



## **Ο ρόλος του αναστοχασμού στην ανάπτυξη αιτιολογικών συλλογισμών και μεταγνωστικής ενημερότητας κατά την επίλυση προβλημάτων φυσικής**

**Σούλιος Γ., Ψύλλος Δ.**

Σχολικός Σύμβουλος Α/θμιας Εκπ/σης, souliosg@otenet.gr  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, psillos@eled.auth.gr

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να ερευνηθεί τον τρόπο με τον οποίο ο αναστοχασμός επιδρά στην παραγωγή αιτιολογικών συλλογισμών και στην ακρίβεια της μεταγνωστικής ενημερότητας κατά τη λύση προβλημάτων. Αρχικά, ένα τυχαίο σύνολο 202 μαθητών Στ' Δημοτικού ταξινομήθηκε σε 4 ομάδες σύμφωνα με τις κυρίαρχες αντιλήψεις που παρουσίασαν για τα ηλεκτρικά κυκλώματα. Από κάθε ομάδα επιλέχθηκαν 15 μαθητές (N=60) επιλέχθηκαν για να λύσουν δυο προβλήματα με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα διαφορετικής δυσκολίας και στη συνέχεια να αναστοχαστούν επί της διαδικασίας επίλυσης μέσω κατάλληλων προτροπών αμέσως μετά τη λύση κάθε προβλήματος και να δώσουν τις εκτιμήσεις τους για τη δυσκολία του έργου και τη βεβαιότητα για τη λύση πριν και μετά τον αναστοχασμό. Η ανάλυση των πρωτοκόλλων κατέδειξε την επίδραση του αναστοχασμού και της παραγωγής αιτιολογικών συλλογισμών στην ακρίβεια των μεταγνωστικών εμπειριών για τη δυσκολία του έργου και της βεβαιότητας για τη λύση σε σχέση με την πραγματική τους γνωστική επίδοση.

### **Εισαγωγή**

Η προτροπή για αναστοχασμό, κατά την επίλυση προβλημάτων στις φυσικές επιστήμες βρέθηκε ότι βοηθά τους μαθητές να αποκτήσουν ενημερότητα για τις διαισθητικές τους ιδέες έτσι ώστε να κατανοούν, παρακολουθούν και αξιολογούν την σκέψη τους και τη διαδικασία μάθησής τους (Bell & Linn, 2000. Chi, 2000. Davis, 2003.). Είναι αλήθεια όμως ότι κατά τη διάρκεια της φοίτησής τους στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση η μεταγνωστική ενημερότητα είναι περιορισμένη για την πλειοψηφία των μαθητών γιατί τα μεταγνωστικά φαινόμενα σε γενικές γραμμές αναπτύσσονται με την ηλικία και μέσα από πλούσιες εμπειρίες (βλ. Flavell, 1988). Ωστόσο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα σχετικά πρόσφατων ερευνών για τις μεταγνωστικές εμπειρίες κατά την επίλυση έργων που αναφέρονταν σε φαινόμενα θερμότητας (Gonida, Kiosseoglou, & Psillos, 2003), και ηλεκτρικών κυκλωμάτων (Σούλιος, Γωνίδα & Ψύλλος, 2004), οι μαθητές των δύο τελευταίων τάξεων του δημοτικού σχολείου, αν και γενικά υποτιμούν τη δυσκολία ενός έργου και υπερεκτιμούν τη βεβαιότητα που αισθάνονται για τη λύση, φαίνεται ότι έχουν αρχίσει να συνδέουν τις μεταγνωστικές τους εκτιμήσεις με τη γνωστική τους επίδοση, τουλάχιστον σε έργα που δεν εγείρουν υψηλές γνωστικές και μεταγνωστικές απαιτήσεις. Παρόλα αυτά, οι έρευνες αυτές έχουν επισημάνει ότι η μεταγνωστική ενημερότητα των μαθητών αυτής της ηλικίας παραμένει σχετικά περιορισμένη και η ανάπτυξη της φαίνεται να βρίσκεται σε μεταβατική φάση.

Αποκτά μεγάλο ενδιαφέρον, επομένως, για τη διδασκαλία και μάθηση στις φυσικές επιστήμες η μελέτη των διδακτικών πρακτικών, όπως είναι ο αναστοχασμός, που αναπτύσσουν τις μεταγνωστικές δεξιότητες και προάγουν την μεταγνωστική ενημερότητα των μαθητών. Ωστόσο, οι μηχανισμοί με τους οποίους ο αναστοχασμός οδηγεί σε εννοιολογική αλλαγή έχει πολύ λίγο μελετηθεί. Έχει παρατηρηθεί ότι κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού μεγάλη σημασία έχουν οι μεταγνωστικού τύπου αναφορές (meta-statement) (Chi, 2000), οι διαδικασίες



