



«Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού»

«Π.Μ.Σ.: Σχεδιασμός Οπτικών Εφέ και Κινούμενης Εικόνας»

Διπλωματική Εργασία

«Παιδαγωγική αξιοποίηση τρισδιάστατων μοντέλων και
επαυξημένης πραγματικότητας στο μάθημα της Βιολογίας στη
Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση σε Ελλάδα και Κύπρο»

Μαρία Σελεάρη

Επιβλέπων καθηγητής: Σπυρίδων Σιάκας

Πάτρα, Ιούνιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Παιδαγωγική αξιοποίηση τρισδιάστατων μοντέλων και
επαυξημένης πραγματικότητας στο μάθημα της Βιολογίας στη
Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση σε Ελλάδα και Κύπρο»

Μαρία Σελεύρη

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Σπυρίδων Σιάκας

Καθηγητής,

Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και
Βιώσιμου Σχεδιασμού,

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Δρ. Λαμπρινή Τριβέλλα,

Επίκουρη Καθηγήτρια,

Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και
Βιώσιμου Σχεδιασμού,

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Πάτρα, Ιούνιος 2026

*«Στα παιδιά μου,
που με ενέπνευσαν να εξερευνήσω το παρόν θέμα και να ολοκληρώσω αυτή τη διαδρομή.»*

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη συμβολή των ψηφιακών τεχνολογιών και της επαυξημένης πραγματικότητας στη διδασκαλία της Βιολογίας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, μέσω της δημιουργίας και αξιοποίησης τρισδιάστατων μοντέλων. Οι τεχνολογικές εξελίξεις σε συνδυασμό με την τεχνική της φωτογραμμετρίας και ανακατασκευής 3D αντικειμένων, προσφέρουν νέες δυνατότητες στην οπτικοποίηση αφηρημένων εννοιών στο πεδίο της Βιολογίας και ενισχύουν τη μαθησιακή εμπειρία.

Στόχος της εργασίας είναι η μελέτη και αξιολόγηση των τεχνικών ανακατασκευής και επεξεργασίας τρισδιάστατων μοντέλων, με έμφαση στις τεχνικές της ρετοπολογίας, της φωτογραμμετρίας και του Gaussian splatting. Η ερευνητική διαδικασία περιλαμβάνει πειραματική εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων σε μοντέλα που παραχωρήθηκαν από την ερευνητική ομάδα βιολόγων του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου, στο πλαίσιο του έργου Virtual Butterfly Exhibition. Ωστόσο, μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στη διαδικασία της ρετοπολογίας, καθώς τα μοντέλα που προέκυψαν από τη σάρωση παρουσιάζουν προβλήματα τοπολογίας και γεωμετρίας, τα οποία δυσκολεύουν την περαιτέρω επεξεργασία και αξιοποίησή τους από εφαρμογές AR. Στην προκειμένη περίπτωση, τα μοντέλα απαιτούν εκτενή επεξεργασία και καθαρισμό, προκειμένου να αποδίδουν τον ρεαλισμό και τη λεπτομέρεια που χρειάζεται για την μετ' έπειτα χρήση τους από εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας.

Παράλληλα, διεξάγεται ποιοτική έρευνα με ειδικούς του χώρου που αφορούν τις τεχνικές δυσκολίες και τις βέλτιστες πρακτικές επεξεργασίας τρισδιάστατων μοντέλων. Επιπροσθέτως, εξετάζονται διεθνείς μελέτες που αφορούν τη χρήση εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας στην εκμάθηση της Βιολογίας, σε διάφορες βαθμίδες εκπαίδευσης. Τα ευρήματα καταδεικνύουν πως η οπτικοποίηση σύνθετων βιολογικών διεργασιών που συντελούνται στη φύση και η διαδραστική μάθηση μπορούν να ενισχύσουν το ενδιαφέρον, την κατανόηση και την αφομοίωση της γνώσης από τους μαθητές.

Η φωτογραμμετρία και οι σχετικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία τρισδιάστατων αναπαραστάσεων στο μάθημα της Βιολογίας, μπορούν να ενισχύσουν τη δημιουργικότητα, το κίνητρο και την κριτική σκέψη των μαθητών. Κατ' αυτό τον τρόπο, τα μαθησιακά αποτελέσματα βελτιώνονται περισσότερο, απ' ό,τι στις παραδοσιακές

μεθόδους διδασκαλίας, και οι δεξιότητες του μαθητή αναπτύσσονται ολιστικά. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή της προσέγγισης αυτής κρίνεται απαραίτητη στο εκπαιδευτικό σύστημα της Κύπρου και της Ελλάδας, το οποίο οφείλει να ανταποκρίνεται στις τεχνολογικές απαιτήσεις του 21^{ου} αιώνα.

Λέξεις – Κλειδιά

Photogrammetry, Gaussian splatting, καθάρισμα μοντέλων, ρετοπολογία, τρισδιάστατη μοντελοποίηση, animation, βιολογία, εκπαίδευση, επανυξημένη πραγματικότητα, 3d virtual butterflies exhibition, edutainment

«Pedagogical utilization of three-dimensional models and augmented reality in Secondary Biology Education in Greece and Cyprus»

Maria Seleari

Abstract

This thesis examines the contribution of digital technologies and augmented reality to the lesson of Biology in the Secondary Education in Cyprus and Greece, through the creation and utilization of three-dimensional models. Contemporary technological advancements, including photogrammetry, 3D reconstruction techniques, retopology and Gaussian Splatting, provide new opportunities for the visualization of abstract biological concepts and the enhancement of the learning experience.

The aim of this study is to investigate and evaluate techniques for the reconstruction and processing of 3D models, with emphasis on photogrammetry, Gaussian Splatting, and retopology methods. The research process includes the experimental application of these techniques on models provided by the research team of biologists at the University of Cyprus and the Open University of Cyprus, within the framework of the *Virtual Butterflies Exhibition* project. Particular emphasis is placed on the retopology process, as scanned models often present topological and geometrical issues that make processing and utilization difficult.

In parallel, qualitative research was conducted with experts in the field regarding technical challenges and best practices in 3D model processing. Furthermore, international studies concerning the use of augmented reality applications in Biology education across different educational levels were examined. The findings signify that the visualization of complex biological processes, combined with interactive learning, can enhance students' motivation, understanding, and knowledge retention.

The use of alternative tools, such as 3D models and AR applications, created by specialized techniques, such as photogrammetry, can contribute to the modernization of science education by offering new approaches to experiential and interactive learning. Three-dimensional representations in Biology class can enhance students' creativity, critical thinking and motivation skills. Consequently, the implementation of this approach is considered essential within the educational system of Cyprus and Greece, which must respond to the technological demands of the 21st century.

Keywords

Photogrammetry, Gaussian splatting, clean up, retopology, 3D modeling, animation, biology, education, augmented reality, 3d virtual butterflies exhibition, edutainment

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract.....	3
Περιεχόμενα	5
Πίνακας ορολογίας	7
Συνοτομογραφίες & Ακρωνύμια.....	10
Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο 1: Σκοπός, ερευνητικά ερωτήματα και μεθοδολογία έρευνας.....	13
1.1 Σκοπός διπλωματικής.....	13
1.2 Ερευνητικά ερωτήματα.....	13
1.3 Μεθοδολογία έρευνας.....	14
1.4. Δομή της διπλωματικής.....	15
Μέρος 1ο: Θεωρητική προσέγγιση του θέματος.....	17
Κεφάλαιο 2: Η οπτικοποίηση στη Βιολογία.....	17
2.1. Η σημασία της εικόνας στις Φυσικές Επιστήμες	17
2.1.1 Οπτική αναπαράσταση στη Βιολογία	19
2.1.2 Ψηφιακή οπτικοποίηση και σύγχρονα μαθησιακά περιβάλλοντα.....	21
2.1.3 Η συμβολή των φορητών συσκευών και της επαυξημένης πραγματικότητας στη διδασκαλία της Βιολογίας.....	26
2.2 Ο ρόλος της οπτικοποίησης και τεχνολογίας στην Ειδική Εκπαίδευση.....	32
2.3 Εκπαιδευτικά συστήματα Ελλάδας και Κύπρου και η ανάγκη ψηφιακού μετασχηματισμού.....	35
Κεφάλαιο 3: Εργαλεία και τεχνικές οπτικοποίησης στη Βιολογία.....	41
3.1 Η Φωτογραμμετρία ως μέθοδος τρισδιάστατης ανακατασκευής οργανισμών.....	41
3.2 Το 3D gaussian splatting ως σύγχρονη τεχνική τρισδιάστατης αναπαράστασης.....	49
3.3 Το λογισμικό Blender.....	51
3.4 Εφαρμογή ρετοπολογίας σε 3D μοντέλα φωτογραμμετρίας.....	52
3.5 Επαυξημένη πραγματικότητα: αρχές και τεχνολογίες.....	55

Μέρος 2^ο: Δημιουργική προσέγγιση.....	61
Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή τεχνικών: Φωτογραμμετρία σε δείγμα πεταλούδας και αναζήτηση μεθόδων καθαρισμού του 3D μοντέλου από εξειδικευμένα λογισμικά.....	61
4.1 Virtual Butterfly Exhibition.....	61
4.2 Στάδιο προετοιμασίας της δημιουργικής διαδικασίας.....	63
4.3 Στάδια δημιουργίας	63
4.3.1 Στάδια διαδικασίας από τη φωτογραμμετρία μέχρι την εφαρμογή υφών	63
4.3.1.1 Στάδιο 1: 3D σάρωση δειγμάτων με scAntsystem	64
4.3.1.2 Στάδιο 2: Ανακατασκευή με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας.....	66
4.3.1.3 Στάδιο 3: Ανακατασκευή με τη μέθοδο του Gaussian splatting.....	68
4.3.1.4 Στάδιο 4: Καθαρισμός μοντέλου στο Blender.....	71
4.3.1.5 Στάδιο 5: UV Mapping	90
Κεφάλαιο 5: Περιορισμοί.....	95
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και προοπτικές εξέλιξης	96
Παράρτημα Α'	99
Παράρτημα Β'	106
Βιβλιογραφία.....	107

Πίνακας Ορολογίας

Φωτογραμμετρία/ Photogrammetry	Είναι η επιστήμη της ανακατασκευής τρισδιάστατης γεωμετρίας που προκύπτει από επικαλυπτόμενες δισδιάστατες φωτογραφίες του αντικειμένου που λαμβάνονται από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Το λογισμικό για να ανακατασκευάσει το 3D μοντέλο χρησιμοποιεί πολυγωνικά πλέγματα (3D meshes) και νέφη σημείων (point clouds) με τη μέθοδο του Motion from Structure. Εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς όπως η αρχαιολογία, η αρχιτεκτονική, η τοπογραφία/ χαρτογράφηση, η ψυχαγωγία και το gaming. Θεωρείται επιστήμη και όχι τέχνη, καθώς έχει να κάνει καθαρά με την καταγραφή γεωμετρικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών αντικειμένων.
3D gaussian splatting	Πρόκειται για μια προηγμένη και σύγχρονη τεχνική ανακατασκευής και δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων. Σε αντίθεση με τη φωτογραμμετρία, το gaussian splatting μπορεί να αναπαραστήσει μια 3D σκηνή σε πραγματικό χρόνο με νέφη από 3D gaussians. Εκτός από 3D ανακατασκευή χρησιμοποιείται ευρέως σε VR και AR εφαρμογές.
Animation	Αφορά την ψευδαίσθηση της κίνησης που δημιουργείται από μια σειρά εικόνων που οφείλεται στο μετείκασμα. Οι εικόνες αυτές στο animation αφορούν σχεδιασμένες ή ζωγραφισμένες εικόνες, μοντέλα, μαριονέτες και πλέον εικόνες δημιουργημένες από υπολογιστή με CGI και τρισδιάστατα μοντέλα. Στο animation, για την ομαλή ροή της εικόνας απαιτείται μια εικόνα για δύο καρέ, ώστε να συμπληρωθούν τα 24 καρέ που απαιτούνται ανά δευτερόλεπτο.
Επανζημένη Πραγματικότητα/ Augmented Reality (AR)	Η AR επιτρέπει στον χρήστη την εμβύθιση και αλληλεπίδρασή του σε έναν εικονικό κόσμο, καθώς η πληροφορία που παράγεται από τον υπολογιστή εφαρμόζεται στον πραγματικό κόσμο και σε πραγματικό χρόνο. Στην ουσία, πρόκειται για την επαύξηση του πραγματικού κόσμου με ψηφιακά αντικείμενα όπως ήχος, εικόνα και γραφικά υπολογιστή, συνδυάζοντας πραγματικό και εικονικό. Η AR κερδίζει έδαφος σε όλο και περισσότερους τομείς όπως η εκπαίδευση, η ιατρική, ο τουρισμός και η ψυχαγωγία (gaming).

Extended Reality	Όρος που περιλαμβάνει την εικονική, επανξιμένη και μικτή πραγματικότητα. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφει τις τεχνολογίες που συνδυάζουν πραγματικότητα και ψηφιακό περιεχόμενο.
Ρετοπολογία (Retopology)	Είναι η διαδικασία αναδημιουργίας ενός high poly 3D μοντέλου με πολύπλοκη τοπολογία και μεγάλο αριθμό faces σε ένα low poly mesh με απλούστερη, πιο καθαρή και χαμηλής ανάλυσης δομή. Τέτοιου είδους low poly μοντέλα συνήθως προορίζονται για animation ή live action παιχνίδια.
3D model clean up	Η διαδικασία καθαρισμού τρισδιάστατου μοντέλου σε λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης ή εξειδικευμένο λογισμικό για διόρθωση τοπολογίας πλέγματος, ύστερα από φωτογραμμετρία. Η βασική διαδικασία περιλαμβάνει αφαίρεση θορύβου, διόρθωση γεωμετρίας και τοπολογίας (retopology), βελτίωση UVs, καθαρισμό υφών και εξομάλυνση επιφάνειας. Μετά από το στάδιο αυτό, το τελικό πλέγμα (mesh) εξάγεται σε .obj και άλλες μορφές για την περαιτέρω χρήση του.
Edutainment	Όρος που προέρχεται από τις λέξεις εκπαίδευση (education) και ψυχαγωγία (entertainment) και περιγράφει ένα εναλλακτικό εκπαιδευτικό υλικό με τη μορφή παιχνιδιού, ταινιών και άλλων οπτικών μέσων.
STEM	Διεπιστημονικό πεδίο που περιλαμβάνει τις επιστήμες (Science), την τεχνολογία (Technology), τη μηχανική (Engineering) και τα μαθηματικά (Mathematics). Αποτελεί μια εκπαιδευτική προσέγγιση όλων των παραπάνω με στόχο την εφαρμογή της γνώσης και της τεχνολογίας από τους μαθητές για την επίλυση προβλημάτων. Η εκπαίδευση STEM προωθεί την ομαδική εργασία, τη δημιουργική σκέψη και την ανάπτυξη δεξιοτήτων.
IPLs	Είναι μια διδακτική προσέγγιση με μαθησιακές δραστηριότητες όπου εντάσσονται στα εργαστήρια STEM. Οι μαθητές εργάζονται συνήθως ομαδικά πάνω σε ένα project με στόχο την επίλυση προβλήματος, ενώ συνδυάζουν περισσότερα από ένα γνωστικά αντικείμενα του STEM.

SmartIPLs	Εξελιγμένη μορφή των IPLs, κατά την οποία οι μαθητές κάνουν χρήση τεχνολογίας, κατά κύρια βάση των smartphones τους και αλληλεπιδρούν με ψηφιακές πλατφόρμες και εφαρμογές AR και VR με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.
Τεχνολογίες Πληροφορικής & Επικοινωνιών (ΤΠΕ)	Ο όρος ΤΠΕ αναφέρεται στις διαθέσιμες ψηφιακές τεχνολογίες, όπως τεχνολογικά προϊόντα και τεχνολογικά εργαλεία, τα οποία στοχεύουν στη διαχείριση και μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας, κυρίως μέσω του διαδικτύου. Στο πεδίο της εκπαίδευσης, οι ψηφιακές πληροφορίες ενσωματώνονται στην εκπαιδευτική διαδικασία ώστε να βελτιώσουν την ποιότητα της μαθησιακής εμπειρίας και να βελτιώσει τα μαθησιακά αποτελέσματα.
Θεωρία της μάθησης	Είναι το σύνολο των επιστημονικών προσεγγίσεων που προσπαθούν να εξηγήσουν το πώς και γιατί λειτουργεί η μάθηση. Μερικά από τα κύρια ερωτήματα είναι τα εξής: πώς αποκτούν γνώση οι άνθρωποι, πώς αναπτύσσουν δεξιότητες και πώς αλλάζει η συμπεριφορά και ο τρόπος σκέψης ενός ατόμου μέσω της εμπειρίας της μάθησης;

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΘΕ	Θεματική Ενότητα
ΔΕ	Διπλωματική Εργασία
ΘΜ	Θεωρία Μάθησης
ΦΕ	Φυσικές Επιστήμες
ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών
TN	Τεχνητή Νοημοσύνη
AR	Augmented Reality (Επαυξημένη Πραγματικότητα)
VR	Virtual Reality (Εικονική Πραγματικότητα)
3DGS	3D Gaussian Splatting
XR	Extended Reality

Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στη δημιουργία εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας για κινητά, με στόχο την ένταξή της στην εκπαιδευτική ύλη της Βιολογίας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση σε Ελλάδα και Κύπρο, ως εναλλακτικό παιδαγωγικό εργαλείο. Οι νέες τεχνολογίες και τα οπτικά εφέ προσφέρουν μια πληθώρα εργαλείων, τα οποία μπορούν να αυξήσουν το ενδιαφέρον, το κίνητρο και την απόδοση των μαθητών. Ταυτόχρονα, προσφέρουν στους εκπαιδευτικούς τη δυνατότητα να αφηγούνται μια ιστορία γύρω από ένα συγκεκριμένο ζώο, αντί ενός γενικού προτύπου.

Το εκπαιδευτικό σύστημα σε Ελλάδα και Κύπρο, δυστυχώς στερείται τέτοιων εργαλείων, τα οποία θα μπορούσαν να είναι ιδιαίτερα εποικοδομητικά και να αναδείξουν τη χρηστικότητα των κινητών και της τεχνολογίας. Σε αντίθεση, στο εξωτερικό, εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας σε έξυπνα κινητά χρησιμοποιούνται κατά κόρον από τους μαθητές, προσφέροντας αυτονομία, κίνητρο για μάθηση, διασκέδαση και προάγουν το μαθητοκεντρικό σύστημα εκπαίδευσης.

Στο πεδίο της Βιολογίας, δείγματα ζωντανών και νεκρών ζώων και εντόμων φωτογραφίζονται για να δεχτούν στη συνέχεια επεξεργασία από λογισμικά φωτογραμμετρίας, ενώ με τη διαδικασία Structure from Motion επιτυγχάνεται η ανακατασκευή τρισδιάστατου μοντέλου ζώων. Τα περισσότερα 3D μοντέλα από αυτά εξάγονται από τα λογισμικά φωτογραμμετρίας με πολύ βαριά τοπολογία και απαιτούν εξειδικευμένο καθαρισμό από άλλα λογισμικά, προκειμένου να μειωθούν τα πολύγωνα τους και να απλοποιηθεί η γεωμετρία τους.

Τα μοντέλα αυτά, πέρα από εκπαιδευτική αξιοποίηση -η οποία περιλαμβάνει VR/AR εφαρμογές και ψηφιακή εκτύπωση- χρησιμεύουν επίσης ως εργαλείο για προγράμματα που αφορούν τη διατήρηση ειδών, αλλά και για υπολογιστικές αναλύσεις μοντελοποίησης, ώστε να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες για την κίνηση και φυσιολογία των ζώων. Επίσης, αρκετά σημαντική είναι και η εμπορική τους αξία, αφού πολλά από αυτά προορίζονται για τον χώρο της βιομηχανίας όπως είναι οι εμπορικές ταινίες, τα ντοκιμαντέρ και τα βιντεοπαιχνίδια.

Στην περίπτωση της παρούσας έρευνας, το 3D μοντέλο πεταλούδας που παραχωρήθηκε από την ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου Κύπρου και του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου, αφορούσε μια ιδιάζουσα περίπτωση, στα πλαίσια της πρόκλησης, καθώς τα λεπτά φτερά και οι ανακλάσεις στις επιφάνειες αυτών, δεν την καθιστούν ιδανικό δείγμα για ανακατασκευή με φωτογραμμετρία. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε μια εκτενής έρευνα για λύσεις στα διάφορα προβλήματα που προέκυψαν, καταλήγοντας τελικά στη μέθοδο της ρετοπολογίας.

Η έρευνα αναπτύσσεται σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά το θεωρητικό κομμάτι με την ποιοτική έρευνα και την μελέτη πειραμάτων, ενώ το δεύτερο μέρος είναι δημιουργικό και εστιάζει στο project 3D Virtual Butterfly Exhibition με τον καθαρισμό των μοντέλων με τη διαδικασία της ρετοπολογίας. Η επιλογή των επιστημονικών πηγών βασίστηκε σε έρευνα στο διαδίκτυο και οι περισσότερες αφορούν αξιόπιστες ακαδημαϊκές δημοσιεύσεις και ψηφιακά βιβλία. Παράλληλα, η έρευνα για τα τεχνικά ζητήματα βασίστηκε σε συζήτηση με ειδικούς στο χώρο του animation και της μοντελοποίησης, με εξειδίκευση στην ρετοπολογία.

