



Τελική Έκθεση

της Υλοποίησης του έργου VR4Clima

Επιμέλεια από το Εργαστήριο Ευφύων Συστημάτων του
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Λαμία, 2026

Ο παρών Οδηγός δημοσιεύεται στο πλαίσιο του έργου «Climate Change and Natural Disasters Awareness Raising using Virtual Worlds – VR4Clima», το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα Erasmus+ της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2023-1-EL01-KA220-SCH-000155463).

Τίτλος

Τελική Έκθεση για την Υλοποίηση του Έργου VR4Clima

Έτος

2026

Εκδότης

Αθανάσιος Κακαρούνας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Ελλάδα

Αγγελική Καραγεωργοπούλου, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Ελλάδα

Αξιολογητές

Jovana Jankov, Κέντρο Προώθησης της Επιστήμης, Σερβία

Μανώλης Βουτσάκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ελλάδα

Sonal Ahuja, VRAcademi Limited, Ιρλανδία

Μαρία Ζαρκάδα, 16^ο Πειραματικό Δημοτικό Σχολείο Λαμίας, Ελλάδα

Natalia Budinski, Σχολείο Petro Kuzmjak, Σερβία

Σχεδιασμός και σελιδοποίηση

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Ελλάδα

Άδεια

CREATIVE COMMONS BY-NC-SA 4.0 DEED

Αναφορά Δημιουργού – Μη Εμπορική Χρήση – Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές

Είστε ελεύθεροι να:

- **Κοινοποίηση (Share)** – αντιγράψτε και αναδιανείμετε το υλικό σε οποιοδήποτε μέσο ή μορφή.
- **Προσαρμογή (Adapt)** – αναμείξτε, τροποποιήστε, μετασχηματίστε και δημιουργήστε νέο υλικό βασισμένο στο αρχικό.
- Ο δικαιούχος δεν μπορεί να ανακαλέσει αυτές τις ελευθερίες, εφόσον τηρείτε τους όρους της άδειας.

Υπό τους ακόλουθους όρους:

- **Αναφορά Δημιουργού (Attribution)** – Πρέπει να παρέχετε [κατάλληλη αναφορά](#), να συμπεριλάβετε σύνδεσμο προς την άδεια και να [αναφέρετε αν έχουν γίνει τροποποιήσεις](#). Μπορείτε να το κάνετε με οποιονδήποτε εύλογο τρόπο, αλλά όχι με τρόπο που να υποδηλώνει ότι ο δικαιοπάροχος εγκρίνει εσάς ή τη χρήση του υλικού από εσάς.
- **Μη Εμπορική Χρήση (NonCommercial)** – Δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιείτε το υλικό για [εμπορικούς σκοπούς](#).
- **Παρόμοια Διανομή (ShareAlike)** – Εάν αναμείξετε, τροποποιήσετε, μετασχηματίσετε ή αναπτύξετε το υλικό, πρέπει να διανεμίετε τις δικές σας συνεισφορές με την [ίδια άδεια](#) με την αρχική.
- **Χωρίς πρόσθετους περιορισμούς (No additional restrictions)** – Δεν επιτρέπεται να επιβάλλετε νομικούς ή [τεχνολογικούς](#) περιορισμούς που εμποδίζουν νομικά άλλους να κάνουν οτιδήποτε επιτρέπει η άδεια.

Σημειώσεις:

- Δεν απαιτείται να συμμορφώνεστε με την άδεια για υλικό που ανήκει στο **δημόσιο κτήμα** ή όταν η χρήση σας επιτρέπεται από εφαρμοζόμενη [εξαίρεση ή περιορισμό](#).
- **Δεν παρέχεται καμία εγγύηση.** Η άδεια ενδέχεται να μην σας παρέχει όλες τις απαραίτητες εξουσιοδοτήσεις για τη χρήση που επιθυμείτε. Για παράδειγμα, άλλα δικαιώματα, όπως τα [δικαιώματα δημοσιότητας, ιδιωτικότητας ή ηθικά δικαιώματα](#), ενδέχεται να περιορίζουν τη χρήση του υλικού.

Αποποίηση ευθύνης: Το έργο χρηματοδοτήθηκε με την υποστήριξη της **Ευρωπαϊκής Επιτροπής**. Η παρούσα δημοσίευση εκφράζει αποκλειστικά τις απόψεις του συγγραφέα και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτήν.

Αριθμός έργου: 2023-1-EL01-KA220-SCH-000155463

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή και Πλαίσιο Εκπαιδευτικής Πολιτικής	6
1.1. Υπόβαθρο του Έργου	6
1.2. Η Επιτακτική Ανάγκη για Εκπαιδευτική Αλλαγή	7
1.2.1. Κάνοντας το Αόρατο Ορατό	7
1.2.2. Φέρνοντας τις Παγκόσμιες Κρίσεις στη Σχολική Τάξη	7
1.2.3. Ενίσχυση της Συμμετοχής στην Τάξη και της Ακαδημαϊκής Επίδοσης	8
1.3. Ο Ρόλος των Πιλοτικών Δοκιμών στη Διαμόρφωση Εκπαιδευτικής Πολιτικής	8
1.4. Πεδίο και Στόχοι της Έρευνας	10
Κεφάλαιο 2: Εννοιολογικό Πλαίσιο: 3D Σχεδιασμός και Εικονική Πραγματικότητα στην Τάξη	11
2.1. Παιδαγωγικές Προσεγγίσεις: Πώς ο 3D Σχεδιασμός και η Εικονική Πραγματικότητα συμπληρώνουν τα παραδοσιακά μαθήματα STEM.....	11
2.2. Ανασκόπηση της Βιβλιογραφίας: Πλεονεκτήματα και Πιθανά Μειονεκτήματα της XR (Εκτεταμένης Πραγματικότητας) στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση με βάση την Υφιστάμενη Έρευνα.....	12
2.2.1. Παιδαγωγικά Οφέλη και Πλεονεκτήματα.....	13
2.2.2. Λειτουργικές Αδυναμίες και Προκλήσεις Εφαρμογής.....	14
2.3. Πλαίσιο Ενσωμάτωσης: Πώς η τεχνολογία ενσωματώθηκε στην καθημερινή σχολική πρακτική των συνεργαζόμενων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων	15
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία και Συλλογή Δεδομένων	19
Συλλογή ποσοτικών δεδομένων	19
Συλλογή ποιοτικών δεδομένων	20
Κεφάλαιο 4: Ανάλυση των Δραστηριοτήτων και της Υλοποίησης του Έργου	21
4.1. Χρονολογική Περιγραφή των Δραστηριοτήτων.....	21
4.2. Βαθμός Επιτυχίας ανά Δραστηριότητα.....	22
4.2.1. Ανάπτυξη και Αξιοποίηση του 3D Παιχνιδιού για τη Βιωσιμότητα και του Ψηφιακού Υλικού	22
4.2.2. Το VR Course και Επιμόρφωση Εκπαιδευτικών	23
4.2.3. Ο Ευρωπαϊκός Σχολικός Διαγωνισμός και το Αρχείο Εικονικών Κόσμων.....	24
4.3. Σύνθεση των Εκθέσεων των Σχολείων	24
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα Αξιολόγησης και Βασικά Ευρήματα	28
5.1. Επίδραση στη Μαθησιακή Επίδοση των Μαθητών και στις Επιδόσεις στα μαθήματα STEM.....	28
5.2. Αντιλήψεις Εκπαιδευτικών και Μαθητών.....	29
5.3. Ολοκληρωμένη Ανάλυση SWOT	31
Κεφάλαιο 6: Στρατηγικές Συστάσεις για τους Υπευθύνους Χάραξης Εκπαιδευτικής Πολιτικής	35

6.1. Ενσωμάτωση στο Αναλυτικό Πρόγραμμα: Πώς να συνδεθούν άμεσα οι δραστηριότητες 3D/VR με τα εθνικά προγράμματα STEM	35
6.2. Υποδομές και Χρηματοδότηση	36
6.3. Επαγγελματική Ανάπτυξη και Επιμόρφωση των Εκπαιδευτικών	37
6.4. Προτάσεις για τη Βελτίωση του Έργου	38
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και Στρατηγική Διάχυσης.....	39
7.1. Τελικές Παρατηρήσεις: Η Εικονική Πραγματικότητα ως Όχημα για την Εκπαιδευτική Εξέλιξη	39
7.2. Σχέδιο Διάχυσης: Ακαδημαϊκά, Κοινωνικά και Πολιτικά Κανάλια.....	40
Βιβλιογραφικές Αναφορές	41

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή και Πλαίσιο Εκπαιδευτικής Πολιτικής

1.1. Υπόβαθρο του Έργου

Το έργο Erasmus+ «Climate Change Awareness using Virtual Worlds – VR4Clima» δημιουργήθηκε με στόχο να αντιμετωπίσει τις κρίσιμες και αλληλένδετες προκλήσεις της εκπαίδευσης για την κλιματική αλλαγή και του ψηφιακού μετασχηματισμού των ευρωπαϊκών σχολικών αναλυτικών προγραμμάτων. Αναπτύχθηκε από εταίρους που προέρχονται από χώρες οι οποίες έχουν πληγεί σημαντικά από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και τις φυσικές καταστροφές, όπως πλημμύρες, δασικές πυρκαγιές και εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας. Κύριος στόχος του έργου είναι η καλλιέργεια του περιβαλλοντικού εγγραμματισμού και της αίσθησης ενεργού πολιτειότητας και ευθύνης των μαθητών σε σχέση με τη βιώσιμη ανάπτυξη και τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Το έργο επιδιώκει να μετατρέψει τη συναισθηματική επιβάρυνση και το άγχος που βιώνουν οι μαθητές εξαιτίας των φυσικών καταστροφών σε δημιουργική και προσανατολισμένη στην εξεύρεση λύσεων περιβαλλοντική δράση. Βασικός στόχος είναι ο περιορισμός του άγχους που συνδέεται με τις φυσικές καταστροφές και η αντικατάστασή του από μια αίσθηση ενδυνάμωσης, συμμετοχής και ενεργού πολιτειότητας, αξιοποιώντας τις τεχνολογίες εμπύθισης ως μέσο για την επίτευξή του και εμπλουτίζοντας το σχολικό αναλυτικό πρόγραμμα με κατάλληλες διδακτικές ενότητες και δραστηριότητες. Μέσα από το συγκεκριμένο εκπαιδευτικό πλαίσιο, οι μαθητές μαθαίνουν ότι δεν είναι ανήμποροι απέναντι στις φυσικές καταστροφές. Αντίθετα, αποκτούν τις απαραίτητες γνώσεις, δεξιότητες και στρατηγικές πρόληψης και ασφάλειας, ώστε να μπορούν να ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα σε ακραία καιρικά φαινόμενα, να προστατεύουν τον εαυτό τους και να συμβάλλουν στην προστασία της κοινότητάς τους.

Συγκεκριμένα, το έργο επιδιώκει να:

- **Ενισχύσει την Περιβαλλοντική Υπευθυνότητα:** Να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν ότι η προστασία του περιβάλλοντος δεν αποτελεί απλώς μια προαιρετική επιλογή, αλλά απαραίτητη προϋπόθεση για την ασφάλεια και την ευημερία των τοπικών τους κοινοτήτων.
- **Ενθαρρύνει Βιώσιμες Καθημερινές Συνήθειες:** Να καθοδηγήσει τους μαθητές να εξετάζουν προσεκτικά τις καθημερινές τους συνήθειες, να αξιολογούν τον περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο και να εντοπίζουν πρακτικές που επιβαρύνουν το περιβάλλον. Στη συνέχεια, να τους ενθαρρύνει να επιλέγουν φιλικότερες προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις, συμβάλλοντας στη μείωση του ανθρακικού τους αποτυπώματος.
- **Ενδυναμώνει τον Μαθητικό Σχεδιασμό:** Να διδάξει στους μαθητές να παρατηρούν και να αξιολογούν κριτικά το άμεσο περιβάλλον τους. Μέσα από τον σχεδιασμό βιώσιμων παρεμβάσεων στις σχολικές τους αυλές, οι μαθητές

μαθαίνουν πώς μπορούν να αναλαμβάνουν ενεργό ρόλο στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στη δημιουργία ασφαλέστερων και πιο βιώσιμων χώρων.

1.2. Η Επιτακτική Ανάγκη για Εκπαιδευτική Αλλαγή

Τα παραδοσιακά σχολικά εγχειρίδια και τα μαθήματα που βασίζονται κυρίως στη διάλεξη συχνά αδυνατούν να ανταποκριθούν αποτελεσματικά στη διδασκαλία αφηρημένων και σύνθετων συστημικών επιστημονικών εννοιών. Προκειμένου οι μαθητές να κατανοήσουν ουσιαστικά τα σύγχρονα αντικείμενα STEM και την πολυπλοκότητα της κλιματικής αλλαγής, η εκπαιδευτική διαδικασία χρειάζεται να μετατοπιστεί από την παθητική ακρόαση στην ενεργητική και χωρική διερεύνηση. Η 3D σχεδίαση και η Εικονική Πραγματικότητα (VR) αναδεικνύονται σε σημαντικά εργαλεία για την υποστήριξη αυτής της μετάβασης.

1.2.1. Κάνοντας το Αόρατο Ορατό

Μία σημαντική πρόκληση στην εκπαίδευση STEM είναι ότι πολλές βασικές έννοιες δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι, είτε πρόκειται για μικροσκοπικούς χημικούς δεσμούς είτε για σύνθετες αρχιτεκτονικές γεωμετρίες. Οι τεχνολογίες εμβύθισης αντιμετωπίζουν αυτή την πρόκληση, επιτρέποντας στους μαθητές να αλληλεπιδρούν με τρισδιάστατα μοντέλα από διαφορετικές οπτικές γωνίες, ενισχύοντας σημαντικά τη χωρική αντίληψη και τη μακροπρόθεσμη συγκράτηση της γνώσης (Markowitz et al., 2018).

Επιπλέον, όταν οι μαθητές μεταβαίνουν από την απλή παρακολούθηση μιας οθόνης στη δημιουργία τρισδιάστατων περιβαλλόντων, καλούνται να υιοθετήσουν μια διεπιστημονική προσέγγιση. Η δημιουργία ενός βιώσιμου μοντέλου —όπως η αναδιαμόρφωση μιας σχολικής αυλής— απαιτεί ταυτόχρονη κατανόηση των μαθηματικών, της φυσικής και της οικολογίας, μετατρέποντας έτσι τις αφηρημένες έννοιες και τους τύπους σε πρακτικές και δημιουργικές δραστηριότητες επίλυσης προβλημάτων (Huang et al., 2023).

1.2.2. Φέρνοντας τις Παγκόσμιες Κρίσεις στη Σχολική Τάξη

Η κλιματική αλλαγή θεωρείται ένα δύσκολο αντικείμενο στη διδασκαλία, καθώς οι επιπτώσεις της είναι συχνά αργές, μακροπρόθεσμες και γεωγραφικά απομακρυσμένες από την καθημερινή ζωή των μαθητών. Η εικονική πραγματικότητα (VR) λειτουργεί αποτελεσματικά ως μια ψηφιακή εκπαιδευτική επίσκεψη, συμπυκνώνοντας τον χρόνο και τον χώρο.

Έρευνες δείχνουν ότι η δυνατότητα των μαθητών να βιώνουν εικονικά τις άμεσες και προσομοιωμένες επιπτώσεις της περιβαλλοντικής υποβάθμισης οδηγεί σε μετρήσιμη αύξηση των επιστημονικών γνώσεων και σε βαθύτερη περιέργεια και ενδιαφέρον για τα περιβαλλοντικά δεδομένα (Markowitz et al., 2018). Μέσω της άμεσης οπτικοποίησης αυτών των σύνθετων οικοσυστημάτων, οι μαθητές αναπτύσσουν ισχυρότερη προσωπική σύνδεση και ενσυναίσθηση απέναντι στα περιβαλλοντικά

ζητήματα, γεγονός που συμβάλλει στη μετατροπή της παθητικής ανησυχίας σε ενεργό συμμετοχή και δράση στην κοινότητα (Carmona-Galindo et al., 2025).

1.2.3. Ενίσχυση της Συμμετοχής στην Τάξη και της Ακαδημαϊκής Επίδοσης

Η διατήρηση υψηλού επιπέδου μαθητικής συμμετοχής σε απαιτητικά αντικείμενα STEM αποτελεί διαρκή πρόκληση για τους εκπαιδευτικούς. Η εισαγωγή διαδραστικών στοιχείων και περιβαλλόντων εμπυθιστικής μάθησης καθιστά αυτά τα σύνθετα αντικείμενα λιγότερο απαιτητικά και πιο προσιτά στους μαθητές, ενισχύοντας φυσικά το κίνητρο για μάθηση και ενθαρρύνοντας την αποτελεσματικότερη συνεργασία στην τάξη (Alnuaimi, 2025).

