

«Φωτιά στο Δάσος» - Διδασκαλία εννοιών πολυπλοκότητας με χρήση μοντέλων σε πολυπρακτορικό περιβάλλον προσομοιώσεων (NetLogo)

Άνθιμος Χαλκίδης^{1,3}, Αριστοτέλης Γκιόλμας^{2,3}, Αρτεμισία Στούμπα^{1,3}, Μαρία Κονταξή¹, Κωνσταντίνος Σκορδούλης³

achalkid@gmail.com, agkiolm@primedu.uoa.gr, artemis.stumpa@gmail.com, mkontaxi@sch.gr, kostas4skordoulis@gmail.com

¹ 2^ο Πειραματικό Γυμνάσιο Αθήνας

¹ 1^ο Πειραματικό Γυμνάσιο Αθήνας

³ Εργαστήριο Διδακτικής και Επιστημολογίας Φυσικών Επιστημών και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας, ΠΤΣΔΕ, ΕΚΠΑ

Περίληψη

Η παρούσα εργαστηριακή συνεδρία έχει σκοπό την ανάδειξη της διδασκαλίας εννοιών πολυπλοκότητας (κρίσιμη συμπεριφορά, μη προβλεψιμότητα) με χρήση συγκεκριμένων (εφαρμοσμένων στην πράξη) φύλλων εργασίας και χρήση εξελλητισμένων προσομοιώσεων από τη βιβλιοθήκη μοντέλων του πολυπρακτορικού περιβάλλοντος προσομοιώσεων NetLogo. Ο σχεδιασμός της διδακτικής παρέμβασης που αποτέλεσε αφορμή για την διοργάνωση της εργαστηριακής συνεδρίας σχεδιάστηκε για και εφαρμόστηκε σε μαθητές Γυμνασίου (με τον ανάλογο περιορισμό του μαθηματικού φορμαλισμού).

Λέξεις κλειδιά: NetLogo, πολυπλοκότητα, Γυμνάσιο

Σκοπός και πλαίσιο εργαστηριακής συνεδρίας

Τα τελευταία χρόνια αναδεικνύεται όλο και περισσότερο η σημασία της ένταξης της διδασκαλίας των Πολύπλοκων Συστημάτων (Complex Systems) στην Εκπαίδευση (Jacobson & Wilensky, 2006; Wilensky & Reisman, 2006; Wilkerson-Jerde & Wilensky, 2015). Η άσκηση - μάθηση - διδασκαλία σε θέματα πολυπλοκότητας είναι μια διαδικασία που προωθεί τον ολιστικό τρόπο σκέψης και τη συστημική αντιμετώπιση του κόσμου και των φαινομένων του. Οι μαθητές εξοικειώνονται με τις σχέσεις των φαινομένων σε διάφορα επίπεδα, τη μη προβλεψιμότητα κλπ. Οι προεκτάσεις της προσέγγισης ξεπερνούν τα φυσικά οικοσυστήματα και τα θέματα περιβάλλοντος και αγγίζουν - εφαρμόζονται σε ποικίλα θέματα από μια πληθώρα των φυσικών αλλά και των κοινωνικών επιστημών.

Στην εργαστηριακή συνεδρία, με αφορμή και βασικό πλαίσιο μια συγκεκριμένη εφαρμογή - διδακτική παρέμβαση (σχεδιασμός, ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού, εφαρμογή, ευρήματα και σχεδιαζόμενες επεκτάσεις) που σχεδιάστηκε από μέλη του Εργαστηρίου Διδακτικής και Επιστημολογίας Φυσικών Επιστημών & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας του ΠΤΔΕ/ΕΚΠΑ και εφαρμόστηκε στο 2^ο Πειραματικό Γυμνάσιο Αθήνας θα αναπτυχθεί προβληματισμός για την διδασκαλία εννοιών πολυπλοκότητας στο Γυμνάσιο με αξιοποίηση του (δωρεάν διαθέσιμου και με μεγάλη κοινότητα χρηστών) πολυπρακτορικού περιβάλλοντος προσομοιώσεων NetLogo.

