

Κεφάλαιο 1

Από το STEM στο STEAM και στο Socio-ST(R)E(A)M

1.1 Η ανάγκη ενός νέου παιδαγωγικού παραδείγματος

Οι ραγδαίες τεχνολογικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές αλλαγές των τελευταίων δεκαετιών έχουν μεταμορφώσει ριζικά το εκπαιδευτικό τοπίο. Η μετάβαση στην ψηφιακή και τεχνολογικά διαμεσολαβημένη κοινωνία απαιτεί πολίτες με ικανότητες κριτικής ανάλυσης, δημιουργικής επίλυσης προβλημάτων και ηθικής ευθύνης απέναντι στη γνώση και την τεχνολογία (OECD, 2018· UNESCO, 2021). Οι παραδοσιακές μορφές εκπαίδευσης που επικεντρώνονται στην απομνημόνευση και στη μετάδοση αποσπασματικών εννοιών δεν ανταποκρίνονται στις προκλήσεις της σύγχρονης παγκοσμιοποιημένης και διασυνδεδεμένης πραγματικότητας (Sahlberg, 2021). Τουναντίον, απαιτείται ένα νέο παιδαγωγικό παράδειγμα που θα ενοποιεί την επιστημονική γνώση με την τεχνολογική και κοινωνική πράξη, ενισχύοντας τη δημιουργικότητα και την ενσυναίσθηση (Darling-Hammond κ.ά., 2020· Freire, 1970). Η εκπαίδευση STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) εμφανίστηκε ως απάντηση σε αυτή την ανάγκη στα τέλη του 20ού αιώνα, στοχεύοντας στη σύνδεση της επιστήμης με την πραγματική ζωή και στη διαμόρφωση πολιτών ικανών να καινοτομούν και να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της βιομηχανίας και της έρευνας (Bybee, 2013· National Research Council, 2012).

Ωστόσο, η εφαρμογή του STEM ανέδειξε τα όριά του. Η έμφαση στην τεχνική επάρκεια και στη λειτουργικότητα συχνά περιόριζε τη διάσταση της δημιουργικής έκφρασης, του νοήματος και της πολιτισμικής κατανόησης της γνώσης. Ως απάντηση σε αυτό το έλλειμμα προτάθηκε η ενσωμάτωση της Τέχνης (Art), οδηγώντας στο πλαίσιο STEAM. Το STEAM αναγνωρίζει ότι η καινοτομία δεν αποτελεί αποκλειστικά τεχνολογικό ή επιστημονικό φαινόμενο, αλλά προκύπτει από τη σύνθεση αναλυτικής σκέψης, φαντασίας και πολιτισμικής επίγνωσης (Root-Bernstein, 2015· Yakman, 2008). Στο πλαίσιο αυτό, η αισθητική πρόσληψη, η αφήγηση και η δημιουργικότητα λειτουργούν ως γέφυρες μεταξύ επιστημονικής γνώσης και ανθρώπινης εμπειρίας (Sousa & Pilecki, 2013).

Η εκπαιδευτική πρακτική και ο σύγχρονος τεχνολογικός μετασχηματισμός ανέδειξαν, ωστόσο, ότι ακόμη και το STEAM δεν επαρκεί για να αποτυπώσει πλήρως τη φύση των σύγχρονων τεχνολογικών συστημάτων. Η τεχνολογία δεν αποτελεί πλέον

απλώς εργαλείο ή μέσο αναπαράστασης, αλλά ενεργό παράγοντα δράσης μέσω προγραμματιζόμενων, αυτοματοποιημένων και εν μέρει αυτόνομων συστημάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, η ενσωμάτωση της Ρομποτικής (Robotics) στο παιδαγωγικό σχήμα καθίσταται αναγκαία, καθώς επιτρέπει στις μαθήτριες να εμπλακούν ενσώματα και λειτουργικά με σύνθετα τεχνολογικά περιβάλλοντα, συνδέοντας τη θεωρητική κατανόηση με τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τον έλεγχο πραγματικών συστημάτων (Bybee, 2013· National Research Council, 2012).

Το πλαίσιο ST(R)E(A)M αναδεικνύεται έτσι ως μια πιο ολοκληρωμένη παιδαγωγική προσέγγιση, όπου η επιστήμη, η μηχανική, η ρομποτική, η τέχνη και τα μαθηματικά συνυπάρχουν σε μια δυναμική σχέση αλληλεπίδρασης. Η ρομποτική λειτουργεί ως πεδίο σύνθεσης της επιστημονικής γνώσης, της υπολογιστικής σκέψης και της δημιουργικότητας, ενώ ταυτόχρονα καθιστά ορατή τη σχέση μεταξύ τεχνολογίας και ανθρώπινης δράσης.

Η εξέλιξη από το STEM στο ST(R)E(A)M ενίσχυσε ουσιαστικά τη σύνδεση της γνώσης με την πράξη, δίνοντας στις μαθήτριες τη δυνατότητα να σχεδιάζουν και να κατασκευάζουν λειτουργικά τεχνολογικά συστήματα. Ωστόσο, η παιδαγωγική αξία αυτής της εμπλοκής δεν εξαντλείται στην τεχνική επιτυχία μιας κατασκευής. Καθώς τα τεχνολογικά συστήματα ενσωματώνονται όλο και περισσότερο στην καθημερινή ζωή, καθίσταται αναγκαίο οι μαθητές να κατανοούν όχι μόνο πώς λειτουργούν, αλλά και πώς επηρεάζουν τον άνθρωπο, την κοινωνία και το περιβάλλον. Η ανάγκη αυτή αναδεικνύει το όριο των καθαρά τεχνικών προσεγγίσεων και προετοιμάζει το έδαφος για τη συστηματική ενσωμάτωση της κοινωνικής διάστασης στη μαθησιακή διαδικασία. Σε αυτό το σημείο αναδύεται η ανάγκη για ένα πλαίσιο που να συνδέει ρητά την τεχνολογική εκπαίδευση με την κοινωνική ευθύνη και τη δημοκρατική πολιτειότητα, ανοίγοντας τον δρόμο για την προσέγγιση του Socio-ST(R)E(A)M.

1.2 Η κοινωνική διάσταση της μάθησης

Η εκπαίδευση του 21ου αιώνα δεν μπορεί να περιορίζεται στην απόκτηση τεχνικών γνώσεων και δεξιοτήτων. Οφείλει να καλλιεργεί την ικανότητα των μαθητών να κατανοούν τη σχέση μεταξύ γνώσης, τεχνολογίας και κοινωνίας και να αναστοχάζονται πάνω στις συνέπειες των τεχνολογικών επιλογών (OECD, 2018· UNESCO, 2021). Σε έναν κόσμο όπου τα δεδομένα, οι αυτοματοποιημένες αποφάσεις και τα τεχνολογικά συστήματα επηρεάζουν καθημερινά τη ζωή των ανθρώπων, η μάθηση αποκτά αναπόφευκτα κοινωνική διάσταση, η οποία δεν λειτουργεί ως συμπλήρωμα της τεχνικής γνώσης, αλλά ως προϋπόθεση για τη νοηματοδότησή της.

Η κοινωνική διάσταση της μάθησης συνδέεται με τη πολυπολιτισμικότητα και τη διαφορετικότητα. Η σύγχρονη τεχνολογία δεν επηρεάζει όλους με τον ίδιο τρόπο: η πρόσβαση, η χρήση και τα οφέλη κατανέμονται άνισα (Selwyn, 2021). Οι μαθητές καλούνται να αναγνωρίσουν ότι ένα τεχνολογικό σύστημα –από έναν αισθητήρα μέχρι έναν αλγόριθμο– μπορεί να ενισχύσει τις ανισότητες ή αντιθέτως να προωθήσει την κοινωνική δικαιοσύνη ανάλογα με τον τρόπο που σχεδιάζεται και χρησιμοποιείται

(Noble, 2018). Μέσα από τα σενάρια που αναπτύσσονται παραδειγματικά στη συνέχεια, οι μαθητές εκτίθενται σε συζήτηση για την ισότητα των πόρων, τη διαφάνεια των δεδομένων, την αξιοπιστία των μετρήσεων και την πρόσβαση στη γνώση.

Η αναγνώριση αυτών των ανισοτήτων καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη κριτικής σκέψης, καθώς μόνο μέσα από αυτήν οι μαθητές μπορούν να ερμηνεύσουν την τεχνολογία όχι ως ουδέτερο εργαλείο, αλλά ως κοινωνικά ενταγμένο σύστημα με συγκεκριμένες επιπτώσεις. Σε αυτό το πλαίσιο, η διεθνής βιβλιογραφία σε κοινωνικά προσανατολισμένες προσεγγίσεις STEM και STEAM (Sahlberg, 2021· UNESCO, 2021) τονίζει ότι η ανάπτυξη κριτικής σκέψης δεν νοείται χωρίς επίγνωση του κοινωνικού πλαισίου (Brookfield, 2013· Facione, 2015). Η ικανότητα ανάλυσης δεδομένων, για παράδειγμα, είναι κενή αν δεν συνοδεύεται από την ικανότητα να διερωτηθούμε ποιος τα παράγει, σε ποιο πλαίσιο, με ποια σκοπιμότητα και με ποιες συνέπειες (Boyd & Crawford, 2012).

