

Η Διδασκαλία της ενέργειας στην οικολογία στο Ενιαίο Λύκειο

Ε. Κιτσαντάς, Βιολόγος, Εκπαιδευτικός ΜΕ, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Εισαγωγή

Η Οικολογία είναι προνομιακό και δύσκολο πεδίο για τη διδασκαλία της ενέργειας στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Προνομιακό γιατί η ενέργεια προσεγγίζεται με μακροσκοπικές διαδικασίες (φωτοσύνθεση, κυτταρική αναπνοή, τροφικοί κύκλοι, ενεργειακή αλυσίδα, κλπ) που προσφέρονται για εποικοδομητική διδακτική προσέγγιση. Ειδικότερα οι πρότερες αντιλήψεις των μαθητών, αφητηρία της εποικοδομητικής διδασκαλίας, ως προϊόντα της βιωματικής γνώσης σχετικά με τη διατροφή, αποτελούν πρόκληση για δυναμική διδακτική παρέμβαση από τον εκπαιδευτικό. Όμως αυτές οι αντιλήψεις, βαθιά ριζωμένες στη σκέψη των μαθητών, αποτελούν δύσκολο εμπόδιο στην προσέγγιση της επιστημονικής γνώσης. Ένα ακόμη εμπόδιο είναι η φύση του αντικειμένου διδασκαλίας, όπου εφαρμόζεται το επιστημονικό γνωστικό πλαίσιο της ενέργειας, που υποτίθεται ότι διαμορφώθηκε στη σκέψη των μαθητών κατά τη σχολική τους διαδρομή. Έτσι οι μαθητές, που κατέχουν και χειρίζονται εναλλακτικά μοντέλα για την ενέργεια, ουσιαστικά δυσκολεύονται στην οικειοποίηση του αντικειμένου διδασκαλίας.

Με βάση τα παραπάνω στο άρθρο αυτό συνοψίζονται πορίσματα ερευνών σχετικών με τις πρότερες αντιλήψεις των μαθητών για το ρόλο της ενέργειας στην οικολογία ενώ, παράλληλα, παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα μιας έρευνας η οποία διενεργήθηκε πρόσφατα στον ελληνικό χώρο με μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης¹. Στην Ελλάδα και στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση η οικολογία διδάσκεται στη Γ΄ τάξη του Γυμνασίου και στη Γ΄ τάξη του Λυκείου. Ειδικότερα, οι μαθητές της Γ΄ τάξης του Λυκείου διδάσκονται τη ροή ύλης και ενέργειας στο οικοσύστημα, με έμφαση στην ενέργεια. Για το λόγο αυτό πριν από τις πρότερες αντιλήψεις των μαθητών περιγράφεται συνοπτικά το αντικείμενο διδασκαλίας της Γ΄ Λυκείου.

Αντικείμενο διδασκαλίας

Σύμφωνα με το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα στη Γ΄ τάξη του ενιαίου Λυκείου διδάσκεται το μάθημα «Βιολογία Γενικής Παιδείας». Το σχολικό εγχειρίδιο του μαθήματος έχει βελτιωθεί δύο φορές από ομάδα συγγραφέων, μελών της Πανελληνίας Ένωσης Βιολόγων. Η τρέχουσα έκδοση έχει βελτιωθεί από τους Καλαϊτζιδάκη & Πανταζίδη (2003). Σ' αυτό περιλαμβάνονται τρία κεφάλαια με τίτλους : «Άνθρωπος και Υγεία», «Άνθρωπος και περιβάλλον» και «Εξέλιξη». Στη διδακτέα ύλη εντάσσονται τμήματα από τα δύο πρώτα. Το τμήμα του 2^{ου} κεφαλαίου, το οποίο περιλαμβάνει το σχετικό με το άρθρο αντικείμενο διδασκαλίας, δίνεται συνοπτικά στον **πίνακα 1**:

¹ Όσα αναφέρονται εδώ περιλαμβάνονται σε μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία του συγγραφέα (Κιτσαντάς, 2006) και ελπίζουμε ότι θα βοηθήσουν το συνάδελφο εκπαιδευτικό που διδάσκει το συγκεκριμένο αντικείμενο στην προετοιμασία του μαθήματός του.

Ενότητες	Περιγραφή
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο Εισαγωγή	- Ορισμός της οικολογίας
2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Συστατικά του οικοσυστήματος.	- Οικοσύστημα. - Βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες οικοσυστήματος. - Τροφικές σχέσεις στο οικοσύστημα (ρόλος παραγωγών, καταναλωτών και αποικοδομητών). - Πληθυσμός, βιοκοινότητα, βιότοπος. - Αυτότροφα και ετερότροφα οικοσυστήματα. - Ρόλος της ενέργειας στο οικοσύστημα
2.2 ΡΟΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- Οι τροφικές αλυσίδες και η ενεργειακή τους πτυχή.
2.2.1 Τροφικές αλυσίδες και τροφικά πλέγματα	- Τροφικό πλέγμα (δίκτυο των τροφικών σχέσεων)
2.2.2 Τροφικές πυραμίδες και τροφικά επίπεδα.	- Τροφικά επίπεδα - Τροφικές πυραμίδες (βιομάζας , ενέργειας και πληθυσμού). - Ροή ύλης και ενέργειας στο οικοσύστημα.
2.2.3 Η έννοια της παραγωγικότητας	- Παραγωγικότητα οικοσυστημάτων (πρωτογενής μεικτή – καθαρή, δευτερογενής μεικτή – καθαρή). - Μέτρηση της πρωτογενούς καθαρής παραγωγικότητας σε φρυγανικό οικοσύστημα. - Ταξινόμηση οικοσυστημάτων με κριτήριο την παραγωγικότητα. - Παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος της πρωτογενούς παραγωγικότητας.
2.3.1 Ο κύκλος του άνθρακα	- Μακροσκοπική ανάλυση του ρόλου της φωτοσύνθεσης και της κυτταρικής αναπνοής στο οικοσύστημα και της ενεργειακής τους πτυχής.

Πίνακας 1 Αντικείμενο διδασκαλίας

Βασικός στόχος της διδασκαλίας είναι να κατανοήσουν οι μαθητές ότι οι οργανισμοί ενός οικοσυστήματος, όπως ταξινομούνται σε τροφικά επίπεδα, συμμετέχουν σε μία διαδικασία η οποία μπορεί να περιγραφεί / αναπαρασταθεί ως ενεργειακή αλυσίδα. Στα φωτο- αυτότροφα οικοσυστήματα η ενέργεια εισάγεται ως ηλιακή- φωτεινή ακτινοβολία, μετασχηματίζεται σε χημική στα βιομόρια των οργανισμών και επιστρέφει στο περιβάλλον ως θερμότητα. Οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο σύνολό τους αποτελούν την ενεργειακή αλυσίδα είναι:

- Η φωτοσύνθεση, με την οποία οι παραγωγοί μετασχηματίζουν τη φωτεινή ενέργεια σε χημική (από το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας οι χλωροφύλλες, δεσμεύουν την ηλιακή ακτινοβολία στη περιοχή του ορατού φωτός).
- Η κυτταρική αναπνοή με την οποία όλοι οι οργανισμοί του οικοσυστήματος διασπούν τα βιομόρια (ενεργειακά βιομόρια είναι τα σάκχαρα και τα λιπίδια, αλλά διασπώνται και οι πρωτεΐνες σε ειδικές περιπτώσεις) και τα μετασχηματίζουν σε απλούστερα μόρια. Με αυτή τη διαδικασία οι οργανισμοί καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες για επιβίωση, ανάπτυξη, αναπαραγωγή κλπ. Συγκε-

κριμένα ένα μέρος της ενέργειας αξιοποιείται για τις διάφορες βιοσυνθέσεις, δηλαδή στη σύνθεση οργανικού υλικού και το υπόλοιπο μεταφέρεται στο περιβάλλον ως θερμότητα .

