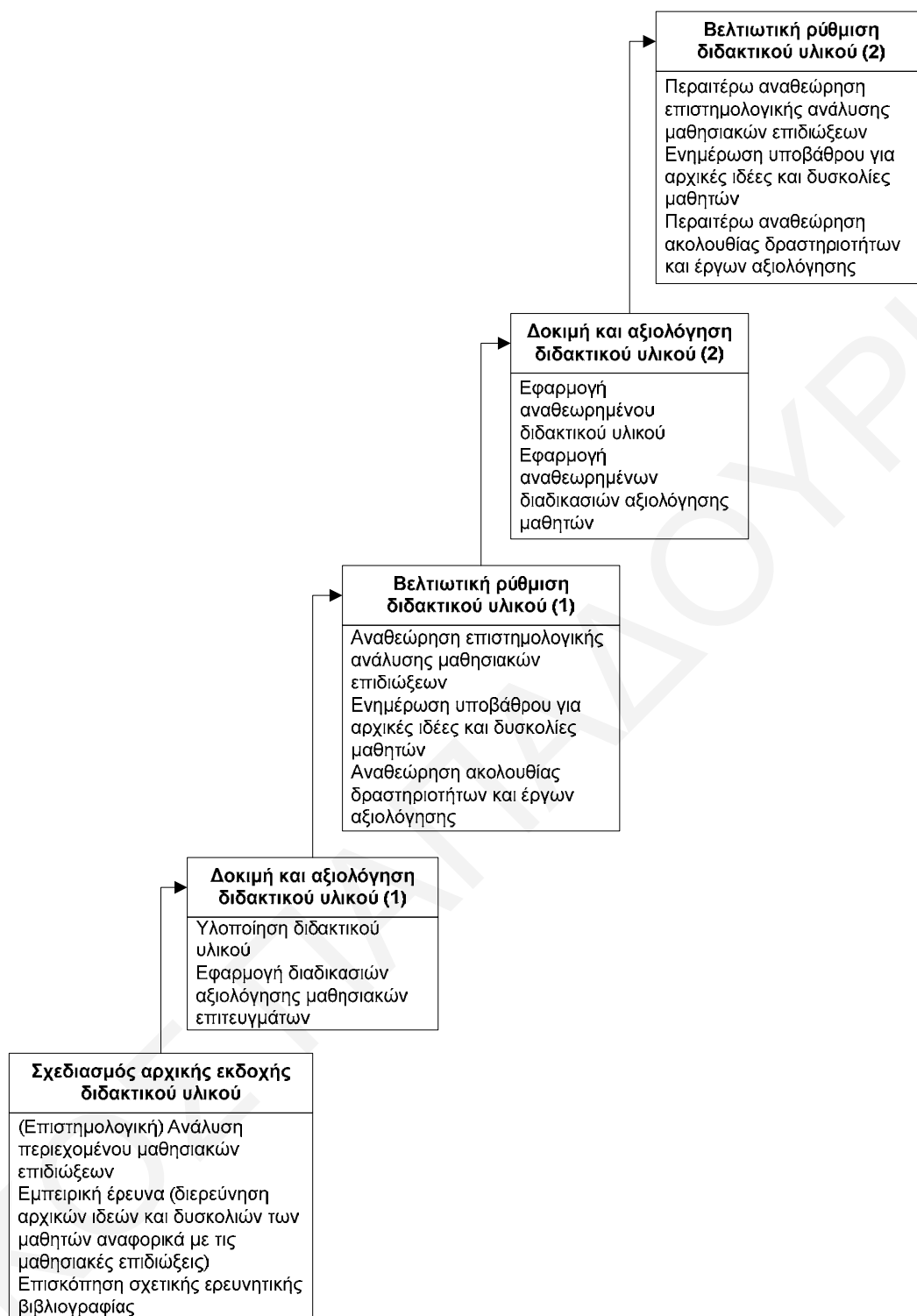
Όπως συζητήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το μεθοδολογικό πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται η προτεινόμενη εργασία προσεγγίζει τη διαδικασία ανάπτυξης διδακτικού υλικού ως ένα παράδειγμα εμπειρικής, εφαρμοσμένης έρευνας (McDermott, 2001; Meheut

& Psillos, 2004) και υιοθετεί πτυχές του προτύπου της σχεδιαστικής έρευνας (Brown 1992, Collins 1992). Πιο συγκεκριμένα, η ανάπτυξη διδακτικού υλικού αντιμετωπίζεται ως μια κυκλική διαδικασία σχεδιασμού, ανάπτυξης και αξιολόγησης η οποία αποσκοπεί, αφενός, στη βελτίωση της κατανόησης για τις παραμέτρους που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού, και, αφετέρου, στην αναθεώρησή του. Αυτή η διαδικασία στηρίζεται σε κάθε στάδιο σε ερευνητικά δεδομένα. Ο αρχικός σχεδιασμός βασίζεται σε εμπειρικά δεδομένα αναφορικά με τις αρχικές ιδέες των μαθητών και τις διάφορες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν (McDermott & Shaffer, 1992). Αυτή η πληροφόρηση καθοδηγεί την προσπάθεια σχεδιασμού και ανάπτυξης δραστηριοτήτων που βοηθούν τους μαθητές να αξιοποιούν παραγωγικά τις αρχικές τους ιδέες και να αναγνωρίζουν τους περιορισμούς τους, παρέχοντας τους ταυτόχρονα στήριξη ώστε να υπερβαίνουν τις σχετικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Ακολούθως, το διδακτικό υλικό εφαρμόζεται σε πραγματικό περιβάλλον τάξης και εκτίθεται σε διαδικασίες αξιολόγησης που αφορούν στο μαθησιακό όφελος που αποκομίζουν οι μαθητές. Τα εμπειρικά δεδομένα που προκύπτουν σε αυτό το στάδιο παρέχουν πληροφόρηση που είναι χρήσιμη για την αξιολόγηση και τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού. Επίσης, ενημερώνουν και καθοδηγούν τη διαδικασία αναθεώρησής του, επισημαίνοντας δραστηριότητες που αποτυγχάνουν να προωθήσουν αποτελεσματικά τις μαθησιακές επιδιώξεις για τις οποίες σχεδιάστηκαν. Στο διάγραμμα 3 απεικονίζονται τα βασικά στάδια που περιλαμβάνονται στην ερευνητική προσέγγιση που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία. Στο υπόλοιπο μέρος του κεφαλαίου συζητούνται σε λεπτομέρεια οι ερευνητικές μέθοδοι και διαδικασίες που εφαρμόστηκαν για την υλοποίηση του κάθε σταδίου.

3.2.1. Σχεδιασμός και ανάπτυξη αρχικής εκδοχής διδακτικού υλικού

Ο αρχικός σχεδιασμός της ακολουθίας δραστηριοτήτων στηρίχθηκε στα δεδομένα που προέκυψαν από τρεις κατευθύνσεις: (α) τα αποτελέσματα από την επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας σε διεθνές επίπεδο, (β) την επιστημολογική ανάλυση του περιεχομένου της κάθε μαθησιακής επιδίωξης, και (γ) την εμπειρική έρευνα για τη χαρτογράφηση των αρχικών ιδεών των μαθητών στους οποίους απευθύνεται και των σχετικών δυσκολιών που αντιμετωπίζουν. Στη συνέχεια αναλύονται οι τρεις αυτές κατευθύνσεις.

Διάγραμμα 3: Ερευνητική προσέγγιση υλοποίησης των στόχων της εργασίας



3.2.1.α. Επισκόπηση υφιστάμενης τεχνογνωσίας

Μια βασική πηγή πληροφόρησης που αξιοποιήθηκε κατά το σχεδιασμό της αρχικής εκδοχής του διδακτικού υλικού αφορά στην επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, η οποία αναπτύχθηκε σε δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη αφορά σε ερευνητικές εργασίες που συζητούν θέματα αναφορικά με τη διδασκαλία των μαθησιακών επιδιώξεων στις οποίες

εστιάζεται η εργασία. Έτσι, η προσπάθεια ανάπτυξης του διδακτικού υλικού ενημερώθηκε, ώστε να λαμβάνει υπόψη σχετικές διδακτικές προτάσεις και παρεμφερή ζητήματα που συζητούνται στη βιβλιογραφία. Η δεύτερη κατεύθυνση αφορά στις διάφορες αρχές μάθησης που έχουν καταγραφεί στο ερευνητικό πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών (Donovan & Bransford, 2005; Linn, Bell & Davis 2004; NRC, 2007). Αυτές οι αρχές λήφθηκαν υπόψη στο σχεδιασμό του διδακτικού υλικού και στη διαμόρφωση της ακολουθίας δραστηριοτήτων, ώστε να αξιοποιηθεί η υφιστάμενη τεχνογνωσία και να διασφαλιστεί η συμβατότητά της με την επιστημολογία της μάθησης στις φυσικές επιστήμες.

3.2.1.β. Επιστημολογική ανάλυση περιεχομένου μαθησιακών επιδιώξεων

Το πρώτο στάδιο στον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού περιέλαβε την επιστημολογική ανάλυση του περιεχομένου στο οποίο εστιάζεται το διδακτικό υλικό (κατανόηση για την ενέργεια και τη φύση της, ικανότητα εφαρμογής του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας για την ανάλυση μεταβολών σε συστήματα και συλλογιστική στρατηγική της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης). Μέσα από αυτή την ανάλυση επιχειρήθηκε η διευκρίνιση του περιεχομένου των μαθησιακών επιδιώξεων (Andersson & Wallin, 2006; Komorek & Duit, 2004) με στόχο να διαμορφωθεί ένα πλαίσιο που μπορεί να καθοδηγήσει και να ενημερώσει τη διαδικασία σχεδιασμού της ακολουθίας δραστηριοτήτων διασφαλίζοντας τη συμβατότητά της με το περιεχόμενο της κάθε μαθησιακής επιδίωξης.

Η επιστημολογική ανάλυση που υλοποιήθηκε περιέλαβε δύο συνιστώσες. Η πρώτη αφορά αποκλειστικά στο περιεχόμενο της μαθησιακής επιδίωξης και αποσκοπεί στη διευκρίνιση της φύσης και του ρόλου της στο αντίστοιχο ακαδημαϊκό πεδίο από το οποίο προέρχεται. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της μαθησιακής επιδίωξης που αφορά στην ανάπτυξη κατανόησης για την ενέργεια, η επιστημολογική ανάλυση απευθύνθηκε στο ερώτημα «ποια είναι η φύση της ενέργειας, σε ποιο πλαίσιο έχει αναπτυχθεί και πώς χρησιμοποιείται στην επιστήμη;». Η διερεύνηση αυτού του ερωτήματος παρείχε χρήσιμη πληροφόρηση για τον καθορισμό των συνιστωσών που συνθέτουν την εννοιολογική κατανόηση για την ενέργεια, διευκρινίζοντας, έτσι, συγκεκριμένα ζητήματα που θα ήταν χρήσιμο να τύχουν διδακτικού χειρισμού.

Η δεύτερη συνιστώσα επικεντρώθηκε στην καταγραφή των γνωστικών και γνωσιακών προαπαιτούμενων για την υλοποίηση της κάθε μαθησιακής επιδίωξης. Στο παράδειγμα της κατανόησης για την ενέργεια, το ερώτημα στο οποίο επικεντρώθηκε αυτή η πτυχή της επιστημολογικής ανάλυσης θα μπορούσε να κωδικοποιηθεί ως εξής: *«ποια είναι τα εννοιολογικά, συλλογιστικά, επιστημολογικά ή άλλα προαπαιτούμενα για την επίτευξη των επιδιωκόμενων πτυχών της κατανόησης για την ενέργεια;»*

Ο συνδυασμός των δύο συνιστωσών της επιστημολογικής ανάλυσης συνεισέφερε στην ανάπτυξη ενός λειτουργικού πλαισίου για τη διαμόρφωση της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Η συνεισφορά αυτού του πλαισίου έγκειται στη συστηματικοποίηση των αποφάσεων για το περιεχόμενο και τη δομή του διδακτικού υλικού στη βάση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης του περιεχομένου των υπό έμφαση μαθησιακών επιδιώξεων και των αναγκών και των δυνατοτήτων των μαθητών στους οποίους απευθύνεται.

Η επιστημολογική ανάλυση των μαθησιακών επιδιώξεων προωθήθηκε μέσα από τη μελέτη σχετικών εγχειριδίων από το ακαδημαϊκό πεδίο από το οποίο προέρχεται η καθεμιά (εγχειρίδια φυσικής, ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης και γνωστικής ψυχολογίας), ώστε να εντοπισθεί ο τρόπος με τον οποίο περιγράφονται και αναπαρίστανται στα αντίστοιχα πεδία. Επίσης, στην περίπτωση της εννοιολογικής κατανόησης για την ενέργεια μελετήθηκε επίσης η βιβλιογραφία από την ιστορία της επιστήμης η οποία αποτελεί βασική πηγή αναφοράς στην προσπάθεια ανάλυσης του περιεχομένου εννοιών των φυσικών επιστημών (Κολιόπουλος, 1997).

Η επισκόπηση της βιβλιογραφίας οδήγησε στη διαμόρφωση μιας αρχικής εκδοχής της επιστημολογικής ανάλυσης για την κάθε μαθησιακή επιδίωξη η οποία έτυχε περαιτέρω επεξεργασίας μέσα από την έκθεσή της στην κρίση ενός ακαδημαϊκού με εξειδίκευση στο αντίστοιχο πεδίο. Μέσα από αυτή την αλληλεπίδραση εντοπίστηκαν στοιχεία ή συνδέσεις που είχαν παραληφθεί ή που είχαν αναπαρασταθεί ανεπαρκώς. Με βάση αυτή την πληροφόρηση αναθεωρήθηκε η επιστημολογική ανάλυση για την καθεμιά από τις μαθησιακές επιδιώξεις, η οποία αποτέλεσε βασικό σημείο αναφοράς κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης της αρχικής εκδοχής της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Το τελικό αποτέλεσμα της ανάλυσης της δομής και του περιεχομένου των μαθησιακών επιδιώξεων παρουσιάζεται στο πέμπτο κεφάλαιο.

3.2.1.γ. Συλλογή εμπειρικών δεδομένων για αρχικές ιδέες και δυσκολίες μαθητών

Η τρίτη πηγή πληροφόρησης που αξιοποιήθηκε για να ενημερώσει τη διαδικασία ανάπτυξης της ακολουθίας δραστηριοτήτων αφορά στη συλλογή εμπειρικών δεδομένων αναφορικά με τις αρχικές ιδέες των μαθητών για την κάθε μαθησιακή επιδίωξη καθώς επίσης και τις σχετικές εννοιολογικές, συλλογιστικές, επιστημολογικές, ή άλλες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν (Andersson & Wallin, 2006; McDermott & Shaffer, 1992). Τα μέσα και η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων περιγράφονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

3.2.2. Ανάπτυξη της ακολουθίας δραστηριοτήτων

Η πληροφόρηση που προέκυψε από τις τρεις κατευθύνσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως (επισκόπηση της υφιστάμενης τεχνογνωσίας, επιστημολογική ανάλυση μαθησιακών επιδιώξεων και αποτελέσματα της εμπειρικής έρευνας για χαρτογράφηση των αρχικών ιδεών των μαθητών και των σχετικών δυσκολιών που αντιμετωπίζουν) αξιοποιήθηκαν στη συνέχεια για το σχεδιασμό της αρχικής εκδοχής του διδακτικού υλικού.

3.2.3. Ερευνητική εγκυροποίηση διδακτικού υλικού: εφαρμογή, αξιολόγηση και αναθεώρηση ακολουθίας δραστηριοτήτων

Η αρχική εκδοχή της ακολουθίας δραστηριοτήτων εφαρμόστηκε στο πλαίσιο ενός μαθητικού ομίλου, ώστε (α) να τεκμηριωθεί η δυνητική αποτελεσματικότητά της, (β) να κατανοηθούν και να καταγραφούν οι πιθανές αδυναμίες που παρουσιάζει σε σχέση με την προώθηση των μαθησιακών επιδιώξεων για τις οποίες σχεδιάστηκε, και (γ) να διαμορφωθεί μια αναθεωρημένη εκδοχή της. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, κατά την υλοποίηση του διδακτικού υλικού εφαρμόστηκαν διαδικασίες αξιολόγησης της εξέλιξης της κατανόησης των μαθητών, οι οποίες στηρίχθηκαν στη συνδυασμένη συλλογή δεδομένων από διάφορες πηγές.

Μέσα από τη διαδικασία της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού προέκυψε χρήσιμη πληροφόρηση που συνέβαλε τόσο στην ενημέρωση των βασικών πηγών πληροφόρησης στις οποίες στηρίχθηκε ο αρχικός σχεδιασμός (επιστημολογική ανάλυση μαθησιακών επιδιώξεων, υπόβαθρο για αρχικές ιδέες και σχετικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές) όσο και στην αναθεώρηση του περιεχομένου και της δομής της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα που προέκυψαν παρείχαν χρήσιμη πληροφόρηση αναφορικά με την

περιεκτικότητα της επιστημολογικής ανάλυσης που είχε αναπτυχθεί για τις μαθησιακές επιδιώξεις και εντοπίστηκαν πρόσθετα εννοιολογικά, συλλογιστικά ή επιστημολογικά προαπαιτούμενα για την επίτευξή τους. Επίσης, τα δεδομένα συνέβαλαν στην ενίσχυση της εμπειρικής βάσης στην οποία στηρίχθηκε ο αρχικός σχεδιασμός της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Ειδικότερα, κατά την ανάλυση των δεδομένων εντοπίστηκαν ενδείξεις για την επίδραση πρόσθετων δυσκολιών που δεν είχαν προβλεφθεί αρχικά. Η αναθεώρηση της επιστημολογικής ανάλυσης και η ενημέρωση του υποβάθρου για τις αρχικές ιδέες και δυσκολίες των μαθητών οδήγησε σε αντίστοιχες τροποποιήσεις της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Οι τροποποιήσεις περιέλαβαν τόσο την αναθεώρηση υφιστάμενων δραστηριοτήτων, οι οποίες απέτυχαν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά, όσο και την ανάπτυξη πρόσθετων δραστηριοτήτων, όπου ήταν χρήσιμο, ώστε να τυγχάνουν χειρισμού συγκεκριμένες δυσκολίες και ιδέες που αφορούν στην επίτευξη των μαθησιακών επιδιώξεων.

3.2.4. Εφαρμογή και περαιτέρω τροποποίηση της δεύτερης εκδοχής της ακολουθίας δραστηριοτήτων

Η αναθεωρημένη εκδοχή της ακολουθίας δραστηριοτήτων εφαρμόστηκε για δεύτερη φορά σε πραγματικά περιβάλλοντα τάξης και τα δεδομένα που προέκυψαν από τη δεύτερη εφαρμογή οδήγησαν σε πρόσθετες βελτιωτικές ρυθμίσεις και σε ενημέρωση της υφιστάμενης τεχνογνωσίας αναφορικά με το διδακτικό χειρισμό των μαθησιακών επιδιώξεων. Ένα στοιχείο που χρειάζεται να διευκρινιστεί είναι ότι ενώ το διδακτικό υλικό αναπτύχθηκε ως μια ενιαία ενότητα με δύο διακριτά μέρη (α) εννοιολογική και επιστημολογική διαπραγμάτευση της ενέργειας, και (β) καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης) η έκταση του και οι χρονικές απαιτήσεις για την υλοποίησή του κατέστησαν αδύνατη την ενιαία εφαρμογή του στην ίδια τάξη και έτσι οι δύο ενότητες εφαρμόστηκαν ανεξάρτητα. Η ενότητα για την ενέργεια εφαρμόστηκε σε τρία τμήματα έκτης τάξης ενός δημοτικού σχολείου και η ενότητα για τη βελτιστοποίηση υλοποιήθηκε σε δύο τμήματα έκτης τάξης ενός άλλου δημοτικού σχολείου.

Ένα χρήσιμο καταληκτικό σχόλιο είναι ότι παρόλο που η εργασία περιορίστηκε σε δύο μόνο κύκλους σχεδιασμού-ανάπτυξης-δοκιμής-αναθεώρησης, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι πρόκειται για μια επαναληπτική διαδικασία η οποία, συνήθως, υλοποιείται πολλές φορές μέχρι να καταλήξει σε μια εκδοχή που να μπορεί να

χρησιμοποιηθεί αξιόπιστα και με συνέπεια για την αποτελεσματική προώθηση των μαθησιακών επιδιώξεων (McDermott & Shaffer; 1992; Meheut & Psillos, 2004).

3.3. Γενικά μεθοδολογικά στοιχεία για επιμέρους στάδια της υλοποίησης της εργασίας

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται βασικά μεθοδολογικά στοιχεία που αφορούν στο εμπειρικό μέρος της εργασίας, το οποίο συνδέεται με τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού (διασφάλιση πληροφόρησης για τις αρχικές ιδέες των μαθητών και τις σχετικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν αναφορικά με τις μαθησιακές επιδιώξεις στις οποίες απευθύνεται το διδακτικό υλικό) και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς του μέσα από την εφαρμογή του σε περιβάλλοντα τάξης (αξιοποίηση δεδομένων αναφορικά την εξέλιξη της κατανόησης των μαθητών τόσο για την τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητάς του όσο και για τον εντοπισμό πτυχών του που θα ήταν χρήσιμο να τροποποιηθούν). Τόσο τα αποτελέσματα όσο και τα μεθοδολογικά στοιχεία που αφορούν στις δύο αυτές συνιστώσες του εμπειρικού μέρους της εργασίας συζητούνται σε λεπτομέρεια σε χωριστά κεφάλαια (κεφάλαια 4, 6 και 7). Παρά τις μεθοδολογικές διαφοροποιήσεις που εμφανίζονται ανάμεσα στις εμπειρικές εργασίες που έχουν υλοποιηθεί υπάρχουν κάποια κοινά στοιχεία τα οποία θεωρήθηκε χρήσιμο να συγκεντρωθούν και να επισημανθούν σε αυτή την ενότητα. Αυτά τα στοιχεία αφορούν στα μέσα συλλογής δεδομένων που αξιοποιήθηκαν, στη διαδικασία της ανάπτυξης των έργων αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν, στον τρόπο με τον οποίο έτυχαν επεξεργασίας τα δεδομένα που προέκυψαν και στα μέτρα που λήφθηκαν για να ενισχυθεί η αξιοπιστία τόσο της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων όσο και των συμπερασμάτων που προέκυψαν.

3.3.1. Μέσα συλλογής δεδομένων

Τα εμπειρικό μέρος της εργασίας στηρίχθηκε κυρίως σε συλλογή δεδομένων μέσω έργων αξιολόγησης τα οποία απαντήθηκαν γραπτώς από τους μαθητές και ημι-δομημένων ατομικών συνεντεύξεων. Επίσης, μια πρόσθετη πηγή δεδομένων που αξιοποιήθηκε στην περίπτωση της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού αφορά στις απαντήσεις που έδωσαν οι εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν στις διδασκαλίες σε δομημένο ερωτηματολόγιο ανοικτού τύπου.

Τα έργα αξιολόγησης συμπληρώθηκαν ατομικά από τους μαθητές και σε κάθε περίπτωση τους ζητήθηκε ρητά να αιτιολογήσουν τον σκεπτικό τους. Το κάθε έργο αξιολόγησης ήταν σχεδιασμένο ώστε ο χρόνος που απαιτείται για τη συμπλήρωσή του να μην υπερβαίνει τα δεκαπέντε λεπτά. Στην περίπτωση της διερεύνησης των αρχικών ιδεών των μαθητών τα έργα αξιολόγησης χορηγήθηκαν μόνο μία φορά ενώ στην περίπτωση της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού το κάθε έργο αξιολόγησης χορηγήθηκε τουλάχιστο δύο φορές, ώστε να μπορεί να ανιχνευθεί εξέλιξη στην κατανόηση και στο σκεπτικό των μαθητών. Σε αυτή την περίπτωση, σε μια προσπάθεια διασφάλισης της αξιοπιστίας της διερεύνησης της αποτελεσματικότητάς του διδακτικού υλικού, το περιεχόμενο των έργων αξιολόγησης δεν συζητήθηκε κατά την εφαρμογή του διδακτικού υλικού και δεν δόθηκε σχετική ανατροφοδότηση στους μαθητές. Τέλος, μια επιμέρους πηγή δεδομένων που αξιοποιήθηκε στην περίπτωση της ενότητας για την ενέργεια αφορά στη μελέτη της εξέλιξης των απαντήσεων των μαθητών σε συγκεκριμένα έργα τα οποία ενσωματώθηκαν ως φύλλα εργασίας στην ακολουθία δραστηριοτήτων και εμφανίστηκαν σε περισσότερες από μία περιπτώσεις.

Οι συνεντεύξεις υλοποιήθηκαν τόσο στο πλαίσιο της διερεύνησης των αρχικών ιδεών των μαθητών, κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού, όσο και κατά την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς του (πριν και μετά την εφαρμογή του) με ένα υποσύνολο των μαθητών που είχαν συμπληρώσει τα γραπτά έργα αξιολόγησης (περίπου 35%). Η επιλογή των μαθητών έγινε με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού που ήταν υπεύθυνος για το κάθε τμήμα, ώστε να διαμορφωθεί ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα. Οι συνεντεύξεις στηρίχθηκαν σε συγκεκριμένο πρωτόκολλο που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της εργασίας. Το πρωτόκολλο συνέντευξης περιλάμβανε μια σειρά από έργα ανοικτού τύπου και σε κάθε συνέντευξη δινόταν έμφαση, ώστε να υποβάλλονται τα ίδια κύρια ερωτήματα (και με τον ίδιο τρόπο) στους μαθητές. Αυτό θεωρείται ότι ενισχύει την αξιοπιστία της διαδικασίας συλλογής δεδομένων και την εγκυρότητα της ερμηνείας τους (Clement, 2000; Cohen, Lawrence & Morisson, 2000; Oppenheim, 1992). Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι συνεντεύξεις ήταν ημι-δομημένες (Clement, 2000; Cohen *et al.*, 2000) υπό την έννοια ότι ενώ ο ερευνητής δεσμευόταν από προκαθορισμένο πρωτόκολλο είχε τη δυνατότητα και την ευελιξία να υποβάλλει διευκρινιστικά ερωτήματα προς τους μαθητές, σε περιπτώσεις όπου οι απαντήσεις τους δεν ήταν σαφείς. Σε κάθε περίπτωση τα διευκρινιστικά ερωτήματα διατυπώνονταν με ουδέτερο τρόπο (*π.χ. μπορείς να εξηγήσεις περισσότερο την απάντησή σου;*), ώστε να μην επηρεάζεται το σκεπτικό των μαθητών και να μην προδιατίθενται προς συγκεκριμένες απαντήσεις (Cohen *et al.*, 2000). Τα δεδομένα

που προέκυψαν από αυτή την κατεύθυνση συνέβαλαν στη διευκρίνιση του σκεπτικού των μαθητών, στη διασταύρωση του τρόπου με τον οποίο περιγράφηκαν οι γραπτές τους απαντήσεις και στην υποστήριξη και ενημέρωση της προσπάθειας ερμηνείας τους. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η συνδυασμένη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από τις δύο αυτές πηγές έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών ειδικά στην περίπτωση της αξιολόγησης των αντιλήψεων των μαθητών για τη φύση της επιστήμης (Lederman *et al.*, 2002).

Τα ερωτηματολόγια που ζητήθηκε από τους εκπαιδευτικούς να απαντήσουν χορηγήθηκαν αμέσως μετά την ολοκλήρωση των διδασκαλιών της κάθε ενότητας. Συνοπτικά, τα ερωτηματολόγια περιλάμβαναν τόσο ερωτήματα που είχαν ως στόχο να αποτυπώσουν τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για το βαθμό στον οποίο επιτεύχθηκαν οι μαθησιακές επιδιώξεις όσο και πιο ανοικτά ερωτήματα στα οποία τους ζητήθηκε να εκφράσουν ευρύτερα την άποψή τους επισημαίνοντας πτυχές του μαθησιακού περιβάλλοντος που είτε λειτούργησαν παραγωγικά είτε δυσχέραιναν τη λειτουργία του. Σε μια προσπάθεια αύξησης της πιθανότητας να προκύψουν χρήσιμα δεδομένα οι εκπαιδευτικοί ενημερώθηκαν εξ αρχής για το ερωτηματολόγιο και τους ζητήθηκε να τηρούν σχετικές σημειώσεις κατά την εξέλιξη της εφαρμογής του διδακτικού υλικού.

Στον πίνακα 2 αντιστοιχίζονται τα μέσα συλλογής δεδομένων που αναφέρθηκαν πιο πάνω με τα ερευνητικά ερωτήματα για τα οποία αξιοποιήθηκαν.

Πίνακας 2: Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων και δεδομένων που αξιοποιήθηκαν για τη διερεύνησή τους

Ποιες στρατηγικές χρησιμοποιούν οι μαθητές για να επεξεργαστούν δεδομένα σε καταστάσεις λήψης απόφασης με πολλαπλά κριτήρια και πολλαπλές εναλλακτικές λύσεις και ποιες συλλογιστικές, ή άλλες, δυσκολίες αντιμετωπίζουν;

Ποιες εννοιολογικές δυσκολίες αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην προσπάθειά τους να οικοδομήσουν κατανόηση σε σχέση με την έννοια της ενέργειας;

Ποιες είναι οι αρχικές ιδέες που διαθέτουν οι μαθητές και οι επιστημολογικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές αναφορικά με (α) τη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης, (β) το ρόλο της επινόησης στην ερμηνεία φαινομένων και (γ) τη φύση της ενέργειας ως μιας επινοημένης ιδέας για την ερμηνεία φαινομένων;

Σε ποιο βαθμό επιτυγχάνει το προτεινόμενο διδακτικό υλικό να προωθήσει (α) εννοιολογική κατανόηση για την ενέργεια (β) ενημερότητα για τις υπό έμφαση πτυχές της φύσης της επιστήμης και (γ) την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης;

Ποιες εννοιολογικές, επιστημολογικές, συλλογιστικές ή άλλες δυσκολίες των μαθητών δεν τυγχάνουν επαρκούς χειρισμού στο πλαίσιο της υλοποίησης του μαθησιακού περιβάλλοντος και ποιες νέες δυσκολίες εμφανίζονται κατά την αλληλεπίδρασή τους με αυτό;

- Δεδομένα από ατομικές συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία σχεδιασμού του διδακτικού υλικού
- Δεδομένα από τις απαντήσεις στα διαγνωστικά δοκίμια πριν από τη διδασκαλία

-
- Σύγκριση απαντήσεων μαθητών στα διαγνωστικά δοκίμια για την καθεμιά από τις τρεις μαθησιακές επιδιώξεις, πριν και μετά τη διδασκαλία
 - Σύγκριση απαντήσεων μαθητών στις ατομικές συνεντεύξεις για την καθεμιά από τις τρεις μαθησιακές επιδιώξεις, πριν και μετά τη διδασκαλία
 - Ερωτηματολόγιο από εκπαιδευτικούς

-
- Δεδομένα από απαντήσεις μαθητών στα διαγνωστικά δοκίμια μετά την υλοποίηση της διδακτικής παρέμβασης.
 - Δεδομένα από απαντήσεις μαθητών στις συνεντεύξεις μετά την υλοποίηση τα διδακτικής παρέμβασης.
 - Ερωτηματολόγιο από εκπαιδευτικούς
-

3.3.2. Σχεδιασμός και ανάπτυξη έργων αξιολόγησης

Στις περιπτώσεις των μαθησιακών επιδιώξεων για τις οποίες υπήρχαν διαθέσιμα έργα αξιολόγησης στη βιβλιογραφία, αξιοποιήθηκαν είτε αυτούσια είτε μετά από συγκεκριμένες προσαρμογές και επεκτάσεις, όπου κρίθηκε σκόπιμο. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις σχεδιάστηκαν σχετικά έργα αξιολόγησης στο πλαίσιο της εργασίας, ώστε να συνάδουν με τις εμφάνσεις και τις μαθησιακές επιδιώξεις του διδακτικού υλικού. Σε αυτές τις περιπτώσεις εφαρμόστηκαν διαδικασίες διασφάλισης της αξιοπιστίας και της εγκυρότητας του περιεχομένου των έργων αξιολόγησης (Cohen *et al.*, 2000; Fraenkel & Wallen, 1993). Συγκεκριμένα, εκτέθηκαν στην κρίση δύο ειδικών με διδακτορικούς τίτλους σε σχετικούς ακαδημαϊκούς κλάδους και συστηματική εμπλοκή στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Οι δύο ειδικοί έλαβαν τα έργα αξιολόγησης και επίσης μια περιγραφή του σκεπτικού του καθενός και της συγκεκριμένης πτυχής κατανόησης στην οποία εστιάζει και τους ζητήθηκε να αξιολογήσουν την καταλληλότητά τους και να εισηγηθούν σχετικές τροποποιήσεις όπου θεωρούσαν χρήσιμο. Επιπρόσθετα, όλα τα έργα αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία, δόθηκαν σε δύο εκπαιδευτικούς με ειδικά ενδιαφέροντα στη διδασκαλία της επιστήμης, οι οποίοι διέθεταν διδακτική εμπειρία τουλάχιστον πέντε ετών, και τους ζητήθηκε να αξιολογήσουν την καταλληλότητα της διατύπωσης των ερωτημάτων για το μαθητικό πληθυσμό στον οποίο απευθύνονται. Τέλος, οι αναθεωρημένες εκδοχές όλων των έργων αξιολόγησης δοκιμάστηκαν σε ατομικές συνεντεύξεις με δέκα μαθητές οι οποίες αποσκοπούσαν να αξιολογήσουν εμπειρικά την καταλληλότητα των έργων αξιολόγησης εστιάζοντας στο βαθμό στον οποίο οι μαθητές ήταν σε θέση να αντιληφθούν το ερώτημα και να παρέχουν σχετικές απαντήσεις αιτιολογώντας το σκεπτικό τους. Ως αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, τα έργα αξιολόγησης τροποποιήθηκαν ελαφρώς, κυρίως ως προς τη διατύπωσή τους.

3.3.3. Επεξεργασία δεδομένων

Τόσο οι γραπτές απαντήσεις που δόθηκαν από τους μαθητές όσο και τα δεδομένα από τις απομαγνητοφωνημένες συνεντεύξεις εκτέθηκαν σε ανάλυση του περιεχομένου τους (Krippendorff 1980; Weber, 1990). Σε όλες τις περιπτώσεις η μονάδα ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η συνολική απάντηση που δόθηκε από τον κάθε μαθητή. Η επιδίωξη αυτής της επεξεργασίας ήταν η περιγραφή του σκεπτικού που εκφράζεται από τον κάθε μαθητή χωριστά και η παράλληλη διαμόρφωση μιας αποτύπωσης των ποιοτικά διαφορετικών τρόπων προσέγγισης που εντοπίζονται στο σύνολο των μαθητών και της συχνότητας εμφάνισής τους. Συνοπτικά, το βασικό ερώτημα στο οποίο απευθύνθηκε η επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να κωδικοποιηθεί ως εξής: «*ποιοι είναι οι ποιοτικά*

διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους οι συμμετέχοντες αντιλαμβάνονται το υπό μελέτη ζήτημα και ποια είναι η συχνότητα εμφάνισής τους;».

Επίσης, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις έργων αξιολόγησης όπου κρίθηκε χρήσιμο και κατάλληλο έγινε μια προσπάθεια μετατροπής των ποιοτικών δεδομένων σε μια διατακτική κλίμακα ακολουθώντας το πρότυπο της φαινομενογραφίας (Marton & Booth, 1997; Wilson, 2004). Αυτή η ερευνητική προσέγγιση, έχει εφαρμοστεί ευρέως για την επεξεργασία δεδομένων ανοικτού τύπου τόσο στο πεδίο τη μάθησης και της διδασκαλίας στις φυσικές επιστήμες (Bowden, Dall'Alba, Martin, Laurillard, Marton, Masters, Ramsden, Stephanou & Walsh, 1992; Chin-Chung, 2004; Ebenezer & Fraser, 2001; Ingerman & Booth, 2003; Linder & Erickson, 1989; Loughland, Reid & Petocz, 2002; Prosser, 1994; Walsh, Dall'Alba, Bowden, Martin, Marton, Masters, Ramsden & Stephanou, 1993) όσο και σε άλλα ερευνητικά πεδία¹¹. Η βασική επιδίωξη της φαινομενογραφικής ανάλυσης περιλαμβάνει την περιγραφή της διαφοροποίησης που υφίστανται τα δεδομένα, η οποία εκφράζεται ως ένα σύνολο κατηγοριών οι οποίες ιεραρχούνται ανάλογα με την ενημερότητα, την πληρότητα και την εγκυρότητά τους.

Η επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών οδήγησε στην καταγραφή των αρχικών ιδεών των μαθητών (ερευνητικά ερωτήματα 1, 2 και 3) και προώθησε την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού (ερευνητικά ερωτήματα 4 και 5). Ειδικότερα, στην περίπτωση της αξιολόγησης του διδακτικού υλικού, η επεξεργασία των δεδομένων παρείχε τη δυνατότητα περιγραφής της μεταβολής στις κατηγορίες απάντησης πριν και μετά τη διδασκαλία. Για παράδειγμα, επέτρεψε την ανίχνευση καινούριων κατηγοριών απάντησης που προέκυψαν μετά τη διδασκαλία ή την απάλειψη κατηγοριών που υπήρχαν στα αρχικά δεδομένα. Έτσι, ανάλογα με το βαθμό εγκυρότητας των καινούριων κατηγοριών που προέκυψαν και των κατηγοριών που έπαψαν να εκφράζονται, οι μεταβολές στο σύστημα κατηγοριοποίησης αξιοποιήθηκαν ως ενδείξεις του βαθμού εξέλιξης στο σκεπτικό των μαθητών. Συγκεκριμένα, η απάλειψη μιας στρεβλωμένης κατηγορίας απάντησης θα μπορούσε να εκληφθεί ως ένδειξη αποτελεσματικού διδακτικού χειρισμού ενώ η εμφάνιση μιας καινούριας στρεβλωμένης κατηγορίας απάντησης θα

¹¹ Ενδεικτικά παραδείγματα:

Brew, A. (2001). Conceptions of research: A phenomenographic study. *Studies in Higher Education*, 26(3), 271-285; Broström, A., Strömberg, A., Dahlström, U., & Fridlund, B. (2001). Patients with congestive heart failure and their conceptions of their sleep situation. *Journal of Advanced Nursing*, 34(4), 520-529
Sjöström, B., & Dahlgren, L. A. (2002). Applying phenomenography in nursing research. *Journal of Advanced Nursing*, 40(3), 339-345.

μπορούσε να ερμηνευθεί ως σύμπτωμα της επίδρασης δυσκολιών που προκύπτουν ως υποπροϊόντα της αλληλεπίδρασης των μαθητών με το διδακτικό υλικό.

Πέρα από την ποιοτική αντιπαραβολή του συστήματος κατηγοριοποίησης που περιγράφει τα δεδομένα πριν και μετά τη διδασκαλία, η επεξεργασία έχει επικεντρωθεί επίσης στη μελέτη της κατανομής των απαντήσεων των μαθητών στις διάφορες κατηγορίες και της μεταβολή της μετά τη διδασκαλία. Η αύξηση, ή η μείωση, του ποσοστού εμφάνισης μιας κατηγορίας απάντησης αξιολογήθηκε ανάλογα με το βαθμό εγκυρότητας και ενημερότητάς της και ερμηνεύθηκαν οι συνέπειές της για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού. Η αξιολόγηση και η τεκμηρίωση του μαθησιακού οφέλους που αποκόμισαν οι μαθητές υλοποιήθηκε μέσα από την εφαρμογή κατάλληλων μη παραμετρικών στατιστικών ελέγχων, οι οποίοι έχουν καταστεί εφικτοί λόγω της προσαρμογής των δεδομένων σε διατακτική κλίμακα μέσω της φαινομενογραφικής ανάλυσης.

3.3.3.α. Διαδικασία ανάλυσης του περιεχομένου των απαντήσεων των μαθητών

Η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων υλοποιήθηκε σε δύο στάδια. Το πρώτο εστιάζεται την ανάπτυξη του συστήματος κατηγοριοποίησης για την περιγραφή της διαφοροποίησης που υφίστανται οι απαντήσεις των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα, ο ερευνητής και ένα δεύτερο άτομο, το οποίο είχε μεταπτυχιακό τίτλο στη διδακτική των φυσικών επιστημών και προηγούμενη εμπειρία με την προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων, επιχείρησαν να εφαρμόσουν ανεξάρτητα τη διαδικασία της κωδικοποίησης σε ένα περιορισμένο, τυχαία επιλεγμένο, μέρος των δεδομένων. Καθώς μελετούνταν από τους δύο ερευνητές οι απαντήσεις των μαθητών γινόταν μια προσπάθεια εντοπισμού του σκεπτικού τους και απομονώνονταν ενδεικτικά αποσπάσματα τα οποία ομαδοποιούνταν σταδιακά με τρόπο που αναπαριστούσε τις ποιοτικά διαφορετικές κατηγορίες απάντησης. Στη συνέχεια, οι δύο χωριστές κωδικοποιήσεις αντιπαραβλήθηκαν στο πλαίσιο συνάντησης των δύο ερευνητών με στόχο να συγκριθεί ο τρόπος με τον οποίο ερμηνεύθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών και το σκεπτικό που τους είχε αποδοθεί. Αυτή η αντιπαραβολή οδήγησε στην ανάπτυξη ενός κοινού συστήματος κατηγοριοποίησης μέσα από τη σύνθεση των δύο ανεξάρτητων αρχικών κωδικοποιήσεων. Όπου δεν ήταν εφικτή η οικοδόμηση συναίνεσης ανάμεσα στους δύο ερευνητές παρέμενε η ασυμφωνία με την προσδοκία να επιλυθεί σε μεταγενέστερο στάδιο της διαδικασίας όταν θα είχαν μελετηθεί περισσότερα δεδομένα. Στη συνέχεια, το κοινό σύστημα κατηγοριοποίησης εφαρμόστηκε από τον καθένα από τους δύο ερευνητές ανεξάρτητα σε

ένα άλλο μέρος των δεδομένων με στόχο να αξιολογηθεί ο βαθμός στον οποίο θα μπορούσε να περιγράψει επαρκώς τα καινούρια δεδομένα. Σε αυτό το πλαίσιο, όπου κρίθηκε σκόπιμο από τον κάθε ερευνητή προτάθηκαν συγκεκριμένες αναθεωρήσεις στο σύστημα κωδικοποίησης (π.χ. επαναπροσδιορισμός του περιεχομένου και του εύρους μιας κατηγορίας απάντησης). Επίσης, καταβαλλόταν προσπάθεια διακρίβωσης του σκεπτικού των μαθητών για τις περιπτώσεις όπου δεν ήταν εφικτό να καταλήξουν προηγουμένως σε συναίνεση. Μετά την κωδικοποίηση των δεδομένων, οι δύο ερευνητές συναντήθηκαν εκ νέου με στόχο να αντιπαραβάλουν τον τρόπο με τον οποίο κατηγοριοποίησαν τις απαντήσεις και να επιχειρήσουν τη σύνθεσή τους σε ένα κοινό σύστημα κωδικοποίησης. Αυτοί οι κύκλοι κωδικοποίησης (ανεξάρτητη κωδικοποίηση δεδομένων και προσπάθεια σύνθεσης ενός κοινού συστήματος κατηγοριοποίησης) επαναλήφθηκαν μέχρι που η εκδοχή του συστήματος κατηγοριοποίησης που είχε αναπτυχθεί μπορούσε να περιγράψει τα καινούρια δεδομένα με τα οποία δοκιμάστηκε χωρίς σημαντικές αλλαγές ως προς το περιεχόμενο των κατηγοριών. Συνήθως, αυτή η διαδικασία ολοκληρωνόταν μετά από δύο ή τρεις επαναλήψεις αυτού του κύκλου.

Το προϊόν που προέκυψε από το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει το σύστημα κατηγοριοποίησης που διαμορφώθηκε προοδευτικά καθώς εξελισσόταν η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων από τις απαντήσεις των μαθητών. Κατά το δεύτερο στάδιο, αυτό το σύστημα κωδικοποίησης εφαρμόστηκε από τον ερευνητή στο υπόλοιπο μέρος των δεδομένων που δεν είχαν ήδη τύχει επεξεργασίας στο πρώτο στάδιο. Οι ασαφείς περιπτώσεις που εντοπίζονταν για τις οποίες δεν ήταν προφανής ο τρόπος με τον οποίο θα έπρεπε να κατηγοριοποιηθούν συγκεντρώνονταν και συζητήθηκαν στο τέλος της διαδικασίας στο πλαίσιο ειδικής συνάντησης με το δεύτερο ερευνητή. Σε αυτή τη συζήτηση έγινε μια προσπάθεια ερμηνείας και κατηγοριοποίησης των δεδομένων, η οποία ενημερώθηκε σε σημαντικό βαθμό από το μεγάλο αριθμό απαντήσεων που είχαν μελετήσει οι ερευνητές προηγουμένως. Στο πλαίσιο αυτής της συζήτησης προέκυψαν πρόσθετες, μικρές προσαρμογές του συστήματος κωδικοποίησης, ώστε να ανταποκρίνεται καλύτερα στα διαθέσιμα δεδομένα.

3.3.3.β. Ποσοτική επεξεργασία δεδομένων

Τόσο στο πλαίσιο της διερεύνησης των αρχικών ιδεών των μαθητών όσο και κατά την αξιολόγηση του διδακτικού υλικού, τα δεδομένα που προέκυψαν από την κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των μαθητών εκτέθηκαν, όπου ήταν χρήσιμο, σε στατιστική επεξεργασία με κατάλληλους μη παραμετρικούς ελέγχους, ώστε να προωθηθεί

η διαχείριση των αντίστοιχων ερευνητικών ερωτημάτων. Στην περίπτωση της διερεύνησης των αρχικών ιδεών των μαθητών (βλ. τέταρτο κεφάλαιο), όπου τα δεδομένα ήταν κωδικοποιημένα σε κατηγορικές κλίμακες, η στατιστική επεξεργασία τους περιορίστηκε στον έλεγχο χ^2 . Στην περίπτωση της διερεύνησης της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού όπου το κάθε έργο αξιολόγησης χορηγήθηκε σε περισσότερες από μία περιπτώσεις, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, έγινε μια προσπάθεια μετατροπής των δεδομένων σε μια διατακτική κλίμακα η οποία ιεραρχεί τις κατηγορίες απάντησης που προέκυψαν ανάλογα με την εγκυρότητα και πληρότητά τους. Ο τρόπος με τον οποίο απάντησε ο κάθε μαθητής πριν από την υλοποίηση του διδακτικού υλικού και μετά τη λήξη του συγκρίθηκε, αξιοποιώντας είτε τον έλεγχο McNemar (στις περιπτώσεις όπου η διατακτική κλίμακα ήταν διχοτομική) ή τον έλεγχο Wilcoxon (στις περιπτώσεις όπου η κλίμακα περιλάμβανε περισσότερα από δύο επίπεδα) (Bryman & Cramer, 2001; Field, 2005; Gravetter & Wallnau, 2004; Sheskin 2000; Siegel & Castellan, 1988). Στις περιπτώσεις όπου υπήρχαν περισσότερες από δύο μετρήσεις για τον κάθε μαθητή αξιοποιήθηκαν οι στατιστικοί έλεγχοι Cochran Q (στις περιπτώσεις όπου η διατακτική κλίμακα ήταν διχοτομική) και Friedman (στις περιπτώσεις όπου η κλίμακα περιλάμβανε περισσότερα από δύο επίπεδα) (Sheskin 2000; Siegel & Castellan, 1988). Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας παρείχαν μια ένδειξη της επίδρασης της διδασκαλίας στην κατανόηση των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα, ο εντοπισμός στατιστικά σημαντικής μεταβολής στο είδος της απάντησης που έδωσαν οι μαθητές και πιο συγκεκριμένα η μετάβαση σε κατηγορίες απάντησης που βρίσκονται ψηλότερα στη διάταξη της εγκυρότητας αξιοποιήθηκε ως ένδειξη βελτίωσης της κατανόησης των μαθητών. Επίσης, όπου ήταν εφικτό και χρήσιμο, υπολογίστηκε το αντίστοιχο μέγεθος της επίδρασης της διδασκαλίας (effect size) το οποίο αναγνωρίζεται ως μια ένδειξη του μεγέθους της βελτίωσης που προκύπτει στην κατανόηση των μαθητών (Gravetter & Wallnau, 2004).

Πέρα από την αξιολόγηση της μεταβολής στην κωδικοποίηση των απαντήσεων των μαθητών μετά τη διδασκαλία, όπου ήταν κατάλληλο αξιοποιήθηκαν στατιστικοί έλεγχοι για τον υπολογισμό της συσχέτισης ανάμεσα στις απαντήσεις σε παρόμοια έργα αξιολόγησης που αφορούσαν στην κατανόηση παρεμφερών ιδεών (ή παρεμφερών πτυχών της ίδιας ιδέας). Στις περιπτώσεις όπου οι μεταβλητές κωδικοποιήθηκαν σε διχοτομικές κλίμακες χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής phi (Sheskin 2000; Siegel & Castellan, 1988). Στην περίπτωση της διερεύνησης της συσχέτισης ανάμεσα σε διατακτικές μεταβλητές, λόγω του περιορισμένου πλήθους επιπέδων της ιεράρχησης (κατηγοριών απάντησης) και

της επακόλουθης συγκέντρωσης πολλών μαθητών στο ίδιο επίπεδο, αξιοποιήθηκε ο δείκτης συσχέτισης Gamma, ο οποίος θεωρείται κατάλληλος για τη διαχείριση περιπτώσεων που υπόκεινται σε αυτό τον περιορισμό (Sheskin 2000; Siegel & Castellan, 1988).

3.3.3.γ. Αξιοπιστία της επεξεργασίας των δεδομένων και των αποτελεσμάτων της

Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των δεδομένων προωθήθηκε με διάφορους τρόπους. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα η διαδικασία ανάπτυξης του συστήματος κωδικοποίησης υλοποιήθηκε μέσα από στενή συνεργασία με δεύτερο ερευνητή και αυτό δημιούργησε ευνοϊκές συνθήκες για χρήσιμη και παραγωγική συζήτηση και αύξησε την πιθανότητα εντοπισμού τόσο ασυνεπειών στον τρόπο με τον οποίο κωδικοποιούνταν τα δεδομένα όσο και εναλλακτικών προοπτικών για την ερμηνεία τους. Αυτή η προσέγγιση συνέβαλε σημαντικά στη βελτίωση της αξιοπιστίας της διαδικασίας διαμόρφωσης του συστήματος κωδικοποίησης. Επίσης, τα τελικά αποτελέσματα της κωδικοποίησης των δεδομένων διασταυρώθηκαν με τέσσερις βασικούς τρόπους. Ο πρώτος περιλαμβάνει την επανάληψη της κωδικοποίησης των δεδομένων που προέκυψαν από συγκεκριμένα έργα αξιολόγησης, από τον ίδιο ερευνητή σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές που απείχαν μεταξύ τους περισσότερο από έξι μήνες, ώστε να αξιολογηθεί η σταθερότητα, και κατά επέκταση, η αξιοπιστία της κωδικοποίησης (Weber, 1990). Ο δεύτερος τρόπος αφορά στην κωδικοποίηση σημαντικού μέρους των δεδομένων από ένα τρίτο ανεξάρτητο ερευνητή, διαφορετικό από εκείνο που συμμετείχε στη διαμόρφωση του συστήματος κωδικοποίησης. Ο ερευνητής που ανέλαβε αυτό το ρόλο διέθετε μεταπτυχιακό τίτλο στη διδακτική των φυσικών επιστημών και είχε προηγούμενη εμπειρία με κωδικοποίηση δεδομένων ανοικτού τύπου. Ο ερευνητής είχε πρόσβαση στο σύστημα κατηγοριοποίησης για το κάθε έργο αξιολόγησης, το οποίο περιλάμβανε λεπτομερή περιγραφή της κάθε κατηγορίας, και του ζητήθηκε να στηριχθεί σε αυτό για να κωδικοποιήσει ένα τυχαίο δείγμα των δεδομένων (περίπου 30%). Η αντιπαραβολή των δύο ανεξάρτητων κατηγοριοποιήσεων που προέκυψαν και το ποσοστό σύγκλισής τους (inter-rater reliability) (Cohen *et al.*, 2000; Weber, 1990) αποτέλεσε μια ένδειξη αξιοπιστίας. Ο τρίτος τρόπος με τον οποίο προωθήθηκε η τριγωνοποίηση των δεδομένων περιλαμβάνει την αξιοποίηση περισσότερων του ενός έργων αξιολόγησης για τη διερεύνηση της ίδιας πτυχής της μαθησιακής επιδίωξης. Ένα παρεμφερές στοιχείο αφορά στην αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο απάντησαν οι μαθητές σε έργα αξιολόγησης που εστιάζουν σε αλληλένδετες πτυχές και ο βαθμός στον οποίο τα δεδομένα που προέκυψαν από αυτά είναι συνεπή μεταξύ τους. Τέλος, ο τέταρτος τρόπος αφορά στη συλλογή δεδομένων με τα ίδια έργα

αξιολόγησης από τουλάχιστο δύο διαφορετικές πηγές (γραπτές απαντήσεις και συνεντεύξεις). Η αντιπαραβολή αυτών των δεδομένων παρείχε μια ένδειξη για την εγκυρότητα του τρόπου με τον οποίο ερμηνεύθηκαν τα δεδομένα από τις απαντήσεις των μαθητών.

3.3.4. Μεθοδολογικοί περιορισμοί

Σε αυτό το μέρος του κεφαλαίου συνοψίζονται τα μεθοδολογικά στοιχεία που θα μπορούσαν να θεωρηθούν ότι περιορίζουν δυνητικά την αποτελεσματικότητα του τρόπου με τον οποίο προσεγγίστηκαν οι επιδιώξεις της εργασίας και έτυχαν χειρισμού τα ερευνητικά της ερωτήματα. Στις περιπτώσεις όπου εφαρμόζει αναγνωρίζονται και προσδιορίζονται οι συνέπειες που απορρέουν από αυτά ενώ σε άλλες περιπτώσεις γίνεται μια προσπάθεια ανάδειξης της περιορισμένης επίδρασής τους στη διαχείριση των ερευνητικών ερωτημάτων της εργασίας.

3.3.4.α. Αποκλίσεις από το αυθεντικό περιβάλλον τάξης

Ο βασικότερος μεθοδολογικός περιορισμός της εργασίας προκύπτει από τη διάσταση που υπάρχει ανάμεσα στο μαθησιακό περιβάλλον στο οποίο εφαρμόστηκε το διδακτικό υλικό, ιδιαίτερα στην περίπτωση της πιλοτικής εφαρμογής, και του αυθεντικού περιβάλλοντος της τάξης. Αυτή η διαφοροποίηση καθίσταται προφανής από τρία στοιχεία. Τα δύο πρώτα περιορίζονται στην πιλοτική εφαρμογή ενώ το τρίτο αφορά επίσης και στη δεύτερη εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο στοιχείο συνδέεται με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που φαίνονται να παρουσιάζουν οι μαθητές που συμμετείχαν στην πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ο όμιλος ήταν απογευματινός και η συμμετοχή σε αυτόν ήταν εθελοντική. Συνεπώς, όλοι οι μαθητές που συμμετείχαν στον όμιλο επέλεξαν να εμπλακούν σε απογευματινές διδασκαλίες και θα μπορούσε κανείς εύλογα να ισχυριστεί ότι αυτή η σύνθεση του μαθητικού πληθυσμού δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αναπαράγει αξιόπιστα τον τυπικό μαθητικό πληθυσμό που παρουσιάζεται στο περιβάλλον μιας αυθεντικής τάξης. Το δεύτερο στοιχείο συνδέεται με το γεγονός ότι οι μαθητές που συμμετείχαν στον όμιλο προέρχονταν από τέσσερις διαφορετικές βαθμίδες (Ε' Δημοτικού – Β' Γυμνασίου) και αυτό δημιούργησε αισθητά μεγαλύτερη ανομοιογένεια από όση θα ανέμενε κανείς σε μια τυπική μαθητική τάξη.

Τα δύο στοιχεία που έχουν αναφερθεί προέκυψαν από τους πρακτικούς περιορισμούς και τη δυσκαμψία που συναντά συνήθως κανείς στην προσπάθειά του να αποκτήσει πρόσβαση σε πραγματικά περιβάλλοντα τάξης για εκτεταμένες χρονικές περιόδους, ώστε να

εφαρμόσει διδακτικό υλικό που αποκλίνει από το συμβατικό περιεχόμενο διδασκαλίας του αναλυτικού προγράμματος και υπερβαίνει (σημαντικά) τον προβλεπόμενο διδακτικό χρόνο. Σε μια προσπάθεια ικανοποίησης αυτού του περιορισμού και της ανάγκης για υλοποίηση τουλάχιστο δύο εφαρμογών, ώστε να καταστεί εφικτή η βελτιωτική ρύθμιση της ακολουθίας δραστηριοτήτων, κρίθηκε σκόπιμο να αξιοποιηθεί στην περίπτωση της πιλοτικής εφαρμογής η λύση του μαθητικού ομίλου, η οποία παρακάμπτει αυτούς τους περιορισμούς. Παρά τις αποκλίσεις που παρουσιάζει ο μαθητικός όμιλος από το αυθεντικό περιβάλλον τάξης, εξακολουθεί να παρέχει χρήσιμες ενδείξεις για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού οι οποίες δεν μπορούν σε καμιά περίπτωση να θεωρηθούν εκ προοιμίου αναξιόπιστες. Αντίθετα, όπως συζητείται στο έκτο κεφάλαιο, η επεξεργασία των δεδομένων συνεισέφερε σε μεγάλο βαθμό στην αναθεώρηση της ακολουθίας δραστηριοτήτων.

Το τρίτο στοιχείο αφορά στην παρουσία τριών (αντί ενός) εκπαιδευτικών στην τάξη¹². Αυτό προέκυψε ως απόρροια της απόφασης που λήφθηκε κατά το σχεδιασμό του διδακτικού υλικού να υιοθετηθεί το πρότυπο «Φυσική με Διερώτηση» το οποίο συζητείται σε λεπτομέρεια στο πέμπτο κεφάλαιο. Προφανώς, η σημαντική απόκλιση αυτού του προτύπου από την παραδοσιακή διδακτική πρακτική έχει συνέπειες αναφορικά με την πιθανότητα άμεσης μεταφοράς των πορισμάτων της εργασίας στο τυπικό μαθησιακό περιβάλλον. Ωστόσο, παρά τη σημασία αυτού του στοιχείου είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν φαίνεται να είναι ιδιαίτερα περιοριστικό για τη διαχείριση των ερευνητικών ερωτημάτων στα οποία εστιάζεται η εργασία. Λαμβάνοντας υπόψη την αποτελεσματικότητα της διδακτικής προσέγγισης που υλοποιείται στο πρότυπο «Φυσική με Διερώτηση» (McDermott *et al.*, 1996), η υιοθέτησή του στην εργασία δεν φαίνεται να υποσκάπτει την προσπάθεια αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της ακολουθίας δραστηριοτήτων που έχει αναπτυχθεί. Αντίθετα, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για εστίαση στην αλληλεπίδραση των μαθητών με τις δραστηριότητες και στην αξιολόγηση της δομής της ακολουθίας δραστηριοτήτων συνεισφέροντας στον εντοπισμό πτυχών της που δεν λειτουργούν αποτελεσματικά. Ένα δεύτερο στοιχείο το οποίο φανερώνει περαιτέρω το περιορισμένο μέγεθος επίδρασης αυτού του μεθοδολογικού στοιχείου συνδέεται με την παραδοχή στην οποία στηρίζεται η

¹² Το ένα μέλος της ομάδας διδασκαλίας, τόσο στην περίπτωση της πιλοτικής όσο και της δεύτερης εφαρμογής του διδακτικού υλικού, ήταν ο ερευνητής. Τα άλλα δύο, τα οποία ήταν διαφορετικά στις δύο εφαρμογές, ήταν απόφοιτοι τμήματος επιστημών της αγωγής, συμμετείχαν σε μεταπτυχιακό πρόγραμμα μάθησης στις φυσικές επιστήμες και είχαν προηγούμενη διδακτική εμπειρία με το πρότυπο της διερώτησης. Στα κεφάλαια έξι και επτά παρατίθενται πρόσθετες πληροφορίες για τη σύνθεση της ομάδας διδασκαλίας.

παρούσα εργασία ότι η ανάπτυξη και η αξιολόγηση του διδακτικού υλικού σε περιβάλλοντα τάξης, από τη μια, και η ρύθμιση σχετικών παραμέτρων του, ώστε να ικανοποιείται το σύνολο των περιορισμών που επιβάλλονται από το τυπικό περιβάλλον της τάξης, από την άλλη, θα μπορούσαν να προσεγγιστούν ως δύο διακριτές δράσεις. Δεδομένου ότι η παρούσα εργασία περιορίζεται στην πρώτη από αυτές τις δράσεις και χειρίζεται τη δεύτερη ως ένα επόμενο βήμα θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι οι αποκλίσεις από το συμβατικό πρότυπο διδασκαλίας δεν έχουν σημαντική επίδραση στην πιθανότητα επιτυχούς διαχείρισης των ερευνητικών της ερωτημάτων.

3.3.4.β. Δυνατότητα γενίκευσης πορισμάτων εργασίας

Ένα άλλο στοιχείο που χρειάζεται να καταγραφεί αφορά στη δυνατότητα γενίκευσης των πορισμάτων που έχουν προκύψει από την επεξεργασία των δεδομένων στο πλαίσιο της εφαρμογής του διδακτικού υλικού. Ένα ζήτημα που αναγνωρίζεται ευρέως στη βιβλιογραφία για τη σχεδιαστική έρευνα αφορά στην αδυναμία προκαθορισμού και προληπτικής διαχείρισης όλων των στοιχείων και παραμέτρων που μπορεί να εμφανιστούν κατά την υλοποίηση μιας διδακτικής επινόησης στην τάξη και να επηρεάσουν την αλληλεπίδραση των μαθητών με το μαθησιακό περιβάλλον (Collins *et al.*, 2004). Ενώ είναι εφικτό να προσδιοριστεί σε μεγάλη λεπτομέρεια τόσο το σκεπτικό του διδακτικού σχεδιασμού όσο και η πορεία υλοποίησης της ακολουθίας δραστηριοτήτων, δεν είναι δυνατό να προκαθοριστεί με απόλυτο τρόπο. Πάντοτε προκύπτουν έκτακτα και συχνά απρόβλεπτα ζητήματα για τα οποία απαιτείται η λήψη σχετικών αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το ενδεχόμενο επιτρέπει την πιθανότητα διαφοροποίησης πτυχών του διδακτικού σχεδιασμού ανάμεσα σε εφαρμογές του σε διαφορετικά περιβάλλοντα (π.χ. διαφορετικοί εκπαιδευτικοί, διαφορετικοί μαθητές κ.α.). Αξίζει να σημειωθεί ο κίνδυνος που καταγράφεται στη βιβλιογραφία για ανεπιθύμητες προσαρμογές του διδακτικού σχεδιασμού κατά την εφαρμογή του οι οποίες παρουσιάζουν ασυμβατότητα με το σκεπτικό του και υποσκάπτουν τη δυνατότητά του να υπηρετήσει τις επιδιώξεις για τις οποίες σχεδιάστηκε (lethal mutations) (Brown & Campione, 1996). Αυτή η πιθανότητα διαφοροποίησης στον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζεται μια διδακτική επινόηση περιορίζει τη δυνατότητα επέκτασης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν πέρα από το πλαίσιο από το οποίο προέκυψαν (Collins *et al.*, 2004). Ωστόσο, παρά την αναγνώριση αυτού του στοιχείου, δεδομένου ότι το διδακτικό προσωπικό τυγχάνει κατάλληλης προετοιμασίας μέσα από ειδικά σχεδιασμένα προπαρασκευαστικά σεμινάρια, ώστε να μειώνεται η πιθανότητα ασύμβατων αναπροσαρμογών του σκεπτικού του διδακτικού υλικού, τότε η

εφαρμογή του σε άλλες ανάλογες περιπτώσεις αναμένεται να οδηγήσει σε συγκρίσιμα αποτελέσματα.

3.3.4.γ. Συμμετοχή του ερευνητή-σχεδιαστή στις διδασκαλίες

Ένα στοιχείο που αξίζει να επισημανθεί αφορά στη συμμετοχή του ερευνητή στις διδασκαλίες στο πλαίσιο της εφαρμογής του διδακτικού υλικού η οποία έχει τύχει επίκρισης στη σχετική βιβλιογραφία ως στοιχείο που τείνει να υπονομεύει την αξιοπιστία της αξιολόγησής του (Collins, 1992). Η θέση της προτεινόμενης εργασίας σε σχέση με αυτή την επίκριση προκύπτει από δύο επιμέρους στοιχεία. Το πρώτο αφορά στην εφαρμογή διαδικασιών διασφάλισης της αξιοπιστίας της επεξεργασίας των δεδομένων, οι οποίες έχουν αναλυθεί νωρίτερα σε αυτό το κεφάλαιο, και στην παρουσία δύο ανεξάρτητων εκπαιδευτικών στην τάξη οι οποίοι δεν συνδέονταν με το ερευνητικό πρόγραμμα που υλοποίησε η εργασία. Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η συμμετοχή του ερευνητή στην εφαρμογή του διδακτικού υλικού δεν υποσκάπτει απαραίτητα την αξιοπιστία της αφού υπάρχουν ανεξάρτητοι τρόποι αξιολόγησης και τεκμηρίωσής της. Το δεύτερο στοιχείο αφορά στο πλεονέκτημα που προσθέτει η παρουσία του ερευνητή σε σχέση με την επίτευξη των στόχων της εργασίας. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η εργασία επιδιώκει την αξιολόγηση του διδακτικού σχεδιασμού που αναπτύχθηκε. Δεδομένου ότι ο ερευνητής είχε αναλάβει το μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας του σχεδιασμού και της ανάπτυξης της ακολουθίας δραστηριοτήτων, η συμμετοχή του στις διδασκαλίες αύξησε την πιθανότητα να υλοποιηθούν σύμφωνα με το σκεπτικό του περιορίζοντας τον κίνδυνο παρεκτροπών προς ασύμβατες κατευθύνσεις.

3.3.4.δ. Περιορισμός της διαδικασίας βελτιωτικής ρύθμισης σε δύο μόνο εφαρμογές

Όπως συζητήθηκε νωρίτερα το διδακτικό υλικό που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της εργασίας εκτέθηκε στη διαδικασία της εφαρμογής, της αξιολόγησης και της αναθεώρησης μόνο δύο φορές. Προφανώς, θα ήταν χρήσιμο να υλοποιηθούν πρόσθετες εφαρμογές, μετά από σχετικές βελτιωτικές ρυθμίσεις, ώστε, αφενός, να ενισχυθεί η δυνατότητα του διδακτικού υλικού να προωθεί τις μαθησιακές επιδιώξεις για τις οποίες σχεδιάστηκε, και, αφετέρου, να αυξηθεί η πιθανότητα να προκύψουν πρόσθετα χρήσιμα ευρήματα αναφορικά με στοιχεία του διδακτικού σχεδιασμού τα οποία συνδέονται με πτυχές της μάθησης για τις υπό έμφαση μαθησιακές επιδιώξεις αλλά και ευρύτερα.

3.3.4.ε. Κίνδυνος απώλειας δεδομένων λόγω απουσίας μαθητών

Ένας πρόσθετος μεθοδολογικός περιορισμός που χαρακτηρίζει την εργασία συνδέεται με τον κίνδυνο απώλειας δεδομένων λόγω της απουσίας μαθητών από το σχολείο κατά τη χορήγηση των έργων αξιολόγησης. Η προσπάθεια που καταβλήθηκε για τη χορήγηση των έργων αξιολόγησης στους μαθητές σε άλλο χρόνο δεν ήταν πάντα αποδοτική. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της δεύτερης εφαρμογής σε πραγματικά περιβάλλοντα τάξης, δεν ήταν εφικτό να διασφαλίζεται πάντα χρόνος από άλλα μαθήματα χωρίς να μεσολαβεί μεγάλο χρονικό διάστημα. Παρά τη σημασία αυτού του περιορισμού οι επιπτώσεις του δεν πρέπει να θεωρούνται καθοριστικές. Στην περίπτωση της πρώτης (πιλοτικής) εφαρμογής, ο ισχυρισμός για μειωμένη επίδραση προκύπτει από το γεγονός ότι η επιδίωξη της περιορίστηκε στη διαμόρφωση μιας αρχικής αντίληψης για τη δυνητική αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού και την αναθεώρηση της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Αντίστοιχα, στην περίπτωση της δεύτερης εφαρμογής, η οποία εστιάστηκε στη συστηματική αξιολόγηση και τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού και στην περαιτέρω βελτιωτική ρύθμιση της ακολουθίας δραστηριοτήτων, το μέγεθος και οι συνέπειες αυτού του κινδύνου περιορίστηκαν από το σχετικά μεγάλο πλήθος των μαθητών που συμμετείχαν στις διδασκαλίες.

3.3.4.στ. Έλλειψη εμπειριών των μαθητών με το πρότυπο του μαθησιακού περιβάλλοντος που υιοθετήθηκε στην εργασία

Ένα άλλο στοιχείο το οποίο ενδεχομένως επηρέασε την αλληλεπίδραση των μαθητών με το διδακτικό υλικό αφορά στη σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με τον τρόπο με τον οποίο είχαν συνηθίσει να εργάζονται προηγουμένως. Ειδικότερα, οι μαθητές δεν ήταν εξοικειωμένοι με την ιδέα της εμπλοκής σε εκτενείς συζητήσεις για το σκεπτικό τους και την ανάγκη να το τεκμηριώνουν συστηματικά και με συνέπεια και να το διαπραγματεύονται στις συζητήσεις στην ομάδα τους, είτε στην παρουσία είτε στην απουσία του εκπαιδευτικού. Επίσης, δεν ήταν εξοικειωμένοι με το βαθμό αυτονομίας που προϋποθέτει το διδακτικό υλικό και το ρόλο του εκπαιδευτικού ως συντονιστή του μαθησιακού περιβάλλοντος που αποποιείται το ρόλο του παροχέα έτοιμης γνώσης. Τέλος, ένα τρίτο στοιχείο το οποίο ήταν ανοίκειο προς τους μαθητές αφορά στην έκταση της διδακτικής ενότητας η οποία υπερέβαινε κατά πολύ το χρόνο που αφιερώνεται συνήθως σε μια τυπική διδακτική ενότητα (περίπου δύο ογδοντάλεπτες συναντήσεις). Αυτά τα τρία στοιχεία ενδεχομένως περιορίσαν τη δυνατότητα των μαθητών να αλληλεπιδράσουν παραγωγικά, από την αρχή, με το μαθησιακό περιβάλλον.

3.3.4.ζ. Δυσκολία διατύπωσης λεπτομερούς αιτιολόγησης σε γραπτό λόγο από μέρους των μαθητών

Τέλος, ένας άλλος μεθοδολογικός περιορισμός που αφορά τόσο στην αρχική διερεύνηση των ιδεών και των δυσκολιών των μαθητών όσο και στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ακολουθίας δραστηριοτήτων μέσα από τη μελέτη των μαθησιακών επιτευγμάτων συνδέεται με τη δυσκολία των μαθητών να διατυπώνουν λεπτομερείς αιτιολογήσεις του σκεπτικού τους στα γραπτά έργα αξιολόγησης. Το βασικό σύμπτωμα αυτής της δυσκολίας ήταν η εμφάνιση απαντήσεων που χαρακτηρίζονταν από ασάφεια και δυσχέραιναν την ερμηνεία και την κωδικοποίησή τους. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναγνωριστεί η συνεισφορά τόσο των συνεντεύξεων, όπου υπήρχε η δυνατότητα υποβολής πρόσθετων διευκρινιστικών ερωτημάτων, όσο και της αξιοποίησης διαφορετικών έργων για την αξιολόγηση παρεμφερών ιδεών στην αντιμετώπιση αυτής της δυσκολίας. Ειδικότερα, το σύνολο των δεδομένων που προέκυψε επέτρεψε τη διαμόρφωση ενός ενημερωμένου σκεπτικού το οποίο υποστήριξε την προσπάθεια ερμηνείας των δεδομένων που χαρακτηρίζονταν από ασάφεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΧΙΚΩΝ ΙΔΕΩΝ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΥΣΚΟΛΙΩΝ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΥΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΕΠΙΔΙΩΞΕΙΣ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΕΣΤΙΑΖΕΤΑΙ ΤΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Σε αυτό το κεφάλαιο συζητούνται τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την προσπάθεια χαρτογράφησης των αντιλήψεων που διαθέτουν οι μαθητές καθώς επίσης και των διαφόρων εννοιολογικών, επιστημολογικών, συλλογιστικών ή άλλων δυσκολιών που αντιμετωπίζουν για τις δύο βασικές μαθησιακές επιδιώξεις στις οποίες εστιάζεται το διδακτικό υλικό που σχεδιάστηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Το κεφάλαιο χωρίζεται σε τρεις ενότητες. Η πρώτη αφορά στα αποτελέσματα που προέκυψαν σε σχέση με τη μαθησιακή επιδίωξη για ανάπτυξη του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας. Αντίστοιχα, η δεύτερη παρουσιάζει τα αποτελέσματα αναφορικά με τη μαθησιακή επιδίωξη της καλλιέργειας της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης. Η καθεμιά από αυτές τις ενότητες δομείται σε τρία μέρη. Το πρώτο παραθέτει τα βασικά μεθοδολογικά στοιχεία τα οποία διαμόρφωσαν το πλαίσιο διερεύνησης των αρχικών ιδεών των μαθητών, το δεύτερο παρουσιάζει και συζητά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων και το τρίτο περιλαμβάνει μια σύντομη ανακεφαλαιωτική σύνοψη των βασικών ευρημάτων και παρουσιάζει πτυχές της συνεισφοράς τους στον εμπλουτισμό της υφιστάμενης τεχνογνωσίας. Στην τρίτη ενότητα του κεφαλαίου συζητείται η συνεισφορά των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στην ανάπτυξη της ακολουθίας δραστηριοτήτων για την προώθηση των μαθησιακών επιδιώξεων.

4.1. Διερεύνηση των αρχικών ιδεών των μαθητών για την ενέργεια και το ρόλο της στην ανάλυση των μεταβολών σε φυσικά συστήματα

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση της ικανότητας των μαθητών να αξιοποιούν την ενέργεια τόσο για την ερμηνεία μεμονωμένων μεταβολών όσο και για την ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών. Συγκεκριμένα, τα ερευνητικά ερωτήματα στα οποία εστιάστηκε η διερεύνηση αυτού του ζητήματος ήταν τα ακόλουθα:

- Ποιοι είναι οι ποιοτικά διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους ερμηνεύουν οι μαθητές (ι) μεμονωμένες μεταβολές και (ιι) ζεύγη διαφορετικών μεταβολών;
- Ποιοι είναι οι ποιοτικά διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους χρησιμοποιούν οι μαθητές την ενέργεια για να εξηγήσουν (ι) μεμονωμένες μεταβολές και (ιι) ζεύγη διαφορετικών μεταβολών;
- Σε ποιο βαθμό χρησιμοποιούν με συνέπεια την ενέργεια για να ερμηνεύσουν μεμονωμένες μεταβολές ή ζεύγη μεταβολών;
- Ποιες εννοιολογικές δυσκολίες αντιμετωπίζουν στην προσπάθειά τους να διατυπώσουν ενεργειακές ερμηνείες για δοσμένες μεταβολές;
- Σε ποιο βαθμό διαφοροποιείται η έκταση και ο τρόπος με τον οποίο αξιοποιούν οι μαθητές δημοτικού και γυμνασίου την ενέργεια για να ερμηνεύσουν μεμονωμένες μεταβολές ή ζεύγη διαφορετικών μεταβολών;

4.1.1. Μεθοδολογικά στοιχεία

4.1.1.α. Το πλαίσιο διδασκαλίας της ενέργειας στο κυπριακό εκπαιδευτικό σύστημα

Η ενέργεια εισάγεται στην έκτη τάξη του δημοτικού ως χωριστή ενότητα ενώ υπάρχουν περιστασιακές αναφορές σε αυτήν και σε προηγούμενες τάξεις. Για παράδειγμα, στην ενότητα του δυναμικού ηλεκτρισμού στην Ε' τάξη γίνεται αναφορά στην ενέργεια, η οποία παρουσιάζεται ως κάτι το οποίο υπάρχει στην μπαταρία. Στην ενότητα που υπάρχει στην Στ' τάξη η έμφαση εστιάζεται στις μορφές ενέργειας και στην περιγραφή των μετατροπών μορφής ενέργειας στο πλαίσιο της λειτουργίας (συνήθως ηλεκτρικών) συστημάτων. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι πιο συνηθισμένες μορφές ενέργειας και συζητούνται οι μετατροπές στη μορφή της ενέργειας στο πλαίσιο της λειτουργίας διάφορων συσκευών (π.χ. μίξερ και ηλεκτρικό τρυπάνι). Επίσης, γίνεται αναφορά σε πηγές ενέργειας, οι οποίες διακρίνονται σε «ανανεώσιμες» και «μη ανανεώσιμες». Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ενότητα δεν επιχειρεί να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν μια αντίληψη για το τι είναι η ενέργεια και δεν συζητά την ιδιότητα της διατήρησης ή της υποβάθμισής της.

Στο γυμνάσιο, το μάθημα της Φυσικής ξεκινά να διδάσκεται στη Β' τάξη. Παρόλο που δεν περιλαμβάνεται χωριστή ενότητα για την ενέργεια εμφανίζονται σχετικές αναφορές στα κεφάλαια της *Θερμότητας* της *Οπτικής* και του *Ηλεκτρομαγνητισμού*. Στην περίπτωση της ενότητας της θερμότητας γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της έννοιας στην οποία αναφέρονται πολλές πληροφορίες σε εγκυκλοπαιδική μορφή. Συγκεκριμένα, ορίζεται το Joule ως η μονάδα μέτρησης της ενέργειας και διατυπώνεται ο νόμος της διατήρησής της. Η ιδέα της υποβάθμισης αναφέρεται ως υποσημείωση και συσχετίζεται με την αταξία των

μορίων και την εντροπία χωρίς να συνδέεται με το νόμο της διατήρησης της ενέργειας. Στην τρίτη τάξη υπάρχει χωριστή ενότητα για την ενέργεια, η οποία εντάσσεται στο πλαίσιο της μηχανικής. Σε αυτή την ενότητα εισάγονται, σε εγκυκλοπαιδική μορφή, διάφορες σχετικές έννοιες (π.χ. μηχανικό έργο). Στην περίπτωση της αρχής διατήρησης της ενέργειας, η οποία κατέχει κεντρική θέση, η έμφαση βρίσκεται στην επίλυση ποσοτικών προβλημάτων τα οποία αναφέρονται στον υπολογισμό του έργου εφαρμόζοντας την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας. Εκτός από την ενότητα της μηχανικής, η ενέργεια εμφανίζεται επίσης σε άλλες ενότητες, όπως για παράδειγμα στις ταλαντώσεις στα μηχανικά κύματα και στο ηλεκτρικό ρεύμα. Ωστόσο, και σε αυτές τις περιπτώσεις ακολουθείται μια προσέγγιση η οποία συνδυάζει επίλυση ποσοτικών προβλημάτων και παρουσίαση δηλωτικών γνώσεων.

4.1.1.β. Μέσα συλλογής δεδομένων

Για τη διαχείριση των ερευνητικών ερωτημάτων αξιοποιήθηκαν δεδομένα από δύο πηγές: ένα γραπτό ερωτηματολόγιο με έργα ανοικτού τύπου και ατομικές συνεντεύξεις με ένα τυχαίο δείγμα είκοσι μαθητών.

Το ερωτηματολόγιο αποτελείται από δύο ζεύγη φυσικών συστημάτων τα οποία υφίστανται μια συγκεκριμένη μεταβολή. Το πρώτο ζεύγος περιλαμβάνει ένα ηλεκτρικό ανεμιστηράκι και ένα ανεμόμυλο. Το δεύτερο ζεύγος περιλαμβάνει ένα ηλεκτρικό και ένα χειροκίνητο τρυπάνι. Τα δυο συστήματα του κάθε ζεύγους προέρχονται από διαφορετικά πεδία αλλά παρουσιάζουν την ίδια μεταβολή: περιστροφή πτερυγίων και περιστροφή αρίδας. Για το κάθε ζεύγος οι μαθητές χρειάζεται να απαντήσουν σε δύο ερωτήματα. Το πρώτο ζητά από τους μαθητές να προτείνουν μια ανεξάρτητη ερμηνεία για την κάθε μεταβολή (π.χ., για ποιο λόγο περιστρέφονται τα πτερύγια στο ηλεκτρικό ανεμιστηράκι;) ενώ το δεύτερο ζητά από τους μαθητές να δώσουν μια εξήγηση που να ισχύει ταυτόχρονα και για τις δύο μεταβολές στο κάθε ζεύγος (π.χ., μπορείς να σκεφτείς μια μόνο εξήγηση που να ισχύει τόσο για την περιστροφή των πτερυγίων στο ηλεκτρικό ανεμιστηράκι όσο και για την περιστροφή των πτερυγίων στον ανεμόμυλο;). Στο διάγραμμα 4 παρουσιάζονται τα δύο ζεύγη συστημάτων καθώς επίσης και τα ερωτήματα που δίνονταν στους μαθητές. Το πρώτο ερώτημα (ερμηνεία μεμονωμένης μεταβολής) αποσκοπούσε να παρέχει πληροφόρηση για την ικανότητα των μαθητών να ερμηνεύουν δοσμένες μεταβολές με βάση την ιδέα της ενέργειας και για τις σχετικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Το δεύτερο ερώτημα, εστιάζεται στην αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο οι μαθητές

εκτιμούν το διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας και τη δυνατότητα που παρέχει για ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών¹³.

Το πρωτόκολλο της συνέντευξης είναι δομημένο με αντίστοιχο τρόπο καθώς περιλαμβάνει επίσης δύο ζεύγη συστημάτων που υφίστανται συγκεκριμένες μεταβολές. Το πρώτο ταυτίζεται με το πρώτο ζεύγος του ερωτηματολογίου (ηλεκτρικός ανεμιστήρας και ανεμόμυλος), ενώ το δεύτερο αποτελείται από ένα απλό κύκλωμα ενός λαμπτήρα και ένα χειροκίνητο τρυπάνι (διάγραμμα 4). Αρχικά ζητήθηκε από τους μαθητές να απαντήσουν προφορικά τα αντίστοιχα ερωτήματα που περιλαμβάνονταν στο γραπτό ερωτηματολόγιο. Επιπρόσθετα, τους ζητήθηκε να απαντήσουν σε διευκρινιστικά ερωτήματα σε περιπτώσεις όπου δεν ήταν προφανές το σκεπτικό τους. Σε κάθε περίπτωση δινόταν ιδιαίτερη έμφαση, ώστε τα ερωτήματα να υποβάλλονται με ουδέτερο τρόπο που δεν επηρεάζει το σκεπτικό τους (π.χ., «Μπορείς να εξηγήσεις περισσότερο αυτό που λες;», «Τι εννοείς με αυτό;»).

Τα δεδομένα από τις δύο αυτές πηγές έχουν συλλεγεί ανεξάρτητα και, ακολούθως, συνδυάστηκαν για να παρέχουν πληροφόρηση σχετικά με τις αρχικές ιδέες των μαθητών και τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Ειδικότερα, τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις αποσκοπούσαν να συμβάλουν, αφενός, στη διαμόρφωση μιας αρχικής εκδοχής ενός συστήματος κατηγοριοποίησης το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει το περιεχόμενο των απαντήσεων των μαθητών και τη σχετική διαφοροποίηση που εμφανίζεται στο σύνολο των μαθητών, και, αφετέρου, στον προσδιορισμό ενός ερμηνευτικού πλαισίου το οποίο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για να ενημερώσει και να καθοδηγήσει την προσπάθεια επεξεργασίας των δεδομένων στα γραπτά ερωτηματολόγια, στα οποία δεν υπήρχε δυνατότητα υποβολής διευκρινιστικών ερωτήσεων προς τους μαθητές. Τα δεδομένα από τη χορήγηση του ερωτηματολογίου σε ένα σημαντικό δείγμα μαθητών παρείχαν τη δυνατότητα για πιο εκτενή διερεύνηση τυχόν μοτίβων, μέσα από την εφαρμογή κατάλληλων στατιστικών ελέγχων.

¹³ Μια παρόμοια εκδοχή του έργου αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενη ερευνητική εργασία του Κολιόπουλου (1997).

Διάγραμμα 4: Σύνοψη περιεχομένου και δομής των έργων αξιολόγησης

Συστήματα που περιλήφθηκαν στα γραπτά έργα αξιολόγησης

Πρώτο ζεύγος συστημάτων



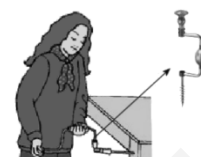
α



β



γ



δ

Δεύτερο ζεύγος συστημάτων

Συστήματα που περιλήφθηκαν στο πρωτόκολλο της συνέντευξης

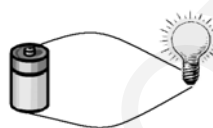
Πρώτο ζεύγος συστημάτων



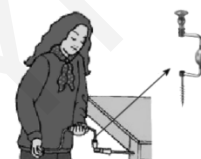
α



β



γ



Δ

Δεύτερο ζεύγος συστημάτων

Παραδείγματα ερωτημάτων

Πρώτο ερώτημα: Ανεξάρτητη ερμηνεία της μεταβολής που συμβαίνει στο κάθε σύστημα χωριστά:

Παράδειγμα από το πρώτο ζεύγος συστημάτων:

- Τι είναι αυτό που κάνει τα πτερύγια του ανεμιστήρα να περιστρέφονται; Εξήγησε την απάντησή σου.
- Τι είναι αυτό που κάνει τα πτερύγια του ανεμόμυλου να περιστρέφονται; Εξήγησε την απάντησή σου.

Δεύτερο ερώτημα: ενιαία ερμηνεία των δύο μεταβολών που περιλαμβάνονται στο κάθε ζεύγος

Παράδειγμα από το πρώτο ζεύγος συστημάτων:

- Προηγουμένως έδωσες μια εξήγηση για την περιστροφή των πτερυγίων του ανεμιστήρα και μια εξήγηση για την περιστροφή των πτερυγίων του ανεμόμυλου. Μπορείς να σκεφτείς μια μόνο εξήγηση που να ισχύει και για την περιστροφή των πτερυγίων του ανεμιστήρα και για την περιστροφή των πτερυγίων του ανεμόμυλου; Εξήγησε την απάντησή σου.

Παραδείγματα πρόσθετων διευκρινιστικών ερωτημάτων κατά τη διάρκεια της συνέντευξης:

- Μπορείς να εξηγήσεις λίγο περισσότερο αυτό που είπες;
- Τι εννοείς με αυτό;

4.1.1.γ. Ζητήματα αναφορικά με την αξιοπιστία και την εγκυρότητα των εργαλείων συλλογής δεδομένων

Τόσο το πρωτόκολλο συνέντευξης όσο και το γραπτό δοκίμιο αξιολογήθηκαν από δύο ειδικούς που κατείχαν διδακτορικό τίτλο στη Φυσική και διέθεταν εκτεταμένη ερευνητική εμπειρία στο πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών. Εκτός από τα έργα αξιολόγησης, οι δύο ειδικοί είχαν επίσης στη διάθεσή τους μια σύντομη αναφορά η οποία διευκρίνιζε το σκεπτικό στο οποίο στηρίζονταν τα εργαλεία αξιολόγησης και τους ζητήθηκε να αξιολογήσουν (α) την εγκυρότητα της προσέγγισης που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση της κατανόησης για την ενέργεια, και (β) την καταλληλότητα και συμβατότητα των έργων αξιολόγησης με το σκεπτικό αυτής της προσέγγισης.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή τη διαδικασία αξιολόγησης παρείχαν χρήσιμη ανατροφοδότηση ως προς την εγκυρότητα περιεχομένου των οργάνων συλλογής δεδομένων (Cohen *et al.*, 2000). Ειδικότερα, οι δύο ειδικοί είχαν συμφωνήσει ως προς την εγκυρότητα του σκεπτικού που υιοθετήθηκε και ως προς την επάρκεια των συγκεκριμένων έργων αξιολόγησης να προωθήσουν αυτό το σκεπτικό.

Σε ένα επόμενο στάδιο, τα όργανα συλλογής δεδομένων χορηγήθηκαν σε τρεις εκπαιδευτικούς οι οποίοι διέθεταν εκτεταμένη εμπειρία (από επτά μέχρι δέκα χρόνια) με τη διδασκαλία της επιστήμης (στο δημοτικό) και της φυσικής (στο γυμνάσιο) και τους ζητήθηκε να σχολιάσουν τη διατύπωση των ερωτημάτων και την καταλληλότητά τους λαμβάνοντας υπόψη την ηλικία των μαθητών στους οποίους απευθύνονται.

Τα τρία ζεύγη συστημάτων, και τα σχετικά ερωτήματα, που περιλήφθηκαν στην τελική εκδοχή των οργάνων μέτρησης (γραπτό δοκίμιο και συνεντεύξεις) δοκιμάστηκαν πιλοτικά στο πλαίσιο ατομικών συνεντεύξεων με 5 μαθητές έκτης τάξης δημοτικού και 5 μαθητές δευτέρας τάξης γυμνασίου. Μέσα από αυτές επιδιώχθηκε η αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο οι μαθητές ήταν σε θέση να κατανοήσουν την περιγραφή των φυσικών συστημάτων και τα ερωτήματα και να δώσουν σχετικές απαντήσεις. Η ανατροφοδότηση που προέκυψε από αυτή τη διαδικασία παρείχε εμπειρική στήριξη για την καταλληλότητα των οργάνων μέτρησης και, επιπρόσθετα, κατέδειξε συγκεκριμένες πτυχές τους που επέτρεπαν παρερμηνείες.

Στη συνέχεια, αξιοποιώντας την ανατροφοδότηση που προέκυψε από όλες τις κατευθύνσεις, τα έργα αξιολόγησης τροποποιήθηκαν, κυρίως σε σχέση με τις λεκτικές

διατυπώσεις των έργων αξιολόγησης, και κατέληξαν σε μια τελική εκδοχή η οποία αξιοποιήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων.

4.1.1.δ. Συμμετέχοντες

Στις συνεντεύξεις συμμετείχαν 20 μαθητές από δύο διαφορετικές έκτες τάξεις ενός αστικού δημοτικού σχολείου. Στη διαδικασία της χορήγησης του γραπτού δοκιμίου συμμετείχαν 240 μαθητές οι οποίοι φοιτούσαν σε τέσσερα σχολεία. Το δοκίμιο χορηγήθηκε συνολικά σε πέντε τάξεις (Ε' και Στ' Δημοτικού) δύο δημοτικών σχολείων (συνολικά 121 μαθητές) και επτά τμήματα Α' και Β' Γυμνασίου σε δύο γυμνάσια (119 μαθητές). Η πλειοψηφία των μαθητών δημοτικού και όλοι οι μαθητές γυμνασίου είχαν εκτεθεί προηγουμένως σε διδασκαλία για την ενέργεια, όπως υλοποιείται συμβατικά στην έκτη τάξη του δημοτικού σχολείου. Παρά το γεγονός ότι ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών δημοτικού δεν είχε συμμετάσχει στο παρελθόν σε σχετική διδασκαλία όλοι οι μαθητές δημοτικού αντιμετωπίστηκαν ως μια ομοιογενής ομάδα αφού, όπως κατέδειξε η προκαταρκτική ανάλυση δεδομένων, δεν υπήρχε σημαντική διαφοροποίηση ως προς την κατηγοριοποίησή τους ($\chi^2(4)=5.208$, $p=0.267$). Στο υπόλοιπο μέρος της ενότητας, το σύνολο των μαθητών δημοτικού θα αναφέρεται ως ομάδα Δ και οι μαθητές γυμνασίου ως ομάδα Γ.

4.1.1.ε. Διαδικασία συλλογής δεδομένων

4.1.1.ε1. Ερωματολογία

Τα ερωματολόγια χορηγήθηκαν από τον ερευνητή κατά τη διάρκεια μιας διδακτικής περιόδου (διάρκειας 40 λεπτών). Πριν από τη χορήγηση, ο ερευνητής εξήγησε στους μαθητές το γενικότερο στόχο της έρευνας και τον τρόπο με τον οποίο θα συνεισέφεραν οι ίδιοι σε αυτή. Επίσης, διευκρινίστηκε ότι οι απαντήσεις τους δεν θα χρησιμοποιούνταν για σκοπούς αξιολόγησης και δεν θα κοινοποιούνταν ή θα συζητούνταν με το προσωπικό του σχολείου. Τέλος, σε μια προσπάθεια να αυξηθεί η συχνότητα απαντήσεων ενεργειακού χαρακτήρα και να ενισχυθεί έτσι η προσπάθεια περιγραφής των διαφορετικών τρόπων με τους οποίους οι μαθητές χρησιμοποιούν την ιδέα της ενέργειας για να εξηγήσουν μεταβολές σε φυσικά συστήματα, είχαν ενημερωθεί ότι τα έργα αξιολόγησης συνδέονταν άμεσα με αυτή την έννοια.

4.1.1.ε2. Συνεντεύξεις

Οι συνεντεύξεις ήταν ατομικές και είχαν διάρκεια περίπου είκοσι λεπτών. Ήταν ημι-δομημένες αφού στηρίζονταν σε συγκεκριμένο πρωτόκολλο αλλά σε περιπτώσεις όπου οι

απαντήσεις των μαθητών δεν ήταν σαφείς ο ερευνητής υπέβαλλε πρόσθετες διευκρινιστικές ερωτήσεις.

4.1.1.στ. Ανάλυση δεδομένων

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τα ερωτηματολόγια και τις συνεντεύξεις έτυχαν επεξεργασίας με στόχο τη διαμόρφωση κατηγοριών οι οποίες περιγράφουν τη διαφοροποίηση που εντοπίζεται στις απαντήσεις των μαθητών ως προς το σκεπτικό τους. Έτσι, οι κατηγορίες απάντησης δεν ήταν προκαθορισμένες αλλά προέκυψαν κατά την ανάλυση των δεδομένων και τροποποιήθηκαν και αναπροσαρμόστηκαν σε διάφορα στάδια κατά την εξέλιξή της, ώστε να περιγράφουν όσο το δυνατό καλύτερα τη διαφοροποίηση στις απαντήσεις των μαθητών.

Η ανάλυση των δεδομένων αναπτύχθηκε σε δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη αφορά στη συνολική περιγραφή της διαφοροποίησης που εντοπίζεται στις ερμηνείες που πρότειναν οι μαθητές ενώ η δεύτερη επικεντρώθηκε ειδικά στον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποίησαν την ιδέα της ενέργειας για να ερμηνεύσουν τις μεταβολές. Και στις δύο περιπτώσεις η ανάλυση εστιάστηκε στο σύνολο των απαντήσεων και δεν έγινε προσπάθεια περιγραφής τυχόν διαφοροποίησης των απαντήσεων του κάθε μεμονωμένου μαθητή στα διάφορα συστήματα. Αρχικά, η ανάλυση περιορίστηκε στα δεδομένα από το πρώτο μισό μέρος της συνέντευξης (το πρώτο ζεύγος συστημάτων το οποίο περιλαμβάνεται επίσης στο δοκίμιο που απαντήθηκε γραπτώς από τους μαθητές). Οι απαντήσεις των μαθητών τόσο για την ερμηνεία μεταβολών στο κάθε μεμονωμένο σύστημα όσο και για την κοινή ερμηνεία του ζεύγους μεταβολών μελετήθηκαν, ώστε να εντοπισθούν δηλώσεις οι οποίες ήταν αποκαλυπτικές του σκεπτικού των μαθητών. Αυτές οι δηλώσεις ομαδοποιούνταν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων και αποτέλεσαν τη βάση για τη διαμόρφωση ενός προκαταρκτικού συστήματος κατηγοριοποίησης για τις απαντήσεις των μαθητών, πρώτον, για μεμονωμένες εξηγήσεις και, δεύτερον, για κοινές εξηγήσεις ζεύγους διαφορετικών μεταβολών. Για το κάθε είδος απάντησης προέκυψαν δύο συστήματα κατηγοριοποίησης• ένα για τις ερμηνείες που πρότειναν οι μαθητές, γενικότερα, και ένα για τις ερμηνείες που είχαν ενεργειακό περιεχόμενο. Αυτό το σύστημα κατηγοριοποίησης περιλάμβανε (α) περιγραφή των κατηγοριών απάντησης, (β) ενδεικτικές απαντήσεις από την κάθε κατηγορία, και (γ) το σκεπτικό για την ένταξη της κάθε απάντησης στην αντίστοιχη κατηγορία.

Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας πραγματοποιούνταν τακτικές συναντήσεις του ερευνητή με ένα άλλο έμπειρο ερευνητή ο οποίος ήταν ενήμερος για τη σχετική έρευνα και εξοικειωμένος με την προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων. Σε αυτές τις συναντήσεις συζητούνται περιπτώσεις για τις οποίες δεν ήταν προφανής ο τρόπος με τον οποίο έπρεπε να κατηγοριοποιηθούν. Στο πλαίσιο αυτών των συζητήσεων τροποποιήθηκε σε διάφορες περιπτώσεις το σύστημα κατηγοριοποίησης, ώστε να ανταποκρίνεται όσο το δυνατό καλύτερα στα δεδομένα. Στη συνέχεια, το σύστημα κατηγοριοποίησης εφαρμόστηκε στο δεύτερο μέρος της συνέντευξης (δεύτερο ζεύγος συστημάτων). Σε αυτό το πλαίσιο διαπιστώθηκε η επάρκεια του συστήματος κατηγοριοποίησης, το οποίο μπορούσε να εφαρμοσθεί με επιτυχία στα δεδομένα.

Στο επόμενο στάδιο, το σύστημα κατηγοριοποίησης εφαρμόστηκε για την επεξεργασία των δεδομένων από τις γραπτές απαντήσεις των μαθητών. Αρχικά μελετήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών με στόχο να εντοπισθεί το σκεπτικό στο οποίο στηρίζονταν και να ενταχθούν στην κατάλληλη κατηγορία. Οι απαντήσεις που αναφέρονταν στην ενέργεια έτυχαν περαιτέρω επεξεργασίας αξιοποιώντας το αντίστοιχο σύστημα κατηγοριοποίησης. Ένα σημαντικό ποσοστό των απαντήσεων (περίπου 20%) κατηγοριοποιήθηκε ανεξάρτητα από δεύτερο ερευνητή και το ποσοστό σύγκλισης (89%) ενίσχυσε την αξιοπιστία της κωδικοποίησης, ενώ, οι περιπτώσεις διαφωνίας λύθηκαν μέσα από συζήτηση ανάμεσα στους δύο ερευνητές.

Πέρα από την ανάλυση του περιεχομένου των απαντήσεων των μαθητών, ώστε να εντοπιστούν και να τεκμηριωθούν οι ποιοτικά διαφορετικοί τρόποι προσέγγισης των ερωτημάτων, όπου ήταν χρήσιμο, οι συχνότητες εμφάνισης των απαντήσεων σε κάθε κατηγορία έτυχαν στατιστικής επεξεργασίας, αξιοποιώντας τον έλεγχο χ^2 , ώστε να περιγραφούν τυχόν συστηματικές τάσεις.

4.1.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων οδήγησε στη διαμόρφωση δύο βασικών κατηγοριών απάντησης. Η πρώτη περιλαμβάνει τις απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές εντάσσουν το σύστημα σε ένα ευρύτερο εννοιολογικό πλαίσιο και επιχειρούν να ερμηνεύσουν τις μεταβολές που υφίσταται αξιοποιώντας έννοιες ή ιδέες που προέρχονται από αυτό το πλαίσιο (Brewer, Chinn & Samarapungavan, 2000). Οι απαντήσεις που εντάσσονται σε αυτή τη βασική κατηγορία διακρίνονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τις απαντήσεις που συνδέουν τις παρατηρούμενες μεταβολές με την

ενέργεια. Αυτή η υποκατηγορία περιλαμβάνει όλες τις απαντήσεις που κάνουν αναφορά στον όρο «ενέργεια», ανεξάρτητα από το περιεχόμενό τους. Αυτές οι απαντήσεις συζητούνται χωριστά σε επόμενη ενότητα. Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει απαντήσεις οι οποίες στηρίζονται σε κάποια άλλη έννοια εκτός από την ενέργεια. Η δύναμη και ο ηλεκτρισμός αποτελούν τις έννοιες που εμφανίστηκαν με τη μεγαλύτερη συχνότητα.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει απαντήσεις οι οποίες επιχειρούν να ερμηνεύσουν τις παρατηρούμενες μεταβολές κάνοντας αναφορά σε φαινομενολογικά χαρακτηριστικά των συστημάτων παρά σε σχετικές έννοιες. Αυτές οι απαντήσεις διακρίνονται επίσης σε δύο επιμέρους κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τις απαντήσεις που εξηγούν τις μεταβολές κάνοντας αναφορά σε διεργασίες που εμφανίζονται στο κάθε σύστημα. Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει απαντήσεις που αποδίδουν τις μεταβολές σε μεμονωμένα αντικείμενα του συστήματος (π.χ. αρίδα), χωρίς να παρουσιάζουν κάποιο αιτιακό μηχανισμό που να συνδέει αυτά τα αντικείμενα με τις μεταβολές. Οι κατηγορίες απάντησης συνοψίζονται στον πίνακα 3 και για την καθεμιά παρατίθενται ενδεικτικές απαντήσεις μαθητών. Πιο κάτω συζητείται ο τρόπος με τον οποίο αξιοποιήθηκε αυτή η κατηγοριοποίηση για τη διαχείριση των σχετικών ερευνητικών ερωτημάτων. Το κάθε ερώτημα συζητείται σε χωριστή υποενότητα εκτός από το τελευταίο ερώτημα, η συζήτηση του οποίου διατρέχει την ενότητα.

Πίνακας 3: Κατηγορίες απάντησης και ενδεικτικά παραδείγματα

Εννοιολογικά- προσανατολισμένες απαντήσεις

Ενεργειακές απαντήσεις	<i>Τα πτερύγια γυρίζουν επειδή παίρνουν ενέργεια από την μπαταρία</i> <i>Τα πτερύγια γυρίζουν επειδή υπάρχει ενέργεια</i>
Απαντήσεις που στηρίχθηκαν σε άλλες έννοιες εκτός από την ενέργεια	<i>Η αρίδα γυρίζει επειδή η κοπέλα εξασκεί δύναμη</i> <i>Τα πτερύγια γυρίζουν επειδή τα σπρώχνει ο άνεμος με τη δύναμη του</i> <i>Η αρίδα γυρίζει με τον ηλεκτρισμό</i> <i>Το ηλεκτρικό ρεύμα κάνει τα πτερύγια να γυρίζουν</i>

Φαινομενολογικά-προσανατολισμένες απαντήσεις

Η ερμηνεία αποδίδεται σε *Το τρυπάνι γυρίζει επειδή το γυρίζει η γυναίκα με το χέρι*
κάποια διεργασία που συμβαίνει *της*
στο σύστημα

Η ερμηνεία αποδίδεται σε *Τα πτερύγια γυρίζουν λόγω της μπαταρίας και των*
συγκεκριμένα αντικείμενα του *καλωδίων*
συστήματος

4.1.2.α. Ποιοι είναι οι ποιοτικά διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους ερμηνεύουν οι μαθητές (ι) μεμονωμένες μεταβολές και (ii) ζεύγη διαφορετικών μεταβολών;

Οι πίνακες 4 και 5 παρουσιάζουν την κατανομή των απαντήσεων των μαθητών στις κατηγορίες που έχουν αναφερθεί προηγουμένως στην περίπτωση της ερμηνείας μεμονωμένων μεταβολών και ζεύγους μεταβολών, αντίστοιχα.

Πίνακας 4: Κατηγορίες απάντησης για την ερμηνεία των μεμονωμένων μεταβολών στα τέσσερα συστήματα

	Μαθητές Δημοτικού		Μαθητές Γυμνασίου	
	N	%	N	%
Εννοιολογικά- προσανατολισμένες απαντήσεις				
Η ερμηνεία αποδίδεται στην ενέργεια	182	38	266	61.5
Η ερμηνεία αποδίδεται σε μια έννοια εκτός από την ενέργεια (δύναμη, ηλεκτρισμός)	123	26	64	15
Φαινομενολογικά-προσανατολισμένες απαντήσεις				
Η ερμηνεία αποδίδεται σε μια διεργασία που συμβαίνει στο σύστημα	138	29	90	21
Η ερμηνεία αποδίδεται σε μεμονωμένα αντικείμενα του συστήματος	25	5	10	2
Άσχετες απαντήσεις	9	2	3	0.5
	477*	100	433*	100

* Σε επτά περιπτώσεις στην ομάδα Δ (1.5%) και σε 43 περιπτώσεις στην ομάδα Γ (9%) οι μαθητές παρέλειψαν να προτείνουν κάποια ερμηνεία.

Παρά το γεγονός ότι οι δύο κατηγοριοποιήσεις δεν παρουσιάζουν ποιοτικές διαφορές μεταξύ τους, αφού καλύπτονται από το ίδιο σύστημα κωδικοποίησης, υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στα ποσοστά με τα οποία κατανέμονται οι απαντήσεις στις κατηγορίες. Συνολικά, οι περισσότερες απαντήσεις των μαθητών (63%) είναι εννοιολογικά προσανατολισμένες και εντάσσονται στην πρώτη βασική κατηγορία. Οι περισσότερες από αυτές (74%) στηρίζονται στην ιδέα της ενέργειας και αυτές είναι πιο συχνές στην περίπτωση των μαθητών της ομάδας Γ ($\chi^2(1)=28.46, p<0.001$). Επιπρόσθετα, οι μαθητές της ομάδας Γ χρησιμοποιούν τεχνική ορολογία πολύ πιο συχνά (21%) από ότι οι μαθητές της ομάδας Δ (9%). Οι απαντήσεις ενεργειακού χαρακτήρα συζητούνται σε περισσότερη λεπτομέρεια σε επόμενη ενότητα. Οι υπόλοιπες εννοιολογικά προσανατολισμένες απαντήσεις στηρίζονται σε άλλες ιδέες και έννοιες της φυσικής. Το ποσοστό των απαντήσεων που εντάσσονται σε αυτή την υποκατηγορία στην περίπτωση της ερμηνείας μεμονωμένων μεταβολών είναι 40% (ομάδα Δ) και 20% (ομάδα Γ). Τα αντίστοιχα ποσοστά στην περίπτωση της ενιαίας ερμηνείας ζεύγους διαφορετικών μεταβολών είναι 17% (ομάδα Δ) και 16% (ομάδα Γ). Η σημαντική μείωση στο ποσοστό των απαντήσεων στην περίπτωση της κοινής εξήγησης διαφορετικών μεταβολών μπορεί να θεωρηθεί αναμενόμενη αφού οι διάφορες έννοιες στις οποίες κατέφευγαν συνήθως οι μαθητές εφαρμόζουν σε μεμονωμένα πεδία (π.χ. η ερμηνευτική δυνατότητα της δύναμης και της ηλεκτρικής ροής περιορίζονται σε μηχανικά και ηλεκτρικά συστήματα, αντίστοιχα) και στερούνται της δυνατότητας που παρουσιάζει η ενέργεια για διαφαινομενολογική, ενοποιημένη ανάλυση συστημάτων. Οι περισσότεροι από τους μαθητές που κατέφυγαν σε έννοιες εκτός από την ενέργεια για την ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών στηρίχθηκαν στην ιδέα της δύναμης, όπως φαίνεται στα ακόλουθα παραδείγματα

«Και τα δύο γυρίζουν με τη δύναμη. Η δύναμη της μπαταρίας και η δύναμη του ανέμου.»

«Η αρίδα στο ηλεκτρικό τρυπάνι περιστρέφεται με τη δύναμη του ηλεκτρισμού ενώ στην άλλη αρίδα είναι η δύναμη της γυναίκας που την κάνει να περιστρέφεται.»

Οι φαινομενολογικά προσανατολισμένες απαντήσεις καλύπτουν συνολικά το 26% των απαντήσεων των μαθητών στην ομάδα Δ και το 18% των απαντήσεων στην ομάδα Γ. Αυτές οι απαντήσεις είναι πολύ πιο συχνές στην περίπτωση της ερμηνείας μεμονωμένων μεταβολών (29% σε σύγκριση με 6% στην περίπτωση της ενιαίας ερμηνείας ζεύγους μεταβολών) και αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί με βάση το γεγονός ότι τα αντικείμενα (π.χ.

μπαταρία) ή οι διεργασίες (π.χ. περιστροφή του καρπού της γυναίκας) στις οποίες αναφέρονταν οι μαθητές για να εξηγήσουν τις μεταβολές αφορούσαν μόνο στο ένα από τα δύο συστήματα του ζεύγους.

Πίνακας 5: Κατηγορίες απάντησης για τα δύο ζεύγη συστημάτων

	Ομάδα Δ		Ομάδα Γ	
	N	%	N	%
Εννοιολογικά προσανατολισμένες απαντήσεις				
Η ερμηνεία αποδίδεται στην ενέργεια	78	34	86	50
Η ερμηνεία αποδίδεται σε μια έννοια εκτός της ενέργειας (δύναμη, ηλεκτρισμός)	16	7	16	9
Φαινομενολογικά προσανατολισμένες απαντήσεις				
Η ερμηνεία αποδίδεται σε μια διεργασία που συμβαίνει στο σύστημα	11	5	3	2
Η ερμηνεία αποδίδεται σε μεμονωμένα αντικείμενα του συστήματος	7	3	4	2.5
Άσχετες απαντήσεις				
Ανεξάρτητες ερμηνείες	88	38.5	52	30
Άλλες απαντήσεις	29	12.5	11	6.5
	229*	100	172*	100

* Σε 13 περιπτώσεις στην ομάδα Δ (5.5%) και σε 66 περιπτώσεις στην ομάδα Γ(28%) οι μαθητές παρέλειψαν να δώσουν οποιαδήποτε απάντηση.

Η βασικότερη διαφορά ανάμεσα στην κατανομή των απαντήσεων στην περίπτωση των ερμηνειών για μεμονωμένες μεταβολές και των ενιαίων ερμηνειών για ζεύγη διαφορετικών μεταβολών αφορά στην κατηγορία που περιλαμβάνει τις άσχετες απαντήσεις. Περίπου οι μισές απαντήσεις των μαθητών στην περίπτωση της ενιαίας ερμηνείας διαφορετικών μεταβολών εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία (51% και 36.5% για τους μαθητές της ομάδας Δ και Γ, αντίστοιχα) ενώ το ποσοστό στην περίπτωση της ερμηνείας μεμονωμένων μεταβολών είναι πολύ μικρότερο (2% και 0.5% για τους μαθητές της ομάδας Δ και Γ, αντίστοιχα). Ο βασικός παράγοντας που εξηγεί αυτή τη μεγάλη διαφοροποίηση συνδέεται με την αποτυχία των μαθητών να διατυπώσουν μια ενιαία ερμηνεία για τις διαφορετικές μεταβολές του κάθε ζεύγους (38.5% και 30% για τους μαθητές της ομάδας Δ και Γ, αντίστοιχα). Περίπου στις μισές από αυτές τις περιπτώσεις

(44% και 50% για τις ομάδες Δ και Γ, αντίστοιχα) οι μαθητές δήλωσαν ρητά ότι τα δύο συστήματα στο κάθε ζεύγος είναι πολύ διαφορετικά και δεν θα μπορούσαν να εξηγηθούν με ενιαίο τρόπο. Δύο ενδεικτικές απαντήσεις είναι οι ακόλουθες:

«Δεν υπάρχει μια μόνο εξήγηση και για τα δύο. Η αιτία στον ηλεκτρικό ανεμιστήρα είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και στον ανεμόμυλο είναι ο άνεμος.»

«Τα πτερύγια γυρίζουν για διαφορετικούς λόγους. Στο πρώτο γυρίζουν με την ενέργεια και στο δεύτερο με τον άνεμο.»

Οι υπόλοιποι μαθητές που έδωσαν χωριστές ερμηνείες για τα δύο συστήματα δεν αιτιολόγησαν περαιτέρω το σκεπτικό τους και η πιθανότερη ερμηνεία είναι ότι κατέληξαν σε αυτή την απάντηση επειδή δεν μπορούσαν να σκεφτούν μια κοινή εξήγηση ή επειδή πίστευαν ότι δεν μπορεί να υπάρχει μια ενιαία εξήγηση για δύο τόσο διαφορετικές μεταβολές. Αυτή η ερμηνεία ενισχύεται επίσης από τα δεδομένα που προέκυψαν από τις συνεντεύξεις, όπως φαίνεται στο ακόλουθο απόσπασμα.

Ερευνητής: Έχεις δώσει μια διαφορετική εξήγηση για την κάθε μεταβολή. Αυτό που σου ζήτησα όμως ήταν να δώσεις μόνο μία εξήγηση και για τις δύο μεταβολές..

Μαθητής: Η κάθε μεταβολή γίνεται για διαφορετικό λόγο. Δεν υπάρχει μια εξήγηση και για τα δύο.

Σε μερικές περιπτώσεις (5%) οι μαθητές απέδωσαν τη μια από τις δύο μεταβολές στην ενέργεια ενώ στηρίχθηκαν είτε σε κάποια άλλη έννοια (π.χ. δύναμη¹⁴) είτε σε φαινομενολογικά χαρακτηριστικά του συστήματος για να εξηγήσουν την άλλη. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα αυτών των απαντήσεων είναι τα ακόλουθα:

«Η αρίδα στο ηλεκτρικό τρυπάνι γυρίζει με την ενέργεια ενώ η άλλη γυρίζει με τη δύναμη που βάζει η κυρία που τη γυρίζει.»

«Η αιτία στο ηλεκτρικό ανεμιστηράκι είναι η ενέργεια ενώ τα πτερύγια στον ανεμόμυλο γυρίζουν λόγω του ανέμου.»

¹⁴ Παρόλο που θα μπορούσε κανείς να διατυπώσει μια έγκυρη ενιαία ερμηνεία για το ηλεκτρικό και το μηχανικό σύστημα με βάση την έννοια της δύναμης (αξιοποιώντας στοιχεία ηλεκτρομαγνητισμού για την περίπτωση του ηλεκτρικού συστήματος), όπως θα ήταν αναμενόμενο, οι απαντήσεις των μαθητών που κατέφυγαν σε αυτή την έννοια δεν ήταν ενημερωμένες με αυτό το σκεπτικό.

Ένα τελευταίο σημείο που χρειάζεται να αναφερθεί αφορά στο αυξημένο ποσοστό των μαθητών που παρέλειψαν να δώσουν οποιαδήποτε απάντηση στο ερώτημα για ενιαία ερμηνεία ζεύγους μεταβολών. Δεδομένου του ικανοποιητικού χρόνου που είχαν στη διάθεσή τους οι μαθητές (40 λεπτά) και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι κανένας από τους μαθητές δεν ζήτησε πρόσθετο χρόνο όταν ρωτήθηκε από τον ερευνητή, η επικρατέστερη ερμηνεία για αυτόν τον αυξημένο αριθμό απαντήσεων είναι ότι οι μαθητές δεν μπορούσαν να συνθέσουν μια ενιαία εξήγηση για τις δύο μεταβολές.

4.1.2.β. Ποιοι είναι οι ποιοτικά διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους χρησιμοποιούν οι μαθητές την ενέργεια για να εξηγήσουν (ι) μεμονωμένες μεταβολές και (ιι) ζεύγη διαφορετικών μεταβολών;

Οι απαντήσεις ενεργειακού χαρακτήρα που έδωσαν οι μαθητές έχουν εκτεθεί σε πρόσθετη επεξεργασία με στόχο τον εντοπισμό των ποιοτικά διαφορετικών τρόπων με τους οποίους αναφέρονται στην ενέργεια και να εξεταστεί ο βαθμός στον οποίο στηρίζονται στους μηχανισμούς της διάδοσης και μετατροπής μορφής. Η ανάλυση δεδομένων οδήγησε στη διαμόρφωση τεσσάρων κατηγοριών απάντησης ενεργειακού χαρακτήρα, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6: Κατηγορίες ενεργειακών απαντήσεων και ενδεικτικά παραδείγματα

Κατηγορία απάντησης	Ενδεικτικά παραδείγματα
Ερμηνείες που στηρίζονται στη διάδοση ενέργειας	<i>Τα πτερύγια γυρίζουν επειδή παίρνουν ενέργεια από την μπαταρία Η χημική ενέργεια της μπαταρίας μεταφέρεται στα πτερύγια και τα κάνει να γυρίζουν</i>
Ερμηνείες που στηρίζονται στην ιδέα της μετατροπής μορφής στην ενέργεια	<i>Γυρίζουν επειδή η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια</i>
Ερμηνείες που στηρίζονται στην ιδέα της διάδοσης και την ιδέα της μετατροπής μορφής της ενέργειας	<i>Η μπαταρία δίνει χημική ενέργεια στα πτερύγια και μετατρέπεται σε κινητική</i>
Ερμηνεία μεταβολής με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	<i>Τα πτερύγια γυρίζουν επειδή ο άνεμος έχει ενέργεια. Η αρίδα γυρίζει επειδή υπάρχει κινητική ενέργεια Το τρυπάνι λειτουργεί λόγω της ενέργειας στην μπαταρία. Σε ένα μάθημα κάναμε για τις μορφές ενέργειας. Εδώ η μορφή ενέργειας είναι η χημική</i>

Οι απαντήσεις που εντάσσονται σε κάποια από τις πρώτες τρεις κατηγορίες στηρίζονται σε δύο βασικές ιδιότητες της ενέργειας (διάδοση από ένα μέρος του συστήματος σε άλλο και μετατροπή από μια μορφή σε άλλη) οι οποίες κατέχουν κεντρική θέση στο διδακτικό πρότυπο που προωθείται σε αυτή την εργασία για την ενεργειακή ανάλυση μεταβολών (βλ. πέμπτο κεφάλαιο). Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει τις απαντήσεις που συνδέουν την ενέργεια με τις μεταβολές με ένα ασαφή τρόπο. Οι μαθητές που περιλήφθηκαν σε αυτή την κατηγορία περιορίζονταν σε γενικές και αόριστες αναφορές στον όρο ενέργεια, ή σε συγκεκριμένες μορφές ενέργειας, χωρίς να προσδιορίζουν κάποιο συγκεκριμένο ενεργειακό μηχανισμό που να μπορεί να εξηγήσει τις παρατηρούμενες μεταβολές.

Ο πίνακας 7 παρουσιάζει τις συχνότητες και τα ποσοστά εμφάνισης των απαντήσεων της κάθε κατηγορίας για το καθένα από τα δύο ερωτήματα (ερμηνεία μεμονωμένων μεταβολών και ερμηνεία ζεύγους διαφορετικών μεταβολών). Η αντιπαραβολή του τρόπου με τον οποίο κατανέμονται οι απαντήσεις στις δύο περιπτώσεις ερωτημάτων οδηγεί σε μερικές ενδιαφέρουσες διαπιστώσεις. Πρώτον, η συνολική σύγκριση ανάμεσα στις δύο ομάδες μαθητών εισηγείται ότι ο βαθμός στον οποίο προσδιορίζουν κάποιο ενεργειακό μηχανισμό (διάδοση ή/και μετατροπή μορφής) ή αναφέρονται στην ενέργεια με αόριστο

και ασαφή τρόπο δεν παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή ανάλογα με τη βαθμίδα φοίτησης ($\chi^2(1)=0.028$, $p=0.868$). Αυτή η εικόνα διαφοροποιείται όταν η σύγκριση γίνει για το καθένα από τα δύο είδη ερωτημάτων χωριστά. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση των απαντήσεων για ερμηνεία μεμονωμένων μεταβολών φαίνεται ότι το ποσοστό των ενεργειακών απαντήσεων που στηρίζονται σε κάποιον από τους δύο μηχανισμούς είναι σημαντικά μεγαλύτερο στην περίπτωση των μαθητών δημοτικού ($\chi^2(1)=5.389$, $p=0.020$). Αντίθετα, στην περίπτωση των απαντήσεων για ζεύγη διαφορετικών μεταβολών οι μαθητές γυμνασίου καταφεύγουν συχνότερα από ότι οι μαθητές δημοτικού σε απαντήσεις που στηρίζονται σε αυτές τις δυο ιδιότητες της ενέργειας ($\chi^2(1)=7.491$, $p=0.006$). Αυτό το εύρημα εισηγείται ότι οι ενεργειακές απαντήσεις των μαθητών δεν χαρακτηρίζονται από συστηματικότητα και συνέπεια αλλά στηρίζονται συχνά σε μια διαισθητική βάση. Πιο κάτω συζητείται σε περισσότερη λεπτομέρεια η καθεμιά από τις κατηγορίες απάντησης.

4.1.2.β1. Απαντήσεις με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας

Συνολικά, περίπου οι μισές από τις απαντήσεις ενεργειακού χαρακτήρα και για τα δύο είδη ερωτημάτων στηρίζονταν στην ιδιότητα της διάδοσης ενέργειας και υπάρχουν τρία στοιχεία που θα ήταν χρήσιμο να επισημανθούν. Το πρώτο από αυτά αφορά αποκλειστικά στις ερμηνείες για μεμονωμένες μεταβολές και σχετίζεται με το γεγονός ότι η συντριπτική πλειοψηφία αυτών των απαντήσεων (80% στην περίπτωση των μαθητών στην ομάδα Δ και 85% στην ομάδα Γ) συνδέεται με τα δύο ηλεκτρικά συστήματα και αυτό συνάδει με ευρήματα που έχουν δημοσιευθεί στη διεθνή ερευνητική βιβλιογραφία αναφορικά με την τάση των μαθητών να συνδέουν (και συχνά να ταυτίζουν) την ενέργεια με τον ηλεκτρισμό (Duit, 1984; Shipstone, 1984; Driver, Squires, Rushworth & Wood-Robinson, 1994). Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα δύο ηλεκτρικά συστήματα περιλαμβάνουν άμεση σύνδεση μέσω καλωδίου ανάμεσα σε αυτό που οι μαθητές θεωρούν πηγή ενέργειας (π.χ. μπαταρία) και μια ηλεκτρική συσκευή (π.χ. ηλεκτρικό τρυπάνι) θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι αυτό το χαρακτηριστικό των συστημάτων ώθησε τους μαθητές να καταφύγουν διαισθητικά στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας. Συνεπώς, οι ερμηνείες με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας είναι πιθανό να προκύπτουν με σχετική ευκολία, και ενδεχομένως αυθόρμητα, σε περιπτώσεις συστημάτων που ικανοποιούν συγκεκριμένα φαινομενολογικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης ενεργειακών απαντήσεων

Κατηγορίες απάντησης	Ερμηνεία μεμονωμένων μεταβολών				Ενιαία ερμηνεία ζεύγους μεταβολών			
	Ομάδα Δ		Ομάδα Γ		Ομάδα Δ		Ομάδα Γ	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Ερμηνείες που στηρίζονται στη διάδοση ενέργειας	127	70	128	48	20	26	31	36
Ερμηνείες που στηρίζονται στην ιδέα της μετατροπής μορφής στην ενέργεια	0	0	26	10	1	1	5	6
Ερμηνείες που στηρίζονται στην ιδέα της διάδοσης και την ιδέα της μετατροπής μορφής της ενέργειας	0	0	3	1	0	0	5	6
Ερμηνεία μεταβολής με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	55	30	109	41	57	73	45	52
	182	100	266	100	78	100	86	100

Το δεύτερο ζήτημα, το οποίο επίσης περιορίζεται στις ερμηνείες των μαθητών για μεμονωμένες μεταβολές, σχετίζεται με το γεγονός ότι το ποσοστό των μαθητών δημοτικού που καταφεύγει στην ιδιότητα διάδοσης της ενέργειας (70%) είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσοστό των μαθητών γυμνασίου (48%). Ένα μέρος αυτής της διαφοράς μπορεί να εξηγηθεί από την παρουσία ενός σημαντικού ποσοστού μαθητών γυμνασίου που στηρίχθηκαν στην ιδέα της μετατροπής μορφής και την πλήρη απουσία τέτοιων απαντήσεων από μαθητές δημοτικού. Το υπόλοιπο μέρος της διαφοράς θα μπορούσε να αποδοθεί στο μεγαλύτερο ποσοστό μαθητών γυμνασίου (41%), σε αντιπαράθεση με το αντίστοιχο ποσοστό μαθητών δημοτικού (30%), που αναφέρθηκε στην ενέργεια για να ερμηνεύσει τις παρατηρούμενες μεταβολές χωρίς να προσδιορίσει κάποιο συγκεκριμένο μηχανισμό. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι μαθητές γυμνασίου είχαν εκτεθεί σε διδασκαλία σε θέματα επιστήμης και σε εμπειρίες με το φυσικό κόσμο για πιο εκτεταμένη χρονική περίοδο θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι αυτή η περαιτέρω έκθεση δεν συνέβαλε ουσιαστικά στη βελτίωση της ικανότητάς τους να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά και με ενημερωμένο τρόπο την ενέργεια για να ερμηνεύουν μεταβολές.

Τέλος, το τρίτο σημείο συνδέεται με τη σύγκριση ανάμεσα στο ποσοστό των απαντήσεων που στηρίζονται στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας στις περιπτώσεις μεμονωμένων μεταβολών (70% και 48% για τους μαθητές δημοτικού και γυμνασίου, αντίστοιχα) σε αντιδιαστολή με τα ζεύγη διαφορετικών μεταβολών (26% και 36% για τους μαθητές δημοτικού και γυμνασίου, αντίστοιχα). Η διαφοροποίηση στη συχνότητα εμφάνισης αυτών των απαντήσεων στα δύο ερωτήματα εισηγείται ότι ενώ οι πλείστοι μαθητές καταφεύγουν στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας για να εξηγήσουν μια μεμονωμένη μεταβολή συνήθως δεν αναφέρονται σε αυτή την ιδέα για να εξηγήσουν ζεύγη διαφορετικών μεταβολών. Αυτό φαίνεται να συνδέεται με την τάση των μαθητών να περιορίζουν την ερμηνευτική δυνατότητα της ιδιότητας της διάδοσης της ενέργειας σε συγκεκριμένα συστήματα (π.χ. ηλεκτρικά κυκλώματα). Αυτή η διαπίστωση είναι συνεπής με την ιδέα ότι οι μαθητές ενεργοποιούν διαισθητικά την ιδέα της διάδοσης ενέργειας χωρίς να την αντιλαμβάνονται ως μέρος ενός ερμηνευτικού πλαισίου ανάλυσης φυσικών συστημάτων. Προφανώς, η αδυναμία των μαθητών να κατανοήσουν ότι η ενέργεια θα μπορούσε επίσης να αξιοποιηθεί για την ερμηνεία μεταβολών όπως η περιστροφή των πτερυγίων του ανεμόμυλου, τους εμποδίζει να την αντιληφθούν ως μια πιθανή ενιαία ερμηνεία.

4.1.2.β2. Αξιοποίηση της ιδιότητας της μετατροπής μορφής της ενέργειας για την ερμηνεία μεταβολών

Το ποσοστό των απαντήσεων που στηρίζονται στην ιδιότητα μετατροπής της μορφής της ενέργειας είναι ιδιαίτερα μικρό και για τις δύο ομάδες μαθητών τόσο στην περίπτωση της ερμηνείας μεμονωμένων μεταβολών όσο και στην περίπτωση κοινής ερμηνείας ζευγών μεταβολών. Στην περίπτωση των μαθητών δημοτικού, υπήρχε πλήρης απουσία απαντήσεων που αναφέρονταν σε αυτή την ιδιότητα για την ερμηνεία μεμονωμένων μεταβολών ενώ εμφανίστηκε μόνο σε 1% των απαντήσεων στην περίπτωση της ερμηνείας ζεύγους μεταβολών. Αντίστοιχα, 10% των απαντήσεων των μαθητών γυμνασίου αναφέρθηκαν σε αυτή την ιδέα για να ερμηνεύσουν μεμονωμένες μεταβολές και 6% για την ερμηνεία ζεύγους μεταβολών. Τέλος, καμιά από τις απαντήσεις των μαθητών δημοτικού δεν στηρίχθηκε στο συνδυασμό των δύο ιδεών (διάδοση ενέργειας και μετατροπή μορφής) ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στην περίπτωση των μαθητών γυμνασίου είναι 1% για ερμηνεία μεμονωμένων μεταβολών και 6% για ερμηνεία ζεύγους διαφορετικών μεταβολών. Η εξαιρετικά μικρή συχνότητα αυτών των απαντήσεων βρίσκεται σε αντίφαση με το γεγονός ότι τουλάχιστο 70% των μαθητών δημοτικού και όλοι οι μαθητές γυμνασίου είχαν εκτεθεί στο παρελθόν στο συμβατικό πρότυπο

διδασκαλίας για την ενέργεια στο οποίο αποδίδεται ιδιαίτερη σημασία στην ιδέα των μετατροπών στη μορφή της ενέργειας.

4.1.2.β3. Τάση για ασαφείς και αόριστες αναφορές στην ενέργεια

Ένα μεγάλο ποσοστό των μαθητών αναφέρθηκε στην ενέργεια με ένα αόριστο και ασαφή τρόπο χωρίς να προσδιορίζει συγκεκριμένο μηχανισμό που να τη συνδέει με τις παρατηρούμενες μεταβολές (43% και 44% για τους μαθητές δημοτικού και γυμνασίου, αντίστοιχα). Η ανάλυση των δεδομένων από τις συνεντεύξεις, στο πλαίσιο των οποίων υπήρχε η δυνατότητα υποβολής πρόσθετων διευκρινιστικών ερωτημάτων, παρείχε την ευκαιρία για πιο λεπτομερή μελέτη αυτών των απαντήσεων. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο που προέκυψε από αυτή την κατεύθυνση είναι ότι αρκετοί μαθητές που απάντησαν αρχικά με αυτό τον τρόπο, μετά από τα πρόσθετα διευκρινιστικά ερωτήματα κατέφευγαν στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας. Αυτό το μοτίβο απάντησης, το οποίο ήταν πιο συχνό στις περιπτώσεις ερμηνείας μεμονωμένων μεταβολών και ειδικότερα στα ηλεκτρικά συστήματα, αποδίδεται από το ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης στο πλαίσιο του συστήματος του ανεμόμυλου.

Μαθητής: Τα πτερύγια περιστρέφονται λόγω της ενέργειας.

Ερευνητής: Μπορείς να εξηγήσεις περισσότερο αυτό που είπες;

Μαθητής: Ο άνεμος δίνει ενέργεια στα πτερύγια και αυτά ξεκινούν να περιστρέφονται.

Μια πιθανή ερμηνεία για τις αόριστες ενεργειακές απαντήσεις των μαθητών αφορά στην πεποίθησή τους ότι η αναφορά και μόνο στην ενέργεια επαρκεί για να παρέχει μια ικανοποιητική ερμηνεία για τις παρατηρούμενες μεταβολές. Με άλλα λόγια, αντιλαμβάνονταν την ιδέα της ενέργειας ως μια θεμελιώδη ερμηνευτική ιδέα που δεν απαιτεί περαιτέρω διευκρινίσεις (Fine, 1989; Teller, 1989). Το πιο κάτω απόσπασμα είναι ενδεικτικό αυτής της προοπτικής στη σκέψη των μαθητών.

Ερευνητής: Προηγουμένως είπες ότι τα ηλεκτρικά πτερύγια περιστρέφονται λόγω της ενέργειας. Τι εννοείς με αυτό;

Μαθητής: Η ενέργεια είναι κάτι που χρειάζεται για να λειτουργούν τα διάφορα πράγματα. Η μπαταρία είναι πηγή ενέργειας και γι' αυτό περιστρέφονται τα πτερύγια.

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι οι απαντήσεις που περιλαμβάνουν ασαφή αναφορά στην ενέργεια ήταν πιο συχνές στην περίπτωση ζευγών συστημάτων (73% και 52% για μαθητές δημοτικού και γυμνασίου, αντίστοιχα) παρά στην περίπτωση μεμονωμένων μεταβολών (30% και 41% για μαθητές δημοτικού και γυμνασίου, αντίστοιχα) και αυτή η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική στην περίπτωση των μαθητών δημοτικού ($\chi^2(1)=40.89$, $p<0.001$). Έτσι, ενώ οι περισσότεροι μαθητές στηρίζονται στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας ή στη μετατροπή της μορφής της για να ερμηνεύσουν μεμονωμένες μεταβολές τείνουν να καταφεύγουν σε αόριστες αναφορές στην ενέργεια για να εξηγήσουν ζεύγος μεταβολών. Αυτή η παρατήρηση ενισχύει τον ισχυρισμό ότι οι μαθητές χρησιμοποιούν την ενέργεια διαισθητικά χωρίς να την εντάσσουν σε ένα ευρύτερο ερμηνευτικό πλαίσιο που να χαρακτηρίζεται από συνοχή.

4.1.2.γ. Σε ποιο βαθμό χρησιμοποιούν με συνέπεια οι μαθητές την ενέργεια για να ερμηνεύσουν μεμονωμένες μεταβολές ή ζεύγη μεταβολών;

Πέρα από τα ευρήματα που έχουν ήδη αναφερθεί, από τα οποία απορρέουν σαφείς ενδείξεις για την έλλειψη κατανόησης των μαθητών αναφορικά με τη δυνατότητα της ενέργειας να παρέχει ένα συγκροτημένο ερμηνευτικό πλαίσιο ανάλυσης μεταβολών, έχει γίνει μια περαιτέρω προσπάθεια διερεύνησης της συνέπειας των ενεργειακών απαντήσεων που πρότειναν οι μαθητές. Ένα εύρημα που προέκυψε από αυτή την κατεύθυνση συνδέεται με το πλήθος των μεμονωμένων μεταβολών που επέλεξαν να ερμηνεύσουν οι μαθητές με βάση την ιδέα της ενέργειας. Ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών είτε αναφέρθηκε στην ενέργεια μόνο σε ένα από τα τέσσερα συστήματα (23% και 15% για τους μαθητές του δημοτικού και του γυμνασίου, αντίστοιχα) είτε δεν αναφέρθηκε καθόλου σε αυτή την ιδέα (27% και 14% για τους μαθητές δημοτικού και γυμνασίου, αντίστοιχα). 20% των μαθητών (στην καθεμιά από τις δύο ομάδες μαθητών) στηρίχθηκε στην ενέργεια για την ερμηνεία της παρατηρούμενης μεταβολής σε δύο από τα τέσσερα συστήματα, ενώ τα ποσοστά των μαθητών δημοτικού και γυμνασίου που έδωσαν ενεργειακές ερμηνείες για τις μεταβολές σε τρία συστήματα ήταν 15% και 19%, αντίστοιχα. Τέλος, 7% των μαθητών δημοτικού και 24% των μαθητών γυμνασίου επέλεξαν να εξηγήσουν και τις τέσσερις μεταβολές με βάση την ιδέα της ενέργειας. Η συνολική σύγκριση των δύο ομάδων μαθητών δείχνει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσά τους ως προς αυτή την πτυχή ($\chi^2(4)=19.61$, $p<0.001$). Πιο συγκεκριμένα, εισηγείται ότι το πλήθος των μεταβολών για τις οποίες προτάθηκε ενεργειακή ερμηνεία από τον κάθε μαθητή διαφέρει ανάμεσα στις δύο βαθμίδες εκπαίδευσης, θέτοντας τους μαθητές γυμνασίου σε ευνοϊκότερη θέση. Αυτό το στοιχείο δείχνει ότι οι μαθητές γυμνασίου έχουν

αναπτύξει σε μεγαλύτερο βαθμό τη σύνδεση ανάμεσα στην ενέργεια και τις μεταβολές. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, δεδομένου ότι αυτή η σύνδεση έχει περισσότερο διαισθητικό χαρακτήρα θα ήταν χρήσιμο να αποφευχθεί η αξιοποίησή της ως αξιόπιστης ένδειξης κατανόησης των μαθητών για την ερμηνευτική δυνατότητα της ενέργειας.

Μια πρόσθετη ένδειξη που επίσης φανερώνει την απουσία συνέπειας στις ενεργειακές απαντήσεις των μαθητών αφορά ειδικά στην περίπτωση της ερμηνείας ζεύγους μεταβολών. Οι περισσότεροι από τους μαθητές (54% και 49% των μαθητών δημοτικού και γυμνασίου, αντίστοιχα) δεν αναγνωρίζουν την ενέργεια ως κοινή ερμηνεία μεταβολών ενώ οι περισσότεροι από τους μαθητές που διατυπώνουν ενεργειακές ερμηνείες τείνουν να περιορίζουν την εφαρμογή τους μόνο στο ένα από τα δύο ζεύγη συστημάτων (61% και 59% για μαθητές δημοτικού και γυμνασίου, αντίστοιχα). Ειδικότερα, 28% των μαθητών δημοτικού στηρίχθηκαν στην ενέργεια για να ερμηνεύσουν ένα από τα δύο ζεύγη μεταβολών ενώ 18% πρότειναν ενεργειακές ερμηνείες και για τα δύο ζεύγη συστημάτων. Τα αντίστοιχα ποσοστά για τους μαθητές γυμνασίου είναι 30% και 21% και η σύγκριση ανάμεσα στις δύο ομάδες δεν καταδεικνύει συστηματική διαφοροποίηση ($\chi^2(2)=0.63$, $p=0.73$).

Τέλος, μια τρίτη, ενδεχομένως πιο άμεση ένδειξη για τη συστηματικότητα των ενεργειακών απαντήσεων των μαθητών, συνδέεται με τη διερεύνηση της επικάλυψης που παρουσιάζεται ανάμεσα στις ενεργειακές ερμηνείες για μεμονωμένες μεταβολές και ζεύγη μεταβολών. Πιο συγκεκριμένα, 51% των μαθητών που αναφέρθηκαν στην ενέργεια για να ερμηνεύσουν τουλάχιστον μια από τις μεταβολές στο καθένα από τα δύο ζεύγη έχουν αποφύγει να στηριχθούν σε αυτή την ιδέα για την ενιαία ερμηνεία των δύο μεταβολών. Η αξιοπιστία αυτού του ευρήματος ενισχύεται από το γεγονός ότι εμφανίζεται στο καθένα από τα δύο ζεύγη συστημάτων χωριστά ($\chi^2(1)=0.91$, $p=0.34$). Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η σύγκριση ανάμεσα στους μαθητές δημοτικού και γυμνασίου αποτυγχάνει να ανιχνεύσει στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς αυτή την πτυχή ($\chi^2(1)=0.187$, $p=0.66$) και αυτό παρέχει πρόσθετη στήριξη στον ισχυρισμό ότι οι απαντήσεις των δύο ομάδων δεν εμφανίζουν αξιόλογη ποιοτική διαφοροποίηση.

4.1.2.δ. Ποιες εννοιολογικές δυσκολίες αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην προσπάθειά τους να διατυπώσουν ενεργειακές ερμηνείες για μεταβολές σε φυσικά συστήματα:

Ένας από τους στόχους αυτής της ερευνητικής προσπάθειας περιλαμβάνει τον εντοπισμό και καταγραφή των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην προσπάθειά τους να διατυπώσουν ενεργειακές ερμηνείες για τις παρατηρούμενες μεταβολές. Για να υλοποιηθεί αυτός ο στόχος, η επεξεργασία των δεδομένων έχει εστιαστεί ειδικά στις απαντήσεις των μαθητών που αναφέρθηκαν είτε στην ιδιότητα της διάδοσης ενέργειας ή στη μετατροπή της μορφής της. Η πιο λεπτομερής μελέτη αυτών των απαντήσεων κατέδειξε ότι ένα σημαντικό ποσοστό τους (44%) επηρεάζεται από προφανείς εννοιολογικές ή άλλες δυσκολίες. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι δυσκολίες που εντοπίστηκαν αφορούν και στις δύο ομάδες μαθητών και στηρίζονται από δεδομένα τόσο από τις γραπτές απαντήσεις των μαθητών όσο και από τις συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν. Δεδομένου ότι τα έργα αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν δεν σχεδιάστηκαν ειδικά για την ανίχνευση και τεκμηρίωση τυχόν δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές είναι σημαντικό να τονιστεί ότι πρέπει να αποφευχθεί το συμπέρασμα ότι το υπόλοιπο ποσοστό των μαθητών δεν επηρεάζεται από οποιεσδήποτε εννοιολογικές δυσκολίες. Αντίθετα, οι υπόλοιπες απαντήσεις θα ήταν πιο ακριβές να προσεγγιστούν ως δυνητικά έγκυρες απαντήσεις καθώς η περαιτέρω αξιολόγηση των μαθητών αξιοποιώντας πιο ευαίσθητα έργα θα μπορούσε να καταδείξει εννοιολογικές δυσκολίες και σε αυτές τις περιπτώσεις.

Η πιο σημαντική δυσκολία που εντοπίστηκε συνδέεται με την αδυναμία των μαθητών να αντιληφθούν την ενέργεια ως μια ενοποιητική ιδέα που μπορεί να συνεισφέρει στην ερμηνεία φαινομένων που εμφανίζονται σε φυσικά συστήματα ανεξάρτητα από το πεδίο από το οποίο προέρχονται. Αυτή η δυσκολία καταδεικνύεται από διάφορα από τα ευρήματα που έχουν αναφερθεί. Συνοπτικά, τα κυριότερα από αυτά περιλαμβάνουν (α) την ασυνεπή χρήση της ιδέας της ενέργειας για την ανάλυση είτε μεμονωμένων μεταβολών είτε ζευγών μεταβολών, (β) το σχετικά μικρό ποσοστό μαθητών (41%) που κατέφυγαν στην ενέργεια για την ερμηνεία ζεύγους μεταβολών, και (γ) το μεγάλο ποσοστό των μαθητών που απέτυχαν να προτείνουν ενιαία ερμηνεία για τις δύο ανεξάρτητες μεταβολές και κατέληξαν σε δύο χωριστές ερμηνείες (38.5% και 30% των μαθητών δημοτικού και γυμνασίου, αντίστοιχα).

Μια εναλλακτική ερμηνεία του τελευταίου ευρήματος εισηγείται την επίδραση μιας πρόσθετης δυσκολίας, επιστημολογικού χαρακτήρα. Πιο συγκεκριμένα, η τάση των μαθητών να δίνουν χωριστές ερμηνείες για τις δύο μεταβολές του κάθε ζεύγους, παρόλο

που τους ζητείται ρητά να προτείνουν μια ενιαία ερμηνεία, είναι πιθανό να συνδέεται με την αδυναμία τους να εκτιμήσουν ότι στην επιστήμη είναι εφικτό (και επιθυμητό) να ενοποιείται η ερμηνεία διακριτών φαινομένων.

Μια πρόσθετη, παρεμφερής, εννοιολογική δυσκολία συνδέεται με την αποτυχία των μαθητών να αντιληφθούν το διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας. Αυτή η δυσκολία προκύπτει από την τάση των μαθητών να αναφέρονται επιλεκτικά σε αυτή την ιδέα σε συγκεκριμένα συστήματα (π.χ. στα ηλεκτρικά συστήματα) και την αδυναμία τους να εκτιμήσουν τη δυναμική συνεισφορά της στην ερμηνεία συστημάτων που προέρχονται από άλλα πεδία (π.χ. μηχανικά συστήματα). Αυτή η δυσκολία καθίσταται πιο προφανής λαμβάνοντας υπόψη τις απαντήσεις των μαθητών που απέκλεισαν ρητά τη σύνδεση ανάμεσα στην ενέργεια και τη λειτουργία συγκεκριμένων συστημάτων. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης που δόθηκε από κάποιο μαθητή κατά τη διάρκεια της συνέντευξης είναι ότι *«τα περύγια του ανεμόμυλου δεν περιστρέφονται λόγω της ενέργειας αλλά λόγω του ανέμου»*.

Μια πρόσθετη δυσκολία αφορά στην τάση των μαθητών να ταυτίζουν λανθασμένα την ενέργεια με τους αντίστοιχους «φορείς» ενέργειας (energy carriers). Η διάδοση της ενέργειας από ένα μέρος του συστήματος συνοδεύεται συνήθως από την αντίστοιχη ροή ενός άλλου μεγέθους (Falk *et al.*, 1983). Για παράδειγμα, στην περίπτωση των ηλεκτρικών συστημάτων η διάδοση ενέργειας συμβαίνει παράλληλα με τη διάδοση ηλεκτρικού ρεύματος. Τα δεδομένα που προέκυψαν εισηγούνται ότι οι μαθητές συχνά αποτυγχάνουν να διακρίνουν ανάμεσα σε αυτά τα δύο στοιχεία και τείνουν να τα ταυτίζουν. Αυτή η δυσκολία είναι πιο προφανής στην περίπτωση των ηλεκτρικών συστημάτων και αυτό συνάδει με ευρήματα που έχουν δημοσιευθεί στη διεθνή βιβλιογραφία τα οποία φανερώνουν την τάση των μαθητών να μπερδεύουν και να χρησιμοποιούν αδιαφοροποίητα τους όρους ενέργεια, ηλεκτρισμός και ηλεκτρικό ρεύμα (Shipstone, 1984; Duit, 1984; Driver *et al.*, 1994).

Τα ακόλουθα δύο αποσπάσματα από δηλώσεις των μαθητών κατά τις συνεντεύξεις τεκμηριώνουν την επίδραση αυτής της δυσκολίας φανερώνοντας την τάση των μαθητών να χρησιμοποιούν τους όρους *ηλεκτρικό ρεύμα* και *ηλεκτρική ενέργεια*, αδιαφοροποίητα.

«Η μπαταρία δίνει ηλεκτρική ενέργεια στο λαμπτήρα. Το κύκλωμα είναι κλειστό και η ενέργεια επιστρέφει μετά στην μπαταρία.»

«Η ενέργεια πηγαίνει από την μπαταρία στο λαμπτήρα και μετά πίσω στην μπαταρία και αυτό κάνει το λαμπτήρα να φωτοβολεί.»

Παρόμοιες απαντήσεις εντοπίστηκαν επίσης στα δεδομένα από τις γραπτές απαντήσεις των μαθητών, όπως φαίνεται στα παραδείγματα που ακολουθούν:

«Τα πτερύγια περιστρέφονται λόγω της ενέργειας της μπαταρίας. Η μπαταρία δίνει ενέργεια, δηλαδή ηλεκτρόνια, στα πτερύγια.»

«Η ενέργεια ξεκινά από το θετικό πόλο της μπαταρίας, περνά μέσα από τα πτερύγια και φτάνει στον αρνητικό πόλο. Αυτό κάνει τα πτερύγια να περιστρέφονται.»

Παρόμοιες απαντήσεις έχουν εντοπιστεί, ωστόσο λιγότερο συχνά, στην περίπτωση του συστήματος που περιλαμβάνει τον ανεμόμυλο. Μια τυπική απάντηση που φανερώνει τη δυσκολία των μαθητών να διαφοροποιήσουν ανάμεσα στη διάδοση ενέργειας και τη μεταφορά σωματιδίων αέρα είναι το εξής: «Ο άνεμος είναι η ενέργεια που κάνει τα πτερύγια να περιστραφούν.» Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα δεν συνδέουν αυτή τη δυσκολία με το σύστημα της χειροκίνητης αρίδας και αυτό μπορεί να αποδοθεί στην απουσία προφανούς ροής οποιασδήποτε υλικής οντότητας.

Μια άλλη δυσκολία, ενδεχομένως συλλογιστικού χαρακτήρα, που έχει εντοπιστεί στις απαντήσεις των μαθητών αφορά στην αποτυχία τους να διαφοροποιήσουν ανάμεσα στο έναυσμα και την αιτία για μια μεταβολή. Η επίδραση αυτής της δυσκολίας περιορίζεται στο σύστημα του ηλεκτρικού τρυπανιού, αφού είναι το μοναδικό που περιλαμβάνει σαφή αναφορά σε συγκεκριμένο έναυσμα (η αρίδα αρχίζει να περιστρέφεται όταν ο εργάτης πατήσει το κουμπί). Δύο ενδεικτικά παραδείγματα από απαντήσεις μαθητών είναι τα ακόλουθα.

«Το τρυπάνι λειτουργεί επειδή πάτησε το κουμπί ο εργάτης.»

«Η αιτία είναι το πάτημα του κουμπιού.»

Προφανώς, η στιγμιαία δράση του πατήματος του κουμπιού αποτελεί απλώς το έναυσμα για την έναρξη της λειτουργίας του τρυπανιού και δεν μπορεί να αποτελεί επαρκή ερμηνεία της παρατεταμένης περιστροφής της. Αντίθετα, μια πιθανή ερμηνεία που θα

μπορούσε να δοθεί για αυτή τη μεταβολή περιλαμβάνει τη συνεχή διάδοση ενέργειας από την μπαταρία στο μοτέρ και την αρίδα.

Μια πρόσθετη δυσκολία συνδέεται με την προτίμηση που επιδεικνύουν οι μαθητές για μηχανικές εξηγήσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η τάση δεν περιορίζεται στους μαθητές αλλά είναι διάχυτη στην ίδια την επιστήμη και την ιστορική εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών. Για παράδειγμα, το ρεύμα της «μηχανικής φιλοσοφίας», το οποίο στηριζόταν στη θέση ότι ο φυσικός κόσμος θα μπορούσε να γίνει κατανοητός στη βάση της ιδέας των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε υλικές ουσίες είχε επιδράσει σημαντικά στο σκεπτικό και τη δράση της επιστημονικής κοινότητας μέχρι και τον 20^ο αιώνα (Holton & Brush, 2001; Cassidy, Holton & Rutherford, 2002). Ένα πρόσθετο παράδειγμα που φανερώνει την προτίμηση για μηχανικές εξηγήσεις προέρχεται από μελέτες με ακαδημαϊκούς φυσικούς οι οποίοι τείνουν να χρησιμοποιούν μηχανικά μοντέλα για να περιγράψουν και να εξηγήσουν διάφορα φαινόμενα (Slota, Chi & Joram, 1995; Reiner *et al.*, 2000). Αυτά τα μοντέλα συνεισφέρουν στη διαμόρφωση μιας απλής αναπαράστασης φαινομένων που ικανοποιεί την ανθρώπινη διαίσθηση. Σε αυτό το πλαίσιο, η τάση που εισηγούνται τα δεδομένα για ερμηνείες μηχανικού χαρακτήρα από τους μαθητές δεν μπορεί να θεωρηθεί μη αναμενόμενη. Ωστόσο, μια βασική διαφορά που φαίνεται να υπάρχει ανάμεσα στους ειδικούς και τους μαθητές αφορά στο βαθμό στον οποίο αντιλαμβάνονται το ρόλο και τη φύση των μοντέλων στην επιστήμη. Πιο συγκεκριμένα, οι ειδικοί έχουν επίγνωση των περιορισμών που χαρακτηρίζουν τα μοντέλα και είναι ικανοί να κρίνουν, ανάλογα με την περίπτωση, κατά πόσο είναι παραγωγικό να στηρίζονται σε αυτά (και σε ποιο βαθμό) ή κατά πόσο θα ήταν προτιμότερο να μεταβούν στις πιο αφηρημένες αναπαραστάσεις (Slota *et al.*, 1995). Αντίθετα, οι μαθητές δεν φαίνεται να διαθέτουν επιστημολογική επάρκεια σε σχέση με αυτό το ζήτημα (Grosslight *et al.*, 1991) και αυτό υποσκιάζει την προσπάθειά τους να αξιοποιήσουν μηχανικά μοντέλα για την ερμηνεία φαινομένων. Τα διαθέσιμα δεδομένα από τις απαντήσεις των μαθητών καθιστούν προφανή αυτή την αδυναμία. Στη συνέχεια παρατίθεται ένα ενδεικτικό απόσπασμα συνέντευξης με κάποιο από τους μαθητές και επίσης οι γραπτές απαντήσεις που πρότεινε κάποιος άλλος μαθητής για τις τέσσερις μεταβολές. Στην πρώτη περίπτωση ο μαθητής φαίνεται να ταυτίζει τη διάδοση της ενέργειας με τη ροή ηλεκτρονίων. Στη δεύτερη περίπτωση, ο μαθητής κατέληξε να δίνει μηχανικές ερμηνείες για την καθεμιά από τις τέσσερις μεταβολές.

Μαθητής: *Η μπαταρία περιέχει ενέργεια και μεταφέρεται στα πτερύγια και αρχίζουν να γυρίζουν.*

Ερευνητής: *Μπορείς να εξηγήσεις περισσότερο την απάντησή σου;*

Μαθητής: *Τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται μέσα στην μπαταρία μεταφέρονται στα πτερύγια, περνούν μέσα τους και τα κάνουν να γυρίζουν.*

Ηλεκτρικός ανεμιστήρας: *«Τα ηλεκτρόνια περνούν μέσα από τα πτερύγια και τα κάνουν να γυρίζουν.»*

Πτερύγια ανεμόμυλου: *«Ο άνεμος σπρώχνει τα πτερύγια και τα κάνει να γυρίζουν.»*

Ηλεκτρικό κύκλωμα ενός λαμπτήρα: *«Τα ηλεκτρόνια περνούν από το νήμα του λαμπτήρα και ανάβει. Τα ηλεκτρόνια μαζεύονται στο νήμα και κάνουν το κίτρινο χρώμα που βλέπουμε.»*

Χειροκίνητη αρίδα: *«Αυτό που κάνει την αρίδα να γυρίζει και να τρυπά το ξύλο είναι το ότι τη γυρίζει η κοπέλα με το χέρι της.»*

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα πιο πάνω παραδείγματα απάντησης είναι ότι οι μαθητές δεν εκτιμούν το γεγονός ότι τα μοντέλα χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένους περιορισμούς και ότι στην επιστήμη είναι σύνηθες να επινοούνται οντότητες, (οι οποίες συχνά μπορούν να αναπαρασταθούν ως υλικές οντότητες (π.χ. υποατομικά σωματίδια)) οι οποίες, ωστόσο, αποκτούν νόημα στο πλαίσιο συγκεκριμένων μοντέλων και αποσκοπούν στην ερμηνεία σχετικών φαινομένων.

Μια πρόσθετη δυσκολία συνδέεται με την αποτυχία των μαθητών να αναγνωρίζουν πηγές ενέργειας σε δοσμένα συστήματα. Αυτή η αδυναμία τους οδηγεί να αποδίδουν σε συγκεκριμένα αντικείμενα, όπως ο ρευματοδότης, την ικανότητα να παράγουν και να αποθηκεύουν ενέργεια. Για παράδειγμα, κάποιος από τους μαθητές δημοτικού δήλωσε ότι *«το ηλεκτρικό τρυπάνι λειτουργεί λόγω της ενέργειας που παράγεται από την πρίζα και δίνεται στο τρυπάνι»*. Ένα άλλο παράδειγμα απάντησης προέρχεται από ένα μαθητή γυμνασίου που δήλωσε ότι *«τα πτερύγια γυρίζουν λόγω των μηχανημάτων που βρίσκονται μέσα στον ανεμόμυλο»*.

Τα δεδομένα επίσης εισηγούνται την επίδραση μιας πρόσθετης εννοιολογικής δυσκολίας που συνδέεται με την τάση των μαθητών να ταυτίζουν την ενέργεια με τη δύναμη. Ενδεικτικά, ένας μαθητής γυμνασίου ανέφερε ότι *«η γυναίκα εξασκεί ενέργεια (δύναμη)*

στο τρυπάνι και αυτό γυρίζει και ανοίγει την τρύπα στο ξύλο». Παρόλο που αυτή η δυσκολία έχει ήδη καταγραφεί στη βιβλιογραφία (Watts & Gilbert, 1983; Ault *et al.*, 1988; Solomon, 1992; Kesidou & Duit, 1993; Driver *et al.*, 1994), υπάρχουν δύο πρόσθετα σημεία που αξίζει να αναφερθούν. Το πρώτο αφορά στην ομοιότητα που υπάρχει στην ελληνική γλώσσα ανάμεσα στον όρο «δύναμη» και «δυναμική ενέργεια». Αυτή η γλωσσική σύνδεση τείνει να περιπλέκει την προσπάθεια των μαθητών να διακρίνουν ανάμεσα στους δύο όρους. Αυτό το σημείο εντοπίστηκε άμεσα σε απαντήσεις μαθητών γυμνασίου στην περίπτωση του συστήματος με τη χειροκίνητη αρίδα, όπως φαίνεται στα εξής αποσπάσματα:

«Η γυναίκα εξασκεί δυναμική ενέργεια στο τρυπάνι. Η δυναμική ενέργεια μετατρέπεται στη συνέχεια σε κινητική.»

«Το τρυπάνι γυρίζει λόγω της δυναμικής ενέργειας που βρίσκεται στα χέρια της γυναίκας. Η δυναμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια στη συνέχεια.»

Αυτό το είδος απάντησης εντοπίστηκε αποκλειστικά σε μαθητές γυμνασίου και αυτό, ενδεχομένως, συνδέεται με την έμφαση που δίνεται στη δυναμική ενέργεια στο πλαίσιο της διδασκαλίας της μηχανικής.

Το δεύτερο σημείο αφορά στην τάση των μαθητών να χρησιμοποιούν τον όρο *δύναμη* με τρόπο που δεν συνάδει με το νόημα που αποδίδεται σε αυτόν στο ακαδημαϊκό πεδίο της φυσικής. Το ακόλουθο απόσπασμα φανερώνει αυτό το ζήτημα.

Μαθητής: *Τα ηλεκτρικό ανεμιστηράκι γυρίζει λόγω της δύναμης της μπαταρίας*

Ερευνητής: *Τι εννοείς με αυτό;*

Μαθητής: *Αν αφαιρέσουμε την μπαταρία τότε θα σταματήσουν να γυρίζουν τα περύγια. Η μπαταρία πρέπει να είναι εκεί για να γυρίζουν.*

Αυτός ο μαθητής αντιλαμβάνεται την μπαταρία ως απαραίτητη συνθήκη για την περιστροφή των περυγίων και αποδίδει σε αυτήν, την ιδιότητα της «δύναμης». Χρησιμοποιεί τον όρο «δύναμη» αντί τον όρο «ενέργεια» και δεν είναι προφανές κατά πόσο διαφοροποιεί ανάμεσα στα δύο. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο μαθητής αναγνωρίζει μια πηγή ενέργειας και ένα παραλήπτη ενέργειας. Αυτός ο συλλογισμός συνάδει με την ιδέα της διάδοσης ενέργειας με τη διαφορά ότι ο μαθητής θεωρεί, λανθασμένα, ότι αυτό που βρίσκεται αρχικά αποθηκευμένο στην μπαταρία και

διαδίδεται στα πτερύγια είναι η δύναμη. Παρά το στρεβλωμένο του χαρακτήρα, αυτό το είδος συλλογισμού θα μπορούσε, δυνητικά, να αξιοποιηθεί ως ένα αφετηριακό πλαίσιο και να αποτελέσει τη βάση για την περαιτέρω διδακτική επεξεργασία της διάκρισης ανάμεσα στη δύναμη και την ενέργεια και την ιδιότητα της διάδοσης ενέργειας.

Τέλος, τα δεδομένα που προέκυψαν από την εργασία παρέχουν ενδείξεις για πρόσθετες δυσκολίες που έχουν ήδη τεκμηριωθεί εκτενώς στην ερευνητική βιβλιογραφία, όπως η αδυναμία των μαθητών να αντιληφθούν την ιδέα ότι η ενέργεια είναι μια ποσότητα που διατηρείται (Solomon, 1992; Kesidou & Duit, 1993; Goldring & Osborne, 1994). Μια τυπική απάντηση από κάποιο μαθητή γυμνασίου, η οποία είναι ενδεικτική αυτής της δυσκολίας και συνδέεται με το σύστημα της χειροκίνητης αρίδας είναι ότι «*η γυναίκα που χρησιμοποιεί το τρυπάνι παράγει ενέργεια*». Μια πρόσθετη τυπική απάντηση ενός μαθητή δημοτικού στο πλαίσιο του συστήματος με τον ανεμόμυλο είναι ότι «*τα πτερύγια γυρίζουν λόγω του ανέμου. Ο άνεμος δημιουργεί ενέργεια και αυτό κάνει τα πτερύγια να γυρίζουν*».

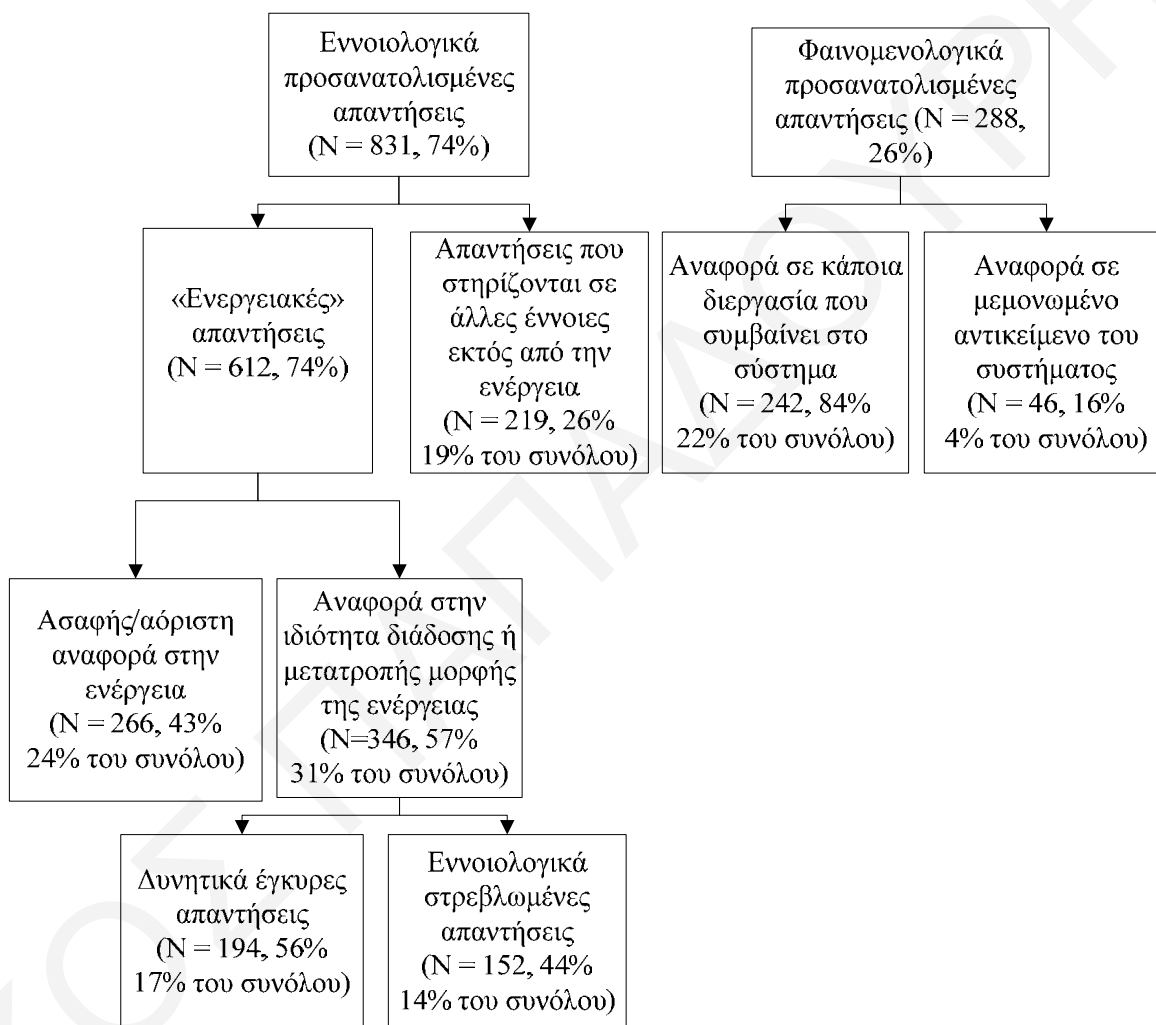
4.1.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων και απορρέουσες διδακτικές συνέπειες

Το διάγραμμα 5 συνοψίζει τις απαντήσεις των μαθητών σε σχέση με την ερμηνεία μεταβολών στα τέσσερα συστήματα. Όπως φαίνεται σε αυτό το διάγραμμα, ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών (26%) περιορίστηκε σε φαινομενολογικές περιγραφές των μεταβολών εστιάζοντας είτε σε διεργασίες είτε σε αντικείμενα που αφορούν στα αντίστοιχα συστήματα. Οι υπόλοιποι μαθητές (74%) πρότειναν ερμηνείες που στηρίζονταν σε έννοιες των φυσικών επιστημών. Το γεγονός ότι η πλειοψηφία των μαθητών πρότεινε εννοιολογικά προσανατολισμένες ερμηνείες παρέχει εμπειρική στήριξη για τη δυνατότητά τους να αναπτύξουν το θεωρητικό πλαίσιο της ενέργειας για την ανάλυση μεταβολών σε φυσικά συστήματα και ενθαρρύνει τον προσανατολισμό της διδακτικής πρότασης που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία.

Ένα πρόσθετο αξιοσημείωτο στοιχείο αφορά στο σημαντικό ποσοστό των εννοιολογικά προσανατολισμένων απαντήσεων που δεν αναφέρθηκαν στην ενέργεια (26%, 19% του συνόλου των απαντήσεων), παρόλο που οι μαθητές ήταν ενήμεροι ότι τα έργα αξιολόγησης σχετίζονταν άμεσα με αυτήν. Αυτό το στοιχείο αποτελεί μια ένδειξη του υψηλού βαθμού δυσκολίας που χαρακτηρίζει την εφαρμογή του ερμηνευτικού πλαισίου της ενέργειας. Τέλος, μια άλλη ενδιαφέρουσα διαπίστωση που προκύπτει από το διάγραμμα σχετίζεται με το μικρό ποσοστό μαθητών (57% των ενεργειακών απαντήσεων, 31% των συνολικών απαντήσεων) που αναφέρθηκαν είτε στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας είτε

στην ιδέα της μετατροπής της μορφής της και με το γεγονός ότι μόνο 56% αυτών των απαντήσεων (17% των συνολικών απαντήσεων) μπορούν να θεωρηθούν δυνητικά έγκυρες. Ο συνδυασμός αυτών των στοιχείων εισηγείται ότι παρά την έμφαση που δίνεται στην αξιοποίηση της ενέργειας για περιγραφές διεργασιών νωρίς στο κυπριακό εκπαιδευτικό σύστημα, μόνο ένα μικρό ποσοστό των μαθητών ήταν σε θέση να διατυπώσει έγκυρες ενεργειακές ερμηνείες για τις παρατηρούμενες μεταβολές.

Διάγραμμα 5: Σύνοψη ερμηνειών που πρότειναν οι μαθητές για τις μεταβολές



Καταληκτικά, τα δεδομένα που έχουν συζητηθεί σε αυτή την ενότητα τονίζουν ότι οι μαθητές που συμμετείχαν στην εργασία δεν ήταν σε θέση να επιδείξουν ένα συγκροτημένο σκεπτικό για την ανάλυση των μεταβολών με βάση την ιδέα της ενέργειας, και, κατά επέκταση, καταδεικνύει την αδυναμία του συμβατικού προτύπου διδασκαλίας να βοηθήσει τους μαθητές να ενσωματώσουν τις διάφορες ιδιότητες της ενέργειας συνθέτοντας ένα πλαίσιο που να χαρακτηρίζεται από συνοχή. Αυτό καθίσταται, προφανές από (α) την αποσπασματική, ελλιπή και ασυνεπή αξιοποίηση της ενέργειας από τους μαθητές, (β) την

αδυναμία τους να τη διαφοροποιήσουν από άλλες έννοιες όπως η δύναμη και το ηλεκτρικό ρεύμα, και (γ) την απουσία αναφορών στην ιδιότητα της μετατροπής της μορφής της ενέργειας, η οποία, παραδοσιακά, λαμβάνει ιδιαίτερη προσοχή στο συμβατικό πρότυπο διδασκαλίας. Αυτή η διαπίστωση ενθαρρύνει περαιτέρω την προσπάθεια που αναπτύχθηκε σε αυτή την εργασία για ανάπτυξη μιας διδακτικής προσέγγισης που να εστιάζεται στη σύνθεση των διαφόρων ιδιοτήτων της ενέργειας σε ένα ερμηνευτικό πλαίσιο.

4.1.3.α. Συνεισφορά στον εμπλουτισμό της υφιστάμενης τεχνογνωσίας αναφορικά με τη διδασκαλία και τη μάθηση για την ενέργεια

Πέρα από την επιβεβαίωση της αδυναμίας του συμβατικού προτύπου διδασκαλίας για την ενέργεια να οδηγήσει σε αξιόλογα μαθησιακά επιτεύγματα, τα διαθέσιμα δεδομένα χαρακτηρίζονται επίσης από συνεισφορά στην υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με τη μάθηση και τη διδασκαλία της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η συνεισφορά τους έγκειται στη συζήτηση που αναπτύσσεται στη σχετική ερευνητική βιβλιογραφία για τη χρησιμότητα της ιδέας των μορφών της ενέργειας στη διδασκαλία και πιο συγκεκριμένα με την εισήγηση για αποκλειστική επικέντρωση στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας και εξαίρεση της ιδιότητας της μετατροπής μορφής από τη διδασκαλία (Ellse, 1988). Τα διαθέσιμα δεδομένα αποτυγχάνουν να παρέχουν εμπειρική στήριξη για την αποτελεσματικότητα αυτής της προσέγγισης αφού αμφισβητούν τη δυνατότητα της ιδιότητας της διάδοσης της ενέργειας να λειτουργήσει ως ικανή συνθήκη για τη διατύπωση επαρκών ερμηνειών για τις υπό μελέτη μεταβολές. Αυτό προκύπτει από δύο πτυχές των διαθέσιμων δεδομένων. Η πρώτη σχετίζεται με τη διαπίστωση ότι η σύνδεση που φαίνεται να έχουν εγκαθιδρύσει οι μαθητές ανάμεσα στην ιδιότητα της διάδοσης ενέργειας και την ερμηνεία μεταβολών έχει συνήθως διαισθητικό χαρακτήρα και δεν συνοδεύεται από πραγματική κατανόηση της ερμηνευτικής της δυνατότητας και του διαφαινομενολογικού της χαρακτήρα. Αυτή η διαπίστωση τεκμηριώνεται, για παράδειγμα, από την τάση των μαθητών να περιορίζουν το εύρος εφαρμογής της σε συστήματα που ικανοποιούν συγκεκριμένους φαινομενολογικούς περιορισμούς (π.χ., συστήματα που περιλαμβάνουν μια πηγή, τουλάχιστον έναν αποδέκτη ενέργειας και μια σαφή φυσική σύνδεση ανάμεσά τους). Η δεύτερη πτυχή σχετίζεται με το γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό των απαντήσεων που στηρίχθηκαν αποκλειστικά στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας ήταν στρεβλωμένες (περίπου οι μισές από τις απαντήσεις της κάθε ομάδας μαθητών) λόγω σαφούς επίδρασης συγκεκριμένων εννοιολογικών, επιστημολογικών ή συλλογιστικών δυσκολιών. Μια παραδοχή που υιοθετείται στην παρούσα εργασία, η οποία συνάδει με τα διαθέσιμα δεδομένα, είναι ότι η ιδιότητα της μετατροπής της μορφής της ενέργειας δεν θα πρέπει να

εξαιρεθεί από τη διδασκαλία αφού είναι πιθανό να μπορεί να συνεισφέρει στη βελτίωση της ικανότητας ερμηνείας και ανάλυσης μεταβολών σε φυσικά συστήματα. Πιο συγκεκριμένα, η ενσωμάτωση αυτής της ιδέας θα μπορούσε να λειτουργήσει συμπληρωματικά ενισχύοντας την ικανότητα των μαθητών να χειρίζονται την ενέργεια για την ανάλυση μεταβολών σε φυσικά συστήματα. Ένα στοιχείο που αξίζει να σχολιασθεί σε αυτό το σημείο αφορά στην ασυμβατότητα που παρουσιάζει, εκ πρώτης όψεως, αυτή η θέση με τα διαθέσιμα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα δείχνουν ότι μόνο ένα ιδιαίτερα περιορισμένο ποσοστό μαθητών αναφέρθηκε στην ιδέα της μετατροπής της μορφής ενέργειας. Δεδομένου ότι οι περισσότεροι μαθητές είχαν εκτεθεί στο συμβατικό πρότυπο διδασκαλίας για την ενέργεια το οποίο αποδίδει ιδιαίτερη προσοχή σε αυτή την ιδέα, θα μπορούσε κανείς να χρησιμοποιήσει αυτό το φαινομενικά παράδοξο στοιχείο ως ένδειξη της αδυναμίας της ιδέας της μετατροπής μορφής της ενέργειας να επιτελέσει χρήσιμο ρόλο στην ενίσχυση της κατανόησης των μαθητών. Αυτή η ερμηνεία, συνάδει με την εισήγηση για εξαίρεση της συγκεκριμένης ιδέας από τη διδασκαλία της ενέργειας. Ένας εναλλακτικός τρόπος προσέγγισης αυτού του παράδοξου, ο οποίος υποστηρίζεται από τα διαθέσιμα δεδομένα, προτείνει την απόδοσή του στην ανεπαρκή κατανόηση που προωθεί το συμβατικό πρότυπο διδασκαλίας για την ιδέα των μορφών ενέργειας και την ιδιότητα της μετατροπής της από μια μορφή σε μια άλλη. Ειδικότερα, το ιδιαίτερα περιορισμένο ποσοστό εμφάνισης απαντήσεων που αναφέρονται στην ιδέα της μετατροπής μορφής είναι πιθανό να οφείλεται στην αδυναμία των μαθητών να εντάξουν αυτή την ιδιότητα σε ένα ευρύτερο πλαίσιο που να της προσδίδει νόημα και ρόλο στην ανάλυση συστημάτων. Αυτή η ερμηνεία, αναδεικνύει περαιτέρω την ανάγκη για ανάπτυξη ενός συνεπούς και συγκροτημένου πλαισίου για την ενέργεια εντός του οποίου να εισάγονται και να αποκτούν νόημα και συνοχή οι διάφορες ιδιότητές της, περιλαμβανομένης της μετατροπής της από μια μορφή σε μια άλλη.

4.1.3.β. Συνέπειες για σχεδιασμό διδακτικού υλικού

Τα δεδομένα που συζητήθηκαν σε αυτή την ενότητα παρέχουν χρήσιμες ενδείξεις που θα μπορούσαν να ενημερώσουν σημαντικά το σχεδιασμό της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Μια τέτοια ένδειξη αφορά στις διάφορες δυσκολίες που έχουν εντοπιστεί στις απαντήσεις των μαθητών. Αυτή η ένδειξη θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για να υποδείξει δραστηριότητες που θα ήταν χρήσιμο να παρεμβληθούν στο διδακτικό υλικό, ώστε να φέρνουν τους μαθητές αντιμέτωπους με αυτές τις δυσκολίες και να τους παρέχουν στήριξη για να τις υπερβαίνουν. Για παράδειγμα, μια από τις δυσκολίες που φάνηκαν να αντιμετωπίζουν οι μαθητές αφορά στην αδυναμία διάκρισης ανάμεσα στο έναυσμα και

στην αιτία μιας μεταβολής. Συνεπώς, θα ήταν χρήσιμο να περιληφθούν στην ακολουθία δραστηριοτήτων κατάλληλα επιλεγμένα συστήματα που θα επιτρέπουν τη διδακτική διαχείριση αυτής της διάκρισης. Μια άλλη δυσκολία αφορά στην τάση των μαθητών να περιορίζουν την ερμηνευτική δυνατότητα της ενέργειας σε ηλεκτρικά συστήματα. Αυτή η δυσκολία θα μπορούσε να τύχει χειρισμού μέσα από τη συμπερίληψη συστημάτων που καλύπτουν μεγάλο εύρος πεδίων της επιστήμης (π.χ. ηλεκτρικά, μηχανικά, θερμικά συστήματα), ώστε να δοθεί στους μαθητές η ευκαιρία να εφαρμόσουν το θεωρητικό πλαίσιο σε διαφορετικά συστήματα.

Εκτός από τις προτάσεις για σχεδιασμό δραστηριοτήτων για τη διαχείριση των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές, τα δεδομένα παρέχουν επίσης ενδείξεις για συγκεκριμένα στοιχεία των αρχικών ιδεών των μαθητών τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν διδακτικά. Ένα σχετικό παράδειγμα αφορά στην τάση των μαθητών να περιορίζουν την ιδέα της διάδοσης ενέργειας σε συστήματα που περιλαμβάνουν προφανή φυσική σύνδεση ανάμεσα στην πηγή και τον παραλήπτη ενέργειας (π.χ. καλώδιο). Σε αυτή την περίπτωση θα ήταν χρήσιμο να αξιοποιηθεί η αρχική ιδέα που διαθέτουν οι μαθητές για τη διάδοση της ενέργειας και παράλληλα να γίνει μια προσπάθεια επέκτασης του εύρους εφαρμογής της μέσω της άρσης της αχρείαστης προϋπόθεσης που θέτουν οι μαθητές για παρουσία φυσικής σύνδεσης. Αυτή η προσπάθεια θα μπορούσε να ενσωματώνει μια πρόσθετη διάσταση που αφορά στη συζήτηση της φύσης της ενέργειας, ώστε να καθοδηγηθούν οι μαθητές να αντιληφθούν ότι η προϋπόθεση της φυσικής σύνδεσης τείνει να αποδίδει υλική υπόσταση στην ενέργεια. Επομένως, η άρση αυτής της προϋπόθεσης θα μπορούσε να υποβοηθηθεί από επιστημολογική συζήτηση για τη φύση της ενέργειας, ως μη υλικής οντότητας.

4.2. Διερεύνηση αρχικών ιδεών των μαθητών για τη διαχείριση της σύγκρισης πιθανών λύσεων σε καταστάσεις λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν σε σχέση με τη διερεύνηση των αρχικών ιδεών των μαθητών αναφορικά με την επεξεργασία και σύνθεση δεδομένων για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης. Η διερεύνηση αυτού του ζητήματος στηρίχθηκε σε μια εμπειρική εργασία η οποία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με στόχο να απευθυνθεί στα ακόλουθα δύο ερωτήματα:

- Ποιες προσεγγίσεις τείνουν να εφαρμόζουν οι μαθητές (έκτης τάξης) στην προσπάθειά τους να συγκρίνουν τις πιθανές λύσεις ώστε να διαχειριστούν καταστάσεις λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα;
- Ποιες συλλογιστικές δυσκολίες αντιμετωπίζουν οι μαθητές σε αυτή τους την προσπάθεια;

Στη συνέχεια παρατίθενται τα μεθοδολογικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν αυτή την εμπειρική εργασία και ακολούθως περιγράφονται και συζητούνται τα βασικά ευρήματα που προέκυψαν.

4.2.1. Μεθοδολογικά στοιχεία

4.2.1.α. Μέσα συλλογής δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση των δύο ερωτημάτων έχουν ληφθεί αξιοποιώντας δύο μεθόδους. Η πρώτη περιλαμβάνει τις γραπτές απαντήσεις των μαθητών σε έργα ανοικτού τύπου και η δεύτερη ατομικές συνεντεύξεις. Αυτές οι δύο πηγές δεδομένων στηρίχθηκαν σε τρία έργα αξιολόγησης. Δύο από αυτά (Έργα Αξιολόγησης I και II) απαντήθηκαν από τον κάθε μαθητή γραπτώς. Το τρίτο έργο (Έργο Αξιολόγησης III) χορηγήθηκε στο πλαίσιο συμπληρωματικών συνεντεύξεων στις οποίες συμμετείχε ένα υποσύνολο των μαθητών (N=20) που είχαν εμπλακεί στη συμπλήρωση των γραπτών έργων αξιολόγησης. Τα δεδομένα από αυτές τις δύο πηγές συνδυάστηκαν με στόχο να περιγράψει ο τρόπος με τον οποίο διαχειρίζονται οι μαθητές καταστάσεις λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα και πιο συγκεκριμένα οι προσεγγίσεις που ακολουθούν για να συγκρίνουν τις πιθανές λύσεις και να αντιπαραβάλουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

4.2.1.β. Δομή και περιεχόμενο έργων αξιολόγησης

Το καθένα από τα τρία έργα αξιολόγησης παρουσίαζε στους μαθητές μια συγκεκριμένη κατάσταση λήψης απόφασης και τους ζητούσε να επεξεργαστούν τα δεδομένα που τους δίνονταν με στόχο να αντιπαραβάλουν τις υποψήφιες λύσεις και να καταλήξουν σε τεκμηριωμένη εισήγηση για τη βέλτιστη λύση. Αυτή η προσέγγιση έχει χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενες έρευνες οι οποίες αποσκοπούσαν να διερευνήσουν συλλογιστικές πτυχές της ικανότητας των μαθητών να χειρίζονται καταστάσεις λήψης απόφασης (Bereby-Meyer, Assor & Katz, 2004; Eggert & Bögeholz, in press).

Τα τρία έργα αξιολόγησης σχεδιάστηκαν ειδικά για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας και λήφθηκε ειδική πρόνοια ώστε να ικανοποιούν τους ακόλουθους περιορισμούς:

- (α) η κατάσταση λήψης απόφασης χρειάζεται να συνδέεται με τεχνολογικές επινοήσεις ή να παρουσιάζει σαφείς συνδέσεις με την επιστήμη
- (β) τα θέματα που αφορούν στις καταστάσεις λήψης απόφασης πρέπει να επιλεγούν, ώστε να μην συνδέονται άμεσα με τα ενδιαφέροντα των μαθητών και να μειώνεται έτσι η πιθανότητα να διαθέτουν έντονες απόψεις και στάσεις για αυτά
- (γ) ο ρόλος της εννοιολογικής κατανόησης στη σύγκριση των εναλλακτικών επιλογών πρέπει να είναι υποβαθμισμένος
- (δ) τα κριτήρια και οι εναλλακτικές επιλογές θα δίνονται στους μαθητές
- (ε) δεν πρέπει να υπάρχουν τέλειες λύσεις που να υπερτερούν σε όλα τα κριτήρια.