Η κριτική σκέψη, δεν αφορά μόνο τη λογική ανάλυση, αλλά την ικανή μαθήτρια που μπορεί να τοποθετεί τα φαινόμενα μέσα σε ένα ευρύτερο πλαίσιο αξιών και συνεπειών (Brookfield, 2013). Όταν οι μαθήτριες εξετάζουν, για παράδειγμα, γιατί στο σχολείο υπάρχει υπερκατανάλωση νερού ή πώς συνδέεται η ξηρασία με κοινωνικές και οικονομικές δομές, δεν μαθαίνουν απλώς επιστημονικές έννοιες: μαθαίνουν να διαβάζουν τον κόσμο με ευθύνη και ευαισθησία (Meadows, 2008). Αναγνωρίζουν ότι τα προβλήματα δεν είναι ποτέ μόνο τεχνικά, αλλά κοινωνικοτεχνικά (Latour, 2005).

Στα εκπαιδευτικά σενάρια που εξετάζονται σε επόμενα κεφάλαια (π.χ. «έξυπνο θερμοκήπιο», «έξυπνο ποτιστικό», υπερκατανάλωση νερού στο σχολείο), οι μαθήτριες δεν καλούνται μόνο να επιλύσουν τεχνικά προβλήματα αλλά καλούνται να στοχαστούν πάνω στην ισότητα πρόσβασης στους πόρους, πάνω στον αντίκτυπο των ανθρώπινων επιλογών, αλλά και στον ρόλο της τεχνολογίας ως δύναμης κοινωνικού μετασχηματισμού (Sterling, 2010· UNESCO, 2017).

Ωστόσο, *η κοινωνική μάθηση δεν είναι μόνο κριτική, είναι και συνειδησιακή*. Η ανάπτυξη της κοινωνικής συνείδησης προκύπτει μέσα από τη δράση (Freire, 1970). Όταν οι μαθητές μελετούν φαινόμενα όπως η λειψυδρία, η υπερκατανάλωση νερού στο σχολείο ή η ενεργειακή συμπεριφορά ενός συστήματος, έρχονται αντιμέτωποι με έννοιες όπως η βιωσιμότητα και η οικολογική ευθύνη (Sterling, 2010· UNESCO, 2017). Δεν μαθαίνουν απλώς «πώς λειτουργεί» ένα σύστημα· μαθαίνουν ότι οι δικές τους επιλογές μπορούν να το μετασχηματίσουν (Meadows, 2008). Αυτό σημαίνει ότι η μάθηση αποκτά πολιτικό χαρακτήρα – όχι κομματικό, αλλά πολιτειακό: αφορά την ευθύνη του πολίτη να συμμετέχει ενεργά στη διαμόρφωση του κοινού καλού (Westheimer & Kahne, 2004).

Συνολικά, η κοινωνική διάσταση λειτουργεί ως θεμέλιο της προσέγγισης Socio-ST(R)E(A)M. Είναι ο χώρος μέσα στον οποίο οι υπόλοιποι πυλώνες του STEM αποκτούν νόημα (UNESCO, 2021). Χωρίς αυτήν τα δεδομένα είναι ουδέτερα, οι αλγόριθμοι τεχνουργήματα, οι κατασκευές παιχνίδια. Αντιθέτως, με αυτήν η μάθηση γίνεται πράξη κοινωνικής συμμετοχής, πράξη υπευθυνότητας και ταυτόχρονα πράξη δημιουργίας ενός πιο δίκαιου και βιώσιμου κόσμου (Freire, 1970· Westheimer & Kahne, 2004).

1.3 Η έννοια του Socio-ST(R)E(A)M: Ορισμός και θεμελίωση

Ο όρος Socio-ST(R)E(A)M αποτελεί εξέλιξη του πλαισίου ST(R)E(A)M, με την προσθήκη ενός κεντρικού και θεμελιώδους πυλώνα: της κοινωνικής διάστασης. Η διάσταση αυτή περιλαμβάνει την κοινωνιολογική κατανόηση, την ηθική, την παγκόσμια υπευθυνότητα (Global Responsibility Competence), τη διαπολιτισμική ευαισθησία, τον αξιακό προσανατολισμό και την ενεργή πολιτιότητα (Banks, 2015· OECD, 2018· UNESCO, 2021). Με τον τρόπο αυτό, το Socio-ST(R)E(A)M δεν προσθέτει απλώς ένα ακόμη στοιχείο στο εκπαιδευτικό σχήμα, αλλά επαναπροσδιορίζει τον σκοπό και το νόημα της τεχνολογικής και επιστημονικής εκπαίδευσης.

Το Socio-ST(R)E(A)M συγκροτείται ως ένα παιδαγωγικό, γνωστικό και κοινωνικοτεχνικό πλαίσιο εκπαίδευσης, στο οποίο οι επιστήμες, η τεχνολογία, η μηχανική, η ρομποτική, η τέχνη και τα μαθηματικά συνδέονται οργανικά με τις κοινωνικές, ηθικές και πολιτισμικές διαστάσεις της ανθρώπινης εμπειρίας (Latour, 2005· Winner, 1986). Στόχος του πλαισίου δεν είναι μόνο η κατανόηση εννοιών ή η ανάπτυξη τεχνικών δεξιοτήτων, αλλά η διαμόρφωση μαθητών που μπορούν να αναλύουν, να ερμηνεύουν και να παρεμβαίνουν συνειδητά στα σύνθετα κοινωνικοτεχνολογικά συστήματα μέσα στα οποία ζουν (Meadows, 2008· Selwyn, 2021).

Υπό αυτή την έννοια, το Socio-ST(R)E(A)M δεν αποτελεί μια απλή παιδαγωγική καινοτομία ή έναν όρο περιγραφικού χαρακτήρα. Αντιπροσωπεύει μια ουσιαστική μετατόπιση παραδείγματος (paradigm shift), καθώς μετακινεί το επίκεντρο της εκπαίδευσης από την τεχνική αποτελεσματικότητα στην κοινωνική σημασία και στην ευθύνη της γνώσης (Kuhn, 1962). Η μετατόπιση αυτή αντανάκλα τις σύγχρονες συνθήκες, όπου η τεχνολογία δεν λειτουργεί απομονωμένα, αλλά ενσωματώνεται βαθιά στις κοινωνικές δομές και επηρεάζει συλλογικές αποφάσεις και τρόπους ζωής.

Η θεωρητική θεμελίωση του Socio-ST(R)E(A)M εκκινεί από δύο βασικές παραδοχές. Πρώτον, οι τεχνολογίες δεν είναι ουδέτερες, αλλά κοινωνικές κατασκευές που ενσωματώνουν αξίες, επιλογές και σχέσεις ισχύος (Latour, 2005· Winner, 1986). Δεύτερον, τα προβλήματα του 21ου αιώνα δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν ως καθαρά τεχνικά, αλλά ως σύνθετα κοινωνικοτεχνικά προβλήματα, στα οποία αλληλεπιδρούν τεχνολογικοί, κοινωνικοί, οικονομικοί και πολιτισμικοί παράγοντες (O'Neil, 2017· Rittel & Webber, 1973).

Οι παραδοχές αυτές οδηγούν σε ένα παιδαγωγικό πλαίσιο, στο οποίο η εκπαίδευση δεν στοχεύει αποκλειστικά στην παραγωγή τεχνικά επαρκώς καταρτισμένων μαθητών, αλλά στη διαμόρφωση υπεύθυνων, κριτικά σκεπτόμενων και κοινωνικά συνειδητοποιημένων πολιτών. Στο Socio-ST(R)E(A)M η γνώση συνδέεται με την ευθύνη, η τεχνολογία με τις κοινωνικές της συνέπειες και η μάθηση με τη συμμετοχή στο κοινό καλό, αντανάκλωντας τις βασικές αρχές της εκπαίδευσης για τον 21ο αιώνα (OECD, 2018· UNESCO, 2021).

Υπό αυτό το πρίσμα, το Socio-ST(R)E(A)M οδηγεί στην ανάπτυξη μιας σύνθετης δεξιότητας που μπορεί να περιγραφεί ως κοινωνικοτεχνική σκέψη. Πρόκειται για την ικανότητα των μαθητών να προσεγγίζουν τα σύγχρονα φαινόμενα ως αλληλένδετα κοινωνικοτεχνολογικά συστήματα και να αναγνωρίζουν ότι η τεχνολογία

ενσωματώνει αξίες, επιλογές και κοινωνικές συνέπειες (Latour, 2005· Selwyn, 2021· Winner, 1986). Με τον τρόπο αυτό, η μάθηση δεν περιορίζεται στην κατασκευή τεχνολογικών τεχνουργημάτων, αλλά επεκτείνεται στην κατανόηση του κοινωνικού κόσμου μέσα στον οποίο αυτά λειτουργούν.

1.4 Γιατί δεν αρκεί το ST(R)E(A)M χωρίς το Socio-

Το ST(R)E(A)M συνέβαλε ουσιαστικά στον μετασχηματισμό της εκπαιδευτικής πρακτικής, απομακρύνοντας τη διδασκαλία από την απομνημόνευση και την αποσπασματική προσέγγιση της γνώσης και προωθώντας τη διαθεματικότητα, τη διερεύνηση και τη σύνδεση της μάθησης με αυθεντικά προβλήματα (Bybee, 2013· National Research Council, 2012).