Η επιλογή του θέματος προέκυψε από μια συζήτηση που προηγήθηκε με τους δημιουργούς του <https://3dbutterflies.cs.ucy.ac.cy/> – τον Επίκουρο Καθηγητή Δρ. Ανδρέα Αριστείδου του Πανεπιστημίου Κύπρου και τον ανώτερο ερευνητή Δρ. Σάββα Ζώτο του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου, οι οποίοι την περίοδο εκείνη- κατά την έναρξη της παρούσας εργασίας-, μαζί με την ομάδα τους υλοποιούσαν το project με τα δείγματα πεταλούδων. Οι Δρ. Ανδρέας Αριστείδου και Δρ. Σάββας Ζώτος συνέβαλαν από κοινού στη σύλληψη της ιδέας και τη διερεύνηση του έργου. Ο Δρ. Ανδρέας Αριστείδου είχε την ευθύνη του σχεδιασμού μεθοδολογίας, την τυπική ανάλυση και την επίβλεψη, ενώ η διαχείριση του έργου επιμελήθηκε από τον Δρ. Σάββα Ζώτο. Μέσα από τη συζήτηση με τους ακαδημαϊκούς εκπαιδευτικούς, διαφάνηκε πως η συμβολή ενός μεταπτυχιακού φοιτητή θα βοηθούσε στον καθαρισμό των μοντέλων και θα πρόσφερε σημαντικά στους στόχους της πλατφόρμας.

Η συζήτηση αυτή, αποτέλεσε το έναυσμα για την έναρξη της παρούσας έρευνας αλλά κι ενός μεγαλύτερου οράματος: τον εκσυγχρονισμό του εκπαιδευτικού συστήματος σε Κύπρο και Ελλάδα, προκειμένου οι μαθητές να γνωρίσουν τις Φυσικές Επιστήμες με πιο διασκεδαστικό τρόπο και να αγαπήσουν το μάθημα της Βιολογίας στο σχολείο.

Κεφάλαιο 1: Σκοπός, ερευνητικά ερωτήματα, μεθοδολογία έρευνας

1.1 Σκοπός διπλωματικής

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάδειξη της σημαντικότητας των σύγχρονων τεχνολογικών εργαλείων -και συγκεκριμένα των εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας στο μάθημα της βιολογίας- και τα περιθώρια αξιοποίησής τους στο εκπαιδευτικό σύστημα της Κύπρου και της Ελλάδας. Προς επίτευξη του παραπάνω σκοπού, η εργασία επιδιώκει τη διερεύνηση σύγχρονων εργαλείων που έχουν ήδη εφαρμοστεί σε σχολικές αίθουσες, την αξιολόγηση των ευρημάτων που προέκυψαν από αυτές και τις προοπτικές ανάπτυξης μιας αντίστοιχης εφαρμογής AR, στα πλαίσια του έργου Virtual Butterfly Exhibition.

Ως προς το δημιουργικό μέρος της έρευνας, σκοπός είναι η εξεύρεση μεθόδων για καθαρισμό απαιτητικών τρισδιάστατων μοντέλων που προκύπτουν από τη διαδικασία SfM και η προετοιμασία τους για την ένταξή τους σε εφαρμογές AR.

1.2 Ερευνητικά ερωτήματα

Τα κύρια ερωτήματα που τίθενται στην παρούσα έρευνα, παρουσιάζονται ως εξής:

- **Μαθησιακά αποτελέσματα.** Σε ποιο βαθμό δύναται η χρήση της τεχνολογίας να βελτιώσει τη χωρική σκέψη και την οπτικοποίηση αφηρημένων βιολογικών δομών;
- **Κίνητρο μαθητών.** Κατά πόσο αυξάνει η χρήση εφαρμογών AR το ενδιαφέρον, το κίνητρο και την ενεργή συμμετοχή των συμμετεχόντων στο μάθημα της βιολογίας, και σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας;
- **Διδακτική πρακτική.** Σε ποιες παιδαγωγικές προσεγγίσεις μπορούν να ενσωματωθούν τα τρισδιάστατα μοντέλα και η επαυξημένη πραγματικότητα ώστε να αποδώσουν λειτουργικά;
- **Μέθοδοι καθαρισμού 3D μοντέλων:** Μπορεί ένα 3D μοντέλο που έχει προκύψει από τη φωτογραμμετρία και τη μέθοδο του SfM να χρησιμοποιηθεί από AR εφαρμογές που προορίζονται για χρήση σε σχολικές αίθουσες στο μάθημα της βιολογίας; Με ποια προσέγγιση μπορούν να επιλυθούν οι όποιες δυσκολίες και ποια βήματα θα πρέπει να γίνουν προκειμένου το 3D μοντέλο να τηρεί όλες τις προδιαγραφές για περεταίρω επεξεργασία;

1.3. Μεθοδολογία έρευνας

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε είναι η ποιοτική έρευνα πεδίου/ δράσης, με μικτά εργαλεία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων. Η μέθοδος έρευνας πεδίου που αξιοποιήθηκε, αφορά τη διαδικτυακή και βιβλιογραφική έρευνα για τη διερεύνηση των ερευνητικών ερωτημάτων που αφορούν κυρίως τα τρισδιάστατα μοντέλα και τις εφαρμογές AR ως εργαλείο στο μάθημα της Βιολογίας.

Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε διαδικτυακή έρευνα για την αξιοποίηση φωτογραμμετρίας και επανυξημένης πραγματικότητας στο μάθημα της Βιολογίας. Στο πλαίσιο αυτό παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα ερευνών που πραγματοποιήθηκαν σε μαθητές διαφόρων βαθμίδων της εκπαίδευσης όπου αξιοποιήθηκε πολυμορφικό εκπαιδευτικό υλικό με εφαρμογές AR.

Η βιβλιογραφική επισκόπηση περιλαμβάνει διαδικτυακή έρευνα σχετικά με τις τεχνικές και τα εργαλεία δημιουργίας ανακατασκευής και επεξεργασίας τρισδιάστατων μοντέλων και ανάπτυξης εφαρμογών AR. Αξίζει να σημειωθεί πως το δημιουργικό μέρος πραγματοποιήθηκε παράλληλα με το θεωρητικό, καθώς τα προβλήματα και οι περιορισμοί που προέκυψαν κατά τον καθαρισμό των 3D μοντέλων, απαιτούσε μια συνεχή και χρονοβόρα έρευνα με συζητήσεις από ειδικούς εγνωσμένου προφίλ. Οι συμμετέχοντες επιλέχθηκαν με τη μέθοδο της σκοπούμενης δειγματοληψίας, καθώς διαθέτουν τεκμηριωμένη εμπειρία και εξειδίκευση στα πεδία της φωτογραμμετρίας, της τρισδιάστατης μοντελοποίησης, του καθαρισμού πλέγματος 3D μοντέλων και της ρετοπολογίας.

Για την αντιμετώπιση των τεχνικών ζητημάτων, πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις ανοικτού τύπου από επτά ειδικούς στους τομείς της ρετοπολογίας, της 3D μοντελοποίησης και της φωτογραμμετρίας. Η επιλογή των συμμετεχόντων πραγματοποιήθηκε μέσω σκόπιμης δειγματοληψίας (purposive sampling), καθώς επιλέχθηκαν άτομα εγνωσμένου κύρους και αποδεδειγμένης εμπειρίας στους αντίστοιχους επιστημονικούς τομείς, προκειμένου να εξασφαλιστεί η συλλογή εξειδικευμένων και αξιόπιστων δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, στους επτά συνεντευξιαζόμενους συγκαταλέγονται τέσσερα μέλη

ακαδημαϊκού προσωπικού και τρεις επαγγελματίες 3D modelers/ animations. Η επικοινωνία πραγματοποιήθηκε, κατά βάση, μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και τηλεφωνικών συνομιλιών, ενώ σε μια μόνο περίπτωση πραγματοποιήθηκε δια ζώσης συνάντηση στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Κύπρου.

Οι ερωτήσεις διαμορφώνονταν ανάλογα με τα τεχνικά προβλήματα που παρουσιάζονταν κατά τη διαδικασία επεξεργασίας του μοντέλου. Κεντρικό ζήτημα αποτέλεσε η αποκατάσταση των οπών που παρατηρούνταν επάνω στην επιφάνεια των φτερών της πεταλούδας, η αποκατάσταση των υφών (textures), η μείωση του μεγάλου όγκου πολύγωνων, όπως επίσης και η διόρθωση των παραμορφώσεων που παρατηρούνταν σε όλο τον κορμό, το κεφάλι, τα πόδια και την ουρά της πεταλούδας.

Οι απαντήσεις των ειδικών αξιοποιήθηκαν ως συμβουλευτικό υλικό για τη λήψη τεχνικών επιλύσεων με στόχο τη βελτιστοποίηση του τρισδιάστατου μοντέλου. Ενδεικτικά αποσπάσματα των συνεντεύξεων παρατίθενται στο Παράρτημα Ι. Για λόγους δεοντολογίας και προστασίας προσωπικών δεδομένων, οι συμμετέχοντες ανωνυμοποιήθηκαν και αναφέρονται στην εργασία μέσω κωδικών (E1-E7). Τα αποσπάσματα και στιγμιότυπα οθόνης που παρατίθενται στο Παράρτημα Ι έχουν υποστεί επεξεργασία ώστε να μην εμφανίζονται προσωπικά στοιχεία ή πληροφορίες ταυτοποίησης.

1.4. Δομή της διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική αποτελείται από δύο βασικά μέρη τα οποία προσεγγίζουν διαφορετικά το πεδίο της βιολογίας. Το πρώτο μέρος αφορά, κυρίως, τη θεωρητική και παιδαγωγική ανάλυση της οπτικής αναπαράστασης στο μάθημα της βιολογίας, ενώ το δεύτερο μέρος αναφέρεται στο δημιουργικό κομμάτι, με την εφαρμογή των τεχνικών που παρουσιάστηκαν κατά το πρώτο μέρος.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο του πρώτου μέρους, γίνεται μια εισαγωγή στην ψηφιακή οπτικοποίηση και τα σύγχρονα μαθησιακά περιβάλλοντα, με εστίαση στο μάθημα της βιολογίας. Οι τεχνικές οπτικοποίησης προσεγγίζονται από το παιδαγωγικό πλαίσιο.

Μέσα από πρόσφατες επιστημονικές μελέτες παρουσιάζονται τα οφέλη της χρήσης εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας στις αίθουσες διδασκαλίας, καταδεικνύοντας τη σημαντικότητα αυτών των εργαλείων. Στη συνέχεια, κατά το δεύτερο κεφάλαιο γίνεται τεχνολογική ανάλυση των τεχνικών και εργαλείων που συμβάλλουν στην οπτικοποίηση των αφηρημένων εννοιών και διεργασιών στη Βιολογία.

Το δεύτερο μέρος της Δ.Ε., αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια, τα οποία αφορούν το δημιουργικό κομμάτι της έρευνας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα στάδια δημιουργίας και επεξεργασίας του τρισδιάστατου μοντέλου. Κατά το πέμπτο κεφάλαιο τίθενται οι περιορισμοί και οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά το δημιουργικό μέρος, ενώ στο επόμενο κεφάλαιο, απαντώνται τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην αρχή. Συνάμα, γίνεται μια αναφορά στις προοπτικές εξέλιξης και χρήσης του μοντέλου από εφαρμογές AR, στα πλαίσια του έργου Visual Butterflies Exhibition. Τέλος, στο Παράρτημα Α' παρατίθενται μέρος των συνομιλιών που πραγματοποιήθηκε με τους ειδικούς, ενώ στο Παράρτημα Β' παρουσιάζεται συνοπτικά το συνοδευτικό ψηφιακό υλικό.

ΜΕΡΟΣ 1ο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

Κεφάλαιο 2. Η οπτικοποίηση στη Βιολογία

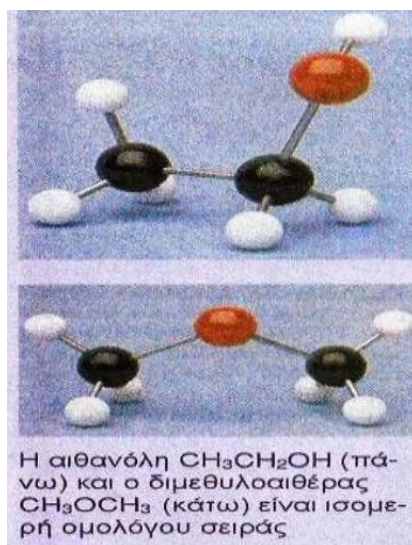
Το κεφάλαιο αυτό θέτει το θεωρητικό υπόβαθρο για τα εργαλεία και τη μεθοδολογία που ακολουθείται στα επόμενα κεφάλαια. Ερευνάται η συμβολή της εικόνας στην Εκπαίδευση και ειδικότερα στις φυσικές επιστήμες με έμφαση στη Βιολογία. Αρχικά, τίθεται το ερώτημα κατά πόσο μπορεί η ενσωμάτωση των τεχνών στην ύλη διδασκαλίας, δια μέσω της οπτικοποίησης να ενισχύσει την κατανόηση αφηρημένων εννοιών, προκειμένου το περιεχόμενο να γίνει πιο κατανοητό, προσιτό και ενδιαφέρον (Χούτου, 2023). Παράλληλα, ερευνάται το κατά πόσο μπορούν οι μαθητές μέσα από τις τέχνες και την πολυτροπική μάθηση να αναπτύξουν καλλιτεχνική έκφραση, δημιουργικότητά και κριτική σκέψη (Bahridinova, 2025).

2.1 Η σημασία της εικόνας στις Φυσικές Επιστήμες

Οι φυσικές επιστήμες έχουν ως στόχο τους την κατανόηση του φυσικού κόσμου και των φαινομένων που το διέπουν. Οι εικόνες χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουν μέσω της προσομοίωσης τα φαινόμενα αυτά -τα οποία σε πολλές περιπτώσεις είναι μη παρατηρήσιμα. Οι μαθητές που προσεγγίζουν το μάθημα μέσα από την οπτικοποίηση, έχουν περισσότερες πιθανότητες να συνεργαστούν και να εμπεδώσουν αποτελεσματικά, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας. Με την οπτική αναπαράσταση των δύσκολων εννοιών και φαινομένων, οι μαθητές διερευνούν την ανάλυση πληροφοριών σε βάθος, την αξιολόγηση αυτών και τέλος εντάσσουν τα αποτελέσματα στις δικές τους εργασίες.

Πιο συγκεκριμένα, η οπτικοποίηση μιας έννοιας στις επιστήμες προκύπτει από την λεκτική περιγραφή, όσο και την αντίστοιχη εικόνα. Η εικόνα αυτή μπορεί να ανήκει στις απεικονιστικές αναπαραστάσεις, οι οποίες είναι φυσικά αντικείμενα τα οποία αντιπροσωπεύουν κάτι εντελώς διαφορετικό από αυτά (Schnotz, 2002), όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1 και συναντάται πολύ συχνά στη χημεία. Επιπρόσθετα, άλλα αντικείμενα οπτικοποίησης μπορεί να είναι διαγράμματα, εικόνες, σκίτσα, σχήματα, χάρτες ή γραφήματα (Han & Roth, 2006), τα οποία αναπαρίστανται είτε στο χαρτί, είτε στην οθόνη του υπολογιστή. Από την άλλη πλευρά, οι εξωτερικές αναπαραστάσεις έρχονται σε

αντίθεση με τις γραφικές αναπαραστάσεις που μόλις παρουσιάστηκαν. Κατά τον (Gilbert, 2010), με τον όρο “έξωτερικές αναπαραστάσεις” περιγράφονται οι φωτογραφίες, τα διαγράμματα, οι πίνακες και οτιδήποτε μπορεί να γίνει ορατό από τον αναγνώστη. Κι εκεί ακριβώς βρίσκεται ο σκοπός της οπτικοποίησης· είναι το εργαλείο του αναγνώστη να μετατρέπει μια αφηρημένη έννοια σε ορατή. Επιπρόσθετα, οι οπτικές αναπαραστάσεις περιλαμβάνουν αντικείμενα όπως φωτογραφίες, διςδιάστατα γραφήματα, διαγράμματα ή τρισδιάστατα μοντέλα (Utal & O’ Doherty, 2008).



Εικόνα 2.1: Απεικονιστική αναπαράσταση προσομοίωσης μορίων, όπου κατά τον (Schnotz, 2002) , η εικόνα δεν αντιστοιχεί επακριβώς σε αυτό που περιγράφει.

(Πηγή: Λιοδάκης κ.α. 2011)

Κατά τον (Namukasa, 2024), όταν η τέχνη με την επιστήμη συνδυαστούν, το συνονθύλευμα αυτό μπορεί να προσφέρει δημιουργικές λύσεις και έντονες δραστηριότητες, αλλάζοντας ολοκληρωτικά τη διαδικασία εκμάθησης φυσικών επιστημών, εισάγοντας έτσι τον όρο της ολιστικής διαδικασίας εκμάθησης. Ακόμα και σε παλαιότερα παραδοσιακά ακαδημαϊκά βιβλία παρατηρείται η χρήση γελοιογραφιών, διαγραμμάτων και αποκομμάτων εφημερίδων, ώστε να προσδώσει ενδιαφέρον σε ένα βαρετό κείμενο (Namukasa, 2024). Εξάλλου, είναι πιο πιθανό ένας μαθητής να πειραματιστεί ή να εξερευνήσει όταν εμπλέκεται σε καλλιτεχνική δραστηριότητα.

2.1.1. Οπτική αναπαράσταση στη Βιολογία

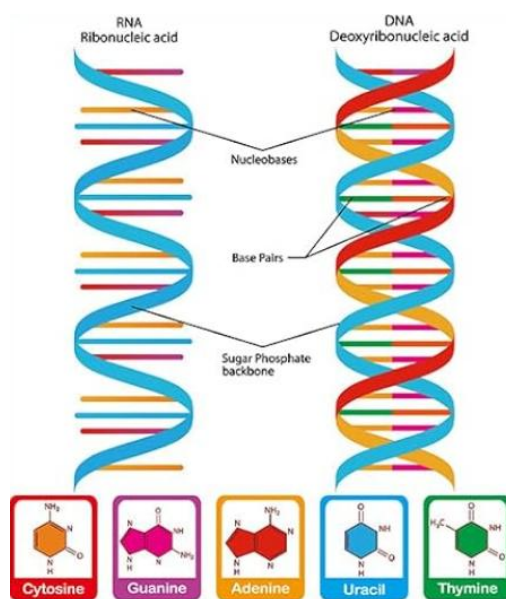
Στον κλάδο των φυσικών επιστημών, και συγκεκριμένα στη Βιολογία όπου διδάσκεται πλήθος εννοιών και πολύπλοκων διεργασιών, είναι απαραίτητη η οπτικοποίηση αυτών των εννοιών προκειμένου να σχηματιστεί χωρική αντίληψη και μείωση γνωστικού φορτίου. Στο υποκεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν οι ορολογίες της χωρικής σκέψης και του γνωστικού φορτίου, όπως επίσης και η εφαρμογή τους στην εκπαίδευση από την οποία απορρέει η παιδαγωγική τους αξία.

Η χωρική σκέψη (spatial thinking) αφορά τους διάφορους τρόπους που αναπαρίστανται οι μη παρατηρήσιμες έννοιες, προκειμένου να τους αντιληφθεί πιο εύκολα ο ανθρώπινος νους. Συγκεκριμένα, ορίζεται ως η δυνατότητα απεικόνισης και ερμηνείας της θέσης, της απόστασης, της κατεύθυνσης, των σχέσεων, των αλλαγών και μετακινήσεων που σχετίζονται με το χώρο (Κάβουρας, Μ. κ.α., 2016). Ουσιαστικά, η έννοια του χώρου χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων, εύρεσης απαντήσεων και διατύπωσης πιθανών λύσεων, μέσα από την οπτικοποίηση, την νοητή περιστροφή και μετασχηματισμό αντικειμένων (NRC, 2006).

Στη Βιολογία και την Εκπαίδευση STEM η χωρική σκέψη μπορεί να καλλιεργηθεί και ενισχυθεί με οπτικές αναπαραστάσεις, 3D μοντέλα, διαδραστικά περιβάλλοντα και επαυξημένη πραγματικότητα. Οι οπτικές αυτές αναπαραστάσεις συμβάλλουν στην ανάπτυξη της χωρικής σκέψης των μαθητών, καθώς διευκολύνει την κατανόηση της δομής και της οργάνωσης συστημάτων. Κάποια παραδείγματα είναι τα εξής: ο τρόπος που βλέπει κανείς το πώς διπλώνεται μια πρωτεΐνη, το πώς μεταφράζεται ένα επίπεδο διάγραμμα σε τρισδιάστατη δομή, ή ακόμα το πώς αντιλαμβάνεται κανείς τη σχέση κυτταρικών οργανιδίων μέσα στο κύτταρο. Με τη δεξιότητα της χωρικής αντίληψης κατ' αυτό τον τρόπο, η επίδοση των μαθητών μπορεί να βελτιωθεί και το γνωστικό φορτίο να μειωθεί, εφόσον η εικόνα διαδραματίζει τεράστιο ρόλο στην αφομοίωση πληροφοριών (Cook, 2011).

Πιο συγκεκριμένα, κατά τον John Sweller ο οποίος ανέπτυξε τη θεωρία αυτή τη δεκαετία του 1980, η βραχυπρόθεσμη μνήμη, η οποία αφορά την επεξεργασία δεδομένων και από αυτήν εξαρτάται η απόδοση των μαθητών, δυσκολεύεται να συγκρατήσει νέες

πληροφορίες, εκτός κι αν αυτές συνοδεύονται από εικόνα. Σε αυτή την περίπτωση, το γνωστικό φορτίο μειώνεται μαζί με τη νοητική προσπάθεια που καταβάλλει ένας μαθητής κι έτσι επικεντρώνεται στο περιεχόμενο αντί στην αποκωδικοποίησή του. Τότε, η μνήμη μπορεί να επεξεργαστεί καλύτερα την πληροφορία, να την αφομοιώσει και να τη συγκρατήσει για περισσότερο χρονικό διάστημα. Για τον λόγο αυτό, στη βιολογία οι έννοιες συνοδεύονται από οπτικές αναπαραστάσεις όπως είναι για παράδειγμα τα διαγράμματα, τα γραφήματα, τα ανατομικά σχέδια και μοντέλα κυττάρων (Cook, 2011).