Αυτή η αλλαγή στη συμμετοχή των μαθητών μεταφράζεται άμεσα και σε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα. Πρόσφατες μελέτες σε σχολικές τάξεις, που συγκρίνουν τα εργαλεία εμπυθιστικής μάθησης με τις συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας, δείχνουν ότι οι μαθητές που χρησιμοποιούν VR και AR επιτυγχάνουν στατιστικά υψηλότερες επιδόσεις σε δοκιμασίες μετά την παρέμβαση. Αυτό καταδεικνύει ότι τα ψηφιακά εργαλεία μπορούν να ενισχύσουν άμεσα την ακαδημαϊκή επίδοση, όταν εφαρμόζονται με τον κατάλληλο παιδαγωγικό σχεδιασμό (Pireva Nuci, 2026).

Τελικά, προκειμένου αυτές οι τεχνολογίες να αποτελέσουν μόνιμο μέρος της δημόσιας εκπαίδευσης και όχι μια προσωρινή τάση, θα πρέπει να είναι στενά ευθυγραμμισμένες με τα ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα σπουδών και να υποστηρίζονται από κατάλληλη επιμόρφωση των εκπαιδευτικών (Ward, 2025). Αυτό αναδεικνύει την αξία πιλοτικών έργων όπως το **VR4Clima**, τα οποία παρέχουν τεκμηριωμένα στοιχεία από την πραγματική εκπαιδευτική εφαρμογή, που είναι απαραίτητα για τα Υπουργεία Παιδείας πριν από την υλοποίηση ευρύτερων μεταρρυθμίσεων στα αναλυτικά προγράμματα.

1.3. Ο Ρόλος των Πιλοτικών Δοκιμών στη Διαμόρφωση Εκπαιδευτικής Πολιτικής

Κατά τον σχεδιασμό μεταρρυθμίσεων μεγάλης κλίμακας στην εκπαίδευση, τα υπουργεία και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής αντιμετωπίζουν μια σημαντική πρόκληση: πώς μπορούν να εισαγάγουν καινοτόμες διδακτικές μεθόδους χωρίς να διαταράξουν ένα ήδη λειτουργικό και οργανωμένο σχολικό σύστημα. Στη σύγχρονη εκπαιδευτική διακυβέρνηση, οι πιλοτικές εφαρμογές αποτελούν έναν βασικό μηχανισμό για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης. Αντί για εκτεταμένες, από πάνω προς τα κάτω αλλαγές, οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν ευρύτερες θεσμικές δυσκολίες, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής βασίζονται ολοένα και περισσότερο σε τοπικά και περιορισμένης κλίμακας πιλοτικά προγράμματα, προκειμένου να συγκεντρώσουν εμπειρικά δεδομένα, να αξιολογήσουν τη βιωσιμότητα της εφαρμογής και να συλλέξουν την απαραίτητη ανατροφοδότηση από τους εμπλεκόμενους φορείς, πριν από την ενσωμάτωση μιας νέας προσέγγισης στην εθνική νομοθεσία.

Ιστορικά, σημαντικές επενδύσεις στην εκπαίδευση επικεντρώθηκαν σε μεγάλο βαθμό στην προμήθεια υλικοτεχνικού εξοπλισμού και στην ανάπτυξη ψηφιακών υποδομών, χωρίς να έχει προηγουμένως επιβεβαιωθεί κατά πόσο τα εργαλεία αυτά μεταφράζονται

πράγματι σε βελτιωμένες επιδόσεις στην τάξη (Greaney, n.d.). Οι πιλοτικές μελέτες δίνουν τη δυνατότητα στους αρμόδιους φορείς να δοκιμάσουν νέες μεθοδολογίες σε ελεγχόμενο και περιορισμένης κλίμακας περιβάλλον, πριν δεσμεύσουν σημαντικούς δημόσιους πόρους.

Μέσω της διεξαγωγής προκαταρκτικών δοκιμών σε επιλεγμένα σχολεία, οι ερευνητικές ομάδες μπορούν να αξιολογήσουν άμεσα τον αντίκτυπο μιας καινοτομίας σε συγκεκριμένες ομάδες μαθητών (Beets et al., 2021). Αυτή η προσέγγιση, βασισμένη σε δεδομένα, διασφαλίζει ότι οι δημόσιοι πόροι κατευθύνονται σε προγράμματα που διαθέτουν τεκμηριωμένη απόδειξη της αποτελεσματικότητάς τους, προστατεύοντας τόσο τα δημόσια κονδύλια όσο και τον πολύτιμο διδακτικό χρόνο των μαθητών από τις συνέπειες μιας βεβιασμένης εφαρμογής σε εθνική κλίμακα.

Μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες μιας πιλοτικής μελέτης είναι ο εντοπισμός αυτού που οι ερευνητές αποκαλούν «πτώση τάσης» (voltage drop) — ένα συχνό φαινόμενο κατά το οποίο τα εξαιρετικά αποτελέσματα που παρατηρούνται σε μια μικρή, καλά οργανωμένη και επαρκώς χρηματοδοτούμενη πιλοτική εφαρμογή μειώνονται σημαντικά όταν το πρόγραμμα επεκτείνεται και εφαρμόζεται υπό τις συνθήκες, πραγματικές συνθήκες του εκπαιδευτικού συστήματος.

Για παράδειγμα, πρόσφατη αξιολόγηση εκπαιδευτικών παρεμβάσεων που εφαρμόστηκαν σε ευρύτερη κλίμακα έδειξε ότι, ενώ ένα καινοτόμο εκπαιδευτικό πλαίσιο απέδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα κατά την αυστηρά ελεγχόμενη πιλοτική του φάση, το συνολικό μέγεθος της επίδρασής του μειώθηκε περίπου στο ένα τρίτο όταν η λειτουργία του αναλήφθηκε από περιφερειακές αρχές με τη χρήση του συνήθους προσωπικού των δημόσιων σχολείων (Calle, 2026).

Οι πιλοτικές εφαρμογές είναι απαραίτητες ακριβώς επειδή αναδεικνύουν αυτές τις συστημικές αδυναμίες πριν από την ευρεία εφαρμογή. Επιτρέπουν στις εκπαιδευτικές αρχές να διαπιστώσουν πώς λειτουργεί ένα πρόγραμμα πέρα από ένα αυστηρά ελεγχόμενο περιβάλλον, αναδεικνύοντας:

- **Την καμπύλη εκμάθησης και τα κενά επιμόρφωσης** των εκπαιδευτικών που εργάζονται στις συνθήκες συνθήκες της τάξης.
- **Την απρόβλεπτη επιβάρυνση των σχολικών υποδομών και της διαχείρισης ΤΠΕ.**
- **Τις αναγκαίες προσαρμογές** για την ενσωμάτωση της νέας μεθοδολογίας σε αυστηρά καθορισμένα, κρατικά προγράμματα και εβδομαδιαία ωρολόγια προγράμματα.

Οι εκπαιδευτικές πολιτικές συχνά αποτυγχάνουν κατά το στάδιο της εφαρμογής τους εξαιτίας ενός επικοινωνιακού χάσματος μεταξύ των υπευθύνων χάραξης πολιτικής σε μακροεπίπεδο και των επαγγελματιών της εκπαίδευσης σε μικροεπίπεδο (Shiwakoti, 2022). Όταν οι εκπαιδευτικοί και οι σχολικές διοικήσεις αισθάνονται ότι ένα νέο αναλυτικό πρόγραμμα επιβάλλεται χωρίς σαφή τεκμηρίωση της χρησιμότητάς του, αναπτύσσεται φυσιολογικά θεσμική αντίσταση, ως μηχανισμός προστασίας των υφιστάμενων πρακτικών και ρουτινών (Spiegel, 2016).

Τα πιλοτικά προγράμματα μετασχηματίζουν ουσιαστικά αυτή τη σχέση από πάνω προς τα κάτω, μετατρέποντας μια άκαμπτη διαδικασία εφαρμογής πολιτικής σε έναν συνεργατικό και επαναληπτικό διάλογο (Conrads, 2017). Με την ενσωμάτωση της

πilotικής εφαρμογής απευθείας στα συνεργαζόμενα εκπαιδευτικά ιδρύματα, οι εκπαιδευτικοί της τοπικής σχολικής κοινότητας λειτουργούν ως συν-ερευνητές και όχι ως παθητικοί αποδέκτες μιας μεταρρύθμισης. Οι ατομικές αναφορές, η ποιοτική ανατροφοδότηση και οι παρατηρήσεις πεδίου που συλλέγονται από τους εκπαιδευτικούς επιτρέπουν στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να βελτιώνουν και να προσαρμόζουν το πρόγραμμα με βάση πραγματικές εμπειρίες από την τάξη. Αυτή η συμμετοχική προσέγγιση από τη βάση προς τα πάνω ενισχύει την αποδοχή της καινοτομίας και την εμπιστοσύνη σε ολόκληρο το εκπαιδευτικό σύστημα, στοιχεία απαραίτητα για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας μιας εκπαιδευτικής πολιτικής μετά την επίσημη ενσωμάτωσή της στο εθνικό αναλυτικό πρόγραμμα (Samoff, n.d.).

1.4. Πεδίο και Στόχοι της Έρευνας

Η παρούσα έκθεση καλύπτει την υλοποίηση του έργου VR4Clima στα σχολεία-εταίρους στην Ελλάδα και τη Σερβία. Το ελληνικό σχολείο είναι το 16ο Πειραματικό Δημοτικό Σχολείο Λαμίας, ενώ το σερβικό είναι το Σχολείο Petro Kuzmjak. Η έκθεση επικεντρώνεται ειδικότερα στην πρακτική ενσωμάτωση του λογισμικού σχεδιασμού 3D, των μαθημάτων Εικονικής Πραγματικότητας (VR) (για την Πρωτοβάθμια και τη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση) και της εκπαιδευτικής ψυχαγωγίας (serious gaming) στην καθημερινή σχολική πρακτική. Η έρευνα συγκεντρώνει και αναλύει δεδομένα από τους εκπαιδευτικούς που υλοποίησαν τα μαθήματα και συμμετείχαν στα σεμινάρια επαγγελματικής ανάπτυξης, καθώς και από τους υπόλοιπους εκπαιδευτικούς που παρατήρησαν τις στάσεις και τις αντιδράσεις των μαθητών κατά την υλοποίηση του έργου.

Οι στόχοι της έρευνας είναι:

- Να καταγράψει και να αποτυπώσει το ακριβές πλαίσιο μέσα στο οποίο ο 3D σχεδιασμός και η Εικονική Πραγματικότητα ενσωματώθηκαν με επιτυχία στην καθημερινή σχολική διαδικασία.
- Να αναλύσει τόσο τα πλεονεκτήματα (π.χ. αυξημένη συμμετοχή των μαθητών, βελτίωση της χωρικής αντίληψης, ενίσχυση της ενσυναίσθησης για την κλιματική αλλαγή) όσο και τα πιθανά μειονεκτήματα (π.χ. τεχνικά εμπόδια, χρονικοί περιορισμοί) της χρήσης της VR σε πραγματικό εκπαιδευτικό περιβάλλον.
- Να διερευνήσει τον βαθμό στον οποίο το έργο ενίσχυσε τις δεξιότητες STEAM και την ακαδημαϊκή επίδοση των μαθητών, εξετάζοντας τα δεδομένα βαθμολογίας «πριν και μετά» την υλοποίηση των δραστηριοτήτων.
- Να προσδιορίσει κατά πόσο οι δραστηριότητες βοήθησαν τους μαθητές να μετατρέψουν το άγχος και το τραύμα που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή σε δημιουργική καινοτομία, καθώς και να διερευνήσει εάν οι καθημερινές τους επιλογές μετατοπίστηκαν προς πρακτικές που συμβάλλουν στη μείωση του αποτυπώματός τους άνθρακα.
- Να προτείνει συγκεκριμένες βελτιώσεις για το έργο και να παρουσιάσει έναν δομημένο οδικό χάρτη για τους υπεύθυνους χάραξης εκπαιδευτικής πολιτικής και τα Υπουργεία Παιδείας, με στόχο την επίσημη ενσωμάτωση αυτών των καινοτόμων διδακτικών στρατηγικών στα εθνικά αναλυτικά προγράμματα σπουδών.

Κεφάλαιο 2: Εννοιολογικό Πλαίσιο: 3D Σχεδιασμός και Εικονική Πραγματικότητα στην Τάξη

2.1. Παιδαγωγικές Προσεγγίσεις: Πώς ο 3D Σχεδιασμός και η Εικονική Πραγματικότητα συμπληρώνουν τα παραδοσιακά μαθήματα STEM

Η ενσωμάτωση του 3D σχεδιασμού και της Εικονικής Πραγματικότητας (VR) στην Πρωτοβάθμια και τη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση αντιμετωπίζει μια διαχρονική πρόκληση στην εκπαίδευση STEM: τη μετάφραση αφηρημένων και πολυδιάστατων εννοιών από επίπεδα, δισδιάστατα μέσα σε κατανοητές χωρικές αναπαραστάσεις. Ενώ τα παραδοσιακά μαθήματα STEM είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στη διδασκαλία βασικών κανόνων, τύπων και θεωρητικών πλαισίων, συχνά βασίζονται στην απομνημόνευση ή στην καθοδηγούμενη διδασκαλία όταν πρόκειται για σύνθετα, αόρατα ή φαινόμενα που αφορούν ευρύτερα συστήματα. Οι τεχνολογίες εμπύθισης συμπληρώνουν αυτά τα παραδοσιακά πλαίσια, λειτουργώντας ως διαδραστική γέφυρα μεταξύ θεωρίας και πρακτικής, χωρικής εφαρμογής.

Στα παραδοσιακά αναλυτικά προγράμματα των Μαθηματικών και της Φυσικής, οι μαθητές αφιερώνουν σημαντικό χρόνο στη χρήση συμβολισμών, εξισώσεων και διαγραμμάτων στα σχολικά βιβλία. Ωστόσο, η αναπαράσταση ενός τρισδιάστατου συστήματος συντεταγμένων ή η οπτικοποίηση γεωμετρικών μετασχηματισμών στον πίνακα περιορίζει εγγενώς την ανάπτυξη της χωρικής κατανόησης.

Με την εισαγωγή του 3D σχεδιασμού στα μαθήματα Γεωμετρίας και Εικαστικών, οι μαθητές καλούνται να μετατρέψουν την αφηρημένη χωρική λογική σε ψηφιακά αντικείμενα. Όταν δημιουργούν τρισδιάστατα μοντέλα, όπως για παράδειγμα μια ανασχεδιασμένη, βιώσιμη σχολική αυλή, εφαρμόζουν άμεσα γεωμετρικές αρχές, κλίμακα και υπολογισμούς όγκου σε πραγματικό χρόνο.

Στα παραδοσιακά μαθήματα Χημείας και Φυσικής, οι εκπαιδευτικοί συχνά δυσκολεύονται να παρουσιάσουν διαδικασίες που είναι είτε πολύ μικρές για να παρατηρηθούν (μοριακές αλληλεπιδράσεις), είτε πολύ επικίνδυνες για να αναπαραχθούν σε ένα σχολικό εργαστήριο (χημικές αντιδράσεις), είτε πολύ αργές για να παρατηρηθούν άμεσα (κλιματικές μεταβολές).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η Εικονική Πραγματικότητα λειτουργεί ως ένα αυστηρά ελεγχόμενο, βιωματικό εργαστήριο. Σε ένα ειδικά σχεδιασμένο περιβάλλον VR, ο μαθητής μπορεί να μεταβάλλει παραμέτρους σε ένα μοντέλο μικροκλίματος, να κάνει βιώσιμες επιλογές και να κατανοήσει πώς οι επιλογές του μπορεί να επηρεαστούν από μια φυσική καταστροφή. Αντί να διαβάζει απλώς για το φαινόμενο του θερμοκηπίου ή έναν χημικό δεσμό σε ένα σχολικό βιβλίο, μπορεί να παρατηρεί τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος να λειτουργούν και να αλληλεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η εμπυθιστική αλληλεπίδραση καθιστά σαφέστερο το «πώς» και το «γιατί» των επιστημονικών νόμων, ενισχύοντας τη διδασκαλία του εκπαιδευτικού χωρίς να την αντικαθιστά.

Το διεπιστημονικό πλαίσιο του 3D μοντελισμού και του serious gaming ενσωματώνει τη θεωρία STEM σε πραγματικές προκλήσεις μηχανικού σχεδιασμού. Για να σχεδιάσουν έναν λειτουργικό και ανθεκτικό στην κλιματική αλλαγή χώρο, οι μαθητές πρέπει να συνδυάσουν γνώσεις από πολλαπλά γνωστικά πεδία: χρησιμοποιούν τη Χημεία για να αξιολογήσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των υλικών, τη Φυσική για να αναλύσουν τη θερμική δυναμική και τα Εικαστικά για να βελτιστοποιήσουν τη διάταξη και τον σχεδιασμό.

Αυτή η ολιστική προσέγγιση καθιστά τα βασικά γνωστικά αντικείμενα πολύ πιο συναφή με την πραγματική ζωή των μαθητών, αναδεικνύοντας ότι οι δεξιότητες STEM αποτελούν πρακτικά εργαλεία για την επίλυση επειγόντων παγκόσμιων προβλημάτων και όχι απλώς γνωστικά αντικείμενα στα οποία εξετάζονται.

