

Διερεύνηση της συμβολής της μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων σε διαδικασίες μοντελοποίησης σε πλαίσιο STEM

Ιωάννης-Δημήτριος Καψίδης, Σοφία Χατζηλεοντιάδου

ikapsid@ee.duth.gr, schatzil@eled.duth.gr

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Περίληψη

Η εργασία υιοθετεί την προσέγγιση της ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM η οποία συνδυάζει σε μια μαθησιακή εμπειρία δύο ή περισσότερα επιστημονικά πεδία STEM. Καθώς διαδικασίες μοντελοποίησης εφαρμόζονται σε όλα τα επιμέρους επιστημονικά πεδία, η διαδικασία μοντελοποίησης μπορεί να υποστηρίξει την ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM. Μια μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων αποτελεί μοντελοποίηση της λειτουργίας ενός συστήματος το οποίο στην απλή μορφή του μπορεί να μεταβεί σε μια νέα κατάσταση όταν λάβει μια είσοδο. Επιπλέον, ο κύκλος τεχνικού σχεδιασμού μοντελοποιεί διεργασίες για την ανάπτυξη πρωτοτύπων κατασκευών. Η παρούσα εργασία προτείνει την ένταξη της μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων στον κύκλο τεχνικού σχεδιασμού στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM μελλοντικών εκπαιδευτικών. Μέσα από μια μελέτη περίπτωσης σχεδιασμού και κατασκευής μιας συσκευής, στον κύκλο τεχνικού σχεδιασμού της οποίας ενεπλάκησαν τέσσερις μελλοντικές εκπαιδευτικοί, αναδεικνύεται η συμβολή της μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων σε διαδικασίες μοντελοποίησης και η δυναμική της αξιοποίησής της στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM.

Λέξεις κλειδιά: Μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων, Διάγραμμα (μετάβασης) καταστάσεων, Κύκλος τεχνικού σχεδιασμού, Ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM, Μοντελοποίηση

Εισαγωγή

Η εκπαίδευση STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) αναφέρεται στα επιστημονικά πεδία των Φυσικών Επιστημών, της Τεχνολογίας, της Μηχανικής και των Μαθηματικών τα οποία οριοθετεί ως ένα ενιαίο χώρο μάθησης. Σε αντίθεση με τη διακριτή προσέγγιση κάθε επιστημονικού πεδίου σε αυτόν τον χώρο, η ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM αποτελεί ζητούμενο και παρόλο που νοσηματοδοτείται από ερευνητές με διαφορετικούς τρόπους και βαθμό ολοκλήρωσης, κατά κανόνα χαρακτηρίζεται από τον συνδυασμό σε μια μαθησιακή εμπειρία δύο ή περισσότερων επιστημονικών πεδίων STEM, με στόχο την επίλυση σύνθετων, αυθεντικών ή πραγματικών προβλημάτων, συχνά με βάση κοινές πρακτικές, δεξιότητες, εργαλεία και έννοιες που διατρέχουν τα επιμέρους επιστημονικά πεδία, με μια μαθητοκεντρική και ομαδοσυνεργατική προσέγγιση (Moore et al., 2020). Η ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM αναμένεται να συμβάλει, μεταξύ άλλων, στην ικανότητα επίλυσης προβλημάτων και στην καλύτερη κατανόηση της πραγματικότητας (Hallström et. al., 2023).

Καθώς, οι Φυσικές Επιστήμες, η Τεχνολογία, η Μηχανική και τα Μαθηματικά δεν συνδέονται απαραίτητα ως προς το περιεχόμενο και την παιδαγωγική προσέγγιση (Tang & Williams, 2018) η μοντελοποίηση είναι ένα κρίσιμο κοινό εργαλείο για την κατανόηση, την πρόβλεψη και την επίλυση σύνθετων προβλημάτων στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM. Στα επιστημονικά πεδία STEM, τα μοντέλα χρησιμεύουν ως απλουστευμένες αναπαραστάσεις της πραγματικότητας (Norström & Hallström, 2023), επιτρέποντας σε επιστήμονες φυσικών επιστημών, μηχανικούς και μαθηματικούς, να

δοκιμάσουν υποθέσεις, να εξερευνήσουν σενάρια και να αναπτύξουν λύσεις με ελεγχόμενο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Ειδικότερα στις φυσικές επιστήμες, τα μοντέλα βοηθούν στην αποσαφήνιση φαινομένων που κατά τα άλλα είναι πολύ μεγάλα, μικρά ή πολύπλοκα για να παρατηρηθούν άμεσα. Στην τεχνολογία, τα μοντέλα οδηγούν την ανάπτυξη νέων συσκευών και λογισμικού, προσομοιώνοντας την απόδοση και την αντιμετώπιση προβλημάτων πριν από την κατασκευή φυσικών πρωτοτύπων. Η μηχανική βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε μοντέλα για το σχεδιασμό δομών και συστημάτων, διασφαλίζοντας ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Τα μαθηματικά μοντέλα είναι θεμελιώδη σε πεδία όπως η φυσική και η οικονομία, παρέχοντας πληροφορίες για τους φυσικούς νόμους και τις συμπεριφορές της αγοράς. Συνολικά, η πρακτική της μοντελοποίησης εφαρμόζεται στα επιμέρους επιστημονικά πεδία STEM και φαίνεται πως μπορεί να συμβάλει στην ικανότητα κατανόησης του κόσμου γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πρακτικής με την αξιοποίησή της στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM (Hallström, et al., 2023).

Ειδικότερα, στο παραπάνω πλαίσιο μπορούν να αξιοποιηθούν τύποι μοντέλων: (α) *Μαθηματικά μοντέλα*. Οι μαθηματικές εξισώσεις και αλγόριθμοι αντιπροσωπεύουν σχέσεις μεταξύ μεταβλητών με ποσοτικούς όρους. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται εκτενώς στη φυσική, τη χημεία, τη βιολογία, τα οικονομικά και άλλα πεδία STEM, (β) *Φυσικά μοντέλα*. Τα φυσικά πρωτότυπα, τα μοντέλα κλίμακας και οι πειραματικές ρυθμίσεις αναπαράγουν συστήματα ή διαδικασίες του πραγματικού κόσμου σε απλή μορφή. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται συνήθως στον μηχανολογικό σχεδιασμό, την αρχιτεκτονική και την επιστήμη των υλικών, (γ) *Υπολογιστικά μοντέλα*. Οι προσομοιώσεις υπολογιστών χρησιμοποιούν αριθμητικές μεθόδους για την προσομοίωση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων ή διαδικασιών. Τα υπολογιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται ευρέως σε τομείς όπως η κλιματική επιστήμη, η δυναμική των ρευστών και η μοριακή βιολογία, και (δ) *Εννοιολογικά μοντέλα*. Τα εννοιολογικά διαγράμματα, τα διαγράμματα ροής και οι σχηματικές αναπαραστάσεις βοηθούν στην οπτικοποίηση αφηρημένων εννοιών ή συστημάτων. Αυτά τα μοντέλα είναι πολύτιμα για την απεικόνιση σχέσεων, διαδικασιών και ιεραρχιών σε διάφορα επιστημονικά πεδία STEM (Rui et al., 2013; Hallström & Schönborn, 2019).