Εικόνα 2.2: Οπτική αναπαράσταση της δομής του RNA και DNA.

(πηγή: Alberts et al. 2002)

Σε έρευνα που διεξήχθη στο Πανεπιστήμιο του Clemson των Η.Π.Α. με σκοπό να κατανοήσουν την επίδραση της χρήσης αυτών των γραφικών στο μάθημα της βιολογίας, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τον πιο πάνω ισχυρισμό. Οι εκπαιδευτικοί που ενεπλάκησαν στο πείραμα συνόδευαν τη διδακτική ύλη με γραφήματα και διαγράμματα ενζυμικής δραστηριότητας, πυραμίδες βιομάζας, καμπύλες επιβίωσης ειδών, κύκλους θρεπτικών συστατικών και διαγράμματα δομών που δε μπορούν να παρουσιαστούν σε φωτογραφία, όπως η διατομή των στρωμάτων του δέρματος. Οι παραπάνω μορφές οπτικής αναπαράστασης αποτελούν ουσιαστικά στοιχεία των infographics (ινφογραφημάτων), τα οποία συνδυάζουν κείμενο με σύμβολα και γραφικά για καλύτερη παρουσίαση βιολογικών δεδομένων (Lyra κ.α., 2016).

Τα ευρήματα της έρευνας έδειξαν ότι ο ρεαλισμός των γραφημάτων αυτών ήταν πολύ σημαντικός, ώστε οι μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα τις αφηρημένες έννοιες. Το πείραμα όμως έγινε ακόμα πιο ενδιαφέρον όταν η δασκάλα χρησιμοποίησε κινούμενη οπτική αναπαράσταση ενός ενζύμου, αντικαθιστώντας ουσιαστικά την εικονογράφηση του βιβλίου που αναπαριστά απλά το ένζυμο σε σχήμα οβάλ. Η δασκάλα, δήλωσε ότι τα παιδιά παρατηρούσαν έκπληκτα στην οθόνη τις διεργασίες του ενζύμου που εκτελούνταν και ήταν σε θέση να αντιληφθούν έννοιες για τις οποίες μιλούσαν μια ολόκληρη βδομάδα χωρίς όμως αποτέλεσμα. Συνεπώς, η κινούμενη εικόνα παρέχει τον μέγιστο ρεαλισμό για την κατανόηση και αφομοίωση σύνθετων εννοιών. Επίσης, δίνει στον εκπαιδευτικό τη δυνατότητα να εστιάζει σε σημαντικά χαρακτηριστικά, επισημαίνοντάς τα επάνω στην εικόνα, είτε αυτό είναι φωτογραφία, είτε κινούμενη εικόνα (Cook M. 2011).

Εν κατακλείδι, τα γραφικά στο μάθημα της Βιολογίας μπορούν να μειώσουν το γνωστικό φορτίο, να ενισχύσουν την επιστημονική σκέψη και να βοηθήσουν στην κατανόηση πληροφοριών και αφηρημένων εννοιών με την ενίσχυση της χωρικής σκέψης.

2.1.2. Ψηφιακή οπτικοποίηση και σύγχρονα μαθησιακά περιβάλλοντα

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τα ψηφιακά μέσα μετασχηματίζουν την εικόνα σε εμπειρία μάθησης και το μέσο από το έντυπο περνά στο ψηφιακό. Κατά τον εκπαιδευτικό ψυχολόγο Richard E. Mayer (born 1947), σύμφωνα με τη θεωρία της πολυμεσικής μάθησης, όταν η πληροφορία παρουσιάζεται με το συνδυασμό λέξεων και εικόνων, τότε η κατανόηση της πληροφορίας μπορεί να ενισχυθεί. Αυτό συμβαίνει επειδή ο ανθρώπινος εγκέφαλος αξιοποιεί και τα δύο γνωστικά κανάλια, το οπτικό και το ακουστικό. Τα πολυμέσα που μπορούν να ενισχύσουν την πληροφορία αφορούν εικόνες, animations, βίντεο, γραφήματα και ήχο (Mayer, 2024).

Το περιβάλλον μάθησης αξιοποιεί Τεχνολογίες της Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ΤΠΕ) και ενσωματώνει διαδραστικότητα, συνεργασία και ψηφιακά εργαλεία (διαδραστικά περιβάλλοντα με εφαρμογές, ηλεκτρονικά παιχνίδια και ψηφιακές πλατφόρμες). Συνεπώς, η σχέση διδασκόμενου- μαθητή και μαθητή- πληροφορίας τροποποιείται στα πλαίσια της πολυτροπικής μάθησης. Η ψηφιακή αλληλεπίδραση, οι προβληματοκεντρικές

προσεγγίσεις, η συνεργατική μάθηση και η ψηφιακή αφήγηση γίνονται τα σύγχρονα εργαλεία διδασκαλίας αλλά και ψυχαγωγίας.

Στα σύγχρονα μαθησιακά περιβάλλοντα, με βάση τη θεωρία του εποικοδομισμού, ο μαθητής μπορεί να οικοδομήσει ενεργά τη γνώση και να είναι δημιουργός της δικής του γνώσης αντί να τη λαμβάνει παθητικά ενισχύοντας τη βιωματική μάθηση. Αυτό οφείλεται στην αλληλεπίδραση του ατόμου με το περιβάλλον του, έναντι της παραδοσιακής σχέσης δασκάλου- μαθητή (Δημητριάδης, 2015). Με βάση τον Καθολικό Σχεδιασμό για τη Μάθηση (Universal Design for Learning- UDL), όταν η διδακτέα ύλη προσαρμόζεται στο περιβάλλον του μαθητή και σε συνδυασμό με την παροχή πολλαπλών τρόπων αναπαράστασης, έκφρασης και εμπλοκής, μπορεί να προκαλέσει στο μαθητή κινητοποίηση και θέληση για μάθηση. Σύμφωνα με το UDL, η διδακτέα ύλη μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του κάθε μαθητή και οι πολλαπλοί τρόποι δράσης και έκφρασης να δώσουν στους μαθητές τη δυνατότητα να δείξουν τα μαθησιακά τους αποτελέσματα με διαφορετικούς τρόπους. (Galkienė και Monkevičienė, 2021).

Ένας από τους βασικούς θεμελιωτές του εποικοδομισμού, ο Jean Piaget (1896-1980), ανέπτυξε το μοντέλο των τεσσάρων σταδίων της Γνωστικής Ανάπτυξης ως εξής: αισθησιοκινητικό (0-2 ετών), προλειτουργικό (2-6 ετών), συγκεκριμένων λειτουργιών (6-12 ετών) και τυπικών λειτουργιών (12+ ετών). Η κεντρική ιδέα του μοντέλου αυτού υποστηρίζει πως η μάθηση είναι μια διαδικασία που συνδέεται άρρηκτα με την αλληλεπίδραση του μαθητή με το περιβάλλον του και την των αναβάθμιση ήδη υπάρχουσών πληροφοριών (Δημητριάδης, 2015).

Την άποψη αυτή συμπληρώνει και η θεωρία της Επιστημικής Μάθησης (Epistemic Learning), η οποία υποστηρίζει πως η τεχνολογία πρέπει να διακατέχει κεντρικό ρόλο στη διαδικασία μάθησης για τη δημιουργία γνώσης και κατανόησης. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της θεωρίας αυτής είναι η βαρύτητα που δίνει στις πεποιθήσεις των ίδιων των μαθητών και πώς οι πεποιθήσεις αυτές επηρεάζουν τη μάθησή τους με έμφαση στα διαδικτυακά περιβάλλοντα. Σε συνδυασμό δε με τη θεωρία του Συνδετισμού (Connectivism), η μάθηση μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική όταν ο μαθητής κατασκευάζει ενεργά τη γνώση σε ψηφιακά περιβάλλοντα και όταν συνδέονται με ψηφιακά δίκτυα πληροφοριών και ανθρώπων (AlDahdouh, 2015).

Ορισμένα από τα εκπαιδευτικά λογισμικά που έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί για να υποστηρίξουν τις παραπάνω ιδέες αφορούν:

- Εκπαιδευτικές εφαρμογές πολυμέσων (Multimedia Learning Applications)
- Περιβάλλοντα παγκόσμιου ιστού για τη διαχείριση της μάθησης (Learning Management Systems).
- Εφαρμογές για μάθηση σε φορητές συσκευές (Mobile Learning)

Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου εκπαιδευτικού λογισμικού απαρτίζεται από διάφορες φάσεις, όπως: ανάλυση, σχεδίαση, ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση. Επίσης, απαιτούνται κάποιες προδιαγραφές στις οποίες πρέπει να ανταποκρίνεται όπως είναι: οι λειτουργίες που πρέπει να υποστηρίζει το λογισμικό, η εσωτερική δομή του και η διεπαφή με το χρήστη. Οι βασικές προδιαγραφές απαιτήσεων ενός λογισμικού αφορούν τη λειτουργικότητα, τις εξωτερικές διασυνδέσεις (δηλαδή την αλληλεπίδραση με τον χρήστη), τις επιδόσεις (ταχύτητα, χρόνοι απόκρισης) και άλλα χαρακτηριστικά όπως είναι η φορητότητα (portability), η ασφάλεια (security) και η ορθότητα (correctness) του λογισμικού. Αξίζει να σημειωθεί πως για τη διαμόρφωση των εκπαιδευτικών προδιαγραφών εμπλέκεται ο τελικός χρήστης -δηλαδή ο εκπαιδευτικός ή ο μαθητής- ο οποίος ως υποψήφιος χρήστης εκείνος είναι που καθοδηγεί τους σχεδιαστές και αξιολογεί τα χαρακτηριστικά και τις υπηρεσίες του λογισμικού (Δημητριάδης, 2015).

Με βάση τις προδιαγραφές του διδακτικού μοντέλου, το οποίο προκύπτει από τη θεωρία της μάθησης, ένα εκπαιδευτικό λογισμικό θα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να καλύπτει τα εξής:

- **Εκπαιδευτικές δραστηριότητες** κατά τις οποίες ο μαθητής μπορεί να παρακολουθήσει μια διάλεξη, να πάρει απαντήσεις για τις απορίες του, να του δοθούν αναλυτικά παραδείγματα για λύση ασκήσεων, να καθοδηγείται από αυτές ώστε να είναι σε θέση να τις λύνει μόνος του.
- **Εκπαιδευτικό υλικό** με κείμενο, διαγράμματα, 2d/3d γραφικά και γενικά τεχνολογία πολυμέσων, λυμένα παραδείγματα για μελέτη και ασκήσεις προς λύση.
- **Ηλεκτρονικό δάσκαλο** ώστε να καθοδηγεί τον μαθητή.
- **Βάση δεδομένων** με πρόσβαση από μαθητή και εκπαιδευτικό.

Η τεχνολογία, λοιπόν, στηρίζει τα σύγχρονα μαθησιακά περιβάλλοντα με δυναμικές αναπαραστάσεις για την παρουσίαση πληροφορίας στην οθόνη, εισάγοντας το στοιχείο της διάδρασης. Οι σύγχρονες ψηφιακές αναπαραστάσεις μπορούν να είναι δυναμικές (dynamic), διαδραστικές (interactive), συνεργατικές (co-constructed), οπτικοποιημένες (visualized) ή πολλαπλά συνδεδεμένες (multiply linked). Οι δυναμικές αναπαραστάσεις εξελίσσονται στο χρόνο, όπως είναι η ψηφιακή αφήγηση, το 2D/3D animation, τα βίντεο και οι ηχητικές υποδείξεις, ενώ οι διαδραστικές ενθαρρύνουν την διάδραση μεταξύ μαθητή και τεχνολογικού υλικού. Οι συνεργατικές αναπαραστάσεις προάγουν την ομαδική δουλειά, καθώς προκύπτουν από την συνεργατική κατασκευή αναπαραστάσεων (de Vries κ.α., 2009).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί η σημαντικότητα των εργαλείων αυτών στην εξ' αποστάσεως εκπαίδευση, σε περιόδους προσωρινής αναστολής λειτουργίας των σχολικών μονάδων λόγω πανδημιών και άλλων κρίσεων, όπως της περίπτωσης του COVID-19. Κατά τη σχολική χρονιά 2019-2020, 191 χώρες οδηγήθηκαν σε προσωρινή αναστολή λειτουργίας των σχολείων με 1,5 δισεκατομμύριο παιδιά να βρίσκονται εκτός σχολικής αίθουσας. Για τον λόγο αυτό, τον Μάρτιο του 2020 εισάγεται ο όρος "Επείγουσα εξ' αποστάσεως διδασκαλία" και το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων ενεργοποιεί ψηφιακά εργαλεία που επιτρέπουν την εξ' αποστάσεως διδασκαλία αλλά και την επικοινωνία ανάμεσα σε εκπαιδευτικούς και μαθητές. Η εφαρμογή εξΑΣΕ, η οποία σχεδιάστηκε ειδικά για την εξ' αποστάσεως διδασκαλία κατά την περίοδο του COVID-19, διαμορφώνεται με βάση το εκπαιδευτικό υλικό και περιέχει πληθώρα διαδραστικών παιχνιδιών (Ευαγγέλου, 2021).

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες παιδαγωγικές προσεγγίσεις που υποστηρίζουν τα σύγχρονα μαθησιακά συστήματα είναι τα παιχνίδια μάθησης. Πλατφόρμες όπως το Roblox λειτουργούν ως σύγχρονα ψηφιακά μαθησιακά περιβάλλοντα, καθώς επιτρέπουν τη συμμετοχή των μαθητών σε τρισδιάστατες, διαδραστικές δραστηριότητες με εκπαιδευτικό περιεχόμενο. Ένα από αυτά τα παιχνίδια είναι το Pathogen Patrol, το οποίο δημιουργήθηκε σε συνεργασία με το Project Lead The Way (PLTW) προσφέροντας στο χρήστη μια ξεκάθαρα βιολογική εκπαιδευτική εμπειρία με το χρήστη να μεταφέρεται μέσα στο ανθρώπινο σώμα, να παίρνει ενεργά το ρόλο διάφορων λευκών αιμοσφαιρίων και να μαθαίνει για τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος (Ascione, 2023).



Εικόνα 2.3: Στιγμιότυπο από το παιχνίδι του Roblox *Pathogen Patrol*. (Πηγή: Field Day Lab, *Pathogen Patrol: 2024 Formal Games Winner*, Gee! Awards, <https://www.geeawards.com/blog/pathogen-patrol-xk5pb>)

Η διδασκαλία μέσα από παιχνίδια μάθησης μπορεί να αυξήσει το κίνητρο των μαθητών και να τα παρακινήσει να εμπλακούν στη διαδικασία μάθησης όσο πιο ενεργά γίνεται. Το μοντέλο Prensky που παρουσιάστηκε το 2001 και 2003 αποτελεί έναν οδηγό για τα στοιχεία στα οποία πρέπει να λάβει υπόψιν του ο σχεδιαστής προτού προχωρήσει στην ανάπτυξη ενός παιχνιδιού και μέσα σε αυτά συγκαταλέγονται το πώς (τρόπος παιχνιδιού), το γιατί (στρατηγική), το τι (κανόνες παιχνιδιού), το πού (κόσμος παιχνιδιού και συνθήκες) και το πότε/εάν (αποφάσεις και ηθική). Ακόμα, η σημαντικότητα της παιχνιδοκεντρικής μάθησης έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να προσφέρει ευκαιρίες για συνεργασία, ομαδικότητα και ανάπτυξη δεξιοτήτων επικοινωνίας με τη συνεργατική επίλυση προβλημάτων (Δημητριάδης, 2005).

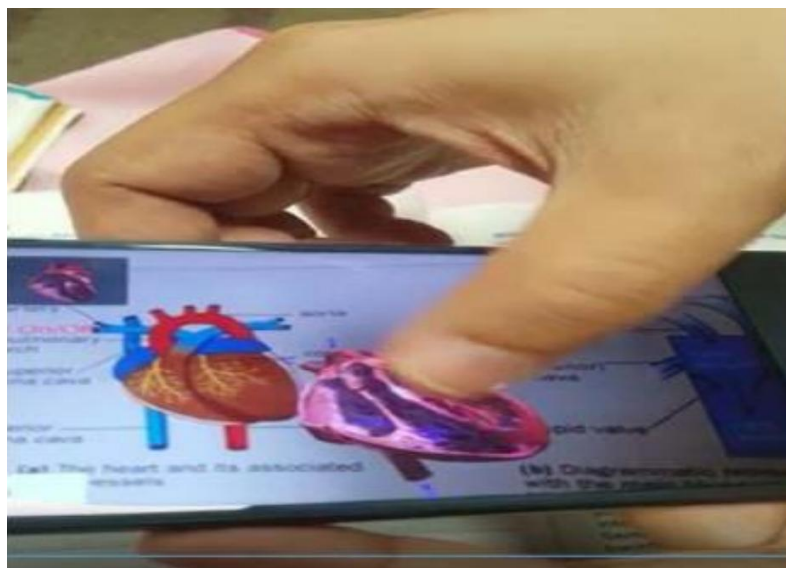
Οι τεχνικές εμπλοκής του μαθητή χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: παίζω, δημιουργώ, μετασχηματίζω. Στην πρώτη περίπτωση, ο εκπαιδευτής επιλέγει ένα έτοιμο παιχνίδι με εκπαιδευτική αξία και οι μαθητές παίζοντας έχουν άμεση εμπλοκή με το παιχνίδι, παίρνοντας απευθείας ανατροφοδότηση από αυτό. Στη δεύτερη περίπτωση, οι μαθητές μπορούν να αναπτύξουν μόνοι τους το παιχνίδι σε συνεργασία με τον εκπαιδευτικό παρέχοντας τους πολλά πλεονεκτήματα όπως τα εξής: αυξημένη δημιουργικότητα κατά το σχεδιασμό, συνεργασία/ ομαδικότητα και επίλυση ποικίλων προβλημάτων που θα

παρουσιαστούν. Τέλος, στην περίπτωση του “μετασχηματίζω”, ο εκπαιδευτικός μπορεί να επιλέξει ένα παιχνίδι ανοιχτού κώδικα με τον βασικό σκελετό του, και οι μαθητές να τροποποιήσουν στοιχεία και παραμέτρους του παιχνιδιού μέσα από μια διαδικασία κατά την οποία θα παίζουν, θα πειραματιστούν και θα διερευνήσουν συγκεκριμένους στόχους μάθησης (Δημητριάδης, 2015).

2.1.3. Η συμβολή των φορητών συσκευών και της επανξιμένης πραγματικότητας στη διδασκαλία της Βιολογίας

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τρόποι με τους οποίους γίνεται εφαρμογή της εικονικής πραγματικότητας στα σχολεία και τα οφέλη που προκύπτουν μέσα από τεκμηριωμένες έρευνες. Οι εφαρμογές AR μπορούν να ενταχθούν στο πλαίσιο της πολυμεσικής μάθησης, καθώς συνδυάζουν λεκτικές και οπτικές αναπαραστάσεις μέσω διαδραστικών ψηφιακών στοιχείων. Η ενεργή εμπλοκή των μαθητών ενισχύει την κατανόηση, μειώνει το γνωστικό φορτίο και προσφέρει διασκεδαστικό περιβάλλον διδασκαλίας. Το ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι στις εφαρμογές AR ενεργοποιείται το οπτικό-χωρικό κανάλι, διότι οι εφαρμογές αυτές επανξιάνουν τον πραγματικό χώρο και τα ψηφιακά γραφικά αναπαρίστανται χωρικά. Οι δυναμικές αυτές αναπαραστάσεις στο μάθημα της βιολογίας μπορούν να οπτικοποιήσουν όργανα και συστήματα του σώματος με 3D κύτταρα (Santos et al., 2016).

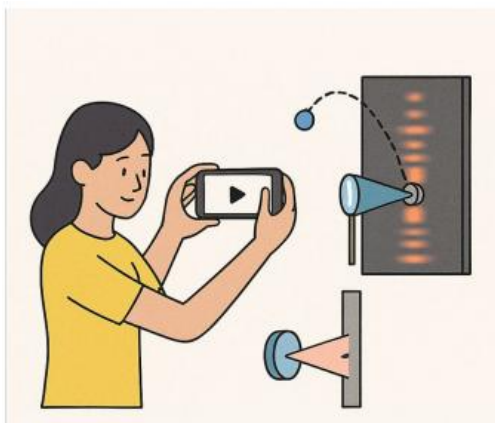
Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή AR “APPLearn” που δημιουργήθηκε στη Σιγκαπούρη από τους Ba et al. (2019) και η οποία σχεδιάστηκε σύμφωνα με το σχολικό εγχειρίδιο βιολογίας για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, παρέχει στους μαθητές τη δυνατότητα να εξερευνήσουν μόνοι τους τη δομή του καρδιαγγειακού συστήματος. Η εν λόγω εφαρμογή για κινητά, στοχεύει να βοηθήσει τους μαθητές που δυσκολεύονται να κατανοήσουν την πολύπλοκη διαδικασία της καρδιακής κυκλοφορίας και παρέχει μια προσομοίωση της ροής του αίματος, η οποία επιτρέπει τη δυναμική αλληλεπίδραση των μαθητών με τα τρισδιάστατα μοντέλα του συστήματος, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4. Έτσι, οι μαθητές που χειρίζονται το τρισδιάστατο μοντέλο της καρδιάς διαδραστικά, αφομοιώνουν καλύτερα το σύστημα της καρδιακής κυκλοφορίας και λαμβάνουν τις γνώσεις με τον δικό τους ρυθμό (Ba et al., 2019).