2.2. Ανασκόπηση της Βιβλιογραφίας: Πλεονεκτήματα και Πιθανά Μειονεκτήματα της XR (Εκτεταμένης Πραγματικότητας) στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση με βάση την Υφιστάμενη Έρευνα

Η ενσωμάτωση της Εκτεταμένης Πραγματικότητας (XR), η οποία περιλαμβάνει την Εικονική Πραγματικότητα (VR), την Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) και τη Μικτή Πραγματικότητα (MR), στην Πρωτοβάθμια και τη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση (μαθητές ηλικίας 6–18 ετών) σηματοδοτεί μια σημαντική αλλαγή στη διδακτική πρακτική στην τάξη. Ιστορικά, η εισαγωγή νέων τεχνολογικών μέσων στα σχολεία συνοδευόταν πάντα από προβληματισμούς σχετικά με το κατά πόσο η τεχνολογία αποτελεί ουσιαστικό παιδαγωγικό εργαλείο ή λειτουργεί απλώς ως ένα τεχνολογικά προηγμένο μέσο διάσπασης της προσοχής.

Πρόσφατες μελέτες σε πραγματικές σχολικές τάξεις και συστηματικές βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις παρέχουν μια ισορροπημένη εικόνα, αναδεικνύοντας σαφή μαθησιακά οφέλη, αλλά και σημαντικές πρακτικές και οργανωτικές προκλήσεις τις οποίες τα σχολεία καλούνται να αντιμετωπίσουν.



Εικόνα 1: Εικονική πραγματικότητα στην Εκπαίδευση (πηγή: <https://pixabay.com/illustrations/ai-generated-virtual-reality-vr-9204971/>, τελευταία επίσκεψη: 29 Ιουνίου 2026)

2.2.1. Παιδαγωγικά Οφέλη και Πλεονεκτήματα

Μία επαναλαμβανόμενη πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευτικοί στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση είναι να βοηθήσουν τους μαθητές να συνδέσουν τις αφηρημένες και συμβολικές αναπαραστάσεις —όπως εξισώσεις, χημικούς τύπους ή δισδιάστατα διαγράμματα— με την τρισδιάστατη φυσική πραγματικότητα. Οι τεχνολογίες εμβύθισης αντιμετωπίζουν αυτή την πρόκληση, λειτουργώντας ως ένας διαδραστικός χώρος εξερεύνησης και χειρισμού.

Τα ακουστικά VR με χειριστήρια χειρός επιτρέπουν τη δημιουργική και κιναισθητική αλληλεπίδραση με το εκπαιδευτικό περιεχόμενο. Έχει διαπιστωθεί ότι οι κινήσεις και οι χειρονομίες αυτές μπορούν να έχουν θετικές επιδράσεις στη μάθηση (Johnson-Glenberg, 2019). Η διαδραστική φύση της XR ενθαρρύνει την ενεργό συμμετοχή, καθιστώντας τη μαθησιακή διαδικασία πιο ελκυστική, αξέχαστη και ευχάριστη. Με την ενσωμάτωση της XR σε πολυαισθητηριακά και βιωματικά μαθησιακά περιβάλλοντα, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να προσφέρουν στους μαθητές μια πιο ολιστική και εμβυθιστική μαθησιακή εμπειρία. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο βοηθά τους μαθητές να ξεπεράσουν εμπόδια στη μάθηση, αλλά παράλληλα καλλιεργεί βασικές δεξιότητες, όπως η κριτική σκέψη, η επίλυση προβλημάτων και η δημιουργικότητα, προετοιμάζοντάς τους για τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες του 21ου αιώνα (Crogman et al., 2025).

Σε σύγκριση με τα συμβατικά εκπαιδευτικά υλικά, τα περιβάλλοντα εμπύθισης μπορούν να ενισχύσουν τη συμμετοχή των μαθητών, τη χωρική κατανόηση και τη βιωματική μάθηση με τρόπους που είναι δύσκολο να επιτευχθούν αποκλειστικά μέσω σχολικών βιβλίων ή βίντεο (Chang et al., 2026).

Η Εικονική Πραγματικότητα (VR) έχει θετική επίδραση στη γνωστική, συμπεριφορική και συναισθηματική συμμετοχή των μαθητών. Όσον αφορά τη γνωστική συμμετοχή, η VR μπορεί να ενισχύσει την αλληλεπίδραση των μαθητών με το μαθησιακό υλικό και να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση αφηρημένων και σύνθετων γνώσεων, δημιουργώντας εμπυθιστικές μαθησιακές καταστάσεις. Όσον αφορά τη συμπεριφορική συμμετοχή, η VR ενθαρρύνει την ενεργό συμμετοχή και δράση των μαθητών μέσω της διαδραστικής μάθησης (Lin et al., 2024). Η εμπυθιστική αυτή προσέγγιση καθιστά απαιτητικά ή λιγότερο ελκυστικά γνωστικά αντικείμενα πιο προσιτά, προσφέροντας στους μαθητές ένα ασφαλές περιβάλλον χωρίς πραγματικές συνέπειες, όπου μπορούν να μαθαίνουν μέσα από τη δοκιμή, το λάθος και τον πειραματισμό.

Σε συνδυασμό με ευέλικτο λογισμικό που βασίζεται στο cloud, η XR δίνει τη δυνατότητα στους εκπαιδευτικούς να εφαρμόζουν εξατομικευμένα μοντέλα μάθησης, προσαρμοσμένα στις διαφορετικές ανάγκες των μαθητών. Για σχολεία σε αγροτικές, υποχρηματοδοτούμενες ή απομονωμένες περιοχές, η XR μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπαιδευτικών ανισοτήτων, παρέχοντας πρόσβαση σε προηγμένα εικονικά επιστημονικά εργαστήρια και εκπαιδευτικές εικονικές επισκέψεις, οι οποίες διαφορετικά θα ήταν υπερβολικά δαπανηρές ή πρακτικά αδύνατες να οργανωθούν.

Επιπλέον, η εφαρμογή της VR στην εκπαίδευση χωρίς αποκλεισμούς παρουσιάζει ιδιαίτερα σημαντικές προοπτικές, καθώς η τεχνολογία μπορεί να δημιουργήσει προσβάσιμα και προσαρμοστικά μαθησιακά περιβάλλοντα για άτομα με διαφορετικές σωματικές, γνωστικές και συναισθηματικές ανάγκες (Arkabaev et al., 2025).

2.2.2. Λειτουργικές Αδυναμίες και Προκλήσεις Εφαρμογής

Παρά τις σημαντικές εκπαιδευτικές δυνατότητές της, η ανάπτυξη της XR σε ένα δημόσιο σχολικό δίκτυο συνοδεύεται από ένα σύνολο πραγματικών δομικών, τεχνικών και οικονομικών προκλήσεων.

Παρόλο που το μέσο κόστος ενός αυτόνομου ακουστικού VR έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια, το συνολικό κόστος χρήσης και συντήρησης υπερβαίνει κατά πολύ την αρχική αγορά του εξοπλισμού. Η εφαρμογή ενός προγράμματος XR σε μεγάλη κλίμακα απαιτεί αξιόπιστα σχολικά δίκτυα Wi-Fi, συνεχή ανανέωση συνδρομών λογισμικού, διαθέσιμους πόρους για επισκευές και συντήρηση του εξοπλισμού, καθώς και αποτελεσματική διαχείριση της ασφάλειας των δεδομένων. Χωρίς σταθερή κρατική χρηματοδότηση, η εξάρτηση από προσωρινές επιχορηγήσεις μπορεί να οδηγήσει σε ακριβό εξοπλισμό που παραμένει αχρησιμοποίητος σε αποθήκες μόλις εμφανιστούν τεχνικά προβλήματα.

Ένας σημαντικός περιορισμός που επισημαίνεται σε πρόσφατες βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις είναι ότι μεγάλο μέρος του εμπορικού περιεχομένου XR έχει σχεδιαστεί κυρίως για την ανάδειξη των οπτικών και τεχνολογικών δυνατοτήτων της τεχνολογίας και όχι για την υποστήριξη σαφώς δομημένων διδακτικών σεναρίων. Παρόλο που η

χρήση της XR στην εκπαίδευση αυξάνεται, πολλοί επαγγελματίες του χώρου της XR, όπως σχεδιαστές τεχνολογίας και προγραμματιστές, ενδέχεται να μην είναι επαρκώς εξοικειωμένοι με τις παιδαγωγικές θεωρίες και τον εκπαιδευτικό σχεδιασμό (Yang et al., 2020).

Επιπλέον, τα τυπικά προγράμματα αρχικής εκπαίδευσης των εκπαιδευτικών σπάνια περιλαμβάνουν κατάρτιση σχετικά με τη διαχείριση εμβυθιστικών μέσων σε πραγματικές συνθήκες τάξης. Χωρίς πρακτική και συνεχή επαγγελματική ανάπτυξη, οι εκπαιδευτικοί αντιμετωπίζουν μια απότομη καμπύλη εκμάθησης, καθώς καλούνται να ισορροπήσουν μεταξύ τεχνικής υποστήριξης, επίβλεψης των μαθητών και υλοποίησης του διδακτικού περιεχομένου, μέσα σε αυστηρά και χρονικά περιορισμένα σχολικά προγράμματα.

Ο φυσικός σχεδιασμός των συσκευών προβολής που τοποθετούνται στο κεφάλι (Head-Mounted Displays – HMDs) δημιουργεί επίσης πρακτικές δυσκολίες για τους μικρότερους μαθητές. Πολλά τυπικά ακουστικά είναι πολύ βαριά ή δεν εφαρμόζουν σωστά σε μαθητές της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης, προκαλώντας κόπωση στον αυχένα.

Επιπλέον, προβλήματα όπως η ναυτία λόγω κίνησης (motion sickness), η κόπωση των ματιών και ο αποπροσανατολισμός, που προκαλούνται από την αναντιστοιχία μεταξύ της οπτικής κίνησης και της σωματικής ακινησίας, εξακολουθούν να αποτελούν πραγματικότητα για ένα ποσοστό των χρηστών (Chattha et al., 2020). Ο σωματικός αυτός περιορισμός καθιστά απαραίτητο για τα σχολεία να θεσπίζουν σαφή όρια και κανόνες χρήσης, διασφαλίζοντας ότι οι δραστηριότητες VR ενσωματώνονται ως σύντομες και στοχευμένες μαθησιακές δραστηριότητες, αντί να αντικαθιστούν ολόκληρες διδακτικές ώρες.

2.3. Πλαίσιο Ενσωμάτωσης: Πώς η τεχνολογία ενσωματώθηκε στην καθημερινή σχολική πρακτική των συνεργαζόμενων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων

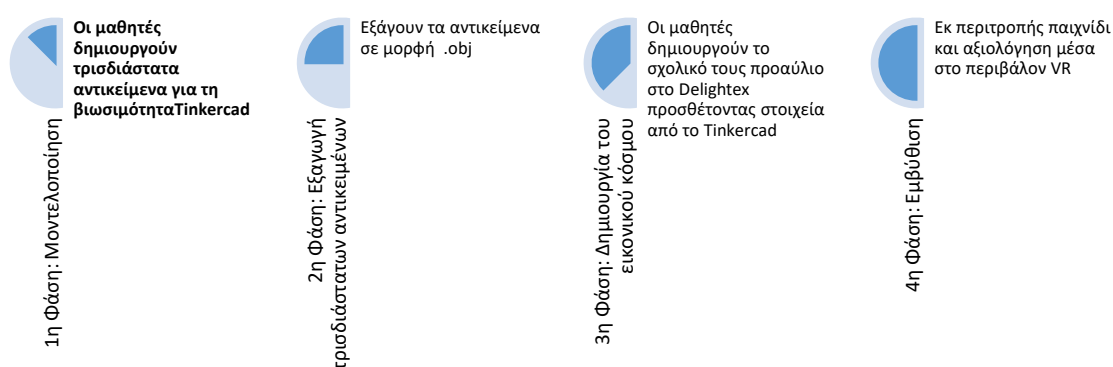
Για την αξιολόγηση της συστημικής βιωσιμότητας του πλαισίου VR4Clima, τα τεχνολογικά εργαλεία που αναπτύχθηκαν ενσωματώθηκαν άμεσα στα υφιστάμενα εβδομαδιαία ωρολόγια προγράμματα των βασικών εκπαιδευτικών εταίρων του έργου: του 16ου Πειραματικού Δημοτικού Σχολείου Λαμίας (Ελλάδα) και του Σχολείου Petro Kuzmjak (Ruski Krstur, Σερβία). Αντί να οργανωθούν ως μεμονωμένα εξωσχολικά εργαστήρια, οι εκπαιδευτικοί ενσωμάτωσαν το ψηφιακό εκπαιδευτικό υλικό απευθείας στο πλαίσιο της καθημερινής διδασκαλίας. Η προσέγγιση αυτή επέτρεψε στην ομάδα του έργου να δοκιμάσει το λογισμικό σε πραγματικές συνθήκες σχολικής λειτουργίας, λαμβάνοντας υπόψη τους συνήθεις περιορισμούς που αφορούν τον διαθέσιμο χρόνο, τον χώρο και τον υφιστάμενο τεχνολογικό εξοπλισμό.

Η εφαρμογή του 3D παιχνιδιού του έργου για τη βιωσιμότητα προσαρμόστηκε ειδικά στις αναπτυξιακές ηλικίες των μαθητών και στους περιορισμούς του διαθέσιμου υλικού εξοπλισμού στις σχολικές αίθουσες.

- **Μεγάλες Τάξεις Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης (Ε΄ και ΣΤ΄ Δημοτικού):** Οι μαθητές αλληλεπίδρασαν με το παιχνίδι χρησιμοποιώντας εμβυθιστικά

ακουστικά Εικονικής Πραγματικότητας (VR). Για την προληπτική αντιμετώπιση των εργονομικών κινδύνων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, όπως η κόπωση των ματιών και η οπτική καταπόνηση, οι μηχανισμοί του παιχνιδιού σχεδιάστηκαν με αυστηρά περιορισμένη χρονική διάρκεια, ολοκληρώνοντας φυσικά τη δραστηριότητα μετά από 6–7 λεπτά συνεχούς παιχνιδιού. Καθώς κανένα από τα δύο σχολεία δεν διέθετε επαρκή αριθμό ακουστικών για αναλογία 1:1 μαθητή–συσκευής, οι εκπαιδευτικοί οργάνωσαν τα μαθήματα σύμφωνα με ένα μοντέλο εκ περιτροπής χρήσης. Ενώ μεμονωμένοι μαθητές ή μικρές ομάδες έπαιρναν διαδοχικά τη θέση τους και περιηγούνταν στο εικονικό περιβάλλον, οι υπόλοιποι μαθητές συμμετείχαν σε συμπληρωματικές δραστηριότητες καταγραφής σε έντυπο υλικό ή σε συνεργατικές συζητήσεις μεταξύ συνομηλίκων.

- **Μικρές Τάξεις Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης (Γ΄ και Δ΄ Δημοτικού):** Για τη διασφάλιση της ασφάλειας και την προσαρμογή στις ανάγκες των μικρότερων ηλικιακών ομάδων, το έργο αξιοποίησε την τυπική έκδοση του παιχνιδιού για ηλεκτρονικό υπολογιστή (PC). Με τον τρόπο αυτό, ολόκληρες οι τάξεις μπορούσαν να συμμετέχουν ταυτόχρονα στα σενάρια κλιματικής αλλαγής, χρησιμοποιώντας τα υφιστάμενα εργαστήρια πληροφορικής των σχολείων. Έτσι επιτυγχανόταν η βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων, χωρίς να περιορίζεται το εκπαιδευτικό περιεχόμενο.



Εικόνα 2: Ενσωμάτωση της Τεχνολογίας στο Πλαίσιο της Σχολικής Τάξης

Οι μαθητές ξεκίνησαν σχεδιάζοντας δομικά ακριβή τρισδιάστατα αντικείμενα βιώσιμου χαρακτήρα χρησιμοποιώντας το Tinkercad. Η φάση αυτή απαιτούσε την εφαρμογή βασικών γεωμετρικών αρχών για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων φιλικών προς το περιβάλλον υποδομών. Αφού ολοκλήρωσαν τα αντικείμενά τους, οι μαθητές εξήγαγαν τα προσαρμοσμένα αρχεία τους και τα εισήγαγαν στο περιβάλλον δημιουργίας εικονικών κόσμων Delightex Edu.

Στο Delightex, αξιοποίησαν τα αντικείμενα που είχαν δημιουργήσει στο Tinkercad για να σχεδιάσουν ολοκληρωμένες και ανθεκτικές στην κλιματική αλλαγή εκδοχές των ιδανικών σχολικών αυλών τους.



Εικόνα 3: Μαθητές Δημοτικού Σχολείου σχεδιάζουν βιώσιμα στοιχεία για τη σχολική τους αυλή

Η τελική φάση έδωσε ζωή στα σχέδια των μαθητών. Αξιοποιώντας τα διαθέσιμα ακουστικά VR σύμφωνα με ένα εκ περιτροπής πρόγραμμα χρήσης, οι μαθητές εισέρχονταν στις δικές τους, αυτοσχεδιασμένες εικονικές σχολικές αυλές, βιώνοντας άμεσα τη χωρική κλίμακα των σχεδίων τους και προσκαλώντας τους συμμαθητές τους να αξιολογήσουν τις περιβαλλοντικές τους επιλογές.

