

Υπολογιστική Σκέψη, Επιστημολογία των Μηχανικών και Υπολογιστική Παιδαγωγική: Μια πρόταση εισαγωγής του STEM στην εκπαίδευση

Σαράντος Ψυχάρης, Καθηγητής ΑΣΠΑΙΤΕ, email: spsycharis@gmail.com

Ευαγγελία Κοτζαμπασάκη, μτφ STEM-ΑΣΠΑΙΤΕ, email: evikotza@gmail.com

Κωνσταντίνος Καλοβρέκτης, Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, e-mail: kkalovr@uth.gr

Περίληψη

Η εισαγωγή της έννοιας της υπολογιστικής σκέψης προκάλεσε πολλές συζητήσεις για την νέα αυτή ικανότητα αναλυτικής και κριτικής σκέψης, ενώ υπάρχουν πολλές έρευνες σχετικά με την ολοκλήρωση της υπολογιστικής σκέψης καθώς και της επιστημολογίας των μηχανικών στην επιστημολογία του STEM (science, technology, engineering and mathematics). Πρόσφατα μάλιστα εμφανίσθηκε και ο όρος Computational Pedagogy-Υπολογιστική Παιδαγωγική ως μια επέκταση της τεχνολογικής παιδαγωγικής γνώσης περιεχομένου (TPACK), όπου θεμελιώδης συνιστώσα θεωρείται ο υπολογισμός-computing που οδηγεί στο CPACK.

Αυτό το άρθρο παρουσιάζει τρέχουσες απόψεις άλλων ερευνητών για την υπολογιστική σκέψη, την υπολογιστική παιδαγωγική, την υπολογιστική επιστήμη, την επιστημολογία των μηχανικών και το STEM, και η συνεισφορά του είναι α) στην σύνδεση των διαφόρων τρόπων ολοκλήρωσης του STEM με αντίστοιχα επιστημολογικά ρεύματα και β) στην πρότασή του για την υιοθέτηση του υπολογιστικού πειράματος ως εργαλείου/μεθοδολογίας υλοποίησης της Υπολογιστικής σκέψης και του computing στην επιστημολογία του STEM.

Λέξεις κλειδιά: Υπολογιστική Σκέψη, Υπολογιστική Παιδαγωγική, Υπολογιστικό Πείραμα, STEM, Επιστημολογικό περιεχόμενο

Abstract

The introduction of the concept of computational thinking has led to many discussions about the new analytic and critical thinking ability, and there are many researches on the integration of computational thinking and the epistemology of engineers in STEM (science, technology, engineering and mathematics). Recently the Computational pedagogy- Computational Education term has emerged as an extension of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK), where computing considered as a fundamental component leading to the CPACK.

This article outlines researchers' current views on computational thinking, computational pedagogy, computational science, engineering epistemology and STEM epistemology. The contribution of the article is a) the connection of the different ways of integrating STEM with corresponding epistemological trends and b) the proposal of adopting the computational experiment as a tool / methodology for the implementation of Computational Thinking and Computing in STEM epistemology.

Keywords: Computational Thinking, Computational Pedagogy, Computational experiment, STEM, Epistemology content

1. Η Υπολογιστική Σκέψη (Υ.Σ.)

Η Υπολογιστική Σκέψη μπορεί να αξιοποιηθεί σε όλες τις επιστήμες για την επίλυση προβλημάτων, το σχεδιασμό συστημάτων, τη δημιουργία νέας γνώσης και την κατανόηση των λειτουργιών και των περιορισμών των υπολογιστικών συστημάτων. Η Wing (2006) αναφέρει ότι η Υπολογιστική Σκέψη είναι μια βασική ικανότητα που πρέπει να έχουν οι εκπαιδευόμενοι συμπληρωματικά με τις άλλες τρεις βασικές δεξιότητες, την ανάγνωση, τη γραφή και την αριθμητική. Η Υ.Σ. περιλαμβάνει την επίλυση προβλήματος, το σχεδιασμό συστημάτων και την κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, βασιζόμενη σε έννοιες που είναι πολύ σημαντικές για την Ε.Υ. Η Υ.Σ περιλαμβάνει επίσης μία σειρά νοητικών εργαλείων που αντανακλούν το εύρος του πεδίου της επιστήμης των υπολογιστών (Wing, 2006). Μετά την Wing πολλοί ερευνητές έκαναν προσπάθειες ενός πληρέστερου προσδιορισμού του όρου αυτού (π.χ. Barr & Stephenson, 2011; Denning, 2007, 2009, 2011; Grover & Pea, 2013; Guzdial, 2008, 2012; National Research Council, 2010, 2011; Selby & Woolard, 2014, Παλιούρας, 2017; Ψυχάρης & Καλοβρέκτης, 2017).

Διενεργώντας έρευνα σε έγκυρες βάσεις δεδομένων (π.χ. Web of Science and Citations, Engineering Village,

Google Scholar, IEEE Explore, ACM Digital Library, Lecture Notes in Computer Science, PsycINFO, ERIC, the British Education Index) προκύπτει ότι οι ερευνητές έχουν αντικρουόμενες απόψεις για τον προσδιορισμό της έννοιας της Υ.Σ..

Αρχικά οι κοινά αποδεκτές διαστάσεις που περιέχονταν στην Υ.Σ. ήταν οι: 1. Η «νοητική διαδικασία» 2. Η αφαιρετική σκέψη και 3. η «τμηματοποίηση» του προβλήματος.

Η νοητική διαδικασία- Σύλληψη εννοιών. Όταν πρωτοεισήγαγε τον όρο Υ.Σ. η Wing (2006), τον περιέγραψε ως ένα τρόπο με τον οποίο οι εκπαιδευόμενοι σκέφτονται ώστε να λύνουν προβλήματα. Συνεχίζοντας, στο πνεύμα της Wing, ο Guzdial (2008) αναφέρεται στην Υ.Σ. ως ένα τρόπο για να σκεφτόμαστε για τον τρόπο που σκεφτόμαστε σχετικά με υπολογισμούς, ενώ ο Denning (2011) επέκτεινε την έννοια της Υ.Σ. ώστε να συμπεριλάβει τα προβλήματα ως πληροφοριακές διαδικασίες και τις λύσεις τους ως αλγορίθμους. Ο Aho (2012) επίσης θεωρεί ότι η νοητική διαδικασία που περιλαμβάνεται στην Υ.Σ. σχετίζεται με τον μετασχηματισμό του προβλήματος προς επίλυση ώστε η διατύπωση του

προβλήματος και η λύση του να μπορεί να εκφρασθεί με τη μορφή αλγορίθμου.

Η αφαιρετική σκέψη θεωρείται ότι έχει πολλά επίπεδα και θα πρέπει να προσδιορισθούν τα σύνορα ανάμεσα σε αυτά τα επίπεδα (Wing, 2007). Ο Denning (2011) επίσης αναγνωρίζει ότι η αφαιρετική σκέψη είναι πολύ σημαντική και πρέπει να περιλαμβάνεται στην Υ.Σ. παράλληλα με τον προγραμματισμό. Κατά την διαδικασία της «αφαίρεσης» στην Υπολογιστική Σκέψη, καθορίζονται οι λεπτομέρειες που θα αγνοηθούν και αυτές στις οποίες θα δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, όταν εφαρμόζεται ο επαγωγικός τρόπος συλλογισμού. Συνήθως γίνεται επεξεργασία δυο ή περισσότερων επιπέδων ταυτόχρονα, το ένα είναι το επίπεδο που έχει ενδιαφέρον και το άλλο είναι το κάτω ή το επάνω από αυτό της αφαίρεσης και συνήθως γίνεται επεξεργασία δυο η περισσότερων επιπέδων κατά τη διάρκεια της επίλυσης του προβλήματος. Η εφαρμογή της «αφαίρεσης» στην διδακτική μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη μοντέλων που μπορούν να προσομοιωθούν και επίσης στην διασφάλιση της εγκυρότητας των μοντέλων ενώ μπορεί επίσης να βοηθήσει στην πρόβλεψη και την γενίκευση αποτελεσμάτων (βλ. και παρακάτω όπου θα συζητηθούν η έννοια του μοντέλου και οι χώροι του υπολογιστικού πειράματος). Με την αφαιρετική σκέψη οι εκπαιδευόμενοι μπορούν επίσης να αναγνωρίσουν κοινά μοντέλα –και δομές- μεταξύ

διαφορετικών επιστημών (σκεφθείτε για παράδειγμα το νόμο της εκθετικής μείωσης σε πόσες επιστήμες εμφανίζεται και τα «κοινά» Μαθηματικά που εμφανίζονται).