Σύντομη περιγραφή εργαστηριακής συνεδρίας

Από τις έννοιες της πολυπλοκότητας στη συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση εστιάζουμε στις έννοιες της κρίσιμης κατάστασης (Scheffer, 2009) και της μη προβλέψιμης συμπεριφοράς. Αξιοποιείται μια εξελληνισμένη εκδοχή του μοντέλου «Fire» της βιβλιοθήκης μοντέλων της NetLogo (Wilensky, 1997; 1999; Wilensky & Rand, 2015). Στην αρχική θεωρητική του μορφή, ως μοντέλο πολύπλοκης συμπεριφοράς, το μοντέλο είχε δομηθεί από τον Per Bak (Bak, Chen & Tang, 1990). Η όλη προσέγγιση και ο σχεδιασμός των μοντέλων στο πολυπρακτορικό περιβάλλον της NetLogo εντάσσεται στο πλαίσιο του constructionism, πάντα με τα όρια και τις ειδικές προϋποθέσεις κάθε επιμέρους εφαρμογής (υλοποίηση μοντέλου και διδακτική παρέμβαση).

Στο κυρίως μέρος της εργαστηριακής συνεδρίας οι συνάδελφοι, ακολουθούν φύλλα εργασίας σχεδιασμένα για μαθητές, στη λογική της καθοδηγούμενης διερεύνησης (inquiry based approach) (Bybee, 2006). Παράλληλα αναλύεται ο σχεδιασμός των φύλλων εργασίας. Επίσης γίνονται αναφορές σε ευρήματα και συμπεράσματα από πιλοτική εφαρμογή της μεθοδολογίας εφαρμογής και των φύλλων εργασίας σε μαθητές Γυμνασίου.

Επίσης, καθώς εκτιμάται ότι είναι σημαντικό οι μαθητές να έρθουν σε επαφή με τον πηγαίο κώδικα των αλγορίθμων που υλοποιούν τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται, να κατανοήσουν τη δόμησή τους και να παρέμβουν σε αυτόν τροποποιώντας τη συμπεριφορά του μοντέλου, γίνεται σύντομη αναφορά στις δυνατότητες επέμβασης στον πηγαίο κώδικα του μοντέλου και στη διαμόρφωση του user interface.

Καθώς η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση εντάσσεται σε ένα γενικότερο σχεδιασμό διδασκαλίας εννοιών πολυπλοκότητας μέσω των μοντέλων της NetLogo, παρουσιάζεται με συντομία και ο γενικότερος σχεδιασμός αντιστοιχίας προσομοιώσεων με έννοιες πολυπλοκότητας.

Ακολουθεί συζήτηση, συμπεράσματα και ιδέες για προεκτάσεις.

Η συνεδρία απευθύνεται κυρίως (χωρίς όμως αποκλεισμούς) σε εκπαιδευτικούς κλάδων ΠΕ04, ΠΕ19/20, ΠΕ70, κοινωνικών επιστημών, εμπλεκόμενους σε Περιβαλλοντική εκπαίδευση, ερευνητές κ.ά.

Σύνοψη Δραστηριοτήτων

Δραστηριότητα: Γιατί Πολυπλοκότητα; Γενικά χαρακτηριστικά της.

Όλο και περισσότερα συστήματα από τις Φυσικές, τις Περιβαλλοντικές, τις Κοινωνικές, τις Οικονομικές, τις Γεω-επιστήμες κ.α. εντάσσονται στα Πολύπλοκα Συστήματα (Complex Systems). Τα γενικά χαρακτηριστικά (καλύτερα παράμετροι ή εκδηλώσεις της πολυπλοκότητας καθώς υπάρχει γενικά δυσκολία ενός και μόνο ορισμού ή συγκεκριμένων χαρακτηριστικών) είναι (Cilliers, 1998; Nicolis & Prigogine, 1989):

- Εξάρτηση από τον παρατηρητή (observation-dependence)
- Αυτο-οργάνωση (self- organization)
- Ανάδυση (μορφών και προτύπων) (emergence)
- Ύπαρξη βρόχων ανάδρασης (feedback loops)
- Αυτοποίηση (autopoiesis)
- Μετάβαση από ευστάθεια σε αστάθεια και αντίστροφα

Δραστηριότητα: Γιατί NetLogo;

Το περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα περιβάλλον προγραμματισμού και παράλληλα ένα περιβάλλον προσομοιώσεων φυσικών και κοινωνικών φαινομένων που υποστηρίζει την υλοποίηση πολυπρακτορικών συστημάτων (multi-agent environments). Στηρίζεται στην γλώσσα προγραμματισμού NetLogo, της οικογένειας των Logo-like γλώσσων προγραμματισμού και είναι αποδεκτό ως κατάλληλο περιβάλλον για μοντελοποίηση σύνθετων φαινομένων τα οποία εξελίσσονται στο χρόνο. Η γλώσσα προγραμματισμού και η Βιβλιοθήκη Μοντέλων που τη συνοδεύει, έχει αναπτυχθεί από το Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, που δημιουργήθηκε το 1995 στο Tufts University και μεταφέρθηκε το 2000 στο Northwestern University.