Μια μηχανή πεπερασμένης κατάστασης (Finite State Machine, FSM) είναι ένα μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού. Είναι μια αφηρημένη μηχανή που μπορεί να βρίσκεται ακριβώς σε μία κατάσταση, από έναν πεπερασμένο αριθμό καταστάσεων, ανά πάσα στιγμή. Η FSM μπορεί να αλλάξει από τη μια κατάσταση στην άλλη ως απόκριση σε ορισμένες εξωτερικές εισόδους που ικανοποιούν συγκεκριμένες συνθήκες. Η αλλαγή από τη μια κατάσταση στην άλλη ονομάζεται μετάβαση. Μια FSM ορίζεται από μια λίστα με τις καταστάσεις της, την αρχική της κατάσταση και τις συνθήκες για κάθε μετάβαση (Wang & Tepfenhart, 2019). Καθώς μια FSM έχει περιορισμένο αριθμό καταστάσεων και μεταβάσεων, μπορεί εύκολα να μελετηθεί και να αξιολογηθεί (Verma et al., 2023).

Εφαρμογές της FSM μεταξύ άλλων, χρησιμοποιούνται συνήθως από μηχανικούς λογισμικού και μηχανικούς για να μοντελοποιήσουν και να ελέγξουν τη συμπεριφορά φυσικών συστημάτων (π.χ., φανάρια δρόμων) τα οποία εκτελούν μια συγκεκριμένη ακολουθία ενεργειών όταν λάβουν ως είσοδο μια σειρά από γεγονότα.

Στον χώρο της εκπαίδευσης, η FSM έχει χρησιμοποιηθεί, στο πλαίσιο διακριτής προσέγγισης επιστημονικών πεδίων, στη μοντελοποίηση εννοιών φυσικής (Kitagawa et al., 2019) και για την ανάπτυξη της υπολογιστικής σκέψης σε μαθητές πρωτοβάθμιας (Pasupathi et al., 2022) και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Castro, 2022), ενώ σε πλαίσιο ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM, οι Maqayama και συν. (2022), πρότειναν και αξιολόγησαν μια διαδικτυακή εφαρμογή στην οποία ενσωμάτωσαν την αξιοποίηση της FSM. Ειδικότερα όσο αφορά στην εκπαίδευση STEM μελλοντικών εκπαιδευτικών, φαίνεται πως η ολοκληρωμένη

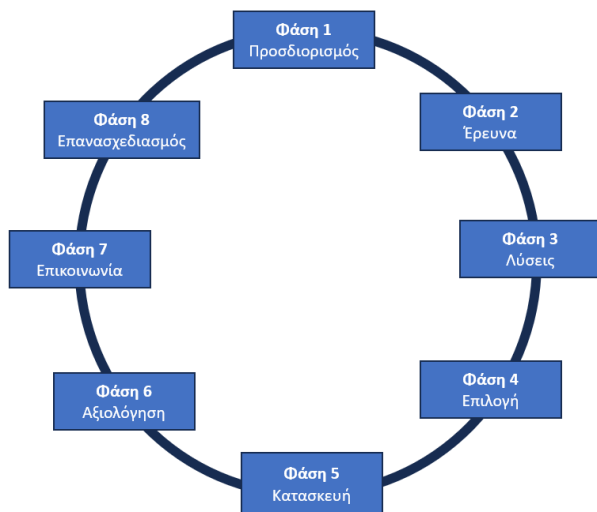
εκπαίδευση STEM δεν αποτελεί το κυρίαρχο παράδειγμα προσέγγισης (Zhang & Zhu, 2023). Σε αυτή την κατεύθυνση η FSM μπορεί να αξιοποιηθεί ως εργαλείο μοντελοποίησης.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της συμβολής FSM σε διαδικασίες μοντελοποίησης στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM μελλοντικών εκπαιδευτικών.

Το πλαίσιο

Οι φάσεις του τεχνικού σχεδιασμού

Ο τεχνικός σχεδιασμός είναι μια συστηματική διαδικασία που χρησιμοποιείται από τους μηχανικούς για την ανάπτυξη, τη δοκιμή και τη βελτίωση προϊόντων και συστημάτων. Αυτός ο επαναληπτικός κύκλος διασφαλίζει ότι η σχεδιαστική λύση πληροί τις επιθυμητές απαιτήσεις και αποδίδει αποτελεσματικά. Οι βασικές φάσεις στον κύκλο τεχνικού σχεδιασμού σύμφωνα με το Massachusetts Department of Education (2006) παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Ο κύκλος τεχνικού σχεδιασμού (απόδοση με βάση το Massachusetts Department of Education, 2006)

Πιο συγκεκριμένα, ο κύκλος τεχνικού σχεδιασμού περιλαμβάνει τις παρακάτω φάσεις (Σχήμα 1):

1. Προσδιορισμός του προβλήματος. Το βήμα αυτό περιλαμβάνει την κατανόηση και τον καθορισμό του προβλήματος που πρέπει να λυθεί.
2. Έρευνα του προβλήματος. Οι μηχανικοί διεξάγουν έρευνα για να συλλέξουν σχετικές πληροφορίες, να εξερευνήσουν υπάρχουσα/ες λύση/εις. Αυτό το βήμα περιλαμβάνει ενέργειες όπως η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, η μελέτη παρόμοιων έργων, η διαβούλευση με ειδικούς.
3. Ανάπτυξη πιθανών λύσεων. Στο βήμα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί ο καταγιγισμός ιδεών για την ανάπτυξη πιθανών λύσεων στο πρόβλημα. Γίνεται σύλληψη εννοιολογικών σχημάτων για τις πιθανές λύσεις με αξιοποίηση των μαθηματικών και των επιστημών και αρθρώνονται οι πιθανές λύσεις σε δύο και τρεις διαστάσεις και βελτιώνονται.

4. Επιλογή της βέλτιστης πιθανής λύσης. Σε αυτό το βήμα οι μηχανικοί προσδιορίζουν ποια λύση ικανοποιεί καλύτερα την αρχική ανάγκη ή λύνει το αρχικό πρόβλημα
5. Κατασκευή πρωτοτύπου. Στο βήμα αυτό μοντελοποιείται η επιλεγμένη λύση σε δύο ή/και τρεις διαστάσεις με την κατασκευή πρωτοτύπου σύμφωνα με τις προδιαγραφές σχεδιασμού.
6. Δοκιμή και Αξιολόγηση. Το πρωτότυπο υποβάλλεται σε δοκιμές για να διασφαλιστεί ότι πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές απόδοσης, αξιοπιστίας και ασφάλειας όπως αναμένεται, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που τέθηκαν.
7. Κοινοποίηση της λύσης. Γίνεται παρουσίαση του πρωτοτύπου στους ενδιαφερόμενους για τη λύση και συζήτηση για το πώς οι λύση ανταποκρίνεται καλύτερα στην αρχική ανάγκη ή πρόβλημα και για τον κοινωνικό αντίκτυπό της.
8. Επανασχεδιασμός. Αναθεωρείται η λύση, εφόσον χρειάζεται, με βάση τις πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών και της παρουσίασης

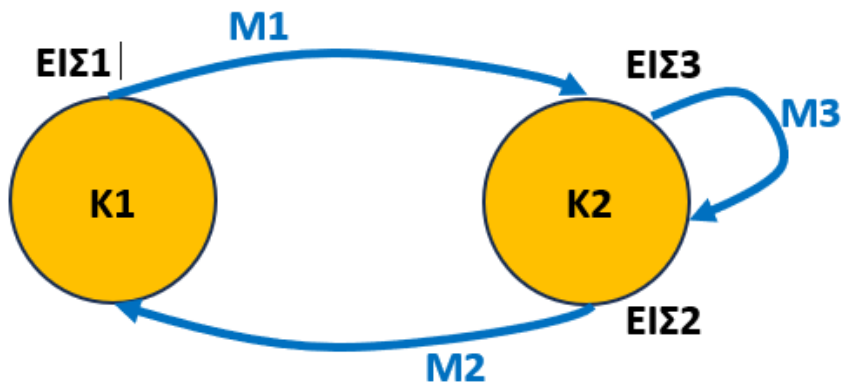
Οι δραστηριότητες που σχετίζονται με τις φάσεις δεν εκτελούνται πάντα γραμμικά. Μπορεί ανάλογα με τις ανάγκες και το πλαίσιο εργασίας να υπάρξουν επικαλύψεις και επιστροφή σε προηγούμενη φάση. Επαναληπτικές διαδικασίες είτε μέρους των φάσεων είτε του πλήρους κύκλου τεχνικού σχεδιασμού, εφόσον υλοποιηθούν, συμβάλλουν σε κύκλους βελτιστοποίησης της λύσης του προβλήματος που μελετάται κάθε φορά.