Ωστόσο, παρά τις σημαντικές παιδαγωγικές του συνεισφορές, το πλαίσιο αυτό τείνει να αντιμετωπίζει τις επιστήμες και την τεχνολογία κυρίως ως πεδία με εσωτερική, αυτοαναφορική λογική, χωρίς να ενσωματώνει επαρκώς την ανάλυση των κοινωνικών τους συμφραζομένων. Συγκεκριμένα, δεν εξετάζει σε βάθος τις κοινωνικές επιπτώσεις των τεχνολογικών εφαρμογών (Selwyn, 2021· Winner, 1986), τις πολιτισμικές ερμηνείες που διαμορφώνουν την πρόσληψη και τη χρήση της γνώσης (Banks, 2015), ούτε τη δυναμική της ισχύος που ενυπάρχει στις τεχνολογικές δομές και στα συστήματα παραγωγής και ελέγχου δεδομένων (Foucault, 1977· Zuboff, 2019).

Παράλληλα, το ST(R)E(A)M συχνά παραλείπει τη συστηματική διερεύνηση της σχέσης άνθρωπου-τεχνολογίας ως σχέσης αλληλεξάρτησης και συνδιαμόρφωσης (Latour, 2005), καθώς και την έννοια της ηθικής μηχανικής, δηλαδή τη μελέτη των αξιών και των ηθικών επιλογών που ενσωματώνονται στον σχεδιασμό και τη λειτουργία των τεχνολογικών συστημάτων (Friedman & Nissenbaum, 1996· Shahriari & Shahriari, 2017). Επιπλέον, δεν αντιμετωπίζει επαρκώς ζητήματα κοινωνικής ανισότητας στην πρόσβαση και τη χρήση της τεχνολογίας (OECD, 2018· Selwyn, 2021), ούτε εντάσσει με συνέπεια την περιβαλλοντική βιωσιμότητα ως κεντρικό άξονα της εκπαιδευτικής διαδικασίας (Sterling, 2010· UNESCO, 2017). Τέλος, παραμένει περιορισμένη η ενασχόληση με τις επιπτώσεις της αυτοματοποίησης και τις μεταβολές στο μέλλον της εργασίας, παρότι πρόκειται για κρίσιμα ζητήματα που επηρεάζουν άμεσα τις κοινωνικές και οικονομικές δομές του 21ου αιώνα (Brynjolfsson & McAfee, 2014).

Το Socio- προσθέτει έναν «φακό» μέσα από τον οποίο η τεχνολογία δεν διδάσκεται ως τεχνολογία, αλλά ως μέρος της κοινωνίας (Latour, 2005· Winner, 1986). Ένα ενδεικτικό παράδειγμα που αναδεικνύει τους περιορισμούς του ST(R)E(A)M αφορά ένα πρότζεκτ ρομποτικής για «έξυπνη» άρδευση. Ένα τέτοιο πρότζεκτ μπορεί να είναι τεχνικά άρτιο, να αξιοποιεί αισθητήρες, αυτοματισμούς και αλγοριθμικό έλεγχο, χωρίς ωστόσο να λαμβάνει υπόψη κρίσιμες κοινωνικές και ηθικές παραμέτρους. Συχνά, δεν διερευνά ποιοι αγρότες ωφελούνται από την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας και ποιοι ενδέχεται να αποκλειστούν λόγω κόστους, ψηφιακού αναλφαριθμητισμού ή άνισης πρόσβασης σε υποδομές (OECD, 2018· Selwyn, 2021).

Παράλληλα, παραμένει περιορισμένη η ανάλυση του τρόπου με τον οποίο η τεχνολογία επηρεάζει την κατανάλωση και τη διαχείριση φυσικών πόρων, καθώς και οι μακροπρόθεσμες συνέπειες της αυτοματοποιημένης άρδευσης στη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων (UNESCO, 2017). Επιπλέον, σπάνια εξετάζεται η ηθική διάσταση της χρήσης αισθητήρων και συστημάτων παρακολούθησης, ιδίως σε ό,τι αφορά τη συλλογή, την ιδιοκτησία και τη χρήση των δεδομένων, καθώς και τις σχέσεις ισχύος που αναδύονται μέσα από αυτές τις πρακτικές (Boyd & Crawford, 2012· Friedman & Nissenbaum, 1996· Zuboff, 2019). Τέλος, το ζήτημα της αυτοματοποίησης και οι επιπτώσεις της στην τοπική κοινότητα και στην αγροτική εργασία συχνά παραμένουν εκτός της εκπαιδευτικής διερεύνησης, παρά τη σημασία τους για το μέλλον της απασχόλησης και της κοινωνικής συνοχής (Brynjolfsson & McAfee, 2014).

Η διαφορά μεταξύ των δύο προσεγγίσεων είναι θεμελιώδης. Στο πλαίσιο του ST(R)E(A)M, ο μαθητής εστιάζει πρωτίστως στην κατασκευή και στη λειτουργική αρτιότητα ενός τεχνολογικού συστήματος. Αντίθετα, στο Socio-ST(R)E(A)M, ο μαθητής καλείται να κατανοήσει το ευρύτερο κοινωνικοτεχνικό πλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσεται η τεχνολογία και να αναστοχαστεί πάνω στις κοινωνικές, περιβαλλοντικές και ηθικές της διαστάσεις, με στόχο όχι μόνο την τεχνική επίλυση προβλημάτων αλλά και τον κοινωνικό μετασχηματισμό (Freire, 1970· Westheimer & Kahne, 2004).

1.5 Η θέση της ρομποτικής στο Socio-ST(R)E(A)M

Στο πλαίσιο του Socio-ST(R)E(A)M, η ρομποτική λειτουργεί ως κατεξοχήν πεδίο εφαρμογής της κοινωνικοτεχνικής προσέγγισης, καθώς καθιστά ορατή τη σύνδεση μεταξύ επιστημονικής γνώσης, τεχνολογικού σχεδιασμού και κοινωνικών συνεπειών. Η εκπαιδευτική ρομποτική δεν αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως τεχνικό αντικείμενο ή ως μέσο ανάπτυξης υπολογιστικής και αλγοριθμικής σκέψης (Papert, 1980· Wing, 2006), αλλά ως κοινωνικό φαινόμενο που ενσωματώνει αξίες, παραδοχές και επιλογές σχεδιασμού.

Η σύγχρονη πραγματικότητα αναδεικνύει ότι τα ρομποτικά συστήματα δεν περιορίζονται πλέον σε εργαστηριακά ή εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, αλλά εντάσσονται σε κρίσιμους τομείς της κοινωνικής ζωής, όπως η αγροτική παραγωγή, η υγεία, η φροντίδα, η διαχείριση φυσικών πόρων και οι αστικές υποδομές. Στο πλαίσιο αυτό, τα ρομπότ δεν αποτελούν απλώς τεχνικές εφαρμογές, αλλά ενεργούς παράγοντες κοινωνικών, οικονομικών και πολιτισμικών μετασχηματισμών (Brynjolfsson & McAfee, 2014· Crawford, 2021).

Το Socio-ST(R)E(A)M μετατοπίζει τη διδασκαλία της ρομποτικής από την έμφαση στη λειτουργικότητα και τη βελτιστοποίηση προς την κριτική διερεύνηση των κοινωνικών και ηθικών της διαστάσεων. Οι μαθητές καλούνται να εξετάσουν με ποιο τρόπο τα ρομποτικά συστήματα επηρεάζουν την εργασία, τη λήψη αποφάσεων, τις κοινωνικές ανισότητες και τη διαχείριση δεδομένων, καθώς και ποιες σχέσεις ισχύος αναδύονται μέσα από τη χρήση αυτοματοποιημένων τεχνολογιών (Latour, 2005· Selwyn, 2021).

Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στην ηθική των αυτόνομων συστημάτων και της τεχνητής νοημοσύνης, με ζητήματα όπως η ευθύνη του σχεδιασμού, η διαφάνεια των αλγορίθμων και οι κοινωνικές συνέπειες της αυτοματοποίησης να εντάσσονται στον εκπαιδευτικό στοχασμό (Floridi, 2013· Shahriari & Shahriari, 2017). Παράλληλα, η συνεχής συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από ρομποτικά συστήματα καθιστά αναγκαία τη συζήτηση γύρω από την ιδιοκτησία, την αξιοπιστία και τη χρήση των δεδομένων (Boyd & Crawford, 2012).

Στο Socio-ST(R)E(A)M, η ρομποτική συνδέεται επίσης με την τέχνη, όχι ως διακοσμητικό στοιχείο, αλλά ως μέσο διερεύνησης του νοήματος και των κοινωνικών διαστάσεων της τεχνολογίας. Μέσα από δημιουργικές και καλλιτεχνικές πρακτικές, οι μαθητές μπορούν να ερμηνεύσουν τη σχέση άνθρωπου-μηχανής και να αναπτύξουν ενσυναίσθηση και κριτική επίγνωση (Root-Bernstein, 2015· Sousa & Pilecki, 2013).

Συνολικά, η ρομποτική στο πλαίσιο του Socio-ST(R)E(A)M αναδεικνύεται ως κοινωνικοτεχνικό αντικείμενο, το οποίο δεν διδάσκεται μόνο για το «πώς λειτουργεί», αλλά για το «πώς επηρεάζει» και «πώς μπορεί να επανασχεδιαστεί» με γνώμονα τη βιωσιμότητα, τη δικαιοσύνη και το κοινό καλό (Crawford, 2021· Latour, 2005).