διεύρυνσης του ρεπερτορίου των ιδεών, διάκρισης μεταξύ των ιδεών, δημιουργίας σχέσεων ανάμεσά τους και αναγνώρισης της αδυναμίας της τρέχουσας γνώσης (Bell & Linn, 2000) και οι διαδικασίες εμπρόθετης ενσωμάτωσης της καινούριας γνώσης και στην προηγούμενη (Davis, 2003). Σε μια πρόσφατη έρευνα οι Soulios, Gonida και Psillos (2007) παρατήρησαν τέσσερις κατηγορίες μεταγνωστικού τύπου αναφορών που αναπτύσσουν οι μαθητές Στ' Δημοτικού κατά τη διαδικασία αναστοχασμού μετά την επίλυση προβλημάτων φυσικής με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα: (i) αδυναμία γνώσης ή εντοπισμός λαθών χωρίς καμιά ερμηνεία (ii) ανάδυση των ιδεών των μαθητών μέσω των εξηγήσεών τους και ισχυροποίηση της γνώσης τους, (iii) αναγνώριση λαθών με ερμηνεία ή προσπάθεια αιτιολόγησης και τέλος (iv) επανεξέταση της διαδικασίας που είχε εφαρμοστεί και ενδεχόμενη υιοθέτηση μιας νέας διαδικασίας επίλυσης. Επίσης, οι μηχανισμοί μέσω των οποίων ο αναστοχασμός μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της γνωστικής και μεταγνωστικής επίδοσης φαίνεται να διαφοροποιούνται σε μαθητές με διαφορετικά νοητικά μοντέλα και κατά την επίλυση προβλημάτων διαφορετικού βαθμού δυσκολίας (Soulios, Gonida & Psillos, 2007).

Είναι γνωστό ότι, κατά την επίλυση προβλημάτων με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα οι μαθητές προσπαθώντας να ερμηνεύσουν τη συμπεριφορά του ηλεκτρικού ρεύματος στηρίζονται σε συγκεκριμένου τύπου αιτιολογικούς συλλογισμούς οι οποίοι φαίνεται να χαρακτηρίζουν τα κυρίαρχα νοητικά μοντέλα τα οποία υιοθετούν (Andersson, 1985. Barbas & Psillos, 1997). Για παράδειγμα, οι μαθητές των τελευταίων τάξεων του Δημοτικού σχολείου ξεκινούν από μια απλή γραμμική σχέση  $A \rightarrow B$  όπου ένα αίτιο οδηγεί σε ένα αποτέλεσμα, σχέση που περιγράφεται στο μονοπολικό μοντέλο είτε μια διπλή γραμμική σχέση  $A \rightarrow B$  και  $\Gamma \rightarrow B$  στο μοντέλο των αντικρουόμενων ρευμάτων, κινούνται προς πιο σύνθετες γραμμικές σχέσεις όπως η κυκλική διαδοχική γραμμική σχέση  $A \rightarrow B \rightarrow \Gamma \rightarrow A$  στο μοντέλο εξασθένησης και τέλος πλησιάζουν το επιστημονικό μοντέλο όπου οι κυκλικές σχέσεις γίνονται μη γραμμικές και περισσότερο αλληλεπιδραστικές (Perkins & Grotzer, 2005). Οι Reiner, Slotta, Chi και Resnick (2000) στηρίζουν την ερμηνεία για τη δημιουργία των αιτιολογικών αυτών συλλογισμών στο γεγονός ότι οι μαθητές τείνουν να ερμηνεύουν το ηλεκτρικό ρεύμα τοποθετώντας το λανθασμένα στην οντολογική κατηγορία των πραγμάτων αντί των διαδικασιών στην οποία ανήκουν τα περισσότερα φυσικά φαινόμενα. Παρόλα αυτά, οι αιτιολογικοί συλλογισμοί συμβαίνουν ταυτόχρονα κατά τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων και ακολουθούν τη νοητική διεργασία με αποτέλεσμα οι μαθητές να μην είναι ενήμεροι γι αυτούς. Η διαδικασία του αναστοχασμού, επομένως, μέσω των λεκτικών αναφορών είναι δυνατόν να βοηθήσει τους μαθητές να παρακολουθούν και να αξιολογούν τους αιτιολογικούς συλλογισμούς που παράγουν έτσι ώστε να αυξηθεί η μεταγνωστική ενημερότητά τους για τις απαιτήσεις και την πορεία επίλυσης του προβλήματος.