Αυτοί οι περιορισμοί κρίθηκαν σκόπιμοι, ώστε να καταστεί εφικτή η αξιολόγηση των δεξιοτήτων συλλογισμού των μαθητών σε σχέση με τη σύγκριση εναλλακτικών επιλογών σε καταστάσεις λήψης απόφασης. Ειδικότερα, αποσκοπούν στον περιορισμό της επίδρασης του ρόλου της εννοιολογικής κατανόησης και του συστήματος αξιών που υιοθετούν οι μαθητές αναφορικά με το υπό ανάλυση θέμα, ώστε να καταστεί εφικτή η επικέντρωση στη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο χειρίζονται τη συλλογιστική πτυχή του εντοπισμού προτιμητέας λύσης.

4.2.1.β1. Έργο αξιολόγησης I

Το πρώτο έργο αξιολόγησης (διάγραμμα 6) συνδέεται με την επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας για το νέο σταθμό αφαλάτωσης θαλάσσιου νερού. Περιλαμβάνει δύο πιθανές λύσεις (περιοχή Α και περιοχή Β) και τρία κριτήρια (αριθμός ατόμων που θα επωφεληθούν από την παρουσία του σταθμού, συνολικό κόστος και απόσταση από κατοικημένες περιοχές). Οι μαθητές είχαν ενημερωθεί ρητά (τόσο γραπτώς όσο και προφορικά στο πλαίσιο των οδηγιών που είχε δώσει ο ερευνητής) ότι η επιλογή τοποθεσίας θα πρέπει να στηριχθεί και στα τρία αυτά κριτήρια. Οι μαθητές είχαν στη διάθεσή τους πληροφορίες για την κάθε περιοχή σε σχέση με τα τρία κριτήρια και τους ζητήθηκε να εντοπίσουν την περιοχή που θεωρούν καταλληλότερη, εξηγώντας το συλλογισμό τους.

Διάγραμμα 6: Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης I

Σενάριο: επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του νέου σταθμού αφαλάτωσης
Στόχος μαθητών: επιλογή της καταλληλότερης λύσης λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια

Πιθανές λύσεις

Κριτήρια	Πιθανές λύσεις	
	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν ⁱ	110 000 κάτοικοι	105 000 κάτοικοι
Κόστος ανέγερσης σταθμού ⁱⁱ	90 000 λίρες	65 000 λίρες
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές ⁱ	2Km	7Km

i: Πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μεγάλο
ii: Πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό

4.2.1.β2. Έργο αξιολόγησης II

Η μοναδική διαφορά ανάμεσα στο πρώτο και στο δεύτερο έργο αξιολόγησης (διάγραμμα 7) είναι ότι ένα από τα τρία κριτήρια (απόσταση από κατοικημένες περιοχές) έχει εξαιρεθεί και, επομένως, η απόφαση χρειάζεται να ληφθεί λαμβάνοντας υπόψη μόνο τα υπόλοιπα δύο κριτήρια (αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν και συνολικό κόστος).

Διάγραμμα 7: Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης II

Σενάριο: επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του νέου σταθμού αφαλάτωσης
Στόχος μαθητών: επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας λαμβάνοντας υπόψη και τα δύο κριτήρια

Πιθανές λύσεις

Κριτήρια	Πιθανές λύσεις	
	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν ⁱ	110 000 κάτοικοι	105 000 κάτοικοι
Κόστος ανέγερσης σταθμού ⁱⁱ	90 000 λίρες	65 000 λίρες

i: Πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μεγάλο
ii: Πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό

4.2.1.β3. Έργο αξιολόγησης III

Το έργο αξιολόγησης που περιλήφθηκε στο πρωτόκολλο συνέντευξης (διάγραμμα 8) συνδέεται με μια παρόμοια κατάσταση λήψης απόφασης, η οποία περιλαμβάνει την επιλογή της τοποθεσίας στην οποία θα εγκατασταθεί ο επόμενος σταθμός παραγωγής ηλεκτρισμού. Σε αυτή την κατάσταση λήψης απόφασης εμπλέκονται τρεις επιλογές (περιοχές A, B και Γ) και τρία κριτήρια (απόσταση από θάλασσα, απόσταση από κατοικημένες περιοχές και κόστος).

Διάγραμμα 8: Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης III

Σενάριο: επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας για εγκατάσταση του νέου ηλεκτροπαραγωγού σταθμού				
Στόχος μαθητών: επιλογή της καταλληλότερης λύσης λαμβάνοντας υπόψη <u>όλα</u> τα κριτήρια				
Πιθανές λύσεις				
Κριτήρια		Περιοχή A	Περιοχή B	Περιοχή Γ
	Απόσταση από κατοικημένες περιοχές ⁱ	4km	2km	3km
	Απόσταση από τη θάλασσα ⁱⁱ	10km	2km	6km
	Συνολικό κόστος (σε λίρες) ⁱⁱ	9 000 000	12 000 000	11 800 000

i: Πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μεγάλο
ii: Πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό

4.2.1.β4. Σύγκριση των τριών έργων αξιολόγησης

Τα τρία έργα αξιολόγησης διαφοροποιούνται ανάλογα με το βαθμό πολυπλοκότητάς τους, ο οποίος προκύπτει από το πλήθος των εναλλακτικών επιλογών και των σχετικών κριτηρίων που εμπλέκουν. Όσο αυξάνεται αυτό το πλήθος τείνει να καθίσταται πιο σύνθετη η διαχείριση της κατάστασης λήψης απόφασης αφού χρειάζεται να συντονίζονται πληροφορίες σε πολλαπλούς άξονες. Με αυτό το σκεπτικό, το έργο αξιολόγησης III είναι το πιο σύνθετο ενώ το απλούστερο είναι το έργο αξιολόγησης I. Ένα δεύτερο στοιχείο που διαφοροποιεί τις καταστάσεις λήψης απόφασης που περιλαμβάνονται στα έργα αξιολόγησης, το οποίο επίσης συνεισφέρει στη διαμόρφωση της πολυπλοκότητάς τους, αφορά στην εσωτερική τους δομή και το είδος του συλλογισμού στο οποίο χρειάζεται να εμπλακεί κανείς για να συγκρίνει τις εναλλακτικές λύσεις. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο έργο αξιολόγησης περιλαμβάνει τη σύγκριση δύο εναλλακτικών επιλογών με βάση τρία

κριτήρια. Η καθεμιά από τις επιλογές υπερτερεί έναντι της άλλης σε διαφορετικό αριθμό κριτηρίων. Στην περίπτωση του δεύτερου έργου αξιολόγησης οι μαθητές χρειάζεται να συγκρίνουν δύο εναλλακτικές επιλογές χρησιμοποιώντας δύο κριτήρια. Η καθεμιά από τις δυνατές επιλογές υπερτερεί έναντι της άλλης σε ίσο αριθμό κριτηρίων. Τέλος, το έργο που χορηγήθηκε στη συνέντευξη περιλαμβάνει τη σύγκριση τριών επιλογών στη βάση τριών κριτηρίων. Μια από τις δυνατές επιλογές τυγχάνει να έχει την ενδιάμεση επίδοση σε κάθε κριτήριο. Μια από τις άλλες δύο επιλογές υπερτερεί σε δύο κριτήρια και κατατάσσεται τελευταία στο τρίτο κριτήριο, ενώ η τρίτη επιλογή κατατάσσεται τελευταία σε δύο κριτήρια και πρώτη σε ένα κριτήριο.

4.2.1.β4. Αξιοπιστία και εγκυρότητα των εργαλείων συλλογής δεδομένων

Η αξιοπιστία των οργάνων συλλογής δεδομένων ενισχύθηκε με τρεις τρόπους. Ο πρώτος, περιλαμβάνει την αξιολόγηση των έργων από ένα έμπειρο ερευνητή με διδακτορικό τίτλο στη φυσική και ερευνητική δραστηριοποίηση στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών. Η βασική επιδίωξη αυτής της αξιολόγησης ήταν να διακριβωθεί ο βαθμός στον οποίο το καθένα από τα έργα αξιολόγησης ανταποκρινόταν στα κριτήρια που είχαν τεθεί. Επιπρόσθετα, ζητήθηκε από τον ερευνητή να παρέχει ανατροφοδότηση για τη δομή και το περιεχόμενο των έργων και για την καταλληλότητά τους να αξιολογούν την ικανότητα των μαθητών να χειρίζονται το συλλογιστικό μέρος της λήψης απόφασης. Ο δεύτερος τρόπος περιλαμβάνει την αξιολόγηση των έργων από δύο εκπαιδευτικούς με εκτεταμένη εμπειρία στη διδασκαλία του μαθήματος της επιστήμης στο δημοτικό σχολείο. Συγκεκριμένα, τα έργα αξιολόγησης δόθηκαν στους δύο εκπαιδευτικούς ζητώντας τους να σχολιάσουν την καταλληλότητα της διατύπωσης των ερωτημάτων και την πολυπλοκότητα της πληροφόρησης, σε σχέση με την ηλικία και τις δυνατότητες των μαθητών στους οποίους απευθύνονται. Ο τρίτος τρόπος αφορά στην πιλοτική χορήγηση των έργων αξιολόγησης στο πλαίσιο ατομικών συνεντεύξεων με 10 μαθητές έκτης τάξης δημοτικού σχολείου. Τα τρία έργα συζητήθηκαν με τον κάθε μαθητή με βασικό στόχο να διακριβωθεί ο βαθμός στον οποίο κατανοούσε το περιεχόμενό τους και τα σχετικά ερωτήματα. Λαμβάνοντας υπόψη την ανατροφοδότηση από αυτές τις κατευθύνσεις τα έργα έχουν υποστεί μικρές τροποποιήσεις, ώστε να τύχουν χειρισμού ζητήματα που είχαν επισημανθεί. Για παράδειγμα, οι συνεντεύξεις κατέδειξαν ότι, σε μερικές περιπτώσεις, οι μαθητές παρερμήνευαν τα δεδομένα αναφορικά με το κόστος για την υλοποίηση των πιθανών λύσεων θεωρώντας ότι η επιλογή που επιφέρει το μεγαλύτερο κόστος είναι η προτιμητέα καθώς θα διασφαλιζόταν η ποιότητα της λύσης. Αυτή η επισημάνση οδήγησε στην προσθήκη σύντομων προτάσεων στο κείμενο που περιλαμβάνεται στα έργα αξιολόγησης

οι οποίες διευκρινίζουν την κατεύθυνση συνεισφοράς του κάθε κριτηρίου στην κατάσταση λήψης απόφασης. Επιπρόσθετα, πριν από τη συμπλήρωση των έργων αξιολόγησης οι μαθητές εμπλέκονταν σε σύντομη συζήτηση στο επίπεδο της τάξης η οποία στόχευε επίσης στην προφορική διευκρίνιση αυτών των ζητημάτων και στην επίλυση σχετικών αποριών.

4.2.1.γ. Συμμετέχοντες

Τα δύο έργα αξιολόγησης δόθηκαν σε 96 μαθητές έκτης τάξης που φοιτούσαν σε δύο διαφορετικά αστικά δημοτικά σχολεία (όλοι οι μαθητές που φοιτούσαν σε δύο τμήματα από το κάθε σχολείο). Είκοσι από αυτούς τους μαθητές (10 μαθητές από το κάθε τμήμα) συμμετείχαν επίσης σε συμπληρωματικές συνεντεύξεις.

4.2.1.δ. Μέθοδος συλλογής δεδομένων

4.2.1.δ1. Γραπτά έργα αξιολόγησης

Τα έργα αξιολόγησης χορηγήθηκαν από τον ερευνητή κατά τη διάρκεια μιας διδακτικής περιόδου (σαράντα λεπτά). Πριν από τη χορήγηση, ο ερευνητής εξήγησε στους μαθητές το σκοπό της συλλογής των δεδομένων και τους διαβεβαίωσε ότι θα διασφαλιζόταν η ανωνυμία τους και ότι οι απαντήσεις τους θα χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς, και δεν θα κοινοποιούνταν ή θα συζητούνταν με τους εκπαιδευτικούς του σχολείου ή τους γονείς τους.

Αρχικά, ο ερευνητής ζητούσε από τους μαθητές να διαβάσουν την περιγραφή των έργων αξιολόγησης και προτού ξεκινήσουν να απαντούν γινόταν μια ομαδική συζήτηση με όλη την τάξη η οποία αποσκοπούσε να διασφαλίσει ότι οι μαθητές (α) κατανοούσαν ότι θα έπρεπε να επιλέξουν μόνο μια από τις εναλλακτικές επιλογές, (β) κατανοούσαν ότι η επιλογή έπρεπε να στηριχθεί αποκλειστικά στα κριτήρια που καθορίζονταν στο κάθε έργο αξιολόγησης και ότι όλα αυτά τα κριτήρια θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη, (γ) ήταν σε θέση να ερμηνεύσουν τις πληροφορίες που δίνονταν σε μορφή πίνακα στο κάθε έργο, και (δ) αντιλαμβάνονταν την κατεύθυνση συνεισφοράς των κριτηρίων και, συνεπώς, μπορούσαν να ιεραρχήσουν όλες τις εναλλακτικές επιλογές ως προς το κάθε μεμονωμένο κριτήριο (π.χ., εκτιμούσαν ότι το κόστος θα έπρεπε να είναι όσο το δυνατό χαμηλότερο ενώ ο αριθμός των κατοίκων που θα επωφεληθούν θα έπρεπε να είναι όσο το δυνατό πιο μεγάλος). Μετά από αυτή τη σύντομη συζήτηση (η οποία είχε διάρκεια περίπου πέντε λεπτών), ο κάθε μαθητής απάντησε γραπτώς στα έργα αξιολόγησης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα δύο έργα αξιολόγησης απαντήθηκαν σειριακά. Συγκεκριμένα, ο κάθε

μαθητής προχωρούσε στο δεύτερο έργο μόνο αφού είχε επιστρέψει προηγουμένως συμπληρωμένο το πρώτο. Αυτό κρίθηκε σκόπιμο, ώστε να ελεγχθεί η πιθανότητα αναθεώρησης των απαντήσεων στις οποίες είχαν καταλήξει οι μαθητές, ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασής τους με το επόμενο έργο αξιολόγησης.

4.2.1.δ2. Συνεντεύξεις

Ο κάθε μαθητής συμμετείχε σε ατομική συνέντευξη με τον ερευνητή η οποία είχε διάρκεια δεκαπέντε περίπου λεπτών. Όλες οι συνεντεύξεις ηχογραφήθηκαν και στη συνέχεια απομαγνητοφωνήθηκαν. Η κάθε συνέντευξη περιλάμβανε δύο μέρη. Η επιδίωξη του πρώτου μέρους ήταν η άντληση πρόσθετης διευκρινιστικής πληροφόρησης για τις απαντήσεις που είχαν δώσει οι μαθητές στα δύο έργα αξιολόγησης που είχαν απαντήσει γραπτώς στο προηγούμενο στάδιο. Αυτό είχε επίσης ως στόχο να συμβάλει στην προσπάθειά ερμηνείας των γραπτών απαντήσεων που είχαν συλλεγεί προηγουμένως από το σύνολο των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένης της πιθανής αποτυχίας των μαθητών να διευκρινίσουν αυθόρμητα το σκεπτικό τους στις γραπτές τους απαντήσεις, θεωρήθηκε ότι οι συμπληρωματικές συνεντεύξεις θα παρείχαν ένα μέσο άντλησης συμπληρωματικής πληροφόρησης.

Κατά το δεύτερο μέρος της συνέντευξης δινόταν στους μαθητές το τρίτο έργο αξιολόγησης (επιλογή καταλληλότερης τοποθεσίας για το νέο ηλεκτροπαραγωγό σταθμό). Σε αυτή την περίπτωση ο ερευνητής ζήτησε από τους μαθητές να εκφράζουν λεκτικά το σκεπτικό τους καθώς προσπαθούσαν να χειριστούν την κατάσταση λήψης απόφασης και να επεξεργαστούν τις πληροφορίες. Σε περιπτώσεις όπου δεν συνέβαινε αυτό αυθόρμητα ο ερευνητής υπενθύμιζε τους μαθητές και τους ενθάρρυνε να εξηγούν το σκεπτικό τους. Επίσης, όπου κρινόταν σκόπιμο και χρήσιμο ο ερευνητής υπέβαλλε πρόσθετα διευκρινιστικά ερωτήματα για τη διασάφηση των δηλώσεων των μαθητών. Τα ερωτήματα αυτά ήταν διατυπωμένα με ουδέτερο τρόπο, ώστε να μην κατευθύνονται προς συγκεκριμένες απαντήσεις οι μαθητές και να μην επηρεάζεται το σκεπτικό τους (π.χ. «Μπορείς να το εξηγήσεις περισσότερο αυτό;», «Τι εννοείς με αυτό;»). Μόλις οι μαθητές κατέληγαν σε μια αρχική απόφαση, η οποία καταγραφόταν ως η «αυθόρμητη απόφαση», ο ερευνητής υπέβαλλε πρόσθετα ερωτήματα που αποσκοπούσαν να αναδείξουν ασυνέπειες στο σκεπτικό τους. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις όπου οι μαθητές αγνοούσαν τις αδυναμίες της περιοχής που είχαν επιλέξει αρχικά, προσπαθούσε να τους φέρει άμεσα αντιμέτωπους με αυτό το ζήτημα θέτοντας σχετικά ερωτήματα. Ως αποτέλεσμα αυτών των πρόσθετων ερωτημάτων, οι μαθητές αρκετά συχνά κατέληγαν να διαφοροποιούν την

αρχική τους απόφαση. Η καταληκτική τους απόφαση καταγραφόταν ως «τελική απόφαση».

4.2.1.ε. Ανάλυση δεδομένων

Όλες οι απαντήσεις των μαθητών αναλύθηκαν ως προς το περιεχόμενό τους με στόχο την περιγραφή και απόδοση της διαφοροποίησης που υφίστανται. Για τη διαμόρφωση του συστήματος κατηγοριοποίησης των δεδομένων ο ερευνητής συνεργάστηκε στενά με δεύτερο ερευνητή ακολουθώντας τις διαδικασίες που αναλύθηκαν στο τρίτο κεφάλαιο (βλ. 3.3.3.α.). Στο πλαίσιο της επεξεργασίας των δεδομένων διαμορφώθηκαν κατηγορίες απάντησης οι οποίες περιγράφουν τις ποιοτικά διαφορετικές προσεγγίσεις που εμφανίστηκαν για τη διαχείριση της κάθε κατάστασης λήψης απόφασης. Παράλληλα, γινόταν προσπάθεια εντοπισμού και καταγραφής των δυσκολιών που επηρεάζουν το σκεπτικό των μαθητών υπονομεύοντας την αξιοπιστία του τρόπου με τον οποίο προσεγγίζουν τις καταστάσεις λήψης απόφασης. Καθώς εξελισσόταν η διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων, διαμορφώνονταν σταδιακά κατηγορίες απαντήσεων, οι οποίες είχαν ως στόχο να περιγράψουν τους ποιοτικά διαφορετικούς τρόπους στους οποίους στηρίζονταν οι μαθητές για να συγκρίνουν τις εναλλακτικές επιλογές. Έτσι, οι κατηγορίες δεν είχαν καθοριστεί εκ των προτέρων με κάποιο τρόπο αλλά προέκυψαν ως αποτέλεσμα της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων και αναπροσαρμόστηκαν πολλές φορές καθώς μελετούνταν νέα δεδομένα, ώστε να περιγράψουν όσο το δυνατό καλύτερα το σύνολο των δεδομένων.

Ένα σημαντικό μέρος των δεδομένων (περίπου 30%) κωδικοποιήθηκε ανεξάρτητα από ένα άλλο ερευνητή που ήταν ενήμερος με τη σχετική έρευνα και ήταν εξοικειωμένος με τη διαδικασία της ανάλυσης των δεδομένων. Ο ερευνητής αυτός είχε στη διάθεσή του το σύστημα κατηγοριών που αναπτύχθηκε για το κάθε έργο αξιολόγησης και σχετική περιγραφή της κάθε κατηγορίας και του ζητήθηκε να εντάξει τις απαντήσεις των μαθητών σε αυτές τις κατηγορίες. Το ψηλό ποσοστό συμφωνίας ανάμεσα στους δύο ερευνητές (87%), παρέχει μια ενθαρρυντική ένδειξη για την καταλληλότητα του συστήματος κατηγοριοποίησης και επίσης της αξιοπιστίας της διαδικασίας κωδικοποίησης των δεδομένων. Οι διαφωνίες που εμφανίστηκαν σε αυτό το πλαίσιο επιλύθηκαν μέσα από συζήτηση ανάμεσα στους δύο ερευνητές με στόχο την επίτευξη συναίνεσης.

4.2.2. Αποτελέσματα

Αυτή η ενότητα παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές. Το κάθε έργο αξιολόγησης συζητείται χωριστά ενώ η ενότητα καταλήγει με μια σύντομη συνολική συζήτηση για τις διαφοροποιήσεις που παρατηρήθηκαν στα τρία έργα.

4.2.2.α. Έργο αξιολόγησης I

Η επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών οδήγησε στη διαμόρφωση τριών κατηγοριών (πίνακας 8) που περιγράφουν τη διαφοροποίηση που υφίστανται. Η πιο συχνή κατηγορία απάντησης, η οποία περιλαμβάνει το 79% των μαθητών (N=76), αναφέρεται στην επιλογή της περιοχής που έχει την καλύτερη επίδοση στα περισσότερα κριτήρια. Η βασική ιδέα σε αυτή την κατηγορία είναι ότι η περιοχή B είναι προτιμότερη από την A αφού είναι πρώτη σε δύο από τα τρία κριτήρια. Αυτή η κατηγορία απάντησης εμφανίστηκε σε τρεις διαφορετικές παραλλαγές. Η πρώτη παραλλαγή ακολουθήθηκε από 15% των μαθητών που αναγνώρισαν την αδυναμία της περιοχής που επέλεξαν (είναι η χειρότερη σε ένα από τα κριτήρια) αμφισβητώντας ρητά τη σημασία της και τη δυνατότητά της να επηρεάζει δυσμενώς τη σύγκρισή της με την εναλλακτική περιοχή, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.

«Η περιοχή B είναι η καλύτερη διότι έρχεται πρώτη σε δύο από τα τρία κριτήρια. Παρόλο που ο αριθμός των κατοίκων εκεί είναι λιγότερος κατά 5000 είναι πολύ μικρή αυτή η διαφορά.»

Η δεύτερη παραλλαγή περιλαμβάνει 23% των μαθητών, οι οποίοι αναφέρθηκαν απλώς στην αδυναμία της περιοχής που επέλεξαν χωρίς περαιτέρω σχόλια.

«Περιοχή B. Είναι η καλύτερη σε δύο παράγοντες. Το μόνο πρόβλημα είναι ότι είναι μικρός ο αριθμός των κατοίκων που θα επωφεληθούν.»

Πίνακας 8: Προσεγγίσεις διαχείρισης πρώτου έργου αξιολόγησης

Κατηγορία απάντησης	N	%
Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσεται πρώτη η κάθε λύση	76	79
Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση ένα μεμονωμένο κριτήριο	8	8.5
Άσχετη απάντηση	12	12.5

Τέλος, η τρίτη παραλλαγή περιλαμβάνει 41% των μαθητών οι οποίοι αναφέρθηκαν στα δύο πλεονεκτήματα της περιοχής που επέλεξαν και παρέλειψαν να σχολιάσουν το μειονέκτημα που παρουσιάζει.

«Η περιοχή B είναι η καλύτερη. Έρχεται πρώτη σε δύο κριτήρια.»

«Επιλέγω την περιοχή B επειδή είναι καλύτερη στους περισσότερους παράγοντες.»

Οι απαντήσεις των μαθητών στις τελευταίες δύο παραλλαγές παρουσιάζουν ασάφεια καθώς η απλή αναφορά στην αδυναμία της περιοχής που έχει επιλεγεί ή η απουσία σχετικής αναφοράς, δεν παρέχει οποιαδήποτε ένδειξη για το σκεπτικό των μαθητών σε σχέση με αυτό το ζήτημα. Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις, κατά τις οποίες υπήρχε η δυνατότητα υποβολής πρόσθετων διευκρινιστικών ερωτημάτων, εισηγούνται δύο πιθανά ενδεχόμενα αναφορικά με το σκεπτικό αυτών των μαθητών. Το πρώτο είναι ότι η διαφορά στον αριθμό των κατοίκων εκλήφθηκε ως ιδιαίτερα μικρή για να διαταράξει το πλεονέκτημα που αποκομίζει η περιοχή που έχει επιλεγεί λόγω της υπεροχής της σε δύο κριτήρια. Αυτό το σκεπτικό, το οποίο αποτυπώνεται στο ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης, ταυτίζεται με την πρώτη παραλλαγή αυτής της κατηγορίας απάντησης.

Ερευνητής: Στη γραπτή σου απάντηση προτείνεις την περιοχή B, η οποία είναι καλύτερη σε δύο από τα τρία κριτήρια. Μπορείς να εξηγήσεις λίγο τι εννοείς με αυτό;

Μαθητής: Σε αυτή την περιοχή το κόστος είναι χαμηλότερο. Επίσης, η απόσταση από κατοικημένες περιοχές είναι μεγαλύτερη στην περιοχή A. Ο αριθμός των κατοίκων εδώ (περιοχή B) είναι μικρότερος αλλά μόνο κατά 5000. Αυτή η διαφορά είναι πολύ μικρή.

Το δεύτερο πιθανό ενδεχόμενο συνδέεται με την ιδέα ότι ο αριθμός των κριτηρίων στα οποία κατατάσσονται πρώτες οι υποψήφιες περιοχές καθορίζει τη βέλτιστη λύση. Αυτή η προσέγγιση αποδίδεται από το ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης.

Ερευνητής: Μπορείς να εξηγήσεις γιατί επέλεξες την περιοχή B;

Μαθητής: Πιστεύω ότι η περιοχή B είναι η καλύτερη. Το κόστος είναι μικρότερο και η απόσταση από τις κατοικημένες περιοχές είναι μεγαλύτερη. Παρόλο που ο αριθμός των κατοίκων είναι μεγαλύτερος στην περιοχή A αυτή έχει μόνο ένα πλεονέκτημα και έχει δύο μειονεκτήματα. Η περιοχή B έχει δύο πλεονεκτήματα και μόνο ένα μειονέκτημα.

Προφανώς, αυτή η προσέγγιση είναι στρεβλωμένη αφού στηρίζεται σε δύο ιδιαίτερα περιοριστικές παραδοχές οι οποίες δεν διασφαλίζονται από το σενάριο της κατάστασης λήψης απόφασης. Πιο συγκεκριμένα, θεωρεί δεδομένο ότι (α) όλα τα κριτήρια είναι εξίσου σημαντικά και (β) ο κρίσιμος παράγοντας στη σύγκριση των πιθανών λύσεων είναι η διάταξή τους με βάση την καταλληλότητά τους ανεξάρτητα από τα μεγέθη των διαφορών που παρουσιάζονται μεταξύ τους.

Οι τρεις παραλλαγές της πρώτης κατηγορίας απάντησης που έχουν συζητηθεί πιο πάνω παρουσιάζουν συγκεκριμένους περιορισμούς και είναι επιρρεπείς σε συλλογιστικές δυσκολίες. Μια από αυτές τις δυσκολίες σχετίζεται με την αποτυχία των μαθητών να εκτιμήσουν ότι είναι πιθανό, εάν συνυπολογιστούν οι διαφορές που παρουσιάζουν μεταξύ τους οι εναλλακτικές επιλογές στα διάφορα κριτήρια, να υπερνικηθεί το πλεονέκτημα της λύσης που επιλέγεται λόγω της κατάταξής της στην πρώτη θέση στα περισσότερα κριτήρια. Έτσι, οι μαθητές δεν αναγνωρίζουν ότι είναι εφικτό να υπάρχει μια κρίσιμη τιμή αναφορικά με το μέγεθος της διαφοράς των δύο υποψήφιων περιοχών σε σχέση με τον αριθμό των κατοίκων που επωφελούνται για την οποία η περιοχή A καθίσταται προτιμητέα παρόλο που υστερεί στα άλλα δύο κριτήρια.

Μια πρόσθετη δυσκολία συνδέεται με την αποτυχία των μαθητών να αναγνωρίσουν την ανάγκη να λάβουν υπόψη τους το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων. Αυτή η προσέγγιση εστιάζεται αποκλειστικά στο πλήθος των κριτηρίων στα οποία υπερτερεί η κάθε πιθανή λύση και αγνοεί εντελώς άλλες παραμέτρους του ζητήματος. Ωστόσο, ο αυθαίρετος αποκλεισμός πληροφοριών ελλοχεύει τον κίνδυνο διατύπωσης λανθασμένων συμπερασμάτων (Klahr, 2000; Kuhn *et al.*, 1995).

Τέλος, μια άλλη δυσκολία αφορά στην περίπτωση των μαθητών που αναγνώρισαν το μειονέκτημα της τοποθεσίας που επέλεξαν, ως προς το πλήθος των κατοίκων που θα επωφεληθούν, αλλά υποβάθμισαν το ρόλο του στον καθορισμό της προτιμητέας λύσης λόγω του μικρού μεγέθους της διαφοράς που παρουσιάζει συγκριτικά με την άλλη υποψήφια περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, όπως συζητήθηκε νωρίτερα, αυτοί οι μαθητές ισχυρίστηκαν ότι η διαφορά ανάμεσα στις δύο τοποθεσίες είναι ιδιαίτερα μικρή και, συνεπώς, το προβάδισμα που προκύπτει για την περιοχή Α σε σχέση με αυτό τον παράγοντα δεν είναι ικανό να υπερνικήσει το πλεονέκτημα που παρουσιάζει η περιοχή Β λόγω της υπεροχής της στα άλλα δύο κριτήρια. Παρόλο που αυτοί οι μαθητές φαίνεται να εκτιμούν ότι τα μεγέθη των διαφορών ανάμεσα στις πιθανές λύσεις ως προς τα κριτήρια διαδραματίζουν, δυνητικά, κάποιο ρόλο στη σύγκριση των εναλλακτικών επιλογών τείνουν να καταφεύγουν σε μια αυθαίρετη κρίση αναφορικά με το βαθμό στον οποίο το συγκεκριμένο μέγεθος διαφοράς που παρατηρείται στον αριθμό των κατοίκων είναι ικανό να επηρεάσει την απόφασή τους. Αυτό φανερώνεται στα ακόλουθα παραδείγματα απάντησης:

«Η διαφορά είναι ασήμαντη.»

«5000 είναι πολύ μικρός αριθμός κατοίκων.»

Προφανώς, αυτοί οι μαθητές αποτυγχάνουν να αντιληφθούν ότι η σύγκριση με αυθαίρετα επιλεγμένες κρίσιμες τιμές υπονομεύει την αξιοπιστία της απόφασης που λαμβάνεται.

Η δεύτερη κατηγορία απάντησης περιλαμβάνει 8.5% των μαθητών (N=8) οι οποίοι κατέληξαν σε απόφαση λαμβάνοντας υπόψη μόνο ένα κριτήριο. Αυτές οι απαντήσεις μπορούν να αναλυθούν σε δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει μαθητές που καθόρισαν ρητά κάποιο από τα κριτήρια ως το σημαντικότερο και επέλεξαν την περιοχή που υπερτερεί σε αυτό. Για παράδειγμα, κάποιος από αυτούς τους μαθητές δήλωσε “*Θα επέλεγα την περιοχή Α. Ο αριθμός των κατοίκων είναι μεγαλύτερος και είναι αυτό που μετρά.*” Μια πιθανή ερμηνεία για αυτό το είδος απάντησης είναι ότι προκύπτει ως αποτέλεσμα της προσπάθειας των μαθητών να παρακάμψουν την πολυπλοκότητα της παράλληλης επεξεργασίας των τριών κριτηρίων. Ειδικότερα, ο αποκλεισμός των δύο κριτηρίων, με το σκεπτικό ότι δεν διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή περιοχής, διευκολύνει την επεξεργασία των δεδομένων αφού περιορίζει το πλήθος των διαφορετικών δεδομένων που χρειάζεται να συντονιστούν μεταξύ τους.

Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει μαθητές που αιτιολόγησαν την απόφασή τους λαμβάνοντας υπόψη μόνο ένα κριτήριο χωρίς να το καθορίζουν ρητά ως σημαντικότερο από τα άλλο δύο. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα απαντήσεων περιλαμβάνουν τα εξής:

«Η περιοχή Β είναι καλύτερη. Κοστίζει λιγότερο και τα λεφτά που θα γλυτώσει η κυβέρνηση μπορεί να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς.»

«Εισηγούμαι την περιοχή Α επειδή ο αριθμός των κατοίκων που θα πίνουν νερό είναι μεγαλύτερος.»

Όλοι οι μαθητές που απάντησαν λαμβάνοντας υπόψη μόνο ένα κριτήριο εστίασαν είτε στο κόστος είτε στον αριθμό των κατοίκων που θα επωφεληθούν ενώ κανένας δεν επικεντρώθηκε στην απόσταση από τις κατοικημένες περιοχές. Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις, τα οποία συνέβαλαν στη διαμόρφωση ευκρινέστερης εικόνας αναφορικά με το σκεπτικό των μαθητών, κατέδειξαν ότι υπάρχει μια διαφοροποίηση στην αιτιολόγηση που πρότειναν οι μαθητές ανάλογα με την περιοχή που επέλεξαν. Ειδικότερα, τα πρόσθετα ερωτήματα που υποβάλλονταν κατά τη συνέντευξη οδηγούσαν τους μαθητές που επέλεξαν την περιοχή Β να καταφεύγουν συνήθως στο επιχείρημα για το πλήθος των κριτηρίων στα οποία υπερτερεί έναντι της άλλης περιοχής. Αντίθετα, οι μαθητές που επέλεξαν την περιοχή Α έτειναν να αιτιολογούν την απόφασή τους κάνοντας αναφορά στη σημασία της ικανοποίησης των ανθρώπινων αναγκών, υποβαθμίζοντας την αντίστοιχη σημασία των άλλων δύο κριτηρίων. Έτσι, κατέληξαν να προτείνουν την περιοχή που υπερτερούσε στο συγκεκριμένο κριτήριο, ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά της σε σχέση με τα άλλα δύο κριτήρια. Αυτό το είδος συλλογισμού φανερώνεται στο ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης.

Ερευνητής: Προηγουμένως απάντησες ότι θα πρότεινες την περιοχή Α. Μπορείς να εξηγήσεις λίγο γιατί τη θεωρείς καταλληλότερη;

Μαθητής: Ο αριθμός των κατοίκων που θα επωφεληθούν σε αυτή την περιοχή είναι μεγαλύτερος.

Ερευνητής: Μπορείς να μου εξηγήσεις λίγο περισσότερο τι εννοείς;

Μαθητής: Είναι πιο σημαντικό να φροντίζουμε για τις ανάγκες των ανθρώπων παρά να εξοικονομούμε χρήματα.

Η λήψη απόφασης στη βάση ενός μόνο κριτηρίου με τον αυθαίρετο αποκλεισμό των υπολοίπων υποπίπτει σε δύο συλλογιστικά σφάλματα. Το πρώτο συνδέεται με την

αποτυχία των μαθητών να εκτιμήσουν ότι ακόμη και σε περιπτώσεις όπου κάποιο από τα κριτήρια είναι όντως σημαντικότερο από τα υπόλοιπα δεν θα ήταν αποδεκτό να συμπεράνει κανείς ότι είναι ικανό να καθορίσει τη βέλτιστη επιλογή. Η επιλογή που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο δεν είναι κατά ανάγκη η βέλτιστη αφού, εάν ληφθούν υπόψη οι διαθέσιμες πληροφορίες για τα υπόλοιπα κριτήρια είναι πιθανό να εξισορροπήσουν, ή ακόμη και να υπερνικήσουν, αυτό το πλεονέκτημα. Η δεύτερη δυσκολία, η οποία συζητήθηκε επίσης στο πλαίσιο της πρώτης κατηγορίας απαντήσεων, συνδέεται με την αποτυχία των μαθητών να αντιληφθούν ότι ο αυθαίρετος αποκλεισμός ενός μέρους των δεδομένων τείνει να υποσκάπτει την εγκυρότητα της διαδικασίας επεξεργασίας δεδομένων οδηγώντας σε στρεβλωμένα συμπεράσματα.

Η τελευταία κατηγορία αποτελείται από 12.5% των μαθητών (N=12) οι οποίοι έδωσαν άσχετες απαντήσεις. Οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές (75%) παρερμήνευσαν τις διαθέσιμες πληροφορίες. Το πιο κοινό παράδειγμα παρερμηνείας περιλαμβάνει την τάση των μαθητών να θεωρούν ότι η ακριβότερη επιλογή διασφαλίζει την καλύτερη ποιότητα. Για παράδειγμα, κάποιος μαθητής δήλωσε ότι «*ότι πληρώσεις παίρνεις*». Δεδομένης της ρητής προσπάθειας που έγινε, ώστε να προληφθούν τέτοιες παρερμηνείες, όπως συζητήθηκε νωρίτερα, το μεγάλο μέγεθος αυτού του ποσοστού θα μπορούσε να ερμηνευθεί, τουλάχιστον σε κάποιο βαθμό, ως αποτέλεσμα της ανάγκης των μαθητών να παρακάμψουν την πολυπλοκότητα του έργου αξιολόγησης. Οι υπόλοιποι μαθητές σε αυτή την κατηγορία απέτυχαν να απευθυνθούν στο ερώτημα.

4.2.2.β. Έργο Αξιολόγησης II

Οι απαντήσεις των μαθητών στο δεύτερο έργο αξιολόγησης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες όπως φαίνεται στον πίνακα 9. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει 22% των μαθητών (N=21) που κατέληξαν σε απόφαση στηριζόμενοι αποκλειστικά στο μέγεθος των αριθμητικών διαφορών που παρουσιάζουν οι πιθανές επιλογές στα σχετικά κριτήρια. Πιο συγκεκριμένα, αυτοί οι μαθητές σύγκριναν το όφελος που προκύπτει για την περιοχή A σε σχέση με το πλήθος των κατοίκων που θα επωφεληθούν (5000 περισσότεροι κάτοικοι) με το αντίστοιχο όφελος για την περιοχή B σε σχέση με το κόστος (φθηνότερα κατά 25000 λίρες) και, βάσει αυτής της σύγκρισης, επέλεξαν την περιοχή B που παρουσιάζει μεγαλύτερο συγκριτικό πλεονέκτημα. Αυτό το σκεπτικό καθίσταται προφανές από τα ακόλουθα παραδείγματα απάντησης.

«Επιλέγω την περιοχή Β επειδή η διαφορά στο κόστος είναι 25000 ενώ η διαφορά στον αριθμό των κατοίκων είναι μόνο 5000.»

«Η καλύτερη είναι η περιοχή Β. Η διαφορά στον αριθμό των κατοίκων δεν είναι τόσο μεγάλη όσο η διαφορά στα λεφτά.»

Οι μαθητές που απάντησαν με αυτό τον τρόπο προσπάθησαν να συνθέσουν τις πληροφορίες για τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των περιοχών ακολουθώντας όμως μια προσέγγιση που δεν μπορεί να θεωρηθεί έγκυρη καθώς επηρεάζεται από μια σημαντική συλλογιστική δυσκολία. Πιο συγκεκριμένα, αυτοί οι μαθητές δεν εκτιμούν ότι το συμπέρασμα από μια τέτοια σύγκριση υπόκειται σε σφάλματα λόγω του γεγονότος ότι η πληροφόρηση για τα δύο κριτήρια μετρείται σε διαφορετικές κλίμακες και είναι πιθανό να οδηγεί σε στρεβλωμένα συμπεράσματα, εκτός εάν έχει προηγηθεί κάποια αναπροσαρμογή.

Πίνακας 9: Προσεγγίσεις διαχείρισης κατάστασης λήψης απόφασης δεύτερου έργου αξιολόγησης

Κατηγορία απάντησης	N	%
Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση την αριθμητική σύγκριση του πλεονεκτήματος και του μειονεκτήματος που παρουσιάζουν οι πιθανές λύσεις στα δύο κριτήρια	21	22
Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση ένα μεμονωμένο κριτήριο	57	59
Αδυναμία καθορισμού βέλτιστης λύσης (λόγω της απουσίας προφανούς προτιμητέας λύσης)	8	8
Άσχετη απάντηση	10	11

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει 59% των μαθητών (N=57) που αιτιολόγησαν την απόφασή τους κάνοντας αναφορά σε ένα μόνο κριτήριο. Αυτή η προσέγγιση εμφανίστηκε σε δύο παραλλαγές. Η πρώτη περιλαμβάνει 31% των μαθητών που αναγνώρισαν ρητά την αδυναμία της περιοχής που επέλεξαν, όπως φαίνεται στα ακόλουθα παραδείγματα:

«Θα επιλέξω την περιοχή Α. Παρόλο που είναι πιο ακριβή θα εξυπηρετεί πιο πολλούς κατοίκους. Θα πρέπει να δούμε όλα τα κριτήρια αλλά αυτό είναι πιο σημαντικό.»

«Προτείνω την περιοχή B γιατί είναι πιο φτηνά, παρόλο που θα εξυπηρετηθούν κάπως λιγότεροι κάτοικοι. Τα λεφτά που θα εξοικονομήσει η κυβέρνηση μπορεί να τα χρησιμοποιήσει για άλλους σκοπούς.»

Αυτοί οι μαθητές επέδειξαν την τάση να θεωρούν ότι κάποιο από τα κριτήρια είναι σημαντικότερο από τα υπόλοιπα και εισηγήθηκαν ότι η τοποθεσία που έχει την καλύτερη επίδοση αναφορικά με το σημαντικότερο κριτήριο θα έπρεπε να θεωρηθεί ως η βέλτιστη. Όπως συζητήθηκε νωρίτερα, αυτό το σκεπτικό στηρίζεται στη στρεβλωμένη θέση ότι σε περιπτώσεις όπου ένα κριτήριο είναι σημαντικότερο από τα άλλα μπορεί κανείς να αποφασίσει αποκλειστικά βάσει αυτού του κριτηρίου.

Η δεύτερη παραλλαγή ακολουθήθηκε από 28% των μαθητών οι οποίοι αιτιολόγησαν την απόφασή τους κάνοντας αναφορά μόνο σε ένα από τα κριτήρια (αυτό στο οποίο υπερείχε η τοποθεσία που επέλεξαν) αγνοώντας εντελώς το άλλο κριτήριο, όπως φαίνεται στα ακόλουθα παραδείγματα:

«Επιλέγω την τοποθεσία B επειδή είναι φθηνότερη και η κυβέρνηση θα γλυτώσει λεφτά.»

«Πιστεύω ότι η τοποθεσία A είναι καλύτερη επειδή είναι μεγαλύτερος ο αριθμός των κατοίκων.»

Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις επέτρεψαν τον εντοπισμό δύο πιθανών ενδεχόμενων αναφορικά με το σκεπτικό στο οποίο στηρίζονται οι δύο παραλλαγές αυτής της κατηγορίας απάντησης. Το πρώτο σχετίζεται με τους μαθητές που επέλεξαν την περιοχή B. Αυτοί οι μαθητές επέδειξαν την τάση να καταφεύγουν, μετά από τα πρόσθετα ερωτήματα που υποβάλλονταν, στο επιχείρημα ότι η διαφορά ανάμεσα στις δύο περιοχές σε σχέση με τον αριθμό των κατοίκων που θα επωφεληθούν ήταν ασήμαντη. Αυτή η προοπτική διευκρινίζεται στο ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης.

Ερευνητής: Είπες ότι η περιοχή B είναι καλύτερη επειδή είναι φθηνότερη αυτή η λύση. Τι νομίζεις για τον αριθμό των κατοίκων που θα επωφεληθούν;

Μαθητής: Ο αριθμός των κατοίκων είναι μικρότερος στην περιοχή B αλλά η διαφορά από την A είναι πάρα πολύ μικρή.

Η δεύτερη προοπτική, η οποία εμφανίστηκε με μεγαλύτερη συχνότητα στις περιπτώσεις όπου επιλέγηκε η τοποθεσία στην οποία θα εξυπηρετούνταν περισσότεροι κάτοικοι, στηρίζεται στην παραδοχή ότι το συγκεκριμένο κριτήριο είναι πιο σημαντικό από το κόστος. Αυτό το σκεπτικό αποδίδεται μέσα από το ακόλουθο παράδειγμα.

Ερευνητής: *Προηγουμένως είπες ότι η περιοχή A είναι καλύτερη επειδή ο αριθμός των κατοίκων εκεί είναι μεγαλύτερος σε σύγκριση με την περιοχή B. Τι θα έλεγες για το άλλο κριτήριο, το κόστος;*

Μαθητής: *Ξέρουμε ότι είναι πιο ακριβά στην περιοχή A αλλά πιστεύω ότι η κυβέρνηση πρέπει πρώτα να ενδιαφέρεται για την εξυπηρέτηση των πολιτών.*

Και οι δύο προσεγγίσεις που συνδέονται με αυτή την κατηγορία απάντησης καθίστανται προβληματικές λόγω των συλλογιστικών δυσκολιών στις οποίες υποπίπτουν, οι οποίες έχουν συζητηθεί προηγουμένως. Ανάμεσα σε αυτές περιλαμβάνεται η αδυναμία των μαθητών να εκτιμήσουν ότι (α) το σημαντικότερο κριτήριο δεν καθορίζει τη βέλτιστη λύση, (β) ο επιλεκτικός και αυθαίρετος αποκλεισμός δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε στρεβλωμένα συμπεράσματα και (γ) η άμεση σύγκριση των δεδομένων με αυθαίρετες και υποκειμενικά επιλεγμένες κρίσιμες τιμές δεν μπορεί να διασφαλίσει αξιόπιστα συμπεράσματα.

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει 8% των μαθητών (N=8) οι οποίοι απέτυχαν να καταλήξουν σε απόφαση λόγω της πολυπλοκότητας που προκύπτει από την παρουσία τόσο θετικών όσο και αρνητικών στοιχείων για την κάθε πιθανή λύση. Για παράδειγμα, ένας από τους μαθητές σε αυτή την κατηγορία ανέφερε ότι «...δεν πρέπει να κτίσουμε το σταθμό σε καμιά από τις δύο τοποθεσίες. Η κάθε περιοχή είναι καλύτερη κάπου και χειρότερη σε κάποιον άλλο παράγοντα». Αντίστοιχα, κάποιος άλλος μαθητής εισηγήθηκε «να κτιστούν δύο σταθμοί, ένας σε κάθε περιοχή». Αυτοί οι μαθητές αποτυγχάνουν να διαχειριστούν την πολυπλοκότητα αναφορικά με την ανάγκη σύνθεσης των δεδομένων, ώστε να εντοπιστεί η βέλτιστη λύση. Αυτός ο ισχυρισμός ενισχύεται από τα δεδομένα της συνέντευξης όπως φαίνεται στο ακόλουθο απόσπασμα.

Ερευνητής: *Ανέφερες ότι δεν μπορείς να αποφασίσεις. Γιατί το λες αυτό;*

Μαθητής: *Αν έπρεπε να αποφασίσουμε μόνο με ένα από τα κριτήρια θα ήταν εύκολο. Αλλά μας λέει ότι πρέπει να τα λάβουμε υπόψη και τα δύο. Η κάθε περιοχή είναι καλύτερη σε ένα κριτήριο. Νομίζω ότι η κυβέρνηση θα πρέπει*

να ψάξει να βρει μια άλλη τοποθεσία που είναι καλύτερη και στα δύο κριτήρια.

Ένα στοιχείο που αξίζει να επισημανθεί είναι ότι αυτή η προσέγγιση τείνει να στηρίζεται στην παραδοχή ότι υπάρχουν τέλειες λύσεις και επομένως αντί να επιλέγονται συμβιβαστικές λύσεις είναι προτιμότερο να γίνεται προσεκτική αναζήτηση, ώστε να εντοπίζεται η τέλεια λύση σε κάθε περίπτωση.

Η τελευταία κατηγορία απάντησης αποτελείται από 11% των μαθητών (N=10) που έδωσαν άσχετες απαντήσεις. Οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές (80%) κατέληξαν να παρερμηνεύουν τα δεδομένα θεωρώντας ότι το ψηλότερο κόστος διασφαλίζει καλύτερη ποιότητα. Κάποιοι άλλοι μαθητές παραποίησαν τα δεδομένα και ισχυρίστηκαν ότι μια από τις δύο περιοχές είναι καλύτερη και στα δύο κριτήρια. Τέλος, οι απαντήσεις των υπόλοιπων μαθητών δε απευθύνθηκαν στο ερώτημα.

4.2.2.γ. Έργο Αξιολόγησης III

4.2.2.γ1. Αυθόρμητες αποφάσεις μαθητών

Οι αυθόρμητες απαντήσεις των μαθητών στο τρίτο έργο αξιολόγησης διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες (Πίνακας 10). Η πιο κοινή κατηγορία απάντησης αποτελείται από 35% των μαθητών (N=7) οι οποίοι επέλεξαν την περιοχή που είχε ενδιάμεση επίδοση για το καθένα από τα τρία κριτήρια. Τα ακόλουθα αποσπάσματα από απαντήσεις των μαθητών καταδεικνύουν αυτή την προσέγγιση:

«Προτείνω την περιοχή Γ. Δεν είναι χειρότερη σε κανένα από τα κριτήρια.

Παντού έρχεται δεύτερη.»

«Πρέπει να επιλέξουμε την περιοχή Γ. Η περιοχή Α είναι η χειρότερη σε ένα από τα κριτήρια και η περιοχή Β είναι χειρότερη σε δύο κριτήρια. Η περιοχή Γ δεν είναι χειρότερη σε κανένα από τα κριτήρια.»

Αυτές οι απαντήσεις φαίνονται να στηρίζονται σε δύο προβληματικές παραδοχές. Η πρώτη προτείνει ότι μια πιθανή λύση που είναι χειρότερη σε κάποιο (ή κάποια) από τα σχετικά κριτήρια αποκλείεται να αποτελεί τη βέλτιστη λύση και, επομένως, μπορεί να εξαιρεθεί από τη διαδικασία λήψης απόφασης. Η επίδραση αυτής της παραδοχής φανερώνεται στο ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης.

Ερευνητής: Μπορείς να εξηγήσεις για επέλεξες την περιοχή Γ;

Μαθητής: Η περιοχή Α έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη θάλασσα και η περιοχή Β είναι και η πιο ακριβή και βρίσκεται πιο κοντά στις κατοικημένες περιοχές. Είναι χειρότερες σε κάποιο κριτήριο ενώ η περιοχή Γ δεν είναι χειρότερη σε κανένα κριτήριο.

Η δέσμευση σε αυτή την παραδοχή ελλοχεύει τον κίνδυνο εξαγωγής λανθασμένων συμπερασμάτων αφού αγνοεί ότι είναι πιθανό, εάν συνυπολογιστούν οι διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στις πιθανές λύσεις στο κάθε κριτήριο, να προκύπτει ένα ισχυρό συγκριτικό πλεονέκτημα μιας περιοχής το οποίο να αντισταθμίζει την αδυναμία λόγω της κατάταξης της στην τελευταία θέση προτίμησης σε κάποιο από τα κριτήρια.

Η δεύτερη παραδοχή εισηγείται ότι η μέση λύση είναι η καταλληλότερη, όπως φαίνεται στην ακόλουθη δήλωση ενός μαθητή.

«Η περιοχή Α και η περιοχή Β έρχονται πρώτες σε κάποιο κριτήριο αλλά έρχονται και τελευταίες σε κάποιο άλλο. Η περιοχή Γ έρχεται δεύτερη σε όλα τα κριτήρια.»

Αυτή η παραδοχή είναι επίσης στρεβλωμένη καθώς η μέση λύση δεν είναι κατά ανάγκη η βέλτιστη. Παρόλο που επιτρέπει την αποφυγή «ακραίων περιπτώσεων», δηλαδή επιλογών που είναι χειρότερες σε κάποιο από τα κριτήρια, δεν παρέχει μια αξιόπιστη μέθοδο σύνθεσης των διαθέσιμων πληροφοριών και συνυπολογισμού των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των πιθανών λύσεων.

Πίνακας 10: Προσεγγίσεις διαχείρισης κατάστασης λήψης απόφασης έργου αξιολόγησης ΙΙΙ (αυθόρμητη απόφαση)

Κατηγορία απάντησης	N	%
Καθορισμός της ενδιάμεσης λύσης ως της βέλτιστης επιλογής	7	35
Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσεται πρώτη η κάθε λύση	6	30
Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση ένα μεμονωμένο κριτήριο	4	20
Αδυναμία καθορισμού βέλτιστης λύσης (λόγω της απουσίας προφανούς προτιμητέας λύσης)	3	15

Η δεύτερη κατηγορία απάντησης, η οποία αντιστοιχεί σε 30% των μαθητών (N=6), περιλαμβάνει την επιλογή της τοποθεσίας που είναι καλύτερη στα περισσότερα κριτήρια. Αυτή η προσέγγιση, η οποία έχει αναλυθεί στην περίπτωση του πρώτου έργου αξιολόγησης, περιγράφεται στο ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης.

Ερευνητής: *Μπορείς να μου εξηγήσεις λίγο περισσότερο γιατί επέλεξες την περιοχή Α;*

Μαθητής: *Έχει περισσότερα συν από τις άλλες δύο περιοχές. Είναι πρώτη σε δύο κριτήρια. Είναι πιο φτηνή και είναι η πιο μακρινή από τις κατοικημένες περιοχές.*

Η τρίτη κατηγορία απάντησης αποτελείται από τέσσερις μαθητές (20%) που επέλεξαν τοποθεσία λαμβάνοντας υπόψη μόνο ένα κριτήριο. Όλοι οι μαθητές που ακολούθησαν αυτή την προσέγγιση, η οποία έχει εντοπιστεί και στα άλλα δύο έργα αξιολόγησης, επέλεξαν την τοποθεσία Β, η οποία έχει τη μικρότερη απόσταση από τη θάλασσα. Όπως φαίνεται στο ακόλουθο απόσπασμα, οι μαθητές που απάντησαν με αυτό τον τρόπο θεώρησαν ως σημαντικότερο κριτήριο την απόσταση από τη θάλασσα και επέλεξαν την περιοχή που υπερείχε σε αυτό.

Ερευνητής: *Ποια τοποθεσία θα επέλεγες*

Μαθητής: *Την περιοχή Β. Έχει τη μικρότερη απόσταση από τη θάλασσα και το νερό είναι πολύ σημαντικό για το σταθμό. Είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας.*

Η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει τρεις μαθητές (15%) που δήλωσαν ρητά ότι δεν μπορεί να ληφθεί απόφαση λόγω της απουσίας μιας ξεκάθαρα προτιμητέας επιλογής. Αυτή η προσέγγιση φανερώνεται από το ακόλουθο απόσπασμα απάντησης.

Ερευνητής: *Ποια τοποθεσία θα επέλεγες;*

Μαθητής: *Δεν ξέρω. Η κάθε περιοχή έχει και τα καλά της και τα κακά της. Αν έπρεπε να επιλέξουμε με βάση ένα μόνο από τα κριτήρια θα ήταν εύκολο. Τώρα όμως που πρέπει να τα δούμε όλα είναι δύσκολο.*

4.2.2.γ2. Τελικές αποφάσεις μαθητών

Αφού είχαν εντοπιστεί και καταγραφεί οι αυθόρμητες αποφάσεις των μαθητών ο ερευνητής προχωρούσε στην υποβολή πρόσθετων διευκρινιστικών ερωτημάτων, ώστε να διαμορφωθεί ευκρινέστερη εικόνα για το σκεπτικό των μαθητών. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις μαθητών που επέλεξαν με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσονται πρώτες οι υποψήφιες τοποθεσίες, ο ερευνητής προσπαθούσε να επεκτείνει τη συζήτηση φέρνοντας τους μαθητές αντιμέτωπους με την αδυναμία που παρουσιάζει η συγκεκριμένη περιοχή λόγω της κατάταξής της στη χειρότερη θέση σε κάποιο από τα υπόλοιπα κριτήρια. Κατά ανάλογο τρόπο, στις περιπτώσεις των μαθητών που επέλεξαν την ενδιάμεση λύση ο ερευνητής εστίαζε την προσοχή τους στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη περιοχή δεν κατατάσσεται πρώτη σε κανένα από τα τρία κριτήρια. Τέλος, στην περίπτωση των μαθητών που επέλεξαν την περιοχή που είχε τη μικρότερη απόσταση από τη θάλασσα, ο ερευνητής προσπαθούσε να εμπλέξει τους μαθητές σε συζήτηση αναφορικά με το γεγονός ότι η συγκεκριμένη τοποθεσία τύγχανε να κατατάσσεται στη χειρότερη θέση στα άλλα δύο κριτήρια. Τα πρόσθετα ερωτήματα που υποβάλλονταν σε αυτό το πλαίσιο οδηγούσαν συχνά τους μαθητές στην τροποποίηση της αρχικής τους απόφασης. Ο πίνακας 11 συγκρίνει την κατανομή των αυθόρμητων και των τελικών αποφάσεων των μαθητών, στις τέσσερις κατηγορίες. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει ποιοτική διαφοροποίηση στις κατηγορίες απάντησης που προέκυψαν αναφορικά με τις αυθόρμητες και τις τελικές αποφάσεις των μαθητών έχει εμφανιστεί μια αξιοσημείωτη μεταβολή στις σχετικές συχνότητες εμφάνισης των απαντήσεων, η οποία συζητείται στη συνέχεια.

Πίνακας 11: Προσεγγίσεις διαχείρισης κατάστασης λήψης απόφασης έργου αξιολόγησης III (τελική απόφαση)

Κατηγορία απάντησης	Αυθόρμητη		Τελική	
	απόφαση		απόφαση	
	N	%	N	%
Καθορισμός της ενδιάμεσης λύσης ως της βέλτιστης επιλογής	7	35	16	80
Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσεται πρώτη η κάθε λύση	6	30	3	15

Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση ένα μεμονωμένο κριτήριο	4	20	1	5
Αδυναμία καθορισμού βέλτιστης λύσης (λόγω της απουσίας προφανούς προτιμητέας λύσης)	3	15	-	-

Ένα σημείο που παρουσιάζει ενδιαφέρον αφορά στη σημαντική αύξηση που παρατηρήθηκε στον αριθμό των μαθητών που κατέληξαν να επιλέγουν τελικά την ενδιάμεση λύση (αύξηση από 35% σε 80%). Συνεπώς, τα δεδομένα εισηγούνται ότι η πρόσθετη συζήτηση στην οποία ενέπλεκε ο ερευνητής τους μαθητές κατέληγε συχνά να προκαλεί τη μεταβολή της προσέγγισης που είχαν ακολουθήσει αρχικά ευνοώντας την υιοθέτηση της επιλογής της ενδιάμεσης λύσης, την οποία, ενδεχομένως, θεωρούσαν ασφαλέστερη. Το ακόλουθο απόσπασμα περιγράφει ένα παράδειγμα αυτής της μετάθεσης σκεπτικού.

Ερευνητής: Μπορείς να εξηγήσεις λίγο περισσότερο γιατί επέλεξες την περιοχή A (αρχική απόφαση);

Μαθητής: *Επειδή είναι η καλύτερη σε δύο από τα τρία κριτήρια.*

Ερευνητής: *Τι νομίζεις για το τρίτο κριτήριο;*

Μαθητής: *Έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη θάλασσα.*

Ερευνητής: *Τι νομίζεις γι' αυτό;*

Μαθητής: *Ναι αλλά οι άλλες δύο περιοχές έχουν λιγότερα πλεονεκτήματα από την περιοχή A. Η περιοχή B έρχεται πρώτη μόνο σε ένα κριτήριο και είναι η χειρότερη στα άλλα δύο. Η περιοχή Γ δεν έρχεται πρώτη σε κανένα κριτήριο και ούτε τελευταία. Είναι η μέση λύση. Τώρα που το ξανασκέφτομαι νομίζω ότι αυτή πρέπει να είναι η καλύτερη και όχι η A.*

Ερευνητής: *Γιατί;*

Μαθητής: *Είναι παντού δεύτερη και πουθενά τρίτη. Είναι η μέση λύση.*

4.2.2.δ. Διαφοροποίηση ανάμεσα στα αποτελέσματα από τα τρία έργα αξιολόγησης

Παρά το γεγονός ότι η τάση των μαθητών να εφαρμόζουν προβληματικές στρατηγικές για τη λήψη απόφασης αφορά σε όλα τα έργα αξιολόγησης υπάρχει μια ενδιαφέρουσα διακύμανση στις απαντήσεις των μαθητών, η οποία περιγράφεται στον πίνακα 12. Ένα σημαντικό μέρος αυτής της διακύμανσης οφείλεται στις διαφορές που παρατηρούνται στα τρία έργα αξιολόγησης και το γεγονός ότι συγκεκριμένες στρατηγικές εφαρμόζουν μόνο σε μερικά από αυτά. Πιο συγκεκριμένα, η επιλογή της ενδιάμεσης λύσης δεν θα μπορούσε

να είχε εμφανιστεί σε κάποιο από τα υπόλοιπα έργα αξιολόγησης αφού δεν περιλάμβαναν κάποια επιλογή που να διαθέτει αυτό το χαρακτηριστικό.

Πίνακας 12: Αντιπαραβολή προσεγγίσεων που υιοθέτησαν οι μαθητές για τη διαχείριση των διαφόρων έργων αξιολόγησης.

Κατηγορία απάντησης	Έργο I		Έργο II		Έργο IIIα		Έργο IIIβ	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσεται πρώτη η κάθε λύση	76	79	-	-	6	30	3	15
Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση ένα μεμονωμένο κριτήριο	8	8.5	57	59	4	20	1	5
Καθορισμός βέλτιστης λύσης με βάση την αριθμητική σύγκριση του πλεονεκτήματος και του μειονεκτήματος που παρουσιάζουν οι πιθανές λύσεις	-	-	21	22	-	-	-	-
Καθορισμός της ενδιάμεσης λύσης ως της βέλτιστης επιλογής	-	-	-	-	7	35	16	80
Αδυναμία καθορισμού βέλτιστης λύσης (λόγω της απουσίας προφανούς προτιμητέας λύσης)	-	-	8	8	3	15	-	-
Άσχετη απάντηση	12	12.5	10	11	-	-	-	-

* Τα έργα αξιολόγησης IIIα και IIIβ αναφέρονται στις αυθόρμητες και στις τελικές αποφάσεις των μαθητών, αντίστοιχα, στο έργο αξιολόγησης III

Το υπόλοιπο μέρος της διακύμανσης μπορεί να αποδοθεί στο περιεχόμενο των σεναρίων λήψης απόφασης σε κάθε έργο αξιολόγησης το οποίο είτε ευνοούσε είτε περιέπλεκε την εφαρμογή συγκεκριμένων προσεγγίσεων σύγκρισης των πιθανών λύσεων. Ένα σχετικό

παράδειγμα αφορά στην περίπτωση του καθορισμού της βέλτιστης επιλογής με βάση την αριθμητική σύγκριση των διαφορών ανάμεσα στις πιθανές λύσεις, χωρίς να λαμβάνεται πρόνοια για διορθωτική ρύθμιση της διαφοροποίησης στην κλίμακα μέτρησής τους. Αυτή η προσέγγιση εμφανίστηκε μόνο στην περίπτωση του δεύτερου έργου αξιολόγησης και αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί από το γεγονός ότι το σενάριο λήψης απόφασης σε αυτό το έργο αξιολόγησης περιλάμβανε μόνο δύο πιθανές λύσεις και δύο κριτήρια. Αντίθετα, τα άλλα δύο έργα περιλάμβαναν μεγαλύτερο αριθμό επιλογών ή κριτηρίων και η αυξημένη πολυπλοκότητά τους δυσχέραινε την εφαρμογή της σχετικής στρατηγικής.

Μια σημαντική πτυχή της παρατηρούμενης διακύμανσης σχετίζεται με τον αριθμό των μαθητών που αποφάσισαν λαμβάνοντας υπόψη ένα μόνο κριτήριο. Αυτή η στρατηγική ήταν η πιο κοινή στην περίπτωση του δεύτερου έργου αξιολόγησης, το οποίο περιλάμβανε δύο κριτήρια και δύο υποψήφιας περιοχές η καθεμιά από τις οποίες υπερνικούσε την άλλη σε κάποιο κριτήριο. Η συχνότητα εμφάνισης αυτής της στρατηγικής στα υπόλοιπα έργα αξιολόγησης ήταν αισθητά μικρότερη (59% στο έργο αξιολόγησης II συγκριτικά με 8.5%, 20% και 5% στα έργα αξιολόγησης I, IIIα και IIIβ, αντίστοιχα). Συνεπώς, η παρουσία μιας υποψήφιας περιοχής η οποία κατατασσόταν πρώτη σε σειρά προτίμησης σε περισσότερα κριτήρια από ότι οι υπόλοιπες υποψήφιας περιοχές και η παρουσία μιας ενδιάμεσης λύσης φαίνεται ότι απέτρεψε την υιοθέτηση της προσέγγισης της επιλογής λύσης βάσει ενός μόνο κριτηρίου. Τέλος, μια άλλη αξιοσημείωτη διαφορά που έχει παρατηρηθεί συνδέεται με τους μαθητές που επέλεξαν εστιάζοντας στον αριθμό των κριτηρίων στα οποία υπερείχε μια υποψήφια περιοχή έναντι των άλλων πιθανών περιοχών. Αυτή η στρατηγική εμφανίστηκε στα έργα αξιολόγησης I και III αλλά σε σημαντικά διαφορετικό ποσοστό (79% στο έργο αξιολόγησης I σε αντιδιαστολή με 30% και 15% στα έργα αξιολόγησης IIIα και IIIβ, αντίστοιχα).

Παρόλο που η διαφοροποίηση στη στρατηγική που υιοθετείται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του σεναρίου λήψης απόφασης θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως ένδειξη ευελιξίας και επάρκειας των μαθητών σε σχέση με τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης μια πιο προσεκτική μελέτη των δεδομένων τείνει να αμφισβητεί αυτή την ερμηνεία. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα δείχνουν ότι όλες οι στρατηγικές που έχουν εφαρμοσθεί από τους μαθητές είναι προβληματικές και υποπίπτουν σε πολλαπλές συλλογιστικές δυσκολίες. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα εισηγούνται ότι η επιλογή στρατηγικής από τους μαθητές στερείται συστηματικότητας και στηρίζεται κυρίως στη διαίσθηση παρά σε σαφή κατανόηση των δυνατοτήτων τους και τους περιορισμών στους

οποίους υπόκεινται. Ένα παράδειγμα, που υποστηρίζει αυτή τη θέση σχετίζεται με τους μαθητές οι οποίοι επέλεξαν με βάση τον αριθμό των κριτηρίων στα οποία υπερτερεί η κάθε υποψήφια περιοχή έναντι των υπολοίπων. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αυτή η στρατηγική εμφανίστηκε πολύ συχνότερα στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης I παρά στο έργο αξιολόγησης III και υπάρχουν δύο σημεία που αξίζει να σχολιασθούν. Το πρώτο είναι ότι στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης III, η επιλογή που υπερτερούσε έναντι των υπόλοιπων περιοχών σε περισσότερα κριτήρια τύγγανε να έχει τη χειρότερη επίδοση σε σχέση με το τρίτο κριτήριο (απόσταση από θάλασσα). Το δεύτερο αφορά στην τάση των μαθητών να καταφεύγουν στον αυθαίρετο χαρακτηρισμό της απόστασης από τη θάλασσα ως εξαιρετικά μεγάλης. Αυτά τα δύο στοιχεία φαίνεται να έχουν δημιουργήσει αμφιβολίες στους μαθητές αναφορικά με την καταλληλότητα αυτής της περιοχής. Αυτή η διαφοροποιημένη προσέγγιση ανάμεσα στα δύο έργα αξιολόγησης φανερώνεται στο ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης. Ο συγκεκριμένος μαθητής είχε επιλέξει να εφαρμόσει αυτή τη στρατηγική στο έργο αξιολόγησης I αλλά κατέφυγε στην επιλογή της ενδιάμεσης λύσης στο έργο αξιολόγησης III.

Ερευνητής: Στο πρώτο έργο αξιολόγησης επέλεξες την περιοχή που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια. Γιατί δεν σκέφτηκες και εδώ με τον ίδιο τρόπο; Γιατί δεν επέλεξες την περιοχή A που έχει δύο πλεονεκτήματα;

Μαθητής: Η περιοχή A είναι η πιο φτηνή και έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τις κατοικημένες περιοχές. Έχει δύο πλεονεκτήματα αλλά η απόσταση από τη θάλασσα... Έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη θάλασσα. Είναι καλή σε αυτά τα δύο κριτήρια αλλά έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη θάλασσα. 10km είναι πολύ μακριά. Δεν πρέπει να κτιστεί εκεί.

Ένα τελευταίο εύρημα που στηρίζει τον ισχυρισμό ότι οι μαθητές εφάρμοσαν διαφορετικές στρατηγικές χωρίς συστηματικότητα ή συνέπεια αφορά στην ευκολία με την οποία άλλαζαν την αρχική τους απόφαση καθώς εξελισσόταν η διαδικασία της συνέντευξης και έρχονταν αντιμέτωποι με πιθανές ασυνέπειες στο συλλογισμό τους. Αυτό αποτελεί μια ένδειξη της απουσίας σαφούς στρατηγικής λήψης απόφασης που να χαρακτηρίζεται από συνέπεια και συνοχή.

4.2.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τη διερεύνηση των προσεγγίσεων που εφαρμόζουν οι μαθητές για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης κατέδειξαν ότι οι μαθητές δεν

είναι σε θέση να χειριστούν αποτελεσματικά το γνωστικό φορτίο της σύγκρισης εναλλακτικών επιλογών, ώστε να καταλήγουν με αξιόπιστο τρόπο σε προτιμητέα λύση. Μια άλλη ένδειξη που προκύπτει από τα δεδομένα, η οποία είναι σημαντικό να καταγραφεί, αφορά στο γεγονός ότι παρά τα συλλογιστικά σφάλματα στα οποία έτειναν να υποπίπτουν οι μαθητές, η συντριπτική τους πλειοψηφία απευθύνθηκε στο ζήτημα της σύγκρισης των εναλλακτικών λύσεων και πρότεινε σχετικές (αλλά στρεβλωμένες) απαντήσεις. Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι οι μαθητές αντιλαμβάνονται το στόχο της επεξεργασίας δεδομένων σε καταστάσεις λήψης απόφασης (επιλογή βέλτιστης λύσης) και είναι σε θέση να εμπλακούν στην υλοποίησή του. Αυτή η διαπίστωση, ενθαρρύνει τον προσανατολισμό της εργασίας προς την ανάπτυξη διδακτικού υλικού για την καλλιέργεια μιας συλλογιστικής στρατηγικής για τη βελτιστοποίηση της λήψης απόφασης. Μια δεύτερη πτυχή των δεδομένων που στηρίζει περαιτέρω την επιλογή για εστίαση σε αυτή την κατεύθυνση συνδέεται με το ποσοστό των μαθητών που δήλωσαν ρητά την αδυναμία τους να επιλέξουν την προτιμότερη λύση, λόγω της πολυπλοκότητας που απορρέει από την ταυτόχρονη παρουσία πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων. Παρά το μικρό μέγεθός του (5%), αυτό το ποσοστό παρέχει μια ένδειξη για τη συνειδητοποίηση από μέρους των μαθητών του προβληματικού χαρακτήρα της διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης, η οποία αποτελεί μια βάση για την εκτίμηση της αξίας συλλογιστικών στρατηγικών βελτιστοποίησης.

4.2.3.α. Συνεισφορά στην υφιστάμενη τεχνογνωσία

Τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν σε αυτή την εργασία είναι συνεπή με το εύρημα που έχει δημοσιευθεί στην ερευνητική βιβλιογραφία ότι οι μαθητές δεν είναι σε θέση να διαχειριστούν αποτελεσματικά στις γνωστικές απαιτήσεις της σύγκρισης εναλλακτικών επιλογών σε καταστάσεις λήψης απόφασης (Hong & Chang, 2004; Seethaler & Linn, 2004). Επιπρόσθετα, τα δεδομένα παρέχουν πρόσθετη πληροφόρηση αναφορικά με τρεις πτυχές του τρόπου με τον οποίο προσεγγίζουν οι μαθητές τη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων σε καταστάσεις λήψης απόφασης. Μια από αυτές τις πτυχές αφορά στην καταγραφή των διάφορων στρατηγικών που τείνουν να υιοθετούν για να συγκρίνουν τις υποψήφιας λύσεις (πίνακας 12). Κάποιες από τις στρατηγικές αποφεύγουν να συνθέσουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των πιθανών λύσεων και καταλήγουν να εστιάζουν αποκλειστικά στα πλεονεκτήματα της τοποθεσίας που επιλέγουν αγνοώντας τα μειονεκτήματά της. Οι υπόλοιπες στρατηγικές παρόλο που επιχειρήσαν να συνθέσουν τη διαθέσιμη πληροφόρηση μέσα από την αναζήτηση μιας συμβιβαστικής λύσης που να παρουσιάζει τον καλύτερο συνδυασμό πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων κατέληξαν

να στηρίζονται σε στρεβλωμένους συλλογισμούς (π.χ. άμεση αριθμητική σύγκριση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν οι υπονήφειες λύσεις χωρίς να λαμβάνεται πρόνοια για την αναγωγή των σχετικών μετρήσεων σε μια ενιαία κλίμακα). Η δεύτερη πτυχή αφορά στην καταγραφή και τεκμηρίωση συγκεκριμένων δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην προσπάθειά τους να επεξεργαστούν τις διαθέσιμες πληροφορίες και να συγκρίνουν τις πιθανές λύσεις (διάγραμμα 9).

Τέλος, η τρίτη πτυχή αφορά στο βαθμό συστηματικότητας και συνέπειας που χαρακτηρίζει την προσπάθεια των μαθητών να διαχειριστούν καταστάσεις λήψης απόφασης. Πιο συγκεκριμένα, η διαφοροποίηση που παρατηρήθηκε στις προσεγγίσεις που ακολούθησαν οι μαθητές στα τρία έργα αξιολόγησης, η έλλειψη αυτοπεποίθησης στις αρχικές τους αποφάσεις στο πλαίσιο της συνέντευξης και η τάση τους να αλλάζουν την αρχική τους απόφαση με σχετική ευκολία εισηγούνται την απουσία ενός συνεπούς μοντέλου επεξεργασίας δεδομένων για τη σύγκριση εναλλακτικών επιλογών. Ταυτόχρονα, εισηγούνται την τάση των μαθητών να επιλέγουν την προσέγγιση που θα ακολουθήσουν στηριζόμενοι κυρίως στη διαίσθησή τους με στόχο να λύσουν το συγκεκριμένο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν σε μια δεδομένη στιγμή παρά να υλοποιήσουν με συνέπεια ένα συγκροτημένο σκεπτικό διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης.

Διάγραμμα 9: Δυσκολίες που υποσκιάζουν την προσπάθεια των μαθητών να διαχειριστούν τη σύγκριση των πιθανών λύσεων σε καταστάσεις λήψης απόφασης

- Αποτυχία αναγνώρισης της ανεπάρκειας του πλήθους των κριτηρίων στα οποία υπερέχει μια πιθανή λύση να καθορίσει τη βέλτιστη λύση
- Αποτυχία αναγνώρισης του στρεβλωμένου χαρακτήρα της αριθμητικής σύγκρισης των δεδομένων χωρίς να έχει προηγηθεί διόρθωση της διαφοροποίησης στις κλίμακες μέτρησης που χρησιμοποιούνται
- Τάση για σύγκριση των διαθέσιμων δεδομένων με αυθαίρετες κρίσιμες τιμές και χαρακτηρισμός των πιθανών λύσεων, ανάλογα, ως επαρκών ή ανεπαρκών
- Αποτυχία αναγνώρισης της αδυναμίας του σημαντικότερου κριτηρίου να καθορίσει τη βέλτιστη λύση
- Αποτυχία εκτίμησης της ανάγκης να λαμβάνονται υπόψη και να συνυπολογίζονται όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες
- Αδυναμία εκτίμησης της ανάγκης για συλλογιστικές στρατηγικές που να συνυπολογίζουν και να συνθέτουν όλες τις πληροφορίες για τις αδυναμίες και τα πλεονεκτήματα των πιθανών λύσεων

4.2.3.β. Συνέπειες για το σχεδιασμό διδακτικού υλικού

Τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν σε αυτή την ενότητα παρέχουν χρήσιμη πληροφόρηση που μπορεί να αξιοποιηθεί για τη διαμόρφωση της ακολουθίας δραστηριοτήτων, ώστε να συνάδει με τις ανάγκες των μαθητών και να συντονίζεται με τις δυνατότητές τους και τις αρχικές τους ιδέες. Μια πτυχή αυτής της πληροφόρησης, συνδέεται με τις δυσκολίες που τείνουν να υποσκάπτουν την προσπάθεια των μαθητών να διαχειριστούν καταστάσεις λήψης απόφασης (βλ. διάγραμμα 9). Για παράδειγμα, μια προφανής δυσκολία που αντιμετωπίζουν σε μεγάλο βαθμό οι μαθητές αφορά στην αδυναμία εκτίμησης της ανάγκης για συλλογιστικές στρατηγικές που συνυπολογίζουν και συνθέτουν όλες τις πληροφορίες για τις αδυναμίες και τα πλεονεκτήματα των πιθανών λύσεων. Αυτή η δυσκολία θα πρέπει να τύχει χειρισμού νωρίς στην ακολουθία δραστηριοτήτων και ένας πιθανός τρόπος περιλαμβάνει τη διαχείριση από τους μαθητές μιας κατάλληλα επιλεγμένης κατάστασης λήψης απόφασης, χωρίς οποιαδήποτε καθοδήγηση ως προς το περιεχόμενο της προσέγγισης που θα εφαρμοστεί, και, ακολούθως, αξιολόγηση των προσεγγίσεων που χρησιμοποιήθηκαν με συγκεκριμένα κριτήρια (π.χ. βαθμός στον οποίο λαμβάνονται υπόψη όλα τα δεδομένα), ώστε, αφενός, να διαφανεί η αδυναμία τους και, αφετέρου, να διασφαλιστούν ευνοϊκές συνθήκες για την εισαγωγή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης.

Μια δεύτερη πτυχή αφορά στην ανάδειξη στοιχείων των αυθόρμητων προσεγγίσεων που ακολουθούν οι μαθητές τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν παραγωγικά κατά την εισαγωγή και διδακτική επεξεργασία της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Ένα σχετικό παράδειγμα αφορά στην τάση των μαθητών να αποδίδουν στο σημαντικότερο κριτήριο τη δυνατότητα να καθορίζει τη βέλτιστη λύση. Ένας πιθανός τρόπος διαχείρισης αυτής της δυσκολίας περιλαμβάνει την αξιοποίηση συνδυασμών από σενάρια λήψης απόφασης σχεδιασμένα ώστε να καθιστούν τη συγκεκριμένη προσέγγιση είτε διαισθητικά εύλογη (π.χ. η λύση που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο κατατάσσεται δεύτερη στα υπόλοιπα κριτήρια με μικρή διαφορά από την πρώτη) είτε διαισθητικά ακατάλληλη (π.χ. η λύση που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο κατατάσσεται τελευταία στα υπόλοιπα κριτήρια με μεγάλη διαφορά από την προτελευταία). Η συγκριτική επεξεργασία τέτοιων περιπτώσεων, με βάση κατάλληλα σχεδιασμένες δραστηριότητες, θα μπορούσε να συνεισφέρει στην ανάδειξη (α) της αδυναμίας της συγκεκριμένης προσέγγισης να λειτουργεί αξιόπιστα αφού η καταλληλότητά της διαφοροποιείται ανάλογα με τις συγκεκριμένες παραμέτρους της υπό μελέτη κατάστασης λήψης απόφασης, και (β) της τάσης για υποκειμενική και διαισθητική αξιολόγηση της καταλληλότητας της (π.χ. ασαφής

καθορισμός των περιπτώσεων στις οποίες είναι κατάλληλη/ακατάλληλη). Αυτή η επεξεργασία επιτρέπει στους μαθητές να αξιολογήσουν τους περιορισμούς της συγκεκριμένης προσέγγισης διαμορφώνοντας ένα ευνοϊκό πλαίσιο για την εκτίμηση των πλεονεκτημάτων που παρέχει η στρατηγική της βελτιστοποίησης.

Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφεται η ακολουθία δραστηριοτήτων και περιλαμβάνονται πρόσθετα παραδείγματα που φανερώνουν τον τρόπο με τον οποίο αξιοποιήθηκαν οι αρχικές ιδέες των μαθητών και οι δυσκολίες που τείνουν να επηρεάζουν το σκεπτικό τους, τόσο αναφορικά με τη σύγκριση εναλλακτικών επιλογών σε καταστάσεις λήψης απόφασης όσο και με την ενεργειακή ανάλυση μεταβολών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Μια βασική επιδίωξη της εργασίας, η οποία είναι τεχνολογικά προσανατολισμένη, περιλαμβάνει το σχεδιασμό και την ανάπτυξη διδακτικού υλικού που απευθύνεται σε τρεις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η διδακτική των φυσικών επιστημών: διδασκαλία της ενέργειας, προώθηση επιστημολογικής επάρκειας και καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης στο πλαίσιο της διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται το προϊόν που προέκυψε από την υλοποίηση αυτής της επιδίωξης, το οποίο είναι προσβάσιμο στη διαδικτυακή διεύθυνση <http://lsg.ucy.ac.cy/research/ektema/Learningmaterials.htm>. Το κεφάλαιο δομείται σε τρεις βασικές ενότητες. Η πρώτη ενότητα περιγράφει το διδακτικό πρότυπο στο οποίο στηρίχθηκε το διδακτικό υλικό, τις βασικές διδακτικές στρατηγικές και αρχές μάθησης που έχει ενσωματώσει και τα διάφορα τεχνολογικά εργαλεία που αξιοποιεί. Οι άλλες δύο ενότητες περιγράφουν την ακολουθία δραστηριοτήτων και το σκεπτικό της. Ειδικότερα, όπως αναλύεται στη συνέχεια, το διδακτικό υλικό περιλαμβάνει δύο διακριτά μέρη. Το πρώτο εισάγει και επεξεργάζεται το θεωρητικό πλαίσιο της ενέργειας για την ανάλυση συστημάτων ενώ το δεύτερο αξιοποιεί ενεργειακά ζητήματα που περιλαμβάνουν σενάρια λήψης απόφασης, στο πλαίσιο των οποίων επιχειρεί να εισάγει και να επεξεργαστεί σταδιακά τη συλλογιστική στρατηγική της βελτιστοποίησης για τη σύγκριση των πιθανών λύσεων. Ενώ τα δύο αυτά μέρη έχουν σχεδιασθεί, ώστε να υλοποιούνται συνδυασμένα μπορούν επίσης να προσεγγιστούν χωριστά και να υλοποιηθούν ανεξάρτητα. Τα δύο αυτά μέρη συζητούνται χωριστά στη δεύτερη και την τρίτη ενότητα, αντίστοιχα. Όπως έχει αναφερθεί στο τρίτο κεφάλαιο, η ακολουθία δραστηριοτήτων έχει τροποποιηθεί σε δύο περιπτώσεις μετά από την εφαρμογή της σε περιβάλλοντα τάξης. Η περιγραφή που περιλαμβάνεται σε αυτές τις δύο ενότητες αναφέρεται στη δεύτερη εκδοχή της ακολουθίας δραστηριοτήτων, η οποία αξιοποιήθηκε στη δεύτερη εφαρμογή. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μπορεί κανείς εύκολα να προσδιορίσει τις διαφοροποιήσεις τόσο από την αρχική εκδοχή (η οποία χρησιμοποιήθηκε στην πιλοτική εφαρμογή) όσο και από την τελική εκδοχή (η οποία διαμορφώθηκε μετά την κυρίως εφαρμογή) μέσα από τη μελέτη των σχετικών τροποποιήσεων που παρατίθενται στο έκτο και στο έβδομο κεφάλαιο.

Όπως αναφέρθηκε στο τρίτο κεφάλαιο, η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη διδακτικού υλικού στηρίχθηκε σε τρεις βασικές πηγές πληροφόρησης. Η πρώτη αφορά στις αρχικές ιδέες των μαθητών για τις μαθησιακές επιδιώξεις και τις σχετικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Αυτό το στοιχείο έτυχε χειρισμού μέσα από την επεξεργασία εμπειρικών δεδομένων τα οποία έχουν συλλεγεί ειδικά στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας (βλ. τέταρτο κεφάλαιο). Στην περιγραφή της ακολουθίας δραστηριοτήτων γίνονται συχνά αναφορές στον τρόπο με τον οποίο ο σχεδιασμός της ενημερώθηκε από αυτή την πηγή πληροφόρησης. Η δεύτερη πηγή πληροφόρησης αφορά στην ανάλυση του περιεχομένου των βασικών μαθησιακών επιδιώξεων στις οποίες εστιάζεται το διδακτικό υλικό. Στα δύο πρώτα κεφάλαια (κυρίως στο δεύτερο) έχουν αναφερθεί διάφορα στοιχεία που εντάσσονται σε αυτή την πηγή πληροφόρησης. Τα αποτελέσματα της σύνθεσης αυτών των στοιχείων συνοψίζονται σε αυτό το κεφάλαιο πριν από την περιγραφή της ακολουθίας δραστηριοτήτων για την προώθηση της καθεμιάς από τις επιδιώξεις. Τέλος, η τρίτη πηγή πληροφόρησης σχετίζεται με την επισκόπηση της βιβλιογραφίας στη διδακτική των φυσικών επιστημών, ώστε να διασφαλιστεί η συμβατότητα της ακολουθίας δραστηριοτήτων με βασικές αρχές μάθησης στις φυσικές επιστήμες και να αξιοποιηθεί η υφιστάμενη τεχνογνωσία για τη διδακτική διαχείριση των μαθησιακών επιδιώξεων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή την κατεύθυνση συζητούνται στη συνέχεια στο πλαίσιο της πρώτης υποενότητας όπου περιγράφεται το γενικό διδακτικό πρότυπο που υιοθετήθηκε στην ακολουθία δραστηριοτήτων και συζητούνται παραδείγματα βασικών ειδικών διδακτικών στρατηγικών που έχουν ενσωματωθεί.

5.1. Γενικά στοιχεία αναφορικά με το διδακτικό σχεδιασμό

5.1.1. Διδακτική προσέγγιση και διδακτικές στρατηγικές που υλοποιούνται στο σχεδιασμό του διδακτικού υλικού

5.1.1.α. Διδακτικό πρότυπο ακολουθίας δραστηριοτήτων

Η δόμηση της ακολουθίας δραστηριοτήτων στις δύο ενότητες στηρίζεται στο πρότυπο «Φυσική με Διερώτηση» (Physics by Inquiry) (McDermott *et al.*, 1996). Σε αυτό το πρότυπο, κατά το μεγαλύτερο μέρος της διδασκαλίας οι μαθητές εργάζονται σε ολιγομελείς ομάδες (συνήθως τριών ατόμων) και καθοδηγούνται από την ακολουθία δραστηριοτήτων, ώστε να αναπτύξουν σταδιακά τις επιδιωκόμενες ιδέες, έννοιες και συλλογιστικές στρατηγικές. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού περιλαμβάνει κυρίως το συντονισμό της λειτουργίας του μαθησιακού περιβάλλοντος και τη διασφάλιση της εμπλοκής των μαθητών με το διδακτικό υλικό. Η αλληλεπίδραση του με τις ομάδες των

μαθητών περιορίζεται σε ημι-δομημένες συζητήσεις σε προκαθορισμένα σημεία του διδακτικού υλικού (σημεία ελέγχου). Ειδικότερα, μετά την ολοκλήρωση συγκεκριμένων δραστηριοτήτων η κάθε ομάδα συζητά με τον εκπαιδευτικό βασικές ιδέες που είχαν συναντήσει μέχρι εκείνο το στάδιο. Σε αυτές τις συζητήσεις ο εκπαιδευτικός περιορίζεται στο ρόλο του συντονιστή και επιδιώκει ρητά να ικανοποιήσει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- διασφάλιση της αποτελεσματικής εμπλοκής των μαθητών με τις δραστηριότητες
- εντοπισμός και επισήμανση τυχόν δυσκολιών που αντιμετωπίζουν
- ανάδειξη ασυνεπειών που φαίνονται να χαρακτηρίζουν το σκεπτικό τους
- παροχή στήριξης, ώστε να υπερβαίνουν τις δυσκολίες και να επιλύουν τις ασυνέπειες που αντιμετωπίζουν
- ρητή αποφυγή διάλεξης και παροχής έτοιμων απαντήσεων σε ερωτήματα που θέτουν οι μαθητές τα οποία αναμένεται να μπορούν να χειρίζονται μόνοι τους μέσα από την αλληλεπίδρασή τους με το διδακτικό υλικό.

Μια βασική αρχή που υιοθετείται στο συγκεκριμένο διδακτικό πρότυπο, η οποία διαφαίνεται στις πιο πάνω προδιαγραφές, είναι ότι η διδασκαλία υλοποιείται μέσα από την αλληλεπίδραση των μαθητών με το διδακτικό υλικό ενώ ο εκπαιδευτικός παύει να λειτουργεί ως μια αυθεντία που κατέχει και μεταδίδει τη γνώση στους μαθητές. Αντίθετα, η δράση του περιορίζεται στην υποβολή στοχευμένων και κατάλληλων ερωτημάτων τα οποία λειτουργούν ως έναυσμα για περαιτέρω συζήτηση, αναστοχασμό, επαναπροσδιορισμό και αναθεώρηση ιδεών. Προφανώς, η επιτυχής υλοποίηση αυτού του ρόλου είναι ιδιαίτερα απαιτητική και προϋποθέτει τουλάχιστο δύο βασικά στοιχεία. Το πρώτο αφορά στην κατανόηση και εκτίμηση των εκπαιδευτικών για τις αρχές στις οποίες στηρίζεται το διδακτικό πρότυπο της διερώτησης και την επάρκεια τους αναφορικά με την υλοποίησή του (π.χ. δεξιότητα διατύπωσης χρήσιμων και περιεκτικών ερωτημάτων). Το δεύτερο στοιχείο αφορά στην εξοικείωση του εκπαιδευτικού με το περιεχόμενο της ακολουθίας δραστηριοτήτων σε κάθε περίπτωση, ώστε να καταστεί ικανός να εμπλέκεται παραγωγικά στις συζητήσεις με τους μαθητές. Έτσι, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι παρά την αυτονομία που παρέχει στους μαθητές το διδακτικό πρότυπο της διερώτησης, δεν μπορεί να υλοποιηθεί επιτυχώς ανεξάρτητα από τον εκπαιδευτικό. Αντίθετα, προϋποτίθεται η κατάλληλη προετοιμασία των εκπαιδευτικών, ώστε να μπορούν να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Αυτή η ανάγκη καθίσταται προφανής από την τάση των εκπαιδευτικών να παρερμηνεύουν το νόημα της διερώτησης και να ενσωματώνουν στη διδασκαλία τους στρεβλωμένες διδακτικές στρατηγικές τις

οποίες τείνουν να θεωρούν, λανθασμένα, ως συμβατές με τη διερώτηση (Windschitl, 2008).

5.1.1.β. Διδακτικές στρατηγικές και αρχές μάθησης που έχουν ενσωματωθεί

Το διδακτικό υλικό έχει σχεδιαστεί ώστε να αξιοποιεί συγκεκριμένες διδακτικές στρατηγικές, οι οποίες (α) συνάδουν με το πρότυπο της διερώτησης, (β) ενσωματώνουν βασικές αρχές μάθησης στις φυσικές επιστήμες και (γ) συνάδουν με τις επιδιώξεις στις οποίες απευθύνεται. Αυτές οι στρατηγικές μπορούν να ανιχνευθούν στην περιγραφή της ακολουθίας δραστηριοτήτων η οποία παρατίθεται αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο, ενώ τρεις από τις βασικότερες στρατηγικές που έχουν ενσωματωθεί παρουσιάζονται σε λεπτομέρεια στη συνέχεια.

Μια από τις διδακτικές στρατηγικές, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στη διδασκαλία μέσω διερώτησης (McDermott, 1991) και έχει ενσωματωθεί σε πολλαπλές περιπτώσεις στις δύο ενότητες που έχουν αναπτυχθεί, περιλαμβάνει την παράθεση υποθετικών διαλόγων, στους οποίους εκφράζονται συγκεκριμένες θέσεις για μια ιδέα. Για παράδειγμα, αυτοί οι διάλογοι συχνά αντιπαραθέτουν εναλλακτικές ερμηνείες για μια συγκεκριμένη παρατήρηση στο πλαίσιο της λειτουργίας ενός συστήματος ή διαφορετικές εισηγήσεις για τη διαχείριση μιας συγκεκριμένης κατάστασης λήψης απόφασης. Σε αυτούς τους διαλόγους, οι θέσεις διατυπώνονται λεπτομερώς και με σαφήνεια ώστε, να επιτρέπεται στους μαθητές να διευκρινίζουν το περιεχόμενό τους και τους ζητείται να τις αξιολογήσουν και να δηλώσουν κατά πόσο συμφωνούν ή διαφωνούν με την καθεμιά αιτιολογώντας το σκεπτικό τους. Συχνά, οι θέσεις που εκφράζονται είναι σχεδιασμένες, ώστε να φέρνουν τους μαθητές αντιμέτωπους με εννοιολογικές, συλλογιστικές, επιστημολογικές ή άλλες δυσκολίες που τείνουν να επηρεάζουν το σκεπτικό τους και αυτό αποτελεί ένα βασικό στάδιο στην προσπάθεια διδακτικής διαχείρισής τους. Ένα άλλο πλεονέκτημα αυτής της δραστηριότητας είναι ότι παρέχεται στους μαθητές η δυνατότητα να διευκρινίσουν ιδέες που μέχρι τότε υιοθετούσαν σε μια λανθάνουσα μορφή, το οποίο έχει μεταγνωστική αξία και μπορεί επίσης να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της κατανόησης των μαθητών. Τέλος, ένα άλλο πλεονέκτημα που προκύπτει αφορά στο έναυσμα που παρέχει για χρήσιμη και παραγωγική συζήτηση είτε εντός της ομάδας είτε μεταξύ της ομάδας και του εκπαιδευτικού.

Μια άλλη διδακτική στρατηγική που αξιοποιήθηκε αφορά στη *σκόπιμη επαναφορά συγκεκριμένων δραστηριοτήτων* σε κατάλληλα επιλεγμένα σημεία της ακολουθίας

δραστηριοτήτων. Συνήθως, οι δραστηριότητες περιλαμβάνουν ερωτήματα τα οποία είναι σχεδιασμένα, ώστε να αναφέρονται σε ζητήματα που λειτουργούν αντίθετα από τη διαίσθηση (π.χ. γιατί αφού διατηρείται η ενέργεια οι διάφορες διεργασίες τείνουν να τερματίζονται). Αυτές οι δραστηριότητες ανακλούν δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές, οι οποίες επιδιώκεται να υπερπηδηθούν μέσα από την αλληλεπίδρασή τους με το διδακτικό υλικό. Συχνά, αυτά τα ερωτήματα εμφανίζονται για πρώτη φορά σε ένα αρχικό στάδιο του διδακτικού υλικού και επανέρχονται σε ένα μεταγενέστερο σημείο όταν θα έχει προηγηθεί ο διδακτικός χειρισμός της αντίστοιχης ιδέας. Ένα παράδειγμα αυτής της δραστηριότητας στην περίπτωση της ενότητας για την ενέργεια αφορά στην ιδιότητα της διατήρησης της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ενός λαμπτήρα το οποίο κάποια στιγμή ανοίγει με αποτέλεσμα τη διακοπή της φωτοβολίας του λαμπτήρα και ζητείται από τους μαθητές να εξηγήσουν τι απέγινε η ενέργεια. Αυτό το ερώτημα εμφανίζεται αρχικά πριν από τη διδακτική επεξεργασία της ιδιότητας της διατήρησης και της υποβάθμισης της ενέργειας και η έμφαση κατά τη συζήτηση των μαθητών με τον εκπαιδευτικό σε αυτό στάδιο περιορίζεται στο βαθμό στον οποίο αιτιολογείται το σκεπτικό της απάντησής τους ανεξάρτητα από την εγκυρότητά του περιεχομένου της. Ακολούθως, αυτό το ερώτημα επανέρχεται σε κάποιο προχωρημένο στάδιο της ακολουθίας δραστηριοτήτων και αντί να ζητείται από τους μαθητές να το απαντήσουν για δεύτερη φορά, εμφανίζονται οι αρχικές τους απαντήσεις και τους δίνεται η δυνατότητα, εάν το θεωρούν χρήσιμο, να τις τροποποιήσουν, ώστε να βελτιώσουν την εγκυρότητά τους. Αυτή η δραστηριότητα εξυπηρετεί διπλό στόχο, ο οποίος ανάγεται κυρίως στο μεταγνωστικό επίπεδο. Ο πρώτος αφορά στην εκτίμηση από μέρους των μαθητών της δυσκολίας που δημιουργεί η απάντηση του ερωτήματος και στην αναγνώριση της αδυναμίας τους να απαντούν με αυτοπεποίθηση πριν από σχετική διδασκαλία. Η δεύτερη προκύπτει από τη δυνατότητα που παρέχεται στους μαθητές να αναγνωρίζουν και να εκτιμούν τη μεταβολή στο σκεπτικό τους σε σχέση με τη συγκεκριμένη ιδέα που διαπραγματεύεται το ερώτημα.

Μια τρίτη διδακτική στρατηγική, η οποία αφορά ειδικά στο διδακτικό υλικό για τη δεξιότητα της βελτιστοποίησης, περιλαμβάνει την επίδειξη της εφαρμογής της σε απλά συγκείμενα. Δεδομένου ότι η στρατηγική της βελτιστοποίησης και οι τεχνικές της πτυχές δεν αναμένεται να αναπτυχθούν αυθόρμητα από τους μαθητές αυτή η διδακτική στρατηγική αποσκοπεί να τους καθοδηγήσει, ώστε να αναγνωρίσουν και να εκτιμήσουν τα διάφορα στάδιά της. Αυτή η προσέγγιση αναγνωρίζεται ως υποστηρικτική της

προσπάθειας διδακτικής διαχείρισης διαφόρων ιδεών περιλαμβανομένων συλλογιστικών στρατηγικών (Edelson *et al.*, 2006; Krajcik, Czerniak & Berger, 2003).

Πέρα από τις διδακτικές στρατηγικές οι οποίες μπορούν να εντοπισθούν σε συγκεκριμένες δραστηριότητες υπάρχουν επίσης γενικότερες αρχές οι οποίες καθοδήγησαν τη διαμόρφωση της ακολουθίας δραστηριοτήτων, ευρύτερα. Μια από τις βασικότερες αρχές αφορά στην ανάγκη διασφάλισης ενός περιβάλλοντος που εμπλέκει ενεργά τους μαθητές με τη μελέτη και επεξεργασία φαινομένων (Donovan & Bransford, 2005). Μια άλλη αρχή αφορά στην παροχή πολλαπλών ευκαιριών στους μαθητές να εφαρμόσουν σε διάφορα ανοίκια συγκείμενα τις συλλογιστικές στρατηγικές και τις έννοιες που έχουν αναπτύξει σε προηγούμενα στάδια της διδασκαλίας (Krajcik *et al.*, 2003). Με αυτό τον τρόπο δίνεται στους μαθητές η δυνατότητα να ενδυναμώσουν την κατανόησή τους ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η πιθανότητα αποτελεσματικής διαχείρισης των διάφορων σχετικών δυσκολιών στις οποίες τείνουν να υποπίπτουν. Μια τρίτη αρχή μάθησης στην οποία στηρίχθηκε ο σχεδιασμός της ακολουθίας δραστηριοτήτων περιλαμβάνει την προσπάθεια παραγωγικής αξιοποίησης των αρχικών ιδεών που διαθέτουν οι μαθητές σχετικά με τις έννοιες και δεξιότητες στις οποίες εστιάζεται η διδασκαλία (NRC, 2007; Smith, diSessa & Roschelle, 1993). Για παράδειγμα, η συλλογιστική στρατηγική της βελτιστοποίησης δεν τυγχάνει διδακτικής διαπραγμάτευσης σε απομόνωση από τις αρχικές ιδέες των μαθητών. Αντίθετα, τόσο η εισαγωγή όσο και η επεξεργασία της εντάσσονται σε ένα σύνολο δραστηριοτήτων οι οποίες αποσκοπούν, αφενός, να προετοιμάσουν τους μαθητές για τη συγκεκριμένη στρατηγική (π.χ. καθοδηγούνται να αναγνωρίσουν την ανάγκη για μια στρατηγική βελτιστοποίησης), και, αφετέρου, να άρουν τον παθητικό χαρακτήρα της επίδειξης της στρατηγικής, που αναφέρθηκε προηγουμένως, εμπλέκοντας τους μαθητές στην επεξεργασία της μέσα από κατάλληλες δραστηριότητες (π.χ. γραπτή περιγραφή της στρατηγικής σε κάποιο φανταστικό συμμαθητή, αξιολόγηση της δυνατότητάς της να συνυπολογίζει τα διαθέσιμα δεδομένα κ.τ.λ.). Τέλος, ένα άλλο παράδειγμα αρχής που λήφθηκε υπόψη αφορά στη σταδιακή εισαγωγή και επέκταση των διάφορων ιδεών. Για παράδειγμα, οι διάφορες πτυχές της στρατηγικής της βελτιστοποίησης εισάγονται βαθμιαία, ώστε να περιορίζεται η πολυπλοκότητα που χρειάζεται να χειριστούν οι μαθητές ανά πάσα στιγμή (Krajcik *et al.*, 2003). Ένα άλλο παράδειγμα εφαρμογής αυτής της αρχής αφορά στην περίπτωση της ενεργειακής ανάλυσης σύνθετων συστημάτων, όπου οι μαθητές καθοδηγούνται, ώστε να επεξεργαστούν αρχικά την κάθε μεταβολή χωριστά και να προχωρήσουν στη σύνθεσή τους σε μια ενιαία αλυσίδα σε επόμενο στάδιο.

5.1.2. Στοιχεία πληροφορικού εμπλουτισμού διδακτικού υλικού

Το μεγαλύτερο μέρος των δύο ενοτήτων βρίσκεται σε ηλεκτρονική μορφή και η πληροφορική τεχνολογία έχει αξιοποιηθεί με δύο βασικούς τρόπους. Ο πρώτος, ο οποίος αφορά και στις δύο ενότητες του διδακτικού υλικού, συνδέεται με την αυτοματοποίηση της διαδικασίας συλλογής και αρχειοθέτησης των απαντήσεων που δίνουν οι μαθητές στα διάφορα φύλλα εργασίας. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, το μεγαλύτερο μέρος του διδακτικού υλικού έχει σχεδιασθεί ώστε να λειτουργεί διαδικτυακά και έχει συνδεθεί με μια βάση δεδομένων η οποία ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο, αξιοποιώντας την τεχνολογία *Active Server Pages (ASP)*. Τα διαδικαστικά πλεονεκτήματα που απορρέουν (π.χ. συλλογή και οργάνωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο) χαρακτηρίζονται από δυναμική συνεισφορά ως προς την αποτελεσματική υλοποίηση του διδακτικού υλικού. Πιο συγκεκριμένα, παρέχουν τη δυνατότητα εύκολης και συστηματικοποιημένης πρόσβασης στις απαντήσεις των μαθητών. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να αξιοποιηθεί κατά την προετοιμασία του εκπαιδευτικού, υποστηρίζοντας τον εντοπισμό μοτίβων απάντησης που φανερώνουν συγκεκριμένες δυσκολίες και την άντληση χρήσιμης πληροφόρησης που μπορεί να ενημερώσει τις επακόλουθες συζητήσεις που αναπτύσσονται με τις ομάδες των μαθητών κατά τη διδασκαλία. Ταυτόχρονα, αυτή η δυνατότητα χαρακτηρίζεται επίσης από σημαντική συνεισφορά για τους ερευνητικούς στόχους της εργασίας υποβοηθώντας τη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων από τις απαντήσεις των μαθητών.

Ένα δεύτερο πλεονέκτημα που απορρέει από την αξιοποίηση της πληροφορικής τεχνολογίας αφορά στην υλοποίηση συγκεκριμένων διδακτικών στρατηγικών που επισημάνθηκαν προηγουμένως. Ένα τέτοιο παράδειγμα αφορά στην περίπτωση της σκόπιμης επαναφοράς δραστηριοτήτων σε διαφορετικά στάδια της υλοποίησης του διδακτικού υλικού. Αξιοποιώντας την τεχνολογία ανάπτυξης δυναμικών σελίδων, καθίσταται εφικτό να παρουσιάζονται στους μαθητές προηγούμενες τους απαντήσεις δίνοντας τους τη δυνατότητα να τις αναθεωρήσουν, εάν το θεωρούν χρήσιμο. Στη συνέχεια, οι αρχικές και οι αναθεωρημένες απαντήσεις των μαθητών καταχωρούνται στη βάση δεδομένων ως χωριστές εγγραφές. Πέρα από το μαθησιακό όφελος που απορρέει από την οργάνωση τέτοιων δραστηριοτήτων, όπως συζητήθηκε προηγουμένως, δημιουργείται παράλληλα ένα διαδικαστικό πλεονέκτημα αναφορικά με την αυτοματοποίηση της οργάνωσης και αντιπαραβολής των αρχικών και αναθεωρημένων απαντήσεων των μαθητών, το οποίο όπως επισημάνθηκε νωρίτερα μπορεί να ενημερώσει τόσο την προετοιμασία των εκπαιδευτικών όσο και τη διαχείριση των δεδομένων για ερευνητικούς σκοπούς.

Ο δεύτερος τρόπος με τον οποίο αξιοποιήθηκε η πληροφορική τεχνολογία, ο οποίος αφορά κυρίως στο πρώτο μέρος, το οποίο εστιάζεται στην επεξεργασία του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας, περιλαμβάνει την αξιοποίηση της τεχνολογίας του FlashTM για τη δυναμική αναπαράσταση των φυσικών συστημάτων που τυγχάνουν διδακτικής επεξεργασίας. Αυτό παρείχε σημαντικά πλεονεκτήματα τα οποία συνδέονται άμεσα με τη διαχείριση της ανάγκης των μαθητών που συζητήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο να εξοικειωθούν με το διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας. Ειδικότερα, η ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας επέτρεψε τη διεύρυνση του πλήθους των συστημάτων που θα ήταν εφικτό να μελετηθούν σε ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα και κατέστησε εφικτή την παροχή προς τους μαθητές πολλαπλών ευκαιριών να μελετήσουν συστήματα που καλύπτουν τους βασικούς κλάδους της φυσικής. Επίσης, επέτρεψε τη μελέτη συστημάτων τα οποία δεν θα ήταν εύκολο (ή εφικτό) να μελετηθούν με πραγματικά υλικά στο περιβάλλον της τάξης, αίροντας τους σχετικούς πρακτικούς περιορισμούς. Ένα άλλο πλεονέκτημα που προέκυψε ως απόρροια της αξιοποίησης εικονικών αναπαραστάσεων αφορά στην εξοικονόμηση διδακτικού χρόνου, λόγω της απαλλαγής των μαθητών από το έργο της κατασκευής των πραγματικών συστημάτων. Το πλεονέκτημα έγκειται στη δυνατότητα που παρέχεται για αξιοποίηση αυτού του χρόνου για την περαιτέρω διαπραγμάτευση πτυχών του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας. Ωστόσο, στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να τονισθεί ότι λαμβάνοντας υπόψη τα μαθησιακά πλεονεκτήματα που παρέχει η αλληλεπίδραση με τα πραγματικά φυσικά συστήματα και η αμεσότητα των παρατηρήσεων (Zacharia & Constantinou, 2008), σε αρκετές περιπτώσεις όπου κρίθηκε σκόπιμο και λειτουργικό οι μαθητές εργάζονται με πραγματικά υλικά (π.χ. μελέτη της μεταβολής της θερμοκρασίας κατά τη λειτουργία συστημάτων, στο πλαίσιο της εισαγωγής της ιδέας της υποβάθμισης). Στη συνέχεια συζητούνται χωριστά τα δύο μέρη που συνθέτουν το μαθησιακό περιβάλλον.

5.2. Μέρος Α: Επιστημολογική και εννοιολογική επεξεργασία της ενέργειας

Σε αυτή την ενότητα αναλύεται η δομή και το σκεπτικό του διδακτικού υλικού για την εννοιολογική και επιστημολογική επεξεργασία της ενέργειας. Αρχικά γίνεται μια προσπάθεια διευκρίνισης και λειτουργικής διατύπωσης της μαθησιακής επιδίωξης και των επιμέρους πτυχών στις οποίες αναλύεται. Ακολούθως, παρουσιάζεται το σκεπτικό του διδακτικού σχεδιασμού που έχει αναπτυχθεί για την προώθηση της μαθησιακής επιδίωξης και προσδιορίζεται η θέση του σε σχέση με τις αντιπαραθέσεις που περιγράφονται στη βιβλιογραφία για τη διδασκαλία της ενέργειας (βλ. δεύτερο κεφάλαιο).

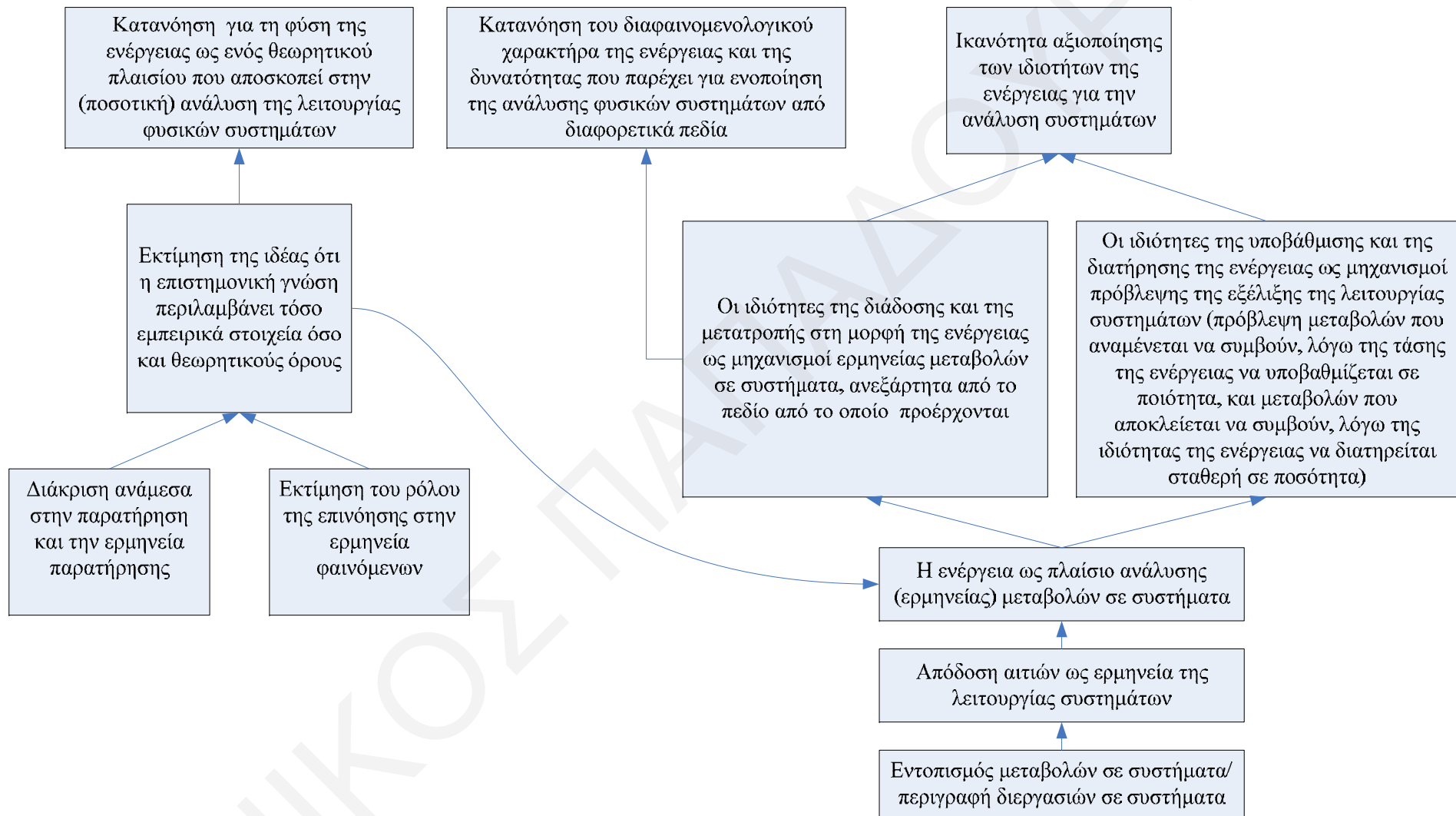
5.2.1. Ανάλυση της μαθησιακής επιδίωξης για την ενέργεια

Όπως αναφέρθηκε ήδη στα δύο πρώτα κεφάλαια η ενέργεια δεν περιορίζεται σε ένα φυσικό μέγεθος που αποκτά νόημα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο. Αντίθετα, έχει ενοποιητικό και διαφαινομενολογικό χαρακτήρα καθώς διατρέχει τα διάφορα πεδία των φυσικών επιστημών (Baldin, 1942; Holton & Brush 2001; Theobald, 1966). Η προσέγγιση που υιοθετείται στην παρούσα διδακτική πρόταση εισάγει και επεξεργάζεται διδακτικά την ενέργεια ως ένα θεωρητικό πλαίσιο, παρά ως ένα μεμονωμένο φυσικό μέγεθος, το οποίο προωθεί την ενοποιημένη ανάλυση της λειτουργίας συστημάτων και πιο συγκεκριμένα των μεταβολών που υφίστανται. Οι διάφορες ιδιότητες της ενέργειας εισάγονται σταδιακά ως στοιχεία του θεωρητικού πλαισίου στο οποίο προσδίδουν τη δυνατότητα, αφενός, να παρέχει συνεπείς ερμηνείες για την εμφάνιση μεταβολών (διάδοση ενέργειας/μετατροπή μορφής ενέργειας) και, αφετέρου, να προβλέπει την εξέλιξη της λειτουργίας του συστήματος προσδιορίζοντας μεταβολές που είτε αποκλείεται να παρατηρηθούν (λόγω της ιδιότητας της διατήρησης της ενέργειας) είτε είναι ιδιαίτερα πιθανό να παρατηρηθούν (λόγω της ιδιότητας της υποβάθμισης της ενέργειας). Ο διδακτικός σχεδιασμός επιδιώκει τη σύνθεση των ιδιοτήτων της ενέργειας σε ένα ενιαίο οικοδόμημα που χαρακτηρίζεται από συνοχή και τη συντονισμένη αξιοποίηση τους (π.χ. διαγραμματική ανάλυση στηριζόμενη σε συγκεκριμένες δομές – ενεργειακή αλυσίδα) για την ανάλυση απλών συστημάτων.

Η επιτυχής υλοποίηση αυτής της διδακτικής προσέγγισης προϋποθέτει επιστημολογική ενημερότητα αναφορικά με ιδέες, όπως η διάκριση ανάμεσα στην ερμηνεία και την παρατήρηση και ο ρόλος της επινόησης και της δημιουργικότητας στην επιστήμη. Αυτές οι ιδέες διαμορφώνουν ένα πλαίσιο εντός του οποίου η ενέργεια εισάγεται ως μια επινόηση (παρά ως μια παρατήρηση) η οποία αποσκοπεί στην (ενιαία) ερμηνεία φαινομένων.

Το διάγραμμα 10 αναπαριστά το σκεπτικό της παρούσας εργασίας αναφορικά με τη δομή της μαθησιακής επιδίωξης για εννοιολογική κατανόηση και επιστημολογική ενημερότητα για την ενέργεια, στις βαθμίδες εκπαίδευσης στις οποίες απευθύνεται.

Διάγραμμα 10: Δομή της μαθησιακής επιδίωξης για εννοιολογική κατανόηση και επιστημολογική ενημερότητα για την ενέργεια



5.2.1.α. Συγκεκριμενοποίηση των μαθησιακών επιδιώξεων του διδακτικού υλικού

Στο διάγραμμα 10 μπορεί κανείς να διακρίνει τρεις πτυχές στις οποίες φαίνεται να αναλύεται η επάρκεια αναφορικά με την αξιοποίηση της ενέργειας για ανάλυση φυσικών συστημάτων. Η πρώτη αφορά στην κατανόηση της φύσης της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα μέσα από το διδακτικό υλικό επιδιώκεται η διασφάλιση ενός επιστημολογικού πλαισίου εντός του οποίου τυγχάνει διαπραγμάτευσης η φύση της ενέργειας. Αυτό το πλαίσιο περιλαμβάνει τη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης (R. Bell, 2004; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002) και τη διάκριση ανάμεσα στην επινόηση και την ανακάλυψη (Piscopo & Birattari, 2002). Σε αυτό το πλαίσιο, η ενέργεια εισάγεται ως μια επινόηση (και άρα όχι ως κάτι υλικό που μπορεί να παρατηρηθεί και να απομονωθεί άμεσα) η οποία αποσκοπεί στην ερμηνεία φαινομένων (μεταβολών). Η δεύτερη πτυχή σχετίζεται με την αξία της ενέργειας στην επιστήμη και η θέση που προωθείται μέσω του διδακτικού υλικού τονίζει τη συνεισφορά της στην παροχή κοινής ερμηνείας για διαφορετικές μεταβολές. Τέλος, η τρίτη πτυχή περιλαμβάνει την ανάπτυξη των βασικών ιδιοτήτων της ενέργειας (διάδοση, μετατροπή μορφής, διατήρηση και υποβάθμιση) και τη σύνθεσή τους στο πλαίσιο της ενεργειακής αλυσίδας για την ανάλυση μεταβολών σε απλά συστήματα. Πιο κάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι συγκεκριμένες μαθησιακές επιδιώξεις που έχουν τεθεί για την καθεμιά από τις τρεις πτυχές:

Κατανόηση της φύσης της ενέργειας

- Διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης
- Διάκριση ανάμεσα στην επινόηση και την ανακάλυψη
- Αναγνώριση των επινοημένων ιδεών ως μέρους της επιστήμης
- Εκτίμηση της ανθρώπινης δημιουργικότητας στη διατύπωση ερμηνειών
- Αναγνώριση της ενέργειας ως επινοημένης ιδέας για την ερμηνεία παρατηρήσεων

Εκτίμηση της αξίας της ενέργειας στην επιστήμη

- Κατανόηση της δυνατότητας της ενέργειας να παρέχει ενιαίες ερμηνείες για μεταβολές σε διαφορετικά συστήματα

Ικανότητα ενεργειακής ανάλυσης

- Αναγνώριση βασικών μορφών αποθήκευσης ενέργειας και αντιστοίχισή τους με φυσικά συστήματα

- Αναγνώριση βασικών διεργασιών διάδοσης ενέργειας
- Αναγνώριση της ιδιότητας της ενέργειας να διαδίδεται από ένα μέρος του συστήματος σε ένα άλλο προκαλώντας μεταβολές (σε κάποια ή κάποιες από τις ιδιότητές του)
- Αναγνώριση της ιδιότητας της ενέργειας να αποθηκεύεται σε διάφορες μορφές ανάλογα με το σύστημα
- Ανάλυση μεταβολών σε συστήματα προσδιορίζοντας τις μορφές στις οποίες αποθηκεύεται και τις διεργασίες μέσω των οποίων διαδίδεται κατά τη λειτουργία του, κατασκευάζοντας την αντίστοιχη ενεργειακή αλυσίδα.
- Αντίστροφη ενεργειακή ανάλυση: προσδιορισμός συστήματος που ανταποκρίνεται σε δοσμένες ενεργειακές αλυσίδες.
- Εκτίμηση της ιδιότητας της ενέργειας να διατηρείται σταθερή σε ποσότητα και να υποβαθμίζεται μέσα από το διασκορπισμό της στον περιβάλλοντα αέρα σε μορφή εσωτερικής ενέργειας.

5.2.1.β. Ενσωμάτωση χρήσιμων ιδεών που έχουν καταγραφεί στην έρευνα για τη διδασκαλία και τη μάθηση για την ενέργεια

Στην πιο πάνω σύνοψη μπορεί κανείς να διακρίνει την ενσωμάτωση βασικών ιδεών που διατυπώνονται στη βιβλιογραφία για τη διδασκαλία της ενέργειας οι οποίες έχουν συζητηθεί στο δεύτερο κεφάλαιο. Ειδικότερα, ο διδακτικός μετασχηματισμός (α) επιχειρεί να αναδείξει το διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας, μέσα από τη μελέτη της εφαρμογής του θεωρητικού πλαισίου για την ανάλυση μεταβολών σε μεγάλο εύρος συστημάτων που καλύπτουν διάφορα πεδία της επιστήμης, (β) δίνει έμφαση στην ιδιότητα της υποβάθμισης της ενέργειας και στη σύνδεσή της με την ιδιότητα της διατήρησης, και (γ) προωθεί με συνέπεια τη διάκριση ανάμεσα σε μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας, ώστε να συστηματικοποιηθεί η χρήση τεχνικής ορολογίας και να τύχουν επεξεργασίας σχετικές δυσκολίες που τείνουν να αντιμετωπίζουν οι μαθητές (π.χ. ταύτιση εσωτερικής ενέργειας και θερμότητας).

Μια τέταρτη ιδέα η οποία υιοθετήθηκε μερικώς, και η οποία δεν αναφέρθηκε στην σύνοψη της ανάλυσης του περιεχομένου της μαθησιακής επιδίωξης, αφορά στη διαχείριση της ιδέας της αποθήκευσης της ενέργειας σε συστήματα αντικειμένων. Η προτεινόμενη διδακτική προσέγγιση εκτιμά τη σημασία της αναπαράστασης της ενέργειας ως αποθηκευμένης σε συστήματα αλλά ταυτόχρονα αναγνωρίζει το βαθμό δυσκολίας που

χαρακτηρίζει την προσπάθεια διδακτικής διαχείρισής της στη δημοτική εκπαίδευση. Με αυτό το δεδομένο, οι μορφές αποθήκευσης ενέργειας που εισάγονται στο διδακτικό υλικό διακρίνονται σε δύο ομάδες. Η πρώτη περιλαμβάνει τις μορφές ενέργειας οι οποίες θα μπορούσαν να αποδοθούν σε μεμονωμένα αντικείμενα χωρίς να οδηγούν κατά ανάγκη σε λανθασμένες αναπαραστάσεις, τουλάχιστο σε μακροσκοπικό επίπεδο ανάλυσης. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων αποτελούν η κινητική και η ελαστική ενέργεια. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τις μορφές ενέργειας στις οποίες μια τέτοια προσέγγιση δεν θα μπορούσε να θεωρηθεί παραγωγική σε καμιά περίπτωση καθώς αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα εγκυρότητας. Δύο σχετικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τη βαρυτική δυναμική ενέργεια, η οποία βρίσκεται αποθηκευμένη στο σύστημα γης-αντικειμένων, και τη χημική δυναμική ενέργεια η οποία βρίσκεται αποθηκευμένη σε συστήματα τροφής-οξυγόνου ή καυσίμου-οξυγόνου. Η διδακτική διαχείριση της ιδέας της αποθήκευσης σε συστήματα αντικειμένων επικεντρώνεται αποκλειστικά στις μορφές ενέργειας που εντάσσονται στη δεύτερη ομάδα ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις θεωρήθηκε ότι η απλουστευμένη αναπαράστασή τους μπορεί να λειτουργήσει ως παραγωγικό ενδιάμεσο στάδιο στην πορεία ανάπτυξης της αφηρημένης ιδέας της αποθήκευσης σε συστήματα αντικειμένων, σε επόμενες βαθμίδες της εκπαίδευσης.

5.2.1.γ. Θέση της διδακτικής προσέγγισης σε σχέση με αντιπαραθέσεις αναφορικά με πτυχές της διδασκαλίας και της μάθησης για την ενέργεια

Όπως έχει αναφερθεί στο δεύτερο κεφάλαιο η ερευνητική βιβλιογραφία για τη μάθηση και τη διδασκαλία της ενέργειας προσδιορίζει διάφορα ζητήματα για τα οποία δεν έχει διασφαλιστεί συναίνεση και εξακολουθούν να αντιπαραβάλλονται θέσεις και επιχειρήματα. Παρά το γεγονός ότι η θέση που υιοθετείται στην εργασία αναφορικά με αυτά τα ζητήματα μπορεί να ανιχνευθεί μέσα από την περιγραφή του διδακτικού σχεδιασμού και της δομής της ακολουθίας δραστηριοτήτων, η οποία παρατίθεται στη συνέχεια σε αυτή τη ενότητα, θεωρήθηκε χρήσιμο να συνοψισθεί και να συζητηθεί ρητά. Πιο κάτω αποτυπώνεται η προσέγγιση που έχει ακολουθηθεί για το καθένα από τα τρία ζητήματα που αναλύθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο (φύση της ενέργειας, διδακτική αξία της ιδιότητας της μετατροπής μορφής, και σύνδεση της ενέργειας με ερμηνεία μεταβολών).

5.2.1.γ1. Η φύση της ενέργειας

Η θέση που υιοθετείται στην προτεινόμενη διδακτική προσέγγιση είναι ότι η ανάπτυξη λειτουργικής κατανόησης για την ενέργεια προϋποθέτει εκτίμηση πτυχών της φύσης της ενέργειας. Η απουσία διδακτικής διαχείρισης αυτής της επιστημολογικής διάστασης

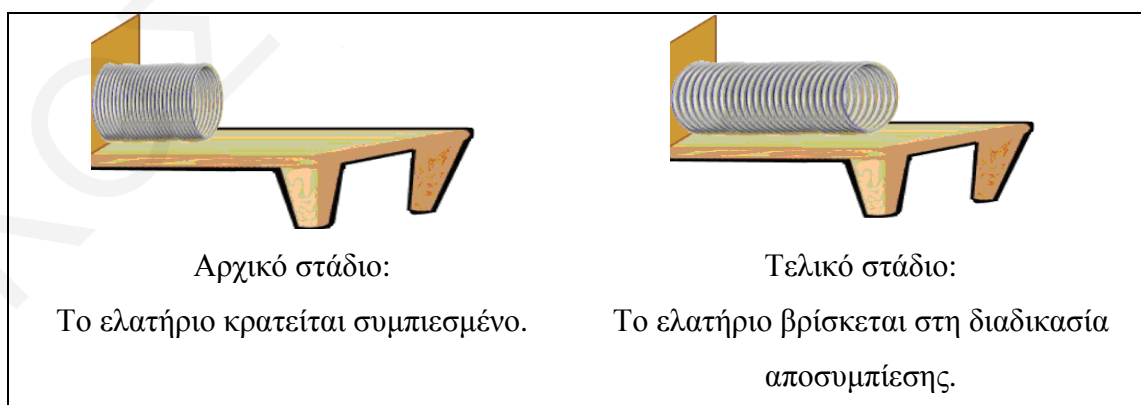
δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την έκφραση της προδιάθεσης των μαθητών να αντιλαμβάνονται την ενέργεια ως μια υλική οντότητα, υποσκάπτοντας έτσι την εννοιολογική τους κατανόηση. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη, αφενός, την πολυπλοκότητα που παρουσιάζει η φύση της ενέργειας ως αφηρημένη μαθηματική ιδέα, και, αφετέρου, τα χαρακτηριστικά του μαθητικού πληθυσμού στον οποίο απευθύνεται, αναγνωρίζεται ότι δεν θα ήταν λογική ή εφικτή η σε βάθος διδακτική επεξεργασία αυτού του ζητήματος. Συνεπώς, η προσέγγιση που υιοθετήθηκε περιορίζεται στο διδακτικό χειρισμό στοιχειωδών πτυχών της φύσης της ενέργειας επιδιώκοντας την προώθηση μιας απλουστευμένης αναπαράστασης. Ο διδακτικός μετασχηματισμός που προτείνει η εργασία σε σχέση με αυτό το ζήτημα περιλαμβάνει δύο βασικές ιδέες. Η πρώτη αφορά στη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης και η δεύτερη εστιάζεται στη διάκριση ανάμεσα στην επινόηση και την ανακάλυψη και του ρόλου τους στην επιστήμη. Μέσα από τη διδακτική επεξεργασία αυτών των δύο ιδεών επιδιώκεται η προώθηση της θέσης ότι ενώ η επιστήμη έχει εμπειρικό περιεχόμενο περιλαμβάνει επίσης θεωρητικές ιδέες και επινοήσεις που δεν προκύπτουν άμεσα από τα παρατηρησιακά δεδομένα αλλά στηρίζονται στη νοητική επεξεργασία τους και στο συνδυασμό γνώσεων, δεξιοτήτων, εμπειριών, δημιουργικότητας και επινόησης. Σε αυτό το πλαίσιο η ενέργεια εισάγεται ως μια ιδέα που έχει επινοηθεί στην επιστήμη στο πλαίσιο της προσπάθειας ερμηνείας παρατηρησιακών δεδομένων που αφορούν σε μεταβολές που συμβαίνουν σε φυσικά συστήματα. Παρά τις αδυναμίες και ελλείψεις που παρουσιάζει αυτή η προσέγγιση της φύσης της ενέργειας, θα μπορούσε να λειτουργήσει ως αφηρητικό πλαίσιο και να τύχει περαιτέρω επεξεργασίας σε επόμενο στάδιο, ώστε να εμπλουτιστεί και να ενημερωθεί προσεγγίζοντας περισσότερο τον τρόπο με τον οποίο αναπαρίσταται η ενέργεια στο ακαδημαϊκό πεδίο της φυσικής.

5.2.1.γ2. Η χρησιμότητα της ιδέας των μορφών ενέργειας και της μετατροπής ανάμεσα σε μορφές

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο η θέση της παρούσας εργασίας σε σχέση με τη διαμάχη που καταγράφεται στη βιβλιογραφία για τη χρησιμότητα της ιδέας των μορφών ενέργειας είναι ότι μπορεί να διαδραματίσει παραγωγικό και χρήσιμο ρόλο στην ανάπτυξη της ικανότητας ανάλυσης ενεργειακών συστημάτων. Πέρα από την καταρχήν τοποθέτηση υπέρ της συμπερίληψης αυτής της ιδέας στη διδασκαλία για την ενέργεια, αναγνωρίζονται συγκεκριμένοι τρόποι με τους οποίους θα μπορούσε να βοηθήσει στην ανάπτυξη του επιδιωκόμενου θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας. Ο πρώτος τρόπος αφορά στη δυνατότητα παραγωγής μοντέλων (π.χ. ενεργειακών αλυσίδων)

που να επιτρέπουν την εφαρμογή του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας σε συγκεκριμένα συστήματα. Με άλλα λόγια, η συζήτηση της ιδιότητας της ενέργειας να αποθηκεύεται σε διαφορετικές μορφές, ανάλογα με το υπό μελέτη σύστημα σε κάθε περίπτωση, επιτρέπει την εξειδίκευση του γενικού θεωρητικού πλαισίου ανάλυσης συστημάτων. Έτσι, ενώ διατηρείται η ενοποιητική ισχύς του θεωρητικού πλαισίου, αφού εφαρμόζει σε συστήματα ανεξάρτητα από το πεδίο από το οποίο προέρχονται, αποκτά παράλληλα τη δυνατότητα να συγκεκριμενοποιείται και να παρέχει ενεργειακές αναπαραστάσεις που να αφορούν σε μεμονωμένα συστήματα. Ο δεύτερος τρόπος σχετίζεται με τον παραγωγικό ρόλο της ιδιότητας της μετατροπής μορφής της ενέργειας, στην ενεργειακή ανάλυση μεταβολών σε φυσικά συστήματα. Αυτό καθίσταται προφανές τόσο από το συμπληρωματικό ρόλο που μπορεί να επιτελέσει σε σχέση με την ιδιότητα διάδοσης ενέργειας, ο οποίος αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, όσο και με τη δυνατότητα να παρέχει απλές ενεργειακές ερμηνείες σε περιπτώσεις όπου δεν είναι προφανής η εφαρμοσιμότητα της ιδιότητας της διάδοσης ενέργειας. Ένα τέτοιο παράδειγμα αφορά στο φαινόμενο της αποσυμπίεσης ενός ελατηρίου, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 11. Η μετάβαση του συστήματος από την αρχική (συμπιεσμένο ελατήριο) στην τελική κατάσταση (το ελατήριο βρίσκεται στη διαδικασία αποσυμπίεσης) δεν περιλαμβάνει προφανή διάδοση ενέργειας από ένα μέρος του συστήματος σε άλλο αφού σε ολόκληρη τη διάρκεια της μεταβολής η ενέργεια βρίσκεται αποθηκευμένη στο ίδιο μέρος του συστήματος (ελατήριο). Αντίθετα, η ιδέα της μετατροπής στη μορφή της ενέργειας (από ελαστική σε κινητική) παρέχει μια απλή και έγκυρη ερμηνεία της παρατηρούμενης μεταβολής.

Διάγραμμα 11: Το σύστημα ενός ελατηρίου που αποσυμπιέζεται



Τέλος, ο τρίτος τρόπος σχετίζεται με τον παραγωγικό ρόλο που επιτελεί η ιδέα της διαφοροποίησης των μορφών ενέργειας και η ιδιότητα της μετατροπής από μια μορφή σε μια άλλη, στην υποστήριξη της εισαγωγής και διαπραγμάτευσης της ιδιότητας της

υποβάθμισης της ενέργειας. Συγκεκριμένα, η διαφοροποίηση ανάμεσα σε μορφές ενέργειας παρέχει ένα πλαίσιο συζήτησης της διαβάθμισής τους ανάλογα με την ευκολία με την οποία μπορούν να αξιοποιηθούν και της τάσης της ενέργειας να υποβαθμίζεται κατά τη λειτουργία των διαφόρων φυσικών συστημάτων μέσα από την αποθήκευσή της σε μορφές χαμηλότερης ποιότητας (π.χ. αύξηση εσωτερικής ενέργειας του αέρα που περιβάλλει το σύστημα).

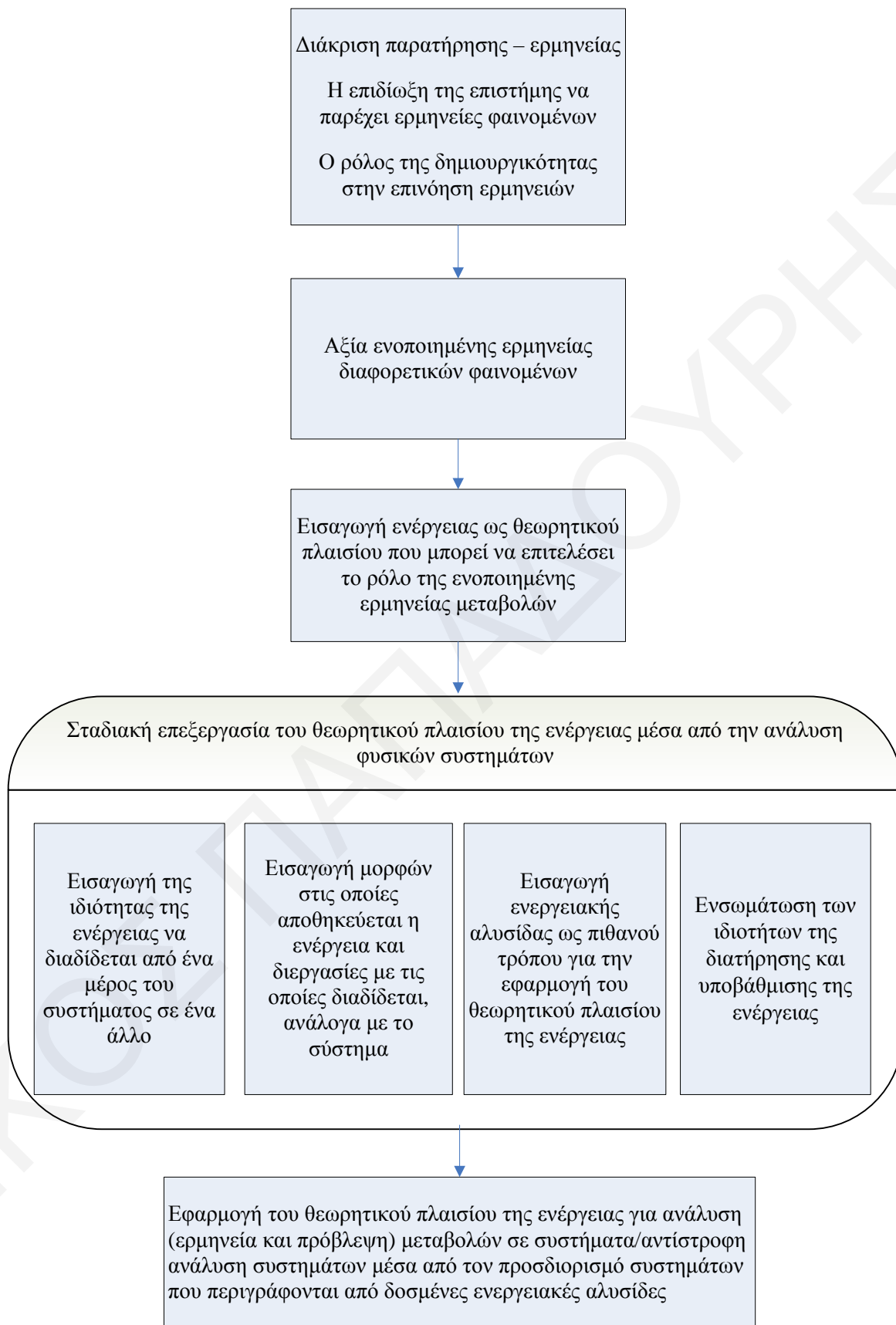
5.1.2.γ3. Η ενέργεια ως ερμηνεία μεταβολών

Όπως έχει αναφερθεί στο δεύτερο κεφάλαιο η σύνδεση της ενέργειας με την ερμηνεία μεταβολών έχει κατακριθεί ως μια ανεπαρκής προσέγγιση (Ogborn, 1986, 1990). Δεδομένου ότι αυτή η σύνδεση προωθείται άμεσα από το διδακτικό υλικό που έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο της εργασίας θα ήταν χρήσιμο να συζητηθούν και να διευκρινιστούν κάποια βασικά ζητήματα. Αρχικά, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η προτεινόμενη προσέγγιση δεν αποσκοπεί στην ανάπτυξη ενός πλαισίου για την ερμηνεία της κάθε παρατηρούμενης μεταβολής. Συνεπώς, η ενέργεια δεν εισάγεται ως μια ερμηνεία για την κάθε μεταβολή που παρατηρείται στο φυσικό κόσμο. Όπως έχει ήδη συζητηθεί, αυτή η προσέγγιση δεν θα ήταν έγκυρη αφού υπάρχουν μεταβολές που δεν περιλαμβάνουν διάδοση ενέργειας. Ωστόσο, δεδομένης της ύπαρξης ενός συγκεκριμένου εύρους μεταβολών για τις οποίες θα μπορούσαν να διατυπωθούν ενεργειακές ερμηνείες με συνέπεια (π.χ. μεταβολές που δεν περιλαμβάνουν μεταφορά μάζας (Arons, 1977)) θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η σύνδεση της ενέργειας με μεταβολές επιτρέπει τη διαμόρφωση ενός αφετηριακού πλαισίου για την εισαγωγή της ενέργειας ο οποίος αξιοποιεί παραγωγικά τις αρχικές ιδέες των μαθητών. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωρίζονται οι περιορισμοί αυτής της προσέγγισης και τα όρια εφαρμογής του θεωρητικού πλαισίου.

5.2.2. Δομή διδακτικού υλικού

Στη συνέχεια αναλύεται το περιεχόμενο της ακολουθίας δραστηριοτήτων, η οποία αναπαρίσταται επίσης στο διάγραμμα 12.

Διάγραμμα 12: Αποτύπωση της ροής δραστηριοτήτων στο διδακτικό υλικό



5.2.2.α. Ενότητα 1: Θεωρίες, μοντέλα και παρατηρήσεις

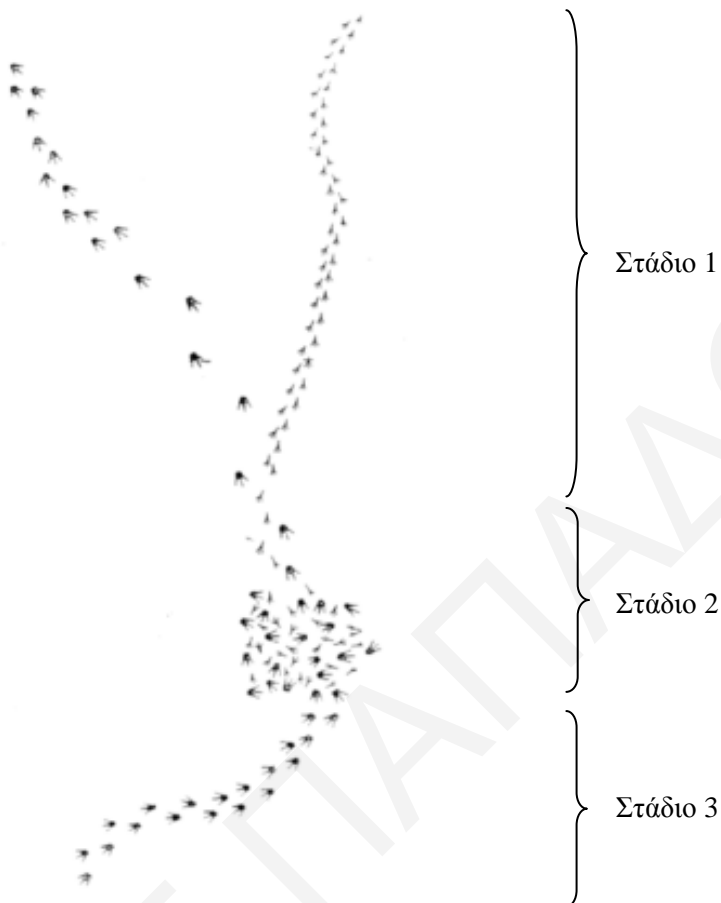
Η πρώτη ενότητα επιδιώκει να αναδείξει συγκεκριμένες πτυχές της φύσης της επιστήμης οι οποίες κατέχουν σημαντικό ρόλο στην προτεινόμενη διδακτική προσέγγιση. Για το σκοπό αυτό αξιοποιούνται τόσο δραστηριότητες οι οποίες διαπλέκονται με το εννοιολογικό περιεχόμενο των φυσικών επιστημών (integrated approaches) όσο και δραστηριότητες ανεξάρτητες από αυτό (non-integrated approaches) (βλ. δεύτερο κεφάλαιο).

Το πρώτο μέρος της ενότητας επιδιώκει να βοηθήσει τους μαθητές να αντιληφθούν τη διαφορά ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης, η οποία αποτελεί μια θεμελιώδη ιδέα στην οποία στηρίζεται το επιδιωκόμενο θεωρητικό πλαίσιο της ενέργειας. Η δραστηριότητα, η οποία βασίζεται σε προηγούμενη εργασία των Khalick και Lederman (2000), παρουσιάζει στους μαθητές ένα σκίτσο με δυο διαφορετικά είδη στιγμάτων τα οποία είναι διατεταγμένα με συγκεκριμένο τρόπο (διάγραμμα 13). Η διάταξη εμφανίζεται προοδευτικά σε τρία στάδια, όπως σημειώνεται στο διάγραμμα 13. Σε κάθε στάδιο υποβάλλονται στους μαθητές συγκεκριμένα ερωτήματα τα οποία έχουν ως στόχο να τους εμπλέξουν σε αναστοχαστική επιστημολογική συζήτηση για τις υπό έμφαση ιδέες. Ειδικότερα, στην πρώτη φάση δίνεται στους μαθητές το ερώτημα «τι παρατηρείτε;» και επίσης πιθανές απαντήσεις, ώστε να τις αξιολογήσουν ως προς τη δυνητική εγκυρότητά τους. Οι απαντήσεις έχουν σχεδιαστεί, ώστε να καλύπτουν τρεις περιπτώσεις. Ειδικότερα, κάποιες από τις απαντήσεις μπορούν να χαρακτηριστούν ως ορθές, υπό την έννοια ότι περιγράφουν παρατηρήσεις οι οποίες είναι συμβατές με το μέρος τους διαγράμματος που είναι προσβάσιμο στους μαθητές κατά το συγκεκριμένο στάδιο (π.χ. υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη στιγμάτων, τα δύο στίγματα συγκλίνουν μεταξύ τους). Σε άλλες περιπτώσεις, οι απαντήσεις περιλαμβάνουν δηλώσεις οι οποίες παρόλο που είναι διατυπωμένες ως παρατηρήσεις δεν συνάδουν με το διάγραμμα (π.χ. τα δύο ίχνη είναι ισομεγέθη). Τέλος, η τρίτη περίπτωση αφορά σε δηλώσεις που δεν περιγράφουν παρατηρήσεις αλλά προτείνουν ερμηνείες για κάποιες παρατηρήσεις και επομένως είναι άσχετες με το ερώτημα (π.χ. στο σκίτσο υπάρχουν ίχνη από πουλιά που περπατούν).

Αυτή η δραστηριότητα επιδιώκει να διαμορφώσει ένα κατάλληλο πλαίσιο στο οποίο να εισαχθεί ο όρος «επιστημονική παρατήρηση» και να αναπτυχθεί ένας σχετικός λειτουργικός ορισμός (η πληροφόρηση που μπορεί να αντλήσει κανείς με τις αισθήσεις του, ή τις επεκτάσεις των αισθήσεών του). Αυτός ο ορισμός αξιοποιείται στη συνέχεια της ενότητας. Επίσης, η αποκάλυψη του δεύτερου μέρους του διαγράμματος παρέχει τη

δυνατότητα εφαρμογής του ορισμού για τη διατύπωση παρατηρήσεων που αφορούν στο καινούριο τμήμα του διαγράμματος και προσφέρει στους μαθητές την ευκαιρία για περαιτέρω εξοικείωση με το συγκεκριμένο ορισμό.

Διάγραμμα 13: Αναπαράσταση της αρχικής δραστηριότητας για τη διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας παρατήρησης



Μετά την αποκάλυψη του δεύτερου και του τρίτου μέρους του διαγράμματος προτείνονται στους μαθητές, μέσα από σχετική δραστηριότητα, πιθανές ερμηνείες για την εμφάνιση της συγκεκριμένης διάταξης των στιγμάτων και τους ζητείται να αξιολογήσουν την εγκυρότητά τους. Μερικές από τις ερμηνείες έχουν διατυπωθεί, ώστε να προτείνουν ευλογοφανείς μηχανισμούς για τη διαμόρφωση της διάταξης των στιγμάτων. Ένα τέτοιο παράδειγμα αναφέρεται στη διαδρομή που ακολουθούν δύο διαφορετικά πουλιά τα οποία συγκλίνουν σε ένα σημείο το οποίο παρουσιάζει κάποια ιδιαιτερότητα (π.χ. μια λίμνη) και ακολούθως, όταν συναντηθούν, αρχίζουν να παίζουν και τελικά το ένα από αυτά πετά μακριά (για αυτό εξαφανίζονται τα ίχνη του) ενώ το άλλο συνεχίζει να περπατά και απομακρύνεται από το σημείο της συνάντησης. Αντίθετα, κάποιες άλλες προτεινόμενες ερμηνείες συγκρούονται με τα διαθέσιμα δεδομένα και επομένως δεν μπορούν να

θεωρηθούν έγκυρες. Για παράδειγμα, μια τέτοια ερμηνεία προτείνει ότι τα δύο πουλιά αφού συναντηθούν αρχίζουν να τσακώνονται και ακολούθως απομακρύνονται από το σημείο συνάντησης περπατώντας σε αντίθετες κατευθύνσεις. Αυτή η δραστηριότητα περιλαμβάνει δύο φύλλα εργασίας τα οποία επιδιώκουν να εμπλέξουν τους μαθητές σε επιστημολογική συζήτηση για συγκεκριμένα θέματα. Στο πρώτο φύλλο εργασίας ζητείται από τους μαθητές να εντοπίσουν αρχικά ερμηνείες που μπορούν να θεωρηθούν δυνητικά έγκυρες και, αντίστοιχα, στο δεύτερο ζητείται να επισημάνουν τις ερμηνείες που θεωρούν λανθασμένες. Και στις δύο περιπτώσεις ζητείται από τους μαθητές να αιτιολογήσουν το συλλογισμό τους.

Μέσα από αυτά τα φύλλα εργασίας και τη σχετική συζήτηση οι μαθητές καθοδηγούνται σταδιακά να αναπτύξουν την ιδέα ότι ενώ οι παρατηρήσεις αναφέρονται σε πληροφορίες που μπορούν να καταγραφούν άμεσα (ή έμμεσα) από τις αισθήσεις μας, η ερμηνεία τους αποτελεί ένα προϊόν επινόησης το οποίο δεν ενυπάρχει στα παρατηρησιακά δεδομένα αλλά εκτείνεται πέρα από αυτά και στηρίζεται, σε μεγάλο βαθμό, στην ανθρώπινη δημιουργικότητα. Επίσης, προωθείται η κατανόηση των μαθητών για βασικές επιστημολογικές ιδέες, όπως ο σημαντικός ρόλος των παρατηρησιακών δεδομένων (α) στην αξιολόγηση της εγκυρότητας πιθανών ερμηνειών, (β) στον περιορισμό των δυνατών ερμηνειών, και (γ) στην προστασία από αυθαίρετες δηλώσεις. Με άλλα λόγια, επιδιώκεται η ανάπτυξη από μέρους των μαθητών της θέσης ότι τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις δεν επαρκούν για τον καθορισμό της ορθής ερμηνείας (συνεπώς, είναι δυνατό να συνυπάρχουν πολλαπλές πιθανές ερμηνείες για τις ίδιες παρατηρήσεις) αλλά αποτελούν ένα αξιόπιστο κριτήριο ελέγχου της εγκυρότητάς τους, αποκλείοντας εκείνες που αντιβαίνουν στα δεδομένα¹⁵.

Μια πρόσθετη συζήτηση που προβλέπεται να αναπτυχθεί στο πλαίσιο αυτής της δραστηριότητας αφορά στην επίδραση της υποκειμενικότητας στην περιγραφή παρατηρήσεων σε αντιδιαστολή με τη διατύπωση ερμηνειών. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται να αναπτύξουν οι μαθητές την ιδέα ότι είναι πιο πιθανό να μπορεί να διασφαλιστεί εύκολα συναίνεση ως προς την περιγραφή κοινών παρατηρήσεων παρά ως προς την ερμηνεία τους.

¹⁵ Αυτός ο διδακτικός χειρισμός αποτελεί μια απλούστευση αφού όπως συζητήθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο η παρουσία αντιφατικών δεδομένων δεν αποτελεί ικανή συνθήκη για τη διάψευση μιας θεωρίας. Ωστόσο, κρίθηκε χρήσιμη και παραγωγική ιδέα στο πλαίσιο του διδακτικού μετασχηματισμού λόγω της απλότητάς της και της δυνατότητάς της να εκτεθεί σε περαιτέρω διδακτική επεξεργασία σε επόμενες βαθμίδες (βλ. κεφάλαιο 6), ώστε να συζητηθεί η απόσταση που υπάρχει ανάμεσα στην ανάδειξη εμπειρικών προβλημάτων μιας επιστημονικής θεωρίας (π.χ. παρουσία αντιφατικών δεδομένων) και στην εγκατάλειψή της.

Τέλος, μια παρεμφερής διάσταση αυτής της επιστημολογικής συζήτησης αφορά στην αδυναμία μιας πρόβλεψης που έχει αξιολογηθεί αναδρομικά ως έγκυρη να αποτελέσει επαρκές στοιχείο για την επαλήθευση μιας συγκεκριμένης ερμηνείας. Αυτό προκύπτει από το φιλοσοφικό πρόβλημα των πολλαπλών υποθέσεων σύμφωνα με το οποίο μια πρόβλεψη επικυρώνει ταυτόχρονα πολλές διαφορετικές υποθέσεις/θεωρίες (βλ. συζήτηση για υποκαθορισμό της θεωρίας από τα δεδομένα στο δεύτερο κεφάλαιο (2.2.3.α.)).

Το δεύτερο μέρος της ενότητας περιλαμβάνει δύο μελέτες περίπτωσης από την ιστορία της εξέλιξης των φυσικών επιστημών και εξυπηρετεί δύο βασικούς στόχους. Ο πρώτος αφορά στη σύνδεση της προηγούμενης δραστηριότητας με τις φυσικές επιστήμες. Αυτό προωθείται παρουσιάζοντας την προσπάθεια ερμηνείας (και πρόβλεψης) φυσικών φαινομένων στη βάση των διαθέσιμων εμπειρικών δεδομένων ως την επιδίωξη της επιστήμης. Ο δεύτερος στόχος συνδέεται με την περαιτέρω διαπραγμάτευση των ιδεών που έχουν παρουσιαστεί και συζητηθεί, προηγουμένως.

Η πρώτη μελέτη περίπτωσης εστιάζεται στην αριστοτελική φυσική της κίνησης (ερμηνεία φαινομένων με βάση την τάση τους να κινούνται ελεύθερα προς τη φυσική τους θέση) ενώ η δεύτερη αφορά στη θεωρία του Λαβουαζιέ για το θερμογόνο. Και στις δύο περιπτώσεις η έμφαση εστιάζεται στην ανάδειξη του ρόλου των θεωριών ως ερμηνευτικών πλαισίων σε σχέση με παρατηρήσεις για την κίνηση των σωμάτων και τις θερμικές αλληλεπιδράσεις αντικειμένων, αντίστοιχα. Οι δύο μελέτες περίπτωσης συνοδεύονται από δραστηριότητες οι οποίες στοχεύουν να βοηθήσουν τους μαθητές:

- να εντοπίσουν τις σχετικές παρατηρήσεις στις δύο περιπτώσεις, (π.χ., όταν αφηθεί ένα αντικείμενο ελεύθερο κινείται κατακόρυφα προς τα πάνω ή προς τα κάτω ή όταν αλληλεπιδράσουν δύο σώματα διαφορετικής θερμοκρασίας τότε μειώνεται η θερμοκρασία του ζεστού και αυξάνεται η θερμοκρασία του κρύου μέχρι να καταλήξουν στην ίδια θερμοκρασία)
- να αντιληφθούν την επιδίωξη της επιστήμης να διατυπώσει ερμηνείες για παρατηρήσεις που αφορούν σε φυσικά συστήματα, και
- να εκτιμήσουν την επίδραση της δημιουργικότητας στην ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης.

Επίσης, γίνεται μια προσπάθεια να συζητηθεί ο δυναμικός χαρακτήρας των επιστημονικών θεωριών επισημαίνοντας ότι παρά τη μεγάλη επίδραση που είχαν οι δύο θεωρίες που

παρουσιάζονται στις μελέτες περίπτωσης έχουν εγκαταλειφθεί τελικά και έχουν αντικατασταθεί από άλλες θεωρίες.

Τα δύο αυτά βασικά μέρη της πρώτης ενότητας επιδιώκουν να διαμορφώσουν ένα επιστημολογικό πλαίσιο το οποίο θα στηρίξει την εισαγωγή της ενέργειας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η περιορισμένη έκθεση των μαθητών σε αυτές τις ιδέες στην πρώτη ενότητα δεν επαρκεί για την επίτευξη των μαθησιακών επιδιώξεων αναφορικά με την εκτίμηση της φύσης της ενέργειας. Αντίθετα, προορίζεται να λειτουργήσει ως σημείο αναφοράς το οποίο επανέρχεται σε πολλαπλές περιπτώσεις κατά τη διαπραγμάτευση του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας στο υπόλοιπο μέρος του διδακτικού υλικού.

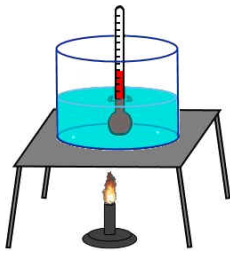
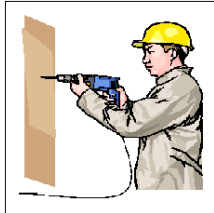
5.2.2.β. Ενότητα 2: Εντοπισμός μεταβολών – η αξία της ενιαίας ερμηνείας διαφορετικών παρατηρήσεων

Η δεύτερη ενότητα παρουσιάζει τρία διαφορετικά συστήματα (μηχανικό σύστημα που περιλαμβάνει την περιστροφή μιας βίδας, θερμική αλληλεπίδραση ανάμεσα σε ένα δοχείο με νερό και ένα γκαζάκι υγραερίου, ηλεκτρικό σύστημα τρυπανιού) τα οποία υφίστανται συγκεκριμένες μεταβολές, όπως φαίνονται στο διάγραμμα 14¹⁶. Σε κάθε σύστημα ζητείται από τους μαθητές να προτείνουν μια επιστημονική ερμηνεία για την αντίστοιχη μεταβολή. Η έμφαση στη συζήτηση του εκπαιδευτικού με τις ομάδες βρίσκεται στο βαθμό στον οποίο οι απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές προτείνουν επιστημονικές ερμηνείες αντί παρατηρήσεις (π.χ. «το κλειδί περιστρέφεται λόγω της δύναμης που εξασκεί ο εργάτης» σε αντίθεση με «το κλειδί περιστρέφεται επειδή το γυρίζει ο εργάτης») χωρίς να συζητείται η εγκυρότητα του περιεχόμενου τους. Αυτή η συζήτηση παρέχει μια πρόσθετη ευκαιρία επαναφοράς των ιδεών που έχουν εισαχθεί στην προηγούμενη ενότητα, όπως η διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης. Ακολούθως, το αμέσως επόμενο φύλλο εργασίας προτείνει μια χωριστή επιστημονική ερμηνεία για το κάθε φυσικό σύστημα η οποία στηρίζεται σε έννοιες από το αντίστοιχο φαινομενολογικό πεδίο. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη μεταβολή ερμηνεύεται με αναφορά στην ιδέα της δύναμης, η ερμηνεία της δεύτερης μεταβολής στηρίζεται στην ιδέα της θερμότητας και η τρίτη στη ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Σε αυτό το στάδιο, τίθεται το ζήτημα, αφενός, για την

¹⁶ Όπως συζητείται στο επόμενο κεφάλαιο, το τρίτο σύστημα (ηλεκτρικό τρυπάνι) περιλαμβάνεται στα έργα αξιολόγησης της δυνατότητας των μαθητών για ενεργειακή ανάλυση. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι πέρα από τη συγκεκριμένη δραστηριότητα, η οποία περιορίστηκε στην ερμηνεία της μεταβολής χωρίς την αξιοποίηση της ενέργειας, το συγκεκριμένο σύστημα δεν συζητήθηκε με οποιοδήποτε άλλο τρόπο στη συνέχεια και δεν αξιοποιήθηκε στις δραστηριότητες ενεργειακής ανάλυσης.

πιθανότητα ύπαρξης μιας ενιαίας ερμηνείας που να ισχύει και για τις τρεις μεταβολές και, αφετέρου, για την αξία μιας τέτοιας ενοποιημένης προσέγγισης στην ερμηνεία μεταβολών.

Διάγραμμα 14: Μεταβολές σε φυσικά συστήματα

	Ο εργάτης περιστρέφοντας το κλειδί ξεβιδώνει τη βίδα
	Το δοχείο με το νερό τοποθετείται σε ένα τραπέζακι πάνω από τη φωτιά και αρχίζει να ανεβαίνει η θερμοκρασία του
	Το ηλεκτρικό τρυπάνι τίθεται σε λειτουργία και αρχίζει να περιστρέφεται η αρίδα του

5.2.2.γ. Ενότητα 3: Το θεωρητικό πλαίσιο της ενέργειας και η συνεισφορά του στην ενιαία διαχείριση διαφορετικών μεταβολών

Έχοντας ως σημείο αναφοράς την επιστημολογική συζήτηση που έχει αναπτυχθεί στην πρώτη ενότητα και αξιοποιώντας την προηγούμενη δραστηριότητα για την ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών η επόμενη δραστηριότητα εισάγει την ενέργεια ως ένα θεωρητικό πλαίσιο που έχει επινοηθεί στην επιστήμη, ώστε να απευθυνθεί στο ζήτημα της ενοποιημένης ανάλυσης συστημάτων ανεξάρτητα από το πεδίο από το οποίο προέρχονται. Σε αυτό το στάδιο προτείνεται στους μαθητές μια αρχική εκδοχή του θεωρητικού πλαισίου σύμφωνα με την οποία η ενέργεια βρίσκεται κάπου αποθηκευμένη στο σύστημα και έχει τη δυνατότητα να διαδίδεται σε άλλα μέρη του προκαλώντας τη μεταβολή κάποιων χαρακτηριστικών τους (π.χ. θερμοκρασία, ταχύτητα κ.τ.λ.). Παρά την ασάφεια που χαρακτηρίζει αυτό το πλαίσιο, μπορεί να αξιοποιηθεί για την ερμηνεία ενός μεγάλου εύρους μεταβολών που παρατηρούνται σε φυσικά συστήματα.

Η παρούσα δραστηριότητα επιχειρεί να εισάγει την ενέργεια με τρόπο που αναδεικνύει τη χρησιμότητά της στην ευρύτερη επιδίωξη της επιστήμης να ερμηνεύσει (και να προβλέψει) πτυχές της λειτουργίας φυσικών συστημάτων. Επιπρόσθετα, η εισαγωγή της ενέργειας ως μιας επιστημονικής ερμηνείας, και, κατά συνέπεια, ως μιας επινόησης παρά ως μιας οντότητας που υπάρχει στο φυσικό κόσμο και μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ένα μακροσκοπικό αντικείμενο, αποσκοπεί να λειτουργήσει ως χρήσιμο εργαλείο στην προσπάθεια διαχείρισης της τάσης των μαθητών να αντιλαμβάνονται την ενέργεια ως μια υλική οντότητα.

5.2.2.δ. Ενότητα 4: Μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας

Η επόμενη δραστηριότητα εστιάζεται στην περαιτέρω επεξεργασία του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας. Το αφετηριακό σημείο της δραστηριότητας συνδέεται με ένα περιορισμό που χαρακτηρίζει την αρχική εκδοχή του θεωρητικού πλαισίου. Πιο συγκεκριμένα, η δήλωση «η αλλαγή στο αντικείμενο X εμφανίστηκε επειδή υπήρχε κάπου αποθηκευμένη ενέργεια στο σύστημα και διαδόθηκε στο αντικείμενο X » μπορεί να εφαρμοστεί αδιαφοροποίητα και να παρέχει ερμηνεία για πολλαπλές μεταβολές. Ο γενικός και αόριστος χαρακτήρας της θεωρίας στερεί τη δυνατότητα εξειδίκευσής της, ώστε να παρέχει λεπτομερείς περιγραφές για το κάθε μεμονωμένο υπό ανάλυση σύστημα.

Αρχικά, οι μαθητές καθοδηγούνται να αναγνωρίσουν αυτόν τον περιορισμό και να αντιληφθούν τη χρησιμότητα και σκοπιμότητα διορθωτικών ρυθμίσεων στο θεωρητικό πλαίσιο της ενέργειας. Αυτό συνδέεται άμεσα με τις μελέτες περίπτωσης από την ιστορία της επιστήμης που περιλαμβάνονται στην αρχική ενότητα, και αξιοποιούνται με στόχο τη συζήτηση του διαπραγματεύσιμου και δυναμικού χαρακτήρα των επιστημονικών θεωριών. Σε αυτό το στάδιο, εισάγεται η ιδιότητα της ενέργειας να εμφανίζεται σε διάφορες μορφές, ανάλογα με το υπό μελέτη σύστημα, και να μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη, ως μια χρήσιμη και παραγωγική επέκταση του θεωρητικού πλαισίου, η οποία συμβάλλει στη διαχείριση αυτού του περιορισμού. Η ενότητα διακρίνεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο στάδιο παρουσιάζονται οι μορφές με τις οποίες μπορεί να αποθηκευτεί η ενέργεια σε ένα σύστημα και στο δεύτερο οι διεργασίες μέσω των οποίων διαδίδεται από ένα μέρος του συστήματος σε ένα άλλο. Οι δύο υποενότητες συζητούνται χωριστά στη συνέχεια.

5.2.2.δ1.Μορφές ενέργειας σε αποθήκευση

Η κάθε μορφή ενέργειας σε αποθήκευση παρουσιάζεται στους μαθητές στο πλαίσιο της μελέτης ενός σχετικού φυσικού συστήματος όπως φαίνεται στον πίνακα 13.

Πίνακας 13: Συγκείμενο εισαγωγής της κάθε μορφής αποθήκευσης ενέργειας

Μέρος του συστήματος στο οποίο βρίσκεται αποθηκευμένη η ενέργεια	Μορφή αποθήκευσης ενέργεια	Περιγραφή συστήματος
Ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα αντικείμενο λόγω της αλληλεπίδρασής του με το βαρυτικό πεδίο της γης ¹⁷	Βαρυτική δυναμική ενέργεια	Ένα ανυψωμένο φορτίο αφήνεται να πέσει προς το έδαφος
Ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα ελαστικό αντικείμενο που έχει τεντωθεί	Ελαστική δυναμική ενέργεια	Τέντωμα της χορδής ενός τόξου
Ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα ελαστικό αντικείμενο που έχει συσπειρωθεί	Ελαστική δυναμική ενέργεια	Συμπίεση ενός ελατηρίου
Ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε κίνηση	Κινητική ενέργεια	Εκτόξευση ενός βέλους (αφήνοντας την τεντωμένη χορδή να χαλαρώσει)

¹⁷ Μετά από την αρχική συζήτηση αυτής της μορφής αποθηκευμένης ενέργειας με τους μαθητές, κρίθηκε σκόπιμο να εξαιρεθεί από τη διδασκαλία και έτσι αναπροσαρμόστηκαν τα συστήματα που μελετούνταν, ώστε να μην περιλαμβάνουν αυτή τη μορφή αποθηκευμένης ενέργειας. Αυτό θεωρήθηκε χρήσιμο δεδομένου του μεγάλου βαθμού αφαίρεσης που χαρακτηρίζει τη βαρυτική δυναμική ενέργεια και τη σύνδεσή της με τη δύναμη του βάρους, ως αλληλεπίδραση ανάμεσα στη γη και στο ανυψωμένο αντικείμενο. Αυτό το σημείο συζητείται σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο επόμενο κεφάλαιο.

Ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στις μπαταρίες.	Χημική δυναμική ενέργεια	Λειτουργία ενός απλού κυκλώματος ενός λαμπτήρα
Ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στο σύστημα καυσίμων-οξυγόνου	Χημική δυναμική ενέργεια	Ένα γκαζάκι που λειτουργεί με υγραέριο τίθεται σε λειτουργία
Ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στο σύστημα τροφής-οξυγόνου	Χημική δυναμική ενέργεια	Ένας τοξοβόλος τεντώνει τη χορδή του τόξου

Αρχικά οι δραστηριότητες περιορίζονται στην περιγραφή του μέρους του συστήματος στο οποίο βρίσκεται αποθηκευμένη η κάθε μορφή ενέργειας (πρώτη στήλη πίνακα 13) και αποφεύγεται οποιαδήποτε αναφορά στην τεχνική ορολογία για τις αντίστοιχες μορφές ενέργειας (δεύτερη στήλη πίνακα 13). Όπως συζητήθηκε νωρίτερα, η ενέργεια παρουσιάζεται ως ιδιότητα μεμονωμένων αντικειμένων του συστήματος, εκτός από τις περιπτώσεις της βαρυτικής και χημικής ενέργειας. Η προσέγγιση που εφαρμόζεται για την ανάπτυξη της ιδέας της αποθήκευσης της ενέργειας σε συνδυασμούς αντικειμένων σε αυτές τις περιπτώσεις, θέτει την έμφαση σε μια βασική πτυχή της δεξιάτητας της συστημικής σκέψης. Πιο συγκεκριμένα, κατά την εισαγωγή των δύο συγκεκριμένων μορφών αποθήκευσης γίνεται μια συστηματική προσπάθεια καλλιέργειας της ιδέας ότι υπάρχουν ιδιότητες που δεν μπορούν να αποδοθούν σε μεμονωμένα αντικείμενα του συστήματος αλλά προκύπτουν ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης δύο ή περισσότερων αντικειμένων μεταξύ τους (Richmond, 2000). Για παράδειγμα, η χημική δυναμική ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στο σύστημα καύσιμο-οξυγόνου δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά σε κανένα από τα δύο διότι και τα δύο αυτά στοιχεία προϋποτίθενται για να μπορεί να γίνει η καύση. Κατά αντίστοιχο τρόπο, στην περίπτωση της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας γίνεται μια προσπάθεια ανάδειξης της αδυναμίας της αποκλειστικής απόδοσης της ενέργειας στο ανυψωμένο αντικείμενο να εκτιμήσει το σημαντικό ρόλο της γης και την αλληλεπίδρασή της με το αντικείμενο. Αυτός ο διδακτικός χειρισμός, παρά το γεγονός ότι δεν διαπραγματεύεται άμεσα το εννοιολογικό περιεχόμενο της ιδέας της αποθήκευσης της ενέργειας σε συστήματα αντικειμένων (π.χ. τη χημική αντίδραση της καύσης και τη δύναμη ανάμεσα στη γη και στο αντικείμενο), θεωρήθηκε

κατάλληλος λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του μαθητικού πληθυσμού στον οποίο απευθύνεται και τους σχετικούς γνωστικούς και γνωσιακούς περιορισμούς που απορρέουν. Η επάρκεια αυτού του χειρισμού συζητείται στο επόμενο κεφάλαιο και συσχετίζεται με εμπειρικά δεδομένα που προέκυψαν από την εφαρμογή του.

Σε επόμενο στάδιο, ζητείται από τους μαθητές να διακρίνουν τυχόν ομαδοποιήσεις στους διάφορους τρόπους αποθήκευσης που έχουν παρουσιαστεί. Έτσι, για παράδειγμα, αναμένεται να εντοπιστεί η ομοιότητα στην περίπτωση της αποθήκευσης ενέργειας σε ένα ελαστικό αντικείμενο που είτε συμπιέζεται είτε εκτείνεται και η ομοιότητα στις περιπτώσεις όπου ελευθερώνεται ενέργεια μέσα από κάποια χημική αντίδραση (καύσιμα-οξυγόνο, τροφή-οξυγόνο και μπαταρία). Η τεχνική ορολογία για τις μορφές αποθηκευμένης ενέργειας (δεύτερη στήλη πίνακα 13) εισάγεται μόνο μετά από τη συζήτηση των ομαδοποιήσεων. Επιπρόσθετα, η κάθε μορφή αντιστοιχίζεται με μια κάρτα ορθογώνιου σχήματος η οποία περιλαμβάνει ένα σχετικό σκίτσο (πίνακας 14). Η ιδέα των συμβολικών αναπαραστάσεων για τις διάφορες μορφές ενέργειας, η οποία στηρίζεται στη διδακτική προσέγγιση που ανέπτυξαν οι Booahan και Ogborn (1996) και οι Williams και Reeves (2003), αξιοποιείται σε επόμενο στάδιο στην κατασκευή ενεργειακών αλυσίδων για την περιγραφή της πορείας που ακολουθεί η ενέργεια κατά τη διάδοσή της σε ένα σύστημα.

5.2.2.δ2. Διεργασίες διάδοσης ενέργειας

Στο επόμενο στάδιο εισάγονται οι διεργασίες διάδοσης ενέργειας, μέσα από την επεξεργασία τους στο πλαίσιο επιλεγμένων φυσικών συστημάτων (π.χ. η ηλεκτρική ενέργεια παρουσιάζεται ως η διεργασία διάδοσης ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό σύστημα) και η κάθε διεργασία αντιστοιχίζεται με ένα σχήμα βέλους το οποίο περιλαμβάνει ένα σχετικό σκίτσο (πίνακας 14). Η διαφοροποίηση ανάμεσα στο σχήμα που χρησιμοποιείται για τις μορφές αποθηκευμένης ενέργειας (ορθογώνιο) και τις διεργασίες διάδοσης ενέργειας (βέλος) στοχεύει στη συστηματικοποίηση της διάκρισης ανάμεσά τους.

Πίνακας 14: Συμβολικές αναπαραστάσεις μορφών αποθήκευσης και διεργασιών διάδοσης ενέργειας

Μορφές ενέργειας σε αποθήκευση	Διεργασίες διάδοσης ενέργειας
Ελαστική δυναμική ενέργεια 	Μηχανικό έργο 
Βαρυντική δυναμική ενέργεια 	Ηλεκτρική ενέργεια 
Χημική δυναμική ενέργεια 	Φως 
Κινητική ενέργεια 	Θερμότητα 
Εσωτερική ενέργεια 	Ήχος 

5.2.2.ε. Ενότητα 5: Η ενεργειακή αλυσίδα ως μέσο αναπαράστασης της διάδοσης ενέργειας

Η εισαγωγή των μορφών στις οποίες αποθηκεύεται η ενέργεια και των διεργασιών με τις οποίες διαδίδεται, ανάλογα με το σύστημα, επιτρέπει την εξειδίκευση του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας και τη συγκεκριμενοποίησή του ώστε να αφορά σε μεμονωμένα συστήματα. Αυτή η ενότητα εισάγει την ενεργειακή αλυσίδα ως ένα διαγραμματικό τρόπο

αναπαράστασης του μοντέλου που προκύπτει από την εφαρμογή του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας για την ανάλυση μεταβολών σε ένα συγκεκριμένο φυσικό σύστημα.

Η ενεργειακή αλυσίδα αποτελείται από μια διάταξη των καρτών που αναπαριστούν τις μορφές αποθηκευμένης ενέργειας (ορθογώνιο σχήμα) και τις διεργασίες διάδοσης ενέργειας (σχήμα βέλους), η οποία προσδιορίζει (α) τη μορφή στην οποία βρίσκεται αρχικά αποθηκευμένη η ενέργεια, (β) τις διεργασίες διάδοσης από ένα μέρος του συστήματος σε ένα άλλο και (γ) τις μορφές στις οποίες καταλήγει να αποθηκεύεται στα διάφορα στάδια της λειτουργίας του συστήματος. Η κατασκευή μιας ενεργειακής αλυσίδας προϋποθέτει το σαφή καθορισμό των ορίων της διεργασίας που μελετάται σε κάθε περίπτωση προσδιορίζοντας την αρχική και την τελική κατάσταση του υπό ανάλυση συστήματος. Η ενεργειακή αλυσίδα παρέχει ένα μηχανισμό που ερμηνεύει ενεργειακά τη μετάβαση του συστήματος από το αρχικό στο τελικό στάδιο. Στο διάγραμμα 15 εμφανίζονται ενδεικτικά παραδείγματα ενεργειακών αλυσίδων που θα μπορούσαν να κατασκευαστούν για να αναπαραστήσουν διάφορα φυσικά συστήματα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές αλυσίδες που περιγράφονται στα παραδείγματα περιορίζονται σε ένα βασικό επίπεδο λεπτομέρειας και είναι προφανές ότι θα μπορούσε κανείς να κατασκευάσει πιο σύνθετες ενεργειακές αλυσίδες και να περιγράψει σε μεγαλύτερο βάθος τη λειτουργία των συγκεκριμένων συστημάτων. Ωστόσο, κρίθηκε χρήσιμο να περιοριστούν στο επίπεδο λεπτομέρειας που επιδιώκεται να χειρίζονται οι μαθητές, ώστε να διαμορφωθεί μια αρχική εικόνα για το είδος της επάρκειας που αναμένεται να αναπτύξουν σε σχέση με την ενεργειακή ανάλυση συστημάτων.

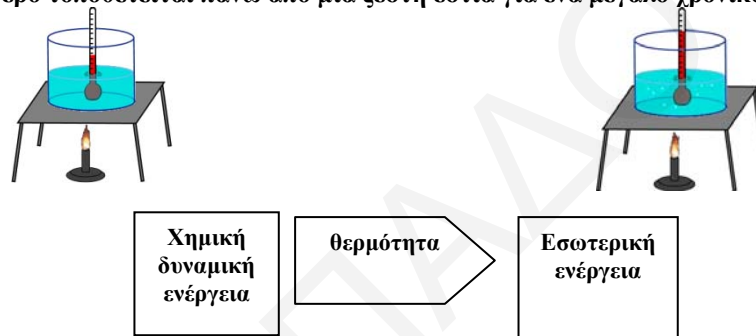
Διάγραμμα 15: Παραδείγματα από την ανάλυση μεταβολών σε συστήματα μέσα από την εφαρμογή του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας

Ένα συμπιεσμένο ελατήριο αφήνεται ελεύθερο και σπρώχνει μια μπάλα (αρχικά ακίνητη και στερεωμένη στο ελεύθερο άκρο του ελατηρίου) η οποία αρχίζει να κινείται



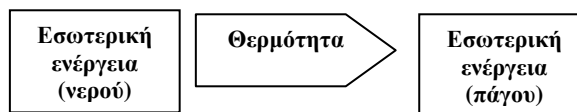
Η ελαστική ενέργεια που βρισκόταν αρχικά αποθηκευμένη στο ελατήριο μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των σπειρών του ελατηρίου. Καθώς αποσυμπιέζεται το ελατήριο και σπρώχνει την μπάλα μεταφέρει σε αυτήν ενέργεια μέσω μηχανικού έργου και αυτή η ενέργεια καταλήγει να αποθηκεύεται στην μπάλα στη μορφή της κινητικής ενέργειας.

Ένα δοχείο με νερό τοποθετείται πάνω από μια ζεστή εστία για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα



Η ενέργεια βρισκόταν αρχικά αποθηκευμένη στο σύστημα καυσίμου-οξυγόνου σε μορφή χημικής δυναμικής ενέργειας και διαδόθηκε μέσω θερμότητας στο νερό αυξάνοντας την εσωτερική του ενέργεια.

Ένα κομμάτι πάγου τοποθετείται σε ένα δοχείο με νερό θερμοκρασίας δωματίου. Σταδιακά ο πάγος καταλήγει να λιώνει



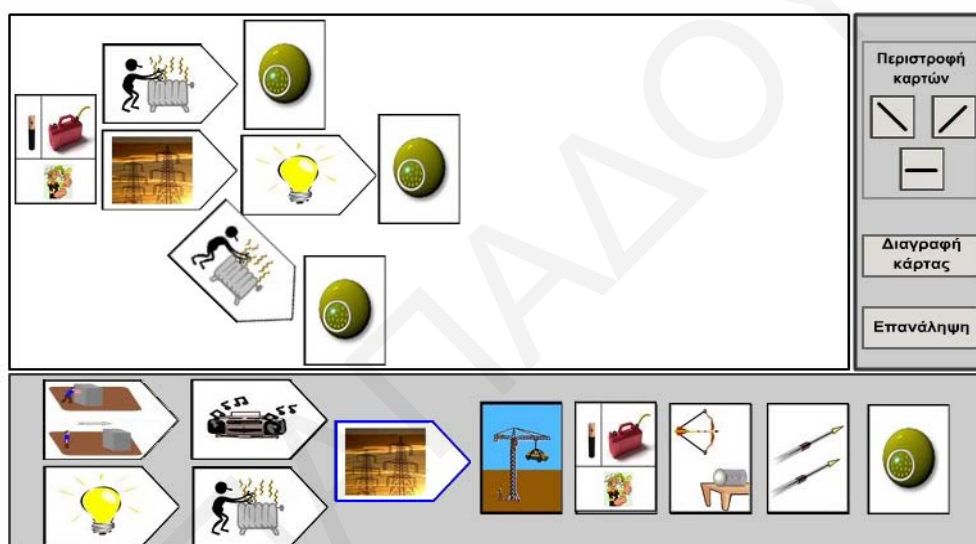
Υπάρχει μείωση της εσωτερικής ενέργειας του νερού και αντίστοιχη αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του πάγου. Η ποσότητα κατά την οποία έχει μειωθεί η εσωτερική ενέργεια του νερού έχει διαδοθεί στον πάγο μέσω θερμότητας.

Τα πιο πάνω συστήματα θεωρήθηκε ότι λειτουργούν υπό ιδεώδεις συνθήκες και έτσι η επίδραση της τριβής ή η θερμική αλληλεπίδραση με το περιβάλλον έχει θεωρηθεί αμελητέα.

Η κατασκευή ενεργειακών αλυσίδων γίνεται ηλεκτρονικά μέσα από την αξιοποίηση ενός εργαλείου το οποίο έχει ενσωματωθεί στο μαθησιακό περιβάλλον (βλ. διάγραμμα 16). Το εργαλείο περιλαμβάνει τρεις βασικούς χώρους. Στο χώρο που βρίσκεται στο κάτω μέρος εμφανίζονται οι διάφορες μορφές αποθήκευσης ενέργειας (ορθογώνια) και διεργασίες

διάδοσης (βέλη). Στο χώρο που βρίσκεται στο πάνω μέρος (ο οποίος αρχικά είναι κενός) μπορεί κανείς να μεταφέρει τις μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης που αφορούν στο υπό μελέτη σύστημα και να τις σειροθετήσει, ώστε να σχηματίσει την ενεργειακή αλυσίδα. Ο χώρος που βρίσκεται στο δεξί μέρος της επιφάνειας αφορά στην υποστήριξη της επεξεργασίας της αλυσίδας και της διάταξης των μερών που την αποτελούν. Για παράδειγμα, παρέχει διαδικασίες για τη διαγραφή περιττών στοιχείων ή την περιστροφή επιλεγμένων στοιχείων, ώστε να μπορούν να διαμορφωθούν σύνθετες ενεργειακές αλυσίδες που περιλαμβάνουν διακλαδώσεις (βλ. παράδειγμα ενεργειακής αλυσίδας στο διάγραμμα 16).