Η κατανόηση και κυρίως η οριοθέτηση της λύσης σε προβλήματα τα οποία ελέγχουν τη συμπεριφορά ενός φυσικού συστήματος (π.χ., μιας συσκευής), ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση στην οποία αυτό βρίσκεται σε συνδυασμό με κάποιο σήμα εισόδου που δέχεται, μπορεί να μελετηθεί με τη βοήθεια μιας FSM.

Μηχανές πεπερασμένης κατάστασης

Οι FSM χρησιμοποιούνται ευρέως στην επιστήμη των υπολογιστών, για τον χαρακτηρισμό της εφαρμογής θεωρίας ελέγχου συμπεριφοράς σε συσκευές, στον σχεδιασμό ψηφιακών συστημάτων, λογισμικού, σε μεταγωγτιστές, πρωτόκολλα δικτύου και υπολογιστική γλωσσολογία (Verma, 2023). Καθώς οι FSM αξιοποιούνται για τη μοντελοποίηση και έλεγχο της συμπεριφοράς ενός συστήματος, είναι αποτελεσματικές κατά την αξιοποίησή τους για την μοντελοποίηση συστημάτων τα οποία έχουν διακριτές καταστάσεις λειτουργίας στις οποίες μπορούν να βρεθούν και μεταβάσεις μεταξύ αυτών των καταστάσεων. Η βασική ιδέα λειτουργίας της FSM είναι ότι μοντελοποιεί ένα σύστημα το οποίο βρίσκεται κάθε φορά σε μία κατάσταση και προκειμένου να ανταποκριθεί σε μια είσοδο θα πρέπει να μεταβεί σε άλλη κατάσταση. Η είσοδος καθορίζει τον τρόπο μετάβασης σε μια επιτρεπτή νέα κατάσταση η οποία περιλαμβάνει τις ενέργειες και τις εξόδους αποτελεί την έξοδο του συστήματος για την είσοδο που δέχτηκε. Συνεπώς μία FSM είναι ένα σύνολο καταστάσεων και μεταβάσεων μεταξύ αυτών (Σχήμα 2).

Οι FSM διακρίνονται σε δύο τύπους, ντετερμινιστικές και μη. Οι ντετερμινιστικές μοντελοποιούν πολύ καλά τη συμπεριφορά ενός συστήματος οποία μπορεί να περιγραφεί με ακρίβεια, δηλαδή να περιγραφεί το σύνολο των καταστάσεων στις οποίες μπορεί να βρεθεί το σύστημα και οι μεταβάσεις μεταξύ αυτών όταν δεχτεί μια είσοδο. Παραδείγματα τέτοιων μοντελοποιήσεων λειτουργίας μπορούν να ανιχνευτούν στη λειτουργία συστημάτων όπως είναι το πλυντήριο, το ασανσέρ, αυτόματες συσκευές αγοράς προϊόντων, φανάρια δρόμων κ.ά. Σε περιπτώσεις τέτοιων συστημάτων το σύστημα μεταβαίνει σε μια άλλη κατάσταση λειτουργίας όταν ο χρήστης κάνει μια επιλογή ή όταν το σύστημα δεχτεί κάποιο σήμα από το περιβάλλον μέσω κάποιου αισθητήρα (είσοδος). Οι μη ντετερμινιστικές FSM μοντελοποιούν συστήματα των οποίων η συμπεριφορά δεν μπορεί να προβλεφθεί καθώς μπορούν να ενεργοποιήσουν πολλαπλές μεταβάσεις για την ίδια είσοδο.



Σχήμα 2. Μια FSM με (α) δύο καταστάσεις K1, K2, (β) τρεις εισόδους EΙΣ1, EΙΣ2, EΙΣ3 και (γ) τρεις μεταβάσεις M1, M2, M3

Η παρούσα εργασία στο εξής εστιάζει στις ντετερμινιστικές FSM στις οποίες κάθε μετάβαση προκαλείται από μία εισοδο και έτσι κάθε μετάβαση σε άλλη κατάσταση είναι αποτέλεσμα της τρέχουσας κατάστασης και της εισόδου του συστήματος (Verma, 2023). Η FSM ουσιαστικά μοντελοποιεί ένα ακολουθιακό κύκλωμα και τα τυχόν υποκυκλώματά του μέσω των οποίων λειτουργεί η συσκευή αναφοράς. Η σύλληψη της μοντελοποίησης που προσφέρει μια προσέγγιση FSM μπορεί να οπτικοποιηθεί με ένα διάγραμμα (μετάβασης) καταστάσεων (State Transition Diagram, STD) το οποίο αποτυπώνει τις καταστάσεις του συστήματος που μελετάται και τις δυνατές μεταβάσεις μεταξύ αυτών. Με αυτή την έννοια, ένα STD αποτελεί ένα εννοιολογικό μοντέλο το οποίο συμβάλει στη σύλληψη και κατανόηση του τρόπου λειτουργίας π.χ. μιας συσκευής.

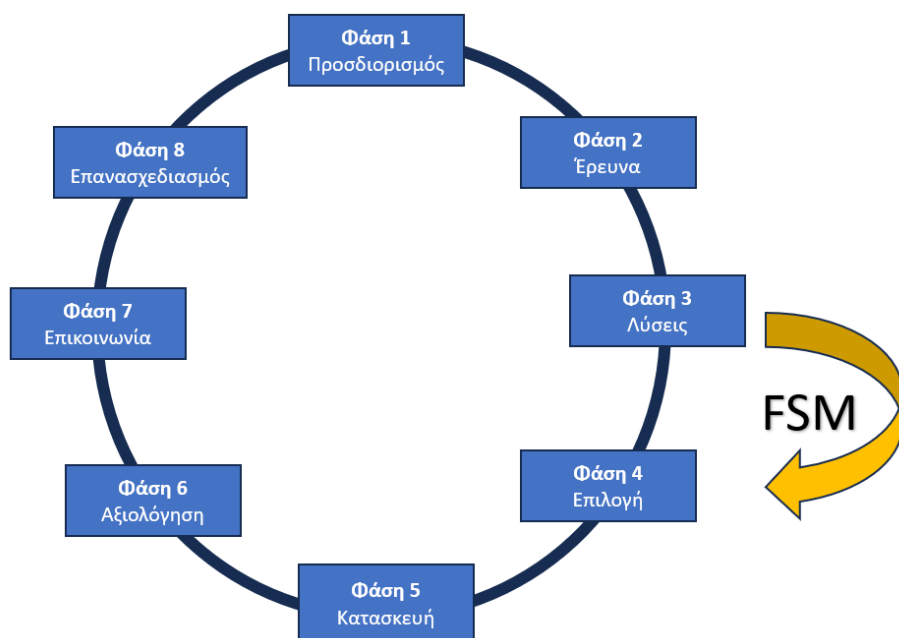
Η προτεινόμενη προσέγγιση ED-STD

Η εργασία αυτή εστιάζει στην περίπτωση κατασκευής μιας συσκευής (φυσικό σύστημα) σε πλαίσιο ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM η λειτουργία της οποίας μπορεί να μοντελοποιηθεί με μία FSM και ειδικότερα να περιγραφεί με ένα STD. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται η αξιοποίησή της FSM με την ένταξη ενός STD στις Φάσεις 3 και 4 του κύκλου του τεχνικού σχεδιασμού (Engineering Design, ED), με την προϋπόθεση της αρχικής εξοκείωσης των συμμετεχόντων με την έννοια FSM και τον διαγραμματικό τρόπο αναπαράστασής της με STD. Η προτεινόμενη προσέγγιση παρουσιάζεται το Σχήμα 3.