Κάθε συνεδρία εφαρμογής ολοκληρωνόταν με μια υποχρεωτική αναστοχαστική δραστηριότητα υπό την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού. Οι μαθητές συζητούσαν πώς οι σχεδιαστικές τους επιλογές επηρέασαν άμεσα το αποτύπωμα άνθρακα, ποια λάθη εντόπισαν κατά την εμπυθιστική περιήγησή τους και πώς αυτές οι εικονικές παρεμβάσεις θα μπορούσαν να μετατραπούν σε πραγματικές περιβαλλοντικές δράσεις στις τοπικές τους κοινότητες. Αυτό το τελικό στάδιο αναστοχασμού ήταν καθοριστικής σημασίας, καθώς συνέδεσε τη ψηφιακή εμπειρία και το παιχνίδι με την πραγματική ζωή, ενισχύοντας την κατανόηση της κοινωνικής και περιβαλλοντικής ευθύνης και της ενεργού συμμετοχής στα κοινά.



Εικόνα 4: Μαθήτρια της ΣΤ΄ Δημοτικού βιώνει τον σχεδιασμό της μέσα σε περιβάλλον VR

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία και Συλλογή Δεδομένων

Για την ολοκληρωμένη μέτρηση του αντίκτυπου του πλαισίου VR4Clima, το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας υιοθέτησε έναν μικτό σχεδιασμό αξιολόγησης, ο οποίος συνδυάζει ποσοτικούς δείκτες επίδοσης με δομημένη ποιοτική ανατροφοδότηση από τα συνεργαζόμενα σχολεία. Η επιχειρησιακή και εμπειρική βάση της αξιολόγησης στηρίζεται άμεσα στις ολοκληρωμένες «Εκθέσεις Υλοποίησης και Προσαρμογής του Σχολείου» οι οποίες συντάχθηκαν από τη διοίκηση και το εκπαιδευτικό προσωπικό των βασικών συνεργαζόμενων σχολείων: του 16ου Πειραματικού Δημοτικού Σχολείου Λαμίας (Ελλάδα) και του Σχολείου Petro Kuzmjak (Σερβία).

Μέσω της ανάλυσης αυτών των τελικών δεδομένων υλοποίησης, η ομάδα αξιολόγησης μπόρεσε να διασταυρώσει τις **ακαδημαϊκές και συμπεριφορικές τάσεις** με τις πραγματικές συνθήκες και εμπειρίες που καταγράφηκαν στις σχολικές τάξεις κατά την εφαρμογή του έργου.

Συλλογή ποσοτικών δεδομένων

Η ποιοτική διάσταση της μελέτης υπερβαίνει την απλή παρατήρηση, καθώς αντλεί βασικούς λειτουργικούς και συμπεριφορικούς κώδικες απευθείας από την τεκμηρίωση των συνεργαζόμενων σχολείων. Οι αφηγηματικές αυτές εκθέσεις παρείχαν τρεις διακριτές κατηγορίες δεδομένων:

- Προσαρμογές υποδομών και συστημικοί περιορισμοί: Και τα δύο σχολεία κατέγραψαν λεπτομερώς τον διαθέσιμο και χρησιμοποιούμενο τεχνολογικό εξοπλισμό, από επιτραπέζιους υπολογιστές στα εργαστήρια Πληροφορικής έως αυτόνομα ακουστικά VR. Τα δεδομένα αυτά ανέδειξαν σημαντικά τεχνικά και οργανωτικά εμπόδια, όπως οι περιορισμοί στο εύρος ζώνης του διαδικτύου κατά την ταυτόχρονη σύνδεση πολλών χρηστών στην πλατφόρμα, τα κενά στη μετάφραση των ψηφιακών διεπαφών και οι πρακτικές δυσκολίες που συνδέονται με την εκ περιτροπής χρήση περιορισμένου αριθμού συσκευών από ομάδες μαθητών.
- Γλωσσική και συμπεριφορική εξέλιξη: Αντί να αξιολογείται αποκλειστικά η απλή ανάκληση γνώσεων, η ποιοτική καταγραφή παρακολούθησε τις αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές περιγράφουν και εκφράζουν τις περιβαλλοντικές απειλές. Οι εκπαιδευτικοί κατέγραψαν ότι, μετά την αξιοποίηση του 3D παιχνιδιού και την παρακολούθηση των 10 σύντομων animations που συνδέονται με το μικροκλίμα, οι μαθητές μετακινήθηκαν από αόριστες και γενικόλογες εκφράσεις σε πιο συγκεκριμένο, τοπικά προσανατολισμένο και προδραστικό λεξιλόγιο, επικεντρωμένο σε πραγματικές δράσεις, όπως η φύτευση δέντρων, η μείωση των απορριμμάτων, η εξοικονόμηση νερού και η πρόληψη των πλημμυρών.
- Παιδαγωγική επάρκεια και αυτοπεποίθηση των εκπαιδευτικών: Οι εκθέσεις καταγράφουν τα αυτοαναφερόμενα επίπεδα άνεσης και αυτοπεποίθησης των εκπαιδευτικών πριν και μετά τα επιμορφωτικά εργαστήρια του έργου. Η καταγραφή αυτή ανέδειξε τις διαφοροποιήσεις ως προς την αρχική τεχνική αυτοπεποίθηση, τις στρατηγικές που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαχείριση του

διδασκτικού χρόνου, καθώς και την πρόθεση των εκπαιδευτικών να ενσωματώσουν μακροπρόθεσμα τις μεθόδους 3D σχεδιασμού και σε άλλα γνωστικά αντικείμενα, όπως η Γεωγραφία, η Πληροφορική, η Βιολογία και τα Εικαστικά.

Συλλογή ποιοτικών δεδομένων

Παρότι οι θεσμικές εκθέσεις παρέχουν πλούσιο περιγραφικό υλικό, συνδυάζονται συστηματικά με ποσοτικούς δείκτες επίδοσης, προκειμένου να διερευνηθούν οι πιθανές αιτιώδεις σχέσεις. Η προσέγγιση μικτών μεθόδων αξιοποιεί την ποιοτική τεκμηρίωση για να ερμηνεύσει τις αριθμητικές μεταβολές που παρατηρούνται στα δεδομένα των μαθητών:

- Τεκμηρίωση της βελτίωσης των επιδόσεων στα STEM: Όταν η στατιστική ανάλυση καταγράφει μεταβολές στις επιδόσεις των μαθητών στα Μαθηματικά, τη Γεωμετρία ή τη Φυσική, το περιεχόμενο των εκθέσεων παρέχει την παιδαγωγική ερμηνεία αυτών των μεταβολών. Για παράδειγμα, μια ποσοτικά καταγεγραμμένη βελτίωση στην κατανόηση της Γεωμετρίας ή της Φυσικής μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με τις ποιοτικές παρατηρήσεις σχετικά με τον πρακτικό χειρισμό διαστάσεων, κλιμάκων, περιμέτρων και προσανατολισμών ως προς τον ήλιο και τον άνεμο κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων σχεδιασμού της σχολικής αυλής.
- Συμπερίληψη και διαφοροποιημένα μαθησιακά προφίλ: Ο σχεδιασμός της αξιολόγησης συσχετίζει τους ποσοτικούς δείκτες χρήσης με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των τάξεων. Οι εκθέσεις επιβεβαιώνουν ότι η οπτική και περιορισμένη σε κείμενο διεπαφή των περιβαλλόντων VR και 3D μοντελοποίησης επέτρεψε σε μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες ή διαφορετικούς ρυθμούς μάθησης να παραμένουν ενεργά συμμετέχοντες μέσω της πρακτικής και βιωματικής διερεύνησης. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα βασικό πλαίσιο για την αξιολόγηση δίκαιων και ισότιμων μαθησιακών αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 4: Ανάλυση των Δραστηριοτήτων και της Υλοποίησης του Έργου

4.1. Χρονολογική Περιγραφή των Δραστηριοτήτων

Η χρονολογική πορεία υλοποίησης του έργου VR4Clima οργανώθηκε με τρόπο ώστε να ακολουθεί διαδοχικά στάδια, από την αρχική ανάπτυξη του ψηφιακού υλικού έως την ενεργή ενσωμάτωσή του στη σχολική τάξη.

Κατά το πρώτο έτος, η κοινοπραξία επικεντρώθηκε στη δημιουργία της τεχνικής βάσης του έργου και στην ανάπτυξη των διαδραστικών ψηφιακών εργαλείων. Η VRAcademi Ltd. ανέλαβε τον προγραμματισμό του βασικού 3D παιχνιδιού για τη βιωσιμότητα, αναπτύσσοντάς το παράλληλα σε μια εμβυθιστική έκδοση VR και σε μια τυπική έκδοση για ηλεκτρονικό υπολογιστή. Παράλληλα, το Κέντρο Προώθησης της Επιστήμης (CPN) στη Σερβία δημιούργησε 10 εκπαιδευτικά κινούμενα σχέδια (animations) που συνδέονται με τη βιωσιμότητα και το κλίμα, ενώ το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) ανέπτυξε τον Ευρωπαϊκό Κλιματικό Χάρτη για Μαθητές (Europe's Climate Chart for Students). Μετά την ολοκλήρωση αυτών των βασικών ψηφιακών εργαλείων, αυτά μεταφέρθηκαν άμεσα σε πραγματικά σχολικά περιβάλλοντα. Το παιχνίδι υποβλήθηκε αρχικά σε πιλοτική εφαρμογή στα συνεργαζόμενα σχολεία και στη συνέχεια διατέθηκε σε ένα ευρύτερο δίκτυο εξωτερικών σχολείων, με στόχο τη συλλογή αρχικών δεδομένων από τους χρήστες.

Κατά το δεύτερο έτος, το έργο μετατόπισε το επίκεντρό του στην ανάπτυξη της εκπαιδευτικής ικανότητας των εκπαιδευτικών και στην παραγωγή του παραδοτέου «VR Course», με επικεφαλής το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (ΠΘ). Προκειμένου το εκπαιδευτικό πρόγραμμα να ανταποκρίνεται στις πραγματικές ανάγκες της καθημερινής σχολικής τάξης, το ΠΘ ξεκίνησε με συνεντεύξεις εν ενεργεία εκπαιδευτικών που συμμετείχαν στα Μεταπτυχιακά Προγράμματα Σπουδών του Πανεπιστημίου, ώστε να διερευνήσει τις συγκεκριμένες ανάγκες τους. Η διαδικασία αυτή αποτέλεσε σημαντική προϋπόθεση για την έναρξη της εφαρμογής, καθώς ένας από τους βασικούς στόχους του VR4Clima ήταν η επαγγελματική ανάπτυξη και η ενίσχυση του ψηφιακού γραμματισμού των εκπαιδευτικών.

Η ανατροφοδότηση των εκπαιδευτικών ήταν ιδιαίτερα σαφής: ανέφεραν ότι τα σύντομα βίντεο εφαρμογών δεν ήταν επαρκή για την εκμάθηση των εργαλείων και εξέφρασαν έντονη προτίμηση για δομημένα, βήμα προς βήμα εγχειρίδια. Ως αποτέλεσμα, το ΠΘ σχεδίασε ολοκληρωμένες εκπαιδευτικές ενότητες για τα Tinkercad, Tinkercad Codeblocks και Delightex Edu, οι οποίες οργανώθηκαν σε δύο διαφορετικά VR Courses, ειδικά προσαρμοσμένα στην Πρωτοβάθμια και τη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Το εκπαιδευτικό αυτό πλαίσιο αξιοποιήθηκε σε μεγάλης κλίμακας επιμορφωτικά εργαστήρια, προετοιμάζοντας με επιτυχία 185 εκπαιδευτικούς σε ολόκληρη την Ευρώπη ώστε να μπορούν να υλοποιούν αυτόνομα το πρόγραμμα 3D σχεδιασμού και VR με τους μαθητές τους.

Η τελική φάση του έργου αξιοποίησε αυτή τη νέα εκπαιδευτική ικανότητα σε μια συνεργατική πρωτοβουλία σχεδιασμού από μαθητές. Κατά τον Μήνα 22 (M22) του κύκλου ζωής του έργου, ξεκίνησε επίσημα ο Ευρωπαϊκός Σχολικός Διαγωνισμός VR4Clima (VR4Clima European Schools' Contest), καλώντας μαθητές να σχεδιάσουν

βιώσιμες και ανθεκτικές στην κλιματική αλλαγή παρεμβάσεις για τα πραγματικά σχολικά τους προαύλια. Η διαγωνιστική διαδικασία ολοκληρώθηκε τον Απρίλιο του 2026, με συμμετοχές από 38 διαφορετικές μαθητικές ομάδες από σχολεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Αξιοποιώντας τις γεωμετρικές δυνατότητες σχεδιασμού του Tinkercad και τους μηχανισμούς περιβαλλοντικής σκηνοθεσίας του Delightex, οι μαθητικές ομάδες δημιούργησαν λεπτομερή 3D μοντέλα φιλικών προς το περιβάλλον υποδομών. Για τη διατήρηση και την ανάδειξη των μαθητικών δημιουργιών, η VRAcademi συγκέντρωσε και τα 38 έργα σε έναν ενιαίο, διασυνδεδεμένο εικονικό εκθεσιακό χώρο, επιτρέποντας σε σχολικές τάξεις από όλη την Ευρώπη να περιηγηθούν εικονικά στην έκθεση και να γνωρίσουν και να αξιολογήσουν τις επιλογές βιωσιμότητας των συμμαθητών τους.



Εικόνα 5: Δια ζώσης Επιμόρφωση Εκπαιδευτικών στη Λαμία, Ελλάδα

4.2. Βαθμός Επιτυχίας ανά Δραστηριότητα

Για την αξιολόγηση της συνολικής αποτελεσματικότητας του πλαισίου VR4Clima, η κοινοπραξία ανέλυσε κάθε βασική δραστηριότητα σε σχέση με τους προβλεπόμενους στόχους της και τις πραγματικές συνθήκες που αντιμετωπίστηκαν κατά την εφαρμογή της. Τα δελτία ανατροφοδότησης των συνεργαζόμενων σχολείων καταδεικνύουν ότι, ενώ τα ψηφιακά παραδοτέα σημείωσαν σημαντική επιτυχία ως προς την ενεργό συμμετοχή των μαθητών και τα παιδαγωγικά αποτελέσματα, συγκεκριμένες φάσεις της υλοποίησης αντιμετώπισαν τοπικούς συστημικούς περιορισμούς, οι οποίοι κατέστησαν αναγκαία την υιοθέτηση προσαρμοστικών λύσεων.

4.2.1. Ανάπτυξη και Αξιοποίηση του 3D Παιχνιδιού για τη Βιωσιμότητα και του Ψηφιακού Υλικού

Η εφαρμογή του 3D παιχνιδιού και των δέκα συνοδευτικών animations για το μικροκλίμα πέτυχε με επιτυχία τον στόχο της να μετασχηματίσει τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται και προσεγγίζουν τα περιβαλλοντικά ζητήματα.

- Επίτευξη των στόχων: Η οπτική και διαδραστική φύση του λογισμικού συνέβαλε αποτελεσματικά στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ της παγκόσμιας θεωρίας και της τοπικής πραγματικότητας. Η ποσοτική και ποιοτική ανατροφοδότηση επιβεβαιώνει ότι οι μαθητές ξεπέρασαν την παθητική ανησυχία για την κλιματική αλλαγή και άρχισαν να χρησιμοποιούν πιο συγκεκριμένο και προσανατολισμένο στη δράση λεξιλόγιο, προτείνοντας πρακτικές και δομικές λύσεις για τις κοινότητές τους, όπως φύτευση δέντρων, συλλογή και αξιοποίηση νερού και δημιουργία σκιάσεων για τη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης.
- Λειτουργικές δυσκολίες: Οι περιορισμοί του διαθέσιμου εξοπλισμού και η γλωσσική προσβασιμότητα αποτέλεσαν ξεχωριστές προκλήσεις. Στο σερβικό σχολείο, οι μικρότεροι μαθητές αντιμετώπισαν δυσκολίες λόγω της απουσίας μεταφράσεων στη γλώσσα τους. Στο ελληνικό σχολείο, οι ταυτόχρονες συνδέσεις ολόκληρων τάξεων στις πλατφόρμες που βασίζονται στο cloud προκαλούσαν κατά διαστήματα επιβράδυνση της σύνδεσης λόγω περιορισμένου εύρους ζώνης του διαδικτύου.

4.2.2. Το VR Course και Επιμόρφωση Εκπαιδευτικών

Η φάση ανάπτυξης ικανοτήτων, με επικεφαλής το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (ΠΘ), ξεπέρασε τις αρχικές προσδοκίες ως προς τη συμμετοχή, αλλά ανέδειξε και μια απαιτητική καμπύλη εκμάθησης για το εκπαιδευτικό προσωπικό.