Η παρούσα έρευνα επιχειρεί να διερευνήσει τους μηχανισμούς αυτούς με τους οποίους ο αναστοχασμός κατά την επίλυση προβλημάτων με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα φαίνεται να επιδρά στην ανάπτυξη των αιτιολογικών συλλογισμών και της μεταγνωστικής ενημερότητας και πιο συγκεκριμένα της ακρίβειας των μεταγνωστικών εμπειριών για τη δυσκολία του έργου και την βεβαιότητα για την παραγόμενη λύση σε σχέση με την πραγματική επίδοσή τους στα έργα. Οι εμπειρίες αυτές εκφράζουν το επίπεδο και την ακρίβεια της ενημερότητας του μαθητή για το έργο και για την επίδοσή του (Efklides, 2006). Πιο συγκεκριμένα, τα ερωτήματα της έρευνας ήταν: (α) Η διαδικασία του αναστοχασμού επιδρά στην παραγωγή αιτιολογικών συλλογισμών; (β) Οι αιτιολογικοί συλλογισμοί διαμορφώνουν την μεταγνωστική ενημερότητα, στην συγκεκριμένη περίπτωση την ακρίβεια των μεταγνωστικών εμπειριών δυσκολίας και βεβαιότητας σε σχέση με τη γνωστική επίδοση; (γ) Οι αιτιολογικοί συλλογισμοί διαφοροποιούνται σε μαθητές με διαφορετικά νοητικά μοντέλα;

## Η ταυτότητα της έρευνας

Σε μια αρχική φάση, ένα σύνολο 202 μαθητών της Στ' τάξης σχολείων πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης κλήθηκε να επιλύσει 5 προβλήματα διαφορετικής δυσκολίας με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα. Όλοι οι μαθητές ταξινομήθηκαν σε 4 ομάδες σύμφωνα με το κυρίαρχο μοντέλο για τα ηλεκτρικά κυκλώματα που εμφάνισαν: Α=Μονοπολικό και άλλα (N=58), Β=Αντικρουόμενων ρευμάτων (N=106), Γ=Εξασθένησης (N=22) και Δ=Επιστημονικό (N=16). Από τις παραπάνω ομάδες επιλέχθηκαν 15 μαθητές από κάθε ομάδα, συνολικά 60 μαθητές, οι οποίοι και αποτέλεσαν το δείγμα της παρούσης έρευνας. Αυτοί οι 60 μαθητές κλήθηκαν να λύσουν 2 νέα έργα, παρόμοια με τα έργα που είχαν δοθεί κατά την αρχική φάση τα οποία επίσης διέφεραν ως προς τον βαθμό δυσκολίας: (α) επιλογή σωστής συνδεσμολογίας λάμπας και μπαταρία και (β) σύγκριση φωτεινότητας των λαμπών σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με δύο λάμπες συνδεδεμένες σε σειρά. Σε όλες τις περιπτώσεις οι μαθητές έπρεπε να αιτιολογήσουν την απάντησή τους και να σχεδιάσουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα. Μετά από την επίλυση κάθε έργου οι μαθητές έπρεπε να εκτιμήσουν το βαθμό δυσκολίας του έργου και την εμπιστοσύνη τους για τη λύση.

Στη συνέχεια, οι μαθητές έπρεπε στα πλαίσια ατομικής συνέντευξης να αναστοχαστούν επί της διαδικασίας επίλυσης μέσω κατάλληλων προτροπών και στη συνέχεια να δώσουν πάλι τις εκτιμήσεις τους για τη δυσκολία του έργου και τη βεβαιότητα για τη λύση. Οι μεταγνωστικές εμπειρίες της δυσκολίας για το έργο και της βεβαιότητας για την παραγόμενη λύση εκτιμήθηκαν από τους μαθητές σύμφωνα με μια 4βαθμη κλίμακα τύπου Likert (1=καθόλου, 2=λίγο, 3=αρκετά, 4=πολύ). Για τον αναστοχασμό επιλέχθηκαν γενικού τύπου προτροπές, χωρίς να κατευθύνεται ο μαθητής να σκεφτεί με συγκεκριμένο τρόπο. Συγκεκριμένα, η διαδικασία αναστοχασμού ξεκινούσε με μια γενικού τύπου ερώτηση «*Εξήγησέ μου πώς έλυσες το πρόβλημα*» και στη συνέχεια, ιδιαίτερα για τους μαθητές που δυσκολεύονταν παρεμβάλλονταν διευκολυντικές νύξεις και προτροπές όπως (γιατί; πώς; ποια βήματα ακολούθησες; κ.ο.κ.). Οι μαθητές δεν παρωθούνταν προς τη σωστή λύση σε περίπτωση που είχαν κάνει λάθος. Οι συνεντεύξεις μαγνητοφωνήθηκαν, καταγράφηκαν σε πρωτόκολλα και ακολούθησε ποιοτική ανάλυση των λεκτικών αναφορών.