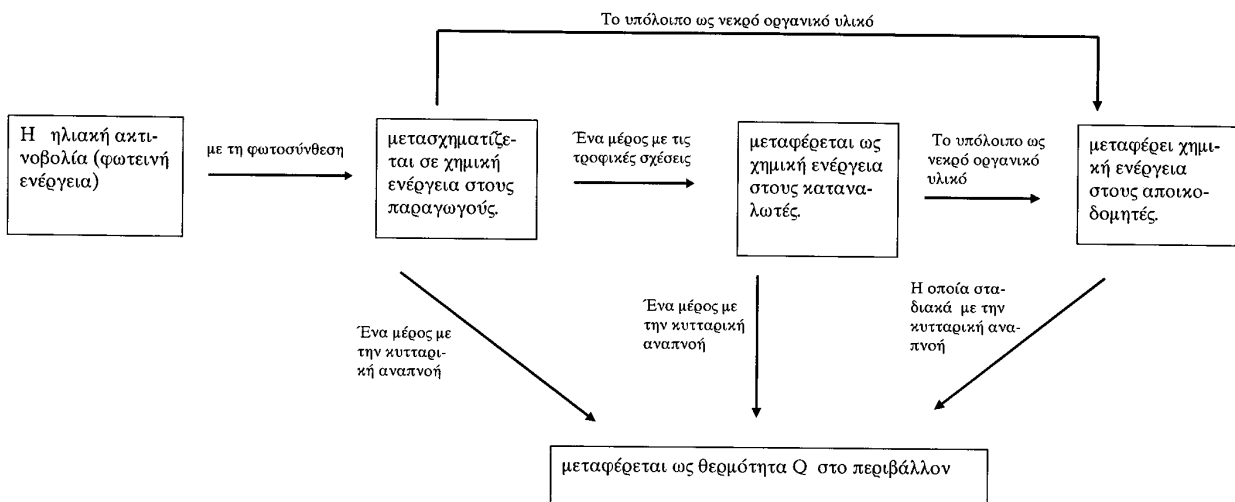
- Οι τροφικές σχέσεις μέσα από τις οποίες η ενέργεια μεταφέρεται διαδοχικά μέχρι τα ανώτερα τροφικά επίπεδα και τους αποικοδομητές του οικοσυστήματος.

Διευκρινίζουμε τα εξής:

(α) Οι παραγωγοί και οι καταναλωτές λειτουργούν και ως αποικοδομητές με την έννοια ότι μετασχηματίζουν με την κυτταρική αναπνοή σε ανόργανο υλικό ένα μέρος του οργανικού υλικού που οι ίδιοι συνθέτουν (παραγωγοί και καταναλωτές) ή λαμβάνουν με την τροφή τους (καταναλωτές).

(β) Οι αποικοδομητές διακρίνονται από τους καταναλωτές μόνο από το γεγονός ότι τρέφονται με νεκρό οργανικό υλικό ή με τις απεκκρίσεις των υπολοίπων οργανισμών, υλικό που δε χρησιμοποιούν οι καταναλωτές για τη διατροφή τους. Οι αποικοδομητές, με την κυτταρική αναπνοή, βαθμιαία μετασχηματίζουν το οργανικό υλικό σε ανόργανο, κατάλληλο να προσληφθεί εκ νέου από τους παραγωγούς και τη χημική ενέργεια σε θερμότητα που μεταφέρεται στο περιβάλλον.

(γ) Η ενέργεια στο οικοσύστημα δεν ανακυκλώνεται όπως η ύλη. Τα οικοσυστήματα είναι δυναμικά συστήματα σε ισορροπία.. Η ανάπτυξή τους καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα της ύλης και της ενέργειας. Η διαθεσιμότητα της ύλης είναι περιορισμένη και ανακυκλώνεται . Στο ισορροπημένο φωτο-αυτότροφο οικοσύστημα η ενέργεια εισέρχεται ως ηλιακή ακτινοβολία και σταδιακά μεταφέρεται στο περιβάλλον ως θερμότητα. Επομένως τα οικοσυστήματα για να διατηρούνται απαιτούν συνεχή προσφορά ενέργειας. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται συνοπτικά η ενεργειακή αλυσίδα που περιγράψαμε.



Σχήμα 1. Ροή ενέργειας στο οικοσύστημα

Αντιλήψεις των μαθητών για το ρόλο της ενέργειας στην οικολογία

Οι Solomon (1982) και η Wood-Robinson (1986), στηριζόμενοι σε πορίσματα πολυάριθμων σχετικών ερευνών, αναφέρουν πως οι αντιλήψεις των μαθητών για την ενέργεια στις Φυσικές Επιστήμες έχουν αξιοσημείωτες ομοιότητες με το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, γιατί τα παιδιά αντιλαμβάνονται την έννοια της υποβάθμισης της ενέργειας, ενώ κατά τη διδασκαλία δίνεται έμφαση σε έννοιες που τα δυσκολεύουν, όπως είναι η διατήρηση της ενέργειας (πρώτος θερμοδυναμικός νόμος) και η μετατροπή της ενέργειας από τη μία μορφή στην άλλη.

Ειδικότερα στη Βιολογία, η Wood-Robinson (1986, σ.53) αναφέρεται σε τέσσερις βασικούς τομείς στους οποίους οι μαθητές συναντούν θέματα σχετικά με την ενέργεια: τη φωτοσύνθεση, την κυτταρική αναπνοή, τη ζωική διατροφή και την αλληλεξάρτηση των οργανισμών. Με δεδομένο ότι η περιγραφή των αντιλήψεων των μαθητών για την ενέργεια στη βιολογία γίνεται με στόχο μία πιο αποτελεσματική διδασκαλία, εύλογα προκύπτει το εξής ερώτημα: Είναι αναγκαίο να διδαχθούν οι μαθητές τη ροή της ενέργειας στο οικοσύστημα ή αρκεί η ανακύκλωση και η ροή της ύλης, ώστε να κατανοήσουν τα σχετικά θέματα; Σχετικά με αυτό, παραθέτουμε ένα απόσπασμα από τη μελέτη των Barak et al. (1999) οι οποίοι διερεύνησαν την ικανότητα των μαθητών στην κατανόηση των βιολογικών διαδικασιών. Στα συμπεράσματά τους αναφέρουν :

Είναι πολύ σημαντικό να επικεντρώσουμε την προσοχή μας στη σπουδαιότητα της κατανόησης των διαδικασιών για την προώθηση της βιολογικής έρευνας και σκέψης. Το γεγονός αυτό τονίζει την ανάγκη συνειδητοποίησης των κινδύνων της χρήσης μιας γλώσσας που στηρίζεται στην ύλη. Μια γλώσσα που στηρίζεται στην ύλη δεν επιφέρει μόνο περιορισμένη κατανόηση (αντίληψη) της φύσης της Βιολογίας, αλλά εμποδίζει και την ανάπτυξη των δυναμικών σχέσεων που διασυνδέουν τις διαδικασίες και τα φαινόμενα σε μια συνεκτική θεώρηση της Βιολογίας (σ.1291).