Εικόνα 2.4: Η εφαρμογή AR APPLearn (Ba et al., 2019)

Οι εφαρμογές AR για smartphones στη δια ζώσης και εξ' αποστάσεως διδασκαλία Βιολογίας, αποτελεί μια ιδιαίτερα οικονομική και ενδιαφέρουσα προσέγγιση εκπαίδευσης. Οι δραστηριότητες μπορούν να διαμορφωθούν ανάλογα με την ηλικιακή ομάδα, τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών και τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Η παιδαγωγική αξία αυτού του εναλλακτικού τρόπου εκμάθησης βασίζεται στην ανοιχτή έρευνα, τη μείωση γνωστικού φορτίου, την ενίσχυση επιστημονικής σκέψης, την αύξηση κινήτρου των μαθητών, την προσβασιμότητα και την εξοικείωση με τις νέες τεχνολογίες.

Με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας απαιτούνται κάποιες τροποποιήσεις προσέγγισης στην Εκπαίδευση STEM. Η Αμερικανική Ένωση Καθηγητών Φυσικής (American Association of Physics Teachers- AAPT), επαναπροσδιορίζει τους στόχους των IPLs, καθώς θεωρεί την έως τώρα προσέγγιση εκμάθησης άκαμπτη, με μη ικανοποιητικό αντίκτυπο στα μαθησιακά αποτελέσματα (AAPT, 1998). Έτσι, τα SmartIPLs καλούνται να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά IPLs και να διευκολύνουν τους μαθητές που δυσκολεύονται να ανταποκριθούν στην κλασσική προσέγγιση διδασκαλίας, προσφέροντας προσιτή τιμή, ευελιξία, διαδραστικότητα και κίνητρο. Πρόκειται για συστήματα που διαθέτουν ανίχνευση, απεικόνιση και υπολογισμό, επιτρέποντας έτσι τη διεξαγωγή πειραμάτων στην τάξη αλλά και σε απομακρυσμένα περιβάλλοντα.



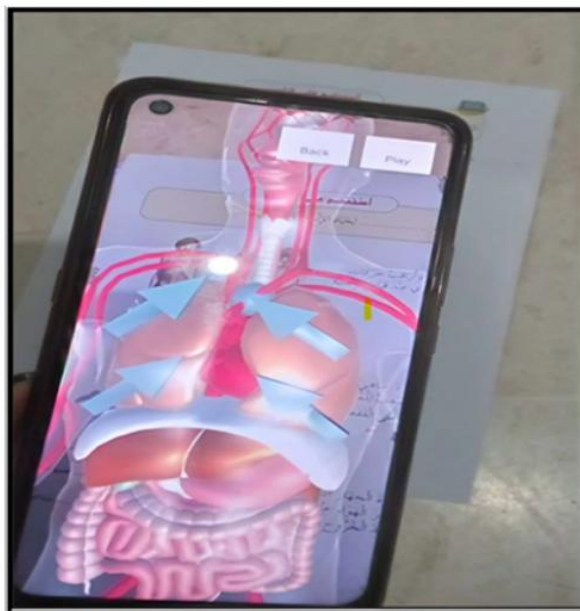
Εικόνα 2.5: Σύστημα SmartIPLs για τη διεξαγωγή πειραμάτων με βάση την κάμερα κάνοντας χρήση AR εφαρμογών (Πηγή: Zhao, 2025).

Οι μαθητές χρησιμοποιώντας τα “έξυπνα” κινητά έχουν τον πλήρη έλεγχο σε εφαρμογές AR με πάνω από 200 δραστηριότητες οι οποίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το θέμα τους και λειτουργούν με τη διάδραση αισθητήρα- κάμερας. Τα σύγχρονα smartphones περιέχουν μια γκάμα αισθητήρων όπως τα επιταχυνσιόμετρα, τα γυροσκόπια, μαγνητόμετρα, μικρόφωνα, βαρόμετρα, αισθητήρες φωτός και GPS τα οποία, μέσω ευέλικτων AR εφαρμογών, επιτρέπουν στους μαθητές να συλλέγουν και να οπτικοποιούν δεδομένα υψηλής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο. Η αμεσότητα αυτή αφενός ενισχύει την απευθείας εμπλοκή του χρήστη, όμως αφετέρου μπορεί να περιορίσει την κριτική σκέψη εάν το πείραμα αυτοματοποιήθηκε σε υπερβολικό βαθμό (Zhao, 2025). Ωστόσο, τα στοιχεία από τις μελέτες αξιολόγησης έδειξαν ότι από τα SmartIPLs προκύπτουν ανώτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα παραδοσιακά εργαστήρια όσον αφορά την κατανόηση εννοιών, τις δεξιότητες επιστημονικής διαδικασίας και το κίνητρο των μαθητών.

Σύμφωνα με άλλη μελέτη που έγινε το 2023 και αφορά τον αντίκτυπο της χρήσης AR εφαρμογών στην διαδικτυακή διδασκαλία βιολογίας, τα αποτελέσματα ήταν εξίσου σημαντικά. Το πείραμα έλαβε χώρα σε δημόσιο Λύκειο της Τουρκίας και αποτελείται από δύο ομάδες· η ομάδα μελέτης αποτελείται από 26 μαθητές, ενώ η πειραματική από 45. Το πείραμα διήρκεσε δώδεκα εβδομάδες και τα αποτελέσματα εξήχθησαν ύστερα από ποιοτική έρευνα μέσα από τα ερωτηματολόγια που απάντησαν οι μαθητές. Τα ευρήματα έδειξαν ότι οι βαθμολογίες αυτοαποτελεσματικότητας της ομάδας που συμμετείχε στη μάθηση βιολογίας με βάση την εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας, ήταν στατιστικά υψηλότερες από εκείνες της ομάδας ελέγχου η οποία ακολούθησε παραδοσιακή προσέγγιση

διδασκαλίας. Επιπρόσθετα, από την έρευνα αυτή οι εφαρμογές AR κρίθηκαν καινοτόμες, ελκυστικές, διασκεδαστικές και επιτυχημένες στην απόκτηση γνώσεων, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο ομάδες για το κίνητρο των μαθητών (Ciloglu and Ustun, 2023).

Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να αποδειχθεί ένα πολύ καλό εργαλείο για να μάθουν τα παιδιά του δημοτικού για το ανθρώπινο σώμα, παρέχοντας πληροφορίες και λεπτομέρειες που δε θα μπορούσαν σε καμία περίπτωση να γίνουν τόσο κατανοητές από τα σχολικά εγχειρίδια. Πιο συγκεκριμένα, σε δημοτικό σχολείο στην Τυνησία δημιουργήθηκε η ArBio, μια εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας για να διδάξει το αναπνευστικό σύστημα σε παιδιά της πέμπτης δημοτικού. Η ArBio, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6 έδινε τη δυνατότητα στο χρήστη να αλληλεπιδρά με τα εικονικά αντικείμενα. Για παράδειγμα, όταν η κάμερα σκάνανε την εικόνα, τότε η εφαρμογή αναγνώριζε τη σελίδα, πρόβαλλε την εικόνα στην οθόνη του κινητού, μετατρέποντάς την όμως σε τρισδιάστατο μοντέλο αναπαριστώντας σε πραγματικό χρόνο τις διεργασίες που συντελούνταν για τη σύνθεση του αναπνευστικού και την πορεία που ακολουθεί ο εισπνεόμενος αέρας. Τα ευρήματα της μελέτης ήταν αξιοσημείωτα αφού παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη μετατόπιση στον τρόπο με τον οποίο τα παιδιά κατανοούσαν τη λειτουργία αναπνοής και ώθησε τους μαθητές να αφομοιώσει τη γνώση πιο αποτελεσματικά (Elharbaoui et al., 2025).



Εικόνα 2.6: Η εφαρμογή ArBio με την οπτικοποίηση του αναπνευστικού συστήματος (Πηγή: Elharbaoui κ.α., 2025).

Μια άλλη εξίσου ενδιαφέρουσα εφαρμογή AR για κινητές συσκευές προέρχεται από το λογισμικό Unity3D, η οποία επιτρέπει σε φοιτητές ιατρικής και κτηνιατρικής να εξασκούνται σε πραγματικές συνθήκες, αντικαθιστώντας τη χρήση πτωμάτων και νεκρών ζώων. Στόχος της έρευνας είναι να μελετηθούν οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αύξηση της μαθησιακής απόδοσης στη βιολογία και η διαδικασία ανάπτυξης της εφαρμογής με όλα τα οφέλη που θα μπορούσε να παρέχει, όπως είναι η χρήση πειραματόζωων και η αντικατάστασή τους από εικονικά εργαστήρια (Arslan κ.α., 2020). Σε τεχνικό επίπεδο, η εφαρμογή αυτή περιλαμβάνει έτοιμο προς χρήση κώδικα όπως το AR Camera, το ImageTarget, το MultiTarget, και το ObjectTarget. Η όλη διαδικασία περιλαμβάνει τον συνδυασμό εικονικού και πραγματικού κόσμου με τη χρήση της κάμερας και τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων στην οθόνη του κινητού, από τις δισδιάστατες εικόνες του διδακτικού υλικού (Arslan κ.α., 2020).

Παραμένοντας στο χώρο της ιατρικής, η εφαρμογή AR “MagicBook” η οποία αναπτύχθηκε για φοιτητές ιατρικής, δίνει στους χρήστες της τη δυνατότητα να μάθουν νευροανατομία μέσα από αυτήν προσφέροντάς τους καθηλωτικές εμπειρίες συνδυάζοντας την ψηφιακή απεικόνιση με το πραγματικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, το MagicBook μέσω της τρισδιάστατης οπτικοποίησης διευκολύνει τους φοιτητές να μάθουν τη δομή της ανατομίας μετατρέποντας τις στατικές εικόνες του βιβλίου σε τρισδιάστατες προσομοιώσεις. Επομένως, οι χρήστες της εφαρμογής στα πλαίσια της πολυμεσικής μάθησης και με την αλληλεπίδραση των τρισδιάστατων μοντέλων αυξάνουν την ακαδημαϊκή τους επίδοση και το γνωστικό φορτίο μειώνεται (Küçük et al., 2016).



Εικόνα 2.7: Η εφαρμογή AR MagicBook (Πηγή: Küçük et al., 2016).

Είναι γεγονός, λοιπόν, πως η επαυξημένη πραγματικότητα για πάνω από δύο δεκαετίες έχει προσφέρει καινοτόμες τεχνικές στην εκμάθηση φυσικών επιστημών και οι έρευνες που έχουν γίνει το αποδεικνύουν περίτρανα. Ωστόσο, οι έρευνες που έχουν γίνει πάνω στη χρήση γυαλιών AR είναι ελάχιστες και είναι απορίας άξιο το εάν η συγκεκριμένη μέθοδος θα μπορούσε να συμβάλλει ακόμα περισσότερο στα οφέλη που παρέχουν έτσι κι αλλιώς οι εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, με ή χωρίς προσωπικό εξοπλισμό στο πεδίο των φυσικών επιστημών.

Στο ερώτημα αυτό έρχεται να απαντήσει μια μελέτη που έγινε το 2024 σε μια ομάδα 75 φοιτητών σε φυσικό μάθημα εργαστηρίου. Οι φοιτητές χωρίστηκαν και πάλι σε δύο ομάδες, η πρώτη αφορούσε τη χρήση γυαλιών AR, ενώ η δεύτερη ακολούθησε την παραδοσιακή προσέγγιση εκμάθησης. Η έρευνα επικεντρώθηκε στο κατά πόσο η χρήση γυαλιών AR μπορεί να επηρεάσει το κίνητρο, το γνωστικό φορτίο και την επίδοση των φοιτητών (Laumann, 2014).

Τα ευρήματα έδειξαν ότι οι φοιτητές που έκαναν χρήση των γυαλιών AR εμφάνισαν υψηλότερη επίδοση στην ικανότητά τους να θυμούνται πληροφορίες, να κατανοούν έννοιες και να επιλύουν προβλήματα, σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε ιδιαίτερα μεγάλη διαφορά στην αποτελεσματικότητα της μάθησης ανάμεσα στις δύο ομάδες, χωρίς όμως αυτό να αναιρεί το γεγονός ότι τα γυαλιά AR δεν ήταν βοηθητικά ως προς την αλληλεπίδραση, καθώς τα χέρια των συμμετεχόντων παραμένουν ελεύθερα για αλληλεπίδραση με το πείραμα. Τέλος, ιδιαίτερα ενδιαφέροντα είναι τα ευρήματα ως προς το γνωστικό φορτίο, τα οποία δείχνουν πως αν και οι συμμετέχοντες που χρησιμοποιούν γυαλιά AR εμφανίζονται πιο παρακινημένοι και ενθουσιώδης από αυτούς που ακολουθούν παραδοσιακά περιβάλλοντα εκμάθησης, το γνωστικό τους φορτίο παραμένει ακριβώς το ίδιο (Laumann, 2014).

Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό των εφαρμογών AR αφορά τον παράγοντα της διασκέδασης και ψυχαγωγίας. Σύμφωνα με έρευνα που έγινε το 2022 στο Μπαντουνγκ της Ινδονησίας σε φοιτητές φυσικής χρησιμοποιήθηκε το FULAN (Fun physics Learning using Augmented Reality) με σκοπό να κάνει τη διαδικασία της μάθησης πιο διασκεδαστική. Η εφαρμογή AR αναπτύχθηκε για την εκμάθηση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Εφαρμόστηκε το μοντέλο πέντε σταδίων ADDIE, το οποίο περιλαμβάνει την ανάλυση αξιολόγησης, το σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την εφαρμογή και την αξιολόγηση. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το μαθησιακό εργαλείο FULAN ενδυναμώνει το

ενδιαφέρον, την προσοχή και το κίνητρο μάθησης των συμμετεχόντων Όσον αφορά την τεχνολογία AR, μπορεί να προσφέρει σημαντικά αποτελέσματα στη διαδικασία μάθησης εγείροντας το ενδιαφέρον του μαθητή (Haryadi και Pujastuti, 2022).

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση εφαρμογών AR περιλαμβάνουν: αύξηση κινήτρου, εξατομικευμένη μάθηση, μείωση γνωστικού φορτίου, ανάπτυξη ψηφιακών δεξιοτήτων, άμεση ανατροφοδότηση, μείωση διοικητικού φόρτου εκπαιδευτικών και αποτελεσματικότητα στην επίλυση προβλημάτων. Ωστόσο, προκύπτουν και ορισμένα μειονεκτήματα και περιορισμοί τα οποία σχετίζονται με ηθικά ζητήματα όπως είναι η προστασία δεδομένων των μαθητών (West, 2018), και η άνιση πρόσβαση στις τεχνολογίες η οποία προκύπτει από την έλλειψη εξοπλισμού και την πρωτοβουλία του εκάστοτε σχολείου για χρήση ψηφιακού εκπαιδευτικού υλικού.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ανάλογο εργαλείο AR αναπτύσσεται κατά το δημιουργικό μέρος για τη δοκιμή του στο μάθημα βιολογίας σε σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Κύπρο, και την εξαγωγή των αντίστοιχων ευρημάτων.

2.2. Ο ρόλος της οπτικοποίησης και της τεχνολογίας στην Ειδική Εκπαίδευση

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται μελέτες που έγιναν σε παιδιά με δυσκολίες όπως η Διαταραχή Αυτιστικού Φάσματος (ΔΑΦ), Νοητική Αναπηρία, Ειδικές Μαθησιακές Δυσκολίες (ΕΜΔ) και Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής – Υπερκινητικότητας (ΔΕΠ-Υ). Όλα τα μοντέλα μάθησης που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, όπως είναι η βιωματική μάθηση, ο εποικοδομισμός, ο καθολικός σχεδιασμός μάθησης, η παιχνιδοκεντρική, πολυμεσική και πολυτροπική μάθηση βρίσκουν άψογη εφαρμογή στο πεδίο της Ειδικής Εκπαίδευσης. Ο πολυτροπικός τρόπος αναπαράστασης των πληροφοριών και οι διαδραστικότητα είναι τα θεμέλια της τεχνολογίας πολυμέσων (Ιατράκη και Μικρόπουλος, 2022).

Στην ειδική εκπαίδευση, οι ΦΕ αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό αλλά απαιτητικό πεδίο, καθώς μέσα από αυτό οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τον φυσικό κόσμο. Η ψηφιακή τεχνολογία με τα πολυμέσα στηρίζει τους μαθητές αυτούς ως προς την ακαδημαϊκή επίδοση με τη χρήση εργαλείων οπτικοποίησης, τονίζοντας παράλληλα την

άποψη ισότιμων ευκαιριών και συμμετοχής στο γενικό πρόγραμμα σπουδών. Τα πολυμέσα ως εκπαιδευτικά εργαλεία μπορούν να περιλαμβάνουν κινούμενα σχέδια, 2D/3D γραφικά, ήχο, βίντεο και εφαρμογές AR/VR. Μέσω της εκπαιδευτικής τεχνολογίας αυξάνεται το κίνητρο και τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών με αναπηρίες, δίνοντας βαρύτητα στον τρόπο χρήσης των εργαλείων αυτών. Για να επωφεληθεί κανείς από τις δυνατότητες της τεχνολογίας θα πρέπει πρώτα να είναι γνωστό το πώς οι άνθρωποι θα μπορούσαν να αλληλεπιδράσουν με αυτά. Σε αυτή την περίπτωση, οι δραστηριότητες που μπορεί να εκτελέσει ένας μαθητής με μαθησιακές δυσκολίες ή αναπηρίες, προκύπτει από τις μαθησιακές δυνατότητες (Ιατράκη και Μικρόπουλος, 2022).

Σύμφωνα με την έρευνα των Christensen & Knezek (2006), οι μαθητές που χρησιμοποιούν το ημερολόγιο του smartphone τους μπορούν να προγραμματίζουν αποτελεσματικότερα τις καθημερινές τους δραστηριότητες, ενώ εκείνοι που έκαναν χρήση γραφικού διοργανωτή δείχνει να επιτρέπουν την επικοινωνία και τη σύνθεση πληροφοριών. Και τα δύο εργαλεία ενισχύουν γνωστικά το μαθητή και κατ' επέκταση αυξάνουν την απόδοσή του πολύ περισσότερο απ' ό,τι σε ένα παραδοσιακό περιβάλλον διδασκαλίας. Η εφαρμογή πολυμέσων μαζί με σχετικές μαθησιακές δραστηριότητες σε συνδυασμό με εικόνες και λέξεις μπορούν να βοηθήσουν τον μαθητή να κατασκευάσει νοητικά μοντέλα (Ιατράκη και Μικρόπουλος, 2022).

Με βάση την ίδια έρευνα οι μαθητές με αναπηρίες είναι απαραίτητο να λαμβάνουν πλήρεις και ίσες γνωστικές ευκαιρίες σε σχέση με τους μαθητές χωρίς αναπηρίες, καθώς οι γνώσεις αυτές τους βοηθάνε να αποκτήσουν λειτουργικές δεξιότητες και να προσαρμοστούν πιο εύκολα στην κοινωνία. Επίσης, τα ευρήματα της ίδιας έρευνας έδειξαν ότι οι μαθητές με αναπηρία έδειξαν πως τα μαθησιακά αποτελέσματα παιδιών με αναπηρία ήταν ίδια με των συμμαθητών τους χωρίς αναπηρία. Ωστόσο, για να μπορεί να λαμβάνει η μερίδα αυτή των μαθητών πλήρεις εκπαιδευτικές ευκαιρίες θα πρέπει να γίνεται η χρήση ορισμένων στρατηγικών επίλυσης προβλημάτων και διδακτικών μοντέλων (Soulis κ.α., 2016). Σύμφωνα με τον (Almalki, 2016) οι δύο βασικές εφαρμογές της ψηφιακής τεχνολογίας που συμβάλλουν στη μαθησιακή απόδοση είναι η διδασκαλία με Υποβοήθηση Υπολογιστή (Computer- Assisted Instruction- CAI) και η βιντεομοντελοποίηση (video modeling).

Πιο συγκεκριμένα, οι Οι McMahon (2016) και Smith (2017), σε έρευνα που διεξήγαγαν σε φοιτητές με νοητική αναπηρία από 19 έως 25 ετών, χρησιμοποιώντας εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας και εξετάστηκε η επίδραση της διδασκαλίας στο λεξιλόγιο της βιολογίας, ανέδειξαν ιδιαίτερα θετικά ευρήματα. Όσον αφορά την επίδοση των μαθητών, τα ευρήματα έδειξαν βελτίωση ακαδημαϊκού περιεχομένου, εκτέλεσης οδηγιών, λήψης αποφάσεων, όσο και πρωτοβουλιών. Επιπρόσθετα, οι φοιτητές έδειξαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς τη χρήση της εφαρμογής, γεγονός που αύξησε το κίνητρο μάθησης και εν τέλει φάνηκε να απόλαυσαν την όλη διαδικασία. Ομοίως, οι Fatikhova & Sayfutdiyarova (2017) σε μελέτη τους για τη βελτίωση της διδασκαλίας θεμάτων βιολογίας σε άτομα με νοητική αναπηρία, που έκαναν χρήση 3D κινούμενων γραφικών συμπέραναν πως η εκπαιδευτική τεχνολογία μπορεί να συμπληρώσει τα παραδοσιακά μέσα, και να αυξήσουν το επίπεδο αφομοίωσης και μνημονικών δεξιοτήτων των μαθητών.