## Αποτελέσματα και σχόλια

### *Ακρίβεια των μεταγνωστικών εκτιμήσεων*

Σύμφωνα με τον Πίνακα 1., οι μαθητές μετά την επίλυση των προβλημάτων υποεκτιμούν τη δυσκολία και υπερεκτιμούν τη βεβαιότητα που αισθάνονται για τη λύση σε σχέση με την πραγματική γνωστική επίδοσή τους και παρουσιάζονται πολύ λίγο ενήμεροι για τις απαιτήσεις και την διαδικασία επίλυσης του προβλήματος. Ωστόσο, η ακρίβεια των μεταγνωστικών εκτιμήσεων τους για τη δυσκολία του έργου και τη βεβαιότητα για λύση σε σχέση με τη πραγματική τους γνωστική επίδοση, φαίνεται να αυξάνεται στα υψηλότερης γνωστικής επίδοσης μοντέλα (εξασθένησης και επιστημονικό) καθώς και ως προς το δεύτερο έργο το οποίο είναι και μεγαλύτερου βαθμού δυσκολίας. Παρόλα αυτά, από τον στατιστικό έλεγχο ανάλυσης της διακύμανσης (One-Way ANOVA) που εφαρμόστηκε δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των μεταγνωστικών εκτιμήσεων δυσκολία και βεβαιότητας ως προς τα νοητικά μοντέλα. Το αποτέλεσμα αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τα ευρήματα σχετικά πρόσφατων ερευνών στις οποίες έχει επισημανθεί κατά ότι κατά την ηλικία αυτή η ανάπτυξη της μεταγνωστικής ενημερότητας και των μεταγνωστικών δεξιοτήτων βρίσκονται σε μεταβατική φάση (Σούλιος κ.α., 2004. Gonida et al., 2003).



Πίνακας 1: Μεταγνωστικές εκτιμήσεις μετά την επίλυση των προβλημάτων ανά νοητικό μοντέλο

οντέλα		Έργο 1 <sup>ο</sup>		Έργο 2 <sup>ο</sup>	
		Δυσκολία α	Βεβαιότητα	Δυσκολία	Βεβαιότητα
Μονοπολικό Α (N=15)	Χαμηλή (1&2)	11	6	8	7
	Υψηλή (3&4)	4	9	7	8
Αντικρουόμενων ρευμάτων Β (N=15)	Χαμηλή (1&2)	12	5	9	6
	Υψηλή (3&4)	3	10	6	9
Διατήρησης Γ (N=15)	Χαμηλή (1&2)	8	7	10	7
	Υψηλή (3&4)	7	8	5	8
Επιστημονικό Δ (N=15)	Χαμηλή (1&2)	11	3	12	7
	Υψηλή (3&4)	4	12	3	8

Κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού παρατηρήθηκε μετακίνηση των μαθητών από τις αρχικές τους μεταγνωστικές εκτιμήσεις για τη δυσκολία του έργου και για τη βεβαιότητα που εκφράζουν για τη λύση (βλ. Πίνακα 2). Στο 1<sup>ο</sup> έργο το 1/3 των μαθητών (25 και 23 στους 60 για τη δυσκολία και βεβαιότητα, αντίστοιχα) εμφανίζουν αλλαγή των εκτιμήσεων δυσκολίας. Όμως η μετακίνηση των μαθητών από τις αρχικές τους εκτιμήσεις δεν οδηγεί απαραίτητα στη βελτίωση της μεταγνωστικής τους ακρίβειας, δηλαδή στην αύξηση του βαθμού δυσκολίας του έργου και στη μείωση του βαθμού βεβαιότητας για τη λύση σε σχέση με τη χαμηλή επίδοσή τους αλλά οδηγεί και προς την αρνητική κατεύθυνση, δηλαδή στη μείωση του βαθμού δυσκολίας και αύξηση του βαθμού βεβαιότητας για τη λύση σε σχέση με την χαμηλή γνωστική τους επίδοση. Ωστόσο, παρατηρείται μια τάση οι μαθητές που ανήκουν στα χαμηλής γνωστικής επίδοσης μοντέλα (μονοπολικό και αντικρουόμενων ρευμάτων) να βελτιώσουν την μεταγνωστική τους ενημερότητα κινούμενοι προς τη θετική κατεύθυνση. Στο 2<sup>ο</sup> έργο, το ίδιο περίπου ποσοστό μαθητών (17 και 21 στους 60 για τη δυσκολία και βεβαιότητα, αντίστοιχα) αλλάζουν τις εκτιμήσεις τους μετά τη διαδικασία του αναστοχασμού. Ωστόσο, και στην περίπτωση αυτή, φαίνεται ότι η αλλαγή αυτή δεν οδηγεί μόνο στην βελτίωση αλλά και στη μείωση της μεταγνωστικής τους ακρίβειας η βελτίωση μπορεί να θεωρηθεί σημαντική, δεδομένης της υψηλής ακρίβειας των μεταγνωστικών εκτιμήσεων σε σχέση με τη γνωστική τους επίδοση η οποία επισημάνθηκε στο 2<sup>ο</sup> έργο. Η αλλαγή, μάλιστα, η οποία φαίνεται να είναι προς τη θετική κατεύθυνση, αφορά την περίπτωση του μονοπολικού μοντέλου και του μοντέλου εξασθένησης καθώς οδηγεί στη βελτίωση της ακρίβειας των εκτιμήσεων των μεταγνωστικών εμπειριών (αύξηση των εκτιμήσεων δυσκολίας και μείωση των εκτιμήσεων βεβαιότητας).