Αυτός μπορεί να είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους τις τρεις, τουλάχιστον, τελευταίες δεκαετίες οι αντιλήψεις των μαθητών για την ενέργεια στην οικολογία αποτέλεσαν αντικείμενο διαφόρων ερευνών, τα πορίσματα των οποίων θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια.

Αρχικά οι περισσότερες έρευνες για το ρόλο της ενέργειας στην οικολογία αφορούσαν τις αντιλήψεις των μαθητών σε επιμέρους και διακριτά μεταξύ τους ζητήματα, όπως η θρέψη των φυτών και η έννοια της τροφής, η φωτοσύνθεση, η κυτταρική αναπνοή και ο ρόλος των αποικοδομητών στο οικοσύστημα. (Driver et al. 2000, σ. 75-89). Από ανασκόπηση της Βασιλοπούλου (1998, σ. 43-50) για ερευνητικά δεδομένα στην οικολογία, προκύπτει ότι σύνθετα θέματα, όπως οι κύκλοι της ύλης και η ροή της ενέργειας ελάχιστα έχουν διερευνηθεί στην Ελλάδα, αλλά και παγκόσμια. Όμως τα τελευταία χρόνια και σύμφωνα με τους Lin & Hu (2003) το επίκεντρο της έρευνας μετατοπίστηκε σ' αυτή την κατεύθυνση. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να κατανοηθούν καλύτερα οι εσω-

τερικές και βαθύτερες σχέσεις της βιολογικής γνώσης. Πιο συγκεκριμένα οι ερευνητές αυτοί μελέτησαν τις αντιλήψεις 106 13χρονων μαθητών της Ταϊπέι για τη ροή της ενέργειας και του κύκλου της ύλης στην τροφική αλυσίδα, στη φωτοσύνθεση και στην αναπνοή, με την κατασκευή εννοιολογικών χαρτών μετά τη διδασκαλία της σχετικής ύλης. Στα αποτελέσματά τους αναφέρουν ότι οι περισσότεροι μαθητές αδυνατούσαν να συσχετίσουν τη φωτοσύνθεση και την κυτταρική αναπνοή, καθώς και τις σχετικές έννοιες, όπως γλυκόζη, νερό, ηλιακό φως κλπ με τη ροή της ενέργειας και τους κύκλους της ύλης. Ο Gaygord (1986) διαπίστωσε ότι τόσο μαθητές του Λυκείου όσο και φοιτητές κατανοούσαν μόνο τις άμεσες σχέσεις μεταξύ των οργανισμών που αποτελούν την τροφική αλυσίδα και όχι τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ όλων των οργανισμών που συμμετέχουν σ' ένα τροφικό πλέγμα. Συγκεκριμένα, αν δύο οργανισμοί ενός τροφικού πλέγματος δε συνδέονται άμεσα με μία τροφική αλυσίδα, τότε οι μαθητές αδυνατούν να τους συσχετίσουν και πιστεύουν ότι δεν επηρεάζει ο ένας τον άλλο. Η Wood Robinson (1995, σ. 114) αναφέρεται στο πόρισμα έρευνας του Senior (1983), σύμφωνα με το οποίο ακόμη και 15χρονοι μαθητές δεν είναι εξοικειωμένοι με την απεικόνιση με βέλη της ροής της ύλης και της ενέργειας στο τροφικό πλέγμα ή στην τροφική αλυσίδα. Συγκεκριμένα οι μαθητές δεν κατανοούν ότι η φορά του βέλους είναι προς την κατεύθυνση που ρέει ή ύλη και η ενέργεια και προτιμούν την αντίθετη φορά που δείχνει «ποιος τρώει ποιον». Για το ρόλο της ενέργειας στα φυτά, η Χατζηνικήτα (2001β, σ. 107) αναφέρει ότι για τους μαθητές ο ήλιος λειτουργεί: α) ως πηγή φωτεινής ενέργειας β) ως πηγή θερμικής ενέργειας γ) ως τροφή. Ακόμη υποστηρίζει πως οι μαθητές αντιλαμβάνονται την εμπλοκή της ενέργειας ως διαδικασία παροχής θερμότητας. Για παράδειγμα, σε έρευνα του Simpson η οποία αναφέρεται από τους Driver et al. (2000), τα παιδιά δεν κατανοούν τη ροή ενέργειας στους ζωντανούς οργανισμούς. Συχνά αναφέρουν ότι το φως είναι τροφή για τα φυτά, αλλά πιστεύουν επίσης πως τα φυτά καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες τους μόνο με την ηλιακή ακτινοβολία (δηλαδή αγνοούν την κυτταρική αναπνοή στα φυτά) και χρησιμοποιούν ως συνώνυμα της ενέργειας τις έννοιες «θερμότητα» και «φως».

Οι Driver et al, (2000, σ. 75-89) αναφέρουν ότι οι μαθητές, αλλά συχνά και οι διδάσκοντες, δεν ορίζουν με συνέπεια την έννοια «τροφή» ως το σύνολο των οργανικών συνθέσεων που χρησιμοποιούν οι οργανισμοί ως πηγή ενέργειας για τις διαδικασίες του μεταβολισμού τους. Κυρίως με τον όρο τροφή οι μαθητές εννοούν ο,τιδήποτε προσλαμβάνουν οι οργανισμοί από το περιβάλλον, όπως νερό, μεταλλικά στοιχεία ή στην περίπτωση των φυτών τροφή θεωρείται το διοξείδιο του άνθρακα και η ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης, από επισκοπήσεις πολλών ερευνών, συμπεραίνεται ότι στους μαθητές κυριαρχεί το μοντέλο της ετερότροφης θρέψης των φυτών, κατά την οποία τα ανόργανα συστατικά που παίρνουν από το έδαφος θεωρούνται ως τροφή. Αν η τροφή συσχετισθεί με την ενέργεια, τότε οι ανόργανες ουσίες θεωρείται ότι παρέχουν ενέργεια στα φυτά.

