ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2022)

7ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»

Εισαγωγή της τρισδιάστατης σχεδίασης στην εκπαιδευτική διαδικασία: έρευνα από τη λειτουργία ομίλου

Ανθούλα Μαΐδου, Χαρίτων Πολάτογλου

Βιβλιογραφική αναφορά:

Μαΐδου Α., & Πολάτογλου Χ. (2023). Εισαγωγή της τρισδιάστατης σχεδίασης στην εκπαιδευτική διαδικασία: έρευνα από τη λειτουργία ομίλου. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 0549–0562. ανακτήθηκε από https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/5766

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 06/12/2025 14:13:21

Εισαγωγή της τρισδιάστατης σχεδίασης στην εκπαιδευτική διαδικασία: έρευνα από τη λειτουργία ομίλου

Μαΐδου Ανθούλα[1], Πολάτογλου Χαρίτων[2]
[1] Εκπαιδευτικός Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, 2ο Πρότυπο Γυμνάσιο Θεσσαλονίκης
[2] Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής

Περίληψη

Η τρισδιάστατη σχεδίαση είναι ένας αναπτυσσόμενος τομέας που βρίσκει εφαρμογές σε όλο και περισσότερους τομείς του δευτερογενούς τομέα, ενώ έχει αρχίσει να αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο η σημασία της στην εκπαίδευση. Το σχολικό έτος 2021-22 οργανώθηκε σε πρότυπο γυμνάσιο όμιλος τρισδιάστατης σχεδίασης με σκοπό να εξοικειωθούν οι μαθητές/τριες με την τρισδιάστατη σχεδίαση ως τρόπο επικοινωνίας και έκφρασης για την εκπαίδευση για την αειφόρο ανάπτυξη. Επιπλέον θέλαμε να διερευνήσουμε αν μέσα από τη τρισδιάστατη σχεδίαση μπορούν να καλλιεργηθούν οι δεξιότητες (ψηφιακές και μη) του 21ου αιώνα. Χρησιμοποιήθηκε ερωτηματολόγιο πριν όσο και στο τέλος της λειτουργίας του ομίλου για να διερευνηθούν οι γνώσεις και αντιλήψεις των μαθητών/τριών για την τρισδιάστατη σχεδίαση. Ο εκπαιδευτικός σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε με στόχο να εξοικειωθούν οι μαθητές/τριες με τη τρισδιάστατη σχεδίαση μέσα από τη σταδιακή δημιουργία όλο και πιο σύνθετων αντικειμένων, εισάγοντας προοδευτικά σύνθετες εντολές. Δεδομένα ανάλυσης αποτέλεσαν τα έργα των μαθητών/τριών, τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων, παρατήρηση και ερωτήσεις κατά τη διάρκεια των μαθημάτων. Από τη λειτουργία του ομίλου φάνηκε ότι η τρισδιάστατη σχεδίαση με τη χρήση της πλατφόρμας Tinkercad αποτέλεσε κατάλληλο μέσο για την εξοικείωση των μαθητών/τριών με έννοιες της αειφορίας, καθώς και για την ανάπτυξη των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα.

Λέξεις κλειδιά: Τρισδιάστατη σχεδίαση, Tinkercad, αειφόρος ανάπτυξη, εκπαιδευτικός σχεδιασμός ομίλου

Εισαγωγή

Τεχνολογίες τρισδιάστατης σχεδίασης και εκτύπωσης

Η εισαγωγή των τεχνολογιών τρισδιάστατης σχεδίασης και εκτύπωσης στη βιομηχανική παραγωγή αυξάνεται και επεκτείνεται συνεχώς, καθώς ανακαλύπτονται νέες εφαρμογές που εκμεταλλεύονται τις λειτουργίες και δυνατότητές τους. Πέρα όμως από τη βιομηχανική παραγωγή, η τρισδιάστατη σχεδίαση και εκτύπωση δίνουν την ευκαιρία σε όλους να συμμετάσχουν σε αυτό που αποκαλείται η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση αξιοποιώντας την ευρεία διαθεσιμότητα ψηφιακών τεχνολογιών που αναπτύχθηκαν στην Ψηφιακή Επανάσταση, οι οποίες κλείνουν το χάσμα μεταξύ ψηφιακής, φυσικής και βιολογικής σφαίρας και αυξάνουν τον ρυθμό των τεχνολογικών εξελίξεων. Αυτή η αλλαγή στην τεχνολογική καινοτομία δημιουργεί ένα τεράστιο οικοσύστημα διασυνδεδεμένης, πολύπλοκης και δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ του ανθρώπου και του δομημένου περιβάλλοντος (Fletcher 2016; López & Ibáñez, 2021; Maynard, 2015; Pereira Pessôa, & Jauregui Becker, 2020; Philbeck, & Davis, 2019; Pitsis, Beckman, Steinert, Oviedo & Meisch, 2020), ή αλλιώς ο εκδημοκρατισμός της κατασκευής αντικειμένων και μηχανών, αφού επιτρέπει στον καθένα με ελάχιστα έξοδα να σχεδιάσει και να εκτυπώσει εξαρτήματα μιας συσκευής ή και μια ολόκληρη συσκευή για τις ανάγκες του (Rooks, 2017). Οι τεχνολογίες αυτές συνεισφέρουν έτσι στην ανεξαρτητοποίηση από βιομηχανίες και εμπορικές επιχειρήσεις,

Παναγιωτακόπουλος, Χ., Καρατράντου, Α., & Αρμακόλας, Σ. (Επιμ.), *Πρακτικά Εργασιών 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»*, σ. 549-562, Τμήμα Επιστημών της Εκπαίδευσης και Κοινωνικής Εργασίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 16-18 Σεπτεμβρίου 2022. ISBN 978-618-83186-7-0.

δίνοντας τη δυνατότητα να δημιουργηθούν συσκευές προσαρμοσμένες στις τοπικές, ατομικές ή ομαδικές ανάγκες ή συνθήκες.

Ενώ δεν είναι καινούργια η χρήση των τεχνολογιών τρισδιάστατης σχεδίασης και εκτύπωσης στην εκπαίδευση, είχε βρει αρχικά μικρή αποδοχή και αποτελεί ακόμα θέμα προς διερεύνηση. Αρχιτέκτονες και μηχανικοί ήταν από τους πρώτους που υιοθέτησαν τις τεχνολογίες ταχείας δημιουργίας πρωτοτύπων ήδη από τη δεκαετία του 90 (Bøhn, 1997; Celani, 2012; Stamper & Dekker, 2000; Stier & Brown, 2000; Paio, Eloy, Rato, Resende, & de Oliveira, 2012).

Οι τεχνολογίες τρισδιάστατης σχεδίασης και εκτύπωσης αποτελούν πολύ χρήσιμα εργαλεία για την εκπαιδευτική διαδικασία (Canessa, Fonda, & Zennaro, 2013), καθώς μπορούν να διευκολύνουν τη μάθηση, να αναπτύξουν δεξιότητες και να αυξήσουν τη συμμετοχή των μαθητών (Berry, ed al., 2012), να προωθήσουν τη δημιουργικότητα, να βελτιώνουν τη στάση των μαθητών απέναντι σε θέματα STEM και σταδιοδρομίες STEM, ενώ βρέθηκε ακόμη ότι αυξάνουν το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών (Horowitz, & Schultz, 2014).