Τέλος, η **«τμηματοποίηση»** του προβλήματος είναι το τρίτο κοινό αποδεκτό στοιχείο της Υ.Σ. Οι συμμετέχοντες του πρώτου workshop για την Υ.Σ. (National Research Council, NRC 2010) θεώρησαν την «τμηματοποίηση» ως στοιχείο της Υ.Σ.. Ο Guzdial (2012) επίσης θεωρεί την «τμηματοποίηση» ως βασικό στοιχείο της Υ.Σ.. Για την Β/θμια εκπαίδευση επίσης, οι Yevseyeva & Towhidnejad (2012) χρησιμοποιούν την «τμηματοποίηση» ως λειτουργικό στοιχείο της Υ.Σ..

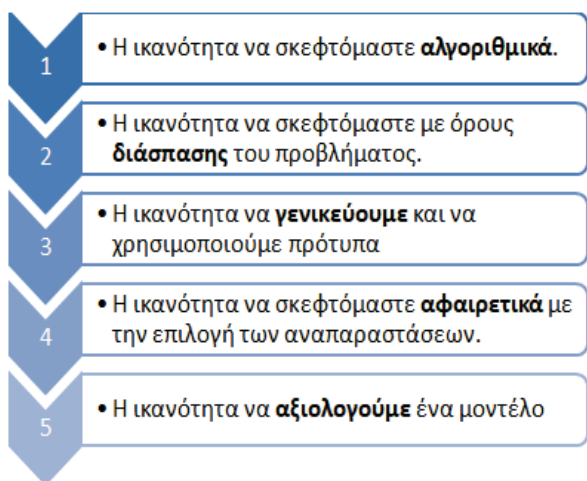
Αν και η έννοια της Υ.Σ. αντιπροσωπεύει μια αναλυτική δεξιότητα υπάρχουν ερευνητικές εργασίες που θεωρούν ότι θα πρέπει να ενταχθούν σε αυτήν και άλλοι «τύποι» σκέψης. Αυτοί οι τύποι είναι οι: η λογική σκέψη, η αλγοριθμική σκέψη, η «σκέψη των μηχανικών» και η «μαθηματική σκέψη» (<http://eprints.soton.ac.uk/372410/>).

Από ερευνητικές εργασίες έχουν προκύψει ορισμένες κοινά αποδεκτές διαστάσεις της Υ.Σ. που παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 1. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει τις διαστάσεις της Υ.Σ. όπως εμφανίζονται σε πέντε άρθρα που επιλέχθηκαν βάσει του αριθμού (πλήθους) των ετεροαναφορών τους.

Πίνακας1: Διαστάσεις της Υ.Σ.

Barr &Stephenson, 2011	Αφαιρετική σκέψη, Αλγόριθμοι και διαδικασίες, Αυτοματοποίηση- η υλοποίηση του υπολογισμού σε συστήματα, Τμηματοποίηση του Προβλήματος-η διαδικασία διάσπασης του προβλήματος σε μικρότερα τμήματα που μπορούν να επιλυθούν ευκολότερα, Προσομοίωση, Κατανεμημένη επεξεργασία- συνεισφορά από διαφορετικά προγράμματα
Lee κ.α., 2011	Αφαιρετική σκέψη, Αυτοματοποίηση, Ανάλυση
Grover & Pea, 2013	Αφαιρετική σκέψη και αναγνώριση προτύπων, Αλγόριθμοι και διαγράμματα ροής Συμβατική Λογική, Δομοστοιχείωση –Modularity- Δομημένη τμηματοποίηση του προβλήματος. Η διαδικασία επαναχρησιμοποίησης επαναλαμβανόμενων εντολών για μια συγκεκριμένη λειτουργία, Αποτελεσματικότητα, επαναληπτικές διαδικασίες, συμβολικές αναπαραστάσεις
Selby & Woollard, 2013	Αφαιρετική Σκέψη, Αλγοριθμική Σκέψη, Αξιολόγηση(δεδομένων), Γενικεύσεις
Angeli et all,2016	Αφαιρετική Σκέψη, Αλγόριθμοι (συμπεριλαμβάνει και την έννοια της αλληλουχίας και της ακολουθίας), Τμηματοποίηση, Αποσφαλμάτωση, Γενίκευση

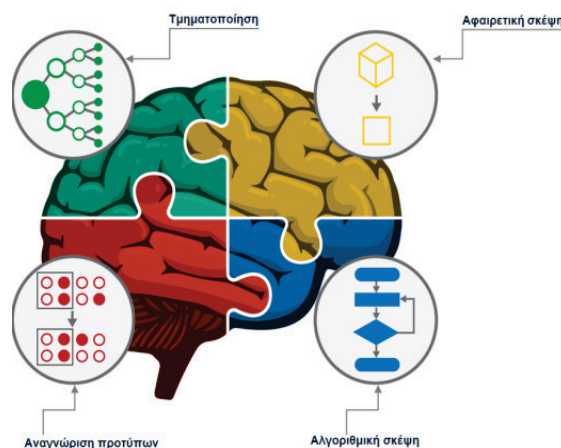
Εικόνα 1: Οι διαστάσεις της Υ.Σ



Στην Εικόνα 1, παρουσιάζουμε συνοπτικά τις πέντε κύριες διαστάσεις της υπολογιστικής σκέψης. Επίσης,

παραθέτουμε μια πολύ όμορφη και συνεκτική εικόνα από το BBC (Εικόνα 2) <http://www.bbc.co.uk/education/guides/zp92mp3/revision> ως πρακτικό οδηγό- για την Υ.Σ. (Ψυχάρης, 2017).

Εικόνα 2: Η Υπολογιστική Σκέψη στην πράξη



1.1 Η Υ.Σ. τα Μαθηματικά και οι Φυσικές Επιστήμες
Ο Guzdial (2012) προτείνει ότι δεν θα πρέπει να εστιάσουμε σε ένα «στενό» ορισμό και προτείνει επίσης μια μετατόπιση από τον εννοιολογικό προσδιορισμό της Υ.Σ. στον τρόπο που αυτή θα ενταχθεί στη διδακτική-μαθησιακή ακολουθία και πώς θα υπάρχουν δείκτες αξιοποίησης αυτής από τους μαθητές.

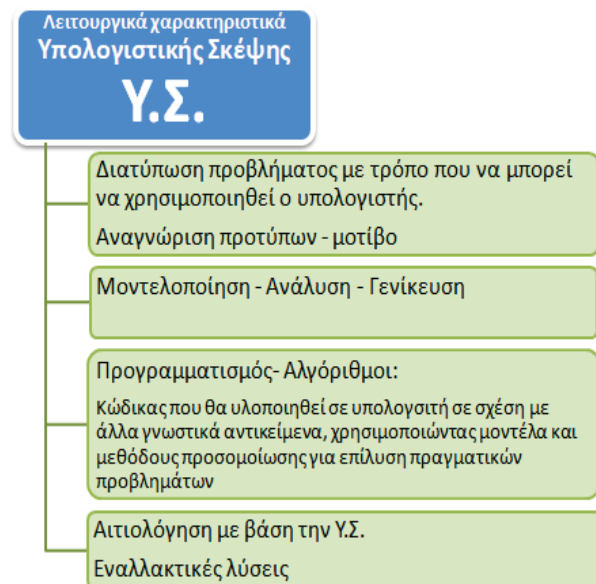
Η επιτροπή Next Generation Science Standards (NGSS Lead States, 2013) εισηγείται την εισαγωγή της Υ.Σ. ως «επιστημονικής πρακτικής». Με αυτή την εισαγωγή και την αυξανόμενη παρουσία των υπολογισμών στα Μαθηματικά και τις Φ.Ε., χρειάζεται να αναθεωρηθούν οι διαστάσεις της Υ.Σ. και να δημιουργηθεί ένα θεωρητικό πλαίσιο για την μορφή της Υ.Σ. στην σχολική εκδοχή των Μαθηματικών και των Φ.Ε.

Επίσης οι Weintrop κ.α. (2016) θέτουν το θέμα της ένταξης της Υ.Σ. στη διδακτική των Μαθηματικών και των Φυσικών Επιστημών. Οι συγγραφείς προτείνουν έναν ορισμό της Υ.Σ. για τα Μαθηματικά και τις Φ.Ε. που περιλαμβάνει τις διαδικασίες συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, την μοντελοποίηση και προσομοίωση, τις υπολογιστικές (computational) στρατηγικές και πρακτικές επίλυσης προβλήματος.

Ο Cuny (National Research Council, 2010) θέτει επίσης το θέμα της αξιολόγησης της Υ.Σ. εφόσον αυτή ενταχθεί στο αναλυτικό πρόγραμμα. Αν δεν καταλήξουμε σε ένα κοινό αποδεκτό ορισμό της Υ.Σ. θα είναι δύσκολο να αναπτύξουμε εργαλεία αξιολόγησης τα οποία θα μετρούν έγκυρα την ικανότητα να σκεφθούν «υπολογιστικά» οι εκπαιδευόμενοι.