Οι Eisen & Stavy (1988) ρώτησαν μαθητές Λυκείου και φοιτητές τι νόημα έχει για αυτούς η τροφή. Οι απαντήσεις τους ήταν: Απαραίτητα υλικά (24%), πηγή ενέργειας (40%), υλικά για τη δόμηση του οργανισμού (14%), ενέργεια και υλικά για τη δόμηση του οργανισμού (11%). Στην ίδια έρευνα μαθητές 13- 14 ετών δεν αντιλαμβάνονται ότι η τροφή χρησιμεύει ως βάση για την αναπνοή, αλλά και μετά τη διδασκαλία των σχετικών εννοιών, τα υποκείμενα επανήλθαν στις απλοϊκές αρχικές ιδέες τους (Driver, et al, 2000, σ. 76). Σε ανάλογο συμπέρασμα κατέληξαν οι Simpson. & Arnold (1982b), οι οποίοι διαπίστωσαν ότι οι μαθητές δεν κατανοούν την τροφή ως πηγή ενέργειας για τις ζωτικές λειτουργίες του φυτού. Οι Barak et al. (1999) διερευνώντας τις αντιλήψεις 16χρονων μαθητών για τις πηγές ενέργειας του ανθρώπου, συγκέντρωσαν απαντήσεις ανάμεσα στις οποίες συγκαταλέγονται και οι εξής:

Δεν έχουμε μόνο μία πηγή ενέργειας, αλλά πολλές: τροφή, νερό και οξυγόνο. Λαμβάνουμε την ενέργεια που χρειαζόμαστε από το φαγητό που τρώμε και που μετατρέπεται σε ενέργεια, από το νερό που επίσης μετατρέπεται σε ενέργεια και από το οξυγόνο, το οποίο κατά τη διάρκεια της αναπνοής, επίσης μετατρέπεται σε ενέργεια... (σ. 1285).

Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία (Driver, et al., 2000, Χρηστίδου, 2001), οι αντιλήψεις των μαθητών για την κυτταρική αναπνοή διερευνήθηκαν κυρίως σε συνδυασμό με τη φωτοσύνθεση στα φυτά. Σύμφωνα με τους Eisen & Stavy (1988) οι μαθητές όλων των ηλικιών, αλλά και σπουδαστές της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, συχνά περιορίζουν την αναπνοή των φυτών στις αέριες ανταλλαγές. Οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται ότι με την αναπνοή οξειδώνεται η τροφή με μία εξώθερμη διαδικασία που εξασφαλίζει την απαιτούμενη για τους οργανισμούς ενέργεια. Η Χατζηνικήτα (2001β) αναφέρει ότι:

Η κατανόηση της ενεργειακής διάστασης της αναπνοής χαρακτηρίζεται από ση-μαντικές δυσκολίες που προφανώς σχετίζονται με τις εννοιολογικές δυσκολίες για την ενέργεια ... και τη μη αναγνώριση της τροφής ως τη μοριακή δομή που παράγει ενέργεια, σε συνδυασμό με τις σχετικές αντιλήψεις για τη φωτοσύνθεση, αναδεικνύει τις σοβαρές επιπτώσεις που έχουν οι αντιλήψεις των μαθητών για την ενέργεια στην κατανόηση των βιολογικών φαινομένων... (σ.119).

Όσον αφορά τους αποικοδομητές, οι έρευνες που αναφέρονται στην επισκόπηση των Driver et al (2000, σελ 134- 136) περιορίζονται στην υλική διάσταση της αποικοδόμησης. Παρά το γεγονός ότι μαθητές 15-16 ετών χρησιμοποιούσαν τους όρους βακτήριο, μύκητας και αποικοδομητής, λίγοι είχαν κατανοήσει τις σχετικές διαδικασίες αποικοδόμησης και το ρόλο των μικροοργανισμών αυτών στο οικοσύστημα. Δεν εντοπίστηκε έρευνα στη βιβλιογραφία για το ρόλο της ενέργειας στους αποικοδομητές.

Στον **πίνακα 2** συνοψίζονται οι αντιλήψεις που προαναφέρθηκαν.

Κυριότερες εναλλακτικές αντιλήψεις

- Οι οργανισμοί που δε συνδέονται άμεσα σε μία τροφική αλυσίδα ενός τροφικού πλέγματος δεν αλληλοεπηρεάζονται στο οικοσύστημα
- Τα βέλη απεικονίζουν «ποιος τρώει ποιόν» και όχι από «ποιον ρέει η ενέργεια σε ποιόν».
- Ο ήλιος παρέχει στα φυτά θερμότητα, φωτεινή ενέργεια και τροφή.
- Ο ήλιος ή το φως είναι αντιδραστήριο κατά τη φωτοσύνθεση είτε τα φυτά χρησιμοποιούν άμεσα την ηλιακή ενέργεια (δηλαδή χωρίς να μετασχηματίζεται σε χημική) για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών.
- Οι ενεργειακές ανάγκες του φυτού καλύπτονται μόνο με την ηλιακή ακτινοβολία (αγνοείται ο ρόλος της αναπνοής στα φυτά).
- Τα φυτά τρέφονται όπως και τα ζώα (μοντέλο ετερότροφης θρέψης ή αναλογικό μοντέλο ζώου).
- Πηγές ενέργειας για τους οργανισμούς είναι: τα ανόργανα συστατικά που παίρνουν τα φυτά από το περιβάλλον, το νερό, το οξυγόνο, η τροφή.
- Η αναπνοή περιορίζεται στις αέριες ανταλλαγές και αγνοείται ο ρόλος της ως πηγή ενέργειας.

Πίνακας 2 Εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών για το ρόλο της ενέργειας στην οικολογία.

Μια έρευνα για το ρόλο της ενέργειας στην οικολογία

Σκοπός

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μεταπτυχιακής εργασίας (Κιτσαντάς, 2006) και είχε ως σκοπό την ανάδειξη των αντιλήψεων των μαθητών για το ρόλο της ενέργειας στην οικολογία καθώς και των διαφορών που παρουσιάζουν οι αντιλήψεις αυτές από τις αντίστοιχες ιδέες που προωθεί η σχολική επιστήμη στη θεματική αυτή ενότητα. Ειδικότερα, στην παρούσα εργασία θα παρουσιασθούν αποτελέσματα τα οποία αναφέρονται στις αντιλήψεις των μαθητών όταν αυτοί καλούνται να σχεδιάσουν ή να σχολιάσουν γραφικές αναπαραστάσεις ενεργειακών αλυσίδων σε διάφορα οικοσυστήματα.