Για τις μελέτες που έγιναν σε μαθητές με ΔΑΦ ηλικίας 9-15 ετών και τα οποία βρίσκονται στη μέση εκπαίδευση, εφαρμόστηκε μια ποικιλία πολυμέσων όπως: εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, ψηφιακές πλατφόρμες, ψηφιακά παιχνίδια, προβολές παρουσιάσεων μέσω πολλαπλών δραστηριοτήτων και λογισμικό δημιουργίας ψηφιακού κειμένου. Τα ευρήματα κατά τον (McKissick et al., 2018) ανέδειξαν λειτουργική σχέση μεταξύ της εκάστοτε παρέμβασης και του αριθμού των σωστών απαντήσεων πολλαπλών δραστηριοτήτων από τους μαθητές. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές κατέκτησαν ορολογία ΦΕ, χρησιμοποίησαν επιτυχώς το λογισμικό δημιουργίας ψηφιακού κείμενου και ανέπτυξαν σχετικό λεξιλόγιο. Ειδικότερα για τη χρήση ψηφιακών παιχνιδιών τα ευρήματα ανέδειξαν αφενός βελτίωση των επιδόσεων στις δεξιότητες ανάγνωσης και γραφής, και αφετέρου την ανάπτυξη νοητικών λειτουργιών όπως η αντίληψη, η προσοχή και η μνήμη. Τέλος, ως προς τις κοινωνικές δεξιότητες, η χρήση της εκπαιδευτικής τεχνολογίας υποστήριξε την επικοινωνία στην τάξη και τις δεξιότητες συνεργασίας και ανταγωνισμού στο πλαίσιο του παιχνιδιού (Ιατράκη και Μικρόπουλος, 2022).

Στις τρεις μελέτες (Smith et al., 2013; Fernández-López et al., 2013; Vassilopoulou & Mavrikaki, 2016) που διεξήχθησαν σε μαθητές με ΔΕΠ-Υ και έγινε η χρήση πολυμέσων για τη διδασκαλία ακαδημαϊκού περιεχομένου, καταγράφηκε βελτίωση της επίδοσης των μαθητών με πιο σημαντική εκείνη της ενίσχυσης της συγκέντρωσης προσοχής και αντίστοιχα τη μείωση των χαρακτηριστικών του συνδρόμου όπως είναι η υπερκινητικότητα και η παρορμητικότητα. Επιπρόσθετα, παρατηρήθηκε από τους μαθητές θετική διάθεση και

ενδιαφέρον, τα οποία και διατήρησαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας λόγω της χρήσης της τεχνολογίας. Από την άλλη, σε μελέτη που έγινε για μαθητές με ΕΜΔ (Ciullo et al., 2015, Ok et al., 2017, Terrazas-Arellanes et al., 2018), η χρήση λογισμικού σε iPad ενίσχυσε την κατανόηση κειμένου και τη γενικότερη διαδικασία διδασκαλίας με τη λήψη σημειώσεων, τη συνεργασία και την κατανόηση λεξιλογίου. Οι μαθητές με ΕΜΔ με τη χρήση της τεχνολογίας κατάφεραν να έχουν γρήγορη πρόσβαση σε πόρους και εργαλεία, εξοικονόμησαν χρόνο με την άμεση πρόσβαση σε απαντήσεις και λύσεις και κατανόησαν αφηρημένες έννοιες ΦΕ, μειώνοντας έτσι το γνωστικό φορτίο της εργαζόμενης μνήμης (Ιατράκη και Μικρόπουλος, 2022).

Εν κατακλείδι, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι μαθητές με σοβαρές αναπηρίες και μαθησιακές δυσκολίες χρειάζονται διαφορετικές προσεγγίσεις για την κατανόηση αφηρημένων εννοιών Βιολογίας και γενικότερα ΦΕ. Η χρήση της τεχνολογίας με την οπτικοποίηση μέσω εφαρμογών και παιχνιδιών μπορεί να συμβάλει στην αποκωδικοποίηση των λέξεων και να ενισχύσει τις δεξιότητες των μαθητών.

2.3. Εκπαιδευτικά συστήματα Ελλάδας και Κύπρου και η ανάγκη ψηφιακού μετασχηματισμού

Στο υποκεφάλαιο αυτό αναλύεται ο τρόπος διδασκαλίας και τα μέσα που χρησιμοποιούνται από εκπαιδευτικούς και μαθητές στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση σε Ελλάδα και Κύπρο για τη διδασκαλία των ΦΕ. Οι δύο χώρες μοιράζονται κοινό εκπαιδευτικό σύστημα με παρόμοια δομή και λειτουργία. Η δημόσια εκπαίδευση είναι υποχρεωτική μέχρι τα 15 έτη και περιλαμβάνει το Γυμνάσιο (κατώτερη δευτεροβάθμια) και το Λύκειο (ανώτερη δευτεροβάθμια). Μια μικρή διαφοροποίηση συναντάται στην περίπτωση της Επαγγελματικής Εκπαίδευσης στο Λύκειο με την Κύπρο να προσφέρει και Τεχνική Εκπαίδευση. Ωστόσο, το εκπαιδευτικό υλικό της Κύπρου προκύπτει από τα ελληνικά αναλυτικά προγράμματα όπως ορίζονται από το Υπουργείο Παιδείας.

Ως προς τα μέσα διδασκαλίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, η διδασκαλία βασίζεται στο παραδοσιακό μοντέλο δασκαλοκεντρικής μάθησης, με βασικά εργαλεία τις εργασίες και ασκήσεις που καλούνται οι μαθητές να λύσουν στην τάξη. Το μάθημα της πληροφορικής

διδάσκεται στις σχολικές αίθουσες ως διακριτό μάθημα χωρίς όμως να λειτουργεί ως εργαλείο στήριξης σε άλλα μαθήματα. Η χρήση των ΤΠΕ διαφέρει από σχολείο σε σχολείο και είναι στην κρίση του κάθε σχολείου κατά πόσο θα συμπληρώσουν την εκπαιδευτική ύλη με διαδραστικό υλικό, καθώς περιλαμβάνονται μεν στα εθνικά ευρωπαϊκά στρατηγικά κείμενα, όσο και στις πολιτικές ψηφιακού μετασχηματισμού, χωρίς όμως να χρησιμοποιούνται στον βαθμό που θα έπρεπε. Οι ΤΠΕ στο σύστημα των δύο χωρών περιλαμβάνουν τα εξής:

- Εργαστήρια με τη χρήση υπολογιστών, laptops και tablets
- Βιντεοπροβολές
- Παρουσίαση ψηφιακού υλικού
- Εκπαιδευτικό λογισμικό
- Ψηφιακές πλατφόρμες
- Διαδραστικοί πίνακες

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει κάποιες προσπάθειες για την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών στην εκπαίδευση, με την Ελλάδα να προσφέρει προγράμματα τεχνητής νοημοσύνης για την εκπαίδευση των καθηγητών προκειμένου να προωθήσουν στο μέλλον μια πιο εξατομικευμένη μάθηση, καθώς η επιμόρφωση των εκπαιδευτικών αποτελεί βασικό κανόνα για την χρήση και προώθηση των ΤΠΕ στη διδασκαλία. Έχει αποδειχθεί πως οι ψηφιακές δεξιότητες των εκπαιδευτικών μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις αντιλήψεις των μαθητών για την τεχνολογία και τη χρήση της (Vitezić et al., 2024).

Σύμφωνα με μια έρευνα που διεξήχθη το 2023 στην Κύπρο και έλαβαν μέρος 126 Κύπριοι εκπαιδευτικοί πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, με στόχο την ανάδειξη των ψηφιακών τους δεξιοτήτων και της στάσης τους απέναντι στην ΤΝ, τα ευρήματα έδειξαν πως το επίπεδο ψηφιακών δεξιοτήτων ήταν μέτριο και η στάση τους απέναντι στην ΤΝ ουδέτερη. Ωστόσο, αισιόδοξη ήταν η διάθεσή τους ως προς την ανάγκη για την ενσωμάτωση της ΤΝ και ΤΠΕ στις διδακτικές πρακτικές όπως και η ανάγκη τους για ολοκληρωμένα προγράμματα κατάρτισης των εκπαιδευτικών ώστε να προετοιμαστούν καλύτερα για την αποτελεσματική χρήση και διδασκαλία σύγχρονων τεχνολογιών (Kasinidou et al. 2025).

Παραμένοντας στο θέμα της επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών, αξίζει να σημειωθεί πως στην Κύπρο πραγματοποιείται μια πιο οργανωμένη και στοχευμένη επιμόρφωση για ψηφιακές δεξιότητες, σε σύγκριση με την Ελλάδα, όπου περιλαμβάνει μια σειρά μαθημάτων όπως: ICT tools for teaching and learning, Digital skills for 21st century teachers και Digital inclusion και βασικές ψηφιακές δεξιότητες για μη-IT εκπαιδευτικούς. Τα προγράμματα αυτά είναι χρηματοδοτούμενα από την ΕΕ και είναι διεθνώς αναγνωρισμένα (European School Education Platform, 2025). Επιπρόσθετα, στην Κύπρο υπάρχει και το πρόγραμμα Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ψηφιακές Δεξιότητες της Κύπρου 2021-25, το οποίο στοχεύει στον ταχύ ψηφιακό μετασχηματισμό της χώρας, συμπεριλαμβανομένου και της επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών (European Commission, 2025).

Από την άλλη πλευρά, στην Ελλάδα υπάρχουν ελλείψεις ως προς την επιμόρφωση των καθηγητών καθώς τα προγράμματα που υπάρχουν δεν είναι καθολικά και υποχρεωτικά σε εθνικό επίπεδο. Οι δημόσιοι φορείς που οργανώνουν τα επιμορφωτικά προγράμματα ΤΠΕ είναι το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής και το ΙΤΥΕ “Διοφάντος”. Τα προγράμματα αυτά περιλαμβάνουν επιμόρφωση για την αξιοποίηση ψηφιακών τεχνολογιών, ΤΝ και Καθολικού Σχεδιασμού και Ψηφιακού Εκπαιδευτικού Υλικού στην εκπαίδευση (Ασημακοπούλου, 2025). Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε τα προγράμματα αυτά δεν είναι ενιαία και συνεχή, ούτε καλύπτουν όλο το σύνολο των εκπαιδευτικών με αποτέλεσμα να παραμένει αβέβαιο το εάν είναι σε θέση να αξιοποιήσουν σύγχρονα εργαλεία διδασκαλίας όπως οι εφαρμογές ΕΠ.

Εν συνεχεία, όσον αφορά τις ψηφιακές δεξιότητες των μαθητών, το 2022 η PISA (Programme for International Student Assessment), διεξήγε έρευνα σε μαθητές ηλικίας 15 ετών, σε διεθνές επίπεδο αξιολογώντας γνώσεις, δεξιότητες και επιδόσεις σε διάφορα μαθησιακά πεδία συμπεριλαμβανομένων των φυσικών επιστημών, της ικανότητάς τους να αξιοποιούν τις ΤΠΕ, όπως επίσης να επιλύουν προβλήματα σε ψηφιακά περιβάλλοντα. Σύμφωνα με τα ευρήματα της έρευνας του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), στον οποίο ανήκει η έρευνα PISA, οι Κύπριοι μαθητές παρουσιάζουν χαμηλότερες επιδόσεις συγκριτικά με τον μέσο όρο των υπόλοιπων χωρών που πήραν μέρος στην έρευνα. Οι δείκτες αυτοί σχετίζονται με την χρήση ψηφιακών εργαλείων, την

αυτοπεποίθηση στη χρήση ΤΠΕ, όπως και την εφαρμογή ψηφιακών δεξιοτήτων (OECD, 2025).

Ένα άλλο ζήτημα του ψηφιακού μετασχηματισμού στα σχολεία έχει να κάνει με τις υποδομές και τον ψηφιακό εξοπλισμό, καθώς κρίνεται απαραίτητο στοιχείο για τη χρήση ΤΠΕ. Στην περίπτωση αυτή, και οι δύο χώρες καταβάλλουν προσπάθειες για την ενίσχυση των ψηφιακών υποδομών και του εξοπλισμού τους, κινούμενες βέβαια σε διαφορετικό πλαίσιο. Στην Κύπρο, το εθνικό πλαίσιο ψηφιακών δεξιοτήτων και δράσεων μέχρι το 2025 ενσωματώνει την υποστήριξη εξοπλισμού σχολείων, ενισχύει δεξιότητες μαθητών και εκπαιδευτικών και προωθεί δράσεις STEM και ψηφιακής παιδείας γενικότερα (European Commission, 2025). Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση της Ελλάδας, το πρόγραμμα «Ψηφιακό Σχολείο» επιχειρεί να αναβαθμίσει τη διδακτική πράξη σε όλες τις τάξεις του Δημοτικού, Γυμνασίου και Λυκείου και να αξιοποιήσει τις ΤΠΕ, με την ψηφιακή πλατφόρμα η οποία παρέχει συμπληρωματικό εκπαιδευτικό υλικό με σκοπό να εμπλουτίσει τη διδασκαλία με ατομικές ή ομαδικές δραστηριότητες (European Commission, 2025).

Πιο συγκεκριμένα, η πλατφόρμα Ψηφιακό Σχολείο περιλαμβάνει διαδραστικά μαθήματα, ψηφιακά βιβλία και βοηθητικό οπτικό υλικό όπως: βίντεο, εικόνες, διαδραστικές ασκήσεις και πειράματα, δραστηριότητες και εφαρμογές επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας, ενισχύοντας τις ψηφιακές δεξιότητες των μαθητών (Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, 2021). Όσον αφορά τις εφαρμογές AR σε σχέση με το μάθημα της Βιολογίας, το Ψηφιακό Σχολείο παρέχει σαρωτές QR που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα smartphones των μαθητών και να εμφανίσουν στην οθόνη τους 3D μοντέλα μερών του ανθρώπινου σώματος, χημικών μορίων και άλλων σχημάτων που αντιστοιχούν στο εκπαιδευτικό υλικό ενισχύοντας έτσι τις έννοιες από το βιβλίο και προσφέροντας βιωματική μάθηση. Ωστόσο, το μειονέκτημα του επιχειρήματος αυτού, είναι ότι το Ψηφιακό Σχολείο αποτελεί συμπληρωματικό εργαλείο και παρά του οφέλη του, η χρήση του εξαρτάται από την υποδομή του σχολείου και την κατάλληλη καθοδήγηση του εκπαιδευτικού (e-me Digital Educational Platform, 2025).



Εικόνα 2.8: Το κεντρικό μενού της πλατφόρμας Ψηφιακό Σχολείο

(Πηγή: e-me Digital Educational Platform, 2025).

Παρ' ό,τι τα πράγματα δείχνουν απογοητευτικά για την ένταξη των ΤΠΕ ως εργαλεία του εκπαιδευτικού υλικού σε Ελλάδα και Κύπρο, ωστόσο ένα πείραμα που πραγματοποιήθηκε κατ' ανάγκη στην Ελλάδα το 2020 αποδεικνύει ότι οι μαθητές είναι έτοιμοι να ανταποκριθούν στη νέα εποχή της τεχνολογίας· μιας εποχής που θεσπίζει τη μαθητοκεντρική προσέγγιση και συνδυάζει την πολυτροπική, πολυμεσική και βιωματική μάθηση. Ο λόγος για το εκπαιδευτικό σύστημα κατά την πανδημία COVID-19. Όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η ένταξη της ψηφιακής μάθησης έκανε τους μαθητές να εμπλακούν περισσότερο σε εφαρμογές στο κινητό και να δημιουργούν μόνοι τους τη γνώση μέσα από την αλληλεπίδραση. Η θετική ανταπόκριση των μαθητών και η αύξηση κινήτρου, όπως και αποδοτικότητας στα μαθησιακά αποτελέσματα, απέδειξε για ακόμα μια φορά τη σημαντικότητα της τεχνολογίας στην εκπαίδευση, όπως και την ανάγκη για εκσυγχρονισμό του ελληνικού συστήματος εκπαίδευσης (Ευαγγέλου, 2021).

Συμπερασματικά, με βάσει τις βιβλιογραφικές αναφορές, οι εφαρμογές AR και γενικότερα οι ΤΠΕ δεν αποτελούν τον πυρήνα της διδασκαλίας του εκπαιδευτικού συστήματος της Κύπρου και της Ελλάδας. Στην εποχή της ψηφιακής πληροφορίας, οι μαθητές παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα ψηφιακών δεξιοτήτων, ενώ κανονικά θα έπρεπε να επωφελούνταν όλων αυτών των εργαλείων, τα οποία σε σχολεία του εξωτερικού θεωρούνται βασικό μέρος του εκπαιδευτικού υλικού. Στην Ελλάδα, το Ψηφιακό Σχολείο θεωρείται ένα τεράστιο βήμα για την εξέλιξη του τρόπου διδασκαλίας ΦΕ και υπόσχεται

αρκετά. Ωστόσο, είναι απαραίτητο από τη μια οι εκπαιδευτικοί να λάβουν την απαραίτητη επιμόρφωση, και από την άλλη, το πλαίσιο των αναλυτικών προγραμμάτων να αναδιαμορφωθεί εντάσσοντας τα ψηφιακά εργαλεία ως υποχρεωτικό υλικό. Η ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών στην καθημερινή διδακτική πράξη και ο ψηφιακός μετασχηματισμός είναι επιτακτική ανάγκη.

Στην παρούσα διπλωματική, ερευνώνται οι αρχές που διέπουν το εκπαιδευτικό σύστημα της Ελλάδας και της Κύπρου, όπως επίσης και η συνθήκη στην οποία βρίσκεται, με απώτερο σκοπό τον εκσυγχρονισμό του από νέα τεχνολογικά εργαλεία, όπως είναι οι εφαρμογές AR σε κινητά και ταμπλέτες. Επιπρόσθετα, τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι διάφορες θεωρίες μάθησης που παρουσιάστηκαν, όπως είναι η πολυτροπική και πολυμεσική μάθηση, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν για την δημιουργία και απόδοση των εργαλείων αυτών.

3. Εργαλεία και τεχνικές οπτικοποίησης στη Βιολογία

Το κεφάλαιο αυτό εξετάζει σε τεχνολογικό πλαίσιο τα εργαλεία και τις τεχνικές που εφαρμόζονται για τον σχεδιασμό εφαρμογών επανυξημένης πραγματικότητας. Η φωτογραμμετρία, το gaussian splatting και τα λογισμικά επεξεργασίας τρισδιάστατων μοντέλων, όπως είναι το Blender, συνδυάζονται για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων ζώων · μια διαδικασία η οποία δε θεωρείται καθόλου απλή.

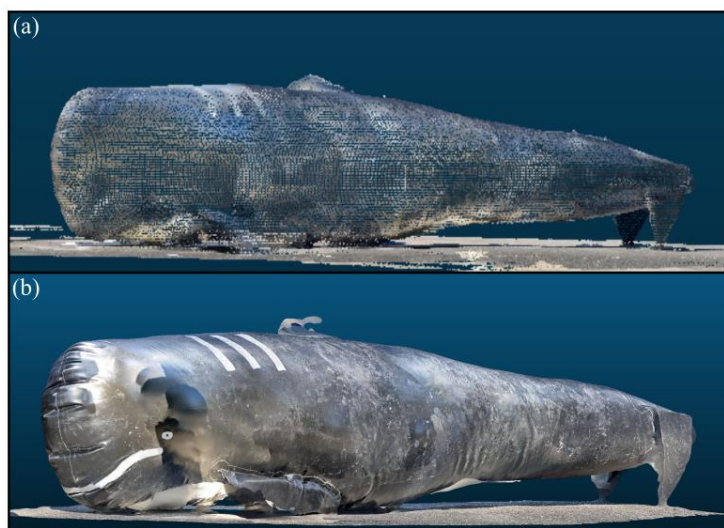
3.1 Η φωτογραμμετρία ως μέθοδος τρισδιάστατης ανακατασκευής οργανισμών

Η τεχνική της φωτογραμμετρίας χρησιμοποιείται στο πεδίο της Βιολογίας για να ανακατασκευάσει το τρισδιάστατο μοντέλο διάφορων ζώων με στόχο την καταγραφή της σωματικής κατάστασης και κίνησης των οργανισμών για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Τα τρισδιάστατα μοντέλα ζωντανών ζώων παρέχουν πολύτιμα δεδομένα για το σχήμα και την κίνηση του σώματός τους ενώ αντιπροσωπεύουν άβυσσους πραγματικών δειγμάτων για περαιτέρω ανάλυση (Bot, A. And Irschich, 2019). Οι νέες τεχνολογικές μέθοδοι με ταχύως αναπτυσσόμενους αισθητήρες, ενισχύουν τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από διάφορους ζωντανούς οργανισμούς παρέχοντας λεπτομερείς απεικονίσεις της ανατομίας, παθολογίας και κίνησής τους (Bois et al., 2021, Farahani et al., 2017).

Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση βιολογικών δειγμάτων έχει φέρει επανάσταση στην παλαιοντολογία και την εντομολογία σπονδυλωτών, καθώς ο σύγχρονος εξοπλισμός για τη φωτογράφιση των δειγμάτων επιτρέπει την υψηλή πιστότητα λήψεων. Κατά τον (Zotos, 2025) η αποτελεσματική τρισδιάστατη απεικόνιση απαιτεί τα δείγματα να παραμένουν εντελώς ακίνητα, οι εικόνες να επικαλύπτονται κατά τουλάχιστον 60% και ο φωτισμός να είναι διάχυτος για την αποφυγή έντονων σκιών.