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της υπολογιστικής σκέψης, παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3). Αμέσως μετά θα επιχειρήσουμε την ολοκλήρωση της Υ.Σ. με το STEM αξιοποιώντας το Υπολογιστικό πείραμα (Υ.Π) και την Υπολογιστική Επιστήμη (Υ.Ε.).

Εικόνα 3: Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της «Υπολογιστικής Σκέψης»



2. Η Παιδαγωγική των Μηχανικών (Engineering Education)

Η επιτροπή Next Generation Science Standards (NGSS Lead States, 2013) εισηγήθηκε την αναθεώρηση της εκπαίδευσης στις επιστήμες με την εισαγωγή περιεχομένου και πρακτικών από την γνωστική περιοχή των Μηχανικών σε όλη την σχολική εκπαίδευση, από το Νηπιαγωγείο μέχρι το Λύκειο.

What is engineering education? Η γνωστική περιοχή των Μηχανικών μπορεί να διαιρεθεί στο περιεχόμενο (engineering content) και στον σχεδιασμό (engineering design). Το περιεχόμενο προκύπτει από

την τομή της Επιστήμης (Φ.Ε.) των Μαθηματικών και της ανάγκης να χρησιμοποιηθούν εργαλεία με τα οποία οι Μηχανικοί μπορούν να σχεδιάσουν λύσεις για συγκεκριμένα προβλήματα τα οποία θα υπόκεινται σε συγκεκριμένους περιορισμούς (Shirey, 2017). Οι Rugarcia κ.α. (2000) περιέγραψαν την «Παιδαγωγική των Μηχανικών» ως την ανάπτυξη της γνώσης σε αυτό το γνωστικό πεδίο, δηλαδή την ανάπτυξη εννοιών, τις δεξιότητες (σχεδιασμός, υπολογισμοί, ανάλυση) και τις στάσεις (αξίες, πεποιθήσεις, προτιμήσεις).

Οι Berland κ.α. (2013) σημειώνουν ότι η αξιοποίηση της «Παιδαγωγικής των Μηχανικών» μπορεί να βοηθήσει στην βαθύτερη γνώση-κατανόηση στα Μαθηματικά και τις Φ.Ε. στην σχολική εκπαίδευση και στην εκμάθηση του «σχεδιασμού των Μηχανικών» (Engineering Design).

Ο «σχεδιασμός των Μηχανικών» είναι η διαδικασία ενός επαναληπτικού κύκλου (iterative cycle) ορισμού προβλημάτων, ιδεών για την επίλυση προβλήματος, συλλογής, επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων, μεθόδων βελτιστοποίησης, και επικοινωνίας των λύσεων. Από τις σχετικές έρευνες προκύπτει ότι ο «σχεδιασμός των Μηχανικών» είναι μια πρακτική επίλυσης προβλήματος που περιλαμβάνει μια συνθετική μίξη γνώσεων, διαδικασιών και δεξιοτήτων-ικανοτήτων.

Σχετικά ερωτήματα τίθενται επίσης στην βιβλιογραφία σε σχέση με την επιστημολογία των μηχανικών και ειδικότερα το λεγόμενο Engineering Education Epistemology (EEE), ώστε να συνδεθεί με τα Μαθηματικά και τις Φ.Ε. (Shirey, 2015)

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η συζήτηση για την εισαγωγή της «Παιδαγωγικής των Μηχανικών» προέρχεται από την εγγενή φύση αυτής της γνωστικής περιοχής η οποία μπορεί να προσφέρει την μεθοδολογία και τα εργαλεία για αναμόρφωση του προγράμματος σπουδών στα Μαθηματικά και τις Φ.Ε..

Σε σχετικές έρευνες τονίζεται επίσης η ανάγκη να αποσαφηνισθεί η εισαγωγή της «Παιδαγωγικής των Μηχανικών» είτε σαν αυτοτελές μάθημα είτε ως μάθημα που θα διαχυθεί στα υπάρχοντα μαθήματα των Μαθηματικών και των Φ.Ε., χωρίς όμως συγκεκριμένα - μέχρι τώρα- αποτελέσματα ως προς το μαθησιακό αποτέλεσμα. Ένα επίσης βασικό χαρακτηριστικό που αναφέρεται στην «Παιδαγωγική των Μηχανικών» είναι οι λεγόμενες «διεπιστημονικές» έννοιες, (crosscutting concepts) (Shirey, 2017), οι οποίες προκαλούν το ερευνητικό ενδιαφέρον για την σύνδεση της «Παιδαγωγικής των Μηχανικών» με το STEM.

3. Η επιστημολογία του STEM

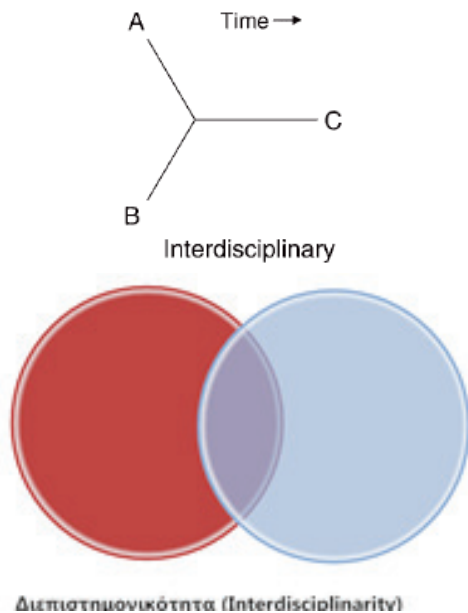
3.1 Διεπιστημονικότητα και δια-επιστημονικότητα

Η ιδέα ενός «ολοκληρωμένου» αναλυτικού προγράμματος (Α.Π) -Curriculum integration- βασίστηκε στις αρχές του εποικοδομητισμού. Οι Satchwell & Loerp (2002) περιγράφουν το ολοκληρωμένο Α.Π. ως αυτό που «αφομοιώνει» έννοιες από περισσότερες από μια γνωστικές περιοχές. Η ιδέα του ολοκληρωμένου Α.Π προέρχεται επίσης και από το γεγονός ότι τα προβλήματα του πραγματικού κόσμου δεν διαχωρίζονται σε μεμονωμένες γνωστικές περιοχές, όπως αυτές διδάσκονται στην σχολική εκπαίδευση.

Κατά μια ερευνητική άποψη, η «ολοκλήρωση» STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) θεωρείται ως μια προσέγγιση του Α.Π. που τις έννοιες των γνωστικών περιοχών του STEM σε μια διεπιστημονική (interdisciplinary) προσέγγιση διδασκαλίας (Wang et al., 2011). Η διεπιστημονική προσέγγιση ακολουθεί αθροιστική λογική και συσχετίζει μεμονωμένους παράγοντες από διάφορους επιστημονικούς κλάδους. Η διεπιστημονική προσέγγιση χρησιμοποιεί την συνθετική αντίληψη, άλλες οπτικές θεωρήσεις και αποδέχεται εναλλακτικές θεωρήσεις (Αποστολίδου Αργυρή, Εργασία p://www.ekdd.gr/ekdda/files/ergasies_esdd/15/2/688.pdf).

Η διεπιστημονική ανάλυση ενός φαινομένου βασίζεται στην αθροιστική συγκέντρωση διαφόρων επιστημονικών κλάδων μέσα από την εννοιολογική υποδομή, τις προτεραιότητες και την προβληματική εκάστου κλάδου. Η εικόνα της διεπιστημονικής προσέγγισης περιγράφεται παρακάτω (Ψυχάρης & Καλοβρέκτης, 2017).

Εικόνα 4: Η διεπιστημονική (interdisciplinary) προσέγγιση



Με την ανάπτυξη της συστημικής επιστήμης προτάθηκε και ο όρος δια-επιστημονική προσέγγιση (transdisciplinary approach). Στην δια-επιστημονική προσέγγιση οι επιστήμονες συνεισφέρουν με την εμπειρία τους αλλά εργάζονται «έξω» από την γνωστική τους περιοχή, τις γνώσεις και την μεθοδολογία του γνωστικού, ενώ επιχειρούν να «καταλάβουν» τις πολυπλοκότητες του «όλου» προβλήματος και όχι τμήματα αυτού (Ψυχάρης & Καλοβρέκτης, 2017).

Στην διεπιστημονική προσέγγιση οι επιστήμονες δουλεύουν σε ένα κοινό τμήμα με την μεθοδολογία της γνωστικής τους περιοχής και αυτό ορισμένες φορές μπορεί να οδηγήσει σε νένα γνωστική περιοχή (Ψυχάρης & Καλοβρέκτης, 2017).