Διάγραμμα 16: Ένα παράδειγμα ενεργειακής αλυσίδας με τη χρήση του εργαλείου¹⁸



Καθώς εξελίσσεται η ακολουθία δραστηριοτήτων το εργαλείο κατασκευής ενεργειακών αλυσίδων τροποποιείται με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στην προσαρμογή του, ώστε στο κάτω μέρος να περιλαμβάνονται μόνο οι μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης που έχουν συναντήσει οι μαθητές μέχρι εκείνο το σημείο. Ο δεύτερος, αφορά στη σταδιακή αφαίρεση της υποστήριξης που παρέχεται στους μαθητές. Πιο συγκεκριμένα, ενώ αρχικά στο κάτω μέρος περιλαμβάνονται οι κάρτες με τις συμβολικές αναπαραστάσεις με τις οποίες έχει αντιστοιχιστεί η κάθε μορφή αποθήκευσης και διεργασία διάδοσης ενέργειας, σε επόμενο στάδιο διατηρούνται οι κάρτες και το σχήμα τους αλλά αντικαθίσταται το περιεχόμενό τους με την τεχνική ορολογία.

¹⁸ Το εργαλείο στο διάγραμμα έχει χρησιμοποιηθεί για να αναπαραστήσει τη λειτουργία ενός απλού κυκλώματος ενός λαμπτήρα.

Η ενεργειακή αλυσίδα, ως μοντέλο αναπαράστασης μεταβολών, αναμένεται να αποτελέσει ένα παιδαγωγικά χρήσιμο εργαλείο για την προώθηση της κατανόησης των μαθητών με διάφορους τρόπους. Ο πρώτος αφορά στη συστηματικοποίηση της διαδικασίας ανάλυσης συστημάτων μέσα από την εστίαση της προσοχής των μαθητών σε συγκεκριμένες πτυχές που αφορούν στο υπό μελέτη σύστημα (π.χ. αναγνώριση και επιλογή των σχετικών μορφών αποθηκευμένης ενέργειας και διεργασιών διάδοσής της) αποκλείοντας άλλες παρεμφερείς πληροφορίες (π.χ. τα αντικείμενα στα οποία αποθηκεύεται η ενέργεια στο σύστημα) (Van Heuvelen, 1991; Van Heuvelen & Zou, 2001).

Μια πρόσθετη πτυχή της συνεισφοράς των ενεργειακών αλυσίδων αφορά στην εισαγωγή της ιδιότητας της μετατροπής της μορφής της ενέργειας. Η ιδέα της μετατροπής μορφής της ενέργειας ενυπάρχει και αποκτά νόημα στο πλαίσιο των ενεργειακών αλυσίδων αφού η διάδοση της ενέργειας σε ένα σύστημα μέσω κάποιας διεργασίας συνοδεύεται συνήθως από τη μετατροπή της από μια μορφή σε μια άλλη. Έτσι, η ενεργειακή αλυσίδα παρέχει ένα πλαίσιο το οποίο επιτρέπει τη μετάθεση από την άνευ νοήματος χρήση τεχνικής ορολογίας στη λειτουργική αξιοποίηση των μορφών ενέργειας για την ανάλυση συστημάτων και τη διαχείριση των μεταβολών που υφίστανται. Μια παρεμφερής επιδίωξη που προωθείται μέσα από τις ενεργειακές αλυσίδες αφορά στη συστηματικοποίηση της διάκρισης ανάμεσα σε μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας.

Μια τρίτη συνεισφορά της ενεργειακής αλυσίδας, η οποία είναι θεμελιώδους σημασίας στην επεξεργασία του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας όπως υλοποιείται στο διδακτικό υλικό, σχετίζεται με την εισαγωγή της ιδέας της εσωτερικής ενέργειας. Κατά τα αρχικά στάδια της ανάπτυξης της ενεργειακής αλυσίδας αναμένεται να αναγνωριστεί από τους μαθητές ότι στις περισσότερες περιπτώσεις καμιά από τις μορφές αποθηκευμένης ενέργειας που έχουν παρουσιαστεί δεν είναι κατάλληλη για να αποτελέσει την κατάλληλή της. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για μια πρόσθετη μορφή αποθηκευμένης ενέργειας και η εσωτερική ενέργεια εισάγεται σε αυτό το στάδιο ως μια απάντηση σε αυτή την ανάγκη. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η εσωτερική ενέργεια παρουσιάζεται υιοθετώντας μια ποιοτική προσέγγιση χωρίς να γίνεται οποιαδήποτε προσπάθεια ανάπτυξης ενός μικροσκοπικού μοντέλου. Συγκεκριμένα, εισάγεται ως μια μορφή ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη σε κάθε αντικείμενο και αυξάνεται σε ποσότητα καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία των αντικειμένων.

Τέλος, μια άλλη πτυχή της συνεισφοράς της ενεργειακής αλυσίδας αφορά στην προσπάθεια ανάπτυξης της ιδέας για τη διατήρηση της ενέργειας. Παραδοσιακά, αυτή η ιδέα εισάγεται ως θεμελιώδης νόμος στον οποίο υπόκειται η ενέργεια και η έμφαση μετατίθεται στην επίλυση ποσοτικών προβλημάτων που στηρίζονται στην εφαρμογή του. Η ενεργειακή αλυσίδα, σε συνδυασμό με την ιδέα της εσωτερικής ενέργειας, παρέχει ένα εναλλακτικό πλαίσιο το οποίο ευνοεί την ανάπτυξη μιας διαισθητικής αντίληψης για τη διατήρηση της ενέργειας. Συγκεκριμένα, ένας κανόνας που διαμορφώνεται σχετικά με τις ενεργειακές αλυσίδες είναι ότι πάντοτε ξεκινούν και καταλήγουν με αποθηκευμένες μορφές ενέργειας (ορθογώνια) και αυτό υπονοεί ότι πριν την έναρξη της οποιαδήποτε διεργασίας σε ένα φυσικό σύστημα η ενέργεια βρίσκεται πάντοτε αποθηκευμένη κάπου και αντίστοιχα, όταν ολοκληρωθεί η διεργασία η ενέργεια δεν καταστρέφεται αλλά αποθηκεύεται στο σύστημα σε κάποια μορφή.

5.2.2.στ. Ενότητα 6: Η ιδέα της διατήρησης και της υποβάθμισης της ενέργειας

Σε αυτή την ενότητα οι μαθητές εμπλέκονται σε μια σειρά από δραστηριότητες οι οποίες έχουν ως στόχο να εισάγουν, στο πλαίσιο της ανάλυσης επιλεγμένων συστημάτων, τη διατήρηση και την υποβάθμιση ως ιδιότητες της ενέργειας, οι οποίες επιτρέπουν την ερμηνεία και την πρόβλεψη της λειτουργίας συστημάτων. Μια βασική δραστηριότητα που περιλαμβάνεται σε αυτή την ενότητα ζητά από τους μαθητές να κατασκευάσουν απλά κυκλώματα (π.χ. κύκλωμα ενός λαμπτήρα, απλό κύκλωμα μιας μπαταρίας και ενός βομβητή) και να κάνουν συστηματικές παρατηρήσεις για τις μεταβολές που παρατηρούνται κατά τη λειτουργία τους (π.χ. φωτοβολία λαμπτήρα, αύξηση θερμοκρασίας καλωδίων και μπαταρίας κ.τ.λ.). Στο πλαίσιο της ανάλυσης αυτών των συστημάτων ζητείται από τους μαθητές να διακρίνουν μεταξύ των μεταβολών που είναι επιθυμητές και επιδιώκονται άμεσα από τη λειτουργία της κάθε συσκευής (π.χ. παραγωγή ήχου από το βομβητή, φωτοβολίας από το λαμπτήρα, και κίνησης από το μοτέρ) και μεταβολών που συμβαίνουν αυθόρμητα χωρίς να επιδιώκονται αλλά είναι αναπόφευκτες (π.χ. αύξηση της θερμοκρασίας των διαφόρων μερών του συστήματος). Ακολούθως, ζητείται από τους μαθητές να κατασκευάσουν ενεργειακές αλυσίδες για το κάθε σύστημα και να τις αντιπαραβάλουν, ώστε να εντοπίσουν τυχόν μοτίβα. Μέσα από αυτή τη δραστηριότητα αναμένεται ότι οι μαθητές θα επισημάνουν τα εξής στοιχεία:

(α) ενώ η ενέργεια που διαδόθηκε στο κάθε σύστημα προκαλώντας μεταβολές βρισκόταν αρχικά συγκεντρωμένη σε ένα συγκεκριμένο μέρος του συστήματος στη συνέχεια διασκορπίζεται σε διάφορα μέρη του,

(β) σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας των διαφόρων μερών του συστήματος, η οποία δεν επιδιώκεται και δεν μπορεί να αποφευχθεί. Συνεπώς, ένα μέρος της ενέργειας που βρισκόταν αρχικά αποθηκευμένη στο σύστημα δεν αξιοποιείται για την παραγωγή του επιδιωκόμενου αποτελέσματος (π.χ. κίνηση στο μοτέρ/φωτοβολία λαμπτήρα) αλλά αντίθετα καταλήγει να αποθηκεύεται στα διάφορα μέρη του συστήματος αυξάνοντας την εσωτερική τους ενέργεια,

(γ) η εσωτερική ενέργεια των αντικειμένων του συστήματος (και κυρίως του αέρα) δεν μπορεί να αξιοποιηθεί εύκολα για την παραγωγή οποιουδήποτε χρήσιμου (επιδιωκόμενου) αποτελέσματος.

Αυτές οι τρεις διαπιστώσεις αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη της ιδέας της υποβάθμισης της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές καθοδηγούνται να αντιληφθούν ότι πάντοτε υπάρχει ανεπιθύμητη (και ταυτόχρονα αναπόφευκτη) αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντα αέρα, η οποία συνδέεται με αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας και ότι αυτή η ενέργεια που αποθηκεύεται με αυτό τον τρόπο δεν μπορεί να συγκεντρωθεί και να αξιοποιηθεί εύκολα. Η ιδέα της υποβάθμισης αναμένεται να ενισχύσει περαιτέρω την κατανόηση των μαθητών αναφορικά με το νόμο διατήρησης της ενέργειας βοηθώντας τους να αντιληφθούν την αποθήκευση σε εσωτερική ενέργεια ως μια πιθανή ερμηνεία για τις περιπτώσεις όπου θα έτειναν υπό άλλες συνθήκες να θεωρήσουν, με βάση τη διαίσθησή τους, ότι η ενέργεια έχει μειωθεί (ή εξαντληθεί) (π.χ. όταν τερματιστεί μια διεργασία).

5.2.2.ζ. Ενότητα 7: Ανάλυση πρόσθετων συστημάτων

Η καταληκτική ενότητα του διδακτικού υλικού εμπλέκει τους μαθητές στην ανάλυση πρόσθετων συστημάτων μέσα από την περιγραφή της πορείας που ακολουθεί η ενέργεια αξιοποιώντας το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας. Επίσης, πέρα από την ενεργειακή ανάλυση συστημάτων, δίνονται στους μαθητές έτοιμες ενεργειακές αλυσίδες, ώστε να εισηγηθούν οι ίδιοι πιθανά συστήματα που να ανταποκρίνονται σε αυτές. Τα συστήματα έχουν επιλεγεί, ώστε να φέρνουν τους μαθητές αντιμέτωπους με συγκεκριμένες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν, οι οποίες καταγράφονται στη βιβλιογραφία. Ένα σχετικό παράδειγμα αναφέρεται στην τάση των μαθητών να αποδίδουν την αύξηση της θερμοκρασίας ενός αντικειμένου αποκλειστικά στη διάδοση ενέργειας μέσω θερμότητας, αγνοώντας ότι η ίδια παρατήρηση μπορεί να προκύψει και ως αποτέλεσμα της διάδοσης ενέργειας μέσω άλλων διεργασιών, όπως το μηχανικό έργο (Loverude *et al.*, 2002; Meltzer, 2004; van Roon *et al.*, 1994). Αυτή η δυσκολία τυγχάνει χειρισμού στο πλαίσιο της ανάλυσης συστημάτων στα

οποία αυξάνεται η θερμοκρασία λόγω διάδοσης ενέργειας με μηχανικό έργο (π.χ. επίδραση της δύναμης της τριβής κατά την ολίσθηση ενός αντικειμένου σε μια επιφάνεια) ή ηλεκτρική ενέργεια (π.χ. σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα). Σε αυτό το πλαίσιο, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση, ώστε να διαφοροποιήσουν οι μαθητές ανάμεσα σε περιπτώσεις όπου η αύξηση/μείωση της θερμοκρασίας ενός αντικειμένου οφείλεται στην αλληλεπίδρασή του με άλλα αντικείμενα μικρότερης/μεγαλύτερης θερμοκρασίας και σε περιπτώσεις όπου η οποιαδήποτε διαφοροποίηση της θερμοκρασίας μερών του συστήματος δεν προϋπάρχει αλλά προκύπτει κατά τη λειτουργία του (π.χ. η αύξηση της θερμοκρασίας των διαφόρων μερών ενός ηλεκτρικού κυκλώματος).

5.3. Μέρος Β: Καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης

5.3.1. Περιγραφή της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης

Η στρατηγική της βελτιστοποίησης στην οποία εστιάζει το διδακτικό υλικό, αφορά στη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης όπου δεν υπάρχει μια τέλεια λύση αφού όλες χαρακτηρίζονται τόσο από αδυναμίες όσο και από πλεονεκτήματα. Η στρατηγική αυτή, παρέχει μια απλοποιημένη διαδικασία σύνθεσης όλων των διαθέσιμων πληροφοριών, ώστε να καθίσταται εφικτή η συνολική σύγκριση όλων των υποψήφιων λύσεων και ο εντοπισμός της λύσης που παρουσιάζει το βέλτιστο συνδυασμό πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων.

Η στρατηγική της βελτιστοποίησης που επιδιώκεται να αναπτυχθεί μέσα από την αλληλεπίδραση των μαθητών με το διδακτικό υλικό περιγράφεται στη συνέχεια στο πλαίσιο ενός παραδείγματος αναφορικά με την επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας για το νέο σταθμό αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. Για τους σκοπούς του παραδείγματος θεωρείται ότι υπάρχουν μόνο δύο σχετικά κριτήρια• ο αριθμός των κατοίκων που θα επωφεληθούν και το κόστος ανέγερσης του σταθμού σε κάθε περίπτωση. Επίσης, θεωρείται ότι ο αριθμός των κατοίκων που θα επωφεληθούν είναι κατά 25% σημαντικότερο κριτήριο από το κόστος ανέγερσης του σταθμού. Οι παράμετροι που συνθέτουν την κατάσταση λήψης απόφασης συνοψίζονται στον πίνακα 15.

Πίνακας 15: Παράδειγμα κατάστασης λήψης απόφασης

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι	105 000 κάτοικοι
Κόστος ανέγερσης σταθμού	9 εκατομμύρια λίρες	7 εκατομμύρια λίρες

Μια διαπίστωση, η οποία είναι τυπική των καταστάσεων λήψης απόφασης, είναι ότι καμιά από τις δύο πιθανές λύσεις δεν υπερτερεί και στα δύο κριτήρια. Συγκεκριμένα, το Μαρί υπερτερεί σε σχέση με το κριτήριο «αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν» αλλά βρίσκεται σε υποδεέστερη θέση σε σχέση με το «κόστος ανέγερσης σταθμού». Αυτό οδηγεί στην ανάγκη σύγκρισης των δύο εναλλακτικών επιλογών συνυπολογίζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Ωστόσο, οι δύο πιθανές λύσεις δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες αφού οι πληροφορίες για τα δύο κριτήρια εκφράζονται σε διαφορετική κλίμακα μέτρησης (αριθμός κατοίκων – κόστος σε λίρες). Η στρατηγική της βελτιστοποίησης παρέχει μια διαδικασία για τη συνολική σύγκριση των δύο επιλογών λαμβάνοντας υπόψη και ισοζυγίζοντας όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες. Η διαδικασία αναπτύσσεται σε δύο στάδια. Το πρώτο περιλαμβάνει τη μετατροπή όλων των δεδομένων σε μια κοινή κλίμακα μέτρησης (π.χ. από 0 ως 10), όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα. Ο ψηλότερος βαθμός δίνεται στην περιοχή που υπερτερεί στο κάθε κριτήριο ενώ στην άλλη περιοχή δίνεται ένας χαμηλότερος βαθμός ο οποίος αναπαριστά τη μεταξύ τους διαφορά.

Πίνακας 16: Μετατροπή πληροφοριών σε ενιαία κλίμακα μέτρησης

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	10	8
Κόστος ανέγερσης σταθμού	7	10
Σύνολο	17	18

Το αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας επιτρέπει τον υπολογισμό του συνολικού «βαθμού» της κάθε επιλογής ο οποίος καθορίζει την προτιμητέα λύση. Στο παράδειγμα, η προτιμητέα λύση είναι η Σωτήρα, η οποία συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη συνολική βαθμολογία (18 έναντι 17 στο Μαρί).

Το δεύτερο στάδιο στην εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης αφορά στη διαχείριση της διαφοροποίησης που παρατηρείται συνήθως στη σχετική σημαντικότητα

των κριτηρίων. Η στρατηγική της βελτιστοποίησης περιλαμβάνει μια διαδικασία ανάθεσης συντελεστών βαρύτητας στα διάφορα κριτήρια, ώστε να σταθμίζεται η σχετική σημαντικότητά τους. Οι συντελεστές εκφράζονται σε μια αναλογική κλίμακα (π.χ., από 1 ως 10). Το σημαντικότερο κριτήριο παίρνει το μεγαλύτερο δυνατό συντελεστή (π.χ. 10) ενώ στα υπόλοιπα κριτήρια ανατίθεται ένας μικρότερος συντελεστής ο οποίος καθορίζεται ώστε να αποδίδεται η σχετική διαφορά τους. Στην περίπτωση του παραδείγματος δόθηκε ο συντελεστής 8 στο κριτήριο «κόστος» και ο συντελεστής 10 στο κριτήριο «αριθμός των κατοίκων που θα επωφεληθούν», αφού έχει καθοριστεί ότι είναι κατά 25% πιο σημαντικό.

Πίνακας 17: Ανάθεση συντελεστών βαρύτητας και υπολογισμός συνολικής σταθμισμένης βαθμολογίας για την κάθε λύση

	Συντελεστής Βαρύτητας	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	10	$10 \times 10 = 100$	$8 \times 10 = 80$
Κόστος ανέγερσης σταθμού	8	$7 \times 8 = 56$	$10 \times 8 = 80$
Συνολική σταθμισμένη βαθμολογία		156	160

Στη συνέχεια η αρχική βαθμολογία που δίνεται στην κάθε επιλογή πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας του κάθε κριτηρίου και προκύπτει έτσι ένας νέος σταθμισμένος βαθμός, όπως φαίνεται στον πίνακα 17. Η συνολική βαθμολογία που προκύπτει για την κάθε επιλογή αθροίζοντας τους σταθμισμένους βαθμούς που συγκέντρωσε για το κάθε κριτήριο, αποτελεί μια ένδειξη της καταλληλότερης λύσης. Για παράδειγμα, σε αυτή την περίπτωση η Σωτήρα συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη συνολική βαθμολογία (160) και έτσι αναδεικνύεται ως η καταλληλότερη λύση.

Όπως έχει αναφερθεί στο δεύτερο κεφάλαιο οι καταστάσεις λήψης απόφασης, και επίσης οι προσεγγίσεις για τη διαχείρισή τους, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό στον οποίο οι διάφορες παράμετροι είναι σαφώς καθορισμένες εκ των προτέρων (decision making under certainty) ή προσεγγίζονται πιθανοκεντρικά (decision-making under uncertainty). Προφανώς, η εκδοχή της συλλογιστικής στρατηγικής στην οποία εστιάζεται το διδακτικό υλικό εντάσσεται στην πρώτη κατηγορία. Αυτό κρίθηκε σκόπιμο λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του μαθητικού πληθυσμού

στον οποίο απευθύνεται. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί η δυνατότητα της συγκεκριμένης στρατηγικής να τύχει πρόσθετου διδακτικού χειρισμού, σε μεταγενέστερο στάδιο, μέσα από την ενσωμάτωση σχετικών υπολογιστικών στοιχείων, ώστε να επεκταθεί το εύρος εφαρμογής της και να καλύπτει επίσης καταστάσεις λήψης απόφασης σε συνθήκες αβεβαιότητας (Baron, 2000).

5.3.1.α. Η επίδραση της υποκειμενικότητας στη στρατηγική της βελτιστοποίησης

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να συζητηθεί ένα παράδοξο που φαίνεται να χαρακτηρίζει τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, ενώ αποτελεί μια προσπάθεια συστηματικοποίησης και ποσοτικοποίησης πτυχών της διαδικασίας λήψης απόφασης είναι προφανές ότι υπόκειται, σε σημαντικό βαθμό, στην επίδραση της υποκειμενικότητας. Αυτή η επίδραση εντοπίζεται τόσο στον καθορισμό του βαθμού που δίνεται στις εναλλακτικές επιλογές για το κάθε κριτήριο (Πίνακας 16) όσο και στον καθορισμό του συντελεστή βαρύτητας των κριτηρίων (Πίνακας 17). Παρά το γεγονός ότι υπάρχει συγκεκριμένος κανόνας για τον καθορισμό του βαθμού και του συντελεστή βαρύτητας που θα πρέπει να δοθεί στην καλύτερη λύση σε κάθε κριτήριο και στο σημαντικότερο κριτήριο, αντίστοιχα (10) δεν υπάρχουν κανόνες που να καθορίζουν τους βαθμούς (τους συντελεστές βαρύτητας) που θα πρέπει να δοθούν στις υπόλοιπες λύσεις (στα υπόλοιπα κριτήρια).

Η θέση που υιοθετείται στην παρούσα εργασία σε σχέση με αυτό το παράδοξο στηρίζεται σε δύο επιμέρους ιδέες. Η πρώτη αφορά στην παραδοχή της αδυναμίας που χαρακτηρίζει τη λήψη απόφασης γενικότερα να διασφαλίσει πλήρως αντικειμενικές αποφάσεις. Παρόλο που θα ήταν εφικτό να περιοριστεί ο ρόλος της υποκειμενικότητας, μέσα από την ενσωμάτωση πρόσθετων υπολογιστικών πτυχών¹⁹ δεν θα μπορούσε να παρακαμφθεί εντελώς και να επιτευχθεί η διαμόρφωση σαφών και περιεκτικών κανόνων που να μπορούν να εφαρμοσθούν και να οδηγήσουν σε απόλυτα αντικειμενικές αποφάσεις. Η δεύτερη ιδέα αφορά στο γεγονός ότι ο ρόλος της υποκειμενικότητας θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο διδακτικής επεξεργασίας με χρήσιμες προεκτάσεις. Για παράδειγμα, μέσα από κατάλληλες δραστηριότητες θα ήταν εφικτό να καθοδηγηθούν οι μαθητές, ώστε, αφενός, να εκτιμήσουν την υποκειμενικότητα ως παράγοντα που υπεισέρχεται στη λήψη απόφασης (αλλά και στην επιστήμη γενικότερα (Lederman, 2004, 2007; McComas, 2000a)), και, αφετέρου, να αναγνωρίσουν πιθανούς τρόπους με τους

¹⁹Για παράδειγμα, αυτές οι πτυχές θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στη δημιουργία ενιαίας μονάδας μέτρησης των διαφόρων κριτηρίων και στον καθορισμό της επίδοσης της κάθε επιλογής σε μια κοινή κλίμακα μέτρησης.

οποίους θα μπορούσε να περιοριστεί, ή ακόμη και να αξιοποιηθεί, η επίδρασή της στη λήψη απόφασης. Για παράδειγμα, θα μπορούσε κανείς να απευθυνθεί σε ζητήματα όπως η συμβολή της συλλογικότητας στην προστασία έναντι στη μονόπλευρη και στρεβλωμένη προσέγγιση των καταστάσεων λήψης απόφασης (Baron, 2000). Επίσης, θα μπορούσε να συζητηθεί η ανάγκη για διατύπωση πειστικών επιχειρημάτων (Kuhn, 2005) για την υποστήριξη της τελικής επιλογής.

5.3.2. Ανάλυση του περιεχομένου της επιδίωξης για καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης

Η υλοποίηση της μαθησιακής επιδίωξης της καλλιέργειας της στρατηγικής της βελτιστοποίησης προϋποθέτει το διδακτικό χειρισμό μιας σειράς από επιμέρους στοιχεία. Τα πιο θεμελιώδη στοιχεία περιλαμβάνουν την ικανότητα προσδιορισμού των παραμέτρων που καθορίζουν μια κατάσταση λήψης απόφασης (κριτήρια & πιθανές λύσεις) και τη σαφή κατανόηση του στόχου της προσπάθειας διαχείρισής της (εντοπισμός προτιμητέας λύσης συνυπολογίζοντας τα σχετικά κριτήρια). Αυτά τα δύο στοιχεία προϋποτίθενται για να μπορεί κανείς να εμπλακεί αποτελεσματικά στη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης. Επίσης, χρειάζεται να εκτιμούν τη σημασία προσεκτικής επεξεργασίας της κατάστασης λήψης απόφασης με στόχο τη διασφάλιση ενός επαρκούς συνόλου κριτηρίων, ώστε να αποφεύγεται η μονόπλευρή και στρεβλωμένη προσέγγιση της.

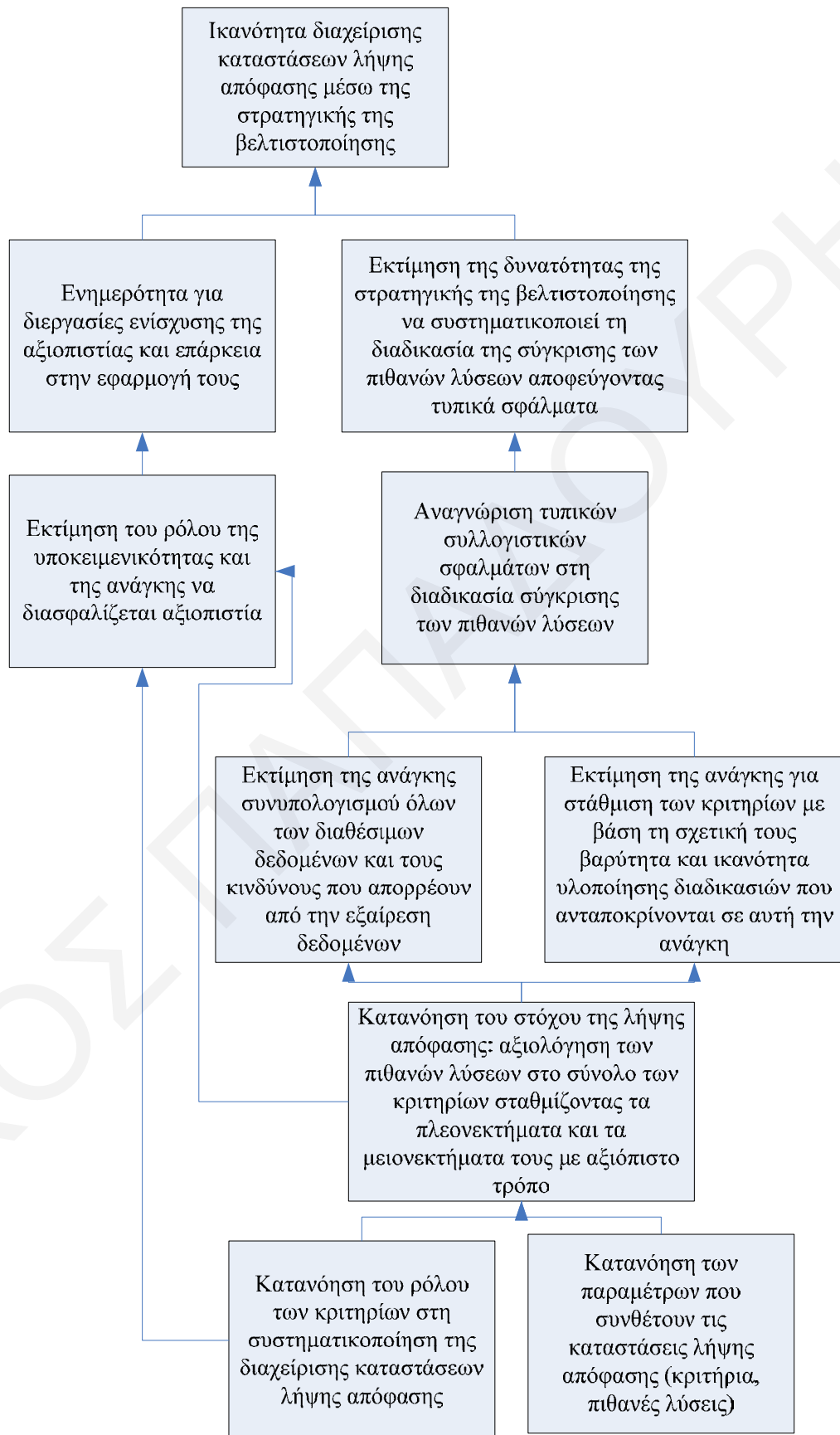
Σε ένα επόμενο στάδιο εντάσσεται η ικανότητα εκτίμησης της ανάγκης συνυπολογισμού όλων των διαθέσιμων δεδομένων και των κινδύνων που ελλοχεύουν αναφορικά με την αξιοπιστία της απόφασης που λαμβάνεται όταν εξαιρείται μέρος των δεδομένων. Παράλληλα με αυτή την ανάγκη χρειάζεται να εκτιμά κανείς τις περιπλοκές που χαρακτηρίζουν την προσπάθεια συνυπολογισμού όλων των δεδομένων, οι οποίες απορρέουν από στοιχεία όπως η διαφοροποίηση στην κλίμακα μέτρησης και τη σχετική βαρύτητα των κριτηρίων, και τυπικά σφάλματα που προκύπτουν συχνά σε αυτό το πλαίσιο. Επίσης, χρειάζεται να μπορεί κανείς να εφαρμόζει διαδικασίες που χειρίζονται αυτές τις περιπλοκές αποφεύγοντας ταυτόχρονα συνήθη σφάλματα. Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την αναγωγή των διαθέσιμων μετρήσεων σε μια ενιαία κλίμακα και τη στάθμιση των κριτηρίων ανάλογα με τη σημαντικότητά τους μέσα από την ανάθεση συντελεστών βαρύτητας.

Τέλος, ένα άλλο στοιχείο που εμπλέκεται στην ικανότητα αποτελεσματικής διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης αφορά στην εκτίμηση των περιορισμών που τη

χαρακτηρίζουν (π.χ. επίδραση υποκειμενικότητας κατά τον καθορισμό των βαθμών που θα δοθούν σε κάθε επιλογή κατά τη μετατροπή των μετρήσεων σε ενιαία κλίμακα και τον προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας) και επίσης στην αναγνώριση και υιοθέτηση προσεγγίσεων για τη διαχείριση αυτών των περιορισμών (π.χ. ενίσχυση αξιοπιστίας μέσα από τη διασφάλιση κριτηρίων που λαμβάνουν υπόψη τις διαφορετικές προοπτικές προσέγγισης της υπό μελέτη κατάστασης λήψης απόφασης).

Τα στοιχεία που έχουν αναφερθεί πιο πάνω, τα οποία συνοψίζονται στο διάγραμμα 17 μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τα στοιχεία που συνδέονται με την ικανότητα υλοποίησης της στρατηγικής και διεκπεραίωσης των διαφόρων σταδίων που περιλαμβάνει (strategic competence) ενώ η δεύτερη στην κατανόηση των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών της, ώστε να εφαρμόζεται με ενημερωμένο τρόπο (metastrategic competence). Η επίτευξη της μαθησιακής επιδίωξης για καλλιέργεια της στρατηγικής της βελτιστοποίησης προϋποθέτει τη συνδυασμένη διδακτική επεξεργασία των δύο αυτών κατηγοριών. Στη συνέχεια συνοψίζεται το σκεπτικό στο οποίο έχει στηριχθεί ο σχεδιασμός της ακολουθίας δραστηριοτήτων για την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης λαμβάνοντας υπόψη τα επιμέρους στοιχεία που περιλαμβάνει.

Διάγραμμα 17: Η δομή της μαθησιακής επιδίωξης για καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης



5.3.3. Μαθησιακές επιδιώξεις

Η ενότητα επικεντρώνεται, αφενός, στην ανάπτυξη της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση της διαδικασίας σύγκρισης των εναλλακτικών επιλογών σε καταστάσεις λήψης απόφασης (strategic competence) και, αφετέρου, στην προώθηση της κατανόησης των μαθητών για τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες της (metastrategic competence). Πιο κάτω παρατίθενται επιγραμματικά οι συγκεκριμένες επιδιώξεις στις οποίες εστιάζεται:

1. εκτίμηση της ανάγκης να συνυπολογίζονται όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες (π.χ. λαμβάνονται υπόψη όλα τα κριτήρια και όλες οι πιθανές λύσεις) και των κινδύνων που απειλούν την αξιοπιστία των αποφάσεων που λαμβάνονται όταν αγνοούνται στοιχεία.
2. εκτίμηση της ιδέας της στάθμισης ενός στοιχείου με βάση τη σχετική βαρύτητά του
3. ικανότητα εφαρμογής των σταδίων που περιλαμβάνει η στρατηγική της βελτιστοποίησης (απόδοση βαθμών στην κάθε λύση ως προς το κάθε κριτήριο, ανάθεση συντελεστών βαρύτητας)
4. εκτίμηση της επίδρασης της υποκειμενικότητας στην εφαρμογή των σταδίων της βελτιστοποίησης και της ανάγκης για τεκμηρίωση μέσω πειστικής επιχειρηματολογίας ως ενός μέσου ενίσχυσης της αξιοπιστίας.

5.3.4. Σύνοψη του σκεπτικού του διδακτικού σχεδιασμού

Το διδακτικό υλικό για την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης αποτελείται από τρεις ενότητες, οι οποίες συνδέονται θεματικά με τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης που αφορούν σε ενεργειακά ζητήματα. Ο πίνακας 18 παρουσιάζει συνοπτικά τις παραμέτρους που εμπλέκονται στο σενάριο λήψης απόφασης που χειρίζεται η καθεμιά από τις τρεις ενότητες.

Πίνακας 18: Σενάρια λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στα έργα αξιολόγησης

Συγκείμενο κατάσταση λήψης απόφασης	Υποψήφιος λύσεις	Σχετικά κριτήρια	Σχετική βαρύτητα κριτηρίων
1. Επιλογή καταλληλότερων οικοδομικών υλικών για την κατασκευή τοίχων και στέγης	Δύο υποψήφια υλικά για τοίχους Τρία υποψήφια υλικά για στέγη	(α) θερμομόνωση και (β) αντοχή σε σεισμούς	Εξίσου σημαντικά κριτήρια
2. Επιλογή καταλληλότερης ηλεκτρικής συσκευής	Τρεις υποψήφιος λύσεις	(α) κόστος, (β) αξιοπιστία και (γ) ενεργειακές απαιτήσεις	Ένα από τα κριτήρια καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από τα άλλα δύο
3. Επιλογή του καταλληλότερου καύσιμου για το νέο σταθμό παραγωγής ηλεκτρισμού	Τρεις υποψήφιος λύσεις	(α) αποδοτικότητα, (β) αποθέματα και (γ) εκπομπές βλαβερών αερίων	Τα τρία κριτήρια διαφοροποιούνται ως προς τη βαρύτητά τους και οι μαθητές έχουν την ευθύνη της ιεράρχησης και της στάθμισής τους

Η διδακτική προσέγγιση που εφαρμόζεται για την εισαγωγή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης ξεκινά δίνοντας στους μαθητές τη δυνατότητα να εφαρμόσουν προσεγγίσεις σύγκρισης και επιλογής που θεωρούν κατάλληλες χωρίς να τους επιβάλλεται εξαρχής κάποιο πρότυπο. Αυτό αναμένεται να επιτρέψει στους μαθητές να εκφράσουν τις αρχικές τους ιδέες συνεισφέροντας έτσι στη διαμόρφωση ενός κατάλληλου πλαισίου συζήτησης στο οποίο να ενταχθεί η εισαγωγή της συλλογιστικής στρατηγικής της

βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, αναμένεται ότι με αυτό τον τρόπο θα δοθεί στους μαθητές η δυνατότητα να εκτιμήσουν στοιχεία που περιπλέκουν συνήθως τις καταστάσεις λήψης απόφασης, όπως (α) η απουσία τέλειων λύσεων και η ανάγκη για συμβιβαστικές επιλογές συνυπολογίζοντας τα σχετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, και (β) η πιθανή διαφοροποίηση στην κλίμακα στην οποία μετρούνται οι πληροφορίες για τα διάφορα κριτήρια. Επίσης, επιδιώκεται η εμπλοκή των μαθητών σε διεργασίες αναστοχασμού αναφορικά με τις συλλογιστικές προσεγγίσεις που υιοθετούν αυθόρμητα, η οποία αναμένεται να τους βοηθήσει να εκτιμήσουν, αφενός, την αδυναμία τους να ανταποκριθούν στο βαθμό πολυπλοκότητας των καταστάσεων λήψης απόφασης, και, αφετέρου, την ανάγκη για πιο αξιόπιστες και αποτελεσματικές συλλογιστικές στρατηγικές.

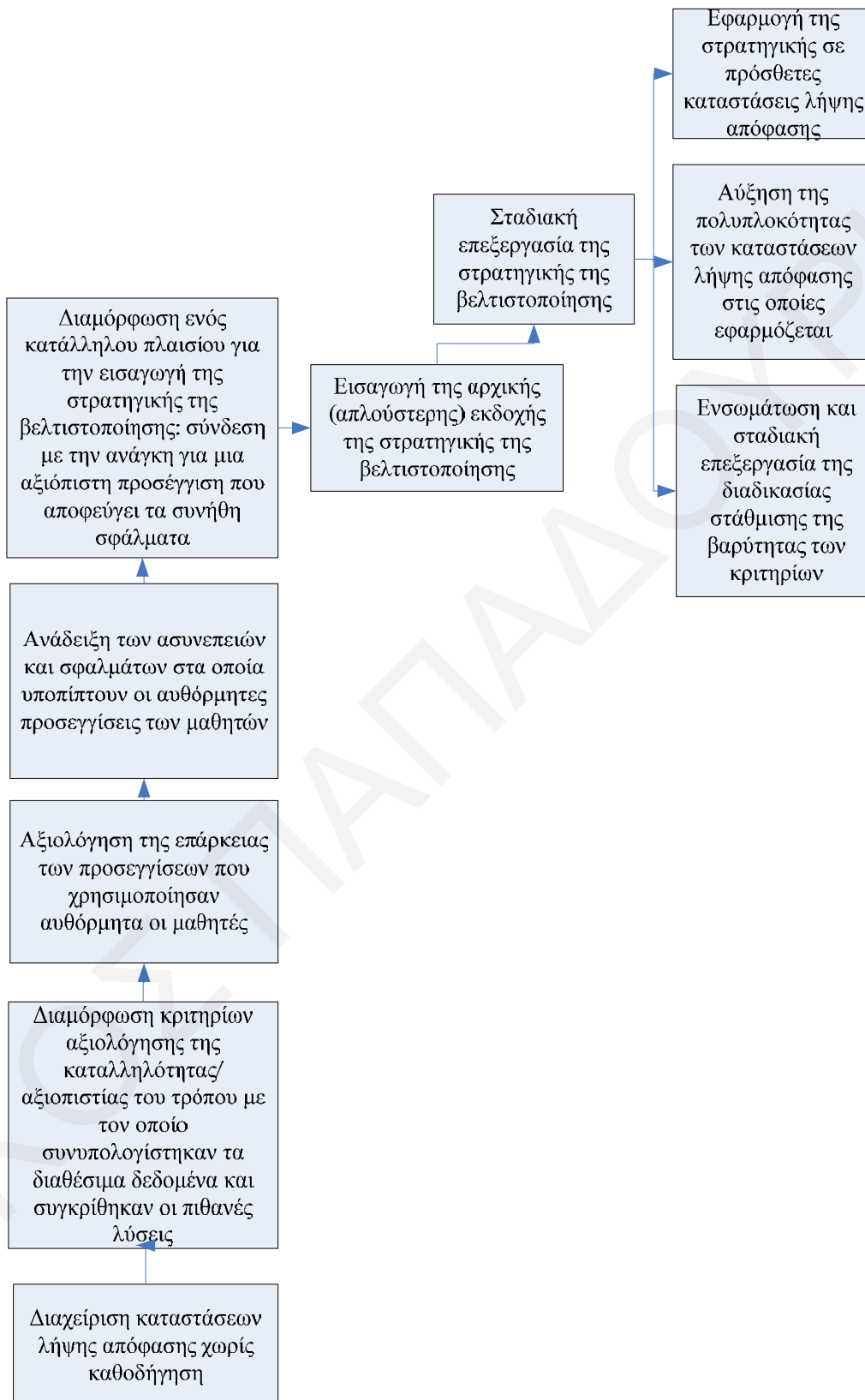
Στο επόμενο μέρος της ακολουθίας δραστηριοτήτων εισάγεται η βελτιστοποίηση, στην απλούστερή της μορφή (η οποία εξαιρεί τη διαφοροποίηση στη βαρύτητα των κριτηρίων), ως μια πιθανή συλλογιστική στρατηγική σύγκρισης των πιθανών λύσεων, μέσα από την επίδειξή της σε ένα άλλο συγκεκριμένο (αγορά αυτοκινήτου: επιλογή του καταλληλότερου από τρία μοντέλα με βάση δύο κριτήρια). Σε αυτό το πλαίσιο οι μαθητές εμπλέκονται στη διαδικασία αξιολόγησης του βαθμού στον οποίο η στρατηγική της βελτιστοποίησης μπορεί να διαχειριστεί τα στοιχεία που περιπλέκουν συνήθως τις καταστάσεις λήψης απόφασης. Έτσι, η βελτιστοποίηση δεν παρουσιάζεται σε απομόνωση από τις αυθόρμητες στρατηγικές σύγκρισης που χρησιμοποιούν οι μαθητές, αλλά εντάσσεται στο πλαίσιο συζήτησης που θα έχει ήδη διαμορφωθεί. Επίσης, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η στρατηγική της βελτιστοποίησης δεν επιβάλλεται στους μαθητές ως η μοναδική κατάλληλη στρατηγική αλλά προτείνεται ως μια πιθανή προσέγγιση και οι μαθητές εμπλέκονται στην αξιολόγησή της και τη διερεύνηση του βαθμού στον οποίο μπορεί να υπερβαίνει τις αδυναμίες που έχουν ήδη εντοπιστεί στις προσεγγίσεις που τείνουν να υιοθετούν αυθόρμητα.

Στο υπόλοιπο μέρος της ενότητας, επιχειρείται η σταδιακή αναβάθμιση της εκδοχής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, ώστε να μπορεί να διαχειριστεί την πρόσθετη πολυπλοκότητα που προκύπτει λόγω της διαφοροποίησης στη σχετική βαρύτητα των κριτηρίων. Επίσης, καταβάλλεται συστηματική προσπάθεια ώστε, αφενός, να ενδυναμωθεί η κατανόηση των μαθητών σε σχέση με τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς που παρουσιάζει η στρατηγική της βελτιστοποίησης, και, αφετέρου, να βοηθηθούν, ώστε να υπερβούν σχετικές συλλογιστικές, ή άλλες, δυσκολίες που υπεισέρχονται στη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο το οποίο χρειάζεται να καταγραφεί σε σχέση με την ακολουθία δραστηριοτήτων αφορά στο σταδιακό χαρακτήρα της εισαγωγής της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης ο οποίος προωθείται από το σχεδιασμό του διδακτικού υλικού. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον πίνακα 18 οι τρεις ενότητες διατάσσονται με βάση την πολυπλοκότητά τους, ώστε να αυξάνονται προοδευτικά οι πτυχές της στρατηγικής που τυγχάνουν διδακτικού χειρισμού. Τέλος, ένα άλλο στοιχείο που είναι χρήσιμο να διευκρινιστεί είναι ότι παρά την εστίασή τους στη συλλογιστική στρατηγική της βελτιστοποίησης, οι τρεις ενότητες ενσωματώνουν επιπρόσθετα δραστηριότητες που έχουν σχεδιαστεί με στόχο να προωθήσουν εννοιολογική κατανόηση για σχετικά ζητήματα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των θερμομονωτικών υλικών οι μαθητές καθοδηγούνται, μέσα από δραστηριότητες που έχουν ενσωματωθεί στο διδακτικό υλικό, να αναπτύξουν ένα λειτουργικό ορισμό για τη θερμομονωτική δυνατότητα στον οποίο αναμένεται να στηριχθούν για την αξιολόγηση των υποψηφίων υλικών οικοδομής, ως προς αυτό το κριτήριο.

Το ακόλουθο διάγραμμα αποτυπώνει το σκεπτικό της ενότητας για την καλλιέργεια της στρατηγικής της βελτιστοποίησης.

Διάγραμμα 18: Διαγραμματική απεικόνιση του διδακτικού σχεδιασμού της ενότητας για καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης



5.3.5.Γενικά στοιχεία για τη δομή των ενότητων

Οι τρεις ενότητες έχουν σχεδιαστεί σε διαδικτυακή μορφή και ακολουθούν κοινή δομή. Η κάθε ενότητα περιλαμβάνει ένα χώρο πλοήγησης που καθοδηγεί τους μαθητές στην εξερεύνηση του περιεχομένου της. Οι επιλογές του μενού και οι αντίστοιχες πληροφορίες με τις οποίες συνδέονται παρατίθενται συνοπτικά στον πίνακα 19 ενώ το διάγραμμα 19 παρουσιάζει την εισαγωγική σελίδα για μια από τις ενότητες, στην οποία μπορεί να εντοπίσει κανείς αυτές τις επιλογές.

Πίνακας 19: Αποτύπωση της δομής των ενότητων

Περιοχή σελίδας	Σύνοψη της πληροφόρησης που συνδέεται με την περιοχή
Εισαγωγή	Περιγράφεται το σενάριο της κατάστασης λήψης απόφασης
Αποστολή	Προσδιορίζονται σε λεπτομέρεια, και σε σύνδεση με το σενάριο, οι παράμετροι που συνθέτουν την κατάσταση λήψης απόφασης, περιλαμβανομένων των πιθανών επιλογών, των σχετικών κριτηρίων και της διαφοροποίησης στη βαρύτητά τους (όπου εφαρμόζει)
Πληροφορίες	Περιλαμβάνονται πληροφορίες υποβάθρου οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν από τους μαθητές για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης συνεισφοράς του κάθε κριτηρίου και την αξιολόγηση των πιθανών λύσεων ως προς το κάθε κριτήριο. Επίσης, στην περίπτωση της τρίτης ενότητας υπάρχει πληροφόρηση η οποία αναμένεται να αξιοποιηθεί από τους μαθητές για τον καθορισμό και τεκμηρίωση των συντελεστών βαρύτητας για τα τρία κριτήρια
Οδηγίες	Παρατίθενται γενικές οδηγίες για τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να εργάζονται οι μαθητές και, όπου εφαρμόζει, συζητούνται οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η κάθε ενότητα οι οποίες έχουν συνέπειες για τον τρόπο εργασίας των μαθητών
Σημειώσεις	Παρέχεται η δυνατότητα στους μαθητές να σημειώνουν, καθώς επεξεργάζονται τις διαθέσιμες πληροφορίες, στοιχεία που θεωρούν σημαντικά. Μέσω αυτού του συνδέσμου μπορούν να έχουν ανά πάσα στιγμή πρόσβαση στις σημειώσεις που έχουν καταχωρήσει, ώστε να τις διαβάζουν ή να τις ενημερώνουν ανάλογα

5.3.6. Περιγραφή ενότητων

5.3.6.α Επιλογή κατάλληλων θερμομονωτικών υλικών

Η πρώτη ενότητα αφορά στην επιλογή κατάλληλων υλικών για την κατασκευή α) των εξωτερικών τοίχων και β) της στέγης ενός σπιτιού. Αυτή η κατάσταση λήψης απόφασης εντάσσεται σε ένα φανταστικό σενάριο σύμφωνα με το οποίο η γη έχει πάψει πλέον να αποτελεί έναν ασφαλή πλανήτη για κατοίκηση και χρειάζεται να εγκαταλειφθεί. Οι άνθρωποι βρίσκουν καταφύγιο σε ένα άλλο πλανήτη στον οποίο υπάρχουν οι απαραίτητες προϋποθέσεις, ώστε να μπορούν να επιβιώσουν αλλά παρουσιάζει δύο σημαντικά προβλήματα. Το πρώτο είναι ότι επικρατεί ένα ιδιόμορφο κλίμα: τη μέρα υπάρχει ανυπόφορη ζέστη και το βράδυ υπερβολικό κρύο. Το δεύτερο είναι ότι στον πλανήτη γίνονται συχνά σεισμοί μεγάλης έντασης. Η αποστολή των μαθητών περιλαμβάνει την επιλογή των καταλληλότερων υλικών για την κατασκευή (α) των εξωτερικών τοίχων και (β) της στέγης, ώστε να περιορίζεται όσο το δυνατό το μέγεθος αυτών των δύο προβλημάτων.

Διάγραμμα 19: Η εμφάνιση της εισαγωγικής σελίδας των ενότητων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι απαραίτητη για τη λειτουργία των διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών. Οι ανάγκες μας σε ηλεκτρική ενέργεια αυξάνονται συνεχώς και η κυβέρνηση έχει ήδη αποφασίσει την κατασκευή ενός νέου σταθμού παραγωγής ηλεκτρισμού για να καλύψει αυτές τις ανάγκες. Σε αυτούς τους σταθμούς συνήθως καίγεται κάποια ουσία (όπως είναι για παράδειγμα το πετρέλαιο) και από αυτή την καύση ελευθερώνεται χημική ενέργεια η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που απασχολεί την κυβέρνηση σχετικά με το νέο σταθμό που θα κατασκευαστεί είναι η επιλογή του **καυσίμου που θα χρησιμοποιείται** για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Υπάρχουν τρία πιθανά καύσιμα: το **κάρβουνο**, το **πετρέλαιο** και το **φυσικό αέριο**. Πρέπει να επιλεγεί ένα από αυτά.

Στην περίπτωση της επιλογής υλικών για τους εξωτερικούς τοίχους υπάρχουν μόνο δύο πιθανές λύσεις (ξύλο και τούβλο) ενώ στην περίπτωση των υλικών για τη στέγη υπάρχουν τρία υποψήφια υλικά (αμίαντος, ξύλο, κεραμίδι). Στην καθεμιά από τις δύο περιπτώσεις

δίνονται στους μαθητές πληροφορίες για τις διαθέσιμες επιλογές υλικών σε σχέση με τα δύο κριτήρια στα οποία θα στηριχθεί η απόφαση (δυνατότητα θερμομόνωσης και αντοχή σε σεισμούς). Συγκεκριμένα δίνονται στους μαθητές μετρήσεις, σε μορφή πίνακα για (α) τη θερμοκρασία στο εσωτερικό και εξωτερικό των σπιτιών που αφορούν σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές (μεσημέρι και μεσάνυχτα) και (β) το ποσοστό των ζημιών που έχει υποστεί το κάθε σπίτι από τους σεισμούς που έχουν συμβεί σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Οι μαθητές εμπλέκονται στην επεξεργασία αυτών των πληροφοριών και στην περίπτωση της θερμομόνωσης, όπου οι απαιτήσεις της επεξεργασίας είναι σαφώς αυξημένες, οι μαθητές καθοδηγούνται μέσα από δραστηριότητες σε σχετικά φύλλα εργασίας να αναπτύξουν ένα λειτουργικό ορισμό για τη δυνατότητα θερμομόνωσης στον οποίο αναμένεται να στηριχθούν για την αξιολόγηση των διαθέσιμων υλικών ως προς τη συγκεκριμένη παράμετρο.

Στο επόμενο στάδιο ζητείται αρχικά από τους μαθητές να επιλέξουν το καταλληλότερο υλικό για την κατασκευή των εξωτερικών τοίχων του σπιτιού. Αυτή η απόφαση είναι ιδιαίτερα απλή αφού οι μαθητές αναμένεται ότι θα μπορέσουν να ιεραρχήσουν εύκολα και με έγκυρο τρόπο τις πιθανές λύσεις ως προς το κάθε κριτήριο χωριστά και να διαπιστώσουν ότι ένα από τα υλικά υπερτερεί έναντι του άλλου και στα δύο κριτήρια και επομένως μπορεί να χαρακτηριστεί με βεβαιότητα ως η βέλτιστη λύση. Αντίθετα, η επιλογή του υλικού της στέγης χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας αφού καμιά από τις πιθανές λύσεις δεν υπερτερεί και στα δύο κριτήρια. Πιο συγκεκριμένα, παρόλο που μια από τις τρεις λύσεις μπορεί να αποκλειστεί αφού έχει τις χειρότερες μετρήσεις και για τα δύο σχετικά κριτήρια, η καθεμιά από τις άλλες δύο λύσεις είναι καλύτερη από την άλλη στο ένα κριτήριο και χειρότερη στο άλλο. Επομένως, η επιλογή θα πρέπει να προκύψει μέσα από μια διαδικασία σύνθεσης και συνυπολογισμού των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων.

Αρχικά, παρέχεται η ευελιξία στους μαθητές να χειριστούν μόνοι τους το ζήτημα της επιλογής λύσης χωρίς οποιαδήποτε καθοδήγηση αναφορικά με την προσέγγιση που θα ακολουθήσουν για τη σύγκριση των υποψήφιων λύσεων και την επιλογή της προτιμητέας λύσης. Όταν καταλήξουν σε απόφαση, ζητείται από την κάθε ομάδα μαθητών να συμπληρώσει ένα σχετικό ηλεκτρονικό φύλλο εργασίας που έχει ενσωματωθεί στο διδακτικό υλικό, καταγράφοντας και επεξηγώντας το σκεπτικό της απόφασης στην οποία κατέληξαν. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα εμπειρικά δεδομένα που έχουν παρουσιαστεί στο

τέταρτο κεφάλαιο αναφορικά με τις αυθόρμητες προσεγγίσεις σύγκρισης και επιλογής που χρησιμοποιούν οι μαθητές σε περιπτώσεις λήψης απόφασης, όσο και τη διεθνή ερευνητική βιβλιογραφία, αναμένεται ότι οι πλείστοι μαθητές θα εφαρμόζουν στρατηγικές που υποπίπτουν σε διάφορα συλλογιστικά σφάλματα. Έτσι, σε αυτό το στάδιο αναμένεται να αναπτυχθεί κάποια συζήτηση με τις ομάδες των μαθητών η οποία θα εστιάζεται στην ανάδειξη αυτών των συλλογιστικών σφαλμάτων και στην ανάγκη που απορρέει για μια πιο αποτελεσματική προσέγγιση σύγκρισης των πιθανών λύσεων και επιλογής της βέλτιστης. Αυτή η συζήτηση αναμένεται να διαμορφώσει το υπόβαθρο στο οποίο θα στηριχθεί η εισαγωγή της βελτιστοποίησης ως μιας στρατηγικής που θα μπορούσε να ανταποκριθεί σε αυτή την ανάγκη.

Ακολούθως, εισάγεται μια πρώτη εκδοχή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, μέσα από την επίδειξη της σε ένα διαφορετικό απλό συγκείμενο. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται στους μαθητές, ως ένθετο στο διδακτικό υλικό, ένα παράδειγμα επιλογής αυτοκινήτου το οποίο παρουσιάζει ανάλογες περιπλοκές (απουσία τέλειας λύσης και διαφοροποίηση στην κλίμακα μέτρησης που χρησιμοποιείται για τα σχετικά κριτήρια) και έχει προσεγγιστεί με τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Σε αυτό το παράδειγμα εισάγεται η απλουστευμένη εκδοχή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης η οποία περιορίζεται στη διαχείριση της διαφοροποίησης στην κλίμακα μέτρησης των κριτηρίων. Αφού οι μαθητές παρακολουθήσουν την εφαρμογή της στρατηγικής σε αυτό το συγκείμενο συμπληρώνουν σχετικά φύλλα εργασίας τα οποία αποσκοπούν να τους εμπλέξουν σε αναστοχασμό σε σχέση με το περιεχόμενο της στρατηγικής και το βαθμό στον οποίο παρέχει ένα αξιόπιστο και αποτελεσματικό τρόπο σύγκρισης των πιθανών λύσεων. Επίσης οι μαθητές εμπλέκονται στη σύγκριση της βελτιστοποίησης με την προσέγγιση που είχαν υιοθετήσει προηγουμένως οι ίδιοι, για τη διαχείριση του ζητήματος της επιλογής υλικού για την κατασκευή της στέγης. Στο καταληκτικό μέρος αυτής της ενότητας, αφού οι μαθητές καθοδηγηθούν να εκτιμήσουν τα πλεονεκτήματα της βελτιστοποίησης, τους ζητείται να εφαρμόσουν αυτή τη στρατηγική, ώστε να καταλήξουν σε προτιμητέα επιλογή για το υλικό για τη στέγη.

5.3.6.β. Οικιακή χρήση ενέργειας

Η δεύτερη ενότητα αφορά στην επιλογή οικιακών ηλεκτρικών συσκευών με βάση τρία κριτήρια: την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία τους, την αξιοπιστία, και την τιμή τους. Σε αυτή την ενότητα εισάγεται η ιδέα της διαφοροποίησης ως προς τη σχετική βαρύτητα των κριτηρίων.

Σύμφωνα με το σενάριο της ενότητας οι μαθητές έχουν το ρόλο του υπαλλήλου σε μια εταιρεία που παρέχει συμβουλές στους πελάτες της, ώστε να κάνουν κατάλληλες επιλογές κατά την αγορά ηλεκτρικών συσκευών. Στην κάθε ομάδα μαθητών ανατίθεται ως πελάτης ο ιδιοκτήτης μιας ξενοδοχειακής μονάδας ο οποίος ενδιαφέρεται να την εξοπλίσει με μεγάλη ποσότητα από ηλεκτρικές συσκευές συγκεκριμένου είδους (π.χ. ψυγεία, πλυντήρια κ.τ.λ.). Κάθε ομάδα μαθητών επικεντρώνεται σε ένα μόνο είδος ηλεκτρικών συσκευών το οποίο καθορίζεται δυναμικά και συνήθως είναι διαφορετικό από τις υπόλοιπες ομάδες μαθητών. Συγκεκριμένα, το σύστημα επιλέγει αυτόματα και με τυχαίο τρόπο, ανάμεσα από δώδεκα πιθανές επιλογές, το είδος της συσκευής που θα ανατεθεί στην κάθε ομάδα, ώστε να διασφαλίζεται διαφοροποίηση στην αποστολή τους.

Με βάση το σενάριο της ενότητας καθορίζονται τρία κριτήρια στα οποία θα πρέπει να στηριχθεί η επιλογή ηλεκτρικής συσκευής. Τα τρία κριτήρια περιλαμβάνουν τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια, την τιμή και την αξιοπιστία. Ένα στοιχείο που αυξάνει την πολυπλοκότητα συγκριτικά με την πρώτη ενότητα, πέρα από τη διερεύνηση του πλήθους των σχετικών κριτηρίων, αφορά στη διαφοροποίηση της σχετικής βαρύτητάς τους. Συγκεκριμένα, ένα από τα τρία κριτήρια καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από τα άλλα δύο. Για το κάθε είδος ηλεκτρικής συσκευής υπάρχουν τρεις υποψήφιες λύσεις και η αποστολή της κάθε ομάδας μαθητών περιλαμβάνει την αξιολόγηση αυτών των λύσεων στη βάση των τριών κριτηρίων που ενδιαφέρουν τον πελάτη και τη διαμόρφωση τεκμηριωμένης εισήγησης για την καταλληλότερη λύση.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πέρα από την πληροφόρηση για τις επιλογές και τα κριτήρια η ενότητα περιλαμβάνει επίσης πληροφορίες υποβάθρου που αφορούν (α) στη σημασία του πετρελαίου στη σύγχρονη κοινωνία, (β) στη συνεχιζόμενη αύξηση της τιμής του και στην επακόλουθη αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας (αλλά και άλλων προϊόντων), και (γ) στην ανάγκη εξοικονόμησης ηλεκτρισμού μέσα από την επιλογή κατάλληλων συσκευών. Αυτές οι πληροφορίες αναμένεται να συμβάλουν, ώστε οι μαθητές να αντιληφθούν το ευρύτερο πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται η κατάσταση λήψης απόφασης.

Οι πληροφορίες για τις τρεις υποψήφιες λύσεις έχουν σχεδιαστεί, ώστε καμιά από αυτές να μην υπερτερεί σε όλα τα κριτήρια και αναμένεται ότι οι μαθητές θα επισημάνουν την ανάγκη για συμβιβαστική λύση και θα εκτιμήσουν ότι η αποστολή τους περιλαμβάνει τον εντοπισμό της επιλογής που παρέχει τον καλύτερο συνδυασμό πλεονεκτημάτων και

μειονεκτημάτων. Οι μαθητές αφήνονται ελεύθεροι να καταλήξουν σε κάποια επιλογή ακολουθώντας όποια προσέγγιση θεωρούν κατάλληλη και ακολούθως συμπληρώνουν ηλεκτρονικά ένα φύλλο εργασίας στο οποίο τους ζητείται να τεκμηριώσουν την απόφασή τους. Αναμένεται ότι ένα σημαντικό μέρος των μαθητών θα εντοπίσει αυθόρμητα τη δυναμική συνεισφορά της στρατηγικής της βελτιστοποίησης που θα έχει εισαχθεί στην προηγούμενη ενότητα και την καταλληλότητά της για αυτή την περίπτωση. Στις περιπτώσεις όπου δεν αναπτύσσεται αυθόρμητα αυτή η σύνδεση οι ομάδες των μαθητών εμπλέκονται σε συζήτηση με τον εκπαιδευτικό, ώστε να καθοδηγηθούν να εντοπίσουν την πολυπλοκότητα της κατάστασης λήψης απόφασης, η οποία προκύπτει από την απουσία τέλειας λύσης και να επισημάνουν την ανάγκη για μια στρατηγική βελτιστοποίησης, ώστε να μεγιστοποιείται το όφελος από την επιλογή. Ταυτόχρονα, καθοδηγούνται να επισημάνουν ότι η απλοποιημένη στρατηγική που έχει εισαχθεί στην αρχική ενότητα δεν μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της παρούσας κατάστασης λήψης απόφασης αφού αποτυγχάνει να διαχειριστεί τη διαφοροποίηση στη βαρύτητα. Έτσι, σε αυτή την ενότητα γίνεται μια προσπάθεια επέκτασής της, ώστε να διαχειρίζεται αυτή την πτυχή. Ο προσδιορισμός της διαφοροποίησης των κριτηρίων υπό μορφή λόγου (ένα κριτήριο καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από τα υπόλοιπα) διευκολύνει σημαντικά τη σχετική συζήτηση αφού περιορίζεται στην απλή ιδέα ότι ο βαθμός που δίνεται στις διάφορες επιλογές ως προς το συγκεκριμένο κριτήριο χρειάζεται να διπλασιάζεται, ώστε να λαμβάνεται υπόψη δύο φορές περισσότερο από τα υπόλοιπα κριτήρια. Σε μια προσπάθεια να υποβοηθηθούν οι μαθητές, ώστε να αναπτύξουν αυτή την ιδέα έχουν περιληφθεί δραστηριότητες που τους εμπλέκουν στη στάθμιση μεγεθών, ώστε να αποδίδεται η αναλογία που παρουσιάζουν ως προς τη βαρύτητά τους. Πιο συγκεκριμένα, σε συγκεκριμένες δραστηριότητες που έχουν ενταχθεί στην ενότητα δίνονται στους μαθητές οι απαιτήσεις διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών σε ηλεκτρική ενέργεια (σε κιλοβατώρες) και ο συνολικός χρόνος για τον οποίο βρίσκονταν σε λειτουργία και ζητείται να υπολογίσουν τη συνολική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που διαδόθηκε κατά τη λειτουργία όλων των συσκευών. Σε αυτό το πλαίσιο, οι μαθητές καθοδηγούνται να αντιληφθούν την ανάγκη στάθμισης της ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για την κάθε συσκευή ανάλογα με το χρόνο που λειτούργησε και αυτή η ιδέα αναμένεται να αξιοποιηθεί στη συνέχεια για να ενημερώσει τη συζήτηση για την πιθανότητα αναβάθμισης της στρατηγικής της βελτιστοποίησης ώστε να λαμβάνει υπόψη τη βαρύτητα των σχετικών κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, αναμένεται να βοηθήσει τους μαθητές να αναγνωρίσουν την ανάγκη να σταθμίσουν τους βαθμούς που δίνουν για τα τρία κριτήρια (κόστος, αξιοπιστία και αποδοτικότητα) και να εκτιμήσουν το διπλασιασμό του βαθμού

που δίνεται στο σημαντικότερο κριτήριο, εφόσον καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από τα υπόλοιπα, ως μια κατάλληλη προσέγγιση για την ικανοποίηση αυτής της ανάγκης στη συγκεκριμένη περίπτωση.

5.3.6.γ. Ποιο είναι το καταλληλότερο καύσιμο για το νέο ηλεκτροπαραγωγό σταθμό;

Το σενάριο στο οποίο στηρίζεται η τρίτη ενότητα αφορά στην επιλογή του καταλληλότερου καυσίμου για το νέο θερμοηλεκτρικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρισμού. Με βάση αυτό το σενάριο, υπάρχουν τρία υποψήφια καύσιμα (πετρέλαιο, κάρβουνο και φυσικό αέριο) και ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν το καταλληλότερο από αυτά στηριζόμενοι σε τρία κριτήρια: την τιμή, τα διαθέσιμα αποθέματα και την εκπομπή βλαβερών αερίων κατά την επεξεργασία του κάθε καυσίμου. Μέσα από την ενότητα καθορίζεται ότι τα τρία κριτήρια έχουν διαφορετική σημαντικότητα και δίνεται η ιεράρχησή τους ως προς αυτή την παράμετρο. Ωστόσο, σε αντίθεση με την προηγούμενη ενότητα, η ευθύνη του προσδιορισμού της σχετικής βαρύτητας των τριών κριτηρίων και του συνυπολογισμού της στη λήψη απόφασης ανατίθεται πλήρως στους μαθητές.

Σύμφωνα με το σενάριο της ενότητας, στην κάθε ομάδα μαθητών ανατίθεται ο ρόλος των μελών ενός συμβουλίου από ειδικούς που έχει την ευθύνη της διαμόρφωσης μιας εισήγησης προς την κυβέρνηση αναφορικά με το καταλληλότερο καύσιμο. Το αρχικό μέρος της ενότητας παρέχει στους μαθητές πληροφορίες αναφορικά με τις πιθανές λύσεις σε σχέση με τα τρία κριτήρια. Ακολούθως, παρουσιάζεται στους μαθητές μια σειρά από πρακτικά συνεδριάσεων της προηγούμενης επιτροπής τα οποία καταδεικνύουν ότι σε όλες τις περιπτώσεις κατέληγαν σε διαφωνίες και διακόπτονταν χωρίς να διασφαλίζεται συναίνεση.

Η αποστολή των μαθητών περιλαμβάνει τη μελέτη των πρακτικών με στόχο, (α) να εντοπίσουν το λόγο για τον οποίο διακόπηκε η κάθε συνεδρία, και (β) να προσπαθήσουν να σκεφτούν τρόπους με τους οποίους θα μπορούσε να υπερβληθεί το εμπόδιο που προέκυψε στη συνεδρία. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα πρακτικά έχουν σχεδιαστεί, ώστε να εστιάζουν σε συλλογιστικές ή επιστημολογικές δυσκολίες που εντοπίζουν οι μαθητές έχοντας ως στόχο να τους φέρουν αντιμέτωπους με αυτές.

Πέρα από τη διαχείριση των σχετικών συλλογιστικών (ή άλλων) δυσκολιών μια βασική επιδίωξη της ενότητας είναι η περαιτέρω επέκταση της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, ώστε να εφαρμόζει σε περιπτώσεις όπου η διαφοροποίηση της βαρύτητας δεν καθορίζεται

υπό μορφή λόγου. Η επέκταση της στρατηγικής προωθείται μέσα από την επίδειξή της σε μια ελαφρώς διαφοροποιημένη παραλλαγή του παραδείγματος που αξιοποιήθηκε στην πρώτη ενότητα αναφορικά με την επιλογή αυτοκινήτου. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο αυτής της δραστηριότητας, οι μαθητές μελετούν τη διαδικασία προσδιορισμού συντελεστών βαρύτητας στα διάφορα κριτήρια και τη στάθμισή τους, ώστε να λαμβάνεται υπόψη η συνεισφορά τους στη λήψη απόφασης. Παράλληλα, γίνεται μια προσπάθεια, ώστε η διαδικασία ανάθεσης συντελεστών βαρύτητας να συνδεθεί με την αντίστοιχη συζήτηση στην προηγούμενη ενότητα, όπου οι συντελεστές αποδίδονταν αναλογικά (ένα κριτήριο καθορίστηκε ως δύο φορές πιο σημαντικό από τα υπόλοιπα). Συγκεκριμένα, οι μαθητές καθοδηγούνται να εντοπίσουν ότι εφόσον δεν είναι γνωστή η σχετική αναλογία της βαρύτητας των κριτηρίων δεν είναι εφικτό να προχωρήσει κανείς άμεσα στη στάθμισή τους με τον τρόπο που έγινε στην περίπτωση της επιλογής οικιακών ηλεκτρικών συσκευών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, όπως και στην περίπτωση της εισαγωγής της αρχικής εκδοχής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, έχουν ενσωματωθεί συγκεκριμένες δραστηριότητες οι οποίες αποσκοπούν να άρουν τον παθητικό χαρακτήρα της επίδειξής της. Ειδικότερα, αυτές οι δραστηριότητες εστιάζουν στο μεταγνωστικό επίπεδο και ζητούν από τους μαθητές, αφενός, να περιγράψουν γραπτώς τη στρατηγική και τον τρόπο με τον οποίο διαφοροποιείται από την αρχική εκδοχή της, και, αφετέρου, να αιτιολογήσουν με ποιο τρόπο προσπαθεί να χειριστεί τη διαφοροποίηση στη βαρύτητας των κριτηρίων και σε ποιο βαθμό το θεωρούν επιτυχή.

Στο επόμενο στάδιο οι μαθητές καθοδηγούνται να εφαρμόσουν την πλήρη εκδοχή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης για την επιλογή του καταλληλότερου καυσίμου όπως καθορίζεται στο σενάριο της τρίτης ενότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΞΙ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ Ι: ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα αναφορικά με την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ενότητας για την εννοιολογική και επιστημολογική επεξεργασία της ενέργειας. Το κεφάλαιο αποτελείται από τέσσερα κύρια μέρη. Το πρώτο εστιάζει σε μεθοδολογικά στοιχεία με στόχο να συγκεκριμενοποιήσει, να διευκρινίσει και να εμπλουτίσει τη γενικότερη περιγραφή της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε στο τρίτο κεφάλαιο. Το δεύτερο και το τρίτο μέρος παρουσιάζουν τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού κατά την εφαρμογή του σε δύο περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, το δεύτερο μέρος αναφέρεται στην πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού στο πλαίσιο ενός απογευματινού ομίλου και το τρίτο αφορά στην εφαρμογή της αναθεωρημένης εκδοχής του σε πραγματικά περιβάλλοντα τάξης. Στο καθένα από τα δύο μέρη παρουσιάζονται τα μαθησιακά επιτεύγματα που προέκυψαν, συζητείται η αποτελεσματικότητα της ακολουθίας δραστηριοτήτων και προσδιορίζονται οι αναθεωρήσεις στις οποίες έχει υποβληθεί, η χρησιμότητα των οποίων τεκμηριώνεται με αναφορά στα εμπειρικά δεδομένα. Τέλος, το τέταρτο μέρος του κεφαλαίου επιχειρεί μια σύνθεση των ευρημάτων που προέκυψαν σε σχέση με την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού και συζητά τις συνέπειες που απορρέουν από αυτά.

6.1. Μεθοδολογικά στοιχεία για την εφαρμογή του διδακτικού υλικού

6.1.1. Γενικά στοιχεία για τις εφαρμογές του διδακτικού υλικού

Το διδακτικό υλικό εφαρμόστηκε πιλοτικά στο πλαίσιο ενός απογευματινού Ομίλου Επιστήμης και Πληροφορικής με εθελοντική συμμετοχή μαθητών ηλικίας 11 ως 14 ετών. Για την υλοποίηση του διδακτικού υλικού και την αξιολόγηση των μαθητών απαιτήθηκαν συνολικά 10 συναντήσεις, διάρκειας ενενήντα λεπτών, οι οποίες ήταν κατανομημένες σε πέντε συνεχόμενες εβδομάδες. Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που προέκυψαν από την αξιολόγηση του μαθησιακού οφέλους που αποκόμισαν οι μαθητές εντοπίστηκαν πτυχές του διδακτικού υλικού οι οποίες δεν λειτούργησαν ικανοποιητικά και μαθησιακές

επιδιώξεις οι οποίες δεν προωθήθηκαν αποτελεσματικά. Αυτή η πληροφόρηση καθοδήγησε τη διαδικασία αναθεώρησης του διδακτικού υλικού, ώστε να τύχουν χειρισμού οι περιορισμοί και οι αδυναμίες που αναγνωρίστηκαν. Η αναθεωρημένη εκδοχή του διδακτικού υλικού υλοποιήθηκε σε επόμενο στάδιο, με την παράλληλη εφαρμογή των διαδικασιών αξιολόγησης, σε τρία τμήματα έκτης τάξης ενός αστικού δημοτικού σχολείου. Για την υλοποίηση του διδακτικού υλικού, εξαιρουμένων των διαδικασιών αξιολόγησης, απαιτήθηκαν έντεκα συναντήσεις διάρκειας ογδόντα λεπτών οι οποίες ήταν κατανεμημένες σε πέντε συνεχόμενες εβδομάδες. Η αρχική και τελική αξιολόγηση των μαθητών πραγματοποιήθηκε την εβδομάδα αμέσως πριν την έναρξη και αμέσως μετά τη λήξη των διδασκαλιών. Πιο συγκεκριμένα, τα γραπτά έργα αξιολόγησης χορηγήθηκαν στο κάθε τμήμα στο πλαίσιο δύο σαραντάλεπτων περιόδων, ενώ οι ατομικές συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν αφού είχε ολοκληρωθεί η συλλογή των γραπτών δεδομένων. Τα δεδομένα που προέκυψαν από την αξιολόγηση των μαθητών αξιοποιήθηκαν και σε αυτή την περίπτωση για να ενημερώσουν και να καθοδηγήσουν την προσπάθεια αναθεώρησης του διδακτικού υλικού, ώστε να βελτιωθεί περαιτέρω η αποτελεσματικότητά του.

Στη συνέχεια, παρατίθενται συγκεκριμένα στοιχεία που αφορούν στο περιβάλλον της τάξης, τα μέσα συλλογής δεδομένων που αξιοποιήθηκαν και τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία τους και τη διασφάλιση της αξιοπιστίας τους.

6.1.1.α. Ειδικές πληροφορίες για τις εφαρμογές του διδακτικού υλικού

6.1.1.α.1. Συμμετέχοντες

- *Μαθητές*

Στην πιλοτική εφαρμογή συμμετείχαν 28 μαθητές ηλικίας 11 ως 14 ετών που προέρχονταν από τρεις διαφορετικές βαθμίδες. Πιο συγκεκριμένα, συμμετείχαν δέκα μαθητές πέμπτης δημοτικού (έξι κορίτσια και τέσσερα αγόρια), οκτώ μαθητές έκτης δημοτικού (πέντε κορίτσια και τρία αγόρια) και δέκα μαθητές πρώτης γυμνασίου (έξι κορίτσια και τέσσερα αγόρια). Στη δεύτερη εφαρμογή συμμετείχαν 64 μαθητές (31 κορίτσια και 33 αγόρια) οι οποίοι ήταν κατανεμημένοι σε τρία τμήματα (21, 21 και 22).

- *Εκπαιδευτικοί*

Η διδακτική προσέγγιση που υιοθετήθηκε για την υλοποίηση του διδακτικού υλικού, η οποία αναλύθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο, στηρίχθηκε στο πρότυπο *Φυσική με Διερώτηση*. Για την επιτυχή υλοποίηση του συγκεκριμένου διδακτικού προτύπου προϋποτίθεται η παρουσία περισσότερων του ενός εκπαιδευτικού στην τάξη, ώστε να διασφαλίζεται η

δυνατότητα συνεχούς και αποτελεσματικής αλληλεπίδρασης των μαθητών με το διδακτικό υλικό. Έτσι, το διδακτικό προσωπικό που ανέλαβε την εφαρμογή του, τόσο στην πιλοτική όσο και στην κυρίως εφαρμογή, αποτελούνταν από τρία μέλη, περιλαμβανομένου του ερευνητή, και η αναλογία εκπαιδευτικών και ομάδων μαθητών ήταν περίπου ένα προς τρία. Τα δύο πρόσθετα μέλη του διδακτικού υλικού, τα οποία ήταν διαφορετικά στις δύο εφαρμογές, ήταν απόφοιτοι τμήματος επιστημών της αγωγής και συμμετείχαν σε μεταπτυχιακό πρόγραμμα μάθησης στις φυσικές επιστήμες. Επιπρόσθετα, είχαν εμπειρία με το συγκεκριμένο πρότυπο διδασκαλίας αφού είχαν προηγούμενη εμπλοκή, ως διδάσκοντες, στην υλοποίηση τουλάχιστον δύο εκτεταμένων ενοτήτων που στηρίζονταν σε αυτή τη διδακτική προσέγγιση. Επιπρόσθετα, τα μέλη του διδακτικού προσωπικού στην περίπτωση της κυρίως εφαρμογής είχαν συμμετάσχει προηγουμένως στη διδασκαλία αντίστοιχης ενότητας για την ενέργεια, με βάση το πρότυπο της διερώτησης, σε προπτυχιακό μάθημα περιεχομένου των φυσικών επιστημών που περιλαμβάνεται στο πρόγραμμα σπουδών για απόκτηση πτυχίου δασκάλου.

6.1.1.α2. Προετοιμασία – συντονισμός ομάδας εκπαιδευτικών

Δύο εβδομάδες πριν από την έναρξη της καθεμιάς από τις δύο εφαρμογές του διδακτικού υλικού και μέχρι την ολοκλήρωσή τους, τα μέλη του διδακτικού προσωπικού συμμετείχαν σε τακτικές δίωρες εβδομαδιαίες προπαρασκευαστικές συναντήσεις που συντονίζονταν από τον ερευνητή, με στόχο την προετοιμασία για την αποτελεσματική υλοποίηση του διδακτικού υλικού. Στην πρώτη συνάντηση, έγινε μια παρουσίαση από τον ερευνητή για το σκεπτικό στο οποίο στηρίχθηκε το διδακτικό υλικό και μια σύντομη αποτύπωση της δομής του. Οι υπόλοιπες συναντήσεις περιλάμβαναν τρεις πτυχές. Η πρώτη περιλάμβανε την αλληλεπίδραση των εκπαιδευτικών με την ακολουθία δραστηριοτήτων ως μαθητές. Πιο συγκεκριμένα, οι εκπαιδευτικοί υιοθέτησαν το ρόλο της ομάδας μαθητών και υλοποίησαν την ακολουθία δραστηριοτήτων. Όταν έφταναν στα σημεία ελέγχου συζητούσαν με τον ερευνητή, ο οποίος είχε το ρόλο του εκπαιδευτικού. Η επιδίωξη αυτής της πτυχής των προπαρασκευαστικών συναντήσεων ήταν η σε βάθος εξοικείωση των εκπαιδευτικών με την ακολουθία δραστηριοτήτων και η επιβεβαίωση του ρόλου που πρέπει να υιοθετούν κατά τις συζητήσεις. Η δεύτερη πτυχή περιλάμβανε τη συζήτηση ανάμεσα στους εκπαιδευτικούς για τον προσδιορισμό στοιχείων που θα πρέπει να επιδιώκεται να συζητηθούν με τους μαθητές στο κάθε σημείο ελέγχου. Τέλος, η τρίτη συνιστώσα περιλάμβανε τη συζήτηση εμπειρικών δεδομένων από διαγνωστικά έργα αξιολόγησης που συμπληρώθηκαν από τους μαθητές και σχετικές εννοιολογικές ή άλλες δυσκολίες που φαίνονται να αντιμετωπίζουν. Οι προπαρασκευαστικές συναντήσεις για τη

δεύτερη εφαρμογή ενημερώθηκαν επίσης σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία που είχε αποκομίσει ο ερευνητής ως αποτέλεσμα της πιλοτικής εφαρμογής.

6.1.1.α3. Οργάνωση της τάξης

Στην περίπτωση της πιλοτικής εφαρμογής, οι διδασκαλίες πραγματοποιήθηκαν σε εργαστήριο ηλεκτρονικών υπολογιστών. Για ολόκληρο το μέρος των μαθημάτων, οι μαθητές εργάζονταν σε τριμελείς, και σε μεμονωμένες περιπτώσεις σε διμελείς ομάδες, υλοποιώντας την ακολουθία δραστηριοτήτων στην οποία είχαν πρόσβαση μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στις περιπτώσεις όπου οι μαθητές χρειαζόταν να εργαστούν με πραγματικά υλικά μετέφεραν τα απαιτούμενα υλικά από την κεντρική έδρα, στην οποία ήταν οργανωμένα, στη θέση τους και τα επέστρεφαν αμέσως μετά την υλοποίηση της σχετικής δραστηριότητας.

Στην περίπτωση της δεύτερης εφαρμογής το πλαίσιο εργασίας τροποποιήθηκε με δύο τρόπους. Πρώτον, οι διδασκαλίες πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο επιστήμης, το οποίο αποτελούσε ταυτόχρονα και το εργαστήριο πληροφορικής του σχολείου. Έτσι, οι μαθητές μπορούσαν να μεταφέρονται εύκολα, όταν χρειαζόταν να αλληλεπιδράσουν με πραγματικά υλικά, σε πάγκους εργασίας εντός της αίθουσας στους οποίους βρίσκονταν εκ των προτέρων οργανωμένα τα απαιτούμενα υλικά. Ο δεύτερος τρόπος, ο οποίος προέκυψε στην πορεία της εφαρμογής του διδακτικού υλικού, περιλαμβάνει την οργάνωση συζητήσεων ολόκληρης της τάξης σε προκαθορισμένα σημεία του διδακτικού υλικού. Πιο συγκεκριμένα, σε εννιά συνολικά περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του διδακτικού υλικού (περίπου μία φορά σε κάθε συνάντηση και όχι περισσότερο από μία φορά στην ίδια συνάντηση) όλοι οι μαθητές μεταφέρονταν στους πάγκους εργασίας και γινόταν δομημένη συζήτηση για ένα σχετικό ζήτημα η οποία συντονιζόταν από τον ερευνητή. Η διάρκεια αυτών των συναντήσεων κυμαινόταν από πέντε μέχρι δέκα λεπτά.

6.1.1.α4. Μέσα συλλογής δεδομένων

- *Πιλοτική εφαρμογή*

Πριν και μετά την πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού είχαν συλλεγεί δεδομένα για την κατανόηση των μαθητών σε σχέση με τις βασικές μαθησιακές επιδιώξεις του, χρησιμοποιώντας δύο έργα αξιολόγησης ανοικτού τύπου, στα οποία απάντησαν γραπτώς οι μαθητές. Το πρώτο έργο αξιολόγησης, το οποίο χρησιμοποιήθηκε επίσης στο πλαίσιο συλλογής εμπειρικών δεδομένων κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο), εστίαζε στην κατανόηση των μαθητών για τη δυνατότητα της

ενέργειας να παρέχει ένα ενοποιητικό πλαίσιο για την ερμηνεία μεταβολών σε συστήματα ανεξάρτητα από το πεδίο από το οποίο προέρχονται. Το δεύτερο, ήταν στοχευμένο στην αξιολόγηση (α) της ικανότητας των μαθητών να αξιοποιούν το πλαίσιο της ενέργειας για την ανάλυση μεταβολών σε συστήματα μέσα από την εφαρμογή του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας, και (β) της κατανόησής τους για την ιδιότητα της ενέργειας να διατηρείται σταθερή σε ποσότητα και να υποβαθμίζεται σε ποιότητα. Η δομή και το περιεχόμενο του έργου αξιολόγησης στηρίχθηκε σε φύλλο εργασίας που περιλαμβάνεται σε μια διδακτική πρόταση για εισαγωγή της υποβάθμισης της ενέργειας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Pinto *et al.*, 2005). Και τα δύο έργα αξιολόγησης εκτέθηκαν στην κρίση δύο ειδικών, οι οποίοι είχαν διδακτορικό τίτλο στη φυσική και εκτεταμένη εμπλοκή στην έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών, με στόχο τη διασφάλιση της εγκυρότητας του περιεχομένου τους. Επίσης, αξιολογήθηκαν από δύο εκπαιδευτικούς με σημαντική διδακτική εμπειρία στο μάθημα της επιστήμης (πέντε και εννιά έτη). Στα δύο αυτά στάδια αξιολόγησης ακολουθήθηκε η διαδικασία που αναλύθηκε στο τρίτο κεφάλαιο. Τέλος, τα έργα αξιολόγησης δοκιμάστηκαν στο πλαίσιο πέντε ατομικών συνεντεύξεων με μαθητές έκτης τάξης δημοτικού οι οποίες είχαν ως στόχο να διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο οι μαθητές ήταν σε θέση να αντιληφθούν το περιεχόμενο των ερωτημάτων και να εντοπιστούν πτυχές τους που έτειναν να εισάγουν αχρείαστες περιπλοκές. Η ανατροφοδότηση που προέκυψε από τις τρεις αυτές κατευθύνσεις οδήγησε σε μικρές λεκτικές αναθεωρήσεις. Το περιεχόμενο των δύο έργων αξιολόγησης περιγράφεται σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια στις ενότητες που παρουσιάζουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

- *Δεύτερη εφαρμογή του διδακτικού υλικού*

Στο πλαίσιο της αναθεώρησης του διδακτικού υλικού που εφαρμόστηκε πιλοτικά, λαμβάνοντας υπόψη τα εμπειρικά δεδομένα που είχαν προκύψει, τροποποιήθηκαν επίσης η διαδικασία αξιολόγησης και τα έργα αξιολόγησης καθαυτά. Μια βασική τροποποίηση αφορά στην αξιοποίηση μιας πρόσθετης κύριας πηγής δεδομένων. Ειδικότερα, πέρα από τις γραπτές απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές, ένα σημαντικό μέρος τους (N=30, 47%) συμμετείχε επίσης σε ατομικές συνεντεύξεις οι οποίες είχαν ως στόχο να ενισχύσουν την προσπάθεια ερμηνείας του σκεπτικού τους και να διακριβώσουν την επίδραση εννοιολογικών ή άλλων σχετικών δυσκολιών. Σε αυτές τις συνεντεύξεις, οι οποίες ήταν ημιδομημένες, ζητήθηκε από τους μαθητές που συμμετείχαν να απαντήσουν εκ νέου σε

επιλεγμένο μέρος των έργων αξιολόγησης²⁰ και ο ερευνητής υπέβαλλε διευκρινιστικά ερωτήματα (π.χ. *μπορείς να μου εξηγήσεις λίγο περισσότερο τι εννοείς με αυτό;*), με στόχο να αντληθεί πληροφόρηση για το σκεπτικό των μαθητών. Σε κάθε περίπτωση δινόταν ιδιαίτερη προσοχή ώστε τα διευκρινιστικά ερωτήματα να διατυπώνονται με ουδέτερο τρόπο για να αποφεύγεται η αλλοίωση των απαντήσεων των μαθητών ή του σκεπτικού τους. Η δεύτερη βασική τροποποίηση περιλαμβάνει την επέκταση του εύρους που καλύπτουν τα έργα, ώστε να αξιολογείται η βελτίωση της κατανόησης των μαθητών για την επιστημολογική διάσταση που ενσωματώνει το διδακτικό υλικό. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκαν και αξιοποιήθηκαν τρία πρόσθετα έργα αξιολόγησης τα οποία εστιάζουν στην κατανόηση των μαθητών για (α) τη διάκριση ανάμεσα στην ερμηνεία και την παρατήρηση, (β) το ρόλο της δημιουργικότητας στην ερμηνεία φαινομένων, και (γ) την επινοημένη φύση της ενέργειας, αντίστοιχα (παράρτημα 1). Τέλος, μια τρίτη πτυχή των τροποποιήσεων αφορά στο περιεχόμενο των έργων αξιολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις όπου εντοπίστηκαν στοιχεία των έργων αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στην πιλοτική εφαρμογή τα οποία περιέπλεκαν τη μέτρηση της κατανόησης των μαθητών, έγιναν σχετικές τροποποιήσεις ώστε να τύχουν χειρισμού. Αυτά τα στοιχεία, αναλύονται σε περισσότερη λεπτομέρεια κατά τη συζήτηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στο κάθε έργο αξιολόγησης. Οι τελικές εκδοχές των έργων αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν υποβλήθηκαν στις διαδικασίες διασφάλισης της εγκυρότητας του περιεχομένου τους και της καταλληλότητάς τους για το μαθητικό πληθυσμό στον οποίο απευθύνονται. Επίσης, δοκιμάστηκαν στο πλαίσιο ατομικών συνεντεύξεων με δέκα μαθητές ώστε να διασφαλιστεί ότι ο τρόπος με τον οποίο διατυπώνονται και παρουσιάζονται τα έργα αξιολόγησης είναι σαφής και επικοινωνεί αποτελεσματικά το στόχο τους στους μαθητές. Μέσα από αυτή την επεξεργασία τα έργα αξιολόγησης είχαν υποστεί μικρές τροποποιήσεις οι οποίες περιορίζονταν στις λεκτικές διατυπώσεις.

Μια δευτερεύουσα πηγή δεδομένων που αξιοποιήθηκε, η οποία περιορίστηκε σε υποστηρικτικό και συμπληρωματικό ρόλο, περιλαμβάνει τις απαντήσεις των δύο εκπαιδευτικών που συνεργάστηκαν με τον ερευνητή για την υλοποίηση του διδακτικού υλικού σε δομημένο ερωτηματολόγιο ανοικτού τύπου αναφορικά με την

²⁰ Το πρωτόκολλο των αρχικών και των τελικών συνεντεύξεων ήταν ελαφρώς διαφοροποιημένο και το περιεχόμενό τους διευκρινίζεται κατά τη συζήτηση των αποτελεσμάτων για την κάθε μαθησιακή επιδίωξη, αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο. Παρόλο που χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένο πρωτόκολλο συνέντευξης συχνά υπήρχε μικρή διαφοροποίηση στην έκταση και στο βάθος των συνεντεύξεων ανάμεσα στους μαθητές, ανάλογα με τις απαντήσεις που έδιναν στα διευκρινιστικά ερωτήματα που έθετε ο ερευνητής.

αποτελεσματικότητά του. Αυτό το ερωτηματολόγιο περιλάμβανε δύο μέρη. Το πρώτο ζητούσε από τους εκπαιδευτικούς να απαντήσουν σε συγκεκριμένα ερωτήματα ανοικτού τύπου, στο καθένα από τα οποία θα έπρεπε να καταγράψουν και να τεκμηριώσουν την άποψή τους αναφορικά με το βαθμό στον οποίο θεώρησαν ότι επιτεύχθηκαν οι μαθησιακές επιδιώξεις που είχαν τεθεί. Η κάθε μαθησιακή επιδίωξη (και σε μερικές περιπτώσεις οι διάφορες επιμέρους πτυχές μιας μαθησιακής επιδίωξης) μελετούνταν σε χωριστά ερωτήματα. Το δεύτερο μέρος ζητούσε από τους εκπαιδευτικούς να διατυπώσουν ελεύθερα και σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα σχόλιά τους αναφορικά με την αποτελεσματικότητα είτε του διδακτικού υλικού στο σύνολό του είτε μεμονωμένων στοιχείων του. Σε μια προσπάθεια αύξησης της πιθανότητας για χρήσιμες, ενημερωτικές και περιεκτικές απαντήσεις στα δύο μέρη του ερωτηματολογίου είχε ζητηθεί από τους δύο εκπαιδευτικούς να τηρούν σημειώσεις μετά από κάθε μάθημα καταγράφοντας στοιχεία που θεωρούσαν ότι (α) λειτουργούν παραγωγικά, (β) δημιουργούν αχρείαστες δυσκολίες προς τους μαθητές παρεμποδίζοντας ή υποσκάπτοντας τη συζήτηση, ή (γ) αποπροσανατολίζουν τους μαθητές και τις συζητήσεις στις ομάδες. Το ερωτηματολόγιο παρατίθεται στο παράρτημα 3.

6.1.1.α5. Επεξεργασία δεδομένων

Στις περιπτώσεις των έργων αξιολόγησης που είχαν ήδη χορηγηθεί κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο) χρησιμοποιήθηκε το σύστημα κωδικοποίησης που είχε αναπτυχθεί σε εκείνο το πλαίσιο το οποίο προσαρμόστηκε όπου κρίθηκε σκόπιμο, ώστε να περιγράφει καλύτερα τα δεδομένα. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, τα δεδομένα εκτέθηκαν σε ανάλυση περιεχόμενου, ακολουθώντας τη διαδικασία που αναλύθηκε στο τρίτο κεφάλαιο, ώστε να εντοπιστούν οι ποιοτικά διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους προσέγγισαν οι μαθητές το κάθε ερώτημα. Στη διαδικασία κωδικοποίησης των δεδομένων, συμμετείχε, εκτός από τον ερευνητή το ένα από τα άλλα δύο μέλη της ομάδας διδασκαλίας. Το συγκεκριμένο άτομο, εκτός από εξοικείωση με το διδακτικό υλικό και το σκεπτικό του, διέθετε επίσης εμπειρία με την κωδικοποίηση δεδομένων από γραπτές απαντήσεις μαθητών σε έργα αξιολόγησης ανοικτού τύπου. Η εμπλοκή του αφορούσε στη διαμόρφωση του συστήματος κωδικοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, ανέλαβε την ανεξάρτητη κωδικοποίηση μέρους των δεδομένων, παράλληλα με τον ερευνητή, με στόχο την οργάνωση τους σε ένα σύνολο κατηγοριών το οποίο περιγράφει τη διαφοροποίησή τους. Οι κωδικοποιήσεις που προέκυπταν από τον ερευνητή και το δεύτερο άτομο συζητούνταν σε μεταξύ τους συναντήσεις με στόχο την ανάπτυξη συναίνεσης ως προς την περιγραφή των δεδομένων. Ως αποτέλεσμα αυτών των

συναντήσεων το σύστημα κατηγοριοποίησης αναπροσαρμοζόταν και ακολούθως δοκιμαζόταν ξανά με καινούριο μέρος των δεδομένων. Για την κατάληξη σε συστήματα κωδικοποίησης για τις απαντήσεις των μαθητών στα διάφορα έργα αξιολόγησης, για την καταλληλότητα των οποίων να υπάρχει αυξημένη πεποίθηση από τα δύο άτομα, χρειάστηκαν από δύο μέχρι τρεις κύκλοι κωδικοποίησης, συζήτησης και αναθεώρησης.

Στη συνέχεια, η τελική²¹ εκδοχή του συστήματος κατηγοριοποίησης που αναπτύχθηκε για το κάθε έργο αξιολόγησης εφαρμόστηκε από τον ερευνητή στα υπόλοιπα δεδομένα που δεν είχαν ήδη κωδικοποιηθεί στο πλαίσιο της διαδικασίας διαμόρφωσής του. Τα αποτελέσματα αυτής της κωδικοποίησης επέτρεψαν τη διατύπωση συμπερασμάτων για μεταβολή στο σκεπτικό των μαθητών μετά τη διδασκαλία με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στον εντοπισμό κατηγοριών απάντησης που εμφανίστηκαν είτε μόνο κατά την αρχική είτε μόνο κατά την τελική αξιολόγηση. Ο δεύτερος, αφορά στην αντιπαραβολή των συχνοτήτων με τις οποίες κατανεμήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στις διάφορες κατηγορίες πριν και μετά τη διδασκαλία, με την εφαρμογή κατάλληλων στατιστικών ελέγχων. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα από διαφορετικά αλλά συναφή έργα αξιολόγησης έτυχαν ποσοτικής επεξεργασίας, όπως συζητείται αργότερα, ώστε να διερευνηθεί ο βαθμός συσχέτισης που παρουσιάζουν και να διατυπωθούν σχετικά συμπεράσματα για τη συνοχή των απαντήσεων των μαθητών, από τη μια, και την αξιοπιστία της μέτρησης, από την άλλη.

6.1.1.α6. Διασφάλιση αξιοπιστίας

Η αξιοπιστία της διαδικασίας αξιολόγησης και των δεδομένων που προέκυψαν προωθήθηκε με τους τρόπους που συζητήθηκαν στο τρίτο κεφάλαιο. Συνοπτικά, οι ισχυρισμοί που προέκυψαν αναφορικά με το βαθμό επίτευξης της κάθε μαθησιακής επιδίωξης διασταυρώθηκαν με τρεις τρόπους. Ο πρώτος, περιλαμβάνει την κωδικοποίηση μέρους των δεδομένων (περίπου 30%) από ανεξάρτητο άτομο το οποίο είχε ενημερωθεί για το σκεπτικό της εργασίας, είχε μεταπτυχιακό τίτλο στη μάθηση στις φυσικές επιστήμες και διέθετε προηγούμενη εμπειρία με εκπαιδευτική έρευνα και με τη συγκεκριμένη προσέγγιση επεξεργασίας δεδομένων. Σε όλες τις περιπτώσεις το ποσοστό ταύτισης ήταν μεγαλύτερο από 80% (η ελάχιστη τιμή του ήταν 81%, η μέγιστη 96% και ο μέσος όρος 89%). Ο δεύτερος τρόπος, αφορά στη χρήση περισσότερων του ενός έργων αξιολόγησης για τη διερεύνηση του βαθμού επίτευξης των πλείστων μαθησιακών επιδιώξεων. Αυτό το

²¹ Η «τελική» εκδοχή του συστήματος κατηγοριοποίησης είχε υποστεί πρόσθετες, μικρές, αναθεωρήσεις κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων.

στοιχείο συζητείται εκτενέστερα κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για την κάθε μαθησιακή επιδίωξη. Τέλος, ο τρίτος τρόπος σχετίζεται με τη συλλογή δεδομένων για όλες τις μαθησιακές επιδιώξεις από τουλάχιστον δύο βασικές πηγές (γραπτές απαντήσεις και απομαγνητοφωνημένες συνεντεύξεις) ενώ, όπως συζητείται αργότερα, σε κάποιες περιπτώσεις αξιοποιήθηκε επίσης μια τρίτη πηγή που αφορά στις απαντήσεις των μαθητών σε φύλλα εργασίας κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του διδακτικού υλικού. Εκτός από αυτές τις βασικές πηγές δεδομένων χρησιμοποιήθηκε επίσης μια πρόσθετη συμπληρωματική πηγή η οποία περιλάμβανε τις απαντήσεις των εκπαιδευτικών, μετά τη λήξη των διδασκαλιών, σε ερωτηματολόγιο σχετικά με την αντίληψή τους για το βαθμό πρόωθης των μαθησιακών επιδιώξεων.

6.2. Πιλοτική εφαρμογή

Η ενότητα είναι οργανωμένη σε τρία κύρια μέρη. Στο πρώτο περιγράφονται τα έργα αξιολόγησης. Στο δεύτερο παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στα έργα αξιολόγησης. Τέλος, στο τρίτο μέρος συνοψίζονται οι βασικές τροποποιήσεις που έγιναν στην ακολουθία δραστηριοτήτων και στα έργα αξιολόγησης, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των εμπειρικών δεδομένων.

6.2.1. Περιγραφή έργων αξιολόγησης

Για την αξιολόγηση της πιθανής βελτίωσης στην κατανόηση των μαθητών χρησιμοποιήθηκαν δύο δοκίμια με έργα ανοικτού τύπου τα οποία συμπληρώθηκαν ατομικά πριν και μετά τη διδασκαλία. Το πρώτο έργο αξιολόγησης επικεντρώνεται στη διερεύνηση του βαθμού στον οποίο οι μαθητές εκτιμούν τη συνεισφορά της ενέργειας στην ερμηνεία μεταβολών, και, κυρίως, τη δυνατότητα που παρέχει για ενιαία ερμηνεία μεταβολών που εμφανίζονται σε διαφορετικά συστήματα. Αυτό το έργο αξιολόγησης²², το οποίο αξιοποιήθηκε επίσης κατά τη μελέτη των αρχικών ιδεών των μαθητών στο πλαίσιο του σχεδιασμού του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο) παρουσιάζει στους μαθητές δύο ζεύγη συστημάτων από διαφορετικά πεδία (μηχανική και ηλεκτρισμό), τα οποία υφίστανται παρόμοιες μεταβολές. Το πρώτο ζεύγος, το οποίο περιλήφθηκε στην εκδοχή του έργου αξιολόγησης που χορηγήθηκε τόσο πριν όσο και μετά τη διδασκαλία, αποτελείται από έναν ανεμόμυλο και ένα ηλεκτρικό ανεμιστηράκι και η υπό μελέτη μεταβολή αφορά στην περιστροφή των πτερυγίων τους. Το δεύτερο ζεύγος, το οποίο

²² Όπως αναφέρθηκε στο τέταρτο κεφάλαιο, το έργο αξιολόγησης στηρίχθηκε σε προηγούμενη έρευνα για τη διδασκαλία της ενέργειας (Κολιόπουλος, 1997).

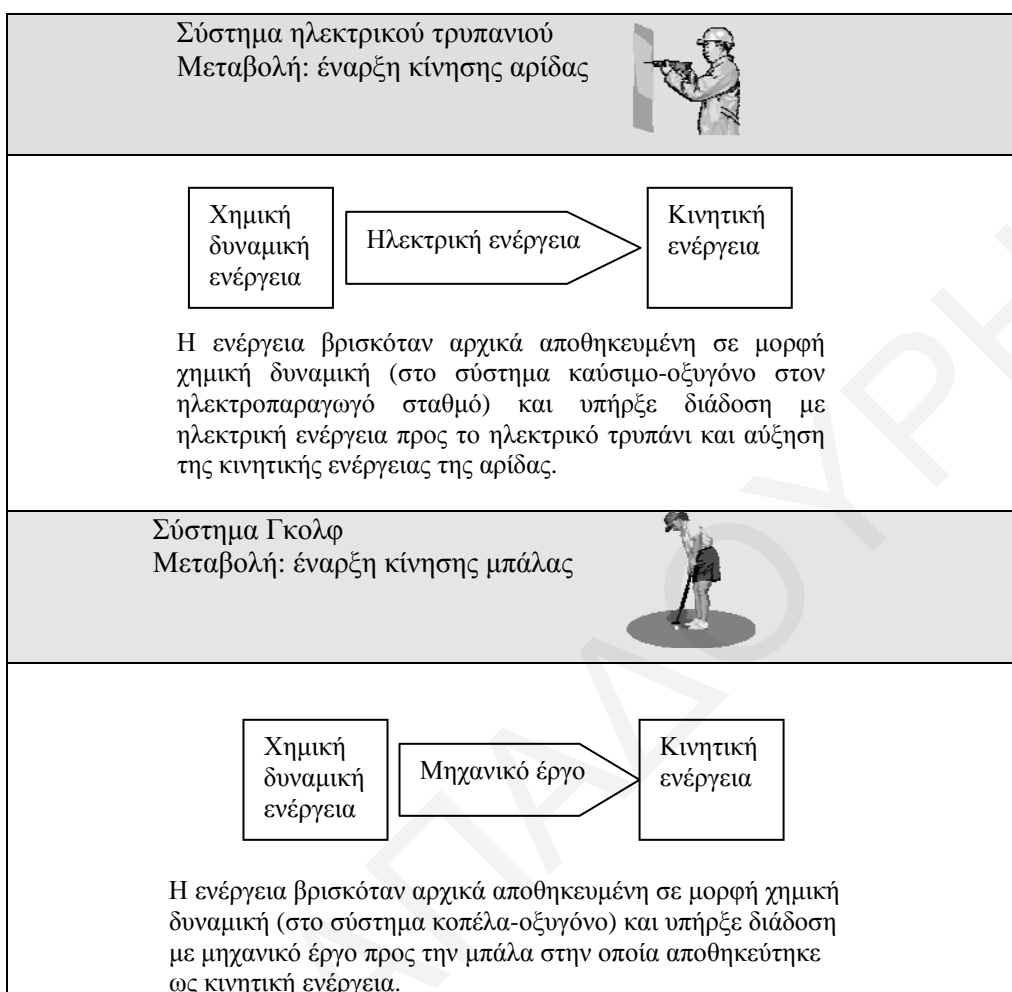
περιλήφθηκε μόνο στο δοκίμιο που χορηγήθηκε μετά τη διδασκαλία, αποτελείται από ένα ηλεκτρικό τρυπάνι και μια χειροκίνητη αρίδα και η σχετική μεταβολή περιλαμβάνει την περιστροφή της αρίδας. Για το κάθε ζεύγος συστημάτων δόθηκαν στους μαθητές δύο ερωτήματα. Στο πρώτο τους ζητήθηκε να προτείνουν μια ερμηνεία για τη μεταβολή που συμβαίνει στο καθένα από τα δύο συστήματα, χωριστά (π.χ. ανεξάρτητη ερμηνεία της περιστροφής των πτερυγίων του ανεμόμυλου και των ηλεκτρικών πτερυγίων). Στο δεύτερο ερώτημα, ζητήθηκε από τους μαθητές να δώσουν μια μόνο ερμηνεία που να ισχύει και για τις δύο μεταβολές του κάθε ζεύγους (π.χ. μια μόνο ερμηνεία που να αφορά στην περιστροφή τόσο των πτερυγίων του ανεμόμυλου όσο και των ηλεκτρικών πτερυγίων). Επιπρόσθετα, ζητήθηκε από τους μαθητές που θεώρησαν ότι δεν είναι εφικτή η ενιαία ερμηνεία των δύο μεταβολών, να αιτιολογήσουν το σκεπτικό τους. Αυτό το ερώτημα, επιδιώκει να παρέχει πληροφόρηση για το βαθμό στον οποίο οι μαθητές εκτιμούν τη δυνατότητα που παρέχει η ενέργεια για ενιαία ερμηνεία μεταβολών σε φυσικά συστήματα, ανεξάρτητα από το πεδίο από το οποίο προέρχονται (Becu-Robinault & Tiberghien, 1998; Κολιόπουλος, 1997).

Το δεύτερο έργο αξιολόγησης (διάγραμμα 20) περιλαμβάνει δύο φυσικά συστήματα στα οποία συμβαίνουν συγκεκριμένες μεταβολές. Το πρώτο σύστημα αποτελείται από έναν εργάτη που θέτει σε λειτουργία ένα ηλεκτρικό τρυπάνι και αρχίζει να περιστρέφεται η αρίδα του²³. Το δεύτερο σύστημα περιλαμβάνει μια κοπέλα που χτυπά με ένα μπαστούνι του γκολφ μια μπάλα η οποία αρχίζει να κινείται. Και στα δύο συστήματα ζητήθηκε από τους μαθητές να περιγράψουν λεκτικά ή διαγραμματικά την «πορεία» που ακολουθεί η ενέργεια κατά τη λειτουργία τους. Αυτό το ερώτημα, επιδιώκει να παρέχει ενδείξεις για το βαθμό στον οποίο οι μαθητές μπορούν να εμπλακούν σε ενεργειακή ανάλυση της λειτουργίας συστημάτων. Στο διάγραμμα 20 παρουσιάζονται ενδεικτικές απαντήσεις (ενεργειακές αλυσίδες) που θα μπορούσαν να θεωρηθούν κατάλληλες για το καθένα από τα δύο συστήματα.

Αυτό το έργο αξιολόγησης χορηγήθηκε για πρώτη φορά σε κάποιο στάδιο κατά την εφαρμογή του διδακτικού υλικού, αφού είχε εισαχθεί η ενέργεια ως ένα θεωρητικό πλαίσιο ανάλυσης συστημάτων και προτού συζητηθεί η ιδιότητα της διάδοσης ενέργειας. Επίσης, χορηγήθηκε για δεύτερη φορά μετά την ολοκλήρωση του διδακτικού υλικού.

²³ Το έργο αξιολόγησης αποτελεί τροποποιημένη εκδοχή φύλλου εργασίας που έχει αναπτυχθεί για την εισαγωγή της ιδέας της υποβάθμισης της ενέργειας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Pinto et al., 2005).

Διάγραμμα 20: Έργα αξιολόγησης ικανότητας ενεργειακής ανάλυσης και παραδείγματα αναμενόμενων απαντήσεων



Στην περίπτωση του πρώτου συστήματος (ηλεκτρικό τρυπάνι) ενσωματώθηκε ένα πρόσθετο ερώτημα το οποίο ζητούσε ρητά από τους μαθητές να διευκρινίσουν τι θα έχει απογίνει η ενέργεια όταν ο εργάτης θέσει εκτός λειτουργίας το τρυπάνι. Αυτό το ερώτημα είχε ως στόχο να συνεισφέρει στην αξιολόγηση της ικανότητας των μαθητών να εκτιμούν την ιδιότητα της ενέργειας να διατηρείται σταθερή και να υποβαθμίζεται σε ποιότητα.

6.2.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων

6.2.2.α. Η ερμηνευτική δυνατότητα της ενέργειας

6.2.2.α1. Κατανόηση του ρόλου της ενέργειας στην ερμηνεία μεμονωμένων μεταβολών

Τα δεδομένα που έχουν προκύψει από το πρώτο έργο αξιολόγησης μελετήθηκαν με στόχο τον εντοπισμό και την περιγραφή των ποιοτικά διαφορετικών τρόπων με τους οποίους απαντούν οι μαθητές. Για το σκοπό αυτό αξιοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση που είχε αναπτυχθεί κατά τη διερεύνηση των αρχικών ιδεών των μαθητών, στο πλαίσιο του αρχικού σχεδιασμού του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο).

Στον πίνακα 20 φαίνονται οι κατηγορίες απάντησης για το πρώτο ερώτημα (ερμηνεία μεμονωμένης μεταβολής) και παρατίθεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα για την καθεμιά²⁴.

Πίνακας 20. Κατηγορίες απαντήσεων για το πρώτο διαγνωστικό δοκίμιο.

Περιγραφή απάντησης	Ενδεικτική απάντηση
Ερμηνεία με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας	<i>Πηγαίνει ενέργεια από την μπαταρία στα πτερύγια και τα κάνει να γυρίζουν</i>
Ερμηνεία με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	<i>Γυρίζουν λόγω της ενέργειας της μπαταρίας</i>
Ερμηνεία με αναφορά σε κάποια έννοια εκτός από την ενέργεια	<i>Τα πτερύγια γυρίζουν επειδή το κύκλωμα είναι κλειστό και έχουμε ηλεκτρισμό</i>
Η ερμηνεία αποδίδεται σε κάποια διεργασία που συμβαίνει στο σύστημα ή σε χαρακτηριστικά μεμονωμένων αντικειμένων του συστήματος	<i>Τα πτερύγια γυρίζουν επειδή φυσά ο άνεμος και όπως φυσά τα κάνει να γυρίζουν</i>
Άσχετη απάντηση	<i>Τα πτερύγια γυρίζουν επειδή έτσι είναι φτιαγμένα</i>

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις απαντήσεις στις οποίες η ερμηνεία που προτάθηκε από τους μαθητές αναφέρεται στην ιδέα της διάδοσης, ή της μετατροπής μορφής, της ενέργειας. Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από απαντήσεις που αναφέρθηκαν στην ενέργεια με ασαφή και αόριστο τρόπο, χωρίς να διευκρινίζουν πώς συνδέεται με τις μεταβολές. Οι μαθητές που εντάσσονται στην τρίτη κατηγορία πρότειναν ερμηνείες που στηρίζονταν σε κάποια άλλη έννοια των φυσικών επιστήμων εκτός από την ενέργεια (π.χ. δύναμη, ηλεκτρικό ρεύμα). Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει τις περιπτώσεις μαθητών που πρότειναν ερμηνείες που στηρίζονται σε φαινομενολογικά χαρακτηριστικά του συστήματος καταλήγοντας να αποδίδουν την αιτία για τις μεταβολές είτε σε κάποιο μεμονωμένο αντικείμενο του συστήματος (π.χ. μπαταρία) είτε σε κάποια διεργασία που συμβαίνει σε αυτό (π.χ. περιστροφή του χεριού). Τέλος, η πέμπτη κατηγορία περιλαμβάνει

²⁴ Οι κατηγορίες απάντησης που δόθηκαν από τους μαθητές συνάδουν με τις αντίστοιχες κατηγορίες που προέκυψαν κατά τη μελέτη των αρχικών ιδεών των μαθητών στο πλαίσιο του σχεδιασμού του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο)

τους μαθητές που κατέληξαν να δίνουν άσχετες απαντήσεις που δεν απευθύνθηκαν στο ερώτημα.

Στον πίνακα 21 φαίνεται η κατανομή των απαντήσεων των μαθητών σε αυτές τις κατηγορίες πριν από τη διδασκαλία.

Πίνακας 21: Κατηγοριοποίηση ερμηνειών των μαθητών για μεμονωμένες μεταβολές

	Ηλεκτρικός ανεμιστήρας		Ανεμόμυλος	
	N	%	N	%
Ερμηνεία με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας	11	48	1	4
Ερμηνεία με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	9	39	-	-
Ερμηνεία με αναφορά σε κάποια έννοια εκτός από την ενέργεια	2	9	5	22
Η ερμηνεία αποδίδεται σε κάποια διεργασία που συμβαίνει στο σύστημα ή σε χαρακτηριστικά μεμονωμένων αντικειμένων του συστήματος	1	4	17	74

Μια ενδιαφέρουσα διαπίστωση, αφορά στη σύγκριση της κατανομής των απαντήσεων των μαθητών στα δύο συστήματα, η οποία καταδεικνύει μια σημαντική διαφοροποίηση. Αυτή η διαφοροποίηση προκύπτει από το μεγάλο αριθμό μαθητών που αναφέρθηκαν στην ενέργεια στο ηλεκτρικό σύστημα (δύο πρώτες κατηγορίες απάντησης) αλλά απέτυχαν να προτείνουν ενεργειακή ερμηνεία για τη μεταβολή στο μηχανικό σύστημα και κατέληξαν να εστιάζονται, κυρίως, σε φαινομενολογικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Αυτή η διαφοροποίηση, η οποία εμφανίστηκε επίσης κατά τη μελέτη των αρχικών ιδεών στο πλαίσιο του σχεδιασμού του διδακτικού υλικού, εισηγείται ότι η σύνδεση που φαίνεται να αναπτύσσουν οι μαθητές ανάμεσα στο ηλεκτρικό κύκλωμα και την ενέργεια, ενδέχεται να

μην αποτελεί αξιόπιστη ένδειξη πραγματικής κατανόησης. Συνεπώς, το σχετικά μεγάλο ποσοστό μαθητών (46%) που κατέληξαν σε ενεργειακή απάντηση σε κάποιο από τα δύο συστήματα (δύο πρώτες γραμμές του πίνακα) είναι ιδιαίτερα πιθανόν να είναι παραπλανητικό και να ανακλά περισσότερο την τάση των μαθητών να συνδέουν την ενέργεια με τη λειτουργία ηλεκτρικών κυκλωμάτων παρά την κατανόησή τους για την ερμηνευτική της δυνατότητα.

Στον πίνακα 22 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες κατανομές των απαντήσεων των μαθητών στις διάφορες κατηγορίες μετά τη διδασκαλία.

Πίνακας 22: Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κατηγοριοποίησης των απαντήσεων μετά τη διδασκαλία

	Ηλεκτρικός ανεμιστήρας		Ανεμόμυλος		Ηλεκτρικό τρυπάνι		Χειροκίνητη αρίδα	
	N	%	N	%	N	%		%
Ερμηνεία με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας	22	85	7	27	18	70	10	38
Ερμηνεία με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	2	7.5	7	27	4	15	8	31
Ερμηνεία με αναφορά σε κάποια έννοια εκτός από την ενέργεια	-	-	3	11	2	7.5	3	12
Η ερμηνεία αποδίδεται σε κάποια διεργασία που συμβαίνει στο σύστημα ή σε χαρακτηριστικά μεμονωμένο αντικείμενο του συστήματος	2	7.5	9	35	2	7.5	5	19

Μια ενδιαφέρουσα διαπίστωση που προκύπτει από τη σύγκριση των κατανομών των απαντήσεων πριν και μετά τη διδασκαλία αφορά στη σημαντική αύξηση του ποσοστού

των μαθητών που έδωσε ενεργειακές απαντήσεις (από 46% σε 75%) και τον υποδιπλασιασμό των απαντήσεων που εστιάστηκαν σε φαινομενολογικά χαρακτηριστικά (από 39% σε 17%). Επιπρόσθετα, δεδομένης της διαισθητικής σύνδεσης που αναπτύσσουν οι μαθητές ανάμεσα στην ενέργεια και τα ηλεκτρικά συστήματα, η αύξηση του αριθμού των μαθητών που ήταν σε θέση να προτείνουν ενεργειακή ερμηνεία, με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας, για το μηχανικό σύστημα του ανεμόμυλου (από 4% σε 27%), αποτελεί μια σημαντική ένδειξη της εκτίμησής τους για τον ερμηνευτικό χαρακτήρα της ενέργειας. Αυτές οι διαπιστώσεις παρέχουν ενθαρρυντικές ενδείξεις για τη βελτίωση του βαθμού στον οποίο οι μαθητές εκτιμούν τη δυνατότητα της ενέργειας να παρέχει ερμηνείες για μεταβολές σε φυσικά συστήματα.

6.2.2.α2. Κατανόηση της δυνατότητας που παρέχει η ενέργεια για ενιαία ερμηνεία μεταβολών σε διαφορετικά φυσικά συστήματα

Στον πίνακα 23 παρουσιάζονται οι κατηγορίες απάντησης που προέκυψαν από την επεξεργασία των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στο δεύτερο ερώτημα στο οποίο τους ζητήθηκε να προτείνουν μια ενιαία ερμηνεία για τις δύο μεταβολές που εμφανίζονται σε κάθε ζεύγος²⁵.

Πίνακας 23: Κατηγορίες απάντησης για την ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών

Περιγραφή απάντησης	Ενδεικτική απάντηση
Διάδοση και/ή μετατροπή της ενέργειας	<i>Και στα δύο η ενέργεια στην αρχή είναι αποθηκευμένη κάπου και μεταφέρεται στα πτερύγια και τα κάνει να γυρίζουν</i>
Η αιτία αποδίδεται στην ενέργεια χωρίς να διευκρινίζεται συγκεκριμένος μηχανισμός	<i>Τα πτερύγια του ανεμιστήρα γυρίζουν λόγω της ενέργειας στην μπαταρία και τα πτερύγια του ανεμιστήρα λόγω της ενέργειας του ανέμου</i>
Η αιτία αποδίδεται σε κάποια άλλη έννοια διαφορετική από την ενέργεια	<i>Και τα δύο πτερύγια γυρίζουν λόγω της δύναμης. Στο ένα είναι η δύναμη του ανέμου και στο άλλο η δύναμη της μπαταρίας</i>

²⁵ Οι κατηγορίες απάντησης που δόθηκαν από τους μαθητές συνάδουν με τις αντίστοιχες κατηγορίες που προέκυψαν κατά τη μελέτη των αρχικών ιδεών των μαθητών κατά το σχεδιασμό του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο)

Χωριστές ερμηνείες

Τα περύγια του ανεμόμυλου γυρίζουν λόγω του ανέμου και τα περύγια του ανεμιστήρα λόγω της μπαταρίας

Άσχετη/Ελλιπής απάντηση

Τα περύγια γυρίζουν επειδή κάτι τα κάνει να γυρίζουν

Στον πίνακα 24 παρουσιάζονται οι συχνότητες με τις οποίες κατανέμονται οι απαντήσεις των μαθητών σε αυτές τις κατηγορίες τόσο πριν (πρώτες δύο στήλες) όσο και μετά (τελευταίες τέσσερις στήλες) από τη διδασκαλία. Μια πρώτη ενδιαφέρουσα διαπίστωση αφορά στους μαθητές που απέτυχαν να προτείνουν μια ενιαία ερμηνεία για τις δύο μεταβολές και κατέληξαν να επαναλαμβάνουν τις χωριστές εξηγήσεις που είχαν δώσει προηγουμένως. Οι μαθητές που ακολούθησαν αυτή την προσέγγιση είτε υπονόησαν είτε δήλωσαν ρητά ότι δεν μπορεί να υπάρξει μια ενιαία ερμηνεία για τις δύο μεταβολές. Το ποσοστό αυτών των περιπτώσεων μειώθηκε αισθητά από 61% (N=14), πριν από τη διδασκαλία, σε 25%, μετά τη διδασκαλία (31%, N= 8, στο πρώτο ζεύγος και 19%, N=5, στο δεύτερο).

Πίνακας 24: Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κατηγοριοποίησης των απαντήσεων πριν και μετά τη διδασκαλία

Κατηγορία Απάντησης	Αρχική αξιολόγηση		Τελική αξιολόγηση			
	1 ^ο ζεύγος συστημάτων		1 ^ο ζεύγος συστημάτων		2 ^ο ζεύγος συστημάτων	
	N	%	N	%	N	%
Ερμηνεία με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας	1	4	10	38	10	38
Ερμηνεία με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	4	17.5	6	23	8	31
Ερμηνεία με αναφορά σε κάποια έννοια εκτός από την ενέργεια	4	17.5	1	4	2	8
Χωριστές ερμηνείες των δύο μεταβολών	14	61	8	31	5	19
Άσχετη απάντηση/μη απάντηση	-	-	1	4	1	4

Μια δεύτερη χρήσιμη επισήμανση αφορά στην αντιπαράβολή του ποσοστού των μαθητών που πρότειναν ερμηνείες ενεργειακού χαρακτήρα. Αυτό το ποσοστό, πριν από τη διδασκαλία, ήταν 21.5% (N=5) και μόνο σε μία από αυτές τις περιπτώσεις διατυπώθηκε ερμηνεία που στηρίχθηκε στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας ή της μετατροπής στη μορφή της (4%). Μετά τη διδασκαλία, υπήρξε μια σημαντική αύξηση τόσο στο ποσοστό των ενεργειακών απαντήσεων, συνολικά, όσο και στο ποσοστό των ενεργειακών απαντήσεων που στηρίχθηκαν στην ιδιότητα της διάδοσης ή τη μετατροπή μορφής. Πιο συγκεκριμένα, τα ποσοστά για αυτές τις δύο κατηγορίες απάντησης ανήλθαν σε 65%²⁶ και 38%²⁷, αντίστοιχα.

Η διαφοροποίηση στην κατανομή των απαντήσεων των μαθητών στις πέντε κατηγορίες πριν και μετά τη διδασκαλία, αξιολογήθηκε με το στατιστικό έλεγχο Wilcoxon²⁸. Τα αποτελέσματα αυτού του ελέγχου τόσο για το πρώτο (T=3.00, p=0.004, r=0.43) όσο και για το δεύτερο ζεύγος συστημάτων (T=3.00, p=0.001, r=0.49) δείχνουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική βελτίωση στις απαντήσεις των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η διαφοροποίηση προκύπτει κυρίως από τη μετακίνηση των απαντήσεων του 50% των μαθητών, στην πρώτη περίπτωση, και του 64%, στη δεύτερη, σε κατηγορίες που βρίσκονται σε ψηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας.

Πέρα από τις μεταβολές στην κατανομή των απαντήσεων των μαθητών στις διάφορες κατηγορίες πριν και μετά τη διδασκαλία, μια πρόσθετη μέτρηση που αξιοποιήθηκε ως ένδειξη του βαθμού επάρκειας των μαθητών σε σχέση με τον ενοποιητικό ρόλο της ενέργειας ως προς την ερμηνεία μεταβολών, αφορά στην καταγραφή των περιπτώσεων των μαθητών που έδωσαν ενεργειακή απάντηση σε ένα (ή και στα δύο) μεμονωμένα συστήματα αλλά απέτυχαν να δώσουν ανάλογη κοινή ερμηνεία. Θεωρήθηκε ότι αυτό το μοτίβο απάντησης είναι ενδεικτικό της έλλειψης εκτίμησης από μέρους των μαθητών για τον ενοποιητικό χαρακτήρα της ενέργειας και επομένως, τυχόν διαφοροποίηση σε αυτή την πτυχή των δεδομένων έχει συνέπειες για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού.

²⁶ 61% (N=16) στο πρώτο ζεύγος συστημάτων και 69% (N=18)

²⁷ 38% (N=10) στο καθένα από τα δύο συστήματα

²⁸ Όπως αναφέρθηκε στο τρίτο κεφάλαιο ο μη παραμετρικός στατιστικός έλεγχος Wilcoxon χρησιμοποιείται για τη σύγκριση δεδομένων για ζεύγη διατακτικών μεταβλητών. Για το σκοπό αυτό οι διάφορες κατηγορίες απάντησης έχουν τύχει χειρισμού ως επίπεδα μιας διατακτικής κλίμακας ανάλογα με την εγκυρότητα και την πληρότητά τους. Η διαβάθμισή των κατηγοριών ανακλάται στη σειρά με την οποία έχουν ιεραρχηθεί στον πίνακα (η πρώτη κατηγορία απάντησης είναι η πιο ενημερωμένη)

Τα αποτελέσματα αυτής της καταγραφής παρουσιάζονται στον πίνακα 25. Οι δύο πρώτες στήλες προσδιορίζουν τους πιθανούς συνδυασμούς ανάλογα με το κατά πόσο δόθηκε ερμηνεία ενεργειακού χαρακτήρα (1) ή όχι (0) για κάποια από τις μεμονωμένες μεταβολές (πρώτη στήλη) και για το αντίστοιχο ζεύγος (δεύτερη στήλη). Στις υπόλοιπες στήλες φαίνεται η συχνότητα των περιπτώσεων που εμπίπτουν στον κάθε συνδυασμό τόσο για την αρχική (3^η στήλη) όσο και την τελική αξιολόγηση (4^η και 5^η στήλη)

Πίνακας 25: Βαθμός επικάλυψης ενεργειακών ερμηνειών για μεμονωμένες και ενιαίες μεταβολές

Ενεργειακή ερμηνεία για κάποια (ή και τις δύο μεταβολές)	Ενεργειακή ερμηνεία για το ζεύγος μεταβολών	Αρχική Αξιολόγηση Πρώτο ζεύγος συστημάτων	Τελική Αξιολόγηση 1 Πρώτο ζεύγος συστημάτων	Τελική Αξιολόγηση 2 Δεύτερο ζεύγος συστημάτων
0	0	2 (9%)	2 (8%)	3 (12%)
1	1	4 (18%)	16 (61%)	18 (69%)
1	0	16 (69%)	8 (31%)	4 (15%)
0	1	1 (4%)	-	1 (4%)

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα, ένα ιδιαίτερα μεγάλο ποσοστό των μαθητών (69%) αναφέρθηκε στην ενέργεια κατά την αρχική αξιολόγηση για να ερμηνεύσει κάποια από τις μεμονωμένες μεταβολές αλλά απέτυχε να διατυπώσει ενεργειακή απάντηση για το αντίστοιχο ζεύγος των μεταβολών. Το ποσοστό αυτό μειώθηκε σε μεγάλο βαθμό κατά την τελική αξιολόγηση, όπου περιορίστηκε σε 31% για το πρώτο ζεύγος μεταβολών και 15% για το δεύτερο.

6.2.2.β. Ικανότητα μαθητών για ενεργειακή ανάλυση συστημάτων εφαρμόζοντας το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας.

6.2.2.β.1. Αρχική αξιολόγηση

Η επεξεργασία των δεδομένων από τις απαντήσεις των μαθητών στο δεύτερο έργο αξιολόγησης έδειξε ότι οι μαθητές δεν ήταν σε θέση να αναλύουν ενεργειακά τα υπό μελέτη συστήματα. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση του πρώτου συστήματος (ηλεκτρικό τρυπάνι) η πλειοψηφία των μαθητών (87%, N=20) κατέληξε να προσδιορίζει μια ακολουθία αποτελούμενη από αντικείμενα του συστήματος τα οποία θεώρησε ότι

έχουν σημαντικό ρόλο στην υπό μελέτη διεργασία, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα:

«Βρίσκεται στην πρίζα μετά πηγαίνει στο καλώδιο μετά στο τρυπάνι και μετά στην αρίδα.»

«Από τον άνθρωπο στο τρυπάνι και μετά στον τοίχο.»

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι παρόλο που συνήθως τα αντικείμενα που αναγνώριζαν οι μαθητές συμμετείχαν όντως στη διάδοση ενέργειας (π.χ. η αρίδα αποτελεί μέρος του πρώτου συστήματος στο οποίο αποθηκεύεται (κινητική) ενέργεια κατά τη λειτουργία του τρυπανιού), τα δεδομένα εισηγούνται ότι δεν ήταν σε θέση να δώσουν απαντήσεις που να συνάδουν με την ιδέα της ενεργειακής ανάλυσης. Αυτό καθίσταται προφανές, για παράδειγμα, από την απουσία αναφορών σε μορφές ενέργειας και στην ιδιότητα της μετατροπής από μια μορφή σε άλλη (με εξαίρεση ένα μαθητή) παρόλο που κατέχουν σημαντική θέση στο συμβατικό πρότυπο διδασκαλίας.

Οι υπόλοιποι τρεις μαθητές (13%) κατέληξαν να δίνουν άσχετες απαντήσεις που δεν απευθύνονταν στο ερώτημα. Για παράδειγμα, σε μια από αυτές τις περιπτώσεις αναφέρθηκε απλώς ότι *«το τρυπάνι ανοίγει μια τρύπα στον τοίχο»*.

Στην περίπτωση του δεύτερου συστήματος, ένας από τους μαθητές (4.5%), ο οποίος φοιτούσε στη δεύτερη τάξη του γυμνασίου, έδωσε μια απάντηση που στηρίχθηκε στην ιδέα της μετατροπής μορφής της ενέργειας. Συγκεκριμένα, πρότεινε ότι *«η ενέργεια από την κοπέλα πάει στο μπαστούνι και μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια»*. Οι υπόλοιπες απαντήσεις, ήταν ανάλογες με αυτές που εμφανίστηκαν και στο πρώτο σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, 18 μαθητές (78%) κατέληξαν να καταγράφουν ακολουθίες αντικειμένων που θεωρούσαν ότι συνδέονταν με την υπό μελέτη μεταβολή. Για παράδειγμα, ένας από τους μαθητές δήλωσε ότι η ενέργεια *«μεταφέρεται από την κοπέλα στο μπαστούνι και από το μπαστούνι στην μπάλα»*. Στις υπόλοιπες τέσσερις περιπτώσεις (17.5%) δόθηκαν άσχετες απαντήσεις. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους μαθητές ερμήνευσε την ενέργεια ως *«δράση»* και δήλωσε ότι *«η ενέργεια είναι την ώρα που χτυπά την μπάλα η κοπέλα. Μετά αρχίζει να κινείται η μπάλα»*.

6.2.2.β.2. Τελική αξιολόγηση

Μετά τη διδασκαλία, υπήρξε μια σημαντική μετάθεση ως προς τον προσανατολισμό των απαντήσεων των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα, 73% των μαθητών (δεκαέξι μαθητές (67%) στο πρώτο σύστημα και δεκαεννιά μαθητές (79%) στο δεύτερο) πρότειναν ενεργειακές αναλύσεις στις οποίες επιχείρησαν να προσδιορίσουν τις μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης που αφορούν στις μεταβολές που παρατηρήθηκαν στα δύο συστήματα. Οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές (63% στο πρώτο σύστημα και 69% στο δεύτερο) προτίμησαν να εκφράσουν την ενεργειακή τους ανάλυση λεκτικά παρά διαγραμματικά.

Ένα μέρος των μαθητών που δεν πρότειναν ενεργειακή ανάλυση (N=5, 10% του συνόλου) περιορίστηκε απλώς στην περιγραφή παρατηρήσεων από το κάθε σύστημα. Ένας άλλος μαθητής (2% του συνόλου) πρότεινε μια ενεργειακή ερμηνεία για τη μεταβολή η οποία ήταν βασισμένη στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας αλλά δεν προσδιόρισε ακολουθία από μορφές αποθήκευσης ή διεργασίες διάδοσης της ενέργειας. Τέλος, οι υπόλοιποι επτά μαθητές (15%) κατέγραψαν μια αλληλουχία αντικειμένων τα οποία συμμετέχουν στη διάδοση ενέργειας και οι έξι από αυτούς ανέφεραν είτε κάποια από τις δύο μορφές αποθήκευσης ενέργειας είτε τη σχετική διεργασία διάδοσης. Στη συνέχεια παρατίθεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης από την κάθε μια από τις τρεις περιπτώσεις.

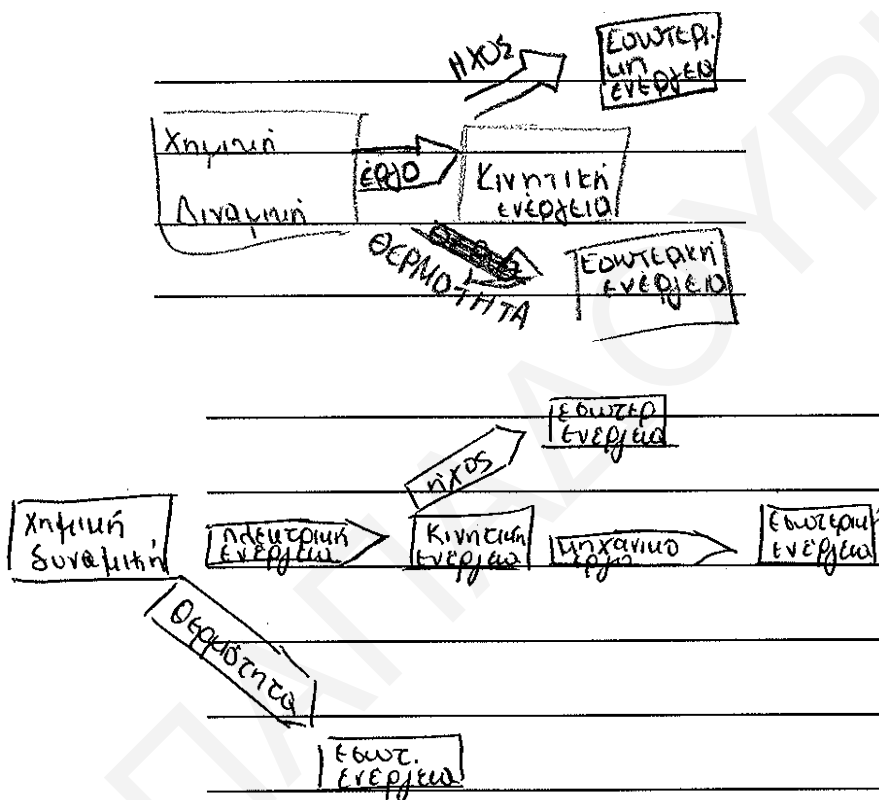
«Η κοπέλα χτύπησε την μπάλα και αυτή άρχισε να κινείται.»

«Πρώτα η ενέργεια ήταν αποθηκευμένη στην πρίζα και μετά που ο άνθρωπος πάτησε το κουμπί η ενέργεια πήγε στον τοίχο και τον έκανε να τρυπήσει.»

«Η ενέργεια από την κοπέλα πήγε στο μπαστούνι, από το μπαστούνι στην μπάλα και την έκανε να κινηθεί (κινητική ενέργεια).»

Οι απαντήσεις των μαθητών που πρότειναν ενεργειακή ανάλυση κωδικοποιήθηκαν σε μια διατακτική κλίμακα ανάλογα με το βαθμό στον οποίο προσέγγισαν την επιδιωκόμενη ενεργειακή ανάλυση για το κάθε σύστημα (διάγραμμα 20). Συγκεκριμένα, για κάθε στοιχείο της ενεργειακής αλυσίδας που ενσωμάτωνε ορθά κάποιος μαθητής πιστώνονταν με μια μονάδα και έτσι ο μέγιστος δυνατός βαθμός ήταν το τρία (περιπτώσεις όπου ενσωματώθηκαν ορθά και τα τρία στοιχεία) και ο ελάχιστος το μηδέν (περιπτώσεις όπου δεν ενσωματώθηκε ορθά κανένα από τα στοιχεία).

Όπως φαίνεται στον πίνακα 26, στον οποίο συνοψίζονται τα αποτελέσματα της κωδικοποίησης, ένα σημαντικό μέρος των μαθητών που επιχείρησαν ενεργειακή ανάλυση (38% στο πρώτο σύστημα και 53% στο δεύτερο) ήταν σε θέση να προτείνουν ολοκληρωμένη ενεργειακή αλυσίδα στην οποία προσδιόρισαν ορθά τόσο τις δύο μορφές αποθηκευμένης ενέργειας όσο και τη διεργασία διάδοσης που μεσολαβεί ανάμεσά τους, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα από το μηχανικό και το ηλεκτρικό σύστημα, αντίστοιχα.



Το γεγονός ότι σχεδόν στις μισές από τις περιπτώσεις (46%) οι μαθητές ήταν ικανοί να συνθέσουν μια έγκυρη και πλήρη ενεργειακή αλυσίδα για δύο συστήματα που δεν είχαν αναλύσει προηγουμένως παρέχει μια ιδιαίτερα ενθαρρυντική ένδειξη τόσο για το βαθμό στον οποίο προωθήθηκε η μαθησιακή επιδίωξη αναφορικά με την ικανότητα ενεργειακής ανάλυσης όσο και για το βαθμό στον οποίο είναι εφικτό να αναπτύξουν οι μαθητές το μοντέλο της ενεργειακής ανάλυσης. Αυτή η ένδειξη ενισχύεται περαιτέρω από τη διαπίστωση ότι οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές έτειναν να εμπλουτίζουν τις ενεργειακές τους αλυσίδες με πρόσθετα στοιχεία που αφορούν σε παρεμφερείς πτυχές της λειτουργίας των συστημάτων που δεν τους ζητήθηκε να αναλύσουν, όπως η διάδοση ενέργειας με ήχο.

Ένα στοιχείο που αξίζει να επισημανθεί αφορά στη σημαντική διαφοροποίηση που φαίνεται να υπάρχει στο ποσοστό επιτυχίας των μαθητών στα δύο συστήματα. Μια πιθανή

ερμηνεία για αυτό συνδέεται με το γεγονός ότι ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών (25%) απέτυχε να προσδιορίσει ορθά την αρχική μορφή αποθήκευσης της ενέργειας (χημική ενέργεια στο σύστημα καυσίμου-οξυγόνου). Το μεγάλο ποσοστό αποτυχίας σε σχέση με αυτό το στοιχείο της ενεργειακής αλυσίδας συνδέεται με τη δυσκολία των μαθητών να εντάξουν τον ηλεκτροπαραγωγό σταθμό στο σύστημα (εφόσον το ηλεκτρικό τρυπάνι δεν λειτουργεί με μπαταρίες αλλά είναι συνδεδεμένο στο ηλεκτρικό δίκτυο). Παρά τη σημασία της ικανότητας προσδιορισμού των μερών του υπό μελέτη συστήματος, τίθεται ένα ζήτημα για την καταλληλότητα του βαθμού πολυπλοκότητας του συγκεκριμένου συστήματος, η οποία συζητείται στο καταληκτικό μέρος της ενότητας.

Οι περισσότεροι από τους υπόλοιπους μαθητές (44% στο πρώτο σύστημα και 21% στο δεύτερο σύστημα) ήταν σε θέση να προσδιορίσουν ορθά δύο από τα τρία στοιχεία της ενεργειακής αλυσίδας, 17% των μαθητών (12% στο πρώτο και 21% στο δεύτερο) προσδιόρισαν ορθά μόνο ένα στοιχείο και οι υπόλοιποι (6% στο πρώτο και 5% στο δεύτερο) κατέληξαν σε λάθος επιλογές για όλα τα στοιχεία

Πίνακας 26: Βαθμός εγκυρότητας ενεργειακών αλυσίδων που κατασκεύασαν οι μαθητές

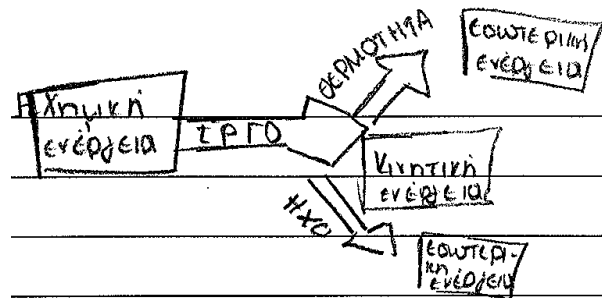
Βαθμός	1 ^ο σύστημα		2 ^ο σύστημα	
	N	%	N	%
0	1	6	1	5
1	2	12	4	21
2	7	44	4	21
3	6	38	10	53

Δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην ενεργειακή ανάλυση Πέρα από τη διακρίβωση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού τα δεδομένα επέτρεψαν επίσης τον εντοπισμό συγκεκριμένων δυσκολιών που τείνουν να υποσκάπτουν την προσπάθεια των μαθητών να αναλύσουν ενεργειακά τη λειτουργία φυσικών συστημάτων. Πιο κάτω παρουσιάζονται και αναλύονται οι σημαντικότερες από αυτές τις δυσκολίες.

- *Σύνδεση μηχανικού έργου και κινητικής ενέργειας*

Ένα συχνό λάθος που εμφανίστηκε σε 19% των περιπτώσεων και αφορά ειδικά στο πρώτο σύστημα (ηλεκτρικό τρυπάνι) σχετίζεται με τον προσδιορισμό του μηχανικού έργου, παρά

της ηλεκτρικής ενέργειας, ως της διεργασίας διάδοσης όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.



Μια πιθανή ερμηνεία για την τάση επιλογής του μηχανικού έργου, αφορά στην προδιάθεση των μαθητών να θεωρούν ότι εμφανίζεται πάντα σε συνδυασμό με την κινητική ενέργεια. Αυτό συνάδει με το γεγονός ότι η συγκεκριμένη μαθήτρια πρότεινε την ίδια ακριβώς αλυσίδα και για το δεύτερο σύστημα (Γκολφ). Παρενθετικά, αξίζει να σημειωθεί ότι ο βαθμός στον οποίο είναι εφικτό να αναπαρίστανται με την ίδια ενεργειακή αλυσίδα τόσο το μηχανικό όσο και το ηλεκτρικό σύστημα που παρουσιάζουν την ίδια μεταβολή θα μπορούσε να αξιοποιηθεί διδακτικά ως αφετηρία για τη διαχείριση της δυσκολίας των μαθητών να διευκρινίσουν το ρόλο του μηχανικού έργου στην ενεργειακή ανάλυση. Αυτό το στοιχείο συζητείται σε περισσότερη λεπτομέρεια σε επόμενο μέρος της ενότητας.

- *Σύνδεση μηχανικού έργου και δύναμης*

Μια άλλη δυσκολία που φάνηκαν να αντιμετωπίζουν οι μαθητές αναφορικά με το ρόλο του μηχανικού έργου αφορά στην τάση τους να του αποδίδουν ιδιότητες που ταιριάζουν με τη δύναμη. Αυτή η τάση εμφανίστηκε σε 10% των μαθητών στην περίπτωση του δεύτερου συστήματος, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα.

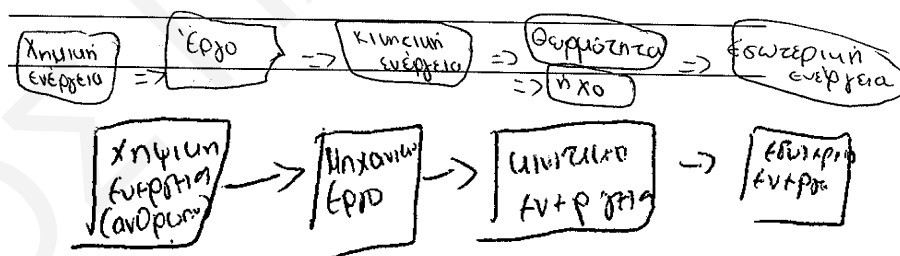
«Η ενέργεια βρίσκεται αρχικά στον άνθρωπο σε μορφή χημικής. Μετά η κοπέλα μεταδίδει την ενέργεια του σε κινητική (πάνω στο μπαστούνι) και χτυπά την μπάλα με μηχανικό έργο.»

«Η ενέργεια είναι αποθηκευμένη στο σώμα με χημική ενέργεια. Μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Μετά ασκείται μηχανικό έργο και υπάρχει πάλι κινητική ενέργεια.»

Παρόλο που κατά το σχεδιασμό του διδακτικού υλικού λήφθηκε υπόψη η δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές αναφορικά με τη διάκριση ανάμεσα στη δύναμη και την ενέργεια, η προσπάθεια που έγινε για διδακτικό χειρισμό του συγκεκριμένου ζητήματος ενδεχομένως να μην ήταν αρκετά αποτελεσματική. Επιπρόσθετα, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η εισαγωγή του μηχανικού έργου ως διεργασίας διάδοσης ενέργειας όταν εξασκείται δύναμη και υπάρχει μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της, ενδεχομένως να λειτούργησε ευνοϊκά ως προς την επίδραση αυτής της δυσκολίας. Ειδικότερα, είναι πιθανό να παρείχε στους μαθητές (ιδιαίτερα τους μαθητές που φοιτούσαν στη μέση εκπαίδευση) ένα τρόπο να συστηματικοποιήσουν, παρά να επαναπροσδιορίσουν, τη λανθασμένη σύνδεση που έτειναν να κάνουν ανάμεσα στη δύναμη και την ενέργεια. Αυτό το στοιχείο, λήφθηκε υπόψη κατά την αναθεώρηση του διδακτικού υλικού, όπως συζητείται στη συνέχεια.

- *Διάκριση ανάμεσα σε μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης*

Μια άλλη δυσκολία σχετίζεται με την ικανότητα των μαθητών να διακρίνουν ανάμεσα σε μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας. Παρόλο που οι περισσότεροι μαθητές έδωσαν λεκτικές απαντήσεις, οι οποίες δεν επέτρεπαν την αξιολόγηση αυτής της πτυχής της κατανόησης των μαθητών, αρκετοί από τους μαθητές που σχεδίασαν ενεργειακές αλυσίδες (περίπου 20%) δεν έκαναν συστηματικά αυτή τη διάκριση, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης για το δεύτερο σύστημα.



Παρά το γεγονός ότι αυτή η παράμετρος δεν λήφθηκε υπόψη για την αξιολόγηση της εγκυρότητας των ενεργειακών αναλύσεων που πρότειναν οι μαθητές, είναι σημαντικό να καταγραφεί ως ένα σημαντικό στοιχείο στην προσπάθεια αναθεώρησης του διδακτικού υλικού.

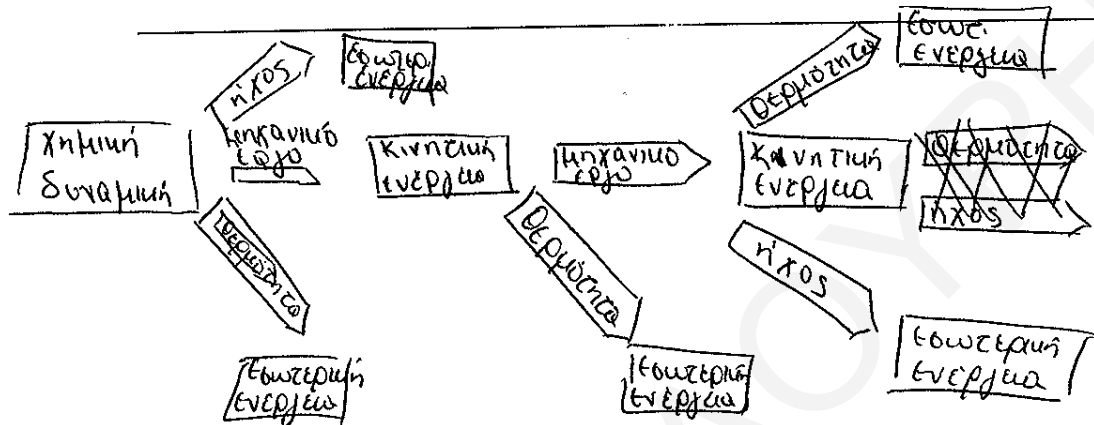
- *Ο ρόλος της θερμότητας στην ενεργειακή ανάλυση*

Τα δεδομένα από τις απαντήσεις των μαθητών καταδεικνύουν την τάση τους να περιλαμβάνουν τη θερμότητα στις ενεργειακές τους αλυσίδες, ως πρακτική ρουτίνας.

Όπως φαίνεται στα ακόλουθα δυο παραδείγματα, οι μαθητές ενέταξαν τη θερμότητα σε κάθε στάδιο της ενεργειακής τους αλυσίδας.

Θερμότητα - ποσοτήματα

Ληπτική ενέργεια - μηχανική ενέργεια - θερμότητα - ε.ε.
εργο - μηχανική ενέργεια - θερμότητα - ε.ε.



Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτή η προσέγγιση ενθαρρύνθηκε από την κατεύθυνση που υιοθετήθηκε από την αρχική εκδοχή του διδακτικού υλικού σε σχέση με την εισαγωγή της ιδέας της υποβάθμισης της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, το διδακτικό υλικό ήταν σχεδιασμένο, ώστε να προωθεί την ιδέα ότι σε οποιαδήποτε διεργασία μετατροπής ενέργειας από μια μορφή σε μια άλλη (ή διάδοση ενέργειας από ένα μέρος του συστήματος σε ένα άλλο), δεν είναι εφικτό να επιτευχθεί μετατροπή ολόκληρης της ποσότητας ενέργειας στην επιθυμούμενη μορφή αφού πάντοτε υπάρχει μια ποσότητα ενέργειας που διαδίδεται με θερμότητα στο περιβάλλον. Τα πιο πάνω παραδείγματα απάντησης αποτελούν ακριβή εφαρμογή αυτής της ιδέας στο σχεδιασμό ενεργειακών αλυσίδων. Αυτή η προσέγγιση παρουσιάζει την αδυναμία ότι ευνοεί τη μηχανική συμπερίληψη, από μέρους των μαθητών, της θερμότητας σε κάθε στάδιο της ενεργειακής αλυσίδας χωρίς να τους απασχολεί ο βαθμός στον οποίο ικανοποιείται η προϋπόθεση που τίθεται για διάδοση ενέργειας μέσω αυτής της διεργασίας (θερμική αλληλεπίδραση δύο σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας). Παρόλο που δεν έχουν συλλεγεί δεδομένα που να αφορούν άμεσα σε αυτό το στοιχείο είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτό το φαινόμενο ήταν ιδιαίτερα συχνό στις συζητήσεις με τους μαθητές στο πλαίσιο της εφαρμογής του διδακτικού υλικού. Μια εναλλακτική προσέγγιση για τη διαχείριση της ιδιότητας της υποβάθμισης, η οποία θεωρήθηκε πιο παραγωγική και υιοθετήθηκε στην αναθεωρημένη εκδοχή του διδακτικού υλικού, δίνει έμφαση στην ιδιότητα της ενεργειακής αλυσίδας να

παρέχει ένα μηχανισμό που εξηγεί τη μετάβαση ενός συστήματος από ένα αρχικό σε ένα τελικό στάδιο. Σε αυτό το πλαίσιο η ιδιότητα της υποβάθμισης εισάγεται ως η τάση για διάδοση ενέργειας στο περιβάλλον με θερμότητα, τουλάχιστο σε κάποιο στάδιο της διεργασίας.

6.2.2.γ. Κατανόηση μαθητών για την ιδιότητα της διατήρησης της ενέργειας

6.2.2.γ1. Αρχική αξιολόγηση

Οι περισσότεροι από τους μισούς μαθητές (52%, N=12), φάνηκαν να υιοθετούν σκεπτικό συμβατό με την ιδέα της κατανάλωσης ενέργειας. Οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές (N=10, 43% του συνόλου) δήλωσαν ότι η ποσότητα ενέργειας που δεν θα έχει χρησιμοποιηθεί κατά τη λειτουργία του τρυπανιού θα αποθηκευτεί στην πρίζα ή στο τρυπάνι ενώ οι υπόλοιποι δύο μαθητές (9% του συνόλου) δήλωσαν απλώς ότι η ενέργεια εξαφανίζεται χωρίς να δίνουν οποιαδήποτε πρόσθετη πληροφόρηση. Πιο κάτω φαίνονται δύο παραδείγματα από την πρώτη περίπτωση και ένα από τη δεύτερη, αντίστοιχα.

«Θα επιστρέψει στην πρίζα. Απλά δεν θα πάει όλη. Δεν θα πάει και η ενέργεια που χρησιμοποιήσαμε για να ανοίξει η τρύπα.»

«Λίγη από την ενέργεια θα έχει λείψει ενώ η υπόλοιπη θα επιστρέψει από το καλώδιο στην πρίζα.»

«Θα εξαφανιστεί όταν τελειώσει.»

Τρεις μαθητές (13%) δήλωσαν ότι η ενέργεια πάει στο περιβάλλον. Παρόλο που αυτή η δήλωση θα μπορούσε εκ πρώτης όψεως να θεωρηθεί συμβατή με την ιδιότητα της υποβάθμισης είναι πιο πιθανό να υπονοεί ότι η ενέργεια εξαφανίζεται παρά ότι αποθηκεύεται σε κάποια μορφή στο περιβάλλον. Ενδεικτικά παραδείγματα απαντήσεων αυτής της κατηγορίας είναι τα ακόλουθα:

«Θα πάει στο περιβάλλον.»

«Θα πάει προς τα έξω.»

Ένα άλλο σημαντικό ποσοστό των μαθητών (26%, N=6) δήλωσε ότι η ενέργεια επιστρέφει στην πρίζα. Είναι πιθανό αυτές οι απαντήσεις να προέκυψαν ως απόρροια της τάσης των μαθητών να ταυτίζουν την ενέργεια με το ηλεκτρικό ρεύμα και να της αποδίδουν την ιδιότητα της κυκλικής ροής.

6.2.2.γ2. Τελική αξιολόγηση

Μετά τη διδασκαλία, όλοι οι μαθητές φάνηκαν να εκτιμούν την ιδιότητα της ενέργειας να διατηρείται. Ένα σημαντικό μέρος των μαθητών (38%, N=9) αναγνώρισε ορθά ότι η ενέργεια αποθηκεύεται στο περιβάλλον μετά τον τερματισμό της διαδικασίας ενώ οι έξι από αυτούς (67%, 25% του συνόλου) ήταν σε θέση να προσδιορίσουν επιπρόσθετα τη σχετική μορφή αποθήκευσης (εσωτερική ενέργεια). Ένα μεγάλο ποσοστό των μαθητών (54%, N=13) περιορίστηκε στον προσδιορισμό της μορφής στην οποία καταλήγει να αποθηκεύεται η ενέργεια (εσωτερική ενέργεια) χωρίς να αναφέρεται στο μέρος του συστήματος στο οποίο αποθηκεύθηκε. Τέλος, οι υπόλοιποι δύο μαθητές (8%) παρόλο που αναγνώρισαν ότι η ενέργεια δεν καταστρέφεται παρέλειψαν να αναφέρουν τη σχετική μορφή αποθήκευσης και κατέληξαν είτε να προσδιορίζουν το τρυπάνι ως το μέρος της τελικής αποθήκευσης είτε να δηλώνουν αόριστα ότι «η ενέργεια θα αποθηκευτεί κάπου στο σύστημα.»

6.2.3. Συζήτηση αποτελεσμάτων αξιολόγησης

Τα δεδομένα που έχουν συλλεγεί στο πλαίσιο της πιλοτικής εφαρμογής του διδακτικού υλικού ενθαρρύνουν και παρέχουν εμπειρική στήριξη στον προσανατολισμό της προτεινόμενης διδακτικής προσέγγισης αφού εισηγούνται ότι μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν ένα ποιοτικό μοντέλο για την ενέργεια και να το εφαρμόσουν στην ανάλυση της λειτουργίας συστημάτων. Ταυτόχρονα, καταδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασία της ακολουθίας δραστηριοτήτων, ώστε να καταστεί πιο αποτελεσματική και να καθοδηγεί τους μαθητές να υπερβαίνουν εννοιολογικές δυσκολίες που εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν. Πιο κάτω συζητούνται οι βασικότερες αναθεωρήσεις που έχουν υλοποιηθεί, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που έχουν προκύψει από την εφαρμογή του διδακτικού υλικού.

6.2.3α. Αναθεωρήσεις

6.2.3.α1. Εμπλουτισμός διδακτικού υλικού με στοιχεία που αφορούν στη φύση της επιστήμης

Παρά το γεγονός ότι δεν έχουν συλλεγεί δεδομένα για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού σε σχέση με στοιχεία που άπτονται της φύσης της επιστήμης και της ενέργειας, η εικόνα που διαμορφώθηκε από τις συζητήσεις με τις ομάδες μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας δεν ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντική. Πιο συγκεκριμένα, η αλληλεπίδραση με το περιεχόμενο της αρχικής ενότητας προϋποθέτει λειτουργικούς ορισμούς (π.χ. παρατήρηση) και σχετικές ιδέες (π.χ. διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας) οι οποίες δεν είχαν διασφαλιστεί με επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα της όλης

δραστηριότητας. Επίσης, η οποιαδήποτε επιστημολογική συζήτηση κατέληξε να περιορίζεται στην αρχική ενότητα η οποία λειτουργούσε, σε μεγάλο βαθμό, σε απομόνωση από την υπόλοιπη ακολουθία δραστηριοτήτων. Η επαναφορά της συζήτησης και οι συνδέσεις από επόμενες ενότητες τους διδακτικού υλικού δεν προέκυπταν συστηματικά ως αποτέλεσμα του σχεδιασμού του διδακτικού υλικού αλλά εμφανίζονταν σε μεμονωμένες περιπτώσεις από μέλη του διδακτικού προσωπικού που ήταν σε θέση να αξιοποιήσουν τις ευκαιρίες που παρουσιάζονταν. Δεδομένης της αξίας των επιστημολογικών συζητήσεων στην κατανόηση των μαθητών για τη φύση της ενέργειας και το ρόλο της στην επιστήμη, αυτή η πτυχή του διδακτικού υλικού ενισχύθηκε με τρεις τρόπους. Πρώτον, ενσωματώθηκε μια πρόσθετη ενότητα η οποία αποσκοπεί στη διατύπωση λειτουργικών ορισμών για βασικές ιδέες όπως η επιστημονική παρατήρηση και εισάγει σε ένα απλό πλαίσιο, ανεξάρτητο από το εννοιολογικό περιεχόμενο της επιστήμης, τη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία και το ρόλο της δημιουργικότητας στη διατύπωση ερμηνειών. Δεύτερον, καθορίστηκαν συγκεκριμένες δραστηριότητες στο υπόλοιπο μέρος της ακολουθίας δραστηριοτήτων στις οποίες γίνονται με συνέπεια σχετικές επιστημολογικές συζητήσεις και συνδέσεις με την αρχική ενότητα. Τρίτον, κατά τις προπαρασκευαστικές συναντήσεις στο πλαίσιο των εφαρμογών του διδακτικού υλικού λαμβάνεται πρόνοια, ώστε, να διασφαλίζεται η εξοικείωση του διδακτικού προσωπικού με τις σχετικές επιστημολογικές ιδέες και η προετοιμασία του για τις συζητήσεις με τις ομάδες μαθητών.

- *Επαναπροσδιορισμός μοντέλου ενεργειακής αλυσίδας και σκεπτικού για την εισαγωγή της ιδιότητας της υποβάθμισης*

Όπως έχει συζητηθεί στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων, η εκδοχή του διδακτικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε ευνοούσε την ένταξη της θερμότητας στις ενεργειακές αλυσίδες ως πρακτική ρουτίνας χωρίς να διασφαλίζεται η κατανόηση των μαθητών για τις προϋποθέσεις που εφαρμόζουν σχετικά με τη διάδοση ενέργειας μέσω αυτής της διεργασίας (ύπαρξη διαφοράς θερμοκρασίας σε μέρη του συστήματος που έχουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν). Σε μια προσπάθεια διαχείρισης αυτού του ζητήματος διευκρινίστηκε μια επιπλέον παραδοχή αναφορικά με το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας. Συγκεκριμένα, η αναθεωρημένη εκδοχή του διδακτικού υλικού αναγνωρίζει ρητά ότι το μοντέλο της ενεργειακής ανάλυσης αδυνατεί να παρέχει δυναμικές αναπαραστάσεις για την εξέλιξη της διάδοσης της ενέργειας σε ένα σύστημα ως συνάρτηση του χρόνου. Για παράδειγμα, η ενεργειακή αλυσίδα για ένα σώμα που αφήνεται από κάποιο ύψος δεν αναπαριστά την εξέλιξη της μετατροπής της βαρυτικής

ενέργειας σε κινητική ενέργεια και δεν μπορεί να παρέχει πληροφόρηση για τις σχετικές ποσότητες που βρίσκονται αποθηκευμένες σε αυτές τις δύο μορφές ανά πάσα στιγμή και για τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλονται καθώς εξελίσσεται η κίνηση. Αντίθετα, το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας παρέχει ένα μηχανισμό που αναπαριστά συνολικά τη μεταβολή του συστήματος από την αρχική κατάσταση (π.χ. μόλις αφηθεί το σώμα) στην τελική κατάσταση (π.χ. κάποια χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της πτώσης κατά την οποία εξακολουθεί να επιταχύνεται το σώμα ή η χρονική στιγμή της πρόσκρουσης). Αυτός ο επαναπροσδιορισμός του ρόλου της ενεργειακής αλυσίδας αναδεικνύει την ανάγκη για ρητή διδακτική διαχείριση μιας συγκεκριμένης προϋπόθεσης για την ενεργειακή ανάλυση ενός συστήματος. Ειδικότερα, τονίζει την ανάγκη για σαφή προσδιορισμό, εκ των προτέρων, της αρχικής και τελικής κατάστασης του συστήματος, οι οποίες οριοθετούν την υπό μελέτη πτυχή της λειτουργίας του.

Παράλληλα με τον επαναπροσδιορισμό του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας αναπροσαρμόστηκε επίσης το σκεπτικό που υιοθετείται για την εισαγωγή της ιδιότητας της υποβάθμισης της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η έμφαση μετατίθεται από την ιδέα ότι σε κάθε στάδιο της ενεργειακής αλυσίδας υπάρχει διάδοση ενέργειας στο περιβάλλον με θερμότητα στην ιδέα ότι σε μια ενεργειακή αλυσίδα που περιγράφει μια ολοκληρωμένη διεργασία περιλαμβάνεται σε κάποιο στάδιο αύξηση της θερμοκρασίας κάποιων μερών του συστήματος και συνεπώς, διάδοση ενέργειας με θερμότητα προς το περιβάλλον.

Τα δύο πιο πάνω στοιχεία, σε συνδυασμό με μια πιο ρητή προσπάθεια από μέρους του διδακτικού προσωπικού να ζητά συστηματικά και με συνέπεια από τους μαθητές να αιτιολογούν γιατί έχουν περιλάβει στις ενεργειακές τους αλυσίδες τη θερμότητα (π.χ., ζητώντας να προσδιορίσουν τα μέρη του συστήματος που παρουσιάζουν διαφορά στη θερμοκρασία τους), θα μπορούσε να βοηθήσει τους μαθητές να διευκρινίσουν καλύτερα το ρόλο της θερμότητας στην ενεργειακή ανάλυση και να εμποδίσουν τη μηχανική ενσωμάτωσή της στις ενεργειακές αλυσίδες.

- *Επανεπιλογή συστημάτων που μελετούνται στο πλαίσιο του διδακτικού υλικού, ώστε να ενισχυθεί η προσπάθεια διαχείρισης συγκεκριμένων εννοιολογικών δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές.*

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μετά τη διδασκαλία οι μαθητές εξακολουθούσαν να αντιμετωπίζουν συγκεκριμένες εννοιολογικές δυσκολίες, όπως για παράδειγμα η αδυναμία να εκτιμήσουν την ύπαρξη διαφοράς θερμοκρασίας ως προϋπόθεση για διάδοση ενέργειας

με θερμότητα. Σε μια προσπάθεια να ενισχυθεί η δυνατότητα του διδακτικού υλικού να διαχειρίζεται αυτές τις δυσκολίες ενσωματώθηκαν δραστηριότητες που αντιπαραβάλλουν επιλεγμένα συστήματα παρέχοντας την ευκαιρία για πρόσθετο διδακτικό χειρισμό. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της πιο πάνω δυσκολίας αντιπαραβάλλονται κατάλληλα επιλεγμένα συστήματα (π.χ., συστήματα στα οποία υπάρχει αύξηση θερμοκρασίας αλλά διαφέρει η διεργασία διάδοσης ενέργειας - π.χ. θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια, μηχανικό έργο κ.τ.λ.) με στόχο να βοηθηθούν οι μαθητές να κατανοήσουν ότι η θερμότητα αποτελεί μια από τις πιθανές διεργασίες διάδοσης ενέργειας που μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση θερμοκρασίας και να εκτιμήσουν τις προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες διαδίδεται ενέργεια με αυτό τον τρόπο. Ένα άλλο παράδειγμα, συνδέεται με την τάση των μαθητών που επισημάνθηκε νωρίτερα να θεωρούν ότι η διάδοση ενέργειας με μηχανικό έργο αποτελεί αναγκαία συνθήκη για αύξηση της κινητικής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση, η συνδυασμένη ενεργειακή ανάλυση συστημάτων στα οποία η ενέργεια διαδίδεται μέσω διαφορετικών διεργασιών αλλά καταλήγει να αποθηκεύεται ως κινητική ενέργεια (π.χ. αντιπαραβολή των δύο συστημάτων που περιλήφθηκαν στην αξιολόγηση - Ηλεκτρικό τρυπάνι/Γκολφ) θα μπορούσε να συνεισφέρει στη διαχείριση αυτής της δυσκολίας.

- *Περισσότερη έμφαση στην αιτιολόγηση του σκεπτικού των μαθητών για τις επιλογές τους αναφορικά με το περιεχόμενο των ενεργειακών αλυσίδων που κατασκευάζουν*

Μια τελευταία πτυχή της αναθεώρησης του διδακτικού υλικού αφορά στην πρόσθετη έμφαση που δίνεται στην αιτιολόγηση, από μέρους των μαθητών, των μορφών αποθήκευσης και διεργασιών διάδοσης που επιλέγουν να περιλάβουν στις ενεργειακές αλυσίδες που κατασκευάζουν. Συγκριμένα, σε κάθε περίπτωση όπου οι μαθητές αναλύουν ενεργειακά ένα σύστημα ζητείται να καθορίσουν ρητά το αρχικό και το τελικό του στάδιο και επίσης να αιτιολογήσουν γιατί έχουν επιλέξει την κάθε μορφή αποθήκευσης ή διεργασία διάδοσης που έχουν περιλάβει, με αναφορά σε πτυχές του υπό μελέτη συστήματος (π.χ., αιτιολόγηση της ενσωμάτωσης της διεργασίας διάδοσης με θερμότητα με αναφορά στην ύπαρξη διαφοράς θερμοκρασίας σε συγκεκριμένα μέρη του συστήματος). Στις πρώτες περιπτώσεις ενεργειακής ανάλυσης αυτές οι διευκρινίσεις δίνονται γραπτώς από τους μαθητές σε σχετικά φύλλα εργασίας ενώ, σε επόμενο στάδιο συζητούνται προφορικά με τα μέλη του διδακτικού προσωπικού. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε περίπτωση όπου συζητείται με τους μαθητές η ενεργειακή ανάλυση που έχουν κάνει για κάποιο σύστημα ζητείται με συστηματικότητα και ρητά να αιτιολογήσουν γιατί έχουν επιλέξει την κάθε μορφή αποθήκευσης και διεργασία διάδοσης ενέργειας. Επίσης, δίνεται

έμφαση, ειδικότερα στα πρώτα στάδια, στην εστίαση της προσοχής των μαθητών στη διάκριση ανάμεσα στις μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης της ενέργειας.

- *Ενίσχυση διδακτικού χειρισμού της τάσης των μαθητών να ταυτίζουν την ενέργεια με άλλες έννοιες*

Παρά το γεγονός ότι η τάση των μαθητών να μπερδεύουν έννοιες όπως η δύναμη και το ηλεκτρικό ρεύμα λήφθηκε υπόψη κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού τα δεδομένα εισηγούνται ότι τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά, ειδικότερα στην περίπτωση της δύναμης. Πιο συγκεκριμένα, όπως έχει συζητηθεί νωρίτερα παρά τη ρητή προσπάθεια διαχείρισης αυτής της τάσης οι μαθητές κατέληξαν σε μερικές περιπτώσεις να εκμεταλλεύονται την αλληλεπίδρασή τους με το διδακτικό υλικό (με μη αποδεκτούς τρόπους) ώστε να τη συστηματικοποιούν και να την ενισχύουν. Στο πλαίσιο της αναθεώρησης του διδακτικού υλικού, καταβλήθηκε πρόσθετη προσπάθεια διαχείρισης αυτού του ζητήματος ενισχύοντας (α) τη συζήτηση για το ρόλο των διεργασιών διάδοσης ενέργειας στην ενεργειακή ανάλυση και για την περίπτωση του μηχανικού έργου ως μιας από αυτές τις διεργασίες, (β) τη συστηματικότητα με την οποία ορίζεται η δύναμη (ως το σπρώξιμο ή το τράβηγμα ανάμεσα σε αντικείμενα) και (γ) τη συζήτηση περιπτώσεων όπου ενώ μπορεί κανείς να εντοπίσει την εξάσκηση κάποιας δύναμης, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάρχει διάδοση με μηχανικό έργο (π.χ. δεν υπάρχει μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της). Επιπρόσθετα, όπως έχει συζητηθεί πιο πάνω, αυξήθηκαν οι απαιτήσεις στις συζητήσεις με τους μαθητές αναφορικά με την αιτιολόγηση των επιλογών στις οποίες καταφεύγουν (π.χ. διάδοση με μηχανικό έργο) στις ενεργειακές τους αλυσίδες.

- *Αναθεωρήσεις σε σχέση με τα έργα αξιολόγησης*

Πέρα από τις αναθεωρήσεις στην ακολουθία δραστηριοτήτων κρίθηκε χρήσιμο να τροποποιηθούν επίσης τα μέσα και η διαδικασία συλλογής δεδομένων. Μια από τις αναθεωρήσεις αφορά στο έργο αξιολόγησης που σχετίζεται με την ενεργειακή ανάλυση του συστήματος με το ηλεκτρικό τρυπάνι. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αρκετοί μαθητές απέτυχαν να προσδιορίσουν τη χημική ενέργεια ως την αφετηρία της ενεργειακής αλυσίδας και αυτό, πιθανώς, προκύπτει από την αδυναμία να προσεγγιστεί ο ηλεκτροπαραγωγός σταθμός ως μέρος του συστήματος. Αυτό το στοιχείο θεωρήθηκε ότι αυξάνει αχρείαστα το βαθμό δυσκολίας του έργου περιπλέκοντας τη μέτρηση. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμο να απλοποιηθεί διευκρινίζοντας ότι το ηλεκτρικό τρυπάνι λειτουργεί με μπαταρίες.

Μια πρόσθετη αναθεώρηση αφορά στο δεύτερο σύστημα (γκολφ) και περιλαμβάνει την επέκτασή του, ώστε να εστιάζει επίσης και στη μεταβολή που συνδέεται με την επιβράδυνση της μπάλας και το σταδιακό τερματισμό της κίνησής της. Συγκεκριμένα, στην αναθεωρημένη εκδοχή του έργου αξιολόγησης ζητείται από τους μαθητές να αναπαραστήσουν αρχικά την ενεργειακή αλυσίδα για την έναρξη της κίνησης και, ακολούθως, σε χωριστό ερώτημα να επεκτείνουν την ενεργειακή τους αλυσίδα, ώστε να καλύπτει και το σταδιακό τερματισμό της.

Μια τρίτη πτυχή της αναθεώρησης των εργαλείων αξιολόγησης αφορά στην ανάπτυξη έργων τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για να παρέχουν πληροφόρηση για την κατανόηση των μαθητών για βασικές επιστημολογικές ιδέες που υπεισέρονται στο διδακτικό υλικό. Πιο συγκεκριμένα, κρίθηκε σημαντικό να αναπτυχθούν έργα για την αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών για (α) τη διάκριση ανάμεσα στην ερμηνεία και την παρατήρηση στην επιστήμη, (β) το ρόλο της δημιουργικότητας στην επινόηση ερμηνειών για τα φυσικά φαινόμενα και (γ) τον επινοημένο χαρακτήρα της ενέργειας.

Τέλος, πέρα από τις αναθεωρήσεις και προσθήκες στα έργα αξιολόγησης θεωρήθηκε σημαντικό να εμπλουτιστεί η διαδικασία αξιολόγησης της κατανόησης των μαθητών με συλλογή δεδομένων μέσω συνεντεύξεων από ένα υποσύνολο των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία, ώστε να καθίσταται εφικτή η πιο λεπτομερής αξιολόγηση του σκεπτικού τους και της (προσδοκώμενης) εξέλιξής του.

6.3. Αποτελέσματα της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της αναθεωρημένης εκδοχής του διδακτικού υλικού

Σε αυτό το μέρος της ενότητας παρουσιάζονται και συζητούνται τα ερευνητικά δεδομένα αναφορικά με την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού στο πλαίσιο της δεύτερης εφαρμογής του, μετά την υλοποίηση των σχετικών τροποποιήσεων. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων δομείται σε τέσσερα κύρια μέρη. Τα τρία πρώτα μέρη συζητούν τα αποτελέσματα για την καθεμιά από τις τρεις βασικές μαθησιακές επιδιώξεις στις οποίες απευθύνεται το διδακτικό υλικό. Ειδικότερα, η πρώτη αφορά στην κατανόηση των μαθητών για τη φύση της ενέργειας, η δεύτερη εστιάζει στο βαθμό στον οποίο αντιλαμβάνονται τη δυνατότητά της να παρέχει ένα ενοποιητικό πλαίσιο για την ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών και η τρίτη επικεντρώνεται στην ικανότητα των μαθητών να αναλύουν ενεργειακά συγκεκριμένες μεταβολές σε δοσμένα συστήματα. Στο τέταρτο

μέρος παρουσιάζονται οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού.

6.3.1. Κατανόηση μαθητών για τη φύση της ενέργειας

Σε αυτό το μέρος συζητούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν σε σχέση με την επιδίωξη του διδακτικού υλικού αναφορικά με την προώθηση κατανόησης για τη φύση της ενέργειας. Για τη διερεύνηση του βαθμού στον οποίο επιτεύχθηκε αυτή η επιδίωξη αξιοποιήθηκαν τρία έργα αξιολόγησης ανοιχτού τύπου. Τα δύο πρώτα αξιολογούν παρεμφερείς αλλά ταυτόχρονα θεμελιώδεις πτυχές που συνδέονται έμμεσα με τη φύση της ενέργειας ως μιας επινοημένης ιδέας για την ερμηνεία φαινόμενων. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο έργο αξιολόγησης εστιάζει στο βαθμό στον οποίο οι μαθητές διαφοροποιούν ανάμεσα σε παρατηρήσεις και ερμηνείες ενώ το δεύτερο αξιολογεί την ικανότητά τους να διακρίνουν ανάμεσα στην ανακάλυψη και την επινόηση συνδέοντας την πρώτη με καταγραφή εμπειρικών, παρατηρησιακών, δεδομένων και τη δεύτερη με την ερμηνεία φαινόμενων. Το τρίτο έργο αξιολόγησης επιχειρεί την άμεση καταγραφή των ιδεών των μαθητών για τη φύση της ενέργειας. Τα τρία αυτά έργα αξιολόγησης απαντήθηκαν γραπτώς από τους μαθητές πριν και μετά τη διδασκαλία ενώ, όπως συζητείται αργότερα, συγκεκριμένες πτυχές τους περιλήφθηκαν επίσης στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις συνεντεύξεις.

Πιο κάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το καθένα από τα τρία έργα αξιολόγησης χωριστά και η συζήτηση, όπου είναι χρήσιμο, εμπλουτίζεται με δεδομένα από τις αντίστοιχες συνεντεύξεις.

6.3.1.α. Διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία (Έργο αξιολόγησης I)

Το πρώτο έργο αποσκοπεί να αξιολογήσει το βαθμό στον οποίο οι μαθητές μπορούν να διακρίνουν τις επιστημονικές ερμηνείες από άλλες δηλώσεις χρησιμοποιώντας ως κριτήριο την ιδιότητά τους να προσδιορίζουν κάποιο μηχανισμό που να ερμηνεύει παρατηρήσεις. Το έργο αξιολόγησης αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο παρουσιάζεται στους μαθητές μια σειρά από πέντε ανεξάρτητες δηλώσεις (διάγραμμα 21) και τους ζητείται να επισημάνουν εκείνες που αποτελούν παράδειγμα ερμηνείας.

Διάγραμμα 21: Περιεχόμενο έργου αξιολόγησης ικανότητας διάκρισης παρατήρησης-ερμηνείας παρατήρησης

- 1 Ένας λαμπτήρας που συνδέεται σε ένα κλειστό κύκλωμα, ανάβει επειδή περνά από αυτόν ηλεκτρικό ρεύμα
- 2 Το παγωμένο νερό που υπήρχε στο ποτήρι ζεστάθηκε επειδή το αφήσαμε αρκετή ώρα έξω στο περιβάλλον μια καλοκαιρινή μέρα
- 3 Μια μέλισσα έχει έξι πόδια
- 4 Αν αφήσουμε μια πέτρα από κάποιο ύψος θα πέσει προς το έδαφος, λόγω της δύναμης με την οποία την τραβά η γη
- 5 Το ηλεκτρονικό μου παιχνίδι σταμάτησε να λειτουργεί επειδή το άφησα αναμμένο για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να του αλλάξω μπαταρίες

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 21, δύο από τις δηλώσεις (1 και 4) αποτελούν παραδείγματα ερμηνείας αφού προσδιορίζουν κάποιο μηχανισμό για την ερμηνεία των σχετικών μεταβολών (φωτοβολία λαμπτήρα και πτώση σωμάτων που αφήνονται ελεύθερα από κάποιο ύψος). Άλλες δύο προτάσεις (2 και 5) περιορίζονται απλώς στην περιγραφή ενός ζεύγους παρατηρήσεων (για παράδειγμα, στην περίπτωση της δεύτερης πρότασης οι δύο παρατηρήσεις είναι ότι (α) ένα δοχείο με παγωμένο νερό αφέθηκε σε ανοιχτό χώρο και (β) ζεστάθηκε). Παρόλο που οι δύο παρατηρήσεις που περιλαμβάνονται σε κάθε πρόταση σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους αφού η πρώτη ακολουθείται συνήθως από τη δεύτερη, δεν προσδιορίζεται κάποιος μηχανισμός που να ερμηνεύει τη συσχέτισή τους. Για παράδειγμα, ενώ είναι γεγονός ότι η τοποθέτηση ενός δοχείου με παγωμένο νερό σε εξωτερικό χώρο μια καλοκαιρινή μέρα ακολουθείται, κατά κανόνα, από την αύξηση της θερμοκρασίας του, δεν προτείνεται κάποιος μηχανισμός που να ερμηνεύει τη σύνδεση των δύο παρατηρήσεων. Τέλος, μια από τις δηλώσεις (3) αποτελεί απλώς μια καταφατική πρόταση που καθορίζει τον αριθμό των ποδιών μιας μέλισσας.

Το δεύτερο μέρος του έργου αξιολόγησης περιλαμβάνει μια ερώτηση ανοικτού τύπου η οποία ζητά από τους μαθητές να προσδιορίσουν έναν κανόνα που θα μπορούσε να εφαρμοστεί για να αποφασιστεί κατά πόσο μια δήλωση είναι παράδειγμα επιστημονικής ερμηνείας.

Το έργο αξιολόγησης απαντήθηκε από τον κάθε μαθητή γραπτώς πριν και μετά από τη διδασκαλία. Επίσης, αποτέλεσε μέρος του πρωτοκόλλου της συνέντευξης που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή δεδομένων πριν από τη διδασκαλία. Το πρωτόκολλο

συνέντευξης που χρησιμοποιήθηκε μετά τη διδασκαλία περιλάμβανε ένα συναφές, αλλά διαφορετικό, ερώτημα. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη συνέντευξη ο ερευνητής αξιοποιούσε το παράδειγμα ενός από τα φυσικά συστήματα που περιλαμβάνονταν στο πρωτόκολλο της συνέντευξης και πρότεινε στους μαθητές μια ερμηνεία για κάποια συγκεκριμένη μεταβολή (π.χ. φωτοβολία ενός λαμπτήρα), ζητώντας να αιτιολογήσουν κατά πόσο αποτελεί παράδειγμα επιστημονικής ερμηνείας. Στις περιπτώσεις των δεδομένων από την αρχική αξιολόγηση όπου χρησιμοποιήθηκε το ίδιο ακριβώς ερώτημα τόσο στα γραπτά έργα όσο και στο πρωτόκολλο της συνέντευξης έγινε μια προσπάθεια αξιολόγησης της συνέπειας στις απαντήσεις των μαθητών. Τα αποτελέσματα αυτής της αξιολόγησης κατέδειξαν ότι σε 89% των περιπτώσεων υπήρχε ταύτιση στον τρόπο με τον οποίο κωδικοποιήθηκαν οι γραπτές και οι προφορικές απαντήσεις ενώ, επιπρόσθετα, ο στατιστικός έλεγχος Wilcoxon απέτυχε να ανιχνεύσει σημαντική διαφοροποίηση ($T=0$, $p=0.063$).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων. Η συζήτηση ακολουθεί αντίστροφη πορεία από τη δομή του έργου αξιολόγησης αφού ξεκινά από τις απαντήσεις των μαθητών στο δεύτερο μέρος (ερώτημα ανοικτού τύπου) και τις συνεντεύξεις και επιστρέφει αργότερα στα αποτελέσματα αναφορικά με τις μεμονωμένες προτάσεις που περιλήφθηκαν στο πρώτο μέρος. Αυτή η αντιστροφή κρίθηκε σκόπιμη καθώς η συζήτηση των δεδομένων από τις συνεντεύξεις και το ερώτημα ανοικτού τύπου επιτρέπουν τη διαμόρφωση ενός ερμηνευτικού πλαισίου για τη μετέπειτα παρουσίαση των αντίστοιχων αποτελεσμάτων από τα ερωτήματα κλειστού τύπου.