1.6 Η Τέχνη (Art) και το Socio-A: Η τέχνη ως κοινωνικός και τεχνολογικός μεσολαβητής

Στο πλαίσιο του Socio-ST(R)E(A)M, η τέχνη λειτουργεί ως κρίσιμος κοινωνικός και τεχνολογικός μεσολαβητής, προσφέροντας τρόπους κατανόησης και ερμηνείας των σύνθετων κοινωνικοτεχνολογικών συστημάτων που δεν μπορούν να αποδοθούν αποκλειστικά μέσω της τεχνικής ή επιστημονικής ανάλυσης. Η καλλιτεχνική πρακτική επιτρέπει στις μαθήτριες να προσεγγίσουν την τεχνολογία βιωματικά, συναισθηματικά και εννοιολογικά, γεφυρώνοντας τη γνώση με την ανθρώπινη εμπειρία (Eisner, 2003· Root-Bernstein, 2015).

Η τέχνη ενισχύει την κριτική σκέψη και την ενσυναίσθηση, καθώς δίνει στις μαθήτριες τη δυνατότητα να διερευνήσουν τον τρόπο με τον οποίο η τεχνολογία επηρεάζει διαφορετικές κοινωνικές ομάδες και να αναστοχαστούν πάνω σε ζητήματα ισότητας, δικαιοσύνης και πρόσβασης (Banks, 2015· Nussbaum, 2010). Μέσα από καλλιτεχνικές πρακτικές, οι μαθήτριες μπορούν να οπτικοποιήσουν δεδομένα, να αφηγηθούν ιστορίες και να αναδείξουν αθέατες ή αποσιωπημένες πτυχές της τεχνολογικής ανάπτυξης, μετατρέποντας την πληροφορία σε νόημα (Sousa & Pilecki, 2013).

Στο Socio-ST(R)E(A)M η τέχνη δεν αντιμετωπίζεται ως συμπληρωματικό ή διακοσμητικό στοιχείο του STEM, αλλά ως βασικός τρόπος κοινωνικής διερεύνησης της τεχνολογίας. Η καλλιτεχνική έκφραση επιτρέπει την αμφισβήτηση της φαινομενικής ουδετερότητας των τεχνολογικών συστημάτων και την ανάδειξη των αξιών και των επιλογών που ενσωματώνονται στον σχεδιασμό τους (Friedman & Nissenbaum, 1996· Noble, 2018). Παράλληλα, η τέχνη λειτουργεί ως πεδίο σύνθε-

σης, όπου η τεχνολογική δημιουργία, η κοινωνική ανάλυση και η ηθική σκέψη συνυπάρχουν. Μέσα από τη δημιουργία καλλιτεχνικών τεχνουργημάτων, ο μαθητής δεν κατανοεί μόνο με ποιον τρόπο λειτουργεί ένα σύστημα, αλλά και με ποιον τρόπο αυτό επηρεάζει ανθρώπους, κοινότητες και πολιτισμικά συμφραζόμενα (Dewey, 1934· Root-Bernstein, 2015).

Συνεπώς, το Socio-A αναδεικνύει την τέχνη ως ουσιαστικό στοιχείο της κοινωνικοτεχνικής εκπαίδευσης, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση μαθητών που μπορούν να προσεγγίσουν την τεχνολογία με κριτική επίγνωση, ενσυναίσθηση και δημιουργική υπευθυνότητα, και όχι απλώς ως εργαλείο τεχνικής επίλυσης προβλημάτων (OECD, 2018· UNESCO, 2021). Υπό αυτό το πρίσμα, η ρομποτική και η τέχνη στο Socio-ST(R)E(A)M δεν λειτουργούν απλώς ως γνωστικά πεδία ή μέσα έκφρασης, αλλά ως παιδαγωγικά εργαλεία που μετατοπίζουν τον ρόλο του μαθητή από παθητικό αποδέκτη γνώσης σε ενεργό ερευνητή και δημιουργό κοινωνικού νοήματος.

1.7 Ο μαθητής ως κοινωνικός ερευνητής και δημιουργός

Στο πλαίσιο του Socio-ST(R)E(A)M ο μαθητής δεν αντιμετωπίζεται ως παθητικός δέκτης γνώσης, αλλά ως ενεργός φορέας κατανόησης, δράσης και κοινωνικού μετασχηματισμού (Darling-Hammond κ.ά., 2020· Freire, 1970). Η μάθηση παύει να είναι διαδικασία συσσώρευσης πληροφοριών και μετατρέπεται σε συμμετοχή σε πραγματικά προβλήματα που έχουν κοινωνική, περιβαλλοντική και τεχνολογική διάσταση (Sterling, 2010· UNESCO, 2021). Αυτή η μετατόπιση δεν είναι απλώς μεθοδολογική, αλλά είναι βαθιά παιδαγωγική: ενισχύει την ικανότητά τους να βλέπουν τον εαυτό τους ως ανθρώπους που μπορούν να επηρεάσουν συστήματα, να διεκδικήσουν αλλαγή και να προτείνουν λύσεις που έχουν αντίκτυπο στον κόσμο (Bandura, 2001).

Η διεθνής βιβλιογραφία για την εκπαίδευση του 21ου αιώνα (Honey κ.ά., 2014· Sahlberg, 2021· UNESCO, 2021) τονίζει ότι η ανάπτυξη αυτής της ικανότητας είναι κρίσιμη για τη δημοκρατική συμμετοχή σε κοινωνίες που χαρακτηρίζονται από αλληλεξάρτηση, τεχνολογική πολυπλοκότητα και αυξανόμενες ανισότητες (OECD, 2018· Selwyn, 2021). Καθώς τα σύγχρονα προβλήματα δεν είναι ούτε αποκλειστικά επιστημονικά, ούτε αποκλειστικά κοινωνικά, η εκπαίδευση που στοχεύει στη διαμόρφωση υπεύθυνων και κριτικά σκεπτόμενων πολιτών πρέπει να συνδέει τη γνώση με τη δράση, την επιστημονική κατανόηση με την κοινωνική ευθύνη (Freire, 1970· Westheimer & Kahne, 2004).

Στο Socio-ST(R)E(A)M, η μαθήτρια τοποθετείται στο επίκεντρο αυτής της διαδικασίας μέσα από πρότζεκτ που αντλούν νόημα από πραγματικά φαινόμενα και κοινωνικοτεχνικά ζητήματα: ξηρασία και διαχείριση υδάτινων πόρων, υπερκατανάλωση νερού στο σχολείο, ενεργειακός αναλφαριθμητισμός, πρόσβαση στην τεχνολογία, περιβαλλοντική υποβάθμιση, ζητήματα δικαιοσύνης στα δεδομένα και στους αλγόριθμους, αποτελούν ορισμένα μόνο χαρακτηριστικά δείγματα αυτής της προσέγγισης (Noble, 2018· O'Neil, 2017· UNESCO, 2017). Η μαθήτρια δεν μαθαίνει απλώς «πώς λειτουργεί ένα σύστημα», αλλά διερευνά την ουσία του προβλήματος: γιατί υπάρχει

έλλειψη νερού· ποιοι επηρεάζονται· ποιες συμπεριφορές των ανθρώπων λειτουργούν ως ενισχυτικοί βρόχοι· πώς μπορεί μια παρέμβαση να μειώσει τις απώλειες· ποιος έχει πρόσβαση στην τεχνολογία και ποιος μένει πίσω (Meadows, 2008· OECD, 2018).

Αυτό το είδος μάθησης συνδέεται άμεσα με την *πολιτεioτητα* (civic education/citizenship) (Westheimer & Kahne, 2004). Οι μαθητές αναπτύσσουν δεξιότητες κατανόησης των κοινωνικών συστημάτων, αναγνώρισης σχέσεων εξουσίας, επεξεργασίας δεδομένων που σχετίζονται με δημόσιες υποδομές, καθώς και ικανότητα να επιχειρηματολογούν με βάση τεκμήρια – μια μορφή παιδαγωγικής που καλλιεργεί υπεύθυνους, ενημερωμένους και κοινωνικά ευαίσθητους πολίτες (OECD, 2018· UNESCO, 2021). Η δημιουργία ενός τεχνικού συστήματος –όπως ενός αυτοματοποιημένου ελεγκτή θερμοκηπίου ή ενός αισθητήρα για παρακολούθηση της υγρασίας– αποκτά νόημα όταν συνδέεται με ένα κοινωνικό πλαίσιο· με τη βιωσιμότητα, την πρόσβαση στους πόρους, την εξοικονόμηση ενέργειας, την ισότητα (Selwyn, 2021· Sterling, 2010· UNESCO, 2017).

Η έννοια του μαθητή ως κοινωνικού ερευνητή προϋποθέτει μια μορφή μάθησης που ξεκινά από ερωτήματα που έχουν νόημα: «Γιατί έχουμε διαρροές στο σχολείο;» «Πώς μπορούμε να μειώσουμε το κόστος νερού;» «Πώς επηρεάζει η ξηρασία την ποιότητα ζωής;» «Τι σημαίνει δίκαιη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης;» (Freire, 1970· Noble, 2018). Η εργασία πάνω σε τέτοια ερωτήματα καλλιεργεί την αναστοχαστική σκέψη (Brookfield, 2013). Οι μαθητές αντιλαμβάνονται πως οι τεχνολογικές λύσεις δεν είναι ουδέτερες, αλλά ενσωματώνουν αξίες, προτεραιότητες και κοινωνικές επιλογές (Friedman & Nissenbaum, 1996· Winner, 1986).