Από τον μη παραμετρικό στατιστικό έλεγχο που ακολούθησε (Wilcoxon) στατιστικά σημαντικές διαφορές εντοπίστηκαν ως προς το μονοπολικό και άλλα μοντέλο στην περίπτωση της εκτίμησης δυσκολίας στο πρώτο έργο  $Z=-2.111$   $p=.035$ , και στην περίπτωση της βεβαιότητας στο δεύτερο έργο  $Z=-2.070$   $p=.038$  και ως προς το μοντέλο εξασθένησης στις περιπτώσεις δυσκολίας  $Z=-1.890$   $p=.059$  και βεβαιότητας  $Z=-2.000$   $p=.046$  στο δεύτερο έργο.

**Πίνακας 2:** Διατήρηση και αλλαγή των μεταγνωστικών εκτιμήσεων μετά τη διαδικασία του αναστοχασμού ανά νοητικό μοντέλο

Μοντέλα	Έργο 1 <sup>ο</sup>						Έργο 2 <sup>ο</sup>					
	Δυσκολία			Βεβαιότητα			Δυσκολία			Βεβαιότητα		
	(=)	(+)	(-)	(=)	(+)	(-)	(=)	(+)	(-)	(=)	(+)	(-)
<b>A</b>	8	6	1	7	2	6	10	4	1	10	0	5
<b>B</b>	9	5	1	12	1	2	10	3	2	9	4	2
<b>Γ</b>	8	3	4	8	4	3	11	4	0	11	0	4
<b>Δ</b>	10	2	3	10	3	2	12	1	2	9	5	1
<b>Σύνολα</b>	35	16	9	37	10	13	43	12	5	39	9	12

Τα αποτελέσματα αυτά ενισχύουν την άποψη ότι τα διαφορετικά νοητικά μοντέλα εγείρουν διαφορετικές γνωστικές και μεταγνωστικές απαιτήσεις. Παρατηρείται μια σημαντική τάση, οι μαθητές που υιοθετούν το μονοπολικό και άλλα μοντέλα ερμηνείας άλλα και το μοντέλο εξασθένησης κάτω από την επίδραση του αναστοχασμού να αλλάζουν τις μεταγνωστικές τους εκτιμήσεις και να γίνονται περισσότερο ενήμεροι για τις απαιτήσεις και τη διαδικασία επίλυσης του έργου και η τάση αυτή φαίνεται να είναι περισσότερο ισχυρή στο δεύτερο έργο.

#### *Επίδραση των αιτιολογικών συλλογισμών κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού*

Από την ανάλυση των πρωτοκόλλων των συνεντεύξεων προέκυψε ότι όλοι σχεδόν οι μαθητές κάτω από την επίδραση του αναστοχασμού παράγουν αιτιολογικούς συλλογισμούς χαρακτηριστικούς των μοντέλων ερμηνείας που υιοθετούν κατά την επίλυση των προβλημάτων με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα. Από το σύνολο του δείγματος, στο πρώτο έργο πέντε μαθητές δεν παρήγαγαν κανένα αιτιολογικό συλλογισμό και μόνο ένας στο δεύτερο έργο. Ωστόσο, ο βαθμός επίδρασης των αιτιολογικών συλλογισμών φαίνεται να διαφοροποιείται ως προς τρία επίπεδα:

**Επίπεδο I** = αιτιολόγηση χωρίς εντοπισμό λανθασμένου συλλογισμού και αύξηση της επεξηγηματικής ισχύς του.

M1: *A, θα ξεκινάει από τη πηγή και θα πηγαίνει στη λάμπα.*

M19: *Από τον ένα πόλο της μπαταρίας κινείται προς τον ένα πόλο της λάμπας και από τον άλλο πόλο της μπαταρίας κινείται προς τον άλλο πόλο της λάμπας.*

M35: *Όχι περιμένετε. ε, θα πάει το ρεύμα από τη μια πλευρά θα περάσει από τις λάμπες και θα περάσει στην άλλη πλευρά και θα πάει ξανά στη μπαταρία.*

M49: *Όχι, αλλά το ρεύμα θα κάνει κλειστό κύκλωμα και θα ανάβουν και οι δυο το ίδιο.*