Οι Ford και Minshalla (2019) πραγματοποίησαν έρευνα για τη χρήση των τεχνολογιών σχεδιασμού και εκτύπωσης στην εκπαίδευση και βρήκαν ότι χρησιμοποιείται σε σχολεία, πανεπιστήμια, βιβλιοθήκες και στην ειδική αγωγή. Επιπλέον ανέλυσαν τον τρόπο που χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες τρισδιάστατης σχεδίασης και εκτύπωσης στην εκπαίδευση και προσδιορίζονται έξι τρόπους με τους οποίους εφαρμόζεται (ibid):

1. για τη διδασκαλία της τρισδιάστατης σχεδίασης και εκτύπωσης σε μαθητές
2. για τη διδασκαλία της τρισδιάστατης σχεδίασης και εκτύπωσης εκπαιδευτικούς
3. για τη διδασκαλία δεξιοτήτων σχεδιασμού και μεθόδων
4. για την παραγωγή αντικειμένων που βοηθούν τη μαθησιακή διαδικασία
5. για τη δημιουργία βοηθητικών τεχνουργημάτων για άτομα με αναπηρίες και
6. για την υποστήριξη δραστηριοτήτων εξωστρέφειας.

Η δημιουργία τρισδιάστατων σχεδίων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στην εκπαίδευση και ιδιαίτερα στην εξ' αποστάσεως διδασκαλία, επειδή προσφέρει τη δυνατότητα στους εκπαιδευόμενους/ες να περιεργαστούν ένα μοντέλο από διάφορες οπτικές γωνίες, ώστε να το κατανοήσουν καλύτερα. Αν και θεωρείται συνήθως συνυφασμένη με μαθήματα STEM, η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα μαθήματα, όλων των εκπαιδευτικών βαθμίδων (Ford, & Minshalla, 2019), ενώ χρησιμεύει ακόμη για την συμπεριληπτική μάθηση ατόμων με οπτικές αναπηρίες (Cavanaugh, & Eastham, 2017; Kolitsky, 2014).

Η πλατφόρμα Tinkercad

Υπάρχουν πολλά λογισμικά τρισδιάστατης σχεδίασης από απλά έως πολύ εξειδικευμένα επαγγελματικά σχεδιαστικά προγράμματα, ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού, όπως για παράδειγμα δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων για τον σχεδιασμό κτηρίων, όπως είναι τα Autocad τα Archicad, κλπ., το Solidworks 3D για μηχανολογικές κατασκευές, χρήση της τρισδιάστατης σχεδίασης για την δημιουργία έργων ζωγραφικής, γλυπτικής, γραφιστικής, δημιουργία τρισδιάστατων κόσμων και χαρακτήρων όπως το 3ds Max και το Maya και Blender, δημιουργία βιντεοπαιχνιδιών και δημιουργία animation. Για την εκπαιδευτική διαδικασία και για την εισαγωγή των μαθητών στη λογική του τρισδιάστατου σχεδιασμού κρίνουμε καταλληλότερη τη χρήση της πλατφόρμας του Tinkercad, επειδή προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα για τη χρήση της στην εκπαιδευτική διαδικασία, όπως:

1. Δεν χρειάζεται να γίνει εγκατάσταση του λογισμικού στον υπολογιστή του χρήστη.
2. Χρειάζεται μόνο δημιουργία λογαριασμού και σύνδεση στη πλατφόρμα μέσω διαδικτύου.

3. Είναι πολύ φιλικό προς το χρήστη, διαθέτοντας πολλά βασικά αντικείμενα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργηθούν σύνθετα αντικείμενα όπως για παράδειγμα κύβοι, κύλινδροι και σφαίρες. Η λογική του Tinkercad βασίζεται σε συμπαγή και κενά σχήματα που μπορούν να συνδυαστούν για να σχηματίσουν νέα σχήματα (Griffey, 2014).
4. Υπάρχει η δυνατότητα να μοιράσει κάποιος τα έργα του με τους υπόλοιπους χρήστες, οι οποίοι μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν αυτούσια ή να τα τροποποιήσουν για τις ανάγκες της νέας κατασκευής.
5. Ένας εκπαιδευτικός μπορεί να δημιουργήσει τάξεις, μέσα από τις οποίες οι μαθητές/τριες μπορούν να αλληλεπιδράσουν μόνο με τον εκπαιδευτικό και όχι με το εκτός τάξης περιβάλλον του Tinkercad, προσφέροντας έτσι ένα ασφαλές περιβάλλον εργασίας στους μαθητές και τις μαθήτριες.
6. Επειδή δεν χρειάζεται εγκατάσταση του λογισμικού σε υπολογιστές οι μαθητές μπορούν να ξεκινήσουν ένα έργο στο σχολείο και να το τελειώσουν στο σπίτι τους.
7. Ο εκπαιδευτικός μπορεί να δει όλα τα έργα των μαθητών/τριών των τάξεών του/της και αν θέλει να τα προβάλλει στην τάξη για ανάδραση, σχολιασμό και δημιουργική συζήτηση.
8. Το πλατφόρμα του Tinkercad επιτρέπει επιπλέον το διαμοιρασμό έργων και την ομαδική εργασία και επεξεργασία τους.
9. Η χρήση του Tinkercad είναι ελεύθερη.
10. Τα τρισδιάστατα σχέδια που δημιουργούνται στο Tinkercad μπορούν να εκτυπωθούν από τρισδιάστατους εκτυπωτές ή μηχανές κοπής λέιζερ (Chun, 2021; Chou , 2020; Jung, & Lee, 2017; Ng, 2017; Özdemir et al., 2017).

Η εκμάθηση σχεδιασμού σε σχεδιαστικό πρόγραμμα απαιτεί δύο διαφορετικά είδη γνώσεων, γνώσεις, δηλαδή γνώση για το χειρισμό του λογισμικού και επίσης γνώση του πώς να δημιουργηθεί το σχέδιο, δηλαδή με ποιους τρόπους και ποια στρατηγική μοντελοποίησης είναι πιο κατάλληλη (Chester, 2007). Ένας μαθητής που πρόκειται να λύσει ένα πρόβλημα με την τρισδιάστατη σχεδίαση χρειάζεται και τους δύο τύπους γνώσεων. Εάν ένας από τους τύπος γνώσης δεν έχει κατακτηθεί, θα επηρεάσει την ικανότητα των μαθητών να δημιουργήσουν το τρισδιάστατο μοντέλο (Buckley, Seery, & Canty, 2018). Πολλοί μαθητές προσηλώνονται στην εκμάθηση των εντολών του λογισμικού και τείνουν να χρησιμοποιούν τη γνωστική τους ικανότητα για να μάθουν το λογισμικό, αντί να χρησιμοποιούν την ικανότητά τους να βρίσκουν διαφορετικές λύσεις στο πρόβλημα. Αυτό είναι προβληματικό, καθώς οι μαθητές αναπτύσσουν ελάχιστα τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων (Chester, 2007; Leisney & Brandt-Pomares, 2015).