- Επίτευξη των στόχων: Με τη δομή του εκπαιδευτικού υλικού σε αναλυτικά, βήμα προς βήμα εγχειρίδια για τα Tinkercad και Delightex Edu, το ΠΘ κατάφερε να επιμορφώσει 185 εκπαιδευτικούς σε ολόκληρη την Ευρώπη. Η συγκεκριμένη δομημένη διαδικασία εισαγωγής στις νέες τεχνολογίες συνέβαλε άμεσα στη σημαντική ενίσχυση του ψηφιακού γραμματισμού των εκπαιδευτικών και στη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της επαγγελματικής τους επάρκειας.
- Λειτουργικές δυσκολίες: Οι εκπαιδευτικοί ανέφεραν αρχικά χαμηλά επίπεδα αυτοπεποίθησης όταν κλήθηκαν να διαχειριστούν σύνθετες διαδικασίες 3D σχεδιασμού και επεξεργασίας μέσα σε αυστηρά καθορισμένα σχολικά ωρολόγια προγράμματα. Για να διατηρηθεί η ομαλή ροή των μαθημάτων, τα σχολεία χρειάστηκε να αξιοποιήσουν συνεργατικές στρατηγικές διδασκαλίας, κατανέμοντας μεταξύ περισσότερων εκπαιδευτικών τις εργασίες τεχνικής υποστήριξης και επίλυσης προβλημάτων, καθώς και την επίβλεψη των μαθητών.

4.2.3. Ο Ευρωπαϊκός Σχολικός Διαγωνισμός και το Αρχείο Εικονικών Κόσμων

Η τελική φάση του έργου αποτέλεσε μια επιτυχημένη επικύρωση της μαθητοκεντρικής προσέγγισης στη δημιουργία μοντέλων STEAM.

- **Επίτευξη των στόχων:** Με συμμετοχές από 38 διαφορετικές μαθητικές ομάδες από όλη την Ευρώπη, ο διαγωνισμός απέδειξε ότι οι μαθητές μπορούσαν με επιτυχία να μετατρένουν τις γνώσεις τους για την κλιματική αλλαγή σε συγκεκριμένα τρισδιάστατα σχέδια και μοντέλα. Οι μαθητές επέδειξαν σημαντική κατανόηση γεωμετρικών αρχών, όπως η κλίμακα, ο όγκος, η περίμετρος και η συμμετρία, κατά τον σχεδιασμό των βιώσιμων σχολικών αυλών τους. Παράλληλα, η οπτική και πρακτική μορφή της δραστηριότητας λειτούργησε ως παράγοντας ενίσχυσης της συμπεριληπτικής εκπαίδευσης, επιτρέποντας σε μαθητές με χαμηλότερες επιδόσεις ή με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες να συμμετέχουν ενεργά στον σχεδιασμό μαζί με τους συμμαθητές τους.
- **Λειτουργικές δυσκολίες:** Το βασικό εμπόδιο προέκυψε από τις διαφορετικές ψηφιακές δεξιότητες μεταξύ των συμμετεχουσών μαθητικών ομάδων, γεγονός που θα μπορούσε να προκαλέσει καθυστερήσεις στην υποβολή των έργων. Οι εκπαιδευτικοί αντιμετώπισαν την πρόκληση αυτή εφαρμόζοντας συστήματα αλληλοϋποστήριξης και καθοδήγησης μεταξύ των μαθητών (peer-to-peer mentoring) μέσα στις ομάδες. Η έμφαση δόθηκε στη συνεργατική πρόοδο της ομάδας και στη συνολική εκπαιδευτική αξία της διαδικασίας σχεδιασμού, αντί στην επίτευξη τεχνικά άρτιων αποτελεσμάτων.

Η τελική συγκέντρωση και των 38 μαθητικών έργων στο μόνιμο Ψηφιακό Μουσείο (φτιαγμένο από την VRAcademi) διασφάλισε τη διατήρηση αυτών των σημαντικών μαθητικών επιτευγμάτων και δημιούργησε ένα κοινό ψηφιακό περιβάλλον για διασυνοριακή παρουσίαση, περιήγηση και αξιολόγηση από συνομηλίκους.

4.3. Σύνθεση των Εκθέσεων των Σχολείων

Μια συγκριτική εξέταση της τελικής τεκμηρίωσης της υλοποίησης αναδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο τα διαφορετικά θεσμικά και εκπαιδευτικά πλαίσια επηρέασαν την αξιοποίηση των παραδοτέων του VR4Clima. Παρότι και τα δύο σχολεία ενσωμάτωσαν με επιτυχία το 3D παιχνίδι και τα μαθήματα VR, οι διαφορετικές υποδομές, οι στρατηγικές οργάνωσης του διδακτικού χρόνου και οι ιδιαίτερες τοπικές προτεραιότητες προσφέρουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας των ψηφιακών εργαλείων σε διαφορετικά ευρωπαϊκά σχολικά συστήματα.

Οι διαφορετικές επιλογές εξοπλισμού και οι τεχνικές προκλήσεις που αντιμετώπισε κάθε σχολείο ανέδειξαν διαφορετικές πτυχές της διαχείρισης των διαθέσιμων πόρων στην τάξη:

- **Αξιοποίηση τεχνολογικού εξοπλισμού:** Το 16ο Πειραματικό Δημοτικό Σχολείο Λαμίας υιοθέτησε μια μικτή και χαμηλών απαιτήσεων προσέγγιση ως προς τον

εξοπλισμό. Βασίστηκε κυρίως σε επιτραπέζιους υπολογιστές και οθόνες στο εργαστήριο Πληροφορικής για δραστηριότητες επίδειξης σε ολόκληρη την τάξη και ομαδικής εργασίας, ενώ οι μαθητικές ομάδες εναλλάσσονταν στη χρήση των διαθέσιμων ψηφιακών συσκευών. Αντίθετα, το Σχολείο Petro Kuzmjak αξιοποίησε ένα διπλό σύστημα, συνδυάζοντας αυτόνομα ακουστικά VR με τους υπολογιστές του εργαστηρίου Πληροφορικής, επιτρέποντας τόσο άμεσες εμπυθιστικές εμπειρίες όσο και αλληλεπίδραση μέσω οθόνης.

- Υποδομές και τεχνικά εμπόδια: Το Σχολείο Petro Kuzmjak ανέφερε μια απολύτως ομαλή τεχνική υλοποίηση, χωρίς σημαντικά προβλήματα στις υποδομές. Αντίθετα, το σχολείο στη Λαμία αντιμετώπισε κατά διαστήματα περιορισμούς στο εύρος ζώνης του διαδικτύου και αστάθεια των πλατφορμών, όταν ολόκληρες οι τάξεις επιχειρούσαν να συνδεθούν ταυτόχρονα στο Tinkercad και το Delightex Edu. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, η ελληνική εκπαιδευτική ομάδα προσαρμοσε τον ρυθμό των μαθημάτων, προφόρτωσε το διαθέσιμο υλικό όπου ήταν δυνατό και αξιοποίησε αρχικά σχεδιαγράμματα σε έντυπη μορφή, πριν οι μαθητές μεταφέρουν τα σχέδιά τους στο ψηφιακό περιβάλλον.

Κάθε συνεργαζόμενο σχολείο ενσωμάτωσε τα παραδοτέα του έργου στα υφιστάμενα ωρολόγια προγράμματά του, ακολουθώντας διαφορετικές παιδαγωγικές προσεγγίσεις:

- Σύνδεση με γνωστικά αντικείμενα: Το Σχολείο Petro Kuzmjak υιοθέτησε μια περισσότερο επιστημονική και τεχνική προσέγγιση, ενσωματώνοντας το παιχνίδι και τα εκπαιδευτικά μαθήματα απευθείας στα μαθήματα Πληροφορικής, Βιολογίας και Οικολογίας. Παράλληλα, διεύρυνε την εμβέλεια του έργου εντάσσοντάς το στο εξειδικευμένο STEM summer camp που διοργάνωσε. Το 16ο Πειραματικό Δημοτικό Σχολείο Λαμίας ακολούθησε μια ευρύτερη διεπιστημονική προσέγγιση, ενσωματώνοντας τη δραστηριότητα για το βιώσιμο σχολικό προαύλιο στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, τις Φυσικές Επιστήμες, τη Γεωγραφία, την Πληροφορική, τα Εικαστικά και τα Μαθηματικά/τη Γεωμετρία, με στόχο τη δημιουργία μιας ευρύτερης σχολικής κουλτούρας γύρω από τη βιωσιμότητα.
- Γλωσσικές προκλήσεις και καμπύλες μάθησης: Και τα δύο σχολεία εντόπισαν περιορισμούς που σχετίζονταν με τα ωρολόγια προγράμματα των εκπαιδευτικών και την καμπύλη εκμάθησης των μαθητών, αντιμετώπισαν όμως διαφορετικές τοπικές δυσκολίες. Στη σερβική ομάδα, οι γλωσσικοί περιορισμοί αποτέλεσαν σημαντική πρόκληση, καθώς ορισμένοι εκπαιδευτικοί πόροι και διεπαφές λογισμικού δεν ήταν διαθέσιμοι στην τοπική γλώσσα, καθιστώντας τις τεχνικές έννοιες δυσκολότερες για τους μικρότερους μαθητές. Η ελληνική ομάδα επικεντρώθηκε περισσότερο στη διαχείριση των διαφορετικών επιπέδων ψηφιακών δεξιοτήτων των μαθητών. Και τα δύο σχολεία αντιμετώπισαν αποτελεσματικά τις δυσκολίες αυτές διασπώντας τις δραστηριότητες σε μικρότερα και διαχειρίσιμα βήματα, αξιοποιώντας την αλληλοϋποστήριξη μεταξύ των μαθητών (peer-to-peer mentoring) και δίνοντας προτεραιότητα στη συνεργατική ομαδική εργασία αντί στην ατομική τεχνική τελειότητα.

Παρά τις διαφορές στον τρόπο υλοποίησης, τα ποιοτικά αποτελέσματα και στα δύο σχολεία παρουσίασαν αξιοσημείωτη σύγκλιση όσον αφορά την ανάπτυξη των μαθητών και την ενίσχυση των εκπαιδευτικών:

- Γλωσσικές και εννοιολογικές μεταβολές: Και στις δύο περιοχές, ο συνδυασμός του 3D παιχνιδιού και των 10 animations για το μικροκλίμα άλλαξε ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές συζητούσαν για τους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Οι εκπαιδευτικοί και στα δύο σχολεία παρατήρησαν ότι οι μαθητές απομακρύνθηκαν από παθητικές ή αφηρημένες αντιλήψεις για την κλιματική αλλαγή. Αντίθετα, άρχισαν να συνδέουν τις παγκόσμιες προκλήσεις με την καθημερινή πραγματικότητα της τοπικής τους κοινότητας, συζητώντας για τοπικές πλημμύρες, καύσωνες και δασικές πυρκαγιές, ενώ παράλληλα πρότειναν ενεργά σχεδιαστικές λύσεις, όπως φύτευση δέντρων, εγκατάσταση ηλιακών πάνελ και συστήματα συλλογής νερού, με στόχο τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα του σχολείου τους.
- Ενθουσιασμός για τα STEM και συμπερίληψη: Και οι δύο εκθέσεις καταγράφουν αύξηση της ενεργού συμμετοχής των μαθητών στην τάξη, ιδιαίτερα μεταξύ μαθητών που προηγουμένως θεωρούσαν τα παραδοσιακά μαθήματα STEM λιγότερο ενδιαφέροντα. Ο έντονα οπτικός, χωρικός και βιωματικός χαρακτήρας της 3D μοντελοποίησης και της VR επέτρεψε τόσο σε μαθητές με γρήγορο όσο και σε μαθητές με πιο αργό ρυθμό μάθησης, καθώς και σε μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες ή δυσκολίες στην ανάγνωση, να συμμετέχουν ενεργά χωρίς να περιορίζονται από προσεγγίσεις που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στο γραπτό κείμενο.
- Επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών: Οι εκπαιδευτικοί και στα δύο σχολεία ανέφεραν σημαντική ενίσχυση του ψηφιακού τους γραμματισμού και της διδακτικής τους αυτοπεποίθησης. Παρότι αρχικά εμφανίζονταν επιφυλακτικοί απέναντι στη χρήση προηγμένων εργαλείων, όπως το Delightex Edu και το Tinkercad, μέσω της ενεργού εφαρμογής τους στην πραγματική τάξη ανέπτυξαν μεγαλύτερη ψηφιακή ανθεκτικότητα και αυτονομία. Και τα δύο σχολεία επιβεβαίωσαν ότι το εκπαιδευτικό τους προσωπικό προτίθεται να συνεχίσει να αξιοποιεί στο μέλλον 3D σχεδιασμό, διερευνητικές μαθησιακές προσεγγίσεις και μοντέλα μάθησης που βασίζονται σε προσομοιώσεις.

Η σύνθεση των εκθέσεων αυτών αποδεικνύει ότι το πλαίσιο VR4Clima μπορεί να προσαρμοστεί αποτελεσματικά σε διαφορετικά επίπεδα σχολικών υποδομών. Ανεξάρτητα από τους περιορισμούς που προέκυψαν λόγω του εύρους ζώνης του διαδικτύου ή των γλωσσικών εμποδίων, και τα δύο σχολεία κατάφεραν να υπερβούν τις τεχνικές δυσκολίες μέσω της συνεργατικής διδασκαλίας και της ευέλικτης διαχείρισης της σχολικής τάξης.

Τελικά, και τα δύο σχολεία κατέληξαν στο ίδιο βασικό στρατηγικό συμπέρασμα ως προς τις προτάσεις τους προς τους υπεύθυνους χάραξης εκπαιδευτικής πολιτικής της ΕΕ: η επιτυχής εφαρμογή του μοντέλου σε εθνική κλίμακα δεν μπορεί να βασιστεί αποκλειστικά στην προμήθεια τεχνολογικού εξοπλισμού. Απαιτείται ένας ολοκληρωμένος μηχανισμός που θα περιλαμβάνει:

- συνεχή και πρακτική επιμόρφωση των εκπαιδευτικών,
- δομημένη τεχνική υποστήριξη σε επίπεδο σχολείου και συστήματος,
- και έτοιμα, κατάλληλα για κάθε ηλικιακή ομάδα ψηφιακά μαθησιακά σενάρια, τα οποία συνδέουν την επιστημονική γνώση για την κλιματική αλλαγή με πραγματικά και τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα.

Η διαπίστωση αυτή αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα της πιλοτικής εφαρμογής του VR4Clima, καθώς δείχνει ότι η τεχνολογική καινοτομία από μόνη της δεν αρκεί· η επιτυχής και βιώσιμη ενσωμάτωσή της στο εκπαιδευτικό σύστημα προϋποθέτει παράλληλη επένδυση σε ανθρώπινο δυναμικό, παιδαγωγική υποστήριξη και κατάλληλο εκπαιδευτικό περιεχόμενο.

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα Αξιολόγησης και Βασικά Ευρήματα

5.1. Επίδραση στη Μαθησιακή Επίδοση των Μαθητών και στις Επιδόσεις στα μαθήματα STEM

Για να αξιολογηθεί κατά πόσο το πλαίσιο VR4Clima βελτίωσε συστηματικά τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών, το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ανέλυσε δείκτες μαθητικής επίδοσης στα βασικά γνωστικά αντικείμενα STEM/STEAM που συνδέονταν με το έργο: Φυσική, Χημεία, Μαθηματικά, Γεωμετρία και Εικαστικά. Η ανάλυση βασίστηκε στη σύγκριση των σχολικών επιδόσεων κατά τις περιόδους πριν και μετά την παρέμβαση του έργου, σε συνδυασμό με τα ποσοτικά δεδομένα που προέκυψαν από τις Εκθέσεις Υλοποίησης των σχολείων.

Οι πιο εμφανείς ποσοτικές και ποιοτικές βελτιώσεις στις επιδόσεις παρατηρήθηκαν στα Μαθηματικά και τη Γεωμετρία. Πριν από την υλοποίηση του έργου, οι εκπαιδευτικοί και στα δύο συνεργαζόμενα σχολεία παρατηρούσαν ότι οι μαθητές αντιμετώπιζαν συχνά δυσκολίες στην κατανόηση καθαρά συμβολικών χωρικών εννοιών, όπως οι μετασχηματισμοί κλίμακας, οι υπολογισμοί εμβαδού, ο όγκος και η συμμετρία.

Όταν οι μαθητές κλήθηκαν να σχεδιάσουν τις βιώσιμες σχολικές τους αυλές, οι αφηρημένοι μαθηματικοί κανόνες μετατράπηκαν σε συγκεκριμένους δομικούς και σχεδιαστικούς περιορισμούς. Σύμφωνα με την έκθεση του Σχολείου Petro Kuzmjak, οι μαθητές εφάρμοσαν άμεσα έννοιες όπως το εμβαδόν, η περίμετρος, οι γωνίες και η κλίμακα για να βελτιστοποιήσουν τις σχεδιαστικές τους προτάσεις, χρησιμοποιώντας μετρήσεις και εκτιμήσεις για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας του διαθέσιμου χώρου.