6.3.1.α1. Απαντήσεις στο ερώτημα ανοικτού τύπου

Αρχική αξιολόγηση

Πριν από τη διδασκαλία, οι μαθητές συχνά δεν ήταν σε θέση να προσδώσουν νόημα στο ερώτημα και έτειναν, σε μεγάλο βαθμό, να στηρίζονται στη διαίσθησή τους ή να ενεργοποιούν μη έγκυρα κριτήρια. Οι απαντήσεις τους εντάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες, οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 27. Στη δεύτερη και τρίτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι συχνότητες και τα ποσοστά εμφάνισης της κάθε κατηγορίας στις γραπτές απαντήσεις των μαθητών ενώ σε παρένθεση παρουσιάζονται τα αντίστοιχα στοιχεία για τις απαντήσεις που δόθηκαν κατά τις συνεντεύξεις.

Πίνακας 27: Αποτελέσματα επεξεργασίας αρχικών απαντήσεων αναφορικά με τη διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας παρατήρησης

Κατηγορία Απάντησης	N	%
Άσχετη απάντηση	13(0)	22% (0%)
Επιστημονικές ερμηνείες είναι οι προτάσεις που παρέχουν λεπτομερή περιγραφή	19(9)	32% (30%)
Επιστημονικές ερμηνείες είναι οι προτάσεις που περιλαμβάνουν αιτιολογικούς συνδέσμους	27(21)	46% (70%)

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους μαθητές που κατέληξαν να δίνουν άσχετη απάντηση. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει ένα ιδιαίτερα μεγάλο ποσοστό των γραπτών απαντήσεων (22%) και αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αδυναμία των μαθητών να ανάγουν το ερώτημα σε ένα οικείο πλαίσιο που να του προσδίδει νόημα. Οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές κατέληξαν να δίνουν μια κυκλική απάντηση προτείνοντας, για παράδειγμα, ότι «πρέπει να διαβάσουμε πολλές φορές μια πρόταση και να δούμε αν εξηγά.» Οι υπόλοιποι μαθητές περιορίστηκαν απλώς στην αναφορά συγκεκριμένων παραδειγμάτων τα οποία θεωρούσαν σχετικά με το ερώτημα, χωρίς να δίνουν πρόσθετες διευκρινίσεις. Για παράδειγμα ένας από αυτούς τους μαθητές ανέφερε ότι «θα του έλεγα πως η πίεση είναι μικρότερη όταν έχουμε μικρή επιφάνεια.»

Η επόμενη κατηγορία αποτελείται από δεκαεννιά γραπτές απαντήσεις (32%), οι οποίες εισηγήθηκαν ότι το κριτήριο που καθορίζει κατά πόσο μια δήλωση αποτελεί παράδειγμα επιστημονικής ερμηνείας είναι το επίπεδο λεπτομέρειας που τη χαρακτηρίζει. Αυτές οι απαντήσεις ήταν προσανατολισμένες, ώστε να θέτουν την έμφαση κυρίως στο βαθμό στον οποίο περιγράφεται επαρκώς αυτό που συμβαίνει παρά στο βαθμό στον οποίο ερμηνεύεται. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους μαθητές δήλωσε ότι μια ερμηνεία «πρέπει να περιγράφει εκείνο το πράγμα με λεπτομέρειες». Αυτή η κατηγορία απάντησης εμφανίστηκε σε εννιά περιπτώσεις στις συνεντεύξεις (29%), όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα:

Ερευνητής: Μπορείς να μου δώσεις για παράδειγμα μια πρόταση που θα τη θεωρούσες εξήγηση;

Μαθήτρια: Αυτός ο πίνακας είναι μεγάλος και έχει διάφορα χρώματα από ζωγραφιές. Είναι εξήγηση επειδή περιγράφεις κάτι. Αν πεις ας πούμε απλώς ότι η θέρμανση βράζει δεν είναι εξήγηση είναι μια απλή πρόταση.

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει 27 μαθητές (46%) οι οποίοι επέδειξαν την τάση να εστιάζουν στον τρόπο με τον οποίο είναι διατυπωμένη μια πρόταση και να τον χρησιμοποιούν ως κριτήριο για να αποφασίζουν κατά πόσο αποτελεί παράδειγμα επιστημονικής ερμηνείας. Πιο συγκεκριμένα, επικεντρώθηκαν ειδικά στην παρουσία συγκεκριμένων όρων στην πρόταση, τους οποίους θεωρούσαν ειδοποιά χαρακτηριστικά των ερμηνειών. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων όρων αποτελούν οι σύνδεσμοι *επειδή* και *γιατί*. Μια προφανής δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι συγκεκριμένοι μαθητές αφορά στην τάση τους να ταυτίζουν τις επιστημονικές ερμηνείες με τις αιτιολογικές προτάσεις. Αυτή η δυσκολία καθίσταται προφανής στις δηλώσεις των μαθητών που έκαναν ρητή αναφορά στη διδασκαλία του μαθήματος της γλώσσας και αναγνώρισαν την παρουσία αιτιολογικών συνδέσμων ως το κριτήριο που καθορίζει αν μια δήλωση αποτελεί παράδειγμα επιστημονικής ερμηνείας. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων απαντήσεων περιλαμβάνουν τα εξής:

«Θα του πούμε για παράδειγμα ότι ένας άνθρωπος κρατά ένα δοχείο. Θα πρέπει να του πούμε γιατί κρατάει εκείνος το δοχείο και τι περιέχει μέσα.»

«Η εξήγηση μπορεί να δοθεί με αιτιολογικές προτάσεις π.χ. δεν πήγα σχολείο γιατί ήμουν άρρωστος.»

«Η εξήγηση έχει μέσα τη λέξη επειδή, γιατί, λόγω ενώ εκείνες που δεν έχουν αυτές τις λέξεις δεν είναι εξηγήσεις.»

«Εξήγηση = δικαιολογία.»

Πιο κάτω παρατίθενται τρία πρόσθετα παραδείγματα από τα δεδομένα των συνεντεύξεων, τα οποία είναι επίσης ενδεικτικά αυτής της προσέγγισης.

Ερευνητής: *Πότε μια πρόταση είναι εξήγηση;*

Μαθητής: *Για να είναι εξήγηση πρέπει να υπάρχει απάντηση στην ερώτηση.*

Ερευνητής: *Μπορείς να μου εξηγήσεις λίγο τι εννοείς με αυτό;*

Μαθητής: *Για παράδειγμα, αν μας λέει ότι ένα σχέδιο είναι πολύ ωραίο πρέπει να μας εξηγεί γιατί, για παράδειγμα επειδή έχει φωτεινά χρώματα.*

Ερευνητής: Μπορείς να μου δώσεις ένα παράδειγμα πρότασης που νομίζεις ότι είναι εξήγηση;

Μαθητής: Ο λόγος που ο χιονάνθρωπος έχει χέρια είναι για να μπορούμε να στερεώσουμε πράγματα πάνω του²⁹.

Ερευνητής: Θα διαβάζω κάποιες προτάσεις και θα ήθελα από εσένα να μου λες κατά πόσο πιστεύεις ότι είναι παράδειγμα επιστημονικής ερμηνείας ή όχι. Θα ήθελα επίσης κάθε φορά να μου εξηγήεις λίγο πώς σκέφτηκες την απάντησή σου. Λοιπόν. Η πρώτη πρόταση. Ένας λαμπτήρας ανάβει επειδή περνά ηλεκτρικό ρεύμα.

Μαθήτρια: Είναι επιστημονική εξήγηση επειδή όπως μας έμαθε η δασκάλα μας όταν έχει τις λέξεις επειδή ή γιατί είναι εξήγηση.

Ερευνητής: Αν αφήσουμε ζεστό νερό θα μειωθεί η θερμοκρασία του.

Μαθήτρια: Δεν είναι επειδή δεν έχει αυτές τις λέξεις.

Ερευνητής: Μια μέλισσα έχει έξι πόδια.

Μαθήτρια: Ούτε αυτή επειδή δεν έχει τις λέξεις.

Ερευνητής: Αν αφήσουμε μια πέτρα από κάποιο ύψος θα πέσει προς το έδαφος, λόγω της δύναμης με την οποία την τραβά η γη.

Μαθήτρια: Ναι επειδή έχει τη λέξη λόγω.

Ερευνητής: Αν έπρεπε να εισηγηθείς έναν κανόνα σε κάποιο συμμαθητή σου για να μπορεί να αποφασίζει αν μια πρόταση είναι ή όχι επιστημονική ερμηνεία, τι θα του πρότεινες;

Μαθήτρια: Θα του έλεγα να κοιτάζει. Αν έχει τις λέξεις επειδή ή γιατί τότε θα είναι εξήγηση.

Τελική Αξιολόγηση

Μετά τη διδασκαλία παρατηρήθηκε μια σημαντική μεταβολή ως προς το σκεπτικό που εμφανίστηκε στις απαντήσεις των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκαν απαντήσεις που δεν καλύπτονταν από το σύστημα κατηγοριοποίησης και επιβλήθηκε η αναδιοργάνωση του μεγαλύτερου μέρους του. Οι απαντήσεις των μαθητών διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες (πίνακας 28). Η πρώτη περιλαμβάνει δεκατρείς απαντήσεις (22%) οι οποίες εστιάστηκαν στον τρόπο με τον οποίο διατυπώνεται μια πρόταση προσδιορίζοντας την παρουσία συγκεκριμένων δομικών στοιχείων ως ειδοποιό χαρακτηριστικό των

²⁹ Ο μαθητής αναφερόταν σε ένα πλαστικό αντικείμενο που βρισκόταν στην αίθουσα που πραγματοποιήθηκε η συνέντευξη το οποίο προσομοίαζε ένα χιονάνθρωπο.

επιστημονικών ερμηνειών. Ενώ αυτή η κατηγορία απάντησης προσεγγίζει μια από τις κατηγορίες που είχαν εντοπιστεί στα δεδομένα από τις αρχικές συνεντεύξεις υπάρχει μια στοιχειώδης διαφορά ανάμεσά τους. Ειδικότερα, κατά την αρχική αξιολόγηση η έμφαση είχε τοποθετηθεί στην παρουσία αιτιολογικών συνδέσμων εντός των προτάσεων. Αντίθετα, σε αυτήν την περίπτωση οι μαθητές που εντάχθηκαν στη συγκεκριμένη κατηγορία εισηγήθηκαν ότι το κριτήριο για την αναγνώριση μιας πρότασης ως επιστημονικής ερμηνείας είναι η παρουσία όρων που αναφέρονται σε έννοιες που επινοήθηκαν από τους επιστήμονες, όπως η *δύναμη* και η *ενέργεια*. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης αυτής της κατηγορίας είναι το ακόλουθο: «Μια εξήγηση έχει μέσα λέξεις όπως *δύναμη* και *ενέργεια*». Αυτό το σκεπτικό διαφαίνεται επίσης στα ακόλουθα αποσπάσματα από τη συζήτηση με δύο διαφορετικούς μαθητές στο πλαίσιο της συνέντευξης.

Ερευνητής: *Πότε θα έλεγες ότι μια δήλωση είναι επιστημονική εξήγηση;*

Μαθήτρια: *Πρέπει να έχει κάποιες λέξεις μέσα που να μην είναι συγκεκριμένο πράγμα όπως το θρανίο για να είναι εξήγηση.*

Ερευνητής: *Τι εννοείς; Τι είδους λέξεις;*

Μαθήτρια: *Ας πούμε όπως την ενέργεια.*

Ερευνητής: *Μου είπες ότι αυτή η πρόταση δεν είναι ερμηνεία. Πώς καταλαβαίνω ότι μια πρόταση είναι ερμηνεία;*

Μαθητής: *Μια ερμηνεία μου λέει λέξεις που δεν μπορώ να δω. Αν έχω μια πέτρα που πέφτει κάτω, γιατί έπεσε; Αν πεις επειδή την άφησα κάτω είναι παρατήρηση. Αν πεις όμως ότι είναι λόγω της βαρύτητας αυτό είναι εξήγηση.*

Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από πέντε μαθητές (9%) που εστίασαν στο βαθμό λεπτομέρειας που χαρακτηρίζει μια πρόταση. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα είναι τα εξής.

«Επιστημονική εξήγηση είναι αυτή που εξηγεί με ακρίβεια.»

«Για να γνωρίζεις πότε υπάρχει μια επιστημονική εξήγηση πρέπει να είναι αναλυτική και να περιγράφει ακριβώς το φαινόμενο.»

Η τρίτη κατηγορία αποτελείται από εννιά μαθητές (15%) οι οποίοι εισηγήθηκαν ότι οι επιστημονικές ερμηνείες και οι επιστημονικές παρατηρήσεις αποτελούν αμοιβαία αποκλειόμενα είδη προτάσεων. Ειδικότερα, παρόλο που δεν ήταν σε θέση να προτείνουν

λειτουργικό ορισμό για της επιστημονικές ερμηνείες όρισαν στις απαντήσεις τους την παρατήρηση ως την πληροφόρηση που προκύπτει μέσα από τις αισθήσεις και δήλωσαν ρητά ότι οι προτάσεις που παρέχουν πληροφορίες αυτού του είδους δεν μπορούν να είναι επιστημονικές ερμηνείες. Οι απαντήσεις αυτής της κατηγορίας εμφανίστηκαν σε δύο παραλλαγές. Η πρώτη αφορά στους μαθητές που περιορίστηκαν απλώς στην επισήμανση ότι μια παρατήρηση δεν μπορεί να αποτελεί επιστημονική ερμηνεία. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους μαθητές πρότεινε τον ακόλουθο κανόνα για την αναγνώριση επιστημονικών ερμηνειών:

«Ένας τρόπος είναι πρώτα μόλις βλέπω την πρόταση να δω αν είναι παρατήρηση. Αυτό το καταλαβαίνουμε με τις αισθήσεις μας. Επίσης, εξήγηση είναι κάτι που δεν μπορώ να το δω αλλά μπορώ να το επινοήσω με λογικό τρόπο».

Η δεύτερη παραλλαγή, αφορά στους μαθητές οι οποίοι γενίκευσαν αυτό το συλλογισμό λανθασμένα, δηλώνοντας ότι όσες προτάσεις δεν είναι παρατηρήσεις αποτελούν κατ' ανάγκη επιστημονικές ερμηνείες. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων απαντήσεων είναι τα εξής:

«Αν ένα μέρος της πρότασης δεν μπορούμε να το δούμε ή να το παρατηρήσουμε με άλλο τρόπο τότε είναι εξήγηση.»

«Αν μέσα στην πρόταση υπάρχει κάτι που μπορώ να το δω ή να το νιώσω με τις αισθήσεις μου αυτό είναι παρατήρηση. Αν όχι, τότε είναι επιστημονική εξήγηση.»

Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει 28 μαθητές (49%) οι οποίοι προσδιόρισαν στις απαντήσεις τους το περιεχόμενο μιας επιστημονικής ερμηνείας δηλώνοντας ότι χρειάζεται να αναφέρεται σε κάποια παρατήρηση και να συζητά το λόγο στον οποίο οφείλεται η εμφάνισή της. Για παράδειγμα, δύο από τις απαντήσεις που περιλήφθηκαν σε αυτή την κατηγορία είναι οι ακόλουθες.

«Μια παρατήρηση μας λέει τι γίνεται αλλά η εξήγηση μας λέει γιατί γίνεται αυτό.»

«Η επιστημονική εξήγηση είναι όταν κάτι το παρατηρείς καλά και γίνεται μια αλλαγή και δίνεις μια εξήγηση, δηλαδή λέεις γιατί έγινε αυτή η αλλαγή.»

Αυτό το σκεπτικό φανερώνεται επίσης στο ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης με μια μαθήτρια.

Ερευνητής: *Πότε μια πρόταση είναι παρατήρηση;*³⁰

Μαθήτρια: *Παρατήρηση είναι όταν μπορείς να νιώσεις κάτι με τις πέντε σου αισθήσεις.*

Ερευνητής: *Ενώ πότε μια πρόταση είναι ερμηνεία;*

Μαθήτρια: *Όταν μου λέει γιατί συνέβηκε τούτο το φαινόμενο. Όμως δεν είμαι 100% σίγουρος ότι είναι αυτή η εξήγηση επειδή δεν το είδα το γιατί.*

Ένα αξιοσημείωτο στοιχείο στον πιο πάνω διάλογο συνδέεται με την τελευταία δήλωση του μαθητή η οποία εκφράζει την αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τις επιστημονικές ερμηνείες. Το ενδιαφέρον σε σχέση με αυτό το στοιχείο έγκειται στο γεγονός ότι η αδυναμία απόλυτης διασφάλισης της εγκυρότητας μιας επιστημονικής ερμηνείας, συζητήθηκε ελάχιστα στο πλαίσιο του διδακτικού υλικού.

Οκτώ από τους μαθητές που εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία (14%) έκαναν ρητή αναφορά στις απαντήσεις τους στον επινοημένο χαρακτήρα των επιστημονικών ερμηνειών, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα

«Επιστημονική εξήγηση είναι όταν σου εξηγά γιατί έγινε αυτό το φαινόμενο. Δεν είναι όμως όπως την παρατήρηση. Δεν είναι κάτι που αισθάνεσαι, βλέπεις ή ακούεις. Είναι κάτι που επινοούμε.»

Τέλος, η πέμπτη κατηγορία περιλαμβάνει τις απαντήσεις τριών μαθητών (5%) που δεν χειρίστηκαν άμεσα το ερώτημα. Για παράδειγμα ένας από τους μαθητές δήλωσε ότι *«Θα πρέπει να διαβάζεις όλα τα μέρη της πρότασης προσεκτικά.»*

³⁰ Αυτή η συζήτηση αναπτύχθηκε αφού προηγουμένως προτάθηκε από τον ερευνητή μια πιθανή ερμηνεία για μια συγκεκριμένη μεταβολή και απορρίφθηκε από το μαθητή ως παρατήρηση.

Πίνακας 28: Αποτελέσματα επεξεργασίας τελικών απαντήσεων αναφορικά με τη διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας παρατήρησης

Κατηγορία απάντησης	N	%
Μια πρόταση είναι επιστημονική ερμηνεία εάν περιλαμβάνει όρους που επινοήθηκαν	13	22
Μια πρόταση είναι επιστημονική ερμηνεία εάν είναι λεπτομερής και ακριβής	5	9
Για να είναι μια πρόταση επιστημονική ερμηνεία προϋποτίθεται ότι δεν είναι παρατήρηση	9	15
Μια επιστημονική ερμηνεία εξηγεί το λόγο που συμβαίνει μια παρατήρηση	28	49
Άσχετες απαντήσεις	3	5

Ένα αξιοσημείωτο στοιχείο αφορά στην πλήρη απουσία απαντήσεων που περιλαμβάνουν ρητή σύνδεση ανάμεσα στις επιστημονικές ερμηνείες και τις αιτιολογικές προτάσεις. Αυτό το εύρημα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λαμβάνοντας υπόψη, αφενός, ότι οι απαντήσεις αυτού του είδους ήταν οι πιο συχνές πριν από τη διδασκαλία (67%) και, αφετέρου, ότι ανακλούν τη δυσκολία των μαθητών να αντιληφθούν ότι η συντακτική δομή μιας πρότασης, καθαυτή, (π.χ. η συμπερίληψη αιτιολογικών συνδέσμων), δεν αποτελεί αξιόπιστο κριτήριο για τον καθορισμό μιας πρότασης ως επιστημονικής ερμηνείας. Συνεπώς, η δραστική μείωση στο ποσοστό αυτών των απαντήσεων μετά τη διδασκαλία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένδειξη αποτελεσματικής διαχείρισης αυτής της δυσκολίας. Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις μετά τη διδασκαλία παρέχουν πιο άμεση στήριξη για αυτόν τον ισχυρισμό. Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της συνέντευξης προτάθηκαν στους μαθητές ερμηνείες για συγκεκριμένες μεταβολές που αφορούσαν σε κάποιο από τα συστήματα που περιλήφθηκαν στο πρωτόκολλο συνέντευξης και τους ζητήθηκε να αποφασίσουν κατά πόσο αποτελούν παραδείγματα επιστημονικών ερμηνειών. Οι προτεινόμενες ερμηνείες διατυπώνονταν σκόπιμα ως αιτιολογικές προτάσεις οι οποίες, ωστόσο, δεν θα μπορούσαν να θεωρηθούν παραδείγματα επιστημονικής ερμηνείας. Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (29 από τους 30) αναγνώρισαν ορθά τόσο ότι η προτεινόμενη ερμηνεία ήταν μια απλή παρατήρηση όσο και ότι η παρουσία αιτιολογικών συνδέσμων δεν την καθιστά αυτόματα επιστημονική ερμηνεία. Πιο κάτω παρατίθεται ενδεικτικό απόσπασμα από τη συνέντευξη με μια μαθήτριά.

Ερευνητής: *Να σου προτείνω μια ερμηνεία για αυτή τη μεταβολή³¹. Η μπάλα ξεκινά να κινείται επειδή αποσυμπιέστηκε το ελατήριο και την έσπρωξε. Τι νομίζεις; Είναι ή δεν είναι επιστημονική ερμηνεία;*

Μαθήτρια: *Δεν είναι. Αυτό το βλέπουμε να γίνεται. Είναι παρατήρηση.*

Πιο κάτω φαίνεται ο αντίστοιχος διάλογος από τη συνέντευξη με κάποιο άλλο μαθητή στο πλαίσιο ενός άλλου συστήματος που περιλαμβάνει ένα λαμπτήρα συνδεδεμένο σε ένα κλειστό κύκλωμα.

Ερευνητής: *Να σου προτείνω μια ερμηνεία για τη φωτοβολία του λαμπτήρα και να μου πεις τι νομίζεις. Δηλαδή αν είναι ή όχι επιστημονική ερμηνεία και γιατί. Ο λαμπτήρας άρχισε να φωτοβολεί διότι πάτησα το διακόπτη και έκλεισε το κύκλωμα. Τι νομίζεις;*

Μαθητής: *Δεν είναι επιστημονική ερμηνεία. Είναι εξήγηση στα ελληνικά έχει αιτιολογικό σύνδεσμο αλλά δεν μας εξηγά γιατί φωτοβολεί ο λαμπτήρας. Είναι παρατήρηση επειδή το αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις μας.*

Ερευνητής: *Τώρα να σου προτείνω μια άλλη εξήγηση. Ο λόγος που φωτοβολεί ο λαμπτήρας είναι επειδή είναι συνδεδεμένος με τις μπαταρίες. Τι νομίζεις γι' αυτήν; Είναι ή όχι επιστημονική εξήγηση;*

Μαθητής: *Ούτε αυτή είναι επιστημονική εξήγηση. Είναι και αυτή παρατήρηση. Δεν μας λέει γιατί η μπαταρία κάνει το λαμπτήρα να φωτοβολήσει.*

Ερευνητής: *Μπορείς να εισηγηθείς εσύ κάποια επιστημονική ερμηνεία για τη φωτοβολία του λαμπτήρα;*

Μαθητής: *Άναψε επειδή η μπαταρία έχει χημική ενέργεια και πάει μέσω των καλωδίων στο λαμπτήρα και τον κάνει να φωτοβολεί.*

6.3.1.α2. Επεξεργασία απαντήσεων κλειστού τύπου

Η επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από τις απαντήσεις των μαθητών στα ερωτήματα κλειστού τύπου (πρώτο μέρος έργου αξιολόγησης) υλοποιήθηκε με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στη σύγκριση της συνολικής επίδοσης των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία, όπως προκύπτει συνυπολογίζοντας όλες τις μεμονωμένες δηλώσεις.

³¹ Η συζήτηση αναφέρεται στο σύστημα μιας αρχικά ακίνητης μπάλας που βρίσκεται στερεωμένη στο άκρο ενός συμπιεσμένου ελατηρίου, το οποίο αφήνεται να αποσυμπιεστεί σπρώχνοντας τη μπάλα. Η μεταβολή αφορά στην έναρξη της κίνησης της μπάλας.

Συγκεκριμένα, η επίδοση των μαθητών κωδικοποιήθηκε σε μια διατακτική κλίμακα με μέγιστη δυνατή τιμή το πέντε (ορθή απάντηση σε όλες τις δηλώσεις) και ελάχιστη δυνατή τιμή το μηδέν (λανθασμένη απάντηση σε όλες τις δηλώσεις). Ο μέσος όρος της επίδοσης των μαθητών πριν από τη διδασκαλία ήταν 3.22 (T.A.=0.81) ενώ αυξήθηκε σε 4.46 (T.A.=1.26) στην τελική αξιολόγηση. Μια πιο λεπτομερής μελέτη των δεδομένων δείχνει ότι η επίδοση τριών από τους μαθητές μειώθηκε μετά τη διδασκαλία, η επίδοση δεκατεσσάρων μαθητών παρέμεινε αδιαφοροποίητη, ενώ στις υπόλοιπες 35 περιπτώσεις, παρατηρήθηκε βελτίωση. Τα δεδομένα έτυχαν στατιστικής επεξεργασίας με το μη παραμετρικό έλεγχο Wilcoxon ο οποίος κατέδειξε στατιστικά σημαντική βελτίωση της επίδοσης των μαθητών ($z=-4.748$, $p<0.001$, $r=-0.46$) και αυτό αποτελεί μια ενθαρρυντική ένδειξη για τη συνεισφορά της διδασκαλίας στην προώθηση της ικανότητας των μαθητών να εντοπίζουν επιστημονικές ερμηνείες και να τις διακρίνουν από άλλες δηλώσεις όπως οι παρατηρήσεις.

Ο δεύτερος τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων εστιάστηκε στη σύγκριση της επίδοσης των μαθητών στην κάθε μεμονωμένη δήλωση. Πιο συγκεκριμένα, οι απαντήσεις των μαθητών για την κάθε δήλωση πριν και μετά τη διδασκαλία κωδικοποιήθηκαν, σε μια διχοτομική κλίμακα, ως ορθές (1) ή λανθασμένες (0). Τα δεδομένα που προέκυψαν συγκρίθηκαν χρησιμοποιώντας το μη παραμετρικό στατιστικό έλεγχο McNemar³². Ο πίνακας 29 συνοψίζει τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης. Στην πρώτη στήλη εμφανίζονται οι πέντε δηλώσεις, στις επόμενες τέσσερις στήλες εμφανίζονται οι συχνότητες ορθής απάντησης και τα αντίστοιχα ποσοστά πριν και μετά τη διδασκαλία ενώ στην τελευταία στήλη φαίνεται το επίπεδο σημαντικότητας του στατιστικού ελέγχου για τη σύγκριση των δύο επιδόσεων των μαθητών στο κάθε ερώτημα.

Η σύγκριση της δεύτερης και της τέταρτης στήλης δείχνουν ότι σε όλες τις δηλώσεις σημειώθηκε αύξηση του ποσοστού επιτυχίας μετά τη διδασκαλία η οποία στις τέσσερις από τις πέντε περιπτώσεις ήταν στατιστικά σημαντική. Η δήλωση στην οποία δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική βελτίωση ήταν η πρώτη η οποία περιέγραφε μια επιστημονική ερμηνεία για τη φωτοβολία ενός λαμπτήρα που συνδέεται σε κλειστό κύκλωμα. Μια πιθανή ερμηνεία για τη διαφοροποιημένη λειτουργία αυτής της δήλωσης συνδέεται με το πολύ ψηλό ποσοστό επιτυχίας που σημειώθηκε στην αρχική αξιολόγηση το οποίο δεν

³² Όπως αναφέρθηκε στο τρίτο κεφάλαιο, αυτός ο μη παραμετρικός έλεγχος απευθύνεται σε συγκρίσεις δύο συσχετισμένων δειγμάτων ως προς μια διχοτομική μεταβλητή και εστιάζει στη συχνότητα των περιπτώσεων όπου υπήρξε διαφοροποίηση κατά τις δύο μετρήσεις.

επέτρεψε το απαιτούμενο περιθώριο για εμφάνιση αξιοσημείωτης βελτίωσης (ceiling effect). Ενώ αυτό το ψηλό ποσοστό επιτυχίας θα μπορούσε να εκληφθεί ως ένδειξη κατανόησης των μαθητών, πριν από τη διδασκαλία, για τα χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν μια επιστημονική ερμηνεία, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αυτός ο ισχυρισμός συγκρούεται με τα δεδομένα που συζητήθηκαν προηγουμένως. Μια εναλλακτική υπόθεση για αυτό το ψηλό ποσοστό επιτυχίας προτείνει την απόδοσή του στην εφαρμογή του λανθασμένου κριτηρίου που καθορίζει ότι η παρουσία του αιτιολογικού συνδέσμου «επειδή» καθιστά την πρόταση επιστημονική ερμηνεία, το οποίο σε αυτή την περίπτωση οδηγεί συμπτωματικά σε ορθή απάντηση.

Σε όλες τις υπόλοιπες δηλώσεις, σημειώθηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση στην επίδοση των μαθητών και η πιο έντονη μεταβολή εμφανίστηκε στις δύο αιτιολογικές προτάσεις οι οποίες δεν αποτελούν επιστημονικές ερμηνείες αφού παραλείπουν να προσδιορίσουν κάποιο μηχανισμό που να εξηγεί τις παρατηρούμενες μεταβολές (2 & 5). Αυτό το εύρημα παρέχει στήριξη στην ερμηνεία που προτάθηκε προηγουμένως για την απουσία στατιστικά σημαντικής διαφοροποίησης στην περίπτωση της πρώτης δήλωσης. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτές τις δύο περιπτώσεις, όπου το κριτήριο της παρουσίας αιτιολογικών συνδέσμων αποτυγχάνει να οδηγήσει σε έγκυρη απάντηση, το ποσοστό επιτυχίας πριν από τη διδασκαλία είναι μειωμένο και παρέχει το απαιτούμενο περιθώριο, ώστε να είναι εφικτή η ανίχνευση τυχόν βελτίωσης στην επάρκεια των μαθητών να αναγνωρίζουν επιστημονικές ερμηνείες. Μια ιδιαίτερα σημαντική διαπίστωση αφορά στο γεγονός ότι οι δύο αυτές δηλώσεις παρουσίασαν το μεγαλύτερο ποσοστό βελτίωσης, μετά τη διδασκαλία, και αυτό υποδηλοί την αισθητή μείωση του βαθμού ενεργοποίησης του λανθασμένου κριτηρίου, η οποία ήταν επίσης προφανής στα αποτελέσματα από τις απαντήσεις ανοικτού τύπου που έδωσαν οι μαθητές, όπως συζητήθηκε νωρίτερα.

Πίνακας 29: Αποτελέσματα ποσοτικής σύγκρισης αρχικών και τελικών απαντήσεων στα ερωτήματα κλειστού τύπου

Δήλωση	Πριν από τη		Μετά από τη		P-value
	διδασκαλία		διδασκαλία		
	N	%	N	%	
1. Ένας λαμπτήρας που συνδέεται σε ένα κλειστό κύκλωμα, ανάβει επειδή περνά από αυτόν ηλεκτρικό ρεύμα	54	92	56	93	p = 1.000
2. Το παγωμένο νερό που υπήρχε στο ποτήρι ζεστάθηκε επειδή το αφήσαμε αρκετή ώρα έξω στο περιβάλλον μια καλοκαιρινή μέρα	28	47	48	80	p = 0.023
3. Μια μέλισσα έχει έξι πόδια	44	74	59	98	p < 0.001
4. Αν αφήσουμε μια πέτρα από κάποιο ύψος θα πέσει προς το έδαφος, λόγω της δύναμης με την οποία την τραβά η γη	52	88	59	98	p = 0.031
5. Το ηλεκτρονικό μου παιχνίδι σταμάτησε να λειτουργεί επειδή το άφησα αναμμένο για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να του αλλάξω μπαταρίες	12	20	46	77	p < 0.001

6.3.1.β. Διάκριση ανάμεσα στην ανακάλυψη και την επινόηση και κατανόηση της σύνδεσής τους με παρατήρηση και ερμηνεία, αντίστοιχα (Έργο αξιολόγησης II)

Το έργο που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών σε σχέση με αυτή την πτυχή επιστημολογικής επάρκειας είναι δομημένο σε δύο κύρια μέρη. Το πρώτο αποσκοπεί στην εξοικείωση των μαθητών με τους όρους *επινόηση* και *ανακάλυψη*.

Για το σκοπό αυτό οι δύο όροι εισάγονται και ορίζονται στο πλαίσιο απλών παραδειγμάτων. Συγκεκριμένα, η ανακάλυψη συνδέεται με τον εντοπισμό αντικειμένων μέσα από ανασκαφές (τα αντικείμενα προϋπήρχαν και σε κάποιο στάδιο παρατηρήθηκαν) ενώ η επινόηση συσχετίζεται με τη σύνθεση μουσικής (η οποία αποτελεί ένα ανθρώπινο κατασκευάσμα το οποίο προκύπτει μέσα από την αξιοποίηση δημιουργικότητας και μουσικών ικανοτήτων). Ακολούθως, σε μια προσπάθεια να διασφαλισθεί η κατανόηση των μαθητών για τη διάκριση ανάμεσα στους δύο όρους, τους ζητήθηκε να συμπληρώσουν δύο απλές προτάσεις επιλέγοντας τον καταλληλότερο από τους δύο όρους. Η πρώτη αφορά στην *ανακάλυψη* της Αμερικής από το Χριστόφορο Κολόμβο και η δεύτερη στην *επίνοηση* των στίχων ενός ποιήματος.

Στο δεύτερο μέρος ζητείται από τους μαθητές να συμπληρώσουν με αντίστοιχο τρόπο άλλα ζεύγη προτάσεων τα οποία εντάσσονται σε θέματα των φυσικών επιστημών³³. Η εκδοχή του έργου αξιολόγησης που χορηγήθηκε πριν από τη διδασκαλία περιλαμβάνει μόνο ένα ζεύγος προτάσεων οι οποίες αφορούν στο φαινόμενο της ελεύθερης πτώσης. Η πρώτη πρόταση του ζεύγους περιγράφει απλώς το φαινόμενο της πτώσης μιας πέτρας η οποία αφήνεται ελεύθερη από κάποιο ύψος (το οποίο αποτελεί προϊόν ανακάλυψης) ενώ η δεύτερη προσδιορίζει μια ερμηνεία για αυτό το φαινόμενο με βάση την ιδέα της βαρύτητας (η οποία αποτελεί προϊόν επινόησης). Η αντίστοιχη εκδοχή του έργου αξιολόγησης, η οποία αξιοποιήθηκε για τη συλλογή δεδομένων μετά τη διδασκαλία, περιλαμβάνει ένα πρόσθετο ζεύγος προτάσεων το οποίο αναφέρεται στο φαινόμενο της αλληλεπίδρασης ενός μαγνήτη με μια καρφοβελόνα. Ειδικότερα, η πρώτη πρόταση του ζεύγους περιγράφει το φαινόμενο της έλξης που παρατηρείται ανάμεσα σε ένα μαγνήτη και μια καρφοβελόνα (το οποίο αποτελεί προϊόν ανακάλυψης), ενώ η δεύτερη διατυπώνει μια ερμηνεία για αυτό το φαινόμενο η οποία αναφέρεται στην ιδέα του μαγνητικού πεδίου γύρω από ένα μαγνήτη (το οποίο αποτελεί ένα κατασκευάσμα που έχουν επινοήσει οι επιστήμονες).

Το έργο αξιολόγησης απαντήθηκε γραπτώς από τον κάθε μαθητή χωριστά πριν και μετά τη διδασκαλία. Σε κάθε περίπτωση ζητήθηκε από τους μαθητές να συμπληρώσουν τις προτάσεις επιλέγοντας έναν από τους δύο όρους (επίνοηση ή ανακάλυψη) και να εξηγήσουν το σκεπτικό στο οποίο στηρίχθηκε η επιλογή τους. Τα δεδομένα από την αρχική αξιολόγηση περιλαμβάνουν τόσο τις γραπτές απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές όσο και τις ατομικές συνεντεύξεις. Τα δεδομένα από την τελική αξιολόγηση περιορίζονται

³³ Η ιδέα για αυτό το έργο αξιολόγησης στηρίχθηκε σε προηγούμενη έρευνα που έχει δημοσιευθεί στη σχετική βιβλιογραφία (Kang & Scharmann, 2005).

στις γραπτές απαντήσεις των μαθητών αφού το συγκεκριμένο έργο δεν περιλήφθηκε στο πρωτόκολλο της τελικής συνέντευξης. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις δύο πηγές (συνεντεύξεις και γραπτές απαντήσεις) κατά την αρχική αξιολόγηση αντιπαραβλήθηκαν μεταξύ τους, μέσω του ελέγχου McNemar, ώστε να αξιολογηθεί η αξιοπιστία της μέτρησης. Αυτή η επεξεργασία απέτυχε να ανιχνεύσει συστηματική διαφοροποίηση ($p=1$ και $p=0.125$ για το πρώτο και το δεύτερο ερώτημα, αντίστοιχα), παρέχοντας μια ενθαρρυντική ένδειξη για την αξιοπιστία της μέτρησης. Αυτή η ένδειξη ενισχύεται περαιτέρω από το υψηλό ποσοστό ταύτισης στην κωδικοποίηση των δεδομένων από τις δύο πηγές (84% για το πρώτο ερώτημα και 87% για το δεύτερο ερώτημα).

6.3.1.β1. Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων

Κατανόηση των μαθητών για τη σύνδεση της παρατήρησης καινούριων φαινομένων με διεργασίες ανακάλυψης

- *Αρχική αξιολόγηση*

Η πλειοψηφία των μαθητών ($N=44$, 79%), δήλωσε ορθά ότι το φαινόμενο της πτώσης μιας πέτρας προς τη γη όταν αφεθεί ελεύθερη από κάποιο ύψος αποτελεί παράδειγμα ανακάλυψης. Αυτοί οι μαθητές αιτιολόγησαν την απάντησή τους με έναν από δύο τρόπους. Ο πρώτος, ο οποίος εντοπίστηκε σε 29 μαθητές (66% των μαθητών που απάντησαν ορθά, 52% του συνόλου), αναφέρεται στην ιδέα ότι η πτώση της πέτρας αποτελεί ένα φαινόμενο που συνέβαινε ανέκαθεν και έτσι αποτελεί προϊόν ανακάλυψης. Το δεύτερο επιχείρημα, το οποίο προτάθηκε από 11 μαθητές (25% των μαθητών που απάντησαν ορθά, 20% του συνόλου), επικαλείται τη δυνατότητα παρατήρησης του φαινομένου της πτώσης, η οποία αποκλείει την πιθανότητα να είναι προϊόν επινόησης. Δύο από τους υπόλοιπους μαθητές επέλεξαν απλώς τον όρο «ανακάλυψη» χωρίς περαιτέρω αιτιολόγηση (4.5% των μαθητών που απάντησαν ορθά, 3.5% του συνόλου) και, τέλος, άλλοι δύο μαθητές (4.5% των μαθητών που απάντησαν ορθά, 3.5% του συνόλου) έδωσαν μια άσχετη, κυκλική, απάντηση. Για παράδειγμα ο ένας από αυτούς δήλωσε ότι το φαινόμενο της πτώσης αναφέρεται σε «ανακάλυψη επειδή είναι κάτι που ανακάλυψαν».

Δώδεκα μαθητές (21%) επέλεξαν λανθασμένα τον όρο «επίνοηση». Οι περισσότεροι από αυτούς ($N=7$, 12%) αιτιολόγησαν την επιλογή τους αναφέροντας ότι οι επιστήμονες επινόησαν ότι μια πέτρα που αφήνεται ελεύθερη πέφτει προς το έδαφος επειδή δεν το γνώριζαν μέχρι που το δοκίμασαν πρώτη φορά. Ενδεικτικά ένας από αυτούς τους μαθητές δήλωσε ότι «πριν δεν το είχαν ξανακάνει και τώρα το επινόησαν».

Από τους υπόλοιπους πέντε μαθητές, ο ένας αιτιολόγησε την επιλογή του λέγοντας ότι το φαινόμενο της πτώσης μπορεί να παρατηρηθεί και είναι κάτι που συνέβαινε ανέκαθεν. Παρόλο που το περιεχόμενο αυτής της δήλωσης είναι έγκυρο, παρουσιάζει ασυμβατότητα με την επιλογή του όρου «επινόηση». Δύο άλλοι μαθητές παρέλειψαν να δώσουν οποιαδήποτε αιτιολόγηση ενώ οι τελευταίοι δύο κατέληξαν να δίνουν άσχετες απαντήσεις. Για παράδειγμα, ο ένας από αυτούς αιτιολόγησε την επιλογή του λέγοντας «επειδή ταιριάζει καλύτερα εκεί».

- *Τελική αξιολόγηση*

Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (N=57, 92%), δήλωσε ορθά ότι το φαινόμενο της πτώσης μια πέτρας προς τη γη όταν αφεθεί ελεύθερη από κάποιο ύψος αποτελεί παράδειγμα ανακάλυψης. Με βάση τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου McNemar το ποσοστό των μαθητών που έδωσαν διαφορετική απάντηση πριν και μετά τη διδασκαλία (ορθή απάντηση στη μια περίπτωση και λανθασμένη στην άλλη) δεν ήταν αρκετά μεγάλο³⁴ για το συγκεκριμένο μέγεθος δείγματος, ώστε να είναι στατιστικά σημαντικό (p=0.92, N=53). Η απουσία στατιστικά σημαντικής διαφοροποίησης μπορεί να αποδοθεί στο ιδιαίτερα ψηλό ποσοστό επιτυχίας κατά την αρχική μέτρηση (ceiling effect).

Οι μαθητές που επέλεξαν ορθά τον όρο *ανακάλυψη* για να περιγράψουν την προέλευση της παρατήρησης ότι μια πέτρα που αφήνεται ελεύθερη από κάποιο ύψος πέφτει προς τη γη, αιτιολόγησαν την απάντησή τους με έναν από τους ίδιους δύο τρόπους που εντοπίστηκαν και στην αρχική αξιολόγηση. Είκοσι οκτώ μαθητές (49% των μαθητών που απάντησαν ορθά, 45% του συνόλου) ισχυρίστηκαν ότι το φαινόμενο της πτώσης αποτελεί προϊόν ανακάλυψης επειδή συνέβαινε ανέκαθεν ενώ είκοσι επτά μαθητές (47.5% των μαθητών που απάντησαν ορθά, 44% του συνόλου) επικαλέστηκαν τη δυνατότητα παρατήρησης του φαινομένου. Τέλος, δύο μαθητές (3.5% των μαθητών που απάντησαν ορθά, 3% του συνόλου) έδωσαν μια κυκλική απάντηση.

Το ποσοστό των μαθητών που επέλεξε λανθασμένα τον όρο «επινόηση» μειώθηκε σε 8% (N=5) μετά τη λήξη της διδασκαλίας και οι περισσότεροι από αυτούς (N=3, 5% του συνόλου) απέδωσαν την επινόηση στους επιστήμονες που σκέφτηκαν να κάνουν τη σχετική δοκιμή και παρατήρηση. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους μαθητές ανέφερε ότι «αυτό το επινόησαν επειδή κάποιος σκέφτηκε να κάνει αυτό το πείραμα. Δεν βρήκε

³⁴ 10% των μαθητών που έδωσαν αρχικά ορθή απάντηση κατέληξαν σε λανθασμένη απάντηση μετά τη διδασκαλία ενώ σε 10% των μαθητών παρατηρήθηκε η αντίστροφη τάση

έτοιμο το πείραμα». Παρόλο που η διαδικασία της σκέψης και παραγωγής ιδεών συνδέεται με διεργασίες επινόησης και δημιουργικότητας το φαινόμενο της πτώσης καθαυτό δεν αποτελεί προϊόν επινόησης. Τέλος, οι άλλοι δύο μαθητές (3% του συνόλου) κατέληξαν να δίνουν άσχετες αιτιολογήσεις για την επιλογή τους.

Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίστηκαν επίσης στην περίπτωση της δήλωσης για το φαινόμενο της μαγνητικής έλξης, με το οποίο αξιολογήθηκαν οι μαθητές μετά τη διδασκαλία. Πιο συγκεκριμένα, τρεις από τους εξήντα δύο μαθητές που απάντησαν σε αυτό τα ερώτημα (5%), επέλεξαν λανθασμένα τον όρο «επινόηση» αναφέροντας ότι είναι κάτι που σκέφτηκαν οι επιστήμονες. Οι υπόλοιποι 59 μαθητές (95%) απάντησαν ορθά και εμφανίστηκαν οι ίδιες δύο κυρίαρχες προσεγγίσεις ως προς το σκεπτικό. Ειδικότερα, 30 από αυτούς (48%), αιτιολόγησαν την επιλογή τους αναφέροντας ότι πρόκειται για ένα φαινόμενο που υπήρχε ανέκαθεν και, συνεπώς, δεν μπορεί να έχει επινοηθεί ενώ 27 μαθητές (44%) πρότειναν ότι αυτό το φαινόμενο ανακαλύφθηκε αφού είναι κάτι που μπορεί να παρατηρηθεί. Οι υπόλοιποι δύο μαθητές (3%) απέφυγαν να εξηγήσουν το συλλογισμό τους.

Κατανόηση των μαθητών για τη σύνδεση της ερμηνείας της έλξης ανάμεσα στην πέτρα και τη γη με διεργασίες επινόησης

- *Αρχική αξιολόγηση*

Οι απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές πριν από τη διδασκαλία, αναφορικά με τον προσδιορισμό της προέλευσης της εξήγησης της βαρύτητας εντάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες. Στην πρώτη περιλαμβάνονται 18 μαθητές (30%) οι οποίοι ήταν σε θέση να διαχωρίσουν την παρατήρηση από την ερμηνεία της και να συνδέσουν την ερμηνεία με διεργασίες επινόησης. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές αυτοί επέλεξαν τον όρο «επινόηση» και αιτιολόγησαν την απάντησή τους προτείνοντας ότι η βαρύτητα δεν υπήρχε κάπου έτοιμη, αλλά προέκυψε ως αποτέλεσμα της σκέψης των επιστημόνων. Για παράδειγμα, ένας από τους μαθητές δήλωσε ότι «δεν βρήκαν κάπου έτοιμη τη βαρύτητα. Τη σκέφτηκαν.»

Η δεύτερη αποτελείται από τις απαντήσεις 37 μαθητών (63%) που θεώρησαν ότι η βαρύτητα δεν επινοήθηκε αλλά ανακαλύφθηκε, αφού πάντοτε υπήρχε. Μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα απαντήσεων αυτής της κατηγορίας είναι τα εξής:

«Η βαρύτητα ανακαλύφθηκε. Πάντα υπήρχε η βαρύτητα επειδή τα αντικείμενα πάντα έπεφταν κάτω στη γη και δεν αιωρούνταν ποτέ.»

«Αποφάσισα να συμπληρώσω το κενό με αυτή τη λέξη γιατί πάντα υπήρχε η ιδέα της βαρύτητας απλώς τώρα την ανακάλυψαν.»

«Επειδή ο νόμος της βαρύτητας πάντοτε υπήρχε και απλώς ο άνθρωπος κατά κάποιο τρόπο την βρήκε.»

Μια δυσκολία που φαίνεται ότι συμβάλλει στην εμφάνιση αυτών των απαντήσεων αφορά στην τάση των μαθητών να ταυτίζουν το φαινόμενο (π.χ. πτώση αντικείμενων) με την ερμηνεία του (π.χ. δύναμη της βαρύτητας). Η επίδραση αυτής της δυσκολίας οδήγησε τους μαθητές να αντιμετωπίζουν αδιαφοροποίητα τις δύο προτάσεις του ζεύγους (φαινόμενο και ερμηνεία). Μέσα από τις συνεντεύξεις στις οποίες υπήρχε η δυνατότητα για εκτενέστερη συζήτηση με τους μαθητές με στόχο την περαιτέρω διευκρίνιση του σκεπτικού τους προέκυψαν πρόσθετες ενδείξεις για την επίδραση της συγκεκριμένης δυσκολίας. Ειδικότερα, ενώ γινόταν μια ρητή προσπάθεια από τον ερευνητή να διαχωρίσει τις δύο προτάσεις αναδεικνύοντας τη διαφορά τους, οι μαθητές εξακολουθούσαν να απαντούν με τον ίδιο τρόπο, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο αποσπάσματα συνεντεύξεων.

Ερευνητής: Όταν αφήσουμε μια πέτρα ελεύθερη χωρίς να την στηρίζουμε τότε αυτή δεν αιωρείται αλλά πέφτει προς τα κάτω. Αυτό είναι κάτι που επινοήθηκε ή κάτι που ανακαλύφθηκε;

Μαθητής: ανακαλύφθηκε

Ερευνητής: Γιατί; Μπορείς να μου εξηγήσεις γιατί νομίζεις ότι ανακαλύφθηκε;

Μαθητής: Αφού μπορούμε να το δούμε. Οποιοσδήποτε, αν αφήσει κάτι θα πέσει κάτω. Είναι κάτι που βλέπουμε.

Ερευνητής: Οι επιστήμονες λένε ότι ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό, δηλαδή ο λόγος που ένα αντικείμενο πέφτει προς τα κάτω αν το αφήσουμε ελεύθερο είναι η βαρύτητα. Δηλαδή, με κάποιο τρόπο η γη τραβά τα αντικείμενα και τα κάνει να κινούνται προς τα κάτω. Αυτή την εξήγηση, δηλαδή ότι ο λόγος που πέφτουν τα αντικείμενα είναι η βαρύτητα, την ανακάλυψαν ή την επινόησαν οι επιστήμονες;

Μαθητής: Την ανακάλυψαν. Υπήρχε πριν και απλώς την βρήκαν.

Ερευνητής: Τι εννοείς ότι υπήρχε η εξήγηση;

Μαθητής: Υπήρχε. Πριν το ανακαλύψουν, αν αφήναμε μια πέτρα δεν θα έπεφτε πάλι;

Μαθήτρια: *Η βαρύτητα ανακαλύφθηκε. Δεν έβγαλαν από τη φαντασία τους ότι αν αφήσω κάτι θα πέσει.*

Ερευνητής: *Το ότι πέφτει το ανακάλυψαν. Το γιατί πέφτει;*

Μαθήτρια: *Και αυτό το ανακάλυψαν. Αφού ξέρουμε ότι υπάρχει βαρύτητα στη γη και πέφτουν κάτω τα αντικείμενα.*

Η διαμόρφωση αυτής της αντίληψης φαίνεται να ευνοείται από την επίδραση πρόσθετων δυσκολιών. Μια τέτοια δυσκολία αφορά στις συνυποδηλώσεις που τείνουν να αποδίδουν οι μαθητές στον όρο «επινόηση». Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα από τις απαντήσεις των μαθητών εισηγούνται ότι ένα σημαντικό μέρος τους αντιλαμβάνεται την «επινόηση» ως αποκύημα της φαντασίας το οποίο δεν μπορεί να είναι αληθές. Αυτή η δυσκολία καθίσταται προφανής στην ακόλουθη απάντηση μιας μαθήτριας: «*Η βαρύτητα ανακαλύφθηκε αφού ξέρουμε ότι τα αντικείμενα πέφτουν στη γη. Αν ήταν επινόηση τότε δεν θα έπεφταν στη γη τα πράγματα*». Το σκεπτικό από το οποίο ενδεχομένως προκύπτει αυτή η δήλωση μπορεί να συνοψιστεί ως ακολούθως: Αν η βαρύτητα αποτελεί προϊόν επινόησης τότε είναι κάτι φανταστικό. Όμως ξέρουμε ότι πέφτουν στη γη και, επομένως, εφόσον δεν υπάρχει στην πραγματικότητα τότε δεν θα έπρεπε να υπάρχει έλξη ανάμεσα στη γη και στα διάφορα σώματα και δεν θα έπρεπε να πέφτουν προς τη γη. Επομένως, δεν μπορεί να αποτελεί προϊόν επινόησης.

Δύο άλλες σχετικές δυσκολίες που ενδέχεται να είχαν επίσης επίδραση στο σκεπτικό των μαθητών συνδέονται με τις εσφαλμένες πεποιθήσεις ότι, πρώτον, η επιβεβαίωση των προβλέψεων που προκύπτουν από μια εξήγηση αποδεικνύει την εγκυρότητά της και, δεύτερον, για το κάθε φαινόμενο αντιστοιχεί μία και μόνο εξήγηση. Η πρώτη πεποίθηση οδηγεί στη θέση ότι οι εξηγήσεις που αναφέρονται στη βαρύτητα και στο μαγνητικό πεδίο, αντίστοιχα, είναι αληθείς και έγκυρες αφού συνάδουν με τις παρατηρήσεις μας από την καθημερινή ζωή (μια πέτρα πέφτει προς τα κάτω αν αφεθεί ελεύθερη από κάποιο ύψος και μια καρφοβελόνα παρουσιάζει έλξη με κάποιον μαγνήτη τον οποίο προσεγγίζει). Αντίστοιχα, η δεύτερη πεποίθηση οδηγεί στη θέση ότι πρέπει να υπάρχει η βαρύτητα (το μαγνητικό πεδίο) διότι σε αντίθετη περίπτωση η πτώση σωμάτων (μαγνητική αλληλεπίδραση) θα ήταν ένα ανεξήγητο φαινόμενο. Ο συνδυασμός αυτών των δύο λανθασμένων πεποιθήσεων, ενδεχομένως, καθιστά λογικό προς τους μαθητές το επιχείρημα ότι η βαρύτητα πρέπει να υπάρχει και άρα αποτελεί προϊόν ανακάλυψης.

Τέλος, η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τέσσερις μαθητές (7%) που είτε δεν αιτιολόγησαν την επιλογή τους, είτε κατέληξαν να δίνουν κυκλικές ή ανεπαρκείς αιτιολογήσεις. Για παράδειγμα, ένας από τους μαθητές επέλεξε τον όρο «επινόηση» και η αιτιολόγηση που πρότεινε ήταν ότι «*ταιριάζει καλύτερα.*»

- *Τελική αξιολόγηση*

Μετά τη διδασκαλία υπήρξε σημαντική μεταβολή στις απαντήσεις των μαθητών ως προς το σκεπτικό στο οποίο στηρίζονταν η οποία ανακλάται στην προσθήκη μιας τέταρτης κατηγορίας απαντήσεων. Η καινούρια αυτή κατηγορία περιλαμβάνει 23 μαθητές (37%), οι οποίοι εισηγήθηκαν ότι η βαρύτητα δεν υπήρχε κάπου έτοιμη και, επιπρόσθετα, αναγνώρισαν ρητά ότι αποτελεί κατασκευάσμα των επιστημόνων για να μπορούν να εξηγούν το φαινόμενο της πτώσης, όπως φαίνεται στα ακόλουθα παραδείγματα.

«Συμπλήρωσα το κενό με αυτή τη λέξη γιατί οι επιστήμονες δεν είδαν τη βαρύτητα, απλά την επινόησαν για να εξηγήσουν το φαινόμενο.»

«Αποφάσισα να συμπληρώσω το κενό με τη λέξη επινόησαν γιατί δεν είναι μια εξήγηση που απλά υπήρχε και τη βρήκαν. Σκέφτηκαν μια εξήγηση που να εξηγεί γιατί γίνεται αυτό το πράγμα.»

«Είναι εξήγηση και τις εξηγήσεις δεν μπορούμε να τις δούμε. Δεν τις βρίσκουν έτοιμες οι επιστήμονες αλλά τις επινοούν.»

Το σκεπτικό αυτών των μαθητών φαίνεται να έχει προκύψει σε μεγάλο βαθμό ως αποτέλεσμα της δυνατότητάς τους, αφενός, να διακρίνουν τις παρατηρήσεις από τις ερμηνείες και, αφετέρου, να συνδέσουν την ερμηνεία με διεργασίες επινόησης.

Οι υπόλοιπες απαντήσεις των μαθητών κατανέμονται στις τρεις κατηγορίες που είχαν εντοπιστεί επίσης κατά την αρχική αξιολόγηση. Ο πίνακας 30 παρουσιάζει και αντιπαραβάλλει τις κατανομές των απαντήσεων των μαθητών στις διάφορες κατηγορίες απάντησης πριν και μετά τη διδασκαλία. Οι κατηγορίες έχουν διαταχθεί στον πίνακα σε φθίνουσα σειρά ανάλογα με την επιστημολογική ενημερότητά τους.

Πίνακας 30: Αντιπαράβολή κατηγοριοποίησης αρχικών και τελικών απαντήσεων

Κατηγορία απάντησης	Αρχική		Τελική	
	αξιολόγηση		αξιολόγηση	
	N	%	N	%
Η βαρύτητα επινοήθηκε από τους επιστήμονες για να εξηγήσουν το φαινόμενο της πτώσης	-	-	23	37
Η βαρύτητα επινοήθηκε επειδή δεν είναι κάτι που βρήκαν έτοιμο οι επιστήμονες	18	30	30	48.5
Η βαρύτητα ανακαλύφθηκε αφού πάντοτε τα αντικείμενα έπεφταν προς το έδαφος και απλώς το παρατήρησαν	37	63	9	14.5
Απάντηση χωρίς εξήγηση	4	7	-	-

Μια ενδιαφέρουσα διαπίστωση, η οποία ανακλά τη διαφοροποίηση στο σκεπτικό των μαθητών, αφορά στη δεύτερη κατηγορία απάντησης. Το ποσοστό των μαθητών που εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία αυξήθηκε μετά τη διδασκαλία (από 30% σε 48.5%) και, ταυτόχρονα, εμφανίστηκε μια καινούρια προσέγγιση αιτιολόγησης της επιλογής της συγκεκριμένης απάντησης. Πιο συγκεκριμένα, αρκετοί μαθητές (περίπου οι μισοί που εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία), εμφανώς επηρεασμένοι από το λειτουργικό ορισμό που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του διδακτικού υλικού για τις παρατηρήσεις, δήλωσαν ότι η βαρύτητα επινοήθηκε «επειδή δεν μπορεί να παρατηρηθεί».

Καταληκτικά, τα πιο πάνω αποτελέσματα, καταδεικνύουν τη δραστική μείωση στο ποσοστό των μαθητών που θεωρούν ότι η βαρύτητα, ως ερμηνεία του φαινομένου της πτώσης, έχει ανακαλυφθεί και, ταυτόχρονα, αντίστοιχη αύξηση στο ποσοστό των μαθητών που ήταν σε θέση να διαχωρίσουν την παρατήρηση από την ερμηνεία της και να συνδέσουν τη δεύτερη με διεργασίες επινόησης. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές πριν και μετά τη διδασκαλία, με την εφαρμογή του ελέγχου Wilcoxon, δείχνουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ($T=9.50$, $p<0.001$, $r=0.48$), η οποία προκύπτει κυρίως από τη βελτίωση (μετακίνηση σε κατηγορία απάντησης που βρίσκεται ψηλότερα στην ιεράρχηση με βάση την επιστημολογική ενημερότητα) που παρατηρήθηκε σε 31 από τους 51 μαθητές οι οποίοι απάντησαν και στις δύο περιπτώσεις και έτσι ήταν εφικτό να συμμετέχουν στη στατιστική επεξεργασία.

Μαγνητικό πεδίο – μαγνητική έλξη

- Κατανόηση των μαθητών για τη σύνδεση της εξήγησης του φαινομένου της μαγνητικής έλξης με διεργασίες επινόησης

Ο πίνακας 31 δείχνει τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο αντίστοιχο ερώτημα που αφορά στην περίπτωση της ερμηνείας της μαγνητικής έλξης ανάμεσα σε ένα μαγνήτη και μια καρφοβελόνα και παρουσιάζει ενδεικτικές απαντήσεις μαθητών. Η κωδικοποίηση στηρίχθηκε στις κατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των απαντήσεων των μαθητών σε σχέση με την ερμηνεία της ελεύθερης πτώσης και όπως φαίνεται στον πίνακα 31 η κατανομή ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα της σύγκρισης της κατανομής των απαντήσεων των μαθητών στην περίπτωση της βαρύτητας και του μαγνητικού πεδίου, με την εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου Wilcoxon τα οποία εισηγούνται την απουσία σημαντικής διαφοροποίησης ($T=41$, $p=0.460$). Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε 70% των περιπτώσεων υπήρξε απόλυτη ταύτιση ως προς την κατηγορία στην οποία εντάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στις δύο περιπτώσεις. Αυτά τα στοιχεία, ενισχύουν την αξιοπιστία του ισχυρισμού που διατυπώθηκε νωρίτερα αναφορικά με τη σημαντική βελτίωση στην ικανότητα των μαθητών να εκτιμούν το ρόλο της επινόησης στην επιστήμη και να το συνδέουν με διεργασίες ερμηνείας φαινομένων.

Πίνακας 31: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων για διάκριση επινόησης και ανακάλυψης στην περίπτωση του φαινομένου της μαγνητικής έλξης

Κατηγορία απάντησης	Ενδεικτική απάντηση	N	%
Το μαγνητικό πεδίο ανακαλύφθηκε αφού πάντοτε ο μαγνήτης παρουσίαζε έλξη με μια καρφοβελόνα	<i>Ανακάλυψαν. Γιατί ένας μαγνήτης πάντα εξασκούσε δύναμη σε μια καρφοβελόνα</i>	13	22
Το μαγνητικό πεδίο δεν μπορεί να ανακαλύφθηκε επειδή δεν είναι κάτι που μπορούμε να δούμε	<i>Επινόηση επειδή το μαγνητικό πεδίο δεν το είδαν αλλά το σκέφτηκαν/Οι επιστήμονες δεν ανακάλυψαν το μαγνητικό πεδίο γιατί δεν βλέπουν ότι ο μαγνήτης εξασκεί δύναμη σε μια καρφοβελόνα</i>	27	46

Το μαγνητικό πεδίο επινοήθηκε από τους επιστήμονες για να εξηγήσουν το φαινόμενο της έλξης ανάμεσα σε ένα μαγνήτη και μια καρφοβελόνα	<i>Έβαλα αυτή τη λέξη γιατί οι επιστήμονες δεν μπορούσαν να δουν το μαγνητικό πεδίο απλά το επινόησαν με τη φαντασία τους για να εξηγήσουν κάποια φαινόμενα</i>	19	32
---	---	----	----

6.3.1.γ. Κατανόηση της ενέργειας ως επινόησης στην επιστήμη για την ερμηνεία φαινομένων (Έργο αξιολόγησης III)

Το τρίτο έργο αξιολόγησης αφορά στη διερεύνηση του βαθμού στον οποίο οι μαθητές εκτιμούν την ενέργεια ως μια ιδέα που έχει επινοηθεί στην επιστήμη σε μια προσπάθεια ερμηνείας διαφόρων φαινομένων. Πιο συγκεκριμένα, το έργο περιλαμβάνει ένα διάλογο ανάμεσα σε δύο μαθήτριες αναφορικά με την προέλευση της έννοιας της ενέργειας. Η πρώτη μαθήτρια εκφράζει την άποψη ότι οι επιστήμονες μπορούν να επινοούν ιδέες όταν τους είναι χρήσιμες στην εξήγηση φαινομένων και ότι η ενέργεια δεν παρατηρήθηκε άμεσα από τους επιστήμονες αλλά αποτελεί προϊόν επινόησης. Αντίθετα, η δεύτερη μαθήτρια δηλώνει ότι οι επιστήμονες δεν επιτρέπεται να υποθέτουν ότι υπάρχει κάτι και επομένως οι πρώτοι επιστήμονες που μίλησαν για την ενέργεια θα πρέπει απαραίτητα να την είχαν παρατηρήσει με κάποιο τρόπο ώστε να ήταν σίγουροι ότι υπάρχει. Το έργο αξιολόγησης ζητά από τους μαθητές να επεξεργαστούν το σκεπτικό των δύο μαθητριών και να δηλώσουν με ποια συμφωνούν περισσότερο αιτιολογώντας την απάντησή τους. Έτσι, το έργο αξιολογούσε ταυτόχρονα την ικανότητα των μαθητών να αντιλαμβάνονται ότι υπάρχει χώρος στην επιστήμη για δημιουργικότητα και τη δυνατότητά τους να αναγνωρίζουν ότι η ενέργεια δεν αναφέρεται σε κάποιο υπαρκτό αντικείμενο με υλικές ιδιότητες αλλά σε μια επινοημένη ιδέα που αποσκοπεί στην ερμηνεία φαινομένων.

Το έργο αξιολόγησης χορηγήθηκε σε γραπτή μορφή και απαντήθηκε από τον κάθε μαθητή χωριστά πριν και μετά τη διδασκαλία. Επίσης περιλήφθηκε στο πρωτόκολλο των συνεντεύξεων που έγιναν πριν και μετά τη διδασκαλία. Πιο κάτω συζητούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων.

6.3.1.γ1. Αρχική αξιολόγηση

Οι απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές πριν από τη διδασκαλία εντάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει πέντε μαθητές (8%) οι οποίοι συμφώνησαν

ότι η ενέργεια επινοήθηκε. Δύο ενδεικτικές απαντήσεις αυτής της κατηγορίας είναι οι εξής:

«Μπορούν να υποθέτουν επειδή είναι δύσκολο να παρατηρήσουν.»

«Μπορούν να υποθέτουν και δεν χρειάζεται να έχουν δει αυτό για το οποίο μιλούν.»

Παρόλο που αυτές οι απαντήσεις θα μπορούσαν να πιστωθούν, εκ πρώτης όψεως, με επιστημολογική ενημερότητα τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις, στις οποίες υπήρχε η δυνατότητα για περαιτέρω συζήτηση με τους μαθητές, φανερώνουν μια ενδιαφέρουσα πτυχή τους η οποία θέτει υπό αμφισβήτηση αυτή την ερμηνεία. Πιο συγκεκριμένα, εισηγούνται ότι το σκεπτικό από το οποίο απορρέουν αυτές οι απαντήσεις εδράζεται στην πεποίθηση ότι η ενέργεια δεν μπορεί να παρατηρηθεί και, κατά συνέπεια, επιβάλλεται να διαφωνήσουν με τη μαθήτριά που εκφράζει αυτή την προοπτική στο διάλογο που περιλαμβάνεται στο έργο. Συνεπώς, η συμφωνία τους με τη θέση ότι η ενέργεια επινοήθηκε είναι πιθανό να έχει προκύψει συμπτωματικά ως αποτέλεσμα της απόρριψης της εναλλακτικής επιλογής. Ένα άλλο παρεμφερές στοιχείο που επίσης παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι ότι αυτοί οι μαθητές έτειναν να θεωρούν ότι παρόλο που η ενέργεια δεν μπορεί να παρατηρηθεί, η ύπαρξή της έχει αποδειχθεί από τους επιστήμονες μέσα από τα αποτελέσματα που επιφέρει. Πιο κάτω παρατίθενται ενδεικτικά αποσπάσματα από συνεντεύξεις με δύο μαθητές.

Ερευνητής: Συμφώνησες με την Έλενα. Μπορείς να εξηγήσεις λίγο γιατί;

Μαθητής: Δεν παρατήρησαν οι επιστήμονες την ενέργεια. Δεν την είδαν κάπου. Όμως ξέρουν ότι υπάρχει.

Ερευνητής: Μπορείς να μου εξηγήσεις γιατί το λες αυτό;

Μαθητής: Όταν βάζεις μια μπαταρία και ένα λαμπτήρα δεν έχει άλλο υλικό που να τον κάνει να ανάβει. Μόνο η ενέργεια μπορεί να το εξηγήσει αυτό. Μόνο αυτή μπορεί να κάνει το λαμπτήρα να ανάψει.

Ερευνητής: Τι εννοείς λέγοντας ότι οι επιστήμονες επινόησαν την ενέργεια;

Μαθητής: Οι επιστήμονες μπορεί να υποθέτουν. Είναι σίγουροι όμως ότι υπάρχει η ενέργεια.

Ερευνητής: Πώς είναι σίγουροι;

Μαθητής: *Όπως με τον εργάτη που τρυπούσε τον τοίχο [αναφέρεται σε άλλο έργο αξιολόγησης]. Υπάρχει αποτέλεσμα. Κατάφερε να τρυπήσει τον τοίχο. Αν δεν υπήρχε ενέργεια δεν θα τα κατάφερνε.*

Μια επιστημολογική δυσκολία που φαίνεται να σχετίζεται με το σκεπτικό που εκφράζεται σε αυτές τις απαντήσεις, η οποία εντοπίστηκε επίσης στο προηγούμενο έργο αξιολόγησης, αφορά στη στρεβλωμένη πεποίθηση ότι τα διάφορα φαινόμενα εξηγούνται με ένα και μόνο τρόπο. Συνεπώς, η επιβεβαίωση μιας σχετικής πρόβλεψης από τα εμπειρικά δεδομένα τείνει να εκλαμβάνεται ως απόδειξη του αληθούς χαρακτήρα της αντίστοιχης ερμηνείας. Για παράδειγμα, στο πρώτο από τα δύο αποσπάσματα συνέντευξης ο μαθητής θεωρεί ότι η φωτοβολία του λαμπτήρα αποτελεί τεκμήριο για την ύπαρξη της ενέργειας διότι, στην αντίθετη περίπτωση δεν θα υπήρχε φωτοβολία.

Οι επόμενες δύο κατηγορίες, οι οποίες συγκεντρώνουν το 75% των απαντήσεων, περιλαμβάνουν τους μαθητές που πρότειναν ότι η ενέργεια ανακαλύφθηκε. Οι δύο αυτές κατηγορίες διαφοροποιούνται ανάλογα με το σκεπτικό από το οποίο προέκυψαν. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές που εντάσσονται στη δεύτερη κατηγορία (N=11, 18%) αιτιολόγησαν την απάντησή τους με αναφορά στην ίδια τη φύση της ενέργειας δηλώνοντας ότι πρόκειται για μια οντότητα που υπάρχει στο φυσικό κόσμο και έχει παρατηρηθεί. Δύο ενδεικτικές απαντήσεις αυτής της κατηγορίας είναι οι εξής:

«Ναι επειδή το ξέρουμε από τις παρατηρήσεις μας. Η τριβή παράγει ενέργεια.»

«Συμφωνώ με τη Μαρία. Η ενέργεια υπάρχει. Δεν επινοήθηκε.»

Αντίθετα οι μαθητές της τρίτης κατηγορίας, η οποία περιλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό απαντήσεων (N=34, 57%) αιτιολόγησαν τη θέση ότι η ενέργεια ανακαλύφθηκε κάνοντας αναφορά στην επιστημονική διεργασία και την αυστηρότητα που τη διέπει. Πιο συγκεκριμένα, αυτοί οι μαθητές ανέφεραν ρητά, ή υπονόησαν, ότι η διαδικασία της επινόησης αποκλείεται από την ίδια την επιστημονική διεργασία και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι επιστήμονες, ο οποίος δεν τους επιτρέπει να επινοούν. Η επινόηση προσεγγίζεται από τους μαθητές ως ένα μεμπτό στοιχείο το οποίο αφαιρεί από την αξιοπιστία της επιστήμης ελλοχεύοντας τον κίνδυνο λανθασμένων συμπερασμών. Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά αποσπάσματα από τις απαντήσεις μαθητών που ανακλούν αυτό το σκεπτικό.

«Μαρία επειδή οι επιστήμονες πριν να πουν την ανακάλυψή τους τη δοκιμάζουν για να είναι σίγουροι.»

«Μαρία γιατί οι επιστήμονες όταν ανακαλύψουν κάτι πρέπει να το αποδείξουν να το δουν και να το μελετήσουν πριν είναι σίγουροι ότι το ανακάλυψαν.»

«Μαρία. Οι επιστήμονες αποδεικνύουν την άποψή τους.»

«Οι επιστήμονες μπορούν να επινοήσουν αλλά όχι να μας λένε ψέματα για κάτι που δεν υπάρχει.»

Τέλος, η τέταρτη κατηγορία συνίσταται από 10 μαθητές (17%) οι οποίοι είτε απάντησαν μονολεκτικά χωρίς να δώσουν οποιαδήποτε πρόσθετη πληροφόρηση είτε δεν έδωσαν καθόλου απάντηση.

6.3.1.γ2. Τελική αξιολόγηση

Μετά τη διδασκαλία παρουσιάστηκε μια σημαντική μεταβολή ως προς το περιεχόμενο των απαντήσεων των μαθητών αφού οι περισσότερες από τις μισές δεν μπορούσαν να ενταχθούν στο αρχικό σύστημα κατηγοριοποίησης επιβάλλοντας την αναδιαμόρφωση του, όπως φαίνεται στον πίνακα 32.

Η πρώτη κατηγορία απαντήσεων, περιλαμβάνει τους μαθητές που δήλωσαν ότι η ενέργεια αποτελεί προϊόν επινοήσης και εμφανίστηκε σε τρεις παραλλαγές. Η πρώτη, περιλαμβάνει 32 μαθητές (52%), που δήλωσαν ότι η ενέργεια επινοήθηκε και αιτιολόγησαν την απάντησή τους κάνοντας ρητή αναφορά στη χρησιμότητα της ως προς την ερμηνεία φαινομένων. Αυτές οι απαντήσεις χαρακτηρίζονται από ενημερότητα τόσο σε σχέση με τη συνεισφορά της ενέργειας στην ερμηνεία φαινομένων, όσο και σε σχέση με τη δυνατότητα των επιστημόνων να επινοούν ιδέες. Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικές απαντήσεις που αναδεικνύουν αυτά τα δύο στοιχεία.

«Επινοήθηκε. Οι επιστήμονες πρέπει να επινοούν διάφορα πράγματα για να μας βοηθούν να εξηγούμε διάφορες παρατηρήσεις.»

«Την ενέργεια δεν μπορείς να την παρατηρήσεις. Την υπέθεσαν για να δίνουν μια εξήγηση για όλα. Διαφωνώ με τη Μαρία. Η ενέργεια δεν υπάρχει για να την παρατηρήσουν οι επιστήμονες.»

«Οι επιστήμονες υπέθεσαν ότι υπάρχει η ενέργεια αλλά δεν την παρατήρησαν. Μπορούν οι επιστήμονες να επινοούν πράγματα φτάνει να τους βοηθούν να εξηγούν. Δεν είναι απαραίτητο να έχουν δει κάπου φυλαγμένη την ενέργεια.»

«Οι επιστήμονες πολλές φορές επινοούν κάποια πράγματα για να μπορούν να εξηγούν τις παρατηρήσεις τους. Διαφωνώ με τη Μαρία. Δεν μπορεί να παρατηρηθεί η ενέργεια.»

Η δεύτερη παραλλαγή αυτής της κατηγορίας απάντησης, η οποία εντοπίστηκε σε δύο μαθητές (3%), περιλαμβάνει την αναγνώριση της ενέργειας ως ερμηνείας (παρά ως παρατήρησης) και, κατά συνέπεια, ως μιας επινοημένης ιδέας. Συγκεκριμένα, ο ένας από τους μαθητές δήλωσε ότι συμφωνεί με την Έλενα αφού *«...η ενέργεια είναι εξήγηση και όχι παρατήρηση»* και ο άλλος έγραψε ότι *«η ενέργεια είναι για να εξηγά παρατηρήσεις. Δεν είναι κάτι που παρατηρούμε. Επινοήθηκε.»*. Το σκεπτικό αυτών των δύο μαθητών στηρίχθηκε, αφενός, στην πεποίθηση ότι η ενέργεια αποτελεί παράδειγμα ερμηνείας (και όχι παρατήρησης), και, αφετέρου, στη διασύνδεση που έχουν αναπτύξει στο πλαίσιο του μαθήματος ανάμεσα στις ερμηνείες και σε διεργασίες επινοήσης.

Τέλος, η τρίτη παραλλαγή αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνει έξι μαθητές (10%) που δεν έκαναν καμιά αναφορά στην ιδιότητα της ενέργειας ως ερμηνείας αλλά επικέντρωσαν αποκλειστικά την αιτιολόγησή τους στη διαφωνία τους με τη θέση ότι οι επιστήμονες δεν μπορούν να επινοούν και να υποθέτουν, η οποία εκφράστηκε από μία από τις δύο μαθήτριες στο σχετικό διάλογο που περιλήφθηκε στο έργο αξιολόγησης. Στη συνέχεια παρατίθεται μια ενδεικτική απάντηση.

«Συμφωνώ με την Έλενα επειδή οι επιστήμονες μπορούν να επινοήσουν λέξεις και ιδέες. Δεν είναι απαραίτητο να τα δουν.»

Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από 15 μαθητές (24%) οι οποίοι απάντησαν ότι η ενέργεια επινοήθηκε χωρίς να κάνουν αναφορά στη δυνατότητα των επιστημόνων να επινοούν ή στη λειτουργία της ενέργειας ως ερμηνείας. Αντίθετα, φάνηκαν να καταλήγουν σε αυτή την επιλογή, έμμεσα, αποκλείοντας την εναλλακτική θέση ότι η ενέργεια αποτελεί μια οντότητα που έχει παρατηρηθεί από τους επιστήμονες. Δύο ενδεικτικές απαντήσεις μαθητών που εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία είναι οι εξής:

«Διαφωνώ με τη Μαρία. Οι επιστήμονες δεν είδαν την ενέργεια.»

«Με την Έλενα. Η ενέργεια δεν μπορεί να παρατηρηθεί. Όχι με τη Μαρία. Δεν μπορούμε να δούμε την ενέργεια.»

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει πέντε μαθητές (8%), οι οποίοι θεώρησαν ότι η ενέργεια ανακαλύφθηκε και εξέφρασαν την πεποίθηση ότι η ενέργεια είναι μια οντότητα που έχει παρατηρηθεί από τους επιστήμονες. Για παράδειγμα ένας από αυτούς τους μαθητές δήλωσε ότι «...οι επιστήμονες την είχαν παρατηρήσει με κάποιο τρόπο και είναι σίγουροι ότι υπάρχει.»

Τέλος, η τέταρτη κατηγορία αποτελείται από δύο μαθητές (3%) που εισηγήθηκαν ότι η ενέργεια ανακαλύφθηκε και αιτιολόγησαν την απάντησή τους κάνοντας αναφορά στο γεγονός ότι οι επιστήμονες δεν μπορούν να επινοούν και να υποθέτουν πράγματα αλλά οφείλουν να είναι σίγουροι για ό,τι λένε. Οι απαντήσεις των δύο μαθητών ήταν οι εξής:

«Συμφωνώ με τη Μαρία. Ότι μας έχουν πει μέχρι τώρα οι επιστήμονες είναι αλήθεια.»

«Μαρία. Αν απλώς, τη φαντάστηκαν χωρίς να την παρατηρήσουν τότε όλοι θα ήμασταν επιστήμονες.»

Πίνακας 32: Αντιπαραβολή κωδικοποίησης αρχικών και τελικών απαντήσεων για τη φύση της ενέργειας

Κατηγορία απάντησης	N	%	N	%
Η ενέργεια επινοήθηκε από τους επιστήμονες				
επειδή είναι χρήσιμη για την ερμηνεία φαινομένων	-	-	32	52
επειδή σχετίζεται με την ερμηνεία (παρά με την παρατήρηση) φαινομένων	-	-	2	3
επειδή οι επιστήμονες μπορούν να επινοούν	-	-	6	10
Η ενέργεια επινοήθηκε επειδή δεν είναι κάτι που μπορεί να παρατηρηθεί	-	-	15	24
Η ενέργεια επινοήθηκε - υπάρχει αλλά επειδή δεν μπορεί να παρατηρηθεί την επινόησαν για να εξηγούν	5	8	-	-
Η ενέργεια ανακαλύφθηκε - είναι κάτι που έχει παρατηρηθεί	11	18	5	8
Η ενέργεια ανακαλύφθηκε - οι επιστήμονες δεν μπορούν να επινοούν	34	57	2	3
Όχι απάντηση/όχι εξήγηση	10	17	-	-

Στον πίνακα 32 εμφανίζονται τα ποσοστά και οι συχνότητες των απαντήσεων πριν (δεύτερη και τρίτη στήλη) και μετά τη διδασκαλία (τρίτη και τέταρτη στήλη). Μια σημαντική παρατήρηση που προκύπτει από την αντιπαραβολή των δύο κατανομών αφορά στο γεγονός ότι μετά τη διδασκαλία η πλειοψηφία των μαθητών, (89%) προσδιόρισε την ενέργεια ως μια επινοημένη ιδέα ενώ κανένας μαθητής δεν είχε εκφράσει παρόμοια θέση πριν από τη διδασκαλία. Αντίστοιχα, είναι σημαντικό να επισημανθεί η μείωση, μετά τη διδασκαλία, στο ποσοστό των μαθητών που είτε ισχυρίστηκαν ότι οι επιστήμονες δεν έχουν τη δυνατότητα να επινοούν (από 57% σε 3%) είτε θεώρησαν ότι η ενέργεια αναφέρεται σε μια οντότητα που έχει παρατηρηθεί (από 18% σε 8%). Αυτά τα στοιχεία, εισηγούνται ότι το διδακτικό υλικό είχε σημαντική επίδραση στην κατανόηση των μαθητών αναφορικά με τη δυνατότητα επινόησης στην επιστήμη, γενικά, και τον επινοημένο χαρακτήρα της ενέργειας, ειδικότερα. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να διευκρινιστεί μια παρερμηνεύσιμη πτυχή των δεδομένων. Ειδικότερα, η αναγνώριση από μέρος των μαθητών, της ενέργειας ως προϊόντος επινόησης δεν πρέπει να ερμηνευθεί ως αποδοχή της θέσης ότι η ενέργεια δεν υπάρχει. Ο βαθμός στον οποίο οι διάφορες οντότητες οι οποίες έχουν επινοηθεί στην επιστήμη για την ερμηνεία φαινομένων (π.χ. υπερχορδές) χωρίς να έχουν παρατηρηθεί άμεσα (τουλάχιστον μέχρι στιγμής) αναφέρονται σε υπαρκτές οντότητες (για τις οποίες αναμένεται κάποια στιγμή να εμφανιστούν άμεσα παρατηρησιακά δεδομένα) ή προσεγγίζονται υιοθετώντας μια εργαλειοκρατική προσέγγιση, αποτελεί ένα σύνθετο ζήτημα στο ακαδημαϊκό πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης (Carnap, 1966; Maxwell, 1962; Salmon *et al.*, 1992). Συνεπώς, θα ήταν υπερβολικό τόσο να εμπλέξει κανείς τους μαθητές σε σχετική συζήτηση όσο και να ερμηνεύσει τις απαντήσεις τους ως τοποθετήσεις σε σχέση με αυτό το ζήτημα. Αντίθετα, η καταλληλότερη ερμηνεία για τα δεδομένα που έχουν παρουσιαστεί είναι ότι οι μαθητές που προσδιορίζουν την ενέργεια ως μια επινοημένη ιδέα (i) αντιλαμβάνονται ότι υπάρχει μια διάκριση ανάμεσα σε μακροσκοπικά αντικείμενα που μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα (π.χ. ένα θρανίο ή μια καρέκλα) και ιδέες που επινοούνται για την ερμηνεία φαινομένων (π.χ. ενέργεια, δύναμη, ηλεκτρόνιο) (ii) αναγνωρίζουν και τα δύο ως μέρη της επιστήμης, και (iii) συνδέουν την επινόηση με την ερμηνεία φαινομένων.

Ένα πρόσθετο στοιχείο το οποίο αξίζει να σχολιασθεί αφορά σε μια πιθανή κριτική για την ευαισθησία του έργου αξιολόγησης και τη δυνατότητά του να αξιολογεί αξιόπιστα το σκεπτικό των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα, η διατύπωση των δηλώσεων που περιλήφθηκαν στο διάλογο των δύο μαθητριών στο έργο αξιολόγησης ήταν αρκετά

περιεκτική και λεπτομερής³⁵ και θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι το μεγάλο ποσοστό μαθητών που προσδιόρισαν ορθά την ενέργεια ως επινοημένη ιδέα θα μπορούσε να είναι πλασματικό και να έχει προκύψει ως αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης μέρους του διαλόγου στις απαντήσεις τους χωρίς να κατανοούν κατά ανάγκη το περιεχόμενό του. Αυτή η θέση αμφισβητείται έμμεσα από τα δεδομένα που συζητήθηκαν σε σχέση με τα προηγούμενα δύο έργα αξιολόγησης τα οποία εισηγούνται ότι οι μαθητές ανέπτυξαν σε μεγάλο βαθμό τη διάκριση ανάμεσα σε ερμηνείες και παρατηρήσεις και τη σύνδεση της παραγωγής ερμηνειών με διεργασίες επινόησης. Σε μια προσπάθεια πιο άμεσης διερεύνησης αυτής της θέσης στο πλαίσιο των συνεντεύξεων όσοι μαθητές είχαν απαντήσει με το συγκεκριμένο τρόπο (N=28) κλήθηκαν να απαντήσουν σε δύο πρόσθετα ερωτήματα. Το πρώτο ερώτημα ζητούσε από τους μαθητές να διευκρινίσουν το περιεχόμενο της δήλωσής τους ότι η ενέργεια έχει επινοηθεί ενώ το δεύτερο ζητούσε να διευκρινίσουν κατά πόσο η επινόηση οδηγεί σε αυθαιρεσίες, αιτιολογώντας το σκεπτικό τους. Στην περίπτωση του πρώτου ερωτήματος, όλοι οι μαθητές ήταν σε θέση να παραφράσουν τις γραπτές τους απαντήσεις διευκρινίζοντας το περιεχόμενό τους. Οι περισσότεροι έκαναν αναφορά στη διάκριση ανάμεσα στην ερμηνεία και την παρατήρηση δηλώνοντας ότι η ενέργεια έχει επινοηθεί καθώς δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα. Σε αρκετές περιπτώσεις εκφράστηκε επίσης η δυνατότητα των επιστημόνων να επινοούν ιδέες για να μπορούν να ερμηνεύουν. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι κανένας από τους μαθητές δεν είχε δυσκολία να αναλύσει περαιτέρω την απάντησή του με κάποιο από τους πιο πάνω τρόπους (ή και τους δύο) και αυτό αμφισβητεί την πιθανότητα να έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα της απλής αντιγραφής κειμένου από το έργο αξιολόγησης χωρίς κατανόηση του περιεχομένου του.

Στην περίπτωση του δεύτερου ερωτήματος, όλοι οι μαθητές εκτός από έναν (N=27), αναγνώρισαν ότι η δυνατότητα επινόησης δεν ισοδυναμεί με αυθαιρεσία. Σχεδόν οι μισοί από αυτούς τους μαθητές (N=14) επικαλέστηκαν τον τρόπο με τον οποίο εργάζονται οι επιστήμονες ως το στοιχείο που αποκλείει την αυθαιρεσία. Ειδικότερα, έξι από αυτούς κατέδειξαν το λογικό τρόπο σκέψης των επιστημόνων ως το στοιχείο που λειτουργεί αποτρεπτικά σε σχέση με την αυθαιρεσία. Ενδεικτικά, παρατίθεται απόσπασμα από τη συνέντευξη με μια μαθήτρια που απάντησε με αυτό τον τρόπο.

³⁵ Η λεπτομερής και περιεκτική περιγραφή της θέσης των δύο μαθητριών κρίθηκε χρήσιμη, ώστε να βοηθηθούν οι μαθητές να αντιληφθούν το περιεχόμενο των δύο δηλώσεων, να κατανοήσουν τη διαφοροποίησή τους και να καταλήξουν σε μια ενημερωμένη απόφαση για τη θέση με την οποία συμφωνούν περισσότερο.

Ερευνητής: *Λες ότι οι επιστήμονες μπορούν να επινοούν και να φαντάζονται.*

Δεν θα καταλήξει έτσι να μας λέει ο καθένας ό,τι θέλει όμως;

Μαθητής: *Όχι, επειδή οι επιστήμονες σκέφτονται λογικά.*

Ερευνητής: *Δηλαδή;*

Μαθητής: *Αν ένα παγωτό λιώσει οι επιστήμονες δεν θα πουν ότι είναι επειδή είναι κρύο αλλά επειδή είναι έξω στον ήλιο.*

Οι υπόλοιποι οκτώ από αυτούς τους μαθητές ανέφεραν ότι ο κίνδυνος για αυθαιρεσία αποφεύγεται επειδή οι επιστήμονες μελετούν προσεκτικά και σε βάθος το κάθε θέμα πριν μιλήσουν δημόσια. Για παράδειγμα, η απάντηση μιας μαθήτριας στη διευκρινιστική ερώτηση του ερευνητή ήταν ότι «δεν θα λέει ο καθένας ότι θέλει επειδή οι επιστήμονες μελετούν πρώτα πολύ καλά αυτό που λένε και ξέρουν τι λένε.»

Οι υπόλοιποι από τους μαθητές που αναγνώρισαν ότι η επινόηση δεν οδηγεί σε αυθαιρεσία (N=13), κατέδειξαν τα εμπειρικά δεδομένα ως τον αποτρεπτικό παράγοντα. Πιο συγκεκριμένα, το σκεπτικό αυτών των μαθητών στηριζόταν στη θέση ότι οι επινοήσεις των επιστημόνων χρειάζεται να συνάδουν με τα διαθέσιμα δεδομένα. Για παράδειγμα, ένας από τους μαθητές απάντησε ότι οι επιστήμονες «μπορούν να φαντάζονται, φτάνει αυτό που λένε να ταιριάζει με τα στοιχεία.» Επιπρόσθετα, όταν ζητήθηκε από αυτούς τους μαθητές να διευκρινίσουν περαιτέρω τη δήλωσή τους όλοι, εκτός από δύο, ήταν να σε θέση να προτείνουν κατάλληλα παραδείγματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα παραδείγματα ήταν παρμένα από τη δραστηριότητα του διδακτικού υλικού η οποία αφορούσε στο διάγραμμα με τα ίχνη (πρώτη ενότητα διδακτικού υλικού). Πιο κάτω φαίνεται ο σχετικός διάλογος με κάποιο από αυτούς τους μαθητές.

Ερευνητής: *Λες ότι οι επιστήμονες μπορούν να επινοούν και να φαντάζονται.*

Αυτό όμως δεν είναι κάπως επικίνδυνο; Αν ισχύει αυτό δεν θα καταλήξει ο καθένας να λέει ό,τι θέλει;

Μαθητής: *Μπορούν να φαντάζονται αλλά αυτό που λένε πρέπει να ισχύει με τα δεδομένα που έχουν.*

Ερευνητής: *Τι εννοείς με αυτό;*

Μαθητής: *Στο μάθημα που κάναμε για τα ίχνη, κάποιος μαθητής είπε ότι είναι πατημασιές πουλιών και όταν συναντηθούν μετά συνεχίζουν να περπατούν σε αντίθετους δρόμους. Δεν μπορεί να το πει αυτό. Δεν είναι σωστό επειδή μόνο το ένα πουλί είχε ίχνη μετά. Του άλλου χάθηκαν.*

Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, οι μαθητές ανέφεραν μεμονωμένα παραδείγματα, ανεξάρτητα από το διδακτικό υλικό, στα οποία μια δήλωση συγκρουόταν με τα διαθέσιμα δεδομένα. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους μαθητές απάντησε ως εξής: *«για παράδειγμα, σε αυτόν τον πίνακα [αναφέρεται σε ένα πολύχρωμο πίνακα ζωγραφικής που βρισκόταν στο δωμάτιο όπου γινόταν η συνέντευξη] θα είναι λάθος να πω ότι δεν έχει χρώματα.»*

Τέλος, ο μοναδικός μαθητής που δεν ήταν σε θέση να αναγνωρίσει ότι η επιστήμη παρέχει μηχανισμούς αποτροπής της αυθαιρεσίας, κατέληξε να αναπροσαρμόζει την αρχική του απάντηση υποβαθμίζοντας το ρόλο της επινόησης. Πιο συγκεκριμένα, ο μαθητής αυτός δήλωσε ότι *«κανονικά δεν μπορούν [οι επιστήμονες] να φαντάζονται επειδή μετά δεν θα πιστεύει κανείς. Επινοούν με βάση τις έρευνες που κάνουν. Κάνουν παρατηρήσεις και μετά μέσα από τις παρατηρήσεις επινοούν κάτι για το οποίο είναι σίγουροι.»* Το σκεπτικό του συγκεκριμένου μαθητή στηρίζεται στις πεποιθήσεις ότι, αφενός, η οποιαδήποτε επινόηση επιβάλλεται να επαληθεύεται πριν ανακοινωθεί, ώστε να διασφαλίζεται η εγκυρότητά της, και, αφετέρου, τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις αποτελούν ικανή συνθήκη για αυτή την επαλήθευση.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα που έχουν παρουσιαστεί αναφορικά με τα τρία έργα αξιολόγησης καταδεικνύουν τη δυνατότητα του διδακτικού υλικού να επιδράσει στις επιστημολογικές αντιλήψεις των μαθητών βοηθώντας τους (α) να αναγνωρίσουν ότι η επιστήμη περιλαμβάνει τόσο εμπειρικό όσο και θεωρητικό περιεχόμενο, (β) να αναγνωρίσουν το ρόλο της δημιουργικότητας στην επιστήμη και τη σύνδεσή της με την προσπάθεια ερμηνείας φαινομένων και (γ) να αντιληφθούν την ενέργεια ως μια επινοημένη ιδέα παρά ως ένα αντικείμενο με υλικές ιδιότητες.

6.3.2. Η ενέργεια ως ενιαία ερμηνεία μεταβολών

Μια από τις βασικές επιδιώξεις του διδακτικού υλικού αφορά στην προώθηση της κατανόησης των μαθητών για τη συνεισφορά της ενέργειας σε σχέση με την ερμηνεία μεμονωμένων μεταβολών και κυρίως σε σχέση με την ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών σε φυσικά συστήματα ανεξάρτητα από το φαινομενολογικό πεδίο από το οποίο προέρχονται. Η διερεύνηση του βαθμού στον οποίο επιτεύχθηκε αυτή η επιδίωξη στηρίχθηκε στο έργο αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε κατά τη μελέτη των αρχικών ιδεών των μαθητών, στο πλαίσιο του σχεδιασμού του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο), και κατά την πιλοτική εφαρμογή του. Πιο συγκεκριμένα, το έργο αξιολόγησης περιλάμβανε ένα ζεύγος με δύο φυσικά συστήματα (ηλεκτρικός ανεμιστήρας και

ανεμόμυλος) τα οποία υφίστανται κάποια μεταβολή (περιστροφή πτερυγίων) και ζητούσε από τους μαθητές να απαντήσουν δύο σχετικά ερωτήματα. Το πρώτο ζητούσε από τους μαθητές να προτείνουν μια ερμηνεία για την καθεμιά από τις δύο μεταβολές, χωριστά, ενώ το δεύτερο ζητούσε να προτείνουν μια ενιαία ερμηνεία που να εφαρμόζει ταυτόχρονα και στις δύο μεταβολές.

Οι απαντήσεις των μαθητών σε αυτά τα δύο ερωτήματα έτυχαν επεξεργασίας μέσα από την εφαρμογή του συστήματος κωδικοποίησης που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της μελέτης των αρχικών ιδεών των μαθητών (βλ. τέταρτο κεφάλαιο). Πιο συγκεκριμένα, οι απαντήσεις στο καθένα από τα δύο ερωτήματα ομαδοποιήθηκαν και εντάχθηκαν στις κατηγορίες που καθορίζονται στα αντίστοιχα συστήματα κωδικοποίησης, τα οποία λειτούργησαν αποτελεσματικά αφού δεν υπήρξαν απαντήσεις που δεν ήταν εφικτό να ενταχθούν σε κάποια από τις υφιστάμενες κατηγορίες. Στο υπόλοιπο μέρος της ενότητας, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών για το καθένα από τα δύο ερωτήματα, χωριστά.

6.3.2.α. Βαθμός στον οποίο οι μαθητές συσχετίζουν την ενέργεια με την ερμηνεία μεταβολών.

Οι πίνακες 33 και 34 παρουσιάζουν τις συχνότητες και ποσοστά των απαντήσεων που κατανέμονται στις διάφορες κατηγορίες πριν και μετά τη διδασκαλία για το καθένα από τα δύο συστήματα. Οι κατηγορίες απάντησης ιεραρχούνται ανάλογα με την ενημερότητά τους συνθέτοντας έτσι μια διατακτική κλίμακα. Και στις δύο περιπτώσεις οι κατηγορίες απάντησης έχουν διαταχθεί ξεκινώντας από αυτήν που θα μπορούσε να θεωρηθεί πιο ενημερωμένη.

Πίνακας 33: Κωδικοποίηση απαντήσεων κατά την αρχική αξιολόγηση

Κατηγορία απάντησης	Ηλεκτρικό σύστημα		Μηχανικό σύστημα		Σύνολο	
	N	%	N	%	N	%
	Ερμηνεία με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας	27	46	2	4	29
Ερμηνεία με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	11	20	6	11	17	16
Ερμηνεία με αναφορά σε κάποια έννοια εκτός από την ενέργεια	15	31	20	37	35	32

Η ερμηνεία αποδίδεται σε κάποια διεργασία που συμβαίνει στο σύστημα ή σε κάποιο μεμονωμένο αντικείμενο του συστήματος	2	3	26	48	28	25
---	---	---	----	----	----	----

Πίνακας 34: Κωδικοποίηση απαντήσεων κατά την τελική αξιολόγηση

Κατηγορία απάντησης	Ηλεκτρικό σύστημα		Μηχανικό σύστημα		Σύνολο	
	N	%	N	%	N	%
Ερμηνεία με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας	43	78	16	29	59	53
Ερμηνεία με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	3	5	14	25	17	15
Ερμηνεία με αναφορά σε κάποια έννοια εκτός από την ενέργεια	7	13	13	23	20	18
Η ερμηνεία αποδίδεται σε κάποια διεργασία που συμβαίνει στο σύστημα ή σε κάποιο μεμονωμένο αντικείμενο του συστήματος	2	4	13	23	15	14

Η επίδραση της διδασκαλίας στην ικανότητα των μαθητών να εκτιμήσουν τη συνεισφορά της ενέργειας σε σχέση με την ερμηνεία μεταβολών σε φυσικά συστήματα αξιολογήθηκε συνδυάζοντας διάφορες πτυχές των πιο πάνω δεδομένων. Η πρώτη αφορά στη διαφοροποίηση στην κατανομή των απαντήσεων στα δύο συστήματα πριν και μετά τη διδασκαλία. Στην περίπτωση του ηλεκτρικού συστήματος υπήρξαν 21 περιπτώσεις μαθητών οι οποίοι, μετά τη διδασκαλία, μετακινήθηκαν σε πιο ενημερωμένες κατηγορίες απάντησης, τέσσερις μαθητές που μετακινήθηκαν στην αντίστροφη κατεύθυνση και 26 μαθητές που παρέμειναν αμετάβλητοι στην ίδια κατηγορία απάντησης. Αντίστοιχα, στο σύστημα με την περιστροφή των πτερυγίων του ανεμόμυλου εμφανίστηκαν 33 περιπτώσεις βελτίωσης της απάντησης των μαθητών μετά τη διδασκαλία, πέντε περιπτώσεις μετακίνησης σε λιγότερο ενημερωμένες κατηγορίες απάντησης ενώ σε δεκατέσσερις περιπτώσεις δεν υπήρξε οποιαδήποτε μεταβολή. Για τη διερεύνηση της συστηματικότητας αυτής της διαφοροποίησης εφαρμόστηκε ο έλεγχος Wilcoxon, ο οποίος έδειξε ότι είναι στατιστικά σημαντική και στα δύο συστήματα ($T=10$, $p<.001$, $r=0.46$ για

το μηχανικό σύστημα και $T=50$, $p=.005$, $r=0.28$ για το ηλεκτρικό σύστημα). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διαφοροποίηση προκύπτει κατά κύριο λόγο από τη μετακίνηση απαντήσεων σε πιο ενημερωμένες κατηγορίες (41% στο ηλεκτρικό σύστημα και 63% στο μηχανικό σύστημα) παρά προς την αντίθετη κατεύθυνση (8% στο ηλεκτρικό σύστημα και 9% στο μηχανικό σύστημα) θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μια θετική ένδειξη για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού και της διδασκαλίας γενικότερα.

Ένα αξιοσημείωτο εύρημα αφορά στο σχετικά μεγάλο αριθμό περιπτώσεων όπου δεν παρατηρήθηκε μεταβολή στην απάντηση των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία (51% στο ηλεκτρικό σύστημα και 27% στο μηχανικό σύστημα). Παρόλο που εκ πρώτης όψεως ο μεγάλος αριθμός αυτών των περιπτώσεων θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως ένδειξη ελλιπούς επίδρασης είναι σημαντικό να καταγραφεί ένα στοιχείο το οποίο τείνει να αμφισβητεί αυτή την εκδοχή. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις (73%) αφορούν σε μαθητές που είχαν δώσει εξαρχής ενεργειακές απαντήσεις. Επομένως, η απουσία διαφοροποίησης δεν θα ήταν λογικό να αντιμετωπιστεί εκ προοιμίου ως αρνητική ένδειξη. Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο που αξίζει να επισημανθεί, αφορά στην πλήρη απουσία απαντήσεων οι οποίες αναφέρθηκαν στην ιδέα της μετατροπής της μορφής της ενέργειας, τόσο πριν όσο και μετά τη διδασκαλία. Αυτό το στοιχείο έχει συνέπειες σχετικά με την αναθεώρηση του διδακτικού υλικού, οι οποίες συζητούνται στο καταληκτικό μέρος της ενότητας.

Μια πρόσθετη ένδειξη για τη βελτίωση της επάρκειας των μαθητών σε σχέση με την αξιοποίηση της ιδέας της ενέργειας για την ερμηνεία μεταβολών αφορά στη σύγκριση του ποσοστού ενεργειακών απαντήσεων (δύο πρώτες κατηγορίες απάντησης) με το ποσοστό απαντήσεων που απέδωσαν την παρατηρούμενη μεταβολή είτε σε κάποια άλλη έννοια είτε σε φαινομενολογικά χαρακτηριστικά των συστημάτων (επόμενες δύο κατηγορίες απάντησης). Όπως φαίνεται στους πίνακες 33 και 34 το ποσοστό των ενεργειακών απαντήσεων αυξήθηκε από 66%, στο μηχανικό σύστημα, και 15%, στο ηλεκτρικό σύστημα, σε 83% και 54%, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου McNemar εισηγούνται ότι το ποσοστό των μαθητών που απάντησαν διαφορετικά πριν και μετά τη διδασκαλία (δηλαδή, έδωσαν ενεργειακή απάντηση μετά τη διδασκαλία και μη-ενεργειακή απάντηση πριν από αυτή, ή αντίστροφα) ήταν αρκετά μεγάλο για το συγκεκριμένο δείγμα μαθητών, ώστε να οδηγήσει σε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση τόσο στο ηλεκτρικό ($p=0.049$, $N=51$) όσο και στο μηχανικό σύστημα ($p<0.001$, $N=52$).

Μια τρίτη παρεμφερής ένδειξη της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού αφορά ειδικά στις ενεργειακές απαντήσεις. Οι απαντήσεις αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά στους μαθητές που αναφέρθηκαν με αόριστο τρόπο στην ενέργεια χωρίς να προσδιορίζουν οποιοδήποτε σχετικό μηχανισμό που να τη συνδέει με τις μεταβολές ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει τους μαθητές που απέδωσαν τις παρατηρούμενες μεταβολές ειδικά στη διεργασία διάδοσης ενέργειας. Στον πίνακα 35 φαίνονται τα ποσοστά εμφάνισης των δύο αυτών κατηγοριών πριν και μετά τη διδασκαλία για το καθένα από τα δύο συστήματα.

Πίνακας 35: Αντιπαραβολή της κατηγοριοποίησης των ενεργειακών απαντήσεων κατά την αρχική και τελική αξιολόγηση

Κατηγορία Απάντησης	Αρχική Αξιολόγηση				Τελική Αξιολόγηση			
	Ηλεκτρικό σύστημα		Μηχανικό σύστημα		Ηλεκτρικό σύστημα		Μηχανικό σύστημα	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Ερμηνεία με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας	27	71	2	25	43	93	16	53
Ερμηνεία με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	11	29	6	75	3	7	14	47

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα, τόσο στο ηλεκτρικό όσο και στο μηχανικό σύστημα παράλληλα με τη συνολική αύξηση των ενεργειακών απαντήσεων (από 38 σε 46 στο ηλεκτρικό σύστημα και από 8 σε 30 στο μηχανικό σύστημα) υπήρξε αύξηση στο ποσοστό των απαντήσεων που στηρίχθηκαν στη διεργασία της διάδοσης ενέργειας (από 71% σε 93% στο ηλεκτρικό σύστημα και από 25% σε 53% στο μηχανικό σύστημα) και μείωση στο ποσοστό των απαντήσεων που περιορίστηκαν σε ασαφή και αόριστη αναφορά στην ενέργεια (από 29% σε 7% στο ηλεκτρικό σύστημα και από 75% σε 47% στο μηχανικό σύστημα). Η μεταβολή στη σχετική κατανομή των δύο κατηγοριών ενεργειακής απάντησης αποτελεί μια θετική ένδειξη για τη βελτίωση της δυνατότητας των μαθητών να εκτιμούν τη διάδοση ενέργειας ως ένα μηχανισμό για την ερμηνεία μεταβολών. Ένα σημαντικό στοιχείο που αξίζει να επισημανθεί αφορά στη διαφοροποίηση που υπάρχει στο μέγεθος της μεταβολής του ποσοστού των απαντήσεων που στηρίχθηκαν στη διεργασία της διάδοσης ενέργειας στην περίπτωση των δύο συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, στην

περίπτωση του ηλεκτρικού συστήματος εμφανίστηκε αισθητά μικρότερη διαφοροποίηση και αυτό συνδέεται με την ήδη μεγάλη συχνότητα εμφάνισης αυτών των απαντήσεων πριν από τη διδασκαλία. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί η πλήρης απουσία αναφορών στην ιδέα της μετατροπής στη μορφή της ενέργειας, παρά το γεγονός ότι αποτέλεσε μια επιδίωξη του διδακτικού υλικού. Αυτό το στοιχείο συζητείται αργότερα σε αυτή την ενότητα.

6.3.2.β. Εκτίμηση της δυνατότητας που παρέχει το θεωρητικό πλαίσιο της ενέργειας για ενιαία ερμηνεία μεταβολών σε συστήματα ανεξάρτητα από το πεδίο από το οποίο προέρχονται

Στη συνέχεια συζητούνται τα δεδομένα που προέκυψαν σε σχέση με το δεύτερο ερώτημα του έργου αξιολόγησης, το οποίο εστιάζει στο βαθμό στον οποίο οι μαθητές εκτιμούν τη δυνατότητα της ενέργειας να παρέχει ένα ενοποιητικό πλαίσιο για την ερμηνεία μεταβολών σε διαφορετικά συστήματα. Οι απαντήσεις των μαθητών κωδικοποιήθηκαν αξιοποιώντας το σύστημα κατηγοριοποίησης που είχε αναπτυχθεί στο πλαίσιο της μελέτης των αρχικών ιδεών των μαθητών, κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο). Ο πίνακας 36 παρουσιάζει τις συχνότητες και τα ποσοστά εμφάνισής των διαφόρων κατηγοριών απάντησης πριν και μετά τη διδασκαλία.

Πίνακας 36: Αντιπαραβολή κατηγοριοποίησης των απαντήσεων των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία για την ενιαία ερμηνεία του ζεύγους των μεταβολών

Κατηγορία Απάντησης	Αρχική		Τελική	
	Αξιολόγηση		Αξιολόγηση	
	N	%	N	%
Ερμηνεία με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας	-	-	17	31
Ερμηνεία με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	12	22	16	29
Ερμηνεία με αναφορά σε κάποια έννοια εκτός από την ενέργεια	8	17	2	4
Αναγνώριση της ύπαρξης κοινής ερμηνείας χωρίς ωστόσο να διευκρινίζεται	-	-	3	5
Χωριστές ερμηνείες των δύο μεταβολών	33	58	17	31
Άσχετη απάντηση	2	3	-	-

Μια σημαντική διαπίστωση που προκύπτει από τον πιο πάνω πίνακα αφορά στην πλήρη απουσία απαντήσεων που απέδωσαν το ζεύγος μεταβολών στη διάδοση ενέργειας, πριν από τη διδασκαλία, και τη σημαντική αύξησή τους μετά από αυτή (17 μαθητές, 31%). Μια παρεμφερής παρατήρηση αφορά στην αύξηση του συνολικού αριθμού ενεργειακών απαντήσεων μετά τη διδασκαλία (από 22% σε 60%) και την αντίστοιχη μείωση των απαντήσεων που εντάσσονται στις υπόλοιπες κατηγορίες. Η συχνότητα των ενεργειακών απαντήσεων πριν και μετά τη διδασκαλία συγκρίθηκε εφαρμόζοντας το στατιστικό έλεγχο McNemar. Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας κατέδειξαν ότι η διαφορά που παρουσιάζουν είναι στατιστικά σημαντική ($\chi^2(1)=12.033$, $p=0.001$, $N=51$) και παρέχει μια ενθαρρυντική ένδειξη για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού αναφορικά με τη συγκεκριμένη μαθησιακή επιδίωξη.

Μια πρόσθετη παρατήρηση που αξίζει να σχολιασθεί αφορά στις περιπτώσεις μαθητών που χειρίστηκαν χωριστά τις δύο μεταβολές, αδυνατώντας να εισηγηθούν μια ενιαία ερμηνεία. Αυτό το είδος απάντησης ήταν το πιο συχνό πριν από τη διδασκαλία (58%) ενώ το ποσοστό εμφάνισής του μειώθηκε περίπου κατά το μισό (31%) μετά τη λήξη της. Αυτή η αισθητή μείωση αποτελεί ένα πρόσθετο ενθαρρυντικό εύρημα. Ταυτόχρονα, ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι το ποσοστό μαθητών που εξακολούθησε να δίνει χωριστές ερμηνείες μετά τη διδασκαλία είναι αρκετά μεγάλο και αυτό καταδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω διδακτική επεξεργασία του συγκεκριμένου ζητήματος, μέσα από αντίστοιχες προσαρμογές του διδακτικού υλικού.

Σε μια προσπάθεια συστηματικότερης περιγραφής της μεταβολής στην κατανομή των απαντήσεων στις διάφορες κατηγορίες πριν και μετά τη διδασκαλία, αντιπαραβλήθηκαν οι απαντήσεις που δόθηκαν από τον κάθε μεμονωμένο μαθητή σε αυτές τις δύο περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας κατέδειξαν ότι δεκαπέντε από τους μαθητές απάντησαν με τον ίδιο τρόπο τόσο πριν όσο και μετά τη διδασκαλία. Πέντε μαθητές κατέληξαν να δίνουν λιγότερο ενημερωμένη απάντηση μετά τη διδασκαλία ενώ, αντίστροφα, υπήρξε βελτίωση στις απαντήσεις των υπόλοιπων 31 μαθητών. Τα αποτελέσματα του ελέγχου Wilcoxon κατέδειξαν ότι η διαφοροποίηση στις απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία, η οποία προκύπτει κυρίως από τη μετακίνηση μαθητών σε πιο ενημερωμένες κατηγορίες απάντησης (61%) είναι στατιστικά σημαντική ($T=79.5$, $p<0.001$, $r=0.40$) και αυτό ανακλά το μαθησιακό όφελος που αποκόμισαν οι μαθητές σε σχέση με τη συγκεκριμένη επιδίωξη του διδακτικού υλικού.

Μια πρόσθετη ένδειξη που αξιοποιήθηκε για την αξιολόγηση του μαθησιακού οφέλους των μαθητών περιορίζεται αποκλειστικά στις απαντήσεις που αναφέρθηκαν στην ενέργεια (δύο πρώτες κατηγορίες απάντησης πίνακα 36). Όπως φαίνεται στον πίνακα 37, πριν από τη διδασκαλία, πέρα από το γεγονός ότι συνολικά οι ενεργειακές απαντήσεις ήταν περιορισμένες, όλες ανεξάριετα αναφέρθηκαν στην ενέργεια με αόριστο και ασαφή τρόπο. Αντίθετα, μετά τη διδασκαλία παράλληλα με την αύξηση του συνολικού αριθμού ενεργειακών απαντήσεων υπήρξε σημαντική αύξηση του ποσοστού των απαντήσεων που συγκεκριμενοποιούν την αναφορά στην ενέργεια συνδέοντάς την με τη διεργασία της διάδοσης.

Πίνακας 37: Αντιπαραβολή της κατηγοριοποίησης των ενεργειακών απαντήσεων για την ενιαία ερμηνεία του ζεύγους μεταβολών πριν και μετά τη διδασκαλία

Κατηγορία Απάντησης	Αρχική		Τελική	
	Αξιολόγηση	Αξιολόγηση	Αξιολόγηση	Αξιολόγηση
Ερμηνεία με βάση την ιδέα της διάδοσης ενέργειας	-	-	17	52
Ερμηνεία με αόριστη αναφορά στην ενέργεια	12	100	16	48

Τέλος, μια τέταρτη ένδειξη που αξιοποιήθηκε για την τεκμηρίωση του μαθησιακού οφέλους που αποκόμισαν οι μαθητές αναφορικά με την κατανόηση για το διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας και τη δυνατότητα που παρέχει για ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών, συνδέεται με την επικάλυψη ενεργειακών απαντήσεων ανάμεσα στις περιπτώσεις της ερμηνείας μεμονωμένων μεταβολών και της ενιαίας ερμηνείας του ζεύγους μεταβολών, πριν και μετά τη διδασκαλία. Ειδικότερα, διερευνήθηκε ο βαθμός στον οποίο οι μαθητές που αναφέρθηκαν στην ενέργεια στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν κάποια από τις μεμονωμένες μεταβολές έδωσαν επίσης ενεργειακή απάντηση στο ερώτημα για την ενιαία ερμηνεία του ζεύγους των μεταβολών. Αυτή η προσέγγιση στηρίζεται στη θέση ότι αυτή η πληροφόρηση έχει συνέπειες για το βαθμό στον οποίο οι μαθητές εκτιμούν την ενοποιητική δυνατότητα της ενέργειας. Για παράδειγμα, το ποσοστό των μαθητών που καταφεύγουν στην ενέργεια για την ερμηνεία τουλάχιστον ενός από τα μεμονωμένα συστήματα αλλά αποτυγχάνουν να παρέχουν ενεργειακή απάντηση για το δεύτερο ερώτημα που ζητά ενιαία ερμηνεία του ζεύγους των μεταβολών, αποτελεί ένδειξη της αδυναμίας των μαθητών να αντιληφθούν αυτό το χαρακτηριστικό της ενέργειας.

Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας των δεδομένων συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα. Οι δύο πρώτες στήλες προσδιορίζουν τους πιθανούς συνδυασμούς για τα δύο επίπεδα (παρουσία ή απουσία ενεργειακών απαντήσεων) της κάθε μεταβλητής (ερμηνεία μεμονωμένης μεταβολής και ερμηνεία ζεύγους μεταβολών). Στις υπόλοιπες δύο στήλες φαίνονται οι συχνότητες των απαντήσεων που αντιστοιχούν στον κάθε συνδυασμό πριν και μετά τη διδασκαλία.

Πίνακας 38: Επικάλυψη ενεργειακών ερμηνειών για μεμονωμένες μεταβολές και ζεύγη μεταβολών πριν και μετά τη διδασκαλία

Ενεργειακή ερμηνεία για κάποια (ή και τις δύο μεταβολές)	Ενεργειακή ερμηνεία για το ζεύγος μεταβολών	Αρχική Αξιολόγηση	Τελική Αξιολόγηση
0	0	14 (25%)	4 (7%)
1	1	11 (20%)	31 (56%)
1	0	29 (53%)	18 (33%)
0	1	1 (2%)	2 (4%)

Ο πρώτος συνδυασμός αφορά στους μαθητές οι οποίοι απέφυγαν να αναφερθούν στην ενέργεια, τόσο στην περίπτωση των δύο μεμονωμένων μεταβολών όσο και στην κοινή εξήγηση. Η σύγκριση ανάμεσα στις απαντήσεις πριν και μετά τη διδασκαλία καταδεικνύει μια σημαντική μείωση της συχνότητας αυτού του μοτίβου απάντησης (από 25% σε 7%) και παρέχει μια ενθαρρυντική ένδειξη για την επίδραση της διδασκαλίας. Ο δεύτερος συνδυασμός αφορά στους μαθητές που αναφέρθηκαν στην ενέργεια τόσο στην ερμηνεία μεμονωμένων μεταβολών όσο και στην ενιαία ερμηνεία του ζεύγους μεταβολών. Η αύξηση που παρατηρήθηκε μετά τη διδασκαλία στο ποσοστό των μαθητών που απάντησαν με αυτό τον τρόπο (από 20% σε 56%) ενισχύει περαιτέρω τη θετική ένδειξη για την επίδραση της διδασκαλίας στην κατανόηση των μαθητών για το διαφανομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας.

Ο τρίτος συνδυασμός, ο οποίος ενδεχομένως παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, αφορά στους μαθητές που αναφέρθηκαν στην ενέργεια εξηγώντας κάποια από τις δύο – ή και τις δύο- μεμονωμένες μεταβολές αλλά απέφυγαν να δώσουν ενεργειακή απάντηση στην περίπτωση της ενιαίας ερμηνείας τους. Αντίθετα, απέδωσαν το ζεύγος των μεταβολών σε άλλες έννοιες ή απέτυχαν να προτείνουν μια κοινή εξήγηση. Πιο κάτω

παρατίθενται δύο ενδεικτικά αποσπάσματα από τη συνέντευξη με δύο μαθητές πριν από τη διδασκαλία.

Ερευνητής: *Μπορείς να μου δώσεις μια εξήγηση για την περιστροφή των πτερυγίων του ανεμιστήρα; Τι είναι αυτό που τα κάνει να γυρίζουν;*

Μαθητής: *Η μπαταρία έχει ενέργεια και τη δίνει στα πτερύγια και τα κάνει να γυρίζουν.*

Ερευνητής: *Μπορείς να μου δώσεις μια εξήγηση για την περιστροφή των πτερυγίων του ανεμόμυλου; Τι είναι αυτό που τα κάνει να γυρίζουν;*

Μαθητής: *Ο άνεμος τα κάνει να γυρίζουν με τη δύναμή του.*

Ερευνητής: *Προηγουμένως μου εξήγησες χωριστά γιατί γυρίζουν τα πτερύγια του ανεμιστήρα και του ανεμόμυλου. Μπορείς τώρα να μου δώσεις μία μόνο εξήγηση και γιατί περιστρέφονται τα πτερύγια του ανεμιστήρα και γιατί περιστρέφονται τα πτερύγια του ανεμόμυλου;*

Μαθητής: *Όχι.*

Ερευνητής: *Νομίζεις μπορεί να υπάρχει μια μόνο εξήγηση και για τα δύο;*

Μαθητής: *Όχι. Είναι πολύ διαφορετικό αυτό που τα κάνει να γυρίζουν. Το ένα γυρίζει με κάτι φυσικό όπως ο αέρας το άλλο με κάτι που φτιάξαμε, δηλαδή την μπαταρία.*

Ερευνητής: *Προηγουμένως μου εξήγησες χωριστά γιατί γυρίζουν τα πτερύγια του ανεμιστήρα και του ανεμόμυλου. Μπορείς τώρα να μου δώσεις μία μόνο εξήγηση και γιατί περιστρέφονται τα πτερύγια του ανεμιστήρα και γιατί περιστρέφονται τα πτερύγια του ανεμόμυλου;*³⁶

Μαθητής: *Όχι. Το ένα λειτουργεί με ενέργεια και το άλλο με αέρα.*

Πριν από τη διδασκαλία αυτό το μοτίβο απάντησης εμφανίστηκε σε 53% των απαντήσεων των μαθητών. Αυτό υποδηλοί την αποτυχία των μαθητών να εκτιμήσουν το διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας και τη δυνατότητά του να παρέχει ένα ενιαίο ερμηνευτικό πλαίσιο για μεταβολές σε φυσικά συστήματα. Το ποσοστό αυτό μειώθηκε σε 33% μετά τη διδασκαλία. Αυτή η μείωση αποτελεί ένα πρόσθετο στοιχείο που ενισχύει τον ισχυρισμό ότι η αλληλεπίδραση των μαθητών με το διδακτικό υλικό συνέβαλε στη βελτίωση της κατανόησής τους για τη δυνατότητα που παρέχει η ενέργεια

³⁶ Αυτός ο μαθητής είχε αποδώσει τη λειτουργία του ηλεκτρικού ανεμιστήρα στη διάδοση ενέργειας από την μπαταρία και την περιστροφή των πτερυγίων του ανεμιστήρα στο αέρα που τα σπρώχνει.

για ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών. Ωστόσο είναι σημαντικό να καταγραφεί το σχετικά μεγάλο ποσοστό εμφάνισης αυτού του μοτίβου απάντησης μετά τη διδασκαλία, το οποίο έχει συνέπειες για την αναθεώρηση του διδακτικού υλικού οι οποίες συζητούνται σε επόμενο μέρος του κεφαλαίου.

Ο τέταρτος συνδυασμός αφορά στους μαθητές που ενώ δεν αναφέρθηκαν στην ενέργεια σε καμιά από τις δύο μεμονωμένες μεταβολές κατέφυγαν σε αυτή για την ερμηνεία του ζεύγους των μεταβολών. Η αύξηση των μαθητών που εμφάνισαν αυτό το μοτίβο απάντησης μετά τη διδασκαλία από 2% σε 4% συνάδει επίσης με τη βελτίωση στην κατανόηση των μαθητών για το διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας.

Τα αποτελέσματα αυτής της κωδικοποίησης των δεδομένων στους τέσσερις συνδυασμούς ελέγχθηκαν επίσης με το στατιστικό έλεγχο McNemar, ώστε να αξιολογηθεί κατά πόσο ο αριθμός των μαθητών που πρότειναν ενεργειακή απάντηση για τουλάχιστον ένα από τα δύο μεμονωμένα συστήματα (πρώτο ερώτημα) και μη ενεργειακή απάντηση στο δεύτερο (ενιαία ερμηνεία ζεύγους μεταβολών), ή αντίστροφα, είναι στατιστικά σημαντικός. Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας κατέδειξαν ότι τόσο πριν όσο και μετά τη διδασκαλία αυτός ο αριθμός είναι αρκετά μεγάλος, ώστε να οδηγεί σε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ($p < 0.001$). Συνεπώς, παρά την αισθητή μείωση, μετά τη διδασκαλία, του ποσοστού των μαθητών που κατέφυγαν στην ενέργεια για την ερμηνεία μιας από τις δύο μεταβολές αλλά απέτυχαν να δώσουν ενεργειακή απάντηση στο ερώτημα για κοινή ερμηνεία του ζεύγους μεταβολών τα δεδομένα εισηγούνται ότι ο αριθμός των μαθητών εξακολουθεί να είναι μεγάλος και φανερώνουν την ανάγκη για αναθεώρηση του διδακτικού υλικού, ώστε να ενισχυθεί και να αναβαθμισθεί ο διδακτικός χειρισμός του οποίου τυγχάνει η συγκεκριμένη μαθησιακή επιδίωξη. Αυτό το ζήτημα συζητείται σε περισσότερη λεπτομέρεια, στο καταληκτικό μέρος της ενότητας.

6.3.3. Ικανότητα των μαθητών για ενεργειακή ανάλυση συστημάτων

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη διακρίβωση του βαθμού προώθησης αυτής της επιδίωξης περιλαμβάνει δύο πτυχές. Η πρώτη εστιάζεται στην αξιολόγηση του βαθμού επάρκειας των μαθητών αναφορικά με την ενεργειακή ανάλυση άγνωστων συστημάτων με το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας. Η δεύτερη επικεντρώνεται στην αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών για την ιδιότητα της ενέργειας να διατηρείται σταθερή σε ποσότητα και να υποβαθμίζεται σε ποιότητα. Οι δύο αυτές πτυχές θεωρήθηκε ότι λειτουργούν συμπληρωματικά διαμορφώνοντας ευκρινέστερη εικόνα για το βαθμό

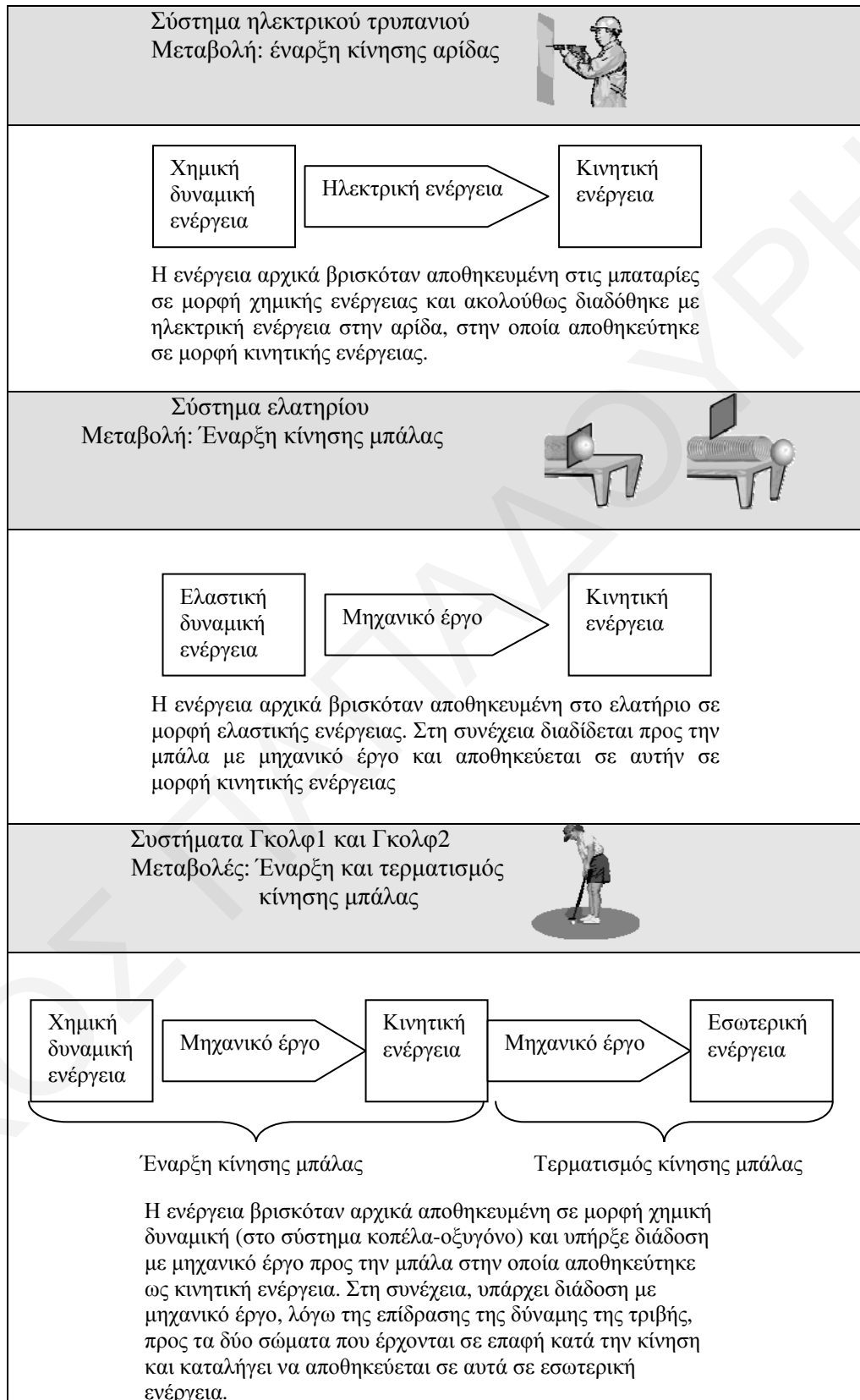
υλοποίησης της μαθησιακής επιδίωξης. Η καθεμιά από αυτές τις πτυχές συζητείται σε χωριστό μέρος της ενότητας.

6.3.3.α. Ενεργειακή ανάλυση συστημάτων

Η ικανότητα των μαθητών για ενεργειακή ανάλυση αξιολογήθηκε στο πλαίσιο τριών απλών συστημάτων, τα οποία δεν είχαν μελετηθεί προηγουμένως κατά την εφαρμογή του διδακτικού υλικού. Το πρώτο σύστημα αφορά στην περίπτωση ενός συμπιεσμένου ελατηρίου που αφήνεται ελεύθερο και καθώς επανέρχεται στη θέση του σπρώχνει μια μπάλα η οποία αρχίζει να κινείται. Το δεύτερο, αναφέρεται σε μια κοπέλα που χτυπά με το μπαστούνι του γκολφ ένα μπαλάκι, το οποίο αρχίζει να ολισθαίνει κατά μήκος ενός οριζόντιου δαπέδου και, ακολούθως, επιβραδύνεται σταδιακά μέχρι που σταματά εντελώς η κίνησή του³⁷. Σε αυτή την περίπτωση ζητήθηκε από τους μαθητές να αναπαραστήσουν αρχικά τη μεταβολή της έναρξης της κίνησης και, σε δεύτερο στάδιο, να απαντήσουν χωριστά πώς θα επέκτειναν την ενεργειακή τους αλυσίδα, ώστε να αναπαριστά τον τερματισμό της κίνησης. Τέλος, το τρίτο σύστημα περιλαμβάνει έναν εργάτη που χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρικό τρυπάνι, το οποίο λειτουργεί με μπαταρίες, για να ανοίξει μια τρύπα σε τοίχο. Σε αυτή την περίπτωση ζητείται από τους μαθητές να εστιάσουν την προσοχή τους στη μεταβολή που αφορά στην έναρξη της περιστροφικής κίνησης της αρίδας. Παρόλο που τα πιο πάνω συστήματα περιλαμβάνουν πρόσθετες μεταβολές (π.χ. ήχος) ζητήθηκε από τους μαθητές να εστιάσουν την προσοχή τους αποκλειστικά στις προαναφερθείσες μεταβολές, οι οποίες συνοψίζονται στο διάγραμμα 22. Σε αυτό το διάγραμμα παρατίθενται επίσης οι επιδιωκόμενες ενεργειακές αλυσίδες, τόσο σε διαγραμματική όσο και σε λεκτική μορφή, για το κάθε σύστημα, με βάση το επίπεδο λεπτομέρειας και εννοιολογικού βάθους στο οποίο ήταν στοχευμένο το διδακτικό υλικό.

³⁷ Σε κάποιο στάδιο της εφαρμογής της διδασκαλίας επισημάνθηκε, στο πλαίσιο των προπαρασκευαστικών συναντήσεων ένα ζήτημα αναφορικά με την εγκυρότητα του τρόπου με τον οποίο προσεγγίζεται η τριβή. Συγκεκριμένα, εάν η μπάλα εκτελεί περιστροφική κίνηση κατά μήκος του δαπέδου και μεταφέρεται χωρίς να ολισθαίνει τότε η τριβή δεν μειώνει την κινητική ενέργεια και δεν οδηγεί σε διάδοση ενέργειας με μηχανικό έργο. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι μαθητές δεν διαφοροποιούσαν ανάμεσα σε κύλιση και ολίσθηση της μπάλας σε σχέση με τη λειτουργία του συστήματος (αυτό διασφαλίστηκε στο πλαίσιο των συνεντεύξεων) θεωρήθηκε σκόπιμο να επαναχρησιμοποιηθεί στην τελική αξιολόγηση, εφόσον το ζήτημα που προκύπτει δεν αφορά στους συγκεκριμένους μαθητές. Το έργο αξιολόγησης αναθεωρήθηκε, αντικαθιστώντας το σύστημα με ένα μικρό κιβώτιο που σπρώχνεται στιγμιαία και αρχίζει να ολισθαίνει κατά μήκος ενός διαδρόμου, ώστε σε επόμενη εφαρμογή του διδακτικού υλικού να λυθεί το πρόβλημα εγκυρότητας που παρουσιάστηκε.

Διάγραμμα 22: Σύνοψη έργου αξιολόγησης ικανότητας ενεργειακής ανάλυσης και αναμενόμενων απαντήσεων



Τα δύο από τα τρία συστήματα (ηλεκτρικό τρυπάνι και γκολφ) αποτελούν αναθεωρημένες εκδοχές των αντίστοιχων έργων αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πιλοτική εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα με το γκολφ επεκτάθηκε, ώστε να αναφέρεται τόσο στην έναρξη όσο και στη λήξη της κίνησης της μπάλας ενώ στην περίπτωση του ηλεκτρικού τρυπανιού καθορίζεται ότι λειτουργεί με μπαταρίες, ώστε να αποφευχθεί η περιπλοκή που παρουσίαζε η προηγούμενη εκδοχή, όπου η αρχική αποθήκευση ενέργειας συνδεόταν με τη λειτουργία του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού. Το τρίτο σύστημα (ελατήριο-μπάλα) χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά στο πλαίσιο της δεύτερης εφαρμογής του διδακτικού υλικού.

6.3.3.a.1 Πρόσθετα μεθοδολογικά στοιχεία

Στη συνέχεια παρατίθενται κάποια μεθοδολογικά στοιχεία τα οποία δεν έχουν αναφερθεί προηγουμένως αφού αφορούν ειδικά στην αξιολόγηση της ικανότητας των μαθητών να υλοποιούν ενεργειακή ανάλυση συστημάτων.

Διαδικασία συλλογής δεδομένων

- Αρχική αξιολόγηση

Για την αξιολόγηση των μαθητών πριν από τη διδασκαλία χρησιμοποιήθηκε ένα μόνο από τα τρία συστήματα (ηλεκτρικό τρυπάνι). Αυτό κρίθηκε σκόπιμο δεδομένης της προηγούμενης εμπειρίας από την πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού, όπου διαφάνηκε ότι οι μαθητές δεν διαθέτουν ενημερωμένο σκεπτικό για ενεργειακή ανάλυση. Συνεπώς, θεωρήθηκε χρήσιμο να μειωθεί ο χρόνος που παραχωρήθηκε για την αρχική αξιολόγηση του συγκεκριμένου ζητήματος περιορίζοντας τη συλλογή δεδομένων στο πλαίσιο ενός μόνο συστήματος.

- Τελική αξιολόγηση

Για την τελική αξιολόγηση αξιοποιήθηκαν και τα τρία συστήματα και το καθένα χορηγήθηκε σε δύο παραλλαγές. Πιο συγκεκριμένα, τα τρία συστήματα δόθηκαν αρχικά στους μαθητές χωρίς να τους δίνεται οποιοδήποτε βοήθημα αναφορικά με πιθανές μορφές αποθηκευμένης ενέργειας και διεργασίες διάδοσης (αυτή η συνθήκη θα αναφέρεται στη συνέχεια ως πρώτο δοκίμιο). Αυτή η προσέγγιση αποκλίνει από το πρότυπο ανάλυσης που ακολουθούσαν οι μαθητές για την ενεργειακή ανάλυση συστημάτων κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του διδακτικού υλικού. Πιο συγκεκριμένα, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο πέμπτο κεφάλαιο, η ενεργειακή ανάλυση των συστημάτων στην τάξη γινόταν ηλεκτρονικά αξιοποιώντας ένα σχετικό εργαλείο το οποίο συνόψιζε όλες τις μορφές αποθήκευσης

ενέργειας και τις διεργασίες διάδοσης, που παρουσιάστηκαν στο διδακτικό υλικό. Συνεπώς, οι μαθητές μπορούσαν να στηριχθούν σε αυτό το εργαλείο για να επιλέξουν τις μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης που θεωρούσαν ότι συνδέονταν με το υπό μελέτη σύστημα και να τις σειροθετήσουν. Η διάσταση ανάμεσα στη διαδικασία ενεργειακής ανάλυσης στο πλαίσιο της διδασκαλίας και της αξιολόγησης αύξησε σημαντικά το βαθμό δυσκολίας του έργου.

Η δεύτερη παραλλαγή των έργων αξιολόγησης (η οποία θα αναφέρεται στη συνέχεια ως δεύτερο δοκίμιο) ήταν σχεδιασμένη, ώστε να αναπαράγει το πλαίσιο ανάλυσης συστημάτων που εφαρμόστηκε κατά τη διδασκαλία. Συγκεκριμένα, εκτός από την περιγραφή των συστημάτων, οι μαθητές είχαν επίσης πρόσβαση, σε έντυπη μορφή, σε ένα παρόμοιο βοήθημα με εκείνο που είχαν στη διάθεσή τους για την κατασκευή ενεργειακών αλυσίδων κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το δεύτερο δοκίμιο δινόταν στους μαθητές αφού είχαν επιστρέψει συμπληρωμένο το πρώτο και, συνεπώς, δεν είχαν τη δυνατότητα να τροποποιήσουν τις αρχικές τους απαντήσεις.

Διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν αναπτύχθηκε σε τρεις κατευθύνσεις. Αρχικά, η κάθε ενεργειακή αλυσίδα που πρότειναν οι μαθητές για την πορεία που ακολουθεί η ενέργεια (λεκτική ή διαγραμματική) αντιμετωπίστηκε ως μια ενιαία μονάδα και αξιολογήθηκε ο βαθμός στον οποίο οι μαθητές ήταν ικανοί να διεκπεραιώνουν πλήρη ενεργειακή ανάλυση άγνωστων συστημάτων ενσωματώνοντας με έγκυρο τρόπο τις μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας που συνδέονται με την υπό μελέτη μεταβολή. Για το σκοπό αυτό, οι ενεργειακές αλυσίδες που πρότειναν οι μαθητές κωδικοποιήθηκαν σε μια διατακτική κλίμακα ανάλογα με το βαθμό στον οποίο ταυτίζονταν με την επιδιωκόμενη ενεργειακή αλυσίδα. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση του κάθε συστήματος δινόταν ένας βαθμός για το καθένα από τα στοιχεία (μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας) που ενσωματώθηκαν στην κατάλληλη θέση. Στις περιπτώσεις των συστημάτων *Ελατήριο* και *Ηλεκτρικό Τρυπάνι*, οι οποίες περιλαμβάνουν τρία στοιχεία, ο μέγιστος δυνατός βαθμός ήταν το τρία (στην περίπτωση όπου αναγνωρίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε σωστή θέση στην αλυσίδα οι δύο μορφές αποθηκευμένης ενέργειας και η σχετική διεργασία διάδοσης) και ο ελάχιστος το μηδέν (στην περίπτωση όπου είτε δεν εντοπίστηκε ορθά είτε δεν εντάχθηκε σε κατάλληλη θέση, κανένα από τα τρία στοιχεία της ενεργειακής αλυσίδας). Στην περίπτωση του συστήματος

Γκολφ το οποίο περιλαμβάνει δύο μεταβολές προέκυψαν δύο διαφορετικές κωδικοποιήσεις. Η πρώτη περιορίστηκε στη μεταβολή της έναρξης της κίνησης, ενώ η δεύτερη εστιάστηκε αποκλειστικά στον τερματισμό της. Έτσι, η κλίμακα για την πρώτη κωδικοποίηση κυμαίνεται από το μηδέν μέχρι το τρία ενώ η δεύτερη εκτείνεται από το μηδέν μέχρι το δύο. Στο υπόλοιπο μέρος της ενότητας, θα γίνεται χωριστή αναφορά στην καθεμιά από αυτές τις δύο περιπτώσεις ως Γκολφ1 (έναρξη κίνησης μπάλας) και Γκολφ2 (τερματισμός κίνησης μπάλας).

Η δεύτερη κατεύθυνση στην οποία αναπτύχθηκε η επεξεργασία των δεδομένων έθεσε ως μονάδα ανάλυσης το κάθε μεμονωμένο στοιχείο των ενεργειακών αναλύσεων που πρότειναν οι μαθητές. Ειδικότερα, η κάθε ενεργειακή αλυσίδα κωδικοποιήθηκε στο επίπεδο των επιμέρους στοιχείων που τη συνθέτουν (π.χ., μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας). Με βάση αυτή την κωδικοποίηση υπολογίστηκε το ποσοστό επιτυχίας για την κάθε μορφή αποθήκευσης και διεργασία διάδοσης της ενέργειας και καταγράφηκαν οι εναλλακτικές επιλογές στις οποίες κατέφυγαν οι μαθητές.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δύο κωδικοποιήσεις που αναφέρθηκαν πιο πάνω εκτέθηκαν επίσης σε στατιστική επεξεργασία, όπου ήταν σκόπιμο, με την εφαρμογή των κατάλληλων ελέγχων και κριτηρίων, ώστε να ανιχνευθούν και να τεκμηριωθούν τυχόν συστηματικές διαφοροποιήσεις, είτε στον τρόπο με τον οποίο απάντησαν οι μαθητές στο πρώτο και στο δεύτερο δοκίμιο, είτε στο βαθμό επιτυχίας σε συγκεκριμένες μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης της ενέργειας. Επίσης, η στατιστική επεξεργασία αξιοποιήθηκε για την αξιολόγηση της συνοχής των ενεργειακών αναλύσεων των μαθητών, όπως συζητείται στη συνέχεια.

Η τρίτη κατεύθυνση της επεξεργασίας δεδομένων αφορά στις απαντήσεις των μαθητών κατά τις συνεντεύξεις. Αυτή η πηγή δεδομένων επιτέλεσε ιδιαίτερα χρήσιμο ρόλο ως προς τις προηγούμενες δύο κατευθύνσεις. Τα δεδομένα των συνεντεύξεων ενημέρωσαν σημαντικά την προσπάθεια ερμηνείας του σκεπτικού των μαθητών και των τάσεων που εντοπίστηκαν στις απαντήσεις τους. Συγκεκριμένα, συνέβαλαν στην ανίχνευση των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν αναφορικά με το ρόλο διαφόρων μορφών αποθήκευσης και διεργασιών διάδοσης της ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων και στην αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο οι ορθές απαντήσεις προέκυπταν ως προϊόν κατανόησης ή ως αποτέλεσμα μηχανικής ή τυχαίας επιλογής.

6.3.3.α2.Αποτελέσματα

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων. Αρχικά γίνεται μια σύντομη αναφορά στα δεδομένα που προέκυψαν κατά την αξιολόγηση πριν από τη διδασκαλία. Ακολούθως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των απαντήσεων των μαθητών μετά τη διδασκαλία, πρώτα για την κωδικοποίηση των ενεργειακών αλυσίδων ως ενιαία σύνολα και ακολούθως για τα μεμονωμένα στοιχεία τους. Η παρουσίαση γίνεται χωριστά για το κάθε σύστημα και, όπου είναι χρήσιμο, εμπλουτίζεται με δεδομένα από τις συνεντεύξεις, ώστε να διαμορφώνεται πληρέστερη εικόνα.

Αρχική αξιολόγηση

Πριν από τη διδασκαλία, όπως και στην περίπτωση της πιλοτικής εφαρμογής, πολλοί μαθητές δεν ήταν σε θέση να ερμηνεύσουν το περιεχόμενο του όρου «πορεία που ακολουθεί η ενέργεια». Έτσι, κατέληγαν σε μεγάλο βαθμό, σε άσχετες απαντήσεις περιγράφοντας συνήθως μια σειρά από αντικείμενα τα οποία συνέδεαν με τη μεταβολή. Για παράδειγμα, ένας από τους μαθητές ανέφερε ότι «η ενέργεια πάει από την μπαταρία στο τρυπάνι, στην αρίδα και μετά στον τοίχο».

Επίσης, τα δεδομένα κατέδειξαν την τάση των μαθητών να ταυτίζουν την ενέργεια με τον ηλεκτρισμό, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα απάντησης: «Πάει από την πρίζα στο τρυπάνι μέσα από το καλώδιο και μετά επιστρέφει πίσω.» Η εμφάνιση αυτής της τάσης είναι πιθανό να ευνοήθηκε από τη διατύπωση του ερωτήματος και πιο συγκεκριμένα από την αναφορά στον όρο «πορεία που ακολουθεί η ενέργεια». Η αδυναμία των μαθητών να προσδώσουν νόημα σε αυτό τον όρο σε συνδυασμό με τη δυνατότητά τους να τον ερμηνεύσουν στο πλαίσιο της λειτουργίας ηλεκτρικών κυκλωμάτων (π.χ. πορεία που ακολουθεί το ηλεκτρικό ρεύμα), ενδεχομένως, ενίσχυσε αυτήν την τάση.

Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις των μαθητών συνάδουν με τα δεδομένα από τις γραπτές απαντήσεις τους αφού και σε αυτό το πλαίσιο ήταν προφανής η αδυναμία των μαθητών να προσδώσουν νόημα στο ερώτημα. Όσοι μαθητές απάντησαν στο ερώτημα κατέληξαν είτε να περιγράφουν την πορεία που θεωρούσαν ότι ακολουθεί το ηλεκτρικό ρεύμα είτε να παραθέτουν μια αλληλουχία αντικειμένων τα οποία πίστευαν ότι συμβάλλουν στη λειτουργία του συστήματος. Μια ενδεικτική δήλωση ενός μαθητή στο πλαίσιο της συνέντευξης είναι η εξής:

«Η ενέργεια στην αρχή ήταν στην πρίζα μετά πήγε στο τρυπάνι μέσα από τα καλώδια και άρχισε να γυρίζει.»

Ένα πρόσθετο στοιχείο που χαρακτηρίζει τα δεδομένα από την αρχική αξιολόγηση είναι ότι κανένας μαθητής, ούτε στο πλαίσιο των συνεντεύξεων ούτε στο πλαίσιο των γραπτών έργων αξιολόγησης, δεν έδωσε απάντηση που θα μπορούσε να θεωρηθεί συμβατή με την ιδέα της διάδοσης ενέργειας ή της μετατροπής της μορφής της. Επίσης, κανένας μαθητής δεν αναφέρθηκε σε μορφές ενέργειας και αυτό αποτελεί πρόσθετη ένδειξη της αδυναμίας των μαθητών να αναλύσουν ενεργειακά τη λειτουργία συστημάτων, πριν από τη διδασκαλία, και στηρίζει την επιλογή για περιορισμό της αξιολόγησης στο πλαίσιο ενός μόνο συστήματος.

Τελική αξιολόγηση

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της τελικής αξιολόγησης είναι δομημένη σε δύο μέρη. Το πρώτο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των ενεργειακών αλυσίδων που πρότειναν οι μαθητές ως ενιαίων οντοτήτων και το δεύτερο αφορά στην επεξεργασία των επιμέρους στοιχείων τους (μορφές αποθήκευσης ενέργειας και διεργασίες διάδοσης). Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται χωριστά οι απαντήσεις των μαθητών στα δύο δοκίμια (ενεργειακή ανάλυση χωρίς πρόσβαση και με πρόσβαση στο σχετικό βοήθημα, αντίστοιχα), ενώ στην περίπτωση του δεύτερου μέρους συζητούνται παράλληλα.

- *Βαθμός επάρκειας αναφορικά με την κατασκευή ολοκληρωμένων ενεργειακών αλυσίδων.*

α. πρώτο δοκίμιο

Στην περίπτωση του πρώτου δοκιμίου, όπου οι μαθητές δεν είχαν πρόσβαση στο βοήθημα, ένα μεγάλο ποσοστό τους απέφυγε να επιχειρήσει ενεργειακή ανάλυση για το υπό μελέτη σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, σε 87 από το σύνολο των 186 περιπτώσεων³⁸ (47%) δεν υπήρξε προσπάθεια ενεργειακής ανάλυσης. Σε δεκατρείς από αυτές τις περιπτώσεις (15% των απαντήσεων που απέφυγαν την ενεργειακή ανάλυση), οι μαθητές παρέλειψαν εντελώς να δώσουν οποιαδήποτε απάντηση. Οι υπόλοιπες απαντήσεις κατανέμονται στις κατηγορίες που φαίνονται στον πίνακα 39.

Η πρώτη κατηγορία, η οποία είναι η πλησιέστερη στην ιδέα της ενεργειακής ανάλυσης, περιλαμβάνει απαντήσεις που αναγνωρίζουν ρητά τόσο το μέρος του συστήματος στο

³⁸ Αυτός ο αριθμός προκύπτει από το γινόμενο του πλήθους των μαθητών που συμμετείχαν στην αξιολόγηση (N=62) και του πλήθους των συστημάτων (N=3)

οποίο βρισκόταν αρχικά αποθηκευμένη η ενέργεια και το μέρος στο οποίο διαδόθηκε στη συνέχεια, όσο και ένα από τα στοιχεία της αντίστοιχης ενεργειακής αλυσίδας (είτε τη μορφή αρχικής ή τελικής αποθήκευσης είτε τη διεργασία διάδοσης). Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται δεκατρείς απαντήσεις (15% των μαθητών που παρέλειψαν να προτείνουν ενεργειακή ανάλυση) και δύο ενδεικτικά παραδείγματα είναι τα ακόλουθα:

«Η ενέργεια βρισκόταν στις μπαταρίες «χημική δυναμική ενέργεια», πήγε στο τρυπάνι και άρχισε να τρυπά.»

«Η ενέργεια βρισκόταν στο ελατήριο και διαδόθηκε στην μπάλα με μηχανικό έργο.»

Η επόμενη κατηγορία, στην οποία συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο ποσοστό απαντήσεων (N=32, 36% των μαθητών που παρέλειψαν να προτείνουν ενεργειακή ανάλυση) περιλαμβάνει τις απαντήσεις που περιορίστηκαν απλώς στην καταγραφή του μέρους στο οποίο βρισκόταν αρχικά αποθηκευμένη η ενέργεια στο σύστημα και του μέρους στο οποίο διαδόθηκε χωρίς, ωστόσο, να ονομάζεται οποιοδήποτε από τα στοιχεία που συνθέτουν την ενεργειακή αλυσίδα, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα απάντησης: *«Η ενέργεια στην αρχή ήταν στο ελατήριο και πήγε στην μπάλα.»*

Σε ένα άλλο μέρος των απαντήσεων στις οποίες δεν επιχειρήθηκε ενεργειακή ανάλυση (N=12, 14%) δεν υπήρξε αναφορά ούτε σε μέρη του συστήματος που εμπλέκονται στη διάδοση της ενέργειας ούτε σε μορφές αποθήκευσης ή διεργασίες διάδοσης που σχετίζονται με τη λειτουργία του. Αντίθετα, προτάθηκαν ερμηνείες για τις υπό μελέτη μεταβολές οι οποίες παρόλο που στις πλείστες περιπτώσεις (έντεκα από τις δώδεκα)³⁹, στηρίζονταν στην ενέργεια στερούνταν το επίπεδο λεπτομέρειας που χαρακτηρίζει τις ενεργειακές αλυσίδες. Ειδικότερα, οι απαντήσεις αναφέρονταν γενικά στη διάδοση ενέργειας χωρίς να αναγνωρίζουν συγκεκριμένες μορφές αποθήκευσης ή διεργασίες διάδοσης, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα: *«Η μπάλα άρχισε να κινείται επειδή της έδωσε ενέργεια το μαστούνι.»*

Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει δεκαεπτά περιπτώσεις (20%) στις οποίες οι μαθητές περιορίστηκαν αποκλειστικά στην απλή περιγραφή της υπό μελέτη μεταβολής, όπως φαίνεται στα ακόλουθα παραδείγματα.

³⁹ Ο δωδέκατος μαθητής στηρίχθηκε στη δύναμη.

«Η κοπέλα κτύπησε με το μαστούνη την μπάλα η μπάλα αρχίζει να κινείται και να γλιστρά στο έδαφος. Σε κάποια στιγμή σταματά να κινείται.»

«Πρώτα η κοπέλα κτυπά την μπάλα και αυτή αρχίζει να κινείται. Η μπάλα έχει τριβή πάνω στο έδαφος και γι' αυτό σε ένα σημείο σταματά.»

Πίνακας 39: Κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι απαντήσεις των μαθητών που απέφυγαν να προτείνουν ενεργειακές αλυσίδες

Κατηγορία Απάντησης	Ελατήριο	Γκολφ	Ηλ. Τρυπάνι	N	%
Προσδιορισμός (α) του μέρους στο οποίο βρισκόταν αρχικά αποθηκευμένη η ενέργεια και του μέρους στο οποίο διαδόθηκε, και (β) είτε κάποιας από τις σχετικές μορφές αποθήκευσης είτε της διεργασίας διάδοσης	5	3	4	13	15
Προσδιορισμός τόσο του μέρους στο οποίο βρισκόταν αρχικά αποθηκευμένη η ενέργεια όσο και του μέρους στο οποίο διαδόθηκε	11	10	11	32	36
Ερμηνεία φαινομένου	5	3	4	12	14
Περιγραφή παρατηρήσεων	7	8	3	17	20
Καμιά απάντηση	4	5	4	13	15

Στις υπόλοιπες περιπτώσεις απαντήσεων (99 από τις 186, (53%)) οι μαθητές επιχείρησαν να προτείνουν ενεργειακή αλυσίδα για τα υπό μελέτη συστήματα. Οι μαθητές επέλεξαν να εκφράσουν τις ενεργειακές τους αλυσίδες κυρίως διαγραμματικά και σε μικρότερο βαθμό λεκτικά. Το ποσοστό των μαθητών που είχαν εμπλακεί στη διαδικασία ενεργειακής ανάλυσης διαφοροποιείται σημαντικά ανάμεσα στις τέσσερις περιπτώσεις μεταβολών,

όπως φαίνεται στον πίνακα 40. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό συμμετοχής κυμαίνεται από 27% στην περίπτωση του συστήματος Γκολφ₂ σε 58%, στην περίπτωση του ηλεκτρικού τρυπανιού. Ενδιάμεσα αυτών των δύο περιπτώσεων βρίσκονται τα συστήματα Ελατήριο και Γκολφ₁ με ποσοστά συμμετοχής 48% και 53%, αντίστοιχα.

Πίνακας 40: Συχνότητα και ποσοστό μαθητών που είχαν εμπλακεί στη διαδικασία της ενεργειακής ανάλυσης, ανά σύστημα

Σύστημα	N	%
Ελατήριο	30	48
Γκολφ1	33	53
Γκολφ2	17	27
Ηλεκτρικό Τρυπάνι	36	58

Στον πίνακα 41 συνοψίζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της κωδικοποίησης των απαντήσεων αυτών των μαθητών ως προς την ικανότητά τους να προτείνουν ενιαίες, συγκροτημένες ενεργειακές αλυσίδες για την αναπαράσταση της κάθε μεταβολής. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε γραμμή του πίνακα φαίνονται, χωριστά για κάθε σύστημα, η συχνότητα και το ποσοστό των μαθητών που επεσήμαναν ορθά το πλήθος στοιχείων της αναμενόμενης ενεργειακής αλυσίδας που καθορίζεται στην πρώτη στήλη.

Πίνακας 41: Επίδοση μαθητών ως προς την εγκυρότητα των ενεργειακών αναλύσεων που πρότειναν για το κάθε σύστημα στο πρώτο δοκίμιο

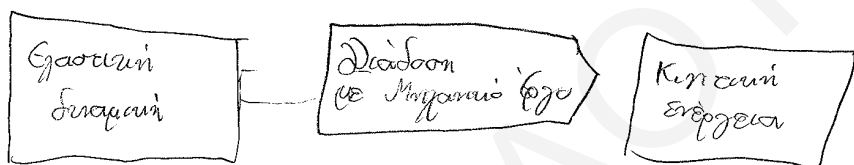
Αριθμός στοιχείων που εντοπίστηκαν ορθά	Ελατήριο		Γκολφ1		Γκολφ2		Ηλ. Τρυπάνι	
	N	%	N	%	N	%	N	%
0	-	-	-	-	1	6	1	3
1	6	20	2	6	4	24	4	11
2	9	30	8	24	12	70	16	44
3	15	50	23	70	-	-	15	42

Όπως φαίνεται στον πίνακα 41 ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών (56% συνολικά) που επιχείρησαν να υλοποιήσουν ενεργειακή ανάλυση πρότειναν έγκυρες και πλήρεις περιγραφές οι οποίες αναφέρονταν τόσο στην αρχική και τελική μορφή αποθήκευσης όσο και στη σχετική διεργασία διάδοσης που μεσολαβεί ανάμεσά τους. Αυτό το ποσοστό

επιτυχίας παρουσιάζει σημαντική διακύμανση ανάμεσα στις τέσσερις μεταβολές. Πιο κάτω συζητείται χωριστά η κάθε μεταβολή.

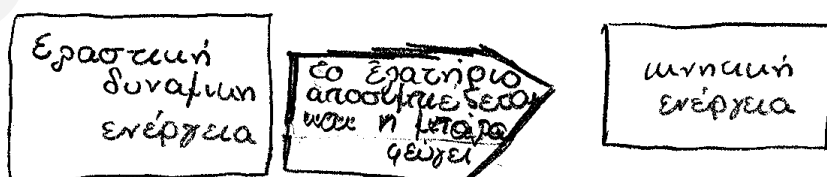
Ελατήριο: έναρξη κίνησης της μπάλας

Οι μισοί από τους μαθητές (N=15, 50%) που επιχειρήσαν ενεργειακή ανάλυση, ήταν σε θέση να προτείνουν μια πλήρη και έγκυρη ενεργειακή αλυσίδα, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα. Τα δύο αυτά παραδείγματα, τα οποία προτάθηκαν από διαφορετικούς μαθητές, είναι ενδεικτικά της ικανότητάς τους να αναπαριστούν την πορεία διάδοσης της ενέργειας. Επιπρόσθετα, το πρώτο παράδειγμα, φανερώνει επίσης την ικανότητα των μαθητών να διακρίνουν ανάμεσα σε μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης της ενέργειας.



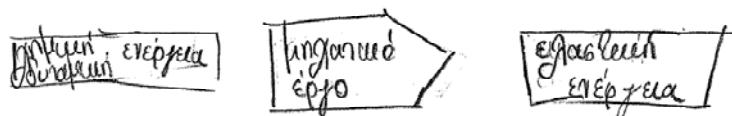
«Η ενέργεια αρχικά ήταν αποθηκευμένη στο συμπιεσμένο ελατήριο σε ελαστική δυναμική ενέργεια, μετά διαδόθηκε με μηχανικό έργο στη μπάλα και έγινε κινητική ενέργεια.»

Εννιά (30%) από τους υπόλοιπους μαθητές έχουν αναπαραστήσει με έγκυρο τρόπο δύο από τα τρία στοιχεία της, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα. Η ενεργειακή αλυσίδα στο πρώτο παράδειγμα περιλαμβάνει ένα βέλος αλλά περιορίζεται στην περιγραφή μιας παρατήρησης χωρίς να προσδιορίζει τη σχετική διεργασία διάδοσης ενέργειας (μηχανικό έργο). Στο δεύτερο παράδειγμα, αναγνωρίζεται λανθασμένα η χημική ενέργεια, αντί η ελαστική, ως αφετηρία της ενεργειακής αλυσίδας.



«Πρώτα μπαίνει η χημική δυναμική ενέργεια μετά έρχεται η διάδοση με μηχανικό έργο και τέλος η κινητική ενέργεια»

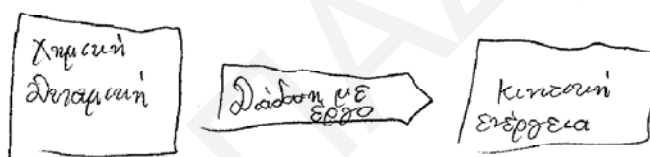
Οι υπόλοιποι μαθητές (N=6, 20%) πέτυχαν να προσδιορίσουν ορθά μόνο ένα στοιχείο της επιδιωκόμενης ενεργειακής αλυσίδας. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα είναι το εξής:



Παρόλο που η πιο πάνω διάταξη περιλαμβάνει ορθά δύο μορφές αποθηκευμένης ενέργειας και μια διεργασία διάδοσης ενέργειας ανάμεσά τους, έχει επιλεγεί λανθασμένα η χημική και η ελαστική ενέργεια, ως αφετηρία και κατάληξη, αντίστοιχα, ενώ προσδιορίστηκε ορθά μόνο η διάδοση ενέργειας με μηχανικό έργο.

Γκολφ₁: Έναρξη κίνησης της μπάλας

Αυτή η μεταβολή χαρακτηρίζεται από το μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας (70%, N=23). Στη συνέχεια παρατίθενται τρία ενδεικτικά παραδείγματα έγκυρων ενεργειακών αναλύσεων (δύο λεκτικές και μια διαγραμματική), που δόθηκαν από τρεις διαφορετικούς μαθητές.



«Η ενέργεια είναι αποθηκευμένη στον άνθρωπο⁴⁰ (χημική δυναμική ενέργεια) μετά ο άνθρωπος σπρώχνει την μπάλα (διάδοση με μηχανικό έργο) με το μπαστόνι και η μπάλα μετακινείται (κινητική ενέργεια).»

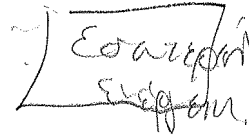
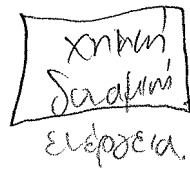
«Πρώτα μπαίνει η χημική δυναμική ενέργεια μετά διάδοση με μηχανικό έργο και τέλος η κινητική ενέργεια.»

Οι περισσότεροι από τους υπόλοιπους μαθητές (N=8, 24%) πέτυχαν να προσδιορίσουν ορθά τις δύο από τις τρεις πτυχές της ενεργειακής αλυσίδας ενώ οι υπόλοιποι μαθητές (N=2, 6%) πέτυχαν μόνο σε μια πτυχή της. Στη συνέχεια φαίνεται ένα παράδειγμα απάντησης για την καθεμιά από τις δύο αυτές περιπτώσεις. Στην πρώτη απάντηση προσδιορίζεται λανθασμένα η τελική μορφή αποθήκευσης (εσωτερική αντί κινητική ενέργεια) ενώ στη δεύτερη εμφανίζεται το ίδιο σφάλμα και, επιπρόσθετα, δεν

⁴⁰ Παρόλο που η ενέργεια αποδίδεται λανθασμένα μόνο στον άνθρωπο αγνοώντας το ρόλο του οξυγόνου (αυτή η δυσκολία συζητείται σε επόμενο μέρος της ενότητας), η απάντηση κατηγοριοποιήθηκε ως ορθή αφού η κωδικοποίηση περιορίστηκε στη δυνατότητα των μαθητών να εντοπίζουν τις σχετικές μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης, αγνοώντας πρόσθετα στοιχεία όπως ο βαθμός στον οποίο προσδιορίζουν ορθά το μέρος του συστήματος στο οποίο αποθηκεύεται η ενέργεια.

προσδιορίζεται καμιά διεργασία διάδοσης, παρόλο που προβλέπεται σχετική θέση στην ενεργειακή αλυσίδα.

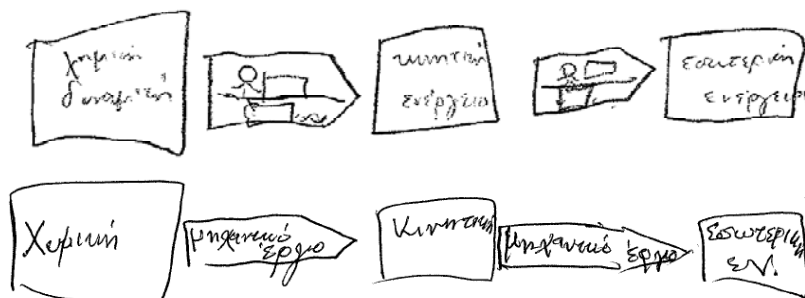
«Πρώτα έρχεται η χημική δυναμική, μετά η διάδοση με μηχανικό έργο και τέλος η εσωτερική ενέργεια.»



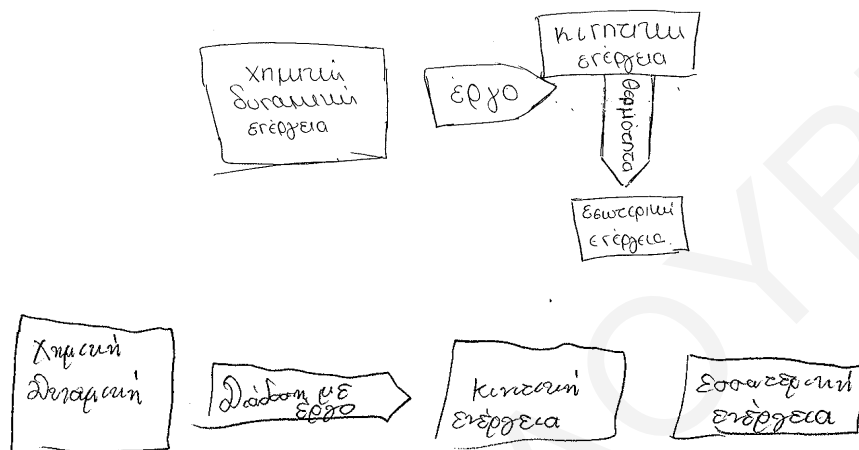
Γκολφ2: Τερματισμός κίνησης μπάλας

Το ποσοστό συμμετοχής των μαθητών σε σχέση με την ανάλυση αυτού του συστήματος ήταν το μικρότερο που παρατηρήθηκε αφού μόνο δεκαεπτά μαθητές (27%) επιχειρήσαν να επεκτείνουν την αλυσίδα που είχαν ήδη κατασκευάσει προηγουμένως για την περιγραφή της έναρξης της κίνησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δεκαέξι από αυτούς είχαν πετύχει προηγουμένως να προσδιορίσουν ορθά και τα τρία στοιχεία της ενεργειακής αλυσίδας για την έναρξη της κίνησης, ενώ ο δέκατος έβδομος μαθητής είχε πετύχει να προσδιορίσει ορθά μόνο δύο από αυτά. Αυτή η μείωση στο ποσοστό συμμετοχής είναι αναμενόμενη και μπορεί να αποδοθεί, κατά ένα μέρος, στην αύξηση της πολυπλοκότητας της ενεργειακής ανάλυσης λόγω της συνδυασμένης αναπαράστασης δύο μεταβολών και, κατά ένα άλλο μέρος, στο βαθμό δυσκολίας που χαρακτηρίζει την ενεργειακή αναπαράσταση του μηχανισμού μείωσης της ταχύτητας ενός κινούμενου αντικειμένου, λόγω της επίδρασης της δύναμης της τριβής. Όπως, συζητείται σε επόμενο μέρος αυτής της ενότητας, οι μαθητές αντιμετώπισαν ιδιαίτερες δυσκολίες με αυτή την πτυχή της λειτουργίας του συστήματος.

Η επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών κατέδειξε ότι δώδεκα μαθητές (70%) προσδιόρισαν ορθά και τα δύο στοιχεία της ενεργειακής αλυσίδας, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.



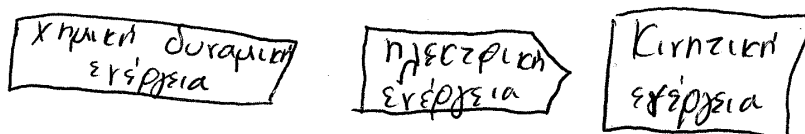
Τέσσερις μαθητές (24%) πέτυχαν να προσδιορίσουν με έγκυρο τρόπο ένα από τα δύο στοιχεία (μηχανικό έργο ή εσωτερική ενέργεια), όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα. Στο πρώτο παράδειγμα προσδιορίζεται λανθασμένα η θερμότητα, αντί το μηχανικό έργο, ως η διεργασία διάδοσης που συνδέεται με τον τερματισμό της κίνησης της μπάλας, ενώ στο δεύτερο δεν προσδιορίζεται καμιά διεργασία διάδοσης αναφορικά με αυτή τη μεταβολή.



Τέλος, ένας μαθητής (6%) απέτυχε να προσδιορίσει ορθά οποιοδήποτε από τα δύο στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα, επέλεξε τη θερμότητα ως τη διεργασία διάδοσης και τερμάτισε σε αυτήν την ενεργειακή αλυσίδα, χωρίς να καθορίζει κάποια μορφή αποθήκευσης της ενέργειας.

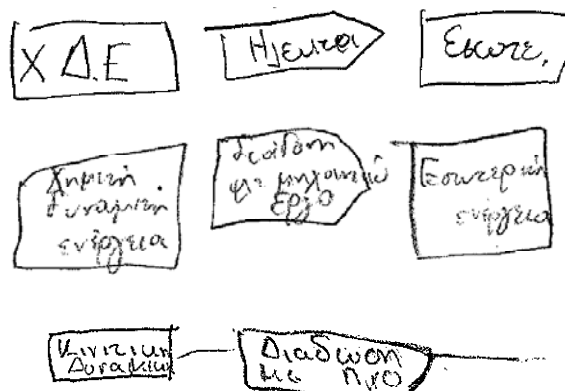
Ηλεκτρικό Τρυπάνι: Έναρξη περιστροφικής κίνησης αρίδας

Δεκαπέντε (42%) από τους μαθητές που επιχείρησαν να αναπαραστήσουν ενεργειακά τη μεταβολή της περιστροφής της αρίδας, ήταν σε θέση να προτείνουν έγκυρη ενεργειακή αλυσίδα, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.



Όπως και στα προηγούμενα συστήματα οι περισσότεροι από τους υπόλοιπους μαθητές (44%, N=16) πέτυχαν να προσδιορίσουν ορθά δύο από τα τρία στοιχεία της ενεργειακής ανάλυσης, 11% των μαθητών (N=4) επεσήμανε μόνο ένα από αυτά και, τέλος, ένας μαθητής (3%) κατέληξε σε μια εντελώς λανθασμένη ενεργειακή αναπαράσταση η οποία δεν προσδιόρισε ορθά κανένα από τα τρία στοιχεία. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα

ενδεικτικό παράδειγμα για την καθεμιά από τις πιο πάνω περιπτώσεις (ορθός προσδιορισμός δύο, ενός και κανενός στοιχείου, αντίστοιχα).



Στο πρώτο παράδειγμα, προσδιορίστηκε λανθασμένα η εσωτερική ενέργεια ως το καταληκτικό μέρος της ενεργειακής αλυσίδας. Στο δεύτερο παράδειγμα, προσδιορίστηκε λανθασμένα τόσο η τελική μορφή αποθήκευσης (εσωτερική αντί κινητική ενέργεια) όσο και η σχετική διεργασία διάδοσης (μηχανικό έργο αντί ηλεκτρική ενέργεια). Τέλος, η τρίτη ενεργειακή αλυσίδα ξεκίνησε με την κινητική, αντί τη χημική ενέργεια, (η οποία παρεμπιπτόντως συνδέθηκε λανθασμένα με τον όρο «δυναμική»), η διεργασία διάδοσης που ενσωματώθηκε ήταν ο ήχος (αντί η ηλεκτρική ενέργεια) και δεν προσδιορίστηκε καμιά μορφή τελικής αποθήκευσης της ενέργειας.

Συνολικά σχόλια

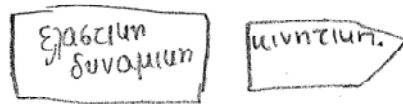
Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών πέτυχε να εφαρμόσει το θεωρητικό πλαίσιο της ενέργειας για να αναπαραστήσει με έγκυρο και ολοκληρωμένο τρόπο τις τέσσερις μεταβολές που παρουσιάζονται στα τρία συστήματα. Αυτοί οι μαθητές ήταν σε θέση να προσδιορίσουν τις σχετικές μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας και, επιπρόσθετα, να τις συνθέσουν, ώστε να συγκροτήσουν ολοκληρωμένες ενεργειακές αλυσίδες. Λαμβάνοντας υπόψη, αφενός, το γεγονός ότι τα τρία συστήματα δεν είχαν μελετηθεί προηγουμένως από τους μαθητές, και, αφετέρου, ότι η ενεργειακή ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε ένα πλαίσιο διαφοροποιημένο από το συμβατικό πλαίσιο στο οποίο εργάζονταν κατά τη διάρκεια των μαθημάτων, λόγω της απουσίας του σχετικού βοηθήματος για την κατασκευή ενεργειακών αλυσίδων, θα μπορούσε κανείς να ερμηνεύσει αυτά τα αποτελέσματα ως μια αξιόπιστη ένδειξη για την ικανότητα των μαθητών για ενεργειακή ανάλυση μεταβολών.

Πιο κάτω συζητούνται μερικά επιμέρους στοιχεία που καταδεικνύουν περαιτέρω το βαθμό επάρκειας των μαθητών αναφορικά με την ενεργειακή ανάλυση. Το πρώτο στοιχείο αφορά στη δυνατότητα που επέδειξαν κάποιοι μαθητές να παρακάμπτουν την τεχνική ορολογία που αφορά στις μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας, μέσω της χρήσης του συμβολικού τρόπου αναπαράστασής τους, ο οποίος αξιοποιήθηκε για την εισαγωγή τους και κατά τα πρώτα στάδια της ενεργειακής ανάλυσης (βλ. πέμπτο κεφάλαιο). Πιο κάτω παρατίθενται δύο παραδείγματα απάντησης, από διαφορετικούς μαθητές, για τα συστήματα *Γκολφ₂* και *Ηλεκτρικό Τρυπάνι*, αντίστοιχα. Ο πρώτος μαθητής χρησιμοποίησε τη συμβολική αναπαράσταση μόνο στην περίπτωση του μηχανικού έργου, ενώ ο δεύτερος στηρίχθηκε αποκλειστικά στις συμβολικές αναπαραστάσεις για όλα τα στοιχεία της ενεργειακής αλυσίδας (χημική ενέργεια, ηλεκτρική ενέργεια και εσωτερική ενέργεια). Παρόλο που η δεύτερη ενεργειακή αλυσίδα δεν μπορεί να θεωρηθεί έγκυρη, αφού καθορίζει την εσωτερική ενέργεια ως την καταληκτική μορφή αποθήκευσης, εξακολουθεί να παρέχει μια χρήσιμη ένδειξη για αυτό το στοιχείο.



Ανεξάρτητα από τη μικρή συχνότητα εμφάνισης αυτού του στοιχείου στις απαντήσεις των μαθητών (εμφανίστηκε συνολικά σε πέντε περιπτώσεις), η ικανότητα τους να καλύπτουν την αδυναμία τους για ανάκληση της τεχνικής ορολογίας καταφεύγοντας στις αντίστοιχες συμβολικές αναπαραστάσεις, αποτελεί μια ένδειξη της κατανόησής τους για το ρόλο που επιτελούν στην ενεργειακή ανάλυση.

Το δεύτερο στοιχείο αφορά στην ικανότητα της συντριπτικής πλειοψηφίας των μαθητών που σχεδίασαν ενεργειακές αλυσίδες να διακρίνουν ανάμεσα σε διεργασίες διάδοσης ενέργειας και μορφές αποθήκευσης ενέργειας, αναπαριστώντας τις, αντίστοιχα, ως βέλος και ορθογώνια. Η λανθασμένη αναπαράσταση μορφών αποθηκευμένης ενέργειας ως βέλος εμφανίστηκε σε δύο μόνο ενεργειακές αλυσίδες οι οποίες προέρχονται από το σύστημα με το ελατήριο, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.



Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε καμιά από τις δύο αυτές ενεργειακές αλυσίδες δεν προσδιορίστηκε οποιαδήποτε άλλη διεργασία διάδοσης ενέργειας. Επομένως, μια πιθανή ερμηνεία για αυτό το φαινόμενο, πέρα από την απόδοσή του στην αποτυχία των μαθητών να διαφοροποιήσουν ανάμεσα στα δύο διακριτά στοιχεία ενεργειακής ανάλυσης, είναι ότι αυτή η προσέγγιση παρείχε μια διέξοδο στην αδυναμία εντοπισμού σχετικής διεργασίας διάδοσης, η οποία συζητείται αργότερα.

Τέλος, το τρίτο στοιχείο σχετίζεται με το μεγάλο βαθμό λεπτομέρειας που παρατηρήθηκε σε κάποιες από τις ενεργειακές αναλύσεις των μαθητών. Αυτό το στοιχείο ανακλάται στην τάση μερικών μαθητών να εμπλουτίζουν, χωρίς να τους έχει ζητηθεί, τις ενεργειακές τους αλυσίδες, ώστε να αναπαριστούν πρόσθετες πτυχές της λειτουργίας του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση του συστήματος Γκολφ2 τέσσερις μαθητές ενσωμάτωσαν στις ενεργειακές τους αλυσίδες τη μεταβολή της μείωσης της θερμοκρασίας του δαπέδου και της μπάλας λόγω της διάδοσης θερμότητας στο περιβάλλον και την αποθήκευσή της σε εσωτερική ενέργεια, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.



Παρά το μικρό μέγεθος του, ο αριθμός ενεργειακών αλυσίδων που εμπλουτίστηκαν με αυτόν τον τρόπο από τους μαθητές, δεδομένου ότι προέκυψαν αυθόρμητα, χωρίς να ζητηθούν από το έργο αξιολόγησης, παρέχει μια χρήσιμη ένδειξη για το βαθμό επάρκειας που είναι λογικό να αναμένεται από τους μαθητές να αναπτύξουν στο πλαίσιο της διδασκαλίας. Αυτός ο ισχυρισμός, ενισχύεται από τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις, τα οποία, όπως συζητείται σε επόμενο μέρος της ενότητας, καταδεικνύουν ότι η πλειοψηφία των μαθητών ήταν σε θέση να προσδιορίσουν ορθά αυτές τις πληροφορίες όταν τους ζητήθηκε.

β. Δεύτερο δοκίμιο

Ο πίνακας 42 παρουσιάζει τα αντίστοιχα ποσοστά επιτυχίας στο δεύτερο δοκίμιο, όπου οι μαθητές είχαν στη διάθεσή τους το βοήθημα στο οποίο στηρίζονταν για την κατασκευή ενεργειακών αλυσίδων κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του διδακτικού υλικού. Αυτό το βοήθημα διασφάλιζε πρόσβαση σε όλες τις μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας που είχαν συναντήσει στο πλαίσιο της εφαρμογής του διδακτικού υλικού.

Πίνακας 42: Επίδοση μαθητών ως προς την εγκυρότητα των ενεργειακών αναλύσεων που πρότειναν για το κάθε σύστημα στο πρώτο και στο δεύτερο δοκίμιο

Πλήθος στοιχείων που εντοπίστηκαν ορθά	Ελατήριο		Γκολφ1		Γκολφ2		Ηλ. Τρυπάνι									
	Δ2		Δ1		Δ2		Δ1		Δ2		Δ1					
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%				
0	-	-	-	-	2	4	-	-	-	-	1	6	-	-	1	3
1	6	10	6	20	5	9	2	6	11	44	4	24	3	5	4	11
2	13	22	9	30	10	17	8	24	14	56	12	70	26	45	16	44
3	41	68	15	50	40	70	23	70					29	50	15	42

Μια διαπίστωση που προκύπτει από τα δεδομένα του πίνακα 42 αφορά στο αυξημένο ποσοστό μαθητών που επιχείρησαν να προτείνουν ενεργειακή ανάλυση (διατυπώνοντάς την είτε λεκτικά είτε διαγραμματικά), συγκριτικά με την περίπτωση του πρώτου δοκιμίου. Αυτή η διαφοροποίηση είναι αναμενόμενη αφού οι μαθητές αξιολογήθηκαν στο οικείο πλαίσιο ενεργειακής ανάλυσης με το οποίο είχαν συνηθίσει να εργάζονται κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας.

Ένα άλλο στοιχείο που αξίζει να σημειωθεί αφορά στη σύγκριση των ποσοστών επιτυχίας στα δυο δοκίμια. Όπως φαίνεται στον πίνακα 42 στις δύο από τις τέσσερις περιπτώσεις (Ελατήριο και Ηλεκτρικό Τρυπάνι), παρατηρήθηκε αύξηση στο ποσοστό των απαντήσεων που προσδιόρισαν ορθά όλα τα στοιχεία της ενεργειακής αλυσίδας. Στην περίπτωση του ελατηρίου οι ορθές απαντήσεις αυξήθηκαν από 50% σε 68%, ενώ στο σύστημα με το ηλεκτρικό τρυπάνι αυξήθηκαν από 42% σε 50%. Στο σύστημα Γκολφ1 δεν προέκυψε οποιαδήποτε μεταβολή ενώ στο σύστημα Γκολφ2 υπήρξε μείωση από 70% σε 56%.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα παρατήρηση αφορά στις απαντήσεις των μαθητών που προσδιόρισαν ορθά ένα ή κανένα στοιχείο της ενεργειακής αλυσίδας. Όπως φαίνεται στον πίνακα 42, το ποσοστό αυτών των απαντήσεων έχει μειωθεί σημαντικά σε δύο από τα τέσσερα συστήματα (στο ελατήριο από 20% σε 10% και στο ηλεκτρικό τρυπάνι από 14% σε 5%). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί το σχετικά χαμηλό επίπεδο στο οποίο διατηρήθηκε το ποσοστό αυτών των απαντήσεων συνολικά (ο μέσος όρος τους στο σύνολο των συστημάτων είναι 10% ενώ, με εξαίρεση την περίπτωση Γκολφ₂, σε κανένα σύστημα δεν έχει υπερβεί το 14% του συνόλου των απαντήσεων).

Ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον εύρημα της ποσοτικής επεξεργασίας των δεδομένων αφορά στη συσχέτιση ανάμεσα στις επιδόσεις των μαθητών (στο δεύτερο δοκίμιο⁴¹), στα τέσσερα συστήματα. Συγκεκριμένα, ο δείκτης συσχέτισης Gamma⁴² κατέδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση ανάμεσα στις επιδόσεις των μαθητών σε τρεις από τους πιθανούς συνδυασμούς των τεσσάρων συστημάτων ανά δύο, όπως φαίνεται τον πίνακα 43. Ένα στοιχείο που χρειάζεται να συζητηθεί αφορά στις απαντήσεις των μαθητών στο σύστημα Γκολφ₂ οι οποίες δεν συσχετίζονται με τις απαντήσεις τους σε κανένα από τα άλλα δύο συστήματα. Αυτά τα αποτελέσματα εισηγούνται ότι η διαθέσιμη πληροφόρηση για την επίδοση των μαθητών (πλήθος στοιχείων που επισημάνθηκαν ορθά) σε αυτό το σύστημα δεν επιτρέπει τη διατύπωση οποιασδήποτε πρόβλεψης για την επίδοσή τους στα υπόλοιπα συστήματα. Παρόλο που αυτό, εκ πρώτης όψεως, μοιάζει παράδοξο υπάρχουν δύο σχετικά στοιχεία τα οποία είναι σημαντικό να επισημανθούν. Το πρώτο αφορά στο γεγονός ότι οι περισσότεροι από τους μαθητές που προχώρησαν στην επέκταση της αλυσίδας που είχαν κατασκευάσει για την περιγραφή της έναρξης της κίνησης, όπως ζητήθηκε στο σύστημα Γκολφ₂, δεν αποτέλεσαν ένα τυχαίο δείγμα αφού οι περισσότεροι από αυτούς είχαν πετύχει να προσδιορίσουν ορθά και τα τρία στοιχεία της ενεργειακής αλυσίδας για τις μεταβολές στα άλλα δύο συστήματα (84% στο σύστημα με το ελατήριο και 67% στο ηλεκτρικό τρυπάνι). Το δεύτερο, συνδέεται με την αδυναμία μεγάλου μέρους αυτών των μαθητών να προσδιορίσουν ορθά το μηχανικό έργο ως τη διεργασία διάδοσης, όπως συζητείται αργότερα. Συνεπώς, ένα ιδιαίτερα μεγάλο μέρος των μαθητών που ήταν σε θέση να προσδιορίσουν μόνο ένα από τα δύο στοιχεία της ενεργειακής αλυσίδας για τον τερματισμό της μπάλας (Σύστημα Γκολφ₂) είχαν πετύχει

⁴¹ Η εστίαση στο δεύτερο δοκίμιο θεωρήθηκε σκόπιμη δεδομένων (α) της συμβατότητας του πλαισίου ενεργειακής ανάλυσης κατά την αξιολόγηση και της διδασκαλίας και (β) της διαθεσιμότητας δεδομένων από σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό μαθητών συγκριτικά με το πρώτο δοκίμιο.

⁴² Όπως αναφέρθηκε στο τρίτο κεφάλαιο, αυτός ο δείκτης είναι κατάλληλος για περιπτώσεις όπου η διατακτική κλίμακα έχει μικρό εύρος και κατά συνέπεια υπάρχουν πολλαπλές παρατηρήσεις που συγκεντρώνονται στο ίδιο επίπεδο της κλίμακας.

μέγιστη βαθμολογία στα άλλα δύο συστήματα (ελατήριο και ηλεκτρικό τρυπάνι) και αυτό δικαιολογεί σε μεγάλο βαθμό την απουσία στατιστικά σημαντικής συσχέτισης.

Πίνακας 43: Συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στην επίδοση των μαθητών σε ζεύγη συστημάτων

Ζεύγος συστημάτων	Συντελεστές συσχέτισης
Γκολφ1 – Ελατήριο	0.571, $p=0.017$, $N=55$
Γκολφ1 – Ηλεκτρικό Τρυπάνι	0.600, $p=0.003$, $N=55$
Γκολφ2 – Ελατήριο	-0.395, $p=0.441$, $N=25$
Γκολφ2 – Ηλεκτρικό Τρυπάνι	-0.200, $p=0.616$, $N=24$
Ελατήριο – Ηλεκτρικό Τρυπάνι	0.569, $p=0.011$, $N=56$

Παρά το γεγονός ότι η ένταση της συσχέτισης δεν είναι ιδιαίτερα ψηλή, η εμφάνιση στατιστικά σημαντικής θετικής συσχέτισης ανάμεσα στις επιδόσεις των μαθητών στα τρία συστήματα εισηγείται ότι η επάρκεια των μαθητών δεν εμφανίζεται συμπτωματικά σε μεμονωμένα συστήματα. Αντίθετα, εισηγείται ότι σε μεγάλο βαθμό, το μοντέλο της ενεργειακής ανάλυσης που έχουν αναπτύξει οι μαθητές χαρακτηρίζεται από συνοχή, συνέπεια και συστηματικότητα.

- Επεξεργασία ενεργειακών αλυσίδων στο επίπεδο του κάθε μεμονωμένου στοιχείου τους

Πιο κάτω παρουσιάζονται, χωριστά για το κάθε σύστημα, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων αναφορικά με το βαθμό στον οποίο οι μαθητές ήταν σε θέση να προσδιορίσουν το καθένα από τα επιμέρους στοιχεία της ενεργειακής αλυσίδας για τις υπό μελέτη μεταβολές. Σε κάθε περίπτωση συζητούνται οι επιλογές στις οποίες κατέληξαν οι μαθητές για τα επιμέρους τμήματα των ενεργειακών αλυσίδων στα δύο δοκίμια και επισημαίνονται οι δυσκολίες που φάνηκαν να αντιμετωπίζουν.

Σύστημα ελατηρίου-μπάλας

- *Ελαστική ενέργεια*

Ένα μεγάλο ποσοστό των μαθητών (67% στο πρώτο δοκίμιο και 88% στο δεύτερο) ξεκίνησε ορθά την ενεργειακή αλυσίδα με ελαστική ενέργεια. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις εισηγούνται ότι οι μαθητές δεν κατέφευγαν τυχαία σε αυτή την επιλογή αφού ήταν σε θέση να τη δικαιολογήσουν με αποδεκτό τρόπο συνδέοντάς την με τη συσπείρωση του ελατηρίου, όπως φαίνεται στο ακόλουθο απόσπασμα.

Ερευνητής: *Γιατί ξεκίνησες με ελαστική ενέργεια;*

Μαθήτρια: *Επειδή το ελατήριο είναι συμπιεσμένο.*

Ερευνητής: *Δηλαδή, τότε μπαίνει αυτή η μορφή ενέργειας;*

Μαθήτρια: *Όταν έχουμε αντικείμενα που συμπιέζονται. Μπαίνει και στο τόξο όταν το τεντώνουμε.*

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων με τον έλεγχο McNemar, η οποία περιορίστηκε μόνο στις απαντήσεις των μαθητών που πρότειναν ενεργειακή ανάλυση για το συγκεκριμένο σύστημα και στα δύο δοκίμια⁴³, έδειξε ότι το πλήθος των μαθητών που προσδιόρισαν ορθά την ελαστική ενέργεια στο ένα δοκίμιο και κατέληξαν σε λανθασμένη επιλογή στο άλλο δεν ήταν αρκετά μεγάλο συγκριτικά με το μέγεθος του δείγματος (N=27), ώστε να μπορεί να οδηγήσει σε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p=0.07$). Αυτό το εύρημα εισηγείται ότι η ομάδα μαθητών που απάντησε και στις δύο περιπτώσεις ήταν σε θέση να προσδιορίσει ορθά την ελαστική ενέργεια ανεξάρτητα από την παρουσία του σχετικού βοηθήματος. Παρόλο που οι μαθητές που εξαιρέθηκαν από αυτή την ανάλυση δεν μπορούν να θεωρηθούν ως ένα τυχαίο δείγμα αφού αποτελούνται από τους μαθητές που απέφυγαν να προτείνουν ενεργειακή ανάλυση στην απουσία του σχετικού βοηθήματος, το συγκεκριμένο εύρημα εξακολουθεί να παρέχει μια χρήσιμη πληροφορία που αξίζει να καταγραφεί.

Ένα σημαντικό μέρος των μαθητών που απάντησε λανθασμένα (7% των μαθητών και στα δύο δοκίμια) επέλεξε να ξεκινήσει με την κινητική ενέργεια. Μια πιθανή ερμηνεία για αυτή την τάση των μαθητών προτείνει ότι ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν ότι η συγκεκριμένη μορφή θα έπρεπε να ενταχθεί σε κάποιο στάδιο της ενεργειακής αλυσίδας αλλά επέλεξαν λανθασμένα να τη χρησιμοποιήσουν ως την αφετηρία, παρά ως την κατάληξή της. Αυτή η ερμηνεία συζητείται σε επόμενο μέρος της ενότητας.

Οι υπόλοιποι οκτώ μαθητές στο πρώτο δοκίμιο και δύο από τους υπόλοιπους τρεις, στο δεύτερο δοκίμιο, επέλεξαν λανθασμένα να ξεκινήσουν με χημική ενέργεια. Ένα στοιχείο το οποίο έχει εμφανιστεί σε δύο περιπτώσεις κατά τις συνεντεύξεις και θα μπορούσε να ερμηνεύσει, σε κάποιο βαθμό, αυτή την προσέγγιση συνδέεται με την τάση των μαθητών να περιλαμβάνουν τη διεργασία της συμπίεσης του ελατηρίου, ενδεχομένως από το

⁴³ Αυτός ο περιορισμός ισχύει για όλους τους ελέγχους που αναφέρονται στο υπόλοιπο μέρος της ενότητας και αφορούν στη σύγκριση του ποσοστού επιτυχίας για κάθε μεμονωμένη μορφή αποθήκευσης ή διεργασία διάδοσης ενέργειας στα δύο δοκίμια.

σπρώξιμο κάποιου ανθρώπου, στην ανάλυση του συστήματος. Πιο κάτω παρατίθεται ένα ενδεικτικό απόσπασμα:

Ερευνητής: *Μπορείς σε παρακαλώ να μου εξηγήσεις γιατί ξεκίνησες με τη χημική ενέργεια; Πότε βάζουμε τη χημική ενέργεια;*

Μαθητής: *Είναι για το ελατήριο που συμπίεστηκε.*

Ερευνητής: *Τι εννοείς;*

Μαθητής: *Πιέζουμε το ελατήριο και συμπιέζεται.*

Τέλος, ένας μαθητής στην περίπτωση του δεύτερου δοκιμίου, επέλεξε να ξεκινήσει με εσωτερική ενέργεια, χωρίς να προκύπτει οποιαδήποτε πιθανή ερμηνεία από τα δεδομένα των συνεντεύξεων. Ο πίνακας 44 συνοψίζει τη συχνότητα και το ποσοστό των μαθητών που επέλεξαν την κάθε μορφή ενέργειας στο πρώτο και στο δεύτερο δοκίμιο.

Πίνακας 44: Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της ελαστικής ενέργειας ως της αρχικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα

	Πρώτο δοκίμιο		Δεύτερο δοκίμιο	
Ελαστική	20	67	53	88
Κινητική	2	7	4	7
Χημική	8	26	2	3
Εσωτερική	-	-	1	2

Μια σημαντική παρατήρηση που αξίζει να επισημανθεί αφορά στην ομοιογένεια των απαντήσεων στις δύο ομάδες, η οποία ανακλάται στο γεγονός ότι όλοι οι μαθητές, εκτός από μια περίπτωση, περιορίστηκαν στις ίδιες τρεις επιλογές μορφών αποθηκευμένης ενέργειας. Επίσης, μια άλλη ενδιαφέρουσα διαπίστωση αφορά στο γεγονός ότι όλες οι επιλογές στις οποίες κατέληξαν οι μαθητές αποτελούν μορφές αποθηκευμένης ενέργειας και αυτό παρέχει μια χρήσιμη ένδειξη της κατανόησης των μαθητών για τη διάκριση ανάμεσα σε μορφές αποθηκευμένης ενέργειας και διεργασιών διάδοσης ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτό το εύρημα, όπως φαίνεται στη συνέχεια, αφορά γενικότερα σε όλα τα συστήματα.

Μηχανικό έργο

Όπως φαίνεται στον πίνακα 45 στον οποίο παρουσιάζονται οι απαντήσεις των μαθητών σε σχέση με τη διεργασία διάδοσης ενέργειας δεν υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στις επιλογές στις οποίες κατέληξαν στο πρώτο και στο δεύτερο δοκίμιο, αφού 99% των μαθητών περιορίστηκαν σε τρεις συγκεκριμένες επιλογές (μηχανικό έργο, θερμότητα και καμιά διεργασία διάδοσης).

Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών στο δεύτερο δοκίμιο (92%) και περισσότεροι από τους μισούς (60%) στο πρώτο, αναγνώρισαν ορθά το μηχανικό έργο ως τη διεργασία διάδοσης ενέργειας που συνδέεται με την υπό μελέτη μεταβολή και το ενσωμάτωσαν σε κατάλληλη θέση στην αλυσίδα που σχημάτισαν. Η σχετικά μεγάλη διαφορά στα ποσοστά επιτυχίας στα δύο δοκίμια επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα του ελέγχου McNemar ο οποίος εισηγείται ότι το ποσοστό των μαθητών που απάντησαν ορθά στο δεύτερο δοκίμιο και λανθασμένα στο πρώτο (11) ήταν αρκετά μεγάλο, δεδομένου του μεγέθους του δείγματος ($N=27$), ώστε να οδηγήσει σε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ($p=0.022$). Αυτή η διαφοροποίηση φαίνεται να προκύπτει κυρίως από το σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό μαθητών που παρέλειψαν να αναφέρουν οποιαδήποτε διεργασία διάδοσης ενέργειας στο αρχικό δοκίμιο. Συνεπώς, η παρουσία του βοηθήματος μειώνει την πιθανότητα να μην καθορίζεται οποιαδήποτε διεργασία διάδοσης στο συγκεκριμένο σύστημα και, ταυτόχρονα, ευνοεί τον προσδιορισμό του μηχανικού έργου ως της σχετικής διεργασίας.

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις συνεντεύξεις εισηγούνται ότι οι μαθητές, σε μεγάλο βαθμό, ήταν σε θέση να αιτιολογήσουν την επιλογή του μηχανικού έργου αναφέροντας τις δύο αναγκαίες συνθήκες στις οποίες υπόκειται (εξάσκηση δύναμης και μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της). Ωστόσο, οι απαντήσεις τους χαρακτηρίζονται από τρία στοιχεία τα οποία είναι σημαντικό να επισημανθούν. Το πρώτο, σχετίζεται με τη μεγαλύτερη συχνότητα αναφοράς στην πρώτη συνθήκη (εξάσκηση δύναμης) παρά στη δεύτερη (μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της δύναμης). Το δεύτερο στοιχείο αφορά στην τάση τους να ερμηνεύουν τη δεύτερη συνθήκη ως τη μετατόπιση του αντικείμενου το οποίο σπρώχνεται. Τέλος, το τρίτο συνδέεται με την τάση τους να στηρίζονται σε φαινομενολογικά χαρακτηριστικά του συστήματος για τον προσδιορισμό δυνάμεων. Ειδικότερα, περιορίζονταν συνήθως στην αναφορά σε κάποιο προφανές σπρώξιμο ή τράβηγμα σε ένα αντικείμενο το οποίο κινείται, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο αποσπάσματα από τη συνέντευξη.

Ερευνητής: *Εδώ έβαλες μηχανικό έργο. Πότε θα βάζαμε μηχανικό έργο στην ενεργειακή αλυσίδα;*

Μαθητής: *Μπαίνει όταν σπρώχνουμε κάτι και αυτό μετακινείται.*

Ερευνητής: *Πότε το βάζουμε αυτό (μηχανικό έργο);*

Μαθητής: *Μπαίνει όταν σπρώχνουμε ή τραβούμε κάτι και αυτό κινείται, όπως εδώ.*

Το σκεπτικό που εκφράζουν οι μαθητές προϋποθέτει τη δυνατότητα εντοπισμού κάποιου προφανούς σπρωξίματος ή τραβήγματος ανάμεσα σε αντικείμενα. Η διακριτική ικανότητα αυτής της προσέγγισης είναι περιορισμένη αφού εφαρμόζει μόνο σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν άμεση επαφή μεταξύ μακροσκοπικών αντικειμένων. Αυτό το ζήτημα συζητείται στο πλαίσιο του συστήματος Γκολφ2, το οποίο περιλαμβάνει μια περίπτωση που δεν ικανοποιεί αυτό τον περιορισμό.

Ένα σημαντικό σχόλιο που χρειάζεται να καταγραφεί είναι ότι παρά το μεγάλο ποσοστό των μαθητών που επεσήμαναν ορθά το μηχανικό έργο και παρά τη δυνατότητά τους να αιτιολογούν με κατάλληλο τρόπο την επιλογή τους, υπάρχει ένα ζήτημα αναφορικά με το βαθμό στον οποίο αποδίδουν σε αυτό έγκυρο ρόλο, το οποίο συζητείται αργότερα.

Ένα σημαντικό ποσοστό των υπόλοιπων μαθητών (3% στο καθένα από τα δύο δοκίμια) αναγνώρισαν λανθασμένα τη θερμότητα ως τη διεργασία διάδοσης ενέργειας. Επίσης, ένας μαθητής (2%), στην περίπτωση του δεύτερου δοκιμίου κατέφυγε εναλλακτικά στον ήχο. Παρόλο που αυτές οι δύο διεργασίες διάδοσης θα μπορούσαν να ενταχθούν στην ενεργειακή ανάλυση της ευρύτερης λειτουργίας του συστήματος είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν αφορούν στην υπό εξέταση μεταβολή (έναρξη της κίνησης).

Πίνακας 45: Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση του μηχανικού έργου ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα

	Πρώτο δοκίμιο		Δεύτερο δοκίμιο	
	N	%	N	%
Μηχανικό Έργο	18	60	55	92
Θερμότητα	1	3	2	3
Ήχος	-	-	1	2
Καμιά διεργασία διάδοσης	11	37	2	3

Τέλος, δύο μαθητές (3%) στην περίπτωση του δεύτερου δοκιμίου και 11 μαθητές (37%) στην περίπτωση του πρώτου δεν περιέλαβαν καμιά διεργασία διάδοσης στις αλυσίδες τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις τοποθέτησαν συνεχόμενες δύο μορφές αποθηκευμένης ενέργειας, χωρίς να μεσολαβεί ανάμεσα τους οποιαδήποτε διεργασία διάδοσης. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι μαθητές, στο αρχικό δοκίμιο, ενώ προέβλεψαν στην ενεργειακή αλυσίδα θέση για κάποια διεργασία διάδοσης παρέλειψαν να την προσδιορίσουν, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.



- *Κινητική Ενέργεια*

Ο πίνακας 46 συνοψίζει τις διαφορετικές επιλογές στις οποίες κατέληξαν οι μαθητές για τον προσδιορισμό της τελικής μορφής αποθήκευσης της ενέργειας στο σύστημα του ελατηρίου. Όπως φαίνεται, υπάρχει ιδιαίτερα αυξημένη σύγκλιση στις επιλογές στις οποίες κατέφυγαν οι μαθητές στα δύο δοκίμια αφού όλοι, εκτός από ένα μαθητή (99%), επέλεξαν μία από τρεις μορφές ενέργειας.

Πίνακας 46: Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας ως της τελικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα

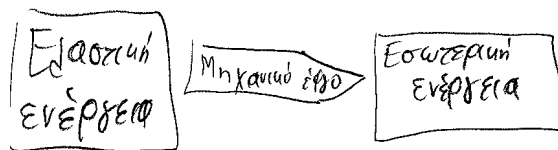
	Πρώτο δοκίμιο		Δεύτερο δοκίμιο	
	N	%	N	%
Κινητική Ενέργεια	24	80	47	78
Εσωτερική Ενέργεια	4	13	9	15
Ελαστική Ενέργεια	2	7	3	5
Καμιά μορφή αποθήκευσης	-	-	1	2

Το ποσοστό επιτυχίας σε σχέση με την αναγνώριση της κατάληξης της ενεργειακής αλυσίδας ήταν αρκετά ψηλό (80% στο πρώτο δοκίμιο και 78% στο δεύτερο) και τα αποτελέσματα του έλεγχου McNemar εισηγούνται ότι οι αποκλίσεις που έχουν παρατηρηθεί ανάμεσα στις απαντήσεις των μαθητών στα δυο δοκίμια δεν είναι στατιστικά σημαντικές ($p=1$). Συνεπώς, η παρουσία του βοηθήματος δεν είχε σημαντική επίδραση στη δυνατότητα των μαθητών να επιλέγουν την ορθή μορφή αποθήκευσης ενέργειας.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα παρατήρηση η οποία αφορά αποκλειστικά στο δεύτερο δοκίμιο σχετίζεται με το αισθητά μικρότερο ποσοστό επιτυχίας που σημειώθηκε συγκριτικά με τα προηγούμενα δύο τμήματα της ενεργειακής αλυσίδας που συζητήθηκαν πιο πάνω. Αυτό το στοιχείο υποδηλοί επίδραση εννοιολογικών δυσκολιών σε σχέση με το ρόλο της κινητικής ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων, οι οποίες συζητούνται στη συνέχεια.

Η πλειοψηφία των μαθητών που δεν επέλεξε την κινητική ενέργεια (13% στο πρώτο δοκίμιο και 15% στο δεύτερο) κατέληξε στην εσωτερική ενέργεια ως το τελικό μέρος της ενεργειακής αλυσίδας. Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις εισηγούνται ότι η παράλειψη των μαθητών να εντάξουν την κινητική ενέργεια στην αλυσίδα που κατασκεύασαν και η τάση τους να καταφεύγουν εναλλακτικά στην επιλογή της εσωτερικής ενέργειας προκύπτει, κατά πάσα πιθανότητα, από τη συνδυασμένη δράση διάφορων, συχνά αλληλένδετων, εννοιολογικών δυσκολιών. Μια από αυτές τις δυσκολίες αφορά στην τάση των μαθητών να θεωρούν ότι η επιτάχυνση ενός αντικειμένου αναπαρίσταται με το μηχανικό έργο, παρά με την (μεταβολή στην) κινητική ενέργεια. Η υιοθέτηση αυτής της προσέγγισης, ενδεχομένως, ενισχύεται από τον καθορισμό της μετατόπισης ως μιας από τις προϋποθέσεις για την επιλογή της συγκεκριμένης διεργασίας διάδοσης ενέργειας, όπως συζητήθηκε νωρίτερα. Πιο κάτω παρατίθενται ενδεικτικά, τόσο η ενεργειακή αλυσίδα που

κατασκεύασε μια από τις μαθήτριες που είχε εκφράσει αυτή τη θέση όσο και σχετικό απόσπασμα από την αντίστοιχη συνέντευξη.



Ερευνητής: Ποια αλλαγή έπρεπε να εξηγήσουμε με την ενεργειακή αλυσίδα;

Μαθήτρια: Την κίνηση της μπάλας.

Ερευνητής: Πώς φαίνεται η κίνηση της μπάλας στην αλυσίδα σου;

Μαθήτρια: Με το μηχανικό έργο.

Ερευνητής: Θύμισε με λίγο πότε μπαίνει αυτό.

Μαθήτρια: Όταν κάποιος κάνει κάτι και υπάρχει κίνηση.

Ερευνητής: Δηλαδή; Σε αυτή την περίπτωση γιατί έβαλες μηχανικό έργο;

Μαθήτρια: Επειδή το ελατήριο σπρώχνει την μπάλα και κινείται.

Τα δεδομένα εισηγούνται ότι αυτή η πεποίθηση τείνει να οδηγεί στη διαμόρφωση δύο στρεβλωμένων αντιλήψεων για το ρόλο της κινητικής ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων που περιλαμβάνουν αντικείμενα που επιταχύνονται. Η πρώτη αφορά στις περιπτώσεις των μαθητών οι οποίοι, στις γραπτές τους απαντήσεις, είχαν επιλέξει την εσωτερική αντί την κινητική ενέργεια. Τρεις από αυτούς τους μαθητές συμμετείχαν επίσης στις συνεντεύξεις και τα διαθέσιμα δεδομένα εισηγούνται ότι είχαν διαμορφώσει την αντίληψη ότι η επιτάχυνση αντικειμένων μπορεί να αναπαρασταθεί ενεργειακά χωρίς να γίνεται αναφορά στην κινητική ενέργεια. Πιο κάτω φαίνεται η εξέλιξη της συζήτησης με την προηγούμενη μαθήτρια, η οποία φανερώνει αυτή την αντίληψη.

Ερευνητής: Τώρα εξήγησε μου σε παρακαλώ γιατί έβαλες εσωτερική ενέργεια

Μαθήτρια: Επειδή η ενέργεια αποθηκεύεται στην ατμόσφαιρα όταν σταματήσει να κινείται η μπάλα.

Ερευνητής: Ναι αλλά ποια αλλαγή θέλουμε να δείξουμε; Το ότι ξεκίνησε να κινείται η μπάλα ή το ότι σταμάτησε;

Μαθήτρια: Το ότι ξεκίνησε.

Ερευνητής: *Αρα δεν μας ενδιαφέρει ακόμη αν σταμάτησε να κινείται ή όχι.*

Μόνο το ότι ξεκίνησε να κινείται. Πώς θα άλλαζες την αλυσίδα σου;

Μαθήτρια: *Θα έβαζα κινητική ενέργεια εδώ (στη θέση της εσωτερικής ενέργειας).*

Ερευνητής: *Ποια αντικείμενα έχουν κινητική ενέργεια;*

Μαθήτρια: *Εκείνα που κινούνται*

Ερευνητής: *Τώρα αν σου έλεγα ότι η μπάλα τελικά σταματά να κινείται και ότι θέλω να δείξεις και αυτή την αλλαγή στην αλυσίδα σου, πώς θα το έκανες;*

Μαθήτρια: *θα έβαζα πάλι πίσω την εσωτερική ενέργεια εδώ και θα έφευγα την κινητική.*

Παρόλο που η μαθήτρια κατέληξε να εντάσσει, εκ των υστέρων, την κινητική ενέργεια σε κάποιο στάδιο της συνέντευξης φαίνεται να θεωρεί ότι πρόκειται για μια προσωρινή διευθέτηση. Συνεπώς, η μαθήτρια δεν φαίνεται να εκτιμά ότι η περιγραφή μεταβολών στην ταχύτητα ενός αντικείμενου προϋποθέτει αναφορά στην κινητική ενέργεια αφού δηλώνει ρητά την πρόθεσή της να την αντικαταστήσει σε επόμενο στάδιο με την εσωτερική ενέργεια, παρά να επεκτείνει την αλυσίδα προσδιορίζοντας ένα μηχανισμό μείωσης της κινητικής ενέργεια, ώστε να αναπαραστήσει τον τερματισμό της κίνησης. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να καταγραφεί ότι η προσέγγιση που καταλήγει να υιοθετεί η μαθήτρια, η οποία αντιμετωπίζει την ενσωμάτωση της κινητικής ενέργειας ως μια μεταβατική διάταξη, είναι πιθανό να έχει προκύψει ως απόρροια της συζήτησης με τον ερευνητή παρά ως αποτέλεσμα σαφούς αντίληψης για το ρόλο της κινητικής ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων.

Η δεύτερη στρεβλωμένη αντίληψη εντοπίστηκε σε δύο περιπτώσεις μαθητών που είχαν προσδιορίσει στις γραπτές τους απαντήσεις την κινητική ενέργεια ως την κατάληξη της ενεργειακής αλυσίδας και, στο πλαίσιο της συνέντευξης, δήλωσαν ότι η έναρξη της κίνησης αναπαρίσταται από το μηχανικό έργο. Πιο συγκεκριμένα, το σκεπτικό που εξέφρασαν αυτοί οι μαθητές αποδίδει, λανθασμένα, στην κινητική ενέργεια το ρόλο της αναπαράστασης του τερματισμού (παρά της έναρξης) της κίνησης ενός αντικειμένου. Αυτή η προοπτική φανερώνεται στο ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης.

Ερευνητής: Μπορείς να περιγράψεις με λόγια την ενεργειακή αλυσίδα που σχεδίασες; Θέλω να μου λες γιατί έβαλες την κάθε μορφή ενέργειας που έβαλες.

Μαθήτρια: Θα ξεκινήσει από ελαστική ενέργεια επειδή το ελατήριο είναι ελαστικό και αποσυμπιέστηκε. Μετά μηχανικό έργο επειδή γίνεται κάτι. Κινήθηκε το ελατήριο και έσπρωξε την μπάλα. Μετά κινητική ενέργεια επειδή σταμάτησε να κινείται.

Ερευνητής: Εξήγησε μου λίγο αυτό για την κινητική ενέργεια.

Μαθήτρια: Όταν κάτι κινείται ακόμα τότε κάτι γίνεται ακόμα. Δεν αποθηκεύτηκε ακόμα η ενέργεια. Πρέπει να σταματήσει να κινείται για να αποθηκευτεί.

Ερευνητής: Άρα πότε μπαίνει η κινητική ενέργεια;

Μαθήτρια: Όταν σταματήσει θα μπει η κινητική ενέργεια. Η κινητική μπαίνει όταν κάτι σταματά να κινείται.

Οι δύο στρεβλωμένες αντιλήψεις για το ρόλο της κινητικής ενέργειας, που έχουν συζητηθεί προηγουμένως, είναι πιθανό να ευνοούνται επίσης από την επίδραση δύο πρόσθετων, λανθασμένων πεποιθήσεων. Η πρώτη αφορά στην πεποίθηση ότι η αποθήκευση ενέργειας σε ένα σύστημα συμβαίνει μόνο όταν τερματιστεί η οποιαδήποτε διεργασία βρίσκεται σε εξέλιξη εντός του συστήματος. Αυτή η προσέγγιση αγνοεί την πιθανότητα να υπάρχει αποθήκευση ενέργειας σε διάφορα στάδια κατά τη λειτουργία του, ακόμη και αν εξακολουθούν να βρίσκονται σε εξέλιξη σχετικές διεργασίες. Η δεύτερη, η οποία είναι παρεμφερής, συνδέεται με την πεποίθηση ότι η επιτάχυνση (ή γενικότερα η μετατόπιση) ενός αντικειμένου δεν μπορεί να αποτελεί το καταληκτικό στάδιο της λειτουργίας ενός συστήματος. Αντίθετα, θεωρείται ότι η λειτουργία ενός συστήματος τερματίζεται όταν θα έχει ολοκληρωθεί πλήρως η οποιαδήποτε διεργασία βρισκόταν σε εξέλιξη (π.χ. τερματισμός κίνησης). Ο συνδυασμός αυτών των δύο πεποιθήσεων μπορεί να ερμηνεύσει τη λανθασμένη απόδοση στην κινητική ενέργεια του ρόλου της καταληκτικής αποθήκευσης και της αναπαράστασης του τερματισμού της κίνησης. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να καταγραφεί ότι η προσέγγιση που υιοθετεί η πιο πάνω μαθήτρια, είναι πιθανό να έχει προκύψει ως απόρροια της αλληλεπίδρασης με το διδακτικό υλικό και πιο συγκεκριμένα, ως αποτέλεσμα της προσπάθειάς της να συντονίσει την πεποίθησή της ότι η κίνηση αναπαρίσταται με το μηχανικό έργο, από τη μια, με την ανάγκη να περιλάβει στην ενεργειακή αλυσίδα την κινητική ενέργεια με τρόπο που να τη διαφοροποιεί από το μηχανικό έργο, από την άλλη. Έτσι, κατέληξε να αναπτύσσει μια στρεβλωμένη αντίληψη

τόσο για το ρόλο του μηχανικού έργου όσο και της κινητικής ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων. Μια άλλη παρεμφερής δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές αφορά στην αντιμετώπιση της κινητικής ενέργειας ως μορφής αποθήκευσης της ενέργειας. Διαισθητικά, οι μαθητές τείνουν να συνδέουν την αποθήκευση της ενέργειας με καταστάσεις στις οποίες έχουν τερματιστεί όλες οι διεργασίες που βρίσκονταν σε εξέλιξη. Η επιτάχυνση ενός αντικειμένου (ή απλώς η μετατόπισή του) τείνει να εκλαμβάνεται από τους μαθητές ως μια ασταθής, υπό εξέλιξη, κατάσταση την οποία αδυνατούν να συνδέσουν με αποθήκευση ενέργειας.

Τέλος, μια άλλη δυσκολία που είναι πιθανό να αντιμετωπίζουν οι μαθητές αφορά στην αδυναμία τους να εκτιμήσουν τον ευέλικτο χαρακτήρα του καθορισμού των ορίων της ενεργειακής ανάλυσης ενός συστήματος. Με άλλα λόγια, οι μαθητές, ενδεχομένως, δεν αντιλαμβάνονται ότι το αρχικό και το τελικό στάδιο της λειτουργίας ενός συστήματος δεν είναι προκαθορισμένα και αμετάβλητα αλλά διαμορφώνονται σε κάθε περίπτωση όπως χρειάζεται, ώστε να εξυπηρετούνται ο στόχος και οι ανάγκες της ανάλυσης. Έτσι, ενώ είναι εφικτό να επιχειρήσει κανείς να αναλύσει συνολικά τη λειτουργία ενός συστήματος, αναπαριστώντας όλες τις μεταβολές που υφίσταται, είναι επίσης δυνατό να επικεντρωθεί σε ένα περιορισμένο μέρος της λειτουργίας του. Για παράδειγμα, στο σύστημα ελατηρίου-μάλας είναι εφικτό να περιοριστεί η ανάλυση, ώστε να ξεκινά από τη χρονική στιγμή όπου το ελατήριο αρχίζει να αποσυμπιέζεται και να τερματίζεται τη χρονική στιγμή που η μπάλα χάνει την επαφή της με το ελατήριο, εξαιρώντας τόσο πτυχές της λειτουργίας του συστήματος που προηγούνται (π.χ. η δράση που επέφερε τη συμπίεση του ελατηρίου) ή που έπονται (π.χ. η διεργασία που προκαλεί σε επόμενο στάδιο την επιβράδυνση της μπάλας).

Τρεις από τους υπόλοιπους μαθητές (5%) που απέτυχαν να ολοκληρώσουν με έγκυρο τρόπο την ενεργειακή αλυσίδα επέλεξαν την ελαστική ενέργεια ως την κατάληξή της, στο δεύτερο δοκίμιο. Το αντίστοιχο ποσοστό στο πρώτο δοκίμιο ήταν 7% (N=2). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι κανένας από αυτούς τους μαθητές δεν είχε περιλάβει σε προηγούμενο στάδιο της ενεργειακής του αλυσίδας την ελαστική ενέργεια. Μια πιθανή ερμηνεία για την εμφάνιση των συγκεκριμένων απαντήσεων είναι ότι οι μαθητές ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν τη σύνδεση ανάμεσα στη σχετική μεταβολή και την ελαστική ενέργεια, και, επομένως, την ανάγκη να την περιλάβουν στην ενεργειακή τους αλυσίδα, αλλά κατέληξαν να την ενσωματώνουν σε λανθασμένη θέση.

Τέλος, μια άλλη προσέγγιση που εμφανίστηκε αποκλειστικά στο δεύτερο δοκίμιο και ακολουθήθηκε από ένα μόνο μαθητή περιλαμβάνει τον τερματισμό της ενεργειακής αλυσίδας στη διεργασία διάδοσης με μηχανικό έργο, αφήνοντας την ουσιαστικά ασυμπλήρωτη. Παρόλο που τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις δεν παρέχουν άμεσες ενδείξεις για το σκεπτικό του συγκεκριμένου μαθητή, θα μπορούσε να συνδέεται με την αδυναμία που επέδειξαν οι μαθητές αναφορικά με την αναπαράσταση της παρατεταμένης κίνησης ως του τελικού σταδίου της λειτουργίας ενός συστήματος και την πεποίθηση ότι η αποθήκευση ενέργειας συμβαίνει μόνο αφού τερματιστεί μια διεργασία που βρίσκεται σε εξέλιξη.

Γκολφ1

Χημική ενέργεια

Οι απαντήσεις των μαθητών και στα δύο δοκίμια περιορίστηκαν σε ένα μικρό εύρος μορφών αποθηκευμένης ενέργειας, οι οποίες συνοψίζονται στον πίνακα 47.

Πίνακας 47: Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της χημικής ενέργειας ως της αρχικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα

	Πρώτο δοκίμιο		Δεύτερο δοκίμιο	
	N	%	N	%
Χημική Ενέργεια	33	100	49	86
Κινητική Ενέργεια	-	-	7	12
Εσωτερική Ενέργεια	-	-	1	2

Η μεγάλη πλειοψηφία των μαθητών (όλοι οι μαθητές στο αρχικό δοκίμιο και 86% των μαθητών στο δεύτερο) επέλεξαν ορθά τη χημική ενέργεια ως την αφετηρία της ενεργειακής τους αλυσίδας. Επίσης, σε 29 από τους 30 μαθητές που πρότειναν ενεργειακή ανάλυση για το συγκεκριμένο σύστημα και στα δύο δοκίμια υπήρξε απόλυτη ταύτιση των απαντήσεων που έδωσαν στις δύο περιπτώσεις και, όπως θα ήταν αναμενόμενο, ο έλεγχος McNemar απέτυχε να ανιχνεύσει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ($p=1$).

Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις δείχνουν ότι η συνηθέστερη αιτιολόγηση που προτείνουν οι μαθητές για την επιλογή της συγκεκριμένης μορφής αποθηκευμένης ενέργειας συνδέεται με την παρουσία κάποιου ανθρώπου ο οποίος επιτελεί κάποια

δραστηριότητα. Πιο κάτω παρατίθενται ενδεικτικά αποσπάσματα από συνεντεύξεις με δύο μαθητές.

Ερευνητής: Γιατί ξεκίνησες με χημική ενέργεια;

Μαθήτρια: Επειδή υπάρχει μια κοπέλα που κάνει κάτι. Χτυπά την μπάλα με το μπαστούνι.

Ερευνητής: Γιατί ξεκίνησες με χημική ενέργεια; Πότε βάζουμε χημική ενέργεια;

Μαθητής: Όταν έχουμε κάποιο άνθρωπο που κάνει κάτι όπως εδώ η κοπέλα.

Ένα άλλο στοιχείο που προέκυψε από τα δεδομένα των συνεντεύξεων και αξιοποιήθηκε ως ένδειξη της κατανόησης των μαθητών για το ρόλο της συγκεκριμένης μορφής στην ενεργειακή ανάλυση αφορά στην ικανότητά τους να προσδιορίζουν το μέρος του συστήματος στο οποίο βρίσκεται αποθηκευμένη η ενέργεια. Τα δεδομένα εισηγούνται ότι οι μαθητές είχαν την τάση να αποδίδουν την αποθηκευμένη χημική ενέργεια αποκλειστικά στην κοπέλα αγνοώντας το ρόλο του οξυγόνου. Κάποιοι μαθητές αναφέρονταν γενικά στην κοπέλα ενώ κάποιοι άλλοι προσδιόριζαν συγκεκριμένα τις τροφές που καταναλώνει. Πιο κάτω παρατίθενται ενδεικτικές απαντήσεις της πρώτης και της δεύτερης περίπτωσης, αντίστοιχα.

Ερευνητής: Γιατί επέλεξες τη χημική ενέργεια;

Μαθητής: Επειδή έχουμε μια γυναίκα που κάνει κάτι, χτυπά την μπάλα με το μπαστούνι.

Ερευνητής: Πού είναι αποθηκευμένη η χημική ενέργεια σε αυτή την περίπτωση;

Μαθητής: Στην κοπέλα.

Ερευνητής: Ξεκίνησες με χημική ενέργεια. Μπορείς να μου εξηγήσεις γιατί;

Μαθήτρια: Επειδή έχουμε την κοπέλα που χτυπά την μπάλα.

Ερευνητής: Πού βρίσκεται αποθηκευμένη αυτή η μορφή ενέργειας;

Μαθήτρια: Στη γυναίκα. Στις τροφές που τρώει.

Μόνο ένα σχετικά περιορισμένο ποσοστό μαθητών (N=7, 23%) αναφέρθηκε, άμεσα ή έμμεσα, στο οξυγόνο (ή στη διεργασία της αναπνοής) όπως φαίνεται στην ακόλουθη απάντηση που έδωσε μια μαθήτρια όταν της ζητήθηκε, στο πλαίσιο της συνέντευξης, να αιτιολογήσει γιατί επέλεξε τη χημική ενέργεια.

«Ξεκίνησα με χημική ενέργεια επειδή είναι η κοπέλα. Με τις τροφές που τρώει και που αναπνέει μπορεί να κάνει πράγματα.»

Ένα σημείο που χρειάζεται να σχολιασθεί αφορά στο γεγονός ότι οι επτά μαθητές που έδωσαν απαντήσεις αυτής της μορφής αναφέρθηκαν χωριστά στις ανάγκες για τροφή και για οξυγόνο ως δύο ανεξάρτητες συνθήκες για την αποθήκευση σε χημική ενέργεια. Παρά το γεγονός ότι στο πλαίσιο του διδακτικού υλικού γίνεται μια προσπάθεια να συνδεθούν οι δύο συνθήκες μέσα από την αναφορά στη διεργασία της καύσης είναι προφανές ότι αυτό δεν λειτούργησε αποτελεσματικά. Αυτό, πιθανώς, οφείλεται στον επιφανειακό χαρακτήρα του διδακτικού χειρισμού του οποίου έτυχε αυτό το σημείο. Ταυτόχρονα, είναι αμφίβολο κατά πόσο θα ήταν εξελικτικά κατάλληλος ένας πιο λεπτομερής χειρισμός και τίθεται ένα ζήτημα για το επιδιωκόμενο επίπεδο ακρίβειας και την κατάλληλη ισορροπία ανάμεσα στην εγκυρότητα του περιεχομένου, από τη μια, και την πολυπλοκότητά (και των σχετικών εξελικτικών, γνωστικών και γνωσιακών περιορισμών) από την άλλη. Αυτό το θέμα συζητείται σε επόμενο μέρος του κεφαλαίου το οποίο επικεντρώνεται στην αναθεώρηση και προσαρμογή του διδακτικού υλικού λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα δεδομένα.

Τέλος, μια πρόσθετη ένδειξη της κατανόησης των μαθητών για το ρόλο της χημικής ενέργειας αφορά στην ικανότητά τους να αναφέρουν άλλες περιπτώσεις συστημάτων, που έτυχαν χειρισμού στο πλαίσιο του διδακτικού υλικού, στις οποίες αποθηκεύεται η χημική ενέργεια. Τα δεδομένα εισηγούνται ότι 21 μαθητές (70%) ήταν σε θέση να αναφέρουν τουλάχιστον δύο από τις τρεις περιπτώσεις στις οποίες η ενέργεια αποθηκεύεται σε αυτή τη μορφή ενώ εννιά μαθητές (30%) ανέφεραν και τις τρεις περιπτώσεις, όπως φαίνεται στον ακόλουθο διάλογο με μια μαθήτρια.

Ερευνητής: Πότε βάζουμε χημική ενέργεια στην ενεργειακή αλυσίδα; Σε ποιες περιπτώσεις;

Μαθήτρια: Βάζω χημική όταν έχουμε τροφή οξυγόνο, πετρέλαιο οξυγόνο και μπαταρίες.

Τα δεδομένα που έχουν συζητηθεί πιο πάνω εισηγούνται ότι οι μαθητές που επέλεξαν ορθά να ξεκινήσουν την ενεργειακή τους αλυσίδα με χημική ενέργεια δεν κατέληξαν τυχαία σε αυτή την επιλογή. Ταυτόχρονα, χρειάζεται να σημειωθεί η τάση τους να περιορίζουν την αποθήκευση της χημικής ενέργειας αποκλειστικά στον άνθρωπο, αγνοώντας το ρόλο του οξυγόνου. Αυτό, ωστόσο, είναι ένα αναμενόμενο εύρημα αφού, όπως συζητήθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο, το διδακτικό υλικό απέφυγε να συζητήσει σε περισσότερη λεπτομέρεια την αφηρημένη ιδέα της αποθήκευσης της χημικής ενέργειας στο σύστημα ανθρώπου(τροφής)-οξυγόνου και τη χρησιμότητά της στην ανάλυση συστημάτων.

Οι περισσότεροι από τους υπόλοιπους μαθητές που παρέλειψαν να ξεκινήσουν την αλυσίδα τους με τη χημική ενέργεια στο δεύτερο δοκίμιο (N=7, 12%), επέλεξαν εναλλακτικά την κινητική ενέργεια. Αυτή η τάση των μαθητών έχει εντοπισθεί επίσης στο σύστημα ελατηρίου-μπάλας και θα μπορούσε να ερμηνευθεί με ανάλογο τρόπο, αποδίδοντάς την στην αδυναμία τους να ενσωματώσουν στην ενεργειακή αλυσίδα, με έγκυρο τρόπο, την κινητική ενέργεια, την οποία αναγνώρισαν ως σχετική.

Τέλος, ένας μαθητής (2%) στην περίπτωση του δεύτερου δοκιμίου επέλεξε την εσωτερική ενέργεια ως την αφετηρία της ενεργειακής αλυσίδας που σχεδίασε. Αυτός ο μαθητής δεν συμμετείχε στη διαδικασία της συνέντευξης και δεν ήταν εφικτό να διευκρινιστεί περαιτέρω το σκεπτικό του. Επίσης, τα δεδομένα από τους υπόλοιπους μαθητές δεν παρείχαν οποιαδήποτε πληροφόρηση που να μπορεί να ενημερώσει επαρκώς την προσπάθεια ερμηνείας αυτής της προσέγγισης. Έτσι, χωρίς να αποκλείεται η πιθανότητα να υπάρχει κάποιο συγκροτημένο σκεπτικό το οποίο απλώς δεν μπορεί να αποκαλυφθεί αξιοποιώντας τα υφιστάμενα δεδομένα οι συγκεκριμένες απαντήσεις είναι πιο πιθανό να έχουν προκύψει τυχαία ή διαισθητικά παρά ως αποτέλεσμα συστηματικής επεξεργασίας.

Μηχανικό Έργο

Όπως φαίνεται στον πίνακα 48 οι απαντήσεις των μαθητών περιορίζονται σε τέσσερις επιλογές ενώ 91% των μαθητών περιορίστηκαν σε μόλις δύο διεργασίες διάδοσης.

Πίνακας 48: Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση του μηχανικού έργου ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα

	Πρώτο δοκίμιο		Δεύτερο δοκίμιο	
	N	%	N	%
Μηχανικό Έργο	25	76	54	95
Θερμότητα	1	3	2	3
Ήχος	-	-	1	2
Καμιά διεργασία διάδοσης	7	21	-	-

Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών προσδιόρισε, ορθά, το μηχανικό έργο ως τη διεργασία διάδοσης ενέργειας που σχετίζεται με την παρατηρούμενη μεταβολή (54 μαθητές, 95% στο δεύτερο δοκίμιο και 25 μαθητές, 76% στο πρώτο δοκίμιο). Η εφαρμογή του στατιστικού έλεγχου McNemar έδειξε ότι ο αριθμός των μαθητών που απάντησαν ορθά σε ένα από τα δοκίμια και λάθος στο άλλο ήταν αρκετά μεγάλος για το συγκεκριμένο δείγμα (N=30) οδηγώντας σε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ($p=0.039$). Η διαφοροποίηση προκύπτει κυρίως από το πλήθος των περιπτώσεων (N=8) όπου υπήρξε λανθασμένη απάντηση στο πρώτο δοκίμιο και ορθή στο δεύτερο, οι οποίες υποδηλώνουν τη θετική επίδραση της παρουσίας του σχετικού βοηθήματος.

Δύο μαθητές (3%) στην περίπτωση του δεύτερου δοκιμίου και ένας μαθητής (3%) στην περίπτωση του πρώτου αναγνώρισαν τη θερμότητα ως τη διεργασία διάδοσης. Άλλος ένας μαθητής (2%), στην περίπτωση του δεύτερου δοκιμίου, αναγνώρισε τον ήχο ως τη σχετική διεργασία. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο σύστημα του ελατηρίου παρόλο που αυτές οι δύο διεργασίες διάδοσης θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στην ενεργειακή ανάλυση για την αναπαράσταση παρεμφερών πτυχών της λειτουργίας του συστήματος, δεν αφορούν στην υπό εξέταση μεταβολή.

Τέλος, ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών στην περίπτωση του πρώτου δοκιμίου (21%, N=7) δεν προσδιόρισε καμιά διεργασία διάδοσης. Όπως έχει σημειωθεί νωρίτερα στην περίπτωση του ελατηρίου, αυτοί οι μαθητές είναι πιο πιθανό να μην ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν τη σχετική διεργασία διάδοσης ενέργειας παρά να είχαν θεωρήσει ότι δεν χρειάζεται να προσδιορίσουν αυτή την πληροφορία. Αυτή η ερμηνεία ενισχύεται από το γεγονός ότι αυτό το είδος απάντησης δεν εμφανίστηκε καθόλου στο δεύτερο δοκίμιο, όπου οι μαθητές είχαν τη δυνατότητα να στηριχθούν στο διαθέσιμο βοήθημα.

- *Κινητική Ενέργεια*

Όπως φαίνεται στον πίνακα 49 όλοι σχεδόν οι μαθητές, εκτός από δύο εξαιρέσεις, επέλεξαν είτε την κινητική είτε την εσωτερική ενέργεια.

Πίνακας 49: Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας ως της τελικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα

	Πρώτο δοκίμιο		Δεύτερο δοκίμιο	
	N	%	N	%
Κινητική	29	88	42	74
Εσωτερική	4	12	13	23
Ελαστική	-	-	2	3

Το ποσοστό επιτυχίας που παρουσιάστηκε σε σχέση με αυτή τη μορφή ενέργειας ήταν 88%, στο πρώτο δοκίμιο, και 74%, στο δεύτερο δοκίμιο. Η στατιστική επεξεργασία με τον έλεγχο McNemar έδειξε ότι οι περιπτώσεις μαθητών που απάντησαν διαφορετικά στα δύο δοκίμια (ορθά στο ένα και λανθασμένα στο άλλο⁴⁴) (N=8) δεν ήταν ικανές, δεδομένου του μεγέθους του δείγματος (N=30), να οδηγήσουν σε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση (p=1).

Η συχνότερη εναλλακτική επιλογή, όπως και στην αντίστοιχη περίπτωση στο σύστημα με το ελατήριο, ήταν η εσωτερική ενέργεια (τέσσερις μαθητές (12%) στο πρώτο δοκίμιο και δεκατρείς μαθητές (23%) στο δεύτερο). Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις ενισχύουν την ερμηνεία που δόθηκε στο προηγούμενο σύστημα, αναφορικά με την αδυναμία των μαθητών να αναπαραστήσουν με έγκυρο τρόπο το ρόλο της κινητικής ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων, διαφοροποιώντας την από το μηχανικό έργο. Επίσης, παρέχουν πρόσθετες ενδείξεις για την επίδραση των κύριων δυσκολιών που είχαν επισημανθεί, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.

Ερευνητής: *Πώς θα ξεκινούσες την ενεργειακή αλυσίδα;*

Μαθητής: *Με χημική επειδή έχουμε μια κοπέλα που κάνει κάτι.*

Ερευνητής: *Τι θα έβαζες μετά;*

⁴⁴ Τέσσερις μαθητές απάντησαν ορθά στο πρώτο δοκίμιο και λανθασμένα στο δεύτερο, ενώ, αντίστροφα, άλλοι τέσσερις μαθητές απάντησαν λανθασμένα στο πρώτο δοκίμιο και ορθά στο δεύτερο.

Μαθητής: Μηχανικό έργο επειδή σπρώχνει την μπάλα και αρχίζει να κινείται.

Ερευνητής: Πώς θα συνέχιζες;

Μαθητής: Η μπάλα κινείται ή θα σταματήσει;

Ερευνητής: Η μπάλα αρχίζει να κινείται. Πώς θα το έκανες αυτό;

Μαθητής: Θα έβαζα κινητική ενέργεια.

Ερευνητής: Αν θεωρήσουμε ότι σταματά να κινείται, πώς θα άλλαζες την αλυσίδα σου για να το δείξεις αυτό;

Μαθητής: Θα έβγαζα την εσωτερική ενέργεια και θα έβαζα κινητική.

Οι υπόλοιποι δύο μαθητές (3%) που δεν επέλεξαν την κινητική ή την εσωτερική ενέργεια στην περίπτωση του δεύτερου δοκιμίου κατέφυγαν στην ελαστική ενέργεια και η επεξεργασία των δεδομένων δεν κατέστησε εφικτή την απόδοση κάποιας ερμηνείας για αυτή την προσέγγιση.

Γκολφ2: Τερματισμός κίνησης μπάλας

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση αφορά στο γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό των μαθητών δεν επιχείρησε να επεκτείνει την ενεργειακή του ανάλυση, ώστε να αναπαριστά τη δεύτερη μεταβολή (48% στο πρώτο δοκίμιο και 56% στο δεύτερο δοκίμιο). Το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών που απέφυγαν να επεκτείνουν την αλυσίδα τους εμφανίστηκε στο δεύτερο δοκίμιο, όπου υπήρχε δυνατότητα πρόσβασης σε σχετικό βοήθημα, και θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι αυτό αποτελεί ένα παράδοξο εύρημα. Μια πιθανή ερμηνεία για αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι οι μαθητές που επιχείρησαν να προτείνουν ενεργειακή ανάλυση στο πρώτο δοκίμιο δεν συνθέτουν ένα τυχαίο δείγμα, αφού πρόκειται για τους μαθητές που αισθάνθηκαν σχετική ασφάλεια και αυτοπεποίθηση να εμπλακούν σε αυτή τη διαδικασία χωρίς να έχουν δυνατότητα πρόσβασης στο βοήθημα. Αντίθετα, στο δεύτερο δοκίμιο απάντησαν όλοι οι μαθητές ανεξαιρέτα και αυτό μπορεί να δικαιολογήσει σε κάποιο βαθμό αυτό το φαινομενικά παράδοξο εύρημα.

Το σχετικά μικρό πλήθος μαθητών που επέκτειναν την αλυσίδα τους μπορεί να εξηγηθεί με δύο κυρίως τρόπους. Ο πρώτος συνδέεται με το γεγονός ότι ένα σημαντικό ποσοστό τους (4 από τους 16 στο πρώτο δοκίμιο και 13 από τους 32 μαθητές στο δεύτερο) είχαν τερματίσει την ενεργειακή τους αλυσίδα σε εσωτερική ενέργεια, αντί σε κινητική ενέργεια. Λαμβάνοντας υπόψη τις δυσκολίες που επισημάνθηκαν νωρίτερα αναφορικά με την κατανόηση του ρόλου της κινητικής ενέργειας, οι μαθητές αυτοί, ενδεχομένως,

θεώρησαν ότι με αυτό το χειρισμό είχαν ήδη αναπαραστήσει τη λήξη της κίνησης της μπάλας και, επομένως, δεν υπήρχε ανάγκη να επεκτείνουν περαιτέρω την ενεργειακή τους αλυσίδα. Το δεύτερο στοιχείο το οποίο συντέινε στο μειωμένο ποσοστό μαθητών που επέκτειναν την ενεργειακή τους αλυσίδα, συνδέεται με την αδυναμία τους να αναπαραστήσουν ενεργειακά το μηχανισμό μείωσης της ταχύτητας ενός κινούμενου αντικείμενου ως αποτέλεσμα της επίδρασης της δύναμης της τριβής. Πιο κάτω συζητείται σε περισσότερη λεπτομέρεια αυτό το στοιχείο.

- *Μηχανικό Έργο (δύναμη τριβής)*

Στον ακόλουθο πίνακα συνοψίζονται οι εναλλακτικές επιλογές στις οποίες κατέληξαν οι μαθητές για την αναπαράσταση της διεργασίας διάδοσης ενέργειας.

Πίνακας 50: Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση του μηχανικού έργου ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα

	Πρώτο δοκίμιο		Δεύτερο δοκίμιο	
	N	%	N	%
Μηχανικό Έργο	12	70	14	56
Θερμότητα	3	18	4	16
Καμιά διεργασία διάδοσης	2	12	7	28

Οι περισσότεροι από τους μισούς μαθητές που επιχειρήσαν να επεκτείνουν την ενεργειακή τους αλυσίδα προσδιόρισαν ορθά το μηχανικό έργο ως τη διεργασία διάδοσης ενέργειας που συνδέεται με τον τερματισμό της κίνησης της μπάλας (δώδεκα μαθητές (70%) στο πρώτο δοκίμιο και δεκατέσσερις μαθητές (56%) στο δεύτερο δοκίμιο). Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας με τον έλεγχο McNemar έδειξαν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στο ποσοστό επιτυχίας των μαθητών που απάντησαν και στα δύο δοκίμια ($p=1$). Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που δεν είχε ζητηθεί, δύο από αυτούς τους μαθητές διαφοροποίησαν ρητά στις γραπτές τους απαντήσεις τις δύο περιπτώσεις διάδοσης με μηχανικό έργο που είχαν περιλάβει. Ειδικότερα, σύνδεσαν την πρώτη με τη δύναμη ανάμεσα στο μαστούρι και την μπάλα και τη δεύτερη με τη δύναμη της τριβής, όπως φαίνεται στο παράδειγμα που ακολουθεί.



Τρεις από τους υπόλοιπους μαθητές στο πρώτο δοκίμιο (18%) και τέσσερις στο δεύτερο (16%) προσδιόρισαν, λανθασμένα, τη θερμότητα παρά το μηχανικό έργο, ως τη διεργασία διάδοσης ενέργειας που συνδέεται με το σταδιακό τερματισμό της κίνησης της μπάλας. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να ερμηνευθεί με (τουλάχιστον) δύο εναλλακτικούς τρόπους. Ο πρώτος σχετίζεται με την τάση των μαθητών να συνδέουν, ενδεχομένως λόγω των προσωπικών εμπειριών τους, το μακροσκοπικό φαινόμενο της τριβής ανάμεσα σε αντικείμενα με την αύξηση της θερμοκρασίας τους. Αυτή η τάση, σε συνδυασμό με τη λανθασμένη αντίληψη που έτειναν να υιοθετούν οι μαθητές ότι η αύξηση στη θερμοκρασία αναπαρίσταται με τη θερμότητα οδήγησε τους μαθητές να επιλέγουν αυτή τη διεργασία διάδοσης. Η δεύτερη ερμηνεία, συνδέεται με το γεγονός ότι όλοι οι μαθητές, εκτός από ένα, επέλεξαν την εσωτερική ενέργεια ως την κατάληξη της ενεργειακής τους αλυσίδας. Ειδικότερα, η πεποίθηση των μαθητών για την ανάγκη διαμεσολάβησης κάποιας μορφής διάδοσης ενέργειας ανάμεσα στην κινητική και την εσωτερική ενέργεια και η σύνδεση που ενδεχομένως είχαν εγκαθιδρύσει ανάμεσα στη θερμότητα και την εσωτερική ενέργεια, αφού αποτελεί ένα μοτίβο που συναντάται συχνά στις ενεργειακές αλυσίδες, οδήγησε στην επιλογή της θερμότητας. Αυτό το σημείο συζητείται σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια αργότερα.

Οι υπόλοιποι επτά μαθητές στην περίπτωση του δεύτερου δοκιμίου (28%) και δύο στην περίπτωση του πρώτου δοκιμίου (12%) δεν περιέλαβαν καμιά διεργασία διάδοσης ενέργειας. Αυτή η προσέγγιση είναι πιθανό να προκύπτει ως αποτέλεσμα της αδυναμίας των μαθητών να εντοπίσουν οποιαδήποτε διεργασία διάδοσης που να θεωρούν κατάλληλη για τη συγκεκριμένη μεταβολή. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο που είναι σημαντικό να σημειωθεί είναι ότι όλοι αυτοί οι μαθητές επέλεξαν την εσωτερική ενέργεια ως την κατάληξη της ενεργειακής τους αλυσίδας την οποία τοποθέτησαν αμέσως μετά την κινητική ενέργεια, χωρίς να μεσολαβεί ανάμεσά τους οποιαδήποτε διεργασία διάδοσης.

Παρόλο που το ποσοστό επιτυχίας και στα δύο δοκίμια θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ικανοποιητικό υπάρχουν μερικά στοιχεία που δημιουργούν αμφιβολίες για το βαθμό στον οποίο θα ήταν λογικό να πιστωθούν οι μαθητές που επέλεξαν το μηχανικό έργο με πραγματική εννοιολογική κατανόηση του ενεργειακού μηχανισμού που συνδέεται με την επίδραση της δύναμης της τριβής. Τα διαθέσιμα δεδομένα καταδεικνύουν την τάση των μαθητών να στηρίζουν τη σύνδεση ανάμεσα στην τριβή και το μηχανικό έργο σε μια διαισθητική και εμπειρική βάση παρά στην κατανόησή τους για την τριβή ως δύναμη που επιβραδύνει την κίνηση της μπάλας. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε στη συζήτηση

στο πλαίσιο του συστήματος με το ελατήριο, οι μαθητές έτειναν να περιορίζουν την ιδέα της δύναμης σε περιπτώσεις εμφανούς σπρωξίματος (ή τραβήγματος) ανάμεσα σε σώματα που βρίσκονται σε επαφή. Το γεγονός ότι αυτό το φαινομενολογικό χαρακτηριστικό δεν ικανοποιείται με προφανή τρόπο στην περίπτωση της επιβράδυνσης της μπάλας, ενδεχομένως, παρεμπόδισε τους μαθητές από το να εντοπίσουν κάποια δύναμη. Έτσι, η επιλογή του μηχανικού έργου από τους μαθητές, έτεινε να είναι ιδιαίτερα επιφανειακή και δεν μπορούσαν να παρέχουν επαρκείς αιτιολογήσεις. Πιο κάτω παρατίθεται ένα ενδεικτικό απόσπασμα συνέντευξης με κάποιο μαθητή ο οποίος είχε προτείνει μια έγκυρη και πλήρη ενεργειακή αλυσίδα στη γραπτή του απάντηση.

Ερευνητής: *Μπορείς να μου εξηγήσεις γιατί έβαλες μηχανικό έργο σε αυτή την περίπτωση (πρώτη περίπτωση διάδοσης ενέργειας με μηχανικό έργο);*

Μαθητής: *Επειδή σπρώχνει την μπάλα η κοπέλα με το μπαστούνι και η μπάλα αρχίζει να κινείται.*

Ερευνητής: *Δηλαδή, τότε βάζουμε μηχανικό έργο;*

Μαθητής: *Όταν βάζουμε δύναμη. Όταν σπρώχνουμε ή τραβούμε κάτι και κινείται.*

Ερευνητής: *Τώρα θα ήθελα να μου εξηγήσεις γιατί έβαλες μηχανικό έργο σε αυτή την περίπτωση. (δεύτερη περίπτωση)*

Μαθητής: *Επειδή σταματά η μπάλα. Επειδή υπάρχει τριβή.*

Ερευνητής: *Μπορείς να μου εξηγήσεις λίγο τι εννοείς όταν λες τριβή;*

Μαθητής: *Τριβή... τρίβεται η μπάλα με το χορτάρι σαν πηγαίνει.*

Ερευνητής: *Προηγουμένως μου είπες ότι το μηχανικό έργο μπαίνει όταν σπρώχνουμε ή τραβούμε κάτι και αυτό κινείται. Μπορείς να μου εξηγήσεις εδώ τι σπρώχνει τι;*

Μαθητής: *... [ο μαθητής δεν μπόρεσε να απαντήσει σε αυτό το ερώτημα]*

Ένα πρόσθετο στοιχείο που είναι ενδεικτικό της ανεπαρκούς σύνδεσης που κάνουν οι μαθητές ανάμεσα στο μηχανικό έργο και τη δύναμη της τριβής, σχετίζεται με το διαισθητικό τρόπο με τον οποίο τείνουν να την αντιμετωπίζουν. Αυτό φανερώνεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος, ο οποίος είναι προφανής στο πιο πάνω απόσπασμα συνέντευξης, σχετίζεται με την τάση των μαθητών να αποδίδουν στην τριβή την ερμηνεία που χρησιμοποιείται στην καθομιλουμένη όπου η τριβή ταυτίζεται με το ίδιο το μακροσκοπικό φαινόμενο της τριβής ανάμεσα σε δύο (ή περισσότερα) αντικείμενα, όπως η μπάλα και το έδαφος. Ο δεύτερος τρόπος, αφορά στην τάση τους να συνδέουν τη διάδοση ενέργειας με

θερμότητα παρά με μηχανικό έργο. Πιο κάτω παρατίθενται ένα ενδεικτικό απόσπασμα από τη συνέντευξη με κάποιο από τους μαθητές και η ενεργειακή αλυσίδα που είχε προτείνει στη γραπτή του απάντηση (ο διαχωρισμός της ενεργειακής αλυσίδας σε δύο γραμμές προέκυψε απλώς λόγω του περιορισμένου χώρου που είχε στη διάθεσή του ο μαθητής στο χαρτί).

Ερευνητής: Μπορείς να μου εξηγήσεις γιατί επέλεξες θερμότητα;

Μαθητής: Επειδή όπως κινείται τριβεται και ζεσταίνεται



Η σύνδεση ανάμεσα στην αύξηση θερμοκρασίας και την τριβή προέκυψε, πιθανώς, ως απόρροια των εμπειριών των μαθητών οι οποίες συσχετίζουν το μακροσκοπικό φαινόμενο του τριβήματος ανάμεσα σε δύο αντικείμενα με την αύξηση θερμοκρασίας.

- *Εσωτερική ενέργεια*

Όλοι σχεδόν οι μαθητές που επιχείρησαν να επεκτείνουν τις ενεργειακές τους αλυσίδες για να περιγράψουν τον τερματισμό της κίνησης της μπάλας επέλεξαν ορθά την εσωτερική ενέργεια ως την καταληκτική μορφή αποθήκευσης (16 μαθητές (94%) στο πρώτο δοκίμιο και είκοσι πέντε μαθητές (100%) στο δεύτερο δοκίμιο). Η μοναδική εξαίρεση σε αυτό το μοτίβο ήταν ένας μαθητής στο πρώτο δοκίμιο ο οποίος τερμάτισε την ενεργειακή του αλυσίδα στη θερμότητα χωρίς να προσδιορίζει κάποια μορφή αποθήκευσης της ενέργειας. Αυτή η εικόνα συνάδει με τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου McNemar που εισηγούνται ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στο ποσοστό επιτυχίας των μαθητών που απάντησαν και στα δύο δοκίμια ($p=1$).

Η έντονη τάση που επέδειξαν οι μαθητές για επιλογή της εσωτερικής ενέργειας είναι ενδεικτική της πεποίθησής τους ότι αποτελεί μια συνήθη μορφή αποθήκευσης ενέργειας. Οι έξι από αυτούς τους μαθητές, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, παρέλειψαν εντελώς να αναφέρουν οποιαδήποτε διεργασία διάδοσης και τοποθέτησαν την εσωτερική ενέργεια αμέσως μετά από την κινητική. Αξίζει να υπενθυμιστεί ότι 17 από τους 48 συνολικά

μαθητές που απέφυγαν να επεκτείνουν την αλυσίδα τους, ώστε να αναπαριστά τον τερματισμό της κίνησης της μπάλας, είχαν επίσης επιλέξει την εσωτερική ενέργεια ως την κατάληξη της αλυσίδας τους και αυτό ενισχύει τον ισχυρισμό για το βαθμό στον οποίο οι μαθητές εκτιμούν την εσωτερική ενέργεια ως μια συνήθη κατάληξη των ενεργειακών αλυσίδων. Ωστόσο, αυτή η αναγνώριση από μόνη της δεν αποτελεί ένδειξη πραγματικής εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών για το ρόλο της στην ενεργειακή ανάλυση. Πιο κάτω συζητούνται δύο επιμέρους στοιχεία τα οποία προσθέτουν τέτοιες ενδείξεις.

Το πρώτο στοιχείο αφορά στο βαθμό στον οποίο οι μαθητές συνδέουν την εσωτερική ενέργεια με τη μεταβολή της αύξησης της θερμοκρασίας. Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις εισηγούνται ότι η πλειοψηφία των μαθητών ήταν σε θέση να κάνει αυτή τη σύνδεση. Το δεύτερο στοιχείο σχετίζεται με το γεγονός ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι μαθητές ήταν σε θέση να επισημάνουν την ιδιαίτερα μικρή ένταση της μεταβολής αποδίδοντάς την στην τεράστια μάζα αέρα στην οποία διαδίδεται η ενέργεια. Αυτό το ζήτημα συζητείται σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο πλαίσιο των ερωτημάτων για τη διατήρηση και την υποβάθμιση της ενέργειας.

Αυτά τα δύο στοιχεία εισηγούνται ότι οι μαθητές ήταν σε θέση να εντάξουν την λειτουργία της εσωτερικής ενέργειας ως του καταληκτικού τμήματος της αλυσίδας τους στο ευρύτερο θεωρητικό πλαίσιο για την ενέργεια, που προωθείται από το διδακτικό υλικό. Ειδικότερα, με βάση αυτό το θεωρητικό πλαίσιο, η διάδοση ενέργειας προς κάποιο μέρος του συστήματος οφείλει να συνοδεύεται από μεταβολή σε κάποια (ή κάποιες) από τις ιδιότητές του. Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις υποστηρίζουν ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (23 από τους 30) ήταν σε θέση να εφαρμόσει αυτό το σκεπτικό στην περίπτωση της εσωτερικής ενέργειας και να υποδείξει την αύξηση θερμοκρασίας ως τη σχετική μεταβολή. Ωστόσο, υπήρχε μια διαφοροποίηση, η οποία αξίζει να επισημανθεί, αναφορικά με το μέρος του συστήματος στο οποίο αποδιδόταν η αποθήκευση της εσωτερικής ενέργειας και, κατά συνέπεια, η αύξηση της θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα οι περισσότεροι από τους μαθητές (17 από τους 23) δήλωσαν ότι η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας αφορά στον περιβάλλοντα αέρα ενώ οι υπόλοιποι έξι επισήμαναν ορθά ότι αυτή αφορά στις επιφάνειες της μπάλας και του δαπέδου, οι οποίες έρχονταν σε επαφή κατά την κίνηση της μπάλας. Ένα πρόσθετο στοιχείο που αφορά ειδικά στους μαθητές που ακολούθησαν τη δεύτερη προσέγγιση είναι ότι οι μισοί από αυτούς (N=3) απέδωσαν την αύξηση της θερμοκρασίας αποκλειστικά στην μπάλα παρά στο σύστημα των δύο αλληλεπιδρώντων επιφανειών, και αυτό αποτελεί μια πρόσθετη ένδειξη για τη δυσκολία

που αντιμετωπίζουν οι μαθητές να αντιληφθούν την τριβή ως δύναμη, δηλαδή ως αλληλεπίδραση ανάμεσα στις επιφάνειες των σωμάτων που έρχονται σε επαφή κατά την κίνηση.

- *Μείωση θερμοκρασίας μπάλας-δαπέδου και αντίστοιχη αύξηση θερμοκρασίας περιβάλλοντα αέρα*

Μια πρόσθετη μεταβολή που συνδέεται με τη λειτουργία του συστήματος αφορά στην επαναφορά της θερμοκρασίας της μπάλας και του δαπέδου στην αρχική τους κατάσταση, μετά τον τερματισμό της κίνησης. Παρόλο που η αναπαράσταση αυτής της μεταβολής δεν ζητήθηκε από το έργο αξιολόγησης, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, τέσσερις μαθητές επέκτειναν αυθόρμητα την ενεργειακή αλυσίδα που είχαν προτείνει στη γραπτή τους απάντηση, ώστε να περιλαμβάνει αυτή τη μεταβολή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι επτά από τους έντεκα μαθητές που συμμετείχαν στις συνεντεύξεις και είχαν αναπαραστήσει ορθά το μηχανισμό του σταδιακού τερματισμού της κίνησής της μπάλας και επεσήμαναν ρητά την αύξηση της θερμοκρασίας στην μπάλα και στο δάπεδο, ήταν επίσης σε θέση να επεκτείνουν την αλυσίδα τους, με σχετική ευκολία, ώστε να αναπαριστά την επακόλουθη διάδοση ενέργειας με θερμότητα, προς το περιβάλλον και την αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας. Πιο κάτω παρατίθεται σχετικό απόσπασμα από τη συνέντευξη με μια μαθήτρια.

Ερευνητής: Έχεις βάλει εσωτερική ενέργεια. Μπορείς να μου πεις πότε μπαίνει η εσωτερική ενέργεια; Η κινητική ενέργεια, για παράδειγμα, μπαίνει όταν αλλάζει η ταχύτητα. Όταν κάτι ακίνητο αρχίζει να κινείται βάζουμε κινητική ενέργεια για να δείξουμε αυτή την αλλαγή. Με την εσωτερική ενέργεια ποια αλλαγή δείχνουμε;

Μαθήτρια: Τη βάζουμε όταν ζεσταίνεται κάτι.

Ερευνητής: Τι ζεστάθηκε εδώ σε αυτή την περίπτωση;

Μαθήτρια: Η μπάλα και το έδαφος λόγω της τριβής τους.

Ερευνητής: Τι νομίζεις ότι θα γίνει στη συνέχεια; Θα παραμείνουν για πάντα ζεστά;

Μαθήτρια: Όχι. Θα κρυώσουν.

Ερευνητής: Πώς θα το έδειχνες αυτό στην αλυσίδα σου;

Μαθήτρια: Θα έχουμε θερμότητα και μετά ζανά εσωτερική ενέργεια του αέρα.

Ερευνητής: Πότε μπαίνει η θερμότητα;

Μαθήτριά: Όταν έχουμε κάτι κρύο και κάτι ζεστό κοντά κοντά.

Ερευνητής: Ποιο είναι το ζεστό και ποιο το κρύο σε αυτή την περίπτωση;

Μαθήτριά: Το ζεστό είναι η μπάλα και το έδαφος και το κρύο ο αέρας γύρω.

Η ικανότητα αυτών των μαθητών να εμπλέκονται σε συζήτηση για ενεργειακή ανάλυση η οποία ανταποκρίνονται σε αυτό το επίπεδο λεπτομέρειας αποτελεί μια ιδιαίτερα ενθαρρυντική ένδειξη για το βαθμό στον οποίο μπορούν να αξιοποιούν με έγκυρο τρόπο το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας για την ανάλυση μεταβολών σε συστήματα. Ταυτόχρονα, αποτελεί μια άμεση ένδειξη, αναφορικά με τη δυνατότητά, τουλάχιστον των συγκεκριμένων μαθητών, να διαφοροποιούν με έγκυρο τρόπο ανάμεσα στη θερμότητα και την εσωτερική ενέργεια, το οποίο αποτελεί μια σημαντική εννοιολογική δυσκολία (Loverude *et al.*, 2002; Millar, 2000). Το απόσπασμα συνέντευξης που ακολουθεί είναι επίσης ενδεικτικό αυτής της ικανότητας.

Ερευνητής: Υπάρχουν δύο σχήματα τα οποία μπερδεύουν πολλούς μαθητές. Είναι αυτό (εσωτερική ενέργεια) και αυτό (θερμότητα). Αν έπρεπε να εξηγήσεις σε κάποιο συμμαθητή σου πώς να τα ξεχωρίζει μεταξύ τους, τι θα του έλεγες.

Μαθητής: Αυτό (θερμότητα) μπαίνει μόνο όταν έχουμε κάτι κρύο και κάτι ζεστό κοντά κοντά. Το άλλο μπαίνει όταν ζεσταίνεται κάτι.

Ερευνητής: Μπορείς να μου πεις κάποιο παράδειγμα όπου θα έπρεπε να βάλουμε θερμότητα;

Μαθητής: Όταν βάλουμε το χέρι μας κοντά σε μια λάμπα που ανάβει.

Ερευνητής: Ποιο είναι το ζεστό και ποιο το κρύο;

Μαθητής: Η λάμπα το ζεστό και το χέρι μας το κρύο

Ερευνητής: Μπορείς να μου δώσεις και ένα παράδειγμα όπου θα έβαζες εσωτερική ενέργεια αλλά δεν θα έβαζες θερμότητα;

Μαθητής: Όταν τρίβουμε τα χέρια μας. Ζεσταίνονται αλλά δεν είναι όπως πριν. Και τα δύο ζεσταίνονται μαζί. Δεν ζεσταίνεται πρώτα το ένα και μετά ζεσταίνει το άλλο⁴⁵.

⁴⁵ Αυτό το παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε συχνά στο πλαίσιο της εφαρμογής του διδακτικού υλικού κατά τις συζητήσεις των μελών του διδακτικού προσωπικού με τις ομάδες των μαθητών.

Ηλεκτρικό τρυπάνι

- *Χημική ενέργεια*

Όπως φαίνεται στον πίνακα 51 όλοι σχεδόν οι μαθητές (35 μαθητές στο πρώτο δοκίμιο, 97% και 57 μαθητές στο δεύτερο, 98%) επέλεξαν ορθά να ξεκινήσουν την ενεργειακή τους αλυσίδα με τη χημική ενέργεια. Η στατιστική επεξεργασία με τον έλεγχο McNemar εισηγείται ότι το ποσοστό των περιπτώσεων που απάντησαν ορθά στο πρώτο δοκίμιο και λανθασμένα στο δεύτερο, ή αντίστροφα, δεν ήταν ικανό να οδηγήσει σε στατιστικά σημαντική διαφορά ($p=1$).

Πίνακας 51: Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της χημικής ενέργειας ως της αρχικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα του ηλεκτρικού τρυπανιού

	Πρώτο δοκίμιο		Δεύτερο δοκίμιο	
	N	%	N	%
Χημική Ενέργεια	35	97	57	98
Κινητική	1	3	1	2

Όσοι μαθητές δεν επέλεξαν τη χημική ενέργεια (1 μαθητής στο κάθε δοκίμιο, 3% στο πρώτο δοκίμιο και 2% στο δεύτερο) είχαν καταφύγει στην κινητική ενέργεια και αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί, αφενός, στη δυνατότητα των μαθητών να αναγνωρίσουν ότι η κινητική ενέργεια θα έπρεπε να περιληφθεί στην αλυσίδα, και, αφετέρου, την αδυναμία τους να την εντάξουν σε κατάλληλη θέση. Η τάση τη επιλογής της κινητικής ενέργειας ως αφετηρίας της αλυσίδας εμφανίστηκε επίσης στα προηγούμενα συστήματα και θα μπορούσε να συνδεθεί με την ευρύτερη ασάφεια στο σκεπτικό των μαθητών αναφορικά με το ρόλο της κινητικής ενέργειας στην ανάλυση μεταβολών, η οποία έχει ήδη συζητηθεί.

- *Ηλεκτρική Ενέργεια*

Οι μαθητές περιορίστηκαν, και σε αυτή την περίπτωση, σε μεγάλο βαθμό, (96% των περιπτώσεων) στις ίδιες επιλογές τόσο για την απάντησή τους στο πρώτο όσο και στο δεύτερο δοκίμιο. Όπως φαίνεται στον πίνακα 52 η πλειοψηφία τους (28 μαθητές (78%) στο πρώτο δοκίμιο και 51 μαθητές (88%) στο δεύτερο δοκίμιο) επέλεξε ορθά την ηλεκτρική ενέργεια και αυτό φανερώνει την ικανότητά τους να την αναγνωρίζουν ως τη διεργασία διάδοσης ενέργειας σε ηλεκτρικά συστήματα. Τα αποτελέσματα της ποσοτικής ανάλυσης με τον έλεγχο McNemar έδειξαν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική

διαφοροποίηση στο ποσοστό επιτυχίας των μαθητών που πρότειναν ενεργειακή ανάλυση για το συγκεκριμένο σύστημα και στα δύο δοκίμια ($p=0.07$).

Οι περισσότεροι από τους υπόλοιπους μαθητές (4 μαθητές (11%) στο πρώτο δοκίμιο και 7 μαθητές (12%) στο δεύτερο δοκίμιο) κατέφυγαν, εναλλακτικά, στην επιλογή του μηχανικού έργου. Μια πιθανή ερμηνεία για αυτή την παρατήρηση συνδέεται με την ασάφεια που φαίνεται να χαρακτηρίζει το σκεπτικό των μαθητών για το μηχανικό έργο και την τάση τους να αποδίδουν λανθασμένα σε αυτό (αντί στην κινητική ενέργεια) την ιδιότητα της αναπαράστασης της κίνησης. Πιο συγκεκριμένα, αυτοί οι μαθητές είναι πιθανό να θεώρησαν ότι εφόσον υπάρχει κίνηση θα πρέπει να ενταχθεί στην ενεργειακή αλυσίδα και το μηχανικό έργο.

Άλλοι τρεις μαθητές (8%) στην περίπτωση του πρώτου δοκιμίου προσδιόρισαν τη θερμότητα ως τη διεργασία διάδοσης ενέργειας ενώ ο τελευταίος μαθητής παρέλειψε να καθορίσει οποιαδήποτε διεργασία.

Πίνακας 52: Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της ηλεκτρικής ενέργειας ως της διεργασίας διάδοσης ενέργειας στο σύστημα του ηλεκτρικού τρυπανιού

	Πρώτο δοκίμιο		Δεύτερο δοκίμιο	
	N	%	N	%
Ηλεκτρική Ενέργεια	28	78	51	88
Μηχανικό Έργο	4	11	7	12
Θερμότητα	3	8	-	-
Καμιά διεργασία	1	3	-	-

- *Κινητική Ενέργεια*

Οι μισοί σχεδόν από τους μαθητές (δεκαεννιά μαθητές (54%) στο πρώτο δοκίμιο και τριάντα τέσσερις μαθητές (58%) στο δεύτερο δοκίμιο), εντόπισαν ορθά την κινητική ενέργεια ως την κατάληξη της ενεργειακής ανάλυσης (πίνακας 53). Το ποσοστό επιτυχίας ανάμεσα στα δύο δοκίμια δεν διαφοροποιείται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό ($p=0.18$).

Πίνακας 53: Επίδοση μαθητών αναφορικά με την αναγνώριση της κινητικής ενέργειας ως της τελικής μορφής αποθήκευσης ενέργειας στο σύστημα του ηλεκτρικού τρυπανιού

	Πρώτο δοκίμιο		Δεύτερο δοκίμιο	
	N	%	N	%
Κινητική Ενέργεια	19	54	34	58
Εσωτερική ενέργεια	14	38	23	40
Καμιά μορφή αποθήκευσης	3	8	1	2

Οι περισσότεροι από τους υπόλοιπους μαθητές (δεκατέσσερις μαθητές (38%) στο πρώτο δοκίμιο και είκοσι τρεις μαθητές (40%) στο δεύτερο δοκίμιο) τερμάτισαν την ενεργειακή τους αλυσίδα με την εσωτερική ενέργεια. Μια πιθανή εξήγηση, όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα συστήματα, συνδέεται με την αδυναμία των μαθητών να αντιληφθούν την κίνηση ως το τελικό στάδιο της λειτουργίας ενός συστήματος, σε αντίθεση με την εσωτερική ενέργεια.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι τρεις από αυτούς τους μαθητές είχαν παρεμβάλει ανάμεσα στην ηλεκτρική ενέργεια και την εσωτερική ενέργεια, διάδοση με θερμότητα, υπονοώντας, πιθανώς, τη σύνδεσή της με την αύξηση της θερμοκρασίας καθώς λειτουργεί το ηλεκτρικό τρυπάνι. Αυτή η προσέγγιση φανερώνεται στο πιο κάτω απόσπασμα από τη συνέντευξη με μια μαθήτρια που απάντησε με αυτό τον τρόπο.

Ερευνητής: *Μπορείς να μου εξηγήσεις γιατί ξεκίνησες με χημική ενέργεια;*

Μαθήτρια: *Επειδή λειτουργεί με μπαταρία.*

Ερευνητής: *Μετά έβαλες θερμότητα. Μπορείς να μου εξηγήσεις γιατί επέλεξες τη θερμότητα;*

Μαθήτρια: *Επειδή το μοτέρ καθώς γυρίζει ζεσταίνεται και τα υπόλοιπα είναι κρύα.*

Ερευνητής: *Και μετά; πώς συνέχισες την αλυσίδα;*

Μαθήτρια: *Με εσωτερική επειδή ζεστάθηκε το μοτέρ.*

Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο που προκύπτει από το πιο πάνω απόσπασμα είναι ο λανθασμένος τρόπος με τον οποίο ερμήνευσε η μαθήτρια την ιδέα ότι η διάδοση ενέργειας με θερμότητα προϋποθέτει αλληλεπίδραση αντικειμένων διαφορετικής θερμοκρασίας. Η δήλωση της μαθήτριας ότι υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο μοτέρ και στα

υπόλοιπα μέρη του συστήματος (χωρίς να διευκρινίζει αυτά τα μέρη) είναι πιθανό να έχει προκύψει ως αποτέλεσμα της προσπάθειάς της να υποστηρίξει (ανεπαρκώς) ότι ικανοποιείται το σχετικό κριτήριο (ύπαρξη διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα σε αντικείμενα που βρίσκονται σε επαφή) και να αιτιολογήσει έτσι, αναδρομικά, την επιλογή της συγκεκριμένης διεργασίας διάδοσης ενέργειας.

Οι υπόλοιποι μαθητές (τρεις μαθητές (8%) στο πρώτο δοκίμιο και ένας μαθητής (2%) στο δεύτερο) δεν προσδιόρισαν οποιοδήποτε μορφή αποθήκευσης και διέκοψαν την ενεργειακή αλυσίδα σε κάποια διεργασία διάδοσης. Συγκεκριμένα, ένας μαθητής στην περίπτωση του πρώτου δοκιμίου και ένας στο δεύτερο κατέληξαν να τερματίσουν την ενεργειακή τους αλυσίδα στη διάδοση ενέργειας με ήχο, την οποία τοποθέτησαν αμέσως μετά την ηλεκτρική ενέργεια.

Τέλος, δύο μαθητές στην περίπτωση του πρώτου δοκιμίου τερμάτισαν την ενεργειακή τους αλυσίδα στην ηλεκτρική ενέργεια. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα δεδομένα που έχουν συζητηθεί μέχρι τώρα εισηγούνται ότι είναι πιο πιθανό αυτοί οι μαθητές να ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν ότι η ενεργειακή αλυσίδα που κατασκεύασαν ήταν ελλιπής αλλά ταυτόχρονα να μην ήταν ικανοί να αναγνωρίσουν κάποια από τις μορφές αποθηκευμένης ενέργειας που θα μπορούσε να επιτελέσει το ρόλο της τελικής αποθήκευσης σε αυτό το σύστημα.

Συνολικά σχόλια για τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των ενεργειακών αλυσίδων των μαθητών με μονάδα ανάλυσης τα μεμονωμένα τους στοιχεία

Συνολικά, το σχετικά μεγάλο ποσοστό επιτυχίας των μαθητών στις διάφορες μορφές αποθηκευμένης ενέργειας και διεργασιών διάδοσης, σε συνδυασμό με τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις που φανερώνουν την επάρκεια των μαθητών να αιτιολογούν με λογικό και, σε μεγάλο βαθμό, έγκυρο τρόπο τις επιλογές τους, παρέχουν μια ενθαρρυντική ένδειξη για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού σε σχέση με την ανάπτυξη του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας για την ανάλυση μεταβολών σε φυσικά συστήματα.

Ένα ενδιαφέρον στοιχείο που αξίζει να σημειωθεί αφορά στα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου McNemar σε σχέση με τη σύγκριση του ποσοστού επιτυχίας για την κάθε μορφή αποθηκευμένης ενέργειας και διεργασία διάδοσης, στα δύο δοκίμια. Πιο συγκεκριμένα, στις εννιά από τις έντεκα περιπτώσεις (οι δύο εξαιρέσεις αφορούν στη διάδοση ενέργειας με μηχανικό έργο στα συστήματα ελατήριο και Γκολφ1) το ποσοστό

επιτυχίας των μαθητών στα δύο δοκίμια δεν διαφοροποιείται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό. Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι οι μαθητές που επιχείρησαν να προτείνουν ενεργειακή ανάλυση στο πρώτο δοκίμιο, σε μεγάλο βαθμό, ήταν σε εξίσου καλή θέση να επιλέξουν τις κατάλληλες μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης της ενέργειας ανεξάρτητα από τη δυνατότητα πρόσβασης στο σχετικό βοήθημα. Αυτό το εύρημα είναι αξιοσημείωτο και παρέχει μια επιπλέον ένδειξη της σταθερότητας του μοντέλου ενεργειακής ανάλυσης που ανέπτυξαν οι συγκεκριμένοι μαθητές.

Ένα άλλο αξιόλογο εύρημα σχετίζεται με τις επιλογές στις οποίες κατέφευγαν οι μαθητές για τον προσδιορισμό του κάθε στοιχείου των ενεργειακών αλυσίδων. Αυτό το εύρημα περιλαμβάνει δύο πτυχές. Η πρώτη αφορά στον περιορισμένο αριθμό εναλλακτικών επιλογών στις οποίες κατέφευγαν οι μαθητές. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα, σε καμιά περίπτωση δεν εμφανίστηκαν περισσότερες από τρεις εναλλακτικές επιλογές (εκτός από την ορθή).

Πίνακας 54: Πλήθος εναλλακτικών επιλογών στις οποίες κατέφευγαν οι μαθητές για τον προσδιορισμό των μορφών αποθήκευσης και διεργασιών διάδοσης της ενέργειας σε κάθε σύστημα

Σύστημα	Εναλλακτικές επιλογές
Ελατήριο	
Ελαστική ενέργεια	3
Μηχανικό Έργο	3
Κινητική Ενέργεια	3
Γκολφ1	
Χημική ενέργεια	2
Μηχανικό Έργο	3
Κινητική ενέργεια	2
Γκολφ2	
Μηχανικό έργο	2
Εσωτερική Ενέργεια	0
Ηλεκτρικό Τρυπάνι	
Χημική ενέργεια	1
Ηλεκτρική ενέργεια	3
Κινητική ενέργεια	2

Η δεύτερη πτυχή αφορά στο μεγάλο ποσοστό επικάλυψης που εμφανίστηκε ανάμεσα στις επιλογές στις οποίες κατέληξαν οι μαθητές στο πρώτο και στο δεύτερο δοκίμιο. Πιο συγκεκριμένα, οι περιπτώσεις στις οποίες επιλέγηκε κάποια μορφή αποθήκευσης ή διεργασία διάδοσης ενέργειας μόνο σε ένα από τα δύο δοκίμια ήταν ιδιαίτερα περιορισμένες αφού δεν έχουν υπερβεί σε καμιά περίπτωση το 6% ενώ ο μέσος όρος τους ήταν μόλις 3%. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνεται αναλυτικά αυτό το ποσοστό για το καθένα από τα συστήματα.

Πίνακας 55: Επικάλυψη ανάμεσα στις επιλογές στις οποίες κατέφευγαν οι μαθητές στα δύο δοκίμια για τις διάφορες μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης στο κάθε σύστημα

Σύστημα	Σύνολο περιπτώσεων (γινόμενο πλήθους μαθητών που απάντησαν και πλήθους στοιχείων της ενεργειακής αλυσίδας)	Περιπτώσεις απόκλισης	Ποσοστό επικάλυψης
Ελατήριο	180	3	98%
Γκολφ1	171	11	94%
Γκολφ2	50	1	98%
Ηλεκτρικό Τρυπάνι	174	4	98%

Ο συνδυασμός αυτών των δύο πτυχών παρέχει μια ένδειξη για την εσωτερική συνοχή και το συμπαγή χαρακτήρα του μοντέλου ενεργειακής ανάλυσης που ανέπτυξαν οι μαθητές.

Τέλος, ένα τρίτο στοιχείο που αξίζει να συζητηθεί αφορά στη σύγκριση του ποσοστού επιτυχίας των μαθητών στις μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας οι οποίες εμφανίζονται σε δύο ή περισσότερες περιπτώσεις στα τρία συστήματα. Αυτό το χαρακτηριστικό συναντάται σε τρεις περιπτώσεις. Η πρώτη αφορά στη χημική ενέργεια η οποία εμφανίζεται στα συστήματα *Γκολφ1* και *Ηλεκτρικό Τρυπάνι*. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του ελέγχου McNemar στα δεδομένα από το δεύτερο δοκίμιο, στο οποίο απάντησαν όλοι οι μαθητές, κατέδειξαν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ($p=0.039$). Πιο συγκεκριμένα, με βάση τα αποτελέσματα του ελέγχου υπήρχαν εννιά μαθητές (από το σύνολο των 55 μαθητών που συμμετείχαν στη συγκεκριμένη στατιστική ανάλυση) οι οποίοι απάντησαν διαφορετικά στα δύο ερωτήματα (ορθή απάντηση στο ένα και λανθασμένη στο άλλο) και οι οκτώ από αυτούς είχαν επιλέξει ορθά τη χημική ενέργεια

στο ηλεκτρικό τρυπάνι αλλά κατέληξαν σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας στην περίπτωση του Γκολφ1. Αυτό εισηγείται ότι η σύνδεση που έχουν αναπτύξει οι μαθητές ανάμεσα στη χημική ενέργεια και την μπαταρία είναι ιδιαίτερα ισχυρή και είναι πιο δύσκολο να διαταραχθεί οδηγώντας σε εναλλακτικές επιλογές.

Η επόμενη περίπτωση αφορά στην κινητική ενέργεια, η οποία εμφανίστηκε σε τρεις περιπτώσεις (*Ελατήριο, Γκολφ1 και Ηλεκτρικό Τρυπάνι*). Τα αποτελέσματα του κριτηρίου Q του Cochran, εισηγούνται στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στο ποσοστό επιτυχίας ανάμεσα στις τρεις περιπτώσεις και οι αντίστοιχοι post-hoc έλεγχοι McNemar⁴⁶ έδειξαν ότι η διαφοροποίηση αφορά μόνο στο ζεύγος συστημάτων *Ελατήριο και Ηλεκτρικό Τρυπάνι* ($p=0.001$)⁴⁷. Η διαφοροποίηση προκύπτει από το ποσοστό των μαθητών που προσδιόρισαν ορθά την κινητική ενέργεια στην περίπτωση του ελατηρίου αλλά κατέληξαν σε λανθασμένη επιλογή στο ηλεκτρικό σύστημα Αυτό το ποσοστό (29%) ήταν αρκετά μεγάλο ώστε να οδηγήσει σε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα. Παρά το γεγονός ότι τα διαθέσιμα δεδομένα δεν μπορούν να ερμηνεύσουν άμεσα αυτή τη διαφοροποίηση φανερώνουν δύο στοιχεία τα οποία θα μπορούσαν να συνεισφέρουν προς αυτή την κατεύθυνση. Το πρώτο αφορά στη δυσκολία που αναφέρθηκε νωρίτερα σχετικά με την αδυναμία αρκετών μαθητών να διακρίνουν αποτελεσματικά ανάμεσα στο μηχανικό έργο και την κινητική ενέργεια και την τάση τους να θεωρούν ότι η κίνηση υποδηλώνεται από το μηχανικό έργο. Έτσι, η απουσία των συνθηκών για να περιληφθεί το μηχανικό έργο στην ανάλυση του συγκεκριμένου συστήματος, ενδεχομένως, απέτρεψε κάποιους μαθητές από το να περιλάβουν την κινητική ενέργεια στις αλυσίδες τους. Το δεύτερο στοιχείο συνδέεται με την εναλλακτική ερμηνεία της κινητικής ενέργειας η οποία εκφράστηκε ρητά από δύο μαθητές στο πλαίσιο των συνεντεύξεων. Πιο συγκεκριμένα, αυτοί οι μαθητές πρότειναν ότι η κινητική ενέργεια υποδηλοί τον τερματισμό της κίνησης ενός αντικειμένου, ενώ η κίνηση καθαυτή αναπαρίσταται από το μηχανικό έργο. Το γεγονός ότι είναι εφικτό να αντιληφθεί κανείς την κίνηση της αρίδας ως μια κατάσταση που χαρακτηρίζεται από δυνητικά μεγάλη διάρκεια, σε αντίθεση με τα άλλα δύο συστήματα στα οποία τερματίζεται άμεσα, θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι οδήγησε κάποιους μαθητές, που έχουν αντίστοιχες αντιλήψεις, να μην περιλάβουν την κινητική ενέργεια στην αλυσίδα τους, θεωρώντας ότι εξακολουθεί να υφίσταται η κίνηση. Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι δύο πιθανές ερμηνείες που εισηγούνται αυτά τα

⁴⁶ Οι post-hoc έλεγχοι McNemar στηρίχθηκαν στη διόρθωση Bonferroni αναφορικά με τον κίνδυνο τεχνητής αύξησης της πιθανότητας σφάλματος τύπου I (family-wise error) (Field, 2005)

⁴⁷ Το επίπεδο σημαντικότητας (p-value) του ελέγχου για το ζεύγος συστημάτων *Γκολφ και Ηλεκτρικό Τρυπάνι* ήταν 0.143 και για το ζεύγος *Γκολφ-Ελατήριο* ήταν 0.424.

στοιχεία πρέπει να αντιμετωπισθούν με ιδιαίτερη επιφύλαξη αφού δεν υποστηρίζονται ρητά από τα δεδομένα των συνεντεύξεων. Ωστόσο, θα μπορούσαν να προσεγγιστούν ως υποθέσεις και να εκτεθούν σε εμπειρική διερεύνηση.

Τέλος η τρίτη περίπτωση αφορά στη διεργασία διάδοσης με μηχανικό έργο, η οποία εμφανίστηκε στα συστήματα *Ελατήριο*, *Γκολφ1* και *Γκολφ2*. Τα αποτελέσματα του ελέγχου Q του Cochran, δείχνουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στις επιδόσεις των μαθητών σε αυτές τις περιπτώσεις. Η εφαρμογή post-hoc ελέγχων McNemar εντόπισε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μόνο στα δύο από τα τρία ζεύγη, στα οποία περιλαμβάνεται το σύστημα *Γκολφ2* ($p=0.004$ στο ζεύγος *Γκολφ1-Γκολφ2* και $p=0.002$ στο ζεύγος *Γκολφ2-Ελατήριο*)⁴⁸. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις η διαφορά έγκειται στο μεγάλο αριθμό μαθητών που αναγνώρισαν ορθά το μηχανικό έργο στην περίπτωση του σπρωξίματος της μπάλας αλλά κατέληξαν σε λανθασμένη επιλογή στην περίπτωση της διάδοσης με μηχανικό έργο λόγω τριβής (38% των περιπτώσεων στο ζεύγος *Γκολφ1-Γκολφ2* και 42% στο ζεύγος *Ελατήριο-Γκολφ2*). Μια πιθανή ερμηνεία για το μειωμένο ποσοστό επιτυχίας στην περίπτωση της διάδοσης με μηχανικό έργο λόγω της επίδρασης της τριβής συνδέεται με την ανεπαρκή κατανόηση των μαθητών για την έννοια της δύναμης και τη διαισθητική βάση στην οποία στηρίζουν τη σύνδεσή της με το μηχανικό έργο.

6.3.3.β. Κατανόηση για το νόημα της αρχής διατήρησης της ενέργειας

Η αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών για την ιδέα ότι η ενέργεια διατηρείται σταθερή σε ποσότητα αξιολογήθηκε με δύο τρόπους. Ο πρώτος, ο οποίος παρέχει μια έμμεση ένδειξη, αφορά στο βαθμό στον οποίο οι μαθητές ξεκινούν και τερματίζουν τις ενεργειακές τους αλυσίδες με κάποια μορφή αποθηκευμένης ενέργειας. Αυτό το στοιχείο διερευνήθηκε στο πλαίσιο της ανάλυσης των τριών συστημάτων, τα οποία συζητήθηκαν στο πρώτο μέρος ενότητας, και όπως έχει ήδη αναφερθεί, εντοπίστηκε στη συντριπτική πλειοψηφία των ενεργειακών αλυσίδων που πρότειναν οι μαθητές. Μια πιο άμεση ένδειξη προήλθε από δύο συγκεκριμένα ερωτήματα που τέθηκαν στους μαθητές στο πλαίσιο του συστήματος με το ηλεκτρικό τρυπάνι στην περίπτωση του πρώτου δοκιμίου, όπου οι μαθητές δεν είχαν πρόσβαση στο βοήθημα με τις πιθανές μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο από αυτά τα ερωτήματα ζητούσε από τους μαθητές να εξηγήσουν από πού προέρχεται η ενέργεια που έχει η αρίδα καθώς περιστρέφεται και να δηλώσουν κατά πόσο υπήρχε εκ των προτέρων αποθηκευμένη

⁴⁸ Το επίπεδο σημαντικότητας του ελέγχου για το ζεύγος συστημάτων *Γκολφ1* και *Ελατήριο* ήταν 0.687.

κάπου στο σύστημα πριν τεθεί σε λειτουργία. Το δεύτερο ερώτημα, ζητούσε από τους μαθητές να εξηγήσουν τι θα απογίνει η ενέργεια που είχε η αρίδα καθώς περιστρεφόταν όταν διακοπεί η λειτουργία του τρυπανιού. Αυτά τα ερωτήματα είχαν ως στόχο να παρέχουν πληροφόρηση για το βαθμό στον οποίο οι μαθητές κατανοούν ότι η ενέργεια δεν παράγεται και δεν καταστρέφεται. Αυτές οι δύο ιδέες συνδέονται άμεσα με το νόμο διατήρησης στον οποίο υπόκειται η ενέργεια και επομένως οι απαντήσεις των μαθητών θεωρήθηκε ότι παρέχουν μια ένδειξη για την κατανόησή τους για το περιεχόμενο του νόμου. Τα δύο αυτά ερωτήματα περιλήφθηκαν επίσης στο πρωτόκολλο για τις συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν πριν και μετά τη διδασκαλία. Για είκοσι εννιά από τους μαθητές υπήρχαν δεδομένα τόσο από τις συνεντεύξεις όσο και από γραπτές απαντήσεις και το ποσοστό ταύτισης στον τρόπο που κωδικοποιήθηκαν ανήλθε σε ικανοποιητικό επίπεδο (75%), παρέχοντας μια ενθαρρυντική ένδειξη για την αξιοπιστία της μέτρησης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το μέγεθος αυτού του ποσοστού φάνηκε να περιορίζεται σημαντικά από την αοριστία και ασάφεια που χαρακτηρίζονταν οι απαντήσεις των μαθητών, όπως συζητείται στη συνέχεια, (π.χ. «*Η ενέργεια βρίσκεται αποθηκευμένη στο τρυπάνι*», «*Η ενέργεια καταλήγει στον αέρα*»).

Μια τρίτη πηγή δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών για τη συγκεκριμένη ιδέα προέρχεται από τις γραπτές απαντήσεις που έδωσαν, ως ομάδες, κατά τη διάρκεια του μαθήματος σε δύο πανομοιότυπα φύλλα εργασίας που συνάντησαν σε διαφορετικά στάδια της αλληλεπίδρασής τους με το διδακτικό υλικό, όπως συζητείται αργότερα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το καθένα από αυτά τα ερωτήματα πριν και μετά τη διδασκαλία. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων εστιάζεται κυρίως στις γραπτές απαντήσεις των μαθητών ενώ η συζήτηση εμπλουτίζεται όπου είναι σκόπιμο με αναφορές στα αντίστοιχα δεδομένα από τις συνεντεύξεις

6.3.3.β1. Αρχική Αξιολόγηση

- Η ενέργεια δεν παράγεται

Όπως φαίνεται στον πίνακα 56, στον οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των απαντήσεων των μαθητών στο σχετικό ερώτημα, η συντριπτική πλειοψηφία τους (N=55, 88.5%) αναγνώρισε ότι πριν ξεκινήσει να λειτουργεί το τρυπάνι, η ενέργεια βρισκόταν κάπου αποθηκευμένη στο σύστημα. Αυτές οι απαντήσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη, στην οποία συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο

ποσοστό απαντήσεων, περιλαμβάνει 46 μαθητές (78% του συνόλου), οι οποίοι καθόρισαν ορθά την μπαταρία ως το μέρος του συστήματος στο οποίο βρισκόταν αρχικά αποθηκευμένη η ενέργεια, όπως φαίνεται στα ακόλουθα παραδείγματα.

«Η ενέργεια υπήρχε στην μπαταρία προτού αρχίσει ο εργάτης να τρυπά τον τοίχο.»

«Εκεί που είναι η μπαταρία γιατί από εκεί ξεκινά η ενέργεια.»

«Η ενέργεια υπήρχε στην μπαταρία (στον ηλεκτρισμό).»

Αυτό το ποσοστό είναι ιδιαίτερα μεγάλο και θα μπορούσε κανείς να ερμηνεύσει ότι οι μαθητές διαθέτουν κατανόηση αυτής της πτυχής της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Ωστόσο, τα δεδομένα εισηγούνται ότι το μέγεθος αυτού του ποσοστού ενδέχεται να είναι παραπλανητικό και να έχει προκύψει συμπτωματικά ως υποπροϊόν της επίδρασης συγκεκριμένων εννοιολογικών δυσκολιών των μαθητών που αφορούν στη διάκριση ανάμεσα στην ενέργεια και το ηλεκτρικό ρεύμα. Η τάση των μαθητών να μπερδεύουν τα δύο διαφαίνεται στα δύο τελευταία παραδείγματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω και επίσης καθίσταται προφανής από τα δεδομένα που προέκυψαν σε σχέση με το δεύτερο ερώτημα, όπως συζητείται στη συνέχεια.

Πίνακας 56: Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης αρχικών απαντήσεων για τη διατήρηση της ενέργειας (η ενέργεια δεν παράγεται)

Κατηγορία απάντησης	N	%
Η ενέργεια βρισκόταν αποθηκευμένη		
στην μπαταρία	46	78
στο τρυπάνι	5	8
στην αρίδα	4	7
Η ενέργεια δημιουργήθηκε όταν πατήθηκε το κουμπί.	2	3.5
Άσχετη απάντηση	2	3.5
Σύνολο	59	100

Πέντε μαθητές (8%) δήλωσαν ότι η ενέργεια βρίσκεται αποθηκευμένη στο τρυπάνι, με αόριστο τρόπο, ενώ τέσσερις μαθητές (7%) προσδιόρισαν, λανθασμένα, την αρίδα, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα, αντίστοιχα.

«Η ενέργεια υπάρχει μέσα στο τρυπάνι που το κάνει να γυρίζει.»

«Στην αρίδα γιατί είναι εκείνη που τρυπά τον τοίχο.»

Δύο μαθητές (3.5%) δήλωσαν ότι η ενέργεια δεν υπήρχε εκ των προτέρων αποθηκευμένη αλλά δημιουργήθηκε μόλις ο εργάτης πάτησε το κουμπί. Για παράδειγμα ο ένας από τους μαθητές δήλωσε ότι *«Δεν υπήρχε γιατί δεν είχε ζητηθεί ακόμα από τον εργάτη έτσι δεν υπήρχε ενέργεια. Μετά όταν ζητήθηκε η ενέργεια ήταν στην αρίδα.»*

Ο ίδιος μαθητής συμμετείχε επίσης στις συνεντεύξεις όπου έδωσε μια παρόμοια απάντηση, όπως φαίνεται στο πιο κάτω απόσπασμα:

Ερευνητής: *Τώρα που λειτουργεί το τρυπάνι πιστεύεις ότι υπάρχει κάπου αποθηκευμένη ενέργεια στο σύστημα;*

Μαθητής: *Ναι*

Ερευνητής: *Πού;*

Μαθητής: *Στις μπαταρίες.*

Ερευνητής: *Πριν πατήσει το κουμπί και πριν αρχίσει να τρυπά; Υπήρχε κάπου αποθηκευμένη η ενέργεια;*

Μαθητής: *Νομίζω όχι επειδή αν το πατήσεις τότε αρχίζει να λειτουργεί.*

Τέλος, οι υπόλοιποι δύο μαθητές (3.5%) έδωσαν άσχετες απαντήσεις οι οποίες αποτελούσαν ουσιαστικά απλή σύνοψη παρατηρήσεων από τη λειτουργία του τρυπανιού. Για παράδειγμα, ο ένας από αυτούς τους μαθητές περιορίστηκε στο να δηλώσει απλώς ότι: *«Το κουμπί που πατά ο εργάτης ενώνεται με τον ηλεκτρισμό και έτσι λειτουργεί.»*

- Η ενέργεια δεν καταστρέφεται

Ο πίνακας 57 συνοψίζει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές αναφορικά με το ερώτημα για την τελική κατάληξη της ενέργειας όταν τερματιστεί η λειτουργία του τρυπανιού.

Πίνακας 57: Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης αρχικών απαντήσεων για τη διατήρηση της ενέργειας (η ενέργεια δεν καταστρέφεται)

Κατηγορία απάντησης	N	%
Άσχετη απάντηση	1	2
Όση χρησιμοποιήθηκε χάθηκε	25	42
Δεν υπάρχει ενέργεια όταν δεν λειτουργεί το τρυπάνι	8	14
Η ενέργεια πηγή		
στον τοίχο	3	5
στον αέρα	5	8
πίσω στην μπαταρία	17	29
Σύνολο	59	100

Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από ένα μόνο μαθητή που κατέληξε να δίνει μια άσχετη απάντηση στο ερώτημα η οποία περιορίστηκε στην περιγραφή παρατηρήσεων αναφορικά με τη λειτουργία του τρυπανιού.

Ένα σημαντικό μέρος των μαθητών (N=25, 42%) δήλωσε ρητά ότι μετά τον τερματισμό της λειτουργίας του τρυπανιού η ενέργεια χάνεται. Πιο κάτω παρατίθενται τρία παραδείγματα από απαντήσεις μαθητών.

«Η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε έχει χαθεί.»

«Η ενέργεια αφού το τρυπάνι σβήσει θα χαθεί. Αυτό θα γίνει γιατί οι μπαταρίες θα σταματήσουν να δίνουν ενέργεια.»

«Η ενέργεια πιστεύω ότι θα εξαφανιστεί γιατί όταν τρυπάμε εξαντλείται ενέργεια και έτσι εξαφανίζεται.»

Άλλοι οκτώ μαθητές (14%) δήλωσαν ότι στο σύστημα υπάρχει ενέργεια μόνο όταν λειτουργεί το τρυπάνι, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα.

«Θα ανοίξει το κύκλωμα του τρυπανιού και θα σταματήσει να έχει ενέργεια.»

«Η ενέργεια θα σταματήσει γιατί το κύκλωμα θα ανοίξει.»

Η απουσία ρητής αναφοράς από μέρους αυτών των μαθητών στο γεγονός ότι η ενέργεια εξαφανίζεται όταν δεν βρίσκεται σε λειτουργία το τρυπάνι, επιτρέπει δύο διαφορετικές ερμηνείες για το σκεπτικό από το οποίο απορρέουν. Σύμφωνα με την πρώτη, η οποία συγκρούεται με την αρχή διατήρησης, οι μαθητές θεωρούν ότι όταν το τρυπάνι βρίσκεται εκτός λειτουργίας παύει να υπάρχει ενέργεια στο σύστημα. Η δεύτερη προτείνει ότι αυτές οι απαντήσεις στηρίζονται στη θέση ότι ακόμη και όταν δεν βρίσκεται σε λειτουργία το τρυπάνι εξακολουθεί να υπάρχει αποθηκευμένη ενέργεια στο σύστημα απλώς διακόπτεται η διάδοσή της. Τα διαθέσιμα δεδομένα παρέχουν περισσότερη στήριξη προς την πρώτη ερμηνεία με δύο τρόπους. Ο πρώτος συνδέεται με το ιδιαίτερα ψηλό επίπεδο κατανόησης με το οποίο πιστώνει τους μαθητές η δεύτερη ερμηνεία αναφορικά με τη διάκριση τόσο ανάμεσα στην ενέργεια και ηλεκτρικό ρεύμα όσο και ανάμεσα στην αποθηκευμένη ενέργεια και τις διεργασίες διάδοσής της. Η ευρύτερη εικόνα που διαμορφώνεται από τα διαθέσιμα δεδομένα, τόσο από τις γραπτές απαντήσεις όσο και από τις συνεντεύξεις αποτυγχάνει να επιβεβαιώσει αυτό το επίπεδο κατανόησης. Ο δεύτερος τρόπος σχετίζεται με το γεγονός ότι οι δύο από αυτούς τους μαθητές οι οποίοι συμμετείχαν και στις συνεντεύξεις δήλωσαν ρητά στο πλαίσιο της συζήτησης, χωρίς να ερωτηθούν συγκεκριμένα, ότι όση ενέργεια πρόλαβε να διαδοθεί από την μπαταρία καθώς λειτουργούσε το τρυπάνι εξαφανίστηκε ενώ η υπόλοιπη παρέμεινε στην μπαταρία.

Ένα άλλο σημαντικό μέρος των μαθητών (N= 25, 42%) έδωσε απαντήσεις συμβατές με το νόμο διατήρησης της ενέργειας, προτείνοντας ότι καταλήγει να αποθηκεύεται σε κάποιο μέρος του συστήματος. Αυτές οι απαντήσεις διαφοροποιούνται μεταξύ τους ανάλογα με το μέρος του συστήματος στο οποίο αποδίδουν την τελική αποθήκευση της ενέργειας. Τρεις από αυτούς τους μαθητές (5%) αναγνώρισαν τον τοίχο και πέντε (8%) τον αέρα ως το μέρος στο οποίο καταλήγει η ενέργεια, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα, αντίστοιχα.

«Η ενέργεια σταμάτησε γιατί πήγε όλη πάνω στον τοίχο για να τον τρυπήσει.»

«Θα φύγει από την μπαταρία και πήγε στην ατμόσφαιρα γιατί η μπαταρία τέθηκε εκτός λειτουργίας.»

Οι υπόλοιποι μαθητές (N=17, 29%) δήλωσαν ότι η ενέργεια επιστρέφει πίσω στην μπαταρία, όπως φαίνεται στα δύο πιο κάτω παραδείγματα.

«Νομίζω πως η ενέργεια πηγαίνει πίσω στην μπαταρία και μένει εκεί ώσπου να ξαναχρησιμοποιήσουμε το τρυπάνι.»

«Η ενέργεια θα μπει μέσα στην μπαταρία πάλι. Το νομίζω αυτό γιατί αν δεν έμπαινε η ενέργεια μέσα γιατί να υπάρχει το + και το - της μπαταρίας;»

Παρόλο που θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι και οι τρεις περιπτώσεις απάντησης (ειδικότερα οι πρώτες δύο αφού η τρίτη καταλήγει σε μια εντελώς λανθασμένη επιλογή ως προς το μέρος του συστήματος στο οποίο αποδίδεται η αποθήκευσή της) αποτελούν ένδειξη της κατανόησης των μαθητών αναφορικά με την ιδέα ότι η ενέργεια δεν καταστρέφεται, τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις εισηγούνται ότι αυτή η ερμηνεία τείνει να υπερεκτιμά την επάρκεια των μαθητών. Πιο κάτω συζητούνται τα σχετικά δεδομένα από τις συνεντεύξεις για την καθεμιά από τις τρεις περιπτώσεις.

Η ενέργεια αποθηκεύεται στον τοίχο: Αυτή η απάντηση εμφανίστηκε σε δύο περιπτώσεις στις συνεντεύξεις (6.5%) και η περαιτέρω συζήτηση με τους μαθητές φανερώνει την τάση τους να στηρίζονται στη θέση ότι η ενέργεια που καταλήγει στον τοίχο αντιστοιχεί με την ενέργεια που «δαπανάται» για την επιτέλεση της συγκεκριμένης δραστηριότητας (άνοιγμα τρύπας). Το ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης με κάποιο από αυτούς τους μαθητές, είναι αποκαλυπτικό αυτού του σκεπτικού.

Μαθητής: Η ενέργεια πήγε στον τοίχο για να ανοίξει την τρύπα και όση έμεινε επέστρεψε στην μπαταρία.

Ερευνητής: Δηλαδή, αν θεωρήσουμε ότι έχουμε τρόπο να μετρούμε την ενέργεια που βρίσκεται μέσα στην μπαταρία και ότι στην αρχή, πριν αρχίσει να τρυπά ο εργάτης, η ενέργεια ήταν 100 μονάδες. Όταν άφησε το τρυπάνι να λειτουργήσει για λίγο και το έκλεισε, η ενέργεια που θα έχει η μπαταρία θα είναι ίση με 100, περισσότερη ή λιγότερη;

Μαθητής: Λιγότερη από 100 επειδή έδωσε την ενέργειά της για να τρυπήσει τον τοίχο.

Ερευνητής: Ας πούμε για παράδειγμα ότι όταν την μετρήσαμε ξανά όταν σταμάτησε ο εργάτης και βρήκαμε ότι είναι 70. Άρα πόσες μονάδες λιγότερη από την αρχή;

Μαθητής: 30.

Ερευνητής: Αυτές οι 30 μονάδες τι απέγιναν;

Μαθητής: Πήγαν στον τοίχο που τον τρυπούσε. Χάθηκαν.

Ερευνητής: Τι εννοείς ότι χάθηκαν;

Μαθητής: Πήγαν στον τοίχο και χρησιμοποιήθηκαν για να ανοίξει η τρύπα.

Η ενέργεια αποθηκεύεται στον αέρα: Αυτή η απάντηση εμφανίστηκε σε πέντε περιπτώσεις στις συνεντεύξεις (16.5%) αλλά κανένας από αυτούς δεν εννοούσε κυριολεκτικά τη δήλωσή του. Αντίθετα, τα δεδομένα εισηγούνται ότι αντιλαμβάνονταν τη δήλωση «η ενέργεια πάει στον αέρα» ως ταυτόσημη με την ιδέα ότι εξαφανίζεται. Πιο κάτω παρατίθεται απόσπασμα από τη συνέντευξη με κάποιο μαθητή, το οποίο καταδεικνύει αυτή την προοπτική.

Μαθητής: Η ενέργεια που χρησιμοποίησε δεν έμεινε εκεί. Έφυγε. Πήγε στο περιβάλλον.

Ερευνητής: Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε τρόπο να μετρούμε την ενέργεια που βρίσκεται μέσα στην μπαταρία και ότι στην αρχή, πριν αρχίσει να τρυπά ο εργάτης, η ενέργεια ήταν 100 μονάδες. Όταν άφησε το τρυπάνι να λειτουργήσει για λίγο και το έκλεισε, η ενέργεια που θα έχει η μπαταρία θα είναι ίση με 100, περισσότερη ή λιγότερη;

Μαθητής: Λιγότερη.

Ερευνητής: Ας υποθέσουμε ότι είναι 70 μονάδες. Δηλαδή 30 λιγότερες από ότι είχε στην αρχή. Αυτές οι 30 μονάδες τι απέγιναν;

Μαθητής: Δεν υπάρχουν πια.

Ερευνητής: Τις 70 μονάδες που έμειναν στην μπαταρία μπορώ να τις χρησιμοποιήσω;

Μαθητής: Ναι μπορείς να κάνεις το τρυπάνι να λειτουργήσει πάλι.

Ερευνητής: Τις 30 μπορώ να τις χρησιμοποιήσω με κάποιο τρόπο;

Μαθητής: Όχι. Αφού δεν τις έχουμε. Έφυγαν.

Η ενέργεια επιστρέφει στην μπαταρία: Αυτή ήταν η πιο συχνή απάντηση που δόθηκε από τους μαθητές στο πλαίσιο των συνεντεύξεων (N=23, 77%) και η συζήτηση με τον καθένα από αυτούς εισηγείται ότι δεν μπορεί να λειτουργήσει ως ένδειξη κατανόησης για τη διατήρηση της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές, με δύο μόνο εξαιρέσεις, διευκρίνισαν άμεσα στο πλαίσιο της συνέντευξης ότι δεν επιστρέφει όλη η ποσότητα ενέργειας πίσω στην μπαταρία. Αντίθετα, όπως φαίνεται στο απόσπασμα

που ακολουθεί, δήλωσαν ότι επιστρέφει μόνο η ποσότητα ενέργειας που δεν είχε χρησιμοποιηθεί ακόμη ενώ όση χρησιμοποιήθηκε έχει εξαφανιστεί.

Ερευνητής: *Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε τρόπο να μετρούμε την ενέργεια που βρίσκεται μέσα στην μπαταρία και ότι στην αρχή, πριν αρχίσει να τρυπά ο εργάτης, η ενέργεια ήταν 100 μονάδες. Όταν άφησε το τρυπάνι να λειτουργήσει για λίγο και το έκλεισε, η ενέργεια που θα έχει η μπαταρία θα είναι ίση με 100, περισσότερη ή λιγότερη;*

Μαθητής: *Λιγότερη.*

Ερευνητής: *Προηγουμένως είπες πως όταν τελειώσει ο εργάτης η ενέργεια επιστρέφει στην μπαταρία. Πώς γίνεται να είναι λιγότερη από 100 μονάδες;*

Μαθητής: *Δεν επιστρέφει όλη όμως. Επιστρέφει μόνο όση δεν χρησιμοποιήθηκε.*

Ερευνητής: *Ας υποθέσουμε τότε ότι η ενέργεια που έμεινε στην μπαταρία είναι 70 μονάδες. Τι απέγιναν οι υπόλοιπες 30 μονάδες;*

Μαθητής: *Είναι αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στο τρυπάνι.*

Ερευνητής: *Αυτές οι 30 μονάδες υπάρχουν κάπου; Αποθηκεύτηκαν κάπου;*

Μαθητής: *Όχι. Εξατμίστηκαν.*

Οι δύο μαθητές που δεν δήλωσαν ότι επιστρέφει ολόκληρη η ποσότητα της ενέργειας στην μπαταρία εισήγαγαν μια τεχνητή διάκριση ανάμεσα στην ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε, η οποία παρόλο που επέστρεψε δεν μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί, και στην αχρησιμοποίητη ενέργεια, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί όταν το τρυπάνι τεθεί και πάλι σε λειτουργία. Αυτό το σκεπτικό αποτυπώνεται στο ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης.

Ερευνητής: *Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε τρόπο να μετρούμε την ενέργεια που βρίσκεται μέσα στην μπαταρία και ότι στην αρχή, πριν αρχίσει να τρυπά ο εργάτης, η ενέργεια ήταν 100 μονάδες. Όταν έκλεισε το τρυπάνι, η ενέργεια που θα έχει η μπαταρία θα είναι ίση με 100, περισσότερη ή λιγότερη;*

Μαθητής: *Λιγότερη.*

Ερευνητής: *Ναι αλλά προηγουμένως είπες πως η ενέργεια επιστρέφει στην μπαταρία. Δεν θα έπρεπε να είναι πάλι 100 μονάδες; Πώς γίνεται να είναι λιγότερη από 100 μονάδες;*

Μαθητής: *Επιστρέφει η ενέργεια όλη στην μπαταρία αλλά όση χρησιμοποιήθηκε δεν μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί. Το θετικό χρησιμοποιήθηκε και το αρνητικό είναι τα απόβλητα.*

Οι απαντήσεις των μαθητών που προσδιόρισαν την μπαταρία ως το τελικό μέρος αποθήκευσης της ενέργειας είναι προφανώς επηρεασμένες από τη δυσκολία διάκρισης ανάμεσα στην ενέργεια και το ηλεκτρικό ρεύμα, η οποία τεκμηριώνεται τόσο στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας όσο και στη διεθνή βιβλιογραφία (Shipstone, 1984; Duit, 1984; Driver *et al.*, 1994). Αυτή η επίδραση οδηγεί τους μαθητές να ταυτίζουν τα δύο θεωρώντας, κατά συνέπεια, ότι η ενέργεια εκτελεί κάποιου είδους κυκλική κίνηση η οποία ξεκινά από τον ένα πόλο της μπαταρίας και επιστρέφει στον άλλο. Το παράδοξο που επισημαίνεται από τον ερευνητή αναφορικά με τη μείωση της αρχικής ποσότητας ενέργειας στην μπαταρία οδηγεί τους περισσότερους μαθητές να διευκρινίσουν ότι επιστρέφει μόνο ένα μέρος της ενέργειας, ενώ κάποιο άλλο χάνεται, και τους υπόλοιπους μαθητές να διαχωρίσουν ανάμεσα σε δυο είδη ενέργειας εντός της μπαταρίας, ανάλογα με το κατά πόσο έχουν χρησιμοποιηθεί ή όχι. Οι δύο αυτές προσεγγίσεις των μαθητών αποτελούν, ενδεχομένως, ένα τρόπο στον οποίο καταφεύγουν με στόχο να συμβιβάσουν, από τη μια, την τάση τους να αποδίδουν στην ενέργεια το χαρακτηριστικό της κυκλικής ροής του ηλεκτρικού ρεύματος, και από την άλλη, το παράδοξο που προκαλείται από τη μείωση στην ποσότητά της.

6.3.3.β2. Τελική Αξιολόγηση

- Η ενέργεια δεν παράγεται

Μετά τη διδασκαλία, όλοι οι μαθητές που συμμετείχαν στη χορήγηση του έργου αξιολόγησης (N=58) ανέφεραν ότι η ενέργεια βρισκόταν αποθηκευμένη κάπου στο σύστημα. Οι απαντήσεις μπορούν να διακριθούν αδρομερώς σε δύο γενικές κατηγορίες. Η πρώτη, περιλαμβάνει έξι (10%) μαθητές που είτε δεν προσδιόρισαν με σαφήνεια το μέρος του συστήματος στο οποίο βρισκόταν αποθηκευμένη είτε κατέληξαν σε λανθασμένη επιλογή. Ειδικότερα, τρεις από αυτούς κατέδειξαν τον εργάτη ως το μέρος του συστήματος στο οποίο βρισκόταν αποθηκευμένη αρχικά, δύο μαθητές περιορίστηκαν σε μια γενική αναφορά στο τρυπάνι ως το μέρος αποθήκευσης χωρίς να καθορίζουν οποιοδήποτε συγκεκριμένο στοιχείο του (π.χ. μπαταρία), ενώ ένας μαθητής απέφυγε να προσδιορίσει οποιοδήποτε μέρος του συστήματος αλλά δήλωσε ρητά ότι βρίσκεται αποθηκευμένη ως χημική δυναμική ενέργεια.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει όλους τους υπόλοιπους μαθητές (N=52, 90%) οι οποίοι καθόρισαν την μπαταρία ως το μέρος του συστήματος στο οποίο αποθηκεύεται η ενέργεια. Είκοσι έξι από αυτούς (45% του συνόλου των μαθητών) προσδιόρισαν, επιπρόσθετα, τη μορφή στην οποία βρίσκεται αποθηκευμένη η ενέργεια (χημική ενέργεια), χωρίς να έχει ζητηθεί ρητά, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα.

«Η ενέργεια υπήρχε στην μπαταρία με τη μορφή της χημικής δυναμικής ενέργειας.»

«Η ενέργεια ήταν αποθηκευμένη στις μπαταρίες με τη μορφή της χημικής ενέργειας.»

Το γεγονός ότι οι υπόλοιποι μαθητές παρέλειψαν να προσδιορίσουν τη σχετική μορφή αποθήκευσης θα μπορούσε να ερμηνευθεί, πιθανώς, ως ένδειξη της αποτυχίας τους να την αναγνωρίσουν. Αυτό, ωστόσο, βρίσκεται σε σύγκρουση με τα δεδομένα σχετικά με την ανάλυση συστημάτων, που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, τα οποία κατέδειξαν ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (93% στο πρώτο και 98% στο δεύτερο δοκίμιο) ξεκίνησε με έγκυρο τρόπο την ενεργειακή αλυσίδα για το συγκεκριμένο σύστημα. Επομένως, μια πιο πιθανή ερμηνεία είναι ότι οι μαθητές δεν ανέφεραν αυτό το στοιχείο στις απαντήσεις τους, αφενός, επειδή δεν ζητήθηκε ρητά, και, αφετέρου, επειδή το είχαν ήδη προσδιορίσει στις ενεργειακές αναλύσεις που είχαν προτείνει.

Η σύγκριση των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές πριν και μετά τη διδασκαλία καταδεικνύει μια σχετικά μικρή αύξηση στο ποσοστό των μαθητών που ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν την μπαταρία ως το μέρος του συστήματος στο οποίο βρισκόταν αρχικά αποθηκευμένη η ενέργεια (78% στην αρχική αξιολόγηση και 90% στην τελική αξιολόγηση). Παρόλο που θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η διαφορά είναι μικρή για να μπορεί να τεκμηριώσει οποιοδήποτε μαθησιακό όφελος σε σχέση με την κατανόηση των μαθητών για τη διατήρηση της ενέργειας, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία φαίνονται να αναδύονται από δύο εντελώς διαφορετικά πλαίσια. Πιο συγκεκριμένα, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι απαντήσεις των μαθητών πριν από τη διδασκαλία είναι πιο πιθανό να έχουν προκύψει συμπτωματικά ως προϊόν της επίδρασης συγκεκριμένων εννοιολογικών δυσκολιών (π.χ. μέρδεμα ενέργειας και ηλεκτρικού ρεύματος) παρά ως αποτέλεσμα της επάρκειάς τους αναφορικά με το νόμο διατήρησης της ενέργειας. Αντίθετα, τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει στην τελική αξιολόγηση στο πλαίσιο των έργων αξιολόγησης που αφορούν στην

ενεργειακή ανάλυση συστημάτων, παρέχουν ενδείξεις για την εξασθένηση αυτής της επίδρασης. Επιγραμματικά, αυτές οι ενδείξεις, αφορούν στην απουσία περιπτώσεων όπου η πορεία διάδοσης της ενέργειας περιγράφεται ως κυκλική (το οποίο ήταν ιδιαίτερα συχνό στην αρχική αξιολόγηση και συνδέεται με την τάση των μαθητών για ταύτιση ενέργειας και ηλεκτρικού ρεύματος) και στην ικανότητα των μαθητών να αντιλαμβάνονται τη χημική ενέργεια ως τη μορφή στην οποία αποθηκεύεται η ενέργεια τόσο σε ηλεκτρικά συστήματα που λειτουργούν με μπαταρίες όσο και σε συστήματα που λειτουργούν με την αξιοποίηση καυσίμων (π.χ. γκαζάκι υγραερίου) ή της τροφής (π.χ. στο σύστημα άνθρωπος-οξυγόνο). Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η διαφοροποίηση στο πλαίσιο από το οποίο προκύπτουν οι απαντήσεις των μαθητών μετά τη διδασκαλία παρέχει μια ενθαρρυντική ένδειξη αναφορικά με την κατανόησή τους για την ιδέα ότι η ενέργεια δεν παράγεται, η οποία αποτελεί μια βασική πτυχή του νόμου διατήρησης στον οποίο υπόκειται.

- Η ενέργεια δεν καταστρέφεται

Σε αυτό το ερώτημα απάντησαν 52 μαθητές και είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι όλοι αναγνώρισαν – τουλάχιστον έμμεσα και σε αρκετές περιπτώσεις ρητά - ότι η ενέργεια δεν χάνεται. Οι απαντήσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες οι οποίες διαφοροποιούνται ως προς το βαθμό της λεπτομέρειας και της πληρότητάς τους. Η πρώτη αποτελείται από έξι μαθητές (12%) που επισήμανα απλώς το μέρος του συστήματος στο οποίο θεώρησαν ότι θα αποθηκευτεί η ενέργεια. Οι τέσσερις από αυτούς δήλωσαν ότι η ενέργεια θα αποθηκευτεί στον αέρα ενώ οι άλλοι δύο προσδιόρισαν τον τοίχο ως το μέρος της αποθήκευσης. Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από οκτώ μαθητές (15%) που περιορίστηκαν στον προσδιορισμό της εσωτερικής ενέργειας ως της μορφής στην οποία θα καταλήξει να αποθηκεύεται η ενέργεια, χωρίς να αναφέρουν το αντίστοιχο μέρος του συστήματος. Τέλος, η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει 38 μαθητές (73%) που προσδιόρισαν ορθά τόσο το μέρος του συστήματος στο οποίο καταλήγει να αποθηκεύεται η ενέργεια (περιβάλλοντας αέρας) όσο και την αντίστοιχη μορφή (εσωτερική ενέργεια). Πιο κάτω παρατίθενται δύο ενδεικτικά παραδείγματα από δηλώσεις μαθητών που εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία.

«Η ενέργεια που χρησιμοποίησε το τρυπάνι για να τρυπήσει τον τοίχο έγινε εσωτερική ενέργεια του περιβάλλοντος γιατί η θερμοκρασία αυξήθηκε έστω και ελάχιστα.»

«Η ενέργεια θα πήγαινε στην ατμόσφαιρα γιατί η ενέργεια δεν χάνεται. Ως εσωτερική ενέργεια.»

Το γεγονός ότι οι περισσότεροι μαθητές ήταν σε θέση να δώσουν πλήρεις απαντήσεις αποτελεί μια ενθαρρυντική ένδειξη για το βαθμό στον οποίο ανέπτυξαν κατανόηση αναφορικά με τη συγκεκριμένη πτυχή της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Ένα άλλο στοιχείο το οποίο παρουσιάζει ενδιαφέρον και αξίζει να σχολιασθεί προκύπτει από τις απαντήσεις που έδωσαν εννιά από αυτούς τους μαθητές (24%) οι οποίοι εκτός από την αναγνώριση του περιβάλλοντα αέρα, ως το μέρος τους συστήματος στο οποίο αποθηκεύεται η ενέργεια, και την εσωτερική ενέργεια, ως τη μορφή αποθήκευσης, αναφέρθηκαν, επιπρόσθετα και χωρίς να έχει ζητηθεί, στη μεταβολή που προκαλείται στον αέρα ως αποτέλεσμα της διάδοσης ενέργειας (ελάχιστη αύξηση της θερμοκρασίας του), όπως φαίνεται στο πρώτο από τα δύο παραδείγματα. Η εμφάνιση αυτών των απαντήσεων, καταδεικνύει ότι, τουλάχιστον το συγκεκριμένο μέρος των μαθητών, δεν ανέπτυξε απλώς αποσπασματικά την ιδέα ότι κατά τον τερματισμό μιας διεργασίας η ενέργεια αποθηκεύεται (συνήθως) στον περιβάλλοντα αέρα ως εσωτερική ενέργεια αλλά ήταν ικανοί να την εντάξουν λειτουργικά στο ευρύτερο θεωρητικό πλαίσιο της ενέργειας που προωθήθηκε κατά τη διδασκαλία. Συγκεκριμένα, αυτοί οι μαθητές, ήταν σε θέση να αντιληφθούν, αφενός, ότι η διάδοση ενέργειας στον αέρα συνεπάγεται μεταβολή σε κάποια από τις ιδιότητές του και, αφετέρου, να ταυτίσουν την εσωτερική ενέργεια με μεταβολή στη θερμοκρασία. Αυτό το εύρημα αποτελεί μια αξιόπιστη ένδειξη για την κατανόηση των μαθητών για το ρόλο της εσωτερικής ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο εύρημα διασταυρώνεται τόσο με τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις όσο και με δεδομένα από άλλα έργα αξιολόγησης, που παρουσιάστηκαν νωρίτερα (π.χ. ενεργειακή ανάλυση του συστήματος Γκολφ1 αναφορικά με τον τερματισμό της κίνησης της μπάλας). Κατά τις συνεντεύξεις, όλοι οι μαθητές, εκτός από δύο, δήλωσαν ότι η ενέργεια αποθηκεύθηκε στο περιβάλλον σε μορφή εσωτερικής ενέργειας και στο επιπρόσθετο ερώτημα του ερευνητή που ζητούσε να υποδείξουν τη μεταβολή που προκάλεσε σε αυτό όλοι σχεδόν οι μαθητές, εκτός από τρεις εξαιρέσεις, ήταν σε θέση να συνδέσουν την αποθήκευση της ενέργειας στον αέρα με αύξηση της θερμοκρασίας του. Επιπρόσθετα, όλοι οι μαθητές ήταν σε θέση να επισημάνουν την ιδιαίτερα μικρή ένταση της μεταβολής λόγω της τεράστιας ποσότητας (μάζας) του αέρα, άλλοτε αυθόρμητα (σε έντεκα περιπτώσεις) και άλλοτε μετά από σχετικό ερώτημα από τον ερευνητή. Πιο κάτω παρατίθεται ένα απόσπασμα από συνέντευξη το οποίο είναι ενδεικτικό αυτού του στοιχείου.

Ερευνητής: Όταν σταματήσει να λειτουργεί το τρυπάνι τι θα έχουν απογίνει οι 100 μονάδες ενέργειας που είχε στην αρχή η μπαταρία;

Μαθητής: Σταμάτησε ο εργάτης το τρυπάνι ή σταμάτησε από μόνο του;

Ερευνητής: Ας θεωρήσουμε ότι σταμάτησε από μόνο του. Πόση θα είναι τώρα η ενέργεια στην μπαταρία;

Μαθητή: Στην μπαταρία είναι μηδέν.

Ερευνητής: Τι απέγιναν οι 100 μονάδες που είχε στην αρχή;

Μαθητής: Πήγαν στον αέρα σε εσωτερική ενέργεια;

Ερευνητής: Ναι αλλά αν συνέβηκε αυτό τότε δεν θα πρέπει να έχει συμβεί κάποια αλλαγή στον αέρα.

Μαθητής: Ναι θα ζεστάθηκε λίγο αλλά επειδή είναι πολύ μεγάλη η έκταση του αέρα δεν το καταλαβαίνουμε.

Οι τρεις εξαιρέσεις που αναφέρθηκαν πιο πάνω περιλαμβάνουν δύο μαθητές που δεν ήταν σε θέση να συνδέσουν τη διάδοση ενέργειας προς τον αέρα με οποιαδήποτε μεταβολή και μια μαθήτρια που αναγνώρισε, λανθασμένα, τον ήχο ως τη μεταβολή που υφίσταται ο αέρας.

6.3.3.γ. Κατανόηση της ιδιότητας της υποβάθμισης της ενέργειας

Το δεύτερο ερώτημα το οποίο εστιάζεται στο βαθμό στον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται ότι μετά την ολοκλήρωση μιας διεργασίας η ενέργεια δεν καταστρέφεται αλλά αποθηκεύεται κάπου στο σύστημα παρείχε επίσης πληροφόρηση για την κατανόησή τους για την ιδιότητα της ενέργειας να υποβαθμίζεται. Αυτή η πληροφόρηση προκύπτει κυρίως από τα δεδομένα των συνεντεύξεων και τη σχετική συζήτηση για την κατάληξη της ενέργειας όταν διακόπτεται η λειτουργία του τρυπανιού, και περιλαμβάνει δύο πτυχές. Η πρώτη πτυχή, η οποία έχει ήδη συζητηθεί προηγουμένως, αφορά στο εύρημα ότι όλοι οι συμμετέχοντες, με εξαίρεση μόνο δύο περιπτώσεις, υπέδειξαν ότι η ενέργεια κατέληξε να αποθηκεύεται ως εσωτερική ενέργεια στον περιβάλλοντα αέρα και στη συντριπτική τους πλειοψηφία ήταν ικανοί να αναγνωρίσουν την αμελητέα αύξηση στη θερμοκρασία του, ως αποτέλεσμα της διάδοσης ενέργειας. Αυτό συνάδει επίσης με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει στο πλαίσιο της ανάλυσης των τριών συστημάτων, που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα και επιβεβαιώνει την τάση των μαθητών να αναγνωρίζουν την εσωτερική ενέργεια ως μια συνήθη μορφή τελικής αποθήκευσης της ενέργειας. Η δεύτερη πτυχή αφορά σε ένα πρόσθετο ερώτημα, που υπέβαλλε συστηματικά ο ερευνητής σε όλους τους πιο πάνω μαθητές, ζητώντας τους να συγκρίνουν το βαθμό στον οποίο μπορεί να

αξιοποιηθεί πιο εύκολα η ίδια ποσότητα ενέργειας όταν είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία (πριν αρχίσει να λειτουργεί το τρυπάνι) και στον αέρα (όταν διακοπεί η λειτουργία του). Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις δείχνουν ότι όλοι οι μαθητές υποστήριξαν ότι η ενέργεια είναι πιο εύκολα αξιοποιήσιμη όταν αποθηκεύεται στην μπαταρία. Αυτό, ωστόσο, το εύρημα είναι διαισθητικά προφανές και είναι περιορισμένη η διακριτική ικανότητά του αναφορικά με την αξιολόγηση της επάρκειας των μαθητών. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι περισσότεροι από τους μισούς μαθητές (N=18, 60%) ήταν σε θέση, επιπρόσθετα, να δικαιολογήσουν την απάντησή τους κάνοντας ρητή αναφορά στο διασκορπισμό της ενέργειας και στην αδυναμία συγκέντρωσης και αξιοποίησής της. Ενδεικτικά παρατίθενται δύο αποσπάσματα συνεντεύξεις, στα οποία φαίνεται η αιτιολόγηση που προτείνουν οι μαθητές για τον ισχυρισμό ότι οι 100 μονάδες στην μπαταρία είναι πιο εύκολα αξιοποιήσιμες.

«Προτιμώ να είναι στις μπαταρίες και όχι στον αέρα. Στις μπαταρίες μπορούμε να δουλέψει το εργαλείο που έχουμε ενώ στον αέρα δεν μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε.»

«Επειδή δεν μπορούμε να μαζέψουμε έτσι εύκολα την ενέργεια από το περιβάλλον. Ενώ στην μπαταρία είναι μαζεμένη σε ένα συγκεκριμένο χώρο.»

Συνδυάζοντας την πληροφόρηση που έχει συζητηθεί πιο πάνω (ικανότητα μαθητών να αναγνωρίζουν, σε μεγάλο βαθμό (α) την εσωτερική ενέργεια του περιβάλλοντος ως συνήθη κατάληξη της ενέργειας σε ένα σύστημα, (β) τη σύνδεσή της με αμελητέα αύξηση της θερμοκρασίας του και (γ) τις επιπτώσεις του διασκορπισμού της στον αέρα ως προς τη δυνατότητα αξιοποίησής της) προκύπτει μια ενθαρρυντική ένδειξη για την κατανόηση των μαθητών αναφορικά με την ιδέα της υποβάθμισης της ενέργειας.

Δεδομένα από απαντήσεις μαθητών σε φύλλα εργασίας

Όπως έχει αναφερθεί νωρίτερα, μια άλλη πηγή δεδομένων για το συγκεκριμένο έργο αξιολόγησης αφορά σε ένα φύλλο εργασίας που συμπλήρωσαν οι μαθητές ηλεκτρονικά ως μέρος τους διδακτικού υλικού. Πιο συγκεκριμένα, το φύλλο εργασίας αφορούσε στο ηλεκτρικό σύστημα ενός λαμπτήρα και ζητούσε από τους μαθητές να περιγράψουν τι θα απογίνει η ενέργεια που είχε ένας αναμμένος λαμπτήρας όταν σταματήσει να φωτοβολεί (διάγραμμα 23).

Διάγραμμα 23: Φύλλο εργασίας για αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών για την ιδιότητα της ενέργειας να υποβαθμίζεται

Πού καταλήγει η ενέργεια;



Αν αφήσω συνδεδεμένη την μπαταρία με το λαμπτήρα για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα τότε ο λαμπτήρας θα σβήσει κάποτε. Τι θα γίνει η ενέργεια όταν σβήσει ο λαμπτήρας; Εξηγήστε την απάντησή σας.

Αυτό το φύλλο εργασίας περιλαμβάνεται σε δύο θέσεις στην ακολουθία δραστηριοτήτων. Η πρώτη θέση ακολουθεί την εισαγωγή των μορφών αποθηκευμένης ενέργειας και της πρώτης διεργασίας διάδοσης (ηλεκτρική ενέργεια) και προηγείται της εισαγωγής της εσωτερικής ενέργειας και της οποιασδήποτε συζήτησης που συνδέεται με την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Η δεύτερη θέση βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο της ακολουθίας δραστηριοτήτων μετά την παρουσίαση όλων των στοιχείων του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας. Κατά τη δεύτερη φορά που συναντούν οι μαθητές αυτό το φύλλο εργασίας εμφανίζεται συμπληρωμένο με την αρχική τους απάντηση και τους δίνεται η δυνατότητα να την τροποποιήσουν εάν το θεωρούν χρήσιμο. Μετά τη συμπλήρωση του φύλλου εργασίας για δεύτερη φορά η βάση δεδομένων ενημερώνεται αυτόματα, ώστε να περιλαμβάνει ως χωριστές εγγραφές τόσο την αρχική όσο και την αναθεωρημένη απάντηση των μαθητών (βλ. πέμπτο κεφάλαιο, 5.1.2).

Συνολικά στη βάση δεδομένων καταχωρήθηκαν δύο απαντήσεις από 26 ομάδες μαθητών. Στους πίνακες 58 και 59 παρουσιάζονται αντίστοιχα οι κατηγοριοποιήσεις των αρχικών και των αναθεωρημένων απαντήσεων που δόθηκαν. Σε κάθε περίπτωση σημειώνονται οι σχετικές συχνότητες εμφάνισης και παρατίθεται ένα ενδεικτικό απόσπασμα απάντησης.

Οι απαντήσεις του πρώτου φύλλου εργασίας μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες. Η πρώτη, στην οποία συγκεντρώνονται 77% των απαντήσεων (N=20) προτείνει ότι η ενέργεια χάνεται μόλις τερματιστεί η φωτοβολία του λαμπτήρα. Οι

μαθητές στις πέντε από τις υπόλοιπες έξι ομάδες (19%) δήλωσαν ότι η ενέργεια επιστρέφει πίσω στην μπαταρία. Τέλος, η έκτη ομάδα (4%) κατέληξε σε μια άσχετη απάντηση δηλώνοντας απλώς ότι το φως διαδίδεται μέσα στα καλώδια.

Πίνακας 58: Αρχικές απαντήσεις μαθητών στο φύλλο εργασίας (διατήρηση/υποβάθμιση ενέργειας)

Κατηγορία απάντησης	Ενδεικτικό παράδειγμα	N	%
Η ενέργεια σπαταλήθηκε (χάθηκε)	<i>Η ενέργεια θα εξαφανιστεί γιατί η μπαταρία δεν θα έχει άλλη ενέργεια</i>	20	77
Η ενέργεια επιστρέφει πίσω στην μπαταρία	<i>Όταν σβήσει ο λαμπτήρας η ενέργεια πάει πίσω στην μπαταρία γιατί όταν το ξαναανάψουμε ανάβει</i>	5	19
Άσχετη απάντηση	<i>Το φως όταν κλείσει διαδίδεται μέσα στα καλώδια</i>	1	4

Οι αναθεωρημένες απαντήσεις των μαθητών παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση συγκριτικά με τις αρχικές. Όλες οι ομάδες εκτός από μία δήλωσαν ρητά ότι η ενέργεια δεν εξαφανίζεται όταν τερματιστεί η φωτοβολία του λαμπτήρα. Ένα αξιοσημείωτο στοιχείο είναι ότι η ομάδα που απέκλινε από αυτό το σκεπτικό φαίνεται να ερμηνεύει τη δήλωση «η ενέργεια εξαφανίστηκε» ως ταυτόσημη της δήλωσης «η ενέργεια κατέληξε στον αέρα». Αυτή η τάση έχει εντοπισθεί και έχει συζητηθεί προηγουμένως σε σχέση με τις απαντήσεις των μαθητών στο αντίστοιχο έργο αξιολόγησης.

Οι απαντήσεις των υπόλοιπων ομάδων εντάσσονται σε πέντε διαφορετικές κατηγορίες. Η κατηγορία που βρίσκεται στο ψηλότερο επίπεδο πληρότητας περιλαμβάνει τις ομάδες που αναγνώρισαν τόσο ότι η ενέργεια αποθηκεύεται στον αέρα όσο και τη σχετική μορφή αποθηκευμένης ενέργειας (εσωτερική ενέργεια). Σε αυτή την κατηγορία συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος των απαντήσεων (N=9, 34.5%). Οι επόμενες δύο κατηγορίες περιλαμβάνουν τις ομάδες που αναφέρθηκαν σε ένα από τα δύο αυτά στοιχεία. Ειδικότερα, δύο ομάδες ονόμασαν τη σχετική μορφή αποθηκευμένης ενέργειας και έξι ομάδες επεσήμαναν τον αέρα ως το μέρος του συστήματος στο οποίο αποθηκεύεται η ενέργεια. Η επόμενη κατηγορία αποτελείται από μια μόνο ομάδα η οποία δήλωσε ότι η

ενέργεια αποθηκεύεται στο λαμπτήρα. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι η απάντηση αυτή προέκυψε ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας (η ενέργεια διαδίδεται στο μέρος του συστήματος όπου παρατηρείται η μεταβολή) αγνοώντας, ωστόσο, το ρόλο συσκευών, όπως ο λαμπτήρας, οι οποίοι μετατρέπουν την ενέργεια που διαδίδεται σε αυτά σε κάποια άλλη μορφή, διαδίδοντάς την στη συνέχεια σε άλλα μέρη του συστήματος. Στην επόμενη κατηγορία απάντησης εντάσσονται επτά ομάδες μαθητών οι οποίες αναγνώρισαν ρητά ότι η ενέργεια δεν χάνεται αλλά παρέλειψαν να προσδιορίσουν είτε το μέρος του συστήματος στο οποίο αποθηκεύεται είτε τη σχετική μορφή. Αντίθετα, περιορίστηκαν σε μια γενική και αόριστη αναφορά στο ευρύτερο σύστημα ως το μέρος στο οποίο αποθηκεύεται η ενέργεια.

Πίνακας 59: Αναθεωρημένες απαντήσεις μαθητών στο φύλλο εργασίας (διατήρηση/υποβάθμιση ενέργειας)

Κατηγορία απάντησης	Ενδεικτικό παράδειγμα	N	%
Η ενέργεια αποθηκεύεται στον αέρα ως εσωτερική ενέργεια	<i>Η ενέργεια όταν σβήσει ο λαμπτήρας πηγαίνει στην ατμόσφαιρα γύρω του σε εσωτερική ενέργεια</i>	9	34.5
Η ενέργεια αποθηκεύεται στη μορφή της εσωτερικής ενέργειας	<i>Η ενέργεια θα αποθηκευτεί σε εσωτερική ενέργεια</i>	2	7.5
Η ενέργεια αποθηκεύτηκε στον αέρα	<i>Η ενέργεια δεν θα χαθεί. Θα φύγει από την μπαταρία και θα πάει στον αέρα.</i>	6	23
Η ενέργεια θα αποθηκευθεί στο λαμπτήρα	<i>Η ενέργεια δεν θα εξαφανιστεί. Θα αποθηκευτεί στο λαμπάκι γιατί εκεί έγινε η αλλαγή</i>	1	4
Η ενέργεια θα αποθηκευτεί κάπου στο σύστημα	<i>Ο λαμπτήρας όταν σβήσει η ενέργεια δεν θα χαθεί. Θα αποθηκευτεί κάπου αλλού στο σύστημα</i>	7	27
Η ενέργεια θα εξαντληθεί	<i>Η ενέργεια θα εξαντληθεί και θα πάει στον αέρα</i>	1	4

Τα πιο πάνω δεδομένα παρέχουν μια πρόσθετη ένδειξη για τη βελτίωση στην κατανόηση των μαθητών για την ιδέα ότι η ενέργεια δεν καταστρέφεται. Επίσης, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η συμβατότητα που παρουσιάζουν με τα αντίστοιχα δεδομένα από τα γραπτά έργα αξιολόγησης και τις συνεντεύξεις με τους μαθητές ενισχύει περαιτέρω την αξιοπιστία του ισχυρισμού για τη βελτίωση της κατανόησης των μαθητών.

Καταληκτικά σχόλια για την ικανότητα των μαθητών για ενεργειακή ανάλυση συστημάτων

Η αξιολόγηση της επάρκειας των μαθητών να αναλύουν ενεργειακά μεταβολές που εμφανίζονται σε συστήματα που δεν μελετήθηκαν κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας παρείχε ιδιαίτερα ενθαρρυντικές ενδείξεις. Μια από αυτές, αφορά στο μεγάλο βαθμό στον οποίο ανέπτυξαν οι μαθητές το μοντέλο ενεργειακής ανάλυσης συστημάτων, ο οποίος τεκμηριώνεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στο σημαντικό ποσοστό των μαθητών που ήταν σε θέση να προτείνουν έγκυρες ενεργειακές αλυσίδες για τις μεταβολές στα τρία άγνωστα συστήματα, χωρίς να έχουν στη διάθεσή τους το σχετικό βοήθημα που περιλαμβάνει πιθανές μορφές αποθηκευμένης ενέργειας και διεργασίες διάδοσης (56% των συνολικών απαντήσεων στα τέσσερα συστήματα). Ο δεύτερος αφορά στο γεγονός ότι η πλειοψηφία των μαθητών (60% των συνολικών απαντήσεων για τα τέσσερα συστήματα και στα δύο δοκίμια) ήταν σε θέση να προτείνει ενεργειακές αλυσίδες που προσδιόρισαν ορθά όλα τα στοιχεία τους.

Πέρα από την επάρκεια των μαθητών στην ενεργειακή ανάλυση συστημάτων, τα δεδομένα παρείχαν επίσης θετικές ενδείξεις αναφορικά με τη συνοχή, τη συνέπεια και τη συγκρότηση του μοντέλου ενεργειακής ανάλυσης που ανέπτυξαν οι μαθητές. Συνοπτικά, αυτές οι ενδείξεις περιλαμβάνουν, (α) την παρουσία στατιστικά σημαντικής θετικής συσχέτισης ανάμεσα στην επίδοση των μαθητών στα τρία συστήματα, (β) την απουσία σημαντικής διαφοροποίησης στο ποσοστό επιτυχίας των μαθητών στα δύο δοκίμια (με ή χωρίς πρόσβαση στο σχετικό βοήθημα) αναφορικά με το κάθε μεμονωμένο στοιχείο των ενεργειακών αλυσίδων, (γ) το ιδιαίτερα περιορισμένο εύρος εναλλακτικών επιλογών στις οποίες κατέφευγαν οι μαθητές για τις διάφορες μορφές αποθήκευσης και διάδοσης ενέργειας και (δ) το υψηλό βαθμό ταύτισης ανάμεσα στις επιλογές στις οποίες κατέληγαν οι μαθητές για τα διάφορα μέρη των ενεργειακών αλυσίδων στα δύο δοκίμια.

Πέρα από τη διαπίστωση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού σε σχέση με την προώθηση της ικανότητας των μαθητών για ενεργειακή ανάλυση συστημάτων, η

επεξεργασία δεδομένων συνέβαλε επίσης στον εντοπισμό εννοιολογικών δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές, οι οποίες δεν είχαν προβλεφθεί αρχικά ενώ σε μερικές περιπτώσεις φαίνεται να έχουν προκύψει ως υποπροϊόντα της αλληλεπίδρασής τους με το διδακτικό υλικό. Συνοπτικά, οι κυριότερες από αυτές τις δυσκολίες περιλαμβάνουν, την αδυναμία των μαθητών:

- (α) να διακρίνουν ανάμεσα στο μηχανικό έργο και την κινητική ενέργεια ως προς το ρόλο τους στην ενεργειακή ανάλυση,
- (β) να αντιληφθούν την κινητική ενέργεια ως μορφή αποθήκευσης ενέργειας,
- (γ) να εκτιμήσουν την ευελιξία καθορισμού των ορίων μελέτης ενός συστήματος,
- (δ) να θεωρήσουν ότι η επιτάχυνση ενός αντικειμένου είναι δυνατό να αποτελεί το καταληκτικό στάδιο της ανάλυσης ενός συστήματος και
- (ε) να διακρίνουν ανάμεσα στη θερμότητα και στην εσωτερική ενέργεια.

Μια πρόσθετη παρεμφερής δυσκολία η οποία επίσης υποσκάπτει την ικανότητα των μαθητών να αναλύσουν ενεργειακά συστήματα αφορά στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται την έννοια της δύναμης. Ειδικότερα, οι μαθητές τείνουν να περιορίζουν αυτή την έννοια σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν σπρώξιμο ή τράβηγμα ανάμεσα σε δύο μακροσκοπικά αντικείμενα που παρουσιάζουν άμεση επαφή και αυτό έχει συνέπειες για την ικανότητά τους να αναλύσουν ενεργειακά περιπτώσεις διάδοσης ενέργειας με μηχανικό έργο. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η τάση εμποδίζει τους μαθητές να αναλύσουν ενεργειακά περιπτώσεις όπου υπάρχει διάδοση ενέργειας με μηχανικό έργο αλλά δεν ικανοποιείται αυτό το φαινομενολογικό χαρακτηριστικό (παρουσία σπρωξίματος ή τραβήγματος με άμεση επαφή), όπως στην περίπτωση της τριβής ολίσθησης. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η υπέρβαση αυτής της τάσης προϋποθέτει επαναπροσδιορισμό, από μέρους των μαθητών, του φυσικού μεγέθους της δύναμης και αυτό συνδέεται με εξελικτικούς περιορισμούς. Όπως συζητείται σε επόμενο μέρος του κεφαλαίου, στο οποίο παρουσιάζονται οι αναθεωρήσεις του διδακτικού υλικού, το μηχανικό έργο προτείνεται να παραμείνει στην ακολουθία δραστηριοτήτων που απευθύνεται σε μαθητές δημοτικού αλλά να περιοριστεί μόνο σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν μεταβολή στην κινητική ενέργεια αντικειμένου/ων λόγω κάποιου προφανούς σπρωξίματος ή τραβήγματος. Η διεύρυνση των ορίων εφαρμογής του ώστε να καλύπτει πιο σύνθετες περιπτώσεις (π.χ. διάδοση με μηχανικό έργο λόγω τριβής και βάρους) προτείνεται να μεταταθεί σε μεταγενέστερο στάδιο (μέση εκπαίδευση), όταν οι μαθητές θα είναι πιο έτοιμοι.

6.3.4. Αντιλήψεις εκπαιδευτικών για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού

Όπως αναφέρθηκε στο αρχικό μέρος της ενότητας όπου παρουσιάστηκαν βασικά μεθοδολογικά στοιχεία αναφορικά με την εμπειρική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ακολουθίας δραστηριοτήτων, μια άλλη πηγή δεδομένων που αξιοποιήθηκε περιλαμβάνει τις απαντήσεις των δύο εκπαιδευτικών που συνεργάστηκαν με τον ερευνητή για την υλοποίηση της ακολουθίας δραστηριοτήτων σε δομημένο ερωτηματολόγιο ανοικτού τύπου. Αυτές οι απαντήσεις αποτέλεσαν μια δευτερεύουσα πηγή δεδομένων η οποία είχε συμπληρωματικό ρόλο σε σχέση με τα δεδομένα από τις γραπτές απαντήσεις των μαθητών και τις απομαγνητοφωνημένες συνεντεύξεις. Πιο κάτω συνοψίζονται και σχολιάζονται οι αντιλήψεις που εξέφρασαν οι εκπαιδευτικοί για το βαθμό στον οποίο επιτεύχθηκαν οι διάφορες μαθησιακές επιδιώξεις. Η σύνοψη δομείται σε τρία μέρη, το καθένα από τα οποία ανταποκρίνεται σε κάποια από τις ευρύτερες μαθησιακές επιδιώξεις.

6.3.4.α. Κατανόηση της φύσης της ενέργειας

6.3.4.α1. Διάκριση ερμηνείας – παρατήρησης

Στην περίπτωση της μαθησιακής επιδιώξης για την προώθηση κατανόησης αναφορικά με τη διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης, και οι δύο εκπαιδευτικοί αναγνώρισαν ότι επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό, όπως φαίνεται στις δύο δηλώσεις που ακολουθούν:

«Σχετικά με τη φύση της επιστήμης νιώθω πως οι μαθητές μετά τη διδακτική παρέμβαση μπορούσαν να διαχωρίσουν σχετικά εύκολα την εξήγηση από την παρατήρηση και μάλιστα να ορίσουν με ορθό τρόπο την παρατήρηση και την εξήγηση.» (εκπαιδευτικός 1)

«Οι πιο πολλοί μαθητές φαινόταν να μπορούν να αποφασίσουν αν μια δήλωση είναι παρατήρηση ή εξήγηση. Ίσως τον ορισμό για το τι είναι παρατήρηση να μπορούσαν να τον πουν πιο εύκολα από το τι είναι εξήγηση. Πιστεύω πως το παράδειγμα με τα ίχνη ήταν πολύ καλό. Ήταν νομίζω εύκολο και καλό παράδειγμα για να προωθηθούν οι πιο πάνω επιδιώξεις. Επίσης νομίζω ότι οι συζητήσεις σε σχέση με το τι είναι εξήγηση στη γλώσσα και τι στην επιστήμη ήταν αποδοτικές και βοήθησαν στο να κατανοηθεί καλύτερα το τι είναι η επιστημονική εξήγηση.» (εκπαιδευτικός 2)

Αξίζει να επισημανθεί η αναγνώριση από μέρους του δεύτερου εκπαιδευτικού αναφορικά με τη μεγαλύτερη ευχέρεια που επέδειξαν οι μαθητές σε σχέση με τον προσδιορισμό μιας ερμηνείας παρά μιας παρατήρησης. Αυτή η δυσκολία που αντιμετώπισαν οι μαθητές αναφορικά με τη διευκρίνιση του περιεχομένου μιας ερμηνείας έχει εντοπιστεί επίσης κατά την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στο αντίστοιχο έργο αξιολόγησης και έχει ληφθεί υπόψη για την αναθεώρηση της ακολουθίας δραστηριοτήτων, όπως συζητείται αργότερα σε αυτήν την ενότητα.

6.3.4.α2. Κατανόηση της ενέργειας ως επινοήσης για την ερμηνεία μεταβολών

Οι αντιλήψεις που εξέφρασαν οι εκπαιδευτικοί σε σχέση με το βαθμό στον οποίο επιτεύχθηκε αυτή η μαθησιακή επιδίωξη ήταν και σε αυτή την περίπτωση συμβατές με τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στο αντίστοιχο έργο αξιολόγησης. Ειδικότερα, αναγνωρίστηκε η δυνατότητα των μαθητών να εκτιμούν την ενέργεια ως μια ερμηνεία η οποία έχει επινοηθεί. Δύο ενδεικτικά αποσπάσματα από τις απαντήσεις που έδωσαν οι εκπαιδευτικοί ήταν τα εξής:

«...μέσα από τις συζητήσεις που έγιναν με το διδακτικό προσωπικό και μέσα από το διδακτικό υλικό έγινε ξεκάθαρο πως η ενέργεια επινοήθηκε για να ενοποιησει τις εξηγήσεις που έχουμε για διαφορετικά φαινόμενα και να μας διευκολύνει στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε τα πράγματα. ... Στο τέλος της διδασκαλίας δεν υπήρχε κανένας μαθητής που να υποστηρίζει πως η ενέργεια είναι κάτι που μπορεί να παρατηρηθεί γεγονός που καταδεικνύει σε μεγάλο βαθμό την κατανόηση των μαθητών για την επινοημένη οντότητα της ενέργειας.»
(εκπαιδευτικός 1)

«Αυτό πιστεύω επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό. Επειδή καταλάβαιναν ότι με την ενέργεια προσπαθούμε να εξηγήσουμε και καταλάβαιναν ότι οι επιστημονικές εξηγήσεις είναι επινοήσεις, καταλάβαιναν ότι η ενέργεια επινοήθηκε.»
(εκπαιδευτικός 2)

6.3.4.β. Κατανόηση της αξίας της ενέργειας ως ενοποιητικού πλαισίου για την ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών

Όπως επισημάνθηκε κατά τη συζήτηση των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στο αντίστοιχο έργο αξιολόγησης, υπήρξε βελτίωση σε σχέση με την κατανόησή τους για το διαφαινομενολογικό χαρακτήρα της ενέργειας και για τη δυνατότητά της να παρέχει ένα

πλαίσιο ερμηνείας για διαφορετικές μεταβολές. Ταυτόχρονα διαπιστώθηκε το περιορισμένο μέγεθος επίδρασης της διδασκαλίας. Οι απαντήσεις των δύο εκπαιδευτικών έδειξαν επίσης να αναγνωρίζουν τα δύο αυτά στοιχεία, όπως φαίνεται στο ακόλουθο ενδεικτικό απόσπασμα απάντησης που ακολουθεί.

«Νομίζω πως αυτή την ερώτηση δεν μπορούσαν να την απαντήσουν πολλοί μαθητές στις συζητήσεις στην ολομέλεια [εισήγηση κοινής ερμηνείας διαφορετικών μεταβολών]. Πιστεύω πως στη φάση που συζητείται για πρώτη φορά η ανάγκη κοινής εξήγησης για διαφορετικά συστήματα ίσως να ήταν χρήσιμο η ανάγκη να δίνεται με πιο έντονο τρόπο (με κάποιο τρόπο που να τους δημιουργούσε πιο έντονα μια προσωπική ανάγκη για να βρουν κοινή εξήγηση;- αν μπορεί να γίνει κάτι τέτοιο). Νομίζω πως δεν «βιώνουν» πραγματικά την ανάγκη και τους καλύπτει η απάντηση «δεν μπορούμε να βρούμε μια κοινή εξήγηση» έτσι προχωρούν στην επόμενη σελίδα στην οποία παρουσιάζεται η συνεισφορά της ενέργειας χωρίς πραγματικά να την εντάσσουν σε αυτό το πλαίσιο (δεν καταλαβαίνουν δηλαδή ότι η ενέργεια ικανοποιεί αυτή την ανάγκη στην επιστήμη).» (εκπαιδευτικός 2)

6.3.4.γ. Ικανότητα ενεργειακής ανάλυσης

6.3.4.γ1. Ικανότητα εφαρμογής του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας για την αναπαράσταση μεταβολών σε συστήματα

Η διαπίστωση που προέκυψε από την επεξεργασία των γραπτών απαντήσεων των μαθητών και επίσης των δεδομένων από τις συνεντεύξεις κατέδειξε την επάρκεια που ανέπτυξαν σε σχέση με την κατασκευή απλών ενεργειακών αλυσίδων για την αναπαράσταση μεταβολών σε φυσικά συστήματα. Αυτό το στοιχείο διαπιστώθηκε επίσης από τους δύο εκπαιδευτικούς όπως φαίνεται στα ακόλουθα αποσπάσματα από τις απαντήσεις τους.

«Όταν οι μαθητές ολοκλήρωναν τις αλυσίδες τους καλούνταν να εξηγήσουν στο διδακτικό προσωπικό γιατί επέλεξαν τις συγκεκριμένες μορφές ενέργειας, που βρίσκονται αποθηκευμένες, καθώς και πού καταλήγουν τελικά. Η σταδιακή εξοικείωση των μαθητών με την κατασκευή των ενεργειακών αλυσίδων διαφάνηκε στην προσπάθειά τους να εξηγούν το περιεχόμενο της κάθε αλυσίδας.» (εκπαιδευτικός 1)

«Πιστεύω πως οι πιο πολλοί μαθητές στο τέλος μπορούσαν να κάνουν ενεργειακές αλυσίδες για τα συστήματα που τους δόθηκαν. Ήταν βοηθητικό το ότι είχαμε χρόνο για αρκετά παραδείγματα τα οποία είχαν μια λογική ακολουθία σε σχέση με τη δυσκολία στην εξήγησή τους και υποθέτω πως αν είχαμε χρόνο και για άλλα παραδείγματα θα ήταν ακόμα πιο καλά. Νομίζω πως ήταν πολύ βοηθητικό το γεγονός ότι σε κάθε αλυσίδα συζητούσαμε διάφορα ζητήματα.»
(εκπαιδευτικός 2)

Ο δεύτερος εκπαιδευτικός επεσήμανε επιπρόσθετα ένα άλλο στοιχείο το οποίο παρόλο που δεν ανιχνεύθηκε στις γραπτές απαντήσεις των μαθητών έχει ιδιαίτερη σημασία. Συγκεκριμένα, αυτό το στοιχείο αφορά στη δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην κατασκευή σύνθετων ενεργειακών αλυσίδων, η οποία αποτυπώνεται στην ακόλουθη δήλωση του πρώτου εκπαιδευτικού:

«Σε αρκετές περιπτώσεις οι μαθητές δεν μπορούσαν να εκφράσουν μια ολοκληρωμένη περιγραφή της αλυσίδας τους με όλα τα στοιχεία που πρέπει να αναφέρονται όπως για παράδειγμα: πού είναι αποθηκευμένη ενέργεια, γιατί επέλεξαν τη συγκεκριμένη μορφή ενέργειας, πού καταλήγει η ενέργεια και γιατί, κλπ. Οι συγκεκριμένες ερωτήσεις τέθηκαν από το διδακτικό προσωπικό κατά τις συζητήσεις με τους μαθητές γιατί σε αρκετές περιπτώσεις απουσίαζαν σημαντικά στοιχεία από τις περιγραφές τους. Παρόλα αυτά στις ερωτήσεις των διδασκόντων οι μαθητές ανταποκρίνονταν πλήρως σε αρκετές περιπτώσεις, γεγονός που υποδεικνύει πως η αδυναμία περιγραφής μιας ολοκληρωμένης ερμηνείας της οποιασδήποτε αλυσίδας δεν οφείλεται σε εννοιολογικές αδυναμίες αλλά οφείλεται κυρίως στην έλλειψη εμπειρίας των παιδιών όσον αφορά στην ολοκληρωμένη περιγραφή μιας ενεργειακής αλυσίδας και όλων των στοιχείων που θα πρέπει να περιλαμβάνει μια τέτοια περιγραφή.» (εκπαιδευτικός 2)

Επίσης, οι δύο εκπαιδευτικοί ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν πρόσθετα στοιχεία τα οποία έχουν αναφερθεί προηγουμένως κυρίως στο πλαίσιο της συζήτησης των δεδομένων από τις συνεντεύξεις. Πιο συγκεκριμένα, αυτά τα στοιχεία περιλαμβάνουν την αδυναμία των μαθητών να εκτιμήσουν την ανάγκη να αναπαριστούν τη χημική ενέργεια ως αποθηκευμένη στο σύστημα οξυγόνου-καυσίμου, την ικανότητά τους να διακρίνουν ανάμεσα στις μορφές αποθήκευσης ενέργειας και τις διεργασίες διάδοσής της και της δυσκολίας τους να χειριστούν την τριβή ολίσθησης στο πλαίσιο της ενεργειακής

ανάλυσης. Πιο κάτω παρατίθεται ένα ενδεικτικό απόσπασμα για το καθένα από τα τρία αυτά στοιχεία, αντίστοιχα.

«Μια αδυναμία που φάνηκε στον εντοπισμό της χημικής ενέργειας ως αποθηκευμένης ενέργειας στα καύσιμα και στο οξυγόνο ήταν η παράλειψη της αναφοράς στην παρουσία του οξυγόνου στις απαντήσεις των παιδιών. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις όπου υπήρχε χημική ενέργεια αναγνωριζόταν από τους μαθητές αλλά σχεδόν όλοι παρέλειπαν να αναφέρουν το οξυγόνο ως στοιχείο του συστήματος στο οποίο είναι αποθηκευμένη η ενέργεια.» (εκπαιδευτικός 1)

«Στα σχεδιαγράμματα των ενεργειακών αλυσίδων, το σχήμα με το οποίο συμβολιζόταν κάθε μορφή ενέργειας έπαιξε καθοριστικό ρόλο στο διαχωρισμό των μορφών αποθηκευμένης ενέργειας από τους τρόπους διάδοσής της. Ο συμβολισμός στην πρώτη περίπτωση με ορθογώνιο και στη δεύτερη περίπτωση με βέλος συνέτεινε στη βελτίωση της κατανόησης των μαθητών για την ιδέα διάδοσης της ενέργειας. Μέχρι το τέλος της διδακτικής παρέμβασης δεν υπήρχε μαθητής που να μην αναγνωρίζει το διαχωρισμό ανάμεσα σε αυτά τα δύο ενώ παράλληλα ο εντοπισμός της χρήσης κάθε μορφής ενέργειας ήταν εφικτός από την πλειοψηφία των μαθητών.» (εκπαιδευτικός 2)

«Πιστεύω ότι από τα προηγούμενα μαθήματα, οι μαθητές καταλαβαίνουν ότι το μηχανικό έργο μπορώ να το χρησιμοποιήσω όποτε έχω σπρώξιμο ή τράβηγμα το οποίο έχει ως αποτέλεσμα κίνηση (για αυτό και βάζουν μηχανικό έργο για να εξηγήσουν την κίνηση του σβηστηριού με σχετική ευκολία). Οι μαθητές πείθονται ότι με μια δύναμη μπορώ, πέρα από το να κινήσω ένα αντικείμενο, να σταματήσω ένα αντικείμενο που κινείται αλλά νομίζω πως δεν αντιλαμβάνονται την τριβή ως μια δύναμη (δεν συνδέεται με σπρώξιμο ή τράβηγμα, που αυτά ξέρουν να συσχετίσουν με μηχανικό έργο, και για αυτό νομίζω δυσκολεύονται να βάλουν στην αλυσίδα τους μηχανικό έργο). Πιστεύω πως αν καταλάβαιναν την τριβή ως μια δύναμη θα ήταν εύκολο να μιλούν για μηχανικό έργο.» (εκπαιδευτικός 2)

6.3.4.γ2. Ιδιότητα διατήρησης και υποβάθμισης της ενέργειας

Τα σχόλια των εκπαιδευτικών αναφορικά με το βαθμό στον οποίο προωθήθηκε η βελτίωση της κατανόησης των μαθητών για την ιδιότητα της ενέργειας να διατηρείται

σταθερή σε ποσότητα και να υποβαθμίζεται σε ποιότητα επίσης συνάδουν με τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές. Πιο κάτω παρατίθενται τρία ενδεικτικά αποσπάσματα από δηλώσεις των δύο εκπαιδευτικών

«Η ιδέα της διατήρησης της ενέργειας διαφάνηκε ξεκάθαρα τόσο μέσα από τις ενεργειακές αλυσίδες που κατασκεύαζαν οι μαθητές αλλά και μέσα από τις συζητήσεις που έγιναν με το διδακτικό προσωπικό.» (εκπαιδευτικός 2)

«Στην ιδέα διατήρησης της ενέργειας καθοριστικό ρόλο έπαιξε η κατανόηση της αποθηκευμένης μορφής της εσωτερικής ενέργειας. Οι μαθητές σύνδεσαν επιτυχώς την αύξηση της θερμοκρασίας με την εσωτερική ενέργεια και είχαν κατανοήσει ότι η αυξημένη θερμοκρασία ενός αντικειμένου στο χώρο προκαλούσε την αλληλεπίδραση του με το περιβάλλον που είχε χαμηλότερη θερμοκρασία γεγονός που προκαλούσε τη διάδοση της θερμότητας. Αυτή η διαπίστωση έγινε πολύ εύκολα αντιληπτή από τους μαθητές αφού αναγνώριζαν τη θερμική επαφή ενός αντικειμένου με κάποιο άλλο (αέρας δωματίου) που είχαν διαφορετική θερμοκρασία. Η θερμότητα που διαδιδόταν στο περιβάλλον προκαλούσε κατά τους μαθητές ελάχιστη αύξηση της θερμοκρασίας του η οποία δεν ήταν ικανή να επηρεάσει τη θερμοκρασία του δωματίου.» (εκπαιδευτικός 1)

«Οι μαθητές κατάλαβαν ότι η αύξηση στη θερμοκρασία του αέρα είναι αμελητέα. Σε αυτό βοήθησε το παράδειγμα που δόθηκε από το διδακτικό προσωπικό για τη σταγόνα νερού (διαφορετικής θερμοκρασίας) σε ολόκληρο τον ωκεανό και κατά πόσο θα επηρεάσει τη θερμοκρασία του νερού του ωκεανού. Σε αυτό το παράδειγμα οι μαθητές αντιλήφθηκαν πως η μεταβολή που συμβαίνει δεν είναι ανιχνεύσιμη αφού δεν έχει επίδραση στη θερμοκρασία του ωκεανού.» (εκπαιδευτικός 2)

Καταληκτικά, είναι σημαντικό να καταγραφεί η συμβατότητα ανάμεσα στα δεδομένα από τις διάφορες κατευθύνσεις, η οποία ενισχύει περαιτέρω την αξιοπιστία των ισχυρισμών που έχουν διατυπωθεί αναφορικά με το βαθμό στον οποίο έχουν επιτευχθεί οι μαθησιακές επιδιώξεις του διδακτικού υλικού.

6.3.5. Αναθεώρηση διδακτικού υλικού

Παρά το γεγονός ότι όπως συζητήθηκε νωρίτερα σε αυτή την ενότητα τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν αρκετά ενθαρρυντικά είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι υπάρχουν ενδείξεις για πτυχές των μαθησιακών επιδιώξεων οι οποίες δεν προωθήθηκαν σε σημαντικό βαθμό. Αυτό είναι συμβατό με τον προσανατολισμό της σχεδιαστικής έρευνας η οποία αποδίδει ιδιαίτερη έμφαση στη βελτιωτική ρύθμιση του διδακτικού σχεδιασμού, τόσο σε επίπεδο σκεπτικού όσο και στο επίπεδο της ακολουθίας δραστηριοτήτων (βλ. δεύτερο κεφάλαιο). Σε αυτό το μέρος του κεφαλαίου συζητούνται οι κυριότερες αναθεωρήσεις και η καθεμιά συνδέεται με τα εμπειρικά δεδομένα αναφορικά με τις δυσκολίες των μαθητών που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

6.3.5.a. Διαχωρισμός της ακολουθίας δραστηριοτήτων σε δύο εκδοχές διαβαθμισμένης δυσκολίας

Όπως αναφέρθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο, το διδακτικό υλικό που αναπτύχθηκε απευθυνόταν σε μαθητές ηλικίας 11 ως 14 ετών (πέμπτη τάξη δημοτικού ως δεύτερη τάξη γυμνασίου). Με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από την αξιολόγηση των μαθητών, κρίθηκε σκόπιμο να διαχωριστεί σε δύο επιμέρους ενότητες (μια για τους μαθητές δημοτικού και μια για τους μαθητές γυμνασίου), ώστε να διαφοροποιείται το βάθος και ο βαθμός δυσκολίας της διδακτικής διαπραγμάτευσης που προωθείται. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το σχετικά μεγάλο εύρος ηλικιών στο οποίο απευθυνόταν η αρχική εκδοχή του διδακτικού υλικού δεν προέκυψε από την παραδοχή ότι η ενέργεια μπορεί να τυγχάνει χειρισμού αδιαφοροποίητα στους μαθητές όλων των ηλικιών που εμπίπτουν σε αυτό το εύρος. Αντίθετα, προέκυψε ως αποτέλεσμα της ανεπάρκειας του διαθέσιμου ερευνητικού υποβάθρου να καθοδηγήσει σε λεπτομέρεια τη διαδικασία διαμόρφωσης επιμέρους παραλλαγών και τον καθορισμό των εμφάσεων της καθεμιάς, ανάλογα με τις δυνατότητες των μαθητών. Τα δεδομένα που προέκυψαν κατά την εφαρμογή του διδακτικού υλικού στην τάξη συνεισέφεραν προς αυτή την κατεύθυνση αφού επέτρεψαν τη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων τόσο για τα στοιχεία που θα ήταν εφικτό και χρήσιμο να τυγχάνουν διδακτικής επεξεργασίας νωρίς (δημοτικό) ή να μετατίθενται σε επόμενες βαθμίδες (γυμνάσιο ή λύκειο) όσο και για το επιδιωκόμενο βάθος της επεξεργασίας σε κάθε περίπτωση. Οι συγκεκριμένες αποφάσεις που έχουν ληφθεί παρουσιάζονται έμμεσα στο υπόλοιπο μέρος της ενότητας, στο πλαίσιο της συζήτησης των αναθεωρήσεων για επιμέρους στοιχεία του διδακτικού υλικού.