Η Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη

Η πανδημία, κλιματική αλλαγή με τα όλο και συχνότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, η πλαστική ρύπανση με τη συσσώρευση πλαστικών που αποσυντίθενται με αργούς ρυθμούς, πλαστικά υπολείμματα που μπαίνουν στην τροφική αλυσίδα με πρωτόγνωρο ρυθμό, χωρίς όμως να γνωρίζουμε τις επιπτώσεις τους στην υγεία των ανθρώπων, το μεταναστευτικό πρόβλημα, κ.λπ. απασχολούν έντονα επιστήμονες, πολιτικούς και πολίτες. Όλα αυτά αποτελούν προβλήματα της αειφόρου ανάπτυξης και απαιτούν επιτακτικά λύσεις. Για να μπορέσει όμως να αλλάξει κάτι θα πρέπει να αποκτηθούν όχι μόνο γνώσεις, αλλά περισσότερο να αλλάξουν οι στάσεις και αξίες των ανθρώπων, ώστε να προχωρήσουν σε δράσεις (Dillon & Gayford, 1997). Είναι λοιπόν επιτακτική ανάγκη να περιληφθούν μαθήματα για την αειφόρο ανάπτυξη σε όλα τα επίπεδα εκπαίδευσης ξεκινώντας από την προσχολική εκπαίδευση, αν θέλουμε να εξασφαλίσουμε ποιοτική ζωή για τις επόμενες γενιές.

Οι εκπαιδευτικοί μπορούν να βοηθήσουν στην επίτευξη αλλαγών στις στάσεις και αξίες των ανθρώπων, ευαισθητοποιώντας τους μαθητές απέναντι στα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα ήδη από πολύ μικρές ηλικίες. Φυσικά, θα πρέπει η διαδικασία αυτή να συνεχιστεί σε όλη τη διάρκεια της τυπικής αλλά και άτυπης εκπαίδευσης και σε όλα τα εκπαιδευτικά επίπεδα (Bekessy et al., 2003; Christie et al., 2013; Cortese & Hattan, 2010; Holdsworth et al., 2008; UNESCO, 2005; WCED, 1987). Θέματα εκπαίδευσης για την αειφόρο ανάπτυξη μπορούν είτε να ενσωματωθούν σε όλα τα μαθήματα (McKeown, 2014), είτε να εφαρμοστούν αυτόνομα ως ερευνητικές εργασίες ή περιβαλλοντικά προγράμματα, εφόσον το επιτρέπει το αναλυτικό πρόγραμμα ή τα προγράμματα σπουδών.

Η συνεισφορά της ομάδας ST3dM

Ο ερευνητική μας ομάδα ST3dM αποτελείται από πανεπιστημιακό καθηγητή, μεταδιδάκτορες, υποψήφιους διδάκτορες και μεταπτυχιακούς φοιτητές συνολικά 10 άτομα. Οργανώνουμε εδώ και τέσσερα χρόνια, από το 2018 Πανελλήνιο μαθητικό διαγωνισμό, εγκεκριμένο από το Υπουργείο Παιδείας, για την προώθηση της τρισδιάστατης σχεδίασης και εκτύπωσης στην εκπαιδευτική διαδικασία. Στα πλαίσια αυτά προωθεί συστηματικά την τρισδιάστατη σχεδίαση και εκτύπωση σε μη τυπικά περιβάλλοντα μάθησης με τη διοργάνωση εργαστηρίων σε πανελλήνια συνέδρια και μαθητικά φεστιβάλ, την δημιουργία μαθημάτων MOOC στο moodle για την εκπαίδευση εκπαιδευτικών και μαθητών/τριων στην τρισδιάστατη σχεδίαση και την διοργάνωση 2 Πανελλήνιων συνεδρίων για την προώθηση της τρισδιάστατης σχεδίασης και εκτύπωσης.

Μέσα από το moodle επιμορφώθηκαν περισσότεροι από 500 εκπαιδευτικοί στην τρισδιάστατη σχεδίαση και με τη σειρά τους δούλεψαν με ομάδες μαθητών/τριών από τα σχολεία τους από διάφορα μέρη της Ελλάδας για να δημιουργήσουν σχέδια για τεχνουργήματα σύμφωνα με τη θεματική του διαγωνισμού για την αντίστοιχη εκπαιδευτική βαθμίδα. Όλα αυτά πραγματοποιήθηκαν σε εθελοντική βάση από το ενδιαφέρον των συμμετεχόντων εκπαιδευτικών και των ομάδων των μαθητών, εκτός αναλυτικών προγραμμάτων.

Σκοπός της παρούσας μελέτης

Θέλοντας να προχωρήσουμε τη τρισδιάστατη σχεδίαση από την μη τυπική εκπαίδευση και να την εντάξουμε σε ένα ετήσιο πρόγραμμα, δημιουργήσαμε όμιλο τρισδιάστατης σχεδίασης σε πρότυπο γυμνάσιο, επειδή υπάρχει στα πρότυπα και πειραματικά σχολεία η δυνατότητα να δοκιμαστούν αναλυτικά προγράμματα και να διερευνηθεί η επίδρασή τους στους μαθητές/τριες. Ο κανονισμός λειτουργίας των σχολείων αυτών προβλέπει ότι «οι όμιλοι έχουν σκοπό την ανάπτυξη των ιδιαίτερων ικανοτήτων, κλίσεων και ενδιαφερόντων των μαθητών, τόσο των μαθητών/τριών των Προτύπων και Πειραματικών Σχολείων όσο και άλλων σχολείων της δημόσιας εκπαίδευσης. Λειτουργούν μετά τη λήξη των μαθημάτων του ημερησίου ωρολογίου προγράμματος. Οι όμιλοι αφορούν γνωστικούς τομείς όπως τα μαθηματικά, τις φυσικές επιστήμες, τη γλώσσα, τη λογοτεχνία, τα νέα γνωστικά αντικείμενα όπως η αστρονομία, η ρομποτική κ.λπ. καθώς και λοιπά πεδία όπως τα εικαστικά, ο αθλητισμός κ.ά., και έχουν ως σκοπό τόσο στην ολόπλευρη ανάπτυξη των μαθητών όσο και στην ανάπτυξη της δημιουργικότητας και την προώθηση της αριστείας και της καινοτομίας» (Κανονισμός λειτουργίας ομίλων, 2020).

Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστούν τα ευρήματα από την οργάνωση και λειτουργία ομίλου τρισδιάστατης σχεδίασης σε πρότυπο γυμνάσιο. Η έρευνα αυτή βασίστηκε στα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

- Ποιες είναι οι αντιλήψεις των μαθητών/τριών για τις νέες τεχνολογίες και τη τρισδιάστατη σχεδίαση;
- Ποιος εκπαιδευτικός σχεδιασμός είναι κατάλληλος για την εισαγωγή της τρισδιάστατης σχεδίασης στη εκπαίδευση;
- Αποτελεί η εκπαίδευση για την αειφόρο ανάπτυξη κατάλληλη θεματική για να παρακινήσει τους μαθητές/τριες να δημιουργήσουν τρισδιάστατες προτάσεις, αυξάνοντας τη δημιουργικότητα και κριτική τους σκέψη πάνω σε σύγχρονα θέματα;

Μέθοδος

Για την εισαγωγή των μαθητών/τριών στη τρισδιάστατη σχεδίαση χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα Tinkercad για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ο όμιλος λειτούργησε για πρώτη φορά τη φετινή σχολική χρονιά 2021-2022. Στον όμιλο συμμετείχαν συνολικά 14 μαθητές/τριες, 4 κορίτσια και 10 αγόρια από όλες τις τάξεις του γυμνασίου, δηλαδή 5 μαθητές από την Α΄ και τη Β΄ γυμνασίου και 4 μαθητές από την Γ΄ τάξη. Οι 12 ήταν μαθητές του σχολείο και 2, ένα αγόρι και ένα κορίτσι από άλλα δημόσια σχολεία. Η επιλογή των μαθητών έγινε με τον εξής τρόπο: Αφού δήλωσαν ενδιαφέρον να παρακολουθήσουν 78 μαθητές/τριες του σχολείου καθώς και άλλων σχολείων μετά από διαδικτυακή αίτηση των γονέων ή κηδεμόνων τους, πραγματοποιήθηκε κλήρωση με ηλεκτρονικό τρόπο, ώστε να εκλεγούν τυχαίοι αριθμοί που αντιστοιχούσαν στους ενδιαφερόμενους μαθητές/τριες. Δεν είχε τεθεί κάποια προϋπόθεση. Ο περιορισμός του αριθμού των μαθητών οφείλεται στον αριθμό των διαθέσιμων υπολογιστών της αίθουσας Πληροφορικής του σχολείου. Κανείς από τους μαθητές/τριες δεν είχε προηγούμενη εμπειρία από την τρισδιάστατη σχεδίαση. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 21 δίωρες συναντήσεις μετά τη λήξη του ωρολογίου προγράμματος.