**Επίπεδο II** = αιτιολόγηση με εντοπισμό λανθασμένου συλλογισμού αλλά χωρίς υιοθέτηση νέου.

M13: *M: ...ωχ, λάθος! ... γιατί θα πάνε εδώ πέρα και ξαναγυρνάνε και γίνεται ξανά το ίδιο πράγμα...δεν είμαι όμως πολύ βέβαιη γι' αυτό, δεν είμαι πολύ σίγουρη.*

M31: *Από τη μπαταρία με τα καλώδια πηγαίνει στην επαφή και ανάβει....πηγαίνει κι από εδώ..... ή μόνο από το θετικό;.....μάλλον και από τους δυο....δεν είμαι σίγουρος γι' αυτό.*

M41: *Γι' αυτό δεν είμαι καθόλου σίγουρος, ότι εδώ πέρα θα πάει ρεύμα και εδώ πέρα δεν θα υπάρχει τόσο ρεύμα; ...θα φωτοβολήσει περισσότερο; ...απλά έτσι το σκέφτομαι*

**Επίπεδο III** = αιτιολόγηση με εντοπισμό λανθασμένου συλλογισμού με παραγωγή νέου και αναθεώρηση του νοητικού του μοντέλου.



M14: Ότι η μια είναι κάτω και η άλλη στα πλάι και το ηλεκτρικό ρεύμα πηγαίνει...δεν είμαι σίγουρος αν πηγαίνει από τη μια μόνο ή και από τις δυο πλευρές

M23: Στην αρχή εγώ σκέφτηκα πως πήγαινε έτσι, ...μετά σκέφτηκα ότι το ρεύμα δεν θα μπορούσε να φύγει και έτσι μάλλον θα περνά απ' εδώ

M45: Ξεκινάει από τη μπαταρία φτάνει στη Λ1 και μετά το ρεύμα εξασθενίζει και συνεχίζει για τη Λ2...όχι, θα μπορούσε...θα ήταν πιθανόν να ανάβουν το ίδιο.....

Πίνακας 3: Επίπεδα αιτιολογικών συλλογισμών ανά νοητικό μοντέλο

Επίπεδα αιτιολόγησης	Α		Β		Γ		Δ	
	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>	1 <sup>ο</sup>	2 <sup>ο</sup>
Χωρίς αιτιολόγηση	3	0	1	0	1	0	0	0
<b>I</b>	6	8	11	8	9	6	15	13
<b>II</b>	4	6	2	5	5	7	0	2
<b>III</b>	2	1	1	2	0	2	0	0

Από τον Πίνακα 3., διαπιστώνεται ότι οι μαθητές όλων των νοητικών μοντέλων κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού παράγουν αιτιολογικούς συλλογισμούς επίπεδου I με μεγαλύτερη συχνότητα. Αυτό φαίνεται να οδηγεί στην αύξηση της επεξηγηματικής ισχύος των μοντέλων ερμηνείας. Ωστόσο, και στα τρία διαισθητικά μοντέλα ένα μικρό ποσοστό των μαθητών παράγει αιτιολογικούς συλλογισμούς επιπέδου II με αποτέλεσμα να αντιλαμβάνονται την αδυναμία του μοντέλου να ερμηνεύσει το φαινόμενο αν και ελάχιστοι φτάνουν στο επίπεδο III που οδηγεί στην αναθεώρηση του μοντέλου ερμηνείας τους. Από τον στατιστικό έλεγχο ανάλυσης διακύμανσης (One-Way ANOVA) που εφαρμόσαμε δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα επίπεδα αιτιολογικού συλλογισμού και νοητικών μοντέλων. Οι μαθητές φαίνεται να παράγουν με την ίδια περίπου συχνότητα αιτιολογικούς συλλογισμούς ανεξάρτητα από το νοητικό μοντέλο που υιοθετούν.