Η διαδικασία της φωτογραμμετρίας περιλαμβάνει τη λήψη φωτογραφιών και στη συνέχεια την επεξεργασία τους από λογισμικά φωτογραμμετρίας, από τα οποία θα εξαχθεί ένα ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα, τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την λήψη φωτογραφιών είναι είτε λήψεις από φωτογραφικές μηχανές, κινητά τηλέφωνα και μη επανδρωμένα σκάφη (drone), είτε εργαλεία τηλεπισκόπησης όπως οι 3D σαρωτές με την

τεχνολογία LiDAR (Light Detection and Ranging), τα οποία χρησιμοποιούν ανίχνευση και εύρεση φωτός. Η τεχνολογία LiDAR χρησιμοποιεί παλμούς λέιζερ για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ του οργάνου μέτρησης και μιας επιφάνειας ή αντικειμένου-στόχου, και μπορεί να ενσωματωθεί σε κινητές συσκευές. Το αποτέλεσμα των λήψεων της τεχνολογίας LiDAR είναι ένα τρισδιάστατο νέφος σημείων, το οποίο παρέχει μια λεπτομερή αναπαράσταση επιφανειών και αντικειμένων (Wandinger, 2005), όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1.



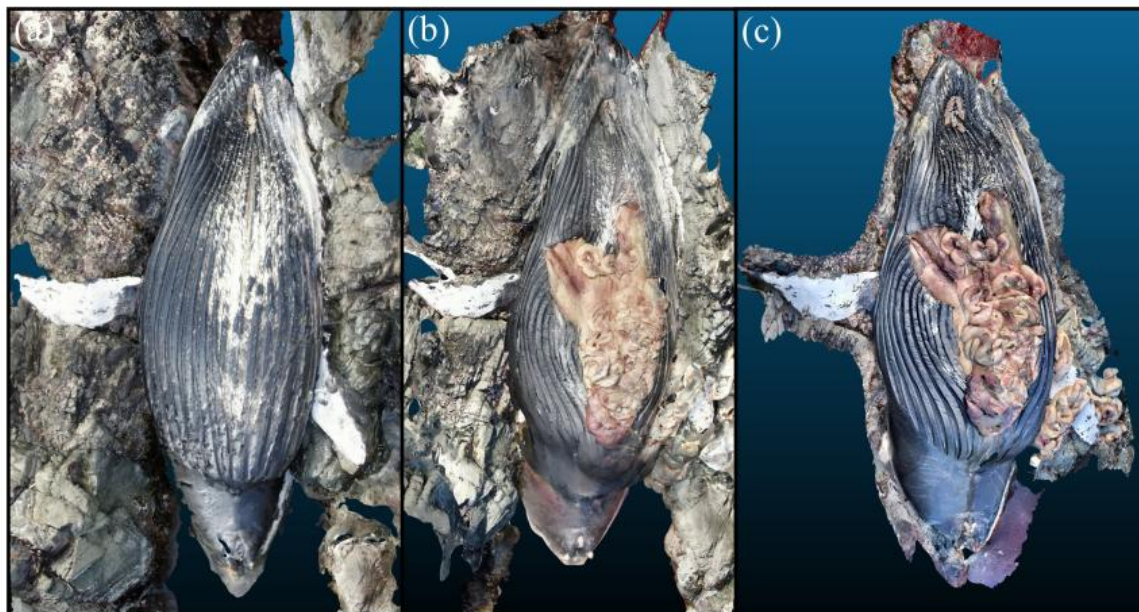
Εικόνα 3.1: (a) αναπαράσταση νέφους σημείων όπως προέκυψε από το LiDAR και (b) το μοντέλο φουσκωτής φάλαινας που δημιουργήθηκε για δοκιμή και οπτικοποίηση των δεδομένων (πηγή: Cottrell et al., 2025).

Το τρισδιάστατο νέφος σημείων αντιστοιχεί στα διακριτά σημεία στον τρισδιάστατο χώρο, τα οποία κάθε ένα από αυτά αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη θέση στην επιφάνεια του αντικειμένου ή της σκηνής. Τα σημεία αυτά περιγράφουν τη γεωμετρία ενός αντικειμένου, χωρίς όμως να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη συνέχεια της επιφάνειας (Liu et al., 2019). Από την άλλη, κατά τον (Rassineux, 1997), το τρισδιάστατο πλέγμα (3d mesh) μπορεί να παρέχει περισσότερες πληροφορίες με μια πιο δομημένη αναπαράσταση που αποτελείται από κορυφές, ακμές και έδρες (vertices, edges, faces), όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1. Στη συνέχεια, εντός του λογισμικού φωτογραμμετρίας, ο αλγόριθμος θα εντοπίσει τα βασικά χαρακτηριστικά μεταξύ των εικόνων και θα τα αντιστοιχίσει, δημιουργώντας στη συνέχεια την τρισδιάστατη αναπαράσταση του αντικειμένου (Zotos, 2025).

Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι η έρευνα που διεξήγαγε ομάδα επιστημόνων από πανεπιστημιακά εργαστήρια και ερευνητικά ιδρύματα του Καναδά, η οποία αξιολογεί την εφαρμοσιμότητα, την πρακτικότητα, την ακρίβεια και τον επακόλουθο αντίκτυπο ανάμεσα στους σαρωτές LiDAR που υπάρχουν σε κινητά τηλέφωνα και τις χειροκίνητες μορφομετρικές μετρήσεις. Το πεδίο εφαρμογής τους είναι η εξεύρεση της αίτιας θανάτου μεγάλων θαλάσσιων θηλαστικών όπως οι φάλαινες και τα δελφίνια, τα οποία ξεβράζουν οι ωκεανοί στη στεριά και αποτελούν μεγάλη απειλή για την ισορροπία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Για να ενισχύσουν λοιπόν την τεκμηρίωση της νεκροψίας και να αξιολογήσουν την υγεία των θαλάσσιων θηλαστικών εφαρμόζουν τεχνολογίες 3D σάρωσης και με την τεχνική της φωτογραμμετρίας χαμηλού κόστους προκύπτει μορφομετρική ανάλυση και τεκμηρίωση βιολογικών χαρακτηριστικών (Cottrell et al., 2025).

Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία της τεχνικής αυτής στηρίζεται στη συλλογή επικαλυπτόμενων φωτογραφιών πεδίου, οι οποίες συλλέγονται από smarthones, ipad και drones. Για τη διαδικασία των λήψεων χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία τηλεπισκόπησης LiDAR και φωτογραφίες από ipad και drone. Στη συνέχεια οι φωτογραφίες αυτές επεξεργάστηκαν μέσω λογισμικού και από τη μέθοδο Structure from Motion (SfM), προέκυψαν τα ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση μεγέθους και μορφολογίας του σώματος, όπως και για την κατανόηση της υγείας και βιοενεργειακής των ζώων.

Ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι τα θηλαστικά φωτογραφήθηκαν σε διάφορες χρονικές περιόδους, πριν και μετά την νεκροψία, όπως και κατά την σήψη τους, ούτως ώστε να κατανοήσουν οι επιστήμονες τα αίτια θανάτου τους, όπως στην περίπτωση της φάλαινας που βρέθηκε νεκρή σε ραχιαία κατάκλιση στην ακτή της Χάιντα Γκουάι. Οι εναέριες λήψεις που πάρθηκαν πριν και μετά τη νεκροψία της φάλαινας συνθέτουν ένα 3d μοντέλο που σκιαγραφεί τις συνθήκες που βρισκόταν η φάλαινα κατά τον θάνατό της. Η τρισδιάστατη ανακατασκευή όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2 απεικονίζει τη μέτρια σωματική κατάσταση του ζώου, τα προεξέχοντα μαστικά κύτταρα, την ανοιχτή κοιλιακή κοιλότητα και τα οστά ρέγκας που αντιστοιχούν στο τελευταίο της γεύμα (Cottrell et al., 2025).



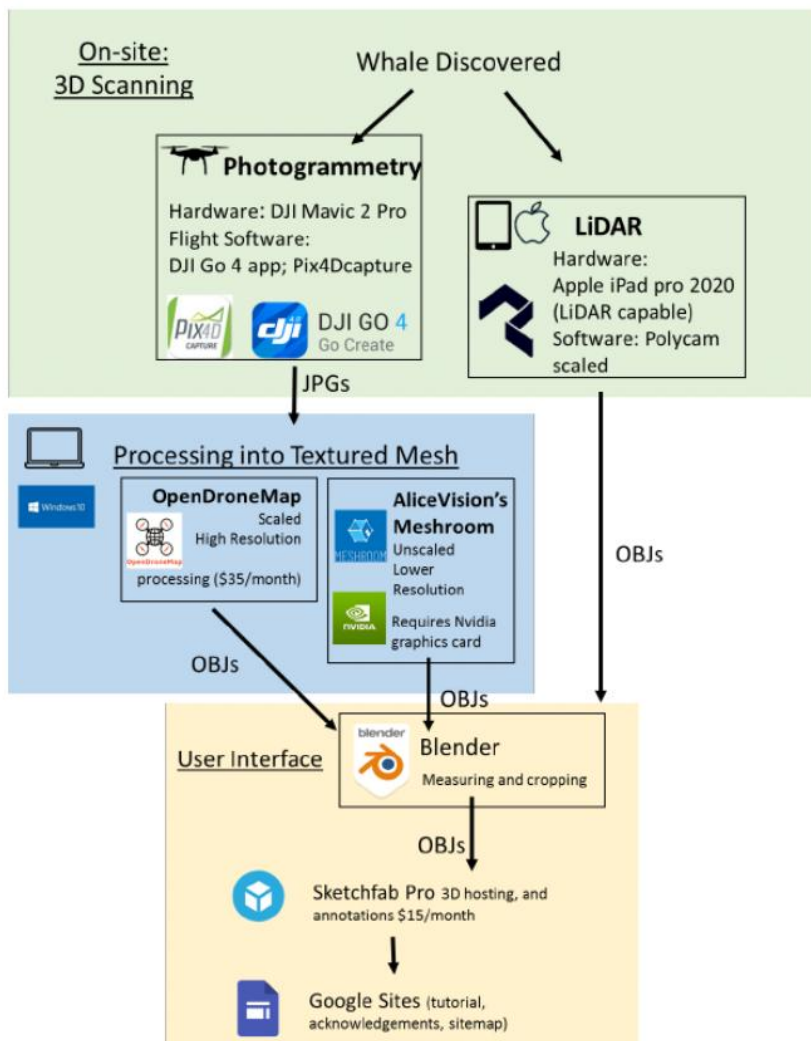
Εικόνα 3.2: Τρισδιάσταση ανακατασκευή της φάλαινας που βρέθηκε στην Χάιντα Γκούαί. (a) Εναέρια φωτογραμμετρία πριν τη νεκροψία (b) Εναέρια φωτογραμμετρία μετά τη νεκροψία (c) Απεικόνιση με LiDAR μετά τη νεκροψία. (πηγή: Cottrell et al., 2025).

Ένα από τα συστατικά της επιτυχίας της μεθόδου αυτής έγκειται στο γεγονός ότι η λήψη μετρήσεων γίνεται χωρίς άμεση φυσική επαφή με τα ζώα και η χρήση εργαλείων τηλεπισκόπησης καθιστά τη φωτογραμμετρία μια ιδιαίτερα αποδοτική μέθοδο. Επιπρόσθετα, η ψηφιακή ανακατασκευή των θαλάσσιων θηλαστικών έχει συνδυαστεί με 3D printing για τη δημιουργία τρισδιάστατων εκτυπωμένων μοντέλων αντιγράφων διαφόρων θαλάσσιων ειδών, όπως αυτή της μπλε φάλαινας που δημιουργήθηκε με στόχο να χρησιμοποιηθεί από ένα κέντρο θαλάσσιων επιστημών (Chenoweth et al., 2022).

Τα ευρήματα της μελέτης αυτής κατέδειξαν τη χρησιμότητα των τρισδιάστατων ανακατασκευών στην ακριβή μέτρηση μορφομετρικών δεδομένων, τα οποία συμπληρώνουν μοναδικά τις παραδοσιακές μετρήσεις πεδίου και βελτιώνουν τις πρακτικές τεκμηρίωσης. Συγκεκριμένα, οι αποκλίσεις μεταξύ των χειροκίνητων μετρήσεων και αυτήν της τρισδιάστατης ανακατασκευής ήταν μόλις στο 3%, με τις περιπτώσεις σε μεγαλύτερα δείγματα να μεγεθύνουν κατά πολύ αυτό το ποσοστό. Επισημαίνεται ακόμα η σημασία που μπορεί να έχει η μέθοδος σε εκπαιδευτικούς τομείς για χρήση της στην εκπαίδευση ανταποκριτών και εθελοντών σε διαδικασίες νεκροψίας (Cottrell et al.).

Επιπρόσθετα, οι τρισδιάστατες ανακατασκευές ζώων με τη διαδικασία της φωτογραμμετρίας μπορούν να αξιοποιηθούν από εφαρμογές XR, προσφέροντας καθηλωτικές εμπειρίες και δίνοντας στο χρήστη την ευκαιρία να εξερευνήσει μέσω διάδρασης τα ανακατασκευασμένα μοντέλα λεπτομερώς (Cipresso et al., 2018). Η διαδικασία αυτή αφενός προσφέρει καλύτερη αφομοίωση πληροφοριών και αφετέρου αυξάνει το κίνητρο μάθησης και αλληλεπίδρασης στα πλαίσια της διασκέδασης. Τέλος, εξίσου σημαντικό στοιχείο είναι το ότι ενθαρρύνει την ευαισθητοποίηση και εκτίμηση για αυτά τα πλάσματα.

Η περίπτωση της φάλαινας που βρέθηκε νεκρή σε παραλία της Αλάσκας, στάθηκε η αφορμή για τη δημιουργία του project “4D Virtual Necropsy”, ενός έργου που προκάλεσε έντονα το ενδιαφέρον του κοινού για εκπαιδευτικό online περιεχόμενο. Πρόκειται για τις σαρώσεις μιας φάλαινας που είχε βρεθεί νεκρή το 2021 στις ακτές ενός ακατοίκητου νησιού στην Αλάσκα. Η φάλαινα αυτή, σαρώθηκε τρισδιάστατα με LiDAR και φωτογραμμετρία πριν, κατά τη διάρκεια της νεκροψίας και μετά, αλλά και σε πολλά χρονικά σημεία, όπως κατά την πλήρη αποσύνθεσή της 17 μέρες αργότερα. Οι σαρώσεις της φάλαινας δημοσιεύτηκαν στην ιστοσελίδα Sketchfab με την ονομασία “4D Virtual Necropsy” και η ανταπόκριση των χρηστών ήταν θεαματική. Το κοινό που έδειξε ενδιαφέρον ήταν η τοπική κοινότητα, αλλά και επαγγελματίες, ερευνητές και εκπαιδευτικοί παγκοσμίου εμβέλειας (Cottrell et al., 2025). Η ροή εργασιών για τη δημιουργία του Project παρουσιάζεται στην εικόνα 3.3. Η τρισδιάστατη ανακατασκευή της φάλαινας με μαλακούς ιστούς, η οποία προσφέρεται καθαρά για διδασκαλία και έρευνα, μαρτυρά την ανάγκη για την εκπαίδευση βιολογίας και οικοσυστήματος μέσα από εργαλεία όπως η φωτογραμμετρία.



Εικόνα 3.3: Η ροή εργασίας δεδομένων που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία εμπειρίας εικονικής νεκροψίας (πηγή: Cottrell et al., 2025).

Μια εξίσου σημαντική προσπάθεια για ανακατασκευή βιολογικών δειγμάτων για εκπαιδευτικούς σκοπούς προέρχεται από την επιστημονική ομάδα της Digital Life σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο της Μασαχουσέτης στις Η.Π.Α.. Η συγκεκριμένη ομάδα σε συνδυασμό με την ψηφιακή φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί φωτογραφίες, βίντεο, δεδομένα μορφομετρίας και άλλες μεθόδους σάρωσης, όπως είναι η αξονική τομογραφία για τη δημιουργία ακριβών έγχρωμων τρισδιάστατων μοντέλων ζώων (Digital Life 3D, 2017). Στην επίσημη ιστοσελίδα τους υπάρχουν αναρτημένα τρισδιάστατα μοντέλα που προέρχονται από την πανίδα σε παγκόσμιο επίπεδο όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4. Η ομάδα χρησιμοποιεί σύγχρονες μεθόδους για την λήψη φωτογραφιών και την ασφάλεια των δειγμάτων όπως φαίνεται στην εικόνα 3.5.

Μαρία Σελεάρη, Παιδαγωγική αξιοποίηση τρισδιάστατων μοντέλων και επανζημένης πραγματικότητας στο μάθημα της Βιολογίας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση σε Ελλάδα και Κύπρο

be found at the link above.

If you or your organization is interested in using our models for commercial use, please contact our Director, Duncan Irschick at duncan@umass.edu, who will then consult with the Tech Transfer officer at the University of Massachusetts. As we work with many partner organizations, we typically would only consider commercial use if the partner also agreed to this form of usage.



Model 47A - Loggerhead Sea Turtle

This is a 3D animation ("Shelly") of a near-adult loggerhead (ID=682.00046129037) sea turtle (*Caretta caretta*, straight carapace length=86 cm) that was initially captured on June 23, 2017 by the Inwater Research Group, and then photographed with the Beastcam technology with 20 Canon G16 cameras. Photographer Christine Shepard operated the cameras and the sea turtle was released that same day in good condition. The 3D model was initially created through a photogrammetry scan using Capturing Reality. Animator Johnson Martin used Blender to reconstruct the full sea turtle from these scans, as well as animate the movements. Jeanette Wynneken from Florida Atlantic University, and Charles Maime from the Loggerhead MarineLife Center each provided feedback on the movements.



Model 50A - Hawksbill Sea Turtle

This is an animation ("Ma") of a hatching Hawksbill (ID E11001) sea turtle (*Eretmochelys imbricata*, straight carapace length 11.8 cm) that was initially rescued by the Loggerhead MarineLife Center, and then photographed with the Beastcam technology with 30 Canon G16 cameras. The sea turtle was released soon after in good condition. The 3D model was initially created through a photogrammetry scan using Capturing Reality. Animator Johnson Martin used Blender to reconstruct the full sea turtle from these scans, as well as animate the movements. Jeanette Wynneken from Florida Atlantic University, and Charles Maime from the Loggerhead MarineLife Center each provided feedback on the movements.



Model 56A - Southern White Rhino

This is a 3D model of Bakari, a Southern Right Rhino (*Ceratotherium simum*) from Perth Zoo, Western Australia, which was initially scanned using an array of 20 Canon G16 cameras. CG artist Jar Bot used the open source 3D animation software Blender (blender.org) to fully reconstruct the rhino. The mass of the Rhino is 2225 kg and its length is 2.1 meters. Reference photos were also used as a guide to create taxonomic features onto the 3D model using Blender's sculpting tools.



Model 31A - Timber Rattlesnake

This is a 3D animation of a large adult Timber rattlesnake (*Crotalus horridus*) from New England Reptile Distributors (<https://new-england-reptile.myhopily.com/>). The raw photogrammetry scan was created using the Beastcam Technology, and the ventral side was added from a different snake. The full model was retopologized and rigged by animator Daniel Daye from the University of Massachusetts at Amherst. The 3D model was created with the Beastcam technology.



Model 54A - Caribbean Reef Shark

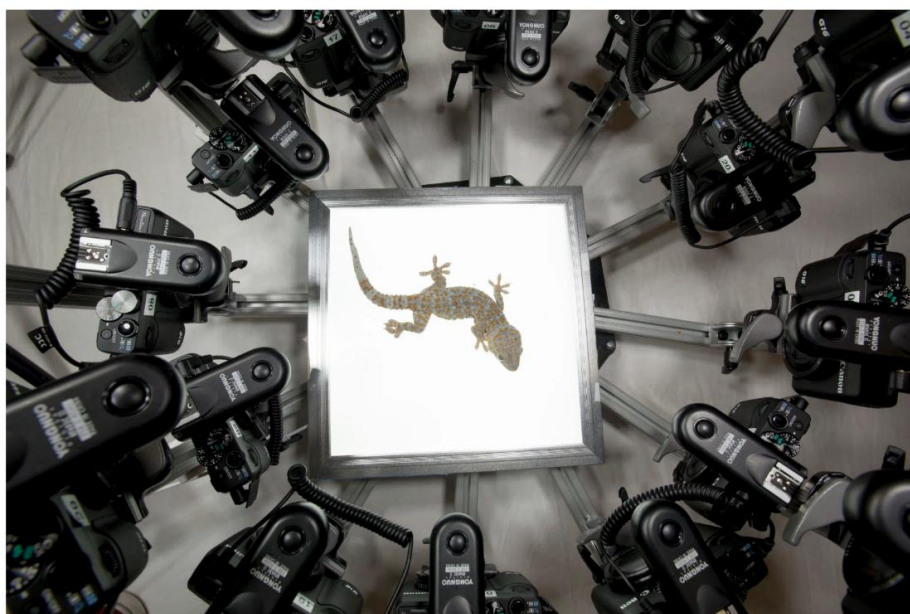
This is a 3D model of a subadult Caribbean Reef Shark (*Carcharhinus perezi*) that was modeled after a shark swimming underwater with the OceanX and Cape Eleuthera Institute team in January 2019. Divers captured video of this shark swimming, and artist Robert Gutierrez used Blender and preexisting shark data to recreate this individual. As this model was recreated from photos and other data, we make no claim that it perfectly reflects an actual shark, but we have strived to be as anatomically correct as possible.