Για τις ανάγκες των μαθημάτων δημιουργήθηκαν παρουσιάσεις που να εξηγούν:

1. Τι είναι η τρισδιάστατη σχεδίαση και που βρίσκει εφαρμογές
2. Αρχές σύνθεσης και αισθητικής
3. Η σχεδιαστική σκέψη
4. Η 4η βιομηχανική επανάσταση – τρισδιάστατη σχεδίαση και εκτύπωση
5. Σύνθετες εντολές στη τρισδιάστατη σχεδίαση με το Tinkercad

Από τη διαδικασία κρατήθηκε ημερολόγιο, όπου καταγράφηκαν η ύλη που καλύφθηκε, τα έργα που έκαναν οι μαθητές και κάποια σύντομη αξιολόγηση για την κατανόηση των μαθητών και την ικανότητά τους να εφαρμόσουν αυτά που έμαθαν στις συνθέσεις τους.

Ο εκπαιδευτικός σχεδιασμός στηρίχθηκε στο σχεδιασμό, ανάπτυξη και αξιολόγηση της διδακτικής παρέμβασης, δηλαδή του προγράμματος, των διαδικασιών μάθησης, του περιβάλλοντος μάθησης, του διδακτικού και μαθησιακού υλικού και των προϊόντων ή αποτελεσμάτων (Plomp, 2013). Οι παρεμβάσεις στηρίχθηκαν σε ένα πρόβλημα του πραγματικού κόσμου (Van den Akker et al., 2006), δηλαδή στις αειφόρες πόλεις, ένα πρόβλημα που βιώνουν οι μαθητές και επιθυμούν να δώσουν λύσεις. Ενώ στις έρευνες του εκπαιδευτικού σχεδιασμού συμμετέχουν ερευνητές, εκπαιδευτικοί, σχεδιαστές προγραμμάτων σπουδών, σχεδιαστές της διδασκαλίας και ειδικοί αξιολόγησης (Kelly, Lesh, Baek, & Bannan-Ritland, 2008), στη δική μας περίπτωση όλη η δουλειά της πρώτης φάσης του επεκτατικού κύκλου (Engeström, 1987; Engeström & Sannino, 2010) πραγματοποιήθηκε από εμάς. Φυσικά εδώ θα παρουσιάσουμε τα ευρήματα από τον πρώτο επεκτατικό κύκλο. Η διαδικασία του εκπαιδευτικού σχεδιασμού θα ακολουθήσει και άλλους επεκτατικούς κύκλους σε μια συνεχή εξέλιξη εισάγοντας καινούργια θεματολογία και προβλήματα που θα αναζητούνται λύσεις μέσω σχεδιασμού και θα παρουσιάζονται με 3D σχέδια.

Ως εκπαιδευτική προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε η θεωρία της δραστηριότητας . Η θεωρία της δραστηριότητας επιδιώκει να αναλύσει την εξέλιξη μέσα από πρακτικές κοινωνικές δραστηριότητες. «Στις δραστηριότητες, οι άνθρωποι αναπτύσσουν τις ικανότητές τους, τις προσωπικότητες και τη συνείδησή τους. Μέσα από δραστηριότητες, μεταμορφώνουμε επίσης τις κοινωνικές μας συνθήκες, επιλύσουμε αντιφάσεις, κατασκευάζουμε νέα πολιτισμικά τεχνουργήματα και δημιουργούμε νέους τρόπους ζωής και του εαυτού μας» (Sannino, Daniels & Gutiérrez, 2009, σελ.1). Θεωρία της δραστηριότητας παρέχει μια οπτική για την απόκτηση της γνώσης εξετάζοντας τις διαλεκτικές σχέσεις ανάμεσα στους ανθρώπους, τα εργαλεία και τους στόχους που επηρεάζουν και διαμορφώνονται από τις κοινωνικές δομές, τον πολιτισμό και την ιστορία μέσα στο πλαίσιο μιας κοινότητας (Engeström, 1987).

Η δυσκολία του εκπαιδευτικού σχεδιασμού του ομίλου βρισκόταν στην διπλή δυσκολία που διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζει η εισαγωγή της τρισδιάστατης σχεδίασης σε μαθητές/τριες, δηλαδή ενώ τα προγράμματα σχεδίασης θα μπορούσαν να αναπτύξουν τη δημιουργικότητα και σχεδιαστική σκέψη των μαθητών/τριών, πολλές φορές αναλώνεται η εκπαιδευτική διαδικασία στην εκμάθηση του προγράμματος και έτσι δεν επιτυγχάνεται πλήρως η ανάπτυξη της δημιουργικότητας και της σχεδιαστικής σκέψης των μαθητών/τριών (Leinonen, Virnes, Hietala, & Brinck, 2020). Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε να προχωρήσει σταδιακά η εκμάθηση του προγράμματος και κάθε φορά που μαθαίνουν βασικές εντολές να προχωρούν στη δημιουργία έργων όπου εφαρμόζονται αυτές οι εντολές. Με αυτό τον τρόπο οι μαθητές μπόρεσαν να εξοικειωθούν με τις εντολές του σχεδιαστικού προγράμματος χωρίς να νιώσουν ότι η εκμάθησή του αναστέλλει τη δημιουργικότητά τους.

Ως θεματική για την ανάπτυξη των έργων των μαθητών επιλέχθηκε η αειφορία. Οι μαθητές/τριες διεξήγαγαν έρευνες στο διαδίκτυο για το τι συνιστά μια αειφόρο πόλη. Μέσα από τα έργα των μαθητών/τριών επιχειρήθηκε να προωθήσουν το μήνυμα της αειφορίας. Τα έργα τους αποτελούσαν είτε αντικείμενα της καθημερινής ζωής τους, είτε σχεδιαστικές προτάσεις για την οργάνωση μιας πλατείας, ενός σπιτιού ή μιας γειτονιάς. Έτσι ήρθαν σε επαφή με ένα κρίσιμο πρόβλημα της εποχής που ζούμε και για το οποίο με τα τρισδιάστατα σχέδιά τους μπόρεσαν να εκφράσουν τις ανησυχίες τους.