#### Σχέση αιτιολογικών συλλογισμών και ακρίβειας των μεταγνωστικών εκτιμήσεων

Για να διαπιστωθεί αν οι μαθητές οι οποίοι παράγουν διαφορετικά επίπεδα αιτιολογικών συλλογισμών δίνουν ίδιες ή διαφορετικές μεταγνωστικές εκτιμήσεις για την δυσκολία του έργου και τη βεβαιότητα για τη λύση μετά τον αναστοχασμό εφαρμόστηκε στατιστικός έλεγχος ανάλυσης διακύμανσης (One-Way ANOVA) από τον οποίο προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση για την εκτίμηση της δυσκολίας μετά τον αναστοχασμό ως προς το πρώτο έργο  $F(3,56)=4,769$   $p=0,005$  και το δεύτερο έργο  $F(2,57)=8,177$   $p=0,001$  και για την εκτίμηση της βεβαιότητας μετά τον αναστοχασμό ως προς το πρώτο έργο  $F(3,56)=5,677$   $p=0,002$  και το δεύτερο έργο  $F(2,57)=7,130$   $p=0,002$ . Από τον έλεγχο στατιστικό έλεγχο πολλαπλής σύγκρισης Scheffé που ακολούθησε προέκυψε ότι στο πρώτο έργο οι μαθητές που παράγουν αιτιολογικούς συλλογισμούς επιπέδου II εκφράζουν υψηλότερο βαθμό δυσκολίας για το έργο ( $p=0,040$ ) και παρουσιάζονται λιγότερο βέβαιοι για τη λύση ( $p=0,022$ ) σε σχέση με τους μαθητές που παράγουν αιτιολογικούς συλλογισμούς επιπέδου I. Στο δεύτερο έργο, το οποίο και θεωρείται υψηλότερης δυσκολίας, ως προς την εκτίμηση της δυσκολίας μόνο οι μαθητές που παράγουν αιτιολογικούς επιπέδου III φαίνεται να αυξάνουν σημαντικά το βαθμό δυσκολίας σχέση με αυτούς που παράγουν αιτιολογικούς συλλογισμούς επιπέδου I, ενώ ως προς την εκτίμηση βεβαιότητας οι μαθητές που παράγουν αιτιολογικούς συλλογισμούς επιπέδου II και III, παρουσιάζουν σημαντική μείωση των εκτιμήσεών τους σε σχέση με το επίπεδο I ( $p=0,028$  και  $p=0,012$  αντίστοιχα). Παρατηρείται επομένως μια τάση οι μαθητές που παράγουν υψηλότερο επίπεδο αιτιολογικούς συλλογισμούς να αυξάνουν την εκτίμηση δυσκολίας και να μειώνουν τη

βεβαιότητα για τη λύση μετά τον αναστοχασμό σε σχέση με τη γνωστική τους επίδοση και να παρουσιάζονται περισσότερο μεταγνωστικά ενήμεροι για τις απαιτήσεις του έργου και την πορεία της σκέψης τους.

### **Συμπεράσματα**

Από τα αποτελέσματα της παρούσης έρευνας προέκυψαν ισχυρές ενδείξεις ότι οι μαθητές, αν και μετά την επίλυση του προβλήματος παρουσιάζονται χωρίς μεταγνωστική ενημερότητα, μετά τη διαδικασία του αναστοχασμού τείνουν να δίνουν περισσότερο ακριβείς μεταγνωστικές εκτιμήσεις σε σχέση με την γνωστική τους επίδοση και παρουσιάζονται περισσότερο μεταγνωστικά ενήμεροι για τη γνώση που διαθέτουν και τις διαδικασίες επίλυσης του προβλήματος. Τα ευρήματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με προηγούμενες έρευνες (Σούλιος κ.α., 2004. Gonida et al., 2003. Soulios et al., 2007), οι οποίες έδειξαν ότι οι μαθητές κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού, γίνονται ενήμεροι των δεδομένων και των απαιτήσεων του προβλήματος, του μοντέλου ερμηνείας τους και αναπτύσσουν μεταγνωστικές δεξιότητες παρακολούθησης, ελέγχου και αξιολόγησης της διαδικασίας επίλυσης του προβλήματος.

Κατά τη διαδικασία του αναστοχασμού οι μαθητές προσπαθώντας να ερμηνεύσουν τη συμπεριφορά του ηλεκτρικού ρεύματος παράγουν αιτιολογικούς συλλογισμούς χαρακτηριστικούς των κυρίαρχων μοντέλων ερμηνείας που υιοθετούν. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, οι μαθητές που ανήκουν σε διαφορετικά νοητικά μοντέλα τείνουν να παράγουν με την ίδια συχνότητα αιτιολογικούς συλλογισμούς όλων των επιπέδων επίδρασης. Η επίδραση, επομένως, του αναστοχασμού φαίνεται να είναι σημαντική για όλους τους μαθητές ανεξάρτητα από το νοητικό μοντέλο ερμηνείας το οποίο υιοθετούν. Ωστόσο, η επίδραση του αναστοχασμού στη βελτίωση της μεταγνωστικής ενημερότητας διαφοροποιείται ως προς τα διαφορετικά νοητικά μοντέλα ερμηνείας τα οποία φαίνεται να εγείρουν διαφορετικού βαθμού μεταγνωστικές απαιτήσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές που ακολουθούν το μονοπολικό και άλλα μοντέλα και το μοντέλο εξασθένησης μετά τη διαδικασία του αναστοχασμού βελτιώνουν την ακρίβεια και παρουσιάζονται περισσότερο μεταγνωστικά ενήμεροι για τη φύση και τη διαδικασία επίλυσης του προβλήματος σε σχέση με τους μαθητές που ακολουθούν το μοντέλο ερμηνείας των αντικρουόμενων ρευμάτων. Με βάση τα ευρήματα αυτά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η επεξηγηματική ισχύς του μοντέλου των αντικρουόμενων ρευμάτων το οποίο είναι το κυρίαρχο μοντέλο ερμηνείας σε αυτή την ηλικία (Σούλιος κ.α., 2003) παρουσιάζεται σημαντική με αποτέλεσμα ακόμη και μετά την επίδραση του αναστοχασμού να μην παρατηρείται βελτίωση της ακρίβειας των μεταγνωστικών εκτιμήσεων των μαθητών.