Ταυτόχρονα, ο μαθητής αναλαμβάνει ρόλο δημιουργού. Δεν καταναλώνει απλώς τεχνολογία· τη σχεδιάζει, τη συναρμολογεί, τη ρυθμίζει, την ελέγχει (Papert, 1980). Μαθαίνει ότι η τεχνολογία είναι μετασχηματίσιμη, διαπραγματεύσιμη και συνδεδεμένη με κοινωνικά ζητήματα (Latour, 2005). Η κατασκευή ενός αισθητήρα, η ανάπτυξη ενός αυτοματισμού ή η παραγωγή μιας καλλιτεχνικής οπτικοποίησης δεδομένων μετατρέπεται σε πράξη που «μιλάει» για τον κόσμο, τον ερμηνεύει και τον ανακατασκευάζει (Dewey, 1934· Eisner, 2003).

Αυτή η δημιουργικότητα δεν λειτουργεί αποκομμένη από τον κόσμο, λειτουργεί μέσα στον κόσμο (Dewey, 1938). Στα πρότζεκτ που περιγράφονται στο βιβλίο, οι μαθητές δεν περιορίζονται στο «πώς φτιάχνουμε έναν κώδικα» ή «πώς μετράμε την υγρασία». Ερευνούν τις επιλογές που έχει ένα σύστημα, εξετάζουν πώς οι αποφάσεις του ανθρώπου ενισχύουν ή ισορροπούν το σύστημα, διαφοροποιούν παραμέτρους, καταγράφουν τι συμβαίνει και κατανοούν βαθύτερα τους κοινωνικούς μηχανισμούς που επιλύουν ή διαιωνίζουν ένα πρόβλημα (Meadows, 2008). Αυτή η μορφή δημιουργικότητας είναι βαθιά κοινωνική: οδηγεί τον μαθητή να βλέπει τον εαυτό του ως μέλος μιας κοινότητας και όχι ως απομονωμένο χρήστη εργαλείων (Wenger, 1999).

Η συμμετοχή σε κοινωνικά πρότζεκτ καλλιεργεί επίσης έντονα την έννοια της ευθύνης (UNESCO, 2021). Όταν μια μαθήτρια βλέπει ότι ένα σύστημα εξοικονόμησης νερού που δημιούργησε συμβάλλει πραγματικά στη μείωση της κατανάλωσης του νερού στο σχολείο, η εμπειρία αυτή γίνεται μετασχηματιστική (Dewey, 1938). Η μάθηση αποκτά υπαρξιακή διάσταση, καθώς η μαθήτρια συνειδητοποιεί ότι οι απο-

φάσεις της έχουν αποτέλεσμα (Bandura, 2001). Αυτή η συνειδητότητα ενισχύει την αυτοπεποίθηση, την αίσθηση σκοπού, την ικανότητα ανάληψης πρωτοβουλιών, όλες κεντρικές πτυχές της δημοκρατικής συμμετοχής (Westheimer & Kahne, 2004).

Το Socio-ST(R)E(A)M, συνεπώς, δεν διδάσκει τις μαθήτριες απλώς να «χρησιμοποιούν» τεχνολογίες και επιστημονικές έννοιες· τις διδάσκει να κατανοούν τον κοινωνικό ρόλο αυτών των τεχνολογιών και να δημιουργούν λύσεις που ανταποκρίνονται σε πραγματικές ανάγκες (OECD, 2018· UNESCO, 2021). Μετατρέπει τις μαθήτριες από καταναλωτές σε ενεργούς δημιουργούς, από παρατηρητές σε αναλυτές, από δέκτες σε πολίτες (Freire, 1970· Westheimer & Kahne, 2004).

1.8 Παραδείγματα Socio-ST(R)E(A)M πρότζεκτ

Τα πρότζεκτ του Socio-ST(R)E(A)M δεν περιορίζονται στην κατασκευή τεχνολογικών τεχνουργημάτων ή στην επίλυση απομονωμένων τεχνικών προβλημάτων. Αντίθετα, συγκροτούνται γύρω από σύνθετα κοινωνικοτεχνολογικά ζητήματα, στα οποία η επιστημονική γνώση, η τεχνολογία, η τέχνη και η κοινωνική ανάλυση αλληλοδιαπλέκονται με στόχο την καλλιέργεια κριτικής σκέψης, κοινωνικής ευθύνης και δημιουργικής δράσης (Root-Bernstein, 2015· UNESCO, 2021· Yakman, 2008).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα *ηχοτοπία ρύπανσης*, όπου οι μαθητές διερευνούν περιβαλλοντικά φαινόμενα, όπως ο θόρυβος και η ποιότητα του αέρα στον αστικό χώρο, και τα μετασχηματίζουν σε ηχητικές ή καλλιτεχνικές αναπαραστάσεις. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, τα δεδομένα παύουν να λειτουργούν ως αφηρημένες μετρήσεις και αποκτούν κοινωνικό και βιωματικό νόημα, αναδεικνύοντας ζητήματα ποιότητας ζωής και περιβαλλοντικών ανισοτήτων (Hermann κ.ά., 2011· OECD, 2018).

Ένα δεύτερο παράδειγμα αφορά πρότζεκτ γύρω από την *αλγοριθμική μεροληψία στην τέχνη και την εικόνα*, όπου οι μαθητές εξετάζουν πώς συστήματα τεχνητής νοημοσύνης που παράγουν πορτρέτα ή εικόνες ενσωματώνουν κοινωνικά στερεότυπα και ανισότητες. Η καλλιτεχνική διερεύνηση λειτουργεί εδώ ως μέσο κριτικής αποδόμησης της φαινομενικής ουδετερότητας των αλγορίθμων, ενισχύοντας τη συζήτηση γύρω από τη δικαιοσύνη, την αναπαράσταση και την ηθική της τεχνητής νοημοσύνης (Buolamwini & Gebru, 2018· Crawford, 2021· Noble, 2018).

Ιδιαίτερη θέση κατέχουν επίσης πρότζεκτ που εξετάζουν τη *σχέση ρομποτικών συστημάτων και συναισθηματικής εργασίας*, όπως η χρήση ρομπότ σε περιβάλλοντα φροντίδας ή εκπαίδευσης. Οι μαθητές καλούνται να αναστοχαστούν πάνω σε ερωτήματα που αφορούν τη φύση της φροντίδας, την ανθρώπινη επαφή και τα όρια της αυτοματοποίησης, αναγνωρίζοντας ότι οι τεχνολογικές λύσεις παράγουν όχι μόνο λειτουργικά αλλά και βαθιά κοινωνικά και ηθικά αποτελέσματα (Sharkey & Sharkey, 2012· Turkle, 2011).

Παράλληλα, πρότζεκτ όπως τα *εικονικά μνημεία και οι ψηφιακές αφηγήσεις μνήμης* αξιοποιούν τεχνολογίες εμβύθισης και καλλιτεχνικής έκφρασης για να αναδείξουν ιστορίες, εμπειρίες και κοινωνικά τραύματα που συχνά παραμένουν αόρατα

στον δημόσιο λόγο. Η τεχνολογία λειτουργεί εδώ ως μέσο διατήρησης και αναστοχασμού της συλλογικής μνήμης, αλλά και ως πεδίο κριτικής διερεύνησης του τρόπου με τον οποίο η μνήμη αναπαρίσταται και διαμεσολαβείται (Hoskins, 2009· Parry, 2007).

Κοινός παρονομαστής των παραπάνω παραδειγμάτων είναι η χρήση της τεχνολογίας όχι ως ουδέτερου εργαλείου, αλλά ως *κοινωνικοτεχνικού φακού* μέσα από τον οποίο οι μαθητές μαθαίνουν να συνδέουν δεδομένα, μοντέλα και τεχνικές δεξιότητες με ανθρωποκεντρική κρίση και κοινωνική ευθύνη (Latour, 2005· Winner, 1986). Η τέχνη δεν λειτουργεί ως διακοσμητικό συμπλήρωμα, αλλά ως μέσο οπτικοποίησης, αμφισβήτησης και δημιουργίας νοήματος (Eisner, 2003· Root-Bernstein, 2015).

Τα παραδείγματα αυτά καταδεικνύουν ότι το Socio-ST(R)E(A)M διαμορφώνει ένα πλαίσιο μάθησης στο οποίο οι μαθητές αναπτύσσουν την ικανότητα να κατανοούν πολύπλοκα συστήματα, να αξιολογούν τις κοινωνικές τους συνέπειες και να συνδημιουργούν υπεύθυνες τεχνολογικές και καλλιτεχνικές παρεμβάσεις, επιβεβαιώνοντας τον ρόλο τους ως ενεργών και κριτικά σκεπτόμενων πολιτών του 21ου αιώνα (OECD, 2018· UNESCO, 2021).

Κεφάλαιο 2

Οι θεμελιώδεις συνιστώσες του STEM:

Οι τέσσερις πυλώνες του STEM ως τρόποι γνώσης

2.1 Η αναγωγή του STEM σε σύνολο μαθημάτων και η ανάγκη για ολιστική προσέγγιση της γνώσης

Στη διεθνή βιβλιογραφία (Bybee, 2013· English, 2016· Honey κ.ά., 2014· Tytler, 2020) το STEM περιγράφεται ως μια παιδαγωγική περιοχή όπου ο μαθητής λειτουργεί όπως ένας επιστήμονας, ένας μηχανικός, ένας μαθηματικός και ένας τεχνολογικός σχεδιαστής. Αυτές οι τέσσερις ιδιότητες δεν αποτελούν ταυτότητες αλλά ρόλους, δηλαδή τρόπους να προσεγγίζει κανείς ένα πρόβλημα: να το παρατηρεί, να το περιγράφει, να το αναλύει, να το μοντελοποιεί, να το βελτιώνει και τελικά να το μετασχηματίζει (Kennedy & Odell, 2014). Η κοινή αυτή λογική δεν επιβάλλει ομοιομορφία, αντιθέτως επιτρέπει την ανάπτυξη πολλαπλών διαδρομών μάθησης, καθώς κάθε μαθητής ενεργοποιεί τις δικές του μορφές κατανόησης, έκφρασης και δημιουργίας (English, 2016· Honey κ.ά., 2014).