6.3.5.β. Κατανόηση διάκρισης ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης

Όπως έχει αναφερθεί νωρίτερα, το διδακτικό υλικό είχε σημαντική επίδραση στην κατανόηση των μαθητών για την έννοια της παρατήρησης και πέτυχε σε μεγάλο βαθμό να προωθήσει το λειτουργικό ορισμό που είχε προβλεφθεί κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού (παρατήρηση είναι η πληροφόρηση που μπορεί να καταγραφεί άμεσα με τις αισθήσεις μας). Ωστόσο, αυτή η επίδραση ήταν μειωμένη στην περίπτωση της ερμηνείας παρατήρησης, προφανώς λόγω της απουσίας κάποιου αντίστοιχου λειτουργικού ορισμού. Σε μια προσπάθεια ενίσχυσης της επεξεργασίας της οποίας τυγχάνει αυτή η ιδέα, η αναθεώρηση της ακολουθίας δραστηριοτήτων εστιάστηκε στη συστηματικοποίηση της συζήτησης για τις δύο αναγκαίες συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται για να μπορεί μια δήλωση να θεωρηθεί ερμηνεία, όπως προσδιορίστηκαν κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού ((α) μια απλή αναφορά σε παρατηρησιακά δεδομένα δεν μπορεί να θεωρηθεί ερμηνεία, και (β) μια ερμηνεία απευθύνεται στο ερώτημα «πώς έχει συμβεί η παρατήρηση;»). Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη δραστηριότητα του διδακτικού υλικού, αφού παρουσιαστεί στους μαθητές το πρώτο στάδιο στη διαμόρφωση του μοτίβου με τα ίχνη και αφού τους δοθούν διάφορες δηλώσεις (παρατηρήσεις, ερμηνείες και προβλέψεις) ζητείται από αυτούς να κατηγοριοποιήσουν σε ένα δοσμένο πίνακα τις δηλώσεις που αναφέρουν κάτι που μπορούμε να αντιληφθούμε με κάποια από τις αισθήσεις μας (καθορίζοντας ταυτόχρονα την αίσθηση που επιτρέπει την καταγραφή της συγκεκριμένης πληροφορίας) και τις δηλώσεις που δεν ικανοποιούν αυτό το χαρακτηριστικό. Σε αυτό το πλαίσιο εισάγεται ο λειτουργικός ορισμός της παρατήρησης. Ακολούθως, στο επόμενο στάδιο της διαμόρφωσης του μοτίβου δίνονται στους μαθητές άλλες δηλώσεις τις οποίες ζητείται να διακρίνουν με δύο τρόπους, συμπληρώνοντας δύο διαφορετικούς πίνακες. Ο πρώτος αφορά στη διάκριση ανάμεσα σε παρατηρήσεις και μη παρατηρήσεις, αξιοποιώντας το λειτουργικό ορισμό της παρατήρησης. Ο δεύτερος, αφορά στη διάκριση ανάμεσα σε δηλώσεις που περιγράφουν απλώς κάποια παρατήρηση και προτάσεις που περιγράφουν πώς εμφανίστηκε μια παρατήρηση. Η πρώτη κατηγοριοποίηση λειτουργεί ως μια ευκαιρία εφαρμογής του λειτουργικού ορισμού της παρατήρησης ενώ η δεύτερη αποσκοπεί, αφενός στην ενίσχυση της διάκρισης των παρατηρήσεων από άλλες δηλώσεις και, αφετέρου, της διάκρισης ανάμεσα σε ερμηνείες και προβλέψεις. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο της παρουσίασης του μοτίβου ζητείται από τους μαθητές να εφαρμόσουν τις δύο πιο πάνω διακρίσεις σε καινούριες προτάσεις και εισάγονται ταυτόχρονα δύο πρόσθετα στοιχεία στη σχετική συζήτηση. Το πρώτο αφορά στη διάκριση ανάμεσα στην ανακάλυψη και την επινόηση, όπου γίνεται μια ρητή προσπάθεια σύνδεσής τους με τις παρατηρήσεις και την ερμηνεία τους, αντίστοιχα. Το δεύτερο αφορά στην επεξεργασία

προτάσεων που ενώ περιλαμβάνουν αιτιολογικούς συνδέσμους, αποτυγχάνουν να ερμηνεύσουν τις παρατηρήσεις στις οποίες αναφέρονται. Σε αυτό το πλαίσιο, εισάγεται μια τρίτη διάκριση ανάμεσα στις προτάσεις που απαντούν στο ερώτημα «πότε συμβαίνει μια παρατήρηση;» και «πώς συμβαίνει μια παρατήρηση;». Έτσι, οι μαθητές καθοδηγούνται να εντοπίσουν ότι η απάντηση στο πρώτο ερώτημα (πότε συμβαίνει η παρατήρηση;) αναφέρεται, συνήθως, σε μια δεύτερη παρατήρηση η οποία ακολουθείται με συνέπεια από την πρώτη. Για παράδειγμα, στη δήλωση «το φως άναψε επειδή πάτησα το διακόπτη» μπορεί εύκολα να διακρίνει κανείς ότι το δεύτερο μέρος της πρότασης («πάτησα το διακόπτη») αποτελεί απλώς μια παρατήρηση η οποία τυγχάνει να ακολουθείται συστηματικά από την παρατήρηση «άναψε το φως». Ωστόσο, κανένα μέρος της πρότασης δεν προτείνει μια απάντηση στο ερώτημα «γιατί άναψε το φως» ή «γιατί το κλείσιμο του διακόπτη οδήγησε στη φωτοβολία του λαμπτήρα;»

Μια επιμέρους διάκριση αναφορικά με την παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης, η οποία θα μπορούσε ενδεχομένως, να αξιοποιηθεί στην εκδοχή του διδακτικού υλικού η οποία θα απευθύνεται σε μαθητές γυμνασίου αφορά στην ευκολία συναίνεσης σε σχέση με την περιγραφή τους. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές θα μπορούσαν να καθοδηγηθούν, ώστε να εντοπίσουν ότι είναι πιο εύκολο να συμφωνήσει κανείς (ή να πειστεί) για το περιεχόμενο μιας παρατήρησης παρά για την ερμηνεία της.

6.3.5.γ. Σημασία μια κοινής ερμηνείας για διαφορετικές μεταβολές

Όπως προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων, η αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού να προωθήσει την κατανόηση των μαθητών για τη συνεισφορά του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας στην ενιαία ερμηνεία μεταβολών ήταν περιορισμένη. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην αδυναμία του να προωθήσει είτε την ιδέα (και την αξία) της ενιαίας ερμηνείας διαφορετικών φαινομένων, ευρύτερα, είτε τη δυνατότητα του θεωρητικού πλαισίου της ενέργειας να παρέχει μια ενιαία ερμηνεία για διαφορετικές μεταβολές. Στο πλαίσιο της αναθεώρησης έχει γίνει μια προσπάθεια ενίσχυσης του διδακτικού υλικού σε σχέση με τη δεύτερη από αυτές τις πτυχές. Πιο συγκεκριμένα, έχουν αυξηθεί οι περιπτώσεις όπου οι μαθητές εμπλέκονται σε ρητή συζήτηση για τη δυνατότητα της ενέργειας να παρέχει μια ενιαία ερμηνεία για πολύ διαφορετικές μεταβολές. Πιο συγκεκριμένα, στην εκδοχή του διδακτικού υλικού που εφαρμόστηκε στο πλαίσιο της εργασίας αυτή η συζήτηση λάμβανε χώρα κατά την εισαγωγή της ενέργειας και στη συνέχεια η οποιαδήποτε αναφορά είχε μη συστηματικό χαρακτήρα αφού εμφανιζόταν μόνο όπου τα μέλη του διδακτικού προσωπικού θεωρούσαν χρήσιμο ή παρουσιαζόταν μια

σχετική ευκαιρία. Στην αναθεωρημένη εκδοχή του διδακτικού υλικού έχουν προστεθεί δραστηριότητες, στο πλαίσιο της ανάλυσης συστημάτων, οι οποίες εμπλέκουν τους μαθητές σε αυτή τη συζήτηση σε δύο ακόμη περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, αμέσως μετά την εισαγωγή των διάφορων μορφών αποθήκευσης παρουσιάζονται στους μαθητές δύο διαφορετικά συστήματα που υφίστανται διαφορετικές μεταβολές και ζητείται να προτείνουν μια ενιαία ερμηνεία και για τα δύο. Σε αυτό το πλαίσιο, αναμένεται από τους μαθητές να επισημάνουν τη διάδοση ενέργειας ως μια διεργασία που θα μπορούσε να ερμηνεύσει και τις δύο μεταβολές και, επιπλέον, να καθορίσουν τη μορφή στην οποία ήταν αποθηκευμένη στην αρχή, και τη μορφή στην οποία κατέληξε να αποθηκεύεται στη συνέχεια, σε κάθε περίπτωση. Αυτή η δραστηριότητα παρέχει επίσης τη δυνατότητα να συζητηθεί ότι η διαφοροποίηση στη μορφή αποθήκευσης δεν οδηγεί κατά ανάγκη σε διαφορετικές ερμηνείες. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως οι μαθητές που απάντησαν στο σχετικό έργο αξιολόγησης ότι δεν μπορεί να υπάρξει ενιαία ερμηνεία για τις δύο μεταβολές είναι πιθανό να απάντησαν με αυτό τον τρόπο διότι τόσο οι μορφές αποθήκευσης της ενέργειας όσο και οι διεργασίες διάδοσης που εμπλέκονταν σε κάθε περίπτωση ήταν διαφορετικές. Συνεπώς, αυτή η δραστηριότητα προσφέρεται για τη συζήτηση της ιδέας ότι η δυνατότητα ενοποιημένης ερμηνείας μεταβολών προκύπτει από τις ιδιότητες της διάδοσης ενέργειας και της μετατροπής στη μορφή της, γενικότερα, και ότι δεν αναιρείται από τη διαφοροποίηση στις επιμέρους μορφές ενέργειας και διεργασίες διάδοσης που συνδέονται με τη λειτουργία των υπό μελέτη συστημάτων.

6.3.5.δ. Η ερμηνευτική δυνατότητα της ιδέας για μετατροπή στη μορφή της ενέργειας

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων αναφορικά με το έργο αξιολόγησης που ζητούσε από τους μαθητές να ερμηνεύσουν μεταβολές σε φυσικά συστήματα χρησιμοποιώντας την ιδέα της ενέργειας κατέδειξε επίσης την πλήρη απουσία ρητών αναφορών στην ιδέα της μετατροπής της μορφής της ενέργειας. Ειδικότερα, όσοι μαθητές πρότειναν ενεργειακές ερμηνείες είτε περιορίστηκαν σε ασαφείς και αόριστες αναφορές στην ενέργεια είτε κατέφυγαν στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας. Ταυτόχρονα, τα δεδομένα από το έργο αξιολόγησης που αφορούσε στην ενεργειακή ανάλυση μεταβολών σε συστήματα κατέδειξε ότι οι μαθητές σε μεγάλο βαθμό ήταν σε θέση να προσδιορίζουν έγκυρες ενεργειακές αλυσίδες επισημαίνοντας τις σχετικές μορφές ενέργειας. Συνδυάζοντας τα δύο αυτά ευρήματα θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι μετά τη διδασκαλία οι μαθητές ήταν σε θέση να ενσωματώσουν την ιδέα των μορφών ενέργειας στις αλυσίδες τους αλλά δεν εκτιμούν την ιδέα της μετατροπής μορφής ως ένα μηχανισμό με ερμηνευτική δυνατότητα σε σχέση με την εμφάνιση μεταβολών σε φυσικά συστήματα.

Ένα στοιχείο που θα μπορούσε να συνδέεται με αυτόν τον ισχυρισμό αφορά στον έμμεσο τρόπο με τον οποίο υπεισέρχεται η ιδέα της μετατροπής μορφής στις ενεργειακές αλυσίδες. Πιο συγκεκριμένα, ενώ η λεκτική περιγραφή των ενεργειακών αλυσίδων που κατασκευάζουν οι μαθητές περιλαμβάνει κατά ανάγκη αναφορά στις σχετικές μορφές αποθήκευσης και τη διεργασία διάδοσης, δεν προϋποθέτει ρητή αναφορά στη μετατροπή μορφής. Αυτό, ενδεχομένως, περιορίζει την πιθανότητα εκτίμησης από μέρους των μαθητών της ερμηνευτικής δυνατότητας της ιδιότητας της μετατροπής μορφής. Σε μια προσπάθεια βελτίωσης αυτής της πτυχής του διδακτικού υλικού, έχει αναβαθμιστεί ο διδακτικός χειρισμός του οποίου τυγχάνει η συγκεκριμένη ιδέα με δύο τρόπους. Ο πρώτος, αφορά στην έμφαση της σύνδεσης ανάμεσα στη μετατροπή μορφής της ενέργειας και την εμφάνιση μεταβολών. Πιο συγκεκριμένα, κατά αντιστοιχία με την ιδιότητα της διάδοσης ενέργειας, η μετατροπή στη μορφή της ενέργειας συνδέεται άμεσα και ρητά με την εμφάνιση μεταβολών. Ειδικότερα, εισάγεται η ιδέα ότι η μετατροπή στη μορφή με την οποία βρίσκεται αποθηκευμένη η ενέργεια σε ένα σύστημα συνοδεύεται από μεταβολές σε κάποια ή κάποιες από τις ιδιότητες των αντίστοιχων μερών του συστήματος. Ο δεύτερος τρόπος, αφορά σε περιπτώσεις όπου ζητείται από τους μαθητές να προτείνουν ενεργειακές ερμηνείες για μεταβολές στο πλαίσιο της ανάλυσης συστημάτων με το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας. Πιο συγκεκριμένα, στις πρώτες περιπτώσεις ανάλυσης συστημάτων ζητείται από τους μαθητές, ως μέρος των σχετικών δραστηριοτήτων, να διατυπώσουν λεκτικά μια ενεργειακή ερμηνεία για την εμφάνιση των υπό μελέτη μεταβολών και σε αυτό το πλαίσιο συζητείται συστηματικά τόσο η δυνατότητα της καθεμιάς από τις δύο ιδιότητες να παρέχει ανεξάρτητα μια ερμηνεία για μεταβολές όσο και η δυνατότητα που παρέχουν για πιο πλήρη περιγραφή του μηχανισμού εμφάνισης μεταβολών, όταν χρησιμοποιούνται συνδυασμένα. Σε επόμενο στάδιο, αυτή η επεξεργασία εξακολουθεί να προωθείται με συστηματικότητα αλλά περιορίζεται στις προφορικές συζητήσεις στα σημεία ελέγχου.

6.3.5.ε. Ο ρόλος της τριβής στην ενεργειακή ανάλυση συστημάτων

Τα διαθέσιμα δεδομένα καταδεικνύουν την αδυναμία των μαθητών να αναλύσουν περιπτώσεις οι οποίες εμπλέκουν διάδοση ενέργειας με μηχανικό έργο η οποία οδηγεί σε μείωση της κινητικής ενέργειας (π.χ. λόγω της επίδρασης της δύναμης της τριβής). Όπως έχει συζητηθεί νωρίτερα, αυτή η αδυναμία συνδέεται με το διαισθητικό τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουν οι μαθητές τόσο την έννοια της δύναμης (την οποία περιορίζουν σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν προφανές σπρώξιμο ή τράβηγμα ανάμεσα σε αντικείμενα) όσο και την έννοια της τριβής, την οποία τείνουν να ταυτίζουν με το

μακροσκοπικό φαινόμενο της τριβής ανάμεσα σε δύο αντικείμενα χωρίς να την αντιλαμβάνονται ως δύναμη. Ταυτόχρονα, είναι σημαντικό να τονιστεί η πτυχή των δεδομένων η οποία καταδεικνύει τη δυνατότητα των μαθητών να αναλύουν ενεργειακά περιπτώσεις που εμπλέκουν το μηχανικό έργο ως διεργασία διάδοσης που οδηγεί στην επιτάχυνση αντικειμένων. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα στοιχεία, η ακολουθία δραστηριοτήτων έχει τροποποιηθεί, ώστε να εξακολουθεί να χειρίζεται τη διεργασία της διάδοσης με μηχανικό έργο περιορίζοντας, ταυτόχρονα, το εύρος των συστημάτων που μελετούνται ώστε να περιλαμβάνονται μόνο περιπτώσεις που συνδέονται με επιτάχυνση αντικειμένων λόγω εμφανούς αλληλεπίδρασης (σπρωξίματος ή τραβήγματος) με άλλα αντικείμενα. Η διδακτική επεξεργασία του μηχανικού έργου σε περιπτώσεις που δεν ικανοποιούν αυτό τον περιορισμό προτείνεται να ενσωματωθεί στην εκδοχή του διδακτικού υλικού που θα απευθύνεται σε μαθητές γυμνασίου, οι οποίοι αναμένεται να είναι πιο έτοιμοι να αλληλεπιδράσουν παραγωγικά με τις σχετικές ιδέες.

6.3.5.στ. Δυναμική ενέργεια

Η διαχείριση της ιδέας της δυναμικής ενέργειας ως αποθηκευμένης ενέργειας η οποία χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα να διαδοθεί, μέσα από σχετικές διεργασίες διάδοσης, προκαλώντας μεταβολές σε ιδιότητες των μερών του συστήματος φαίνεται να περιπλέκει παρά να υποβοηθά την κατανόηση των μαθητών. Αυτό προκύπτει κατά κύριο λόγο από την τάση τους να μπερδεύουν την ενέργεια με τη δύναμη. Παρά το γεγονός ότι αυτό το στοιχείο εισάχθηκε αρχικά στο διδακτικό υλικό, ώστε να αξιοποιηθεί προς την κατεύθυνση της διάκρισης ανάμεσα στα δύο φαίνεται ότι δεν λειτούργησε αποτελεσματικά. Αυτό, πιθανώς, συνδέεται με την αδυναμία των μαθητών να εφαρμόζουν με συνέπεια κάποιο έγκυρο λειτουργικό ορισμό για τη δύναμη. Έτσι, η ταυτόχρονη εισαγωγή των καινούριων όρων «ενέργεια» και «δυναμική» είναι πιθανό να περιπλέκει παρά να υποστηρίζει την προσπάθεια των μαθητών να διακρίνουν ανάμεσα στην ενέργεια και τη δύναμη.

6.3.5.ζ. Βαρυτική δυναμική ενέργεια

Μια άλλη αναθεώρηση που κρίθηκε σκόπιμη περιλαμβάνει την εξαίρεση της βαρυτικής δυναμικής ενέργεια από διδακτική επεξεργασία. Ενώ κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού θεωρήθηκε ότι η συγκεκριμένη μορφή αποθήκευσης θα μπορούσε να ενσωματωθεί αποτελεσματικά από τους μαθητές στις ενεργειακές τους αλυσίδες, τα δεδομένα από την εφαρμογή του διδακτικού υλικού αμφισβητούν αυτή την υπόθεση. Ειδικότερα, η αδυναμία των μαθητών να αντιληφθούν τη δύναμη ως αλληλεπίδραση

ανάμεσα σε δύο τουλάχιστον αντικείμενα σε συνδυασμό με την τάση τους για διαισθητική και φαινομενολογικά προσανατολισμένη προσέγγιση της έννοιας της δύναμης θέτει υπό αμφισβήτηση την ικανότητά τους να κατανοήσουν το βάρος ως μια δύναμη (αλληλεπίδραση) ανάμεσα στη γη και σε κάποιο άλλο αντικείμενο. Δεδομένου ότι η κατανόηση του βάρους ως της δύναμης η οποία ευθύνεται για την επιτάχυνση ενός αντικείμενου προς το κέντρο της γης όταν αφηθεί ελεύθερο από κάποιο ύψος, προϋποτίθεται για την ενεργειακή ανάλυση σχετικών συστημάτων και τον προσδιορισμό του μηχανικού έργου ως της διεργασίας που αφαιρεί ή προσθέτει κινητική ενέργεια (προκαλώντας αντίστοιχη μεταβολή στην ποσότητα αποθηκευμένης βαρυτικής δυναμικής ενέργειας), κρίθηκε σκόπιμο να εξαιρεθεί από την εκδοχή του διδακτικού υλικού η οποία απευθύνεται σε μαθητές δημοτικού και να ενταχθεί στην εκδοχή που αφορά σε μαθητές γυμνασίου, οι οποίοι αναμένεται να ικανοποιούν σε μεγαλύτερο βαθμό τα προαπαιτούμενα στοιχεία και να εμπλέκονται πιο παραγωγικά σε σχετικές συζητήσεις.

6.3.5.η. Διάκριση ανάμεσα στην κινητική ενέργεια και το μηχανικό έργο

Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, μια βασική δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές αφορά στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται την κινητική ενέργεια και το μηχανικό έργο. Συνεπώς, μια βασική πτυχή της αναθεώρησης του διδακτικού υλικού περιλαμβάνει την ενίσχυσή του με πρόσθετες δραστηριότητες για τη διαχείριση αυτής της δυσκολίας. Μερικές δραστηριότητες που έχουν σχεδιασθεί και ενσωματωθεί στο διδακτικό υλικό φέρνουν τους μαθητές άμεσα αντιμέτωπους με συγκεκριμένες δυσκολίες που έχουν επισημανθεί, οι οποίες προκύπτουν ενδεχομένως ως υποπροϊόν της αλληλεπίδρασης των μαθητών με το διδακτικό υλικό, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως. Μέσα από αυτές τις δραστηριότητες επιχειρείται να αναδειχθούν οι ασυνέπειες που παρουσιάζουν οι στρεβλωμένες αντιλήψεις που τείνουν να εκφράζουν οι μαθητές. Για παράδειγμα, σε κάποια από αυτές τις δραστηριότητες, η οποία εμφανίζεται μετά την εισαγωγή τόσο της κινητικής ενέργειας όσο και του μηχανικού έργου, περιλαμβάνεται ένας διάλογος ανάμεσα σε δύο υποτιθέμενους μαθητές ο οποίος σχεδιάστηκε, ώστε να εκφράζονται ρητά και σαφώς κάποιες από τις εναλλακτικές αντιλήψεις που εντοπίστηκαν στα δεδομένα. Σε κάθε περίπτωση ζητείται από τους μαθητές να εκφράσουν και να αιτιολογήσουν τη διαφωνία ή τη συμφωνία τους με τις δηλώσεις που περιλαμβάνονται στο διάλογο. Αυτή η δραστηριότητα έχει ως στόχο να φέρει τους μαθητές αντιμέτωπους με στρεβλωμένες πεποιθήσεις (οι οποίες ανιχνεύθηκαν στα εμπειρικά δεδομένα από την εφαρμογή του) παρέχοντας τους την ευκαιρία να τις σκεφτούν ρητά και σε λεπτομέρεια και να τις αξιολογήσουν. Αναμένεται, ότι αυτό θα έχει συνεισφορά στην ανάπτυξη της ιδέας ότι η

κινητική ενέργεια και το μηχανικό έργο συνδέονται με συστήματα που περιλαμβάνουν μεταβολές στην ταχύτητα αντικειμένων αλλά επιτελούν διαφορετικούς ρόλους στην ενεργειακή τους ανάλυση.

Ένα άλλο παράδειγμα δραστηριότητας το οποίο έχει ενσωματωθεί σε επόμενο μέρος της ακολουθίας δραστηριοτήτων περιλαμβάνει την ανάλυση ζευγών συστημάτων στα οποία ενώ παρατηρείται μεταβολή στην ταχύτητα κάποιου αντικειμένου διαφοροποιείται η διεργασία διάδοσης ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο σύστημα η ενέργεια διαδίδεται με μηχανικό έργο ενώ στο άλλο με ηλεκτρική ενέργεια (σύστημα ηλεκτρικού μοτέρ). Μέσα από τη συνδυασμένη μελέτη τέτοιων συστημάτων, οι μαθητές καθοδηγούνται, ώστε να εντοπίσουν ότι η μεταβολή στην κινητική ενέργεια δεν συνοδεύεται κατά ανάγκη από διάδοση ενέργειας με μηχανικό έργο. Αυτή η δραστηριότητα προωθεί την ιδέα ότι το μηχανικό έργο δεν αποτελεί αναγκαία συνθήκη για αύξηση της ταχύτητας και, κατά επέκταση, για αύξηση της κινητικής ενέργειας.

Καταληκτικά, ο συνδυασμός των δραστηριοτήτων που έχουν ενταχθεί στην αναθεωρημένη εκδοχή του διδακτικού υλικού αποσκοπεί να λειτουργήσει προληπτικά, ώστε να τύχει χειρισμού η τάση των μαθητών να προσδίδουν λανθασμένο ρόλο στην κινητική ενέργεια και στο μηχανικό έργο.

6.3.5.θ. Η κινητική ενέργεια ως μορφή ενέργειας σε αποθήκευση

Μια άλλη δυσκολία των μαθητών αφορά στην αδυναμία αναπαράστασης της κινητικής ενέργειας ως μορφής ενέργειας σε αποθήκευση. Όπως συζητήθηκε νωρίτερα, αυτή η αδυναμία προκύπτει σε κάποιο βαθμό από τη διαισθητική ασυμβατότητα που παρουσιάζει η ιδέα της αποθήκευσης ενέργειας, από τη μια, με την παρουσία μετατόπισης του κινούμενου αντικειμένου από την άλλη. Η προσπάθεια διαχείρισης αυτής της δυσκολίας, μέσα από την αναθεώρηση του διδακτικού υλικού, εστιάστηκε στην ενσωμάτωση συστημάτων που αναμένεται να παρέχουν στους μαθητές τη δυνατότητα να αντιληφθούν ότι είναι λογικό, και χρήσιμο, να προσεγγίζουν την κινητική ενέργεια ως μορφή αποθηκευμένης ενέργειας. Ένα παράδειγμα τέτοιου συστήματος, αφορά στην περίπτωση ενός αντικείμενου το οποίο σπρώχνεται και επιταχύνεται από την ηρεμία και καθώς κινείται συγκρούεται με ένα άλλο αρχικά ακίνητο αντικείμενο το οποίο τίθεται σε κίνηση. Σε αυτή την περίπτωση, ζητείται από τους μαθητές να αναλύσουν χωριστά τη μεταβολή της έναρξης της κίνησης του πρώτου και του δεύτερου αντικειμένου, κατασκευάζοντας ανεξάρτητες ενεργειακές αλυσίδες. Η περιγραφή της δεύτερης μεταβολής αναμένεται να

παρέχει ένα κατάλληλο πλαίσιο για την εισαγωγή της κινητικής ενέργειας ως της αφετηρίας της ενεργειακής αλυσίδας και, κατά συνέπεια, ως μορφής ενέργειας σε αποθήκευση. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η δυσκολία των μαθητών να αντιληφθούν την κινητική ενέργεια ως μορφή αποθηκευμένης ενέργειας αποτελεί, ενδεχομένως, σύμπτωμα της τάσης τους να αποδίδουν υλική υπόσταση στην ενέργεια. Έτσι, είναι πιθανό να θεωρούν τη μετατόπιση του αντικειμένου ως ένδειξη ότι η κινητική ενέργεια διαδίδεται παρά αποθηκεύεται. Η άμεση διαχείριση αυτού του στοιχείου κρίθηκε σκόπιμο να εξαιρεθεί από την εκδοχή του διδακτικού υλικού που απευθύνεται σε μαθητές δημοτικού και να τύχει χειρισμού σε μεταγενέστερο στάδιο. Πιθανές προσεγγίσεις για τη διαχείριση αυτού του στοιχείου περιλαμβάνουν τη μελέτη πρόσθετων (ιδανικών) συστημάτων στα οποία μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι ένα αντικείμενο κινείται συνεχώς διατηρώντας σταθερό το μέτρο της ταχύτητάς του (π.χ. σε περιπτώσεις απουσίας τριβής) σε συνδυασμό με ρητή επιστημολογική συζήτηση αναφορικά με την ενέργεια ως ιδιότητα του κινούμενου αντικειμένου.

6.3.5.1. Καθορισμός ορίων του υπό μελέτη συστήματος

Μια πρόσθετη δυσκολία που φάνηκαν να αντιμετωπίζουν οι μαθητές συνδέεται με την αδυναμία τους να αντιληφθούν ότι τα όρια της ενεργειακής ανάλυσης της λειτουργίας ενός συστήματος δεν είναι προκαθορισμένα αλλά προσδιορίζονται ειδικά σε κάθε περίπτωση, ώστε να ικανοποιείται ο στόχος και η επιδίωξη της συγκεκριμένης ανάλυσης. Αυτή η αδυναμία επιτείνεται από την προδιάθεση των μαθητών να θεωρούν ότι δεν είναι εφικτό να θεωρηθεί ως τελικό στάδιο της λειτουργίας ενός συστήματος μια ασταθής κατάσταση όπου μια διεργασία εξακολουθεί να βρίσκεται σε εξέλιξη. Δεδομένου ότι η διεργασία του τερματισμού της κίνησης έχει εξαιρεθεί από το διδακτικό υλικό για τους μαθητές δημοτικού, θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει ότι η συγκεκριμένη δυσκολία δεν θα επηρεάζει την αλληλεπίδραση των μαθητών με την καινούρια εκδοχή του διδακτικού υλικού. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι μαθητές τείνουν να είναι επιρρεπείς σε αυτή τη δυσκολία, κρίθηκε χρήσιμη η αναθεώρησή του με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στην περαιτέρω συστηματικοποίηση της διαδικασίας καθορισμού, από μέρους των μαθητών, του αρχικού και τελικού σταδίου της λειτουργίας του υπό μελέτη συστήματος. Ειδικότερα, στις πρώτες δραστηριότητες όπου εμπλέκονται οι μαθητές στην ανάλυση συστημάτων τους ζητείται να προσδιορίσουν γραπτώς το αρχικό και τελικό στάδιο της υπό ανάλυση πτυχής της λειτουργίας του συστήματος. Βαθμιαία, καταργείται αυτή η απαίτηση και αυτό το στοιχείο τυγχάνει πλέον χειρισμού προφορικά, αλλά συστηματικά, στο πλαίσιο των συζητήσεων με τους μαθητές. Η δεύτερη αναθεώρηση περιλαμβάνει την επέκταση των

δραστηριοτήτων που αφορούν στην ενεργειακή ανάλυση επιλεγμένων συστημάτων, ώστε να ζητείται από τους μαθητές να προτείνουν ανεξάρτητες ενεργειακές αλυσίδες για διαφορετικές πτυχές της λειτουργίας του ίδιου συστήματος. Έτσι, για παράδειγμα στο σύστημα που αναφέρθηκε νωρίτερα με τη σύγκρουση ενός κινούμενου αντικείμενου με κάποιο άλλο αρχικά ακίνητο αντικείμενο, ζητείται από τους μαθητές να αναπαραστήσουν, χωριστά, τη διεργασία που αφορά στην έναρξη της κίνησης των δύο αντικειμένων και στην κάθε περίπτωση ζητείται από τους μαθητές να προσδιορίσουν το αρχικό και το τελικό στάδιο της υπό ανάλυση λειτουργίας του συστήματος. Ο εμπλουτισμός αυτών των δραστηριοτήτων με ρητή επιστημολογική συζήτηση για τη δυνατότητα προσαρμογής των ορίων του υπό μελέτη συστήματος ανάλογα με τη μεταβολή στην οποία εστιάζεται η ανάλυση, αναμένεται να βοηθήσει τους μαθητές να υπερβούν τη συγκεκριμένη δυσκολία.

6.4. Συζήτηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν σε αυτό το κεφάλαιο θεμελιώνουν εμπειρικά τη διδακτική πρόταση που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία αναφορικά με τη διδασκαλία της ενέργειας, τουλάχιστον για την περίπτωση του δημοτικού σχολείου (αφού δεν υπάρχουν δεδομένα από την εφαρμογή της σε συμβατικά περιβάλλοντα τάξης γυμνασίου). Πιο συγκεκριμένα, τα εμπειρικά δεδομένα που προέκυψαν στο πλαίσιο της εφαρμογής του διδακτικού υλικού στις τρεις έκτες τάξεις παρέχουν θετικές ενδείξεις για τη δυνατότητά του να προωθεί (α) την κατανόηση των μαθητών για τη φύση της ενέργειας ως μιας επινοημένης ιδέας για την ερμηνεία μεταβολών, (β) την εκτίμησή τους για την αξία της ενέργειας στην επιστήμη σε σχέση με την ενοποίηση της ερμηνείας μεταβολών ανεξάρτητα από το σύστημα στο οποίο εμφανίζονται, και (γ) την ικανότητά τους να τη χρησιμοποιούν για να αναλύουν μεταβολές σε φυσικά συστήματα. Πέρα από τη διακρίβωση και την τεκμηρίωση της δυνατότητας του διδακτικού υλικού για προώθηση των τριών αυτών αξόνων στους οποίους στηρίχθηκε ο σχεδιασμός του διδακτικού υλικού, τα εμπειρικά δεδομένα που προέκυψαν χαρακτηρίζονται από δύο πρόσθετες συνεισφορές. Η πρώτη αφορά στην παροχή χρήσιμης πληροφόρησης στην ευρύτερη συζήτηση συγκεκριμένων ζητημάτων που καταγράφονται στη βιβλιογραφία για τη διδασκαλία της ενέργειας. Η δεύτερη σχετίζεται με την περαιτέρω εξέλιξη του διδακτικού υλικού, ώστε να απευθύνεται πιο αποτελεσματικά και συνολικά στο πρόβλημα της διδασκαλίας της ενέργειας από το δημοτικό μέχρι και το Λύκειο. Στη συνέχεια συζητούνται σε λεπτομέρεια οι δύο αυτές πρόσθετες πτυχές της συνεισφοράς της εργασίας.

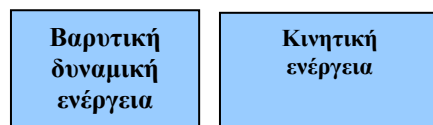
6.4.1. Σύνδεση ευρημάτων εργασίας με την ευρύτερη συζήτηση για τη μάθηση και τη διδασκαλία της ενέργειας

6.4.1.α. Η ενέργεια ως αποθηκευμένη σε συστήματα

Όπως συζητήθηκε στο πέμπτο κεφάλαιο, το διδακτικό υλικό υιοθέτησε την πρόταση που καταγράφεται στη βιβλιογραφία για παρουσίαση της ενέργειας ως αποθηκευμένης σε συστήματα αντικειμένων παρά σε μεμονωμένα αντικείμενα, εστιάζοντας αποκλειστικά στην περίπτωση της χημικής δυναμικής ενέργειας. Ο διδακτικός χειρισμός αυτής της ιδέας περιορίστηκε στην ανάδειξη της παρουσίας τόσο του οξυγόνου όσο και του καύσιμου ως αναγκαίων συνθηκών για την αποθήκευση της ενέργειας. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του διδακτικού υλικού εισηγούνται ότι αυτός ο χειρισμός ήταν σε μεγάλο βαθμό ανεπαρκής. Αυτό καθίσταται προφανές από το γεγονός ότι στις γραπτές απαντήσεις οι περισσότεροι μαθητές απέδιδαν τη χημική ενέργεια αποκλειστικά στο καύσιμο αγνοώντας το οξυγόνο ενώ στις περιπτώσεις που αναφέρονταν στο οξυγόνο στο πλαίσιο των συνεντεύξεων αυτό προέκυπε ως απάντηση μετά από σχετικό διευκρινιστικό ερώτημα του ερευνητή και υποβαθμιζόταν σε μια παρεμφερή λεπτομέρεια. Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι ακόμη και σε περιπτώσεις όπου οι μαθητές κατανοούν την προϋπόθεση για παρουσία τόσο του οξυγόνου όσο και του καυσίμου δεν εκτιμούν τη σημασία της απόδοσης της αποθήκευσης της ενέργειας στο σύστημα των δύο αυτών αντικειμένων και εξακολουθούν να την περιορίζουν αποκλειστικά στο καύσιμο.

Μια ερμηνεία για την ανεπάρκεια του διδακτικού χειρισμού συνδέεται με την αποτυχία του να απευθυνθεί στην αξία της ιδέας της αποθήκευσης της ενέργειας σε συστήματα αντικειμένων και να βοηθήσει τους μαθητές να την εκτιμήσουν. Μια πιθανή επέκταση του διδακτικού χειρισμού, η οποία θα μπορούσε να συνεισφέρει στη διαχείριση αυτής της αδυναμίας, περιλαμβάνει την καθοδήγηση των μαθητών, ώστε να αντιληφθούν τους περιορισμούς της προσέγγισης που τείνουν να υιοθετούν (π.χ. η ενέργεια αποθηκεύεται στο καύσιμο) και να εκτιμήσουν την προστιθέμενη αξία της εναλλακτικής θέσης (π.χ. η ενέργεια αποθηκεύεται στο σύστημα καύσιμου-οξυγόνου). Αυτό θα μπορούσε να προωθείται με την παροχή ευκαιριών προς τους μαθητές να μελετήσουν περιπτώσεις όπου η προσέγγιση της ενέργειας ως αποθηκευμένης σε ένα μεμονωμένο αντικείμενο αντιμετωπίζει εμπειρικά προβλήματα (π.χ. οδηγεί σε λανθασμένες προβλέψεις) τα οποία επιλύονται προσεγγίζοντας την ενέργεια ως ιδιότητα συστημάτων. Ένα παράδειγμα δραστηριότητας το οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει με αυτόν τον τρόπο στην περίπτωση της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας, περιλαμβάνει ένα νοητικό πείραμα (thought experiment) για τη σύγκριση της τελικής ταχύτητας που αναμένεται να έχει ένα

αντικείμενο που αφήνεται από συγκεκριμένο ύψος προς την επιφάνεια διαφορετικών πλανητών. Σε κάθε περίπτωση, το φαινόμενο της πτώσης, εφόσον θεωρηθεί ότι η βαρυτική ενέργεια αποθηκεύεται αποκλειστικά στο ανυψωμένο αντικείμενο, αναπαρίσταται από την ακόλουθη ενεργειακή αλυσίδα.



Με βάση αυτή την ενεργειακή αναπαράσταση, η μεταβολή στη βαρυτική δυναμική ενέργεια (κατά την κατακόρυφη μετατόπιση του αντικειμένου από την αρχική του θέση μέχρι την επιφάνεια στην οποία προσκρούει) είναι ίση σε ποσότητα με την ενέργεια που διαδίδεται στο αντικείμενο και αποθηκεύεται σε αυτό ως κινητική ενέργεια. Αν θεωρήσει κανείς ότι η βαρυτική δυναμική ενέργεια είναι αποκλειστική ιδιότητα του ανυψωμένου αντικειμένου, λαμβάνοντας υπόψη ότι η κίνηση σε όλες τις περιπτώσεις αφορά στο ίδιο αντικείμενο το οποίο αφήνεται πάντοτε από το ίδιο ύψος, θα ανέμενε κανείς ότι η μεταβολή στη βαρυτική δυναμική ενέργεια θα ήταν ίση σε όλες τις περιπτώσεις. Συνεπώς, η μεταβολή στην κινητική ενέργεια (και στην ταχύτητα) θα έπρεπε επίσης να ήταν ίση σε όλες τις περιπτώσεις, το οποίο συγκρούεται με τα διαθέσιμα δεδομένα τα οποία εισηγούνται διαφοροποίηση στην ταχύτητα κατά τη σύγκρουση. Αυτό το νοητικό πείραμα αναδεικνύει ένα εμπειρικό πρόβλημα το οποίο μπορεί να επιλυθεί υιοθετώντας τη θέση ότι η βαρυτική δυναμική ενέργεια δεν βρίσκεται αποθηκευμένη στο αντικείμενο αλλά στο σύστημα των δύο αντικειμένων που έλκονται μεταξύ τους (π.χ. γη-αντικείμενο). Ένα ανάλογο παράδειγμα για τη χημική δυναμική ενέργεια θα μπορούσε να περιλαμβάνει την εστίαση στο ρόλο των χημικών αντιδράσεων που προϋποτίθενται για τη διάδοση της ενέργειας σε σχετικά συστήματα.

Καταληκτικά, τα ευρήματα από την παρούσα εργασία καταδεικνύουν ότι η απλή ανάδειξη του αναγκαίου ρόλου των αντικειμένων του συστήματος στα οποία αποθηκεύεται η ενέργεια (π.χ., γη και αντικείμενο στην περίπτωση της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας) δεν επαρκεί για να βοηθήσει τους μαθητές να εκτιμήσουν τη σημασία της αντιμετώπισης της ενέργειας ως ιδιότητας συστημάτων παρά μεμονωμένων αντικειμένων. Ταυτόχρονα, ο περαιτέρω διδακτικός χειρισμός που προτάθηκε πιο πάνω συνοδεύεται από σημαντικά εννοιολογικά προαπαιτούμενα και επομένως τίθεται ένα ζήτημα αναφορικά με τους εξελικτικούς και γνωσιακούς περιορισμούς του. Για παράδειγμα, η παραγωγική εμπλοκή των μαθητών στην επεξεργασία του συστήματος με τη πτώση ενός αντικειμένου σε

διαφορετικούς πλανήτες χαρακτηρίζεται από σημαντικά εννοιολογικά προαπαιτούμενα τα οποία δεν θα μπορούσαν να θεωρηθούν δεδομένα στο δημοτικό σχολείο. Με αυτό το δεδομένο, η θέση που υιοθετεί η παρούσα εργασία είναι ότι η ιδέα της ενέργειας ως αποθηκευμένης σε συστήματα αντικειμένων είναι χρήσιμο να ξεκινά νωρίς στο δημοτικό σχολείο αλλά θα πρέπει να διατυπώνονται ρεαλιστικές επιδιώξεις οι οποίες είναι αμφίβολο κατά πόσο μπορούν να εκτείνονται πέρα από την αναγνώριση της ανάγκης για αλληλεπίδραση των μερών του συστήματος στα οποία κατανέμεται η αποθήκευση της ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι αυτή η προσέγγιση δεν είναι ιδιαίτερα ισχυρή θα μπορούσε να αποτελέσει μια πρώτη προσπάθεια διδακτικού χειρισμού η οποία να επεκταθεί σε επόμενες βαθμίδες όταν οι μαθητές θα είναι σε καλύτερη θέση να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις που τίθενται για την εμβάθυνση στη σχετική συζήτηση.

6.4.1.β. Μορφές ενέργειας

Ένα ζήτημα που συζητείται στη βιβλιογραφία (βλ. δεύτερο κεφάλαιο) αφορά στη διδακτική αξία της ιδέας των μορφών της ενέργειας. Τα δεδομένα από την παρούσα εργασία εισηγούνται ότι οι μαθητές έχουν αναπτύξει σε μεγάλο βαθμό την ικανότητα διαχείρισης των μορφών αποθήκευσης και διεργασιών διάδοσης της ενέργειας στο πλαίσιο της ανάλυσης μεταβολών σε συστήματα. Αυτό το εύρημα εμπλουτίζει τη σχετική συζήτηση τεκμηριώνοντας εμπειρικά τη θέση ότι οι μαθητές είναι εφικτό να καθοδηγηθούν, ώστε να αναπτύξουν την ικανότητα διαχείρισης της ιδιότητας της ενέργειας να αποθηκεύεται σε διαφορετικές μορφές και να διαδίδεται μέσω διαφορετικών διεργασιών. Ταυτόχρονα τα δεδομένα κατέδειξαν διάφορες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές και αυτό φανερώνει την ανάγκη προσεκτικής διδακτικής επεξεργασίας, ώστε να διακρίνονται μεταξύ τους οι διάφορες μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης και να τυγχάνει χειρισμού η τάση των μαθητών να τις μπερδεύουν ή να παρερμηνεύουν το ρόλο τους στην ενεργειακή ανάλυση (π.χ. η τάση για απόδοση στο μηχανικό έργο της ιδιότητας αναπαράστασης της κίνησης).

Ένα άλλο στοιχείο που προέκυψε από την εργασία το οποίο συνδέεται δυναμικά με τη συζήτηση στη βιβλιογραφία αφορά στη διάκριση ανάμεσα στην ιδιότητα της ενέργειας να εμφανίζεται σε διαφορετικές μορφές και την ιδιότητά της να μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη. Ειδικότερα, τα δεδομένα που προέκυψαν από την εργασία, παράλληλα με την ευχέρεια των μαθητών σε σχέση με τη χρήση μορφών αποθήκευσης και διεργασιών διάδοσης ενέργειας κατέδειξαν την τάση τους να αποφεύγουν να αναφερθούν στην ιδιότητα της ενέργειας να μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη. Πιο συγκεκριμένα, η

επεξεργασία των δεδομένων κατέδειξε την πλήρη απουσία αναφορών σε αυτή την ιδέα τόσο κατά την ερμηνεία μεταβολών όσο και κατά την ενεργειακή ανάλυση. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η υποβάθμιση της ιδιότητας της μετατροπής της ενέργειας δεν επιδιώχθηκε, αφού ο σχεδιασμός του διδακτικού υλικού περιλαμβάνει τη διδακτική διαχείρισή της. Ωστόσο, ανεξάρτητα από το λόγο στον οποίο οφείλεται αυτή η υποβάθμιση είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα δεν περιορίζει την ικανότητα των μαθητών να αναλύουν ενεργειακά συστήματα και να προσδιορίζουν τις σχετικές μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας. Αυτό εισηγείται μια διάκριση ανάμεσα στην ιδιότητα της ενέργειας να εμφανίζεται σε διαφορετικές μορφές και την ιδιότητά της να μετατρέπεται από μια μορφή σε μια σε μια άλλη. Με άλλα λόγια, τα δεδομένα που προέκυψαν από την εργασία εισηγούνται ότι θα ήταν εφικτή η αποσύνδεση των δύο αυτών ιδιοτήτων κατά τη διδασκαλία της ενέργειας, τουλάχιστο σε ένα εισαγωγικό επίπεδο, αφού θα μπορούσε κανείς να συζητά για μορφές ενέργειας και για ενεργειακή ανάλυση χωρίς να αναφέρεται στην ιδιότητα της μετατροπής της ενέργειας από μια μορφή σε μια άλλη. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ενώ αυτή η διάκριση η οποία έχει προκύψει εμπειρικά στο πλαίσιο της εργασίας δεν παρουσιάζει προφανή ή άμεση συνεισφορά στη διαπραγμάτευση ιδεών που αναπτύσσεται στη βιβλιογραφία αναφορικά με τη χρησιμότητα και την αξία των μορφών ενέργειας στη διδασκαλία, θα μπορούσε να αποτελέσει μια χρήσιμη πληροφόρηση που εμπλουτίζει τη σχετική συζήτηση.

6.4.1.γ. Διδασκαλία για τη φύση της ενέργειας

Ένα άλλο θέμα που συζητείται στη βιβλιογραφία σχετίζεται με το βαθμό στον οποίο είναι εφικτό και χρήσιμο να τυγχάνει διδακτικού χειρισμού (και με ποιο τρόπο) η φύση της ενέργειας στη δημοτική και τη μέση εκπαίδευση. Τα δεδομένα που προέκυψαν από την εφαρμογή του διδακτικού υλικού παρέχουν εμπειρική στήριξη στην προσέγγιση που υιοθετήθηκε κατά το σχεδιασμό του διδακτικού υλικού. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα εισηγούνται ότι είναι εφικτό να προσεγγιστεί διδακτικά η φύση της ενέργειας νωρίς στη διδασκαλία, ξεκινώντας από το δημοτικό σχολείο, και ότι η ένταξη της συζήτησης σε ένα επιστημολογικό, παρά εννοιολογικό πλαίσιο, μπορεί να διαδραματίσει χρήσιμο ρόλο σε σχέση με τη διαχείριση του κινδύνου ταύτισής της με μια υλική ουσία. Ειδικότερα, τα δεδομένα παρέχουν ιδιαίτερα ενθαρρυντικές ενδείξεις για το βαθμό στον οποίο μπορεί να παρακαμφθεί ο ορισμός της ενέργειας ως φυσικού μεγέθους και να αντιμετωπιστεί ως μια επινοημένη ιδέα που αποσκοπεί στην ερμηνεία φαινομένων. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναγνωρισθεί η ανάγκη να διατυπώνονται λογικές επιδιώξεις που να

ανταποκρίνονται στο γνωσιακό, γνωστικό και εξελικτικό επίπεδο των μαθητών. Ειδικότερα, ο σχεδιασμός του διδακτικού υλικού δεν υπονοεί ότι η παρουσίαση της ενέργειας ως μιας ερμηνείας που επινοήθηκε στην επιστήμη επαρκεί για την κατανόηση της φύσης της. Αντίθετα, προτείνεται να αντιμετωπιστεί ως ένα αρχικό στάδιο το οποίο θα μπορούσε να τύχει περαιτέρω επεξεργασίας σε επόμενες βαθμίδες, ώστε να αυξηθεί η επιστημολογική εγκυρότητά του και να προσεγγίσει περισσότερο τον τρόπο με τον οποίο αναπαρίσταται η ενέργεια στο ακαδημαϊκό πεδίο της φυσικής.

6.4.1.δ. Συνδυασμένη προώθηση εννοιολογικής κατανόησης και επιστημολογικής επάρκειας

Τα δεδομένα που προέκυψαν στην παρούσα εργασία ενισχύουν την εμπειρική βάση της συζήτησης που αναπτύσσεται στην ερευνητική βιβλιογραφία αναφορικά με τη δυνητική αποτελεσματικότητα της συνδυασμένης διδακτικής διαχείρισης εννοιολογικά και επιστημολογικά προσανατολισμένων επιδιώξεων (Khishfe & Lederman, 2006; Sandoval & Morrison, 2003). Ταυτόχρονα, εμπλουτίζουν τη συζήτηση με ένα παράδειγμα για το ρόλο που θα μπορούσε να έχει η επιστημολογική διάσταση κατά τη διδακτική διαπραγμάτευση μιας έννοιας. Πιο συγκεκριμένα, η επιστημολογική συζήτηση στο διδακτικό υλικό παρείχε ένα τρόπο διαπραγμάτευσης της φύσης και του οντολογικού στάτους της ενέργειας βοηθώντας τους μαθητές, αφενός, να διαμορφώσουν μια αρχική απάντηση στο ερώτημα «τι είναι η ενέργεια;» και, αφετέρου, να υπερβούν τη δυσκολία της αντιμετώπισης της ως μιας υλικής οντότητας. Έτσι, η προώθηση της κατανόησης των μαθητών για τη φύση της επιστήμης δεν περιορίζεται σε παρεμφερείς συζητήσεις οι οποίες αξιοποιούν απλώς ως έναυσμα συγκεκριμένες πτυχές της εννοιολογικής επεξεργασίας, διατηρώντας μια έμμεση σύνδεση. Αντίθετα, αποκτούν βασικό ρόλο στην ενδυνάμωση της εννοιολογικής κατανόησης που επιδιώκεται να αναπτύξουν οι μαθητές για την ενέργεια.

6.4.1.ε. Ανάγκη για περαιτέρω επέκταση του διδακτικού σχεδιασμού: ανάπτυξη μιας συνολικής διδακτικής πρότασης για τη διαχείριση της ενέργειας (learning progression)

Όπως έχει συζητηθεί νωρίτερα, με βάση τα εμπειρικά δεδομένα που προέκυψαν από την αξιολόγηση των μαθητών κρίθηκε χρήσιμο να εξαιρεθούν συγκεκριμένες πτυχές της ακολουθίας των δραστηριοτήτων και να μετατεθούν σε μεταγενέστερο στάδιο όταν οι μαθητές θα ανταποκρίνονται σε μεγαλύτερο βαθμό στις εννοιολογικές και γνωστικές απαιτήσεις που τις συνοδεύουν. Επίσης, δεδομένου ότι η ποσοτική ανάλυση, η οποία αποτελεί μια από τις βασικότερες συνεισφορές της ενέργειας στην επιστήμη, εξαιρείται από την υφιστάμενη εκδοχή του διδακτικού υλικού, κρίθηκε επιβεβλημένο να επιχειρηθεί

η περαιτέρω επέκτασή του προτείνοντας μια τρίτη εκδοχή η οποία θα ενσωματώνει αυτό το στοιχείο και θα συμπληρώνει την προσπάθεια διδακτικής διαχείρισης της ενέργειας. Αυτό το σκεπτικό συνάδει με την εισήγηση για διαμόρφωση προοδευτικά οργανωμένων διαβαθμίσεων διδακτικού υλικού οι οποίες προωθούν τη σταδιακή αναβάθμιση και εμβάθυνση της διδακτικής επεξεργασίας των μαθησιακών επιδιώξεων (learning progressions) (NRC, 2007; Duschl & Grandy, 2008; Duncan & Hmelo-Silver, 2009).

Πιο κάτω παρουσιάζεται συνοπτικά η διδακτική πρόταση της εργασίας για τη συνολική επεξεργασία της ενέργειας, η οποία αποτελείται από τρεις διαβαθμισμένες εκδοχές. Η συζήτηση αποσκοπεί στην ανάδειξη των διαφοροποιήσεων ανάμεσα στις τρεις εκδοχές και την προσδοκώμενη εξέλιξη στο σκεπτικό των μαθητών για την καθεμιά από τις συνιστώσες της κατανόησης της ενέργειας (κατανόηση της φύσης της και της αξίας της στην επιστήμη και ικανότητα ενεργειακής ανάλυσης). Το περιεχόμενο της κάθε επιμέρους εκδοχής αποτυπώνεται σε περισσότερη λεπτομέρεια στο διάγραμμα 24.

6.4.1.ε1. Κατανόηση της φύσης της επιστήμης

Στο δημοτικό σχολείο η συζήτηση εστιάζεται στη διάκριση ανάμεσα στις παρατηρήσεις και την ερμηνεία παρατηρήσεων και στη συνέχεια η ενέργεια εισάγεται ως μια ιδέα που επινοήθηκε στην επιστήμη για την ερμηνεία παρατηρήσεων και πιο συγκεκριμένα για την ερμηνεία μεταβολών σε φυσικά συστήματα. Στην επόμενη παραλλαγή η οποία απευθύνεται σε μαθητές γυμνασίου διατηρείται η ίδια προσέγγιση αλλά εμπλουτίζεται η επιστημολογική συζήτηση με πρόσθετα κριτήρια διάκρισης ανάμεσα στις παρατηρήσεις και την ερμηνεία τους (π.χ. σύγκριση της ευκολίας με την οποία θα μπορούσε να προκύψει συμφωνία για την περιγραφή μιας παρατήρησης και μιας πιθανής ερμηνείας της). Επίσης η συζήτηση προεκτείνεται σε συναφείς επιστημολογικές ιδέες (π.χ. η επιβεβαίωση μιας πρόβλεψης δεν αποτελεί επαλήθευση της ερμηνείας/υπόθεσης/θεωρίας από την οποία προέκυψε). Στην τρίτη διαβάθμιση η οποία απευθύνεται σε μαθητές Λυκείου διαφοροποιείται η προσέγγιση που υιοθετείται αφού η ενέργεια δεν προσεγγίζεται πλέον ως μια ερμηνεία αλλά ως ένα συγκροτημένο θεωρητικό πλαίσιο στο οποίο αποδίδονται σταδιακά, καθώς εξελίσσεται η ακολουθία δραστηριοτήτων, βασικές ιδιότητες των επιστημονικών θεωριών (π.χ. επιτρέπει τη διατύπωση ερμηνειών και προβλέψεων για κλάσεις φαινομένων και έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλεται και να επεκτείνεται επιδιώκοντας τη βελτίωση της ερμηνευτικής και προβλεπτικής του ισχύος). Συνεπώς, η επιστημολογική συζήτηση εμπλουτίζεται, ώστε να υποστηρίζει αυτή την κατεύθυνση. Για παράδειγμα, η διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία επεκτείνεται με την

εισαγωγή των επιστημονικών θεωριών ως το αποτέλεσμα της προσπάθειας της επιστήμης να αναπτύξει συγκροτημένα πλαίσια ιδεών για τη συνεπή ερμηνεία και πρόβλεψη κλάσεων φαινόμενων.

Ένα άλλο στοιχείο το οποίο αξίζει να αναφερθεί σε σχέση με τη διαχείριση της φύσης της ενέργειας στην περίπτωση των μαθητών του Λυκείου αφορά στη συζήτηση που εισάγεται σχετικά με το ρόλο και τη φύση των μοντέλων στην επιστήμη. Πιο συγκεκριμένα, η ενεργειακή αλυσίδα εισάγεται ως ένα μοντέλο και, κατά συνέπεια, χαρακτηρίζεται από σημαντικούς περιορισμούς. Ένας από αυτούς αφορά στο γεγονός ότι αποτελεί μια εξιδανικευμένη αναπαράσταση από την οποία εξαιρούνται διάφορα στοιχεία. Για παράδειγμα, προωθείται η ιδέα ότι η ενεργειακή αλυσίδα εστιάζεται στην αναπαράσταση της διάδοσης ενέργειας σε ένα σύστημα και δεν αφορά στη (και επομένως δεν δεσμεύεται για τη) φύση της ενέργειας. Η αξία αυτής της προσέγγισης έγκειται στη δυνατότητα που παρέχει για συζήτηση της ιδέας ότι παρόλο που η ενεργειακή αλυσίδα αναπαριστά τη διάδοση ενέργειας και θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι αναφέρεται σε κάποιου είδους ροή, η οποία υπονοεί υλική υπόσταση, δεν θα ήταν έγκυρο να εξαχθεί αυτό το συμπέρασμα αφού το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας δεν αφορά στη φύση της ενέργειας αλλά παρέχει απλώς ένα μηχανισμό αναπαράστασης της αφηρημένης ιδέας της διάδοσής της.

6.4.1.ε2. Αξία και ρόλος της ενέργειας στην επιστήμη

Τόσο στο δημοτικό όσο και στο γυμνάσιο η υποστήριξη της ιδέας ότι η δυνατότητα που παρέχει η ενέργεια για ενοποιημένη ερμηνεία μεταβολών σε φυσικά συστήματα ανεξάρτητα από το πεδίο από το οποίο προέρχονται ανάγεται στην αξία της ενοποίησης στην επιστήμη ευρύτερα (Duschl, 1990), η οποία εισάγεται ως δεδομένη χωρίς να τυγχάνει επιρόσθετης διαπραγμάτευσης. Οι μαθητές αναμένεται να αντιλαμβάνονται ότι η ενοποίηση επιτυγχάνει κάποιου είδους οικονομία η οποία παρουσιάζεται ως βασική επιδίωξη της επιστήμης χωρίς όμως να διευκρινίζεται το όφελος που απορρέει από αυτήν μέσα από την τεκμηρίωση του χρήσιμου και παραγωγικού της ρόλου στην εξέλιξη των ιδεών στην επιστήμη. Στην περίπτωση του Λυκείου, η συζήτηση προτείνεται να επεκταθεί, ώστε να τυγχάνει πιο άμεσου χειρισμού η αξία της ενοποίησης στην επιστήμη. Για παράδειγμα, προωθείται η ιδέα ότι η ικανότητα κατανόησης συνδέσεων ανάμεσα σε φαινόμενα που προηγουμένως θεωρούνταν διακριτά και ανεξάρτητα αποτελεί ένα βήμα προς τη βελτίωση της κατανόησης για τη λειτουργία τους. Επίσης, η συζήτηση εμπλουτίζεται με ένθετα από την ιστορία της εξέλιξης των ιδεών στην επιστήμη τα οποία

αναδεικνύουν το ρόλο της ενοποιητικής δυνατότητας ως επιστημολογικού κριτηρίου που χρησιμοποιείται για την επιλογή ανάμεσα σε ανταγωνιστικές θεωρίες (Duschl, 1990, Holton & Brush, 2001).

6.4.1.ε3. Ικανότητα ενεργειακής ανάλυσης

Ένα στοιχείο που διαφοροποιείται στις διαβαθμίσεις του διδακτικού υλικού αφορά στον τρόπο με τον οποίο εισάγεται η ενεργειακή αλυσίδα και στη λειτουργία που επιτελεί. Στις δύο πρώτες εκδοχές (δημοτικό και γυμνάσιο) εισάγεται ως ένα εργαλείο συστηματικοποίησης της ποιοτικής ανάλυσης συστημάτων. Η διαφοροποίηση που υπάρχει ανάμεσα στις δύο αυτές εκδοχές έγκειται στο βάθος και την πολυπλοκότητα της εννοιολογικής διαπραγμάτευσης της ενέργειας. Για παράδειγμα, στο γυμνάσιο εισάγονται πρόσθετες μορφές αποθήκευσης (π.χ. βαρυτική δυναμική ενέργεια) και περιπτώσεις διεργασιών διάδοσης (π.χ. διάδοση ενέργειας μέσω μηχανικού έργου στην περίπτωση της κατακόρυφης μετατόπισης ενός αντικειμένου ή της ολίσθησης σε μια επιφάνεια υπό την επίδραση της δύναμης της τριβής). Επίσης αυξάνονται οι απαιτήσεις σε σχέση την πολυπλοκότητα των φυσικών συστημάτων που μελετούνται.

Στην περίπτωση της τρίτης εκδοχής αυξάνονται περαιτέρω οι απαιτήσεις που θέτουν τα συστήματα που επιλέγονται και δίνεται περισσότερη έμφαση στην εννοιολογική επεξεργασία τους. Για παράδειγμα, γίνεται προσπάθεια διερεύνησης των σχέσεων που εντοπίζονται ανάμεσα σε επιμέρους μεταβολές (π.χ. κίνηση και ήχος), ώστε να λαμβάνονται εννοιολογικά ενημερωμένες αποφάσεις για το πώς θα πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους κατά τη διαμόρφωση μιας ενιαίας ενεργειακής αλυσίδας. Μέσα από την αναβάθμιση του εννοιολογικού βάθους της ανάλυσης παρέχεται η ευκαιρία για συζήτηση πρόσθετων χρήσιμων ιδεών οι οποίες αναμένεται να ενδυναμώσουν περαιτέρω την επάρκεια των μαθητών για ενεργειακή ανάλυση. Για παράδειγμα, διερευνώνται συστήματα όπου η απόδοση της αποθήκευσης της ενέργειας σε μεμονωμένα αντικείμενα (π.χ. στο ανυψωμένο αντικείμενο και στα καύσιμα στην περίπτωση της βαρυτικής και της χημικής ενέργειας, αντίστοιχα) οδηγεί σε λανθασμένες προβλέψεις. Όπως συζητήθηκε προηγουμένως αυτό αναμένεται να ενδυναμώσει την κατανόηση των μαθητών για την αξία της αντιμετώπισης της ενέργειας ως αποθηκευμένης σε συστήματα αντικειμένων. Τέλος μια άλλη διαφοροποίηση που παρατηρείται στην τρίτη διαβάθμιση αφορά στην ενσωμάτωση της ποσοτικής ανάλυσης της λειτουργίας συστημάτων. Η μετάβαση από το ποιοτικό στο ποσοτικό επίπεδο ανάλυσης στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ενεργειακή αλυσίδα και στη δυνατότητα που παρέχει για λεπτομερή ανάλυση του συστήματος και

παραγωγή εξισώσεων (ως απόρροια του νόμου διατήρησης) ανάμεσα σε ποσότητες ενέργειας που είτε βρίσκονται αποθηκευμένες σε κάποια μορφή είτε διαδίδονται από κάποιο μέρος του συστήματος σε κάποιο άλλο. Αυτή η επέκταση του διδακτικού υλικού είναι ιδιαίτερα σημαντική αφού μια βασική συνεισφορά της ενέργειας στην επιστήμη αφορά στην ποσοτική ανάλυση συστημάτων (Bridgman 1941, Feynman, Leighton & Sands 1965, Theobald 1966). Επομένως, η προσθήκη αυτού του στοιχείου συμπληρώνει τη διδακτική επεξεργασία της ενέργειας και καταδεικνύει ότι το περιεχόμενο της διδασκαλίας στις προηγούμενες δύο διαβαθμίσεις, παρόλο που εξαιρεί την ποσοτική ανάλυση (λόγω των απαιτήσεων που τίθενται οι οποίες δεν συνάδουν με τις δυνατότητες των μαθητών) είναι συμβατή με την ποσοτικοποίηση και έχει τη δυνατότητα να επεκταθεί ώστε να τη συμπεριλάβει.

Διάγραμμα 24: Σύνοψη της προκαταρκτικής εισήγησης για συνολική διδακτική διαχείριση της ενέργειας από το δημοτικό μέχρι το λύκειο

Διάκριση παρατήρησης – ερμηνείας παρατήρησης	<u>Δημοτικό</u>	<u>Γυμνάσιο</u>	<u>Λύκειο</u>
	<p>Διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία παρατήρησης με βάση τα ακόλουθα δύο κριτήρια:</p> <p>(α) η παρατήρηση αναφέρεται σε πληροφόρηση που έχει τη δυνατότητα να καταγράφεται μέσω των αισθήσεων είτε άμεσα είτε έμμεσα με τη χρήση σχετικών οργάνων. Η ερμηνεία αποτελεί συμπέρασμα που δεν προκύπτει άμεσα από τα δεδομένα αλλά απαιτεί νοητική επεξεργασία.</p> <p>(β) Η παρατήρηση απαντά στο ερώτημα «<i>περίγραψε τι βλέπεις, ακούς, οσφραίνεται, αγγίζεις κ.τ.λ.</i>» Η ερμηνεία μιας παρατήρησης απαντά στο ερώτημα «<i>ποιος μηχανισμός περιγράφει πώς και γιατί συμβαίνει αυτή η παρατήρηση;</i>»</p>	<p>Η συζήτηση εμπλουτίζεται εισάγοντας το ακόλουθο κριτήριο: είναι πιο εύκολο να διασφαλιστεί συναίνεση για την περιγραφή μιας παρατήρησης παρά για την ερμηνεία της.</p> <p>Επίσης η διδακτική επεξεργασία απευθύνεται στα ακόλουθα πρόσθετα ζητήματα:</p> <ul style="list-style-type: none">• μια παρατήρηση μπορεί να ερμηνευθεί με διαφορετικούς τρόπους που είναι εξίσου πιθανό να είναι έγκυροι• ρόλος των εμπειρικών δεδομένων στον περιορισμό των πιθανών ερμηνειών (απορρίπτονται όσες δεν συνάδουν με τα διαθέσιμα δεδομένα)• η επιβεβαίωση μιας πρόβλεψης δεν λειτουργεί ως επαλήθευση της θεωρίας από την οποία προέκυψε (είναι πιθανό να είχε προκύψει από μια άλλη θεωρία).	<p>Η διδακτική επεξεργασία επεκτείνεται περαιτέρω μέσα από τη μελέτη περιπτώσεων από την ιστορία της επιστήμης οι οποίες εισηγούνται ότι η παρουσία αντιφατικών δεδομένων δεν αποτελεί ικανή συνθήκη για την απόρριψη μιας επιστημονικής θεωρίας</p>
Διάκριση ανάμεσα στην επινόηση και στην ανακάλυψη και της σχέσης τους με την παρατήρηση και την ερμηνεία, αντίστοιχα	<p>Η ανακάλυψη συνδέεται με αντικείμενα που υπάρχουν ως μέρος του φυσικού κόσμου και υπάρχει η δυνατότητα άμεσης παρατήρησής τους. Η επινόηση αφορά στην παραγωγή ιδεών αξιοποιώντας τόσο γνώσεις όσο και δημιουργικότητα.</p> <p>Πρώθηση της αντιστοιχίας ανάμεσα (α) στις παρατηρήσεις και την ανακάλυψη και (β) στην ερμηνεία και την επινόηση.</p> <p>Πρώθηση της ιδέας ότι η επιστήμη περιλαμβάνει τόσο εμπειρικό περιεχόμενο (που περιλαμβάνει τα παρατηρησιακά δεδομένα) όσο και θεωρητικό (ιδέες και μηχανισμοί που επινοούνται για να μπορούν να ερμηνευθούν φαινόμενα)</p>	<p>Η συζήτηση επεκτείνεται επιχειρώντας τη σύνδεση με την ιδέα ότι μια παρατήρηση μπορεί να ερμηνευθεί με διαφορετικούς τρόπους που είναι εξίσου πιθανό να είναι έγκυροι και του ρόλου των εμπειρικών δεδομένων ως ενός κριτηρίου για τον περιορισμό των πιθανών ερμηνειών</p>	

Σύνδεση παρατηρήσεων και ερμηνείας με την επιστήμη	Μελέτες περίπτωσης από την εξέλιξη των ιδεών στις φυσικές επιστήμες Η προσεκτική καταγραφή παρατηρήσεων στο πλαίσιο φυσικών φαινομένων και η προσπάθεια ερμηνείας τους ως βασική επιδίωξη της επιστήμης	Επιπρόσθετα, εισάγεται η έννοια της «επιστημονικής θεωρίας» η οποία παρουσιάζεται ως προϊόν της προσπάθειας των επιστημόνων να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν παρατηρήσεις από διάφορα φαινόμενα.	Επιχειρείται η περαιτέρω επεξεργασία των επιστημονικών θεωριών εστιάζοντας στα ακόλουθα χαρακτηριστικά τους: <ul style="list-style-type: none"> • Αποτελούν συγκροτημένα και σύνθετα πλέγματα ιδεών που αποσκοπούν στη συνεπή ερμηνεία και πρόβλεψη κλάσεων φαινομένων. • Πρόκειται για δυναμικές δομές οι οποίες δύνανται να εξελίσσονται και να τροποποιούνται ή ακόμη και να απορρίπτονται.
Η ενέργεια ως ένα θεωρητικό πλαίσιο για την ενιαία ερμηνεία παρατηρήσεων που αφορούν σε αλλαγές.	Παραδείγματα παρατηρήσεων που αφορούν σε αλλαγές και πιθανές ερμηνείες τους, η καθεμιά από τις οποίες αναφέρεται σε μηχανισμούς που στηρίζονται σε έννοιες από το αντίστοιχο φαινομενολογικό πεδίο. Συζήτηση της αξίας της ενιαίας ερμηνείας μεταβολών σε διαφορετικά φυσικά συστήματα. Εισαγωγή ενέργειας ως ενός θεωρητικού πλαισίου που έχει επινοηθεί για να προωθεί αυτό το στόχο.		Επεξεργασία της ενοποιητικής δυνατότητας ως χαρακτηριστικό των επιστημονικών θεωριών το οποίο πιστώνεται με παραγωγικό ρόλο στην εξέλιξη των επιστημονικών θεωριών και στην επιλογή ανάμεσα σε ανταγωνιστικές θεωρίες.
Εισαγωγή μορφών αποθήκευσης ενέργειας	Εισάγονται οι ακόλουθες μορφές αποθήκευσης ενέργειας: ελαστική, χημική, κινητική. Η καθεμιά εισάγεται στο πλαίσιο της μελέτης ενός συγκεκριμένου συστήματος που υφίσταται μια σχετική μεταβολή. Η ορολογία για κάθε μορφή ενέργειας εισάγεται παράλληλα με μια σχετική συμβολική αναπαράσταση σε ορθογώνιο σχήμα. Η συμβολική αναπαράσταση που χρησιμοποιείται στο ορθογώνιο σχήμα αντικαθίσταται σε επόμενο στάδιο με την τεχνική ορολογία	Εισάγεται επιπρόσθετα η βαρυτική δυναμική ενέργεια Επίσπευση της μετάβασης από τη συμβολική αναπαράσταση στην τεχνική ορολογία. Ενίσχυση της επεξεργασίας της ιδέας της αποθήκευσης της ενέργειας σε συστήματα αντικειμένων στην περίπτωση της χημικής και βαρυτικής ενέργειας μέσα από τη συζήτηση της αλληλεπίδρασης της γης και του οξυγόνου με το ανυψωμένο αντικείμενο και το καύσιμο, αντίστοιχα.	Εισάγεται εξαρχής και η εσωτερική ενέργεια Η κάθε μορφή ενέργειας αναπαρίσταται ως ένα ορθογώνιο στο οποίο εμφανίζεται εξαρχής η αντίστοιχη τεχνική ορολογία παρακάμπτοντας εντελώς τις συμβολικές αναπαραστάσεις. Εισάγεται ο όρος «δυναμική» στις περιπτώσεις των μορφών αποθήκευσης στις οποίες αφορά. Επιχειρείται η διάκριση ανάμεσα στη «δύναμη» και τη «δυναμική ενέργεια» και η συζήτηση της διάκρισης ανάμεσα στην αποθηκευμένη και τη δυναμική ενέργεια με σημείο εστίασης την περίπτωση της κινητικής ενέργειας. Εμπλουτίζεται η συζήτηση για την αποθήκευση της ενέργειας σε συστήματα αντικειμένων παρά σε μεμονωμένα αντικείμενα: (α) συζητούνται παραδείγματα όπου η απόδοση της βαρυτικής και της χημικής ενέργειας σε μεμονωμένα αντικείμενα καταλήγει σε λανθασμένες προβλέψεις και ερμηνείες.

Εισαγωγή διεργασιών διάδοσης ενέργειας	<p>Εισάγονται οι ακόλουθες διεργασίες διάδοσης ενέργειας: ηλεκτρική ενέργεια, μηχανικό έργο, θερμότητα, ήχος.</p> <p>Η καθεμιά εισάγεται στο πλαίσιο της μελέτης ενός συγκεκριμένου συστήματος που υφίσταται μια σχετική μεταβολή.</p> <p>Η ορολογία για κάθε μορφή ενέργειας εισάγεται παράλληλα με μια σχετική συμβολική αναπαράσταση σε σχήμα βέλους. Η συμβολική αναπαράσταση που χρησιμοποιείται αντικαθίσταται σε επόμενο στάδιο με την τεχνική ορολογία.</p> <p>Το μηχανικό έργο περιορίζεται μόνο σε περιπτώσεις όπου υπάρχει προφανές σπρώξιμο με άμεση επαφή ανάμεσα σε μακροσκοπικά αντικείμενα.</p>	<p>Διευρύνεται η συζήτηση για το μηχανικό έργο μέσα από τη μελέτη συστημάτων στα οποία υπαισέρχονται δυνάμεις από απόσταση ή η δύναμη της τριβής ολίσθησης.</p> <p>Η μετάβαση από τη συμβολική αναπαράσταση στην τεχνική ορολογία γίνεται νωρίτερα.</p>	<p>Η κάθε διεργασία διάδοσης αναπαρίσταται ως βέλος αλλά χρησιμοποιείται εξαρχής η αντίστοιχη τεχνική ορολογία παρακάμπτοντας τις συμβολικές αναπαράστασεις.</p> <p>Συζητούνται συστήματα που περιλαμβάνουν ολίσθηση και διαφοροποιείται ο ρόλος του μηχανικού έργου στην ενεργειακή ανάλυση συστημάτων που περιλαμβάνουν τριβή ολίσθησης ή τριβή κύλισης.</p>
Εισαγωγή της εσωτερικής ενέργειας	<p>Η εσωτερική ενέργεια εισάγεται στο πλαίσιο της ανάλυσης ενός συστήματος που περιλαμβάνει διάδοση με θερμότητα.</p> <p>Εισάγεται ως η τελική μορφή αποθήκευσης ενέργειας σε αυτή την περίπτωση και συνδέεται με την αύξηση θερμοκρασίας.</p> <p>Παρουσιάζεται επίσης ως η τελική μορφή αποθήκευσης ενέργειας σε περιπτώσεις διάδοσης με ήχο ή φως αλλά η αιτιολόγηση στηρίζεται στην ιδιότητα της εσωτερικής ενέργειας να λειτουργεί ως συνήθης μορφή τελικής αποθήκευσης χωρίς να συζητείται πώς η καθεμιά από αυτές τις δύο περιπτώσεις συνδέεται με αύξηση στη θερμοκρασία (και επομένως εσωτερική ενέργεια).</p>		<p>Η εσωτερική ενέργεια εισάγεται εξαρχής μαζί με τις υπόλοιπες μορφές εσωτερικής ενέργειας. Γίνεται προσπάθεια εννοιολογικής επεξεργασίας και αιτιολόγησης της σύνδεσης της διάδοσης ενέργειας με φως, θερμότητα και ήχο με την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του αέρα (γιατί είναι λογικό να θεωρούμε ότι η ενέργεια που διαδίδεται με φως και ήχο καταλήγει να αποθηκεύεται ως εσωτερική ενέργεια;)</p>
Εισαγωγή του μοντέλου της ενεργειακής αλυσίδας για την περιγραφή της πορείας που ακολουθεί η ενέργεια σε ένα σύστημα.	<p>Οι μαθητές ακολουθούν μια δομημένη προσέγγιση ανάλυσης μεταβολών σε συστήματα όπου καθορίζουν τα όρια του συστήματος το μέρος του συστήματος στο οποίο βρισκόταν αρχικά αποθηκευμένη η ενέργεια, το μέρος στο οποίο διαδόθηκε, την αρχική και τελική μορφή αποθήκευσης και τη διεργασία διάδοσης.</p> <p>Με βάση τις πιο πάνω πληροφορίες σχεδιάζεται η αντίστοιχη ενεργειακή αλυσίδα χρησιμοποιώντας το σχετικό λογισμικό που έχει ενσωματωθεί στο περιβάλλον.</p> <p>Σταδιακά αφαιρείται η δομημένη επεξεργασία του συστήματος πριν από την κατασκευή της ενεργειακής</p>	<p>Αφαιρείται νωρίτερα η υποστήριξη που παρέχεται στους μαθητές αναφορικά με τη δόμηση της διαδικασίας ενεργειακής ανάλυσης.</p> <p>Σε κάποιο στάδιο αφαιρείται εντελώς το εργαλείο σχεδιασμού ενεργειακών αλυσίδων οι οποίες κατασκευάζονται πλέον χωρίς σχετική υποστήριξη.</p> <p>Αυξάνεται ο βαθμός δυσκολίας και πολυπλοκότητας των συστημάτων που αναλύονται.</p>	<p>Τόσο η δόμηση της διαδικασίας ενεργειακής ανάλυσης όσο και η αξιοποίηση του υποστηρικτικού εργαλείου αφαιρείται μετά την ανάλυση του πρώτου συστήματος. Η ανάλυση των συστημάτων που έπονται παύει να υποστηρίζεται με οποιοδήποτε τρόπο. Δίνεται περισσότερη έμφαση στην εννοιολογική ανάλυση των μεταβολών που παρατηρούνται σε ένα σύστημα ώστε να αξιοποιείται ως βάση για τη σύνθεση των ενεργειακών αλυσίδων.</p>

	<p>αλυσίδας αλλά συζητείται συστηματικά, προφορικά, με τις ομάδες των μαθητών.</p> <p>Συζητείται η ιδιότητα των ενεργειακών αλυσίδων να ξεκινούν και να ολοκληρώνονται με μορφές αποθηκευμένης ενέργειας και συνδέεται με το νόμο διατήρησή της.</p> <p>Συζητείται η τάση των ενεργειακών αλυσίδων να τερματίζονται σε εσωτερική ενέργεια, ώστε να αναπαρασταθεί η αύξηση στη θερμοκρασία, επισημαίνεται το μέρος στο οποίο αποθηκεύεται τελικά η εσωτερική ενέργεια (ο αέρας) και η αδυναμία συγκέντρωσης και αξιοποίησής της. Αυτή η συζήτηση συνδέεται με την ιδιότητα υποβάθμισης της ενέργειας σε ποιότητα.</p> <p>Αντίστροφη ενεργειακή ανάλυση συστημάτων: δίνονται απλές ενεργειακές αλυσίδες και ζητείται από τους μαθητές να επιλέξουν (ή να προτείνουν) συστήματα και μεταβολές που ανταποκρίνονται σε αυτές.</p> <p>Ανάλυση σύνθετων συστημάτων: ζητείται από τους μαθητές να αναλύσουν δύο ή τρεις μεταβολές που εμφανίζονται στο ίδιο σύστημα σε μια κοινή ενεργειακή αλυσίδα (αυτό υποστηρίζεται με διάφορα μέσα όπως ο τεμαχισμός της διαδικασίας σε μικρότερα μέρη και η σταδιακή σύνθεσή τους). Η σύνθεση των μερών στηρίζεται κυρίως στα κοινά στοιχεία που περιέχουν παρά στην εννοιολογική σύνδεση των φαινομένων.</p>	<p>Η σύνθεση των διαφόρων μεταβολών σε μια αλυσίδα αρχίζει να περιλαμβάνει μια εννοιολογική διάσταση που αφορά στις συνδέσεις ανάμεσα στις επιμέρους μεταβολές.</p>	<p>Η ανάλυση με το μοντέλο της ενεργειακής αλυσίδας ενσωματώνει επιστημολογικές συζητήσεις σε διάφορες περιπτώσεις: Οι περιπτώσεις που προκύπτουν στις οποίες δεν είναι εφικτό να εντοπιστεί μέσα από την εννοιολογική ανάλυση του υπό μελέτη φαινομένου είτε κάποιο στοιχείο του - π.χ. δεν είναι προφανής η διεργασία με την οποία διαδόθηκε ενέργεια σε ένα συγκεκριμένο στάδιο της λειτουργίας του – είτε η σύνδεση δύο μεταβολών, αξιοποιούνται διδακτικά για να συζητηθεί ο ρόλος της ενεργειακής αλυσίδας στην υπόδειξη των πτυχών του φαινομένου που δεν είναι κατανοητές και χρειάζεται να διερευνηθούν περαιτέρω ώστε να καταστεί εφικτή η ανάλυση του συστήματος.</p> <p>Εισάγεται η ιδέα της εξιδανίκευσης στην επιστήμη και του δυναμικά παραγωγικού ρόλου της στη λειτουργία της επιστήμης και στην κατανόηση των φαινομένων (π.χ. η εξαίρεση παραγόντων –π.χ. η επίδραση του ανέμου κατά την πτώση ενός σώματος - επιτρέπει τη μείωση της πολυπλοκότητας των συστημάτων, ώστε να μπορούν να μελετούνται ενώ η αντιπαράβολη των πραγματικών πειραματικών μετρήσεων με εκείνες που προβλέπονται από το μοντέλο μετά την εξαίρεση παραγόντων επιτρέπει την περαιτέρω επεξεργασία των μοντέλων και την ενσωμάτωση διορθωτικών παραγόντων με στόχο την κατανόηση της επίδρασης των στοιχείων που εξαιρέθηκαν)</p>
<p>Ποσοτική ανάλυση</p>	<p>Η ποσοτική ανάλυση εξαιρείται από αυτή τη διαβάθμιση του διδακτικού υλικού.</p>	<p>Η ποσοτική ανάλυση εξαιρείται από αυτή τη διαβάθμιση του διδακτικού υλικού.</p>	<p>Η ποιοτική ανάλυση συστημάτων επεκτείνεται μέσα από την ενσωμάτωση της δυναμότητας για ποσοτικοποίηση. Η ενεργειακή αλυσίδα μπορεί να αξιοποιηθεί ως γέφυρα που διαμεσολαβεί ανάμεσα στα δύο επίπεδα ανάλυσης: επιτρέπει τη διαμόρφωση μιας αναπαράστασης του μηχανισμού λειτουργίας του συστήματος και τη διατύπωση εξισώσεων ανάμεσα σε ποσότητες ενέργειας που διαδίδονται και που αποθηκεύονται.</p>

Συζήτηση της χρησιμότητας της ιδέας των μορφών ενέργειας: η ποσότητα ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη ή που διαδίδεται μπορεί να υπολογιστεί και ο τρόπος υπολογισμού διαφοροποιείται ανάλογα με τη μορφή αποθήκευσης και τη διεργασία διάδοσης: είναι χρήσιμο να διαφοροποιούμε ανάμεσα στις διάφορες μορφές αποθήκευσης και διάδοσης ενέργειας για να καταστεί εφικτή η ποσοτικοποίηση της ανάλυσης.

Εισήγηση για τη διδακτική διαχείριση της μετάθεσης από το καθαρά ποιοτικό πρότυπο ανάλυσης στην ενσωμάτωση της ποσοτικοποίησης.

Εισάγεται ο μαθηματικός τρόπος υπολογισμού του μηχανιού έργου και οι μαθητές καθοδηγούνται να παράγουν, ξεκινώντας από βασικές εξισώσεις κινηματικής και θεμελιώδεις νόμους (δεύτερος νόμος Νεύτωνα και νόμος του Hook), μαθηματικές σχέσεις για τον υπολογισμό της ενέργειας που διαδίδεται μέσω αυτής τη διεργασίας και καταλήγει να αποθηκεύεται είτε ως κινητική, είτε ως βαρυτική δυναμική είτε ως ελαστική δυναμική (δίνεται έμφαση, ώστε να αντιληφθούν ότι οι μαθηματικές σχέσεις αποτελούν διαφορετικούς τρόπους υπολογισμού τη ίδιας ποσότητας (της ενέργειας) ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο αποθηκεύονται) .

Αντίστοιχα, εισάγεται η θεμελιώδης σχέση της θερμιδομετρίας η οποία αξιοποιείται για τον υπολογισμό της θερμότητας που διαδίδεται κατά τη θερμική αλληλεπίδραση σωμάτων.

Αφού κατασκευαστεί η ενεργειακή αλυσίδα για ένα σύστημα είναι εφικτό να διατυπώσει κανείς εξισώσεις και ακολούθως, χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα δεδομένα, να υπολογίσει τις άγνωστες ποσότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ II: ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΣΥΛΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα σε σχέση με την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού για την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Το κεφάλαιο δομείται σε πέντε κύρια μέρη. Το πρώτο εστιάζει σε μεθοδολογικά στοιχεία με στόχο να συγκεκριμενοποιήσει, να διευκρινίσει και να εμπλουτίσει τη γενικότερη περιγραφή της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε στο τρίτο κεφάλαιο. Το δεύτερο και το τρίτο μέρος παρουσιάζουν τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού κατά την εφαρμογή του, αρχικά στο πλαίσιο ενός απογευματινού ομίλου (δεύτερο μέρος) και ακολούθως, μετά από σχετικές αναθεωρήσεις, σε πραγματικά περιβάλλοντα τάξης (τρίτο μέρος). Στο καθένα από τα δύο μέρη παρουσιάζονται τα μαθησιακά επιτεύγματα που προέκυψαν και συζητείται η αποτελεσματικότητα της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Το τέταρτο μέρος επιχειρεί μια σύνθεση των ευρημάτων που προέκυψαν σε σχέση με την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού που αναπτύχθηκε και συζητά τις συνέπειες που απορρέουν από αυτά. Τέλος, στο πέμπτο μέρος προσδιορίζονται οι αναθεωρήσεις του διδακτικού υλικού οι οποίες τεκμηριώνονται με αναφορά στα εμπειρικά δεδομένα.

7.1. Μεθοδολογικά στοιχεία για την εφαρμογή του διδακτικού υλικού

7.1.1. Πλαίσιο εφαρμογής διδακτικού υλικού

Η αξιολόγηση του διδακτικού υλικού μέσα από την εφαρμογή του σε περιβάλλοντα τάξης ακολούθησε αντίστοιχη πορεία με την περίπτωση του διδακτικού υλικού για την ενέργεια, η οποία παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη εκδοχή του διδακτικού υλικού εφαρμόστηκε αρχικά στο πλαίσιο του ίδιου απογευματινού *Ομίλου Επιστήμης και Πληροφορικής* στον οποίο είχε υλοποιηθεί και το διδακτικό υλικό για την ενέργεια⁴⁹. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο σε αυτό τον όμιλο συμμετείχαν 28 μαθητές ηλικίας 11 ως 14 ετών που προέρχονταν από τρεις διαφορετικές βαθμίδες

⁴⁹ Η ενότητα για την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης εφαρμόστηκε αμέσως μετά την ολοκλήρωση της ενότητας για την ενέργεια.

(δέκα μαθητές πέμπτης δημοτικού, οκτώ μαθητές έκτης δημοτικού και δέκα μαθητές πρώτης γυμνασίου).

Για την ολοκλήρωση των διδασκαλιών και της αξιολόγησης των μαθησιακών επιτευγμάτων απαιτήθηκαν συνολικά επτά συναντήσεις, διάρκειας ενενήντα λεπτών, οι οποίες ήταν κατανεμημένες σε τέσσερις συνεχόμενες εβδομάδες.

Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που προέκυψαν από την αξιολόγηση του μαθησιακού οφέλους που αποκόμισαν οι μαθητές, η ακολουθία δραστηριοτήτων αναθεωρήθηκε και ακολούθως υλοποιήθηκε για δεύτερη φορά, με την παράλληλη εφαρμογή των διαδικασιών αξιολόγησης, σε δύο τμήματα έκτης τάξης ενός αστικού δημοτικού σχολείου⁵⁰, χωρίς να έχει γίνει οποιαδήποτε αλλοίωση της σύνθεσής τους. Για την υλοποίηση του διδακτικού υλικού, περιλαμβανομένης της συλλογής δεδομένων μέσω των γραπτών έργων αξιολόγησης, απαιτήθηκαν οκτώ συναντήσεις διάρκειας ογδόντα λεπτών και δύο συναντήσεις διάρκειας σαράντα λεπτών οι οποίες ήταν κατανεμημένες σε πέντε συνεχόμενες εβδομάδες.

Οι συμμετέχοντες ήταν 48 μαθητές (28 αγόρια και 20 κορίτσια) οι οποίοι ήταν κατανεμημένοι σε δύο τμήματα (23 και 25). Τα δεδομένα που προέκυψαν από την αξιολόγηση των μαθητών αξιοποιήθηκαν και σε αυτή την περίπτωση για να ενημερώσουν και να καθοδηγήσουν την προσπάθεια αναθεώρησης του διδακτικού υλικού, ώστε να βελτιωθεί περαιτέρω η αποτελεσματικότητά του.

7.1.2. Διδακτική προσέγγιση

Η διδακτική προσέγγιση που υιοθετήθηκε και στις δύο εφαρμογές στηρίχθηκε στο πρότυπο *Φυσική με Διερώτηση*, το οποίο, όπως συζητήθηκε στο τρίτο κεφάλαιο προϋποθέτει την παρουσία περισσότερων του ενός, κατάλληλα προετοιμασμένων, εκπαιδευτικών στην τάξη, ώστε να διασφαλίζεται η δυνατότητα συνεχούς και αποτελεσματικής αλληλεπίδρασης των μαθητών με το διδακτικό υλικό. Η σύνθεση της ομάδας του διδακτικού προσωπικού που ανέλαβε την εφαρμογή του διδακτικού υλικού ήταν η ίδια με εκείνη που συμμετείχε στη διδασκαλία της ενέργειας. Επίσης, ακολουθήθηκε παρόμοια προσέγγιση για την προετοιμασία του διδακτικού προσωπικού. Ειδικότερα, ξεκινώντας δύο εβδομάδες πριν από την έναρξη των εφαρμογών και μέχρι την

⁵⁰ Το σχολείο στο οποίο εφαρμόστηκε το διδακτικό υλικό ήταν διαφορετικό από το σχολείο στο οποίο εφαρμόστηκε το διδακτικό υλικό για την ενέργεια.

ολοκλήρωσή τους πραγματοποιούνταν δίωρες τακτικές εβδομαδιαίες προπαρασκευαστικές συναντήσεις της ομάδας των διδασκόντων, οι οποίες συντονίζονταν από τον ερευνητή και είχαν ως στόχο, (α) την ενημέρωση των εκπαιδευτικών για το σκεπτικό του διδακτικού υλικού και τις εμφάσεις του, (β) την εξοικείωσή τους με το περιεχόμενο και τη δομή της ακολουθίας δραστηριοτήτων, (γ) τη διευκρίνιση του ρόλου τους στις συζητήσεις με τους μαθητές, (δ) τον προσδιορισμό στοιχείων που θα πρέπει να επιδιώκεται να συζητηθούν με τους μαθητές στο κάθε σημείο ελέγχου και (ε) τη συζήτηση εμπειρικών δεδομένων από διαγνωστικά έργα αξιολόγησης που συμπληρώθηκαν από τους μαθητές και σχετικές εννοιολογικές ή άλλες δυσκολίες που φαίνονται να αντιμετωπίζουν.

7.1.3. Οργάνωση της τάξης

Τόσο η πιλοτική όσο και η δεύτερη εφαρμογή του διδακτικού υλικού πραγματοποιήθηκαν σε αίθουσα εργαστηρίου ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι μαθητές εργάζονταν για τη μεγαλύτερη διάρκεια του διδακτικού χρόνου σε τριμελείς ή (σε μεμονωμένες περιπτώσεις) σε διμελείς ομάδες, υλοποιώντας την ακολουθία δραστηριοτήτων στην οποία είχαν πρόσβαση μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Σε συγκεκριμένα σημεία της ακολουθίας δραστηριοτήτων οργανώνονταν στην ολομέλεια της τάξης είτε δομημένες συζητήσεις οι οποίες είχαν προσχεδιαστεί ώστε να εστιάζουν σε συγκεκριμένα ζητήματα είτε άλλες σχετικές δραστηριότητες, όπως παρουσιάσεις των μαθητών για τις αποφάσεις στις οποίες είχαν καταλήξει στα διάφορα σενάρια.

7.1.4. Μέσα συλλογής δεδομένων

7.1.4.α.πιλοτική εφαρμογή

Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού αξιοποιήθηκαν συνολικά τέσσερα έργα αξιολόγησης (βλ. παράρτημα 2). Το καθένα από τα έργα αξιολόγησης παρουσίαζε στους μαθητές μια συγκριμένη κατάσταση λήψης απόφασης και τους ζητούσε να επεξεργαστούν τις πληροφορίες που περιλάμβανε, ώστε να συγκρίνουν τις πιθανές λύσεις και να καταλήξουν σε τεκμηριωμένη εισήγηση για την προτιμητέα λύση. Στον πίνακα 60 συνοψίζεται το περιεχόμενο και η δομή του καθενός. Επίσης, αποτυπώνονται οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν τα σενάρια λήψης απόφασης που έχουν αξιοποιηθεί στο καθένα καθώς επίσης και η διαφοροποίηση που υφίστανται.

Πίνακας 60: Περιεχόμενο και δομή των σεναρίων λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στα έργα αξιολόγησης στο πλαίσιο της πιλοτικής εφαρμογής του διδακτικού υλικού

	Πλήθος επιλογών	Πλήθος κριτηρίων	Σχετική βαρύτητα κριτηρίων	Είδος συλλογισμού που ευνοείται
AI	2	3	Ίση βαρύτητα κριτηρίων	Επιλογή περιοχής που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια
AII	2	2	Ίση βαρύτητα κριτηρίων	Άμεση αριθμητική σύγκριση πλεονεκτήματος και μειονεκτήματος των δύο υποψήφιων περιοχών
AIII	2	2	Το ένα κριτήριο καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από το άλλο	Επιλογή τοποθεσίας που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο/ Άμεση αριθμητική σύγκριση πλεονεκτήματος και μειονεκτήματος των δύο υποψήφιων περιοχών
AIV	3	3	Τα κριτήρια διαφοροποιούνται ως προς τη βαρύτητά τους/ Δίνεται στους μαθητές η ιεράρχηση των κριτηρίων	Επιλογή ενδιάμεσης λύσης/ Επιλογή περιοχής που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια/ Επιλογή τοποθεσίας που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο

Το πρώτο έργο αξιολόγησης αφορά στην επιλογή του καταλληλότερου από δύο οικοπέδα λαμβάνοντας υπόψη τρία κριτήρια. Η επιλογή ενός τέτοιου συγκείμενου, το οποίο δεν παρουσιάζει άμεση σύνδεση με την επιστήμη ή την τεχνολογία, κρίθηκε σκόπιμη λόγω της απλότητάς του και των ιδιαίτερα μικρών απαιτήσεών του αναφορικά με την κατανόηση του ρόλου των τριών κριτηρίων στη λήψη απόφασης. Το πρώτο έργο αξιολόγησης χορηγήθηκε, πριν από την έναρξη της διδασκαλίας και αμέσως μετά τη λήξη της πρώτης ενότητας, στην οποία εισάχθηκε η αρχική εκδοχή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης

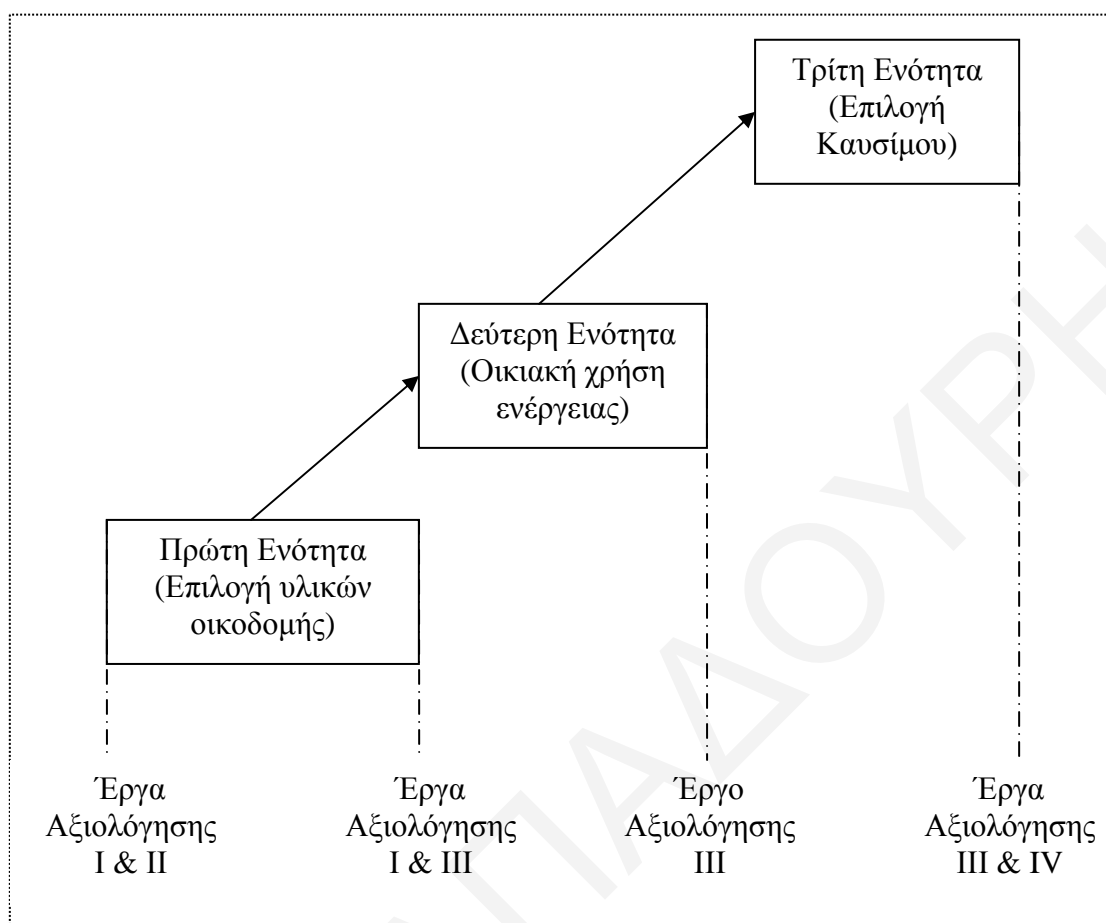
και εφαρμόστηκε από τους μαθητές για την επιλογή κατάλληλων υλικών οικοδομής (βλ. πέμπτο κεφάλαιο).

Τα επόμενα δύο έργα αξιολόγησης αφορούν στην επιλογή της καταλληλότερης από δύο πιθανές τοποθεσίες για την κατασκευή ενός σταθμού αφαλάτωσης λαμβάνοντας υπόψη δύο κριτήρια. Η διαφοροποίηση ανάμεσα στα δύο έργα περιορίζεται στη σχετική βαρύτητα των δύο κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, στο δεύτερο έργο αξιολόγησης τα δύο κριτήρια καθορίζονται ως εξίσου σημαντικά ενώ στο τρίτο το ένα καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από το άλλο. Το δεύτερο δοκίμιο χορηγήθηκε μόνο πριν από την έναρξη της διδασκαλίας. Το τρίτο δοκίμιο χορηγήθηκε σε τρεις περιπτώσεις. Αρχικά, χορηγήθηκε πριν από τη δεύτερη ενότητα στην οποία εισάγεται η πτυχή της στρατηγικής που αφορά στη διαχείριση της διαφοροποίησης της βαρύτητας. Ακολούθως, χορηγήθηκε μετά την ολοκλήρωση της δεύτερης και της τρίτης ενότητας.

Τέλος, το τέταρτο δοκίμιο αφορά στην επιλογή της καταλληλότερης από τρεις τοποθεσίες για την εγκατάσταση του νέου σταθμού παραγωγής ηλεκτρισμού λαμβάνοντας υπόψη τρία κριτήρια διαφοροποιημένης βαρύτητας. Αυτό το έργο αξιολόγησης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το πιο απαιτητικό σε σχέση με την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, λόγω του αυξημένου αριθμού επιλογών και κριτηρίων που εμπλέκει (3x3) αφενός, και του έμμεσου τρόπου με τον οποίο προσδιορίζεται η σχετική βαρύτητα των κριτηρίων, αφετέρου. Οι μετρήσεις για τις πιθανές επιλογές στα σχετικά κριτήρια έχουν καθοριστεί, ώστε να ευνοείται η εμφάνιση της στρατηγικής της επιλογής της ενδιάμεσης λύσης (λύση που έχει την ενδιάμεση επίδοση σε κάθε κριτήριο). Αυτό κρίθηκε σκόπιμο δεδομένης της τάσης που διαπιστώθηκε κατά το στάδιο του αρχικού σχεδιασμού του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο) να ακολουθούν αυτή την προσέγγιση για την επιλογή προτιμητέας λύσης. Μια άλλη σημαντική παράμετρος του έργου αξιολόγησης αφορά στον τρόπο με τον οποίο προσδιορίζεται η σχετική βαρύτητα των κριτηρίων. Ειδικότερα, σε αντίθεση με το προηγούμενο έργο αξιολόγησης όπου καθοριζόταν ο λόγος της βαρύτητας των δύο κριτηρίων (το ένα κριτήριο καθοριζόταν ως δύο φορές πιο σημαντικό από το άλλο) σε αυτή την περίπτωση προσδιοριζόταν απλώς η ιεράρχηση των τριών κριτηρίων ως προς τη σημαντικότητά τους.

Το διάγραμμα 25 συνοψίζει τη διαδικασία συλλογής δεδομένων προσδιορίζοντας το στάδιο της ακολουθίας δραστηριοτήτων στο οποίο χορηγήθηκε το καθένα από τα τέσσερα δοκίμια.

Διάγραμμα 25: Στάδια της υλοποίησης του διδακτικού υλικού κατά τα οποία χορηγήθηκε το κάθε έργο αξιολόγησης



Τα δεδομένα από την αρχική χορήγηση των έργων αξιολόγησης I και II είχαν ως στόχο τη διαμόρφωση μιας αρχικής αποτύπωσης των στρατηγικών στις οποίες καταφεύγουν οι μαθητές πριν από τη διδασκαλία. Επίσης, η χορήγηση του έργου αξιολόγησης I αμέσως μετά την υλοποίηση της πρώτης ενότητας παρείχε τη δυνατότητα αξιολόγησης της επίδρασής της στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουν οι μαθητές τη διαδικασία επιλογής ανάμεσα σε πιθανές λύσεις. Αντίστοιχα, οι χορηγήσεις του τρίτου έργου αξιολόγησης αποσκοπούσαν στην παροχή ενδείξεων για την επιδιωκόμενη βελτίωση της ικανότητας των μαθητών να διαχειρίζονται τη διαφοροποίηση στη βαρύτητα των κριτηρίων στο πλαίσιο της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Τέλος, η χορήγησή του τέταρτου έργου αξιολόγησης μετά την ολοκλήρωση όλων των ενοτήτων παρείχε μια ένδειξη της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού σε σχέση με την καλλιέργεια της στρατηγικής της βελτιστοποίησης.

7.1.4.β. Δεύτερη εφαρμογή διδακτικού υλικού

Η διαδικασία αξιολόγησης του μαθησιακού οφέλους των μαθητών στο πλαίσιο της δεύτερης εφαρμογής του διδακτικού υλικού διαφοροποιήθηκε σε σχέση με (α) το πλήθος, το περιεχόμενο και τη δομή των έργων αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν και (β) τη διαδικασία χορήγησης τους, όπως συζητείται στη συνέχεια.

7.1.4.β1. Έργα αξιολόγησης: περιεχόμενο και δομή

Συνολικά αξιοποιήθηκαν έντεκα έργα αξιολόγησης ανοικτού τύπου τα οποία επικεντρώνονταν στην επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του επόμενου σταθμού αφαλάτωσης. Πιο κάτω περιγράφονται κάποια γενικά στοιχεία για τη δομή των έργων αξιολόγησης τα οποία παρατίθενται αυτούσια στο παράρτημα 2 και αναλύονται περαιτέρω στην επόμενη ενότητα στην οποία συζητούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το καθένα.

Τα έργα αξιολόγησης διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία (Α) περιλαμβάνει πέντε έργα αξιολόγησης τα οποία εστίαζαν στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές επεξεργάζονται τα διαθέσιμα δεδομένα ώστε να συγκρίνουν τις πιθανές λύσεις και να καταλήξουν στην προτιμητέα περιοχή. Τα σενάρια που χρησιμοποιούνται στα πέντε έργα αξιολόγησης διαφοροποιούνται με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στις παραμέτρους που συνθέτουν τα σενάρια λήψης απόφασης και πιο συγκεκριμένα στο πλήθος των πιθανών λύσεων και των κριτηρίων και στη σχετική τους βαρύτητα. Ο δεύτερος τρόπος αφορά στο είδος του συλλογισμού που φαίνεται να ευνοεί το κάθε σενάριο λήψης απόφασης. Πιο συγκεκριμένα, με βάση τα εμπειρικά δεδομένα που προέκυψαν από τη μελέτη των αρχικών ιδεών και των δυσκολιών των μαθητών εντοπίστηκαν διάφοροι πρόχειροι κανόνες στους οποίους φαίνονται να στηρίζονται οι μαθητές για να επιλέξουν ανάμεσα στις πιθανές λύσεις. Κατά το σχεδιασμό των έργων αξιολόγησης, έγινε μια προσπάθεια διαμόρφωσης των σεναρίων λήψης απόφασης ώστε να ευνοούν την εφαρμογή κάποιου από αυτούς τους κανόνες. Ο πίνακας 61 συνοψίζει τις παραμέτρους του καθενός από τα πέντε σενάρια λήψης απόφασης και επίσης το είδος του συλλογισμού που τείνει να ευνοεί.

Πίνακας 61: Περιεχόμενο και δομή των σεναρίων λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στα έργα αξιολόγησης στο πλαίσιο της δεύτερης εφαρμογής του διδακτικού υλικού

	Πλήθος επιλογών	Πλήθος κριτηρίων	Σχετική βαρύτητα κριτηρίων	Είδος συλλογισμού που ευνοείται
AI	2	3	Ίση βαρύτητα κριτηρίων	Επιλογή περιοχής που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια
AII	2	2	Ίση βαρύτητα κριτηρίων	Άμεση αριθμητική σύγκριση πλεονεκτήματος και μειονεκτήματος των δύο υποψήφιων περιοχών
AIII	2	2	Το ένα κριτήριο καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από το άλλο	Επιλογή τοποθεσίας που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο/ Άμεση αριθμητική σύγκριση πλεονεκτήματος και μειονεκτήματος των δύο υποψήφιων περιοχών
AIV	3	3	Ίση βαρύτητα κριτηρίων	Επιλογή ενδιάμεσης λύσης/ Επιλογή περιοχής που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια
AV	3	3	Καθορίζεται η ιεράρχηση των τριών κριτηρίων	Επιλογή τοποθεσίας που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο/Επιλογή ενδιάμεσης λύσης/ Επιλογή περιοχής που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια

Η δεύτερη ομάδα (B) αποτελείται ένα δύο έργα αξιολόγησης. Το πρώτο (BI) παρουσιάζει στους μαθητές το σενάριο λήψης που περιλήφθηκε στο έργο αξιολόγησης AI αλλά σε

αυτή την περίπτωση ζητείται ρητά από τους μαθητές να το χειριστούν εφαρμόζοντας τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Αυτό το έργο αξιολόγησης επιδιώκει να παρέχει πληροφόρηση για το βαθμό στον οποίο οι μαθητές έχουν αναπτύξει τη συγκεκριμένη στρατηγική και είναι σε θέση να την εφαρμόσουν για να επιλέξουν την καταλληλότερη λύση. Το δεύτερο έργο αξιολόγησης (BII) στηρίζεται στο ίδιο σενάριο λήψης απόφασης και παρουσιάζει στους μαθητές δύο εισηγήσεις για την καταλληλότερη λύση. Η πρώτη εισήγηση στηρίζεται στη στρατηγική της βελτιστοποίησης και η δεύτερη στην επιλογή της τοποθεσίας που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια⁵¹. Το ζητούμενο από τους μαθητές σε αυτή την περίπτωση είναι να δηλώσουν ποια από τις δύο προσεγγίσεις θεωρούν καταλληλότερη αιτιολογώντας το σκεπτικό τους. Μέσα από αυτό το έργο επιχειρείται να αξιολογηθεί ο βαθμός στον οποίο οι μαθητές είναι σε θέση να προσδιορίσουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της στρατηγικής της βελτιστοποίησης τα οποία προσδίδουν αξιοπιστία στη λήψη απόφασης, σε αντιδιαστολή με την εναλλακτική προσέγγιση.

Η τρίτη κατηγορία έργων αξιολόγησης (Γ) αποτελείται από τέσσερα έργα αξιολόγησης τα οποία παρουσιάζουν στους μαθητές κάποιες από τις καταστάσεις λήψης απόφασης που περιλαμβάνονται στα έργα αξιολόγησης της κατηγορίας Α και, επιπρόσθετα, εισηγούνται συγκεκριμένες προτάσεις για την καταλληλότερη λύση. Οι εισηγήσεις έχουν διατυπωθεί με τρόπο που να ανακλά την επίδραση συγκεκριμένων συλλογιστικών δυσκολιών οι οποίες εντοπίστηκαν κατά τη διερεύνηση των αρχικών ιδεών των μαθητών (βλ. τέταρτο κεφάλαιο). Ο στόχος των μαθητών είναι να αξιολογήσουν τις προτάσεις εστιάζοντας στο σκεπτικό στο οποίο στηρίζονται⁵². Έτσι, ενώ στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α ζητείται από τους μαθητές να επεξεργαστούν τα διαθέσιμα δεδομένα και να διατυπώσουν εισηγήσεις για τη βέλτιστη λύση, σε αυτή την περίπτωση ζητείται από αυτούς να αξιολογήσουν δοσμένες εισηγήσεις για κάποια από τα σενάρια λήψης απόφασης, με βάση την αξιοπιστία του σκεπτικού από το οποίο προκύπτουν.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η αντιστοίχιση ανάμεσα στα έργα αξιολόγησης των ομάδων Α και Γ ως προς το σενάριο λήψης απόφασης το οποίο ενσωμάτωσαν. Επίσης,

⁵¹ Αυτή η προσέγγιση θεωρήθηκε ως η καταλληλότερη για να περιληφθεί στο συγκεκριμένο έργο αξιολόγησης αφού, όπως φάνηκε από τα εμπειρικά δεδομένα που προέκυψαν στο πλαίσιο του αρχικού σχεδιασμού του διδακτικού υλικού, αποτελεί τη συχνότερη από τις εναλλακτικές προσεγγίσεις που εμφανίστηκαν στο σύνολο των έργων αξιολόγησης.

⁵² Η αξιολόγηση από μέρους των μαθητών έτοιμων εισηγήσεων στο πλαίσιο δοσμένων καταστάσεων λήψης απόφασης θεωρείται ένας αποτελεσματικός τρόπος συλλογής δεδομένων για τη διερεύνηση δεξιοτήτων λήψης απόφασης (Eggert & Bögeholz, in press).

στην τρίτη στήλη του πίνακα προσδιορίζεται το περιεχόμενο της εισήγησης που ζητήθηκε από τους μαθητές να αξιολογήσουν σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 62: Αντιστοίχιση ανάμεσα στα έργα αξιολόγησης των ομάδων Α και Γ και προσδιορισμός της εισήγησης που κλήθηκαν να αξιολογήσουν οι μαθητές σε κάθε περίπτωση

Έργο αξιολόγησης	Έργο αξιολόγησης ομάδας Α με το οποίο υπάρχει ταύτιση σε σχέση με το σενάριο λήψης απόφασης	Σκεπτικό προτεινόμενης λύσης
ΓΙ	ΑΙ	Επιλογή λύσης που κατατάσσεται πρώτη στα περισσότερα κριτήρια
ΓΙΙ	ΑΙV	Επιλογή λύσης η οποία έχει την ενδιάμεση επίδοση σε κάθε κριτήριο
ΓΙΙΙ	ΑΙΙ	Άμεση σύγκριση ανάμεσα στο πλεονέκτημα και μειονέκτημα που παρουσιάζει η κάθε πιθανή λύση
ΓΙV	ΑΙ	Επιλογή λύσης στην οποία υπερτερεί στο κριτήριο το οποίο καθορίζεται ως το πιο σημαντικό

7.1.4.β2. Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή, τα έργα αξιολόγησης χορηγήθηκαν πριν και μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας. Η αρχική αξιολόγηση περιορίστηκε σε τρία από τα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α (ΑΙ, ΑΙΙ και ΑΙΙΙ) ενώ στην τελική αξιολόγηση χορηγήθηκαν και τα έντεκα έργα αξιολόγησης. Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι η σειρά με την οποία χορηγήθηκαν τα έργα αξιολόγησης κατά την τελική αξιολόγηση διαφέρει από τη σειρά με την οποία παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά χορηγήθηκαν τα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α, μετά τα έργα αξιολόγησης της ομάδας Γ και τελευταία τα έργα αξιολόγησης της ομάδας Β. Αυτή η διάταξη κρίθηκε σκόπιμη, ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο διαμόρφωσης συνθηκών που να ευνοούν είτε την επιλογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση των έργων

αξιολόγησης της ομάδας Α είτε την αρνητική αξιολόγηση των δοσμένων εισηγήσεων στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Γ.

Μια άλλη διαφοροποίηση από την πιλοτική εφαρμογή αφορά στον εμπλουτισμό των δεδομένων με ατομικές συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν με είκοσι από τους μαθητές (δέκα από κάθε τμήμα) τόσο πριν όσο και μετά από την υλοποίηση του διδακτικού υλικού, αφού είχαν συμπληρωθεί προηγουμένως τα γραπτά έργα αξιολόγησης. Ο βασικός στόχος των συνεντεύξεων εστιάστηκε στη συλλογή πρόσθετων πληροφοριών για το σκεπτικό που υιοθετούν οι μαθητές. Στο πλαίσιο της συνέντευξης, ζητήθηκε από τον κάθε μαθητή να εξηγήσει προφορικά πώς θα απαντούσε σε επιλεγμένα έργα αξιολόγησης, ώστε να διευκρινιστεί, όπου χρειαζόταν, το σκεπτικό του και επίσης να διασταυρωθεί ο τρόπος με τον οποίο ερμηνεύθηκαν οι γραπτές του απαντήσεις. Επίσης, πέρα από τα διευκρινιστικά ερωτήματα ο ερευνητής έθετε πρόσθετα ζητήματα τα οποία είχαν ως στόχο να αναδείξουν τις ασυνέπειες που είχαν εντοπιστεί στις γραπτές απαντήσεις των μαθητών, ώστε να ενισχυθεί η προσπάθεια ερμηνείας τους και κατανόησης του σκεπτικού των μαθητών. Έτσι, παρόλο που το πρωτόκολλο συνέντευξης ήταν κοινό για όλους τους μαθητές ως προς τη δομή του, προέκυψαν διαφοροποιήσεις σε σχέση με το περιεχόμενο και τις εμφάνσεις του, ανάλογα με τις γραπτές απαντήσεις που είχε δώσει προηγουμένως ο κάθε μαθητής και την έκβαση της συζήτησης κατά τη συνέντευξη.

7.1.4.γ. Επεξεργασία δεδομένων

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων είναι πανομοιότυπη με την περίπτωση των δεδομένων από την εφαρμογή του διδακτικού υλικού για την ενέργεια, η οποία αναλύθηκε στο έκτο κεφάλαιο. Συνοπτικά, στις περιπτώσεις των έργων αξιολόγησης που είχαν ήδη χορηγηθεί κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο) χρησιμοποιήθηκε το σύστημα κωδικοποίησης που είχε αναπτυχθεί σε εκείνο το πλαίσιο, μετά από σχετικές προσαρμογές, όπου κρίθηκε σκόπιμο για την καλύτερη περιγραφή των δεδομένων. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, οι απαντήσεις των μαθητών εκτέθηκαν σε ανάλυση περιεχόμενου, ώστε να εντοπιστούν οι ποιοτικά διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους προσέγγισαν το κάθε έργο αξιολόγησης. Στη διαδικασία κωδικοποίησης των δεδομένων, συμμετείχε, εκτός από τον ερευνητή το ένα από τα άλλα δύο μέλη της ομάδας διδασκαλίας το οποίο εκτός από εξοικείωση με το διδακτικό υλικό και το σκεπτικό του, διέθετε επίσης εμπειρία με τη διαδικασία κωδικοποίησης δεδομένων από γραπτές απαντήσεις μαθητών σε έργα αξιολόγησης ανοικτού τύπου. Αυτό το άτομο ανέλαβε την ανεξάρτητη κωδικοποίηση μέρους των

δεδομένων, παράλληλα με τον ερευνητή, με στόχο την οργάνωση τους σε ένα σύνολο κατηγοριών το οποίο να περιγράφει τη διαφοροποίησή τους. Μέσα από την αντιπαραβολή των κωδικοποιήσεων που προέκυπταν από τον ερευνητή και το δεύτερο άτομο διευκρινιζόταν περαιτέρω το σκεπτικό της οργάνωσης των απαντήσεων σε κατηγορίες και γινόταν αναπροσαρμογή του συστήματος κωδικοποίησης.

Στη συνέχεια, η τελική εκδοχή του συστήματος κατηγοριοποίησης εφαρμόστηκε από τον ερευνητή στα υπόλοιπα δεδομένα που δεν είχαν ήδη κωδικοποιηθεί στο πλαίσιο της διαδικασίας διαμόρφωσής του.

Τα αποτελέσματα αυτής της κωδικοποίησης επέτρεψαν τη διατύπωση συμπερασμάτων για μεταβολή στο σκεπτικό των μαθητών μετά τη διδασκαλία με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στον εντοπισμό κατηγοριών απάντησης που εμφανίστηκαν είτε μόνο κατά την αρχική είτε μόνο κατά την τελική αξιολόγηση. Ο δεύτερος, αφορά στην αντιπαραβολή των συχνοτήτων με τις οποίες κατανεμήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στις διάφορες κατηγορίες πριν και μετά τη διδασκαλία, με την εφαρμογή κατάλληλων μη παραμετρικών στατιστικών ελέγχων. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα από διαφορετικά αλλά συναφή έργα αξιολόγησης έτυχαν ποσοτικής επεξεργασίας, όπως συζητείται αργότερα, ώστε να διερευνηθεί ο βαθμός συσχέτισης που παρουσιάζουν και να διατυπωθούν σχετικά συμπεράσματα για τη συνοχή των απαντήσεων των μαθητών, από τη μια, και την αξιοπιστία της μέτρησης, από την άλλη.

7.1.4.δ. Διασφάλιση αξιοπιστίας

Η αξιοπιστία της επεξεργασίας των δεδομένων και των ερμηνειών που προέκυψαν προωθήθηκε με τους τρόπους που συζητήθηκαν στο τρίτο κεφάλαιο. Συνοπτικά, οι ισχυρισμοί που προέκυψαν αναφορικά με το βαθμό επίτευξης της κάθε μαθησιακής επιδίωξης διασταυρώθηκαν με τρεις βασικούς τρόπους. Ο πρώτος, περιλαμβάνει την κωδικοποίηση μέρους των δεδομένων (περίπου 30%) από ανεξάρτητο άτομο το οποίο είχε ενημερωθεί για το σκεπτικό της εργασίας, είχε μεταπτυχιακό τίτλο στη μάθηση στις φυσικές επιστήμες και διέθετε προηγούμενη εμπειρία με εκπαιδευτική έρευνα και με τη συγκεκριμένη προσέγγιση επεξεργασίας δεδομένων. Σε όλες τις περιπτώσεις το ποσοστό ταύτισης ήταν μεγαλύτερο από 85% (η ελάχιστη τιμή του ήταν 86%, η μέγιστη 96% και ο μέσος όρος 91%). Ο δεύτερος τρόπος, σχετίζεται με τη συλλογή δεδομένων τόσο μέσα από τις απαντήσεις των μαθητών στα έργα αξιολόγησης όσο και μέσα από τις απομαγνητοφωνημένες συνεντεύξεις με τους μαθητές που συμμετείχαν σε αυτές. Ο τρίτος

τρόπος απορρέει από την αξιοποίηση κοινών σεναρίων λήψης απόφασης για τα έργα αξιολόγησης των τριών ομάδων. Αυτό παρείχε τη δυνατότητα συνδυασμένης επεξεργασίας των δεδομένων, ενισχύοντας την αξιοπιστία των ισχυρισμών που προκύπτουν, όπως συζητείται στη συνέχεια. Τέλος, ένας άλλος παρεμφερής τρόπος ο οποίος συνεισέφερε έμμεσα στη διασταύρωση των δεδομένων αφορά στα ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν οι εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν στην εφαρμογή του διδακτικού υλικού αναφορικά με το βαθμό στον οποίο θεώρησαν ότι προωθήθηκαν οι συγκεκριμένες μαθησιακές επιδιώξεις για τις οποίες σχεδιάστηκε το διδακτικό υλικό.

7.2. Αποτελέσματα επεξεργασίας δεδομένων από την πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού

Το περιεχόμενο των απαντήσεων των μαθητών στο καθένα από τα δοκίμια μελετήθηκε με στόχο να καταγραφούν οι ποιοτικά διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους προσέγγισαν την κατάσταση λήψης απόφασης. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν και η συζήτηση δομείται σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος περιγράφονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων τα οποία είχαν ως στόχο να παρέχουν μια αρχική ένδειξη για την επάρκεια των μαθητών να διαχειριστούν την επιλογή της καταλληλότερης λύσης (έργα αξιολόγησης I και II) και τη διαφοροποίηση της βαρύτητας (έργο αξιολόγησης III). Το δεύτερο μέρος αφορά στα αποτελέσματα από τη χορήγηση των έργων αξιολόγησης σε κάποιο στάδιο κατά την υλοποίηση του διδακτικού υλικού (ενδιάμεση αξιολόγηση). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είχαν ως στόχο να περιγράψουν τη διαφοροποίηση από τις αρχικές προσεγγίσεις που εφάρμοσαν οι μαθητές ως αποτέλεσμα τις αλληλεπίδρασής τους με κάποιο συγκεκριμένο μέρος του διδακτικού υλικού (έργα αξιολόγησης I και III). Το τρίτο μέρος συζητά τα αποτελέσματα από την τελική χορήγηση των έργων αξιολόγησης (έργα αξιολόγησης III & IV) η οποία είχε ως στόχο να παρέχει μια ένδειξη για την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού στο σύνολό του.

7.2.1. Αρχική αξιολόγηση

7.2.1.a. Έργο αξιολόγησης I

Όπως φαίνεται στον πίνακα 63, ο οποίος συνοψίζει τα αποτελέσματα της κωδικοποίησης των αρχικών απαντήσεων στο πρώτο έργο αξιολόγησης (διάγραμμα 26), η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους μαθητές που κατέληξαν να επιλέγουν τη λύση που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια (N=20, 74%). Ενδεικτικά, δύο από τις απαντήσεις που εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία είναι οι εξής:

«Θα διάλεγα το οικόπεδο A επειδή είναι φτηνότερο από το B και βρίσκεται σε ήσυχη περιοχή. Διάλεξα το A επειδή έχει δύο προτερήματα που θέλει η Μαρία, ενώ το B έχει μόνο ένα.»

«Θα αγόραζα το A οικόπεδο γιατί έχει δύο λόγους από εκείνους που θέλει ενώ το B έχει μόνο ένα.»

Πίνακας 63: Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης I κατά την αρχική αξιολόγηση

Κατηγορία απάντησης	Συχνότητα	Ποσοστό
	N	%
Επιλογή λύσης που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια	20	74
Άμεση σύγκριση πληροφοριών για τις δύο περιοχές	1	4
Επιλογή χρησιμοποιώντας μόνο ένα κριτήριο	2	7
Μη επιλογή τοποθεσίας	1	4
Άσχετη απάντηση	3	11

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει ένα μόνο μαθητή (4%) ο οποίος αφού εξαίρεσε το ένα από τα κριτήρια, χωρίς να δίνει περαιτέρω αιτιολόγηση, κατέληξε να συγκρίνει άμεσα τις διαθέσιμες πληροφορίες στα υπόλοιπα δύο κριτήρια παρά τη διαφορά στην κλίμακα στην οποία μετρούνται. Συγκεκριμένα η απάντηση του μαθητή ήταν η εξής: «η διαφορά στην τιμή δεν είναι τόσο μεγάλη όσο η διαφορά στο χρόνο για να πάει στη δουλειά του το πρωί.»

Διάγραμμα 26: Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης I

Σενάριο: επιλογή του καταλληλότερου οικοπέδου για ανέγερση οικίας.
 Στόχος μαθητών: επιλογή της καταλληλότερης λύσης λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια.

Πιθανές λύσεις

		Οικόπεδο A	Οικόπεδο B
Κριτήρια	Κόστος ⁱ	£40 000	£48 000
	Χρόνος που απαιτείται για πρόσβαση στο χώρο εργασίας ⁱ	25 λεπτά	5 λεπτά
	Ήσυχία ⁱⁱ	Πάρα πολύ ήσυχη περιοχή	Βρίσκεται κοντά σε ένα κεντρικό δρόμο και υπάρχει αρκετή φασαρία

i: Αυτό πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό
 ii: Όσο πιο ήσυχη είναι η περιοχή τόσο το καλύτερο

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει δύο μαθητές (7%) που αιτιολόγησαν την επιλογή τους κάνοντας αναφορά μόνο σε ένα από τα κριτήρια, αγνοώντας τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους μαθητές δήλωσε ότι «θα επέλεγα το οικόπεδο A επειδή είναι το πιο φτηνό.»

Στην τέταρτη κατηγορία απάντησης εντάσσεται ένας μαθητής (4%) που υποστήριξε ότι καμιά από τις επιλογές δεν είναι ικανοποιητική αφού και οι δύο χαρακτηρίζονται από μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα, πρότεινε «να μην πάρει κανένα από τα δύο γιατί το οικόπεδο A είναι πιο φτηνό όμως κάνει περισσότερη ώρα να πάει στη δουλειά της. Το B στοιχίζει περισσότερο και έχει πιο πολλή φασαρία αλλά κάνει 5 λεπτά να πάει στη δουλειά της.»

Τέλος, η πέμπτη κατηγορία αποτελείται από τρεις μαθητές (11%) που έδωσαν μια άσχετη απάντηση κυρίως λόγω λανθασμένης ερμηνείας κάποιων παραμέτρων της υπό μελέτη κατάστασης λήψης απόφασης. Για παράδειγμα, η ακόλουθη απάντηση προέκυψε ως αποτέλεσμα της τάσης των μαθητών να θεωρούν, σε αντίθεση με τις οδηγίες που τους δόθηκαν, ότι όσο πιο ψηλό είναι το κόστος τόσο καλύτερη θα είναι η επιλογή: «Θα πρέπει να πάρει το οικόπεδο B που είναι πιο ακριβό. Θα είναι πιο καλό.»

7.2.1.β. Έργο αξιολόγησης II

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται οι διαφορετικές προσεγγίσεις που εντοπίστηκαν στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης II (διάγραμμα 27) και οι αντίστοιχες συχνότητες και ποσοστά εμφάνισης.

Πίνακας 64: Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης II κατά την αρχική αξιολόγηση

Κατηγορία απάντησης	Συχνότητα	
	N	Ποσοστό %
Επιλογή χρησιμοποιώντας μόνο ένα κριτήριο	16	59
Άμεση αριθμητική σύγκριση του πλεονεκτήματος και του μειονεκτήματος των δύο λύσεων	4	15
Μη επιλογή τοποθεσίας	1	4
Άσχετη απάντηση	6	22

Η πρώτη κατηγορία απάντησης αποτελείται από 16 μαθητές (59%) οι οποίοι κατέληξαν σε απόφαση λαμβάνοντας υπόψη μόνο το ένα από τα δύο κριτήρια. Πιο κάτω ακολουθούν δύο ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης.

«Να κατασκευαστεί στη Σωτήρα επειδή κοστίζει λιγότερο.»

«Στο Μαρί διότι άσχετα με το κόστος του, θα είχαν πόσιμο νερό 5000 κάτοικοι περισσότεροι. Άρα, εγώ νομίζω, θα ήταν καλύτερα να κατασκευαστεί στο Μαρί ο σταθμός.»

Διάγραμμα 27: Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης II

Σενάριο: επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του νέου σταθμού αφαλάτωσης.
Στόχος μαθητών: επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας λαμβάνοντας υπόψη και τα δύο κριτήρια.

Πιθανές λύσεις

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν ⁱ	110 000 κάτοικοι	105 000 κάτοικοι
Κόστος ανέγερσης σταθμού ⁱⁱ	90 000 λίρες	65 000 λίρες

i: Πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μεγάλο

ii: Πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τέσσερις μαθητές (15%) οι οποίοι κατέληξαν σε απόφαση μέσα από την άμεση σύγκριση των πληροφοριών που δίνονται για τα δύο κριτήρια, παρόλο που μετρούνται σε διαφορετικές κλίμακες. Η ακόλουθη είναι η απάντηση που έδωσε ένας από αυτούς τους μαθητές: «*Στη Σωτήρα επειδή η διαφορά στους κατοίκους είναι μόνο 5000 ενώ στο Μαρί θα πληρώσουν 25000 περισσότερα.*»

Η επόμενη κατηγορία αποτελείται από μία μόνο απάντηση στην οποία δεν επιλέχθηκε καμιά από τις δύο περιοχές, ενδεχομένως λόγω της πολυπλοκότητας που προκύπτει από την απουσία μιας εμφανώς προτιμητέας λύσης. Ειδικότερα, η απάντηση ήταν η εξής: «*Σας συμβουλεύω να μην το κτίσουμε γιατί στο Μαρί είναι 110000 κάτοικοι ενώ στη Σωτήρα 105000 αλλά στο Μαρί θα πληρώσουμε £90000 ενώ στη Σωτήρα £65000.*»

Τέλος, η τέταρτη κατηγορία αποτελείται από έξι μαθητές (22%) οι οποίοι κατέληξαν να δίνουν άσχετη απάντηση είτε διότι δεν απευθύνθηκαν καθόλου στο ερώτημα είτε διότι παρερμήνευσαν κάποια ή κάποιες παραμέτρους της κατάστασης λήψης απόφασης. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης είναι το ακόλουθο: «*Εγώ θα διάλεγα το Μαρί επειδή είναι πιο ακριβό αλλά θα είναι και πιο μεγάλο και θα κάνει πιο πολύ πόσιμο νερό.*»

7.2.1.γ. Έργο Αξιολόγησης III

Το δοκίμιο III είναι πανομοιότυπο με το προηγούμενο με μόνη διαφορά την παρουσία διαφοροποίησης στη βαρύτητα των δύο κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτή την περίπτωση το «κόστος κατασκευής» καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από τον «αριθμό των κατοίκων που θα επωφεληθούν». Αυτό το δοκίμιο δόθηκε μετά την υλοποίηση της πρώτης ενότητας, αφού είχε εισαχθεί η αρχική εκδοχή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης από την οποία απουσίαζε η πτυχή που αφορά στη διαχείριση της διαφοροποίησης στη βαρύτητα. Τα αποτελέσματα από τη χορήγηση αυτού του δοκιμίου φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 65: Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης III

Κατηγορία απάντησης	Συχνότητα	Ποσοστό (%)
Εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης χωρίς διαφοροποίηση βαρύτητας και επιλογή με βάση τα αποτελέσματά της	7	30
Εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και τεκμηρίωση της καταλληλότητας της λύσης που επιλέχθηκε ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης	4	17.5
Επιλογή με βάση το σημαντικότερο κριτήριο	6	26
Επιλογή με βάση τα αποτελέσματα της άμεσης αριθμητικής σύγκρισης του πλεονεκτήματος και του μειονεκτήματος των δύο πιθανών λύσεων	4	17.5
Άσχετη απάντηση	2	8

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει επτά απαντήσεις (30%) στις οποίες εφαρμόστηκε η αρχική εκδοχή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης η οποία δεν χειρίζεται τη διαφοροποίηση της βαρύτητας των κριτηρίων. Πιο κάτω φαίνεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι (10)	105 000 κάτοικοι (9)
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες (7)	65 000 λίρες (10)

17

19

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλεύατε να κατασκευάσει το σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε.

Θα επέλεγα στη Σωτήρα, επειδή έβαλα βαθμούς και είδα ότι είναι καλύτερα εκεί

Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τέσσερις μαθητές (17.5%) οι οποίοι παρόλο που εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης με έγκυρο τρόπο και επέλεξαν τη λύση που συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη βαθμολογία, η τεκμηρίωση που παρείχαν για την απόφασή τους δεν έκανε ρητή αναφορά στα δεδομένα που προέκυψαν από την εφαρμογή της στρατηγικής. Για παράδειγμα, η τεκμηρίωση που πρότεινε μια μαθήτρια ήταν η εξής: «Σωτήρα επειδή έχει δέκα στο κόστος και είναι το πιο σημαντικό.»

Η επόμενη κατηγορία αποτελείται από έξι μαθητές (26%) οι οποίοι επέλεξαν την τοποθεσία που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο όπως φαίνεται στα ακόλουθα δυο ενδεικτικά παραδείγματα.

«Μας ενδιαφέρει περισσότερο το κόστος και έτσι θα πρέπει να κτιστεί στη Σωτήρα.»

«Τη Σωτήρα γιατί λέει ότι θα είναι πιο σημαντικό το κόστος παρά οι κάτοικοι.»

Η τέταρτη κατηγορία αποτελείται από τέσσερις απαντήσεις (17.5%) οι οποίες στηρίχθηκαν στην άμεση σύγκριση των πληροφοριών για τα δύο κριτήρια αγνοώντας τόσο τη διαφοροποίηση στην κλίμακα μέτρησής τους όσο και τη διαφοροποίηση στη σχετική τους βαρύτητα. Αυτή η κατηγορία απάντησης παρουσιάστηκε επίσης στην περίπτωση του δεύτερου δοκιμίου.

Τέλος, η πέμπτη κατηγορία αποτελείται από δύο μαθητές (8%) οι οποίοι έδωσαν άσχετες απαντήσεις οι οποίες απέτυχαν να απευθυνθούν στην υπό μελέτη κατάσταση λήψης απόφασης.

7.2.2. Ενδιάμεση αξιολόγηση

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, στην οποία παρουσιάστηκαν τα μεθοδολογικά στοιχεία της εργασίας, μετά την εφαρμογή της πρώτης ενότητας (επιλογή υλικών για κατασκευή σπιτιού) χορηγήθηκαν για δεύτερη φορά τα έργα αξιολόγησης I και III. Στη συνέχεια συζητούνται τα αποτελέσματα από την κωδικοποίηση των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές.

7.2.2.α. Έργο αξιολόγησης I

Ο πίνακας 66 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης I. Η πρώτη κατηγορία απάντησης περιλαμβάνει οκτώ μαθητές (31%) οι οποίοι χειρίστηκαν την κατάσταση μέσω της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Αυτοί οι μαθητές επέλεξαν αυθόρμητα να εφαρμόσουν αυτή την στρατηγική και ήταν σε θέση να το κάνουν με έγκυρο τρόπο, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα απάντησης.

	Οικόπεδο A	Οικόπεδο B
Τιμή	£40 000 10	£48 000 8
Χρόνος που χρειάζεται για να πηγαίνει στη δουλειά της.	25 λεπτά 6	5 λεπτά 10
Ήσυχη περιοχή	Πάρα πολύ ήσυχη περιοχή 10	Βρίσκεται κοντά σε ένα κεντρικό δρόμο και υπάρχει αρκετή φασαρία 7

Βαθμολόγησα την τιμή των οικοπέδων, το χρόνο που
χρειάζεται η κ. Μαρία για να πηγαίνει στη δουλειά της και
το πόσο ήσυχη είναι η περιοχή από το 1-10.
Έτσι θα διάλεγα το οικόπεδο A

Πίνακας 66: Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων μαθητών στο έργο αξιολόγησης Ι (ενδιάμεση αξιολόγηση)

Κατηγορία απάντησης	Συχνότητα	Ποσοστό
	N	%
Εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης με έγκυρο τρόπο και επιλογή της λύσης που συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη βαθμολογία	8	31
Εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και τεκμηρίωση της καταλληλότητας της λύσης που επιλέχθηκε ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης	4	15
Επιλογή λύσης που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια	10	38
Επιλογή με βάση ένα μόνο κριτήριο	3	12
Άσχετη απάντηση	1	4

Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τέσσερις μαθητές (15%) οι οποίοι ενώ εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης με έγκυρο τρόπο κατέληξαν να αιτιολογούν την απόφασή τους χωρίς να αναφέρονται στα αποτελέσματά της. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης είναι το ακόλουθο:

	Οικόπεδο A £40 000	Οικόπεδο B £48 000
Τιμή	10	6
Χρόνος που χρειάζεται για να πηγαίνει στη δουλειά της.	25 λεπτά	5 λεπτά
Ήσυχη περιοχή	Πάρα πολύ ήσυχη περιοχή 10	Βρίσκεται κοντά σε ένα κεντρικό δρόμο και υπάρχει αρκετή φασαρία 3

Το οικόπεδο Α γιατί τα 2 από τα 3 πράγματα που λέει είναι θετικά.

Παρόλο που στην απάντηση του παραδείγματος εφαρμόζεται ορθά το πρώτο στάδιο της βελτιστοποίησης, το οποίο περιλαμβάνει την αναγωγή των μετρήσεων σε μια κοινή κλίμακα, και επιλέγεται η τοποθεσία που έχει το μεγαλύτερο σταθμισμένο άθροισμα, το επιχείρημα που διατυπώνεται για την τεκμηρίωση την απόφασης δεν κάνει ρητή αναφορά στα αποτελέσματά της. Αντίθετα, στηρίζεται στο πλεονέκτημα που αποκομίζει η περιοχή που επιλέγηκε λόγω της υπεροχής της στα δύο από τα τρία κριτήρια.

Η επόμενη κατηγορία περιλαμβάνει δέκα απαντήσεις (38%) στις οποίες η απόφαση στηρίχθηκε στο πλήθος των κριτηρίων στα οποία υπερτερεί η κάθε πιθανή λύση. Παρά το σχετικά μεγάλο μέγεθος του ποσοστού αυτών των απαντήσεων, είναι σημαντικό να επισημανθεί η αισθητή μείωσή του συγκριτικά με την αρχική αξιολόγηση (74%).

Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει τρεις απαντήσεις (12%) στις οποίες η απόφαση στηρίχθηκε σε ένα μόνο κριτήριο ενώ η πέμπτη κατηγορία αποτελείται από μια άσχετη απάντηση.

7.2.2.β. Έργο αξιολόγησης III

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα το έργο αξιολόγησης III χορηγήθηκε μετά την ολοκλήρωση της δεύτερης ενότητας και είχε ως στόχο να αξιολογήσει την επίδρασή της στην ικανότητα των μαθητών να εφαρμόζουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης ενσωματώνοντας τη στάθμιση της σχετικής βαρύτητας των κριτηρίων. Τα αποτελέσματα από την κωδικοποίηση των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές φαίνονται στον πίνακα 67.

Η πρώτη κατηγορία απάντησης περιλαμβάνει οκτώ απαντήσεις (32%) στις οποίες οι μαθητές επέλεξαν αυθόρμητα να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και ήταν σε θέση να υλοποιήσουν τις διάφορες διεργασίες που εμπλέκει, περιλαμβανομένης της στάθμισης των κριτηρίων σε σχέση με τη βαρύτητά τους. Στη συνέχεια φαίνεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης.

Πίνακας 67: Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης III (ενδιάμεση αξιολόγηση)

Κατηγορία απάντησης	Συχνότητα	Ποσοστό
	N	%
Επιλογή μέσα από την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης περιλαμβανομένης της στάθμισης της βαρύτητας των κριτηρίων	8	32
Επιλογή μέσα από την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης χωρίς να σταθμίζονται τα κριτήρια ως προς τη βαρύτητά τους	2	8

Λανθασμένη εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης	2	8
Επιλογή με βάση το σημαντικότερο κριτήριο	10	40
Άσχετη απάντηση	3	12

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 10	105 000 κάτοικοι 7
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες 7 x 2 14	65 000 λίρες 10 12 120
Σύνολο	24	27

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλεύατε να κατασκευάσει το σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε.

Καταλήξαμε πως ο σταθμός πρέπει να κατασκευαστεί στη Σωτήρα. Βαθμολογήσαμε τα κριτήρια μας και αξιολογήσαμε το κόστος ενώ 2 γιατί είναι δύο φορές πιο σημαντικό. Βάλαμε 10 βαθμούς στον αριθμό των κατοίκων στο Μαρί γιατί είναι το πιο πολύ, αλλά 7 στον αριθμό κατοίκων που θα επωφεληθούν γιατί είναι αρκετά λίγο από αυτό το Μαρί. Μετά βάλαμε 7 βαθμούς στο κόστος και θα χρειαστούν για να χτιστεί στο Μαρί γιατί είναι πολύ πιο ακριβά από τη Σωτήρα, και αξιολογήσαμε x2

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει δύο μαθητές (8%) οι οποίοι εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης χωρίς να χειρίζονται με οποιοδήποτε τρόπο τη διαφοροποίηση στη βαρύτητα των κριτηρίων.

Η τρίτη κατηγορία αποτελείται από τις απαντήσεις δύο μαθητών (8%) οι οποίοι εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης υποπίπτοντας σε συλλογιστικά σφάλματα, όπως φαίνεται στο παράδειγμα απάντησης που ακολουθεί.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι $\frac{180000}{2}$	105 000 κάτοικοι $\frac{130000}{2}$
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες $\frac{180000}{2} \times$	65 000 λίρες $\frac{130000}{2} \times$

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλεύατε να κατασκευάσει το σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε.

Να επιλέξουμε τη Σωτήρα. Να την επιλέξουμε γιατί είναι μικρότερο το κόστος της κάθε τοποθεσίας φέρει δύο και μετά το αποτέλεσμα το πρόσωπο με τον αριθμό κατοίκων. Το Μαρί ήταν 290 000 ενώ το η Σωτήρα ήταν 235.000. Έτσι επιλέγει τη Σωτήρα.

Σε αυτό το παράδειγμα ο μαθητής παρέλειψε να αναγάγει τα δεδομένα σε μια κοινή κλίμακα και να προσαρμόσει την επεξεργασία των δεδομένων, ώστε να λαμβάνει υπόψη την κατεύθυνση συνεισφοράς του κάθε κριτηρίου. Έτσι κατέληξε να διπλασιάζει το κόστος (το οποίο καθορίζεται σαφώς ότι θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό) και στη συνέχεια να προσθέτει το γινόμενο με το πλήθος των κατοίκων που θα επωφεληθούν.

Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει δέκα απαντήσεις (40%) στις οποίες επιλέγηκε η περιοχή που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο. Τέλος, οι υπόλοιποι τρεις μαθητές (12%) κατέληξαν να δίνουν άσχετες απαντήσεις.

7.2.3. Τελική αξιολόγηση

Σε αυτό το μέρος της ενότητας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των απαντήσεων που δόθηκαν από τους μαθητές στα έργα αξιολόγησης III και IV (επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας για την κατασκευή του νέου ηλεκτροπαραγωγού σταθμού) κατά τη χορήγησή τους μετά την ολοκλήρωση της εφαρμογής του διδακτικού υλικού.

7.2.3.a. Έργο αξιολόγησης III

Τα αποτελέσματα της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης III παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 68: Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΙΙΙ (τελική αξιολόγηση)

Τρόπος απόφασης	Συχνότητα	Ποσοστό
	N	%
Επιλογή μέσα από την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης	11	46
Λανθασμένη εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης	7	29
Επιλογή με βάση το σημαντικότερο κριτήριο	5	21
Άσχετη απάντηση	1	4

Η πλειοψηφία των μαθητών (N=18, 75%) (δύο πρώτες κατηγορίες απάντησης) προσέγγισαν την κατάσταση λήψης απόφασης εφαρμόζοντας τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών των μαθητών (N=11, 46% του συνόλου) εφάρμοσε με ορθό τρόπο τη στρατηγική της βελτιστοποίησης ενώ οι υπόλοιποι (N=7, 29%) υλοποίησαν με στρεβλωμένο τρόπο κάποιες από τις πτυχές της.

Η τρίτη κατηγορία απάντησης αποτελείται από πέντε απαντήσεις (21%) στις οποίες η απόφαση στηρίχθηκε στο κριτήριο που καθορίστηκε στο πλαίσιο του σεναρίου ως σημαντικότερο.

Τέλος, η τέταρτη κατηγορία αποτελείται από μια άσχετη απάντηση (4%) η οποία δεν απευθύνθηκε στη συγκεκριμένη κατάσταση λήψης απόφασης.

7.2.3.β. Έργο αξιολόγησης IV

Ο πίνακας 69 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης IV (διάγραμμα 28).

Διάγραμμα 28: Σύνοψη του σεναρίου λήψης απόφασης που ενσωματώνει το έργο αξιολόγησης IV

Σενάριο: επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας για εγκατάσταση του νέου ηλεκτροπαραγωγού σταθμού.
 Στόχος μαθητών: επιλογή της καταλληλότερης λύσης λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια.

Πιθανές λύσεις

		Περιοχή Α	Περιοχή Β	Περιοχή Γ
Κριτήρια	Απόσταση από κατοικημένες περιοχές ⁱ	4km	2km	3km
	Απόσταση από τη θάλασσα ⁱⁱ	10km	2km	6km
	Συνολικό κόστος (σε λίρες) ⁱⁱ	9 000 000	12 000 000	11 800 000

i: Αυτό πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μεγάλο
 ii: Αυτό πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο μικρό

Πίνακας 69: Σύνοψη των αποτελεσμάτων της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης IV (τελική αξιολόγηση)

Κατηγορία απάντησης	Συχνότητα	Ποσοστό
	N	%
Επιλογή μέσα από την έγκυρη και πλήρη εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και τεκμηρίωση απόφασης με βάση τα αποτελέσματά της	11	50
Επιλογή λύσης και τεκμηρίωση με βάση τη στρατηγική της βελτιστοποίησης/ ανεπαρκής ενσωμάτωση της διαφοροποίησης στη βαρύτητα των κριτηρίων	4	18
Εφαρμογή βελτιστοποίησης αλλά τεκμηρίωση της λύσης που επιλέγηκε ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα της στρατηγικής	3	14
Στρεβλωμένη εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης.	1	4.5
Επιλογή με βάση το σημαντικότερο κριτήριο	1	4.5
Επιλογή με βάση το πλήθος κριτηρίων στα οποία υπερτερούν οι πιθανές λύσεις	1	4.5
Άσχετη απάντηση	1	4.5

Το μεγαλύτερο μέρος των μαθητών (86.5%) εφάρμοσε τη στρατηγική της βελτιστοποίησης για να επιλέξει την καταλληλότερη λύση. Οι περισσότεροι από αυτούς (50% του συνόλου) ήταν σε θέση να εφαρμόσουν με έγκυρο τρόπο όλες τις πτυχές της, περιλαμβανομένης της διαδικασίας στάθμισης των κριτηρίων με ανάθεση συντελεστών βαρύτητας, όπως φαίνεται στο ακόλουθο ενδεικτικό παράδειγμα.

	Χοιροκοιλία	Ζύγι	Σωτήρα
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές $\times 7$	4 Km 9 $\overline{63}$	2 Km 7 $\overline{49}$	5 Km 10 $\overline{70}$
Κόστος κατασκευής σταθμού $\times 9$	200 000 λίρες 8 $\overline{72}$	210 000 λίρες 7 $\overline{63}$	180 000 λίρες 10 $\overline{90}$
Απόσταση από θάλασσα $\times 10$	3 Km 8 $\overline{80}$	1 Km 10 $\overline{100}$	4 Km 7 $\overline{70}$
	215	212	230

Για να ασφαλισώ βαθμολόγησα τα τρία κριτήρια μου και δίνονται από το περισσότερο σημαντικό στο λιγότερο. Έβαλα 10 βαθμούς στην απόσταση από κατοικημένες περιοχές στη Σωτήρα, 9 βαθμούς στη Χοιροκοιλία γιατί είναι 1 km μακριότερα, και 7 στο Ζύγι γιατί είναι 2 km μακριότερα. Έβαλα 10 στο κόστος κατασκευής του σταθμού, 8 στη Χοιροκοιλία γιατί είναι 10000 ακριβότερο και 7 στο Ζύγι γιατί είναι 130000 ακριβότερο. Στην απόσταση από τη θάλασσα έβαλα 8 στη Χοιροκοιλία γιατί είναι αρκετά μακριά από τη θάλασσα, 10 στο Ζύγι γιατί είναι 1 km από τη θάλασσα και 7 στη Σωτήρα γιατί είναι 4 km πιο μακριά από τη θάλασσα. Τα βαθμολογήσιμα και διάλεξα τη Σωτήρα.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις απαντήσεις τεσσάρων μαθητών οι οποίοι εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης (18% του συνόλου) αλλά απέτυχαν να προσεγγίσουν με αποτελεσματικό τρόπο τη διαδικασία στάθμισης των κριτηρίων ως προς τη βαρύτητά τους. Πιο συγκεκριμένα δύο από αυτούς ταύτισαν τους συντελεστές βαρύτητας με τη σειρά κατάταξης των κριτηρίων ανάλογα με τη σημαντικότητά τους περιορίζοντας έτσι το εύρος της κλίμακας από το ένα μέχρι το τρία, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα⁵³.

⁵³ Ο συγκεκριμένος μαθητής έχει ιεραρχήσει λανθασμένα τις υποψήφιες περιοχές στο πρώτο και στο τρίτο κριτήριο. Ωστόσο, η απάντησή του εξακολουθεί να παρέχει ένα ενδεικτικό παράδειγμα αυτής της προσέγγισης σε σχέση με τη διαχείριση της διαφοροποίησης στη σημαντικότητα των κριτηρίων.

	Χοιροκοιτία	Ζύγι	Σωτήρα
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές 1	4 Km $6 \times 1 = 6$	2 Km $10 \times 1 = 10$	5 Km $7 \times 1 = 7$
Κόστος κατασκευής 2 σταθμού	200 000 λίρες $7 \times 2 = 14$	210 000 λίρες $6 \times 2 = 12$	180 000 λίρες $10 \times 2 = 20$
Απόσταση από θάλασσα 3	3 Km $8 \times 3 = 24$ = 44	1 Km $10 \times 3 = 30$ = 69	4 Km $6 \times 3 = 18$ = 45

Οα ζη συμβάδρεια να κατασκευαστεί στο Ζύγι, διότι, το σύνολο του, συμφωνεί με τη σειρά των κριτηρίων και τη σημαζικότητα.

Ο περιορισμός που εφαρμόζει σε αυτή την προσέγγιση είναι ότι στηρίζεται στην αχρείαστη παραδοχή ότι η διαφορά ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε διαδοχικά κριτήρια είναι σταθερή. Παρόλο που αυτή η προσέγγιση δεν θα μπορούσε να θεωρηθεί κατ' αρχήν λανθασμένη είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι είναι πιο πιθανό να έχει προκύψει ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς εφαρμογής της διαδικασίας στάθμισης παρά ως προϊόν συνειδητοποιημένης επιλογής των συγκεκριμένων συντελεστών. Αυτό το στοιχείο συζητείται σε περισσότερη λεπτομέρεια κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τη δεύτερη εφαρμογή του διδακτικού υλικού στην επόμενη ενότητα του κεφαλαίου.

Ένας άλλος από αυτούς τους τέσσερις μαθητές διπλασίασε μόνο τις βαθμολογίες που είχε δώσει στις περιοχές ως προς το σημαντικότερο κριτήριο διατηρώντας αμετάβλητες τις βαθμολογίες τους στα άλλα δύο κριτήρια. Τέλος, ο τέταρτος μαθητής αγνόησε πλήρως τη διαφοροποίηση στη βαρύτητα και κατέληξε σε εισήγηση εφαρμόζοντας την αρχική εκδοχή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης.

Η επόμενη κατηγορία αποτελείται από τρεις μαθητές (14%) οι οποίοι ενώ εφαρμόσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης (την αρχική της εκδοχή από την οποία εξαιρείται η διαδικασία στάθμισης των κριτηρίων με βάση τη βαρύτητά τους), κατέληξαν να τεκμηριώνουν την εισήγησή τους με δηλώσεις οι οποίες δεν συνδέονται με τα αποτελέσματά της. Πιο συγκεκριμένα, ο ένας από αυτούς τους μαθητές κατέληξε να επιλέγει την περιοχή που κατατάσσεται δεύτερη (διάμεσος) σε κάθε κριτήριο και οι άλλοι δύο πρότειναν την περιοχή που υπερτερεί σε δύο κριτήρια.

Παρόλο που οι εισηγήσεις στις οποίες κατέληξαν οι τρεις αυτοί μαθητές συνάδουν με τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης, η τάση τους να καταφεύγουν σε ανεξάρτητη

τεκμηρίωση καταδεικνύει ένα στοιχείο που χρειάζεται να ληφθεί υπόψη στη διαδικασία αναθεώρησης του διδακτικού υλικού. Αυτό το στοιχείο αφορά στην αδυναμία των συγκεκριμένων μαθητών να εκτιμήσουν το πλεονέκτημα που προσφέρει η στρατηγική της βελτιστοποίησης ως προς τη συστηματικοποίηση της σύγκρισης των εναλλακτικών λύσεων, η οποία διαφαίνεται από την τάση τους να εξακολουθούν να καταφεύγουν σε αυθαίρετες δηλώσεις όπως *«είναι αρκετά μακριά από κατοικημένες περιοχές»* ενώ θα μπορούσαν να τεκμηριώσουν την ίδια επιλογή με αναφορά στη συνολική βαθμολογία που συγκεντρώνει.

Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει μια μόνο μαθήτριά (4.5%) η οποία επιχείρησε να εφαρμόσει τη στρατηγική της βελτιστοποίησης υποπίπτοντας ωστόσο, σε διάφορα συλλογιστικά και λογικά σφάλματα. Πιο συγκεκριμένα, διπλασίασε τις αρχικές βαθμολογίες για τα δύο από τα τρία κριτήρια χωρίς να έχει προηγηθεί η αναγωγή τους σε μια ενιαία κλίμακα και στη συνέχεια πρόσθεσε τα δύο γινόμενα που προέκυψαν για την κάθε περιοχή με το αντίστοιχο κόστος. Προφανώς η συγκεκριμένη μαθήτριά δεν έχει αναπτύξει το σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται η συλλογιστική στρατηγική της βελτιστοποίησης και ενσωμάτωσε σε αυτή, με τρόπο μη αποδεκτό, στοιχεία από τις εναλλακτικές προσεγγίσεις που εντοπίστηκαν πριν από τη διδασκαλία.

Η επόμενη κατηγορία περιλαμβάνει ένα μαθητή (4.5%) ο οποίος επέλεξε την περιοχή που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο. Ειδικότερα, αυτός ο μαθητής επέλεξε *«το Ζύγι επειδή είναι πιο κοντά στη θάλασσα»*.

Η έκτη κατηγορία αποτελείται από την απάντηση ενός μαθητή (4.5%) ο οποίος επέλεξε την περιοχή που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια παρέχοντας μια σχετική τεκμηρίωση. Πιο συγκεκριμένα, ο μαθητής απάντησε ως εξής: *«Θα συμβούλευα την κυβέρνηση να κατασκευάσει το σταθμό στη Σωτήρα επειδή είναι 5 Km μακριά από κατοικημένες περιοχές και το κόστος είναι το πιο χαμηλό.»*

Τέλος, η επόμενη κατηγορία περιλαμβάνει μια μαθήτριά (4.5%) η οποία απέτυχε να απευθυνθεί στη διαχείριση της υπό μελέτη κατάστασης λήψης απόφασης.

7.2.4. Συζήτηση αποτελεσμάτων

Όπως έχει διαφανεί από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, η ακολουθία δραστηριοτήτων θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αρκετά αποτελεσματική αφού κατά

την τελική αξιολόγηση οι περισσότεροι μαθητές (75% στο έργο αξιολόγησης III και 86.5% στο δοκίμιο IV) επέλεξαν αυθόρμητα να καταφύγουν στη στρατηγική της βελτιστοποίησης για να διαχειριστούν τις αντίστοιχες καταστάσεις λήψης απόφασης και οι περισσότεροι από αυτούς ήταν σε θέση να εφαρμόσουν τις διάφορες πτυχές που περιλαμβάνει με έγκυρο τρόπο (65% στο έργο αξιολόγησης III και 58% στο έργο αξιολόγησης IV). Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι αυτά τα ευρήματα παρέχουν μια ιδιαίτερα ενθαρρυντική ένδειξη για το βαθμό στον οποίο το διδακτικό υλικό ήταν σε θέση να προωθήσει τη μαθησιακή επιδίωξη για την οποία σχεδιάστηκε. Ταυτόχρονα θα πρέπει να καταγραφεί το σχετικά μεγάλο ποσοστό μαθητών που είτε εφάρμοσε με στρεβλωμένο τρόπο πτυχές της στρατηγικής είτε προτίμησε να εφαρμόσει συλλογιστικά λανθασμένες προσεγγίσεις. Αυτό το στοιχείο φανερώνει την ανάγκη τροποποίησης της ακολουθίας δραστηριοτήτων, ώστε να βελτιωθεί περαιτέρω η αποτελεσματικότητά της.

Δεδομένων των αποτελεσμάτων της τελικής αξιολόγησης τα οποία δείχνουν ότι μετά τη διδασκαλία η πλειοψηφία των μαθητών ($\approx 70\%$) εφάρμοσε αυθόρμητα και με έγκυρο τρόπο τη στρατηγική της βελτιστοποίησης για τον εντοπισμό προτιμητέας επιλογής σε άγνωστα συγκείμενα τα οποία δεν συζητήθηκαν κατά τη διδασκαλία, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η ακολουθία δραστηριοτήτων χαρακτηρίζεται από σημαντική δυνητική συνεισφορά αναφορικά με την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Ένα σημείο το οποίο παρουσιάζει ενδιαφέρον αφορά στη σταδιακή εξέλιξη που μπορεί να εντοπίσει κανείς συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης των απαντήσεων των μαθητών κατά την αρχική, την ενδιάμεση και την τελική αξιολόγηση. Η βαθμιαία αύξηση του ποσοστού των μαθητών που εφάρμοσαν αυθόρμητα και με έγκυρο τρόπο τη στρατηγική της βελτιστοποίησης υποδεικνύει τη σημασία της αξιοποίησης πολλαπλών καταστάσεων λήψης απόφασης κατά τη διδασκαλία, ώστε να δίνεται η δυνατότητα στους μαθητές να εφαρμόζουν τη στρατηγική σε διαφορετικά συγκείμενα. Οι πολλαπλές ευκαιρίες εφαρμογής της στρατηγικής αυξάνουν την πιθανότητα ανάπτυξης κατανόησης για το μηχανισμό στον οποίο στηρίζεται, καθώς επίσης και των περιορισμών και των πλεονεκτημάτων της, ώστε να αποφεύγεται η μηχανική και άνευ νοήματος εφαρμογή της.

7.2.4.a. Αναθεώρηση Διδακτικού Υλικού

Με βάση την εμπειρία από την υλοποίηση του διδακτικού υλικού και την ανάλυση των δεδομένων από τις απαντήσεις των μαθητών εντοπίστηκαν σημεία στην ακολουθία των

δραστηριοτήτων τα οποία κρίθηκε χρήσιμο να τροποποιηθούν, ώστε να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητά της. Πιο κάτω παρουσιάζονται αυτά τα σημεία.

Αναβάθμιση της σημασίας που δίνεται για τη συζήτηση του σκεπτικού της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και των πλεονεκτημάτων που τη χαρακτηρίζουν.

Μια από τις βασικές πτυχές του διδακτικού υλικού η οποία δεν λειτούργησε σε ικανοποιητικό βαθμό, αφορά στην κατανόηση των μαθητών για το σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται η στρατηγική της βελτιστοποίησης, τα πλεονεκτήματα που τη χαρακτηρίζουν και τους περιορισμούς της. Αυτό καθίσταται προφανές από το γεγονός ότι ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών που επέλεξαν να εφαρμόσουν τη στρατηγική είτε κατέληξε να αιτιολογεί την επιλογή του προτείνοντας επιχειρήματα ανεξάρτητα από τα αποτελέσματά της, είτε απέτυχε να χειριστεί με έγκυρο τρόπο συγκεκριμένες πτυχές της όπως η στάθμιση των κριτηρίων ανάλογα με τη βαρύτητά τους, είτε συνέθεσαν τις διάφορες πτυχές της με στρεβλωμένο τρόπο υποπίπτοντας σε συλλογιστικά σφάλματα.

Η βασική αναθεώρηση που υλοποιήθηκε για τη διαχείριση αυτής της αδυναμίας του διδακτικού υλικού αφορά στον εμπλουτισμό της αρχικής του ενότητας, ώστε να προετοιμάζει καλύτερα τους μαθητές για την εισαγωγή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Αυτή η προετοιμασία περιλαμβάνει κυρίως την ανάδειξη της ανάγκης για μια στρατηγική σύγκρισης των πιθανών λύσεων η οποία αποφεύγει τα συλλογιστικά σφάλματα στα οποία υποπίπτουν οι προσεγγίσεις στις οποίες τείνουν να καταφεύγουν οι μαθητές πριν από τη διδασκαλία. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει δύο καταστάσεις λήψης απόφασης, η πρώτη από τις οποίες είναι ιδιαίτερα απλή αφού περιλαμβάνει μια περιοχή που υπερτερεί σε όλα τα σχετικά κριτήρια ενώ, αντίθετα, η δεύτερη προϋποθέτει μια συμβιβαστική λύση. Στην αρχική εκδοχή του διδακτικού υλικού η συζήτηση για τα χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την επιλογή στη δεύτερη περίπτωση δεν ήταν αρκετά εκτενής και περιοριζόταν στην αντιπαραβολή των δύο καταστάσεων λήψης απόφασης και στη συζήτηση της ανάγκης για μια λύση που συνθέτει και συνυπολογίζει όλες τις πληροφορίες. Αυτή η συζήτηση δεν ήταν επαρκής για να αναδείξει την αξία της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και τη συνεισφορά της στη διαχείριση της πολυπλοκότητας των καταστάσεων λήψης απόφασης. Αυτή η πτυχή του διδακτικού υλικού έχει εμπλουτιστεί με διάφορους τρόπους. Πιο συγκεκριμένα, στην αναθεωρημένη εκδοχή οι μαθητές αφού αφεθούν να επιλέξουν μόνοι τους εφαρμόζοντας ελεύθερα όποια προσέγγιση θεωρούν κατάλληλη, εμπλέκονται σε δραστηριότητες όπου χρειάζεται να αξιολογήσουν δοσμένες προσεγγίσεις ως προς το σκεπτικό τους. Οι προσεγγίσεις που

δίνονται στους μαθητές έχουν σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα αναφορικά με τις αρχικές τους ιδέες (βλ. τέταρτο κεφάλαιο), οι οποίες τείνουν να είναι επιρρεπείς σε συλλογιστικά σφάλματα. Η διαδικασία της αξιολόγησης των προσεγγίσεων υποβοηθείται με την αξιοποίηση σχετικών φύλλων εργασίας, ώστε να διασφαλιστεί ότι η συζήτηση των μαθητών θα διατηρείται εστιασμένη σε σχετικές παραμέτρους (π.χ. καταγραφή τυχόν αδυναμιών ή πλεονεκτημάτων που χαρακτηρίζουν την κάθε προσέγγιση). Η προσθήκη αυτής της δραστηριότητας αποσκοπεί, αφενός, να εμπλέξει τους μαθητές σε μια αρχική συζήτηση των αδυναμιών που χαρακτηρίζουν τις προσεγγίσεις που τείνουν να εφαρμόζουν (π.χ. αυθαίρετος αποκλεισμός μέρους των πληροφοριών μέσα από την αποκλειστική επικέντρωση είτε στο πλήθος των κριτηρίων στα οποία υπερτερούν οι επιλογές είτε στο σημαντικότερο κριτήριο) δημιουργώντας, ταυτόχρονα, την ανάγκη για μια στρατηγική λήψης απόφασης η οποία να τις αποφεύγει. Με αυτό τον τρόπο, αξιοποιούνται οι αρχικές ιδέες των μαθητών με τις οποίες διασυνδέεται άμεσα η εισαγωγή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης.

Ενίσχυση της διδακτικής επεξεργασίας των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές

Η δεύτερη σημαντική αναθεώρηση αφορά στο σχεδιασμό πρόσθετων δραστηριοτήτων για την περαιτέρω επεξεργασία των συλλογιστικών δυσκολιών που αντιμετωπίζουν συνήθως οι μαθητές. Παρά το γεγονός ότι η συχνότητα εμφάνισής τους μειώνεται σημαντικά μετά την ολοκλήρωση της εφαρμογής του διδακτικού υλικού εξακολουθεί να υπάρχει η ανάγκη παροχής περισσότερων ευκαιριών στους μαθητές να αλληλεπιδράσουν με σχετικές δραστηριότητες. Έτσι, πέρα από τις δραστηριότητες που περιλήφθηκαν στη δεύτερη κυρίως ενότητα όπου οι μαθητές χρειάζεται να αξιολογήσουν δοσμένες εισηγήσεις για την υπό μελέτη κατάσταση λήψης απόφασης, οι οποίες έχουν σχεδιαστεί, ώστε να ανακλούν τις δυσκολίες που τείνουν να αντιμετωπίζουν, έχουν ενσωματωθεί πρόσθετες δραστηριότητες οι οποίες αποσκοπούν να επεκτείνουν τις ευκαιρίες που έχουν οι μαθητές για σχετική συζήτηση. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της δυσκολίας που συναντούν οι μαθητές αναφορικά με την τάση τους να θεωρούν ότι το πλήθος των κριτηρίων στα οποία υπερτερούν οι πιθανές λύσεις καθορίζει τη βέλτιστη επιλογή, αφού εισαχθεί η αρχική εκδοχή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης δίνεται στους μαθητές ένα σενάριο λήψης απόφασης στο οποίο φαίνονται οι βαθμοί που έχουν ανατεθεί στις διάφορες πιθανές λύσεις για όλα τα κριτήρια εκτός από ένα. Τα δεδομένα έχουν προσαρμοστεί, ώστε μια από τις επιλογές να έχει βαθμολογηθεί με δέκα σε δύο από τα τρία κριτήρια και τίθενται στους μαθητές τρία ερωτήματα. Αρχικά, ζητείται από αυτούς να δηλώσουν κατά πόσο θα συμφωνούσαν ότι η καταλληλότερη επιλογή είναι εκείνη που υπερτερεί στα δύο κριτήρια

αιτιολογώντας το σκεπτικό τους. Το δεύτερο ερώτημα ζητά από τους μαθητές να διερευνήσουν κατά πόσο είναι εφικτό να βαθμολογήσουν οι ίδιοι τις πιθανές λύσεις στο τρίτο κριτήριο, ώστε κάποια από τις άλλες δύο επιλογές να καταλήξει να συγκεντρώνει μεγαλύτερη βαθμολογία. Το τρίτο ερώτημα ζητά από τους μαθητές να σκεφτούν ξανά την απάντησή τους στο πρώτο και, εάν χρειάζεται, να την τροποποιήσουν αιτιολογώντας το σκεπτικό τους. Αντίστοιχες δραστηριότητες, που στηρίζονται στο ίδιο σκεπτικό, έχουν ενσωματωθεί σε διάφορα σημεία του διδακτικού υλικού αναφορικά με τις περισσότερες από τις δυσκολίες που έχουν αντιμετωπιστεί.

Διδακτική διαχείριση του ρόλου της υποκειμενικότητας στη λήψη απόφασης

Η τρίτη βασική τροποποίηση που υλοποιήθηκε συνδέεται με τη βελτίωση της κατανόησης των μαθητών για το ρόλο της υποκειμενικότητας στη λήψη απόφασης. Θεωρήθηκε ότι αυτό θα μπορούσε να ενισχύσει περαιτέρω τη μετα-στρατηγική επάρκεια (metastrategic competence) των μαθητών αναδεικνύοντας συγκεκριμένους περιορισμούς της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, η αναθεώρηση προέκυψε από τη θέση ότι οι μαθητές είναι σημαντικό να κατανοήσουν ότι ενώ η υποκειμενικότητα υπεισέρχεται αναπόφευκτα στην προσπάθεια εντοπισμού προτιμητέας επιλογής, αυτό δεν καθιστά αυτόματα αυθαίρετη τη διαδικασία λήψης απόφασης. Αυτή η επιδίωξη προωθήθηκε με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στη συνειδητή προσπάθεια να γίνονται συστηματικές συζητήσεις με τις ομάδες των μαθητών αναφορικά με (α) το ενδεχόμενο άλλες ομάδες να έχουν βαθμολογήσει με διαφορετικό τρόπο είτε τα κριτήρια είτε τις επιλογές, (β) πιθανές αιτίες εμφάνισης αυτού του ενδεχομένου, (γ) παράγοντες που καθιστούν μια απόφαση πιο πειστική από μια άλλη και (δ) πιθανούς τρόπους προώθησης συναίνεσης εντός της ομάδας για τους βαθμούς που θα ανατεθούν στις επιλογές ή στα κριτήρια. Ο δεύτερος τρόπος αφορά σε δύο φύλλα εργασίας που δίνονται στο πλαίσιο της τελικής ενότητας αφού οι μαθητές καταλήξουν σε σχετική απόφαση, όπου ζητείται να απαντήσουν γραπτώς σε παρόμοια ερωτήματα. Η γενικότερη επιδίωξη της δραστηριότητας περιλαμβάνει, αφενός, την εκτίμηση των μαθητών για την αδυναμία διασφάλισης απόλυτα αντικειμενικών αποφάσεων, και, αφετέρου, την προώθηση της κατανόησής τους για τη σημασία της ενίσχυσης της αξιοπιστίας και την εξοικείωσή τους με πιθανούς τρόπους που μπορούν να συνεισφέρουν προς αυτή την κατεύθυνση. Επίσης, γίνεται μια προσπάθεια ανάδειξης του δυναμικού ρόλου της (δι)υποκειμενικότητας στη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της διαδικασίας καθορισμού συντελεστών βαρύτητας για τα διάφορα κριτήρια οι μαθητές καθοδηγούνται να αντιληφθούν την ανεξάρτητη βαθμολόγηση των κριτηρίων από το κάθε μέλος της ομάδας και τον υπολογισμό του

μέσου όρου τους ως μια πιο αξιόπιστη, δυναμικά, προσέγγιση από ότι ο καθορισμός τους από ένα μεμονωμένο άτομο. Ειδικότερα, γίνεται μια προσπάθεια ανάδειξης του οφέλους από τη συλλογικότητα αναφορικά με τον συνυπολογισμό διαφορετικών προοπτικών και την προστασία από τη μονόπλευρη αντιμετώπιση των καταστάσεων λήψης απόφασης (single-mindedness) (Baron, 2000).

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται και συζητούνται τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη δεύτερη εφαρμογή του διδακτικού υλικού, στην οποία αξιοποιήθηκε η αναθεωρημένη εκδοχή του.

7.3. Αποτελέσματα από τη δεύτερη εφαρμογή του διδακτικού υλικού

7.3.1. Αρχική αξιολόγηση

7.3.1.α. Έργο αξιολόγησης ΑΙ: δύο επιλογές και τρία κριτήρια ίσης βαρύτητας

Οι απαντήσεις των μαθητών σε αυτό το έργο αξιολόγησης μπορούν να διακριθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες, όπως φαίνεται στον πίνακα 70. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους μαθητές που επέλεξαν προτιμητέα τοποθεσία λαμβάνοντας υπόψη το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσεται πρώτη η κάθε επιλογή. Αυτοί οι μαθητές κατέληξαν να επιλέγουν την περιοχή που κατατάσσεται πρώτη σε δύο από τα τρία κριτήρια και οι απαντήσεις τους διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο χειρίστηκαν το τρίτο κριτήριο, στο οποίο τυγχάνει να κατατάσσεται τελευταία. Συγκεκριμένα, εμφανίστηκαν τρεις παραλλαγές αυτής της κατηγορίας απάντησης. Η πρώτη παραλλαγή εντοπίστηκε σε οκτώ μαθητές (17%) οι οποίοι προσπάθησαν να υποβαθμίσουν την αδυναμία που παρουσιάζει η περιοχή που επέλεξαν στο τρίτο κριτήριο υποστηρίζοντας ότι παρά το γεγονός ότι υστερεί συγκριτικά με την εναλλακτική περιοχή, η μεταξύ τους διαφορά δεν είναι αξιόλογη. Πιο κάτω παρατίθενται δύο ενδεικτικές απαντήσεις στις οποίες διαφαίνεται ο αυθαίρετος χαρακτήρας της σύγκρισης στην οποία προβαίνουν οι μαθητές ανάμεσα στην επίδοση των δύο περιοχών στο τρίτο κριτήριο.

«Εγώ θα πρότεινα τη Σωτήρα γιατί έχει πιο πολλά συμφέροντα από το Μαρί. Το μόνο καλύτερο στο Μαρί είναι οι κάτοικοι αλλά έχει μικρή διαφορά από τη Σωτήρα.»

«Πιστεύω ότι η Σωτήρα είναι ο καλύτερος χώρος για αφαλάτωση νερού γιατί μπορεί το Μαρί να εξυπηρετεί 5000 περισσότερα αλλά δεν είναι καλύτερο με βάση τα άλλα δύο δεδομένα (φτηνότερο και πιο απομακρυσμένο). Η Σωτήρα

είναι η καλύτερη. Εκείνοι που θα επωφεληθούν δεν είναι πολύ περισσότεροι στο Μαρί.»

Η δεύτερη παραλλαγή εμφανίστηκε σε 13 μαθητές (27%), οι οποίοι περιορίστηκαν στην απλή αναγνώριση της αδυναμίας που παρουσιάζει η περιοχή που επέλεξαν χωρίς ωστόσο να προτείνουν κάποιο επιχείρημα που να δικαιολογεί γιατί αυτή η αδυναμία δεν θέτει σε κίνδυνο την αξιοπιστία της επιλογής τους. Ένας από αυτούς τους μαθητές απάντησε ως εξής:

«Εγώ προτείνω το νέο σταθμό αφαλάτωσης να τον χτίσουν στη Σωτήρα. Θα είναι πιο λίγο το κόστος ανέγερσης του σταθμού και πιο μακριά. Το μόνο πρόβλημα που έχει είναι ότι μόνο λίγοι άνθρωποι θα εξυπηρετηθούν.»

Τέλος, η τρίτη παραλλαγή εντοπίστηκε σε 18 μαθητές (38%), οι οποίοι δεν αναφέρθηκαν στην αδυναμία της περιοχής που πρότειναν ως προς το τρίτο κριτήριο. Δύο ενδεικτικές απαντήσεις είναι οι εξής:

«Στη Σωτήρα. Για να πάρω αυτή την απόφαση σκέφτηκα πως είναι καλύτερο να κατασκευαστεί ο σταθμός στην περιοχή που θα εφαρμόζουν τα περισσότερα κριτήρια και αυτή είναι η Σωτήρα.»

«Στη Σωτήρα γιατί στοιχίζει πιο λίγα λεφτά και είναι πιο μακριά από κατοικημένες περιοχές.»

Οι δύο τελευταίες παραλλαγές χαρακτηρίζονται από ασάφεια ως προς το σκεπτικό από το οποίο απορρέουν αφού οι μαθητές δεν αιτιολογούν γιατί θεωρούν ότι το τρίτο κριτήριο, στο οποίο υστερεί η περιοχή που επιλέγηκε, δεν έχει τη δυνατότητα να αντιστρέψει την απόφασή τους. Όπως και στην περίπτωση της διερεύνησης των αρχικών ιδεών των μαθητών (βλ. τέταρτο κεφάλαιο), τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις εισηγούνται δύο πιθανά ενδεχόμενα για το σκεπτικό των μαθητών. Σύμφωνα με το πρώτο, οι μαθητές θεωρούν ότι το πλήθος των κριτηρίων στα οποία υπερτερούν οι πιθανές επιλογές καθορίζει τη βέλτιστη λύση. Έτσι, η τοποθεσία που υπερτερεί σε δύο από τα τρία κριτήρια θεωρείται κατά ανάγκη καταλληλότερη από την άλλη τοποθεσία, ανεξάρτητα από το τρίτο κριτήριο. Το ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης με κάποιο από τους μαθητές φανερώνει αυτή την προοπτική.

Ερευνητής: Έχεις επιλέξει τη Σωτήρα. Μπορείς να μου εξηγήσεις πώς το σκέφτηκες;

Μαθητής: Ναι. Έχει δύο από αυτά που θέλουμε.

Ερευνητής: Τι εννοείς;

Μαθητής: Η Σωτήρα είναι και πιο φτηνή και είναι και πιο μακριά.

Ερευνητής: Τι νομίζεις για το άλλο κριτήριο; Τον αριθμό κατοίκων που θα επωφεληθούν.

Μαθητής: Εκεί είναι καλύτερο το Μαρί. Αν διάλεγα όμως το Μαρί θα ήταν καλύτερο μόνο σε ένα. Θα είχε μόνο ένα από τα τρία κριτήρια. Η Σωτήρα έχει δύο.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτή η προσέγγιση είναι επιρρεπής σε στρεβλώσεις αφού καταλήγει να εισάγει περιττές παραδοχές, οι οποίες συχνά δεν ικανοποιούνται. Συγκεκριμένα, η υποβάθμιση των διαθέσιμων πληροφοριών, μέσω της κωδικοποίησής τους σε μια διατακτική κλίμακα, εδράζεται στην παραδοχή ότι τα μεγέθη των διαφορών μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών στα διάφορα κριτήρια δεν διαδραματίζουν ρόλο στον καθορισμό της προτιμητέας επιλογής.

Η δεύτερη ερμηνεία ταυτίζεται με την πρώτη παραλλαγή αυτής της κατηγορίας απάντησης, η οποία συζητήθηκε νωρίτερα. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με αυτή την ερμηνεία η επιλογή των μαθητών να εξαιρέσουν το τρίτο κριτήριο είναι στενά συνδεδεμένη με το μέγεθος της διαφοράς που παρουσιάζουν οι δύο υποψήφιες περιοχές ως προς αυτό (εξυπηρέτηση 110000 έναντι 105000 κατοίκων) το οποίο θεωρούν ιδιαίτερα μικρό για να μπορεί να επηρεάσει την απόφασή τους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συνέντευξης που αναδεικνύει αυτή την προοπτική είναι το ακόλουθο:

Ερευνητής: Έχεις επιλέξει τη Σωτήρα. Μπορείς να μου εξηγήσεις γιατί; Πώς το σκέφτηκες;

Μαθητής: Η Σωτήρα θα κοστίσει λιγότερο και θα είναι και πιο μακριά. Είναι πιο ακριβά από το Μαρί αλλά δεν είναι μεγάλη η διαφορά.

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, παρόλο που αυτό το σκεπτικό αναγνωρίζει ότι η διαφορά ανάμεσα στις δύο επιλογές στο τρίτο κριτήριο διαδραματίζει ρόλο στην επιλογή της καταλληλότερης λύσης, καταφεύγει σε μια αυθαίρετη αξιολόγηση του μεγέθους της.

Πίνακας 70: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης I (αρχική αξιολόγηση)

Κατηγορία απάντησης	N	%
Επιλογή με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσονται πρώτες σε σειρά προτίμησης οι εναλλακτικές λύσεις		
πλήθος κριτηρίων και ανάδειξη της επάρκειας της επιλογής στο τρίτο κριτήριο	8	17
πλήθος κριτηρίων και αναγνώριση της αδυναμίας (χωρίς να τους απασχολεί το μέγεθος της)	13	27
πλήθος κριτηρίων χωρίς αναφορά στην αδυναμία	18	38
Επιλογή με βάση ένα μόνο κριτήριο	3	6
Άσχετη απάντηση	6	12

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τρεις μαθητές (6%) που στήριξαν την αιτιολόγησή τους για την επιλογή που πρότειναν σε ένα μόνο κριτήριο. Δύο από αυτούς (4%) επικεντρώθηκαν αποκλειστικά στον αριθμό των κατοίκων που θα επωφεληθούν και ένας (2%) στην απόσταση από κατοικημένες περιοχές. Πιο κάτω φαίνεται ένα παράδειγμα για την κάθε περίπτωση.

«Εγώ θα ήθελα να κτιστεί στο Μαρί επειδή είναι πιο μεγάλος ο αριθμός ανθρώπων που θα επωφεληθούν.»

«Εγώ λέω στο Μαρί επειδή στο Μαρί η απόσταση από κατοικημένες περιοχές είναι 2 χιλιόμετρα και στη Σωτήρα 7 χιλιόμετρα. Πρέπει να είναι πιο κοντά η απόσταση.»

Οι υπόλοιποι έξι μαθητές (12%) κατέληξαν να δίνουν άσχετες απαντήσεις οι οποίες δεν χειρίστηκαν άμεσα την υπό μελέτη κατάσταση λήψης απόφασης. Πιο συγκεκριμένα αυτοί οι μαθητές είτε παρερμήνευσαν το ρόλο κάποιων κριτηρίων είτε διαστρέβλωσαν τα διαθέσιμα δεδομένα. Πιο κάτω παρατίθενται δύο ενδεικτικά παραδείγματα απαντήσεων.

«Μαρί επειδή είναι περισσότεροι οι κάτοικοι και είναι πιο ακριβό.»

«Τη Σωτήρα επειδή είναι περισσότεροι οι κάτοικοι, είναι πιο λίγα τα λεφτά και είναι πιο μακριά από τις κατοικημένες περιοχές.»

Ο πρώτος από τους πιο πάνω μαθητές θεώρησε, σε αντίθεση με τις οδηγίες που περιλαμβάνονταν στο σενάριο λήψης απόφασης, ότι το κόστος είναι προτιμότερο να είναι μεγάλο και έτσι επέλεξε το Μαρί το οποίο υπερτερεί σε δύο κριτήρια (κόστος και αριθμός κατοίκων που επωφελούνται). Ο δεύτερος μαθητής κατέληξε να παραποιεί τα δεδομένα για το πλήθος των κατοίκων που επωφελούνται (λανθασμένος ισχυρισμός ότι στη Σωτήρα επωφελούνται περισσότεροι κάτοικοι) και έτσι το πρόβλημα απλοποιήθηκε ιδιαίτερα αφού μετά από αυτή την αλλοίωση η Σωτήρα κατέληξε να είναι η αντικειμενικά καταλληλότερη επιλογή αφού υπερτερεί και στα τρία κριτήρια.

7.3.1.β. Έργο αξιολόγησης ΑΠ: δύο επιλογές και δύο κριτήρια ίσης βαρύτητας

Οι απαντήσεις των μαθητών διακρίνονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες, όπως φαίνεται στον πίνακα 71. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει οκτώ μαθητές (16.5%) οι οποίοι προσπάθησαν να καταλήξουν σε προτιμητέα επιλογή συνυπολογίζοντας το πλεονέκτημα και το μειονέκτημα της κάθε περιοχής ακολουθώντας, ωστόσο, στρεβλωμένες προσεγγίσεις οι οποίες επηρεάζονται από συλλογιστικές δυσκολίες. Οι μαθητές αυτοί διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει έξι μαθητές (12.5%) οι οποίοι σύγκριναν άμεσα τις διαφορές που παρουσιάζουν οι δύο περιοχές στο κάθε κριτήριο. Αυτοί οι μαθητές σύγκριναν αριθμητικά το πλεονέκτημα που παρουσιάζει η Σωτήρα (35000 λίρες φτηνότερα) με το αντίστοιχο πλεονέκτημα που παρουσιάζει το Μαρί (5000 κάτοικοι περισσότεροι) και στηρίχθηκαν στο αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης για να επιλέξουν τη Σωτήρα, αγνοώντας ότι τα δύο κριτήρια μετρούνται σε διαφορετικές κλίμακες (λίρες και κάτοικοι) και παραγνωρίζοντας τον κίνδυνο στον οποίο εκτίθεται η αξιοπιστία και η εγκυρότητά της σύγκρισης (και κατά επέκταση της απόφασής τους). Ενδεικτικά, η απάντηση ενός από αυτούς τους μαθητές ήταν η εξής: *«Θα πρότεινα Σωτήρα γιατί το Μαρί είναι μόνο 5000 κάτοικοι περισσότεροι από τη Σωτήρα αλλά έχουν πολύ μεγάλη διαφορά τα χρήματα.»*

Η δεύτερη υποκατηγορία αποτελείται από δύο μαθητές (4%) οι οποίοι υπολόγισαν το κόστος που αναλογεί στην εξυπηρέτηση των πρόσθετων πολιτών στο Μαρί και κατέληξαν σε προτιμητέα επιλογή αξιολογώντας το μέγεθος αυτού του λόγου. Η αξιολόγηση αυτή στηρίχθηκε σε κάποιο αυθαίρετο και υποκειμενικό κριτήριο, όπως φαίνεται στα ακόλουθα αποσπάσματα από τις απαντήσεις των δύο μαθητών.