Model 73A - Great Hammerhead Shark

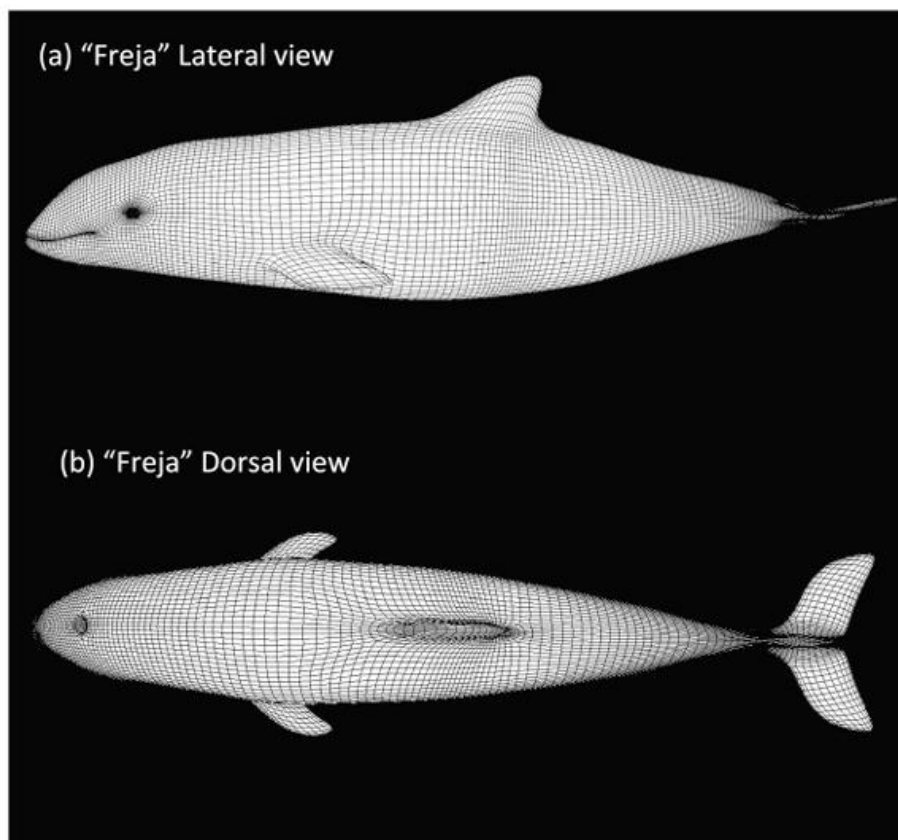
This is an animation of an adult female Great Hammerhead Shark (*Sphyrna mokarran*) that was reconstructed from multiple cameras arranged around a dive in South Bimini, Bahamas in February 2020. Casey Seep coordinated all videography. Kevin Davidson kindly contributed useful reference photos. CG artist Jar Bot used the software Blender to align these camera views to reconstruct the accurate shape and color of Nemesis (PIT tag 900236000107365), which had an estimated length of 329 cm based on laser photogrammetry. Nemesis commonly frequents dive spots near Bimini and is well-known to divers and scientists from the Bimini

Εικόνα 3.4: Τρισδιάστατα μοντέλα ζώων που έχουν προκύψει από τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας, αναρτημένα στην επίσημη ιστοσελίδα της ομάδας Digital Life (Πηγή: digitallife3d.org – Gear / 3d models).



Εικόνα 3.5: Εξελεγμένο σύστημα 24 καμερών για τρισδιάστατη καταγραφή μικρών οργανισμών μήκους 1-9 ιντσών (Πηγή: digitallife3d.org – Gear / Process).

Ο επικεφαλής της ίδιας ομάδας, Duncan Irschick, διεξήγαγε με την ομάδα του πρόσφατα έρευνα με σκοπό τη δημιουργία ακριβών τρισδιάστατων μοντέλων θαλάσσιων θηλαστικών για την αξιολόγηση της σωματικής κατάστασης τους σε εκπαιδευτικό πλαίσιο. Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μια νεκρή φώκαινα (harbour porpoise) και δύο ζωντανές, ενώ οι λήψεις προήλθαν από τον συνδυασμό φορητών καμερών, βίντεο, drone και συγχρονισμένων βίντεο GoPro. Η έρευνα αυτή συμπεριλάμβανε σύγκριση καταγραφής δεδομένων μεταξύ νεκρής και ζωντανής φώκιας. Επιπρόσθετα, για την καταγραφή κίνησης της ζωντανής φώκιας αντλήθηκαν καρέ από βίντεο την ώρα που πήδαγε έξω από το νερό (Irschick et al., 2020). Το 3D μοντέλο που προέκυψε από την τρισδιάστατη ανακατασκευή της ζωντανής φώκαινας παρουσιάζεται στην εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6: Πλάγια και ραχιαία όψη του τρισδιάστατου μοντέλου της ζωντανής φώκαινας (Πηγή: digitallife3d.org – Gear / 3d models).

Τα ευρήματα της έρευνας κατέδειξαν ότι για την καταγραφή νεκρών ή ήμερων ζώων απαιτείται διαφορετική μεθοδολογία απ' ό,τι στην καταγραφή άγριων ζώων. Συγκεκριμένα, για την καταγραφή άγριων θηλαστικών η μέθοδος περιλαμβάνει τη χρήση των drones ώστε

να αναδημιουργήσει αναλογίες σώματος για την ακριβή τρισδιάστατη ανακατασκευή μοντέλου. Τα μοντέλα που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα δόθηκαν σε μια έγχρωμη και κινούμενη έκδοση στο κοινό για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Πιο συγκεκριμένα, τα τρισδιάστατα μοντέλα ανοιχτής πρόσβασης στην πλατφόρμα Sketchfab προορίζονται για την ανάπτυξη μεθόδων μελέτης της μορφομετρίας και της κατάστασης του σώματος, καθώς και για τη μελέτη των τιμών βιοενεργειακής και κίνησης (Irschick et al., 2020).

Συνεπώς, η μέθοδος της φωτογραμμετρίας στο πεδίο της Βιολογίας, αξιοποιείται ως εργαλείο για την ανακατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων βιολογικών δειγμάτων, όπως στην περίπτωση των θαλάσσιων θηλαστικών και ερπετών. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που προκύπτουν από τη φωτογραμμετρία προορίζονται για χρήση από το κοινό ως εκπαιδευτικό υλικό μέσω εφαρμογών XR και διαδικτυακών πλατφορμών. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου εντοπίζονται στην ευκολία χρήσης, το χαμηλό κόστος εξοπλισμού και τη δυνατότητα υψηλής γεωμετρικής ακρίβειας στα παραγόμενα τρισδιάστατα μοντέλα.

3.2 Το 3D gaussian splatting ως σύγχρονη τεχνική τρισδιάστατης αναπαράστασης

Η τεχνική του 3D gaussian splatting (3DGS) είναι μια σύγχρονη μέθοδος για ανακατασκευή μοντέλων η οποία επιτρέπει καθηλωτικές εμπειρίες εξαιτίας του ενισχυμένου ρεαλισμού και της φωτορεαλιστικής απόδοσης σε πραγματικό χρόνο. Η γρήγορη απόδοσή της και η σαφής γεωμετρία της διευκολύνουν μια σειρά εργασιών που στοχεύουν στην τρισδιάστατη ανακατασκευή και την τρισδιάστατη επεξεργασία (Wu et al., 2024). Οι επιφάνειες με αντανάκλαση ή ημιδιαφάνεια όπως είναι τα φτερά των εντόμων, στο gaussian splatting αναπαρίστανται με ακρίβεια χωρίς να δημιουργούνται οπές, παραμόρφωση υφής ή κενά στο πλέγμα (Zotos, 2025).

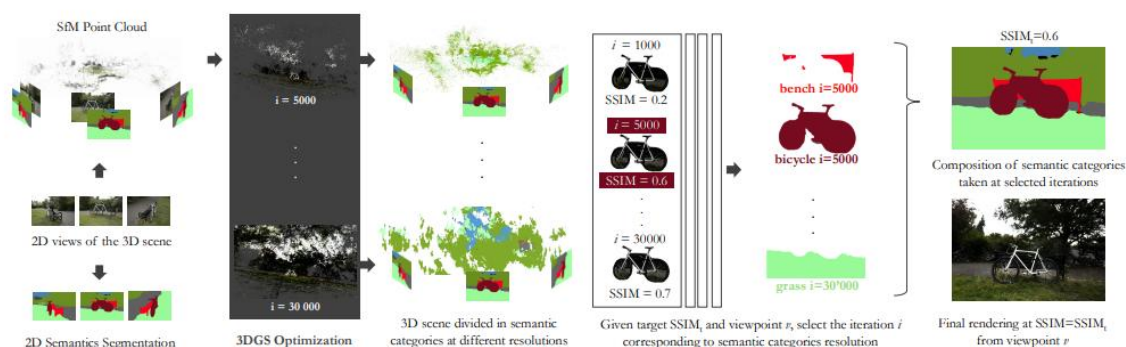
Το 3D Gaussian splatting χρησιμοποιεί νέφη σημείων και ραστεροποίηση σε πραγματικό χρόνο βασισμένη σε GPU/CUDA, καθιστώντας το ιδανικό εργαλείο για την ενσωμάτωσή του σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας σε ψυχαγωγικό και παιδαγωγικό πλαίσιο. Σύμφωνα με Kerbl et al. (2023), η μέθοδος 3DGS επιτυγχάνει μέγιστη απόδοση Νευρωνικών Πεδίων Ακτινοβολίας (Neural Radiance Fields- NeRF) σε πραγματικό χρόνο με μέγιστη ποιότητα, ενώ οι χρόνοι βελτιστοποίησης που απαιτεί είναι ταχύτεροι από εκείνους προηγούμενων μεθόδων. Το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει από μια νέα αναπαράσταση σκηνής gaussian σημείων σε συνδυασμό με ένα διαφοροποιήσιμο renderer

σε πραγματικό χρόνο, ο οποίος προσφέρει σημαντική επιτάχυνση στη βελτιστοποίηση της σκηνής (Kerbl et al., 2023). Στην εικόνα 3.7 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της μεθόδου 3DGS σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ανακατασκευής.



Εικόνα 3.7: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανάμεσα στη μέθοδο του 3DGS και άλλων μεθόδων ανακατασκευής (Πηγή: Kerbl et al., 2023).

Κι ενώ η φωτογραμμετρία κατασκευάζει πολυγωνικά πλέγματα για να την ανακατασκευή μοντέλων, το 3DGS αναπαριστά σκηνές ως συλλογές ανισότροπων τρισδιάστατων σημείων, όπου η κάθε θέση αντιστοιχεί σε καθένα από αυτά: θέση, προσανατολισμό, κλίμακα, χρώμα και διαφάνεια. Κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η ομαλή συνεχής και φωτορεαλιστική απόδοση αντικειμένων χωρίς σαφή τριγωνισμό επιφάνειας Schiavo et al, 2025). Στην εικόνα 3.8 παρουσιάζεται η διαδικασία ανακατασκευής SfM με τα νέφη σημείων και τη βελτιστοποίηση που προσφέρει το 3DGS.



Εικόνα 3.8: Η διαδικασία SfM που ακολουθείται στη μέθοδο 3DGS από τις 2D φωτογραφίες μέχρι το τελικό μοντέλο (Πηγή: Schiavo et al, 2025).

Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για βιολογικά δείγματα με χαρακτηριστικά ανάκλασης ή ιριδίζουσες επιφάνειες όπως είναι τα φτερά της πεταλούδας καθιστώντας την ιδανικό εργαλείο για ακριβείς ανακατασκευές ζώων. Τέλος, η προεπισκόπηση της σκηνής σε πραγματικό χρόνο εντός του λογισμικού ανακατασκευής, δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να επιθεωρούν και να αλληλεπιδρούν με την ανακατασκευή κατά τη διάρκεια

ή μετά την επεξεργασία. Μόλις ολοκληρωθεί η επεξεργασία το τελικό μοντέλο εξάγεται σε μορφή pointbased και είναι έτοιμο για την ενσωμάτωσή του σε πλατφόρμες και εφαρμογές AR (Zotos, 2025).

Η έρευνα “High-fidelity wheat plant reconstruction using 3D gaussian splatting”, διερευνά τη δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου 3DGS σε πραγματικά βιολογικά δείγματα, παρουσιάζοντας υψηλής ακριβείας ανακατασκευές φυτών, και πιο συγκεκριμένα σιταριού. Οι ερευνητές εκπαιδεύουν μοντέλα 3DGS και NeRF σε εικόνες πολλαπλών πλευρών του φυτού με αποτέλεσμα υψηλής πιστότητας 3D αναπαραστάσεις με ακρίβεια κάτω από 1 mm στο 3D νέφος σημείων. Επίσης, σε σχέση με τις παραδοσιακές δισδιάστατες απεικονίσεις, η μέθοδος του 3DGS αποτυπώνει το μοντέλο με μεγαλύτερη ακρίβεια τη σύνθετη δομή των φυτών και τα χαρακτηριστικά διαφορετικών καλλιεργειών. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το 3DGS όσο και το NeRF μπορούν να παράγουν ανακατασκευασμένες εικόνες υψηλής πιστότητας ενός φυτού και οι προσεγγίσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εφαρμογών ΕΠ για εκπαιδευτικούς σκοπούς (Stuart et al., 2025).

3.3 Το λογισμικό Blender

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, το λογισμικό Blender αξιοποιείται για τον καθαρισμό του μοντέλου πεταλούδας που προέκυψε από τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας, τη δημιουργία νέου πλέγματος (retopology) και το texturing . Οι λόγοι που συνετέλεσαν στην επιλογή του συγκεκριμένου λογισμικού είναι κατά πρώτον ότι είναι ελεύθερο και ανοιχτού κώδικα, και κατά δεύτερον ότι καλύπτει μια ολοκληρωμένη ροή εργασίας (pipeline). Μέσα από το pipeline του Blender αξιοποιούνται εργαλεία για modeling, texturing, sculpting και rendering· μια διαδικασία που ακολουθείται στην παρούσα διπλωματική με στόχο όχι απλώς την ανάδειξη του Blender ως εργαλείο παραγωγής εικόνων, αλλά ως μέσο επιστημονικής οπτικοποίησης (Hess, 2010).

Τα τρισδιάστατα μοντέλα που προκύπτουν από τη φωτογραμμετρία εισάγονται στα λογισμικά μοντελοποίησης με πλήθος προβλημάτων όπως: θόρυβος (noise), οπές στο mesh, μη καθαρή τοπολογία και υπερβολικό πλήθος πολυγώνων. Πιο συγκεκριμένα, ο συνδυασμός των δύο τελευταίων προβλημάτων μπορεί να προκαλέσει άλλα εμπόδια στην επεξεργασία του mesh και του texturing, καθώς τα πολύγωνα που εισχωρούν το ένα μέσα

στο άλλο -κατά τη διαδικασία της ανακατασκευής σε προγράμματα φωτογραμμετρίας-, αναγνωρίζονται από το λογισμικό ως ενιαία επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει συνήθως σε πολύ λεπτές επιφάνειες ή με ανακλάσεις, όπως είναι τα φτερά της πεταλούδας.

Ο ρόλος του Blender, έγκειται στη βελτιστοποίηση της γεωμετρίας, την ανακατασκευή της τοπολογίας συνδυαστικά με άλλα λογισμικά, το γενικό clean up του mesh και το τελικό animation ή την προετοιμασία των τρισδιάστατων μοντέλων για real-time χρήση (Remondino & Campana, 2014). Ως προς τη διαδικασία του animation, τα τρισδιάστατα μοντέλα γίνονται rigged με τη δημιουργία οστών (bones) και αφού δημιουργηθεί η κίνηση, το animation μπορεί να παρουσιαστεί σε μια σκηνή με ελεγχόμενο φωτισμό και κάμερες συγκεκριμένων προδιαγραφών.

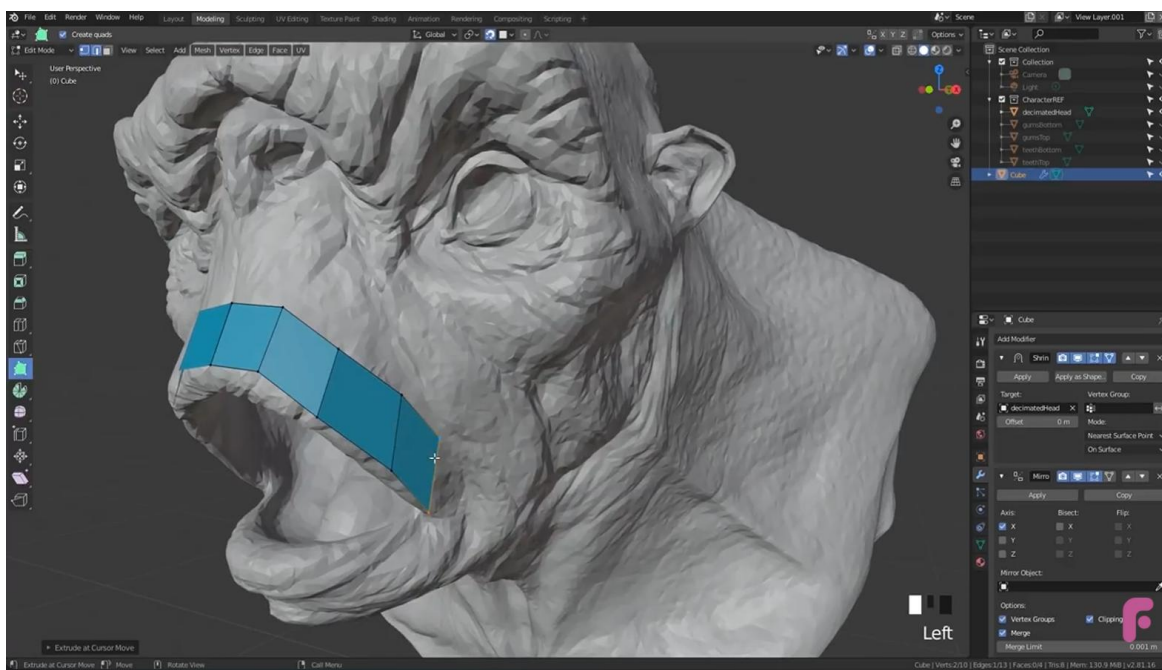
Οι τεχνικές και τα εργαλεία που παρουσιάστηκαν στην παρούσα υποενότητα, εφαρμόζονται στη συνέχεια στο δημιουργικό μέρος της εργασίας. Όσον αφορά το Blender, η χρήση του κρίνεται απαραίτητη για τη μετάβαση από τα ακατέργαστα δεδομένα που προκύπτουν από τη φωτογραμμετρία, σε λειτουργικά τρισδιάστατα μοντέλα για την περεταίρω αξιοποίησή τους από εφαρμογές AR.

3.4 Εφαρμογή ρετοπολογίας σε 3D μοντέλα φωτογραμμετρίας

Οι ανακατασκευές τρισδιάστατων πλεγμάτων που προκύπτουν από την επεξεργασία φωτογραμμετρίας παρουσιάζουν υψηλή πολυπλοκότητα με χαοτική γεωμετρία και τριγωνισμένη επιφάνεια, καθιστώντας τα ακατάλληλα για την περεταίρω χρήση τους σε animation και εφαρμογές AR/VR. Πιο συγκεκριμένα, τα μοντέλα που εξάγονται από τα λογισμικά φωτογραμμετρίας σε μορφή .obj συνήθως περιέχουν 3 έως 6 εκατομμύρια τριγωνικά πλέγματα. Ο μεγάλος αυτός αριθμός πολυγώνων καθιστά το μοντέλο ελαττωματικό για επεξεργασία, με ανεπιθύμητο θόρυβο και παραμορφώσεις. Κατ' επέκταση, απαιτείται η μείωση των πολυγώνων και η μετατροπή τους από τρίγωνα σε τετράγωνα (quads) πολύγωνα. Επίσης, οι ανακλάσεις στις επιφάνειες δημιουργούν μικρές λεπτομέρειες στην επιφάνεια του μοντέλου αναμειγμένες με artifacts πλέγματος που οδηγούν επίσης σε παραμόρφωση.

Οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την ρετοπολογία μοντέλων αντιστοιχούν σε χειροκίνητη και αυτόματη επανατοπολογία (retopologizing). Στην περίπτωση της χειροκίνητης διαδικασίας, ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τη δομή του πλέγματος

σχεδιάζοντας καμπύλες στην επιφάνεια του μοντέλου με τη χρήση του Nearest Face/Surface Snapping. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος καθοδηγεί σαν μαγνήτης την ανακατασκευή των ακμών του πλέγματος σε μια νέα τοπολογία (Bot, A. And Irschich, 2019), χτίζοντας έτσι ένα νέο μοντέλο low-poly πάνω στο υφιστάμενο high-density μοντέλο όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4.1.

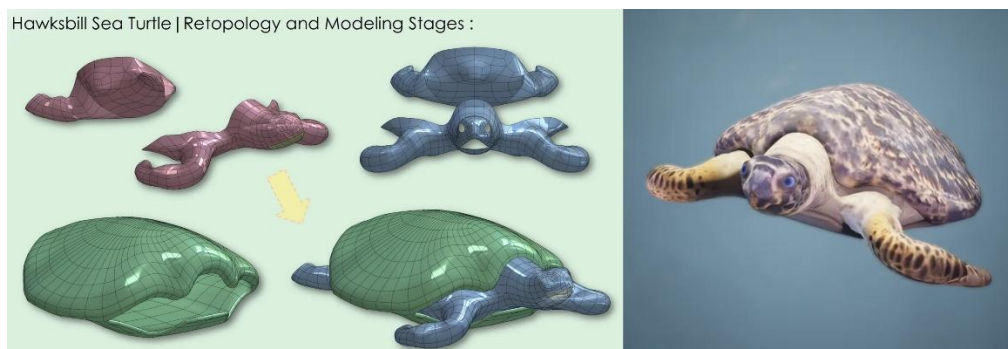


Εικόνα 3.4.1: Παράδειγμα εφαρμογής edge loop flow σε retopology (πηγή: FlippedNormals, *Retopo in Blender- Retopologizing the face*, YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=OuFwUaS8y1I>).