Αυτό που κατέστησε το STEM τόσο καθοριστικό για τα εκπαιδευτικά συστήματα διεθνώς δεν ήταν μόνο η σύνδεσή του με την οικονομία και την καινοτομία. Ήταν κυρίως η αναγνώριση ότι ο σύγχρονος κόσμος λειτουργεί μέσα από πολύπλοκες σχέσεις, ροές πληροφορίας, δεδομένα, μοντέλα και τεχνουργήματα που απαιτούν συνδυασμό επιστημονικής ακρίβειας, τεχνολογικής κατανόησης, μηχανικής δημιουργικότητας και μαθηματικής σκέψης (Daly κ.ά., 2014· English & King, 2019· Tytler, 2020). Οι μαθητές καλούνται να κατανοήσουν φαινόμενα, να τα μετατρέψουν σε προβλήματα, να λάβουν αποφάσεις, να τεκμηριώσουν τα συμπεράσματά τους και να σχεδιάσουν λύσεις με ουσιαστικό αντίκτυπο στην κοινωνία (Calabrese Barton & Tan, 2020· English, 2016).

Μια στενή αντίληψη του STEM στη σχολική πράξη, το συνδέει με τη Φυσική, τη Βιολογία, τη Χημεία και τα Μαθηματικά, ενώ σε πιο σύγχρονες εκδοχές προστίθενται η ρομποτική, ο προγραμματισμός και οι ψηφιακές κατασκευές (English, 2016). Αυτή η αντίληψη δημιουργεί την εντύπωση ότι το STEM αφορά κυρίως μαθητές με ιδιαίτερη κλίση στις θετικές επιστήμες ή με αυξημένες τεχνικές δεξιότητες (KAN & Murat, 2018). Ως αποτέλεσμα, πολλοί μαθητές αισθάνονται ότι το STEM «δεν είναι για αυτούς», ενισχύοντας φαινόμενα άγχους, απόσυρσης και χαμηλής αυτοπεποίθησης (Hyseni Duraku κ.ά., 2025· Yang & Gentry, 2023).

Η παρεξήγηση αυτή δεν είναι απλώς εννοιολογική· είναι βαθιά παιδαγωγική. Όταν το STEM παρουσιάζεται ως πεδίο όπου κυριαρχούν οι «σωστές απαντήσεις» ή ως χώρος τεχνικής επίδοσης, η μαθησιακή εμπειρία συρρικνώνεται: το ενδιαφέρον μετατοπίζεται από τη διερεύνηση στο αποτέλεσμα, από την κατανόηση στην εκτέλεση, από τον αναστοχασμό στη γρήγορη «λύση» (Hyseni Duraku κ.ά., 2025). Αντίθετα, όταν το STEM νοηθεί ως τρόπος σκέψης και πράξης, ανοίγει ένα διαφορετικό παιδαγωγικό πεδίο: το βάρος μετατοπίζεται στη διατύπωση ερωτημάτων, στη μοντελοποίηση, στον σχεδιασμό, στη δοκιμή-βελτίωση και στην τεκμηριωμένη επιχειρηματολογία (Dweck & Yeager, 2019· Linnenbrink-Garcia & Pekrun, 2014).

Η κατανόηση του STEM ως τρόπου σκέψης και όχι ως συνόλου μαθημάτων λειτουργεί ακριβώς αντίστροφα. Μετατοπίζει το βάρος από το αποτέλεσμα στη διαδικασία, από την επίδοση στη διερεύνηση, από την ατομική αξιολόγηση στη συλλογική κατανόηση (Kennedy & Odell, 2014· Panadero κ.ά., 2018). Σε αυτό το πλαίσιο, το λάθος δεν αντιμετωπίζεται ως αποτυχία, αλλά ως αναγκαίο στάδιο μάθησης (Dweck & Yeager, 2019). Αυτή η μετατόπιση έχει άμεση επίδραση στη συναισθηματική εμπλοκή των μαθητών (Linnenbrink-Garcia & Pekrun, 2014).

Όπως ακριβώς τα μαθηματικά δεν είναι απλώς ένα σύνολο τύπων και πράξεων, αλλά ένας μαθηματικός τρόπος σκέψης, έτσι και το STEM δεν είναι μια λίστα γνωστικών αντικειμένων, αλλά ένα ενιαίο πλαίσιο σκέψης. Τα μαθηματικά στη βαθύτερη ουσία τους αφορούν την αναγνώριση μοτίβων, τη λογική συνέπεια, τη μοντελοποίηση και τη γενίκευση (Findell κ.ά., 2001). Ένας μαθητής μπορεί να σκέφτεται μαθηματικά χωρίς να λύνει εξισώσεις, όπως ακριβώς μπορεί να σκέφτεται STEM χωρίς να κατασκευάζει ρομπότ (English, 2016).

Η ίδια λογική ισχύει για όλα τα στοιχεία του STEM. Η επιστήμη δεν είναι απλώς γνώση νόμων και ορισμών, αλλά τρόπος διερεύνησης του κόσμου (Tytler, 2020). Η τεχνολογία δεν είναι απλώς χρήση εργαλείων, αλλά κατανόηση συστημάτων (English & King, 2019). Η μηχανική δεν είναι μόνο κατασκευή, αλλά σχεδιασμός λύσεων (Tytler, 2020). Όλα αυτά συνθέτουν μια ενιαία νοοτροπία που μπορεί να εφαρμοστεί σε ποικίλα γνωστικά και κοινωνικά πλαίσια (English, 2016· Honey κ.ά., 2014).

Η περιοριστική αντίληψη του STEM έχει επίσης σημαντικές συνέπειες στην αξιολόγηση. Όταν το STEM αντιμετωπίζεται ως γνωστικό αντικείμενο, η αξιολόγηση επικεντρώνεται κυρίως στο τελικό αποτέλεσμα: αν «δούλεψε» η κατασκευή, αν ήταν «σωστός» ο κώδικας, αν επιτεύχθηκε ο στόχος (Panadero κ.ά., 2018). Αυτό το μοντέλο αξιολόγησης ενισχύει την αγωνία για το αποτέλεσμα και υποβαθμίζει τη σημασία της διαδικασίας, της συνεργασίας και της συναισθηματικής εμπλοκής (Linnenbrink-Garcia & Pekrun, 2014).

Αντίθετα, όταν το STEM προσεγγίζεται ως τρόπος σκέψης, η αξιολόγηση αποκτά πολυδιάστατο χαρακτήρα. Δεν αξιολογείται μόνο το προϊόν, αλλά και η διαδικασία μέχρι το τελικό αποτέλεσμα: πώς οι μαθητές προσέγγισαν το πρόβλημα, πώς συνεργάστηκαν, πώς διαχειρίστηκαν δυσκολίες, πώς αντέδρασαν στο λάθος και στην αβεβαιότητα (Beghetto & Kaufman, 2014· Panadero κ.ά., 2018). Σε αυτό το σημείο, η συναισθηματική νοημοσύνη γίνεται αναπόσπαστο στοιχείο της STEM εκπαίδευσης (Immordino-Yang κ.ά., 2018), η οποία θα αναλυθεί σε επόμενα κεφάλαια.

Επιπλέον, η κατανόηση του STEM ως διαδικασίας και όχι ως επίδοσης συμβάλλει στη διαμόρφωση μιας πιο συμπεριληπτικής εκπαιδευτικής κουλτούρας (Calabrese Barton & Tan, 2020). Μαθητές με διαφορετικά μαθησιακά προφίλ, ενδιαφέροντα και δεξιότητες μπορούν να βρουν ρόλο και νόημα μέσα σε ένα STEM πρότζεκτ (Dierks κ.ά., 2014). Κάποιοι μπορεί να διακρίνονται στην ανάλυση δεδομένων, άλλοι στη δημιουργία ιδεών, άλλοι στη συνεργασία ή στην παρουσίαση. Όλες αυτές οι συνεισφορές είναι εξίσου πολύτιμες.

Η μετάβαση από το STEM ως σύνολο μαθημάτων στο STEM ως τρόπο σκέψης απαιτεί, επομένως, μια βαθιά αλλαγή νοοτροπίας. Αφορά τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται τα πρότζεκτ, τον τρόπο με τον οποίο καθοδηγούνται οι μαθήτριες, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο αξιολογείται η μάθηση (Li κ.ά., 2019). Αυτή η αλλαγή δεν είναι μόνο γνωστική, αλλά και συναισθηματική, καθώς επηρεάζει τη σχέση των μαθητριών με τη μάθηση, το λάθος και την προσπάθεια (Dweck & Yeager, 2019).