Δραστηριότητα: Διδακτική προσέγγιση

Σε όλα τα περιβάλλοντα διδασκαλίας και μάθησης που στηρίζονται σε Logo like περιβάλλοντα, η θεωρία μάθησης που αποτελεί το γενικότερο πλαίσιο είναι ο κατασκευαστικός εποικοδομητισμός (Constructionism) όπου επικρατεί η λογική ο μαθητής να οικοδομεί μόνος του τη γνώση και μάλιστα δομώντας ένα αντικείμενο / τέχνημα (artifact) είτε σε πραγματικό είτε σε υπολογιστικό περιβάλλον (Papert, 1991; 1993).

Ειδικότερα για τα πολύπλοκα συστήματα η Cindy Hmelo-Silver στηριγμένη σε πρότερες δουλειές του Goel, θεωρεί ότι ένας μαθητής μπορεί να διδαχτεί και να κατανοήσει ένα Πολύπλοκο Σύστημα σε τρία επίπεδα: Δομής - Συμπεριφοράς - Λειτουργίας (Structure - Behavior - Function / Θεωρία SBF) (Hmelo-Silver, et al. 2000; Hmelo-Silver & Azevedo 2006).

Γενικότερα αναμένεται ότι η προσέγγιση θα συμβάλει στην ενίσχυση της ολιστικού τρόπου σκέψης, αναιρώντας αναγωγιστικές λογικές και μεταβαίνοντας από μία αντίληψη του κόσμου «τύπου ωρολογιακού μηχανισμού» σε μία πιο σύνθετη αντίληψη. Έχει επιλεγεί στην συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση η εστίαση στα χαρακτηριστικά της μη επαναλήψιμης και μη προβλέψιμης συμπεριφοράς καθώς μικρές αλλαγές στο αίτιο μπορούν να επιφέρουν τεράστιες (ή πολύ μικρές αντίστοιχα) και γενικά απρόβλεπτες αλλαγές στο άμεσα σχετιζόμενο αποτέλεσμα (Cilliers, 1998; Jensen, 1998; Jørgensen, 2009), και στην αναγνώριση της «Κρίσιμης Συμπεριφοράς» ή «Κρίσιμης κατάστασης».

Δραστηριότητα: Γιατί στο Γυμνάσιο;

Σκοπός της διδακτικής παρέμβασης είναι να διερευνηθεί η δυνατότητα να αντιληφθούν οι μαθητές κάποιες βασικές έννοιες της πολυπλοκότητας, όπως είναι αυτή της «κρίσιμης κατάστασης» και της «μη προβλέψιμης συμπεριφοράς» μέσα από διερευνητικού τύπου προσέγγιση και σε πραγματικές σχολικές συνθήκες. Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκαν όλα τα φύλλα εργασίας που θα κληθούν να χρησιμοποιήσουν -ως μαθητές- οι συμμετέχοντες στην εργαστηριακή συνεδρία.

Δραστηριότητα: Στα ίχνη των μαθητών - Ανάδειξη ιδεών

Φάση 1: αρχική αποτύπωση προϋπαρχουσών ιδεών/απόψεων των μαθητών (οι φάσεις αναφέρονται στη δομή των φύλλων εργασίας).

Δραστηριότητα: Στα ίχνη των μαθητών - Εξοικείωση με το περιβάλλον

Φάση 2: πρώτη επαφή με το λογισμικό, διερεύνηση της κατανόησης της λειτουργίας του μοντέλου αποτύπωση της βασικής ιδέας των μαθητών για την σχέση πυκνότητας βλάστησης

- ποσοστού καμένου δάσους. Περιλαμβάνει και τη σχεδίαση ενός γραφήματος (ουσιαστικά αναζητείται η πρόβλεψη για την εξέλιξη ενός φαινομένου).

Δραστηριότητα: Στα ίχνη των μαθητών - Πρώτα ίχνη αβεβαιότητας

Φάση 3: λήψη μετρήσεων σε μικρές και μεγάλες τιμές πυκνότητας δασοκάλυψης

Φάση 4: λήψη μετρήσεων σε όλο το εύρος τιμών πυκνότητας δασοκάλυψης, δημιουργία γραφικής παράστασης σε Excel, ζητείται ένας πρώτος επανέλεγχος της αρχικής πρόβλεψης των μαθητών.