Η συστημική, δια-επιστημονική προσέγγιση, ακολουθεί ένα ολιστικό, συνδυαστικό μοντέλο με δια-επιστημονική αναφορά (transdisciplinary) σύμφωνα με το οποίο το όλο είναι ποιοτικά διαφορετικό από το άθροισμα των στοιχείων του. Η συστημική επιστημολογία επιχειρεί την πανοραμική θέαση (όλον και επιμέρους στοιχεία) σε συνδυασμό με εστίαση στο συγκεκριμένο (Αποστολίδου, 2004). Αυτό το επιστημονικό παράδειγμα αποτελεί μια ολιστική προσέγγιση, προσέγγιση του όλου, με αφαιρετικές έννοιες αλλά και δυνατότητα εστίασης στο επιμέρους. Η δια-επιστημονική προσέγγιση δίνει επίσης έμφαση στην εξέταση συσχετισμών και όχι μεμονωμένων φαινομένων, προσπαθεί να υπερβεί την απομόνωση της εξειδίκευσης, εμμένοντας στις αλληλοσυνδεόμενες διαδικασίες (Εικόνα 5). Ο Jean Piaget χρησιμοποίησε αυτό τον όρο 1972 και το 1987 έγινε το πρώτο παγκόσμιο συνέδριο σχετικά με την διεπιστημονικότητα στο οποίο συζητήθηκε η διαφορά της διεπιστημονικότητας (Interdisciplinarity) και δια-επιστημονικότητας (Transdisciplinarity) (Piaget, 1972; Nicolescu, 1986; Nicolescu, 1993).

Εικόνα 5: Η δια-επιστημονική προσέγγιση



3.2 Προσεγγίσεις ολοκλήρωσης του STEM

Είναι γνωστό ότι με την STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) ολοκλήρωση επιδιώκουμε:

1. Την σε βάθος εννοιολογική κατανόηση των εννοιών από τα 4 τέσσερα γνωστικά αντικείμενα του STEM με αξιοποίηση της επιστημολογίας του STEM όπως θα ορισθεί.
2. Την κατανόηση από τους μαθητές των γνωστικών αντικείμενων του STEM μέσα από κοινωνικά πλαίσια και την αγορά εργασίας.
3. Την ένταξη στο STEM δεξιοτήτων από την Υπολογιστική Επιστήμη την Παιδαγωγική των Μηχανικών και την Υπολογιστική Σκέψη.

Θα αναφερθούμε τώρα σε δυο τρόπους ολοκλήρωσης του STEM στην εκπαίδευση, στην ολοκλήρωση πλαισίου (context integration) και την ολοκλήρωση περιεχομένου (content integration) (Roehrig et al, 2012).

Στην **ολοκλήρωση πλαισίου** η εστίαση γίνεται σε ένα από τα γνωστικά αντικείμενα του STEM και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται πλαίσια από άλλα γνωστικά αντικείμενα για να κάνουν περισσότερο σχετικό το περιεχόμενο από το πρώτο γνωστικό αντικείμενο (Roehrig et al, 2012).

Για παράδειγμα καθηγητής των Μαθηματικών θα μπορούσε να αναφερθεί στην κατανομή chi-square testing και στη συνέχεια οι μαθητές να εξετάσουν τα λάστιχα αυτοκινήτων μιας εταιρείας για να ελέγξουν αν επαληθεύεται η κατανομή αυτή (εξετάζοντας παράλληλα τον τύπο υλικού από τα λάστιχα, την διάμετρο αυτών, τον όγκο τους κλπ) (Roehrig et al, 2012).

Θεωρούμε ότι αυτή η προσέγγιση είναι περισσότερο κοντά στην διεπιστημονική επιστημολογία καθώς χρησιμοποιεί αθροιστικές μεθοδολογίες σε διακριτά χρονικά σημεία της παρέμβασης.

Η **προσέγγιση περιεχομένου** (Content integration) εστιάζει στην ένωση (merging of the content fields) σε μια μοναδική δραστηριότητα αναλυτικού προγράμματος ώστε να «μελετηθούν» οι «μεγάλες ιδέες» από πολλαπλές γνωστικές περιοχές (Roehrig et al, 2012). Επειδή η προσέγγιση αυτή πρέπει να βρει συσχετίσεις και να αναδειχθεί η μεγάλη ιδέα ως ολότητα θεωρούμε ότι είναι δια-επιστημονική προσέγγιση.

Για παράδειγμα μπορεί να θεωρήσουμε τον τρόπο με τον οποίο δουλεύουν οι ανεμογεννήτριες ή με ποιο τρόπο μεταφέρεται η θερμότητα. Κατά την διδασκαλία θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πλήρως ολοκληρωμένο STEM πλαίσιο. Οι μαθητές θα πρέπει να ορίσουν το μοντέλο (μεταβλητές και σχέσεις μεταβλητών με γνώσεις από τις Φ.Ε. και τα Μαθηματικά) και επιπλέον να διερευνήσουν την «επίδραση» του συγκεκριμένου μοντέλου στην παραγωγή ρεύματος. Ο σχεδιασμός της Μηχανικής (engineering design) θα επιτρέπει να οδηγηθούν οι μαθητές σε ερωτήματα όπως το σχήμα, το βάρος, το υλικό των πτερυγίων κλπ, να σχεδιάσουν ένα πρότυπο το οποίο με τα δεδομένα που θα συλλέξουν θα γίνει αντιληπτό αν είναι κοντά ή όχι στην πραγματικότητα. Σε αυτό το μοντέλο ολοκλήρωσης ο εκπαιδευτικός θα πρέπει να διδάξει εκπαιδευτικό

Εικόνα 8: Το επιστημονικό πεδίο της .Υ.Ε. σύμφωνα με τους Shiflet & Shiflet



Τα παραπάνω οδήγησαν στην έννοια της υπολογιστικής προσέγγισης και του υπολογιστικού πειράματος όπου το μοντέλο, η προσομοίωση και το υπολογιστικό πείραμα παίρνουν τη θέση του «κλασικού» πειράματος (Landau et al., 2008) συνθέτοντας έτσι την εικόνα της επιστήμης.

Εικόνα 9: Οι τρόποι επίλυσης προβλημάτων στην επιστήμη



Παρατηρούμε ότι η Υ.Ε. είναι ένας τρίτος πυλώνας για την επίλυση προβλημάτων στην Επιστήμη.

Με τον όρο επομένως υπολογιστική προσέγγιση-υπολογιστικό πείραμα στις επιστήμες εννοούμε την προσέγγιση που θεωρεί τα πειράματα με υπολογιστή ως βασικό εργαλείο της επιστήμης και της διδασκαλίας σε

όλα τα επίπεδα της εκπαίδευσης και βέβαια και για διδακτική χρήση (Hjorth-Jensen, 2007).

4.1 Το παράδειγμα επίλυσης προβλήματος με χρήση της Υπολογιστικής Επιστήμης στην Εκπαίδευση: το μοντέλο προσομοίωσης (simulation model).

Έχοντας συνδέσει την Υ.Ε. με την Υ.Σ. θα επιχειρήσουμε να οριοθετήσουμε την Υ.Σ ως μεθοδολογία επίλυσης προβλήματος. Η θέση μας είναι ότι η Υ.Σ. είναι από μόνη της μια μέθοδος προβλήματος η οποία όμως αξιοποιείται με τον βέλτιστο τρόπο όταν ακολουθείται η επιστημολογία και η μεθοδολογία της Υ.Ε. (Ψυχάρης & Καλοβρέκτης).

Είδαμε ότι βασική έννοια της Υ.Ε. είναι το μοντέλο. Μέσα στο μοντέλο περιέχονται αφαιρετικές διαδικασίες, ή καλύτερα το μοντέλο προέρχεται από αφαιρετικές διαδικασίες. Σύμφωνα με το report Computer Science Curricula (2013), τα μοντέλα είναι αφαιρετικές δομές καταστάσεων και φαινομένων. Μια συχνή σύγχυση αφορά τη διάκριση του μοντέλου και της προσομοίωσης.

Σύμφωνα με τους Xie et al. (2011) **θα πρέπει να υπάρχει διάκριση ανάμεσα στη μοντελοποίηση και τη προσομοίωση.** Όταν μελετάμε τη λειτουργία ή τη συμπεριφορά ενός συστήματος που περιλαμβάνει ιδιότητες που μεταβάλλονται χρονικά, τότε θα αναφερόμαστε στην «προσομοίωση» του συστήματος. Όταν όμως μελετάμε τη δομή ή το σχηματισμό είναι προτιμότερο να μιλάμε για το «μοντέλο» του συστήματος.