Σε αυτό το πλαίσιο, το STEM μπορεί να λειτουργήσει ως ισχυρό εργαλείο ενδυνάμωσης των μαθητριών. Όταν οι μαθήτριες κατανοούν ότι το ζητούμενο δεν είναι να «ξέρουν από πριν», αλλά να διερευνούν, να συνεργάζονται και να βελτιώνουν τις ιδέες τους, αναπτύσσουν αυτοπεποίθηση και ανθεκτικότητα (Calabrese Barton & Tan, 2020· Tytler, 2020). Αυτές οι δεξιότητες δεν είναι μόνο ακαδημαϊκές· είναι δεξιότητες ζωής.

Αν το STEM παραμείνει εγκλωβισμένο σε μια στενή, γνωσιοκεντρική αντίληψη, δεν μπορεί να επιτελέσει τον εκπαιδευτικό του ρόλο. Αν όμως αντιμετωπιστεί ως τρόπος σκέψης που συνδυάζει επιστημονική διερεύνηση, συστημική ανάλυση και συναισθηματική νοημοσύνη, τότε μετατρέπεται σε ένα ισχυρό πλαίσιο κατανόησης του κόσμου και του εαυτού (English, 2016· Immordino-Yang κ.ά., 2018).

Στα επόμενα μέρη, η ανάλυση θα μετατοπιστεί από το γενικό πλαίσιο στη θεμελιώδη έννοια του φαινομένου, ως σημείου εκκίνησης κάθε STEM διερεύνησης. Εκεί θα φανεί πώς η παρατήρηση φαινομένων δεν είναι μόνο γνωστική πράξη, αλλά και συναισθηματική εμπειρία που κινητοποιεί τη μάθηση.

2.2 Εισαγωγή στους πυλώνες του STEM

2.2.1 Επιστήμη (Science): Διερεύνηση, απόδειξη και κριτική σκέψη

Η επιστήμη αποτελεί τον πυρήνα του STEM. Δεν περιορίζεται στη μετάδοση θεωριών ή κανόνων, αλλά είναι μια διαδικασία διερεύνησης, όπου η παρατήρηση, ο πειραματισμός και η ερμηνεία συγκροτούν τη βάση της γνώσης (McDonald, 2016· Osborne, 2023). Η επιστημονική παιδεία ορίζεται ως η ικανότητα να θέτει κανείς ερωτήματα, να αναπτύσσει και να χρησιμοποιεί μοντέλα, να αναλύει δεδομένα, να διατυπώνει εξηγήσεις και να επιχειρηματολογεί με βάση αποδείξεις (Osborne, 2023). Η επιστημονική μέθοδος δεν είναι γραμμική αλλά κυκλική: εμπεριέχει συνεχή ανατροφοδότηση, αμφισβήτηση και αυτοδιόρθωση. Αυτή η δυναμική μορφή σκέψης

αποτελεί θεμέλιο για τη συστηματική προσέγγιση που θα αναπτυχθεί στα επόμενα κεφάλαια (Bauer, 2014).

Η εκπαίδευση στις επιστήμες στον 21ο αιώνα οφείλει να ξεπεράσει τη στείρα αποστήθιση πληροφοριών και να καλλιεργεί κριτική σκέψη, ερευνητική στάση και ηθική ευαισθησία. Οι μαθήτριες χρειάζεται να αντιλαμβάνονται την επιστήμη ως κοινωνική δραστηριότητα, επηρεαζόμενη από πολιτισμικά, οικονομικά και τεχνολογικά πλαίσια (Nersessian, 2004). Η πρακτική της επιχειρηματολογίας (Claim-Evidence-Reasoning) είναι κομβική στην επιστημονική εκπαίδευση, καθώς συνδέει τη γνώση με την αποδεικτική σκέψη. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, οι μαθήτριες μαθαίνουν να θεμελιώνουν τις ιδέες τους σε δεδομένα, να αξιολογούν πολλαπλές ερμηνείες και να αναστοχάζονται πάνω στην εγκυρότητα των εξηγήσεών τους (Berland κ.ά., 2016· Krajcik & Shin, 2023).

Η καλλιέργεια της επιστημονικής επιχειρηματολογίας δεν αποσκοπεί μόνο στην κατανόηση επιστημονικών εννοιών, αλλά και στην ανάπτυξη επιστημονικού γραμματισμού, δηλαδή της ικανότητας των μαθητριών να συμμετέχουν κριτικά σε κοινωνικά ζητήματα που εμπλέκουν επιστημονική γνώση (Laugksch, 2000· Osborne, 2023). Στο πλαίσιο του STEM, η επιστήμη συνδέεται οργανικά με τα υπόλοιπα πεδία μέσα από την πειραματική σκέψη, τη μοντελοποίηση και τη χρήση δεδομένων. Μέσα από προσεγγίσεις βασισμένες σε φαινόμενα (phenomenon-based learning), οι μαθήτριες διερευνούν αλληλεπιδράσεις φυσικών, τεχνολογικών και κοινωνικών συστημάτων, κατανοώντας την επιστήμη όχι ως σύνολο κανόνων, αλλά ως διαδικασία παραγωγής νοήματος (Krajcik κ.ά., 2008· Schwarz κ.ά., 2017).

Η επιστήμη, έτσι, δεν λειτουργεί ως απομονωμένο γνωστικό αντικείμενο, αλλά ως δυναμική πρακτική κατανόησης του κόσμου, η οποία ενισχύει την κριτική σκέψη, την ερμηνεία δεδομένων και τη συνειδητή λήψη αποφάσεων σε σύνθετα κοινωνικο-τεχνικά περιβάλλοντα (Nersessian, 2004· Osborne, 2023).

2.2.2 Τεχνολογία (Technology): Από τα εργαλεία στα έξυπνα συστήματα

Η έννοια της τεχνολογίας στο STEM είναι πολυδιάστατη: αφορά τόσο τα τεχνουργήματα όσο και τη λογική του σχεδιασμού που τα παράγει (De Vries, 1996). Η τεχνολογία δεν είναι απλώς «εφαρμοσμένη επιστήμη», αλλά ανθρωποκεντρική πρακτική κατασκευής νοήματος μέσω εργαλείων (Gasson, 2003). Η τεχνολογική σκέψη (technological thinking) χαρακτηρίζεται από:

- αναλυτική κατανόηση λειτουργιών και μηχανισμών,
- σχεδιαστική ικανότητα (design literacy),
- επίγνωση κοινωνικών και ηθικών επιπτώσεων (Feenberg, 2017· Lewis & Gagel, 1992· Magliocca κ.ά., 2025).

Οι εκπαιδευτικές πολιτικές τονίζουν τη σημασία του ψηφιακού και τεχνολογικού γραμματισμού για όλες τις μαθήτριες, όχι μόνο ως δεξιότητα χρήσης εργαλείων, αλλά ως κριτική κατανόηση των τεχνολογικών συστημάτων που διαμορφώνουν την

καθημερινότητα και τον πολιτισμό (Sahlberg, 2021· Selwyn, 2021). Στην εκπαιδευτική πράξη, η τεχνολογία εκδηλώνεται μέσα από προγραμματισμό, μικροελεγκτές, αισθητήρες, ρομποτική, ψηφιακές προσομοιώσεις και πολυμέσα (Bers, 2020). Η χρήση του Arduino, του Raspberry Pi, του Micro:bit και των εικονικών εργαστηρίων (virtual labs) δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να κατανοούν πώς οι ιδέες μεταφράζονται σε λειτουργικά συστήματα (Kafai κ.ά., 2020).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN), η μηχανική μάθηση και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) εντάσσονται πλέον δυναμικά στο πεδίο της εκπαιδευτικής τεχνολογίας (Jules κ.ά., 2019). Η εκπαίδευση οφείλει να ενισχύει τη δεοντολογική κατανόηση των ψηφιακών τεχνολογιών, βοηθώντας τις μαθήτριες να αντιληφθούν τη διττή φύση τους ως εργαλείο προόδου αλλά και ως πιθανό φορέα ανισοτήτων (Williamson κ.ά., 2020).

Η τεχνολογία στο STEM είναι περιβάλλον μάθησης όσο και αντικείμενο μελέτης. Οι μαθήτριες σχεδιάζουν, δημιουργούν και ελέγχουν συστήματα, αναπτύσσοντας δεξιότητες υπολογιστικής σκέψης, επικοινωνίας και ηθικής επίγνωσης (Bers, 2020· 2025). Η τεχνολογία έτσι νοείται ως πολιτισμικό οικοσύστημα, όχι ως ουδέτερη γνώση, αλλά ως διαδικασία με κοινωνικό και αισθητικό αποτύπωμα (Feenberg, 2017).

Η τεχνολογική παιδεία ως κριτική και δημιουργική σχέση με τα τεχνοκοινωνικά συστήματα

Η τεχνολογία στον 21ο αιώνα δεν μπορεί να ιδωθεί απλώς ως σύνολο εργαλείων, συσκευών ή προγραμματιζόμενων αντικειμένων. Είναι ένα τεχνοκοινωνικό σύστημα· ένα πλέγμα από υλικά στοιχεία, ανθρώπινες επιλογές, πολιτισμικές αξίες, οικονομικές δομές και ηθικά διλήμματα (Crawford, 2021· Latour, 2005). Η τεχνολογική παιδεία δεν περιορίζεται στην ψηφιακή δεξιότητα, ούτε στην ικανότητα χρήσης υπολογιστών. Είναι η ικανότητα κατανόησης, ερμηνείας, αμφισβήτησης και δημιουργικής μεταμόρφωσης των τεχνολογιών που διαμορφώνουν τη ζωή μας (Selwyn, 2021· Williamson κ.ά., 2020).