Δραστηριότητα: Στα ίχνη των μαθητών - Πιθανή αναγνώριση κρίσιμης συμπεριφοράς

Φάση 5: λήψη μετρήσεων σε ενδιάμεσες τιμές πυκνότητας δασοκάλυψης (στην περιοχή εμφάνισης κρίσιμης συμπεριφοράς) - πιθανή αναγνώριση κρίσιμης συμπεριφοράς

Δραστηριότητα: Στα ίχνη των μαθητών - Πιθανή αναγνώριση «περιοχών τιμών» κρισιμότητας

Φάση 6: αποτύπωση της γνώμης κάθε μαθητή, ανίχνευση διάκρισης τριών περιοχών διαφορετικής συμπεριφοράς του μοντέλου και πιθανή αντίληψη μη προβλεψιμότητας

Δραστηριότητα: Στα ίχνη των μαθητών - Αναθεώρηση ιδεών

Φάσεις 7-9: Οι μαθητές καλούνται να προσπαθήσουν να γενικεύσουν και επιπλέον βλέποντας συγκεντρωτικά όλες τις μετρήσεις του τμήματος (σε γράφημα) τοποθετούνται με στόχο να εκμαιευτεί έμμεσα αν διακρίνουν: φάσεις στο φαινόμενο, κρίσιμη κατάσταση και μη προβλεψιμότητα.

Δραστηριότητα: Ευρήματα από μια εφαρμογή

Από την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης και την πρώτη διερεύνηση των ευρημάτων προκύπτουν, ικανοποιητικά θετικά στοιχεία (Χαλκίδης κ.ά., 2016). Αρχικά ανιχνεύτηκε όπως ήταν αναμενόμενο πως «αυθορμήτως» οι μαθητές περιμένουν μια (εσφαλμένη) γραμμική εξάρτηση των δυο παραμέτρων που εξετάστηκαν ενώ αρκετοί μαθητές διατηρούν για αρκετό διάστημα τις λανθασμένες προαντιλήψεις. Εν τέλει όμως οι μαθητές σε σημαντικό βαθμό συγκρότησαν και αποκόμισαν σωστή αίσθηση για τα θέματα πολυπλοκότητας με τα οποία ασχολήθηκαν. Είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι η όλη διαδικασία τροποποίησε ή τουλάχιστον άφησε ικανοποιητικά ίχνη «αμφιβολίας» σε σχέση με τις αρχικές αυθόρμητες πεποιθήσεις των μαθητών.

Επιπλέον οι μαθητές ανταποκρίθηκαν στις απαιτήσεις της διαδικασίας, αναγνώρισαν τη λειτουργία και επέδειξαν επάρκεια στο χειρισμό της εφαρμογής. Επιβεβαιώθηκε η λειτουργικότητα της συνεργασίας σε ομάδες και φάνηκε η ορθότητα της επιλογής για συζήτηση μέσα στην ομάδα. Η επιλεγμένη μεθοδολογία άφησε θετική αίσθηση, όπως δήλωσαν ότι αποκόμισαν οι μαθητές στη διαδικασία ανατροφοδότησης.

Εντοπίστηκαν δυσκολίες στην κατανόηση κάποιων σημείων στα ερωτηματολόγια, στην ανάγνωση και ερμηνεία δεδομένων από γραφικές παραστάσεις που θα αντιμετωπιστούν με τροποποιήσεις (γλωσσικές, διευκρινήσεις κ.α.) στο εκπαιδευτικό υλικό και τη μεθοδολογία εφαρμογής. Άρα επιβεβαιώνεται πως έχει νόημα η επέκταση της έρευνας στην ηλικιακή αυτή ομάδα και σε έκταση (μεγαλύτερο δείγμα με επανασχεδιασμένη - βελτιωμένη

μεθοδολογία) και παράλληλα σε άλλες έννοιες που σχετίζονται με τη θεματική της πολυπλοκότητας.

Δραστηριότητα: Επεμβάσεις στον κώδικα

Παρουσιάζονται οι δυνατότητες παρέμβασης στο περιβάλλον εργασίας του χρήστη, αλλά και στον πηγαίο κώδικα της εφαρμογής. Η προσέγγιση έχει τη λογική της υποβοηθούμενης μοντελοποίησης (scaffolding modelling) με τη σειριακή προσέγγιση «χρήση - αλλαγή - δημιουργία» (use-modify-create).