Η έκθεση του 16ου Πειραματικού Δημοτικού Σχολείου Λαμίας επιβεβαίωσε την ίδια τάση, δείχνοντας ότι η χειραγώγηση ψηφιακών τρισδιάστατων σχημάτων στο Tinkercad επέτρεψε στους μαθητές να δοκιμάζουν εναλλακτικές λύσεις και να παρατηρούν άμεσα τα γεωμετρικά αποτελέσματα των μαθηματικών επιλογών τους. Αυτή η βιωματική προσέγγιση στη χωρική επίλυση προβλημάτων συνδέθηκε με μετρήσιμη βελτίωση στις επιδόσεις των μαθητών, ιδιαίτερα σε ενότητες του αναλυτικού προγράμματος που αφορούσαν τις τρισδιάστατες χωρικές σχέσεις, τα επίπεδα συντεταγμένων και την εκτίμηση όγκου.

Παρόμοια ανοδική τάση στις μαθητικές επιδόσεις καταγράφηκε και στα βασικά μαθήματα Φυσικών Επιστημών και Φυσικής. Παραδοσιακά, η διδασκαλία μηχανισμών που σχετίζονται με το περιβάλλον βασίζεται σε στατικά μοντέλα και αναπαραστάσεις των σχολικών βιβλίων, τα οποία συχνά δυσκολεύουν τη διατήρηση του ενδιαφέροντος των μαθητών.

Τα δεδομένα επίδοσης υποδεικνύουν ότι η αξιοποίηση του 3D παιχνιδιού βιωσιμότητας και των 10 animations που συνδέονται με το μικροκλίμα συνέβαλε στη γεφύρωση αυτού του κενού κατανόησης. Όπως καταγράφηκε από την ελληνική

εκπαιδευτική ομάδα, η διαδικασία σχεδιασμού ανάγκασε τους μαθητές να εξετάσουν μεταβλητές που σχετίζονται με τη Φυσική, όπως η έκθεση στο φυσικό φως, η σκίαση, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και οι επιλογές υλικών με βάση το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.

Μέσω της οπτικοποίησης σύνθετων συστημάτων σε δυναμική μορφή, αντί της απλής απομνημόνευσης θεωρητικών εννοιών, οι μαθητές παρουσίασαν υψηλότερα επίπεδα διατήρησης της γνώσης στις τελικές αξιολογήσεις του τριμήνου. Οι μεγαλύτερες βελτιώσεις καταγράφηκαν στις ενότητες που αφορούσαν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την κατανομή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τις μεταβολές του μικροκλίματος.

Πέρα από τους συνολικούς μέσους όρους της τάξης, η παρακολούθηση των επιδόσεων ανέδειξε μια ιδιαίτερα σημαντική τάση όσον αφορά την ισότητα και τη συμπερίληψη: η μεγαλύτερη ακαδημαϊκή βελτίωση παρατηρήθηκε μεταξύ των μαθητών που προηγουμένως παρουσίαζαν χαμηλότερες επιδόσεις ή θεωρούσαν τα παραδοσιακά μαθήματα STEM λιγότερο ενδιαφέροντα.

Και οι δύο θεσμικές εκθέσεις ανέφεραν ότι η παιχνιδοκεντρική και δημιουργική μορφή των εκπαιδευτικών πόρων του VR4Clima συνέβαλε στη μείωση του άγχους που σχετίζεται με τη μαθησιακή διαδικασία και στην αύξηση της παρακίνησης των μαθητών με χαμηλότερες επιδόσεις. Ο διαδραστικός χαρακτήρας των εργαλείων VR, με περιορισμένη εξάρτηση από εκτενή γραπτά κείμενα, επέτρεψε σε μαθητές που συνήθως αντιμετώπιζαν δυσκολίες με υλικό Φυσικών Επιστημών που απαιτούσε έντονη ανάγνωση να συμμετέχουν ενεργά μέσω της παρατήρησης, του σχεδιασμού και του άμεσου πειραματισμού.

Αντί να παραμένουν σε έναν παθητικό ρόλο, οι μαθητές αυτοί εξελίχθηκαν σε ενεργούς συντελεστές των ομαδικών δραστηριοτήτων σχεδιασμού, ανέπτυξαν μεγαλύτερη υπερηφάνεια και αυτοπεποίθηση για τις κατασκευαστικές τους λύσεις και μετέτρεψαν αυτή τη νέα ενεργό συμμετοχή σε βελτιωμένες επιδόσεις στις αξιολογήσεις μετά την παρέμβαση.

Συνολικά, τα δεδομένα της μικτής μεθοδολογικής προσέγγισης καταδεικνύουν ότι οι μαθητικές επιδόσεις βελτιώθηκαν. Η βελτίωση αυτή συνδέεται με την επιτυχή αναδιαμόρφωση του πλαισίου STEM/STEAM από το έργο. Μέσω της σύνδεσης της Επιστήμης, της Τεχνολογίας, της Μηχανικής και των Τεχνών σε ένα ενιαίο, συγκεκριμένο και βιωματικό έργο, το αναλυτικό περιεχόμενο μετατράπηκε από αφηρημένη θεωρία σε μια αυθεντική και αξέχαστη εμπειρία επίλυσης προβλημάτων.

5.2. Αντιλήψεις Εκπαιδευτικών και Μαθητών

Για την αποτύπωση των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών και των μαθητών, το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας συγκέντρωσε και ανέλυσε ποσοτικά δεδομένα από ερωτηματολόγια, σε συνδυασμό με τα αναλυτικά ποιοτικά δεδομένα που περιλαμβάνονταν στις Σχολικές Έρευνες. Οι έρευνες παρακολούθησαν βασικούς δείκτες, όπως το αρχικό άγχος απέναντι στην τεχνολογία, τα επίπεδα παρακίνησης και ενεργού συμμετοχής στην τάξη, οι μεταβολές στις αντιλήψεις σχετικά με την

περιβαλλοντική ευθύνη και η συνολική παιδαγωγική ικανοποίηση από την εφαρμογή του έργου.

Αντιλήψεις των Μαθητών: Από την Αφηρημένη Ανησυχία στη Δράση

Η ανατροφοδότηση που συλλέχθηκε μέσω των ερωτηματολογίων των μαθητών ανέδειξε μια σημαντική μεταβολή στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται τα ζητήματα της κλιματικής αλλαγής και τον δικό τους ρόλο στην αντιμετώπισή τους.

- **Εξέλιξη των αντιλήψεων για τους περιβαλλοντικούς κινδύνους:** Πριν από την υλοποίηση του έργου, οι έρευνες έδειξαν ότι πολλοί μαθητές αντιλαμβάνονταν τις φυσικές καταστροφές ως μακρινά και αφηρημένα γεγονότα, τα οποία συνέβαιναν τυχαία και βρίσκονταν σε μεγάλο βαθμό έξω από τον ανθρώπινο έλεγχο. Μετά την αλληλεπίδρασή τους με το 3D παιχνίδι και την παρακολούθηση των 10 animations που συνδέονται με το μικροκλίμα, ο τρόπος έκφρασης των μαθητών μεταβλήθηκε σημαντικά. Τα ερωτηματολόγια και οι παρατηρήσεις στην τάξη έδειξαν ότι οι μαθητές άρχισαν να συζητούν για την κλιματική αλλαγή με πιο συγκεκριμένους και τοπικά προσανατολισμένους όρους, συνδέοντας άμεσα τις παγκόσμιες περιβαλλοντικές προκλήσεις με περιφερειακούς κινδύνους, όπως οι καύσωνες, οι δασικές πυρκαγιές και οι πλημμύρες στην Ελλάδα και τη Σερβία.
- **Ανάπτυξη της προσωπικής αίσθησης δυνατότητας δράσης:** Τα δεδομένα καταδεικνύουν μια σαφή μετατόπιση από την παθητική ανησυχία για την κλιματική αλλαγή προς την ενεργό επίλυση προβλημάτων και την ανάληψη πρωτοβουλιών. Αντί να περιορίζονται σε γενικόλογες αναφορές στην «προστασία του πλανήτη», οι μαθητές χρησιμοποίησαν τις απαντήσεις τους στα ερωτηματολόγια για να προτείνουν πρακτικές και τοπικά εφαρμόσιμες λύσεις. Συνέδεσαν επανειλημμένα τις επιλογές τους στον σχεδιασμό 3D μοντέλων στο Tinkercad με πραγματικές δυνατότητες μείωσης του αποτυπώματος άνθρακα, προτείνοντας παρεμβάσεις όπως φύτευση δέντρων, συλλογή βρόχινου νερού, εγκατάσταση συστημάτων σκίασης με ηλιακή προστασία και δημιουργία σημείων ανακύκλωσης, με στόχο να καταστήσουν τα σχολεία τους ασφαλέστερα και ενεργειακά αποδοτικότερα.

Αντιλήψεις των Εκπαιδευτικών: Ενίσχυση της Ψηφιακής Αυτοπεποίθησης και της Εστίασης στην Τάξη

Για τους εκπαιδευτικούς, τα ερωτηματολόγια ανέδειξαν μια πορεία επαγγελματικής ανάπτυξης, καταγράφοντας τη μετάβασή τους από την αρχική επιφυλακτικότητα σε υψηλά επίπεδα παιδαγωγικής ικανοποίησης και αυτοπεποίθησης.

- **Υπέρβαση της τεχνικής αβεβαιότητας:** Οι αρχικές έρευνες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν πριν από τα επιμορφωτικά εργαστήρια, έδειξαν ότι οι εκπαιδευτικοί και στα δύο σχολεία παρουσίαζαν χαμηλή αρχική αυτοπεποίθηση κατά την πρώτη τους επαφή με σύνθετα εργαλεία, όπως το Delightex Edu και το Tinkercad. Ωστόσο, τα ερωτηματολόγια μετά την υλοποίηση του έργου ανέδειξαν σημαντική ενίσχυση του ψηφιακού

γραμματισμού. Οι εκπαιδευτικοί ανέπτυξαν μεγαλύτερη ψηφιακή ανθεκτικότητα και αυτονομία, μαθαίνοντας να διαχειρίζονται πραγματικές προκλήσεις των σχολικών υποδομών —όπως περιορισμούς στο εύρος ζώνης, ελλείψεις μεταφράσεων στις διεπαφές του λογισμικού και την εκ περιτροπής χρήση περιορισμένου αριθμού συσκευών από μαθητικές ομάδες— και να τις μετατρέπουν σε ευκαιρίες για στοχευμένη και αποτελεσματική μάθηση.

- **Βελτίωση της συγκέντρωσης και της διαχείρισης της τάξης:** Οι εκπαιδευτικοί ανέφεραν υψηλό επίπεδο ικανοποίησης ως προς τη συγκέντρωση των μαθητών και τη διαχείριση της τάξης. Ο διερευνητικός και παιχνιδοκεντρικός χαρακτήρας των εκπαιδευτικών πόρων του VR4Clima προσέκλυσε φυσικά το ενδιαφέρον των μαθητών και περιόρισε τις παρεκκλίσεις από τη μαθησιακή διαδικασία, σε σύγκριση με παραδοσιακά μαθήματα που βασίζονται περισσότερο σε εκτενή γραπτά κείμενα. Μέσω της ανάθεσης σαφών ρόλων στις ομάδες και του καθορισμού συγκεκριμένων στόχων σχεδιασμού, οι εκπαιδευτικοί διαπίστωσαν ότι μπορούσαν να καθοδηγούν ευκολότερα τις τάξεις τους. Ως αποτέλεσμα, δημιουργήθηκε ένα συνεργατικό μαθησιακό περιβάλλον, στο οποίο οι μαθητές δοκίμαζαν ενεργά ιδέες, έθεταν πιο σύνθετα ερωτήματα και εξέφραζαν εμφανή υπερηφάνεια για το έργο και τις δημιουργίες τους.

Τα ερωτήματα της τελικής έρευνας επιβεβαίωσαν ότι το έργο προκάλεσε μια ουσιαστική και διαρκή μεταβολή στον τρόπο με τον οποίο και τα δύο σχολεία προσεγγίζουν την περιβαλλοντική εκπαίδευση. Αντί να αντιμετωπίζουν τη VR και την 3D μοντελοποίηση ως μεμονωμένες δραστηριότητες ή προαιρετικές εκπαιδευτικές πρακτικές, οι εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν στην επιμόρφωση δήλωσαν ρητά την πρόθεσή τους να συνεχίσουν να αξιοποιούν αυτές τις μεθόδους και σε επόμενες σχολικές περιόδους.

Τα δεδομένα των ερωτηματολογίων ανέδειξαν επίσης μια κοινή διαπίστωση μεταξύ των εκπαιδευτικών ότι τα συγκεκριμένα εργαλεία μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα σε πολλά και διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα, όπως η Γεωγραφία, η Πληροφορική, η Βιολογία και τα Εικαστικά.

Αντικαθιστώντας την παθητική ανάγνωση σχολικών εγχειριδίων με οπτικές, διερευνητικές και βασισμένες σε προσομοιώσεις μαθησιακές δραστηριότητες, το έργο συνέβαλε στον εκσυγχρονισμό της υφιστάμενης προσέγγισης των σχολείων στην περιβαλλοντική εκπαίδευση και τις Φυσικές Επιστήμες. Παράλληλα, ανέδειξε στους εκπαιδευτικούς και στους μαθητές ότι σύνθετα προβλήματα που αφορούν την τοπική τους πραγματικότητα μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσα από δημιουργικές, βιωματικές και πρακτικές δραστηριότητες μηχανικής και σχεδιασμού.

5.3. Ολοκληρωμένη Ανάλυση SWOT

Με βάση την επιχειρησιακή ανατροφοδότηση, τις προσαρμογές των υποδομών και τα παιδαγωγικά δεδομένα που περιλαμβάνονται στις εκθέσεις των συνεργαζόμενων σχολείων, παρουσιάζεται παρακάτω μια ολοκληρωμένη ανάλυση SWOT για το έργο VR4Clima.



Εικόνα 6: Ανάλυση SWOT Analysis του έργου VR4Clima

Εσωτερικοί Παράγοντες: Δυνατά Σημεία και Αδυναμίες

Δυνατά Σημεία (Τι λειτούργησε αποτελεσματικά)

- *Υψηλή Ενεργή Συμμετοχή και Παρακίνηση των Μαθητών:* Και στα δύο δημοτικά σχολεία, η ενσωμάτωση του serious gaming και της 3D μοντελοποίησης οδήγησε σε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης και της επιμονής των μαθητών. Η συγκεκριμένη μορφή μάθησης περιόρισε τις αποσπάσεις της προσοχής και ενίσχυσε τη συνολική διάρκεια της ενεργού συμμετοχής σε σύγκριση με τη διδασκαλία που βασίζεται κυρίως σε εκτενή γραπτά κείμενα.
- *Ουσιαστική Παιδαγωγική Αναπροσαρμογή:* Οι απαιτήσεις του χωρικού σχεδιασμού μετέτρεψαν αφηρημένες έννοιες σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι μαθητές βελτίωσαν εμφανώς την κατανόησή τους στη Γεωμετρία (εμβαδόν, κλίμακα, περίμετρος) και στη Φυσική (προσανατολισμός ως προς τον ήλιο και τον άνεμο, θερμική σκίαση, σταθερότητα) μέσω της ενεργού και βιωματικής μοντελοποίησης.
- *Μετρήσιμη Μεταβολή στον Περιβαλλοντικό και Κλιματικό Γραμματισμό:* Ο συνδυασμός του 3D παιχνιδιού και των 10 animations για το μικροκλίμα μετέβαλε το λεξιλόγιο των μαθητών, από αόριστες και γενικές αναφορές στην οικολογία σε συγκεκριμένες και τοπικά προσανατολισμένες συζητήσεις σχετικά με πραγματικές δράσεις αντιμετώπισης, όπως η εξοικονόμηση νερού, η φύτευση δέντρων και η πρόληψη κινδύνων από πλημμύρες.
- *Ενισχυμένη Συμπερίληψη και Προσβασιμότητα:* Ο οπτικός και χωρικός χαρακτήρας των εργαλείων συνέβαλε στη μείωση των μαθησιακών ανισοτήτων. Μαθητές με διαφορετικούς ρυθμούς μάθησης, ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες ή δυσκολίες στην ανάγνωση μπόρεσαν να συμμετέχουν

πλήρως και να συνεργάζονται μέσω του σχεδιασμού, χωρίς να εξαρτώνται αποκλειστικά από το γραπτό κείμενο.

- *Ψηφιακή Ανθεκτικότητα και Ανάπτυξη Ικανοτήτων των Εκπαιδευτικών:* Παρά τη χαμηλότερη αρχική αυτοπεποίθηση, ο συνδυασμός των επιμορφωτικών εργαστηρίων και της εφαρμογής στην πραγματική σχολική τάξη ενίσχυσε σημαντικά τον ψηφιακό γραμματισμό των εκπαιδευτικών. Οι εκπαιδευτικοί ανέπτυξαν μακροπρόθεσμη επαγγελματική επάρκεια και προσάρμοσαν τις υφιστάμενες προσεγγίσεις τους στη διδασκαλία της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης.