Συνθέτοντας τη μοντελοποίηση και τις διάφορες μεθοδολογίες της προσομοίωσης, προκύπτει ο όρος μοντέλο προσομοίωσης (simulation model). Δεν είναι δύσκολο να αντιληφθεί κανείς ότι στην Υ.Ε. περιέχονται το μοντέλο (αφαιρετική διάσταση της Υ.Σ.), οι μαθηματικές μέθοδοι (αλγοριθμικές συχνά διαδικασίες), οι αναπαραστάσεις (μέσω της ανάπτυξης συγκεκριμένων μοντέλων), ο προγραμματισμός (μέσω της χρήσης γλώσσας προγραμματισμού, οι οπτικοποιήσεις (για αναγνώριση προτύπων). Μα όλα αυτά δεν είναι στοιχεία της Υ.Σ.; Που καταλήξαμε επομένως; Στο ότι η Υ.Σ. βρίσκει την κατάλληλη για αυτήν υλοποίηση στην Υ.Ε.

Συνθέτοντας τα παραπάνω προτείνουμε την παρακάτω μεθοδολογία του υπολογιστικού πειράματος στην εκπαίδευση (Εικόνα 10) (Ψυχάρης&Καλοβρέκτης, 2017).

Εικόνα 10 : Το παράδειγμα επίλυσης προβλήματος με χρήση της Υπολογιστικής Επιστήμης-Υπολογιστικού πειράματος, και των ΤΠΕ στην Εκπαίδευση (Landau et al., 2008; Psycharis, 2015)-Το Υπολογιστικό Πείραμα



4.2 Το μοντέλο - το υπολογιστικό πείραμα-οι χώροι του υπολογιστικού πειράματος και η διερευνητική/ανακαλυπτική (inquiry) μάθηση. Μια ενοποιημένη εικόνα.

Οι (Bell et al., 2010), προσδιόρισαν εννέα (9) βασικές διαδικασίες που εντάσσονται στην μέθοδο Inquiry, οι οποίες υποστηρίζονται από υπολογιστικά περιβάλλοντα, και είναι: ο προσανατολισμός και η ανάπτυξη ερωτήσεων, η δημιουργία υποθέσεων, ο σχεδιασμός, η διερεύνηση, η ανάλυση και η ερμηνεία, η αξιολόγηση, η επικοινωνία και η πρόβλεψη.

Οι εννέα αυτές διαδικασίες είναι στενά συνδεδεμένες με τα επτά (7) στάδια του Inquiry (Asay & Orgill, 2010) τα οποία είναι: η ερώτηση, η απόδειξη, η ανάλυση, η εξήγηση, η σύνδεση, η επικοινωνία και ο αναστοχασμός.

Συνδυάζοντας τα παραπάνω, δηλαδή την έννοια του μοντέλου και της μεθοδολογίας του υπολογιστικού πειράματος, μπορούμε να πάμε ένα ακόμα βήμα πιο κοντά σε μια πιο ενοποιημένη εικόνα που μπορεί να αποτελέσει και έναν πρακτικό οδηγό για την υλοποίηση του υπολογιστικού πειράματος, η οποία εικόνα περιλαμβάνει και τα βασικά στοιχεία της Υ.Σ.

Παρακάτω παρουσιάζουμε μια πρόταση για την «ολοκλήρωση» του υπολογιστικού πειράματος, της έννοιας του μοντέλου, των σταδίων της ανακαλυπτικής-διερευνητικής μάθησης και των χώρων του υπολογιστικού πειράματος (Psycharis, 2015; Psycharis, 2016; Psycharis & Kotzampasaki, 2017). Η πρόταση μπορεί να εφαρμοσθεί πρακτικά αν σκεφθούμε την μεθοδολογία του υπολογιστικού πειράματος και τις φάσεις υλοποίησης του και σε κάθε φάση εντάξουμε τους χώρους του υπολογιστικού πειράματος και τα στάδια της Inquiry μάθησης. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθοδολογίας θεωρούμε ότι είναι η δυνατότητα από τον εκπαιδευόμενο όχι μόνο να διερευνά υπάρχοντα-έτοιμα μοντέλα αλλά κυρίως να δημιουργεί τα δικά του-εκφραστικά μοντέλα, ενώ οι ΤΠΕ δεν θα είναι ένα «μαύρο» κουτί, αλλά αντίθετα ο εκπαιδευόμενος θα μπορεί να συμμετέχει στην παραγωγή του μοντέλου.

Θεωρούμε ότι η προσέγγιση αυτή ενισχύει επιστημολογικά το "computing" προσφέροντας και μια μεθοδολογία εφαρμογής αυτού στην τάξη. Και όταν λέμε μεθοδολογία εννοούμε ακριβώς ένα σύνολο διαδικασιών που θα μπορεί να εφαρμόσει ο εκπαιδευόμενος για να δομήσει ένα πλήρες σενάριο.

Πίνακας 2: Η αντιστοιχισή των χώρων του Υπολογιστικού Πειράματος, των χαρακτηριστικών-σταδίων της διερευνητικής/ανακαλυπτικής μάθησης και των εργαλείων της.

Οι χώροι του Υπολογιστικού Πειράματος	Τα στάδια - χαρακτηριστικά της ανακαλυπτικής / διερευνητικής Μάθησης (Inquiry Learning) (Asay & Orgill, 2010; Pathway Project, http://pathway.ea.gr/)	Εργαλεία ανακαλυπτικής /διερευνητικής μάθησης (Bell et al., 2010)
Ο χώρος των Υποθέσεων	Ερώτηση	Προσανατολισμός και Ανάπτυξη ερωτήσεων, Δημιουργία υποθέσεων
Ο χώρος του Πειράματος	Απόδειξη, Ανάλυση, Εξήγηση	Σχεδιασμός, Διερεύνηση, Ανάλυση, Ερμηνεία, Μοντελοποίηση
Ο χώρος των Προβλέψεων	Σύνδεση, Επικοινωνία, Αναστοχασμός	Συμπεράσματα, αξιολόγηση, πρόβλεψη

5. Η Υπολογιστική Παιδαγωγική (Computational Pedagogy)

Μέχρι τώρα έχουμε συζητήσει διάφορες επιστημολογικές προσεγγίσεις για την επιστημολογία των Μηχανικών, την Υ.Ε. και την Υ.Σ., την επιστημολογία του STEM και αυτή της «Παιδαγωγικής Μηχανικής». Συνθέσαμε απόψεις ερευνητών και περιγράψαμε δικές μας εργασίες σχετικά με τα παραπάνω θέματα ως επισκόπηση (review). Στο σημείο αυτό παραθέτουμε μια πρότασή μας η οποία βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο για την εισαγωγή ενός μοντέλου που καλείται «Υπολογιστική Παιδαγωγική»

Ο σκοπός μας τώρα είναι να επιχειρήσουμε μια σύνθεση όλων αυτών, να αποκτήσουμε δηλαδή μια ενοποιημένη εικόνα, ένα πρότυπο, να εντάξουμε το STEM στην εκπαίδευση ως Υπολογιστική Παιδαγωγική, υιοθετώντας την προσέγγιση της ένταξης του STEM ως περιεχόμενο που στηρίζεται στην δια-επιστημονικότητα.

Είδαμε ότι η Υπολογιστική Επιστήμη (Υ.Ε.) εστιάζει στη χρήση του μοντέλου και της προσομοίωσης για την κατανόηση και την λύση περίπλοκων προβλημάτων, ενώ έχει τις δικές της μεθόδους για να «υποχρεώσει» τα προβλήματα να λυθούν με τη χρήση των μαθηματικών, της επιστήμης των υπολογιστών και τις διάφορες γνωστικές περιοχές.

Σύμφωνα με το NSF (2008) η μοντελοποίηση και η προσομοίωση (βασικά στοιχεία της Υ.Ε.), θεωρούνται ως τα εργαλεία –μέθοδοι για να διδαχθούν οι δεξιότητες της Υ.Σ., ενώ η ίδια επιτροπή εισηγείται ότι στα αρχικά στάδια της εκπαίδευσης με αξιοποίηση των διαστάσεων της Υ.Σ. θα πρέπει να υπάρξει ένας «εύκολος

πειραματισμός», όπου οι εκπαιδευόμενοι θα πρέπει να δημιουργήσουν το δικό τους μοντέλο και να το τρέξουν. Για να συμβεί μάλιστα αυτό προτείνονται περιβάλλοντα όπου θα μπορούν οι μαθητές να εκφράζουν τις σκέψεις τους ενώ το μοντέλο (μέσω της προσομοίωσης) θα πρέπει να δίνει δυνατότητες οπτικοποιήσεων. Ένα τέτοιο εργαλείο (το easy java simulations - Ejs <http://www.um.es/fem/Ejs/>) έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εργασίες από τους συγγραφείς.

Η Υ.Ε. –σύμφωνα με την προηγούμενη ανάλυσή μας συνδέεται με συνεκτικό τρόπο με την υπολογιστική σκέψη (Υ.Σ.). Για να γίνει σαφέστερη αυτή η σύνδεση θα επιχειρήσουμε να αναφερθούμε λεπτομερέστερα στα στοιχεία αυτής της σύνδεσης.