Μέθοδος

Η έρευνα διεξήχθη με ημι-δομημένες συνεντεύξεις σε δείγμα 12 μαθητών της Γ' λυκείου πριν από τη διδασκαλία του αντικειμένου. Τέθηκαν δύο ομάδες ερωτήσεων. Η πρώτη ομάδα περιλάμβανε ερωτήσεις που διερευνούν με γενικό τρόπο τις αντιλήψεις των μαθητών για την ενέργεια στο οικοσύστημα. Η δεύτερη ομάδα περιλάμβανε ερωτήσεις που διερευνούν τις αντιλήψεις των μαθητών για την ενεργειακή αλυσίδα στο οικοσύστημα. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι ερωτήσεις:

α1. Τι είναι οικοσύστημα;

α2. Ποιος είναι ο ρόλος (α) του ήλιου, (β) των φυτών, (γ) των ζώων και (δ) των βακτηρίων / μυκήτων στο οικοσύστημα;

α3. Ποιος είναι ο ρόλος (α) του φωτός, (β) των παραγωγών, (γ) των καταναλωτών και (δ) των αποικοδομητών στο οικοσύστημα ;

α4. Χρησιμοποιούν ενέργεια: (α) οι παραγωγοί, (β) οι καταναλωτές και (γ) οι αποικοδομητές και πώς;

Στη δεύτερη ομάδα ανήκουν οι ερωτήσεις:

β1. Μπορείτε να κατασκευάσετε μια αναπαράσταση η οποία να μας δείχνει πώς χρησιμοποιείται η ενέργεια από τους παραγωγούς, τους καταναλωτές και τους αποικοδομητές στο οικοσύστημα;

β2. Δίδεται μια απλοποιημένη ποιοτική αναπαράσταση ροής ενέργειας στο οικοσύστημα (παράρτημα) και ζητείται από τους μαθητές να εξηγήσουν ότι βλέπουν.

β3. Δίδεται μια ποσοτική αναπαράσταση ροής ενέργειας σε οικοσύστημα και ζητείται από τους μαθητές να εξηγήσουν ότι βλέπουν.

Στην παρούσα εργασία πρόκειται να παρουσιάσουμε και να σχολιάσουμε αποτελέσματα που αφορούν τη δεύτερη ομάδα ερωτήσεων.

Αποτελέσματα

Από την έρευνα αυτή, μεταξύ των άλλων, προέκυψαν και τα εξής αποτελέσματα:

A) Καταγράφηκαν σημαντικές παρανοήσεις σχετικά με τις εισροές και εκροές της ενέργειας στο οικοσύστημα, κατά τη σύγκριση των αναπαραστάσεων των μαθητών με την αντίστοιχη της σχολικής γνώσης που τους δόθηκε. Συγκεκριμένα, μόνο πέντε από τους δώδεκα μαθητές απεικόνισαν την εισροή ενέργειας στο οικοσύστημα από τον ήλιο. Σχετικά με τις εκροές, είτε δεν απεικονίζονται σωστά, είτε δεν απεικονίζονται πλήρως. Ειδικότερα, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, με εξαίρεση ένα μαθητή, δεν απεικονίζονται εκροές ενέργειας προς το περιβάλλον ως θερμότητα (ενεργειακές απώλειες με την κυτταρική αναπνοή) από τους παραγωγούς ή τους καταναλωτές, ενώ στις περιπτώσεις που απεικονίζονται εκροές ενέργειας από τους αποικοδομητές (πέντε μαθητές), η ενέργεια αυτή επιστρέφει στους παραγωγούς, συχνά με διαμεσολαβητή το έδαφος (ανακύκλωση). Στον πίνακα 3 συνοψίζονται οι απαντήσεις όλων των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα:

- Ο μαθητής 1 σχεδίασε την αλυσίδα με κρίκους, που απεικονίζουν σωστά τα τροφικά επίπεδα. Ο μαθητής αυτός δε διέκρινε ρόλο της ενέργειας στην παράστασή του, αναδεικνύοντας μόνο την υλική της διάσταση.

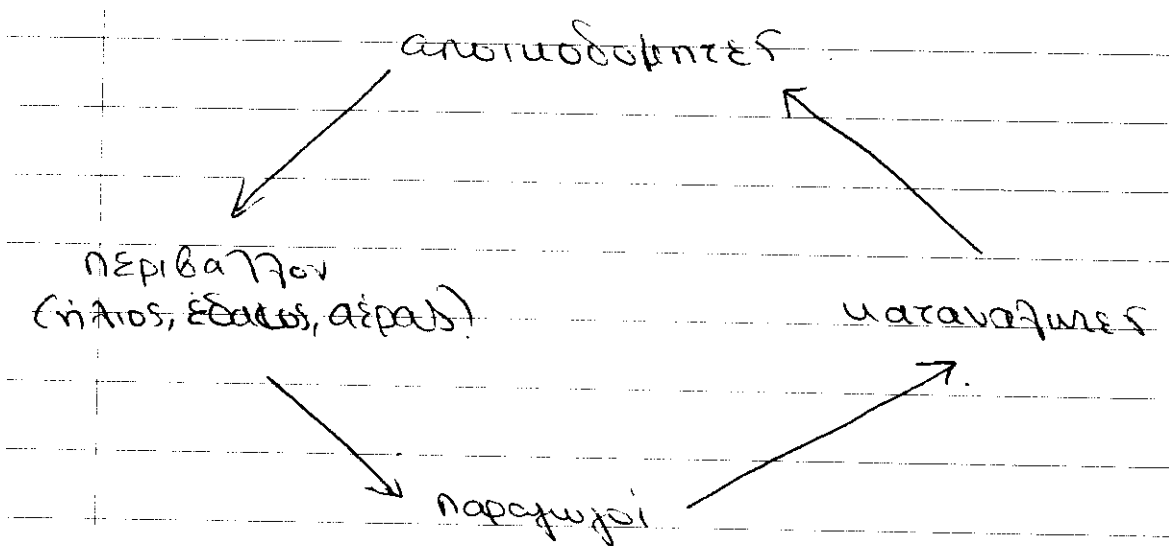
- Η μαθήτρια 2 σχεδίασε σωστά το βέλος από τον ήλιο προς το φυτό και τα υπόλοιπα βέλη με λάθος κατεύθυνση, δείχνοντας ποιος τρώει ποιόν.

- Οι μαθητές 3, 6 και 12 απεικονίζουν ως πηγές ενέργειας των παραγωγών το έδαφος, τον αέρα ή και τα δύο και ότι η ενέργεια ανακυκλώνεται.
- Ο μαθητής 4 απεικόνισε μεταφορά ενέργειας από τους αποικοδομητές στους καταναλωτές.
- Ο μαθητής 5 σχεδίασε τα βέλη ανάποδα, θεωρώντας ότι η ενέργεια παράγεται από τους οργανισμούς κάθε τροφικού επιπέδου και ότι η ύλη που παίρνουν τα φυτά από το έδαφος ανακυκλώνεται και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας.
- Η μαθήτρια 7 θεωρεί πως μεταφέρεται ενέργεια από τους αποικοδομητές στους παραγωγούς (ανακύκλωση).
- Οι μαθητές 8 και 10 σχεδίασαν όμοιες παραστάσεις, δείχνοντας ότι η ενέργεια μεταφέρεται από τους παραγωγούς στους καταναλωτές και στους αποικοδομητές .
- Η μαθήτρια 11 σχεδιάζοντας την απλή παράσταση,
 παραγωγοί \longrightarrow καταναλωτές \longrightarrow αποικοδομητές,
 απεικόνισε τη ροή της ύλης. Αυτό γιατί, όταν ρωτήθηκε αν έχει ρόλο η ενέργεια στην παράστασή της, είπε: «... όχι, δεν ξέρω , δεν μπορώ...».