Αδυναμίες

- *Κοινωνικοτεχνική Καμπύλη Μάθησης:* Η εφαρμογή σύνθετων λογισμικών χωρικού σχεδιασμού, όπως το Tinkercad, ανέδειξε σημαντικές διαφοροποιήσεις στις ψηφιακές δεξιότητες μεταξύ των μαθητικών ομάδων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Οι εκπαιδευτικοί χρειάστηκε να προσαρμόσουν τον ρυθμό και τη μεθοδολογία διδασκαλίας ώστε να υποστηρίξουν μαθητές με διαφορετικά επίπεδα ψηφιακής εξοικείωσης.
- *Θεσμικοί Περιορισμοί Χρόνου:* Η ενσωμάτωση των πολυβηματικών ψηφιακών διαδικασιών στα ήδη διαμορφωμένα και απαιτητικά εθνικά ωρολόγια προγράμματα επιβάρυνε σημαντικά τον διαθέσιμο διδακτικό χρόνο και τον προγραμματισμό των εκπαιδευτικών.
- *Γλωσσικές Αναντιστοιχίες και Περιορισμοί Μετάφρασης:* Οι τεχνικές διεπαφές και το εκπαιδευτικό υλικό των ψηφιακών εργαλείων δεν ήταν σε όλες τις περιπτώσεις διαθέσιμα στην τοπική γλώσσα, δημιουργώντας ένα επιπλέον εμπόδιο, ιδιαίτερα για τους μικρότερους μαθητές που προσπαθούσαν να κατανοήσουν σύνθετες τεχνικές και επιστημονικές έννοιες.
- *Εξάρτηση από τις Πλατφόρμες και Ευπάθεια του Δικτύου:* Οι ταυτόχρονες συνδέσεις ολόκληρων τάξεων στις cloud πλατφόρμες Tinkercad και Delightex Edu προκάλεσαν σε ορισμένες περιπτώσεις καθυστέρηση του δικτύου και αστάθεια των πλατφορμών. Ως αποτέλεσμα, το εκπαιδευτικό προσωπικό χρειάστηκε να υιοθετήσει πιο αργό και προσεκτικά οργανωμένο ρυθμό υλοποίησης των δραστηριοτήτων.

Εξωτερικοί Παράγοντες: Ευκαιρίες και Κίνδυνοι

Ευκαιρίες

- *Συστημική Διεπιστημονική Επέκταση:* Οι εκθέσεις καταδεικνύουν ότι τα εργαλεία του VR4Clima δεν περιορίζονται στα πεδία των STEM. Οι εκπαιδευτικοί που έχουν επιμορφωθεί σχεδιάζουν ήδη να εφαρμόσουν τις αρχές της 3D μοντελοποίησης στη Γεωγραφία, τη Βιολογία, την Πληροφορική, τα Εικαστικά, καθώς και σε ευρύτερες δραστηριότητες μάθησης που βασίζονται σε έργα (project-based learning).
- *Πλαίσια Διασυννοριακής Συνεργασίας:* Η αξιοποίηση της πλατφόρμας eTwinning και των κινητικотήτων LTT (Learning, Teaching and Training)

αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική στην ενίσχυση της ευρωπαϊκής διάστασης του έργου. Οι εταίροι από τη Σερβία και την Ελλάδα είχαν τη δυνατότητα να ανταλλάξουν διδακτικές πρακτικές και να συνδιαμορφώσουν λύσεις σχετικά με τη βιωσιμότητα.

- *Συμβολή στον Σχεδιασμό Εθνικών Εκπαιδευτικών Μεταρρυθμίσεων:* Τα εμπειρικά δεδομένα που προέκυψαν από τις πιλοτικές εφαρμογές παρέχουν στην κοινοπραξία ένα ισχυρό τεκμηριωμένο πλαίσιο για την υποβολή προτάσεων προς τα Υπουργεία Παιδείας της Ελλάδας και της Σερβίας, με έμφαση σε δομημένα και έτοιμα προς αξιοποίηση 3D μαθησιακά σενάρια για την κλιματική αλλαγή.

Κίνδυνοι

- *Επιδείνωση του Ψηφιακού Χάσματος:* Εάν το μοντέλο επεκταθεί χωρίς κρατικά υποστηριζόμενη προμήθεια και αναβάθμιση εξοπλισμού, τα σχολεία που δεν διαθέτουν οργανωμένα εργαστήρια Πληροφορικής ή κατάλληλα ακουστικά VR ενδέχεται να μείνουν πίσω. Αυτό θα μπορούσε να διευρύνει το χάσμα ισότητας μεταξύ σχολικών μονάδων με υψηλότερους και χαμηλότερους διαθέσιμους πόρους.
- *Τεχνολογική και Υποδομική Παλαιώση:* Χωρίς συνεχή χρηματοδότηση για τη συντήρηση και ανανέωση του τεχνολογικού οικοσυστήματος, συμπεριλαμβανομένων των συνδρομών λογισμικού, της αναβάθμισης του δικτύου και της συντήρησης των συσκευών, υπάρχει κίνδυνος ο εξοπλισμός και οι ψηφιακές υποδομές του έργου να παραμείνουν αναξιόποιοι μετά τη λήξη της αρχικής χρηματοδότησης από την ΕΕ.
- *Επιφανειακή Ενσωμάτωση στην Εκπαιδευτική Πολιτική:* Υπάρχει ο κίνδυνος οι περιφερειακές ή εθνικές εκπαιδευτικές αρχές να εισαγάγουν τα συγκεκριμένα ψηφιακά εργαλεία ως προαιρετικές ή συμπληρωματικές δραστηριότητες, αντί να τα ενσωματώσουν ουσιαστικά στα βασικά αναλυτικά προγράμματα Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης και Εκπαίδευσης για την Ενεργό Πολιτειότητα. Μια τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε να οδηγήσει σε χαμηλά επίπεδα υιοθέτησης από τους εκπαιδευτικούς και να περιορίσει σημαντικά τη μακροπρόθεσμη επίδραση του έργου.

Για την επιτυχή μετάβαση του έργου από μια μεμονωμένη πιλοτική επιτυχία σε μια βιώσιμη πρωτοβουλία εθνικής εμβέλειας, οι υπεύθυνοι χάραξης εκπαιδευτικής πολιτικής πρέπει να αναγνωρίσουν ότι ο τεχνολογικός εξοπλισμός από μόνος του δεν επαρκεί. Το κλειδί για την επιτυχή επέκταση του μοντέλου σε εθνική κλίμακα βρίσκεται στην παροχή συνεχούς επαγγελματικής ανάπτυξης και επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών, στη διασφάλιση αξιοπίστων και επαρκών σχολικών δικτυακών υποδομών και στη διάθεση έτοιμων, κατάλληλων για κάθε ηλικιακή ομάδα ψηφιακών εκπαιδευτικών σεναρίων.

Τα σενάρια αυτά θα πρέπει να συνδέουν τα τοπικά προβλήματα που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή με άμεσες, δημιουργικές και βιωματικές δράσεις σχεδιασμού και ενεργού πολιτειότητας, ώστε η τεχνολογία να λειτουργεί όχι ως αυτοσκοπός, αλλά ως εργαλείο για την ανάπτυξη γνώσεων, δεξιοτήτων και περιβαλλοντικά υπεύθυνης δράσης.

Κεφάλαιο 6: Στρατηγικές Συστάσεις για τους Υπευθύνους Χάραξης Εκπαιδευτικής Πολιτικής

Τα δεδομένα πεδίου και η επιχειρησιακή ανατροφοδότηση που συλλέχθηκαν από τις πιλοτικές εφαρμογές στην Ελλάδα και τη Σερβία παρέχουν μια σαφή και τεκμηριωμένη βάση για τον σχεδιασμό εκτεταμένων μεταρρυθμίσεων στα αναλυτικά προγράμματα. Για τη μετάβαση από μια επιτυχημένη τοπική πιλοτική εφαρμογή σε ένα σύστημα εθνικής εμβέλειας, οι υπεύθυνοι χάραξης εκπαιδευτικής πολιτικής θα πρέπει να αντιμετωπίσουν συγκεκριμένες διαρθρωτικές, χρηματοδοτικές και παιδαγωγικές απαιτήσεις, ώστε να καταστεί δυνατή η ουσιαστική και βιώσιμη ενσωμάτωση των τεχνολογιών εμβύθισης στα δημόσια σχολικά δίκτυα.

6.1. Ενσωμάτωση στο Αναλυτικό Πρόγραμμα: Πώς να συνδεθούν άμεσα οι δραστηριότητες 3D/VR με τα εθνικά προγράμματα STEM

Για να καταστούν η 3D μοντελοποίηση και η Εικονική Πραγματικότητα (VR) μόνιμα στοιχεία της δημόσιας εκπαίδευσης, δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως προαιρετικές ή εξωσχολικές δραστηριότητες. Τα Υπουργεία Παιδείας θα πρέπει να συνδέσουν ρητά τα εργαλεία αυτά με τα υφιστάμενα εθνικά αναλυτικά προγράμματα και τα διδακτικά αντικείμενα.

Αντί για τη δημιουργία ενός αυτοτελούς μαθήματος «VR», το έργο VR4Clima καταδεικνύει ότι οι τεχνολογίες εμβύθισης λειτουργούν αποτελεσματικότερα όταν ενσωματώνονται οργανικά στα ήδη υπάρχοντα μαθήματα. Εργαλεία 3D σχεδιασμού, όπως το Tinkercad, μπορούν να ενταχθούν στις ώρες Μαθηματικών και Γεωμετρίας, επιτρέποντας στους μαθητές να εφαρμόζουν πρακτικά αφηρημένες έννοιες όπως ο όγκος, η κλίμακα, το εμβαδόν και η συμμετρία.

Τα Υπουργεία θα πρέπει επίσης να θεσπίσουν διεπιστημονικές μαθησιακές ενότητες που συνδέουν τις Φυσικές Επιστήμες με την ενεργό πολιτειότητα και την περιβαλλοντική ευθύνη. Η δραστηριότητα σχεδιασμού ενός βιώσιμου σχολικού προαυλίου αποτελεί ένα κατάλληλο πρότυπο, καθώς συνδυάζει:

- Γεωγραφία, Βιολογία και Οικολογία, για την ανάλυση του τοπικού μικροκλίματος και των φυσικών κινδύνων,
- Φυσική, για τη μελέτη της ηλιακής ακτινοβολίας, της σκίασης και της επίδρασης του ανέμου,
- Μηχανική και Μαθηματικά, για την κλίμακα, τις διαστάσεις, τη σταθερότητα και την αποδοτικότητα των κατασκευών,
- Εικαστικά και 3D σχεδιασμό, για τη δημιουργική οργάνωση και οπτικοποίηση των προτεινόμενων λύσεων.

Οι εθνικές στρατηγικές ενσωμάτωσης θα πρέπει, τέλος, να ακολουθούν μια κλιμακωτή προσέγγιση, αντί να εφαρμόζουν την ίδια τεχνολογία με τον ίδιο τρόπο σε όλες τις ηλικίες. Η πιλοτική εφαρμογή του VR4Clima παρέχει ένα χρήσιμο μοντέλο:

- Γ' και Δ' Δημοτικού: χρήση των εκδόσεων των εκπαιδευτικών παιχνιδιών που βασίζονται σε υπολογιστή και οθόνη, στο πλαίσιο των κανονικών ωρών του εργαστηρίου Πληροφορικής.
- Ε' και ΣΤ' Δημοτικού και μεγαλύτερες ηλικίες: σταδιακή εισαγωγή των ακουστικών VR, παράλληλα με τις δραστηριότητες 3D σχεδιασμού και διερεύνησης.
- Εμβυθιστικές δραστηριότητες: οι ατομικές συνεδρίες VR θα πρέπει να παραμένουν σύντομες και στοχευμένες, με ανώτατη διάρκεια περίπου 6–7 λεπτών συνεχούς χρήσης, ώστε να λαμβάνονται υπόψη ζητήματα εργονομίας, οπτικής κόπωσης και διατήρησης της προσοχής.

Με αυτόν τον τρόπο, η Εικονική Πραγματικότητα δεν θα λειτουργεί ως ξεχωριστό τεχνολογικό «πρόσθετο», αλλά ως ένα παιδαγωγικό εργαλείο που ενισχύει τους υφιστάμενους στόχους του αναλυτικού προγράμματος και μετατρέπει τη θεωρητική γνώση σε βιωματική, διεπιστημονική και πραγματική επίλυση προβλημάτων.

6.2. Υποδομές και Χρηματοδότηση

Η επέκταση ενός καινοτόμου ψηφιακού αναλυτικού προγράμματος σε εθνικό επίπεδο απαιτεί μια προσέγγιση που υπερβαίνει το αρχικό κόστος αγοράς του εξοπλισμού και λαμβάνει υπόψη το συνολικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης σε επίπεδο σχολικής μονάδας και εκπαιδευτικού συστήματος.

Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια που εντοπίστηκαν κατά την ταυτόχρονη χρήση cloud πλατφορμών, όπως το Tinkercad και το Delightex Edu, ήταν η καθυστέρηση της τοπικής σύνδεσης στο διαδίκτυο. Πριν από την εθνική εφαρμογή τέτοιων εργαλείων, τα Υπουργεία θα πρέπει να επενδύσουν στην αναβάθμιση των δικτυακών υποδομών των εργαστηρίων Πληροφορικής των δημόσιων σχολείων, με επαρκείς ταχύτητες και σταθερότητα, ώστε να αποφεύγονται διακοπές λειτουργίας των πλατφορμών και καθυστερήσεις στη διδασκαλία.

Παράλληλα, δεν είναι απαραίτητη η προμήθεια εξοπλισμού VR για κάθε μαθητή. Μια πιο οικονομικά βιώσιμη και παιδαγωγικά αποτελεσματική λύση είναι η δημιουργία ενός κοινόχρηστου θεσμικού αποθέματος εξοπλισμού. Τα σχολεία μπορούν να αξιοποιούν τους υφιστάμενους επιτραπέζιους υπολογιστές για τις δραστηριότητες 3D σχεδιασμού και να χρησιμοποιούν έναν περιορισμένο αριθμό αυτόνομων ακουστικών VR σε κυκλική βάση, για σύντομες και στοχευμένες φάσεις εμβύθισης.

Για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του VR4Clima, τα σχολεία θα μπορούσαν επίσης να συνεργάζονται με περιφερειακούς τεχνολογικούς κόμβους, όπως πανεπιστημιακά εργαστήρια, τοπικά κέντρα Πληροφορικής, κέντρα καινοτομίας ή άλλους εξειδικευμένους φορείς. Αντί να επωμίζονται οι εκπαιδευτικοί την επίλυση όλων των τεχνικών προβλημάτων παράλληλα με τα διδακτικά τους καθήκοντα, οι περιφερειακοί αυτοί κόμβοι θα μπορούσαν να αναλαμβάνουν τις ενημερώσεις λογισμικού και των ψηφιακών εργαλείων, την αντιμετώπιση τεχνικών προβλημάτων και δυσλειτουργιών των πλατφορμών, την τεχνική υποστήριξη για τη λειτουργία των εργαλείων 3D σχεδιασμού και τη συντήρηση και διαχείριση του κοινού εξοπλισμού VR.

Οι ίδιοι κόμβοι θα μπορούσαν να λειτουργούν ως περιφερειακά κέντρα κοινόχρηστου εξοπλισμού, αποθηκεύοντας και συντηρώντας τα ακουστικά VR και διαθέτοντάς τα εκ

περιτροπής στα σχολεία μιας ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής, ανάλογα με τις ανάγκες τους.

Μέσω αυτής της περιφερειακής κατανομής τεχνικής υποστήριξης και εξοπλισμού, το κόστος μπορεί να επιμερίζεται μεταξύ πολλών σχολικών μονάδων. Έτσι, η δημόσια εκπαίδευση μπορεί να διατηρήσει τη χρήση των εμβυθιστικών μαθησιακών δραστηριοτήτων για την κλιματική αλλαγή σε βάθος χρόνου, χωρίς να απαιτείται ένα ξεχωριστό και ιδιαίτερα υψηλό τεχνολογικό κονδύλι για κάθε σχολείο.

6.3. Επαγγελματική Ανάπτυξη και Επιμόρφωση των Εκπαιδευτικών

Η μετάβαση από την αρχική τεχνική επιφυλακτικότητα στην υψηλή διδακτική αυτοπεποίθηση που παρατηρήθηκε μεταξύ των εκπαιδευτικών των πιλοτικών σχολείων αποδεικνύει ότι ο εκπαιδευτικός αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα της εκπαιδευτικής μετασχηματιστικής διαδικασίας.

Οι μεμονωμένες ενημερωτικές διαδικτυακές επιμορφώσεις δεν επαρκούν. Τα Υπουργεία θα πρέπει να θεσπίσουν συνεχή και δομημένα προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης, τα οποία θα συνδυάζουν την αρχική εκπαίδευση στη χρήση του λογισμικού με συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη κατά την εφαρμογή στην πραγματική σχολική τάξη.