Δραστηριότητα: Πέρα από το δάσος - Σμήνη πουλιών

Παρουσιάζεται σύντομα μια άλλη διδακτική παρέμβαση, σε πιο σύνθετο μοντέλο «πουλιών που δημιουργούν σμήνη», η στοχοθεσία, η πρώτη εφαρμογή και τα πρώτα ευρήματα από αυτήν.

Δραστηριότητα: Πέρα από τα Σμήνη πουλιών - Άλλα ενδιαφέροντα μοντέλα από τη συλλογή της NetLogo

Παρουσιάζονται με σύντομια και άλλα μοντέλα όπως αυτά των «μερμηγκιών» τα μοντέλα «θηράματος-θηρευτή» κ.α.

Δραστηριότητα: Μια πρόταση συσχέτισης μοντέλων της NetLogo και εννοιών πολυπλοκότητας

Έχοντας εικόνα από τα χαρακτηριστικά κάποιων μοντέλων από τις βιβλιοθήκες της NetLogo γίνεται μια συσχέτιση μοντέλων με έννοιες πολυπλοκότητας που μπορούν να διδαχτούν, με στόχο μια συνολική διδακτική παρέμβαση μεγαλύτερης κλίμακας.

Δραστηριότητα: Συζήτηση

Με την ολοκλήρωση του εργαστηριακού τμήματος ακολουθεί διάλογος με τους συμμετέχοντες, αναμένοντας με τη συζήτηση να αναδυθούν σκέψεις και προτάσεις για προεκτάσεις και εναλλακτικές χρήσεις

Αναφορές

- Bak, P., Chen, K., & Tang, C., (1990). A forest-fire model and some thoughts on turbulence. *Phys. Lett. A* 147, 297-300.
- Bybee, R. (2006). Scientific inquiry and science teaching. In: L. Flick, & Lederman, N. (Eds), *Scientific Inquiry and Nature of Science*. Kluwer Academic Publishers.
- Cilliers, P. (1998). *Complexity and Postmodernism*. Routledge, London.
- Hmelo-Silver, C. E., Holton, D., L., & Kolodner, J., L. (2000). Designing to Learn about Complex Systems. *The Journal of the Learning Sciences*, 9 (3): 247-298.
- Hmelo-Silver, C., E., & Azevedo, R. (2006). Understanding Complex Systems: Some Core Challenges. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1): 53-61.
- Jacobson, M. J., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *The Journal of the Learning Sciences*, 15 (1), 11-34.
- Jensen, H.J. (1998). *Self-Organized Criticality: Emergent Complex Behavior in Physical and Biological Systems*. Cambridge University Press, New York, USA.
- Jørgensen, S. E. (2009). *Ecosystem Ecology*. Copenhagen: Elsevier.
- Nicolis, G., & Prigogine, I. (1989). *Exploring Complexity*. W. H. Freeman and Co., NY

- Papert, S. (1991). Situating Constructionism. In: S. Papert & I. Harel (Eds), *Constructionism*, pp. 1-11. Norwood, New Jersey: Ablex.
- Papert, S. (1993). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York: Basic Books, 2nd Edition.
- Scheffer, M. (2009). *Critical transitions in nature and society*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Wilensky, U. (1997). *NetLogo Fire model*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Fire>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social and engineered complex systems with NetLogo*. MIT Press, Cambridge Massachusetts.
- Wilensky, U., & Reisman, K. (2006). Thinking like a wolf, a sheep, or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories. An embodied modeling approach. *Cognition and Instruction*, 24(2), 171-209.
- Wilkerson-Jerde, M.H., & Wilensky, U. (2015). Patterns, probabilities, and people: making sense of quantitative change in complex systems. *Journal of the Learning Sciences* 24(2), 204-251.
- Χαλκίδης, Α., Γκιόλιας, Α., Στόμπα, Α., Κονταξή, Μ., Σκορδούλης, Κ. (2016). Μπορούν μαθητές Γυμνασίου να προσεγγίσουν έννοιες πολυπλοκότητας εργαζόμενοι με τη βιβλιοθήκη μοντέλων της NetLogo; Ευρήματα από μια πρώτη διερεύνηση. στο *Proceedings of the 10th Pan-Hellenic and International Conference "ICT in Education"*, Ioannina: HAICTE. pp. 419-426.