Ειδικότερα, μέχρι τη Φάση 3 του τεχνικού σχεδιασμού έχει γίνει προσδιορισμός του προβλήματος (Φάση 1) και ανάδειξη της σημασίας σχεδιασμού και κατασκευής μιας συσκευής η λειτουργία της οποίας θα παρέχει τη λύση στο πρόβλημα (Φάση 2). Στη Φάση 3 αναμένεται η ανάδειξη πιθανών λύσεων του προβλήματος. Στη φάση αυτή αναδεικνύονται ιδέες σχετικά με τη λειτουργία της συσκευής μέσα από καταιγισμό ιδεών και αρχίζουν να σχηματοποιούνται εκφάνσεις της λειτουργικότητάς της. Η αξιοποίηση ενός STD σε αυτή τη φάση δημιουργεί ένα υποστηρικτικό πλαίσιο (scaffolding) για την μοντελοποίηση των λειτουργιών που προτείνονται. Η αναγνώριση των καταστάσεων της συσκευής, των εισόδων, των επιτρεπών μεταβάσεων, και των ενεργειών-εξόδων σε κάθε κατάσταση παρέχει ένα σαφές και ρητό πλαίσιο οπτικοποίησης των ιδεών που προτείνονται.

Κατά την επόμενη Φάση 4, το STD αποτελεί ένα τεχνούργημα το οποίο υποστηρίζει τη διαπραγμάτευση και αξιολόγηση των ιδεών που προτάθηκαν στην προηγούμενη φάση. Η μοντελοποίηση που προσφέρει παρέχει ένα πλαίσιο εργασίας σε πιο αφαιρετικό επίπεδο, το οποίο βοηθά στην εστίαση στο λειτουργικό μέρος της συσκευής. Η αναγνώριση των βέλτιστων λειτουργικών χαρακτηριστικών της συσκευής γίνεται πιο εύκολη καθώς είναι συγκεκριμένα τα συγκρινόμενα στοιχεία μεταξύ των λύσεων που έχουν προταθεί (είσοδος-υφιστάμενη κατάσταση-μετάβαση σε νέα).

Η βέλτιστη λύση που θα επιλεγεί θα συνοδεύεται από ένα STD το οποίο αντανακλά τα κυκλώματα και τη δομή του λογισμικού που θα υλοποιηθούν για την κατασκευή της πρωτοτύπου εφαρμογής στη Φάση 5. Έτσι αρχικά το STD έχει διαμεσολαβήσει για τη δημιουργία ενός εννοιολογικού μοντέλου για τη λειτουργία της πρωτοτύπου εφαρμογής. Αυτό το μοντέλο στη συνέχεια καθοδηγεί την υλοποίηση της λειτουργίας της συσκευής με την κατασκευή των κυκλωμάτων και του λογισμικού λειτουργίας της.



Σχήμα 3. Η προτεινόμενη προσέγγιση ED-STD

Ο έλεγχος και η αξιολόγηση της λύσης στη Φάση 6 μπορεί εύκολα να γίνει σε συνδυασμό με το STD. Ειδικότερα, τυχόν δυσλειτουργίες μπορούν να εντοπιστούν και να αντιμετωπιστούν μέσω διορθώσεων/νέων λύσεων με βάση τη μοντελοποίηση στο STD. Ομοίως και στην περίπτωση του επανασχεδιασμού, εφόσον απαιτηθεί κατά την Φάση 8.

Συνοψίζοντας, η προτεινόμενη προσέγγιση ED-STD εμπλουτίζει τον κύκλο του τεχνικού σχεδιασμού με την αξιοποίηση της μοντελοποίησης FSM και ειδικότερα της διαγραμματικής απεικόνισής της STD όταν ο στόχος αφορά την κατασκευή συσκευής.

Το STD με την απλή μορφή του εισάγει τους εκπαιδευόμενους στη μοντελοποίηση, μια διαδικασία που διατρέχει από επιστημολογική άποψη όλα τα γνωστικά αντικείμενα STEM που εμπλέκονται και συμβάλλει στη δημιουργία ενός εννοιολογικού μοντέλου. Αυτό με τη

σειρά του μπορεί να καθοδηγήσει την υλοποίηση του υπολογιστικού ή/και του φυσικού μοντέλου της επιλεγείσας λύσης στο πρόβλημα τεχνικού σχεδιασμού που τίθεται κάθε φορά.

Η υλοποίηση της προτεινόμενης προσέγγισης παρουσιάζεται μέσα από τη μελέτη περίπτωσης που περιγράφεται στη συνέχεια.

Η περίπτωση κατασκευής ενός πρωτοτύπου

Η συσκευή DEALOGOS

Η συσκευή DEALOGOS (DEtect, AVOID, and LOG Overlap events) αφορά μια συσκευή η οποία αναπτύχθηκε με στόχο να βοηθά στην ανάπτυξη επικοινωνιακών δεξιοτήτων των χρηστών της. Οι επικοινωνιακές δεξιότητες αναφέρονται σε κάθε πλαίσιο που περιγράφει τις δεξιότητες που πρέπει να έχει ένας πολίτης του 21ου αιώνα, όπως ήπιες δεξιότητες, δεξιότητες 21ου αιώνα, βασικές ικανότητες (key competencies) κλπ.

Το πρόβλημα, στη λύση του οποίου συμβάλλει η εφαρμογή, είναι η αλληλοεπικάλυψη του λόγου των ομιλητών που συμβαίνει σε διαλόγους μεταξύ δυο ατόμων. Πιο συγκεκριμένα, όταν δυο άτομα βρίσκονται σε διάλογο μπορούν, κατά την διαδικασία αλλαγής ομιλητή (turn taking), να συμβούν οι εξής καταστάσεις: 1) να επιλέξει ο ομιλητής ποιος θα συνεχίσει τον διάλογο, 2) να αναλάβει κάποιος από μόνος/η του να συνεχίσει τον διάλογο ή 3) αν δεν οριστεί ποιος/α θα συνεχίσει και δεν αναλάβει κάποιο άλλο μέλος να συνεχίσει αυτός που είχε τον λόγο. Κατά τη διάρκεια όμως της συζήτησης μπορεί κάποιος να προσπαθήσει να πάρει τον λόγο από τον ομιλητή και τότε να οδηγηθούν σε μια ανταγωνιστική κατάσταση υπερκάλυψης του ενός ως προς τον άλλο (overlap) η οποία με κάποιον τρόπο θα πρέπει να επιλυθεί (overlap resolution). Η συσκευή DEALOGOS που σχεδιάστηκε, συμβάλει στην εκπαίδευση των ομιλητών ώστε να αποφεύγουν την κατάσταση της υπερκάλυψης, αναμένοντας τον ομιλητή να δώσει τον λόγο στον επόμενο και να μπορούν να αναγνωρίζουν και να επιλύουν γρήγορα την κατάσταση αυτή, όταν συμβεί (Hadjileontiadou & Kapsidis, 2022).