α/α Μαθητή	Εισροές ενέργειας από τον ήλιο	Εκροές ενέργειας		
		Προς άλλα τροφικά επίπεδα με σωστή φορά βέλους σε κάθε περίπτωση	Προς άλλα τροφικά επίπεδα με λανθα- σμένη φορά βέλους , έστω και σε μία περι- πτωση	Προς το περιβάλλον ως θερμότητα
1	όχι	όχι	όχι	όχι
2	ναι	-	ναι	όχι
3	ναι	ναι	-	όχι
4	όχι	-	ναι	όχι
5	όχι	-	ναι	όχι
6	ναι	ναι	-	όχι
7	όχι	ναι	-	όχι
8	όχι	ναι	-	όχι
9	ναι	-	ναι	όχι
10	όχι	ναι	-	όχι
11	όχι	όχι	όχι	όχι
12	ναι	ναι	-	όχι

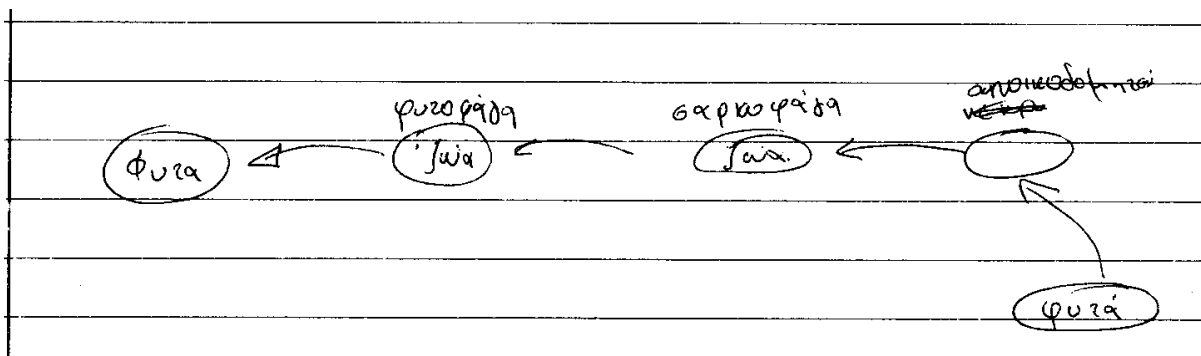
Πίνακας 3 Εισροές και εκροές ενέργειας στις αναπαραστάσεις των μαθητών

Ορισμένα από τα παραπάνω αποτελέσματα έχουν εντοπισθεί ήδη στη σχετική βιβλιογραφία. Για παράδειγμα, η μαθήτρια με α/α 3 (πίνακας 3) σχεδίασε την παρακάτω ενεργειακή αναπαράσταση:



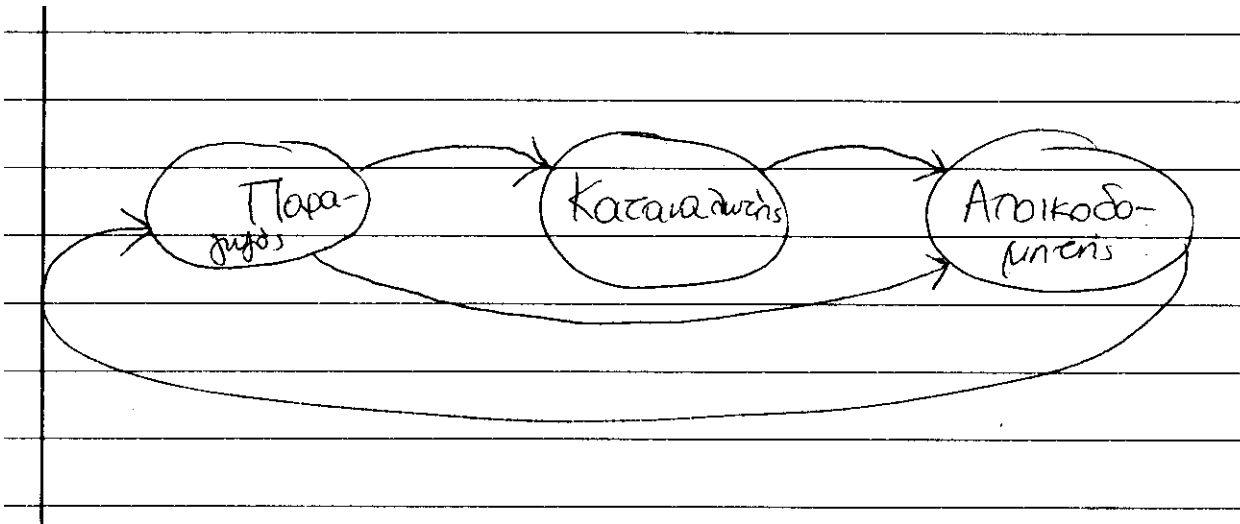
Εδώ περιλαμβάνεται η καταγεγραμμένη αντίληψη ότι οι παραγωγοί προσλαμβάνουν ενέργεια από το έδαφος και τον αέρα.

Επίσης ο μαθητής με α/α 5 στην παρακάτω αναπαράσταση του έχει σχεδιάσει ανάποδα τα βέλη, δείχνοντας <<ποιος τρώει ποιόν>>.