Για την αντιμετώπιση των σημαντικών περιορισμών χρόνου που δημιουργούν τα απαιτητικά σχολικά ωρολόγια προγράμματα, η επιμόρφωση θα πρέπει να ενθαρρύνει συνεργατικά μοντέλα διδασκαλίας, στα οποία οι εκπαιδευτικοί μοιράζονται τις ευθύνες του σχεδιασμού, της τεχνικής υποστήριξης και της επίβλεψης των μαθητών. Παράλληλα, τα Υπουργεία θα πρέπει να παρέχουν στους εκπαιδευτικούς έτοιμα προς αξιοποίηση ψηφιακά μαθησιακά σενάρια, προσαρμοσμένα στις διαφορετικές ηλικιακές ομάδες, μεταφρασμένο και τοπικά προσαρμοσμένο εκπαιδευτικό υλικό και οδηγούς και δραστηριότητες που μπορούν να ενσωματωθούν άμεσα στα υφιστάμενα αναλυτικά προγράμματα. Με τον τρόπο αυτό, οι εκπαιδευτικοί θα μπορούν να επικεντρώνονται στον παιδαγωγικό συντονισμό και την καθοδήγηση των μαθητών, αντί να χρειάζεται να δημιουργούν από την αρχή το τεχνικό και εκπαιδευτικό υλικό.

Τέλος, τα προγράμματα επιμόρφωσης δεν θα πρέπει να περιορίζονται στην εκμάθηση των βασικών λειτουργιών του λογισμικού. Θα πρέπει να περιλαμβάνουν πρακτική εκπαίδευση σε ευέλικτες στρατηγικές διαχείρισης της τάξης, όπως:

- η διαχείριση των διαφορετικών επιπέδων ψηφιακών δεξιοτήτων των μαθητών,
- η οργάνωση εκ περιτροπής ομάδων μαθητών όταν ο διαθέσιμος εξοπλισμός είναι περιορισμένος,
- η αξιοποίηση σχεδίων σε χαρτί ως ενδιάμεσου σταδίου πριν από την ψηφιακή 3D μοντελοποίηση,
- και η αποτελεσματική κατανομή ρόλων μεταξύ εκπαιδευτικών και μαθητών κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων.

Ένα τέτοιο μοντέλο επιμόρφωσης θα διασφαλίσει ότι η τεχνολογία δεν θα παραμείνει ένα τεχνικό εργαλείο, αλλά θα μετατραπεί σε μια βιώσιμη παιδαγωγική πρακτική, ενσωματωμένη στην καθημερινή λειτουργία του σχολείου..

6.4. Προτάσεις για τη Βελτίωση του Έργου

Παρότι η τρέχουσα φάση του VR4Clima απέδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα, οι μελλοντικές εκδόσεις του έργου μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω τον αντίκτυπό του, αξιοποιώντας τα συγκεκριμένα διδάγματα και τις επιχειρησιακές εμπειρίες που προέκυψαν από την εφαρμογή στις σχολικές μονάδες.

- Πλήρης Γλωσσική Προσαρμογή και Τοπικοποίηση: Ένα σημαντικό εμπόδιο για τους μικρότερους μαθητές ήταν η απουσία επιλογών στην τοπική γλώσσα σε ορισμένες διεπαφές λογισμικού και τεχνικούς εκπαιδευτικούς πόρους. Οι μελλοντικές φάσεις του έργου θα πρέπει να δώσουν προτεραιότητα στην πλήρη μετάφραση και τοπικοποίηση όλων των ψηφιακών εργαλείων και του υποστηρικτικού υλικού στα Ελληνικά, Σερβικά και στις γλώσσες των μελλοντικών χωρών-εταίρων, πριν από την έναρξη της εφαρμογής στις τάξεις.
- Ανάπτυξη Offline Εκδόσεων: Για τον περιορισμό των προβλημάτων που σχετίζονται με την αστάθεια των σχολικών δικτύων και τις διακοπές σύνδεσης στις cloud πλατφόρμες, το έργο θα πρέπει να εξετάσει την ανάπτυξη downloadable/offline εκδόσεων των βασικών serious games και, όπου είναι τεχνικά εφικτό, των βασικών χώρων 3D σχεδιασμού. Με αυτόν τον τρόπο, σχολεία με περιορισμένη ή ασταθή διαδικτυακή υποδομή θα μπορούν να υλοποιούν τις δραστηριότητες χωρίς σημαντικές διακοπές.
- Τυποποιημένη Εισαγωγική Εκπαίδευση Μαθητών: Δεδομένου ότι οι μαθητές παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τις ψηφιακές τους δεξιότητες, οι μελλοντικοί κύκλοι του έργου θα πρέπει να περιλαμβάνουν ένα σύντομο και τυποποιημένο εισαγωγικό μάθημα πριν από την έναρξη των βασικών περιβαλλοντικών δραστηριοτήτων. Το μάθημα θα πρέπει να καλύπτει τις βασικές λειτουργίες του Tinkercad, τις αρχές της 3D μοντελοποίησης και βασικές έννοιες χωρικής λογικής. Έτσι, θα επιτυγχάνεται ένα πιο ομοιογενές αρχικό επίπεδο ψηφιακής ετοιμότητας και θα μειώνεται η πίεση που ασκείται στους εκπαιδευτικούς κατά τη διάρκεια της κύριας διδακτικής διαδικασίας.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και Στρατηγική Διάχυσης

7.1. Τελικές Παρατηρήσεις: Η Εικονική Πραγματικότητα ως Όχημα για την Εκπαιδευτική Εξέλιξη

Η εφαρμογή του πλαισίου VR4Clima σε διαφορετικά περιβάλλοντα πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης καταδεικνύει ότι οι τεχνολογίες εμπύθισης μπορούν να ξεπεράσουν τον χαρακτήρα μιας μεμονωμένης καινοτομίας στην τάξη και να λειτουργήσουν ως ουσιαστικός μοχλός εξέλιξης του αναλυτικού προγράμματος. Με την ενσωμάτωση της 3D σχεδίασης και της Εικονικής Πραγματικότητας στην καθημερινή σχολική πρακτική, και όχι μόνο σε ελεγχόμενα εργαστηριακά περιβάλλοντα, το έργο ανέδειξε τον τρόπο με τον οποίο τα διαδραστικά ψηφιακά μέσα μπορούν να μετασχηματίσουν βασικές διδακτικές πρακτικές.

Τα συνολικά δεδομένα από τους συνεργαζόμενους φορείς δείχνουν ότι η χωρική μάθηση μπορεί να γεφυρώσει το διαχρονικό χάσμα μεταξύ της αφηρημένης επιστημονικής γνώσης και της εφαρμογής της στον πραγματικό κόσμο. Όταν σύνθετες και μη άμεσα παρατηρήσιμες έννοιες —όπως οι γεωμετρικοί μετασχηματισμοί, η κλίμακα, ο ηλιακός προσανατολισμός και οι τοπικές μεταβολές του μικροκλίματος— μετατρέπονται σε διαδραστικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα, οι μαθητές μεταβαίνουν από παθητικοί αποδέκτες πληροφοριών σε ενεργούς επιλυτές προβλημάτων. Η βιωματική αυτή εμπλοκή ενισχύει τη συγκέντρωση, περιορίζει τις συμπεριφορές εκτός μαθησιακού στόχου και καλλιεργεί στους μαθητές μια ισχυρότερη αίσθηση προσωπικής ευθύνης και ενεργού πολιτεϊότητας απέναντι στην κλιματική αλλαγή και τα περιβαλλοντικά ζητήματα της τοπικής τους κοινότητας.

Παράλληλα, τα δεδομένα εφαρμογής αμφισβητούν την αντίληψη ότι η αξιοποίηση προηγμένων ψηφιακών εργαλείων προϋποθέτει εξειδικευμένη τεχνολογική τεχνογνωσία από τους εκπαιδευτικούς ή πρόσβαση σε ιδιαίτερα δαπανηρές υποδομές. Μέσω ευέλικτων και χαμηλού κόστους μικτών μοντέλων, όπως ο συνδυασμός των υφιστάμενων υπολογιστών των εργαστηρίων Πληροφορικής με έναν μικρό αριθμό κοινόχρηστων αυτόνομων ακουστικών VR, τα πιλοτικά σχολεία κατάφεραν να αντιμετωπίσουν τους περιορισμούς εξοπλισμού και παράλληλα να ενισχύσουν τη μακροπρόθεσμη ψηφιακή ανθεκτικότητα των εκπαιδευτικών.

Ο οπτικός και χωρικός χαρακτήρας των συγκεκριμένων εργαλείων λειτούργησε επίσης ως σημαντικός παράγοντας συμπερίληψης, προσφέροντας μια εναλλακτική μαθησιακή διαδρομή σε μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες, διαφορετικούς ρυθμούς μάθησης ή δυσκολίες που σχετίζονται με τα παραδοσιακά, κειμενοκεντρικά μαθησιακά περιβάλλοντα.

Συνολικά, η επιτυχία της πιλοτικής εφαρμογής προσφέρει ένα τεκμηριωμένο μοντέλο για τα Υπουργεία Παιδείας και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Το VR4Clima καταδεικνύει ότι, όταν οι ψηφιακές τεχνολογίες συνδυάζονται με συστηματική υποστήριξη και επιμόρφωση των εκπαιδευτικών, κατάλληλα σχεδιασμένα μαθησιακά σενάρια και αυθεντικά προβλήματα του πραγματικού κόσμου, μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στον εκσυγχρονισμό της δημόσιας εκπαίδευσης και στην προετοιμασία

των νέων για μακροπρόθεσμη περιβαλλοντική υπευθυνότητα και ενεργό συμμετοχή στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

7.2. Σχέδιο Διάχυσης: Ακαδημαϊκά, Κοινωνικά και Πολιτικά Κανάλια

Για τη μεγιστοποίηση του αντίκτυπου του έργου VR4Clima πέρα από την κοινοπραξία των εταίρων, θα υλοποιηθεί μια δομημένη στρατηγική διάχυσης με στόχο την ακαδημαϊκή κοινότητα, το ευρύτερο κοινό και τους υπεύθυνους χάραξης εκπαιδευτικής πολιτικής στην Ελλάδα και τη Σερβία. Η διάχυση των αποτελεσμάτων θα διασφαλίσει ότι τα εμπειρικά ευρήματα, οι επιχειρησιακές λύσεις και τα παιδαγωγικά δεδομένα που προέκυψαν από τις πραγματικές συνθήκες εφαρμογής θα είναι διαθέσιμα για περαιτέρω αξιοποίηση, αναπαραγωγή και επιστημονικό έλεγχο.

Η πλήρης και οριστικοποιημένη έκδοση της παρούσας έκθεσης αξιολόγησης θα υποβληθεί επίσημα στο Υπουργείο Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού της Ελλάδας και στο Υπουργείο Παιδείας της Σερβίας. Η έκθεση θα λειτουργήσει ως ένα τεκμηριωμένο πλαίσιο στρατηγικού σχεδιασμού, παρέχοντας στους αρμόδιους φορείς δεδομένα πεδίου σχετικά με τις μεταβολές στις μαθησιακές επιδόσεις και στους βαθμούς των μαθητών, τις απαιτήσεις σε τεχνολογικό εξοπλισμό και ψηφιακούς πόρους, τις ανάγκες αναβάθμισης των δικτυακών και τεχνικών υποδομών, τις προκλήσεις που εντοπίστηκαν κατά την εφαρμογή και τις προϋποθέσεις για την αποτελεσματική ενσωμάτωση των τεχνολογιών STEM/STEAM, 3D σχεδιασμού και VR στα εθνικά αναλυτικά προγράμματα.

Παράλληλα, επιλεγμένα κεφάλαια, δεδομένα και ευρήματα της έκθεσης θα αξιοποιηθούν για τη συγγραφή επιστημονικών άρθρων με κριτές (peer-reviewed publications). Τα άρθρα αυτά θα προσαρμοστούν στις απαιτήσεις διεθνών επιστημονικών περιοδικών και συνεδρίων στους τομείς της εκπαιδευτικής τεχνολογίας, της Εικονικής Πραγματικότητας, της STEM/STEAM εκπαίδευσης, της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και της εκπαίδευσης για την κλιματική αλλαγή.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε διεθνή ακαδημαϊκά συνέδρια θα ενισχύσει περαιτέρω την επιστημονική προβολή του VR4Clima και θα επιτρέψει την ανταλλαγή εμπειριών με ερευνητές και εκπαιδευτικούς από άλλες χώρες. Παράλληλα, η δημόσια διάχυση των βασικών ευρημάτων μέσω των ψηφιακών καναλιών του έργου θα συμβάλει στη μεταφορά της γνώσης από το πιλοτικό επίπεδο στην ευρύτερη εκπαιδευτική κοινότητα και την κοινωνία.

Με αυτόν τον τρόπο, η στρατηγική διάχυσης δεν θα περιοριστεί στην προβολή των αποτελεσμάτων του έργου, αλλά θα επιδιώξει τη μετατροπή των ευρημάτων σε αξιοποιήσιμη γνώση για την εκπαιδευτική πολιτική, την επιστημονική έρευνα και τη σχολική πρακτική.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Markowitz, D. M., Laha, R., Perone, B. P., Pea, R. D., & Bailenson, J. N. (2018). Immersive virtual reality field trips facilitate learning about climate change. *Frontiers in Psychology*, 9, 2364. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02364>

Huang, C. Y., Cheng, B. Y., Lou, S. J., & Chung, C. C. (2023). Design and effectiveness evaluation of a smart greenhouse virtual reality curriculum based on STEAM education. *Sustainability*, 15(10), 7928. <https://doi.org/10.3390/su15107928>

Carmona-Galindo, V. D., Velado-Cano, M. A., & Groat-Carmona, A. M. (2025). The ecology of climate change: Using virtual reality to share, experience, and cultivate local and global perspectives. *Education Sciences*, 15(3), 290. <https://doi.org/10.3390/educsci15030290>

Alnuaimi, M. A., & Awad, M. A. (2026). VR environment support for STEM students – a case study. *Interactive Learning Environments*, 34(3), 1647–1665. <https://doi.org/10.1080/10494820.2025.2527168>

Pireva Nuci, K., & Shatri, K. (2026) Virtual and augmented reality as tools for improving students' performance in STEM fields. *Front. Educ.* 11:1718410. <https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1718410>

Ward, T., Jenab, K., Ortega-Moody, J., Barari, G., & Molina Acosta, L. D. C. (2025). Virtual Classrooms, Real Impact: A Framework for Introducing Virtual Reality to K–12 STEM Learning Based on Best Practices. *Applied Sciences*, 15(21), 11356. <https://doi.org/10.3390/app152111356>

Greaney, V., & Kellaghan, T. (2008). Assessing National Achievement Levels in Education. Washington, DC: World Bank.

Beets, M.W., von Klinggraeff, L., Weaver, R.G., Armstrong, B., & Burkart, S. (2021). Small studies, big decisions: the role of pilot/feasibility studies in incremental science and premature scale-up of behavioral interventions. *Pilot Feasibility Stud.* 10;7(1):173. doi: <https://doi.org/10.1186/s40814-021-00909-w>

Calle, M., Gortazar, L., Hernandez-de-Benito, M., Hupkau, C., Molina-Millán, T., & Roldán-Monés, V. (2026). From pilot to policy: Experimental evidence from scaling online tutoring. Discussion Paper, no.2176, Centre for Economic Performance London School of Economic and Political Science.

Shiwakoti, R. (2022). Policy implementation challenges in education. *Molung Educational Frontier*, 12, 190-198.

Spiel, C., Schober, B. (2016). Lessons learned for policy impact from research and interventions. In Petersen, A.C., Koller, S.H., Motti-Stefanidi, F., & Verma, S. (Eds.). (2016). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315307275>

Conrads, J., Rasmussen, M., Winters, N., Geniet, A. & Langer, L. (2017). Digital Education Policies in Europe and Beyond: Key Design Principles for More Effective Policies. Redecker, C., Kamyli, P., Bacigalupo, M. & Punie, Y., editor(s), EUR 29000 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2760/462941>, JRC109311.

Samoff, J., Dembélé, M., & Molapi Sebatane, E. (2011). And "going to scale" nurturing the local roots of education innovation in Africa. EdQual Working Paper Series.

Johnson-Glenberg, M. C. (2018). Immersive VR and education: Embodied design principles that include gesture and hand controls. *Frontiers in Robotics and AI*, 5, Article 81. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00081>

Crogman, H. T., Cano, V. D., Pacheco, E., Sonawane, R. B., & Boroon, R. (2025). Virtual reality, augmented reality, and mixed reality in experiential learning: Transforming educational paradigms. *Education Sciences*, 15(3), Article 303. <https://doi.org/10.3390/educsci15030303>

Chang, Y., Li, Z., & Qu, J. (2026). A multi-agent framework for democratizing XR content creation in K-12 classrooms. *arXiv preprint arXiv:2604.04728*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2604.04728>

Lin, X. P., Li, B. B., Yao, Z. N., Yang, Z., & Zhang, M. (2024). The impact of virtual reality on student engagement in the classroom—a critical review of the literature. *Frontiers in Psychology*, 15, Article 1360574. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1360574>

Arkabaev, N., et al. (2025). Use of virtual reality for inclusive education: Assessing the availability and adaptation of educational materials. *Journal of Educational Computing Research*

Yang, K., Asiri, N., & Kim, J. H. (2020). XR-ed framework: Designing instruction-driven and learner-centered extended reality systems for education. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 12(4), 101–107. <https://doi.org/10.7763/IJCTE.2020.V12.1270>

Chattha, U. A., Janjua, U. I., Anwar, F., Madni, T. M., Cheema, M. F., & Janjua, S. I. (2020). Motion sickness in virtual reality: An empirical evaluation. *IEEE Access*, 8, 130486–130499. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3009187>