Η συσκευή αποτελείται από δυο μικρόφωνα τα οποία ανιχνεύουν πότε μιλά ο κάθε ένας ομιλητής. Τα μικρόφωνα συνδέονται σε έναν μικροελεγκτή ώστε να υπάρχει δυνατότητα καταγραφής δεδομένων αλλά και άμεσης αντίδρασης της συσκευής ανάλογα με το εκπαιδευτικό σενάριο που υλοποιείται. Πιο συγκεκριμένα μπορεί σε ένα σενάριο χρήσης η συσκευή να δίνει ανατροφοδότηση κάθε φορά που συμβαίνει αλληλοεπικάλυψη στο λόγο των δυο ομιλητών (άμεση ανατροφοδότηση). Σε άλλο σενάριο μπορεί να εγγράφει τον αριθμό των φορών και τη διάρκεια των επεισοδίων επικάλυψης, ώστε να είναι διαθέσιμα για μελέτη και εξαγωγή συμπερασμάτων τόσο από τον εκπαιδευτή όσο και από τους χρήστες και ταυτόχρονα είτε να δίνει είτε να μη δίνει άμεση ανατροφοδότηση.

Στη συνέχεια τεκμηριώνεται η σημασία της αξιοποίησης της FSM για την εννοιολογική μοντελοποίηση και οπτικοποίησή της λειτουργίας της συσκευής DEALOGOS μέσω της προτεινόμενης προσέγγισης ED-STD.

Υλοποίηση της προσέγγισης ED-STD

Πριν τον σχεδιασμό και ανάπτυξη της συσκευής DEALOGOS, οργανώθηκε μια διδακτική παρέμβαση σε τέσσερις φοιτήτριες της ομάδας STE(A)M στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του ΔΠΘ. Ειδικότερα, ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν ένα πρωτότυπο (φυσικό μοντέλο) της δικής τους πρότασης για τη συσκευή DEALOGOS ώστε να λύσουν το πρόβλημα της αλληλοεπικάλυψης του λόγου των ομιλητών που συμβαίνει σε διαλόγους μεταξύ δυο ατόμων (overlap). Στόχος αυτής της παρέμβασης ήταν να διερευνηθεί η συμβολή της FSM σε διαδικασίες μοντελοποίησης στο πλαίσιο της

ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM μελλοντικών εκπαιδευτικών.

Σημειώνεται ότι κατά τον χρόνο έναρξης της παρέμβασης οι φοιτήτριες είχαν αρχική εξοικείωση με το περιβάλλον TinkerCAD circuits στο πλαίσιο άλλων STEM Projects στα οποία συμμετείχαν, ενώ δεν είχαν καμία προηγούμενη γνώση σχετικά με την FSM και το STD.

Οι φοιτήτριες τεκμηρίωσαν το πρόβλημα και την ανάγκη κατασκευής της συσκευής DEALOGOS (Φάσεις 1 και 2 του κύκλου τεχνικού σχεδιασμού). Ακολούθως υλοποίησαν τις Φάσεις 3 και 4 σε δύο επαναλήψεις (α) και (β) αντίστοιχα, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Φάση 3(α). Σε αυτή την φάση, οι φοιτήτριες ενεπλάκησαν αρχικά στη διατύπωση ιδεών σχετικά με τη λειτουργία της συσκευής χωρίς την αξιοποίηση του STD. Σε αυτό το βήμα οι ιδέες αφορούσαν περισσότερο σε εξωτερικά χαρακτηριστικά της συσκευής παρά σε λειτουργικό επίπεδο (π.χ., το μέγεθός της, το σχήμα της), ενώ όσες αφορούσαν στη λειτουργία της υπήρξε πολύ σημαντική αδυναμία να οριοθετήσουν τις ιδέες τους με βάση το θεωρητικό πλαίσιο που θεμελιώνει την αναμενόμενη απόκριση της συσκευής σε πραγματικές συνθήκες ομιλίας των πιθανών χρηστών της.

Φάση 4(α). Καθώς το σώμα ιδεών που διατυπώθηκαν στην προηγούμενη φάση δεν ήταν επαρκές, σε αυτή τη φάση οι φοιτήτριες είχαν πολύ σημαντική δυσκολία να συγκεράσουν τις μεταβλητές του μοντέλου του συστήματος (π.χ., πλήθος χρηστών της συσκευής, μελετώμενα χαρακτηριστικά της ομιλίας τους, καταστάσεις και απόκριση συσκευής, πιθανές ενέργειες χειρισμού και απόκρισης της συσκευής) και να δημιουργήσουν το μοντέλο της βέλτιστης κατά τη γνώμη τους λειτουργίας της.

Σε αυτό το σημείο έγινε εξοικείωση των φοιτητριών με τις έννοιες της FSM και ειδικότερα του STD και αναδείχθηκε ο τρόπος κατασκευής του STD στο συνεργατικό περιβάλλον Padlet (Padlet.com). Ακολούθως ζητήθηκε από τις φοιτήτριες να επαναλάβουν τις Φάσεις 3 και 4.

Φάση 3(β). Οι φοιτήτριες συνέχισαν τη διατύπωση ιδεών αλλά αυτή τη φορά με βάση το STD. Έκαναν προτάσεις οπτικοποίησης των ιδεών τους στο κοινόχρηστο περιβάλλον Padlet.

Φάση 4(β). Σε αυτή τη φάση, μετά από επεξεργασία των ιδεών που διατυπώθηκαν, κατέληξαν στην επιλογή της βέλτιστης προσέγγισης της λειτουργίας της συσκευής, ολοκληρώνοντας το αντίστοιχο STD.

Με τη βοήθεια του STD προχώρησαν στην υλοποίηση μιας πρωτοτύπου εφαρμογής, της λειτουργίας της συσκευής που προέκριναν, στο περιβάλλον TinkerCAD circuits (Φάση 5 του κύκλου του τεχνικού σχεδιασμού) και στη συνέχεια μετά την ολοκλήρωση των λοιπών φάσεων του κύκλου ολοκλήρωσαν την κατασκευή ενός πρωτοτύπου της συσκευής DEALOGOS.

Κατόπιν συναίνεσης των φοιτητριών έγινε βιντεοσκοπήση της συνεργασίας τους σε όλα τα βήματα. Από την επεξεργασία των βίντεο προέκυψαν οι διάλογοί τους, με βάση τη θεματική ανάλυση των οποίων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρέμβασης στην ενότητα που ακολουθεί.

Αποτελέσματα

Από τη θεματική ανάλυση των διαλόγων των φοιτητριών κατά τις Φάσεις 3(β) και 4(β) του κύκλου τεχνικού σχεδιασμού προέκυψαν τα θέματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1:

Πίνακας 1. Θέματα που προέκυψαν από τη θεματική ανάλυση

Σταδιακή συγκρότηση εννοιολογικής μοντελοποίησης
Μεταβάσεις μεταξύ τύπων μοντελοποίησης
Μοντελοποίηση σε αυθεντικό πλαίσιο
Γλώσσα επικοινωνίας κατά τη μοντελοποίηση

- **Σταδιακή συγκρότηση εννοιολογικής μοντελοποίησης**

Κατά την Φάση 3(β), οι φοιτήτριες αρχικά περιέγραφαν τη λειτουργία της συσκευής με βάση τα εξωτερικά χαρακτηριστικά της και να ενέπλεκαν τέτοια χαρακτηριστικά κατά την προσπάθειά τους να οργανώσουν τις σκέψεις τους και να τις αποτυπώσουν ως STD στο Padlet.

Σε όλη τη διάρκεια της Φάσης 3(β) έγιναν δυναμικές αλλαγές στο STD οι οποίες αποτύπωναν τις ιδέες που προκύπτανε.

[Ωραία, η αρχική του κατάσταση ποια θα έχει κάποιο χρώμα θα ακούγεται κάτι, δεν θα έχει τίποτα; - Η αρχική του κατάσταση θα είναι κλειστή (Φ1)].

[Ο διακόπτης πρώτο ανοιγοκλείνει και όλα τα ξεκινάμε με το που πάρει κάποια κάποιο ερέθισμα, κάποια αντίδραση, κάτι. Όλα να ξεκινάνε από εκεί (Φ2)].