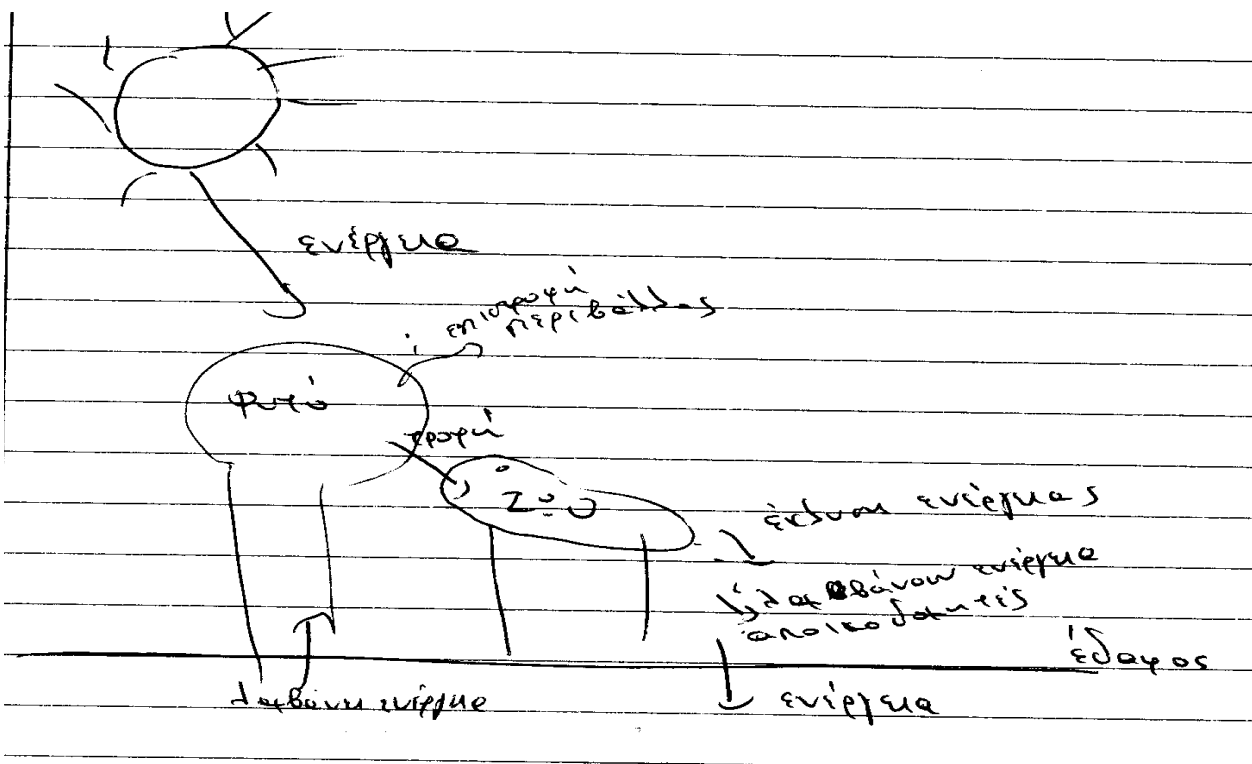


B) Αναδείχθηκαν ορισμένες εναλλακτικές αντιλήψεις που δεν εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα:

- Αρκετοί μαθητές θεωρούν πως η ενέργεια στο οικοσύστημα ανακυκλώνεται όπως και η ύλη. Αυτό απεικονίζεται και στην προηγούμενη αναπαράσταση της μαθήτριας με α/α 3. Επιπλέον παραθέτουμε τις αναπαραστάσεις δύο μαθητών:



Αναπαράσταση μαθήτριας με α/α 7



Αναπαράσταση μαθητή με α/α 12.

Στις δύο περιπτώσεις αυτές,

- Η μαθήτρια με α/α 7 δεν έχει σχεδιάσει τον ήλιο (εισροή ενέργειας). Περιγράφοντας τις διασυνδέσεις αυτές λέει τα εξής:

Η ενέργεια, ας πούμε μεταβαίνει από τους παραγωγούς στους καταναλωτές.οι καταναλωτές όταν γίνουν νεκροί οργανισμοί, τότε αυτό θα περάσει ...θα χρησιμοποιηθούν από τους αποικοδομητές .. και γ' αυτό θα περάσει η ενέργεια και από τους παραγωγούς στους αποικοδομητές. Τα στοιχεία που προέρχονται από τη διάσπαση της οργανικής ύλης, που αποικοδομούν οι αποικοδομητές, επαναχρησιμοποιούνται από τους παραγωγούς. Δεν είμαι σίγουρη, το σχεδίασα έτσι γιατί η ενέργεια δεν γίνεται να χαθεί, αλλά με κάποιο τρόπο πρέπει να επανέλθει στην τροφική αλυσίδα.

- ο μαθητής με α/α 12, εκτός των άλλων, θεωρεί ότι η ενέργεια ανακυκλώνεται με διαμεσολαβητή το έδαφος, πράγμα που αποτελεί σημαντική παρανόηση και για την ανακύκλωση της ύλης και μάλιστα του διοξειδίου του άνθρακα που το προσλαμβάνουν τα φυτά από την ατμόσφαιρα (χερσαία οικοσυστήματα) ή διαλυμένο στο νερό (υδάτινα οικοσυστήματα). Ο μαθητής αυτός ισχυρίζεται ότι

Αυτός είναι ο ήλιος, δίνει ενέργεια... αυτό είναι ένα φυτό, παίρνει ενέργεια. Μετά ένα ζώο, παίρνει ενέργεια από το φυτό... αλλά επίσης το φυτό παίρνει και από το έδαφος ενέργεια. Στα ζώα περιλαμβάνονται οι καταναλωτές και ο άνθρωπος...και με τα περιττώματα και γενικότερα από τα σκουπίδια, έχουμε έκλυση ενέργειας και οι αποικοδομητές ... οι οποίοι λαμβάνουν αυτή την ενέργεια...και υπάρχει ένα ποσό ενέργειας που επιστρέφει στο έδαφος.

Ο μαθητής αυτός εξηγώντας τις πηγές ενέργειας των φυτών είπε:

Παραγωγούς λέμε τα φυτά που παίρνουν την ενέργεια από την τροφή τους με βάση τη φωτοσύνθεση, αλλά επίσης και από τις ρίζες παίρνουνε διάφορες ουσίες από το χώμα, από το νερό παίρνουνε ενέργεια που ποτίζονται.

Φαίνεται, λοιπόν, ότι οι δύο μαθητές ταυτίζουν την τροφική και την ενεργειακή αλυσίδα στο οικοσύστημα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό εύρημα γιατί με την ταύτιση αυτή μπλοκάρεται η σκέψη των μαθητών. Το φαινόμενο επισημάνθηκε από το Bachelard ο οποίος, σύμφωνα με την Χατζηνικήτα (2001α,), επιχειρηματολόγησε λέγοντας «...γνωρίζουμε ενάντια σε μία προϋπάρχουσα γνώση, καταρρίπτοντας τις κακά θεμελιωμένες γνώσεις...» (σ.99), εισάγοντας την έννοια του «επιστημολογικού εμποδίου», του σκοπέλου εκείνου που δυσκολεύει τους μαθητές στην προσέγγιση της επιστημονικής γνώσης.

Επίλογος

Όπως φαίνεται, τόσο από τη βιβλιογραφική μελέτη όσο και από την έρευνα που διενεργήθηκε στον ελληνικό χώρο, οι πρότερες αντιλήψεις των μαθητών για την ενεργειακή αλυσίδα στο οικοσύστημα προσεγγίζουν την καθημερινή γνώση και απέχουν σημαντικά από την αντίστοιχη σχολική. Οι παρανοήσεις μπορεί να οφείλονται σε διάφορους λόγους. Ένας σημαντικός λόγος μπορεί να είναι ο τρόπος που διδάσκεται στο σχολείο το σχετικό αντικείμενο. Σχετικά η Wood-Robinson (1995) σχολιάζει το διαφορετικό εννοιολογικό πλαίσιο της ενέργειας στη φυσική, στη χημεία και στη βιολογία και το διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης και παρουσίασης στην τάξη της έννοιας αυτής από τους φυσικούς, χημικούς και βιολόγους. Επίσης σχολιάζει τα προβλήματα και τις συγχύσεις που δημιουργούνται στους μαθητές σχετικά με την κατανόηση βιολογικών ζητημάτων που εμπεριέχουν την έννοια της ενέργειας, λόγω του διαφορετικού εννοιολογικού πλαισίου της ενέργειας στις φυσικές επιστήμες και τονίζει τη σημασία που είχε ένα κοινό εννοιολογικό πλαίσιο για την ενέργεια σε όλο το φάσμα της σχολικής επιστήμης. Αλλά και το υπάρχον σχολικό πλαίσιο φαίνεται να μην ευνοεί με συστηματικό τρόπο της ενεργειακή προσέγγιση του οικοσυστήματος. Για παράδειγμα στη

σελίδα 72 του σχολικού εγχειριδίου αναφέρεται ότι: << Η διανομή της ενέργειας γίνεται μέσω των τροφικών σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των οργανισμών του οικοσυστήματος (ροή ενέργειας)>>. Αυτή η διατύπωση σαφώς ταυτίζει τις δύο αλυσίδες. Αυτό παρατηρείται γενικά στο σχολικό εγχειρίδιο όπου δε γίνεται συστηματική διάκριση της ύλης και της ενέργειας. Ως επιβεβαίωση αναφέρουμε τρεις ορισμούς για την παραγωγικότητα από τη σελίδα 73:

Ο ρυθμός με τον οποίο οι οργανισμοί ενός οικοσυστήματος παράγουν οργανική ύλη αποτελεί την παραγωγικότητα του οικοσυστήματος και διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή.