Μέσα από τον όμιλο στοχεύαμε στην:

- ανάπτυξη της δημιουργικότητας, της επικοινωνίας μέσα από το σχεδιασμό αλλά και μέσα από την ανάλυση των έργων των μαθητών/τριών στην τάξη, της συνεργασίας, και της κριτικής σκέψης, δηλαδή των ικανοτήτων του 21ου αιώνα και των ψηφιακών ικανοτήτων του 21ου αιώνα
- ανάπτυξη της ικανότητας των μαθητών/τριών να μπορούν να εκφράσουν τις ιδέες τους μέσα από τη τρισδιάστατη σχεδίαση
- την εξοικείωση των μαθητών/τριών με τη σχεδιαστική σκέψη
- την εξοικείωση των μαθητών με τις αρχές της σύνθεσης και της αισθητικής

Δημιουργήσαμε ερωτηματολόγιο για να διαπιστώσουμε τις γνώσεις και αντιλήψεις των μαθητών/τριών πριν και μετά από τη συμμετοχή τους στον όμιλο, αποτελούμενο από 15 ερωτήσεις κλειστού τύπου. Το ερωτηματολόγιο ήταν ανώνυμο. Οι ομάδες ερωτήσεων του ερωτηματολογίου αναφερόταν στα δημογραφικά στοιχεία των συμμετεχόντων, στις γνώσεις τους πάνω στην τρισδιάστατη σχεδίαση και την τρισδιάστατη εκτύπωση και τις αντιλήψεις τους για τη σημασία και χρησιμότητα της τρισδιάστατης σχεδίασης για τους ίδιους. Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ερωτηματολόγιο, ώστε να καταγραφούν οι απαντήσεις όλων των μαθητών/τριών, επειδή όταν πραγματοποιείται ομαδική συζήτηση μέσα στην τάξη, συνήθως απαντούν κάποιοι μαθητές, ενώ άλλα παιδιά διστάζουν να εκφράσουν δημόσια την άποψή τους. Ένα ανώνυμο ερωτηματολόγιο βοηθάει να ξεπεραστεί αυτός ο δισταγμός.

Αποτελέσματα

Αποτελέσματα του ερωτηματολογίου

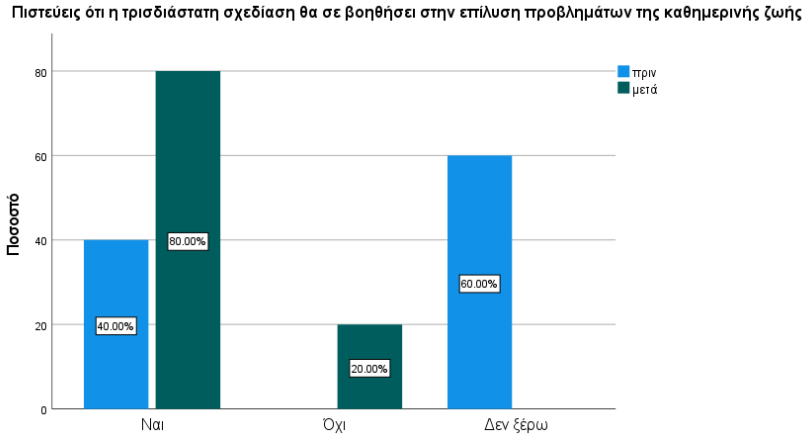
Για να διαπιστωθούν οι αντιλήψεις των μαθητών/τριών πριν και μετά από την εμπειρία του ομίλου, χρησιμοποιήθηκε αρχικά ένα ερωτηματολόγιο και το ίδιο ερωτηματολόγιο με την περαίωση του ομίλου στο τέλος της σχολικής χρονιάς.

Κανείς από τους μαθητές δεν είχε ξαναχρησιμοποιήσει κάποιο πρόγραμμα τρισδιάστατης σχεδίασης, αλλά ήξεραν ότι πρόκειται για σχεδίαση με τη χρήση του Η/Υ. Από τη πλειοψηφία των συμμετεχόντων εκφράστηκε η άποψη τόσο πριν (66,7 %) όσο και μετά (80 %) ότι η εκπαίδευση σε καινούργιες τεχνολογίες δεν τους/τις προκαλεί άγχος, ήταν δηλαδή από την αρχή θετικά διακείμενοι απέναντι στις νέες τεχνολογίες.

Ως προς τη χρησιμότητα της εκμάθησης της τρισδιάστατης σχεδίασης, ήδη πριν από την έναρξη των μαθημάτων οι περισσότεροι μαθητές/τριες (86,7 %) πίστευαν ότι η εκμάθηση της τρισδιάστατης σχεδίασης είναι χρήσιμη, ποσοστό που έφτασε στο 100% μετά από τα μαθήματα.

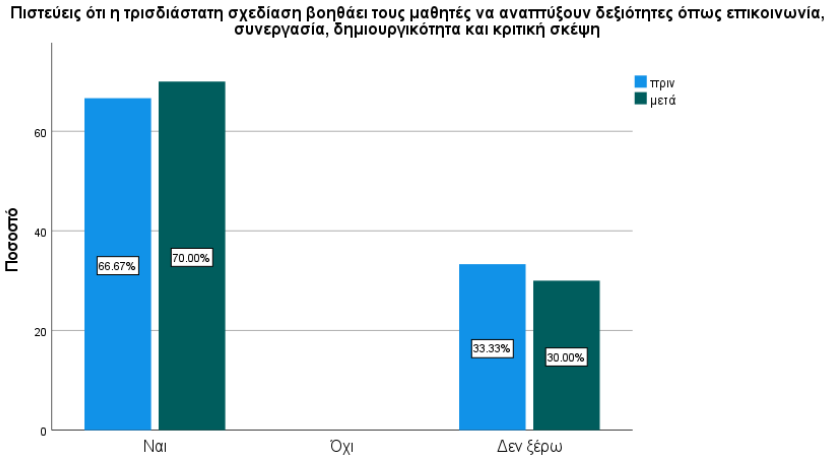
Στην ερώτηση αν πιστεύουν ότι η τρισδιάστατη σχεδίαση θα τους βοηθήσει να κατανοήσουν καλύτερα μαθήματα STEM, παρατηρούμε το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών τόσο πριν (86.7%) όσο και μετά (80%) τα μαθήματα να συμφωνεί με αυτή τη διατύπωση, σύμφωνα με την επικρατούσα αντίληψη ότι η τρισδιάστατη σχεδίαση χρησιμεύει κύρια στα θετικά και τεχνολογικά μαθήματα (Horowitz & Schultz, 2014).

Επιπλέον το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών θεωρεί ότι η τρισδιάστατη σχεδίαση μπορεί να τους βοηθήσει να λύσουν προβλήματα της καθημερινής ζωή (Σχήμα 1).



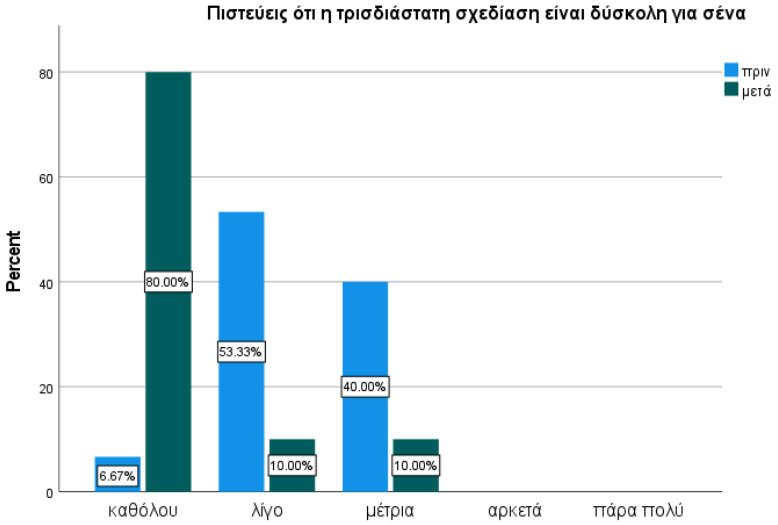
Σχήμα 1. Αντιλήψεις των μαθητών για το αν η τρισδιάστατη σχεδίαση μπορεί να συνεισφέρει στην επίλυση προβλημάτων της καθημερινής ζωής.