Ακολουθώς φαίνεται πως έγινε αντιληπτό ότι θα έπρεπε να κινηθούν πιο αφαιρετικά:

[Εγώ κατάλαβα κάτι άλλο βασικά... Ότι απλά πρέπει να σχεδιάσουμε σε στο μυαλό μας, χωρίς εντολές, Οι εντολές θα μπουν μετά από πίσω το τι ανοίγουν... την κατάσταση της συσκευής νομίζω ότι πρέπει να βρούμε πρώτα (Φ2)].

Στη συνέχεια του διαλόγου φαίνεται ότι δεν είναι αντιληπτός ο όρος κατάσταση της συσκευής στο πλαίσιο της FSM καθώς συγχέεται με την έξοδο (τι θα μπορούσε να κάνει η συσκευή).

[Επίσης, όταν ο ανοίγει θα μπορούσε να τον υπάρχει ένας κάποιος μικρός ήχος, πολύ διαφορετικός από όλους τους υπόλοιπους ίσως (Φ1)].

Ωστόσο, σταδιακά αποτυπώθηκαν κάποιες καταστάσεις της συσκευής στο STD και ξεκίνησε η διαδικασία με την οποία θα αποφάσιζαν τις μεταβάσεις μεταξύ των καταστάσεων.

[Για από ποια μπορούμε να πάμε σε ποια; Δηλαδή μπορεί από μια μπορούμε σε 2 καταστάσεις (Φ4)].

[Θεωρώ πως από την πρώτη κατάσταση ας πούμε. Την κλειστή στην ανοιχτή μόνο μία. Μόνο ένας τρόπος δηλαδή (Φ3)].

Οι φοιτήτριες συνέχισαν τον διάλογο και τις προσπάθειες σύνδεσης των καταστάσεων με βέλη στο STD και στη συνέχεια αναφέρθηκαν στις εισόδους στην FSM.

[Πάνω στο βελάκι κάτι λείπει πρέπει να γράψουμε τι θα κάνουμε π.χ., θα πατήσουμε τον διακόπτη για να πάει από τη μία κατάσταση στην άλλη (Φ3)].

Οι φοιτήτριες σταδιακά ολοκλήρωσαν το STD στο περιβάλλον Padlet, το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.

Ειδικότερα, το STD του Σχήματος 4 αντανakλά την FSM στην οποία κατέληξε η ομάδα η οποία αποτελούνταν από μια αρχική κατάσταση κλειστή συσκευή (Σημείο 1) και τέσσερις καταστάσεις, ανοιχτή συσκευή (Σημείο 2), δε μιλάει κανείς (Σημείο 3), μιλάει ένα άτομο (Σημείο 4), μιλάνε δυο άτομα ταυτόχρονα (Σημείο 5). Σε κάθε μια από αυτές τις καταστάσεις περιγράφεται το τι θα κάνει η συσκευή όσο βρίσκεται σε αυτήν την κατάσταση.

Τα βέλη δείχνουν τη συνθήκη που θα πρέπει να ισχύσει για να μετακινηθεί η συσκευή από τη μια κατάσταση στην άλλη. Ακολουθώντας τα βέλη μπορεί κάποιος να διαπιστώσει και ποιες είναι οι εφικτές μεταβάσεις μεταξύ των καταστάσεων.

Με τον όρο Ενεργοποίηση μικροφώνου εννοείται η περίπτωση όπου το μικρόφωνο ανιχνεύει φωνή πάνω από κάποιο όριο που έχει τεθεί, αντίστοιχα απενεργοποίηση σημαίνει ότι δεν ανιχνεύεται φωνή. Έτσι παρατηρείται ότι για παράδειγμα όταν η συσκευή είναι στην κατάσταση μιλάει ένα άτομο (Σημείο 4) τότε μπορεί αυτός να σταματήσει να μιλά οπότε έχουμε τη συνθήκη Απενεργοποίηση μικροφώνου και μετάβαση στην κατάσταση δε μιλάει κανείς (Σημείο 3) ή να αρχίσει να μιλά και ο δεύτερος χρήστης οπότε προκύπτει η συνθήκη Ενεργοποίηση και των δυο μικροφώνων και η συσκευή μεταβαίνει στην κατάσταση μιλάνε δυο άτομα ταυτόχρονα (Σημείο 5).

- **Μεταβάσεις μεταξύ τύπων μοντελοποίησης**

Η υλοποίηση μιας πρωτοτύπου εφαρμογής της συσκευής έγινε στη Φάση 4(β).

Αρχικά έγινε μοντελοποίηση του τρόπου λειτουργίας της συσκευής στο περιβάλλον TinkerCAD circuits. Ειδικότερα καθώς η παραπάνω διαδικασία συγκρότησης του STD οδήγησε στην εννοιολογική σύλληψη του τρόπου λειτουργίας της συσκευής αυτή με τη σειρά της υποστήριξε τη μετάβαση στο περιβάλλον TinkerCAD circuits η οποία ήταν εύκολη λόγω της πρότερης εξοικείωσης των φοιτητριών με αυτό.

[Εμένα μου αρέσει η σημερινή μας συνάντηση μπορώ να πω, και έχουμε σχεδόν ολοκληρώσει το σχήμα στο μυαλό μας και μετά πιστεύω θα έχει ενδιαφέρον να ξεκινήσουμε να βλέπουμε και στον υπολογιστή τις εντολές (Φ1)].

Η υλοποίηση στο TinkerCAD circuits αποτέλεσε ουσιαστικά την μεταγραφή της FSM μοντελοποίησης σε νέο περιβάλλον δηλαδή τη μετάβαση από την πρώτη μοντελοποίηση του STD σε μορφή οπτικοποίησης (εννοιολογικό μοντέλο), στη δεύτερη, στο περιβάλλον TinkerCAD circuits σε προγραμματιστικό περιβάλλον (υπολογιστικό μοντέλο).

Στη συνέχεια, με βάση τη μοντελοποίηση στο TinkerCAD circuits ακολούθησε η κατασκευή του κυκλώματος με φυσικά υλικά και η ολοκλήρωση της πρωτοτύπου κατασκευής (φυσικό μοντέλο).

- **Μοντελοποίηση σε αυθεντικό πλαίσιο**

Το Project DEALOGOS αποτέλεσε ένα αυθεντικό πλαίσιο στο οποίο ενεπλάκησαν οι φοιτήτριες καθώς εστίασε σε ένα υπαρκτό πρόβλημα που αφορά στις επικοινωνιακές δεξιότητες και είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την εκπαιδευτική πράξη. Η θεωρητική προσέγγιση του θέματος ήταν εύληπτη από τις φοιτήτριες και παρείχε ένα σώμα πληροφορίας επαρκές για τον σχεδιασμό του υπόψη πρωτοτύπου. Η διαδικασία ωστόσο του τεχνικού σχεδιασμού του αποτέλεσε ένα πεδίο με το οποίο δεν ήταν εξοικειωμένες. Η αξιοποίηση της προτεινόμενης προσέγγισης ED-STD παρείχε ένα απλοποιημένο περιβάλλον οπτικοποίησης το οποίο υποστήριξε την περαιτέρω εμπλοκή των φοιτητριών στη διαδικασία μοντελοποίησης.