Είναι γνωστό ότι μέσα στο μοντέλο περιέχονται αφαιρετικές διαδικασίες, ή καλύτερα το μοντέλο προέρχεται από αφαιρετικές διαδικασίες. Σύμφωνα με την Computer Science Curricula (2013), τα μοντέλα είναι αφαιρετικές δομές καταστάσεων και φαινομένων.

Το μοντέλο –με την αφαιρετική του δομή, συνδέεται με την Υ.Σ. μόνο ως προς την επαγωγική διάσταση της διδασκαλίας. Για να αποσαφηνίσουμε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι σύμφωνα με τον Yasar (2013), οι υπολογιστικές μοντελοποιήσεις και προσομοιώσεις (η Υ.Ε.) μας παρέχουν αρχικά μια παραγωγική (deductive) παιδαγωγική προσέγγιση, καθώς μας παρέχουν αρχικά ένα θέμα-ενότητα σε ένα απλοποιημένο πλαίσιο και στη συνέχεια οι μαθητές «προχωρούν βαθύτερα» καθώς αυξάνεται το ενδιαφέρον τους. Στη συνέχεια όμως, καθώς οι εκπαιδευόμενοι εμπλέκονται σε έννοιες σχετικές με την

ενότητα, αρχίζει η αντίστροφη επαγωγική (inductive) διαδικασία μέσω υποθέσεων, αλλαγής πιθανώς του μοντέλου ώστε να δημιουργηθεί ένα περιβάλλον ανακάλυψης. Αυτό το υπολογιστικό περιβάλλον είναι μια διαδικασία συνεπής και με την έννοια του scaffolding. Η Υπολογιστική παιδαγωγική έχει ως πυρήνα της τα παραπάνω. Υιοθετεί το μοντέλο ως την βασική διδακτική μονάδα κατά την επαγωγική διαδικασία ώστε να ενσωματώνει την αφαιρετική σκέψη καθώς ο εκπαιδευόμενος «μαζεύει» κομμάτια για να προχωρήσει σε κάτι πιο σύνθετο καθώς ο εκπαιδευόμενος χρησιμοποιεί μια bottom-up (αφαιρετική διαδικασία) (Yasar,2013)

Η Υ.Ε. χρησιμοποιεί τους χώρους υποθέσεων, πειραματισμού και γενίκευσης (Ψυχάρης & Καλοβρέκτης, 2017).

Ο χώρος της γενίκευσης συνδέεται προφανώς με την αναγνώριση προτύπων.

Στον χώρο του πειράματος ελέγχεται το μοντέλο που έχει δημιουργήσει ο εκπαιδευόμενος. Για να γίνει αυτό δεν μπορούμε να μείνουμε σε εργαλεία και λογισμικά επίδειξης ή διερεύνησης, αλλά πρέπει να προχωρήσουμε σε περιβάλλοντα και διεπαφές που ευνοούν την χρήση μαθηματικών σχέσεων που θα οδηγήσουν σε ένα πείραμα υπολογιστικό-ισοδύναμο με το κλασικό πείραμα. Ο όρος Υπολογιστική Παιδαγωγική προτάθηκε από τους Yasar et al. (2016).

Η μεθοδολογία που προτείνουμε έχει πολλά κοινά με το μοντέλο Computational Pedagogical Content Knowledge (CPACK) των Yasar κ.α. (2016). Οι συγγραφείς επέκτειναν το μοντέλο TPACK-Technological Pedagogical Content Knowledge - εισάγοντας την Υ.Ε. (μάλιστα στο συνέδριο που διοργανώθηκε από την κοινότητα TPACK, η εισαγωγή του CPACK απέσπασε το πρώτο βραβείο!). Το μοντέλο CPACK των Yasar εμφανίζεται στην εικόνα 11 δεξιά.

Η πρότασή μας, που ενσωματώνει την Υ.Ε., την Παιδαγωγική των Μηχανικών και την επιστημολογία (δια-επιστημονική) του STEM, συνοψίζεται στον παρακάτω Πίνακα 3.

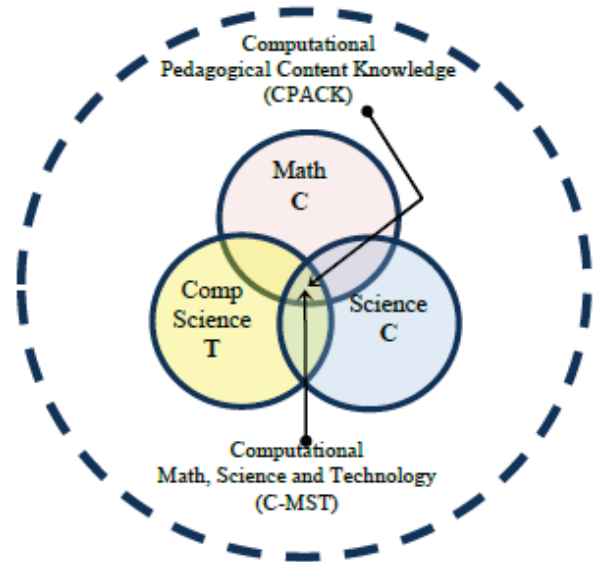
Πίνακας 3: Η Υπολογιστική Παιδαγωγική

Οι χώροι του Υπολογιστικού Πειράματος	Τα στάδια – χαρακτηριστικά της ανακαλυπτικής / διερευνητικής Μάθησης (Asay & Orgill, 2010; Pathway Project, http://pathway.ea.gr/)	Διαστάσεις της Υ.Σ.- Παιδαγωγική των Μηχανικών
Ο χώρος των Υποθέσεων	Ερώτηση	<ul style="list-style-type: none"> • Διαστάσεις Υ.Σ.: Παραγωγική μορφή του μοντέλου • Παιδαγωγική των Μηχανικών: Επίδειξη τεχνουργήματος μηχανικής σχεδίασης
Ο χώρος του Πειράματος	Συλλογή δεδομένων (απόδειξη), Ανάλυση, Εξήγηση	<ul style="list-style-type: none"> • Διαστάσεις Υ.Σ.: Έλεγχος –επαγωγικά- του μοντέλου. Αλγοριθμική διαδικασία, τμηματοποίηση του προβλήματος, αποσφαλμάτωση ανάλογα με το αν τα δεδομένα είναι συμβατά με την βιβλιογραφία • Παιδαγωγική των Μηχανικών: Στον χώρο του πειράματος πραγματοποιείται και ο σχεδιασμός και η κατασκευή, γίνεται ο έλεγχος των υλικών κλπ.
Ο χώρος των Προβλέψεων	Σύνδεση, Επικοινωνία, Αναστοχασμός	<ul style="list-style-type: none"> • Διαστάσεις Υ.Σ.: Αναγνώριση προτύπων • Παιδαγωγική των Μηχανικών: Τμήματα της σχεδίασης ελέγχονται για χρήση σε άλλες κατασκευές.

Η προσέγγισή μας μπορεί να αποτελέσει ένα υπολογιστικό διδακτικό μοντέλο που συνδυάζεται με την Inquiry-επαγωγική διδακτική και μαθησιακή ακολουθία.

Βασισθήκαμε στην Υ.Ε. όπου από μια άποψη η Υ.Ε. ήταν και η πρώτη δια-επιστημονική προσέγγιση επίλυσης προβλημάτων και θα μπορούσαμε να την καλέσουμε πρόγονο του STEM. Ωστόσο η συνεισφορά

Εικόνα 11: Το μοντέλο CPACK, (Yasar κ.α., 2016)



της Υ.Ε. στην εκπαίδευση και διδακτική θεωρούμε ότι δεν σταματά μόνο στην προσφορά της στο υπολογιστικό πείραμα, ως πείραμα ισότιμο με το κλασικό πείραμα και όχι ως πείραμα επιβεβαίωσης.

Ενσωματώνουμε επίσης τον μηχανικό σχεδιασμό στις διάφορες φάσεις του Υπολογιστικού πειράματος, όχι ως τελικό προϊόν μιας διδασκαλίας π.χ. των Φ.Ε. αλλά ως

ένα αρχικό τεχνούργημα, που μέσα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου θα οδηγήσει σε πιθανές αλλαγές του αρχικού τεχνούργηματος.

Η προσέγγισή μας επίσης δεν αναφέρεται στις διαστάσεις της Υ.Σ. ανεξάρτητα από μια γνωστική περιοχή αλλά τις εντάσσει μέσα στην γνωστική περιοχή, κάτι που είναι συμβατό με τις διεθνείς τάσεις σύμφωνα και με την βιβλιογραφία που αναφέραμε.