Ως προς το αν πιστεύουν ότι η τρισδιάστατη σχεδίαση μπορεί να τους βοηθήσει να αναπτύξουν δεξιότητες επικοινωνίας, συνεργασίας, δημιουργικότητας και κριτικής σκέψης, οι περισσότεροι συμφωνούν τόσο πριν όσο και μετά (Σχήμα 2), ενώ μετά το ποσοστό αυτών που συμφωνούν διπλασιάζεται.

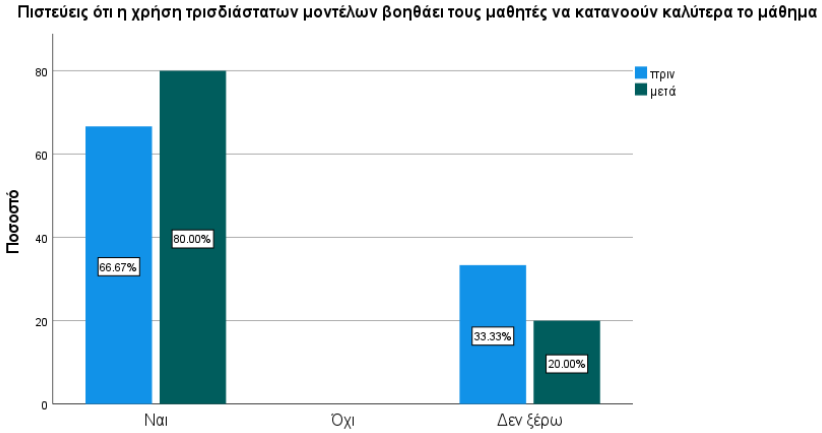


Σχήμα 2. Αντιλήψεις των μαθητών για το αν η τρισδιάστατη σχεδίαση μπορεί να συνεισφέρει στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα.

Από τις απαντήσεις των μαθητών/τριών σχετικά με το αν πιστεύουν ότι η τρισδιάστατη σχεδίαση είναι ένα δύσκολο αντικείμενο για αυτούς, παρατηρούμε από το Σχήμα 3 κάποια επιφυλακτικότητα πριν από τα μαθήματα, η οποία στο τέλος έχει ελαττωθεί για το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών/τριών. Το 80% δηλώνει ότι η τρισδιάστατη σχεδίαση δεν είναι καθόλου δύσκολη για αυτούς, ενώ αρχικά οι μισοί περίπου πίστευαν ότι θα ήταν λίγο δύσκολη με το 40% μέτρια δύσκολη, πράγμα που δείχνει ότι εκτιμούν ότι μετά το τέλος αισθάνονται σιγουριά για την σχεδιαστική ικανότητα τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Αντιλήψεις των μαθητών για το αν η τρισδιάστατη σχεδίαση θα είναι δύσκολο αντικείμενο για αυτούς.

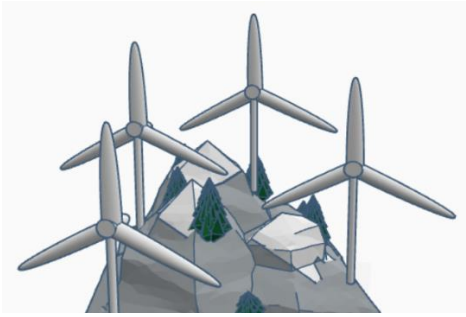


Σχήμα 4. Αντιλήψεις των μαθητών για το αν η χρήση τρισδιάστατων μοντέλων βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση των μαθημάτων.

Από το Σχήμα 4 προκύπτει ότι οι περισσότεροι μαθητές θεωρούν χρήσιμα τα τρισδιάστατα μοντέλα για την κατανόηση των διδασκόμενων εννοιών, αν και το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών δηλώνουν ότι μόνο ελάχιστοι από τους εκπαιδευτικούς τους χρησιμοποιούν τρισδιάστατα μοντέλα στα μαθήματα που τους διδάσκουν.

Παρατηρήσεις από τα έργα των μαθητών

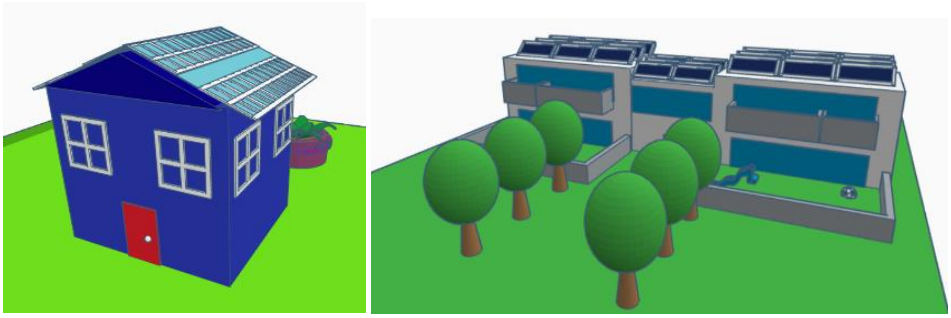
Από την έρευνα που πραγματοποίησαν οι μαθητές και μαθήτριες για τα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε σήμερα κατανόησαν ότι προβλήματα, όπως η κλιματική αλλαγή, η πλαστική ρύπανση, η πανδημία, η κοινωνική ανισότητα, έμφυλες ανισότητες κ.λπ. αποτελούν θέματα της αειφόρου ανάπτυξης. Ερεύνησαν επίσης τι χρειάζεται μια αειφόρος πόλη και βρήκαν μεταξύ άλλων ότι χρειάζεται να χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, νερό, πράσινο και πάρκα, βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτηρίων, και τοπική παραγωγή και κατανάλωση. Για το λόγο αυτό σχεδίασαν ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα (Σχήμα 5), σπίτια με φωτοβολταϊκά ή ηλιακούς θερμοσίφωνες (Σχήμα 6), πάρκα, καθιστικά και παιδικές χαρές, λίμνες και σιντριβάνια, βιοκλιματικά σπίτια (Σχήμα 7), κλπ. Ενδεικτικά παρουσιάζονται μερικά από τα σχέδια.



Σχήμα 5. Παράδειγμα από το σχεδιασμό των αιολικών πάρκων.

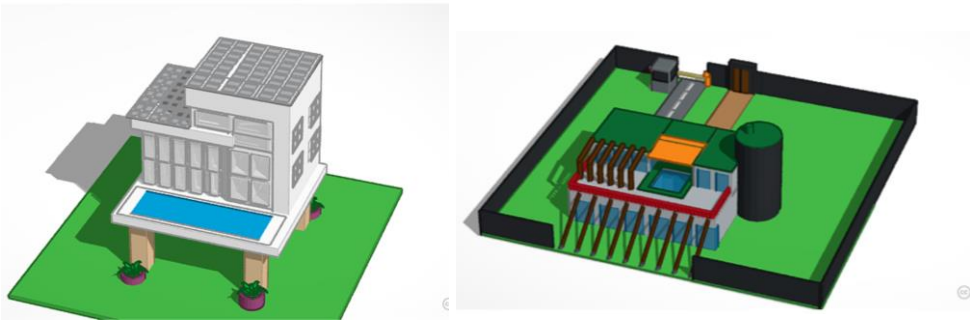
Ερεύνησαν στο διαδίκτυο για τις ανεμογεννήτριες και εντυπωσιάστηκαν από το μέγεθός τους σε σχέση με τον άνθρωπο, προβληματίστηκαν για τις τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν στα βουνά για την εγκατάστασή τους, αλλά κρίνοντας απαραίτητες επείγουσες δράσεις για να αντιμετωπιστεί η κλιματική αλλαγή θεωρούν ότι οι αειφόρες πόλεις χρειάζονται και ανεμογεννήτριες που θα μπορούν τα τις τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια, σύμφωνα με τις απόψεις των ειδικών (Σχήμα 5).