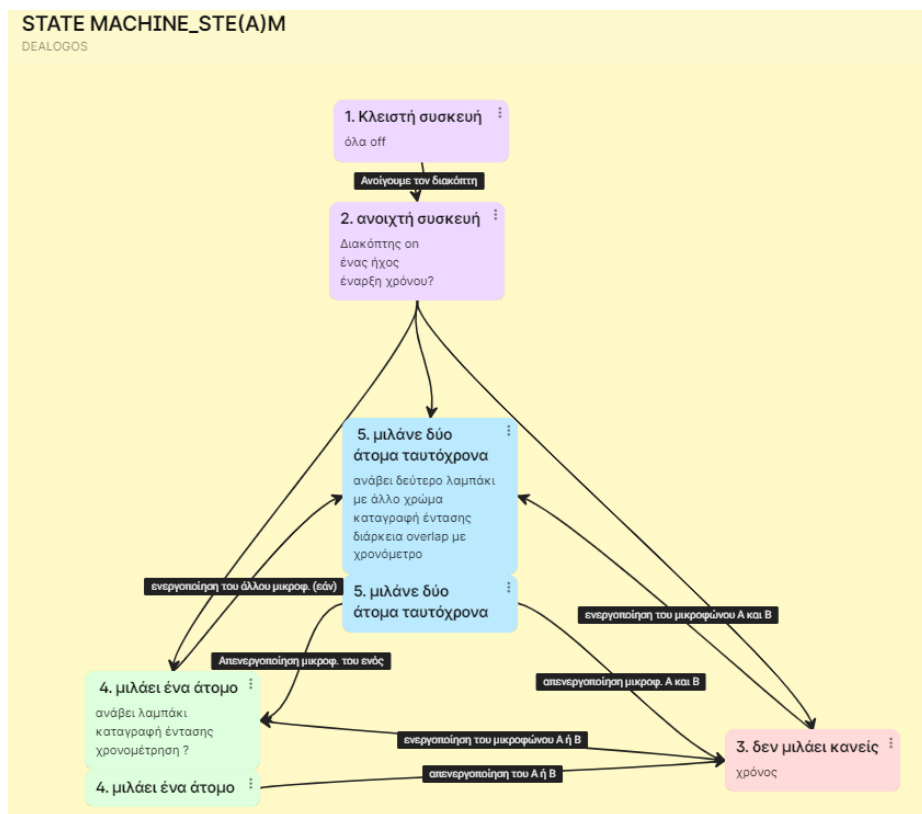
[Αν και εγώ δε τα πάω καθόλου καλά με τα σχέδια με μπερδεύουν πολύ, ωστόσο νομίζω ότι αυτό μας βοήθησε να οργανώσουμε τις σκέψεις μας (Φ4)].

- **Γλώσσα επικοινωνίας κατά τη μοντελοποίηση**

Το STD εντασσόμενο στο πλαίσιο ED-STD αποτέλεσε ένα τεχνούργημα γύρω από το οποίο αναπτύχθηκε ένας διάλογος μεταξύ των φοιτητριών γύρω από τη λειτουργία μιας FSM. Η απλοποίηση που προσέφερε παρείχε το πρόσφορο έδαφος από τη μία μεριά να αναπτυχθεί ένας διάλογος ο οποίος στην αρχή είχε χαρακτηριστικά απλών καθημερινών διατυπώσεων, αλλά στη συνέχεια αυτός εξελίχθηκε σε πιο αφαιρετικό και τεχνικό λόγο. Με τον αυτόν τον τρόπο οι φοιτήτριες φάνηκε πώς ανέπτυξαν δεξιότητες επικοινωνίας και λόγο γύρω από τη μοντελοποίηση μιας FSM χωρίς να είναι ρητό το γεγονός ότι αναφέρονται σε μια μηχανή.

Συζήτηση

Η εννοιολογική σύλληψη μιας FSM καθώς έχει ντετερμινιστικά χαρακτηριστικά είναι απλή και κατανοητή. Επιπλέον, υποστηρίζει την οριοθέτηση και την αναλυτική προσέγγιση των επιμέρους λειτουργιών μιας μηχανής και χρησιμοποιείται κυρίως στον τεχνικό κόσμο για διαδικασίες όπως ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, ο έλεγχος, ο αυτοματισμός, η προσομοίωση και ο ενεργειακός έλεγχος συστημάτων (Verma et al., 2023). Η αξιοποίηση της διευκολύνεται ακόμη περισσότερο με την οπτικοποίηση που προσφέρει το αντίστοιχο STD.



Σχήμα 4. Το STD των φοιτητριών για τη λειτουργία του πρωτοτύπου DEALOGOS στο περιβάλλον Padlet

Στην παρούσα εργασία προτείνεται η αξιοποίηση της FSM στο πλαίσιο ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM μελλοντικών εκπαιδευτικών. Καθώς η προσέγγιση FSM εστιάζει στη μοντελοποίηση της λειτουργίας μιας μηχανής, αναφέρεται εγγενώς σε ένα αυθεντικό πλαίσιο μάθησης το οποίο δημιουργεί τις προϋποθέσεις ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM (Hallström & Schönborn, 2019).

Ειδικότερα, η προτεινόμενη προσέγγιση ED-STD εστιάζει στην περίπτωση της κατασκευής μιας συσκευής σε πλαίσιο STEM η λειτουργία της οποίας μπορεί να μοντελοποιηθεί με μια FSM. Άτομα τα οποία δεν είναι εξοικειωμένα με την περιοχή μπορούν να αξιοποιήσουν ένα STD το οποίο παρέχει οπτικοποίηση της FSM και επιτρέπει τη μοντελοποίηση της λειτουργίας της μηχανής χωρίς να εμπλέκει από την αρχή λεπτομέρειες από άλλα επίπεδα προσέγγισής της, όπως ο προγραμματισμός ή η μοντελοποίηση με απτά υλικά.

Ουσιαστικά η προσέγγιση ED-STD προτείνει την ενσωμάτωση της FSM στον κύκλο τεχνικού σχεδιασμού μιας συσκευής που μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων. Μέσω αυτής της ενσωμάτωσης ενισχύονται φάσεις του κύκλου αυτού με την εισαγωγή της ιδέας της μοντελοποίησης στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM. Ειδικότερα, η STD μπορεί να εισάγει τους συμμετέχοντες στη κατασκευή εννοιολογικού μοντέλου της σχεδιαζόμενης συσκευής. Η εξοικείωση που παρέχει στη απεικόνιση

καταστάσεων και σχέσεων μπορεί να συμβάλλει στην μεταφορά αυτής της γνώσης μεταξύ των επιμέρους γνωστικών πεδίων STEM καθώς οπτικοποιήσεις αφηρημένων εννοιών μέσω εννοιολογικών διαγραμμάτων, διαγραμμάτων ροής και οι σχηματικές αναπαραστάσεις αξιοποιούνται στις φυσικές επιστήμες, στις επιστήμες μηχανικού, τεχνολογίας και μαθηματικών. Η εννοιολογική σύλληψη της λειτουργίας της συσκευής μέσω του αντίστοιχου STD μπορεί να υποστηρίξει και την ανάπτυξη του αντίστοιχου υπολογιστικού μοντέλου της ως FSM. Αυτό το μοντέλο βασίζεται σε αντίστοιχο μαθηματικό μοντέλο το οποίο αντιπροσωπεύει σχέσεις μεταξύ μεταβλητών με ποσοτικούς όρους. Τέλος, η κατασκευή της πρωτοτύπου κατασκευής της συσκευής αποτελεί το φυσικό μοντέλο της. Η περίπτωση του πρωτοτύπου DEALOGOS ανέδειξε τη δυνατότητα αξιοποίησης της προσέγγισης ED-STD στο πλαίσιο εκπαίδευσης μελλοντικών εκπαιδευτικών στην ολοκληρωμένη προσέγγιση STEM.