Η μηχανική σχεδίαση και η συλλογή δεδομένων μέσω του αποτελέσματος της προσομοίωσης του μοντέλου, μπορεί να γίνει σε συνθήκες πραγματικού πειράματος ισοδύναμο με το φυσικό πείραμα. Σκεφθείτε για παράδειγμα το physical computing, όπου με π.χ. το λογισμικό Scratch ή το Ejs ή την Python ο μαθητής σχεδιάζει στην πλατφόρμα Arduino ή στο raspberry pi κατασκευές που λαμβάνουν δεδομένα.

Στην σχολική εκπαίδευση τα παραπάνω δεν είναι πλέον άγνωστα αλλά χρησιμοποιούνται από τους εκπαιδευτικούς. Το Labview επίσης είναι κατάλληλο για ένα υπολογιστικό-πραγματικό πείραμα.

6. Επίλογος

Υπάρχουν έρευνες που συνηγορούν στην μετατόπιση από την επιστημολογία για την εκπαίδευση των επιστημών και την «φύση των επιστημών», προς την επιστημολογική θεώρηση που λαμβάνει υπόψη της και την επιστημολογία για την εισαγωγή της επιστήμης των μηχανικών.

Σύμφωνα με την επιτροπή NGSS (Next Generation Science Standards) οι εκπαιδευτικοί των επιστημών εκφράζουν συνεχώς την ανησυχία τους σχετικά με την έλλειψη κατανόησης εννοιών από την επιστήμη των μηχανικών. Επίσης, θεωρούν ότι θα πρέπει να αλλάξουν στοιχεία του αναλυτικού προγράμματος στην εκπαίδευση των επιστημών και ότι θα πρέπει να ενταχθούν αυτά τα στοιχεία στην επιμόρφωσή τους (Bybee, 2014). Το STEM περιέχει την επιστήμη των μηχανικών η οποία δεν μπορεί να ενταχθεί επιστημολογικά χωρίς να αναφερθούν οι ιδιαιτερότητες της επιστήμης των μηχανικών. Οι ιδιαιτερότητες αυτές – για την εκπαίδευση – εστιάζουν κυρίως στο λεγόμενο design thinking, που και αυτό συνδέεται με τις διαστάσεις της Υ.Σ..

Από όλα αυτά καταλήγουμε στην πρότασή μας. Η ολοκληρωμένη εικόνα για την εισαγωγή του STEM στην εκπαίδευση πρέπει να λαμβάνει υπόψη της την μεθοδολογία του υπολογιστικού πειράματος, την διεπιστημονική προσέγγιση και να υλοποιείται ως

μεθοδολογία επίλυσης προβλήματος με την διερευνητική/ανακαλυπτική μάθηση (inquiry based learning) αξιοποιώντας τις διαστάσεις της Υ.Σ. και την Παιδαγωγική των Μηχανικών (περιεχόμενο και κυρίως σχεδίαση) κατά την διάρκεια του μαθήματος.

Θεωρούμε πρακτικά μάλλον αδύνατο να υπάρξει μάθημα «Παιδαγωγική των Μηχανικών». Επίσης δεν μπορεί το STEM να διακριθεί σε STEM για Μηχανικούς, STEM για Φυσικούς κλπ.

Θεωρούμε ότι αυτή η προσέγγιση θα οδηγήσει περισσότερο στην διεπιστημονική προσέγγιση και όχι στην διεπιστημονική προσέγγιση.

Πως μπορούν να υλοποιηθούν τα παραπάνω στο εκπαιδευτικό μας σύστημα είναι ένα πρόβλημα του οποίου η λύση μπορεί να είναι η δημιουργία STEM-Υ.Σ. –Μηχανικής σχεδίασης δραστηριοτήτων που θα συνοδεύουν τα νέα αναλυτικά προγράμματα και θα υιοθετήσουν τα υπολογιστικά μοντέλα (Υ.Ε.). Σχετικές δραστηριότητες έχει δημιουργήσει η Ελληνική Εκπαιδευτική Ένωση S.T.E.M (e3stem.edu.gr).

Η πρότασή μας ως τροποποίηση των εικόνων 6 και 10 παρουσιάζεται στις εικόνες 12 και 13 αντίστοιχα. Η εικόνα 14 συνοψίζει όλες τις διαστάσεις που περιέχονται στο STEM σύμφωνα με την παραπάνω πρότασή μας.

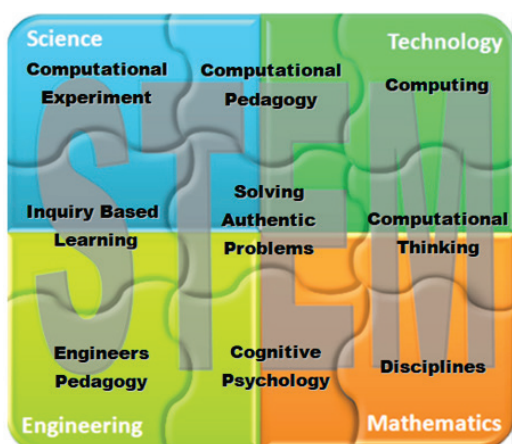
Εικόνα 12: Η γνωστική περιοχή της υπολογιστικής επιστήμης με την προσθήκη της υπολογιστικής σκέψης και της επιστημολογίας των μηχανικών



Εικόνα 13: Το υπολογιστικό πείραμα με την προσθήκη της artifact κατασκευής, της υπολογιστικής σκέψης και της επιστημολογίας των μηχανικών



Εικόνα 14: Η πρότασή μας ως παζλ ολοκλήρωσης του STEM



Βιβλιογραφία

Aho, A. V. (2012). Computation and computational thinking. *The Computer Journal*, 55(7), 832-835.

Alfred V. Aho,A.(2012). Computation and Computational Thinking. *The Computer Journal* , 55 (7): 832-835. DOI:https://doi.org/10.1093/comjnl/bxs074

Angeli, C., Voogt, J., Fluck, A., Webb, M., Cox, M., Malyn-Smith, J., & Zagami, J. (2016). A K-6 computational thinking curriculum framework: implications for teacher knowledge. *Educational Technology & Society*, 19(3), 47-58.

Asay, L. D., &Orgill, M.K. (2010). Analysis of essential features of inquiry found in articles published in *The Science Teacher*, 1998-2007. *Journal of Science Teacher Education*, 21, 57-79.

Barr, V. & Stephenson, C. (2011). Bringing Computational Thinking to K-12: What Is Involved and What Is the Role of the Computer Science Education Community? *ACM Inroads*, 2(1), 48-54. doi:10.1145/1929887.1929905

Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S., & Ploetzner, R. (2010). Collaborative inquiry learning: models, tools and challenges. *International Journal of Science Education*, 32(3), 349-377.

Berland, L. K., Martin, T. H., Ko, P., Peacock, S. B., Rudolph, J. J., & Golubski, C. (2013). Student learning in challenge-based engineering curricula. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 3(1), 53-64

Bybee, R. W. (2014). NGSS and the next generation of science teachers. *Journal of science teacher education*, 25(2), 211-221.

Computer Science Curricula. (2013). Report: *The Joint Task Force on Computing Curricula Association for Computing Machinery (ACM), IEEE-Computer Society*. Report Retrieved at 3/7/18 from https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/cs2013_web_final.pdf

Computing at School Working Group. (2012). Report endorsed by BCS, Microsoft, Google and Intellect, March, 2012 Retrieved from: https://www.computingatschool.org.uk/data/uploads/ComputingCurric.pdf

CSTA-Computer Science Standards. (2016).*CSTA K-12 Computer science standards task Force*. Retrived at May 2017 from: http://c.ymcdn.com/sites/www.csteachers.org/resource/resmgr/Docs/Standards/2016StandardsRevision/INTERIM_StandardsFINAL_07222.pdf

Denning, P. J. (2007). Computing Is a Natural Science. *Commun. ACM*, 50(7), 13-18. doi:10.1145/1272516.1272529.

Denning, P. J. (2009). The profession of it: Beyond computational thinking. *Communications of the ACM*, 52(6):28. *Artificial Intelligence, Philosophy, and Cognitive Science*, 21(2):301 – 322.

Denning, P. J. (2011). *Ubiquity Symposium: What Have We Said About Computation?: Closing Statement*. Ubiquity, 2011(April), 1-7. doi:10.1145/1967045.1967046

Fischer, K. and Gleen, D. (2009). 5 College Majors on the Rise. *The Chronicle of Higher Education*, Retreved May 2017 from: http://www.chronicle.com/article/5-College-Majors-On-the-Rise/48207/

Grover, S. and Pea, R. (2013). Computational thinking in k12: A review of the state oftheheld. *Educational Researcher*, 42(1):38 – 43.