Συμπερασματικά, η μετάβαση από το μοντέλο ερμηνείας των αντικρουόμενων ρευμάτων το οποίο χαρακτηρίζεται από τη διπλή γραμμική αιτιολογική σχέση προς μια κυκλική αιτιολογική σχέση που χαρακτηρίζει τους αιτιολογικούς συλλογισμούς του μοντέλου εξασθένησης φαίνεται ότι είναι το σκαλοπάτι που μπορεί να οδηγήσει σε περεταίρω εννοιολογική αλλαγή, γεγονός που έχει επισημανθεί και από άλλους ερευνητές (Barbas & Psillos, 1997. Andersson, 1985). Αυτά τα αποτελέσματα έχουν μεγάλη σημασία για την διδασκαλία και μάθηση στις φυσικές επιστήμες για την κατασκευή δυναμικών περιβαλλόντων μάθησης τα οποία θα μπορούσαν να προωθήσουν και να αναπτύξουν κατάλληλες διδακτικές ακολουθίες που θα εστιάζουν το ενδιαφέρον τους στην μεταγνωστική ενημερότητα και ανάπτυξη κυκλικών αιτιολογικών συλλογισμών κατά τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων.



## Βιβλιογραφία

- Σούλιος, Ι., Γωνίδα, Ε., Ψύλλος, Δ. (2004). Μεταγνωστικές εμπειρίες κατά την επίλυση προβλημάτων με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα. Στο: Β. Τσελφές, Π. Καριώτογλου, Μ. Πατσαδάκης (επιμ.) Φυσικές Επιστήμες: Διδασκαλία, Μάθηση & Εκπαίδευση (σελ. 169-175), Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου, Αθήνα, 26-28 Νοεμβρίου 2004.
- Σουλιος, Ι., Γωνίδα, Ε., Ψύλλος, Δ. (2007). Αναστοχασμός και μεταγνωστικές δεξιότητες κατά την επίλυση προβλημάτων με απλά ηλεκτρικά κυκλώματα. Στο: Α. Κατσίκης, Κ. Κώτσης, Α. Μικρόπουλος, Γ. Τσαπαρλής (επιμ.) Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών και Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου (σελ. 202-210), Πρακτικά 5<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου, Ιωάννινα, 15-18 Μαρτίου 2007.
- Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: A common core to pupils' reconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8 (2), 155-171.
- Barbas, A. & Psillos, D. (1997). Causal reasoning as a base for advancing a systemic approach to simple electrical circuits. *Research in Science Education*, 27 (3), 445-459.
- Bell, P., & Linn, M. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22 (8), 797-817.
- Chi, M.T.H. (2000). Self-explaining expository tests: The dual processes of generating inferences and repairing mental models. In Glaser, R. (Ed.). *Advances in Instructional Psychology* (pp. 161-238). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Davis, E., (2003). Promoting Middle School Science Students for productive reflection: Generic and Directed Prompts. *Journal of the Learning Sciences*, 12 (1), 91-141.
- Efklides, A. (2006). Metacognition and affect: What can metacognitive experiences tell us about the learning process? *Educational Research Review*, 1, 3-14.
- Flavell, J. H. (1988). The development of children's knowledge about the mind. In J.W. Astington, P.L. Harris, & R.O. Olson (Eds.), *Developing theories of mind* (pp. 244-267). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gonida, E., Kiosseoglou, G., & Psillos, D. (2003). Metacognitive experiences in the domain of physics: Developmental and educational aspects. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, E. Hatzikraniotis, G. Fassoulopoulos, & M. Kallery (Eds.), *Science Education Research in Knowledge-based Society* (pp.107-115). Dordrecht: Kluwer.
- Linn, M. C. (1995). Designing computer learning environments for engineering and computer science: The scaffolded knowledge integration framework. *Journal of Science Education and Technology*, 4, 103-126.
- Perkins, D., & Grotzer, T. (2005). Dimensions of causal understanding: The role of complex causal models in students' understanding of science. *Studies in Science Education*, 41(1), 117-165.



- Soulios, I., Gonida, Psillos, D. (2007). Problem solving with simple electrical circuits: The role of students' reflection on their metacognitive knowledge and experiences. *Paper presented in International conference of - European Science Education Research Association (ESERA), August 21st - 25th, Malmö Sweden.*
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H., & Resnick, L.B. (2000). Naïve physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction, 18* (1), 1-34