***Πρωτογενής παραγωγικότητα** είναι ο ρυθμός με τον οποίο οι παραγωγοί ενός οικοσυστήματος δεσμεύουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε χημική (οργανική ύλη).*

***Δευτερογενής παραγωγικότητα** είναι ο ρυθμός με τον οποίο οι καταναλωτές ενός οικοσυστήματος που παραλαμβάνουν με την τροφή τους, παράγουν οργανική ύλη.*

Επισημαίνουμε τα εξής:

- χρησιμοποιούνται παράλληλα και αδιάκριτα δύο <<γλώσσες>> της <<ύλης>> και της <<ενέργειας>>, με τις αναμενόμενες συγχύσεις από τους μαθητές. Μάλιστα στον ορισμό της παραγωγικότητας χρησιμοποιείται μόνο ή ύλη, στον ορισμό της πρωτογενούς παραγωγικότητας χρησιμοποιείται μόνο η ενέργεια, με εξαίρεση την άκαιρη παρένθεση και στον ορισμό της δευτερογενούς παραγωγικότητας χρησιμοποιούνται και οι δύο !
- Το ρήμα παράγουν μεταφράζεται κυριολεκτικά από τους μαθητές, καλύτερα είναι να χρησιμοποιείται το ρήμα μετασχηματίζουν.
- Στον ορισμό της πρωτογενούς παραγωγικότητας αναφέρεται ότι η ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε χημική, χωρίς διευκρινίσεις αν πρόκειται για ενέργεια ή όχι, και επιπλέον η παρένθεση (οργανική ύλη) μόνο διευκρίνιση δεν είναι αφού εντείνει πλήρως τη σύγχυση των μαθητών.

Τελειώνοντας, επισημαίνουμε ότι με βάση τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής και εμπειρικής έρευνας που παρουσιάσαμε εδώ φαίνεται να θεωρείται αναγκαία η αλλαγή του αναλυτικού προγράμματος, ώστε να έχει εποικοδομητικό προσανατολισμό. Η Χατζηνικήτα (2001β, σ. 124), αναφερόμενη σ' αυτό, τονίζει τις δυσκολίες που συναντούν οι μαθητές στη μάθηση, γιατί στα υπάρχοντα αναλυτικά προγράμματα δεν λαμβάνονται υπόψη οι προϋπάρχουσες αντιλήψεις τους και απουσιάζει η διαθεματική προσέγγιση. Οι συνάδελφοι του κλάδου (βιολόγοι, χημικοί, φυσικοί, κλπ) που διδάσκουν το μάθημα αυτό, με την εμπειρία τους ασφαλώς, θα έχουν επισημάνει περίπου τα ίδια σχετικά με τις αντιλήψεις των μαθητών τους. Εδώ, απλά έγινε μία προσπάθεια συστηματικής καταγραφής των αντιλήψεων αυτών από ένα συνάδελφο τους, που έχει την ίδια αγωνία με αυτούς για το πώς θα διδάξει τους μαθητές του.

Βιβλιογραφία

- Barak J., Gorodetsky M., Gurion B. & Sheva B. (1999), As “Process” as it can get: Students’ understanding of biological processes, *International Journal of Science Education*, 21, 12, 1281-1292.
- Βασιλοπούλου Μ. (1998), *Η επίδραση μιας διδακτικής ενότητας για τη Βιοποικιλότητα στις πρότερες αντιλήψεις των μαθητών του Γυμνασίου*, Διδακτορική διατριβή, Τομέας Παιδαγωγικής, τμήμα Φιλοσοφίας, Παιδαγωγικής και Ψυχολογίας της Φιλοσοφικής Σχολής, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Driver R., Squires A., Rushworth P. & Wood-Robinson, V. (2000), *Οικοδομώντας τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών: Μία παγκόσμια σύνοψη των ιδεών των μαθητών*, Αθήνα, Τυπωθήτω.
- Eisen Y. & Stavy R. (1988), Students’ understanding of photosynthesis, *The American Biology Teacher* 50(4), 208-212.
- Gaygord C.G. (1986), Some aspects of the problems of teaching about energy in school biology. *European Journal of Science Education* 8(4), 443- 450.
- Καλαϊτζιδάκη Μ. & Πανταζίδης Γ. (Επιμ), (2004), *Βιολογία Γενικής Παιδείας Γ’ Ενιαίου Λυκείου*, Αθήνα, Ο.Ε.Δ.Β.
- Κιτσαντάς Ε. (2006), *Οι αντιλήψεις των μαθητών του Ενιαίου Λυκείου για το ρόλο της ενέργειας στην οικολογία*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Ανθρωπιστικών Σπουδών, Ε.Α.Π.
- Lin C. Y. & Hu R. (2003), Student’s understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, Photosynthesis, and respiration, *International Journal of Science Education*, 25,12, 1529-1544.
- Senior R. A. (1983), Pupils' understanding of some aspects of interdependency at age 15. Unpublished MED dissertation, University of Leeds, England.
- Simpson M. & Arnold B. (1982b), Availability of prerequisite concepts for learning biology at certificate level, *Journal of Biological Education*, 16, 1, 65-72.
- Solomon J. (1982), How children learn about energy or Does the first law come first, *School Science Review*, Mar 82, 415-422.
- Wood-Robinson C. (1995), Children's biological ideas: knowledge about ecology, inheritance and evolution, In Glynn S. & Duit R. (Eds.) *Learning Science in the Schools: Research Reforming Practice*, Lawrence Erlbaum Associates.
- Wood-Robinson C. (1986) Energy - A biologist's viewpoint. In R. Driver & R. Millar (Eds.), *Energy matters* (pp. 53-57). Leeds, England: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- Χατζηνικήτα, Β. (2001α), Επιστημονική και Καθημερινή γνώση: Το Επιστημολογικό εμπόδιο, τόμος Α΄, Πάτρα, ΕΑΠ, σελ. 99-121.

Χατζηνικήτα, Β. (2001β), Θρέψη, Φωτοσύνθεση, Αναπνοή των Φυτών, στο Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, τόμος Β', Πάτρα, ΕΑΠ, σελ. 105-126.

Χρηστίδου Β. (2001), Ενέργεια, Στο Β. Κουλαϊδή (Επιμ.) *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών*, τόμος Β', Πάτρα, ΕΑΠ, σελ. 51-68.

Παράρτημα

Ποιοτική γραφική παράσταση ενεργειακής αλυσίδας στο οικοσύστημα