Guzdial, M. (2008). Paving the way for computational thinking. *Communications of the ACM*, 51(8), 25–27

Guzdial, M. (2012). Re: A Nice Definition of Computational Thinking, Including Risks and Cyber-Security. [Web log message]. Retrieved from http://computinged.wordpress.com/2012/04/06/a-nice-definition-of-computationalthinking-including-risks-and-cyber-security/

Hjorth-Jensen, M. (2007). *Computational Physics*. Lecture in University of Oslo, Fall 2007. Retrieved 29/05/2017 from: http://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS3150/h07/undervisningsmateriale/Lecture%20Notes/lecture2007.pdf

Kaufman, D., Moss, D. and T. Osborn (Eds) (2003) *Beyond the Boundaries: A Transdisciplinary Approach to Learning and Teaching*. Pp. 6-7, WestportConnecticut: Praeger.

Kearney, C. (2015). *Efforts to Increase Students’ Interest in Pursuing Science, Technology, Engineering and Mathematics Studies and Careers*, *European Schoolnet*. Ανακτήθηκε 7 Ιουβιου, 2016 απόhttp://goo.gl/7wp4Js.

Landau, RH., Páez, J. & Bordeianu, C.(2008). *A Survey of Computational Physics: Introductory Computational Science*. Princeton and Oxford: Princeton University Press.

Lee, I., Martin, F., Denner, J., Coulter, B., Allan, W., Erickson, J., ... & Werner, L. (2011). Computational thinking for youth in practice. *Acm Inroads*, 2(1), 32-37.

Morrison, J. S. (2006). Attributes of STEM education: The students, the academy, the classroom. *TIES STEM Education Monograph Series*. Baltimore: Teaching Institute for Excellence in STEM.

National Research Council. (2010) *Report of a Workshop on the Scope and Nature of Computational Thinking*. Retrieved from: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12840.

National Research Council. (2011). *Report of a Workshop of Pedagogical Aspects of Computational Thinking*. Retrieved from: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13170.

NSF. (2008). *Fostering Learning in the Networked World*. National Science Foundation Report. Retrieved at 7/3/2018 from: http://www.nsf.gov/pubs/2008/nsf08204/nsf08204.pdf

Nicolescu, B. (1986). Science as Testimony, in *Proceedings of the Science and the boundary of knowledge: the prologue of our cultural past*, (Venice, March3-7, 1986), Paris, UNESCO, pp9-30

Nicolescu, B. (1993). Towards transdisciplinary education. *International Conference "education of the Future"*, Memorial de America Latina, Sao Paulo, Brazil, October 4-8. CERN Libraries SCAN-9409310, Geneva.

NGSS Lead States. (2013). Next generation science standards: for states, by states. The National

- Academies Press, Washington, DC, ISBN 978-0-309-27227-8
- Pathway project (2013). *Η Διαδρομή προς τη διερευνητική Μέθοδο Διδασκαλίας των Επιστημών*. Ανακτήθηκε Μάιο 2017 από: http://pathway.ea.gr/sites/default/files/D3.3_the_PATHWAY_to_IBSE_GREEK.pdf
- Piaget, J., (1972). L' épistémologie des relations interdisciplinaires, in L'interdisciplinarité- Problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités, OCDE, Paris
- President's Information Technology Advisory Committee.(2005). *Computational science: Ensuring America's competitiveness*. June 2015.p. 13. http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609_computational/computational.pdf
- Psycharis, S. (2015). The Impact of Computational Experiment and Formative Assessment in Inquiry Based Teaching and Learning Approach in STEM Education. *Journal of Science Education, and Technology* 25(2),316-326 (JOST) DOI 10.1007/s10956-015-9595-z
- Psycharis, S., (2016). Inquiry Based- Computational Experiment, Acquisition of Threshold Concepts and Argumentation in Science and Mathematics Education. *Educational Technology & Society*,19(3), 282-293.
- Psycharis, S. & Kotzampasaki, E. (2017). A didactic Scenario for Implementation of Computational Thinking using Inquiry Game Learning. *International Conference of Education and E-Learning ICEEL 2017*. Bangkok Thailand 2-4 November 2017
- Roehrig, G. H., Moore, T. J., Wang, H. H., & Park, M. S. (2012). Is adding the E enough?: Investigating the impact of K-12 engineering standards on the implementation of STEM integration. *School Science and Mathematics*, 112, 31-44
- Rugarcia, A., Felder, R. M., Woods, D. R. & Stice, J. E. (2000). The future of engineering education: I. A vision for a new century. *Chemical Engineering Education*, 34(1), 16-25
- Satchwell, R. E., & Loepf, F. (2002). Designing and implementing an integrated mathematics, science, and technology curriculum for the middle school. *Journal of Industrial Teacher Education*, 39 (3), 41-66.
- Selby, C., & Woollard, J. (2013). Computational thinking: the developing definition.University of Southampton (E-prints) 6pp. Retrieved from: <https://eprints.soton.ac.uk/372410/1/372410UnderstdCT.pdf>
- Shiflet, A. B., & Shiflet, G. W. (2014). *Introduction to computational science: modeling and simulation for the sciences*. Princeton University Press.
- Shirey, K. (2017). *Teacher Productive Resources for Engineering Design Integration in High School Physics Instruction (Fundamental)*. In: Proceedings of the 2017 ASEE Annual Conference, Columbus, OH, June 2017
- Wang, H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: teacherperceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*,1(2), 1-13. doi:10.5703/1288284314636.
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127-147. DOI 10.1007/s10956-015-9581-5
- Wing, J. (2011) *Research Notebook: Computational Thinking - What and Why?* Retrieved from: http://link.cs.cmu.edu/files/11-399_The_Link_Newsletter-3.pdf.
- Wing, J. M .(2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49, 33-35.
- Xie, C., Tinker, R., Tinker, B., Pallant, A., Damelin, D., & Berenfeld, B. (2011). Computational experiments for science education. *Science*, 332(6037), 1516-1517.
- Yaşar O., Little L., Tuzun R., Rajasethupathy K., Maliekal J., Tahar M. (2006) Computational Math, Science, and Technology (CMST): A Strategy to Improve STEM Workforce and Pedagogy to Improve Math and Science Education. In: Alexandrov V.N., van Albada G.D., Sloot P.M.A., Dongarra J. (eds) *Computational Science - ICCS 2006*. ICCS 2006. LectureNotes in Computer Science, vol 3992. Springer, Berlin, Heidelberg
- Yaşar, O., (2013). Teaching Science through Computation. *International Journal of Science, Technology and Society*. Vol. 1, No. 1, , pp. 9-18. doi: 10.11648/j.ijsts.20130101.12
- Yaşar, O., Veronesi, P., Maliekal, J., Little, L., Vattana, S., & Yeter, I. (2016). Computational Pedagogy: Fostering A New Method of Teaching. *Comp. in Education*, 7(3), 51-72. Presented at: ASEE Annual Conference and Exposition. New Orleans, June 2016.
- Yevseyeva, K. & Towhidnejad, M. (2012). Teaching Computational Thinking in Middle and High School. *Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2012, 1-2. IEEE. doi:10.1109/fie.2012.6462487.
- Αποστολίδου, Α. (2004). Νέος Γραμματισμός: ψηφιακό χάσμα και δεξιότητες ομαδοκεντρικής εργασίας - η συστημική προσέγγιση ως μέθοδος ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης των δημοσίων υπαλλήλων, [Τελική εργασία], Εθνική Σχολή Δημόσιας Διοίκησης, τμήμα Γενικής Διοίκησης. ΙΕ' εκπαιδευτική σειρά, ανακτήθηκε 7/3/2018 από http://www.ekdd.gr/ekdda/files/ergasies_esdd/15/2/688.pdf
- Ψυχάρης, Σ.(2017). Ολοκλήρωση της Υπολογιστικής Σκέψης και του STEM μέσω του Υπολογιστικού Πειράματος. Μια πρόταση εισαγωγής του STEM στην Εκπαίδευση.9ο Πανελλήνιο Συνέδριο των Εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ-Αξιοποίηση των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας στη Διδακτική Πράξη, Σύρος 28-30 Απριλίου 2017.
- Ψυχάρης, Σ. & Καλοβρέκτης, Κ. (2017). *Διδακτική & Σχεδιασμός Εκπαιδευτικών Δραστηριοτήτων STEM & ΤΠΕ*. Θεσσαλονίκη: Τζιόλ. ISBN 9789604187065

Ιστοναφορές

- <http://www.bbc.co.uk/education/guides/zp92mp3/revisio>ν, Τελευταία πρόσβαση Μάιος 2017
- <http://eprints.soton.ac.uk/372410/>, Τελευταία πρόσβαση Μάιος 2017
- <http://www.um.es/fem/Ejs/>, Τελευταία πρόσβαση Μάιος 2017
- <https://edu.google.com/resources/programs/exploring-computational-thinking/>, Τελευταία πρόσβαση Μάιος 2017
- <http://e3stem.edu.gr> , Τελευταία πρόσβαση 7/3/2008