Διερεύνησαν επίσης τη σημασία της ηλιακής ενέργειας, ιδιαίτερα για μια χώρα με πολλή ηλιοφάνεια, όπως η Ελλάδα. Για το λόγο αυτό σχεδίασαν σπίτια με ηλιακούς θερμοσίφωνες ή φωτοβολταϊκά, παραδείγματα από τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6. Παραδείγματα από το σχεδιασμό σπιτιών που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Μελέτησαν ακόμη τη σημασία της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Ανέτρεξαν στην περιγραφή του σπιτιού του Σωκράτη, όπως παρουσιάζεται στα Απομνημονεύματα του Ξενοφώντα (Συγγραφείς 2019a, 2019b) και συνειδητοποίησαν τη σημασία του προσανατολισμού των σπιτιών με τα μεγάλα ανοίγματα στο Νότο, ώστε να μπαίνουν οι ακτίνες του ήλιου το καλοκαίρι και να θερμαίνουν το σπίτι και μικρά παράθυρα στο Βορρά, ώστε να μη υπάρχουν μεγάλες απώλειες της θερμότητας και να προστατεύεται το σπίτι από τους ψυχρούς χειμερινούς ανέμους. Αυτές οι αρχές χρησιμοποιήθηκαν για να σχεδιάσουν οι μαθητές σύγχρονα σπίτια, με ενδεικτικά παραδείγματα στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7. Παραδείγματα από το σχεδιασμό βιοκλιματικών σπιτιών.

Τρεις ομάδες των 4 ατόμων παρουσίασαν την έρευνα και τις δημιουργίες τους στο 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη 3D Σχεδίαση και Εκτύπωση διαδικτυακά τον Μάρτιο 2022.

Αν και τα έργα των μαθητών θα παρουσιαστούν αναλυτικά σε επόμενη δημοσίευση, θα μπορούσαμε ως γενική παρατήρηση να προσθέσουμε ότι αξιοποίησαν δημιουργικά τις σχεδιαστικές δυνατότητες της πλατφόρμας Tinkercad για να παρουσιάσουν τις ιδέες τους. Δημιούργησαν πρωτότυπες κατασκευές, ακολουθώντας τις αρχές αισθητικής και σύνθεσης, χρωματικά αρμονικές και με σωστές αναλογίες.

Συμπεράσματα

Από τη λειτουργία του ομίλου τρισδιάστατης σχεδίασης φάνηκε ότι οι μαθητές έδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον και συμμετείχαν με ζήλο όλη τη χρονιά. Δυσκολεύτηκαν λίγο στην αρχή τόσο με την εκμάθηση της πλατφόρμας του Tinkercad, όσο και με την διαφορετική λογική της τρισδιάστατης σχεδίασης σε σχέση με τον τρόπο που σχεδιασμού με χαρτί και μολύβι, δηλαδή έπρεπε να χρησιμοποιήσουν τρισδιάστατα αντικείμενα και προσθέτοντας ή αφαιρώντας όγκους να δημιουργήσουν το επιθυμητό αντικείμενο, αλλά φάνηκε ότι κατάφεραν τόσο να μάθουν το σχεδιαστικό πρόγραμμα, όσο και να εκφράσουν τις σχεδιαστικές τους λύσεις (Chester, 2007; Buckley, Seery, & Canty, 2018).

Το Tinkercad αποδείχθηκε κατάλληλο για τη γρήγορη εξοικείωση των μαθητών με τη τρισδιάστατη σχεδίαση. Η προσαρμογή τους βοηθήθηκε από τη σταδιακή εκμάθηση των εντολών και των δυνατοτήτων που προσφέρει η πλατφόρμα. Έτσι ξεκίνησαν από απλά τεχνουργήματα που συνδέονται με την καθημερινή ζωή ή με την κοινωνική ζωή και προχώρησαν σε πιο σύνθετα όπως μια παιδική χαρά, μια αειφόρος πλατεία ή γειτονιά. Ευχάριστη έκπληξη αποτέλεσε η πρωτοβουλία που ανέλαβαν πολλοί μαθητές να σχεδιάσουν στο Tinkercad για να εξηγήσουν τις ιδέες τους για τα μαθήματα του σχολείου τους στα πλαίσια των εργασιών τους όπως στο μάθημα της Τεχνολογίας, αλλά και της Ιστορίας με τη σχεδίαση ιστορικών τεχνουργημάτων όπως ασπίδες. Επιπλέον, οι μαθητές/τριες σχεδίαζαν συχνά αντικείμενα του δικού τους ενδιαφέροντος για τη δική τους ευχαρίστηση.

Η αειφόρος ανάπτυξη αποτέλεσε κατάλληλη επιλογή ως βασική θεματική, αν και θα μπορούσε να επιλεγεί οποιαδήποτε άλλη θεματική που να αφορά σύγχρονα προβλήματα αλλά με τον κατάλληλο εκπαιδευτικό σχεδιασμό (Van den Akker et al., 2006), ώστε να προσελκύσει το ενδιαφέρον των μαθητών να παράγουν λύσεις αναπτύσσοντας τη δημιουργικότητά τους και την σχεδιαστική και κριτική τους σκέψη. Ήδη βρισκόμαστε στο εκπαιδευτικό σχεδιασμό της επόμενης σχολικής χρονιάς που θα αναφέρεται στην κυκλική οικονομία.

Η οργάνωση και διεξαγωγή των μαθημάτων καθώς και ο σχεδιασμός της ύλης αποδείχτηκαν σωστά αφού βοήθησε τους μαθητές να εισαχθούν σε ένα καινούργιο σύνθετο αντικείμενο στο οποίο έπρεπε να μάθουν να το χειρίζονται (Chester, 2007; Buckley, Seery, & Canty, 2018) για να μπορέσουν να αναπτύξουν δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων (Chester, 2007; Leisney & Brandt-Pomares, 2015), να εκφραστούν δημιουργικά και να επικοινωνήσουν τις ιδέες τους με τα υπόλοιπα παιδιά του ομίλου αλλά και σε άλλα μαθήματα. Επίσης συμμετείχαν σε Πανελλήνιο Συνέδριο όπου παρουσίασαν θεματικά έργα του ομίλου. Μέσα από τη τρισδιάστατη σχεδίαση ανάπτυξαν συνεπώς τις δεξιότητες του 21ου αιώνα (Hite & McIntosh, 2020) αλλά, όπως δήλωσαν κάποια παιδιά, νιώθουν ότι κατέχουν ένα μέσο επικοινωνίας για να εκφράσουν τις ιδέες τους, γεγονός που αύξησε και την αυτοεκτίμησή τους.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Bekessy, S., Burgman, M., Wright, T., Leal Filho, W., & Smith, M. (2003). *Universities and sustainability*. Carlton, VIC: Tela Series, Australian Conservation Foundation.

Berry, R.Q., Bull, G., Browning, C., Thomas, C.D., Starkweather, G., Aylor, J. (2010). Use of digital fabrication to incorporate engineering design principles in elementary mathematics education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, *10*(2), 167–172.