«Εγώ νομίζω πως θα ήταν καλύτερα να κατασκευαστεί στο Μαρί ο σταθμός. Θα ήταν καλύτερα για 25000 λίρες να πεθάνουν από τη δίψα 5000 άνθρωποι; Εγώ δεν βρίσκω δίκαιο να κατασκευαστεί στη Σωτήρα ο σταθμός.»

«Θα τους συμβούλευνα στη Σωτήρα επειδή το κόστος είναι £65000 ενώ το κόστος του Μαρί είναι £90000. Οι £25000 που χρειάζεται το Μαρί είναι μόνο για 5000 περισσότερους κατοίκους.»

Είναι σημαντικό να παρατηρήσει κανείς ότι οι δύο αυτοί μαθητές κατέληξαν να προτείνουν διαφορετική περιοχή αξιολογώντας την ίδια αναλογία και αυτό ανακλά τον αυθαίρετο χαρακτήρα αυτής της προσέγγισης.

Πίνακας 71: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης II (αρχική αξιολόγηση)

Κατηγορία Απάντησης	N	%
Συνυπολογισμός των δύο κριτηρίων		
άμεση σύγκριση αριθμητικών δεδομένων που δίνονται για τα δύο κριτήρια	6	12.5
αξιολόγηση του λόγου ανάμεσα στο πρόσθετο κόστος και τον πρόσθετο αριθμό κατοίκων που θα επωφεληθούν	2	4
Επιλογή με βάση ένα μόνο κριτήριο		
αναγνώριση της αδυναμίας της επιλεγείσας περιοχής και ανάδειξη της αδυναμίας της να επηρεάσει την απόφαση	8	17
αναγνώριση της αδυναμίας της επιλεγείσας περιοχής χωρίς πρόσθετη αιτιολόγηση	7	15
απουσία αναφοράς στην αδυναμία της επιλεγείσας περιοχής	16	33
Αδυναμία επιλογής	3	6
Άσχετες απαντήσεις	6	12.5

Η πλειοψηφία των μαθητών (N=31, 65%) επέλεξαν στηριζόμενοι σε ένα μόνο από τα δύο κριτήρια εξαιρώντας το άλλο από τη διαδικασία λήψης απόφασης. Αυτές οι απαντήσεις διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο προσέγγισαν οι μαθητές το κριτήριο το οποίο απέφυγαν να λάβουν υπόψη. Στην

πρώτη υποκατηγορία περιλαμβάνονται οκτώ περιπτώσεις (17%) στις οποίες ενώ αναγνωρίστηκε ρητά η αδυναμία που παρουσιάζει η προτεινόμενη περιοχή θεωρήθηκε ότι δεν είναι τόσο σημαντική ώστε να μπορεί να επηρεάσει την απόφαση. Ειδικότερα, εντοπίστηκαν τρεις διαφορετικές προοπτικές σε σχέση με την τεκμηρίωση αυτής της θέσης. Στην πρώτη, η έμφαση εστιάζεται στην επάρκεια της επιλεγείσας περιοχής στο κριτήριο στο οποίο υστερεί συγκριτικά με την εναλλακτική λύση. Αυτές οι απαντήσεις εδράζονται στην πεποίθηση ότι η προτεινόμενη τοποθεσία εξακολουθεί να ικανοποιεί το συγκεκριμένο κριτήριο παρόλο που τυγχάνει να υστερεί σε αυτό έναντι της εναλλακτικής τοποθεσίας. Για παράδειγμα, ένας από τους μαθητές επέλεξε τη Σωτήρα, παρόλο που ο αριθμός των κατοίκων που εξυπηρετούνται σε αυτή την περίπτωση είναι μικρότερος, επειδή «...θα εξυπηρετηθούν πάρα πολλοί κάτοικοι και θα πληρώσει η κυβέρνηση πιο λίγα λεφτά». Η δεύτερη προοπτική εμφανίστηκε αποκλειστικά σε απαντήσεις μαθητών που πρότειναν τη Σωτήρα η οποία υπερτερεί στο κριτήριο του κόστους αλλά υστερεί σε σχέση με το πλήθος των κατοίκων που εξυπηρετούνται. Το σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται αυτή η προοπτική επικεντρώνεται στο μέγεθος της διαφοράς που παρατηρείται ανάμεσα στις δύο τοποθεσίες σε σχέση με το πλήθος των κατοίκων που εξυπηρετούνται. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές που απάντησαν με αυτό τον τρόπο προσπάθησαν να υποβαθμίσουν το μέγεθος της διαφοράς, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα: «*Στη Σωτήρα γιατί θα πληρώσουμε πιο λίγα λεφτά και όσο για τους κάτοικους δεν έχουν πολλή διαφορά*». Το τρίτο είδος επιχειρήματος εντοπίστηκε μόνο σε μια περίπτωση όπου επιλέχθηκε η περιοχή στην οποία εξυπηρετούνται οι περισσότεροι κάτοικοι και στηρίχθηκε στη θέση ότι το κόστος δεν πρέπει να απασχολεί την κυβέρνηση. Πιο συγκεκριμένα, η μαθήτρια που απάντησε με αυτό τον τρόπο δήλωσε ότι ο σταθμός πρέπει να εγκατασταθεί «*στο Μαρί γιατί θα επωφεληθούν 110000 κάτοικοι. Δεν μας νοιάζουν τα λεφτά.*»

Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει επτά μαθητές (15%) οι οποίοι αιτιολόγησαν την επιλογή τους εστιάζοντας αποκλειστικά στο πλεονέκτημα που παρουσιάζει στο ένα από τα δύο κριτήρια (δύο μαθητές στο κόστος και πέντε μαθητές στον αριθμό των κατοίκων που θα επωφεληθούν) και περιορίστηκαν στην απλή αναγνώριση της αδυναμίας της, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα.

«Και οι δύο τοποθεσίες έχουν τα καλά και τα κακά τους. Αν το χτίσει στο Μαρί θα επωφεληθούν περισσότεροι κάτοικοι αλλά θα ξοδευτούν περισσότερα λεφτά. Αν το χτίσει στη Σωτήρα θα εξοικονομηθούν χρήματα αλλά θα επωφεληθούν

λιγότεροι κάτοικοι. Εγώ θα τη συμβούλευα να το χτίσει στο Μαρί γιατί είναι πιο σημαντικό να επωφεληθούν περισσότεροι κάτοικοι.»

«Θα συμβούλευα να κατασκευαστεί στο Σωτήρα γιατί αν και δεν θα επωφεληθούν πολλοί κάτοικοι θα πληρώσουν πιο λίγα λεφτά.»

Παρόλο που οι μαθητές αυτοί έδωσαν προτεραιότητα σε ένα από τα δύο κριτήρια δεν αιτιολόγησαν γιατί θεώρησαν ότι η αδυναμία που παρουσιάζει η περιοχή στην οποία κατέληξαν σε σχέση με το άλλο κριτήριο δεν είναι ικανή να επηρεάσει την εγκυρότητα της απόφασής τους. Η πιο πιθανή ερμηνεία είναι ότι θεώρησαν πως το κριτήριο που προσδιόρισαν (αυθαίρετα και σε αντιδιαστολή με τις οδηγίες που είχαν δοθεί ότι τα δύο κριτήρια είναι εξίσου σημαντικά) ως σημαντικότερο καθορίζει τη βέλτιστη επιλογή. Παρά το συλλογιστικά στρεβλωμένο της χαρακτήρα, η συγκεκριμένη προσέγγιση λειτούργησε ως μια διέξοδος για τους μαθητές, ώστε να παρακάμψουν την πολυπλοκότητα της σύγκρισης των δύο επιλογών. Το ακόλουθο απόσπασμα συνέντευξης είναι ενδεικτικό αυτής της προσέγγισης.

Ερευνητής: Σε αυτή την περίπτωση επέλεξες το Μαρί. Μπορείς να μου εξηγήσεις γιατί;

Μαθητής: Επειδή μπορεί να είναι πιο ακριβό αλλά θα επωφεληθεί περισσότερος κόσμος.

Ερευνητής: Ναι αλλά όπως είπες και εσύ είναι πιο ακριβό από τη Σωτήρα και η κυβέρνηση θα προτιμούσε να είναι όσο το δυνατό μικρότερο το κόστος. Τι νομίζεις γι' αυτό;

Μαθητής: Ναι αλλά είναι πιο σημαντικό να εξυπηρετούνται πολλοί κάτοικοι και μετά να είναι μικρό το κόστος.

Η τρίτη υποκατηγορία περιλαμβάνει δεκαέξι μαθητές (33%) που περιόρισαν την απάντησή τους στην ανάδειξη του πλεονεκτήματος που παρουσιάζει η περιοχή που επέλεξαν (έντεκα μαθητές εστίασαν στο κόστος και πέντε στο πλήθος των κατοίκων που επωφελούνται) χωρίς να κάνουν καμιά αναφορά στην αδυναμία της. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης είναι τα εξής:

«Στη Σωτήρα γιατί είναι πιο οικονομικό προς την κυβέρνηση.»

«Στο Μαρί γιατί θα επωφεληθούν περισσότεροι κάτοικοι.»

Οι τρεις υποκατηγορίες διαφοροποιούνται ως προς τη σαφήνεια με την οποία προσδιορίζεται το σκεπτικό που οδήγησε στον αποκλεισμό του ενός από τα δύο κριτήρια από τη διαδικασία της επιλογής προτιμητέας επιλογής. Ειδικότερα, η τρίτη υποκατηγορία, και σε μικρότερο βαθμό η δεύτερη, χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ασάφεια από ότι η πρώτη. Οι μαθητές στη δεύτερη υποκατηγορία είναι ιδιαίτερα πιθανό να απέκλεισαν το ένα από τα δύο κριτήρια ως λιγότερο σημαντικό θεωρώντας ότι η βέλτιστη επιλογή καθορίζεται αποκλειστικά από το σημαντικότερο κριτήριο (επιχειρηματολογία που εμφανίστηκε στην πρώτη υποκατηγορία). Ωστόσο, δεν μπορεί να αποκλειστεί η πιθανότητα να έχουν υιοθετήσει κάποιο (ή και τα δύο) από τα άλλα επιχειρήματα που έχουν μελετηθεί πιο πάνω (αμελητέο μέγεθος διαφοράς ανάμεσα στις δύο περιοχές ή επάρκεια της περιοχής που επιλέγηκε στο κριτήριο στο οποίο μειονεκτεί). Αυτή η ασάφεια ισχύει ακόμη πιο έντονα στην περίπτωση των απαντήσεων της τρίτης υποκατηγορίας, όπου οι μαθητές δεν κάνουν καμιά αναφορά στο μειονέκτημα της περιοχής που επέλεξαν. Παρά την αδυναμία καθορισμού του σκεπτικού των μαθητών είναι σημαντικό να τονιστεί ότι και τα τρία πιθανά επιχειρήματα, τα οποία έχουν παρουσιαστεί στην πρώτη υποκατηγορία, είναι στρεβλωμένα αφού καταλήγουν να εξαιρούν από τη διαδικασία λήψης απόφασης το ένα από τα δύο κριτήρια.

Η τρίτη κύρια κατηγορία απάντησης περιλαμβάνει τρεις μαθητές (6%) οι οποίοι πρότειναν είτε να μην επιλεγεί καμιά από τις δύο περιοχές είτε να επιλεγούν και οι δύο. Αυτές οι απαντήσεις προέκυψαν, ενδεχομένως, ως αποτέλεσμα της αδυναμίας των μαθητών να διαχειριστούν την πολυπλοκότητα της κατάστασης λήψης απόφασης λόγω της παρουσίας ενός θετικού και ενός αρνητικού για την καθεμιά από τις πιθανές λύσεις. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης είναι το ακόλουθο: *«Από τη μια θα πρότεινα το Μαρί γιατί θα επωφεληθούν περισσότεροι κάτοικοι. Αλλά από την άλλη θα πρότεινα τη Σωτήρα γιατί είναι πιο λίγα τα λεφτά.»*

Τέλος, η τέταρτη κατηγορία συγκεντρώνει έξι μαθητές (12.5%) οι οποίοι κατέληξαν να δίνουν απαντήσεις οι οποίες δεν αφορούν άμεσα στο ερώτημα. Σε μερικές από αυτές τις περιπτώσεις οι μαθητές παρερμήνευσαν το ρόλο των κριτηρίων θεωρώντας, λανθασμένα ότι είναι προτιμότερο, είτε να είναι μεγαλύτερο το κόστος είτε να είναι μικρότερος ο αριθμός των κατοίκων, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα. *«Στη Σωτήρα γιατί θέλουμε οι κάτοικοι και τα έξοδα να είναι πιο λίγα.»* Σε κάποιο βαθμό μερικές από αυτές τις απαντήσεις είναι πιθανό να έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα εδραιωμένων πεποιθήσεων των μαθητών, όπως για παράδειγμα ότι το κόστος χρειάζεται να είναι μεγάλο διότι έτσι

διασφαλίζεται καλύτερη ποιότητα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί η ιδιαίτερη σημασία που δινόταν κατά τη χορήγηση των έργων αξιολόγησης, ώστε να διευκρινίζεται και να αιτιολογείται η κατεύθυνση συνεισφοράς του κάθε κριτηρίου (π.χ. αν είναι προτιμότερο να είναι μικρό ή μεγάλο το κόστος). Μια εναλλακτική ερμηνεία, η οποία ίσως να είναι πιο πιθανή, είναι ότι αυτή η προσέγγιση των μαθητών προέκυψε ως αποτέλεσμα της ανάγκης τους για μια διέξοδο από το δύσκολο εγχείρημα της σύγκρισης του συνδυασμού πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που παρουσιάζει η κάθε επιλογή. Ωστόσο, τα διαθέσιμα δεδομένα δεν επιτρέπουν τη λεπτομερή αξιολόγηση αυτών των πιθανών ενδεχομένων.

7.3.1.γ. Έργο αξιολόγησης ΑΙΙΙ: δύο επιλογές και δύο κριτήρια διαφορετικής βαρύτητας (η οποία προσδιορίζεται υπό μορφή λόγου)

Οι απαντήσεις των μαθητών μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες, οι οποίες συνοψίζονται στον πίνακα 72.

Πίνακας 72: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΙΙΙ (αρχική αξιολόγηση)

Κατηγορία Απάντησης	N	%
Συνυπολογισμός των δύο κριτηρίων με άμεση σύγκριση των αριθμητικών δεδομένων που δίνονται για τα δύο κριτήρια	6	12
Επιλογή βασισμένη σε ένα μόνο κριτήριο		
αναγνώριση της αδυναμίας της επιλεγείσας περιοχής και ανάδειξη της αδυναμίας της να επηρεάσει την απόφαση	7	14
αναγνώριση της αδυναμίας της επιλεγείσας περιοχής χωρίς πρόσθετη αιτιολόγηση	12	25
απουσία αναφοράς στην αδυναμία της επιλεγείσας περιοχής	20	41
Άσχετες απαντήσεις	4	8

Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από έξι μαθητές (12%) οι οποίοι επιχείρησαν να συνδυάσουν τις πληροφορίες για τα δύο κριτήρια αντιπαραβάλλοντας άμεσα τον αριθμό των πρόσθετων κατοίκων που θα επωφεληθούν με το κόστος που αντιστοιχεί σε αυτό, παρόλο που μετρούνται σε διαφορετικές κλίμακες. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους

μαθητές επέλεξε τη Δεκέλεια επειδή «...ο αριθμός των κατοίκων που θα επωφεληθούν είναι £30000, πολύ μεγαλύτερος από το Ζύγι ενώ το κόστος ανέγερσης είναι £20000 διαφορά από το Ζύγι.»

Η δεύτερη κατηγορία, η οποία συγκεντρώνει το 80% των μαθητών (N=39), αποτελείται από τους μαθητές που περιόρισαν την επιλογή τους σε ένα μόνο κριτήριο. Οι απαντήσεις αυτών των μαθητών διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει επτά μαθητές (14%) οι οποίοι ενώ έδωσαν προτεραιότητα στο ένα από τα δύο κριτήρια (τέσσερις μαθητές στο κόστος και τρεις στον αριθμό των κατοίκων) αναγνώρισαν την αδυναμία της περιοχής που επέλεξαν στο άλλο κριτήριο και, επιπρόσθετα, προσπάθησαν να αιτιολογήσουν γιατί αυτή δεν είναι αρκετά σημαντική, ώστε να πλήξει την αξιοπιστία της απόφασής τους. Οι μαθητές αυτοί εστίασαν το επιχειρήμα τους στο μικρό μέγεθος της διαφοράς ανάμεσα στις δύο υπονήπιες επιλογές σε σχέση με το συγκεκριμένο κριτήριο. Πιο κάτω παρατίθενται ενδεικτικά δύο απαντήσεις:

«Εγώ θα ήθελα να κτιστεί στο Ζύγι γιατί είναι πιο φτηνό από τη Δεκέλεια και είναι λίγο πιο μικρός ο αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν.»

«Δεκέλεια γιατί θα ωφεληθούν παραπάνω κάτοικοι και στο κόστος δεν είναι και τόσο πολλή η διαφορά.»

Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει δώδεκα μαθητές (25%) οι οποίοι περιορίστηκαν απλώς στο να αναγνωρίσουν την αδυναμία που παρουσιάζει η περιοχή που πρότειναν στο ένα από τα δύο κριτήρια.

«Αν ήμουν σύμβουλος θα επέλεγα το Ζύγι γιατί θα μας κόστιζε λιγότερο αν και η Δεκέλεια έχει περισσότερους κατοίκους.»

«Εγώ νομίζω ότι θα έπρεπε να κατασκευαστεί στη Δεκέλεια ο σταθμός γιατί έτσι θα επωφεληθούν 30000 κάτοικοι παραπάνω έστω και αν κοστίζει 20000 λίρες παραπάνω.»

Παρόλο που οι μαθητές αυτοί δεν επεξήγησαν ρητά τον τρόπο με τον οποίο έλαβαν υπόψη το δεύτερο κριτήριο, οι απαντήσεις τους υπονοούν ότι το πιο πιθανό ενδεχόμενο είναι να έχουν θεωρήσει ότι το ένα από τα δύο κριτήρια είναι σημαντικότερο από το άλλο και ότι το σημαντικότερο κριτήριο καθορίζει τη βέλτιστη επιλογή. Αυτό συνάδει επίσης με τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις όπως φαίνεται στο ακόλουθο απόσπασμα:

Ερευνητής: *Επέλεξες το Ζύγι. Μπορείς να μου εξηγήσεις λίγο γιατί; Πώς το σκέφτηκες;*

Μαθητής: *Είναι πιο φτηνό. Θα στοιχίσει λιγότερα εκεί και η κυβέρνηση θα κάνει οικονομία.*

Ερευνητής: *Πώς τα πάει το Ζύγι στο άλλο κριτήριο; Εξυπηρετείται μεγαλύτερος ή μικρότερος αριθμός κατοίκων από τη Δεκέλεια;*

Μαθητής: *Είναι πιο πολλοί στη Δεκέλεια αλλά είναι το κόστος που πρέπει να δούμε περισσότερα.*

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ενώ το έργο αξιολόγησης καθόριζε ειδικά ότι το κριτήριο του κόστους ήταν δύο φορές πιο σημαντικό για την κυβέρνηση από ότι το πλήθος των κατοίκων που θα επωφεληθούν, οι οκτώ (16%) από τους μαθητές που εντάχθηκαν σε αυτή την υποκατηγορία έδωσαν προτεραιότητα στο κριτήριο που αφορά στον αριθμό των κατοίκων που θα επωφεληθούν από την εγκατάσταση του σταθμού. Αυτό το στοιχείο είναι αξιοσημείωτο και παρέχει μια ένδειξη της αδυναμίας των συγκεκριμένων μαθητών να εστιάσουν στα δεδομένα του σεναρίου λήψης απόφασης και να αποστασιοποιηθούν από το προσωπικό τους σύστημα αξιών, το οποίο φαίνεται ότι τείνει να αποδίδει μεγαλύτερη σημασία στην εξυπηρέτηση των πολιτών παρά στην εξοικονόμηση χρημάτων.

Η τρίτη υποκατηγορία αποτελείται από είκοσι μαθητές (41%) οι οποίοι εστίασαν σε ένα μόνο κριτήριο και δεν αναφέρθηκαν καθόλου το άλλο, στο οποίο υστερεί η περιοχή που επέλεξαν. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους μαθητές απάντησε ότι «*θα πρέπει να χτιστεί στο Ζύγι γιατί λέει ότι το κόστος είναι πιο σημαντικό*». Αξίζει να σημειωθεί ότι όλοι αυτοί οι μαθητές εστίασαν αποκλειστικά στο κόστος, το οποίο καθορίζεται από το σενάριο του έργου αξιολόγησης ως σημαντικότερο. Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι οι συγκεκριμένοι μαθητές τείνουν να θεωρούν αυτονόητο ότι το σημαντικότερο κριτήριο καθορίζει τη βέλτιστη επιλογή.

Η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει τέσσερις μαθητές (8%) οι οποίοι κατέληξαν να δίνουν άσχετες απαντήσεις ακολουθώντας παρόμοιες προσεγγίσεις όπως και στα προηγούμενα δύο έργα αξιολόγησης. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα άσχετης απάντησης είναι το ακόλουθο: «*Το Ζύγι γιατί έχει λιγότερους κάτοικους και λιγότερες λίρες.*»

7.3.1.δ. Συνοπτικά σχόλια για την αρχική αξιολόγηση

Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν πιο πάνω είναι συμβατά με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της διερεύνησης των αρχικών ιδεών των μαθητών στο πλαίσιο του σχεδιασμού του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο) και επιβεβαιώνουν (α) την αδυναμία των μαθητών να καταλήξουν σε επιλογές μέσα από τη σύνθεση και συνυπολογισμό των διαθέσιμων δεδομένων με έγκυρο τρόπο, και (β) την τάση τους να καταλήγουν σε προσεγγίσεις που επικεντρώνονται σε ένα μέρος των δεδομένων αγνοώντας τα υπόλοιπα. Επίσης, επιβεβαιώνουν την επίδραση όλων των συλλογιστικών δυσκολιών που έχουν αναγνωριστεί κατά το σχεδιασμό του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο, διάγραμμα 9)

Ο πίνακας 73 συνοψίζει όλες τις κατηγορίες απάντησης που εντοπίστηκαν συνολικά στα τρία έργα αξιολόγησης και παραθέτει το ποσοστό και τη συχνότητα εμφάνισής τους. Από τον πίνακα διαπιστώνει κανείς εύκολα την επίδραση των παραμέτρων που περιλαμβάνει η κάθε κατάσταση λήψης απόφασης (π.χ. πλήθος κριτηρίων και επιλογών) στον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται οι απαντήσεις. Αυτό το εύρημα έχει εντοπιστεί επίσης στο πλαίσιο της διερεύνησης των αρχικών ιδεών των μαθητών και έχει συζητηθεί σε λεπτομέρεια στο τέταρτο κεφάλαιο. Ένα στοιχείο που δεν έχει συζητηθεί προηγουμένως αφορά στη σύγκριση του έργου αξιολόγησης III, το οποίο δεν είχε αξιοποιηθεί κατά την αρχική διερεύνηση των ιδεών των μαθητών, με το έργο αξιολόγησης II. Τα δύο αυτά έργα αξιολόγησης παρουσιάζουν ομοιότητα στις παράμετρους της υπό ανάλυση κατάστασης λήψης απόφασης (δύο κριτήρια και δύο πιθανές λύσεις η καθεμιά από τις οποίες υπερτερεί σε ένα κριτήριο) αλλά διαφοροποιούνται ως προς τη σχετική βαρύτητα των κριτηρίων (στο έργο αξιολόγησης II τα δύο κριτήρια καθορίζονται ως εξίσου σημαντικά ενώ στο έργο αξιολόγησης III το ένα καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από το άλλο). Μια σημαντική απόκλιση που παρουσιάζεται ανάμεσα στην κατανομή των απαντήσεων στα δύο αυτά έργα αξιολόγησης αφορά στη συχνότητα με την οποία εμφανίστηκε η προσέγγιση της επιλογής με βάση ένα μόνο από τα δύο κριτήρια αγνοώντας το άλλο. Αυτή η προσέγγιση ακολουθήθηκε από λιγότερους μαθητές στο έργο αξιολόγησης II (N=31, 63%) παρά στο έργο αξιολόγησης III (N=39, 80%) και αυτό μπορεί να αποδοθεί, τουλάχιστο σε ένα μεγάλο βαθμό, στον καθορισμό ενός από τα κριτήρια ως δύο φορές πιο σημαντικό από το άλλο. Αυτό ενδεχομένως ενίσχυσε την τάση των μαθητών να θεωρούν, λανθασμένα, ότι το σημαντικότερο κριτήριο καθορίζει τη βέλτιστη επιλογή.

Πίνακας 73: Σύνοψη αποτελεσμάτων αρχικής αξιολόγησης για το σύνολο των έργων αξιολόγησης

Κατηγορία Απάντησης	ΑΙ		ΑΙΙ		ΑΙΙΙ	
	N	%	N	%	N	%
Συνυπολογισμός των δύο κριτηρίων						
άμεση σύγκριση αριθμητικών δεδομένων που δίνονται για τα δύο κριτήρια	-	-	6	12.5	6	12
αξιολόγηση του λόγου ανάμεσα στο πρόσθετο κόστος και τον πρόσθετο αριθμό κατοίκων που θα επωφεληθούν	-	-	2	4	-	-
Επιλογή με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσονται πρώτες σε σειρά προτίμησης οι εναλλακτικές λύσεις						
ανάδειξη της επάρκειας της επιλογής στο τρίτο κριτήριο	8	17	-	-	-	-
αναγνώριση της αδυναμίας (χωρίς να τους απασχολεί το μέγεθος της)	13	27	-	-	-	-
απουσία αναφοράς στην αδυναμία	18	38	-	-	-	-
Επιλογή με βάση ένα μόνο κριτήριο						
αναγνώριση της αδυναμίας της επιλεγείσας περιοχής και ανάδειξη της αδυναμίας της να επηρεάσει την απόφαση	-	-	8	17	7	14
αναγνώριση της αδυναμίας της επιλεγείσας περιοχής χωρίς πρόσθετη αιτιολόγηση	-	-	7	15	12	25
απουσία αναφοράς στην αδυναμία της επιλεγείσας περιοχής	3	6	16	33	20	41
Αδυναμία επιλογής	-	-	3	6	-	-
Άσχετη απάντηση	6	12	6	12.5	4	8

7.3.2. Τελική αξιολόγηση

Στη συνέχεια παρουσιάζονται και συζητούνται τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στις τρεις ομάδες έργων αξιολόγησης που αξιοποιήθηκαν μετά τη διδασκαλία. Αρχικά παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα για την κάθε ομάδα έργων αξιολόγησης, χωριστά, και στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια σύνθεσής τους.

7.3.2.α. Αποτελέσματα από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Β

7.3.2.α1. Έργο αξιολόγησης Β1: Ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής

Οι απαντήσεις των μαθητών διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες οι οποίες συνοψίζονται στον πίνακα 74.

Πίνακας 74: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης Β1 (τελική αξιολόγηση)

Κατηγορία Απάντησης	N	%
Ορθή εφαρμογή βελτιστοποίησης και αιτιολόγηση της απόφασης με βάση τα αποτελέσματά της	35	76
Ορθή εφαρμογή βελτιστοποίησης και αιτιολόγηση της απόφασης χωρίς αναφορά στα αποτελέσματά της	7	15
Επιλογή λύσης με εφαρμογή εναλλακτικών προσεγγίσεων διαφορετικών από τη στρατηγική της βελτιστοποίησης	4	9

Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών ήταν σε θέση να εφαρμόσει με έγκυρο τρόπο τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Συγκεκριμένα, οι μαθητές αυτοί (α) ιεράρχησαν ορθά τις δύο περιοχές για το κάθε ζεύγος χωριστά, (β) βαθμολόγησαν την προτιμητέα λύση στο κάθε κριτήριο με δέκα και έδωσαν μικρότερο βαθμό στην άλλη περιοχή και (γ) υπολόγισαν τη συνολική βαθμολογία για την κάθε πιθανή λύση. Οι απαντήσεις αυτών των μαθητών μπορούν να διακριθούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει 35 μαθητές (76%) που εφαρμόσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και, επιπρόσθετα, αιτιολόγησαν την επιλογή τους κάνοντας αναφορά στα αποτελέσματα που προέκυψαν, όπως φαίνεται στα δύο παραδείγματα που ακολουθούν.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι	105 000 κάτοικοι
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες	65 000 λίρες
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	2 χιλιόμετρα	7 χιλιόμετρα

18

25

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Απαντήστε σε αυτό το ερώτημα χρησιμοποιώντας τη στρατηγική που μάθατε στο μάθημα. Εξηγήστε τα στάδια αυτής της στρατηγικής.

Έβαλα βαθμούς και για τα τρία κριτήρια και αποφά-
σασα πως η καλύτερη περιοχή είναι η Σωτήρα.
Για να κρίνω αυτή την απόφαση πρόσθεσα και
τις τρεις βαθμολογίες.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι	105 000 κάτοικοι
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες	65 000 λίρες
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	2 χιλιόμετρα	7 χιλιόμετρα

22

28

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Απαντήστε σε αυτό το ερώτημα χρησιμοποιώντας τη στρατηγική που μάθατε στο μάθημα. Εξηγήστε τα στάδια αυτής της στρατηγικής.

Πιστεύω ότι πρέπει να κερδίσει Σωτήρα γιατί
είναι να είναι πιο κοντά και θα βοηθήσει τα κριτήρια ανάμεσα
με το πόσο συμφέρει είναι. Στο τέλος τα πρόσθεσα
και εκείνο με την πιο υψηλή βαθμολογία κέρδισε ότι
είναι να να επιλέξω προς για να κερδίσει ο σταθμός
αφαλάτωσης

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι στο πλαίσιο των συνεντεύξεων με τους μαθητές που απάντησαν με αυτό τον τρόπο έγινε μια προσπάθεια να διερευνηθεί κατά πόσο εφαρμόζαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης χωρίς να κατανοούν το περιεχόμενό της ή είχαν επίγνωση των σταδίων της και του τρόπου με τον οποίο μπορεί να καθοδηγήσει τη διαδικασία λήψης απόφασης. Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις στηρίζουν το δεύτερο ενδεχόμενο. Πιο συγκεκριμένα, όλοι οι μαθητές που συμμετείχαν στις συνεντεύξεις ήταν σε θέση να περιγράψουν λεκτικά την εφαρμογή της βελτιστοποίησης, όπως φαίνεται στο ακόλουθο απόσπασμα.

Ερευνητής: Πού κατέληξες; Ποια περιοχή νομίζεις ότι είναι η καταλληλότερη;

Μαθητής: Η Σωτήρα.

Ερευνητής: Γιατί;

Μαθητής: Επειδή έβαλα βαθμούς στις περιοχές σε όλα τα κουτιά του πίνακα και μετά που πρόσθεσα είδα ότι η Σωτήρα πήρε μεγαλύτερο βαθμό.

Ερευνητής: Εξήγησε μου αν μπορείς περισσότερο τι έκανες. Πώς έβαλες βαθμούς; Πώς αποφάσισες ποια είναι η καλύτερη περιοχή;

Μαθητής: Έβαζα δέκα στην καλύτερη περιοχή και ένα μικρότερο βαθμό στην άλλη. Μετά πρόσθεσα τους βαθμούς και βρήκα ποια περιοχή έχει μεγαλύτερο βαθμό.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει επτά μαθητές (15%) οι οποίοι παρόλο που ήταν επίσης σε θέση να εφαρμόσουν με έγκυρο τρόπο τη στρατηγική της βελτιστοποίησης δεν αξιοποίησαν τα αποτελέσματά της στην τεκμηρίωση της απόφασής τους. Αντίθετα, επέλεξαν να καταφύγουν σε αιτιολογήσεις που αναφέρονταν σε αποσπασματικές πτυχές των δεδομένων, ακολουθώντας προσεγγίσεις αντίστοιχες με εκείνες που είχαν εμφανιστεί κατά την αρχική αξιολόγηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλοι αυτοί οι μαθητές επέλεξαν την περιοχή που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια (δύο από τα τρία) και αιτιολόγησαν την επιλογή τους με αναφορά σε αυτό το πλεονέκτημα. Ένα παράδειγμα απάντησης αυτής της κατηγορίας είναι το ακόλουθο.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 10	105 000 κάτοικοι 8
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες 6	65 000 λίρες 10
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	2 χιλιόμετρα 4	7 χιλιόμετρα 10

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Απαντήστε σε αυτό το ερώτημα χρησιμοποιώντας τη στρατηγική που μάθατε στο μάθημα. Εξηγήστε τα στάδια αυτής της στρατηγικής.

Συμβουλεύω να κτισθεί ο σταθμός στη Σωτήρα γιατί άρα
το φέρει άνω θρησκείαν πιο λίγο κόστος και υπάρχει περι-
σότερη απόσταση από κατοικημένες περιοχές ενώ δεν είναι
μεγάλη η διαφορά των κατοίκων που θα επωφεληθούν.

Αυτή η προσέγγιση απάντησης μπορεί να ερμηνευθεί με δύο, τουλάχιστο, τρόπους. Σύμφωνα με την πρώτη ερμηνεία, η αιτιολόγηση που πρότειναν οι μαθητές είχε ως κύριο στόχο να παρέχει πρόσθετη στήριξη στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή

της βελτιστοποίησής και να υποδείξει ότι η επιλογή στην οποία κατέληξαν είναι λογική. Ειδικότερα, η συμβατότητα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή της βελτιστοποίησης με την εναλλακτική προσέγγιση που ήταν προδιατεθειμένοι να ακολουθήσουν οι μαθητές (η περιοχή που συγκέντρωσε μεγαλύτερη βαθμολογία τυγχάνει να συμπίπτει με την περιοχή που κατατάσσεται πρώτη στα περισσότερα κριτήρια) θεωρήθηκε, ενδεχομένως, από τους μαθητές ότι ενισχύει την εγκυρότητα και την αξιοπιστία της απόφασής τους.

Η δεύτερη ερμηνεία είναι ότι οι μαθητές εφάρμοσαν μηχανικά τη στρατηγική χωρίς να εκτιμούν ιδιαίτερα την αξία της και τα πλεονεκτήματα που παρέχει έναντι της εναλλακτικής προσέγγισης. Έτσι, παρόλο που εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης, όπως είχε ζητηθεί από το έργο αξιολόγησης, θεώρησαν επαρκές το επιχείρημα για την υπεροχή της προτεινόμενης τοποθεσίας σε δύο από τα τρία κριτήρια, και, συνεπώς, αχρείαστη την αναφορά στα αποτελέσματά της στρατηγικής.

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τέσσερις μαθητές (9%) οι οποίοι παρέκαμψαν την οδηγία που ζητούσε ρητά από αυτούς να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και προχώρησαν, εναλλακτικά, στην επιλογή της περιοχής που πλεονεκτεί σε δύο από τα τρία κριτήρια. Προφανώς, οι συγκεκριμένοι μαθητές είτε δεν ανέπτυξαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης είτε δεν εκτίμησαν τις δυνατότητές της και τη συνεισφορά της σε σχέση με τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης, ώστε να θεωρούν ότι είναι χρήσιμο να την εφαρμόζουν. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης είναι το εξής: «*Εγώ νομίζω πως θα πρέπει να τον κάνουμε στη Σωτήρα γιατί υπάρχουν δύο κριτήρια που είναι καλύτερα από το Μαρί.*»

7.3.2.α2. Έργο αξιολόγησης ΒΙΙ: Σύγκριση εναλλακτικών προσεγγίσεων

Σε αυτό το έργο αξιολόγησης, όλοι οι μαθητές, εκτός από μια μόνο εξαίρεση (N=45, 98%), δήλωσαν ότι θεωρούν καταλληλότερη την προσέγγιση που ακολούθησε ο πρώτος μαθητής (βελτιστοποίηση). Αυτές οι απαντήσεις διαφοροποιούνται σε σχέση με το σκεπτικό τους και διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, οι οποίες φαίνονται στον πίνακα 75.

Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τους μαθητές οι οποίοι ήταν σε θέση να αιτιολογήσουν την προτίμησή τους με σαφή αναφορά σε κάποια από τις σχετικές δυνατότητες της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Αυτές οι απαντήσεις διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει 21 μαθητές (46%) οι οποίοι θεώρησαν

προτιμητέα τη στρατηγική της βελτιστοποίησης επειδή λαμβάνει υπόψη και τα τρία κριτήρια, σε αντίθεση με την προσέγγιση της επιλογής με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσεται πρώτη η κάθε λύση. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης είναι τα ακόλουθα:

«Πιστεύω ότι ο μαθητής Α εργάστηκε πιο ορθά γιατί έλαβε υπόψη του όλα τα κριτήρια ενώ ο μαθητής Β έλαβε υπόψη του μόνο τα δύο κριτήρια.»

«Ο μαθητής Α γιατί αν βλέπαμε μόνο το 10 που θα βάζαμε και λέγαμε πως είναι καλύτερο εκείνο που έχει τα περισσότερα 10 είναι λάθος. Πρέπει να τα βαθμολογήσουμε σε όλα και να τα δούμε όλα. Όχι μόνο τα 10.»

Πίνακας 75: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΒΙΙ (τελική αξιολόγηση)

Κατηγορία Απάντησης	N	%
Επιλέγεται η βελτιστοποίηση και η αιτιολόγηση εστιάζεται σε συγκεκριμένο πλεονέκτημα που αφορά στην εγκυρότητα των αποτελεσμάτων		
λαμβάνονται υπόψη και τα τρία κριτήρια	21	46
η αξιολόγηση των δύο περιοχών εστιάζεται στη σύγκριση των βαθμολογιών παρά των αρχικών δεδομένων	2	4
Επιλέγεται η βελτιστοποίηση αλλά δεν προσδιορίζεται κάποιο συγκεκριμένο πλεονέκτημά της που συνδέεται με την εγκυρότητα της απόφασης		
βελτιστοποίηση επειδή είναι πιο αξιόπιστη	5	11
βελτιστοποίηση επειδή ο μαθητής Β ήταν πιο βιαστικός	11	24
Επιλέγεται η βελτιστοποίηση χωρίς να δηλώνεται ξεκάθαρα ότι υπερτερεί με κάποιο τρόπο έναντι της εναλλακτικής προσέγγισης	6	13
Και οι δύο προσεγγίσεις θεωρούνται εξίσου κατάλληλες	1	2

Η δεύτερη υποκατηγορία αποτελείται από δύο μαθητές (4%) οι οποίοι επικεντρώθηκαν στην αντίθεση ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις ως προς το είδος των δεδομένων που χρησιμοποιούν για τη σύγκριση των δύο πιθανών λύσεων. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές

αυτοί αναγνώρισαν το πλεονέκτημα που παρουσιάζει η στρατηγική της βελτιστοποίησης, η οποία αποφεύγει να χειριστεί τα αρχικά δεδομένα και, αντίθετα, συγκρίνει τις βαθμολογίες που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της αναγωγής των μετρήσεων σε μια ενιαία κλίμακα. Ένα παράδειγμα απάντησης αυτής της κατηγορίας είναι το εξής: «*Ο μαθητής Α γιατί είναι πιο συνετός ο Α τρόπος ενώ ο Β όχι γιατί δεν μπορούμε να συγκρίνουμε τα μειονεκτήματα τους και ότι είναι κατά 5000 λιγότερο αλλά τους βαθμούς που βάζουμε.*»

Οι μαθητές στην επόμενη κατηγορία εξέφρασαν την προτίμησή τους στη βελτιστοποίηση αλλά δεν ήταν σε θέση να προσδιορίσουν με σαφήνεια κάποιο συγκεκριμένο πλεονέκτημα που παρουσιάζει, το οποίο ενισχύει την αξιοπιστία της απόφασης στην οποία καταλήγει. Επιπρόσθετα, δεν επεσήμαναν ρητά οποιαδήποτε πτυχή της εναλλακτικής προσέγγισης που να θεωρούν επιρρεπή σε συλλογιστικά σφάλματα. Οι απαντήσεις αυτών των μαθητών διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες. Οι μαθητές στην πρώτη υποκατηγορία (N=5, 11%) στήριζαν την προτίμησή τους στην πιο πειστική τεκμηρίωση που θεωρούν ότι προσφέρει η στρατηγική της βελτιστοποίησης χωρίς, ωστόσο, να διευκρινίζουν οποιοδήποτε συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της στο οποίο να μπορεί να αποδοθεί η αυξημένη πειστικότητα. Για παράδειγμα, οι απαντήσεις που έδωσαν δύο από τους μαθητές που εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία είναι οι εξής:

«Συμφωνώ με το μαθητή Α γιατί ο τρόπος που εργάστηκε είναι πιο πειστικός.»

«Ο μαθητής Α εργάστηκε πιο ορθά γιατί σε αντίθεση με το Β μελέτησε καλά τις πληροφορίες. Ο τρόπος του Β μαθητή δεν είναι αξιόπιστος.»

Κατά ανάλογο τρόπο, οι μαθητές στη δεύτερη υποκατηγορία (N=11, 24%) περιορίστηκαν απλώς στο να προτείνουν ότι ο μαθητής που δεν εφάρμοσε τη στρατηγική της βελτιστοποίησης εργάστηκε βιαστικά. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης αυτής της κατηγορίας είναι το ακόλουθο: «*Πιστεύω πως ο μαθητής Α εργάστηκε πιο ορθά γιατί βαθμολόγησε τις περιοχές και μετά έφτασε στο συμπέρασμα. Δεν λέω πως ο μαθητής Β εργάστηκε λάθος αλλά λέω ότι ήταν πιο βιαστικός από το μαθητή Α.*»

Η τρίτη κατηγορία απάντησης αποτελείται από έξι μαθητές (13%) οι οποίοι παρόλο που θεώρησαν καταλληλότερη την προσέγγιση της βελτιστοποίησης δεν πρότειναν οποιαδήποτε σχετική αιτιολόγηση η οποία είτε να αναδεικνύει κάποιο πλεονεκτήματα της ή να επισημαίνει κάποιο μειονέκτημα της εναλλακτικής προσέγγισης. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης είναι το εξής:

«Πιο σωστά πιστεύω πως εργάστηκε ο μαθητής A γιατί ακολούθησε με τη σωστή σειρά τον τρόπο που πρέπει να κάνουμε για να βρούμε την ορθή απάντηση.»

Τέλος, η τέταρτη κατηγορία αποτελείται από μια μόνο μαθήτριά (2%) η οποία δήλωσε ότι και οι δύο προσεγγίσεις είναι εξίσου αποτελεσματικές. Συγκεκριμένα, η μαθήτριά αυτή απάντησε ως εξής: *«Εγώ πιστεύω ότι ο μαθητής A δούλεψε και ο B δούλεψαν σωστά. Το νομίζω αυτό γιατί οι τρόποι τους ήταν σωστοί.»*

7.3.2.α3. Ανακεφαλαιωτικά σχόλια για τα έργα αξιολόγησης της ομάδας B

Όπως έχει συζητηθεί πιο πάνω, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το έργο αξιολόγησης BI καταδεικνύουν ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (N=42, 91%) ήταν ικανή να εφαρμόσει τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Τα δεδομένα από τις απαντήσεις των μαθητών στο έργο αξιολόγησης BII, το οποίο αφορούσε στο ίδιο σενάριο λήψης απόφασης, παρέχουν μια ένδειξη για το βαθμό στον οποίο έχουν επίγνωση των συλλογιστικών περιορισμών που αντιμετωπίζει η εναλλακτική προσέγγιση (π.χ. περιορίζεται μόνο στην ιεράρχηση των επιλογών σε κάθε κριτήριο αγνοώντας άλλες πληροφορίες όπως οι μεταξύ τους διαφορές) οι οποίοι υπερβαίνονται από τη βελτιστοποίηση. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο που έχει προκύψει από την επεξεργασία αυτών των δεδομένων είναι ότι ενώ όλοι σχεδόν οι μαθητές (N=45, 98%) τοποθετήθηκαν υπέρ της στρατηγικής της βελτιστοποίησης μόνο οι μισοί από αυτούς ήταν σε θέση να αιτιολογήσουν σαφώς την προτίμησή τους, εστιάζοντας σε συλλογιστικές πτυχές των δύο προσεγγίσεων (πρώτη κατηγορία απάντησης). Συνεπώς, συνδυάζοντας τα ευρήματα από τις απαντήσεις των μαθητών στα δύο έργα αξιολόγησης θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης δεν περιορίζεται από την αδυναμία των μαθητών να εκτιμήσουν τα πλεονεκτήματά της, αναφορικά με την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων ενισχύει τον πιο πάνω ισχυρισμό αφού δεν ανιχνεύει στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στην ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και την ικανότητα προσδιορισμού των συλλογιστικών πλεονεκτημάτων της έναντι της εναλλακτικής προσέγγισης⁵⁴ ($\phi=0.119$, $p=0.425$). Επομένως, η ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής

⁵⁴ Για τους σκοπούς της στατιστικής επεξεργασίας τα δεδομένα για τα δύο έργα αξιολόγησης κωδικοποιήθηκαν σε διχοτομικές κλίμακες. Στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης BI, η κλίμακα διαχωρίζει ανάμεσα (i) στους μαθητές οι οποίοι ήταν σε θέση να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης προτείνοντας μια σχετική αιτιολόγηση για την απόφαση στην οποία κατέληξαν και (ii) στους μαθητές που είτε εφάρμοσαν τη στρατηγική αλλά δεν αξιοποίησαν τα αποτελέσματά της στην τεκμηρίωσή τους ή απέτυχαν να εφαρμόσουν τη στρατηγική. Αντίστοιχα, στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης BII η κλίμακα διέκρινε (i) τους μαθητές που ήταν σε θέση να τεκμηριώσουν την προτίμησή

δεν μπορεί να εκληφθεί ως ένδειξη για την κατανόηση των πλεονεκτημάτων που τη χαρακτηρίζουν και τη δυνατότητά της να αποφεύγει συγκεκριμένα συλλογιστικά σφάλματα.

Μια άλλη πτυχή των δεδομένων που παρουσιάζει ενδιαφέρον, αφορά στον τρόπο με τον οποίο απάντησαν στο έργο αξιολόγησης BI, οι 23 μαθητές, οι οποίοι είχαν απαντήσει με ενημερωμένο τρόπο στο έργο ΒΠ εστιάζοντας σε συγκεκριμένα συλλογιστικά ζητήματα. Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας κατέδειξαν ότι οι 19 από αυτούς (83%) ήταν σε θέση να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και, επιπρόσθετα, να αιτιολογήσουν την απόφασή τους με αναφορά στα αποτελέσματά της. Από τους υπόλοιπους τέσσερις μαθητές, οι τρεις είχαν εφαρμόσει τη στρατηγική αλλά δεν περιέλαβαν στην αιτιολόγησή τους οποιαδήποτε αναφορά στα αποτελέσματά της, ενώ ο τέταρτος μαθητής δεν ήταν σε θέση να εφαρμόσει τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Συνεπώς, σε αντιδιαστολή με τον ισχυρισμό που διατυπώθηκε προηγουμένως, φαίνεται ότι η ικανότητα των μαθητών να προσδιορίσουν ρητά συγκεκριμένα συλλογιστικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η στρατηγική της βελτιστοποίησης έναντι της εναλλακτικής προσέγγισης, παρέχει μια σχετικά αξιόπιστη ένδειξη για την ικανότητά τους να εφαρμόζουν τη στρατηγική και να προτείνουν μια σχετική αιτιολόγηση. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεδομένου του περιορισμού της διερεύνησης αυτού του ζητήματος σε μια μόνο κατάσταση λήψης απόφασης θα πρέπει να αποφευχθεί η γενίκευση των δύο πιο πάνω ισχυρισμών.

τους επισημαίνοντας συγκεκριμένα πλεονεκτήματα της στρατηγικής της βελτιστοποίησης που συνδέονται με αυξημένη εγκυρότητα από (ii) τους υπόλοιπους μαθητές οι οποίοι δεν επισήμαναν κάποιο συγκεκριμένο πλεονέκτημα της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, ή μειονέκτημα της εναλλακτικής προσέγγισης, που να συνδέεται με την εγκυρότητα της απόφασης.

7.3.2.β. Αποτελέσματα από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α: ικανότητα μαθητών να εκτιμούν τη βελτιστοποίηση ως κατάλληλη στρατηγική για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης και να την εφαρμόζουν με έγκυρο τρόπο.

7.3.2.β1. Έργο αξιολόγησης ΑΙ: δύο επιλογές και τρία κριτήρια ίσης βαρύτητας

Η επεξεργασία των δεδομένων για το συγκεκριμένο έργο αξιολόγησης οδήγησε στη διαμόρφωση τριών βασικών κατηγοριών απάντησης, οι οποίες εμφανίζονται στον πίνακα 76 και συζητούνται στη συνέχεια. Στον πίνακα παρουσιάζονται επίσης οι κατηγορίες απάντησης που εντοπίστηκαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων από την αρχική αξιολόγηση, ώστε να υποβοηθηθεί η συζήτηση αναφορικά με τη σύγκρισή τους.

Πίνακας 76: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙ (τελική αξιολόγηση)

Κατηγορία Απάντησης	Αρχική Αξιολόγηση		Τελική Αξιολόγηση	
	N	%	N	%
Σύνθεση δεδομένων για πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα πιθανών λύσεων				
εφαρμογή βελτιστοποίησης και σχετική αιτιολόγηση	-	-	16	35
εφαρμογή βελτιστοποίησης και αιτιολόγηση ανεξάρτητη από τα αποτελέσματά της	-	-	4	9
Επιλογή με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσονται πρώτες σε σειρά προτίμησης οι εναλλακτικές λύσεις				
ανάδειξη της επάρκειας της λύσης που επιλέγηκε στο τρίτο κριτήριο	8	17	9	19.5
απλή αναγνώριση της αδυναμίας της λύσης που επιλέγηκε	13	27	15	32.5
απουσία αναφοράς στην αδυναμία της λύσης που επιλέγηκε	18	38	-	-
Επιλογή με βάση ένα μόνο κριτήριο	3	6	-	-
Άσχετη απάντηση	6	12	2	4

Όπως φαίνεται στον πίνακα, σχεδόν οι μισοί από τους μαθητές (N=20, 44%) επέλεξαν αυθόρμητα να λύσουν το πρόβλημα εφαρμόζοντας τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Όλοι ήταν σε θέση να εφαρμόσουν τη στρατηγική με έγκυρο τρόπο και οι απαντήσεις τους διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες. Στην πρώτη περιλαμβάνονται 16 μαθητές (35%) οι οποίοι αιτιολόγησαν την εισήγηση στην οποία κατέληξαν με βάση τη βαθμολογία που συγκέντρωσαν οι δύο υποψήφιες περιοχές, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 10	105 000 κάτοικοι 9
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες 6	65 000 λίρες 10
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	2 χιλιόμετρα 5	7 χιλιόμετρα 10

21 28

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλεύατε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Στη Σωτήρα γιατί έφτιαξα έναν πίνακα κι
έβλεπα ότι η Σωτήρα διαφέρει περισσότερο γιατί το
συνολικό αποτέλεσμα στο Μαρί ήταν 21 ενώ στη Σωτήρα 28.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 10 =	105 000 κάτοικοι 9 =
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες 7 =	65 000 λίρες 10
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	2 χιλιόμετρα 5 =	7 χιλιόμετρα 10

22 29

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλεύατε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Στην Σωτήρα γιατί βαθμολόγησα την κάθε απάντηση και
έτσι έβλεπα ότι τα μειονεκτήματα υπόψη με τα πλεονεκτήματα
και βρήκα την απάντηση

Η δεύτερη υποκατηγορία αποτελείται από 4 μαθητές (9%) οι οποίοι δεν αναφέρθηκαν στις βαθμολογίες που συγκέντρωσαν οι υποψήφιες περιοχές. Αντίθετα, εστίασαν τις απαντήσεις τους σε μεμονωμένα στοιχεία της κατάστασης λήψης απόφασης (π.χ. συγκεκριμένα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι δύο πιθανές λύσεις), όπως φαίνεται στα παραδείγματα που ακολουθούν.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 10	105 000 κάτοικοι 7
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες 7	65 000 λίρες 10
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	2 χιλιόμετρα 5	7 χιλιόμετρα 10

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Στο Σωτήρα γιατί δεν θα επωφεληθούν πολλοί κάτοικοι αλλά το κόστος είναι λιγότερο και η απόσταση από κατοικημένες περιοχές είναι μικρή.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 10	105 000 κάτοικοι 5
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες 5	65 000 λίρες 10
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	2 χιλιόμετρα 5	7 χιλιόμετρα 10

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Η Σωτήρα γιατί θα εξυπηρετεί όλους πιο γρήγορα ανήρως μπορεί, δεν θα ζορέγουν τόσο πολύ και θα μπορούν τα υπέροχα να τα ζορέγουν σε άλλα τεράστια και θα είναι 7 χιλιόμετρα μακριά.

Η επόμενη κατηγορία απάντησης περιλαμβάνει τους μαθητές που επέλεξαν την περιοχή που υπερτερεί σε δύο από τα τρία κριτήρια και μπορεί να αναλυθεί σε δύο επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο χειρίστηκαν την αδυναμία που παρουσιάζει στο τρίτο κριτήριο. Οι μαθητές που εντάχθηκαν στην πρώτη υποκατηγορία (N=9, 19.5%) πρότειναν ότι παρόλο που η περιοχή που επέλεξαν υστερεί σε ένα από τα τρία κριτήρια (πλήθος των κατοίκων που θα εξυπηρετηθούν) η διαφορά ανάμεσα στις δύο υποψήφιες περιοχές ως προς αυτή την παράμετρο δεν διαδραματίζει αξιόλογο ρόλο στη λήψη απόφασης. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης είναι τα εξής:

«Εγώ θα επέλεγα Σωτήρα γιατί είναι σε δύο κριτήρια το πιο καλό. Επίσης ο αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν δεν έχει μεγάλη διαφορά από το Μαρί.»

«Εγώ πιστεύω να κτιστεί στην Σωτήρα γιατί δύο από τα τρία κριτήρια είναι υπέρ της Σωτήρας και μόνο ένα για το Μαρί. Εκείνο το ένα είναι διαφορά μόνο 5000 γι' αυτό να κτιστεί στη Σωτήρα.»

Οι μαθητές της δεύτερης υποκατηγορίας (N=15, 32.5%) ενώ επεσήμαναν την αδυναμία της περιοχής που επέλεξαν στο ένα από τα τρία κριτήρια απέφυγαν να εξηγήσουν γιατί θεώρησαν ότι δεν επηρεάζει την επιλογή ανάμεσα στις πιθανές λύσεις. Δύο από τις απαντήσεις ήταν οι ακόλουθες:

«Εγώ θα συμβούλευα τη Σωτήρα γιατί είναι καλύτερο στα δύο κριτήρια ενώ στο Μαρί μόνο ένα κριτήριο. Η καλύτερη τοποθεσία είναι αυτή που έχει τα καλύτερα κριτήρια.»

«Θα διάλεγα την Σωτήρα γιατί είναι καλή σε δύο κριτήρια, στην απόσταση από κατοικημένες περιοχές και στο κόστος της ανέγερσης σταθμού. Ενώ το Μαρί είναι καλό σε ένα κριτήριο στον αριθμό κατοίκων που θα επωφεληθούν.»

Όπως έχει συζητηθεί στην περίπτωση της αρχικής αξιολόγησης των μαθητών με το συγκριμένο έργο αξιολόγησης, οι απαντήσεις αυτών των μαθητών χαρακτηρίζονται από ασάφεια αναφορικά με τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται το ρόλο του τρίτου κριτηρίου και τη δυνατότά του να επηρεάσει την επιλογή της καταλληλότερης λύσης. Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις κατέδειξαν ομοιογένεια στο σκεπτικό όλων των μαθητών που απάντησαν με αυτό τον τρόπο και συμμετείχαν στη διαδικασία της συνέντευξης. Ειδικότερα, όλοι οι μαθητές δήλωσαν ότι η διαφορά ανάμεσα στις δύο περιοχές ως προς το τρίτο κριτήριο δεν είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να προσδίδει αξιόλογο πλεονέκτημα στην εναλλακτική λύση.

Τέλος, η πέμπτη κατηγορία αποτελείται από δύο περιπτώσεις (4%) όπου οι μαθητές κατέληξαν να δίνουν άσχετες απαντήσεις. Για παράδειγμα, σε μια από αυτές τις περιπτώσεις αλλοιώθηκε η κατεύθυνση συνεισφοράς του κριτηρίου αναφορικά με τον αριθμό των κατοίκων που επωφελούνται και έτσι μια από τις περιοχές κατέληξε να είναι προτιμότερη στο καθένα από τα κριτήρια χωριστά. Συγκεκριμένα, η απάντηση που δόθηκε ήταν η ακόλουθη: *«τη Σωτήρα γιατί και στα τρία κριτήρια είναι το καλύτερο επειδή στο πρώτο κριτήριο έχει πιο λίγους κάτοικους στο δεύτερο στοιχίζει πιο λίγα χρήματα και στο τρίτο είναι πιο μακριά.»*

7.3.2.β2. Έργο αξιολόγησης ΑΠ: δύο πιθανές λύσεις και δύο κριτήρια ίσης βαρύτητας

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΑΠ, σε αντιπαραβολή με τα αντίστοιχα αποτελέσματα πριν από τη διδασκαλία.

Πίνακας 77: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΠ (αρχική αξιολόγηση)

Κατηγορίες Απάντησης	N	%	N	%
Σύνθεση διαθέσιμων δεδομένων μέσα από την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης				
ορθή εφαρμογή βελτιστοποίησης και αιτιολόγηση της απόφασης με βάση τα αποτελέσματά της στρατηγικής	-	-	14	30.5
ορθή εφαρμογή βελτιστοποίησης και αιτιολόγηση της απόφασης χωρίς αναφορά στα αποτελέσματά της	-	-	5	11
Σύνθεση διαθέσιμων δεδομένων μέσα από το συνυπολογισμό των δύο κριτηρίων με άλλο τρόπο διαφορετικό από τη βελτιστοποίηση				
άμεση σύγκριση αριθμητικών δεδομένων που δίνονται για τα δύο κριτήρια	6	13	9	20
αξιολόγηση του λόγου ανάμεσα στο πρόσθετο κόστος και τον πρόσθετο αριθμό κατοίκων που θα επωφεληθούν	2	4	-	-
Επιλογή βασισμένη σε ένα μόνο κριτήριο				
αναγνώριση του μειονεκτήματος της επιλεγείσας περιοχής και ανάδειξη της αδυναμίας του να επηρεάσει την απόφαση	8	16	7	15
απλή αναγνώριση της αδυναμίας της επιλεγείσας περιοχής	7	14	5	11
απουσία αναφοράς στην αδυναμία της επιλεγείσας περιοχής	16	33	2	4
Επιλογή και των δύο περιοχών ή καμιάς από τις δύο υποψήφιες περιοχές	3	5	-	-

Ελλιπείς απαντήσεις	-	-	3	6.5
Ασχετες απαντήσεις	6	13	1	2

Η πρώτη κατηγορία απάντησης περιλαμβάνει 19 μαθητές (41.5%) οι οποίοι επέλεξαν αυθόρμητα να χειριστούν την κατάσταση λήψης απόφασης μέσω της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Οι απαντήσεις αυτών των μαθητών διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες. Στην πρώτη εντάσσονται 14 μαθητές (30.5%) οι οποίοι ήταν σε θέση να εφαρμόσουν τη συγκεκριμένη στρατηγική με έγκυρο τρόπο και να αιτιολογήσουν την επιλογή τους με αναφορά στα αποτελέσματά της. Πιο κάτω φαίνονται τρία ενδεικτικά παραδείγματα από απαντήσεις αυτής της κατηγορίας.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι	105 000 κάτοικοι
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες	65 000 λίρες

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλεύατε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Θα τη συμβούλευα να κατασκευάσει το σταθμό στη Σωτήρα.
Για να απαιτήσει χρησιμοποίησει τον ίδιο τραπεζικό με το 1^ο
γραμμάδι. Έχουμε βαθμολογίες από το 1-10. 10 έπαινε αυτό
που ήταν το καλύτερο στα κριτήρια. Μετά τα πράγματα και
εκείνο που πήρε τη μεγαλύτερη βαθμολογία ήταν το καλύτερο

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι	105 000 κάτοικοι
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες	65 000 λίρες

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλεύατε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Μετά από μεγάλη βαθμολογία
εις ερωτήσεις στο κάθε κριτήριο
και έδωσα δείχνει που πιο
συμφέρει τα χρήματα για ένα κριτήριο.
Μετά από όλα τα βαθμολογίες
και η Σωτήρα ήταν η καλύτερη
επιλογή.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 10	105 000 κάτοικοι 7
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες 5	65 000 λίρες 10
	15	17

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Με τον ίδιο τρόπο έκανα πίνακα και βαρμωμένα τις επιλογές. Μετά πρότεσα και φημία ότι το Σωτήρα είναι η καλύτερη, αν και με λιγότερη διασπορά (17-15:2)

Στην επόμενη υποκατηγορία περιλαμβάνονται πέντε μαθητές (11%) οι οποίοι ενώ εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης με έγκυρο τρόπο, κατέληξαν να αιτιολογούν την απόφασή τους χωρίς να αναφέρονται στα αποτελέσματα που προέκυψαν. Αντίθετα, εστίασαν την τεκμηρίωση της απόφασής τους σε μεμονωμένα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα των δύο υποψηφίων περιοχών. Ενώ, εκ πρώτης όψεως, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι αυτές οι απαντήσεις υποδηλούν αλγοριθμική εφαρμογή της στρατηγικής, χωρίς κατανόηση του σκεπτικού στο οποίο στηρίζεται, μια πιο προσεκτική ματιά φέρνει στην επιφάνεια μια ενδιαφέρουσα πτυχή αυτών των απαντήσεων. Πιο συγκεκριμένα, στις τέσσερις από τις πέντε περιπτώσεις, τα αποτελέσματα της εφαρμογής της στρατηγικής ανέδειξαν ισοδύναμες τις δύο περιοχές, όπως φαίνεται στα δύο παραδείγματα που ακολουθούν.

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 10	105 000 κάτοικοι 5
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες 5	65 000 λίρες 10

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Στο Σωτήρα γιατί θα επωφεληθούν 5 χιλιάδες κάτοικοι λιγότεροι όμως το κόστος θα είναι 25 χιλιάδες λίρες λιγότερες

	Μαρί	Σωτήρα
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 10	105 000 κάτοικοι 8
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες 8	65 000 λίρες 10

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλεύατε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Μαρί ή στη Σωτήρα; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Στη Σωτήρα γιατί είναι πιο φθινό το κόστος ανέγερσης του σταθμού δεν υπάρχει αν θα εδαφολογούν 5 χιλιάδες άνθρωποι

Συνεπώς, αυτές οι απαντήσεις είναι πιθανό να έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα της ανάγκης των μαθητών να παρακάμψουν την ανεπάρκεια που αισθάνθηκαν ότι χαρακτηρίζει τη στρατηγική της βελτιστοποίησης σε σχέση με την καταληκτική υπόδειξη της βέλτιστης λύσης σε περιπτώσεις όπου προκύπτει ίση βαθμολογία⁵⁵. Ωστόσο, λόγω της απουσίας δεδομένων που να απευθύνονται άμεσα στο σκεπτικό των μαθητών που απάντησαν με αυτό τον τρόπο, αυτή η ερμηνεία είναι σημαντικό να προσεγγιστεί με επιφύλαξη.

Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από εννιά μαθητές (20%) οι οποίοι ακολούθησαν την προσέγγιση της άμεσης σύγκρισης του πλεονεκτήματος και του μειονεκτήματος που χαρακτηρίζει την κάθε περιοχή, χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες αριθμητικές μετρήσεις οι οποίες ήταν εκφρασμένες σε διαφορετική κλίμακα για το κάθε κριτήριο. Πιο κάτω φαίνονται δύο ενδεικτικές απαντήσεις:

«Στη Σωτήρα για το Μαρί έχει πιο πολλούς κάτοικους κατά 5000 ενώ στο δεύτερο κριτήριο στοιχίζει πιο λίγα λεφτά η Σωτήρα κατά 25000.»
«Σωτήρα γιατί οι κάτοικοι που θα εξυπηρετηθούν θα είναι μόνο 5 χιλιάδες πιο λίγοι από το Μαρί όμως η διαφορά της τιμής από το Μαρί είναι 25000 λίρες πιο πολλές.»

Ένα σημαντικό στοιχείο που χρειάζεται να καταγραφεί αφορά στην αύξηση του ποσοστού των μαθητών που απάντησαν με αυτό τον τρόπο μετά τη διδασκαλία (από 13% (N=6) σε

⁵⁵ Αυτό το στοιχείο δεν έτυχε σκόπιμου διδακτικού χειρισμού. Η συζήτησή του περιορίστηκε μόνο στις περιπτώσεις όπου προέκυπτε από την επεξεργασία των δεδομένων στην κάθε ομάδα.

20% (N=9)). Ενώ αυτό το εύρημα θα μπορούσε να εκληφθεί ως ένδειξη παλινδρόμησης της επίδοσης των μαθητών, μια πιο προσεκτική μελέτη του τρόπου με τον οποίο είχαν απαντήσει κατά την αρχική αξιολόγηση οι συγκεκριμένοι μαθητές, καταδεικνύει ένα ενδιαφέρον στοιχείο. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχική αξιολόγηση οι περισσότεροι από τους μαθητές (7 από τους 9) είχαν επιλέξει με βάση ένα μόνο κριτήριο, ένας είχε δώσει μια άσχετη απάντηση και μόνο ένας είχε εφαρμόσει την προσέγγιση της άμεσης σύγκρισης του πλεονεκτήματος και του μειονεκτήματος της κάθε επιλογής. Η μετακίνηση των μαθητών από την προσέγγιση της επιλογής με βάση ένα μόνο κριτήριο προς την προσέγγιση της σύνθεσης της πληροφόρησης και για τα δύο κριτήρια, έστω με στρεβλωμένο τρόπο, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μια θετική εξέλιξη. Ωστόσο, ακόμη και με αυτό το δεδομένο, χρειάζεται να καταγραφεί η ανεπάρκεια της ακολουθίας δραστηριοτήτων να βοηθήσει τους μαθητές να αντιληφθούν τον προβληματικό χαρακτήρα της άμεσης σύγκρισης των πληροφοριών χωρίς να έχει προηγηθεί η μετατροπή τους σε μια ενιαία μονάδα μέτρησης. Αντιθέτως, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η υφιστάμενη εκδοχή του διδακτικού υλικού τείνει να ευνοεί την εμφάνιση αυτής της προσέγγισης. Αυτό το στοιχείο συζητείται σε περισσότερη λεπτομέρεια στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης ΓΙΥ το οποίο σχεδιάστηκε, ώστε να αξιολογεί ειδικά αυτή την πτυχή κατανόησης των μαθητών.

Στην τρίτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι μαθητές που στήριξαν την επιλογή τους σε ένα μόνο κριτήριο (N=14, 30%). Αυτοί οι μαθητές διακρίνονται στις ίδιες τρεις υποκατηγορίες που εντοπίστηκαν κατά την αρχική αξιολόγηση. Στην πρώτη εντάσσονται επτά μαθητές (15%) που επιχειρήσαν να αιτιολογήσουν γιατί το μειονέκτημα που παρουσιάζει η περιοχή που επέλεξαν σε ένα από τα δύο κριτήρια δεν είναι ικανό να αντιστρέψει την απόφασή τους. Όλοι οι μαθητές που εντάσσονται σε αυτή την υποκατηγορία τυγχάνει να επέλεξαν την περιοχή που υπερτερεί στο κόστος και η αιτιολόγηση που παρείχαν στηρίζεται στη θέση ότι παρά το γεγονός ότι θα εξυπηρετηθούν λιγότεροι κάτοικοι, ο αριθμός τους εξακολουθεί να είναι ικανοποιητικός. Αυτή η προσέγγιση ανακλάται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα απάντησης:

«Θα συμβούλευα να κατασκευαστεί στη Σωτήρα γιατί το κόστος είναι πιο λίγο και οι κάτοικοι είναι πιο λίγοι αλλά είναι πολύ καλοί και θα πρότεινα τη Σωτήρα.»

«Στη Σωτήρα γιατί δεν στοιχίζει πολλά και είναι και αρκετοί οι κάτοικοι που θα επωφεληθούν.»

Η δεύτερη υποκατηγορία αποτελείται από πέντε μαθητές (11%) που περιορίστηκαν στην απλή αναγνώριση της αδυναμίας που χαρακτηρίζει την περιοχή που επέλεξαν. Τέσσερις από αυτούς τους μαθητές επέλεξαν την περιοχή στην οποία εξυπηρετούνται περισσότεροι κάτοικοι και ένας την περιοχή που παρουσιάζει το μικρότερο κόστος. Δύο ενδεικτικές απαντήσεις είναι οι ακόλουθες:

«Θα συμβούλευα να κτιστεί στο Μαρί γιατί το κόστος θα είναι μεγαλύτερο αλλά θα επωφεληθούν πιο πολλοί κάτοικοι.»

«Στη Σωτήρα γιατί αν και το Μαρί έχει ένα θετικό θα πληρώσουμε πολλά λεφτά εκεί.»

Η τρίτη υποκατηγορία περιλαμβάνει δύο μαθητές (4%) οι οποίοι επέλεξαν με βάση μόνο ένα κριτήριο χωρίς να αναφέρονται καθόλου στο άλλο. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές αυτοί επέλεξαν την περιοχή που παρουσιάζει μικρότερο κόστος. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς απάντησε ως εξής: *«Πιστεύω πως είναι η Σωτήρα γιατί πληρώνει πιο λίγα λεφτά που είναι πολύ σημαντικό κριτήριο.»*

Όπως φαίνεται από τα πιο πάνω παραδείγματα, οι μαθητές στις δύο τελευταίες υποκατηγορίες θεωρούν ότι, αφενός, τα δύο κριτήρια ιεραρχούνται σε σχέση με τη σημαντικότητά τους (σε αντίθεση με το σενάριο λήψης απόφασης το οποίο καθόρισε τα δύο κριτήρια ως εξίσου σημαντικά), και, αφετέρου, η βέλτιστη επιλογή καθορίζεται αποκλειστικά από το σημαντικότερο κριτήριο.

Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει τρεις μαθητές (6.5%) οι οποίοι παρόλο που απευθύνθηκαν στο ερώτημα και επέλεξαν κάποια περιοχή, διατύπωσαν ελλιπή επιχειρήματα στα οποία απέτυχαν να διευκρινίσουν το σκεπτικό τους. Συγκεκριμένα, αυτοί οι μαθητές αναφέρθηκαν και στα δύο κριτήρια (παρέχοντας έμμεσα μια ένδειξη ότι αναγνωρίζουν το πλεονέκτημα και το μειονέκτημα της κάθε περιοχής) και κατέδειξαν κάποια από τις δύο περιοχές ως καταλληλότερη χωρίς όμως να αιτιολογούν με οποιοδήποτε τρόπο την επιλογή τους. Αντίθετα, περιορίστηκαν στην απλή παράθεση των σχετικών δεδομένων χωρίς να διευκρινίζουν πώς αυτά υποστηρίζουν την επιλογή τους. Για παράδειγμα μια μαθήτρια που περιλαμβάνεται σε αυτή την κατηγορία απάντησε ως εξής: *«Κατά τη γνώμη μου θα έλεγα να διαλέξουν τη Σωτήρα γιατί έχει πιο λίγους κατοίκους και θα πληρώσουν πιο λίγα χρήματα. Ενώ το Μαρί έχει πιο πολλούς κατοίκους και θα πληρώσουν πιο πολλά χρήματα και γι' αυτό συμφέρει να διαλέξουμε τη Σωτήρα.»*

Τέλος, η πέμπτη κατηγορία αποτελείται από ένα μαθητή (2%) που κατέληξε να δίνει μια άσχετη απάντηση που δεν απευθύνθηκε στο ερώτημα.

7.3.2.β3. Έργο αξιολόγησης ΑΙΠ: δύο πιθανές λύσεις και δύο κριτήρια διαφορετικής βαρύτητας (η οποία προσδιορίζεται υπό μορφή λόγου)

Ο πίνακας 78 παρουσιάζει συγκριτικά τα αποτελέσματα της κωδικοποίησης των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης ΑΙΠ κατά την αρχική και την τελική αξιολόγηση.

Πίνακας 78: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙΠ (τελική αξιολόγηση)

Κατηγορία απάντησης	Αρχική αξιολόγηση		Τελική αξιολόγηση	
	N	%	N	%
Σύνθεση διαθέσιμων δεδομένων μέσα από την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης				
ορθή εφαρμογή βελτιστοποίησης και αιτιολόγηση της επιλεγείσας λύσης με βάση τα αποτελέσματά της στρατηγικής	-	-	13	28
ορθή, αλλά ελλιπής, εφαρμογή της βελτιστοποίησης αγνοώντας την πληροφόρηση για τη διαφοροποίηση στη βαρύτητα - αιτιολόγηση επιλεγείσας λύσης με βάση τα αποτελέσματά της στρατηγικής	-	-	2	4
ορθή εφαρμογή βελτιστοποίησης και αιτιολόγηση της επιλεγείσας λύσης χωρίς αναφορά στα αποτελέσματά της	-	-	4	9

Συνυπολογισμός των δύο κριτηρίων με άμεση σύγκριση των αριθμητικών δεδομένων που δίνονται για τα δύο κριτήρια	6	12	1	2
Επιλογή βασισμένη σε ένα μόνο κριτήριο				
αναγνώριση του μειονεκτήματος της επιλεγείσας περιοχής και ανάδειξη της ανεπάρκειάς του να επηρεάσει την απόφαση	7	14	7	15
απλή αναγνώριση της αδυναμίας της επιλεγείσας περιοχής	12	25	3	7
απουσία αναφοράς στην αδυναμία της επιλεγείσας περιοχής	20	41	15	33
Άσχετες απαντήσεις	4	8	1	2

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα η πρώτη κατηγορία απάντησης αφορά στους μαθητές που εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και αναλύεται σε τρεις υποκατηγορίες. Στην πρώτη υποκατηγορία εντάσσονται δεκατρείς μαθητές (28%) οι οποίοι εφάρμοσαν ορθά τη στρατηγική της βελτιστοποίησης, περιλαμβανομένης της στάθμισης των κριτηρίων ανάλογα με τη βαρύτητά τους, και αιτιολόγησαν την απόφασή τους κάνοντας αναφορά στις συνολικές βαθμολογίες που συγκέντρωσαν οι πιθανές λύσεις. Ενδεικτικά παρατίθενται οι απαντήσεις δύο μαθητών:

	Ζύγι	Δεκέλεια
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι	140 000 κάτοικοι
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες	110 000 λίρες
	22	22

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, ποιά θα τη συμβουλεύατε να κατασκευάσει το σταθμό, στο Ζύγι ή στη Δεκέλεια; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Θα τη συμβουλεύω να κατασκευάσει το σταθμό στο Ζύγι.
Για να απαντήσω έβαλα βαθμολογίες από το 1-10. 10 έπερα
αυτό που ήταν το μεγαλύτερο στο κριτήριο. Επειδή όμως το
κόστος ήταν δύο φορές πιο σημαντικό. Επισημαίνω το
βαθμολογία, και μετά τα πρόσθεσα. Έβγαλε με τη
μεγαλύτερη βαθμολογία ήταν το καλύτερο.

	Ζύγι	Δεκέλεια
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 6	140 000 κάτοικοι 10
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες $10 \times 2 = 20$	110 000 λίρες $7 \times 2 = 14$
	26	24

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει το σταθμό, στο Ζύγι ή στη Δεκέλεια; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Το Ζύγι, διότι όπως και πάλι είναι πιάσμα μονοδικό, μόνο στα τιμή μου είπε την τιμή να την δέσω δω φρές πιο σημαντική. Έτσι βρήκα ότι το Ζύγι είναι το καλύτερο (26 βαθμοί).

Δύο μαθητές (4%) εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και αιτιολόγησαν την απόφασή τους με βάση τα αποτελέσματά της, αλλά παρέλειψαν να σταθμίσουν τα δύο κριτήρια και τα χειρίστηκαν ως εξίσου σημαντικά. Για παράδειγμα, η απάντηση ενός από αυτούς τους μαθητές ήταν η ακόλουθη.

	Ζύγι	Δεκέλεια
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	110 000 κάτοικοι 8	140 000 κάτοικοι 10
Κόστος ανέγερσης σταθμού	90 000 λίρες 10	110 000 λίρες 7

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει το σταθμό, στο Ζύγι ή στη Δεκέλεια; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Θα πρέπει να κατασκευαστεί στο Ζύγι γιατί τα βαθμολόγια και έγινε για μένα όπως το Ζύγι θα επωφεληθεί καλύτερα γιατί η βαθμολογία είναι 8. Θα πρέπει να υιοθετεί εμείς

Οι υπόλοιποι τέσσερις μαθητές (9%) εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης αλλά αιτιολόγησαν την απόφασή τους χωρίς να αναφέρονται στις βαθμολογίες που συγκέντρωσαν οι πιθανές λύσεις. Το επιχείρημα που διατύπωσε ο ένας από αυτούς τους μαθητές στηρίχθηκε στην άμεση αριθμητική σύγκριση της επίδοσης των δυο περιοχών στα δύο κριτήρια, χωρίς να λαμβάνεται πρόνοια για τη διαχείριση της διαφοροποίησης στην κλίμακα μέτρησης που χρησιμοποιείται. Οι υπόλοιποι τρεις μαθητές κατέληξαν να διατυπώνουν επιχειρήματα με βάση ένα από τα δύο κριτήρια παρόλο που όλοι αναφέρθηκαν επίσης και στο μειονέκτημα που χαρακτηρίζει την περιοχή που επέλεξαν. Οι δύο από αυτούς τους μαθητές επέλεξαν την περιοχή που υπερτερεί στο κριτήριο του κόστους, το οποίο προσδιορίζεται ως δύο φορές σημαντικότερο, ενώ ο τρίτος μαθητής επικεντρώθηκε στο πλήθος των κατοίκων που επωφελούνται.

Η επόμενη κατηγορία αποτελείται από μια μόνο μαθήτρια (2%), η οποία επέλεξε ανάμεσα στις δύο περιοχές εφαρμόζοντας τη στρατηγική της αριθμητικής σύγκρισης του πλεονεκτήματος και του μειονεκτήματος που παρουσιάζει η κάθε περιοχή, αγνοώντας τη διαφοροποίηση στις δύο κλίμακες μέτρησης που χρησιμοποιούνται. Ειδικότερα, η απάντηση της συγκεκριμένης μαθήτριας ήταν η εξής: *«Πιστεύω πως η Δεκέλεια είναι καλύτερη γιατί το κόστος ανέγερσης σταθμού είναι 20000 περισσότερα αλλά οι κάτοικοι είναι 30000 περισσότεροι.»*

Η επόμενη κατηγορία αποτελείται από 25 μαθητές (55%) οι οποίοι επέλεξαν με βάση ένα μόνο κριτήριο. Οι περισσότεροι από αυτούς (N=19) στηρίχθηκαν στο κριτήριο του κόστους, το οποίο είχε καθοριστεί από το σενάριο λήψης απόφασης ως δύο φορές πιο σημαντικό, ενώ, παραδόξως, οι υπόλοιποι έξι μαθητές στηρίχθηκαν στο πλήθος των κατοίκων που θα επωφεληθούν παρόλο που με βάση τις οδηγίες που είχαν στη διάθεσή τους θα έπρεπε να το είχαν χειριστεί ως λιγότερο σημαντικό. Η παρουσία αυτού του ποσοστού είναι ενδεικτική του βαθμού δυσκολίας που προϋποθέτει η αποστασιοποίηση των μαθητών από το προσωπικό σύστημα αξιών που υιοθετούν σε σχέση με το υπό μελέτη θέμα. Οι απαντήσεις αυτές διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες ανάλογα με το βαθμό στον οποίο υπήρξε αναφορά από μέρους των μαθητών στο κριτήριο στο οποίο υστερούσε η περιοχή που επέλεξαν. Η πρώτη υποκατηγορία αποτελείται από επτά μαθητές (15%) οι οποίοι επιχειρήσαν να αιτιολογήσουν γιατί το κριτήριο το οποίο εξαίρεσαν από τη διαδικασία λήψης απόφασης δεν ήταν ικανό να αλλοιώσει την απόφασή τους. Οι δύο από αυτούς είχαν επιλέξει την περιοχή στην οποία επωφελούνται περισσότεροι κάτοικοι και εστίασαν στο μέγεθος της διαφοράς στο κόστος ανάμεσα στις δύο περιοχές το οποίο προσδιόρισαν (αυθαίρετα) ως μη αξιόλογο. Για παράδειγμα, ο ένας από αυτούς τους μαθητές δήλωσε ότι *«Πιστεύω πως είναι η Δεκέλεια γιατί θα έχει πολλούς κατοίκους που θα επωφεληθούν και η διαφορά στα λεφτά δεν είναι πολύ μεγάλη.»* Οι άλλοι πέντε μαθητές εστίασαν στο κριτήριο του κόστους και παρόλο που αναγνώρισαν το μειονέκτημα της περιοχής που επέλεξαν σε σχέση με το πλήθος των κατοίκων επικαλέστηκαν την ανάγκη, η οποία προσδιορίζεται στην περιγραφή του έργου αξιολόγησης, να το λάβουν υπόψη περισσότερο από το άλλο κριτήριο. Πιο κάτω παρατίθεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης.

«Το Ζύγι γιατί αν και δεν θα εξυπηρετηθούν πολλοί άνθρωποι το κόστος είναι δύο φορές πιο σημαντικό άρα το Ζύγι νικά. Αν διάλεγα τη Δεκέλεια θα

εξυπηρετούνταν πιο πολλοί άνθρωποι αλλά τα λεφτά θα ήταν πολλά και αυτό είναι πιο σημαντικό.»

Η δεύτερη υποκατηγορία αποτελείται από τρεις μαθητές (7%) οι οποίοι επέλεξαν την περιοχή στην οποία εξυπηρετούνται περισσότεροι κάτοικοι και περιορίστηκαν στην απλή αναγνώριση της αδυναμίας που παρουσιάζει η περιοχή στο κριτήριο του κόστους (παρόλο που καθορίζεται ως πιο σημαντικό) χωρίς να δικαιολογούν την επιλογή τους να μην το συνυπολογίσουν άμεσα. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης είναι το ακόλουθο: *«Νομίζω η καλύτερη είναι η Δεκέλεια γιατί θα πληρώσουν πιο πολλά αλλά θα εξυπηρετηθούν περισσότεροι κάτοικοι.»*

Τέλος, η τρίτη υποκατηγορία περιλαμβάνει τους υπόλοιπους δεκαπέντε μαθητές (33%) οι οποίοι δεν αναφέρθηκαν καθόλου στην αδυναμία που παρουσιάζει η περιοχή που επέλεξαν. Μια μαθήτρια στηρίχθηκε στο πλήθος των κατοίκων που επωφελούνται και οι υπόλοιποι δεκατέσσερις μαθητές εστίασαν την προσοχή τους στο κόστος το οποίο καθορίστηκε ως πιο σημαντικό. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι δώδεκα από τους δεκατέσσερις μαθητές αναφέρθηκαν ρητά στη μεγαλύτερη βαρύτητα αυτού του κριτηρίου θεωρώντας, ενδεχομένως, ότι αυτό δικαιολογεί την προσέγγιση που ακολούθησαν. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης είναι τα ακόλουθα:

«Πιστεύω πως το καλύτερο είναι το Ζύγι γιατί έχει λιγότερο κόστος ανέγερσης και το κόστος έχει διπλάσια σημασία.»

«Θα πρότεινα το Ζύγι γιατί το κόστος είναι δύο φορές πιο σημαντικό και στο Ζύγι είναι πιο μικρό όπως το θέλουμε.»

7.3.2.β4. Έργο αξιολόγησης AIV: τρεις επιλογές και τρία κριτήρια ίσης βαρύτητας

Ο πίνακας 79 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης AIV.

Πίνακας 79: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΑΙΥ
(τελική αξιολόγηση)

Κατηγορία απάντησης	N	%
Σύνθεση δεδομένων για πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα πιθανών λύσεων		
εφαρμογή βελτιστοποίησης και σχετική αιτιολόγηση	19	41
εφαρμογή βελτιστοποίησης και αιτιολόγηση ανεξάρτητη από τα αποτελέσματά της	5	11
Επιλογή με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσονται πρώτες σε σειρά προτίμησης οι εναλλακτικές λύσεις		
ανάδειξη της επάρκειας της λύσης που επιλέγηκε στο τρίτο κριτήριο	3	7
απουσία αναφοράς στην αδυναμία της λύσης που επιλέγηκε	13	28
Επιλογή λύσης με ενδιάμεση επίδοση σε κάθε κριτήριο	3	7
Επιλογή με βάση ένα μόνο κριτήριο	1	2
Άσχετη απάντηση	2	4

Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από 24 μαθητές (52%) οι οποίοι επέλεξαν να χειριστούν την κατάσταση λήψης απόφασης εφαρμόζοντας τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Όπως και στα προηγούμενα έργα αξιολόγησης, οι απαντήσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με το βαθμό στον οποίο οι αιτιολογήσεις που πρότειναν οι μαθητές αναφέρθηκαν ρητά στα αποτελέσματα της στρατηγικής. Δεκαεννέα μαθητές (41% του συνόλου) τεκμηρίωσαν την επιλογή τους κάνοντας αναφορά στις βαθμολογίες που συγκέντρωσαν οι υποψήφιος περιοχές, όπως φαίνεται στα δύο ενδεικτικά παραδείγματα που ακολουθούν.

	ΠΕΝΤΑΚΩΜΟ	ΠΑΡΕΚΚΛΗΣΙΑ	ΧΟΙΡΟΚΟΙΤΙΑ
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	4km 10	2km 5	3km 7
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	100 000 4	190 000 10	120 000 6
Κόστος για την κατασκευή του σταθμού	£9 000 000 19	£12 000 000 5	£11 800 000 6

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Πεντάκωμο, την Παρεκκλησιά ή τη Χοιροκοιτία; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Στο Πεντάκωμο γιατί σύμφωνα με τον πίνακα που έφτιαξα είδα ότι το Πεντάκωμο έχει 24 βαθμούς, η Παρεκκλησιά 20 και η Χοιροκοιτία 19

	ΠΕΝΤΑΚΩΜΟ	ΠΑΡΕΚΚΛΗΣΙΑ	ΧΟΙΡΟΚΟΙΤΙΑ
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	4km 10	2km 8	3km 9
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	100 000 5	190 000 10	120 000 7
Κόστος για την κατασκευή του σταθμού	£9 000 000 10	£12 000 000 5	£11 800 000 6

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Πεντάκωμο, την Παρεκκλησιά ή τη Χοιροκοιτία; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Εστο Πεντάκωμο γιατί όταν τα βαθμολογίσουμε από το 1-10 βρήκαμε ότι το πιο μεγάλο αποτέλεσμα είναι στο Πεντάκωμο.

Οι υπόλοιποι πέντε μαθητές (11%) ενώ εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης με έγκυρο τρόπο απέφυγαν να τεκμηριώσουν την απόφασή τους με βάση τα αποτελέσματά της. Αντίθετα, στήριζαν την τεκμηρίωσή τους σε μεμονωμένα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα των περιοχών. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης είναι το εξής⁵⁶:

⁵⁶ Ο συγκεκριμένος μαθητής έχει ιεραρχήσει λανθασμένα τις τρεις περιοχές σε σχέση με το τρίτο κριτήριο. Αυτό το στοιχείο επισημάνθηκε στο μαθητή στο πλαίσιο της συνέντευξης και το αναγνώρισε με σχετική ευκολία προσαρμόζοντας ανάλογα την απάντησή του χωρίς ωστόσο να διαφοροποιεί την τεκμηρίωσή που παρείχε ή το σκεπτικό του.

	ΠΕΝΤΑΚΩΜΟ	ΠΑΡΕΚΚΛΗΣΙΑ	ΧΟΙΡΟΚΟΙΤΙΑ
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	4km 10	2km 4	3km 7
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	100 000 5	190 000 10	120 000 7
Κόστος για την κατασκευή του σταθμού	£9 000 000 10	£12 000 000 8	£11 800 000 4

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Πεντάκωμο, την Παρεκκλησιά ή τη Χοιροκοιτία; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Το Πεντάκωμο γιατί η απόσταση στις κατοικημένες περιοχές είναι μικρή, το κόστος είναι λιγότερο από όλα όμως ο αριθμός κατοίκων είναι πιο μικρό

Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από 16 μαθητές (35%) οι οποίοι επέλεξαν με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσονταν πρώτες οι πιθανές λύσεις στα επιμέρους κριτήρια. Τρεις από αυτούς τους μαθητές (7% του συνόλου) επιχείρησαν να αναδείξουν την επάρκεια της λύσης που πρότειναν στο τρίτο κριτήριο (πλήθος κατοίκων που επωφελούνται), στο οποίο υστερούσε συγκριτικά με τις άλλες δύο εναλλακτικές λύσεις. Για παράδειγμα, η μία από τις τρεις απαντήσεις ήταν η εξής:

«Πιστεύω ότι το χωριό Πεντάκωμο είναι καλύτερο γιατί η απόσταση από κατοικημένες περιοχές είναι η καλύτερη, το κόστος είναι το πιο λίγο και θα επωφεληθούν πολλοί κάτοικοι.»

Οι υπόλοιποι δεκατρείς μαθητές (28%) δεν αναφέρθηκαν καθόλου στο τρίτο κριτήριο. Δύο από τις απαντήσεις που περιλήφθηκαν σε αυτή την υποκατηγορία είναι οι εξής:

«Εγώ νομίζω να κτιστεί στο Πεντάκωμο γιατί έχει υπέρ του δύο κριτήρια. Τη Χοιροκοιτία την αποκλείω. Η Παρεκκλησιά έχει μόνο ένα υπέρ της άρα να γίνει στο Πεντάκωμο.»

«Εγώ συμβουλεύω το Πεντάκωμο γιατί στα δύο κριτήρια είναι το καλύτερο ενώ στην Παρεκκλησιά μόνο το ένα κριτήριο είναι το καλύτερο και στη Χοιροκοιτία δεν είναι καθόλου καλή σε τίποτε.»

Η επόμενη κατηγορία αφορά στους μαθητές (N=3, 7%) που επέλεξαν την περιοχή η οποία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ενδιάμεση λύση αφού κατατάσσεται δεύτερη

(διάμεσος) σε όλα τα κριτήρια. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα απάντησης είναι το ακόλουθο:

«Προτείνω τη Χοιροκοιτία επειδή είναι το δεύτερο καλύτερο στα Km, δεύτερο καλύτερο στους κάτοικους και δεύτερο στο κόστος.»

Η πέμπτη κατηγορία περιλαμβάνει ένα μαθητή (2%) ο οποίος στηρίχθηκε μόνο σε ένα κριτήριο παρόλο που αναφέρθηκε και στα άλλα δύο. Ειδικότερα, ο συγκεκριμένος μαθητής επέλεξε την *«Παρεκκλησιά γιατί είναι πιο λίγα τα km αλλά έχει 190000 κάτοικους που θα επωφεληθούν και δεν είναι πολύ ακριβά»*.

Η τελευταία κατηγορία αποτελείται από δύο μαθητές που κατέληξαν να δίνουν άσχετες απαντήσεις που απέτυχαν να απευθυνθούν στο ερώτημα.

7.3.2.β5. Έργο αξιολόγησης AV: τρεις επιλογές και τρία κριτήρια διαφορετικής βαρύτητας (ο προσδιορισμός της οποίας περιορίζεται στη διευκρίνιση της ιεράρχησης των κριτηρίων, χωρίς αναφορά στις μεταξύ τους αποστάσεις)

Ο πίνακας 80 συνοψίζει τις κατηγορίες απάντησης που προέκυψαν από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης AV.

Η πρώτη κύρια κατηγορία απάντησης περιλαμβάνει 25 μαθητές (55.5%) οι οποίοι επέλεξαν να προσεγγίσουν την κατάσταση λήψης απόφασης εφαρμόζοντας τη στρατηγική τα βελτιστοποίησης και κατανέμονται σε τέσσερις υποκατηγορίες, τρεις από τις οποίες έχουν συζητηθεί προηγουμένως. Ειδικότερα, η πρώτη αποτελείται από δέκα μαθητές (22%) οι οποίοι εφάρμοσαν ορθά τη στρατηγική, περιλαμβανομένης της πτυχής που αφορά στη στάθμιση των κριτηρίων ανάλογα με τη βαρύτητά τους, μέσα από την ανάθεση σχετικών συντελεστών, και τεκμηρίωσαν την επιλογή τους με βάση τα αποτελέσματά που προέκυψαν, όπως φαίνεται στα ακόλουθα δύο παραδείγματα.

	ΠΕΝΤΑΚΩΜΟ	ΠΑΡΕΚΚΛΗΣΙΑ	ΧΟΙΡΟΚΟΙΤΙΑ
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	4km 10 70	2km 8 50	3km 9 60
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	100 000 6 60	190 000 10 100	120 000 7 70
Κόστος για την κατασκευή του σταθμού	£9 000 000 10 80	£12 000 000 8 60	£11 800 000 9 72

210 230 203

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Πεντάκωμο, στην Παρεκκλησιά ή στη Χοιροκοιτία; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Είναι η παρεκκλησία γιατί θα είναι το καλύτερο να είναι πιο κοντά με τα σπίτια και μετά να είναι πιο κοντά με τα βότνια κρηπίδια και μετά να είναι πιο κοντά με τα μεγαλύτερα κτίρια είναι το καλύτερο

	ΠΕΝΤΑΚΩΜΟ	ΠΑΡΕΚΚΛΗΣΙΑ	ΧΟΙΡΟΚΟΙΤΙΑ
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	4km 10 x 6 = 60	2km 7 x 6 = 42	3km 8 x 6 = 48
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	100 000 7 x 10 = 70	190 000 10 x 10 = 100	120 000 8 x 10 = 80
Κόστος για την κατασκευή του σταθμού	£9 000 000 10 x 8 = 80	£12 000 000 7 x 8 = 56	£11 800 000 8 x 8 = 64

210 196 192

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Πεντάκωμο, στην Παρεκκλησιά ή στη Χοιροκοιτία; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Αν ήσαν σύμβουλος της κυβέρνησης θα τη συμβουλευά να χτίσει το σταθμό στο Πεντάκωμο. Έβαρα βαθμό στις περιοχές και βαθμό κρηπίδια. Μετά πραγματοποιήσα το βαθμό κρηπίδια με το βαθμό που έβαρα στις περιοχές στο τέλος προέβλεπα την τελική βαθμολογία και ανακάλυψα ότι το Πεντάκωμο ήταν το καλύτερο γιατί είχε την ψηφίστη βαθμολογία.

Πίνακας 80: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης AV
(τελική αξιολόγηση)

Κατηγορία απάντησης	N	%
Σύνθεση δεδομένων για πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα πιθανών λύσεων		
ολοκληρωμένη Εφαρμογή βελτιστοποίησης λαμβάνοντας υπόψη τη διαφοροποίηση στη βαρύτητα των κριτηρίων και σχετική αιτιολόγηση	10	22
ολοκληρωμένη Εφαρμογή βελτιστοποίησης και σχετική αιτιολόγηση αλλά η διαφορά 1 ^{ου} -2 ^{ου} και 2 ^{ου} -3 ^{ου} κριτηρίου στην κλίμακα της βαρύτητας καθορίστηκε ως ίση	6	13.5
εφαρμογή βελτιστοποίησης και αντίστοιχη τεκμηρίωση χωρίς όμως να σταθμίζονται τα κριτήρια ως προς τη βαρύτητά τους	5	11
εφαρμογή βελτιστοποίησης και αιτιολόγηση ανεξάρτητη από τα αποτελέσματά της	4	9
Επιλογή της τοποθεσίας που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο	6	13.5
Επιλογή λύσης με ενδιάμεση επίδοση σε κάθε κριτήριο	11	25
Αποκλεισμός ενδιάμεσης λύσης και εισήγηση για επιλογή κάποιας από τις άλλες δύο πιθανές λύσεις	1	2
Επιλογή της λύσης που κατατάσσεται πρώτη στα δύο από τα τρία κριτήρια χωρίς αναφορά στην αδυναμία της	1	2
Άσχετη απάντηση	1	2

Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει έξι μαθητές (13.5%) οι οποίοι διαφοροποιούνται από τους προηγούμενους σε σχέση με τον τρόπο με τον οποίο χειρίστηκαν τη διαβάθμιση στη βαρύτητα των κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, αντί να αναθέσουν συντελεστές βαρύτητας χρησιμοποιώντας μια αναλογική κλίμακα με επαρκές εύρος, ώστε να επιτρέπεται ευελιξία αναφορικά με τον καθορισμό των σχετικών αποστάσεων ανάμεσα στα κριτήρια, περιορίστηκαν σε μια κλίμακα εύρους ίσου με το πλήθος των κριτηρίων (1-3), όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα απάντησης.

	ΠΕΝΤΑΚΩΜΟ	ΠΑΡΕΚΚΛΗΣΙΑ	ΧΟΙΡΟΚΟΙΤΙΑ
3 ^η Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	4km	2km	3km
1 ^η Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	100 000	190 000	120 000
2 ^η Κόστος για την κατασκευή του σταθμού	€9 000 000	€12 000 000	€11 800 000
	45	46	43

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Πεντάκωμο, στην Παρεκκλησιά ή στη Χοιροκοιτία; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Θε το συμβαίμενα να κατασκευάσει το σταθμό στον Πεντάκωμο
Για να απαντήσει θα χρησιμοποιήσει τα κριτήρια από το 1-10.
Αίμα έπερε αυτό που ήταν το καλύτερο. Επειδή οι κωδικοί
που θα επιβεβαιώνουν ήταν το πιο σημαντικό το τρίτο είναι
το κόστος που ήταν δεύτερο πιο σημαντικό το διπλάσια
και η απόσταση που δεν ήταν πολύ σημαντικό το είδηση
όπως ήταν. Μετά τα κριτήρια και ειμένα με τη μέση
θα χρησιμοποιήσι ήταν το καλύτερο.

Παρόλο που αυτή η προσέγγιση θα μπορούσε να θεωρηθεί έγκυρη αφού διαφοροποιεί τα τρία κριτήρια ως προς τη βαρύτητά τους, όπως καθορίζεται από το σενάριο λήψης απόφασης, τίθεται ένα ζήτημα αναφορικά με το βαθμό στον οποίο οι μαθητές επέλεξαν συνειδητά τους συγκεκριμένους συντελεστές με στόχο να διαμορφώσουν τους αντίστοιχους λόγους βαρύτητας⁵⁷. Οι ενδείξεις που προκύπτουν από τα διαθέσιμα δεδομένα εισηγούνται ότι οι μαθητές δεν έχουν επίγνωση της αυστηρής δέσμευσης στην οποία υπόκειται η προσέγγιση που υιοθετούν αναφορικά με τις αναλογίες που προκύπτουν για τη σχετική βαρύτητα των τριών κριτηρίων. Εναλλακτικά προτείνουν ότι η επιλογή των συγκεκριμένων συντελεστών βαρύτητας προέκυψε συμπτωματικά, όπως φαίνεται στο ακόλουθο απόσπασμα από τη συνέντευξη με κάποια μαθήτρια που απάντησε με αυτό τον τρόπο.

Ερευνητής: *Εδώ βλέπω ότι πολλαπλασίασες με το δύο τους βαθμούς που έδωσες για το κόστος και με τρία τους βαθμούς που έδωσες για τον αριθμό των κατοίκων που θα επωφεληθούν. Μπορείς να μου εξηγήσεις λίγο γιατί το έκανες αυτό;*

⁵⁷ Ο λόγος της βαρύτητας πρώτου-δεύτερου, δεύτερου- τρίτου και πρώτου- τρίτου είναι 1/2, 2/3 και 1/3, αντίστοιχα.

Μαθήτρια: *Έβαλα το ένα το δύο και το τρία όπως μας λέει εδώ [αναφέρεται στη σειρά σημαντικότητας των κριτηρίων όπως καθορίζεται στο σενάριο λήψης απόφασης] και μετά τα πολλαπλασίασα με τους βαθμούς.*

Όπως φαίνεται στο πιο πάνω απόσπασμα οι συντελεστές βαρύτητας εκφράστηκαν σε διατακτική κλίμακα (αντί σε αναλογική κλίμακα) αφού προέκυψαν ως αποτέλεσμα της απλής σειροθέτησης των κριτηρίων σύμφωνα με το σενάριο λήψης απόφασης. Μια πιθανή ερμηνεία που προκύπτει από τα διαθέσιμα δεδομένα για τη συγκεκριμένη προσέγγιση συνδέεται με την τάση των μαθητών να επεκτείνουν την ενδιάμεση εκδοχή της στρατηγικής που αναπτύχθηκε για τη διαχείριση περιπτώσεων που περιλαμβάνουν δύο κριτήρια των οποίων η σχετική βαρύτητα δίνεται υπό μορφή λόγου (π.χ. το ένα κριτήριο καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από το άλλο). Ενδεικτικά παρατίθεται ένα σχετικό απόσπασμα συνέντευξης:

Ερευνητής: *Μπορείς να μου εξηγήσεις λίγο πώς αποφάσισες να βάλεις αυτούς τους συγκεκριμένους βαθμούς στα τρία κριτήρια; Γιατί επέλεξες κι έβαλες το 1 το 2 και το 3;*

Μαθητής: *Είναι όπως εδώ [παραπέμπει στο έργο αξιολόγησης ΑΙΠ το οποίο ένα από τα δύο κριτήρια καθορίστηκε ως δύο φορές πιο σημαντικό]. Εδώ όμως έχουμε τρία πράγματα και γι' αυτό έβαλα από το ένα ως το τρία.*

Ερευνητής: *Θύμισε με λίγο γιατί έβαλες ένα και δύο σε αυτή την περίπτωση.*

Μαθητής: *Επειδή μας είπε ότι αυτό είναι δύο φορές πιο σημαντικό και τα διπλασιάσαμε.*

Ερευνητής: *Δηλαδή πόσες φορές έλαβες υπόψη το κριτήριο του κόστους και πόσες φορές το κριτήριο για τον αριθμό των κατοίκων;*

Μαθητής: *Αυτό μία φορά και το άλλο δύο φορές.*

Ερευνητής: *Πάμε εδώ [ΑV]. Θέλω να μου πεις πόσες φορές έλαβες υπόψη το κάθε κριτήριο.*

Μαθητής: *Αυτό μια φορά, αυτό δύο και αυτό τρεις.*

Ερευνητής: *Ας μείνουμε σε αυτά τα δύο πρώτα [κριτήρια με συντελεστές 1 και 2]. Στο προηγούμενο σας έλεγε ότι το ένα ήταν δύο φορές πιο σημαντικό από το άλλο και έτσι το διπλασίασες και το έλαβες υπόψη δύο φορές. Εδώ; Πόσο πιο σημαντικό είναι το ένα από το άλλο;*

Μαθητής: *Δεν μας λέει.*

Ερευνητής: *Για το άλλο κριτήριο που έβαλες τρία, πόσο πιο σημαντικό είναι από ότι αυτό που έβαλες ένα;*

Μαθητής: *Τρεις.*

Ερευνητής: *Και πόσο πιο σημαντικό είναι από το άλλο που έβαλες 2;*

Μαθητής: *δύο φορές*⁵⁸.

Από το πιο πάνω απόσπασμα είναι προφανές ότι ο μαθητής θεώρησε ότι τα δύο σενάρια λήψης απόφασης θα μπορούσαν να τύχουν χειρισμού με παρόμοιο τρόπο. Συνεπώς, δεν φαίνεται να αντιλαμβάνεται ότι ενώ ο διπλασιασμός των βαθμολογιών στο έργο αξιολόγησης ΑΙΙ ήταν ένας κατάλληλος τρόπος ικανοποίησης του περιορισμού που προκύπτει από το σενάριο λήψης απόφασης, όπου το ένα κριτήριο καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από το άλλο, καταλήγει να αποκτά αυθαίρετο χαρακτήρα στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης ΑV. Επίσης, όπως φαίνεται από την τελευταία δήλωση του μαθητή, δεν είναι σε θέση να αντιληφθεί τις συνέπειες που απορρέουν από τη συγκεκριμένη προσέγγιση αναφορικά με τους λόγους της βαρύτητας των κριτηρίων (θεωρεί λανθασμένα ότι το κριτήριο με συντελεστή βαρύτητας 3 είναι δύο φορές πιο σημαντικό από το κριτήριο με συντελεστή βαρύτητας 2). Σε κάθε περίπτωση, η εμφάνιση αυτής της προσέγγισης φανερώνει ένα στρεβλωμένο τρόπο ενσωμάτωσης της διαφοροποίησης της βαρύτητας και έχει συνέπειες για την αναθεώρηση του διδακτικού υλικού, οι οποίες συζητούνται αργότερα σε αυτή την ενότητα.

Η τρίτη υποκατηγορία αποτελείται από πέντε μαθητές (11%) οι οποίοι εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης χωρίς να χειρίζονται τη διαφοροποίηση στη βαρύτητα των κριτηρίων. Οι τρεις από αυτούς τους μαθητές κατέληξαν να δίνουν ακριβώς την ίδια απάντηση που είχαν δώσει και στο έργο αξιολόγησης ΙV, από το οποίο απουσίαζε το στοιχείο της διαφοροποίησης στη βαρύτητα των κριτηρίων. Ο τέταρτος μαθητής, κατέληξε επίσης να βαθμολογεί τις τοποθεσίες όπως και στο έργο αξιολόγησης ΙV, χωρίς να θέτει συντελεστές βαρύτητας, αλλά, επιπρόσθετα, επιχείρησε να ενσωματώσει, σε κάποιο βαθμό, τη διαφοροποίηση στη σημαντικότητα των κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, δύο από τις επιλογές ισοβάθμισαν με την ψηλότερη βαθμολογία και ο μαθητής κατέφυγε στην ιεράρχηση των τριών κριτηρίων, ως προς τη βαρύτητά τους, προτείνοντας ότι πρέπει να επιλεγεί η τοποθεσία που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο. Συγκεκριμένα, η απάντηση που έδωσε ο μαθητής ήταν η ακόλουθη:

⁵⁸ Η συζήτηση συνεχίστηκε και ο μαθητής καθοδηγήθηκε σταδιακά να εφαρμόσει την ολοκληρωμένη στρατηγική της βελτιστοποίησης.

	ΠΕΝΤΑΚΩΜΟ	ΠΑΡΕΚΚΛΗΣΙΑ	ΧΟΙΡΟΚΟΪΤΙΑ
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	4km 10	2km 8	3km 9
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	100 000 5	190 000 10	120 000 7
Κόστος για την κατασκευή του σταθμού	£9 000 000 10	£12 000 000 7	£11 800 000 8

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλεύατε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Πεντάκωμο, στην Παρεκκλησιά ή στη Χοιροκοιτία; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Στο Πεντάκωμο και στο Παρεκκλησιά η βαθμολογία είναι η ίδια. Όμως θα πρέπει να υιοθετεί στο Παρεκκλησιά επειδή ο αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν θα είναι το ίδιο σημαντικό κριτήριο. Πρα θα πρέπει να υιοθετεί στα Παρεκκλησιά.

Ο συγκεκριμένος μαθητής έλαβε υπόψη αποσπασματικά την ιεράρχηση των κριτηρίων (π.χ. η απάντησή του δεν αναφέρεται στο κόστος κατασκευής το οποίο τυγχάνει να κατατάσσεται στη δεύτερη θέση ως προς τη βαρύτητά του) και την προσέγγισε με ένα εντελώς ποιοτικό τρόπο. Είναι πιο πιθανό, η αναφορά του μαθητή στη διαφοροποίηση της βαρύτητας να έχει προκύψει ως μηχανισμός άρσης του αδιεξόδου λόγω της ισοβαθμίας των δύο περιοχών παρά ως αποτέλεσμα της συνειδητής και σκόπιμης προσπάθειάς του να σταθμίσει τα κριτήρια ως προς τη βαρύτητά τους. Ο πέμπτος μαθητής που κατατάχθηκε σε αυτή την κατηγορία είχε αποφύγει να εφαρμόσει τη στρατηγική της βελτιστοποίησης στο έργο αξιολόγησης IV. Αντίθετα, είχε περιοριστεί στην επιλογή κάποιας από τις τοποθεσίες εστιάζοντας σε μεμονωμένα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματά τους, χωρίς προσπάθεια σύνθεσης της διαθέσιμης πληροφόρησης.

Τέλος, η τέταρτη υποκατηγορία αποτελείται από τέσσερις μαθητές (9%) οι οποίοι εφαρμόσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης αλλά κατέληξαν να τεκμηριώνουν την απόφασή τους χωρίς να αναφέρονται στα αποτελέσματά της⁵⁹.

⁵⁹ Στις τέσσερις από αυτές τις περιπτώσεις δεν λήφθηκε καθόλου υπόψη η πληροφόρηση για τη διαφοροποίηση στη βαρύτητα. Στις άλλες δύο υπήρξε κάποια προσπάθεια διαχείρισης αυτού του στοιχείου, η οποία περιορίστηκε στη μια περίπτωση, στο διπλασιασμό της βαθμολογίας που είχε δοθεί στο

Η δεύτερη κατηγορία απάντησης αποτελείται από έξι μαθητές (13.5%) οι οποίοι επέλεξαν την τοποθεσία που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο. Αυτές οι απαντήσεις εμφανίστηκαν σε δύο παραλλαγές. Η πρώτη εντοπίστηκε σε τρεις μαθητές οι οποίοι δεν αναφέρθηκαν καθόλου στα άλλα δύο κριτήρια. Ενδεικτικά, η απάντηση ενός από αυτούς τους μαθητές ήταν η ακόλουθη.

«Εγώ θα συμβούλευα στην Παρεκκλησιά γιατί είναι το καλύτερο στο πιο σημαντικό κριτήριο. Γιατί θα επωφεληθούν πιο πολλοί κάτοικοι.»

Η δεύτερη παραλλαγή εντοπίστηκε στους υπόλοιπους τέσσερις μαθητές οι οποίοι αναφέρθηκαν είτε στο ένα είτε και στα δύο από τα υπόλοιπα κριτήρια, συνήθως με στόχο να υποδείξουν την επάρκεια της περιοχής που πρότειναν σε αυτά, αλλά σε καμιά περίπτωση δεν τα συνυπολόγισαν ρητά στη διαδικασία λήψης απόφασης. Ένα παράδειγμα απάντησης είναι το εξής:

«Εγώ πρότεινα τη Παρεκκλησιά γιατί έχει το μεγαλύτερο αριθμό κατοίκων που θα ωφεληθούν και έναν ικανοποιητικό βαθμό απόστασης από τα σπίτια.»

Η τρίτη κατηγορία απάντησης περιλαμβάνει 11 μαθητές (25%) οι οποίοι επέλεξαν την ενδιάμεση λύση (τοποθεσία που κατατάσσεται δεύτερη σε όλα τα κριτήρια). Οι μαθητές αυτοί έτειναν να αναφέρονται σε όλα τα κριτήρια προσπαθώντας να δείξουν ότι η τοποθεσία που επέλεξαν είναι επαρκής ως προς τα τρία κριτήρια. Ωστόσο, αυτή τους η προσπάθεια κατέληγε συνήθως σε συγκρίσεις με αυθαίρετα κριτήρια (π.χ. «η απόσταση είναι αρκετά μεγάλη», «επωφελούνται πολλοί κάτοικοι», «το κόστος είναι καλό»). Ενδεικτικά παρατίθενται οι απαντήσεις δύο μαθητών.

«Η Χοιροκοιτία γιατί η απόσταση από κατοικημένες περιοχές είναι 3km ενώ το πιο μεγάλο [το πιο μακρινό] είναι 1km πιο μακριά. Ο αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν είναι 120 χιλιάδες και θα πληρώσουν μόνο 2800000 λίρες περισσότερο από το πιο φτηνό. Άρα συμφέρει.»

«Εγώ θα έλεγα τη Χοιροκοιτία γιατί πάρα πολλοί άνθρωποι θα μείνουν ευχαριστημένοι το κόστος είναι λίγο φτηνό και είναι αρκετά μακριά από κατοικημένες περιοχές.»

σημαντικότερο κριτήριο, και στην άλλη, στο διπλασιασμό των βαθμολογιών για τα δύο σημαντικότερα κριτήρια.

Στο σημείο αυτό αξίζει να καταγραφεί το αυξημένο ποσοστό μαθητών που κατέφυγαν στη στρατηγική της επιλογής της ενδιάμεσης λύσης, συγκριτικά με το έργο αξιολόγησης IV (αύξηση από 7% σε 25%). Η περαιτέρω επεξεργασία αυτών των απαντήσεων δείχνει ότι όσοι μαθητές επέλεξαν αυτή τη στρατηγική στο τέταρτο έργο αξιολόγησης την είχαν εφαρμόσει και στο πέμπτο (N=3). Οι υπόλοιποι οκτώ μαθητές που εφάρμοσαν αυτή την προσέγγιση στο AV είχαν επιλέξει την τοποθεσία που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια στην περίπτωση του έργου AIV. Μια πιθανή ερμηνεία για τη μετάβαση των μαθητών ανάμεσα σε αυτές τις δύο προσεγγίσεις συνδέεται με το γεγονός ότι το τρίτο κριτήριο, στο οποίο τυγχάνει να κατατάσσεται τελευταία η συγκεκριμένη τοποθεσία, καθορίζεται ως το σημαντικότερο. Έτσι, παρόλο που κατατάσσεται πρώτη στα άλλα δύο κριτήρια, αυτό το στοιχείο μπορεί να δημιουργήσει ενδοιασμούς στους μαθητές για τη συνολική καταλληλότητά της και να τους οδήγησε στην επιλογή της ενδιάμεσης λύσης. Η διαφοροποίηση του ποσοστού εμφάνισης αυτής της προσέγγισης στα δύο έργα αξιολόγησης ως αποτέλεσμα της προσθήκης του στοιχείου της διαφοροποίησης της βαρύτητας καταδεικνύει τον ευμετάβλητο χαρακτήρα των προσεγγίσεων που υιοθετούν οι μαθητές για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης.

Η επόμενη κατηγορία απάντησης, αποτελείται από μια μόνο μαθήτριά (2%) η οποία, σε αντίθεση με τους μαθητές στην προηγούμενη κατηγορία, απέρριψε την ενδιάμεση λύση (Χοιροκοιτία) ενδεχομένως, λόγω του ότι δεν κατατάσσεται πρώτη σε κανένα από τα τρία κριτήρια. Ειδικότερα, πρότεινε ότι πρέπει να επιλεγεί είτε η περιοχή που υπερτερεί σε δύο κριτήρια είτε η περιοχή που υπερτερεί σε ένα, το οποίο όμως τυγχάνει να είναι το πιο σημαντικό. Πιο συγκεκριμένα παρατίθεται η ακριβής απάντηση στην οποία διακρίνεται η επισήμανση, από μέρους της μαθήτριάς, των κριτηρίων στα οποία υπερτερεί (ή δεν υπερτερεί) η κάθε περιοχή.

	ΠΕΝΤΑΚΩΜΟ	ΠΑΡΕΚΚΛΗΣΙΑ	ΧΟΙΡΟΚΟΙΤΙΑ
Απόσταση από κατοικημένες περιοχές	4km ✓	2km	3km
Αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν	100 000	190 000 ✓	120 000
Κόστος για την κατασκευή του σταθμού	£9 000 000 ✓	£12 000 000	£11 800 000

Αν ήσασταν σύμβουλος της κυβέρνησης, πού θα τη συμβουλευάτε να κατασκευάσει τον σταθμό, στο Πεντάκωμο, στην Παρεκκλησιά ή στη Χοιροκοιτία; Εξηγήστε πώς σκεφτήκατε για να απαντήσετε. Προσπαθήστε να πείσετε για την επιλογή που προτείνετε.

Ο αν ήμουν σύμβουλος της κυβέρνησης θα είχα να επιλέξω ή την Παρεκκλησιά ή το Πεντάκωμο. Θα διάλεγα την Παρεκκλησιά γιατί είναι σε ένα κριτήριο πιο υψηλό, το Πεντάκωμο σε δύο κριτήρια πιο χαμηλό, αλλά ^{στην} Παρεκκλησιά το κριτήριο είναι τόσο σημαντικό.

Η πέμπτη κατηγορία αποτελείται επίσης από ένα μαθητή (2%) ο οποίος επέλεξε την περιοχή που υπερτερεί σε δύο κριτήρια αγνοώντας τόσο την πληροφόρηση για το τρίτο κριτήριο όσο και τη διαφοροποίηση στη βαρύτητά τους. Συγκεκριμένα, αυτός ο μαθητής πρότεινε «Το Πεντάκωμο γιατί είναι πολλά τα km και είναι το πιο φτηνό». Τέλος, η έκτη κατηγορία αποτελείται από ένα μαθητή που κατέληξε να δίνει μια άσχετη απάντηση.

7.3.2.β6. Ανακεφαλαιωτικά σχόλια για έργα αξιολόγησης ομάδας Α

Πιο κάτω παρατίθενται τα βασικά ευρήματα που προκύπτουν συνυπολογίζοντας και συνδυάζοντας τα δεδομένα από τις απαντήσεις των μαθητών στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α.

Αυθόρμητη επιλογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση των καταστάσεων λήψης απόφασης

Σε περισσότερες από τις μισές περιπτώσεις (N=122, 53%) οι μαθητές απέφυγαν να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και κατέφυγαν σε εναλλακτικές προσεγγίσεις. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις (N=107, 47%), οι μαθητές επέλεξαν αυθόρμητα να χειριστούν τις καταστάσεις λήψης απόφασης μέσω της συγκεκριμένης στρατηγικής. Στις περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις (N=78 (35% του συνόλου)) οι μαθητές ήταν σε θέση να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης με έγκυρο τρόπο, περιλαμβανομένης της στάθμισης της διαφοροποίησης στη βαρύτητα των κριτηρίων στα

έργα αξιολόγησης ΑΠΙ και ΑΥ, και να τεκμηριώσουν την απόφαση στην οποία κατέληξαν με βάση τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν. Οι απαντήσεις που στηρίχθηκαν στη στρατηγική της βελτιστοποίησης, ανεξάρτητα από την εγκυρότητα και την πληρότητά τους, προήλθαν από 28 διαφορετικούς μαθητές (61% των μαθητών που συμμετείχαν στην αξιολόγηση). Αντίστοιχα, οι απαντήσεις στις οποίες εφαρμόστηκε με έγκυρο τρόπο η στρατηγική και αξιοποιήθηκαν τα αποτελέσματά της για την τεκμηρίωση της καταλληλότητας της λύσης που προτάθηκε, προήλθαν από 22 διαφορετικούς μαθητές (48% των μαθητών που συμμετείχαν στην αξιολόγηση). Στον πίνακα 81 παρατίθενται πρόσθετες πληροφορίες για το πλήθος των καταστάσεων λήψης απόφασης που επέλεξε να χειριστεί αυθόρμητα ο κάθε μαθητής εφαρμόζοντας τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Οι πέντε γραμμές αντιπροσωπεύουν τις δυνατές περιπτώσεις αναφορικά με το πλήθος των καταστάσεων λήψης απόφασης στις οποίες θα μπορούσε να εφαρμόσει κανείς τη στρατηγική της βελτιστοποίησης (από ένα ως πέντε). Η δεύτερη και η τρίτη στήλη παρουσιάζουν το πλήθος των μαθητών για την καθεμιά από αυτές τις περιπτώσεις. Η δεύτερη στήλη επισημαίνει τον αριθμό των μαθητών που επέλεξαν να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης σε κάθε περίπτωση ανεξάρτητα από την πληρότητα της απάντησής τους, ενώ η τρίτη στήλη περιορίζεται αποκλειστικά στους μαθητές που ήταν σε θέση να δώσουν πλήρεις και έγκυρες απαντήσεις.

Πίνακας 81: Συχνότητα των περιπτώσεων αυθόρμητης εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση των σεναρίων λήψης απόφασης

Πλήθος σεναρίων λήψης απόφασης που έτυχαν χειρισμού με τη στρατηγική της βελτιστοποίησης	Πλήθος μαθητών που επέλεξαν να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης		Πλήθος μαθητών που επέλεξαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και ήταν σε θέση να την εφαρμόσουν με έγκυρο τρόπο	
	N	%	N	%
1	5	23	4	14
2	2	9	3	11
3	2	9	2	7
4	2	9	4	14
5	11	50	15	54

Ένα στοιχείο που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι ότι περίπου οι μισοί από τους μαθητές που επέλεξαν να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης κατέφυγαν σε αυτή την προσέγγιση σε όλα τα σενάρια λήψης απόφασης. Αυτό θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως ένδειξη εκτίμησης από μέρους των συγκεκριμένων μαθητών για την αξία της στρατηγικής της βελτιστοποίησης ως αποτελεσματικής και αξιόπιστης προσέγγισης διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης. Ταυτόχρονα, είναι σημαντικό να καταγραφεί ότι οι υπόλοιποι μαθητές επέλεξαν να καταφύγουν στη στρατηγική της βελτιστοποίησης μόνο σε κάποια από τα σενάρια λήψης απόφασης και αυτό θέτει ένα ζήτημα για το σκεπτικό που βρίσκεται πίσω από την επιλεκτική υιοθέτησή της, το οποίο συζητείται αργότερα.

Τέλος, ένα άλλο στοιχείο που χρειάζεται να καταγραφεί συνδέεται με το μεγάλο αριθμό των περιπτώσεων (N=22) όπου ενώ οι μαθητές εφάρμοσαν με έγκυρο τρόπο τη στρατηγική της βελτιστοποίησης κατέληξαν να παρέχουν μια ανεξάρτητη αιτιολόγηση της καταλληλότητας της λύσης που επέλεξαν χωρίς να αναφέρονται στα αποτελέσματά της. Ο πίνακας 82 παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται αυτές οι απαντήσεις στα διάφορα έργα αξιολόγησης. Επιπρόσθετα, ο πίνακας 83 παρέχει ενδείξεις για τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται αυτές οι απαντήσεις στο σύνολο των μαθητών. Συγκεκριμένα, δείχνει το πλήθος των διαφορετικών έργων αξιολόγησης τα οποία προσεγγίστηκαν με αυτό τον τρόπο από τον ίδιο μαθητή.

Πίνακας 82: Συχνότητα εμφάνισης περιπτώσεων όπου ενώ εφαρμόστηκε η στρατηγική της βελτιστοποίησης δεν υπήρξε ρητή αναφορά στα αποτελέσματά της

Έργο Αξιολόγησης	N	%
AI	5	23
AII	4	18
AIII	4	18
AIV	5	23
AV	4	18

Πίνακας 83: Πλήθος διαφορετικών έργων αξιολόγησης στα οποία εφαρμόστηκε η στρατηγική της βελτιστοποίησης χωρίς ρητή αναφορά στα αποτελέσματά της, από τον ίδιο μαθητή

Πλήθος διαφορετικών έργων αξιολόγησης στα οποία ο ίδιος μαθητής εφάρμοσε τη στρατηγική της βελτιστοποίησης χωρίς να αναφερθεί ρητά στα αποτελέσματά της	N	%
1	2	22
2	3	34
3	2	22
4	2	22

Η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων φανέρωσε μερικές ενδιαφέρουσες πτυχές αυτού του ευρήματος. Η πρώτη αφορά στο γεγονός ότι σε 27% αυτών των περιπτώσεων (έξι απαντήσεις από τέσσερις διαφορετικούς μαθητές) η εφαρμογή της βελτιστοποίησης οδήγησε σε ισοβαθμία ανάμεσα στις υποψήφιες περιοχές. Συνεπώς, σε αυτές τις περιπτώσεις, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η τεκμηρίωση της απόφασης χωρίς αναφορά στις βαθμολογίες των περιοχών λειτούργησε ως διέξοδος από την ανοίκεια κατάσταση της ισότητας των βαθμολογιών. Αυτή η ερμηνεία είναι ιδιαίτερα πιθανή για τρεις από τις έξι περιπτώσεις οι οποίες προέρχονται από δύο διαφορετικούς μαθητές. Ειδικότερα, οι μαθητές αυτοί είχαν απαντήσει σε όλα τα έργα αξιολόγησης εφαρμόζοντας τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός από εκείνες όπου υπήρχε ίση βαθμολογία ανάμεσα στις πιθανές λύσεις, στήριξαν με συνέπεια το επιχείρημά τους στις συνολικές βαθμολογίες των περιοχών. Συνεπώς, μια εύλογη ερμηνεία είναι ότι η ίση βαθμολόγηση δημιούργησε μια προβληματική κατάσταση, την οποία οι μαθητές επέλεξαν να παρακάμψουν διατυπώνοντας επιχειρήματα που αφορούν σε πτυχές των διαθέσιμων δεδομένων (π.χ. μεμονωμένα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα των υποψηφίων περιοχών). Αυτή η ερμηνεία είναι λιγότερο πιθανή για τις περιπτώσεις των άλλων δύο μαθητών (υπόλοιπες τρεις απαντήσεις). Το βασικό στοιχείο που διαφοροποιεί αυτούς τους μαθητές και τείνει να αδυνατίζει την ισχύ της ερμηνείας, προκύπτει από τη συνδυασμένη μελέτη των απαντήσεών τους στο σύνολο των έργων αξιολόγησης της ομάδας Α. Πιο συγκεκριμένα, σε δύο από τα πέντε έργα αξιολόγησης ο καθένας από τους δύο μαθητές εφάρμοσε τη στρατηγική της βελτιστοποίησης αλλά παρόλο που κατέληξε σε διαφορετικές συνολικές βαθμολογίες για τις πιθανές λύσεις, και, κατά συνέπεια, θα

μπορούσε να στηριχθεί σε αυτές για να αιτιολογήσει την απόφασή του εξακολούθησε να μην αξιολογεί αυτή την πληροφορία, στο επιχειρήμά του, τουλάχιστο ρητά. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο που προέκυψε από την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων από τις συγκεκριμένες περιπτώσεις είναι ότι η επιλογή στην οποία κατέληξαν οι μαθητές συνέπιπτε με τα αποτελέσματα της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις στις οποίες συμμετείχαν μαθητές που απάντησαν με αυτό τον τρόπο εισηγούνται ότι οι μαθητές είχαν επίγνωση του πλεονεκτήματος της περιοχής που επέλεξαν αναφορικά με τη βαθμολογία που συγκέντρωσε ως αποτέλεσμα της εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της συνέντευξης επισημάνθηκε (όπου εφάρμοζε) η έλλειψη αναφοράς στα αποτελέσματα της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και ζητήθηκε από τους μαθητές να εξηγήσουν πώς αξιοποίησαν (αν αξιοποίησαν) αυτά τα αριθμητικά αποτελέσματα. Όλοι οι μαθητές ισχυρίστηκαν ότι είχαν λάβει υπόψη τα αριθμητικά δεδομένα και ήταν σε θέση να αιτιολογήσουν, εκ νέου, την επιλογή τους στηριζόμενοι σε αυτά. Το ακόλουθο είναι ένα ενδεικτικό απόσπασμα από τη συνέντευξη με κάποιο από αυτούς τους μαθητές.

Ερευνητής: *Στην απάντηση που έδωσες την προηγούμενη φορά [γραπτή απάντηση] πρόσεξα ότι έβαλες βαθμολογίες στις δύο περιοχές και στα διάφορα κριτήρια. Χρησιμοποίησες καθόλου αυτούς τους βαθμούς για να αποφασίσεις;*

Μαθητής: *Ναι.*

Ερευνητής: *Πώς; Πώς σε βοήθησαν να αποφασίσεις ποια από τις δύο περιοχές είναι η καλύτερη;*

Μαθητής: *Είδα ποια έχει την ψηλότερη βαθμολογία. Εκείνη που πήρε πιο πολλούς βαθμούς είπα ότι είναι η καλύτερη.*

Συνεπώς, τα υφιστάμενα δεδομένα εισηγούνται ότι οι μαθητές που εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης αλλά αιτιολόγησαν την απόφασή τους χωρίς να αναφέρονται στα αποτελέσματά της ήταν σε θέση να κατανοήσουν το ρόλο τους στον καθορισμό προτιμητέας επιλογής. Ωστόσο, εξακολουθεί να υφίσταται το ζήτημα της ερμηνείας της τάσης των μαθητών να αποφεύγουν να τεκμηριώνουν τις αποφάσεις τους με σχετικά επιχειρήματα, το οποίο επανέρχεται στο καταληκτικό μέρος του κεφαλαίου.

7.3.2.δ. Αποτελέσματα από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Γ: Αξιολόγηση σκεπτικού δοσμένων εισηγήσεων για την καταλληλότερη λύση σε καταστάσεις λήψης απόφασης

Πιο κάτω παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Γ. Όπως έχει αναφερθεί στην εισαγωγική ενότητα του κεφαλαίου (βλ. 7.1.4.β1), το καθένα από αυτά τα έργα αξιολόγησης παρουσίαζε στους μαθητές κάποιο από τα σενάρια λήψης απόφασης που είχαν ήδη συναντήσει στα προηγούμενα έργα αξιολόγησης αλλά αντί να τους ζητείται να λάβουν οι ίδιοι μια σχετική απόφαση, τους ζητήθηκε να αξιολογήσουν μια δοσμένη εισήγηση για την καταλληλότερη λύση (η οποία ήταν διατυπωμένη ώστε να είναι επιρρεπής σε συλλογιστικά σφάλματα) εστιάζοντας στο σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται. Έτσι, ο βασικός στόχος αυτών των έργων αξιολόγησης ήταν η διερεύνηση του βαθμού στον οποίο οι μαθητές ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν τους περιορισμούς των προτεινόμενων προσεγγίσεων και τα συλλογιστικά σφάλματα στα οποία τείνουν να υποπίπτουν. Ένας άλλος βασικός στόχος των έργων αξιολόγησης, ο οποίος συζητείται αργότερα, αφορά στη διασταύρωση των αποτελεσμάτων, ώστε, αφενός, να ενισχυθεί η αξιοπιστία και η εγκυρότητα των ερμηνειών που αποδίδονται στα δεδομένα και, αφετέρου, να διερευνηθούν πρόσθετα ζητήματα που αφορούν στη συνέπεια που χαρακτηρίζει το σκεπτικό των μαθητών.

7.3.2.δ1. Έργο αξιολόγησης ΓΙ: Αξιολόγηση της εισήγησης για επιλογή τοποθεσίας με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσεται πρώτη η κάθε πιθανή λύση.

Οι απαντήσεις των μαθητών διακρίνονται σε τρεις ευρύτερες κατηγορίες, όπως φαίνεται στον πίνακα 84. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι μαθητές που εστίασαν την απάντησή τους σε συλλογιστικές πτυχές της προτεινόμενης προσέγγισης και διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες. Η πρώτη αποτελείται από 26 μαθητές (57%) οι οποίοι διαφώνησαν με το σκεπτικό στο οποίο στηρίχθηκε η προτεινόμενη απόφαση εστιάζοντας σε συγκεκριμένο περιορισμό της, ο οποίος πλήττει την αξιοπιστία της. Συγκεκριμένα, αυτοί οι μαθητές απέδωσαν ρητά και με σαφήνεια τη διαφωνία τους στην αποτυχία της προτεινόμενης προσέγγισης να λάβει υπόψη και τα τρία κριτήρια. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης είναι τα ακόλουθα:

«Αυτός ο μαθητής δεν έλαβε υπόψη όλα τα κριτήρια και επειδή είδε ότι ήταν καλύτερη σε δύο από αυτά δεν σημαίνει ότι είναι η καλύτερη.»

«Διαφωνώ γιατί πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη όλες τις πληροφορίες που έχουμε γιατί μπορεί να μας αλλάξουν τη γνώμη.»

Πίνακας 84: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΠ (τελική αξιολόγηση)

Κατηγορία απάντησης	N	%
Αξιολόγηση του σκεπτικού της προσέγγισης		
κατ' αρχήν διαφωνία λόγω της παράληψης της προτεινόμενης προσέγγισης να λάβει υπόψη και τα τρία κριτήρια	26	57
συμφωνία επειδή η προτεινόμενη προσέγγιση λαμβάνει υπόψη και τα τρία κριτήρια	2	4
κατ' αρχήν συμφωνία με σκεπτικό	7	15
Αξιολόγηση της περιοχής που επιλέχθηκε		
τοποθέτηση ανάλογα με τη λύση στην οποία κατέληξαν οι ίδιοι μέσα από την εφαρμογή της βελτιστοποίησης	3	7
συμφωνία με την προσέγγιση επειδή η προτεινόμενη τοποθεσία κατατάσσεται πρώτη σε δύο από τα τρία κριτήρια ενώ η διαφορά στο τρίτο είναι πολύ μικρή.	2	4
Ελλιπείς/άσχετες απαντήσεις		
διαφωνία διότι η απόφαση θα έπρεπε να είχε ληφθεί με τη στρατηγική της βελτιστοποίησης	4	9
άσχετη απάντηση	2	4

Η δεύτερη υποκατηγορία, η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αποτελείται από δύο μαθητές (4%) οι οποίοι συμφώνησαν με την προτεινόμενη προσέγγιση και ισχυρίστηκαν ότι έλαβε υπόψη και τα τρία κριτήρια. Αυτοί οι μαθητές έτειναν να εκλαμβάνουν, λανθασμένα, την απλή αναφορά που περιλαμβάνει η εισήγηση στο τρίτο κριτήριο (στο οποίο μειονεκτεί η περιοχή που προτάθηκε) ως ένδειξη της επάρκειάς της να συνυπολογίσει και τα τρία κριτήρια. Συγκεκριμένα, ένας από αυτούς τους μαθητές απάντησε ως εξής: «Συμφωνώ με το μαθητή γιατί έλαβε υπόψη του και τα τρία κριτήρια και πρόσεξε πως τα δύο ήταν καλύτερα». Οι απαντήσεις αυτών των μαθητών φαίνεται να συνδέονται με την αδυναμία διαφοροποίησης ανάμεσα στην απλή αναγνώριση των μειονεκτημάτων που παρουσιάζει μια πιθανή λύση (π.χ. κριτήρια στα οποία υστερεί) και στο ρητό συνυπολογισμό τους στην προσπάθεια εντοπισμού της βέλτιστης λύσης.

Ενδεχομένως, αυτή η δυσκολία να προέκυψε ως υποπροϊόν της διδασκαλίας στην προσπάθεια των μαθητών να ικανοποιούν την ανάγκη συνυπολογισμού όλων των κριτηρίων χωρίς να απορρίπτουν τη διαισθητικά αποτελεσματική προσέγγιση της επιλογής της περιοχής που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια.

Η τρίτη υποκατηγορία αποτελείται από επτά μαθητές (15%) οι οποίοι φάνηκαν να υιοθετούν το σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται η προτεινόμενη προσέγγιση, ότι η υπεροχή μιας περιοχής σε δύο από τα τρία κριτήρια αποτελεί ικανή συνθήκη για τον καθορισμό της ως της βέλτιστης λύσης. Ένας από αυτούς τους μαθητές, για παράδειγμα, δήλωσε *«Συμφωνώ με αυτή την απάντηση γιατί το Μαρί έχει μόνο ένα κριτήριο καλύτερο»*.

Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τους μαθητές που εστίασαν στο περιεχόμενο της λύσης που προτάθηκε παρά στο σκεπτικό της προσέγγισης από την οποία προέκυψε. Αυτή η κατηγορία διακρίνεται σε δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τρεις μαθητές (7%) οι οποίοι εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και ακολούθως, έκριναν την προτεινόμενη προσέγγιση ως έγκυρη εάν κατέληγε στην ίδια λύση που κατέληξαν και οι ίδιοι, ή ως μη έγκυρη στην αντίθετη περίπτωση. Ενδεικτικά, η απάντηση ενός από αυτούς τους μαθητές ήταν η ακόλουθη: *«συμφωνώ με την απάντηση του μαθητή αυτού γιατί όταν βαθμολόγησα και έκανα τους υπολογισμούς βρήκα την ίδια απάντηση με αυτόν.»* Το σκεπτικό αυτών των μαθητών φαίνεται να στηρίζεται στη λανθασμένη παραδοχή ότι οι καταστάσεις λήψης απόφασης περιλαμβάνουν μια αντικειμενικά ορθή λύση. Αυτή η παραδοχή προδιαθέτει τους μαθητές, ώστε να εκλαμβάνουν τη λήψη απόφασης ως την προσπάθεια εντοπισμού της ορθής, παρά της βέλτιστης λύσης. Έτσι, καταλήγουν να στηρίζονται στα αποτελέσματα από την εφαρμογή της βελτιστοποίησης, την οποία πιστώνουν με τη δυνατότητα να εντοπίζει την «ορθή» λύση, ως το κριτήριο το οποίο καθορίζει κατά πόσο η προτεινόμενη προσέγγιση είναι έγκυρη.

Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει δύο μαθητές (4%) που συμφώνησαν με την προτεινόμενη προσέγγιση επισημαίνοντας ρητά ότι η διαφορά στο τρίτο κριτήριο, στο οποίο μειονεκτεί η περιοχή που επιλέγηκε, είναι ιδιαίτερα μικρή. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους μαθητές δήλωσε ότι *«Συμφωνώ με τον τρόπο σκέψης γιατί η διαφορά στους κατοίκους της Σωτήρας και του Μαρί δεν είναι πολύ μεγάλη»*. Τα διαθέσιμα δεδομένα εισηγούνται ότι οι μαθητές που εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία δεν υιοθετούν το σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται η εισήγηση σε επίπεδο αρχής. Αντίθετα, η συμφωνία που εκφράζουν φαίνεται να περιορίζεται ειδικά στην υπό μελέτη κατάσταση λήψης απόφασης

όπου παρουσιάζεται το συγκεκριμένο μέγεθος διαφοράς σε σχέση με το κριτήριο στο οποίο υστερεί η προτεινόμενη περιοχή (105000 κάτοικοι στην περιοχή και επιλέχθηκε και 110000 στην άλλη υποψήφια περιοχή). Αυτή η διαφορά εκλαμβάνεται από τους μαθητές ως ιδιαίτερα μικρή για να μπορέσει να υπερνικήσει το πλεονέκτημα που αποκομίζει η περιοχή που επιλέχθηκε λόγω της υπεροχής της στα άλλα δύο κριτήρια. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι οι μαθητές που θεωρήθηκε ότι συμφώνησαν σε επίπεδο αρχής με την προτεινόμενη προσέγγιση και εντάχθηκαν στην πρώτη κατηγορία απάντησης (τρίτη υποκατηγορία), είναι πιθανό να είχαν υιοθετήσει αυτό το σκεπτικό το οποίο εξαρτάται από τα δεδομένα της υπό μελέτη κατάσταση λήψης απόφασης. Ωστόσο, λόγω της απουσίας σχετικών εμπειρικών δεδομένων αυτός ο ισχυρισμός πρέπει να προσεγγίζεται με επιφύλαξη.

Η τρίτη κατηγορία αποτελείται από δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τους μαθητές που έδωσαν ελλιπείς απαντήσεις. Ειδικότερα, τέσσερις μαθητές (9%) διαφώνησαν με την προτεινόμενη προσέγγιση αλλά περιορίστηκαν απλώς στο να επισημάνουν ότι θα έπρεπε να είχε εφαρμοστεί η στρατηγική της βελτιστοποίησης χωρίς να δικαιολογούν γιατί αυτό θα ενίσχυε την αξιοπιστία της απόφασης. Μια ενδεικτική απάντηση είναι η εξής: «*Διαφωνώ γιατί έπρεπε να βαθμολογήσει πρώτα όλα τα κριτήρια και μετά να τα προσθέσει και να βρει το αποτέλεσμα.*» Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει δύο μαθητές (4%) που κατέληξαν να δίνουν άσχετες απαντήσεις, οι οποίες δεν απευθύνθηκαν στο ερώτημα. Για παράδειγμα, ο ένας από τους μαθητές, σε αντίθεση με τα δεδομένα της κατάστασης λήψης απόφασης, απάντησε «*διαφωνώ γιατί είναι και στα τρία κριτήρια καλύτερη*».

7.3.2.δ2. Έργο αξιολόγησης ΓII: Αξιολόγηση της εισήγησης για επιλογή της λύσης που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο

Οι απαντήσεις των μαθητών και σε αυτή την περίπτωση διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες (πίνακας 85). Πιο συγκριμένα η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει 32 (71%) μαθητές που εστίασαν σε συλλογιστικές πτυχές της προτεινόμενης προσέγγισης οι οποίοι διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες. Στην πρώτη εντάσσονται 27 μαθητές (60%) οι οποίοι διαφώνησαν με το σκεπτικό της προτεινόμενης προσέγγισης επισημαίνοντας ρητά την αδυναμία της να λάβει υπόψη τα δύο από τα τρία κριτήρια. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης είναι τα εξής.

«Διαφωνώ με αυτή την απάντηση γιατί η κυβέρνηση είπε ότι είναι σημαντικότερο κριτήριο οι κάτοικοι που θα επωφεληθούν αλλά δεν είπε να μην λάβουμε υπόψη τα άλλα κριτήρια όπως έκανε ο μαθητής.»

«Όχι διαφωνώ γιατί έτσι δεν λαμβάνουμε υπόψη όλα τα κριτήρια. Η κυβέρνηση απλώς ζήτησε να λάβουμε περισσότερο υπόψη το πρώτο κριτήριο όχι μόνο εκείνο.»

Πίνακας 85: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΠ (τελική αξιολόγηση)

Κατηγορία απάντησης	N	%
Αξιολόγηση του σκεπτικού της προσέγγισης		
κατ' αρχήν διαφωνία διότι χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη όλα τα κριτήρια και όχι μόνο το πιο σημαντικό	27	60
συμφωνία με την προτεινόμενη προσέγγιση	5	11
Αξιολόγηση της περιοχής που επιλέχθηκε		
τοποθέτηση ανάλογα με τα τη λύση στην οποία κατάληξαν οι ίδιοι μέσα από την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης	6	13
διαφωνία επειδή η προτεινόμενη λύση είναι η χειρότερη στα άλλα δύο κριτήρια ενώ η άλλη περιοχή υπερτερεί στα άλλα δύο κριτήρια	7	16

Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει πέντε μαθητές (11%) που φάνηκαν να υιοθετούν το συλλογισμό στον οποίο στηρίζεται η προτεινόμενη προσέγγιση. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης είναι το εξής: *«Εγώ συμφωνώ με την απάντηση γιατί η κυβέρνηση προτιμά ότι το πιο σημαντικό κριτήριο είναι ο αριθμός κατοίκων που θα επωφεληθούν και το Μαρί έχει τους περισσότερους κάτοικους.»*

Η δεύτερη κύρια κατηγορία απάντησης περιλαμβάνει 13 μαθητές (29%) οι οποίοι εστίασαν στο περιεχόμενο της λύσης στην οποία κατέληξε η προτεινόμενη προσέγγιση παρά στο σκεπτικό της. Αυτές οι απαντήσεις διακρίνονται σε δύο βασικές υποκατηγορίες. Η πρώτη αποτελείται από έξι μαθητές (13%) οι οποίοι εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και έκριναν την προτεινόμενη λύση ανάλογα με το βαθμό στον οποίο

υπήρχε ταύτιση ανάμεσα στην περιοχή που κατέληξαν οι ίδιοι και στην περιοχή που προτάθηκε. Πιο κάτω φαίνεται ενδεικτικά η απάντηση ενός από αυτούς τους μαθητές.

«Εγώ συμφωνώ με αυτό το μαθητή γιατί ο αριθμός των κατοίκων που θα επωφεληθούν μετρά δύο φορές και με τους υπολογισμούς που έκανα [εφαρμόζοντας τη στρατηγική της βελτιστοποίησης] βρήκα πως ο σταθμός θα πρέπει να χτιστεί στο Μαρί.»

Η δεύτερη υποκατηγορία αποτελείται από επτά μαθητές (16%) οι οποίοι διαφώνησαν με την προτεινόμενη λύση και επικέντρωσαν τις απαντήσεις τους σε μεμονωμένα μειονεκτήματα που παρουσιάζει. Οι πέντε από τους επτά μαθητές εστίαστηκαν στο γεγονός ότι η προτεινόμενη λύση είναι χειρότερη στα άλλα δύο κριτήρια. Για παράδειγμα, ένας μαθητής δήλωσε: *«Διαφωνώ γιατί το Μαρί είναι καλύτερο σε ένα μόνο κριτήριο ενώ είναι το χειρότερο στα άλλα δύο κριτήρια.»* Οι άλλοι δύο μαθητές σχολίασαν επιπρόσθετα το μέγεθος της διαφοράς που παρουσιάζει η εναλλακτική λύση συγκριτικά με την προτεινόμενη λύση στο τρίτο κριτήριο, την οποία χαρακτήρισαν μικρή. Πιο συγκεκριμένα ο μαθητής αυτός απάντησε *«Διαφωνώ γιατί οι κάτοικοι μεταξύ τους δεν έχουν πολλή διαφορά και στη Σωτήρα είναι πιο φτηνά και πιο μακριά.»*

7.3.2.δ3. Έργο αξιολόγησης ΓIII: Αξιολόγηση της εισήγησης για επιλογή της λύσης που έχει την ενδιάμεση θέση σε κάθε κριτήριο.

Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι κατηγορίες απάντησης που προέκυψαν και οι αντίστοιχες συχνότητες και ποσοστά εμφάνισης.

Πίνακας 86: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΠΠ (τελική αξιολόγηση)

Κατηγορία απάντησης	N	%
Αξιολόγηση του σκεπτικού της προσέγγισης		
κατ' αρχήν διαφωνία διότι η ενδιάμεση λύση δεν είναι κατ' ανάγκη η βέλτιστη	13	30
συμφωνία με το σκεπτικό	8	19
Αξιολόγηση της περιοχής που επιλέχθηκε		
τοποθέτηση ανάλογα με τη λύση στην οποία κατέληξαν οι ίδιοι μέσα από την εφαρμογή της βελτιστοποίησης	4	10
διαφωνία με την καταλληλότητα της περιοχής που επιλέχθηκε	9	21
Ελλιπείς/Άσχετες απαντήσεις		
περιορισμός στην εισήγηση ότι θα έπρεπε να είχε εφαρμοστεί η στρατηγική της βελτιστοποίησης	7	16
διαφωνία, χωρίς περαιτέρω αιτιολόγηση	1	2
άσχετη απάντηση	1	2

Οι απαντήσεις των μαθητών διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες απάντησης. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται 21 μαθητές (49%) οι οποίοι εστίασαν στην προσέγγιση και στο σκεπτικό της. Οι απαντήσεις αυτές διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη αποτελείται από 13 μαθητές (30%) οι οποίοι διαφώνησαν με το σκεπτικό της προτεινόμενης λύσης αμφισβητώντας ρητά την παραδοχή ότι η μέση λύση είναι, κατά ανάγκη, η βέλτιστη επιλογή. Μερικά ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης είναι τα εξής:

«Διαφωνώ. Γιατί να διαλέξουμε το μέτριο αν μπορούμε να διαλέξουμε ένα καλύτερο από μέτριο;»

«Όχι δεν συμφωνώ με τον τρόπο σκέψης του. Μπορεί να είναι το μέσο αλλά η βαθμολογία του με τον πίνακα μπορεί να είναι πιο μικρή από τα άλλα.»

«Διαφωνώ με αυτή την απάντηση γιατί πιστεύω ότι η στρατηγική που ακολούθησε είναι λάθος. Επειδή δεν είναι καλύτερο ούτε χειρότερο σε κανένα δεν σημαίνει ότι πρέπει να επιλέξουμε αυτό.»

Η δεύτερη υποκατηγορία αποτελείται από οκτώ μαθητές (19%) οι οποίοι συμφώνησαν με το σκεπτικό που εκφράζεται στην προτεινόμενη προσέγγιση. Ενδεικτικά, ένας από αυτούς τους μαθητές απάντησε ως εξής: *«Συμφωνώ με το μαθητή αυτό επειδή εμείς θέλουμε να είμαστε σίγουροι για την απάντησή μας. Αν διαλέγαμε κάποιο άλλο δεν θα είχαμε ισορροπία ενώ στη Χοιροκοιτία υπάρχει ισορροπία.»*

Η δεύτερη κατηγορία απάντησης αποτελείται από 13 μαθητές (31%) οι οποίοι εστίαστηκαν στο περιεχόμενο της λύσης παρά στο σκεπτικό στο οποίο στηρίχθηκε η προτεινόμενη προσέγγιση. Αυτή η κατηγορία αποτελείται από δύο υποκατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τέσσερις μαθητές (10%) που εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και, ακολούθως, συμφώνησαν (ή διαφώνησαν) με την προτεινόμενη προσέγγιση στις περιπτώσεις όπου υπήρχε (ή δεν υπήρχε) ταύτιση ανάμεσα στην περιοχή που προτάθηκε και στην περιοχή στην οποία κατέληξαν οι ίδιοι μέσα από την εφαρμογή της βελτιστοποίησης. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους μαθητές δήλωσε *«Διαφωνώ γιατί με τους υπολογισμούς που έκανα [εφαρμόζοντας τη στρατηγική της βελτιστοποίησης] βρήκα πως ο σταθμός θα πρέπει να κτιστεί στο Πεντάκωμο.»*

Η δεύτερη υποκατηγορία αποτελείται από εννιά μαθητές (21%) οι οποίοι διαφώνησαν με την προτεινόμενη λύση εστιάζοντας σε μειονεκτήματα που τη χαρακτηρίζουν σε σύγκριση με τις άλλες υποψήφιες περιοχές. Οι απαντήσεις αυτών των μαθητών διαφοροποιούνται ως προς τις πτυχές των δεδομένων στις οποίες εστίαστηκαν. Οι τέσσερις από αυτούς επεσήμαναν ότι δεν κατατάσσεται πρώτη σε κανένα από τα κριτήρια, άλλοι τέσσερις εισηγήθηκαν ότι θα έπρεπε να είχε επιλεγεί η περιοχή που υπερτερεί σε δύο από τα τρία κριτήρια και, τέλος, ένας μαθητής πρότεινε ότι θα έπρεπε να είχε επιλεγεί η περιοχή που είναι καλύτερη στο κόστος.

Η τρίτη κατηγορία απάντησης περιλαμβάνει εννιά μαθητές (20%) οι απαντήσεις των οποίων διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει επτά μαθητές (16%) οι οποίοι διαφώνησαν με το σκεπτικό του μαθητή προτείνοντας ότι θα έπρεπε να είχε εφαρμοστεί τη στρατηγική της βελτιστοποίησης χωρίς ωστόσο να επισημαίνουν με σαφή τρόπο οποιοδήποτε μειονέκτημα ή περιορισμό της προτεινόμενης προσέγγισης ή οποιοδήποτε συγκριτικό πλεονέκτημα της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Πιο κάτω φαίνονται δύο ενδεικτικές απαντήσεις:

«Διαφωνώ γιατί έπρεπε να βαθμολογήσει τους αριθμούς και να βρει ότι εκείνο με το μεγαλύτερο συνολικό αριθμό θα είναι το καλύτερο.»

«Διαφωνώ γιατί μπορεί όταν βαθμολογήσουμε αυτό τον πίνακα να μας αλλάξει γνώμη ή να μας κάνει πιο σίγουρους.»

Η δεύτερη αποτελείται από ένα μόνο μαθητή (2%) που διαφώνησε με την προτεινόμενη λύση χωρίς να προτείνει οποιοδήποτε σχετικό επιχείρημα ενώ η τρίτη αποτελείται από άλλο ένα μαθητή (2%) που κατέληξε να δίνει μια άσχετη απάντηση που δεν απευθύνθηκε άμεσα στο ερώτημα.

7.3.2.δ4. Έργο αξιολόγησης ΓΙΥ: Αξιολόγηση της εισήγησης για επιλογή με βάση την άμεση αριθμητική σύγκριση του πλεονεκτήματος και του μειονεκτήματος της κάθε πιθανής λύσης
Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι κατηγορίες απάντησης που προέκυψαν και οι αντίστοιχες συχνότητες και ποσοστά εμφάνισης.

Πίνακας 87: Αποτελέσματα κωδικοποίησης απαντήσεων στο έργο αξιολόγησης ΓΙΥ (τελική αξιολόγηση)

Κατηγορίες απάντησης	N	%
Αξιολόγηση του σκεπτικού της προσέγγισης		
κατ' αρχήν διαφωνία	18	39
κατ' αρχήν συμφωνία	16	35
Αξιολόγηση της περιοχής που επιλέχθηκε		
συμφωνία επειδή οι ανθρώπινες ανάγκες είναι πιο σημαντικές από το κόστος	1	2
τοποθέτηση ανάλογα με τη λύση στην οποία κατέληξαν οι ίδιοι μέσα από την εφαρμογή της βελτιστοποίησης	1	2
Ελλιπείς/άσχετες απαντήσεις		
θα έπρεπε να είχε εφαρμοστεί η βελτιστοποίηση	2	5
διαφωνία χωρίς επεξήγηση	1	2
άσχετη απάντηση	7	15

Οι απαντήσεις των μαθητών οργανώνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει 34 μαθητές (74%) που εστίαστηκαν στην προσέγγιση και το σκεπτικό της. Δεκαοκτώ από αυτούς (39%) διαφώνησαν με την προσέγγιση παραπέμποντας στον

προβληματικό χαρακτήρα της σύγκρισης στην οποία στηρίζεται. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης είναι τα εξής:

«Διαφωνώ γιατί αυτός ο μαθητής συγκρίνει τελείως διαφορετικά πράγματα.

Συγκρίνει λεφτά με κατοίκους. Αυτό θα οδηγήσει σε λάθος απάντηση.»

«Διαφωνώ γιατί σύγκρινε διαφορετικά πράγματα και έτσι ο αριθμός που βρήκε είναι άχρηστος. Πρέπει να βρει μια ίση μονάδα μέτρησης.»

Οι υπόλοιποι 16 μαθητές (35%) συμφώνησαν με την προτεινόμενη προσέγγιση. Δύο από αυτούς (5%) στήριξαν τη συμφωνία τους στο επιχείρημα ότι η συγκεκριμένη προσέγγιση έλαβε υπόψη και τα δύο κριτήρια, όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα: *«Συμφωνώ επειδή έλαβε υπόψη του όλα τα κριτήρια.»* Αυτές οι απαντήσεις παρουσιάζουν ενδιαφέρον για δύο λόγους. Ο πρώτος συνδέεται με την τάση των μαθητών να εστιάζουν αποκλειστικά στη δυνατότητα της προσέγγισης να συνυπολογίζει τα δύο κριτήρια, η οποία ανταποκρίνεται σε μια βασική ανάγκη που αναδεικνύει το διδακτικό υλικό, αγνοώντας, ωστόσο, το στρεβλωμένο τρόπο με τον οποίο υλοποιείται. Ο δεύτερος, συνδέεται με τη συνεισφορά τους στην ερμηνεία της αυξητικής τάσης που παρατηρήθηκε στην εμφάνιση αυτής της προσέγγισης στο έργο αξιολόγησης ΑΠ, μετά τη διδασκαλία. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι περισσότεροι μαθητές που κατέληξαν να χειρίζονται την κατάσταση λήψης απόφασης του συγκεκριμένου έργου αξιολόγησης μέσω αυτής της προσέγγισης μετά τη διδασκαλία είχαν υιοθετήσει αρχικά προσεγγίσεις που στηρίζονταν σε ένα μόνο κριτήριο. Ενδεχομένως, η έμφαση του διδακτικού υλικού στην ανάγκη συνυπολογισμού όλων των διαθέσιμων πληροφοριών οδήγησε τους μαθητές να θεωρήσουν ότι η άμεση αριθμητική σύγκριση παρέχει ένα αποτελεσματικό τρόπο ικανοποίησης αυτής της ανάγκης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ενώ αυτές οι απαντήσεις εκφράστηκαν αυθόρμητα από δύο από τους δεκαέξι μαθητές είναι πιθανό να υιοθετούνται από περισσότερους. Ωστόσο, δεδομένης της έλλειψης άμεσων δεδομένων είναι σημαντικό να αποφευχθεί η γενίκευσή τους πέρα από τις δύο περιπτώσεις στις οποίες εκφράστηκαν ρητά. Οι υπόλοιποι δεκατέσσερις μαθητές (30%) συμφώνησαν με την προσέγγιση που ακολουθήθηκε, επισημαίνοντας τη μεγάλη διαφορά που προκύπτει από τη σύγκριση του πλεονεκτήματος και του μειονεκτήματος των δύο περιοχών. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα απάντησης είναι τα εξής:

«Συμφωνώ γιατί είναι εξίσου σημαντικά [τα κριτήρια] και έχει πιο πολλή διαφορά το Μαρί από τη Σωτήρα και έτσι νομίζω είναι καλύτερη η Σωτήρα.»

«Συμφωνώ διότι έχει δίκαιο ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στην τιμή αλλά σχεδόν καθόλου στον αριθμό κατοίκων.»

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι απαντήσεις αυτών των μαθητών φαίνονται να εξαρτούνται από τις συγκεκριμένες παραμέτρους της υπό μελέτη κατάστασης λήψης απόφασης (π.χ. συγκεκριμένες διαφορές ανάμεσα στις δύο περιοχές ως προς το κάθε κριτήριο) και είναι αμφίβολο κατά πόσο υιοθετούν απόλυτα την ιδέα ότι η αριθμητική σύγκριση των διαφορών που παρουσιάζουν δύο λύσεις σε δύο κριτήρια καθορίζει πάντοτε τη βέλτιστη λύση.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει δύο μαθητές (4%) οι οποίοι εστίασαν στη λύση που επιλέχθηκε. Ο ένας (2%) συμφώνησε με τη λύση τονίζοντας ότι ανθρώπινες ανάγκες είναι πιο σημαντικές από το κόστος. Ο άλλος μαθητής (2%) συμφώνησε με την προτεινόμενη λύση διότι είχε εφαρμόσει τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και κατέληξε στην ίδια περιοχή. Οι απαντήσεις των δύο αυτών μαθητών, αντίστοιχα, είναι οι εξής:

«Συμφωνώ με την απάντηση που έδωσε ο μαθητής. Οι κάτοικοι είναι πιο σημαντικοί από το χρήμα.»

«Συμφωνώ με το μαθητή αυτό γιατί όταν έκανα τους ίδιους υπολογισμούς βρήκα τις ίδιες απαντήσεις και πιστεύω πως είναι η Σωτήρα η σωστή απάντηση.»

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει 10 μαθητές (22%) οι οποίοι περιορίστηκαν σε ελλιπείς ή άσχετες απαντήσεις. Δύο από αυτούς (5%) διαφώνησαν με την προτεινόμενη προσέγγιση χωρίς να επισημαίνουν κάποιο συλλογιστικό σφάλμα στο σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται. Αντίθετα, δήλωσαν απλώς ότι θα έπρεπε να είχε εφαρμοστεί η στρατηγική της βελτιστοποίησης. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα είναι το εξής: *«Διαφωνώ με τον τρόπο που εργάστηκε αυτός ο μαθητής. Θα έπρεπε να βαθμολογήσει τις δύο περιοχές και να διαλέξει εκείνη που έχει μεγαλύτερη βαθμολογία».* Ένας άλλος μαθητής (2%) διαφώνησε με το σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται η προτεινόμενη λύση αλλά παρέλειψε να αιτιολογήσει την απάντησή του. Τέλος, επτά μαθητές (15%) έδωσαν άσχετες απαντήσεις οι οποίες απέτυχαν να απευθυνθούν στο ερώτημα.

7.3.2.δ5. Ανακεφαλαιωτικά σχόλια για έργα αξιολόγησης ομάδας Γ

Στον πίνακα 88 συνοψίζεται ο τρόπος με τον οποίο τοποθετήθηκαν οι μαθητές στις τέσσερις εναλλακτικές προσεγγίσεις. Ένα σημαντικό στοιχείο αφορά στο ποσοστό των περιπτώσεων όπου οι μαθητές διαφώνησαν άμεσα με το σκεπτικό των εναλλακτικών προσεγγίσεων προσδιορίζοντας συγκεκριμένες πτυχές τους που υπονομεύουν την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων (N=84, 47%). Το μεγαλύτερο ποσοστό απαντήσεων αυτής της κατηγορίας εμφανίστηκε στην περίπτωση της εισήγησης για επιλογή λύσης εστιάζοντας αποκλειστικά στο σημαντικότερο κριτήριο (N=27, 60%). Το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό αφορά στην προσέγγιση της επιλογής με βάση το πλήθος των κριτηρίων στα οποία κατατάσσεται πρώτη μια περιοχή (N=26, 57%) και το τρίτο στην προσέγγιση της επιλογής μέσα από άμεση αριθμητική σύγκριση των δεδομένων για τις δύο υποψήφιες περιοχές (N=18, 39%). Το μικρότερο ποσοστό παρατηρήθηκε στην περίπτωση της επιλογής της ενδιάμεσης λύσης (N=13, 30%). Η σχετικά μεγάλη διακύμανση σε αυτό το ποσοστό ανάμεσα στα τέσσερα έργα αξιολόγησης (από 30% μέχρι 60%) υπονοεί σημαντική ανομοιογένεια στη δυνατότητα των μαθητών να εντοπίζουν τις στρεβλώσεις στο σκεπτικό της καθεμιάς από τις τέσσερις εναλλακτικές προσεγγίσεις.

Μια άλλη πτυχή των αποτελεσμάτων η οποία αξίζει να συζητηθεί αφορά στα ποσοστά των μαθητών που ταυτίστηκαν με το σκεπτικό των εναλλακτικών προσεγγίσεων. Και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια σημαντική διακύμανση στο ποσοστό ανάμεσα στις τέσσερις εναλλακτικές προσεγγίσεις (από 11% μέχρι και 35%). Το μικρότερο ποσοστό εμφανίστηκε στην περίπτωση της εισήγησης για επιλογή με βάση το σημαντικότερο κριτήριο. Λαμβάνοντας υπόψη ότι στη συγκεκριμένη προσέγγιση παρουσιάστηκε επίσης το μεγαλύτερο ποσοστό απαντήσεων που αναγνώρισαν άμεσα το στρεβλωμένο χαρακτήρα της, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι αποτελεί τη συλλογιστική δυσκολία που φαίνεται να επηρεάζει λιγότερο τους μαθητές μετά τη διδασκαλία.

Πίνακας 88: Αποτύπωση του τρόπου με τον οποίο τοποθετήθηκαν οι μαθητές στα τέσσερα έργα αξιολόγησης της ομάδας Γ

Κατηγορία απάντησης	ΓΙ		ΓΙΙ		ΓΙΙΙ		ΓΙV		Σύνολο	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Διαφωνία με το σκεπτικό στο οποίο στηρίζεται η προτεινόμενη προσέγγιση	26	57	27	60	13	30	18	39	84	47
Διαφωνία με την προτεινόμενη προσέγγιση. Προσδιορισμός της βελτιστοποίησης ως καταλληλότερης στρατηγικής, χωρίς περαιτέρω διευκρινίσεις	4	9	0	0	7	16	2	5	13	7
Εστίαση στα χαρακτηριστικά της λύσης που επιλέγηκε: εφαρμογή βελτιστοποίησης και συμφωνία (διαφωνία) με την προτεινόμενη προσέγγιση στις περιπτώσεις όπου κατέληξαν στην ίδια (σε διαφορετική) λύση	3	7	6	13	4	10	1	2	14	7
Θετική αξιολόγηση της προτεινόμενης προσέγγισης αποδίδοντάς της, ωστόσο, πλεονεκτήματα που δεν υφίστανται	2	4	0	0	0	0	0	0	2	1
Εστίαση σε μειονεκτήματα ή πλεονεκτήματα των προτεινόμενων περιοχών παρά στο σκεπτικό της αντίστοιχης προσέγγισης	2	4	7	16	9	21	1	2	19	11

Διαφωνία με την προτεινόμενη προσέγγιση χωρίς αιτιολόγηση	0	0	0	0	1	2	1	2	2	1
Συμφωνία με το σκεπτικό της προτεινόμενης προσέγγισης	7	15	5	11	8	19	16	35	36	20
Άσχετη απάντηση	2	4	0	0	1	2	7	15	10	6

7.3.3. Σύνοψη αποτελεσμάτων από το σύνολο των έργων αξιολόγησης

Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια σύνοψης των βασικών ευρημάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στο σύνολο των έργων αξιολόγησης και των αντίστοιχων δεδομένων από τις συνεντεύξεις. Είναι σημαντικό να σημειωθεί εξαρχής ο χρήσιμος υποστηρικτικός ρόλος που επιτέλεσε η αντιστοίχιση ανάμεσα στα σενάρια λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στις τρεις ομάδες έργων αξιολόγησης. Αυτή η αντιστοίχιση παρείχε τη δυνατότητα για μια πρόσθετη διάσταση στην επεξεργασία των δεδομένων η οποία στηρίζεται στη συνδυασμένη μελέτη των απαντήσεων των μαθητών.

7.3.3.α. Ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης.

Η αντιπαράβολή των δεδομένων από τις ομάδες έργων Α και Β παρείχε ενδιαφέρουσες ενδείξεις αναφορικά με το βαθμό στον οποίο οι μαθητές ανέπτυξαν την ικανότητα να εφαρμόζουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Οι απαντήσεις των μαθητών σε όλα τα έργα αξιολόγησης κωδικοποιήθηκαν σε μια διχοτομική κλίμακα ανάλογα με το κατά πόσο περιέλαβαν έγκυρη εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Στην περίπτωση των δεδομένων από το έργο αξιολόγησης ΒΙ, η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών (91%) ήταν σε θέση να εφαρμόσει ορθά τη στρατηγική της βελτιστοποίησης όταν τους ζητήθηκε. Αντίθετα, στην περίπτωση των έργων αξιολόγησης της ομάδας Α το ποσοστό των μαθητών που επέλεξε αυθόρμητα να εφαρμόσει αυτή τη στρατηγική ήταν σημαντικά μικρότερο (54%). Η επεξεργασία των δεδομένων με τον έλεγχο McNemar κατέδειξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στις απαντήσεις των μαθητών ανάμεσα στο έργο αξιολόγησης ΒΙ και του καθενός από τα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α ($p < 0.001$ σε όλες τις συγκρίσεις). Αυτή η διαφοροποίηση συνδέεται άμεσα με το σχετικά μεγάλο ποσοστό μαθητών που ενώ ήταν σε θέση να εφαρμόσουν με έγκυρο τρόπο τη στρατηγική της βελτιστοποίησης στο έργο αξιολόγησης ΒΙ απέφυγαν να τη χρησιμοποιήσουν στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α. Ο πίνακας 89 παρουσιάζει αυτό το ποσοστό για το καθένα από τα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α, χωριστά.

Πίνακας 89: Αντιπαραβολή απαντήσεων ανάμεσα στην επάρκεια των μαθητών να εφαρμόζουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης (BI) και την ικανότητά τους να την επιλέγουν αυθόρμητα για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης (έργα αξιολόγησης ομάδας A)

Έργο αξιολόγησης	Πλήθος περιπτώσεων όπου οι μαθητές ήταν σε θέση να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης (BI) αλλά δεν την επέλεξαν αυθόρμητα για τη διαχείριση της κατάστασης λήψης απόφασης στα έργα αξιολόγησης της ομάδας A	N	%
AI		23(44 ⁶⁰)	52
AII		22(45)	49
AIII		23(45)	51
AIV		18(45)	36
AV		16(45)	40

Μια άλλη ενδιαφέρουσα πτυχή των δεδομένων περιλαμβάνει την αντιπαραβολή των απαντήσεων των μαθητών στα έργα αξιολόγησης BII και AI. Τα δύο αυτά έργα αξιολόγησης στηρίζονται στο ίδιο σενάριο λήψης απόφασης αλλά διαφέρουν ως προς το ερώτημα που τίθεται στους μαθητές. Στο AI ζητήθηκε από τους μαθητές να επεξεργαστούν τα δεδομένα και να υποδείξουν τη λύση που θεωρούν προτιμότερη. Στο BII παρουσιάστηκαν στους μαθητές δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις για την επεξεργασία της κατάστασης λήψης απόφασης (η μια από τις οποίες ήταν η στρατηγική της βελτιστοποίησης) και τους ζητήθηκε να τις συγκρίνουν ως προς την καταλληλότητά τους. Οι απαντήσεις των μαθητών στα δύο έργα αξιολόγησης κωδικοποιήθηκαν σε διχοτομικές κλίμακες και εκτέθηκαν σε ποσοτική επεξεργασία. Στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης BII η κωδικοποίηση διέκρινε τους μαθητές που ήταν σε θέση να προσδιορίσουν τη βελτιστοποίηση ως την προτιμότερη προσέγγιση εστιάζοντας σε πτυχές των δύο προσεγγίσεων που συνδέονται με την αξιοπιστία της απόφασης που λαμβάνεται, από τους υπόλοιπους μαθητές. Αντίστοιχα, στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης AI η κωδικοποίηση διέκρινε τους μαθητές που επέλεξαν αυθόρμητα να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και ήταν σε θέση να το κάνουν με έγκυρο και πλήρη τρόπο, από τους υπόλοιπους μαθητές. Η επεξεργασία των δεδομένων απέτυχε να

⁶⁰ Ο αριθμός στην παρένθεση συμβολίζει το πλήθος των μαθητών που συμμετείχαν στην ανάλυση.

ανιχνεύσει στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις δύο διχοτομικές μεταβλητές που προέκυψαν από την κωδικοποίηση των δεδομένων. Αυτό το εύρημα εισηγείται ότι η ικανότητα αναγνώρισης των πλεονεκτημάτων της στρατηγικής της βελτιστοποίησης έναντι της εναλλακτικής προσέγγισης (επιλογή της λύσης που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια) δεν προβλέπει το βαθμό στον οποίο οι μαθητές επιλέγουν αυθόρμητα να την εφαρμόσουν για τη διαχείριση της ίδιας κατάστασης λήψης απόφασης, και αντίστροφα ($\phi=0.262$, $p=0.079$).

Ένα συμπέρασμα που θα μπορούσε να διατυπωθεί σε σχέση με τη συνδυασμένη επεξεργασία των έργων αξιολόγησης των ομάδων Α και Β είναι ότι η ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, ή η ικανότητα αναγνώρισης των πλεονεκτημάτων της έναντι εναλλακτικών επιλογών, δεν συνεπάγεται την αυθόρμητη επιλογή της για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης. Παρόλο που αυτό το συμπέρασμα χρειάζεται να προσεγγίζεται με επιφύλαξη λόγω του περιορισμένου αριθμού καταστάσεων λήψης απόφασης στις οποίες εξετάστηκε, χαρακτηρίζεται από χρήσιμες προεκτάσεις και διδακτικές συνέπειες οι οποίες συζητούνται στο καταληκτικό μέρος της ενότητας.

7.3.3.β. Τάση για επικέντρωση στην ενόραση ως μέσο εντοπισμού της καταλληλότερης λύσης.

Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο που προκύπτει από τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν σε αυτή την ενότητα αφορά στην τάση των μαθητών να υπερεκτιμούν τη δυνατότητα της ενόρασης να λειτουργεί ως αξιόπιστος μηχανισμός εντοπισμού της βέλτιστης λύσης. Μια πτυχή των δεδομένων που αναδεικνύει αυτή την τάση προέρχεται από τις συνεντεύξεις και αφορά στις περιπτώσεις των μαθητών που εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης μόνο σε κάποιες από τις καταστάσεις λήψης απόφασης που περιλαμβάνονταν στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α. Μια πιθανή ερμηνεία για την επιλεκτική εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης συνδέεται με την τάση των μαθητών να θεωρούν προφανές ότι η λύση που εντοπίζουν, μέσα από την πρόχειρη επισκόπηση των δεδομένων, είναι σαφώς καλύτερη από τις υπόλοιπες. Έτσι, ενδεχομένως, θεωρούν αχρείαστη τη στρατηγική της βελτιστοποίησης σε αυτές τις περιπτώσεις και τείνουν να περιορίζουν την εφαρμογή της μόνο στις περιπτώσεις όπου δεν είναι σε θέση να εντοπίσουν άμεσα μια εμφανώς προτιμότερη λύση. Πιο κάτω παρατίθεται ένα ενδεικτικό απόσπασμα συνέντευξης που φανερώνει αυτή την προοπτική.

Ερευνητής: Σε κάποιες περιπτώσεις αποφάσιζες αφού έβαζες βαθμούς και έκανες κάποιες προσθέσεις. Κάπου αλλού δεν έκανες αυτό το πράγμα, δεν έβαλες βαθμούς. Για παράδειγμα σε αυτή την περίπτωση (AI) δεν έβαλες ενώ εδώ (AIV) έβαλες. Θέλω να τα κοιτάξεις λίγο και να μου εξηγήσεις αν μπορείς γιατί στην μια περίπτωση το βρήκες χρήσιμο να βάλεις βαθμούς και στην άλλη όχι.

Μαθητής: Εδώ η Σωτήρα είναι καλύτερη στα δύο από τα τρία και δεν είναι μεγάλη η διαφορά στους κατοίκους. Είναι μόνο 5000. Στο άλλο όμως, το Πεντάκωμο είναι καλύτερο στα δύο αλλά η διαφορά στον αριθμό των κατοίκων είναι πιο μεγάλη.

Ερευνητής: Δηλαδή, γιατί δεν εφαρμόσες αυτό τον τρόπο στην πρώτη περίπτωση;

Μαθητής: Εκεί ήταν σίγουρα καλύτερη η Σωτήρα. Εδώ δεν ήμουν σίγουρος.

Ένα δεύτερο στοιχείο το οποίο είναι ενδεικτικό της τάσης των μαθητών να επιλέγουν να στηριχθούν στην ενόραση προέρχεται από την αντιπαραβολή των απαντήσεων που δόθηκαν στα έργα αξιολόγησης ΒII (σύγκριση δύο εναλλακτικών προσεγγίσεων για τη διαχείριση μιας κατάστασης λήψης απόφασης) και AI (διαχείριση της ίδιας κατάστασης λήψης απόφασης). Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα 12 από τους 45 μαθητές (27%) παρόλο που είχαν προσδιορίσει στο έργο αξιολόγησης ΒII τη στρατηγική της βελτιστοποίησης ως πιο αποτελεσματική, κατέληξαν να χειρίζονται την ίδια κατάσταση λήψης απόφασης, στην περίπτωση του έργου αξιολόγησης AI, μέσω της ίδιας ακριβώς προσέγγισης που είχαν θεωρήσει προηγουμένως υποδεέστερη (επιλογή της λύσης που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια). Τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις με τους μαθητές που απάντησαν με αυτό τον τρόπο εισηγούνται ότι μια πιθανή ερμηνεία για αυτή την παράδοξη συμπεριφορά συνδέεται με την τάση των μαθητών να στηρίζονται στην ενόρασή τους. Πιο συγκεκριμένα, παρόλο που θεωρούν ότι η στρατηγική της βελτιστοποίησης είναι πιο συστηματική παραλείπουν να την εφαρμόσουν διότι αισθάνονται αυτοπεποίθηση για τη λύση που εντοπίζουν εννοιακά ως βέλτιστη. Πιο κάτω παρατίθεται απόσπασμα συνέντευξης με κάποιο από τους μαθητές που απάντησε με αυτό τον τρόπο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τελευταία δήλωση του μαθητή όπου ισχυρίζεται ότι κατέληξε στην απόφαση αφού είχε πρώτα εφαρμόσει νοητικά τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Κατά πάσα πιθανότητα ο ισχυρισμός του μαθητή προκύπτει από τη βεβαιότητα που αισθάνεται για την περιοχή που επέλεξε η οποία θεωρεί ότι θα επιβεβαιωνόταν σίγουρα από τη στρατηγική της βελτιστοποίησης.

Ερευνητής: *Εδώ (ΒΙΙ) σας προτεινάμε δύο τρόπους για να επιλέξουμε την καλύτερη περιοχή και συμφώνησες με το μαθητή που έδωσε βαθμολογίες και επέλεξε την περιοχή που έχει ψηλότερη βαθμολογία. Εδώ (ΑΙ), σας είχαμε δώσει το ίδιο πρόβλημα και σας είχαμε ζητήσει να αποφασίσετε εσείς ποια θεωρείτε καλύτερη και να μας εξηγήσετε πώς το σκεφτήκατε. Βλέπω ότι δεν έβαλες βαθμούς αλλά το έλυσες με κάποιο άλλο τρόπο. Αντίθετα, απάντησες όπως απάντησε ο δεύτερος μαθητής που σας είχαμε προτείνει. Δηλαδή, επέλεξες την περιοχή που είναι καλύτερη στα δύο από τα τρία κριτήρια. Τελικά, τι πιστεύεις; Είναι ή δεν είναι χρήσιμο να βάζουμε βαθμούς;*

Μαθητής: *Είναι.*

Ερευνητής: *Γιατί;*

Μαθητής: *Επειδή έτσι είμαστε πιο σίγουροι. Κι εγώ έβαλα βαθμούς. Τους σκέφτηκα και ότι βαθμούς έβαλα πάντα έβγαине πρώτη η Σωτήρα επειδή είναι πολύ μικρή η διαφορά στους κάτοικους.*

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ενόραση αναγνωρίζεται ευρέως στη βιβλιογραφία ως βασικό στοιχείο της λειτουργίας του ανθρώπινου γνωστικού συστήματος γενικότερα (Evans & Over 1996; Kahneman, 2003) αλλά και στην περίπτωση της λήψης απόφασης ειδικότερα (Tversky & Kahneman, 1983; Klaczynski, 2001)⁶¹. Επίσης, επισημαίνεται η τάση της ενόρασης να οδηγεί συστηματικά σε προβλέψιμα στρεβλωμένα συμπεράσματα (Tversky & Kahneman, 1974) και επίσης η ανάγκη ευαισθητοποίησης σε αυτό τον κίνδυνο, ώστε να αποφεύγεται η υπονόμηση της αξιοπιστίας των συμπερασμάτων που προκύπτουν (Acar, Turkmen, & Roychoudhury, 2009; Kahneman, 2003). Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτό το στοιχείο έχει αποτελέσει αντικείμενο ερευνητικής δραστηριότητας στο πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών όπου διερευνήθηκε η επίδραση συγκεκριμένων διαισθητικών κανόνων στο σκεπτικό των μαθητών και επισημάνθηκε η ανάγκη ελέγχου και περιορισμού της επίδρασής τους (π.χ. Stavy & Tirosh, 1996).

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τάση των μαθητών να στηρίζονται στην ενόραση παρέχει μια προοπτική για την ερμηνεία άλλων πτυχών των δεδομένων που έχουν παρουσιαστεί, όπως οι περιπτώσεις όπου ενώ εφαρμόστηκε η στρατηγική της

⁶¹ Αξίζει να σημειωθεί η πολιτισμική εξάρτηση που φαίνεται να υπάρχει αναφορικά με την τάση των μαθητών να στηρίζονται στην ενόραση παρά σε αναλυτικές συλλογιστικές προσεγγίσεις (Norenzayan, Smith, Kim & Nisbett, 2002).

βελτιστοποίησης και επιλέγηκε η περιοχή που συγκέντρωσε τη μεγαλύτερη βαθμολογία, η αιτιολόγηση που προτάθηκε από τους μαθητές δεν αξιοποίησε αυτό το στοιχείο αλλά στηρίχθηκε εναλλακτικά σε άλλες πτυχές των δεδομένων (π.χ. υπεροχή σε μεγαλύτερο αριθμό κριτηρίων/υπεροχή στο σημαντικότερο κριτήριο κ.τ.λ.). Πιο συγκεκριμένα, μια πιθανή ερμηνεία που προκύπτει για αυτή τη στάση των μαθητών είναι ότι η ταύτιση του αποτελέσματος της στρατηγικής της βελτιστοποίησης με τη διαίσθησή τους (η οποία ανακλάται στο γεγονός ότι η λύση που επέλεξαν τυγχάνει να συμπίπτει με το αποτέλεσμα της στρατηγικής της βελτιστοποίησης) λειτούργησε ως επιβεβαίωση της διαίσθησής τους ισχυροποιώντας την πεποίθησή τους ότι η λύση στην οποία είχαν καταλήξει εννοιακά είναι όντως η βέλτιστη. Έτσι, ενδεχομένως, τους δημιούργησε το αίσθημα ότι το σκεπτικό τους ήταν αξιόπιστο και επαρκές για να τεκμηριώσει την καταλληλότητα της απόφασής τους. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να τονιστεί ότι δεδομένης της έλλειψης σχετικών εμπειρικών δεδομένων για το σκεπτικό των μαθητών που απάντησαν με αυτό τον τρόπο, αυτή η ερμηνεία είναι σημαντικό να αντιμετωπιστεί με επιφύλαξη και να υποβληθεί σε πιο συστηματικό εμπειρικό έλεγχο.