Πιο συγκεκριμένα, η εργασία προτείνει θεωρητικά αλλά και παραδειγματικά έναν καινοτόμο εμπλουτισμό του ED με το STD ο οποίος συμβάλλει στην ανάδειξη της σημασίας της μοντελοποίησης στο πλαίσιο του ED. Η οπτική αυτή ενισχύει την ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM δημιουργώντας συνθήκες για την ενεργή εμπλοκή των εκπαιδευόμενων σε διαδικασία μοντελοποίησης, η οποία, παρόλο που μπορεί να έχει ως διαδικασία μικρές διαφορές μεταξύ των επιμέρους γνωστικών αντικειμένων STEM, έχει και κάποιες βασικές ομοιότητες όπως η οπτικοποίηση (Tang & Williams, 2019). Περαιτέρω ερευνητικές προσπάθειες αξιοποίησης της προτεινόμενης προσέγγισης ED-STD, πλαίσιο της ολοκληρωμένης προσέγγισης STEM μελλοντικών εκπαιδευτικών, μπορεί να εστιάσουν στην ανάδειξη αυτών των διαφορών/ομοιοτήτων. Για παράδειγμα το STD είναι ένας συγκεκριμένος τύπος διαγράμματος συμπεριφοράς που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση των καταστάσεων ενός αντικειμένου και των μεταβάσεων μεταξύ αυτών των καταστάσεων, ενώ άλλα εργαλεία μοντελοποίησης εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς όπως εννοιολογικοί χάρτες (κατανόηση και οργάνωση της γνώσης), διαγράμματα ροής (εστίαση στη ροή λειτουργιών ή αποφάσεων), μαθηματικά μοντέλα (ποσοτική περιγραφή σχέσεων και προβλέψεων), υπολογιστικά μοντέλα (μοντελοποίηση και ανάλυση σύνθετων συστημάτων). Μια τέτοια προσέγγιση μπορεί να γίνει στην προοπτική υποστήριξης γνώσεων μετα-μοντελοποίησης δηλαδή αξιοποίησης των μοντέλων για αναπαράσταση αλλά και κατανόηση της διαδικασίας μοντελοποίησης ως μέρος της επιστημονικής πρακτικής (Krell & Krüger, 2017). Επίσης, μέσα από την επιλογή διαφορετικών προβλημάτων μπορεί να μελετηθεί η επέκταση της προσέγγισης ED-STD σε μη ντετερμινιστικές FSM, αλλά και η σημασία της διάκρισης των διαφορετικών τύπων προβλημάτων.

Η προτεινόμενη προσέγγιση ED-STD συμβάλλει στην εκπαίδευση μελλοντικών εκπαιδευτικών παρέχοντας μια προσέγγιση στην προοπτική της ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM, αξιοποιώντας καινοτόμα την FSM και ειδικότερα την οπτικοποίηση STD σε συνδυασμό με τον ED για την υποστήριξη διαδικασιών μοντελοποίησης που διατρέχουν τα επιμέρους επιστημονικά πεδία. Μέσα από μια μελέτη περίπτωσης παρουσιάστηκε παραδειγματικά η δυνατότητα υλοποίησης της υπόψη προσέγγισης, η οποία αναμένεται να αναδειχθεί περαιτέρω μέσα από μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες.

Συμπεράσματα

Η εργασία εισάγει την μοντελοποίηση ως βασική κοινή διαδικασία μεταξύ των επιστημονικών πεδίων STEM. Σε αυτό το πλαίσιο προτείνει την προσέγγιση ED-STD η οποία εντάσσει την αξιοποίηση της μοντελοποίησης μιας FSM στον κύκλο τεχνικού σχεδιασμού. Μέσα από τη μελέτη περίπτωσης του πρωτοτύπου DEALOGOS η εργασία διερευνήσε τη δυνατότητα υλοποίησης της προσέγγισης ED-STD σε αυθεντικό πλαίσιο επίλυσης προβλήματος δημιουργίας ενός φυσικού συστήματος (συσκευής) και ανέδειξε την ιδιαίτερη

συμβολή της στο πλαίσιο εκπαίδευσης μελλοντικών εκπαιδευτικών στην ολοκληρωμένη προσέγγιση STEM.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Castro, F. E. V. (2022, July). Exploring the use of finite-state machines and game creation to teach computational thinking in middle schools. In *Proceedings of the 27th ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, 2, (pp. 618-618). <https://doi.org/10.1145/3502717.3532137>
- Hadjileontiadou, S., Kapsidis, I. (2022). On enhancing the conversation skills: the dealogos prototype. In Reis, A., Barroso, J., Martins, P., Jimoyiannis, A., Huang, R.Y.M., Henriques, R. (Eds.), *Technology and Innovation in Learning, Teaching and Education. TECH-EDU 2022. Communications in Computer and Information Science*, 1720. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22918-3_8
- Hallström, J., & Schönborn, K. J. (2019). Models and modelling for authentic STEM education: Reinforcing the argument. *International Journal of STEM education*, 6(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0178-z>
- Hallström, J., Norström, P., & Schönborn, K. J. (2023). Authentic STEM education through modelling: an international delphi study. *International Journal of STEM education*, 10(1), 62. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00453-4>
- Kitagawa, M., Fishwick, P., Kesden, M., Urquhart, M., Guadagno, R., Jin, R., & Vo, H. (2019). Scaffolded training environment for physics programming (STEPP) modeling high school physics using concept maps and state machines. In *Proceedings of the 2019 ACM SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation* (pp. 127-136). <https://doi.org/10.1145/3316480.3325513>
- Krell, M., & Krüger, D. (2017). University students' meta-modelling knowledge. *Research in Science & Technological Education*, 35(3), 261-273. <https://doi.org/10.1080/02635143.2016.1274724>
- Maruyama, R., Ogata, S., Kayama, M., Tachi, N., Nagai, T., & Taguchi, N. (2022). An educational unified modelling language programming environment and its two case studies. International Association for Development of the Information Society. *19th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2022)*, 139-146.
- Massachusetts Department of Education. (2006). *Massachusetts science and technology/engineering curriculum framework*. Retrieved June 10, 2024, from <https://www.doe.mass.edu/frameworks/scitech/1006.doc>
- Moore, T. J., Johnston, A. C., & Glancy, A. W. (2020). STEM integration: A synthesis of conceptual frameworks and definitions. In *Handbook of research on STEM education* (pp. 3-16). Routledge.
- Norström, P., & Hallström, J. (2023). Models and modelling in secondary technology and engineering education. *International Journal of Technology and Design Education*, 33, 1797-1817. <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09808-y>
- Pasupathi, P., Schankula, C. W., DiVincenzo, N., Coker, S., & Anand, C. K. (2022). Teaching Interaction using State Diagrams. In P. Achten & E. Machkasova (Eds.) *Trends in Functional Programming in Education (TFPIE) 2021/22 EPTCS* 363 (pp. 132-152). doi:10.4204/EPTCS.363.8
- Rui N., Jorge S., & Vitor T. (2013). Integrating Computational Modelling in Science, Technology, Engineering and Mathematics Education. In A. Damlamian, J. F. Rodrigues, R. Straesser (Eds.) *Educational interfaces between mathematics and industry*, New ICMI Study Series, vol. 16 (pp.375-383), Springer. DOI:10.1007/978-3-319-02270-3_38
- Tang, K.-S., & Williams, P. J. (2018). STEM literacy or literacies? Examining the empirical basis of these constructs. *Review of Education*. <https://doi.org/10.1002/rev3.3162>
- Verma, K., Kourav, S., Jangid, M., Sahu, U., & Shivhare, N. (2023). Research on finite state machine and its real life time applications. *Journal of Information Technology and Sciences*, 9(3), 10-20. e-ISSN: 2581-849X.
- Wang & Tepfenhart (2019). *Formal Methods in Computer Science*. CRC Press. ISBN 978-1-4987-7532-8.
- Zhang, Y., & Zhu, J. (2023). STEM pre-service teacher education: A review of research trends in the past ten years. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(7), em2292. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13300>