Bøhn, J.H. (1997). Integrating rapid prototyping into the engineering curriculum - a case study. *Rapid Prototyping Journal*, *3*(1), 32–37.

Buckley, J., Seery, N., & Canty, D. (2018). Heuristics and CAD modelling: an examination of student behaviour during problem solving episodes within CAD modelling activities. *International Journal of Technology and Design Education*, *28*(4), 939-956.

Celani, G. (2012) Digital fabrication laboratories: pedagogy and impacts on architectural education, *Nexus Network Journal*, *14*(3), (2012) 469–482, https://doi.org/10.1007/s00004-012-0120-x.

Canessa, E., Fonda, C., & Zennaro, M. (2013). *Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development*. Trieste, Italy: ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.

Cavanaugh, T. & Eastham, N. (2017). The 3D Printer as Assistive Technology. In P. Resta & S. Smith (Eds.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, (pp. 95-102). Retrieved from https://www.learntechlib.org/p/177280.

Chester, I. (2007). Teaching for CAD expertise. *International Journal of Technology and Design Education*, *17*(1), 23-35.

Christie, B.A., Miller, K.K., Cooke, R., & White, J.G. (2013). Environmental sustainability in higher education: how do academics teach? *Environmental Education Research*, *19*(3), 385-414.

Chun, H. (2021). A Study on the Impact of 3D Printing and Artificial Intelligence on Education and Learning Process. *Scientific Programming*, 2021. https://doi.org/10.1155/2021/2247346

Cortese, A., & Hattan, A.S. (2010). Education for sustainability as the mission of higher education. *Sustainability, 3*(1), 48–52.

Dillon, P.J. & Gayford, C.G. (1997). A Psychometric Approach to Investigating the Environmental Beliefs, Intentions and Behaviours of Pre-service Teachers. *Environmental Education Research*, *3*(3), 283-297.

Engeström, Y. (1987). *Learning by expanding. An activity-theoretical approach to developmental research*. Helsinki: Orienta-Konsultit Oy.

Engeström, Y., & Sannino, A. (2010). Studies of expansive learning: Foundations, findings and future challenges. *Educational Research Review*, *5*, 1–24.

Ford, S., & Minshalla, T. (2019). Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, *25*, 131–150.

Griffey, J. (2014). The types of 3-D printing. *Library Technology Reports*, *50*(5), 8-12.

Hite, P., & McIntosh, A. (2020). The Affordances of 3D Mixed Reality in Cultivating Secondary Students' Non-Cognitive Skills Use and Development in the Engineering Design Process. In R. Z. Zheng (ed), *Cognitive and affective perspectives on immersive technology in education*, Hershey, Pennsylvania: IGI Global

Holdsworth, S., Wyborn, C., Bekessy, S., & Thomas, I. (2008). Professional development for education for sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, *9*(2), 131-146.

Horowitz, S.S., & Schultz, P.H. (2014). Printing space: using 3D printing of digital terrain models in geosciences education and research. *Journal of Geoscience Education*, *62*(1) 138–145.

Kelly, A. E., Baek, J. Y., Lesh, R. A., & Bannan-Ritland, B. (2008). Enabling Innovations in Education and Systematizing their Impact. In A.E. Kelly, R.A. Lesh, & J. Baek (Eds.), *Handbook of design research methods in education: Innovations in science, technology, mathematics and engineering* (pp. 3-18). Mahway, NJ: Taylor & Francis.

Kolitsky, M. (2014). 3D printed tactile learning objects: proof of concept. *Journal of Blindness Innovation and Research*, *4*(1), 4-51.

Lee, M.; Yun, J.; Pyka, A.; Won, D.; Kodama, F.; Schiuma, G.; Yan, M.R. (2018). How to respond to the Fourth Industrial Revolution, or the Second Information Technology Revolution? Dynamic new combinations between technology, market, and society through open innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, *4*(3), 21.

Leinonen, T., Virnes, M., Hietala, I. & Brinck, J. (2021). 3D Printing in the Wild: Adopting Digital Fabrication in Elementary School Education. *International Journal of Art & Design Education*, *39*(3), 600-615. https://doi.org/10.1111/jade.12310

Laisney, P., & Brandt-Pomares, P. (2015). Role of graphics in the learning design process. *International Journal of Technology and Design Education*, *25*(1), 109-119.

López, Á., & Ibáñez, E. (2021). Challenges of Education in the 4th Industrial Revolution. In Miller K., Wendt, K. (eds), *The Fourth Industrial Revolution and Its Impact on Ethics. Sustainable Finance*. Cham, Switzerland: Springer.

McKeown, R. (2014). The Leading Edge of Teacher Education and ESD. *Journal of Education for Sustainable Development*, *8*(2), 127–131.

Maynard, A. (2015). Navigating the fourth industrial revolution. *Nature Nanotechnology*, 10, 1005–1006.

Paio, A., Eloy, S., Rato, V.M., Resende, R., de Oliveira, M. J. (2012). Prototyping Vitruvius, New Challenges: Digital Education, Research and Practice. *Nexus Network Journal*, *14*, 409–429.

Pereira Pessôa, M. V., & Jauregui Becker, J. M. (2020). Smart design engineering: a literature review of the impact of the 4th industrial revolution on product design and development. *Research in Engineering Design*, *31*, 175–195.

Philbeck, T., & Davis, N. (2019). The Fourth Industrial Revolution: Shaping A New Era. *Journal of International Affairs*. Retrieved from https://jia.sipa.columbia.edu/fourth-industrial-revolution-shaping-new-era

Pitsis, T. S., Beckman, S. L., Steinert, M., Oviedo, L., & Meisch, B. (2020). Designing the Future: Strategy, Design, and the 4th Industrial Revolution—An Introduction to the Special Issue. *California Management Review*, *62*(2), 5-11.

Plomp, T. (2013). Educational Design Research: An Introduction. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *Educational Design Research*. Enschede, the Netherlands: Netherlands Institute for Curriculum Development (SLO).

Rooks, A. (2017). The democratization of manufacturing. Machinery, software and services all have starring roles. Retrieved from https://www.sme.org/the-democratization-of-manufacturing.

Steenhuis, H.-J., Fang, X., & Ulusemre, T. (2020). Global Diffusion of Innovation during the Fourth Industrial Revolution: The Case of Additive Manufacturing or 3D Printing. *International Journal of Innovation and Technology Management*, *17*(1), 2050005.

Stamper, R. E., Dekker, D. L. (2000). Utilizing rapid prototyping to enhance undergraduate engineering education. *30th Annual Frontiers in Education Conference. Building on A Century of Progress in Engineering Education*. Conference Proceedings (IEEE Cat. No.00CH37135), pp. F3C/1-F3C/4(2).

Stier, K., Brown, R. (2000). Integrating rapid prototyping technology into the curriculum. *Journal of Industrial Technology*, *17*(1), 1–6.

UNESCO. (2005). *United Nations decade of education for sustainable development (2005–2014): International implementation scheme*. Paris: UNESCO.

Van den Akker, J., Gravemeijer, K, McKenney, S. & Nieveen, N. (Eds.). (2006). *Educational design research*. London: Routledge.

World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.

Κανονισμός λειτουργίας ομίλων (2020). *Κανονισμός λειτουργίας ομίλων αριστείας, δημιουργικότητας και καινοτομίας και τμημάτων ενισχυτικής διδασκαλίας στα Πρότυπα και Πειραματικά Σχολεία*. Ανακτήθηκε από http://dide.ira.sch.gr/new/ekpedevtika-themata/ekp200910b/