Σε αντίθεση με παλαιότερες προσεγγίσεις που αντιμετώπιζαν την τεχνολογία ως ουδέτερο εργαλείο, η σύγχρονη παιδαγωγική αναγνωρίζει ότι κάθε τεχνολογικό σύστημα εμπεριέχει σχεδιαστικές αποφάσεις, συγκεκριμένες παραδοχές και κοινωνικούς σκοπούς (Feenberg, 2017· Winner, 1980). Έτσι, η τεχνολογική παιδεία αποτελεί αναγκαία συνθήκη για τη δημοκρατική συμμετοχή, τη βιώσιμη ανάπτυξη και την κατανόηση της δυναμικής σχέσης ανθρώπου-τεχνολογίας (Sahlberg, 2021).

Σε αυτό το πλαίσιο, οι μαθήτριες δεν μαθαίνουν απλώς «πώς δουλεύει κάτι», αλλά γιατί δουλεύει έτσι, ποιον εξυπηρετεί, ποιες συνέπειες έχει, πώς μπορεί να βελτιωθεί και πώς εντάσσεται σε μεγαλύτερα κοινωνικά συστήματα (Selwyn, 2021).

Η τεχνολογία ως σύστημα: εισροές, εκροές, αναδράσεις, περιορισμοί

Η θεώρηση της τεχνολογίας μέσα από τη συστημική σκέψη μάς επιτρέπει να δούμε κάθε τεχνολογικό τεχνούργημα, από ένα έξυπνο θερμοκήπιο έως ένα σχολικό δίκτυο, ως σύστημα με εισροές, εκροές, ανατροφοδοτήσεις και όρια (Forrester, 1968·

Meadows, 2008). Στα παραδείγματα που θα ακολουθήσουν, η τεχνολογία παρουσιάζεται διαρκώς μέσα από αυτή τη δυναμική, αναδεικνύοντας ότι δεν είναι ποτέ αυτόνομη, αλλά λειτουργεί μέσα σε περιβάλλον αλληλεξαρτήσεων (Sterling, 2010).

Όταν οι μαθητές κατανοούν ότι μια τεχνολογική λύση αλλάζει ένα σύστημα, αλλά ταυτόχρονα το ίδιο το σύστημα περιορίζει τις τεχνολογικές επιλογές, τότε αναπτύσσουν βαθύτερη επίγνωση της τεχνολογίας ως παρέμβασης σε έναν δυναμικό κόσμο (Meadows, 2008).

Η τεχνολογία ως δημιουργικότητα και σχεδιαστική σκέψη (engineering design)

Η τεχνολογική παιδεία δεν αφορά μόνο την κατανόηση ενός συστήματος, αλλά και τη δυνατότητα να σχεδιάζεις μέσα σε αυτό. Η σχεδιαστική σκέψη και ο σχεδιασμός μηχανικής (engineering design) προσθέτουν μια δημιουργική διάσταση στα STEM πρότζεκτ (Dorst, 2015· English, 2016). Όπως φαίνεται στα διάφορα πρότζεκτ, οι μαθήτριες δημιουργούν πραγματικές λύσεις χρησιμοποιώντας αισθητήρες, δεδομένα και μηχανισμούς ανάδρασης για να σταθεροποιήσουν ένα σύστημα (Bers, 2019· 2020).

Η τεχνολογία ως ερμηνεία δεδομένων: εγγραμματισμός στα δεδομένα και αλγοριθμική διαφάνεια (data literacy & algorithmic transparency)

Η τεχνολογία περιλαμβάνει διαρκή ροή δεδομένων. Η τεχνολογική παιδεία απαιτεί από τις μαθήτριες να συλλέγουν, να ερμηνεύουν, να οργανώνουν και να αξιολογούν δεδομένα, καθώς και να αμφισβητούν την ουδετερότητά τους (Knaflitz, 2019). Η σύγχρονη βιβλιογραφία τονίζει ότι τα δεδομένα δεν είναι ουδέτερα, αλλά εμπεριέχουν κοινωνικά συμφραζόμενα και πιθανές στρεβλώσεις (Boyd & Crawford, 2012· O'Neil, 2017).

Η τεχνολογία ως κοινωνική επιλογή: ποιος ωφελείται και ποιος αποκλείεται;

Καμία τεχνολογική λύση δεν είναι ουδέτερη, καθώς εντάσσεται σε κοινωνικές δομές και παράγει άνισες συνέπειες (Crawford, 2021· Sahlberg, 2021). Η τεχνολογική παιδεία πρέπει να καλλιεργεί την ικανότητα ανάλυσης της δικαιοσύνης, της ισότητας και της βιωσιμότητας των τεχνολογικών επιλογών (Selwyn, 2021).

Τελικό συμπέρασμα: η τεχνολογία ως ανθρώπινη πράξη

Η τεχνολογική παιδεία δεν είναι δεξιότητα· είναι σχέση με τον κόσμο. Είναι η δυνατότητα να δούμε την τεχνολογία ως σύστημα, δημιουργική διαδικασία, κοινωνικό φαινόμενο, πολιτισμική παραγωγή και ηθική επιλογή (Crawford, 2021· Feenberg, 2017). Η τεχνολογία είναι πράξη και η τεχνολογική παιδεία είναι η ικανότητα να πράττουμε με κριτική επίγνωση, δημιουργικότητα και κοινωνική ευθύνη.

2.2.3 Η μηχανική στο πλαίσιο του Socio-ST(R)E(A)M

Στο πλαίσιο Socio-ST(R)E(A)M, η μηχανική νοηματοδοτείται όχι μόνο ως τεχνική διεργασία, αλλά και ως κοινωνική και ηθική πρακτική. Κάθε τεχνολογική λύση ενσωματώνει αξίες, προτεραιότητες και κοινωνικές επιλογές. Συνεπώς, η μηχανική εκπαίδευση καλείται να αναδείξει ζητήματα βιωσιμότητας, πρόσβασης, περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ηθικών διλημάτων σχετικά με την αυτοματοποίηση, τα δεδομένα και την ενέργεια (Andrade & Tomblin, 2018· Van de Poel & Royakkers, 2023). Η μηχανική γίνεται έτσι πεδίο δημοκρατικής συζήτησης, όπου οι μαθητές μαθαίνουν όχι μόνο πώς λειτουργεί μια λύση, αλλά και για ποιον λειτουργεί, υπό ποιες συνθήκες και με ποιες συνέπειες (UNESCO, 2021).

Η μηχανική αποτελεί θεμελιώδη πυλώνα του STEM, καθώς συνιστά το πεδίο όπου η επιστημονική γνώση και η τεχνολογική δεξιότητα μετασχηματίζονται σε λειτουργικές, αποδοτικές και κοινωνικά βιώσιμες λύσεις. Ο κύκλος της μηχανικής σκέψης –που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του προβλήματος, την έρευνα και παραγωγή ιδεών, τον σχεδιασμό πρωτοτύπων, τη δοκιμή και αξιολόγηση, και την επαναληπτική βελτίωση– συγκροτεί μια διαδικασία, η οποία καλλιεργεί αναστοχαστική σκέψη, συνεργασία και δημιουργική προσαρμογή (Dym κ.ά., 2013· NGSS, 2013). Η επαναληπτικότητα αυτού του κύκλου υποστηρίζει την ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης σύνθετων προβλημάτων και κατανόησης των περιορισμών που χαρακτηρίζουν τον πραγματικό κόσμο (Bers, 2022· 2025· Katehi κ.ά., 2009/επικαιροποιήσεις STEM 2019).

Η μηχανική ως γνωστική πρακτική και η συμβολή της στη δημιουργία τεχνολογικής γνώσης

Η σύγχρονη διεθνής βιβλιογραφία αντιμετωπίζει τη μηχανική όχι ως απλή εφαρμογή επιστημονικών αρχών, αλλά ως αυτόνομο γνωστικό πεδίο που παράγει συστηματική γνώση μέσω της διαδικασίας του σχεδιασμού (Johri & Olds, 2014/εξελιξείς 2018-2022). Ο Νάιτζελ Κρος (Nigel Cross, 2023) περιγράφει αυτή τη μορφή γνώσης με τον όρο «σχεδιαστικοί τρόποι γνώσης» («designerly ways of knowing»), ο οποίος αναφέρεται σε ιδιαίτερους τρόπους σκέψης, εργασίας και κατανόησης, που είναι εγγενείς στη σχεδιαστική και μηχανική πρακτική. Οι τρόποι αυτοί περιλαμβάνουν την ικανότητα επίλυσης προβλημάτων υπό συνθήκες αβεβαιότητας, τη χρήση μοντέλων, σκίτσων και πρωτοτύπων ως εργαλείων σκέψης, καθώς και την αξιοποίηση της αποτυχίας ως μορφής ανατροφοδότησης για βελτίωση (Kolodner κ.ά., 2003).

Σύμφωνα με τον Κρος (2023) και άλλους θεωρητικούς του σχεδιασμού (Dym κ.ά., 2013· Vincenti, 1990), η σχεδιαστική γνώση δεν είναι αποκλειστικά θεωρητική. Παράγεται μέσα από την πράξη, τον πειραματισμό, τις διαδοχικές προσεγγίσεις και τη συνεχή επαναξιολόγηση. Η μηχανική, επομένως, συνιστά πεδίο όπου η γνώση δημιουργείται μέσα από τη διαρκή αλληλεπίδραση θεωρίας, πράξης και υλικών ή ψηφιακών αναπαραστάσεων (Crismond & Adams, 2012).