7.3.3.γ. Σχέση ανάμεσα στην ικανότητα προσδιορισμού συλλογιστικών στρεβλώσεων σε εναλλακτικές προσεγγίσεις και στην αυθόρμητη επιλογή της βελτιστοποίησης ως μέσου διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης.

Η συνδυασμένη επεξεργασία των δεδομένων από τις απαντήσεις των μαθητών στα έργα αξιολόγησης Α και Γ επέτρεψε τη διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στην ικανότητα προσδιορισμού του μειονεκτήματος μιας εναλλακτικής προσέγγισης και στο βαθμό στον οποίο επιλέγεται αυθόρμητα η στρατηγική της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση αντίστοιχων καταστάσεων λήψης απόφασης. Η διερεύνηση αυτού του στοιχείου στηρίχθηκε στο γεγονός ότι η κάθε εναλλακτική προσέγγιση που παρουσιάστηκε στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Γ θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένας πιθανός (αλλά συλλογιστικά στρεβλωμένος) τρόπος αντιμετώπισης ενός, ή περισσότερων, από αυτά τα σενάρια λήψης απόφασης που περιλήφθηκαν στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α. Στον πίνακα 90 παρουσιάζεται αυτή η αντιστοίχιση. Στην πρώτη στήλη της κάθε γραμμής φαίνεται μια εναλλακτική προσέγγιση και στη δεύτερη παρατίθενται τα έργα αξιολόγησης τα οποία παρουσιάζουν συμβατότητα με το σκεπτικό της και, επομένως, θα μπορούσαν να είχαν προσεγγιστεί μέσω αυτής.

Πίνακας 90: Αντιστοίχιση ανάμεσα σε συλλογιστικά στρεβλωμένες προσεγγίσεις και σενάρια λήψης απόφασης (έργα αξιολόγησης Α) που ευνοούν την εφαρμογή τους

Στρεβλωμένη προσέγγιση σύγκρισης εναλλακτικών λύσεων	Έργα αξιολόγησης στα οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί
Επιλογή λύσης που κατατάσσεται πρώτη σε σειρά προτίμησης στα περισσότερα κριτήρια	ΑΙ*, ΑΙV ΑV
Επιλογή λύσης που κατατάσσεται σε ενδιάμεση θέση στο καθένα από τα κριτήρια	ΑΙV*, ΑV
Επιλογή μέσα από την άμεση αριθμητική σύγκριση της διαφοράς των υποψήφιων περιοχών στα σχετικά κριτήρια	ΑΙΙ*, ΑΙΙΙ
Επιλογή της περιοχής που υπερτερεί στο κριτήριο το οποίο έχει καθοριστεί ως πιο σημαντικό	ΑΙΙΙ ΑV*

*Έργα αξιολόγησης στα οποία το σενάριο λήψης απόφασης ταυτιζόταν με τα αντίστοιχα έργα αξιολόγησης της ομάδας Γ.

Για τη διερεύνηση αυτού του στοιχείου, οι απαντήσεις των μαθητών σε όλα τα έργα αξιολόγησης των ομάδων Α και Γ κωδικοποιήθηκαν σε διχοτομικές κλίμακες. Στην περίπτωση των έργων αξιολόγησης της ομάδας Α, η κλίμακα αυτή διέκρινε τους μαθητές που επέλεξαν αυθόρμητα και εφάρμοσαν με έγκυρο τρόπο τη στρατηγική της βελτιστοποίησης διατυπώνοντας επιχειρήματα που βασίζονταν στα αριθμητικά αποτελέσματά της από τους υπόλοιπους μαθητές που είτε εφάρμοσαν με ελλιπή ή λανθασμένο τρόπο τη συγκεκριμένη στρατηγική ή κατέφυγαν σε εναλλακτικές προσεγγίσεις. Αντίστοιχα, στην περίπτωση των έργων αξιολόγησης της ομάδας Γ, η διχοτομική κλίμακα διαχώρισε τους μαθητές που απέρριψαν την προτεινόμενη προσέγγιση προσδιορίζοντας ρητά πτυχές της που την καθιστούν επιρρεπή σε συλλογιστικά σφάλματα από τους υπόλοιπους μαθητές, οι οποίοι είτε διαφώνησαν με το σκεπτικό της χωρίς να επισημαίνουν συγκεκριμένες αδυναμίες της είτε συμφώνησαν με αυτό. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των δύο αυτών μεταβλητών. Σε κάθε γραμμή παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις δύο μεταβλητές για την καθεμιά από τις εναλλακτικές προσεγγίσεις και τα αντίστοιχα έργα

αξιολόγησης στα οποία θα μπορούσε (λανθασμένα) να εκληφθεί από τους μαθητές ως μια κατάλληλη στρατηγική.

Πίνακας 91: Συσχέτιση ανάμεσα στην ικανότητα αναγνώρισης του στρεβλωμένου χαρακτήρα μιας προσέγγισης σύγκρισης πιθανών λύσεων και στην επιλογή (και έγκυρη εφαρμογή) της στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση ανάλογων καταστάσεων λήψης απόφασης

Προσέγγιση σύγκρισης πιθανών λύσεων σε καταστάσεις λήψης απόφασης	Συντελεστής συσχέτισης με αντίστοιχα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α				
	ΑΙ	ΑΙΙ	ΑΙΙΙ*	ΑΙV	ΑV*
	2x3	2x2	2x2	3x3	3x3
ΓΙ. Επιλογή λύσης που κατατάσσεται πρώτη σε σειρά προτίμησης στα περισσότερα κριτήρια	phi=.35 p=.018	-	-	phi=.27 p=.065	phi=.34 p=.024
ΓΙΙ. Επιλογή λύσης που κατατάσσεται σε ενδιάμεση θέση στο καθένα από τα κριτήρια	-	-	-	phi=.64 p<.001	phi=.54 p<.001
ΓΙΙΙ. Επιλογή μέσα από την άμεση αριθμητική σύγκριση της διαφοράς των υποψηφίων περιοχών στα σχετικά κριτήρια	-	phi=.84 p=.001	phi=.38 p=.011	-	-
ΓΙV. Επιλογή της περιοχής που υπερτερεί στο κριτήριο το οποίο έχει καθοριστεί ως πιο σημαντικό	-	phi=.32 p=.032	-	-	phi=.40 p=.007

* τα κριτήρια διαφοροποιούνται ως προς τη βαρύτητά τους

Όπως φαίνεται στον πιο πάνω πίνακα σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός από μία μόνο εξαίρεση, (ΓΙ - ΑΙV), υπάρχει στατιστικά σημαντική, θετική συσχέτιση ανάμεσα στις δύο μεταβλητές. Συνεπώς, τα δεδομένα εισηγούνται ότι οι μαθητές που προσδιορίζουν ορθά το μειονέκτημα που παρουσιάζει μια εναλλακτική προσέγγιση τείνουν να καταφεύγουν στη βελτιστοποίηση για να διαχειριστούν παρόμοιες καταστάσεις λήψης απόφασης και είναι σε θέση να την εφαρμόζουν με έγκυρο τρόπο. Ωστόσο, οι τιμές των συντελεστών

συσχέτισης, οι οποίες κυμαίνονται ανάμεσα στο 0.27 και το 0.64 δεν είναι ιδιαίτερα ψηλές (MO=0.39). Συνεπώς, η τάση που υπάρχει για την εμφάνιση του συγκεκριμένου μοτίβου απάντησης δεν είναι έντονη και αυτό υπονοεί την παρουσία ενός ικανά μεγάλου αριθμού μαθητών οι οποίοι απάντησαν με τρόπο που δεν ακολουθεί με συνέπεια αυτό το μοτίβο. Η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων επιβεβαιώνει αυτό το στοιχείο καταδεικνύοντας ότι ένα σημαντικό ποσοστό των μαθητών, ενώ διαφώνησε σε επίπεδο αρχής με κάποια από τις εναλλακτικές προσεγγίσεις (29% των πιθανών περιπτώσεων⁶²), υποδεικνύοντας συλλογιστικά στρεβλωμένες πτυχές της, παρέλειψε να υιοθετήσει τη στρατηγική της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση αντίστοιχων καταστάσεων λήψης απόφασης. Στον πίνακα 92 παρουσιάζεται αναλυτικά η συχνότητα και το ποσοστό εμφάνισης αυτών των περιπτώσεων για την κάθε εναλλακτική προσέγγιση, χωριστά. Με εξαίρεση την προσέγγιση της επιλογής της ενδιάμεσης λύσης, σε περίπου 35% των περιπτώσεων οι μαθητές ενώ αναγνώρισαν τον προβληματικό χαρακτήρα μιας εναλλακτικής προσέγγισης δεν εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης για να χειριστούν αντίστοιχες καταστάσεις λήψης απόφασης (MO=32%).

Πίνακας 92: Αριθμός περιπτώσεων όπου προσδιορίστηκε ως λανθασμένη η κάθε εναλλακτική προσέγγιση αλλά δεν επιλέγηκε η βελτιστοποίηση για τη διαχείριση αντίστοιχων καταστάσεων λήψης απόφασης στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α

Εναλλακτική προσέγγιση σύγκρισης πιθανών λύσεων	N	%
Επιλογή της λύσης που υπερτερεί στα περισσότερα κριτήρια	27 (78 ⁶³)	35
Επιλογή λύσης που υπερτερεί στο σημαντικότερο κριτήριο	19 (54)	35
Επιλογή ενδιάμεσης λύσης	2 (26)	8
Επιλογή με βάση την άμεση αριθμητική σύγκριση	14 (36)	39

⁶² Το πλήθος των δυνατών περιπτώσεων προκύπτει από τα άθροισμα των γινομένων του (α) πλήθους των μαθητών που διαφώνησαν με το σκεπτικό της κάθε εναλλακτικής προσέγγισης, εστιάζοντας σε συλλογιστικές πτυχές της, με (β) το πλήθος των έργων αξιολόγησης της ομάδας Α που περιλαμβάνουν σενάρια λήψης απόφασης που συνάδουν με τη συγκεκριμένη προσέγγιση.

⁶³ Στην παρένθεση φαίνεται ο μέγιστος αριθμός όπου θα μπορούσε να έχει εμφανιστεί το συγκεκριμένο μοτίβο απάντησης για την καθεμιά από τις εναλλακτικές προσεγγίσεις (γινόμενο του πλήθους των μαθητών που διαφώνησαν με το σκεπτικό της και του πλήθους των έργων αξιολόγησης της ομάδας Α που περιλαμβάνουν σενάρια λήψης απόφασης που ευνοούν την εφαρμογή της συγκεκριμένης εναλλακτικής προσέγγισης).

Ένα συμπέρασμα που απορρέει από αυτό το εύρημα είναι ότι η αναγνώριση του προβληματικού χαρακτήρα μιας προσέγγισης δεν οδηγεί αυτόματα στην υιοθέτηση της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Μια πιθανή ερμηνεία για αυτό συνδέεται με την τάση των μαθητών να καταφεύγουν εναλλακτικά σε άλλους σχετικούς πρόχειρους κανόνες οι οποίοι επίσης θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στις συγκεκριμένες περιπτώσεις για να υποδείξουν άμεσα και σύντομα τη βέλτιστη λύση. Αυτή η ερμηνεία ενισχύεται από τα αποτελέσματα της συνδυασμένης επεξεργασίας των συνολικών απαντήσεων των μαθητών στα έργα αξιολόγησης Α και Γ. Πιο συγκεκριμένα, για την περαιτέρω επεξεργασία αυτής της ερμηνείας υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στο πλήθος των εναλλακτικών προσεγγίσεων που αναγνωρίστηκαν από τον κάθε μαθητή ως στρεβλωμένες και του πλήθους των καταστάσεων λήψης απόφασης που επέλεξε να προσεγγίσει εφαρμόζοντας τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Για αυτό το σκοπό δημιουργήθηκαν δύο διατακτικές μεταβλητές. Η πρώτη αφορά στην *ικανότητα των μαθητών να επιλέγουν και να εφαρμόζουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση των καταστάσεων λήψης απόφασης* η οποία προέκυψε από το σύνολο των απαντήσεών τους στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α. Ειδικότερα, ο κάθε μαθητής πιστωνόταν με μία μονάδα για το καθένα από τα σενάρια λήψης απόφασης το οποίο διαχειριζόταν εφαρμόζοντας αυτή τη στρατηγική με έγκυρο τρόπο και τεκμηρίωνε την επιλογή του κάνοντας αναφορά στις συνολικές βαθμολογίες που συγκέντρωσαν οι υποψήφιοι περιοχές. Έτσι, οι πιθανές τιμές αυτής της μεταβλητής κυμαίνονται από 0 (δεν εφαρμόστηκε βελτιστοποίηση σε καμιά κατάσταση λήψης απόφασης) σε 5 (εφαρμόστηκε βελτιστοποίηση και στις πέντε καταστάσεις λήψης απόφασης). Η δεύτερη μεταβλητή αναφέρεται στην *ικανότητα προσδιορισμού των αδυναμιών που χαρακτηρίζουν τις προτεινόμενες προσεγγίσεις λήψης απόφασης*. Η τιμή αυτής της μεταβλητής για τον κάθε μαθητή προέκυψε από το σύνολο των απαντήσεών του στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Γ. Πιο συγκεκριμένα, κατά αντιστοιχία με την προηγούμενη μεταβλητή, δινόταν μία μονάδα για κάθε εναλλακτική προσέγγιση που έκρινε ως προβληματική ο κάθε μαθητής αιτιολογώντας το σκεπτικό του με αναφορά σε χαρακτηριστικά που περιορίζουν την αξιοπιστία και την εγκυρότητά της. Έτσι, οι πιθανές τιμές που μπορούσε να πάρει αυτή η μεταβλητή κυμαίνονται από 0 (στις περιπτώσεις όπου δεν εντοπίστηκε ο προβληματικός χαρακτήρας καμιάς από τις εναλλακτικές επιλογές) και 4 (στις περιπτώσεις όπου κάποιος μαθητής υπέδειξε τις προβληματικές πτυχές όλων των εναλλακτικών προσεγγίσεων). Οι δύο αυτές μεταβλητές εκτέθηκαν σε στατιστική επεξεργασία η οποία κατέδειξε ότι συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό ($\text{Gamma}=0.738, p<0.001$). Αυτό το εύρημα εισηγείται ότι οι μαθητές που ήταν σε θέση να εφαρμόσουν με έγκυρο και πλήρη τρόπο τη

βελτιστοποίηση σε περισσότερες καταστάσεις λήψης απόφασης έτειναν επίσης να αναγνωρίζουν περισσότερες συλλογιστικές αδυναμίες των εναλλακτικών προσεγγίσεων, και αντίστροφα. Συνεπώς, όσο αυξάνεται ο αριθμός των συλλογιστικών στρεβλώσεων που είναι σε θέση να αναγνωρίσουν οι μαθητές στη λήψη απόφασης μειώνεται η πιθανότητα να υποπίπτουν σε αυτές, και, ταυτόχρονα, αυξάνεται η πιθανότητα να εκτιμούν τη βελτιστοποίηση ως μια αποτελεσματική στρατηγική. Αυτό παρέχει εμπειρική στήριξη στον προσανατολισμό της ακολουθίας δραστηριοτήτων για ιδιαίτερη έμφαση στη διδακτική επεξεργασία των μειονεκτημάτων που χαρακτηρίζουν διάφορες εναλλακτικές προσεγγίσεις. Ωστόσο, για να αποφευχθεί τυχόν παρερμηνεία αυτού του προσανατολισμού είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι παρόλο που θεωρείται σημαντική η διαχείριση συγκεκριμένων δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές υιοθετείται ταυτόχρονα η θέση ότι η καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης δεν πρέπει να στηρίζεται αποκλειστικά στην ανάδειξη των αδυναμιών άλλων εναλλακτικών στρατηγικών. Αυτή η θέση θεωρείται προβληματική για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι στηρίζεται στην παραδοχή ότι είναι εφικτό να τύχουν διδακτικού χειρισμού όλες οι πιθανές εναλλακτικές προσεγγίσεις λήψης απόφασης, ώστε να χαρακτηριστούν ως προβληματικές, οδηγώντας τους μαθητές στην υιοθέτηση της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Αυτή η παραδοχή δεν μπορεί να ικανοποιηθεί, αφενός, διότι υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος προσεγγίσεων διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης, και, αφετέρου, διότι όπως καταδεικνύουν τόσο τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας όσο και η ερευνητική βιβλιογραφία γενικότερα (Bereby-Meyer, Assor & Katz, 2004) οι προσεγγίσεις που ακολουθούν οι μαθητές εξαρτώνται από το συγκεκριμένο σε κάθε περίπτωση. Έτσι, η απόρριψη μιας προσέγγισης λήψης απόφασης ως αναξιόπιστης τείνει να περιορίζεται ειδικά στην υπό μελέτη περίπτωση ανά πάσα στιγμή και είναι πιθανό να εκληφθεί (λανθασμένα) ως αποτελεσματική προσέγγιση για τη διαχείριση κάποια άλλης παρόμοιας περίπτωσης. Ο δεύτερος λόγος συνδέεται με τη σημασία της εκτίμησης της στρατηγικής της βελτιστοποίησης ως ενός αξιόλογου μέσου οργάνωσης και συστηματικοποίησης της διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης, ανεξάρτητα από την παρουσία άλλων πιθανών προσεγγίσεων. Αυτό το στοιχείο επανέρχεται στο καταληκτικό μέρος της ενότητας.

7.3.4. Σύνοψη των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών για την αποτελεσματικότητα της ακολουθίας δραστηριοτήτων

Οι απόψεις που εξέφρασαν στο γραπτό ερωτηματολόγιο που συμπλήρωσαν οι δύο εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν στην υλοποίηση των διδασκαλιών, συνάδουν με τα

αποτελέσματα που προέκυψαν μέσα από την επεξεργασία των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές στα διάφορα έργα αξιολόγησης.

Πιο συγκεκριμένα, και οι δύο εκπαιδευτικοί έχουν επισημάνει την αποτελεσματικότητα της ακολουθίας δραστηριοτήτων σε σχέση με την προώθηση της ικανότητας των μαθητών να εφαρμόζουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Ενδεικτικά, παρατίθεται ένα απόσπασμα από τα σχόλια που κατέγραψε ο ένας από τους δύο εκπαιδευτικούς.

«Με την εφαρμογή του διδακτικού υλικού διαπίστωσα πως η κατανόηση και η ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης επιτεύχθηκαν σε ικανοποιητικό βαθμό.» (εκπαιδευτικός 1)

Επιπρόσθετα διαφοροποίησαν ανάμεσα στην ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής και στην εκτίμηση των μαθητών για τη στρατηγική ως μια προσέγγιση που θα ήταν χρήσιμο να υιοθετούν για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης σε προσωπικό επίπεδο και εξέφρασαν αμφιβολίες για το βαθμό στον οποίο προωθήθηκε η δεύτερη πτυχή. Το ακόλουθο παράδειγμα είναι ενδεικτικό αυτής της θέσης.

«Ο στόχος της διδασκαλίας να βοηθήσει τους μαθητές να μάθουν να χρησιμοποιούν τη στρατηγική, νομίζω πως πρέπει να επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό.... Σε σχέση με το πόσο εκτίμησαν τη βελτιστοποίηση ως μια διαδικασία λήψης απόφασης που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν για επίλυση διάφορων προβλημάτων, ίσως να είναι ένα ζήτημα το οποίο να μπορούσαμε να χειριστούμε κι άλλο; Θα μπορούσαν, π.χ. στο τέλος των μαθημάτων, να δοθούν σενάρια λήψης απόφασης στους μαθητές για τα οποία να συζητούνταν τότε θα είχε νόημα να χρησιμοποιηθεί η βελτιστοποίηση και τότε όχι;» (εκπαιδευτικός 2)

Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο που προέκυψε από τα σχόλια του ενός από τους δύο εκπαιδευτικούς αφορά στην καταγραφή στοιχείων της δομής της ακολουθίας δραστηριοτήτων και του διδακτικού σχεδιασμού τα οποία θεώρησε παραγωγικά και χρήσιμα. Ειδικότερα, τα στοιχεία που επισημάνθηκαν περιλαμβάνουν τη σταδιακή αναβάθμιση της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και την ενσωμάτωση των πρόσθετων πτυχών της στο πλαίσιο της διαχείρισης συγκεκριμένων αναγκών που προέκυπταν στους μαθητές κατά την αλληλεπίδραση τους με την ακολουθία δραστηριοτήτων. Στη συνέχεια φαίνεται απόσπασμα από τη σχετική δήλωση ενός από τους εκπαιδευτικούς:

«...Αυτό προέκυψε από την έντονη δυσκολία που αντιμετώπισαν οι μαθητές όταν κλήθηκαν να εξηγήσουν την απόφασή τους στην περίπτωση που τα κριτήρια των επιλογών τους δεν είχαν ξεκάθαρες τιμές όσον αφορούσε στην καλύτερη δυνατή επιλογή [επιλογή υλικού για στέγη]. Η συγκεκριμένη περίπτωση οδήγησε στην ανάγκη εφαρμογής και κατανόησης μιας νέας στρατηγικής που θα τους επέτρεπε να παίρνουν κατάλληλες αποφάσεις σε αντίστοιχες περιπτώσεις. Ακολούθως η συγκεκριμένη στρατηγική άρχισε να γίνεται πιο σύνθετη (αύξηση κριτηρίων, εισαγωγή διαβάθμισης της βαρύτητας) γεγονός που φαίνεται να μην προκάλεσε έντονες δυσκολίες στην εφαρμογή της από τους μαθητές. Αυτό γιατί οι προσθήκες που έγιναν στη συγκεκριμένη στρατηγική μέσω του διδακτικού υλικού αποτέλεσαν στην ουσία λύσεις των προβλημάτων που διαπιστώνονταν από τους μαθητές σε συγκεκριμένα έργα που τέθηκαν. Η επιτυχία της κατανόησης της στρατηγικής έγκειται στη διαβαθμισμένη προσθήκη των χαρακτηριστικών που την αποτελούν μέσω του διδακτικού υλικού (αρχικά μια επιλογή καλύτερη σε όλα τα κριτήρια, στη συνέχεια επιλογές που συγκρούονταν στις τιμές των κριτηρίων, έπειτα αύξηση των κριτηρίων, διαφοροποίηση της βαρύτητας του κάθε κριτηρίου, δοσμένη διαφοροποίηση της βαρύτητας των κριτηρίων και ακολούθως καθορισμός της βαρύτητας από τους μαθητές). Τα εργαλεία που προστέθηκαν στο διδακτικό υλικό – π.χ. λανθασμένες απαντήσεις μαθητών-βοήθησαν στην αντιμετώπιση κάποιων επιπρόσθετων δυσκολιών που παρουσίαζαν οι μαθητές (π.χ. επιλογή μόνο με βάση το πιο ισχυρό κριτήριο, επιλογή μόνο με βάση τα περισσότερα κριτήρια που ικανοποιούνται κλπ).»
(εκπαιδευτικός 1)

Τέλος, ένα πρόσθετο παρεμφερές στοιχείο που μπορεί να αναγνωρισθεί στις δηλώσεις των εκπαιδευτικών αφορά στην ανάγκη που διαπιστώνουν για επέκταση των ευκαιριών που παρέχονται στους μαθητές για εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Στη συνέχεια παρατίθενται δύο αποσπάσματα από τις δηλώσεις των εκπαιδευτικών.

«Το σημείο που φαίνεται να επιδέχεται βελτίωσης είναι η περεταίρω εξάσκηση των μαθητών στην εφαρμογή της βελτιστοποίησης.» (εκπαιδευτικός 1)

«Νιώθω πως οι μαθητές είχαν την ανάγκη να εξασκηθούν περισσότερο στη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Το περιεχόμενο ήταν πολύ χρήσιμο και στην προσπάθειά μου να εντοπίσω κάτι που να χρειάζεται να αφαιρεθεί

δυσκολεύτηκα. Ωστόσο η εφαρμογή της βελτιστοποίησης από τους μαθητές γίνεται μια φορά μόνο σε κάθε ενότητα. Με αυτό τον τρόπο δεν διασφαλίζουμε την τριβή και την εμπειρία όλων των μαθητών με τη στρατηγική της βελτιστοποίησης.» (εκπαιδευτικός 2)

7.3.5. Συζήτηση

7.3.5.α. «Ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης» Vs «Αυθόρμητη επιλογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης»

Το πιο ενδιαφέρον ίσως στοιχείο το οποίο προέκυψε από τα αποτελέσματα της εργασίας, το οποίο χαρακτηρίζεται από δυνατότητα γενίκευσης σε άλλες συναφείς περιοχές έρευνας αναφορικά με την καλλιέργεια συλλογιστικών στρατηγικών, αφορά στη διάσταση που φαίνεται να υπάρχει ανάμεσα στην ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, από τη μια, και στη δυνατότητα εκτίμησης της αξίας και της χρησιμότητάς της, ώστε να επιλέγεται αυθόρμητα ως αποτελεσματική προσέγγιση για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης, από την άλλη. Αυτή η διάσταση φανερώνεται από διάφορες πτυχές των δεδομένων που έχουν παρουσιαστεί προηγουμένως, οι οποίες, επιγραμματικά, περιλαμβάνουν (α) το σημαντικό ποσοστό μαθητών που ενώ ήταν σε θέση να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης όταν τους ζητήθηκε παρέλειψαν να την επιλέξουν αυθόρμητα για να διαχειριστούν τις καταστάσεις λήψης απόφασης, (β) την απουσία συσχέτισης ανάμεσα στην ικανότητα των μαθητών να προσδιορίζουν τη βελτιστοποίηση ως μια αποτελεσματική προσέγγιση διαχείρισης μιας συγκεκριμένης κατάστασης λήψης απόφασης και στο βαθμό στον οποίο την εφάρμοσαν για να διαχειριστούν την ίδια κατάσταση λήψης απόφασης, και (γ) το σχετικά μικρό μέγεθος συντελεστή συσχέτισης ανάμεσα στην ικανότητα προσδιορισμού των προβληματικών στοιχείων που παρουσιάζουν διάφορες προσεγγίσεις και την αυθόρμητη επιλογή της βελτιστοποίησης για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από αυτά τα στοιχεία είναι ότι ο διδακτικός σχεδιασμός που υιοθετήθηκε στην παρούσα εργασία δεν ήταν επαρκής για την προώθηση των σχετικών μαθησιακών επιδιώξεων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διδακτική επεξεργασία στηρίχθηκε σε συγκεκριμένους άξονες οι οποίοι περιλαμβάνουν (α) την ανάδειξη των διαφορετικών παραμέτρων που υπεισέρχονται στις καταστάσεις λήψης απόφασης και χρειάζεται να συντονιστούν (π.χ. διαφοροποίηση στη βαρύτητα και στις κλίμακες μέτρησης των διαθέσιμων πληροφοριών), (β) την αναγνώριση της αδυναμίας των

συμβατικών προσεγγίσεων που χρησιμοποιούν οι μαθητές να χειριστούν αυτή την πολυπλοκότητα, (γ) την εισαγωγή της βελτιστοποίησης ως μιας εναλλακτικής προσέγγισης, και (δ) την καλλιέργεια της ικανότητας των μαθητών να την εφαρμόζουν για να λαμβάνουν αποφάσεις, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι αυτή η διδακτική επεξεργασία δεν μπορεί να θεωρηθεί πλήρης ή επαρκής. Συνεπώς, τα διαθέσιμα δεδομένα εισηγούνται ότι υπάρχουν πρόσθετες αναγκαίες συνθήκες για την εκτίμηση της στρατηγικής της βελτιστοποίησης ως μιας αποτελεσματικής προσέγγισης για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης. Επιπρόσθετα, τα διαθέσιμα δεδομένα παρέχουν ενδείξεις για δύο πιθανές συνθήκες οι οποίες, δυνητικά, μπορούν να συνεισφέρουν στη συμπλήρωση του σκεπτικού του διδακτικού σχεδιασμού.

Η πρώτη αφορά στην ανάγκη για καθοδήγηση των μαθητών, ώστε να αποφεύγουν την αποκλειστική στήριξη στην ενόρασή τους. Παρόλο που το διδακτικό υλικό σχεδιάστηκε εξ αρχής ώστε να καθοδηγεί τους μαθητές να συστηματικοποιούν τη διαδικασία λήψης απόφασης μέσω μιας συγκεκριμένης συλλογιστικής στρατηγικής, τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση εισηγούνται ότι οι μαθητές εξακολουθούν να στηρίζονται υπερβολικά στην ενόρασή τους παρακάμπτοντας την ανάγκη για προσεκτική οργάνωση και επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως μια ένδειξη της δυσκολίας αναφορικά με την επίδραση στο σκεπτικό των μαθητών και την έντονη τάση τους για επικέντρωση στην ενόραση. Ταυτόχρονα, καταδεικνύει την ανάγκη για πρόσθετη διδακτική επεξεργασία και ένα στοιχείο το οποίο χαρακτηρίζεται από δυνητική συνεισφορά σε σχέση με την ικανοποίηση αυτής της ανάγκης συνδέεται με την προώθηση σχετικών μεταγνωστικών δεξιοτήτων, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερος συντονισμός ανάμεσα σε πρόχειρους, διαισθητικούς κανόνες και την αναλυτική επεξεργασία των δεδομένων (Klaczynski, 2005; Amsel, Klaczynski, Johnston, Bench, Close, Sadler & Walker, 2008).

Η δεύτερη πιθανή αναγκαία συνθήκη αφορά στην προώθηση της κατανόησης και της εκτίμησης των μαθητών αναφορικά με την αξία της στρατηγικής της βελτιστοποίησης στη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης. Ειδικότερα, αναμένεται ότι η συνειδητοποίηση από μέρους των μαθητών της δυνητικής συνεισφοράς της βελτιστοποίησης στη συστηματικοποίηση της λήψης απόφασης και της ευρείας εφαρμογής της σε αυθεντικές καταστάσεις λήψης απόφασης αναμένεται ότι θα μπορούσε να διαδραματίσει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια καλλιέργειας της συγκεκριμένης συλλογιστικής στρατηγικής.

Όπως συζητείται στην επόμενη ενότητα, το διδακτικό υλικό αναθεωρήθηκε, ώστε να ενσωματώνει τις δύο συνθήκες που συζητήθηκαν πιο πάνω. Αναμένεται ότι η εφαρμογή του σε περιβάλλοντα τάξης θα παρέχει άμεσες ενδείξεις για το βαθμό στον οποίο επιβεβαιώνεται η επίδραση των δύο συνθηκών και θα συνεισφέρει στη βελτίωση της κατανόησης για τους παράγοντες που χαρακτηρίζουν την αποτελεσματικότητα των διδακτικών επινοήσεων που εστιάζονται σε αυτή την επιδίωξη αλλά και σε άλλες συναφείς επιδιώξεις που σχετίζονται με την καλλιέργεια δεξιοτήτων συλλογισμού.

7.3.5.β. Η θέση και η διδακτική αξία των αρχικών ιδεών των μαθητών στη διδασκαλία

Όπως επισημάνθηκε τόσο στο πλαίσιο της μελέτης των ιδεών των μαθητών κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού (βλ. τέταρτο κεφάλαιο) όσο και στο πλαίσιο της αξιολόγησης των μαθητών πριν από την εφαρμογή του διδακτικού υλικού, οι μαθητές αντιμετώπιζαν συγκεκριμένες, κυρίως συλλογιστικές, δυσκολίες οι οποίες έτειναν να υποσκάπτουν την προσπάθειά τους να διαχειριστούν καταστάσεις λήψης απόφασης. Ένα ενδιαφέρον εύρημα, το οποίο εντοπίστηκε επίσης στην περίπτωση της ενότητας για την ενέργεια, αφορά στην πιθανή συμβολή της αλληλεπίδρασης των μαθητών με το διδακτικό υλικό στη διαμόρφωση λανθασμένων αντιλήψεων ή στην ενδυνάμωση υφιστάμενων στρεβλωμένων πεποιθήσεων. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα σχετίζεται με την προσέγγιση της επιλογής καταλληλότερης λύσης μέσα από την άμεση αριθμητική σύγκριση των δεδομένων για τις δύο υποψήφιες περιοχές, το ποσοστό εμφάνισης της οποίας αυξήθηκε μετά τη διδασκαλία (20% σε σύγκριση με 17% πριν από τη διδασκαλία). Παρόλο που, όπως συζητήθηκε νωρίτερα, αυτή η αύξηση δεν υποδηλοί παλινδρόμηση στο σκεπτικό των μαθητών⁶⁴, υπονοεί ότι, με κάποιο τρόπο, η αλληλεπίδραση των μαθητών με το διδακτικό υλικό ευνόησε την πιθανότητα υιοθέτησης αυτής της στρεβλωμένης προσέγγισης. Μια πιθανή ερμηνεία, που προτάθηκε νωρίτερα, συνδέεται με την έμφαση που δίνεται κατά τη διδασκαλία στην ανάγκη να λαμβάνονται υπόψη όλα τα κριτήρια κατά τη λήψη απόφασης η οποία ενδέχεται να οδήγησε τους μαθητές να θεωρήσουν ότι η άμεση αριθμητική σύγκριση των δύο πιθανών λύσεων σε σχέση με τα δύο κριτήρια ανταποκρινόταν σε αυτή την ανάγκη.

Ένα παρεμφερές στοιχείο το οποίο αξίζει να καταγραφεί αφορά στη δυνατότητα των διαφόρων στρεβλωμένων πεποιθήσεων, που είτε είναι προδιατεθειμένοι να υιοθετούν εξ αρχής οι μαθητές ή καταλήγουν να διαμορφώνουν ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασής

⁶⁴ Οι περισσότεροι από τους μαθητές που κατέληξαν σε αυτή την προσέγγιση μετά τη διδασκαλία είχαν αποφασίσει με βάση ένα μόνο κριτήριο κατά την αρχική αξιολόγηση.

τους με το διδακτικό υλικό, να διαδραματίσουν παραγωγικό ρόλο λειτουργώντας ως ενδιάμεσα βήματα στην πορεία επίτευξης των μαθησιακών επιδιώξεων. Η προσέγγιση της άμεσης σύγκρισης των πιθανών λύσεων αποτελεί και σε αυτή την περίπτωση ένα κατάλληλο παράδειγμα για την ανάδειξη αυτού του στοιχείου. Συγκεκριμένα, η μετάβαση των μαθητών από προσεγγίσεις που στηρίζονται σε ένα μόνο κριτήριο στην προσέγγιση της άμεσης σύγκρισης αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την ανάπτυξη της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Ωστόσο, είναι σημαντικό να τύχει περαιτέρω διδακτικής επεξεργασίας, ώστε να διαφανεί το ιδιαίτερα περιορισμένο εύρος περιπτώσεων στο οποίο αποκτά νόημα και έχει τη δυνατότητα να οδηγήσει σε αξιόπιστες συγκρίσεις. Έτσι, αντί να θεωρηθεί εξ αρχής ως μια προβληματική προσέγγιση θα μπορούσε να αξιοποιηθεί διδακτικά καθοδηγώντας τους μαθητές να εξερευνήσουν τα όρια εφαρμοσιμότητάς της (π.χ. ισχύει μόνο σε περιπτώσεις όπου τα κριτήρια είναι εξίσου σημαντικά, οι μετρήσεις εκφράζονται στην ίδια κλίμακα και το άθροισμά τους μπορεί να ερμηνευθεί με λογικό τρόπο). Ο εντοπισμός περιπτώσεων στις οποίες παύει να οδηγεί σε έγκυρα συμπεράσματα θα μπορούσε να δημιουργήσει την ανάγκη για την επέκτασή της με την εισαγωγή διορθωτικών παραγόντων (π.χ., μετατροπή μετρήσεων σε ενιαία κλίμακα/στάθμιση της βαρύτητας των κριτηρίων), ώστε να αρθούν οι περιορισμοί που πλήττουν την αξιοπιστία της. Έτσι, αντί να προσεγγιστεί ως μια στρεβλωμένη στρατηγική που δεν μπορεί να συνεισφέρει στην αξιόπιστη επιλογή λύσης θα μπορούσε να αξιοποιηθεί παραγωγικά για τη διαμόρφωση ενός πλαισίου για την εισαγωγή και διδακτική επεξεργασία της στρατηγικής της βελτιστοποίησης.

Η θέση που προκύπτει από τα πιο πάνω στοιχεία περιλαμβάνει δυο πτυχές. Η πρώτη συνδέεται με την πιθανότητα της διαμόρφωσης στρεβλωμένων αντιλήψεων ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των μαθητών με το διδακτικό υλικό. Η καταγραφή μη επιδιωκόμενων υποπροϊόντων είναι σημαντική αφού παρέχει τη δυνατότητα αναδιαμόρφωσης και βελτίωσης του διδακτικού σχεδιασμού, ώστε να τυγχάνουν κατάλληλου διδακτικού χειρισμού. Η δεύτερη πτυχή συνδέεται με το δυνητικά χρήσιμο ρόλο των στρεβλωμένων προσεγγίσεων που υιοθετούν οι μαθητές πριν από τη διδασκαλία. Ειδικότερα, σε αντίθεση με τον *a priori* χαρακτηρισμό τους ως προβληματικών στοιχείων που χρειάζεται να αντικατασταθούν προτείνεται η αντιμετώπισή τους, όπου είναι εφικτό, ως δυνητικά παραγωγικών στοιχείων που μπορούν να αποτελέσουν το αφετηριακό πλαίσιο για την επίτευξη των μαθησιακών επιδιώξεων. Αυτή η μετάθεση σκεπτικού, η χρησιμότητα της οποίας αναγνωρίζεται τόσο στη βιβλιογραφία της διδακτικής των φυσικών επιστημών γενικότερα (Hammer, Russ, Mikeska & Scherr, 2008; Smith *et al.*,

1993) όσο και στη βιβλιογραφία για τη διαχείριση της τάσης των μαθητών να στηρίζονται σε διαισθητικούς κανόνες (Stavy & Tirosh, 1996), προωθεί με παραγωγικό τρόπο την εγκαθίδρυση διασυνδέσεων ανάμεσα στις αρχικές ιδέες των μαθητών (στρεβλωμένες προσεγγίσεις επεξεργασίας δεδομένων για εντοπισμό της προτιμητέας λύσης) και τις μαθησιακές επιδιώξεις (συλλογιστική στρατηγική βελτιστοποίησης).

7.3.5.γ. Αξιολόγηση της ικανότητας των μαθητών να εκτιμούν τη συνεισφορά της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης στη λήψη απόφασης και να την εφαρμόζουν.

Όπως επισημάνθηκε προηγουμένως τα δεδομένα υποδεικνύουν μια διάσταση ανάμεσα στην ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και της αυθόρμητης επιλογής της για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης. Η ερμηνεία που προτάθηκε προηγουμένως για αυτή η διάσταση, η οποία θα μπορούσε να ελεγχθεί εμπειρικά μέσα από την εφαρμογή του αναθεωρημένου διδακτικού υλικού σε περιβάλλοντα τάξης, αφορά στην αναποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού να βοηθήσει τους μαθητές να αντιληφθούν τη σημασία της συστηματικοποίησης της διαδικασίας επεξεργασίας των δεδομένων και την περιορισμένη δυνατότητα της ενόρασης να συνεισφέρει προς αυτή την κατεύθυνση. Ένα πρόσθετο στοιχείο το οποίο θα μπορούσε να συνεισφέρει στην περαιτέρω διερεύνηση της διάστασης που έχει παρατηρηθεί αφορά στην προσέγγιση που υιοθετήθηκε για την αξιολόγηση των μαθησιακών επιτευγμάτων. Ένας περιορισμός της προσέγγισης που ακολουθήθηκε ο οποίος αναγνωρίστηκε εκ των υστέρων και θα ήταν χρήσιμο να ληφθεί υπόψη σε μελλοντικές εφαρμογές του διδακτικού υλικού συνδέεται με τη διαφοροποίηση που φαίνεται να υπάρχει ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζαν οι μαθητές τη στρατηγική της βελτιστοποίησης κατά την υλοποίηση των μαθημάτων, από τη μια, και στο πλαίσιο της αξιολόγησης, από την άλλη. Ειδικότερα, η στρατηγική της βελτιστοποίησης έτυχε διδακτικού χειρισμού ως μια συλλογική διεργασία η οποία αποσκοπεί στην επεξεργασία των δεδομένων, ώστε να συστηματικοποιηθεί η λήψη απόφασης. Επιπρόσθετα, ο συλλογικός χαρακτήρας της βελτιστοποίησης αξιοποιήθηκε διδακτικά ως μέσο περιορισμού των στρεβλώσεων λόγω των προκαταλήψεων μεμονωμένων ατόμων και παραγωγικής ενσωμάτωσης της υποκειμενικότητας, ώστε να προσεγγίζεται πολύπλευρα η υπό μελέτη κατάσταση λήψης απόφασης. Από την άλλη, στο πλαίσιο της αξιολόγησης οι μαθητές απάντησαν ατομικά και, επομένως, τα έργα αξιολόγησης στηρίζονται στην παραδοχή ότι οι μαθητές αντιλαμβάνονται πως η στρατηγική της βελτιστοποίησης διατηρεί το νόημά της και σε ατομικό επίπεδο. Αυτή η παραδοχή δεν είναι αυτονόητο ότι ικανοποιείται και τα διαθέσιμα δεδομένα δεν είναι σε θέση να «φωτίσουν» αυτό το

σημείο. Ωστόσο, πρόκειται για μια υπόθεση η οποία μπορεί να εκτεθεί σε εμπειρικό έλεγχο με δυνατότητα να προκύψουν ενδιαφέροντα στοιχεία για τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται οι μαθητές τη λήψη απόφασης και τη στρατηγική της βελτιστοποίησης. Μια πιθανή προσέγγιση που θα μπορούσε να συνεισφέρει στη διαχείριση του περιορισμού της αξιολόγησης περιλαμβάνει τη μαγνητοσκόπηση επεισοδίων κατά τη διδασκαλία όπου οι μαθητές προσπαθούν να χειριστούν καταστάσεις λήψης απόφασης στην ομάδα τους. Αυτό θα επέτρεπε, αφενός, να τεκμηριωθούν σχετικά μαθησιακά επιτεύγματα και, επιπρόσθετα, να καταγραφούν και να τεκμηριωθούν δυσκολίες που υπεισέρχονται και επηρεάζουν δυναμικά την προσπάθεια των μαθητών να χειριστούν καταστάσεις λήψης απόφασης. Επίσης, τα δεδομένα που θα προέκυπταν από αυτή την κατεύθυνση θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στην περαιτέρω διερεύνηση του βαθμού στον οποίο οι μαθητές εκτιμούν την αξία της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και να προσφέρουν χρήσιμες ενδείξεις για το ρόλο αυτής της εκτίμησης (ή της έλλειψής της) στη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης.

7.3.6. Αναθεώρηση ακολουθίας δραστηριοτήτων και διαδικασιών/μέσων αξιολόγησης

Οι ενδείξεις που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων αξιοποιήθηκαν για να καθοδηγήσουν τη διαδικασία αναθεώρησης τόσο του διδακτικού υλικού όσο και των μέσων και διαδικασιών αξιολόγησης, με στόχο τη βελτίωση της αποτελεσματικότητάς τους. Πιο κάτω συζητούνται οι σχετικές αναθεωρήσεις.

7.3.6.α. Αναθεώρηση ακολουθίας δραστηριοτήτων και έργων/διαδικασιών αξιολόγησης

7.3.6.α1. Ενίσχυση του διδακτικού χειρισμού της αξίας της στρατηγικής της βελτιστοποίησης

Μια αναθεώρηση που κρίθηκε χρήσιμη αφορά στον εμπλουτισμό της διδακτικής διαπραγμάτευσης της οποίας τυγχάνει το ζήτημα της αξίας της στρατηγικής της βελτιστοποίησης. Αυτή η αναθεώρηση περιλαμβάνει δύο βασικές συνιστώσες. Η πρώτη συνδέεται άμεσα με την τάση των μαθητών να υπερεκτιμούν την αξιοπιστία της διαίσθησής τους. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η συνιστώσα στοχεύει στην ενίσχυση της προσπάθειας για ανάδειξη των πλεονεκτημάτων που απορρέουν από την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης σε σχέση με τη συστηματικοποίηση της επεξεργασίας των δεδομένων και περιλαμβάνει δύο πτυχές. Η πρώτη αφορά στην προσθήκη σύντομων δραστηριοτήτων οι οποίες προηγούνται της διατύπωσης της απόφασης στην οποία θα έχουν καταλήξει οι μαθητές. Αυτές οι δραστηριότητες περιορίζονται σε σύντομα ερωτήματα τα οποία χρειάζεται να απαντούν οι μαθητές σε συγκεκριμένα σημεία της

επεξεργασίας των καταστάσεων λήψης απόφασης. Πιο συγκεκριμένα, πριν από την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης οι μαθητές καταγράφουν τη λύση που τείνουν να θεωρούν καταλληλότερη αιτιολογώντας το σκεπτικό τους. Ακολούθως, μετά την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης ζητείται να συγκρίνουν τη λύση στην οποία κατέληξαν με τη λύση που ήταν προδιατεθειμένοι να επιλέξουν. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει διάσταση ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις ζητείται από τους μαθητές να την ερμηνεύσουν ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις ζητείται να εξηγήσουν κατά πόσο η ταύτιση στις λύσεις που προέκυψαν (μέσω της διαίσθησης και μέσω της βελτιστοποίησης) πρέπει να θεωρείται δεδομένη ή τυχαία, επισημαίνοντας στοιχεία της συγκεκριμένης κατάστασης λήψης απόφασης που τεκμηριώνουν την απάντησή τους. Αυτά τα ερωτήματα ανάγονται στο μεταγνωστικό επίπεδο και επιδιώκουν κυρίως την ευαισθητοποίηση των μαθητών αναφορικά με τη διάκριση ανάμεσα στις αποφάσεις που λαμβάνονται μέσω της διαίσθησης, από τη μια, και μέσω αναλυτικής επεξεργασίας των δεδομένων, από την άλλη. Αυτό αναμένεται να συνεισφέρει στην αύξηση του βαθμού συνειδητότητας των μαθητών για τις προσεγγίσεις που υιοθετούν όταν επεξεργάζονται καταστάσεις λήψης απόφασης και να τους προετοιμάσει, ώστε να μπορούν να αντιληφθούν τις συνέπειες που απορρέουν για την αξιοπιστία τους. Επίσης, αναμένεται να βοηθήσει στην κατανόηση της διάκρισης ανάμεσα στη σύντομη διαμόρφωση μιας αρχικής άποψης μέσα από πρόχειρη επισκόπηση των δεδομένων, από τη μια, και της λεπτομερούς μελέτης τους με στόχο τη διατύπωση τεκμηριωμένων και εμπειριστατωμένων εισηγήσεων, από την άλλη.

Η δεύτερη πτυχή αφορά στην αξιοποίηση σύνθετων καταστάσεων λήψης απόφασης οι οποίες χαρακτηρίζονται από αυξημένο πλήθος επιλογών και σχετικών κριτηρίων και ευνοούν πολλαπλούς διαισθητικούς κανόνες τους οποίους τείνουν να ενεργοποιούν οι μαθητές. Ο συνδυασμός αυτών των δύο πτυχών αναμένεται να παρέχει ένα κατάλληλο πλαίσιο, ώστε, αφενός, να συζητηθούν οι περιορισμοί της ενόρασης και οι συλλογιστικές στρεβλώσεις στις οποίες είναι επιρρεπής, και, αφετέρου, να αναδειχθεί η αξία της βελτιστοποίησης ως μηχανισμού συστηματικοποίησης της διαχείρισης καταστάσεων λήψης απόφασης και ενίσχυσης της αξιοπιστίας.

Η δεύτερη συνιστώσα, αφορά στην παροχή ευκαιριών στους μαθητές, ώστε να έρθουν σε επαφή με παραδείγματα από την εφαρμογή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης στο πλαίσιο αυθεντικών καταστάσεων που προέρχονται από διάφορους κλάδους. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα, αφορά στην περίπτωση της επιλογής υλικών για την κατασκευή

οργάνων για συλλογή μετεωρολογικών μετρήσεων από την ατμόσφαιρα⁶⁵. Σε αυτή την περίπτωση, χρειάζεται να ληφθούν υπόψη και να συντονιστούν διάφορα κριτήρια όπως το κόστος, η δυνατότητα ανακύκλωσης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση τους και η δυνατότητα αποτελεσματικής λειτουργίας στις συνθήκες που επικρατούν σε μεγάλα υψόμετρα. Ο εμπλουτισμός του διδακτικού υλικού με ένθετα που περιγράφουν τέτοιες περιπτώσεις επιδιώκει να βοηθήσει τους μαθητές να αναγνωρίσουν ότι η στρατηγική της βελτιστοποίησης χρησιμοποιείται εκτενώς σε ένα μεγάλο εύρος τομέων και αυτό αναμένεται να λειτουργήσει ευνοϊκά σε σχέση με την εκτίμησή τους για την αξία της στη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης.

7.3.6.α2. Συστηματικοποίηση της αξιολόγησης προσεγγίσεων λήψης απόφασης

Μια πτυχή της ακολουθίας δραστηριοτήτων που κρίθηκε σκόπιμο να εμπλουτιστεί περιλαμβάνει τη διατύπωση κριτηρίων για την αξιολόγηση της επάρκειας των διαφόρων προσεγγίσεων σύγκρισης εναλλακτικών λύσεων και επιλογής της βέλτιστης λύσης. Ειδικότερα, σε μια προσπάθεια συστηματοποίησης αυτής της διαδικασίας κρίθηκε χρήσιμο να καθοδηγηθούν οι μαθητές, ώστε να αναπτύξουν μια σειρά από κριτήρια τα οποία να εφαρμόζουν στις περιπτώσεις όπου θα εμπλέκονται στην αξιολόγηση προσεγγίσεων λήψης απόφασης. Ενδεικτικά, μερικά από τα κριτήρια που αναμένεται να διατυπώσουν οι μαθητές, με κατάλληλη υποστήριξη και καθοδήγηση, περιλαμβάνουν το βαθμό στον οποίο αγνοείται μέρος των διαθέσιμων δεδομένων και το βαθμό στον οποίο λαμβάνεται υπόψη (και με ποιο τρόπο) τυχόν διαφοροποίηση στη βαρύτητα των κριτηρίων.

7.3.6.α3. Διδακτική αξιοποίηση προσεγγίσεων που τείνουν να ενεργοποιούν οι μαθητές

Σε μερικές περιπτώσεις οι εναλλακτικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν οι μαθητές θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως αφετηριακά πλαίσια εντός των οποίων να εισαχθεί και να τύχει διδακτικής διαπραγμάτευσης η στρατηγική της βελτιστοποίησης. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα σχετικό παράδειγμα αφορά στην προσέγγιση της άμεσης σύγκρισης των αριθμητικών δεδομένων για τις πιθανές λύσεις αγνοώντας τη διαφοροποίηση στην κλίμακα μέτρησής τους. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της πρώτης ενότητας, η οποία περιλαμβάνει μια κατάσταση λήψης απόφασης που θα μπορούσε να προσεγγιστεί (λανθασμένα) με αυτόν τον τρόπο, προτείνεται η παρεμβολή μιας παρεμφερούς δραστηριότητας, η οποία θα παρουσιάζει στους μαθητές μια απλή

⁶⁵ Η ιστοσελίδα <http://www.vaisala.com/weather/products/soundingequipment.html> περιέχει πρόσθετες πληροφορίες για το συγκεκριμένο παράδειγμα.

κατάσταση λήψης απόφασης στην οποία τα κριτήρια μετρούνται στην ίδια κλίμακα και έχουν την ίδια βαρύτητα. Στο πλαίσιο αυτής τα δραστηριότητας οι μαθητές θα μπορούσαν να καθοδηγηθούν ώστε να εντοπίσουν τη διαφορά ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις και να αναγνωρίσουν τις παραμέτρους οι οποίες ενώ καθιστούν τη συγκεκριμένη προσέγγιση κατάλληλη για τη διαχείριση της μιας από τις δύο καταστάσεις λήψης απόφασης, υποσκάπτουν την εγκυρότητα και την αξιοπιστία της στη δεύτερη (διαφοροποίηση στην κλίμακα μέτρησης). Αυτή η προσέγγιση αναμένεται να συνεισφέρει περαιτέρω στην εκτίμηση των μαθητών για την αξία της στρατηγικής της βελτιστοποίησης.

7.3.6.α4. Διαχείριση διαφοροποίησης στη βαρύτητα

Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, μια από τις συγκεκριμένες μαθησιακές επιδιώξεις του διδακτικού υλικού που δεν επιτεύχθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό και θα ήταν χρήσιμο να τύχει πρόσθετης διδακτικής επεξεργασίας αφορά στην ενσωμάτωση της διαφοροποίησης στη βαρύτητα των κριτηρίων. Αυτό το στοιχείο είναι πιο έντονο στην περίπτωση της διαχείρισης της διαφοροποίησης στη βαρύτητα των κριτηρίων όταν προσδιορίζεται απλώς η ιεράρχηση των κριτηρίων, χωρίς πρόσθετες αναφορές στους μεταξύ τους λόγους. Αυτό καθίσταται προφανές, για παράδειγμα, από το σημαντικό ποσοστό μαθητών που κατέληξαν να περιορίζουν τους συντελεστές συσχέτισης που χρησιμοποίησαν στο έργο αξιολόγησης AV σε μια διατακτική κλίμακα με εύρος ίσο με το πλήθος των κριτηρίων. Σε μια προσπάθεια περαιτέρω επεξεργασίας της ακολουθίας δραστηριοτήτων, ώστε να καταστεί πιο αποτελεσματική σε σχέση με αυτή την πτυχή κρίθηκε χρήσιμη η μετάθεση της παρουσίασης της πλήρους εκδοχής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, η οποία περιλαμβάνει στάθμιση των κριτηρίων με βάση τη βαρύτητά τους, από την τρίτη στη δεύτερη ενότητα. Ειδικότερα, προτείνεται η αναθεώρηση της δεύτερης ενότητας (επιλογή οικιακής συσκευής), στην οποία εισάγεται για πρώτη φορά η ιδέα της διαφοροποίησης στη βαρύτητα των κριτηρίων, μέσα από τον εμπλουτισμό της με μια δεύτερη παραλλαγή του σεναρίου λήψης απόφασης που χρησιμοποιείται. Πιο συγκεκριμένα, μετά τη διαχείριση του πρώτου σεναρίου, όπου το ένα από τα τρία κριτήρια καθορίζεται ως δύο φορές πιο σημαντικό από τα υπόλοιπα, προτείνεται η διαχείριση ενός δεύτερου σεναρίου το οποίο θα στηρίζεται στην ίδια κατάσταση λήψης απόφασης αλλά θα διαφοροποιείται σε σχέση με τη βαρύτητα των τριών κριτηρίων και του τρόπου με τον οποίο παρουσιάζεται. Ειδικότερα, μέσα από το σενάριο θα προσδιορίζεται απλώς η ιεράρχηση των τριών κριτηρίων και θα ανατίθεται στους μαθητές η ευθύνη της στάθμισής τους. Αφού αφεθούν αρχικά οι μαθητές να προσεγγίσουν αυτό το σενάριο ελεύθερα, θα εισάγεται, μέσα από την επίδειξή της σε ένα άλλο, απλό συγκεκριμένο, η πτυχή της στρατηγικής της

βελτιστοποίησης που περιλαμβάνει την ανάθεση συντελεστών βαρύτητας. Η ενότητα, θα πρέπει παράλληλα να εμπλουτιστεί με συγκεκριμένες δραστηριότητες που θα καθοδηγούν τους μαθητές να αντιπαραβάλουν τα δύο σενάρια και τις προσεγγίσεις που υιοθετήθηκαν για τη διαχείριση της διαφοροποίησης στη βαρύτητά τους εστιάζοντας στο περιορισμένο εύρος εφαρμογής της πρώτης και την ευελιξία της δεύτερης η οποία επιτρέπει την προσαρμογή της ανάλογα με τις εμφάνσεις της κάθε περίπτωσης.

Ένα άλλο πλεονέκτημα που προκύπτει έμμεσα από τις πιο πάνω αναθεωρήσεις αφορά στην παροχή της ευκαιρίας να εφαρμόσουν οι μαθητές την πλήρη εκδοχή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης σε μια πρόσθετη περίπτωση (επιλογή ηλεκτρικής συσκευής – δεύτερη ενότητα - και επιλογή καυσίμου – τρίτη ενότητα).

7.3.6.α5. Διαχωρισμός της ακολουθίας δραστηριοτήτων σε δύο εκδοχές διαβαθμισμένης δυσκολίας

Σε αντίθεση με την περίπτωση του διδακτικού υλικού για την ενέργεια, τα διαθέσιμα δεδομένα σε αυτήν την περίπτωση δεν παρείχαν οποιεσδήποτε ενδείξεις που να εισηγούνται ότι οι μαθητές έκτης τάξης δημοτικού που συμμετείχαν στην εφαρμογή του διδακτικού υλικού δεν ήταν σε θέση να αλληλεπιδράσουν παραγωγικά με την ακολουθία δραστηριοτήτων, είτε λόγω εξελικτικών περιορισμών είτε λόγω εννοιολογικών ή άλλων προαπαιτούμενων που δεν ικανοποιούνταν. Έτσι, δεν εντοπίστηκαν οποιαδήποτε στοιχεία τα οποία θεωρήθηκε ότι χρειάζεται να εξαιρεθούν από την ακολουθία δραστηριοτήτων και να μετατεθεί η διαχείρισή τους σε επόμενο στάδιο. Ωστόσο, και σε αυτή την περίπτωση, δεδομένου του μεγάλου εύρους ηλικιών στις οποίες απευθύνεται ο αρχικός σχεδιασμός, κρίθηκε χρήσιμος ο διαχωρισμός της ακολουθίας δραστηριοτήτων σε δύο εκδοχές διαβαθμισμένης δυσκολίας. Η πρώτη θα απευθύνεται σε μαθητές που φοιτούν στις ανώτερες βαθμίδες της δημοτικής εκπαίδευσης (Ε' – Στ' τάξη) και η δεύτερη σε μαθητές που φοιτούν στις κατώτερες βαθμίδες της μέσης εκπαίδευσης (Α' – Β' τάξη). Η διαβάθμιση των δύο εκδοχών αφορά κυρίως στο βαθμό της πολυπλοκότητας των σεναρίων λήψης απόφασης που χρησιμοποιούνται και επίσης στο βάθος των συζητήσεων που γίνονται στο πλαίσιο τους. Ειδικότερα, στη δεύτερη εκδοχή (μέση εκπαίδευση) προτείνεται η αναθεώρηση της τρίτης ενότητας (επιλογή καυσίμου για νέο σταθμό παραγωγής ηλεκτρισμού), ώστε να επεκταθεί το σενάριο λήψης απόφασης με ένα πρόσθετο κριτήριο που θα χρειαστεί να ληφθεί υπόψη (κόστος για την ανάπτυξη της απαιτούμενης υποδομής σε κάθε περίπτωση και για τη συντήρησή της) και επίσης να τροποποιηθεί ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζεται το ένα από τα τρία υφιστάμενα

κριτήρια (κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού). Συγκεκριμένα, σε αντίθεση με την πρώτη εκδοχή όπου παρουσιάζονται μετρήσεις που αφορούν άμεσα σε αυτή την παράμετρο, στη δεύτερη εκδοχή προτείνεται να δίνονται, χωριστά, (α) μετρήσεις για την ενεργειακή αξία του καθενός από τα τρία καύσιμα, (β) δεδομένα για το κόστος αγοράς και μεταφοράς τους και (γ) δεδομένα για την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που θα πρέπει να παρέχει ο ηλεκτροπαραγωγός σταθμός. Με αυτό τον τρόπο, αφενός, διαμορφώνεται ένα πιο σύνθετο σενάριο λήψης απόφασης (τρεις επιλογές/τέσσερα κριτήρια), και, αφετέρου, παρέχεται η δυνατότητα για εμπλοκή των μαθητών σε συζήτηση εννοιολογικού περιεχομένου αναφορικά με τη διαφοροποίηση των τριών καυσίμων σε σχέση με τη αποδοτικότητα της μετατροπής της χημικής σε ηλεκτρική ενέργεια.

7.3.6.α6. Αναθεώρηση έργων αξιολόγησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί νωρίτερα, η διαδικασία αξιολόγησης είχε υποστεί εκτεταμένες αναθεωρήσεις μετά την πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού οι οποίες, συνοπτικά, περιέλαβαν τον εμπλουτισμό των δεδομένων με τη διεξαγωγή συνεντεύξεων, την επέκταση των σεναρίων λήψης απόφασης που χρησιμοποιούνται και την προσθήκη δύο καινούριων κατηγοριών έργων αξιολόγησης που εστιάζουν στην ικανότητα των μαθητών να εφαρμόζουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και να κρίνουν δοσμένες εισηγήσεις για την καταλληλότερη επιλογή σε διάφορα σενάρια λήψης απόφασης. Η συνδυασμένη χρήση αυτών των μέσων αποσκοπούσε στην ενίσχυση της ευκρίνειας που επιτυγχάνεται αναφορικά με την περιγραφή της επάρκειας των μαθητών και την ανίχνευση μαθησιακών επιτευγμάτων. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων από τη δεύτερη εφαρμογή του διδακτικού υλικού προέκυψαν πρόσθετες εισηγήσεις για την αναθεώρηση των μέσων συλλογής δεδομένων οι οποίες θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στην περαιτέρω βελτίωσή τους. Σε μερικές περιπτώσεις, οι αναθεωρήσεις θα μπορούσαν επίσης να συνεισφέρουν στην αξιολόγηση της εγκυρότητας των υποθέσεων που έχουν προταθεί σε διάφορες περιπτώσεις κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για την ερμηνεία πτυχών των δεδομένων.

Μια βασική κατεύθυνση στην οποία κινήθηκε η διαδικασία της αναθεώρησης των έργων αξιολόγησης αφορά στον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζονται οι πληροφορίες για τις διάφορες καταστάσεις λήψης απόφασης. Ειδικότερα, η παρουσίαση των δεδομένων σε μορφή πίνακα είναι πιθανό να ενθάρρυνε τους μαθητές να εφαρμόσουν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης και να οδήγησε σε μια τεχνητή αύξηση του ποσοστού των μαθητών που επέλεξαν να την εφαρμόσουν. Παρόλο που τα δεδομένα από τις συνεντεύξεις και τη

συνδυασμένη επεξεργασία των δεδομένων δεν επιβεβαιώνουν αυτό το ενδεχόμενο (π.χ. κάποιοι μαθητές εφάρμοσαν τη στρατηγική της βελτιστοποίησης μόνο σε κάποιες περιπτώσεις) θα ήταν χρήσιμο να τροποποιηθεί η μορφή με την οποία αναπαρίστανται οι πληροφορίες σε κάποια από τα έργα αξιολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο πρώτα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α έχουν τροποποιηθεί, ώστε οι σχετικές πληροφορίες να παρατίθενται σε συνεχές κείμενο. Αυτό αναμένεται ότι θα ενισχύσει την αξιοπιστία της μέτρησης των μαθησιακών επιτευγμάτων και θα ενημερώσει την προσπάθεια ερμηνείας των απαντήσεων των μαθητών και των σχετικών μοτίβων και τάσεων που εμφανίζονται.

Μια δεύτερη αναθεώρηση αφορά στην προσθήκη ενός δεύτερου σκέλους στα έργα αξιολόγησης της ομάδας Α για την καταγραφή της αυτοπεποίθησης που αισθάνονται οι μαθητές για την απόφαση που λαμβάνουν σε κάθε περίπτωση. Ειδικότερα, αυτό το σκέλος αποτελείται από δύο ερωτήματα. Στο πρώτο ζητείται από τους μαθητές να δηλώσουν σε μια διατακτική κλίμακα από το ένα μέχρι το τρία πόσο σίγουροι αισθάνονται για την απόφασή τους (σίγουρος/η, κάπως σίγουρος/η, καθόλου σίγουρος/η) και στο δεύτερο ζητείται να αιτιολογήσουν την απάντησή τους είτε εξηγώντας γιατί αισθάνονται σίγουροι είτε προσδιορίζοντας τα στοιχεία της κατάστασης λήψης απόφασης τα οποία τους δημιουργούν ενδοιασμούς. Η συλλογή δεδομένων για αυτή την πτυχή και τυχόν μεταβολή της ανάμεσα στην αρχική και την τελική αξιολόγηση αναμένεται να παρέχει χρήσιμες και ενδιαφέρουσες ενδείξεις που να συνδέονται με μαθησιακά επιτεύγματα.

Τέλος, μια άλλη αναθεώρηση περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων μέσα από τη μαγνητοσκόπηση των συζητήσεων στις ομάδες καθώς προσπαθούν να χειριστούν καταστάσεις λήψης απόφασης πριν από την εισαγωγή της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και καθώς εξελίσσεται η διδακτική της επεξεργασία. Η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων αυτής της μορφής χαρακτηρίζεται από τεράστια δυνητική συνεισφορά σε σχέση με την τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού και των δυσκολιών που τείνουν να επηρεάζουν τις συζητήσεις ανάμεσα στους μαθητές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΚΤΩ

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αυτό το κεφάλαιο δομείται σε τρεις κύριες ενότητες. Η πρώτη επιχειρεί μια ανακεφαλαίωση των πορισμάτων που προέκυψαν στο πλαίσιο της εργασίας με στόχο να συνοψίσει τις απαντήσεις που διαμορφώθηκαν σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα στα οποία απευθύνθηκε. Η δεύτερη ενότητα παρουσιάζει και συζητά τις πτυχές της συνεισφοράς της εργασίας στα διάφορα επιμέρους ερευνητικά πεδία της διδακτικής των φυσικών επιστημών που συνδέονται με το θεωρητικό της πλαίσιο. Τέλος, η καταληκτική ενότητα παραθέτει και αναλύει συγκεκριμένες εισηγήσεις για μελλοντική έρευνα και για πιθανές κατευθύνσεις στις οποίες θα μπορούσε να επεκταθεί η παρούσα εργασία.

8.1. Ανακεφαλαίωση αποτελεσμάτων της εργασίας

Η παρούσα εργασία εστιάστηκε σε δύο βασικές επιδιώξεις. Η πρώτη περιλαμβάνει την ανάπτυξη διδακτικού υλικού για την προώθηση (α) εννοιολογικής κατανόησης και επιστημολογικής ενημερότητας για την ενέργεια, (β) επάρκειας για βασικές πτυχές της φύσης της επιστήμης και (γ) της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης σε καταστάσεις λήψης απόφασης. Η δεύτερη αφορά στη διαχείριση συγκεκριμένων ερευνητικών ερωτημάτων τα οποία εντάσσονται στο πλαίσιο της ανάπτυξης και της αξιολόγησης του διδακτικού υλικού. Αυτά τα ερευνητικά ερωτήματα μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Τα τρία πρώτα ερωτήματα συνδέονται με την ενίσχυση του διαθέσιμου ερευνητικού υποβάθρου για τις αρχικές ιδέες των μαθητών αναφορικά με τις βασικές μαθησιακές επιδιώξεις του διδακτικού υλικού και τις σχετικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Τα τελευταία δύο ερωτήματα αποσκοπούν να συνεισφέρουν στην υφιστάμενη τεχνογνωσία σχετικά με το βαθμό στον οποίο είναι εφικτή η επίδραση στις αρχικές ιδέες των μαθητών, μέσα από ειδικά σχεδιασμένες διδακτικές επινοήσεις, με στόχο την εξέλιξη και τη βελτίωσή τους. Στη συνέχεια συνοψίζονται, χωριστά για τις δύο κατηγορίες, τα βασικά ευρήματα που έχουν προκύψει.

8.1.1. Αρχικές ιδέες μαθητών και δυσκολίες που αντιμετωπίζουν σε σχέση με τις υπό έμφαση μαθησιακές επιδιώξεις

8.1.1.α. Ο ρόλος της ενέργειας στην (ενιαία) ερμηνεία μεταβολών

8.1.1.α1. Αξιοποίηση της ενέργειας για την ερμηνεία μεμονωμένων μεταβολών

Τα εμπειρικά δεδομένα που προέκυψαν στο πλαίσιο της εργασίας εισηγούνται ότι τόσο οι μαθητές δημοτικού όσο και οι μαθητές γυμνασίου δεν ήταν σε θέση να αξιοποιούν την ενέργεια με έγκυρο και συνεπή τρόπο για να διαμορφώνουν ερμηνείες για μεταβολές σε απλά φυσικά συστήματα. Ειδικότερα, παρά το γεγονός ότι οι μαθητές ήταν ενήμεροι για την άμεση σύνδεση των έργων αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν με την ενέργεια πολύ συχνά απέφευγαν να διατυπώσουν ενεργειακές ερμηνείες και είτε κατέφευγαν σε άλλες έννοιες (π.χ. ηλεκτρικό ρεύμα, δύναμη) είτε πρότειναν φαινομενολογικά προσανατολισμένες ερμηνείες που στηρίζονταν σε συγκεκριμένες διεργασίες που συνέβαιναν στα συστήματα ή σε μεμονωμένα αντικείμενα στα οποία αναγνώριζαν ένα ιδιαίτερο ρόλο (π.χ. η μπαταρία στο ηλεκτρικό σύστημα). Επίσης, στις περιπτώσεις όπου οι μαθητές διατύπωναν ενεργειακές ερμηνείες συχνά περιορίζονταν σε ασαφείς και αόριστες αναφορές στον όρο «ενέργεια». Ένα άλλο ενδιαφέρον εύρημα αφορά στη στενή σύνδεση ανάμεσα στις ενεργειακές ερμηνείες που στηρίχθηκαν στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας και τα φαινομενολογικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων συστημάτων. Ειδικότερα, η εφαρμοσιμότητα της ιδέας της διάδοσης έτεινε να περιορίζεται στα ηλεκτρικά συστήματα στα οποία ήταν εφικτό να διακριθεί η πηγή ενέργειας (π.χ. μπαταρία) ο αποδέκτης ενέργειας (π.χ. ηλεκτρικά πτερύγια) και μια προφανής φυσική σύνδεση ανάμεσά τους (π.χ. καλώδιο). Αντίθετα, στην περίπτωση των μηχανικών συστημάτων τα οποία δεν ικανοποιούσαν αυτή την προδιαγραφή το ποσοστό των απαντήσεων που στηρίχθηκαν στην ιδέα της διάδοσης ενέργειας ήταν σαφώς μειωμένο. Συνεπώς, η σύνδεση ανάμεσα στην ιδιότητα της διάδοσης της ενέργειας και την ερμηνεία μεταβολών έτεινε να προσεγγίζεται με στρεβλωμένο τρόπο ο οποίος αγνοούσε το διαφαινομενολογικό της χαρακτήρα. Τέλος, ένα άλλο αξιοσημείωτο στοιχείο που προέκυψε αφορά στον ιδιαίτερα περιορισμένο αριθμό αναφορών στην ιδιότητα της μετατροπής της μορφής της ενέργειας. Αυτό το στοιχείο βρίσκεται σε αντίφαση με την ιδιαίτερα μεγάλη σημασία που λαμβάνει αυτή η ιδέα στο συμβατικό πρότυπο διδασκαλίας.

8.1.1.α2. Αξιοποίηση της ενέργειας για την ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών

Στην περίπτωση της αξιολόγησης του βαθμού στον οποίο οι μαθητές εκτιμούν το ρόλο της ενέργειας στην ενιαία ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών, τα ερευνητικά δεδομένα ήταν επίσης αποθαρρυντικά. Ειδικότερα, πολύ συχνά οι μαθητές αποτύγχαναν να διατυπώσουν

ενιαίες ερμηνείες, είτε λόγω της αδυναμίας τους να προσδιορίσουν μια διαφαινομενολογική ιδέα που να μπορεί να ανταποκριθεί στο αίτημα της ενοποιημένης ανάλυσης μεταβολών, όπως η ενέργεια, είτε λόγω της πεποίθησής τους ότι δεν μπορεί να υφίσταται μια ενιαία ερμηνεία για εντελώς διαφορετικές μεταβολές.

8.1.1.β. Συλλογιστικές στρατηγικές σύγκρισης πιθανών λύσεων σε καταστάσεις λήψης απόφασης

Τα εμπειρικά δεδομένα που προέκυψαν από την εργασία παρείχαν πρόσθετη εμπειρική στήριξη στη θέση που εκφράζεται στη βιβλιογραφία αναφορικά με την αδυναμία των μαθητών να χειριστούν αποτελεσματικά τη συγκριτική αξιολόγηση των πιθανών λύσεων στο πλαίσιο καταστάσεων λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα και τη στάθμιση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν (Hong & Chang, 2004; Ratcliffe, 1997; Ratcliffe & Grace, 2003; Seethaler & Linn, 2004). Επιπρόσθετα, επέτρεψαν τον προσδιορισμό και περιγραφή των προσεγγίσεων που τείνουν να υιοθετούν οι μαθητές για να συγκρίνουν τις υποψήφιες λύσεις στο πλαίσιο δοσμένων καταστάσεων λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα. Επίσης, κατέδειξαν την αδυναμία των μαθητών να χειριστούν αποτελεσματικά το γνωστικό φορτίο αυτής της διεργασίας. Αυτή η αδυναμία διαφαίνεται στις στρεβλώσεις που χαρακτηρίζουν τις προσεγγίσεις που ακολουθούν και στις πολλαπλές συλλογιστικές και επιστημολογικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν. Ένα άλλο στοιχείο που προέκυψε από τα δεδομένα αφορά στην προσαρμοστικότητα των προσεγγίσεων που υιοθετούν οι μαθητές ανάλογα με τις παραμέτρους (π.χ. πλήθος λύσεων και σχετικών κριτηρίων) που καθορίζουν την υπό μελέτη κατάσταση λήψης απόφασης. Ωστόσο, όπως αναλύθηκε στο τέταρτο κεφάλαιο, αυτή η ευελιξία που επέδειξαν οι μαθητές δεν μπορεί να αξιοποιηθεί ως ένδειξη επάρκειας. Αντίθετα, η απουσία συνοχής στον τρόπο με τον οποίο προσέγγιζαν οι μαθητές τα διάφορα σενάρια λήψης απόφασης σε συνδυασμό με τον ευμετάβλητο χαρακτήρα των τελικών τους αποφάσεων εισηγούνται ότι ο στόχος των μαθητών ήταν να χειριστούν ad hoc την κάθε κατάσταση λήψης απόφασης παρά να επιδείξουν συστηματικότητα και συνέπεια στο σκεπτικό τους.

8.1.1.γ. Αρχικές ιδέες των μαθητών αναφορικά με τις υπό έμφαση πτυχές της φύσης της επιστήμης και τη φύση της ενέργειας

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την αρχική συλλογή δεδομένων κατά την εφαρμογή του διδακτικού υλικού κατέδειξαν ότι τα έργα αξιολόγησης έτειναν να θέτουν τους μαθητές σε ένα ανοίκειο πλαίσιο συζήτησης εστιάζοντας την προσοχή τους σε ζητήματα τα οποία δεν

τους είχαν απασχολήσει ρητά προηγουμένως και για τα οποία εξέφραζαν συνήθως αφελείς αντιλήψεις. Ειδικότερα, οι μαθητές στερούνταν μιας διευκρινισμένης αντίληψης για το περιεχόμενο των όρων «παρατήρηση» και «ερμηνεία παρατήρησης» και αντιμετώπιζαν σημαντικές δυσκολίες να διακρίνουν ανάμεσά τους ενεργοποιώντας συχνά άσχετα κριτήρια (π.χ. οι αιτιολογικοί σύνδεσμοι εκλαμβάνονταν ως ειδοποιά χαρακτηριστικά των επιστημονικών ερμηνειών). Αντίστοιχα, οι μαθητές δυσκολεύονταν να αντιληφθούν το ρόλο της δημιουργικότητας και της επινόησης στην επιστήμη θεωρώντας ότι υποσκάπτουν το κύρος της και συγκρούονται με την αυστηρότητα που διέπει την επιστημονική διεργασία. Τέλος, οι μαθητές δεν ήταν σε θέση να αντιληφθούν την ενέργεια ως μια επινοημένη ιδέα, ενδεχομένως λόγω της αδυναμίας τους να αναγνωρίσουν την επινόηση ως στοιχείο της επιστήμης, γενικότερα. Αυτά τα ευρήματα συνάδουν με την υφιστάμενη τεχνογνωσία για τις επιστημολογικές αντιλήψεις των μαθητών και το βαθμό στον οποίο είναι λογικό να αναμένονται ενημερωμένες αντιλήψεις χωρίς να έχει προηγηθεί ρητός διδακτικός χειρισμός (Lederman, 2007).

8.1.2. Αποτελεσματικότητα του διδακτικού σχεδιασμού και της ακολουθίας δραστηριοτήτων που αναπτύχθηκαν σε σχέση με την προώθηση των μαθησιακών επιδιώξεων

Το τρίτο και το τέταρτο ερευνητικό ερώτημα αφορούν στην αποτελεσματικότητα του διδακτικού σχεδιασμού που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία αναφορικά με τη δυνατότητά του να υλοποιεί τις μαθησιακές επιδιώξεις που είχαν τεθεί. Ειδικότερα, το τρίτο ερώτημα αφορά στην αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο επιτυγχάνει να προωθήσει τις μαθησιακές επιδιώξεις για τις οποίες σχεδιάστηκε και το τέταρτο εστιάζει ειδικά στην καταγραφή είτε δυσκολιών που δεν έχουν τύχει επαρκούς χειρισμού στο πλαίσιο της υλοποίησης του μαθησιακού περιβάλλοντος είτε καινούριων δυσκολιών που εμφανίστηκαν ως υποπροϊόντα της αλληλεπίδρασης των μαθητών με αυτό. Τα ερωτήματα έχουν τύχει αναλυτικού χειρισμού στα δύο προηγούμενα κεφάλαια ενώ στη συνέχεια συνοψίζονται τα κυριότερα ευρήματα που έχουν προκύψει.

8.1.2.α. Διδακτική επεξεργασία ενέργειας

Τα εμπειρικά δεδομένα που προέκυψαν στο πλαίσιο της εφαρμογής και της αξιολόγησης του διδακτικού υλικού για την προώθηση κατανόησης για την ενέργεια, μέσα από τη διερεύνηση των μαθησιακών επιτευγμάτων (βλ. έκτο κεφάλαιο) κατέδειξαν ότι οι μαθητές, σε μεγάλο βαθμό, ήταν σε θέση να αναλύουν μεταβολές σε απλά φυσικά συστήματα κατασκευάζοντας ενεργειακές αλυσίδες για την αναπαράσταση των σχετικών μορφών στις

οποίες αποθηκεύεται και των διεργασιών μέσω των οποίων διαδίδεται η ενέργεια. Επίσης, εισηγούνται τη δυνατότητα των μαθητών να αντιλαμβάνονται τις ιδιότητες της διατήρησης και της υποβάθμισης της ενέργειας και να τις εντάξουν στο ευρύτερο πλαίσιο της ενεργειακής ανάλυσης συστημάτων. Επιπρόσθετα, τα διαθέσιμα δεδομένα έχουν καταδείξει επίσης σημαντικό μαθησιακό όφελος σε σχέση με τη δυνατότητα των μαθητών να αναπτύσσουν στοιχειώδη κατανόηση για βασικές πτυχές της φύσης της ενέργειας. Ειδικότερα, η αλληλεπίδραση των μαθητών με το διδακτικό υλικό επέδρασε θετικά στην ικανότητά τους (α) να διακρίνουν ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία της παρατήρησης, (β) να συνδέουν την παραγωγή ερμηνειών με διεργασίες επινόησης και (γ) να αντιλαμβάνονται την ενέργεια ως μια επινοημένη ιδέα για την ερμηνεία φαινομένων παρά ως κάτι που μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο παρατήρησης. Τέλος, η αξιολόγηση των μαθητών κατέδειξε βελτίωση στην ικανότητά τους να εκτιμούν το ρόλο της ενέργειας στην ενοποιημένη ερμηνεία διαφορετικών μεταβολών.

8.1.2.β. Καλλιέργεια δεξιοτήτων σύγκρισης υποψήφιων λύσεων κατά τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης

Η παρούσα εργασία κατέδειξε ότι είναι εφικτή η επίδραση στην ικανότητα των μαθητών να χειρίζονται με συστηματικό τρόπο τη διαδικασία της σύγκρισης εναλλακτικών επιλογών σε καταστάσεις λήψης απόφασης με στόχο τον εντοπισμό της βέλτιστης λύσης. Ειδικότερα, τα ερευνητικά δεδομένα που προέκυψαν αναφορικά με την αξιολόγηση της εξέλιξης της κατανόησης των μαθητών ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασής τους με το διδακτικό υλικό εισηγούνται ότι η συντριπτική πλειοψηφία τους (91%) ήταν ικανή να εφαρμόζει τη στρατηγική της βελτιστοποίησης με έγκυρο τρόπο ενώ περισσότεροι από τους μισούς (54%) ήταν επίσης σε θέση να επιλέγουν αυθόρμητα αυτή τη στρατηγική για τη διαχείριση των καταστάσεων λήψης απόφασης με τις οποίες είχαν τεθεί αντιμέτωποι στα έργα αξιολόγησης.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι παρά τα ενθαρρυντικά ευρήματα που έχουν προκύψει αναφορικά με την αποτελεσματικότητα του διδακτικού υλικού τα διαθέσιμα δεδομένα παρείχαν επίσης ενδείξεις για πτυχές του διδακτικού σχεδιασμού που δεν λειτούργησαν αποτελεσματικά και ενημέρωσαν τη διαδικασία της αναθεώρησης και βελτιωτικής του ρύθμισης (βλ. έκτο κεφάλαιο για την ενότητα για εννοιολογική και επιστημολογική επεξεργασία της ενέργειας και έβδομο κεφάλαιο αναφορικά με την ενότητα για την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης). Ενδεικτικά, ένα παράδειγμα από την ενότητα της ενέργειας αφορά στην ασαφή διάκριση από μέρους

των μαθητών ανάμεσα στο ρόλο της κινητικής ενέργειας και του μηχανικού έργου στην ενεργειακή ανάλυση συστημάτων. Αντίστοιχα, ένα ενδεικτικό παράδειγμα από την περίπτωση της ενότητας για τη συλλογιστική στρατηγική της βελτιστοποίησης συνδέεται με την αδυναμία σημαντικού μέρους των μαθητών να εκτιμήσουν την αξία της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, ώστε να καταλήγουν να την υιοθετούν αυθόρμητα για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης.

8.2. Συνεισφορά της εργασίας στην ενίσχυση του θεωρητικού πλαισίου

Η συνεισφορά της εργασίας στο ευρύτερο πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες. Η πρώτη συνδέεται με το διδακτικό υλικό που προέκυψε ως προϊόν της εργασίας. Όπως αναλύθηκε στο πρώτο και το δεύτερο κεφάλαιο η καθεμιά από τις μαθησιακές επιδιώξεις στις οποίες εστιάστηκε το διδακτικό υλικό συνδέεται με προκλήσεις, προβλήματα και ανάγκες που καταγράφονται στην ερευνητική βιβλιογραφία της διδακτικής των φυσικών επιστημών. Συνοπτικά, αυτές οι ανάγκες περιλαμβάνουν τη διδακτική επεξεργασία της ενέργειας (ειδικά στη δημοτική εκπαίδευση) και την ενσωμάτωση στοιχείων της φιλοσοφίας της επιστήμης και συλλογιστικών στρατηγικών στη σχολική επιστήμη. Η εμπειρικά και θεωρητικά θεμελιωμένη πρόταση για τη διδακτική επεξεργασία των συγκεκριμένων επιδιώξεων που προέκυψε από την εργασία μπορεί να προσεγγιστεί ως μια συνεισφορά στην ευρύτερη προσπάθεια διαχείρισης των σχετικών προκλήσεων και αναγκών που αντιμετωπίζει η διδακτική των φυσικών επιστημών.

Η δεύτερη συνιστώσα περιλαμβάνει τη συνεισφορά στην ενίσχυση του θεωρητικού πλαισίου της εργασίας, μέσα από τη διερεύνηση των ερωτημάτων στα οποία απευθύνθηκε. Αυτή η συνεισφορά περιλαμβάνει τρεις βασικές πτυχές, οι οποίες συζητούνται σε λεπτομέρεια στη συνέχεια. Η πρώτη αφορά στην ενίσχυση του ερευνητικού υποβάθρου αναφορικά με τις ικανότητες και δυνατότητες μαθητών που δεν έχουν εκτεθεί σε σχετική διδασκαλία, για την καθεμιά από τις μαθησιακές επιδιώξεις. Η δεύτερη εστιάζεται στον εμπλουτισμό της τεχνογνωσίας για τη διδακτική επεξεργασία των μαθησιακών επιδιώξεων. Τέλος, η τρίτη πτυχή αφορά στο ερευνητικό πεδίο της ανάπτυξης διδακτικού υλικού, γενικότερα.

8.2.1. Εμπλουτισμός ερευνητικού υποβάθρου για αρχικές ιδέες μαθητών

Τα ερευνητικά δεδομένα που προέκυψαν στο πλαίσιο της εργασίας έχουν συνεισφέρει στον εμπλουτισμό του υφιστάμενου ερευνητικού υποβάθρου αναφορικά με τον τρόπο με

τον οποίο αντιλαμβάνονται οι μαθητές τις υπό έμφαση μαθησιακές επιδιώξεις χωρίς να έχουν εκτεθεί σε οποιαδήποτε σχετική διδασκαλία, και για τις δυσκολίες στις οποίες τείνουν να υποπίπτουν. Η διερεύνηση και καταγραφή των αρχικών ιδεών και των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές σε σχέση με (α) διάφορες έννοιες των φυσικών επιστημών, (β) επιστημολογικά και φιλοσοφικά στοιχεία και (γ) συλλογιστικές στρατηγικές, χαρακτηρίζεται από σημαντική δυναμική συνεισφορά στο ερευνητικό πεδίο των φυσικών επιστημών. Αυτή η πληροφόρηση αποτελεί μια χρήσιμη προσθήκη στο υφιστάμενο ερευνητικό υπόβαθρο η οποία μπορεί να στηρίξει και να ενημερώσει τόσο τη διδακτική πρακτική αναφορικά με τις σχετικές μαθησιακές επιδιώξεις όσο και ερευνητικές προσπάθειες σχεδιασμού παρεμφερών διδακτικών επινοήσεων.

Δεδομένου ότι η αξιολόγηση των αρχικών ιδεών των μαθητών για τις συγκεκριμένες θεματικές περιοχές (ενέργεια, επιστημολογική επάρκεια και δεξιότητες λήψης απόφασης) έχει απασχολήσει εκτενώς την ερευνητική βιβλιογραφία υπάρχουν δύο σημεία τα οποία χρειάζεται να διευκρινιστούν, ώστε να καταστεί προφανής η συνεισφορά της εργασίας. Το πρώτο συνδέεται με το γεγονός ότι οι αρχικές ιδέες των μαθητών για τις συγκεκριμένες μαθησιακές επιδιώξεις δεν έχουν μελετηθεί προηγουμένως στο τοπικό εκπαιδευτικό σύστημα. Το δεύτερο, και ενδεχομένως σημαντικότερο, αφορά στη διαπίστωση ότι οι συγκεκριμένες πτυχές των θεματικών ενοτήτων στις οποίες έχει εστιαστεί η εργασία, τουλάχιστον στις δύο από τις τρεις περιπτώσεις, έχουν λάβει ιδιαίτερα περιορισμένη (ως καθόλου) προσοχή στη διαθέσιμη ερευνητική βιβλιογραφία, ειδικά στις βαθμίδες εκπαίδευσης στις οποίες απευθύνθηκε. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της ενέργειας, η εργασία επικεντρώθηκε ειδικά στον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνουν οι μαθητές την ενέργεια, και τις ιδιότητές της, στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν μεταβολές σε φυσικά συστήματα και στο βαθμό στον οποίο αντιλαμβάνονται και εκτιμούν το διαφαινομενολογικό και ενοποιητικό της χαρακτήρα. Αντίστοιχα, στην περίπτωση της δεξιότητας της βελτιστοποίησης, η εργασία απευθύνθηκε ειδικά στην καταγραφή και την τεκμηρίωση των στρατηγικών που υιοθετούν αυθόρμητα οι μαθητές για τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων σε καταστάσεις λήψης απόφασης κοινωνικο-επιστημονικού χαρακτήρα και των δυσκολιών από τις οποίες τείνουν να επηρεάζονται. Αυτά τα στοιχεία, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν προσδιοριστεί σαφώς στη μέχρι στιγμής έρευνα στη διδακτική των φυσικών επιστημών.

8.2.2. Εμπλουτισμός διαθέσιμου υποβάθρου για τη διδακτική επεξεργασία των υπό έμφαση μαθησιακών επιδιώξεων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διάφορες πτυχές της συνεισφοράς της εργασίας στην ενδυνάμωση του διαθέσιμου υποβάθρου αναφορικά με τη διδακτική διαχείριση των μαθησιακών επιδιώξεων στις οποίες εστιάστηκε η εργασία ή άλλων παρεμφερών επιδιώξεων. Αυτά τα στοιχεία έχουν ήδη αναλυθεί σε λεπτομέρεια στα δύο προηγούμενα κεφάλαια και η συζήτηση που ακολουθεί περιορίζεται στο ρόλο της σύνοψης και της ανακεφαλαίωσης.

8.2.2.α. Συνεισφορά στην υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με τη διδακτική επεξεργασία της ενέργειας

8.2.2.α1. Σημασία της ένταξης της επεξεργασίας της ενέργειας και των ιδιοτήτων της σε ένα συγκροτημένο, λειτουργικό πλαίσιο

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την αξιολόγηση των μαθησιακών επιτευγμάτων κατέδειξαν τη δυνατότητα του διδακτικού υλικού να συνεισφέρει στη βελτίωση της ικανότητάς των μαθητών να διαμορφώνουν ενημερωμένη αντίληψη για τη φύση και το ρόλο της ενέργειας και να αξιοποιούν τις ιδιότητές της στην ανάλυση μεταβολών σε απλά συστήματα. Αυτή η δυνατότητα θα μπορούσε να αποδοθεί, σε μεγάλο βαθμό, στην έμφαση του διδακτικού σχεδιασμού στη διαμόρφωση ενός συγκροτημένου πλαισίου εντός του οποίου να αποκτά νόημα η εισαγωγή της ενέργειας και οι ιδιότητές της και να αναδεικνύεται ο ρόλος τους στην ανάλυση μεταβολών σε συστήματα. Συνεπώς, η αποτυχία των μαθητών να αξιοποιούν την ενέργεια και τις ιδιότητές της για την ερμηνεία απλών μεταβολών, η οποία διαπιστώθηκε κατά την αρχική αξιολόγηση, είναι πιο πιθανό να οφείλεται στην αδυναμία του συμβατικού προτύπου διδασκαλίας να προσδώσει συνοχή και λειτουργικό χαρακτήρα στις διάφορες ενεργειακές ιδέες που εισάγονται παρά να προκύπτει ως συνέπεια της επίδρασης εξελικτικών, γνωστικών και γνωσιακών περιορισμών.

Ένα παρεμφερές στοιχείο που αξίζει να επισημανθεί είναι ότι η στοιχειώδης ανάλυση συστημάτων που προωθήθηκε από το διδακτικό υλικό δεν προϋποθέτει την ποσοτική επεξεργασία τους. Συνεπώς, χωρίς να παραγνωρίζεται το γεγονός ότι η ποσοτική ανάλυση αποτελεί ενδεχομένως την κύρια συνεισφορά της ενέργειας στην ανάλυση συστημάτων, τα δεδομένα παρέχουν πρόσθετη εμπειρική στήριξη στη θέση ότι είναι εφικτό να αναπτυχθεί ένα θεμελιώδες πλαίσιο ποιοτικής ενεργειακής ανάλυσης το οποίο ενώ εξαιρεί αυτή την πτυχή εξακολουθεί να συνεισφέρει στην ανάπτυξη ενός κατάλληλου αφετηριακού

πλαίσιου που έχει τη δυνατότητα περαιτέρω εξέλιξης σε επόμενο στάδιο (Nordine *et al.*, 2006). Αυτό το στοιχείο έχει συζητηθεί σε περισσότερη λεπτομέρεια στο έκτο κεφάλαιο όπου έχει προταθεί μια διαβάθμιση τριών εκδοχών του διδακτικού υλικού οι οποίες προωθούν τη σταδιακή εμπάθμιση και ενσωμάτωση πρόσθετων πτυχών, περιλαμβανομένης της ποσοτικής ανάλυσης.

8.2.2.α2. Η επιστημολογική συζήτηση ως μέσο διδακτικής επεξεργασίας της φύσης της ενέργειας

Όπως συζητήθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, ο βαθμός στον οποίο είναι εφικτός ο διδακτικός χειρισμός της φύσης της ενέργειας, στην πρωτοβάθμια (ή ακόμη και στη δευτεροβάθμια) εκπαίδευση αποτελεί ένα στοιχείο που συζητείται στη σχετική ερευνητική βιβλιογραφία (Duit, 1987; Millar, 2000; Nordine *et al.*, 2006; Warren, 1982). Τα δεδομένα που προέκυψαν από την εργασία προτείνουν ότι είναι εφικτό να βοηθηθούν οι μαθητές να αντιληφθούν την ενέργεια ως μια επινοημένη ιδέα η οποία αποσκοπεί στην ερμηνεία φαινομένων. Ειδικότερα, ο διδακτικός σχεδιασμός που αναπτύχθηκε εστιάστηκε στην προώθηση της ιδέας ότι η επιστημονική γνώση αναφέρεται τόσο σε εμπειρικά παρατηρησιακά δεδομένα όσο και σε θεωρητικούς όρους και ότι και τα δύο αυτά στοιχεία συνεισφέρουν στην επιδίωξη της επιστήμης για κατανόηση της λειτουργίας του φυσικού κόσμου, εξυπηρετώντας διαφορετικούς ρόλους. Σε αυτό το πλαίσιο, η ενέργεια εισάχθηκε ως μια επινοημένη ιδέα, παρά ως ένα άμεσα παρατηρήσιμο (υλικό) αντικείμενο η οποία αποσκοπεί στην (ενιαία) ερμηνεία φαινομένων. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η επιτυχία αυτής της προσέγγισης προϋποθέτει την παράλληλη διαχείριση παρεμφερών επιστημολογικών ζητημάτων (π.χ. η διάκριση ανάμεσα στην παρατήρηση και την ερμηνεία και ο ρόλος της επινόησης στην ερμηνεία παρατηρήσεων), ώστε να διαμορφωθεί ένα κατάλληλο πλαίσιο εντός του οποίου να συζητηθεί η φύση της ενέργειας. Παρόλο που αυτή η αναπαράσταση της φύσης της ενέργειας δεν μπορεί να θεωρηθεί πλήρης λόγω του απλουστευμένου χαρακτήρα της (π.χ. εισάγεται ως μεμονωμένη ερμηνεία παρά ως ένα συγκροτημένο θεωρητικό πλαίσιο) ο οποίος εξαιρεί σημαντικές πτυχές της (π.χ. τον ποσοτικό χαρακτήρα της), θα μπορούσε να διαδραματίσει παραγωγικό ρόλο καθιστώντας την προσβάσιμη, ως αντικείμενο διδακτικής διαπραγμάτευσης, ξεκινώντας από το δημοτικό σχολείο. Ταυτόχρονα, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αυτή η αναπαράσταση πρέπει να προσεγγίζεται ως η αφετηρία της διδακτικής επεξεργασίας της φύσης της ενέργειας, η οποία χρειάζεται να εξελιχθεί περαιτέρω και να εμπλουτιστεί σε επόμενες βαθμίδες, ώστε να ενισχυθεί η επιστημολογική εγκυρότητά της. Η πρόταση που

έχει παρουσιαστεί στο έκτο κεφάλαιο για συνολική διδακτική αντιμετώπιση της ενέργειας προσδιορίζει μια πιθανή πορεία εξέλιξης.

8.2.2.α3. Συνδέσεις με τη συζήτηση για το ρόλο της ιδιότητας της μετατροπής μορφής της ενέργειας στη διδασκαλία

Ένα άλλο ζήτημα για το οποίο προέκυψε χρήσιμη πληροφόρηση από την εργασία αφορά στην ιδιότητα της μετατροπής μορφής της ενέργειας. Τα δεδομένα από την τελική αξιολόγηση των μαθητών, εισηγούνται ότι οι περισσότεροι ήταν σε θέση να αναλύσουν ενεργειακά διάφορα συστήματα προσδιορίζοντας επιτυχώς τις μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης που εμπλέκονται. Συνεπώς, τα δεδομένα εισηγούνται ότι ο κίνδυνος που επισημαίνεται στη βιβλιογραφία (Ellse, 1988; Falk *et al.*, 1983) αναφορικά με τον περιορισμό της συνεισφοράς της ιδέας των μορφών ενέργειας στον εμπλουτισμό της τεχνικής ορολογίας χωρίς να προκύπτει οποιοδήποτε αξιολογικό όφελος στην κατανόηση των μαθητών, μπορεί να παρακαμφθεί μέσα από τη διασφάλιση ενός συγκροτημένου πλαισίου στο οποίο εισάγεται και αποκτά νόημα και ρόλο στην ανάλυση συστημάτων.

Ένα άλλο στοιχείο που συνδέεται δυνητικά με αυτή τη συζήτηση αφορά στη διαπίστωση ότι οι μαθητές που ήταν σε θέση να αναλύσουν ενεργειακά τα συστήματα που τους ζητήθηκε, προσδιορίζοντας τις σχετικές μορφές αποθήκευσης και διεργασίες διάδοσης ενέργειας, παρέλειψαν να αναφερθούν σε οποιαδήποτε περίπτωση στην ιδιότητα της μετατροπής της μορφής της ενέργειας. Αυτό το στοιχείο εισηγείται τη δυνατότητα αποσύνδεσης, στο πλαίσιο της διδασκαλίας, ανάμεσα στις ιδιότητες της ενέργειας, αφενός, να μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη, και, αφετέρου, να εμφανίζεται σε διάφορες μορφές. Παρά το γεγονός ότι δεν απορρέουν προφανείς και άμεσες συνέπειες για τη διδασκαλία και τη μάθηση για την ενέργεια, δεδομένου ότι η διδακτική αξία της ιδιότητας της μετατροπής μορφής της ενέργειας αποτελεί ένα ζήτημα αντιπαράθεσης στη σχετική βιβλιογραφία (Duit, 1986, 1987; Falk *et al.*, 1983; Kaper & Goedhart, 2002; Lehrman, 1973; Ogborn, 1986; Solomon, 1992) η αποσύνδεση ανάμεσα στις δύο ιδιότητες μπορεί να αποτελέσει μια χρήσιμη προσθήκη στην ευρύτερη συζήτηση και να έχει δυνητική συνεισφορά στον επαναπροσδιορισμό των σχετικών θέσεων που εκφράζονται.

8.2.2.α4.. Δυνατότητα διδακτικής διαχείρισης της ενέργειας ως αποθηκευμένης σε συστήματα αντικειμένων

Τα δεδομένα που προέκυψαν από την εργασία θέτουν υπό αμφισβήτηση τη δυνατότητα αποτελεσματικής διδακτικής διαπραγμάτευσης της ιδέας της αποθήκευσης της ενέργειας

σε συστήματα αντικειμένων στο δημοτικό σχολείο. Ειδικότερα, ο διδακτικός σχεδιασμός που ενσωματώθηκε στο διδακτικό υλικό, ο οποίος στηρίχθηκε στην ανάδειξη του αναγκαίου ρόλου των μερών του συστήματος που συμμετέχουν στην αποθήκευση της ενέργειας (π.χ. οξυγόνο και καύσιμο/τροφή στην περίπτωση της χημικής δυναμικής ενέργειας) δεν είναι επαρκής για να βοηθήσει τους μαθητές να αντιληφθούν την ανάγκη να αντιμετωπίζουν την ενέργεια ως αποθηκευμένη σε συστήματα. Αυτό καθίσταται προφανές, για παράδειγμα, από την τάση των μαθητών να αποδίδουν την αποθήκευση της χημικής ενέργειας στα καύσιμα (ή στην τροφή) υποβαθμίζοντας το ρόλο του οξυγόνου σε μια παρεμφερή λεπτομέρεια (βλ. έκτο κεφάλαιο). Η ερμηνεία που προτάθηκε στο έκτο κεφάλαιο για την αποτυχία του διδακτικού χειρισμού αφορά στην αδυναμία παροχής στήριξης προς τους μαθητές, ώστε να αντιληφθούν τα εμπειρικά προβλήματα που προκύπτουν από την αντιμετώπιση της ενέργειας ως αποθηκευμένης σε μεμονωμένα αντικείμενα. Τα σημαντικά προαπαιτούμενα που θέτει η ανάδειξη εμπειρικών προβλημάτων περιορίζουν την πιθανότητα επιτυχούς διαχείρισης της ιδέας της αποθήκευσης της ενέργειας σε συστήματα αντικειμένων.

Εκτός από την αναγνώριση της ανεπάρκειας του συγκεκριμένου διδακτικού χειρισμού, ένα δεύτερο στοιχείο που προκύπτει από την εργασία συνδέεται με τη διαμόρφωση μιας πρότασης για τη διάκριση των διαφόρων μορφών αποθήκευσης ενέργειας σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο θα ήταν χρήσιμο να προσεγγίζονται διδακτικά. Η πρώτη περιλαμβάνει τις μορφές ενέργειας οι οποίες θα ήταν αποδεκτό να εισαχθούν, σε μακροσκοπικό επίπεδο, ως ιδιότητες μεμονωμένων αντικειμένων (π.χ. ελαστική ενέργεια και κινητική ενέργεια) αποφεύγοντας την αναπαράστασή τους ως ιδιότητες συστημάτων. Οι άλλες δύο κατηγορίες περιλαμβάνουν τις μορφές αποθήκευσης οι οποίες δεν μπορούν να προσεγγιστούν με αυτό τον τρόπο χωρίς σημαντική βλάβη της εγκυρότητας του περιεχομένου. Οι δύο κατηγορίες διαφοροποιούνται μεταξύ τους ανάλογα με το βαθμό στον οποίο ο διδακτικός χειρισμός που αναφέρθηκε προηγουμένως, ο οποίος αξιοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, θα μπορούσε (αν και ανεπαρκής) να θεωρηθεί παραγωγικός. Ειδικότερα, στην πρώτη από αυτές τις κατηγορίες εντάσσονται οι μορφές αποθήκευσης ενέργειας στις οποίες δεν υπάρχουν προφανείς δυσμενείς συνέπειες για τη διεκπεραίωση της ενεργειακής ανάλυσης συστημάτων από την αδυναμία των μαθητών να εκτιμήσουν την ιδέα της αποθήκευσης της ενέργειας σε συστήματα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του συστήματος με το κτύπημα της μπάλας του γκολφ (βλ. έκτο κεφάλαιο), οι μαθητές ήταν σε θέση να αναλύσουν ενεργειακά το σύστημα χωρίς να περιορίζονται από την αδυναμία τους να εκτιμήσουν την ιδέα ότι η χημική ενέργεια

βρισκόταν αποθηκευμένη στο σύστημα τροφής – οξυγόνου. Αντίθετα, στην άλλη κατηγορία εντάσσονται οι περιπτώσεις στις οποίες δεν ικανοποιείται αυτό το κριτήριο καθώς η κατανόηση της αλληλεπίδρασης των μερών που συμμετέχουν στην αποθήκευση της ενέργειας έχει σημαντικές συνέπειες για τις υπόλοιπες πτυχές της ενεργειακής ανάλυσης. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας, η αποτυχία των μαθητών να αντιληφθούν την αλληλεπίδραση ανάμεσα στα δύο σώματα (γη – αντικείμενο) είχε συνέπειες για την εξέλιξη της ενεργειακής ανάλυσης αφού περιόριζε τη δυνατότητα των μαθητών (α) να αντιληφθούν το βάρος ως δύναμη, (β) να αναγνωρίσουν ότι υπάρχει διάδοση ενέργειας μέσω μηχανικού έργου, λόγω της δύναμης του βάρους, και (γ) να εκτιμήσουν ότι κατά την πτώση ενός αντικειμένου, η βαρυτική δυναμική ενέργεια και η κινητική ενέργεια βρίσκονται αποθηκευμένες σε διαφορετικά μέρη του συστήματος (σύστημα γης-αντικείμενο και αντικείμενο, αντίστοιχα). Η διδακτική πρόταση που προκύπτει από την εργασία περιλαμβάνει τον περιορισμό της ενότητας που απευθύνεται σε μαθητές δημοτικού στη διδακτική διαχείριση των δύο πρώτων κατηγοριών μορφών αποθήκευσης ενέργειας και την εξαίρεση της τρίτης μέχρι να διασφαλιστούν οι πτυχές εννοιολογικής κατανόησης που προϋποτίθενται για την επιτυχή διδακτική επεξεργασία των ζητημάτων που υφίστανται.

8.2.2.β. Συνεισφορά στην υφιστάμενη τεχνογνωσία αναφορικά με την καλλιέργεια συλλογιστικών στρατηγικών (λήψης απόφασης)

8.2.2.β1. Διάσταση ανάμεσα στην ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και της αυθόρμητης επιλογής της ως της προτιμητέας προσέγγισης για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης

Το βασικότερο εύρημα που προέκυψε το οποίο χαρακτηρίζεται από γενικευσιμότητα αφορά στη διάσταση που διαπιστώθηκε ανάμεσα στην ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, από τη μια, και την αυθόρμητη επιλογή της ως της προτιμητέας προσέγγισης για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης, από την άλλη. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση των μαθητών κατέδειξαν ότι ενώ ήταν ικανοί να εφαρμόσουν τη στρατηγική όταν τους ζητήθηκε ρητά, ένα σημαντικό ποσοστό τους απέφυγε να την επιλέξει αυθόρμητα προτιμώντας άλλες εναλλακτικές προσεγγίσεις. Αυτό το εύρημα καταδεικνύει ότι η καθοδήγηση των μαθητών να εφαρμόζουν την επιδιωκόμενη συλλογιστική στρατηγική με την παράλληλη ανάδειξη των πλεονεκτημάτων που τη χαρακτηρίζουν συγκριτικά με εναλλακτικές προσεγγίσεις, δεν επαρκούν για να οδηγήσουν τους μαθητές να την υιοθετούν αυθόρμητα. Συνεπώς, υπάρχουν πρόσθετες αναγκαίες συνθήκες, οι οποίες χρειάζεται να εκτίθενται σε διδακτικό

χειρισμό. Στο πλαίσιο της εργασίας έχει διατυπωθεί η υπόθεση ότι δύο πιθανές συνθήκες περιλαμβάνουν την εκτίμηση από μέρους των μαθητών (α) για τους περιορισμούς της ενόρασης και την αδυναμία της να διασφαλίσει αξιόπιστες αποφάσεις και (β) για την αξία της στρατηγικής της βελτιστοποίησης και τη δυναμική της συνεισφοράς στη συστηματικοποίηση της λήψης απόφασης. Η ενσωμάτωση αυτών των διαστάσεων στον υφιστάμενο διδακτικό σχεδιασμό, όπως προτάθηκε στο έβδομο κεφάλαιο, θα μπορούσε να ενδυναμώσει την επάρκεια των μαθητών σε μετα-στρατηγικό επίπεδο.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι παρόλο που η πιο πάνω συζήτηση έχει περιοριστεί στην περίπτωση της στρατηγικής της βελτιστοποίησης, θα μπορούσε να εφαρμόζει σε περιπτώσεις όπου οι μαθησιακές επιδιώξεις περιλαμβάνουν άλλες συλλογιστικές στρατηγικές (π.χ. έλεγχος μεταβλητών κ.τ.λ.).

8.2.3. Συνέπειες για την ανάπτυξη διδακτικού υλικού για την προώθηση της μάθησης στις φυσικές επιστήμες

8.2.3.α Ανάγκη για ρητό διδακτικό χειρισμό συλλογιστικών στρατηγικών και επιστημολογικής επάρκειας για τη φύση της επιστήμης

Η μάθηση στην επιστήμη αναγνωρίζεται ως ένα σύνθετο και πολυδιάστατο οικοδόμημα το οποίο αναλύεται σε μια σειρά από συνιστώσες που εκτείνονται πέρα από την εννοιολογική κατανόηση. Ανάμεσα σε αυτές τις συνιστώσες περιλαμβάνονται η επιστημολογική ενημερότητα για τη φύση της επιστήμης και της επιστημονικής γνώσης και η ικανότητα εμπλοκής σε διεργασίες διερώτησης. Μια συνεισφορά της εργασίας σε αυτή την κατεύθυνση περιλαμβάνει τον εμπλουτισμό του υφιστάμενου ερευνητικού υποβάθρου με πρόσθετα δεδομένα που φανερώνουν τις επιπτώσεις που απορρέουν από την αποτυχία της συμβατικής διδακτικής πρακτικής, η οποία συνήθως επικεντρώνεται αποκλειστικά στο εννοιολογικό περιεχόμενο αποφεύγοντας τη ρητή διδακτική διαχείριση των υπόλοιπων συνιστωσών (Kesidou & Roseman, 2002; NRC, 2007). Ειδικότερα, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η αξιολόγηση των αρχικών ιδεών των μαθητών για τα επιστημολογικά ζητήματα στα οποία εστιάστηκε η εργασία και για τις συλλογιστικές στρατηγικές που ακολουθούν για την επεξεργασία δεδομένων σε καταστάσεις λήψης απόφασης κατέδειξε την αδυναμία τους να αλληλεπιδράσουν με τα έργα αξιολόγησης με ενημερωμένο και έγκυρο τρόπο και την τάση τους να υποπίπτουν σε διάφορες σχετικές δυσκολίες. Αυτά τα δεδομένα ενισχύουν το επιχείρημα που διατυπώνεται στη βιβλιογραφία ότι οι δεξιότητες συλλογισμού και η κατανόηση για τη φύση της επιστήμης δεν προκύπτουν αυθόρμητα αλλά απαιτούν ρητό διδακτικό χειρισμό (Boudreaux *et al.*, 2007; Duggan & Gott, 2002;

Duggan *et al.*, 1996; Duggan & Gott, 1995; Kuhn, 2009; Meichtry, 1992; Sandoval & Morrison, 2003). Ταυτόχρονα, σε συμφωνία με άλλες ερευνητικές εργασίες, εισηγούνται ότι με κατάλληλο διδακτικό χειρισμό είναι εφικτό να προωθηθούν με επιτυχία μαθησιακές επιδιώξεις που εμπίπτουν σε αυτές τις συνιστώσες (Adey & Shayer, 1993; Akerson & Volrich, 2006; Chen & Klahr, 1999; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Khishfe & Lederman, 2006; Zohar, 2000).

8.2.3.β. Έμφαση στη διασφάλιση συμβατότητας με την επιστημολογία της μάθησης στις φυσικές επιστήμες

Μια ανάγκη που επισημαίνεται στη βιβλιογραφία για τη διδακτική των φυσικών επιστημών αφορά στη στροφή από διδακτικές προσεγγίσεις (και διδακτικό υλικό) που επικεντρώνονται αποκλειστικά στο εννοιολογικό περιεχόμενο των φυσικών επιστημών προς μαθησιακά περιβάλλοντα που ανταποκρίνονται στην πολυδιάστατη δομή της μάθησης στις φυσικές επιστήμες εστιάζοντας σε μαθησιακές επιδιώξεις που διατρέχουν τις επιμέρους συνιστώσες της (NRC, 2007). Αυτή η στροφή συνδυάζεται με τον περιορισμό της διδακτέας ύλης σε «κεντρικές ιδέες»⁶⁶ και την παροχή ευκαιριών εμπάθυνας και εκτεταμένης διδακτικής επεξεργασίας (Duschl & Grandy, 2008; NRC, 2007). Μια θέση που διατυπώνεται ενάντια σε αυτή την εισήγηση είναι ότι η υλοποίηση αυτής της στροφής συνεπάγεται τον περιορισμό του εύρους των θεματικών ενοτήτων που τυγχάνουν χειρισμού παραδοσιακά. Το προφανές αντεπιχείρημα που θα μπορούσε να αντιταχθεί σε αυτή την θέση αφορά στον επιστημολογικά στρεβλωμένο τρόπο με τον οποίο προσεγγίζει τη μάθηση στις φυσικές επιστήμες, αφού αγνοεί βασικές της συνιστώσες περιορίζοντάς την στο εννοιολογικό περιεχόμενο. Ένα πρόσθετο επιχείρημα συνδέεται με την αποτυχία του να προωθήσει τόσο τις συνιστώσες της μάθησης που αγνοεί (π.χ. επιστημολογική επάρκεια και συλλογιστικές στρατηγικές), όπως συζητήθηκε προηγουμένως, όσο και την ίδια τη μαθησιακή επιδίωξη για ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης στην οποία επικεντρώνεται, συχνά, όλη η διδακτική προσπάθεια. Η αποτυχία προώθησης εννοιολογικής κατανόησης έχει καταγραφεί με συνέπεια στην ερευνητική βιβλιογραφία (Halloun & Hestenes, 1985; Kim & Pak, 2002; Loverude *et al.*, 2002; McDermott, 1991) και συνάδει επίσης με τα αποτελέσματα της διερεύνησης των αρχικών ιδεών των μαθητών για την ενέργεια, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Τέλος, ένα τρίτο επιχείρημα προκύπτει από πρόσφατα ερευνητικά δεδομένα (Schwartz, Sadler, Sonnert & Tai, 2009) σύμφωνα με τα οποία η επίδοση σε μαθήματα φυσικών επιστημών στην τριτοβάθμια

⁶⁶ Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενέργεια προσδιορίζεται ως μια από αυτές τις κεντρικές ιδέες (big ideas) (NRC, 2007)

εκπαίδευση δεν φαίνεται να ευνοείται από την έκθεση των μαθητών, κατά τη φοίτησή τους στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, σε περιβάλλοντα στα οποία η έμφαση τοποθετείται στο εύρος των ενοτήτων που διδάσκονται. Ειδικότερα, οι μαθητές που είχαν εκτεθεί σε διδακτικά περιβάλλοντα τα οποία κάλυπταν μεγάλο εύρος ενοτήτων χωρίς ιδιαίτερη εμβάθυνση δεν έδειξαν οποιοδήποτε συγκριτικό πλεονέκτημα στην επίδοσή τους έναντι άλλων μαθητών η εκπαίδευση των οποίων είχε περιοριστεί σε σημαντικά μικρότερο αριθμό ενοτήτων στις οποίες είχαν την ευκαιρία να εμβαθύνουν. Αντίθετα, σε μερικές περιπτώσεις κατέληξαν να βρίσκονται σε μειονεκτική θέση.

Η παρούσα εργασία υιοθέτησε εξ αρχής το σκεπτικό της ανάπτυξης μιας εκτεταμένης ενότητας στο θεματικό πλαίσιο της ενέργειας εστιάζοντας στην προώθηση μαθησιακών επιδιώξεων που απευθύνονται ρητά και συστηματικά σε τρεις διαφορετικές συνιστώσες της μάθησης στις φυσικές επιστήμες (εννοιολογική κατανόηση, επιστημολογική επάρκεια για τη φύση της επιστήμης και συλλογιστικές στρατηγικές). Ειδικότερα, ο σχεδιασμός που υλοποιήθηκε για τη διδακτική διαχείριση της ενέργειας επιχείρησε να προωθήσει με συνδυασμένο και ενιαίο τρόπο την ικανότητα των μαθητών να αξιοποιούν τις ιδιότητές της για την ανάλυση μεταβολών σε συστήματα και την επιστημολογική τους ενημερότητα για τη φύση της ενέργειας και το ρόλο και την αξία της στην επιστήμη. Η διαπλοκή των δύο αυτών μαθησιακών επιδιώξεων είχε ως στόχο να παρέχει ένα κατάλληλο πλαίσιο το οποίο, αφενός, θα επέτρεπε την επιστημολογική διαπραγμάτευση της ενέργειας προσδίδοντας συνοχή και ρόλο στις ιδιότητές της, και, αφετέρου, θα προωθούσε την κατανόηση των μαθητών για βασικές πτυχές της φύσης της επιστήμης. Επίσης, η επεξεργασία της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης είχε ενταχθεί στο θεματικό πλαίσιο της ενέργειας, ώστε οι τρεις μαθησιακές επιδιώξεις να αντλούν συνοχή από την ενσωμάτωσή τους στην ίδια θεματική ενότητα. Παρά το γεγονός ότι σε αυτή την περίπτωση δεν υπήρχε άμεση αλληλεπίδραση της καλλιέργειας της συγκεκριμένης στρατηγικής με τις υπόλοιπες υπό έμφαση μαθησιακές επιδιώξεις, εξακολουθεί να αποτελεί ένα παράδειγμα ενοποιημένης διαχείρισης διαφορετικών μαθησιακών επιδιώξεων.

Το διδακτικό υλικό που προέκυψε στο πλαίσιο της εργασίας, σε συνδυασμό με τη θεωρητική και εμπειρική τεκμηρίωση που το συνοδεύουν, θα μπορούσε να κωδικοποιηθεί ως μια δυναμική συνεισφορά της εργασίας αναφορικά με την παροχή ενός ενδεικτικού παραδείγματος που ανταποκρίνεται στο αίτημα της συνδυασμένης διδακτικής διαχείρισης πολλαπλών συνιστωσών της μάθησης στις φυσικές επιστήμες και την ενθάρρυνση ανάλογων ερευνητικών προσπαθειών. Επίσης, ένα παρεμφερές στοιχείο περιλαμβάνει τη

συνεισφορά στην προσπάθεια εμπειρικής τεκμηρίωσης της θέσης ότι το διδακτικό υλικό που σχεδιάζεται ώστε να συνάδει με την επιστημολογική δομή της μάθησης στις φυσικές επιστήμες έχει αυξημένες πιθανότητες επιτυχούς υλοποίησης τόσο της επιδίωξης για εννοιολογική κατανόηση όσο και των υπόλοιπων σχετικών επιδιώξεων, περιλαμβανομένων της επιστημολογικής επάρκειας και των δεξιοτήτων συλλογισμού.

8.2.3.γ. Συνεισφορά στη συστηματικοποίηση της διαδικασίας ανάπτυξης διδακτικού υλικού

Ένα άλλο στοιχείο που θα μπορούσε να κωδικοποιηθεί ως συνεισφορά της εργασίας αφορά στον εμπλουτισμό της τεχνογνωσίας αναφορικά με την ανάπτυξη διδακτικού υλικού στις φυσικές επιστήμες. Μια ανάγκη που φαίνεται να αντιμετωπίζει η ανάπτυξη διδακτικού υλικού ως ερευνητικό πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών περιλαμβάνει την κωδικοποίηση και συστηματοποίηση των πτυχών που πρέπει να περιλαμβάνει και τον προσδιορισμό διαδικασιών και τεχνικών για την υλοποίησή τους. Τα δεδομένα που προέκυψαν από την εργασία χαρακτηρίζονται από δυναμική συνεισφορά προς αυτή την κατεύθυνση αφού επιτρέπουν την απομόνωση και τεκμηρίωση συγκεκριμένων πτυχών του διδακτικού υλικού στις οποίες θα ήταν χρήσιμο να εστιάζεται η διαδικασία της βελτιωτικής ρύθμισής του. Πιο κάτω συζητούνται οι κυριότερες από αυτές τις πτυχές.

8.2.3.γ1. Επάρκεια του διδακτικού σχεδιασμού που υλοποιείται για την επεξεργασία μαθησιακών επιδιώξεων

Ένα στοιχείο το οποίο χρειάζεται να υποβάλλεται σε αξιολόγηση και εμπειρικό έλεγχο, ώστε να διακριβώνεται η αποτελεσματικότητά του είναι ο διδακτικός σχεδιασμός που αναπτύσσεται για την προσέγγιση είτε μιας μαθησιακής επιδίωξης συνολικά είτε μιας συγκεκριμένης πτυχής της. Το σημείο εστίασης αυτού του ελέγχου είναι το σκεπτικό από το οποίο προκύπτει ο διδακτικός σχεδιασμός το οποίο αξιολογείται έμμεσα χρησιμοποιώντας ως ένδειξη την αποτελεσματικότητα της ακολουθίας δραστηριοτήτων μέσω της οποίας υλοποιήθηκε. Ο εμπειρικός έλεγχος έχει τη δυνατότητα να παρέχει ιδιαίτερα σημαντική πληροφόρηση η οποία εκτείνεται από την απλή επικύρωση της εγκυρότητας του σκεπτικού μέχρι την επισήμανση πτυχών του που αποτυγχάνουν να ανταποκριθούν στις μαθησιακές προσδοκίες και την ενημέρωση της διαδικασίας αναθεώρησής του.

Ένα στοιχείο που θα μπορούσε να προκύψει από αυτή την κατεύθυνση περιλαμβάνει την επισήμανση περιπτώσεων όπου ο διδακτικός σχεδιασμός αγνοεί στοιχεία που προϋποτίθενται για την υλοποίηση μιας μαθησιακής επιδίωξης. Αυτή η πληροφόρηση θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για να υποδείξει χρήσιμες αναθεωρήσεις τόσο ως προς τον τρόπο με τον οποίο αναπαρίστανται οι μαθησιακές επιδίωξεις και η δομή τους όσο και ως προς την ακολουθία δραστηριοτήτων. Στην πρώτη περίπτωση οι αναθεωρήσεις θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν την καταγραφή πρόσθετων στοιχείων που προϋποτίθενται για την προώθηση μιας μαθησιακής επιδίωξης ενώ η δεύτερη θα μπορούσε να περιλαμβάνει την παρεμβολή δραστηριοτήτων, ώστε να τυγχάνουν χειρισμού αυτά τα στοιχεία. Για παράδειγμα, η αρχική εκδοχή της ενότητας για την ενέργεια στηρίχθηκε στην παραδοχή ότι οι μελέτες των δύο περιπτώσεων από την ιστορία της επιστήμης (αριστοτελική φυσική και θεωρία του θερμογόνου) επαρκούσε για να παρέχει ένα κατάλληλο πλαίσιο εντός του οποίου να εισαχθεί η ενέργεια ως μια επινοημένη ιδέα που αποσκοπεί στην ερμηνεία φαινομένων. Η πιλοτική εφαρμογή του διδακτικού υλικού κατέδειξε ότι αυτός ο χειρισμός ήταν ανεπαρκής και επεσήμανε την ανάγκη διαχείρισης πρόσθετων ιδεών (π.χ., διάκριση παρατήρησης και ερμηνείας παρατήρησης) ώστε να λειτουργήσουν ως ενδιάμεσα στάδια προετοιμάζοντας τους μαθητές για τη συζήτηση για τη φύση της ενέργειας. Ένα δεύτερο παράδειγμα αφορά στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίστηκε κατά τον αρχικό σχεδιασμό του διδακτικού υλικού η δεξιότητα της βελτιστοποίησης. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα σε αυτή την ενότητα, τα δεδομένα από την αξιολόγηση των μαθητών κατέδειξαν ότι η ικανότητα εφαρμογής της στρατηγικής και η αναγνώριση των πλεονεκτημάτων της στρατηγικής της βελτιστοποίησης έναντι άλλων προσεγγίσεων δεν αποτελεί ικανή συνθήκη για την εκτίμηση της αξίας της και φανέρωσε την ανάγκη για διδακτική διαχείριση παρεμφερών στοιχείων όπως η ανάδειξη της εφαρμοσιμότητάς της σε διάφορους τεχνολογικούς κλάδους και η σημασία της προστασίας έναντι της υπερεκτίμησης της δυνατότητας της ενόρασης να λειτουργεί αξιόπιστα και συστηματικά.

Εκτός από την ανάδειξη περιπτώσεων όπου ο διδακτικός σχεδιασμός αποτυγχάνει να χειριστεί προαπαιτούμενα στοιχεία, και την επακόλουθη αναθεώρηση της ακολουθίας δραστηριοτήτων, ένα άλλο πιθανό προϊόν της αξιολόγησης του διδακτικού σχεδιασμού περιλαμβάνει την υπόδειξη πτυχών του διδακτικού υλικού που υπερβαίνουν τις δυνατότητες των μαθητών και το γνωσιολογικό τους υπόβαθρο. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα αφορά στην περίπτωση του μηχανικού έργου, όπου τα δεδομένα από την αξιολόγηση των μαθησιακών επιτευγμάτων κατέδειξαν ότι η διαχείριση αυτής της

διεργασίας διάδοσης θα ήταν σκόπιμο να περιοριστεί σε συστήματα όπου η μεταβολή στην κινητική κατάσταση ενός αντικειμένου προκύπτει ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασής τους με κάποιο άλλο αντικείμενο με άμεση επαφή (π.χ. σπρώξιμο/τράβηγμα) και να εξαιρεθούν περιπτώσεις όπου η αλληλεπίδραση δεν είναι προφανής (π.χ. τριβή, βάρος). Η πληροφόρηση που προκύπτει από αυτή την κατεύθυνση οδηγεί στον επαναπροσδιορισμό του διδακτικού σχεδιασμού, ώστε να λαμβάνει υπόψη και να εναρμονίζεται με τις εξελικτικές, γνωστικές και γνωσιακές δυνατότητες των μαθητών. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι ενώ σε μερικές περιπτώσεις είναι εφικτό να προκαθοριστεί κατά τον αρχικό σχεδιασμό, με σχετική ακρίβεια, ο βαθμός στον οποίο ικανοποιείται αυτή η προδιαγραφή (π.χ. δεν θα ήταν λογική η επέκταση της ενότητας για την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης στο δημοτικό, ώστε να ενσωματώνει υπολογιστικές πτυχές για τη διαχείριση καταστάσεων λήψης απόφασης σε συνθήκες αβεβαιότητας) συχνά αυτή η απόφαση δεν είναι προφανής και αυτό αναδεικνύει το ρόλο της εμπειρικής έρευνας στη διακρίβωσή της.

8.2.3.γ2. Δυσκολίες που προκύπτουν ως υποπροϊόντα της διδασκαλίας

Συχνά κατά τη δοκιμή διδακτικού υλικού σε περιβάλλοντα τάξης εντοπίζονται δυσκολίες που δεν είχαν προβλεφθεί αρχικά ή δυσκολίες που απορρέουν ως υποπροϊόντα της διδασκαλίας. Όπως έχει συζητηθεί στα δύο προηγούμενα κεφάλαια, τόσο στην ενότητα για την εννοιολογική και επιστημολογική επεξεργασία της ενέργειας όσο και στην ενότητα για την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης τα εμπειρικά δεδομένα κατέδειξαν την επίδραση συγκεκριμένων δυσκολιών οι οποίες δεν είχαν προβλεφθεί αρχικά αλλά εμφανίστηκαν κατά την αλληλεπίδραση των μαθητών με το διδακτικό υλικό υπονομεύοντας την επίτευξη των μαθησιακών επιδιώξεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι συχνά η εμφάνιση των δυσκολιών θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως υποπροϊόν της διδασκαλίας το οποίο απορρέει από το περιθώριο που παρέχεται στους μαθητές να διαστρεβλώσουν πτυχές της ακολουθίας δραστηριοτήτων. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα από την πρώτη ενότητα αφορά στην τάση των μαθητών να αποδίδουν στο μηχανικό έργο (παρά στην κινητική ενέργεια) το ρόλο της αναπαράστασης της επιτάχυνσης ενός αντικειμένου. Ο εντοπισμός τέτοιων δυσκολιών παρέχει ενδείξεις για την επάρκεια του διδακτικού σχεδιασμού και ενημερώνει τη διαδικασία αναθεώρησής του, ώστε να τις λαμβάνει υπόψη και να τις χειρίζεται. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να λαμβάνεται πρόνοια κατά το σχεδιασμό της ακολουθίας δραστηριοτήτων ώστε οι μαθητές να έρχονται αντιμέτωποι με αυτές τις δυσκολίες και να βοηθούνται να τις υπερβαίνουν.

8.2.3.γ3. Έργα αξιολόγησης

Τέλος ένα άλλο στοιχείο στο οποίο θα ήταν χρήσιμο να απευθύνεται η προσπάθεια βελτιωτικής ρύθμισης του διδακτικού υλικού αφορά στην καταλληλότητα των μέσων και των διαδικασιών αξιολόγησης να παρέχουν ενημερωτική πληροφόρηση. Για παράδειγμα, κατά την αρχική εφαρμογή του διδακτικού υλικού της ενέργειας διαπιστώθηκε η περιπλοκή που προκαλούσε το σύστημα με τη λειτουργία του ηλεκτρικού τρυπανιού λόγω της ανάγκης συμπερίληψης του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού στο σύστημα. Αυτή η περιπλοκή κρίθηκε αχρείαστη λαμβάνοντας υπόψη ότι το έργο αξιολόγησης εστιάζει στην αξιολόγηση της ικανότητας των μαθητών να αναλύουν ενεργειακά απλά συστήματα, και έτσι τροποποιήθηκε ώστε να αυξηθεί η πιθανότητα να προκύπτει χρήσιμη πληροφόρηση. Αντίστοιχα, στην περίπτωση της ενότητας για την καλλιέργεια της συλλογιστικής στρατηγικής της βελτιστοποίησης επισημάνθηκε η ανάγκη συλλογής δεδομένων μέσω της μαγνητοσκόπησης των σχετικών συζητήσεων των μαθητών, ώστε να διερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο προσεγγίζουν τη διαδικασία λήψης απόφασης σε επίπεδο ομάδας, παρά ατομικά. Η επάρκεια των μέσων συλλογής δεδομένων δεν πρέπει να θεωρείται δεδομένη αλλά χρειάζεται να επανεξετάζεται και να αναπροσαρμόζεται, ώστε να βελτιώνεται η δυνατότητά τους να παρέχουν χρήσιμη και στοχευμένη πληροφόρηση.

Παρά το γεγονός ότι η συζήτηση των πιο πάνω πτυχών περιορίστηκε στο διδακτικό υλικό που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της εργασίας έχει γενικεύσιμο χαρακτήρα και θα μπορούσε να συνεισφέρει σε μια ευρύτερη προσπάθεια συστηματικοποίησης της διαδικασίας αναθεώρησης του διδακτικού υλικού. Τέλος, χρειάζεται να τονιστεί ότι οι πτυχές που έχουν αναφερθεί δεν εξαντλούν τα πιθανά σημεία εστίασης της διαδικασίας αναθεώρησης του διδακτικού υλικού. Προφανώς, είναι εφικτό να επισημανθούν πρόσθετες πτυχές όπως, για παράδειγμα, οι πρακτικές ή τεχνικές δυσκολίες που μπορεί να προκύπτουν σε περιπτώσεις όπου οι μαθητές εμπλέκονται σε πειραματικές δραστηριότητες.

8.3. Εισηγήσεις για επέκταση της παρούσας εργασίας

8.3.1. Υποβολή της αναθεωρημένης εκδοχής του διδακτικού υλικού σε πρόσθετη διαδικασία βελτιωτικής ρύθμισης

Μια πιθανή κατεύθυνση στην οποία θα μπορούσε να επεκταθεί η παρούσα εργασία περιλαμβάνει την εφαρμογή της αναθεωρημένης εκδοχής του διδακτικού υλικού που έχει προκύψει σε καινούρια περιβάλλοντα τάξης με στόχο να εκτεθεί σε περαιτέρω διαδικασίες βελτιωτικής ρύθμισης. Σε αυτή την κατεύθυνση θα ήταν χρήσιμο να ενσωματωθεί η συλλογή δυναμικών δεδομένων, ώστε να αυξάνεται η πιθανότητα να συλλέγεται πλούσια

πληροφόρηση για την αλληλεπίδραση των μαθητών με την ακολουθία δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, θα ήταν χρήσιμο να συλλέγονται μαγνητοσκοπημένα δεδομένα και να κωδικοποιούνται με στόχο να μελετηθεί σε λεπτομέρεια η αλληλεπίδραση των (ομάδων) μαθητών με το διδακτικό υλικό. Η επεξεργασία δυναμικών δεδομένων χαρακτηρίζεται από τεράστια δυνητική συνεισφορά σε σχέση με τη διακρίβωση στοιχείων του διδακτικού υλικού που λειτουργούν παραγωγικά ή πτυχών που δεν λειτουργούν αποτελεσματικά ή περιπλέκουν την αλληλεπίδραση με τους μαθητές. Αυτά τα δεδομένα επιτρέπουν τη μετάθεση από το ερώτημα «σε ποιο βαθμό μπορεί ο διδακτικός σχεδιασμός να συνεισφέρει στην προώθηση των μαθησιακών επιδιώξεων για τις οποίες σχεδιάστηκε;» στο ερώτημα «ποιες πτυχές του διδακτικού υλικού λειτουργούν παραγωγικά συνεισφέροντας στην εξέλιξη της κατανόησης των μαθητών, ποιες επηρεάζουν δυσμενώς την αλληλεπίδραση μαθητών-διδακτικού υλικού και πώς το ξέρουμε;»

8.3.2. Προσαρμογή του διδακτικού υλικού ώστε να μειωθεί η απόσταση από τις συνθήκες των πραγματικών περιβαλλόντων τάξης

Όπως αναγνωρίστηκε στο τρίτο κεφάλαιο ένα βασικός μεθοδολογικός περιορισμός της εργασίας αφορά στην απόσταση που υπάρχει ανάμεσα στο περιβάλλον στο οποίο εφαρμόστηκε το διδακτικό υλικό στο πλαίσιο της εργασίας και το πραγματικό περιβάλλον τάξης, η οποία απορρέει κυρίως από την παρουσία τριών εκπαιδευτικών στην τάξη. Αυτή η απόσταση έχει δυσμενείς συνέπειες στην αμεσότητα της επικοινωνίας με την τυπική διδακτική πρακτική περιορίζοντας τη δυνατότητα άμεσης μεταφοράς τεχνογνωσίας (Barab, 2006; Collins *et al.*, 2004). Συνεπώς, μετά τη διακρίβωση και την τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού χρειάζεται να ακολουθήσει η περαιτέρω επεξεργασία του διδακτικού σχεδιασμού και η προσαρμογή της διδακτικής προσέγγισης, ώστε να μειωθεί αυτή η απόσταση και οι επιπτώσεις της. Ωστόσο, η διαδικασία της προσαρμογής πρέπει να προσεγγιστεί με συστηματικό και προσεκτικό τρόπο ώστε να διασφαλίζει την πιθανότητα επιτυχούς προώθησης των μαθησιακών επιδιώξεων για τις οποίες σχεδιάστηκε. Επίσης, χρειάζεται να ενταχθεί σε ένα μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο θα συστηματικοποιεί και θα καθοδηγεί τις διάφορες αποφάσεις που χρειάζεται να ληφθούν για ζητήματα όπως ο καθορισμός των σημείων της ακολουθίας δραστηριοτήτων στις οποίες οι εξατομικευμένες συζητήσεις του εκπαιδευτικού με την κάθε ομάδα χρειάζεται να διατηρηθούν, να μεταφερθούν στην ολομέλεια ή να υποκατασταθούν με άλλες διδακτικές στρατηγικές, στην οποία περίπτωση χρειάζεται να εντοπισθούν και να αξιολογηθούν πιθανές στρατηγικές που θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν αυτό το ρόλο.

Παράλληλα με την προσαρμογή του διδακτικού υλικού, ώστε να μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά στους περιορισμούς που θέτουν τα πραγματικά περιβάλλοντα τάξης χρειάζεται να καθοριστεί και να σχεδιαστεί το είδος και το περιεχόμενο της επιμόρφωσης της οποίας θα πρέπει να τυγχάνουν οι εκπαιδευτικοί οι οποίοι θα εφαρμόζουν το διδακτικό υλικό, ώστε να περιορίζεται όσο το δυνατό η πιθανότητα ανεπιθύμητων προσαρμογών οι οποίες είναι ασύμβατες με το σκεπτικό του (lethal mutations) (Brown & Campione, 1996).

8.3.3. Εγκυροποίηση της διαβάθμισης των εκδοχών που έχουν προταθεί για τη συνολική διδακτική επεξεργασία της ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα σε αυτό το κεφάλαιο, μια εισήγηση που λαμβάνει ιδιαίτερη προσοχή στο πεδίο της διδακτικής των φυσικών επιστημών αφορά στην επικέντρωση της διδασκαλίας σε μικρό αριθμό βασικών ιδεών θεμελιώδους σημασίας και τη διαμόρφωση εκτεταμένων ενοτήτων που να περιστρέφονται γύρω από αυτές και να παρέχουν την ευκαιρία για ενδελεχή διδακτική επεξεργασία (Duschl & Grandy, 2008; NRC, 2007). Μια παρεμφερής πτυχή αυτής της εισήγησης περιλαμβάνει το διδακτικό σχεδιασμό διαβαθμίσεων της διδακτικής επεξεργασίας στην οποία εκτίθενται αυτές οι ιδέες, ώστε να παρέχουν τη δυνατότητα σταδιακής εμβάθυνσης (learning progression) (Duncan & Hmelo-Silver, 2009; NRC, 2007). Η παρούσα εργασία επιχείρησε να υιοθετήσει αυτή την αρχή στην περίπτωση της ενέργειας προτείνοντας μια ακολουθία τριών διαβαθμίσεων του διδακτικού υλικού οι οποίες αυξάνουν σταδιακά το βάθος και την έκταση της διδακτικής επεξεργασίας. Μια εισήγηση για επέκταση της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει την περαιτέρω επεξεργασία αυτής της συνολικής πρότασης για τη διδασκαλία της ενέργειας, ώστε, αφενός, να τύχει πιο λεπτομερούς θεωρητικής θεμελίωσης, και, αφετέρου, να εκτεθεί σε εμπειρικό έλεγχο ώστε να διακριβωθεί η επάρκειά της (Wilson, 2009).

8.3.4. Ενίσχυση και θεμελίωση του μεθοδολογικού πλαισίου για την ανάπτυξη διδακτικού υλικού

Η ανάπτυξη και εγκυροποίηση διδακτικού υλικού αναγνωρίζεται ως ένα διακριτό ερευνητικό πεδίο τόσο στη διδακτική των φυσικών επιστημών όσο και σε άλλες περιοχές. Η μέχρι στιγμής ερευνητική δραστηριοποίηση σε αυτό το πεδίο οδήγησε σε αξιόλογα πορίσματα τα οποία μπορούν να ενημερώσουν ερευνητικές προσπάθειες σχεδιασμού διδακτικού υλικού. Δύο ενδεικτικά παραδείγματα, τα οποία έχουν αξιοποιηθεί στην παρούσα εργασία, περιλαμβάνουν την ιδέα της ανάλυσης και διευκρίνισης του περιεχομένου των μαθησιακών επιδιώξεων (Andersson & Bach, 2005; Andersson & Wallin, 2006; Komorek & Duit, 2004) και τη σημασία της δοκιμής και αξιολόγησης του

διδασκτικού υλικού στο περιβάλλον για το οποίο προορίζεται (π.χ. σε περιβάλλοντα τάξης) και της βελτιωτικής ρύθμισής του, ανάλογα με τα εμπειρικά δεδομένα που προκύπτουν (Meheut & Psillos, 2004; McDermott & Shaffer, 1992; Sandoval, 2004; Shaffer & McDermott, 1992). Παρά την πρόοδο που καταγράφεται σε αυτό το πεδίο είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι ακόμη δεν έχει αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μπορεί να καθοδηγεί και να στηρίζει επαρκώς προσπάθειες ανάπτυξης διδασκτικού υλικού. Ένα θεμελιώδες στοιχείο το οποίο δεν έχει αναπτυχθεί σε ικανοποιητικό βαθμό περιλαμβάνει την αποτύπωση των βασικών πτυχών που θα ήταν χρήσιμο να ενσωματώνει η διαδικασία ανάπτυξης διδασκτικού υλικού και τον προσδιορισμό τεχνικών και διαδικασιών μέσω των οποίων θα μπορούσαν να υλοποιηθούν. Στη συνέχεια συζητούνται δύο στοιχεία τα οποία συνδέονται με την παρούσα εργασία και θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως ενδεικτικά παραδείγματα. Το πρώτο αφορά στη διαδικασία της ανάλυσης του περιεχομένου των μαθησιακών επιδιώξεων, η οποία συμβάλλει στη διασφάλιση της συμβατότητας ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται μια μαθησιακή επιδίωξη, μέσω του διδασκτικού σχεδιασμού, και την επιστημολογική δομή της, η οποία ανακλάται στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζεται στα αντίστοιχα ακαδημαϊκά πεδία. Ενώ πρόκειται για μια θεμελιώδη πτυχή της διαδικασίας ανάπτυξης διδασκτικού υλικού, είναι σημαντικό να καταγραφεί η απουσία σαφώς προσδιορισμένων διαδικασιών μέσω των οποίων θα μπορούσε να προωθηθεί με συστηματικό και περιεκτικό τρόπο. Παρόλο που αυτή η απουσία δεν αναιρεί τη σημασία και την ανάγκη να απευθύνεται κανείς σε αυτό το ζήτημα και δεν αποτρέπει τη διαμόρφωση διαδικασιών που θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στην ικανοποίηση αυτής της ανάγκης (π.χ., μελετώντας σχετικά εγχειρίδια από τα αντίστοιχα ακαδημαϊκά πεδία, όπως η ιστορία της επιστήμης στην περίπτωση της ενέργειας, και εκθέτοντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης στην κρίση ακαδημαϊκών με σχετική εξειδίκευση) είναι σημαντικό να αναγνωριστεί η προστιθέμενη αξία που απορρέει από τη σαφή κωδικοποίηση στοιχείων όπως (α) οι βασικές πτυχές της διαδικασίας ανάλυσης του περιεχομένου μαθησιακών επιδιώξεων, (β) οι τεχνικές μέσω των οποίων θα μπορούσε να υλοποιηθεί, (γ) τρόποι αξιολόγησης της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων της, και (δ) μορφές αναπαράστασης και επικοινωνίας των αποτελεσμάτων της.

Ένα δεύτερο παράδειγμα, το οποίο επίσης συνδέεται με την παρούσα εργασία, αφορά στην ανάγκη για τη διαμόρφωση κριτηρίων αξιολόγησης της ικανότητας ενός διδασκτικού μετασχηματισμού να διαδραματίζει παραγωγικό ρόλο στην υποστήριξη της μαθησιακής εξέλιξης. Ειδικότερα, η μεταφορά μιας ιδέας (π.χ. ενέργεια) από το ακαδημαϊκό πεδίο από το οποίο προέρχεται στη σχολική επιστήμη προϋποθέτει μια διαδικασία μετασχηματισμού

η οποία συνήθως περιλαμβάνει απλουστεύεις, ώστε να ανταποκρίνεται στις δυνατότητες των μαθητών. Σε κάθε περίπτωση είναι σημαντικό να διασφαλίζεται ότι η προσπάθεια να καταστεί προσβάσιμη μια ιδέα από τους μαθητές, ώστε να μπορεί να εκτεθεί σε διδακτική διαπραγμάτευση, δεν περιλαμβάνει υπεραπλουστεύσεις οι οποίες επιφέρουν ανεπανόρθωτη βλάβη στην εγκυρότητα του περιεχομένου. Ένα κριτήριο που έχει χρησιμοποιηθεί στην εργασία για να προσεγγιστεί αυτό το ζήτημα περιλαμβάνει την αξιολόγηση της ικανότητας του διδακτικού μετασχηματισμού να εξελιχθεί και να επεκταθεί σε επόμενες βαθμίδες, ώστε να προσεγγίσει περισσότερο τον τρόπο με τον οποίο αναπαρίσταται η υπό έμφαση ιδέα/έννοια στο αντίστοιχο ακαδημαϊκό πεδίο. Για παράδειγμα, ο βαθμός στον οποίο ικανοποιείται αυτό το κριτήριο στην περίπτωση της ενέργειας ανακλάται στην πρόταση για διαβάθμιση τριών εκδοχών του διδακτικού υλικού οι οποίες επεκτείνουν και εμβαθύνουν το περιεχόμενο της διδασκαλίας προάγοντας τη σταδιακή εξέλιξη της απλουστευμένης αναπαράστασης που χρησιμοποιείται για την εισαγωγή της ενέργειας στην πρώτη διαβάθμιση (δημοτικό σχολείο), ώστε να ενσωματώνονται πρόσθετες θεμελιώδεις πτυχές (π.χ. ποσοτικοποίηση ανάλυσης συστημάτων) και να μειώνεται η απόσταση από τον τρόπο με τον οποίο αναπαρίσταται στον κλάδο της φυσικής. Είναι σημαντικό, αφενός, να καταγραφούν και να τεκμηριωθούν πρόσθετα κριτήρια για τον καθορισμό της καταλληλότητας ενός διδακτικού μετασχηματισμού, και, αφετέρου, να κωδικοποιηθούν διαδικασίες μέσω των οποίων αξιολογείται και τεκμηριώνεται η επάρκεια στο κάθε κριτήριο. Παρά τη μέχρι στιγμής δραστηριοποίηση στην περιοχή της ανάπτυξης διδακτικού υλικού στις φυσικές επιστήμες και τα αξιόλογα ευρήματα που έχουν προκύψει η εστίαση ερευνητικών προσπαθειών προς αυτή την κατεύθυνση χαρακτηρίζεται από τεράστια δυνητική συνεισφορά στη θεμελίωση ενός περιεκτικού μεθοδολογικού πλαισίου για τη διαδικασία ανάπτυξης και εγκυροποίησης διδακτικού υλικού και την τεκμηρίωση διδακτικών σχεδιασμών.

Αναφορές

- AAAS (1990). *Project 2061: Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
- AAAS (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: American Association for the Advancement of Science.
- Acar, O., Turkmen, L., & Roychoudhury, A. (in press). Student difficulties in socio-scientific argumentation and decision-making research findings: Crossing the borders of two research lines. *International Journal of Science Education*.
- Adey, P., & Shayer, M. (1993). An exploration of long-term far-transfer effects following an extended intervention program in the high school science curriculum. *Cognition and Instruction, 11*, 1-29.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). TI: The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching, 37*(10), 1057-1095.
- Abd-El-Khalick, F. (2004). Over and over again: College students' views of nature of science. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and the nature of science* (pp. 389-425). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Aikenhead, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science. *Science Education, 69*, 453-475.
- Akerson, V. L., & Volrich, M. L. (2006). Teaching nature of science explicitly in a first-grade internship setting. *Journal of Research in Science Teaching, 43*(4), 377-394.
- Alters, B. J. (1997). Whose Nature of Science? *Journal of Research in Science Teaching, 34*(1), 39-55.
- Amsel, E., Klaczynski, P. A., Johnston, A., Bench, S., Close, J., Sadler, E., & Walker, R. (2008). A dual-process account of the development of scientific reasoning: The nature and development of metacognitive intercession skills. *Cognitive Development, 23*(4), 452-471.
- Andersson, B., & Bach, F. (2005). On designing and evaluating teaching sequences taking geometrical optics as an example. *Science Education, 89*(2), 196-218.
- Andersson, B., & Wallin, A. (2006). On developing content-oriented theories taking biological evolution as an example. *International Journal of Science Education, 28*(6), 673-695.

- Arons, A. (1977). *The various language: An inquiry approach to the physical sciences*. New York: Oxford University Press.
- Arons, A. (1990). *A guide to introductory physics teaching*. New York: Wiley.
- Arons, A. (1999). Development of energy concepts in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 67(12), 1063-1067.
- Arvai, J. L., Campbell, V. E. A., Baird, A., & Rivers, L. (2004). Teaching students to make better decisions about the environment: Lessons from the decision sciences. *The Journal of Environmental Education*, 6(1), 33-44.
- Ault, C. R., Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1988). Constructing vee maps for clinical interviews on energy concepts. *Science Education*, 72(4), 515-545.
- Baldin, S. F. (1942). Energy as the basic concept for a unified interpretation of physical phenomena. *Philosophy of Science*, 9(3), 294-305.
- Bär, A. S., & Huber, O. (2008) Successful or unsuccessful search for risk defusing operators: effects on decision behaviour. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(4), 807-827.
- Barab, S. (2006). Design-based research: a methodological toolkit for the learning scientist. In K. Sawyer (Ed.), *Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 135-151). Cambridge: Cambridge University Press.
- Barnes, E. (1992). *Explanation unification and scientific understanding*. Paper presented at the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association.
- Baron, J., & Brown, R. V. (1991). *Teaching decision making to adolescents*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Baron, J. (2000). *Thinking and deciding* (3rd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Becu-Robinault, K., & Tiberghien, A. (1998). Integrating experiments into the teaching of energy. *International Journal of Science Education*, 20,(1), 99-114.
- Bell, P. L. (2004). On the theoretical breadth of design-based research in education. *Educational Psychologist*, 39(4), 243-253.
- Bell, R. L. (2004). Perusing Pandora's box. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and the nature of science* (pp. 427-446). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bereby-Meyer, Y., Assor, A., & Katz, I. (2004). Children's choice strategies: the effects of age and task demands. *Cognitive Development*, 19, 127-146.
- Beyth-Marom, R., Novik, R., & Sloan, M. (1987). Enhancing children's thinking skills: An instructional model for decision-making under certainty. *Instructional Science*, 16, 215-231.

- Beyth-Marom, R., Fischhoff, B., & Quadrel, M. J. (1991). Teaching decision making to adolescents: A critical review. In J. Baron & R. V. Brown (Eds.), *Teaching decision making to adolescents* (pp. 19-59). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Birnbaum, M. (1998). *Measurement, judgment and decision-making*. San Diego: Academic Press.
- Brewer, W. F., Chinn, C. A., & Samarapungavan, A. (2000). Explanation in scientists and children. In F. C. Keil & R. A. Wilson (Eds.), *Explanation and cognition* (pp. 279-298). Cambridge, MA: MIT Press.
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *Journal of The Learning Sciences*, 2(2), 141-178.
- Boohan, R., & Ogborn, J. (1996). Differences, energy and change: A simple approach through pictures. *School Science Review*, 78(283), 13-19.
- Boudreaux, A., Shaffer, P. S., Heron, P. R. L., & McDermott, L. C. (2007). Student understanding of control of variables: Deciding whether or not a variable influences the behavior of a system. *American Journal of Physics*, 76(2), 163-170.
- Bowden, J., Dall'Alba, G., Martin, E., Laurillard, D., Marton, F., Masters, G., Ramsden, P., Stephanou, A., & Walsh, E. (1992). Displacement, velocity and frames of reference: Phenomenographic studies of students' understanding and some implications for teaching and assessment. *American Journal of Physics*, 60(3), 262-269.
- Bridgman, P. W. (1941). *The Nature of Thermodynamics*. Cambridge: Harvard University Press.
- Brown, A., & Campione, J. (1996). Psychological theory and the design of innovative learning environments: On procedures, principles and systems. In L. Schauble & R. Glaser (Eds.), *Innovations in learning: New environments for education* (pp. 289-325). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Bryman, A., & Cramer, D. (2001). *Quantitative analysis with SPSS release 10 for windows*. New York: Routledge.
- Butterfield, H. (1957). *The origins of modern science*. New York: Macmillan.
- Campbell, N. (1953). *What is science?* New York: Dover Publications, Inc.
- Campbell, N. V., & Laskey, B. K. (1991). Institutional strategy for teaching decision making in schools. In J. Baron & R. V. Brown (Eds.), *Teaching decision making to adolescents* (pp. 297-308). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

- Campbell, V., Lofstrom, J., & Jerome, B. (1997). *Decisions based on science*. Arlington: National Science Teachers Association.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Unger, C., & Jay, E. (1989). An experiment is when you try and see if it works: A study of grade 7 students' understandings of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, *11*, 514-529.
- Carnap, R. (1966). The nature of theories. In M. Gardner (Ed.), *Philosophical foundations of physics: An introduction to the philosophy of science*. New York: Basic Books.
- Cassidy, D. C., Holton, G., & Rutherford, J. F. (2002). *Understanding physics*. New York: Springer.
- Central Association of Science and Mathematics Teachers (1907). A consideration of the principles that should determine the courses in biology in the secondary schools. *School Science and Mathematics*, *7*, 241-247.
- Chalmers, A. F. (1993). *What is this thing called science? An assessment of the nature and status of science and its methods*: University of Queensland Press.
- Chen, A., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child development*, *70*(5), 1098-1120.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & Leeuw, N. D. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, *4*, 27-43.
- Chin-Chung, T. (2004). Conceptions of learning science among high school students in Taiwan: A phenomenographic analysis. *International Journal of Science Education*, *26*(14), 1733-1750.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. (1999). An empirical test of a taxonomy of response to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, *35*(6), 623-654.
- Chisholm, D. (1992). Some energetic thoughts. *Physics Education*, *27*, 215-220.
- Clement, J. (2000). Analysis of clinical interviews: Foundations and model viability. In A. E. Kelly & R. A. Lesh (Eds.), *Handbook of research design in mathematics and science education* (pp. 547-590).
- Cohen, L., Lawrence, M., & Morisson, K. (2000). *Research methods in education* (5th ed.). London: RoutledgeFalmer.
- Collins, A. (1992). Toward a design science of education. In E. Scanlon & T. O'Shea (Eds.), *New directions in educational technology* (pp. 15-22). New York: Springer-Verlag.

- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: theoretical and methodological issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42.
- Confrey, J. (2006). The evolution of design studies as methodology. In K. Sawyer (Ed.), *Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 153-169). Cambridge: Cambridge University Press.
- diSessa, A. A., & Cobb, P. (2004). Ontological innovation and the role of theory in design experiments. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 77 – 103.
- Doménech, L. J., Gil-Pérez, G., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Trumper, R., & Valdés, P. (2007). Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation. *Science & Education*, 16(1), 43-64.
- Donovan, M. J., & Bransford, J. D. (2005). *How Students Learn: Science in the Classroom*. Washington, DC: National Academy Press.
- Driver, R., & Millar, R. (Eds.). (1986). *Energy matters*: University of Leeds.
- Driver, R., & Warrington, L. (1985). Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20, 171-176.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (Eds.) (1994). *Making sense of secondary science*. London: Routledge.
- Duggan, S., Johnson, P., & Gott, R. (1996). A critical point in investigative work: Defining variables. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 461-474.
- Duggan, S. & Gott, R. (1995). The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for science. *International Journal of Science Education*, 17(2), 137-147.
- Duggan, S., & Gott, R. (2002). What sort of science education do we really need? *International Journal of Science Education*, 24(7), 661-679.
- Duit, R. (1981). Understanding energy as conserved quantity. *European Journal of Science Education*, 3(3), 291 - 301.
- Duit, R. (1984). Learning the energy concept in school-empirical results from the Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19, 59-66.
- Duit, R. (1986). In search of an energy concept. In R. Driver & R. Millar (Eds.), *Energy matters* (pp. 67-102). Leeds: University of Leeds.
- Duit, R. (1987). Should energy be illustrated as something quasi-material? *International Journal of Science Education*, 9, 139 - 145.

- Duncan, R. G., & Hmelo-Silver, C. E. (2009). Learning progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 606-609.
- Duschl, R. A. (1990). *Restructuring science education: The importance of scientific theories and their development*. New York: Teachers College Press.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., & Shouse, A. W. (Eds.) (2007). *Taking science to school: learning and teaching science in grades K-8*. Washington D.C.: National Academy Press.
- Duschl, R. A., & Grandy, R. E. (Eds.) (2008). *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Application*. Rotterdam, NL: Sense Publishers.
- Ebenezer, J. V., & Fraser, D. M. (2001). First year chemical engineering students' conceptions of energy in solution processes: Phenomenographic categories for common knowledge construction. *Science Education*, 85, 509-535.
- Edelson, C. D., Tarnoff, A., Schwille, K., Bruozas, M., & Switzer, A. (2006). Learning to make systematic decisions. *The science teacher* (April/May), 40-45.
- Eflin, J. T., Glenman, S., & Reisch, G. (1999). The Nature of Science: A perspective from the philosophy of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 107-116.
- Eggert, S., & Bögeholz, S. (in press). Students' use of decision-making strategies with regard to socioscientific issues: An application of the Rasch partial credit model. *Science Education*.
- Ellse, M. (1988). Transferring not transforming energy. *School Science Review*, 427-437.
- Evans, J. B. T., & Over, D. E. (1996). *Rationality and reasoning*. Hove: Psychology Press.
- Falk, G., Herrmann, F., & Schmid, B. (1983). Energy forms or energy carriers? *American Journal of Physics*, 51(12), 1074-1077.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1965). *The Feynman lectures on physics*. Reading: Addison-Wesley.
- Field, A. (2005). *Discovering statistics using spss for window* (2nd ed.). London: Sage.
- Fine, A. (1989). Do correlations need to be explained? In J. T. Cushing & E. McMullin (eds.), *Philosophical Consequences of Quantum Theory* (pp. 175-194). Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Fleming, R. (1986). Adolescent reasoning in socio-scientific issues. Part II: Nonsocial cognition. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 677-687.

- Flick, L. B., & Lederman, N. G. (2004). *Scientific inquiry and the nature of science*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Fraenkel, J. R., & Wallen, N. E. (1993). *How to design and evaluate research in education* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Inc.
- Garnham, A., & Oakhill, J. (1994). *Thinking and reasoning*: Blackwell.
- Goldberg, F. M., & McDermott, L. C. (1986). Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *The Physics Teacher*, 24(8), 472-480.
- Goldberg, F. M., & McDermott, L. C. (1987). An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55(2), 108-119.
- Goldring, H., & Osborne, J. (1994). Students' difficulties with energy and related concepts. *Physics Education*, 29, 26-31.
- Gott, R., & Duggan, S. (1995). *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham: Open University Press.
- Gott, R., & Duggan, S. (2003). *Understanding and using scientific evidence*. London: Sage Publications.
- Gravetter, J. F., & Wallnau, B. L. (2004). *Statistics for the behavioral sciences*. London: Thomson.
- Grosslight, L., Unger, C., & Jay, E. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Halverson, K. L., Siegel, M. A., & Freyermuth, S. K. (2009). Lenses for farming decisions: undergraduates' decision making about stem cell research. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1249-1268.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1055.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53, 1056-1065.
- Halloun, I. A. (2004). *Modeling theory in science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory physics. *Cognition and Instruction*, 12(2), 151-183.
- Hammer, D., Russ, R., Mikeska, J., & Scherr, R. (2008). Identifying inquiry and conceptualizing students' abilities. In R.A. Duschl & R.E. Grandy (Eds.), *Teaching*

- Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Application* (pp. 138 – 156). Rotterdam, NL: Sense Publishers.
- Hanson, N. R. (1998). Observation. In E. D. Klemke, R. Hollinger & W. D. Rudge (Eds.), *Introductory readings in the philosophy of science* (pp. 339-351). New York: Prometheus Books.
- Hicks, N. (1983). Energy is the capacity to do work - or is it? *The Physics Teacher*, 529-530.
- Hinrichs, R., & Kleinbach, M. (2002). *Energy: its use and the environment*. Thomson Learning.
- Hodson, A. (2004). Energy and work. *Physics Teacher*, 42.
- Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (1997). The development of epistemological theories: beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67, 88-140.
- Hogan, K. (2002). Small groups' ecological reasoning while making an environmental management decision. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(4), 341-368.
- Holton, G., & Brush, G. S. (2001). *Physics, the human adventure: From Copernicus to Einstein and beyond* (3rd ed.): Rutgers University Press.
- Hong, J., & Chang, N. (2004). Analysis of Korean high school students' decision-making processes in solving a problem involving biological knowledge. *Research in Science Education*, 34, 97-111.
- Ibrahim, B., Buffler, A., & Lubben, F. (2009). Profiles of freshman physics students' views on the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(3), 248-264.
- Ingerman, A., & Booth, S. (2003). Expounding on physics: A phenomenographic study of physicists talking of their physics. *International Journal of Science Education*, 25(12), 1489-1508.
- Kahneman, D. (2003). A perspective on judgment and choice: Mapping bounded rationality. *American Psychologist*, 58(9), 697-720.
- Kang, S., Scharmann, C. L., & Noh, T. (2005). Examining students' views on the nature of science: Results from Korean 6th, 8th and 10th graders. *Science Education*, 89, 314-334.
- Kaper, H. W., & Goedhart, J. M. (2002). 'forms of energy', an intermediary language on the road of thermodynamics? Part I. *International Journal of Science Education*, 24(1), 81-95.
- Karplus, R. (1981). Educational aspects of the structure of physics. *American Journal of Physics*, 49, 238 -241.

- Kesidou, S., & Duit, R. (1993). Students' conceptions of the second law of thermodynamics - an interpretative study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(1), 85-106.
- Kesidou, S., & Roseman, J. E. (2002). How well do middle school science programs measure up? Findings from project 2061's curriculum review. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 522-549.
- Khishfe, P., & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578.
- Khishfe, R., & Lederman, N. G. (2006). Teaching nature of science within a controversial topic: Integrated versus nonintegrated. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), 395-418.
- Kim, E., & Pak, S. J. (2002). Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems. *American Journal of Physics*, 70(7), 759-765.
- Kim, T., Kwak, S., & Yoo, S. (1998). Applying multi-attribute utility theory to decision making in environmental planning: A case study of the electric utility in Korea. *Journal of Environmental Planning and Management*, 41(5), 597-609.
- Kimball, M. E. (1967). Understanding the nature of science: A comparison of scientists and science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 5(2), 110-120.
- Kitcher, P. (1981). Explanatory unification. *Philosophy of Science*, 48(4), 507-531.
- Klaczynski, P. A. (2001). Framing effects on adolescent task representations, analytic and heuristic processing and decision making Implications for the normative/descriptive gap. *Applied Developmental Psychology*, 22, 289-309.
- Klaczynski, P.A. (2005). Metacognition and cognitive variability: A two-process model of decision making and its development. In: J.E. Jacobs & P.A. Klaczynski (Eds.), *The development of decision making in children and adolescents* (pp. 39-76). Erlbaum, Mahwah, NJ.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Massachusetts: MIT press.
- Klopfer, L. & Cooley, W. (1963). The history of science cases for high schools in the development of student understanding of science and scientists. *Journal of Research in Science Teaching*, 1(1), 33-47.
- Kolsto, S. D. (2000). Consensus projects: teaching science for citizenship. *International Journal of Science Education*, 22(6), 645-664.

- Kolsto, S. D. (2001). 'to trust or not to trust.'-pupils' ways of judging information encountered in a socio-scientific issue. *International Journal of Science Education*, 23(9), 877 - 901.
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619-633.
- Krajcik, J. S., Czerniak, C. M., & Berger, C. F. (2003). *Teaching science in elementary and middle school classrooms: a project-based approach*. McGraw-Hill Higher Education.
- Krippendorff, K. (1980). *Content analysis: An introduction to its methodology*. Beverly Hills, CA: Sage Publications.
- Kuhn, D., Garcia-Mila, M., Zohar, A., & Andersen, C. (1995). Strategies of knowledge acquisition. *Monographs of the society for research in child development*, 60 (4, Serial No. 245).
- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 18(4), 495-523.
- Kuhn, D., Cheney, R., & Weinstock, M. (2000). The development of epistemological understanding. *Cognitive Development*, 15, 309-328.
- Kuhn, D. (2005). *Education for thinking*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Kuhn, D. (2007). Reasoning about multiple variables: control of variables is not the only challenge. *Science Education*, 91(5), 710-726.
- Kuhn, D. (2009). Do students need to be taught how to reason? *Educational Research Review*, 4(1), 1-6.
- Kuhn, S. T. (1996). *The structure of scientific revolutions* (3rd ed.): The University of Chicago Press.
- Kuhn, T. (1959). Energy conservation as an example of simultaneous discovery. In M. Glagett (Ed.), *Critical problems in the history of science* (pp. 321-356). Madison: University of Wisconsin press.
- Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Harvard University Press
- Lawson, A. R., & McDermott, C. L. (1987). Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems. *American Journal of Physics*, 55(9), 811-817.

- LeBoeuf, A. R., & Shafir, B. E. (2005). Decision making. In J. K. Holyoak & G. R. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 243-266). New York: Cambridge University Press.
- Lederman, N. G., & O'Malley, M. (1990). Students' perceptions of tentativeness in science: Development, use and sources of change. *Science Education*, 74, 225-239.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-360.
- Lederman, N. G., Wade, D. P., & Bell, L. R. (1998). Assessing the nature of science: What is the nature of our assessments? *Science & Education*, 7, 595-615.
- Lederman, N., & Abd-El-Khalick, F. (1998) Avoiding de-natured science: Activities that promote understandings of the nature of science. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education* (pp. 83-126). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lederman, N. G. (2004). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and the nature of science* (pp. 301-317). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present and future. In K. S. Abell & G. N. Lederman (Eds.), *Handbook of research in science education* (pp. 831-880). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lehrman, R. L. (1973). Energy is not the ability to do work. *Physics Teacher*, 11(1), 15-18.
- Lightman, A. (1992). *Great ideas in physics*. New York: McGraw-Hill inc.
- Linder, C. J., & Erickson, G. L. (1989). A study of tertiary physics students' conceptualization of sound. *International Journal of Science Education*, 11, 491-501.
- Lindsay, R. (1971). The concept of energy and its early historical development. *Foundations of Physics*, 1(4), 383-393.
- Lindsay, R. B. (1975). *Energy: Historical development of the concept*. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc.
- Linn, M. C., Bell, P., & Davis, E. A. (2004). Specific design principles: elaborating the scaffolded knowledge integration framework. In M. C. Linn, E. A. Davis, & P. Bell

- (Eds.), *Internet environments for science education* (pp. 315-339). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Linn, X., & Lehman, J. (1999). Supporting learning of variable control in a computer-based biology environment: Effects of prompting college students to reflect on their own thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 937-858.
- Liu, X., & McKeough, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: An analysis of selected items from the TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493-517.
- Loughland, T., Reid, A., & Petocz, P. (2002). Young people's conceptions of environment: A phenomenographic analysis. *Environmental Education Research*, 8(2), 187-197.
- Loverude, E. M., Kautz, H. C., & Heron, R. L. P. (2002). Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. *American Journal of Physics*, 70(2), 137-148.
- Marton, F., & Booth, S. (1997). *Learning and awareness*. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Masnick, A. M., & Klahr, D. (2003). Error matters: An initial exploration of elementary school children's understanding of experimental error. *Journal of Cognition and Development*, 4(1), 67-98.
- Mason, L., & Scirica F. (2006). Prediction of students' argumentation skills about controversial topics by epistemological understanding. *Learning and Instruction*, 16(5), 492-509.
- Matthews, M. R., (1998). In defense of modest goals when teaching about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(2), 161-174.
- Maxwell, G. (1962). The ontological status of theoretical entities. In H. Feigl & G. Maxwell (Eds.), *Minnesota studies in the philosophy of science*, Vol. III, (pp. 3-14). University of Minnesota Press.
- Mazur, E. (1997). Understanding or memorization: Are we teaching the right thing, *Conference on the Introductory Physics Course*. New York: Wiley.
- McClelland, G. (1989). Energy in school science. *Physics Education*, 24, 162-164.
- McComas, F. W. (2000a). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- McComas, F. W. (2000b). The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths. In F. W. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Press.

- McDermott, L. C., & van Zee, E. (1985). Identifying and addressing student difficulties with electric circuits. In R. Duit, W. Jung, C. von Rhoeneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity* (pp. 39-48). Kiel: Schmidt & Klaunig.
- McDermott, L., Rosenquist, M., & van Zee, E. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503-513.
- McDermott, L. C. (1991). Millikan lecture 1990: What we teach and what is learned: Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59(4), 301-315.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60(11), 994.
- McDermott and the Physics Education Group at the University of Washington (1996). *Physics by Inquiry*. Volume II. Wiley, New York, USA.
- McDermott, L. (1998). Students' conceptions and problem solving in mechanics. In A. Tiberghien, E. Jossem & J. Barojas (Eds.), *Connecting research in physics education* (pp. 1-11). Ohio: ICPE Books.
- McDermott, L. C. (2001). Oersted medal lecture 2001: "physics education research-the key to student learning". *American Journal of Physics*, 69(11), 1127.
- Meheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequence: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Meichtry, Y. J. (1992). Influencing student understanding of the nature of science: Data from a case study of curriculum development. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 389-407.
- Meltzer, E. D. (2004). Investigation of students' reasoning regarding heat, work and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. *American Journal of Physics*, 72(11), 1432-1446.
- Millar, R. (1996). Towards a science curriculum for public understanding. *School Science Review*, 77, 7-18.
- Millar, R., & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. King's College London.
- Millar, R. (2000). Energy. In D. Sang (Ed.), *Teaching secondary physics* (pp. 1-43). London: John Murray.
- Newton, L. D., Newton, D. P., & Blake, A. (2002). Do primary school science books for children show a concern for explanatory understanding? *Research in Science & Technological Education*, 20(2), 227-240.

- Nordine, J., Fortus, D., & Krajcik, J. (2006). The impact of a novel approach to energy on middle school students' conceptions of energy, *Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching*. San Francisco, California.
- North American Association for Environmental Education (NAAEE). (2000). *Excellence in environmental education*. Rock Springs, GA: NAAEE publications.
- NRC. (1996). *National science education standards*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Ogborn, J. (1986). Energy and fuel: The meaning of the go of things. *School Science Review*, 68, 30-35.
- Ogborn, J. (1990). Energy, change, difference and danger. *School Science Review*, 72, 81-85.
- Oppenheim, A. N. (1992). *Questionnaire design and attitude measurement*. London: Pinter Publishers Ltd.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). What “‘ideas-about-science’” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.
- Patronis, T., Potari, D., & Spiliotopoulou, V. (1999). Students' argumentation in decision-making on a socio-scientific issue: Implications for teaching. *International Journal of Science Education*, 21(7), 745-754.
- Penner, D. E., Giles, N. D., Lehrer, R., & Schauble, L. (1997). Building functional models: Designing an elbow. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 125-143.
- Peters, P. C. (1992). Even honor students have conceptual difficulties with physics. *American Journal of Physics*, 50(6), 501-508.
- Pinto, R., Couso, D., & Gutierrez, R. (2005). Using Research on Teachers' Transformations of Innovations to Inform Teacher Education: The Case of Energy Degradation. *Science Education*, 89(1), 38-55.
- Piscopo, C., & Birattari, M. (2002). Invention vs. Discovery. A critical discussion. *Discovery Science, 5th International Conference, DS 2002*, Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin: Springer Verlag.
- Popper, K. R. (1963). *Conjectures and refutations*. London: Routledge.
- Portides, D. P. (2007). The relation between idealisation and approximation in scientific model construction. *Science & Education*, 16(7-8), 699-724.
- Prosser, M. (1994). A phenomenographic study of students' intuitive and understanding of certain electric phenomena. *Instructional Science*, 22, 189-205.
- Psillos, S. (2002). *Causation and Explanation*. Acumen & McGill-Queens U.P.

- Psillos, S. (2007). Past and contemporary perspectives on explanation. In D. M. Gabbay, P. Thagard, & J. Woods (Eds.), *Handbook of the Philosophy of Science: Focal Issues* (pp. 97-173). Elsevier.
- Ratcliffe, M. (1997). Pupil decision-making about socio-scientific issues within the science curriculum. *International Journal of Science Education*, 19(2), 167-182.
- Ratcliffe, M., & Grace, M. (2003). *Science education for citizenship: Teaching socio-scientific issues*. Open University Press.
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H., & Resnick, L. B. (2000). Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18(1), 1-34.
- Richmond, B. (2000). *The "thinking" in systems thinking: Seven essential skills*: Pegasus Communications.
- Romer, H. R. (2001). Heat is not a noun. *American Journal of Physics*, 69, 107-109.
- Rosenquist, M. L., Popp, B. D., & McDermott, L. C. (1983). Helping students overcome conceptual difficulties with heat and temperature. *Paper presented at the summer meeting of the American Association of Physics Teachers in Ashland*.
- Ross, K. A. (1993). There is no energy in food and fuels-but they do have fuel value. *School Science Review*, 75(271), 39-47.
- Rudge, D. W., & Howe, E. M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, 18(5), 561-580.
- Rudolph, J. L. (2000). Reconsidering the "nature of science" as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies*, 32, 403-419.
- Rudolph, J. L. (2003). Portraying epistemology: School science in historical context. *Science Education*, 87, 64-79.
- Rudolph, J. I. (2005). Inquiry, instrumentalism, and the public understanding of science. *Science Education*, 89, 803-821.
- Ryan, A., & Aikenhead, G. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76, 559-580.
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of literature. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536.
- Sadler, T. D., Chambers, F. W., & Zeidler, D. L. (2004). Student conceptualisations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26, 387-409.

- Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2005). The significance of content knowledge for informal reasoning regarding socioscientific issues: Applying genetics knowledge to genetic engineering issues. *Science Education*, 89, 71-93.
- Salmon, M. H., Earman, J., Lennox, J. G., Machamer, P., & Glymour, C. N. (1992). *Introduction to the Philosophy of Science*. Prentice Hall.
- Sandoval, A. W., & Morrison, K. (2003). High school students' ideas about theories and theory change after a biological inquiry unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 369-392.
- Sandoval, W. A. (2004). Developing learning theory by refining conjectures embodied in educational designs. *Educational Psychologist*, 39(4), 213-223.
- Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology*, 32(1), 102-119.
- Schmid, G. B. (1982). Energy and its carriers. *Physics Education*, 17, 212-218.
- Schwartz, R., & Lederman, N. (2008). What scientists say: scientists' views of nature of science and relation to science context. *International Journal of Science Education*, 30, (6), 727 – 771.
- Schwartz, M. C., Sadler, P. M., Sonnert, G., & Tai, R. H. (2009). Depth versus breadth: How content coverage in high school science courses relates to later success in college science coursework. *Science Education*, 93(5), 798-826.
- Seethaler, S., & Linn, M. (2004). Genetically modified food in perspective an inquiry-based curriculum to help middle school students make sense of tradeoffs. *International Journal of Science Education*, 26(14), 1765-1785.
- Selley, J. N. (1989). Philosophies of science and their relation to scientific processes and the science curriculum. In J. Wellington (Ed.), *Skills and processes in science education*. London: Routledge.
- Shaffer, P. S., & McDermott, L. C. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies. *American Journal of Physics*, 60, 1003-1013.
- Shavelson, R. J., Philips, D. C., Towne, L., & Feuer, M. J. (2003). On the science of education design studies. *Educational Researcher*, 32(1), 25-28.
- Sheskin, D. J. (2000). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures, second edition*. New York: Chapman & Hall/CRC.

- Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple de circuits. *European Journal of Science Education*, 6, 185 - 198.
- Siegel, A. M. (2006). High school students' decision making about sustainability. *Environmental Education Research*, 12(2), 201-215.
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric statistics for the behavioural sciences* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Slater, M. H. (2008). How to justify teaching false science. *Science Education*, 92, 526-542.
- Slotta, J. D., Chi, M. T., & Joram, E. (1995). Assessing students' misclassifications of physics concepts: An ontological basis for conceptual change. *Cognition and Instruction*, 13(3), 373-400.
- Smith, L. C., Maclin, D., Houghton, C., & Hennessey, M. G. (2000). Sixth-grade students' epistemologies of science: The impact of school science experiences on epistemological development. *Cognition and Instruction*, 18(3), 349-422.
- Smith, M., Lederman, N.G., Bell, R., McComas, W. F., & Clough, M. (1997). How great is the disagreement about the nature of science: A response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 1101-1103.
- Smith, J., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3, 115-163.
- Solomon, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20, 165-170.
- Solomon, J. (1992). *Getting to know about energy: In school and in society*. London: Falmer Press.
- Solomon, J., Duveen, J., Scot, L., & McCarthy, S. (1992). Teaching about the nature of science through history: action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 409-421.
- Solomon, J., & Aikenhead, G. (Eds.). (1994). *STS education: International perspectives on reform*. New York: Teachers College, Columbia University.
- Songer, N. B., & Linn, M. C. (1991). How do students' views of science influence knowledge integration? *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 761-784.
- Stavy, R., & Tirosh, D. (1996) Intuitive rules in science and mathematics: the case of 'more of A -- more of B' *International Journal of Science Education*, 18(6), 653-667.
- Sternberg, J. R. (1996). *Cognitive psychology*. Florida: Harcourt Brace College Publishers.

- Suarez, M. (1999). The role of models in the application of scientific theories: Epistemological implications. In M. Morgan & M. Morrison (Eds.), *Models as mediating instruments* (pp. 168-196): Cambridge University Press.
- Taber, K. S. (2000a). Case studies and generalisability - grounded theory and research in science education. *International Journal of Science Education*, 22(5), 469-487.
- Taber, K. S. (2000b). Finding the optimum level of simplification: The case of teaching about heat and temperature. *Physics Education*, 35 (5), 320-324.
- Taber, K. S. (2008). Towards a curricular model of the nature of science. *Science & Education*, 17, 179-218.
- Teller, P. (1989). Relativity, relational holism, and the Bell inequalities. In J. T. Cushing & E. McMullin (eds.), *Philosophical Consequences of Quantum Theory* (pp. 208-223). Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Theobald, D. W. (1966). *The Concept of Energy*. London: E. and F. N. Spon.
- Theocharis, T., & Psimopoulos, M. (1987). Where science has gone wrong. *Nature*, 329, 595-598.
- Toulmin, S. (1998) Do sub-microscopic entities exist? In E. D. Klemke, R. Hollinger, & D. W. Rudge (Eds.), *Introductory readings in the philosophy of science* (pp. 358-362). Prometheus Books.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Trumper, R. (1990). Energy and a constructivist way of teaching. *Physics Education*, 25, 208-212.
- Trumper, R., & Gorsky, P. (1993). Learning about energy: The influence of alternative frameworks, cognitive levels and closed-mindedness. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 637-648.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and Biases, *Science*, 185(4157), 1124 – 1131.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211, 453-458.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1983). Extensional versus intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment. *Psychological Review*, 90, 293–315.

- Tytler, R., Duggan, S., & Gott, R. (2001a). Dimensions of evidence, the public understanding of science and science education. *International Journal of Science Education*, 23, 815-832.
- Tytler, R., Duggan, S., & Gott, R. (2001b). Public participation in an environmental dispute: Implications for science education. *Public Understanding of Science*, 10(4), 343-364.
- Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59(10), 891-897.
- van Roon, P. H., van Sprang, H. F., & Verdonk, A. H. (1994). 'work' and 'heat': On a road towards thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 16, 131-144.
- Walsh, E., Dall'Alba, G., Bowden, J., Martin, E., Marton, F., Masters, G., Ramsden, P., & Stephanou, A. (1993). Physics students' understanding of relative speed: A phenomenographic study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1133-1148.
- Warren, J. W. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4, 295-297.
- Warren, J. W. (1986). At what stage should energy be taught? *Physics Education*, 21(3), 154-156.
- Watts, D. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18, 213-217.
- Watts, D. M., & Gilbert, J. K. (1983). Enigmas in school science: students' conceptions for scientifically associated words. *Research in Science and Technological Education*, 1(2), 191-171.
- Weber, R. P. (1990). *Basic content analysis* (2nd ed.). Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Welch, W. W., & Walberg, H. J. (1967). An evaluation of summer institute programs for physics teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 5(2), 105-109.
- Wheeler, D., & Mazur, E. (2000). Notes - the great thermometer challenge. *The Physics teacher*, 38(4), 235.
- Williams, G., & Reeves, T. (2003). Another go at energy. *Physics Education*, 38, 150-155.
- Wilson, M. (2004). *Constructing measures: An item response modeling approach*: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wilson, M. (2009). Measuring progressions: Assessment structures underlying a learning progression. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 716 – 730.

- Winchester, I. (1993). "Science is dead. We have killed it, you and I"—How attacking the presuppositional structures of our scientific age can doom the interrogation of nature. *Interchange*, 24, 191-198.
- Windschitl, M. (2008). Our challenge in disrupting popular folk theories of “doing science”. In R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: recommendations for research and implementation* (pp. 292-303). Rotterdam: Sense Publishers.
- Woit, P. (2006). *Not even wrong: the failure of string theory and the continuing challenge to unify the laws of physics*. London: Jonathan Cape.
- Wong, S., & Hodson, D. (2008). More from the Horse's Mouth: What scientists say about scientific investigation and scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 1-22.
- Wong, S., & Hodson, D. (in press). More from the Horse's Mouth: What scientists say about science as a social practice. *International Journal of Science Education*.
- Woodward, J. (2008). Explanation. In S. Psillos & M. Curd (Eds.), *The Routledge Companion to the Philosophy of Science* (pp. 171-181). Routledge.
- Yang, F.Y., & Anderson, O. R. (2003). Senior high school students' preference and reasoning modes about nuclear energy use. *International Journal of Science Education*, 25, 221-244.
- Zacharia, Z. C., & Constantinou, C. P. (2008). Comparing the influence of physical and virtual manipulatives in the context of the Physics by Inquiry curriculum: The case of undergraduate students' conceptual understanding of heat and temperature. *American Journal of Physics*, 76, 425-430.
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Development Review*, 99-149.
- Zohar, A. (1995). Reasoning about interaction between variables. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(10), 1039-1063.
- Zohar, A. (2000). Inquiry learning as higher order thinking: overcoming cognitive obstacles. In J. Minstrell & E. van Zee (Eds.), *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (pp. 211- 234). Washington DC, AAAS.
- Zoller, U. (1982). Decision-making in future science and technology curricula. *European Journal of Science Education*, 4, 11-17.
- Κολιόπουλος, Δ. (1997). *Επιστημολογικές και διδακτικές διαστάσεις των διαδικασιών συγκρότησης αναλυτικού προγράμματος: Η περίπτωση του διδακτικού*

μετασχηματισμού και της μάθησης της έννοιας της ενέργειας. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ελλάδα.

Κουλαϊδής, Β., & Τσελφές, Β. (1995). Ενέργεια: Μια διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών με βάση τη χρήση της. *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 80, 84-90.

Παπαευριπίδου, Μ. (2004). *Η χρήση του λογισμικού Stagecast Creator στην ανάπτυξη δεξιοτήτων μοντελοποίησης και προγραμματισμού σε εντεκάχρονους μαθητές μέσα από τη μελέτη πολυσύνθετων οικοσυστημάτων*, Αδημοσίευτη μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Επιστημών της Αγωγής, Λευκωσία.