Στις περιπτώσεις που το μοντέλο προορίζεται για animation, τότε προτείνεται η χειροκίνητη ρετοπολογία, καθώς ο χρήστης έχει τον έλεγχο της ροής των ακμών. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο ούτως ώστε να διασφαλιστεί ότι δε θα προκύψει καμία παραμόρφωση του πλέγματος από τα διάφορα ύψη και βάθη που παρουσιάζονται στην επιφάνεια του μοντέλου (pchav, n.d.).

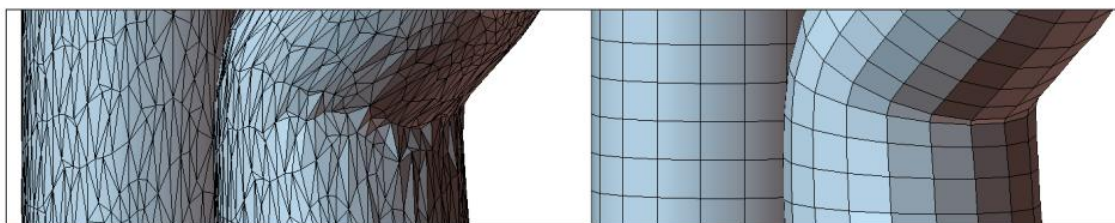
Στην περίπτωση του έργου *Enlivened Hawksbill Sea Turtle*, το 3D μοντέλο χελώνας που προέκυψε από τη διαδικασία SfM, χρειάστηκε να αναδημιουργηθεί χειροκίνητα με τη διαδικασία retopologizing προκειμένου να απλοποιηθεί το πλέγμα, να τελειοποιηθεί η γεωμετρία και να διορθωθεί η παραμόρφωση που παρουσιαζόταν στις ακμές και τα

χαρακτηριστικά του προσώπου ώστε εν τέλει να εξαχθεί ένα ρεαλιστικό μοντέλο χελώνας, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4.2 (pchav, n.d.).



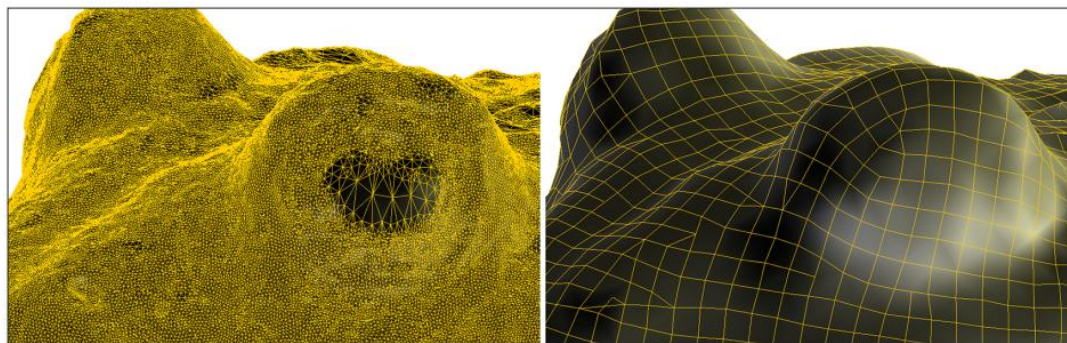
Εικόνα 3.4.2: Retopologized μοντέλο θαλάσσιας χελώνας (πηγή: pchav, *Enlivened Hawksbill Sea Turtle | Animated Photogrammetry Scan*, Instructables, <https://www.instructables.com/Enlivened-Hawksbill-Sea-Turtle-Animated-Photogramm/>).

Από την άλλη, στην περίπτωση της αυτόματης επανατοπολογίας, η διαδικασία πραγματοποιείται σε λογισμικά τρισδιάστατης γλυπτικής όπως είναι το ZBrush της Pixologic, το 3D Coat της Pilgway και το Mudbox της Autodesk. Επιπρόσθετα, παρέχονται και εξειδικευμένα λογισμικά για ρετοπολογία, όπως είναι το Instant Meshes και το MeshLab, ανοικτού κώδικα και τα δύο. Με αυτά τα λογισμικά επιτυγχάνεται η απλοποίηση της διαδικασίας καθαρισμού, προσφέροντας γρήγορα αποτελέσματα. Οι βασικές εντολές περιλαμβάνουν τα εξής: απλοποίηση πλέγματος (*Simplification*, όπου τα τρίγωνα πολύγωνα μετατρέπονται σε τετράγωνα όπως απεικονίζονται στην εικόνα 3.4.3), επανυπολογισμός (*re-compute*) των normals, αντιστροφή και προσανατολισμός των faces (αφορά περιπτώσεις που τα normals είναι ανάποδα ή βλέπουν προς τα μέσα) και διαγραφή διπλών vertices.



Εικόνα 3.4.3: Αυτόματο *Simplification*. Στα αριστερά, απεικονίζεται το τυχαίο τριγωνικό πλέγμα το οποίο παράγει ανεπιθύμητες ραγάδες και εξογκώματα, καθώς δε βασίζεται σε κάποια λειτουργική ανατομία. Από την άλλη, στα δεξιά ξεχωρίζει ένα απλοποιημένο τετραγωνικό πλέγμα όπου ακολουθεί τη ροή των ακμών (edges), μειώνοντας τις ανεπιθύμητες παραμορφώσεις.

Η εικόνα 3.4.4 απεικονίζει την τοπολογία του πάνω μέρος του κεφαλιού ενός μοντέλου βατράχου το οποίο έχει υποστεί ρετοπολογία στο λογισμικό Instant Meshes και τα πολύγωνα του μειώθηκαν από 3.2 εκατομμύρια σε 60,000. Το παρόν δείγμα αποτελεί μέρος του συλλογικού έργου Digital Life 3D (Bot, A. And Irschich, 2019).



Εικόνα 3.4.4: Συγκριτική ανάλυση της τοπολογίας του πάνω ενός κεφαλιού βατράχου, του οποίου τα πολύγωνα πλέγματος από τα 3,2 εκατομμύρια μειώθηκαν στις 60,000 με τη χρήση του λογισμικού Instant Meshes (πηγή: Bot, A. And Irschich, 2019).

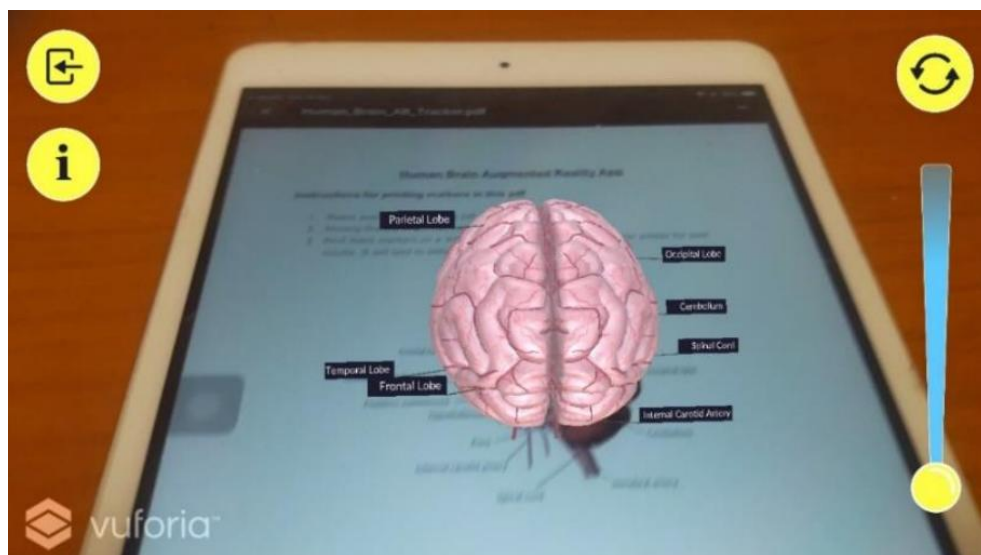
Στην περίπτωση της παρούσας έρευνας, η πολύπλοκη επιφάνεια που παρουσιάζει το μοντέλο της πεταλούδας σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό πολυγώνων και την εμφάνιση οπών στην επιφάνεια των φτερών, απαιτεί χειροκίνητο retopology. Οι φλέβες που διαγράφονται στα φτερά της πεταλούδας δημιουργούν πτυχώσεις, οι οποίες χρήζουν πολύ προσεκτικού ελέγχου από μέρους του χρήστη κατά τη δημιουργία των νέων faces, ώστε να αποφευχθεί παραμόρφωση γεωμετρίας και να αναδειχθούν εν τέλει όλες οι λεπτομέρειες στην υφή. Παράλληλα, η χειροκίνητη διαδικασία ρετοπολογίας κρίνεται απαραίτητη καθώς το μοντέλο προορίζεται για rigging και animation.

3.5 Επαυξημένη πραγματικότητα: αρχές και τεχνολογίες

Η παρούσα υποενότητα θέτει το θεωρητικό και τεχνικό υπόβαθρο που αφορά την τεχνολογία ανάπτυξης εφαρμογής Επαυξημένης Πραγματικότητας και που εφαρμόζεται στο δημιουργικό μέρος της ΔΕ. Αναλύονται τα είδη AR με βάση τον τρόπο ανίχνευσης/εντοπισμού καθώς και την τεχνολογία προβολής. Η AR είναι τεχνολογία εφαρμογής η οποία συνδέεται άμεσα με 3D μοντέλα, φωτογραμμετρία, gaussian splatting, rendering και blending ενώ υλοποιείται μέσα από πλατφόρμες όπως οι ARCore (Google) & ARKit (Apple), Unity και WebAR (Kalana et al., 2020).

Οι βασικές τεχνολογίες AR είναι οι εξής:

- **Βασισμένη σε δείκτες (Marker-based AR).** Χρησιμοποιεί οπτικούς δείκτες όπως QR codes και σύμβολα. Σε αυτή την περίπτωση, η κάμερα αναγνωρίζει τον δείκτη και σφραγίζει επάνω του το ψηφιακό αντικείμενο το οποίο επαυξάνει τον πραγματικό χώρο, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.9. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται ευρέως στην εκπαίδευση, σε μουσεία και στο χώρο του marketing. Βασικά πλεονεκτήματα της τεχνικής θεωρούνται η σταθερότητα και ακρίβεια στον έλεγχο της κίνησης (Kalana et al., 2020).



Εικόνα 3.9: Εκπαιδευτική εφαρμογή AR βασισμένη σε δείκτες, για το μάθημα της Βιολογίας, η οποία αναπαριστά τρισδιάστατο μοντέλο ανθρώπινου εγκεφάλου με τις ονομασίες των οργάνων που το απαρτίζουν (Πηγή: Kalana et al., 2020).

- **Χωρίς δείκτες (Markerless/ Spatial AR).** Στην τεχνική αυτή δεν απαιτείται εικόνα ή QR code για σάρωση και χρησιμοποιούνται κυρίως η κάμερα, οι αισθητήρες και το SLAM (Simultaneous Localization And Mapping), το οποίο εντοπίζει τη θέση, κάνει χαρτογράφηση και στην πορεία παρακολουθεί πώς αλλάζει η θέση της συσκευής σε σχέση με τα χαρακτηριστικά σημεία (landmarks) που έχουν ανιχνευθεί στην αρχή. Για να εντοπίσει αυτά τα landmarks, το SLAM ανιχνεύει γωνίες, ακμές και υφές επιφανειών όπως: τραπέζια, δάπεδο, πίνακες και τοίχους (Scargill et al., 2021). Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε παιχνίδια και εφαρμογές κινητών. Επιπρόσθετα, είναι πολύ διαδεδομένη στο χώρο της

διακόσμησης, καθώς μπορεί να επαυξάνει τον πραγματικό χώρο με ψηφιακά έπιπλα και χρώματα στους τοίχους.

- **Βασισμένη στην τοποθεσία (Location-based AR).** Στην περίπτωση αυτή, η συσκευή του κινητού χρησιμοποιεί GPS, πυξίδες και χάρτες για ανίχνευση και εντοπισμό σημείων. Τα ψηφιακά στοιχεία επαυξάνουν συγκεκριμένα σημεία του κόσμου κάνοντας τη χρήση της δημοφιλή στην πλοήγηση, τον τουρισμό και παιχνίδια που σχετίζονται με περιπέτεια στην πόλη (Visavadiyaa et al., 2017).
- **AR με επικάλυψη αντικειμένων (Projection/Recognition-based AR).** Πρόκειται για μια πολύ ενδιαφέρουσα τεχνική κατά την οποία η συσκευή αναγνωρίζει πραγματικά αντικείμενα όπως έπιπλα, μηχανές και ανθρώπινο σώμα και τα ψηφιακά γραφικά επαυξάνονται ακριβώς πάνω τους όπως φαίνεται στην εικόνα 3.10. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της τεχνικής αυτής είναι η πολύ υψηλή ακρίβεια και η χρησιμότητα (Bimber et al., 2006).

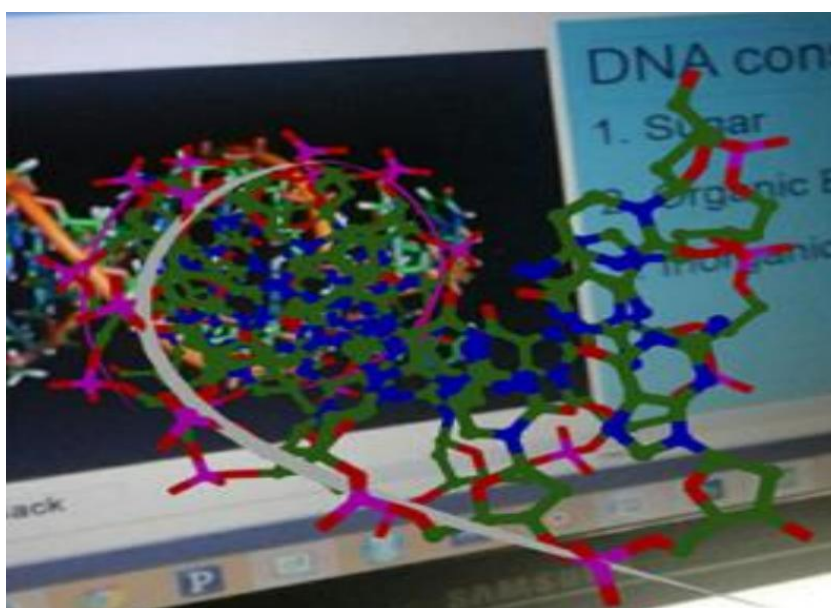


Εικόνα 3.10: Εφαρμογή AR με επικάλυψη αντικειμένων και συγκεκριμένα με την επαύξηση ψηφιακών γραφικών σε μηχανή στο χώρο της βιομηχανίας (Πηγή: Arrow, 2026)

- **AR μέσω φορετών συσκευών (Wearable AR).** Στην περίπτωση αυτή, ο χρήστης δε χρησιμοποιεί smartphones αλλά φοράει “έξυπνα” γυαλιά (smart glasses) ή συσκευές head-mounted displays (HMDs). Ο χώρος χαρτογραφείται σε πραγματικό χρόνο χωρίς εξωτερικούς αισθητήρες και η hands-free εμπειρία διευκολύνει την αλληλεπίδραση. Ο χρήστης μέσα από τα γυαλιά βλέπει απευθείας τον πραγματικό κόσμο, όπου επάνω του επαυξάνονται τα ψηφιακά γραφικά με την κίνηση του χεριού, του ματιού και της φωνής. Για παράδειγμα, με απλές φωνητικές εντολές ενεργοποιούνται έγγραφα και εικόνες που περνάνε μπροστά από τα μάτια

του χρήστη. Επιπρόσθετα, οι συσκευές HMDs είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για ψηφιοποιημένες ροές εργασίας με την οπτικοποίηση δεδομένων καθιστώντας τις ιδανικές για την αναμετάδοση εκπαίδευσης. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική καθοδηγώντας τον γιατρό μέσα στο χειρουργείο. Ο υπολογισμός γίνεται από ενσωματωμένους επεξεργαστές (SoC), τον εγκέφαλο SLAM και τις κάμερες περιβάλλοντος. Η χρήση του βρίσκει πολλές εφαρμογές εκτός από τον χώρο της ιατρικής και σε άλλα πεδία όπως: βιομηχανία και συντήρηση, εκπαίδευση, άμυνα, logistics, αυτοκινητοβιομηχανία, τηλεϊατρική και βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου (Durão et al., 2022).

Γενικότερα, κάποια παραδείγματα εφαρμογής στη Βιολογία συναντιούνται στην ανατομία, το κύτταρο και τα οικοσυστήματα. Στην εικόνα 3.11 παρουσιάζεται η τρισδιάστατη οπτικοποίηση δομής της πρωτεΐνης, μέσα από την εφαρμογή AR την οποία σχεδίασαν οι Safadel & White (2018) για την εκμάθηση μοριακής βιολογίας και η οποία απευθύνεται σε φοιτητές Βιολογίας.

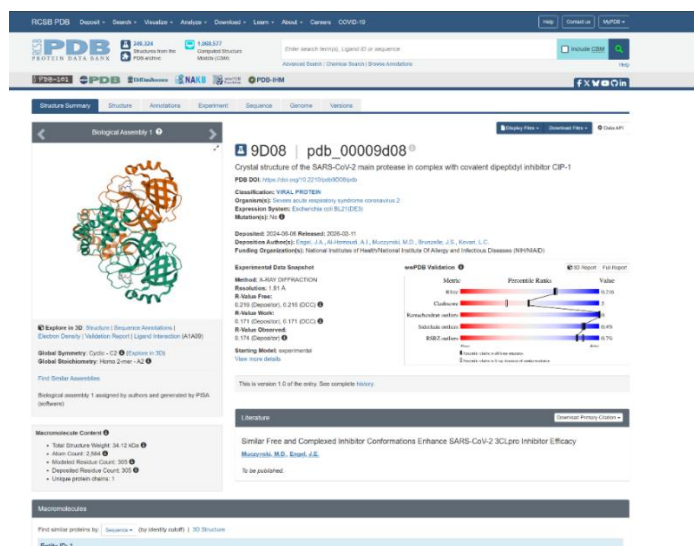


Εικόνα 3.11: Τρισδιάστατη αναπαράσταση της δομής της πρωτεΐνης μέσω εφαρμογής ΕΠ

(Πηγή: Safadel & White, 2018)

Τα τρισδιάστατα μοντέλα μορίων λαμβάνονται από την Τράπεζα Δεδομένων Πρωτεϊνών (Protein Data Bank- PDB), το διεθνές αποθετήριο τρισδιάστατων δομικών δεδομένων βιομορίων, και εισάγονται στην εφαρμογή στο ενσωματωμένο σύστημα AR. Τα υψηλής

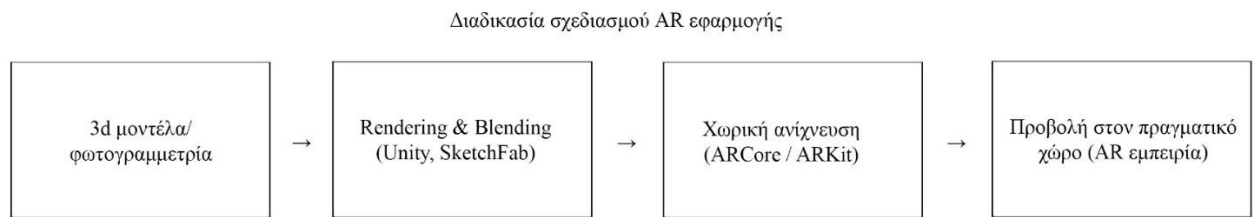
ευκρίνειας μοντέλα δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να παρατηρεί τα χαρακτηριστικά και τις λεπτομέρειες της δομής των πρωτεϊνών στον πραγματικό κόσμο, με τις αθέατες ιδιότητες να είναι εξίσου ορατές με γυμνό μάτι. Επιπρόσθετα, η εφαρμογή επιτρέπει στους φοιτητές να αλληλεπιδρούν με τα τρισδιάστατα μοντέλα μεγεθύνοντας και περιστρέφοντάς τα (Safadel & White, 2018).



Εικόνα 3.12: Στιγμιότυπο οθόνης από την επίσημη ιστοσελίδα του διεθνούς αποθετηρίου τρισδιάστατων δομικών δεδομένων βιομορίων και πρωτεϊνών PDB (Πηγή: Protein Data Bank, 2026).

Μηχανές ανάπτυξης όπως το Unity και το SketchFab αξιοποιούνται για την ενσωμάτωση τρισδιάστατων μοντέλων, τη διαχείριση της αλληλεπίδρασης και την οπτικοποίηση του εκπαιδευτικού περιεχομένου. Τέλος, λύσεις WebAR επιτρέπουν την πρόσβαση σε εμπειρίες επανξιμένης πραγματικότητας μέσω φυλλομετρητή, καθιστώντας την τεχνολογία πιο προσβάσιμη σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Kalana et al., 2020).

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται η συνολική ροή εργασίας μιας τέτοιας εφαρμογής AR και ο τρόπος που συνδέονται όλα όσα προαναφέρθηκαν, προκειμένου να προκύψει το αποτέλεσμα της AR εμπειρίας.



Σχεδιάγραμμα 3.13: Τα στάδια που απαιτούνται για την ανάπτυξη εφαρμογής AR.

Στην παρούσα εργασία, η επαυξημένη πραγματικότητα μελετάται στα πλαίσια της προοπτικής εξέλιξης του τρισδιάστατου μοντέλου πεταλούδας από εφαρμογή AR και τη μελέτη των πεταλούδων στο μάθημα της Βιολογίας.

ΜΕΡΟΣ 2ο: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

4. Εφαρμογή τεχνικών: Φωτογραμμετρία σε δείγμα πεταλούδας και αναζήτηση μεθόδων καθαρισμού του 3D μοντέλου από εξειδικευμένα λογισμικά.

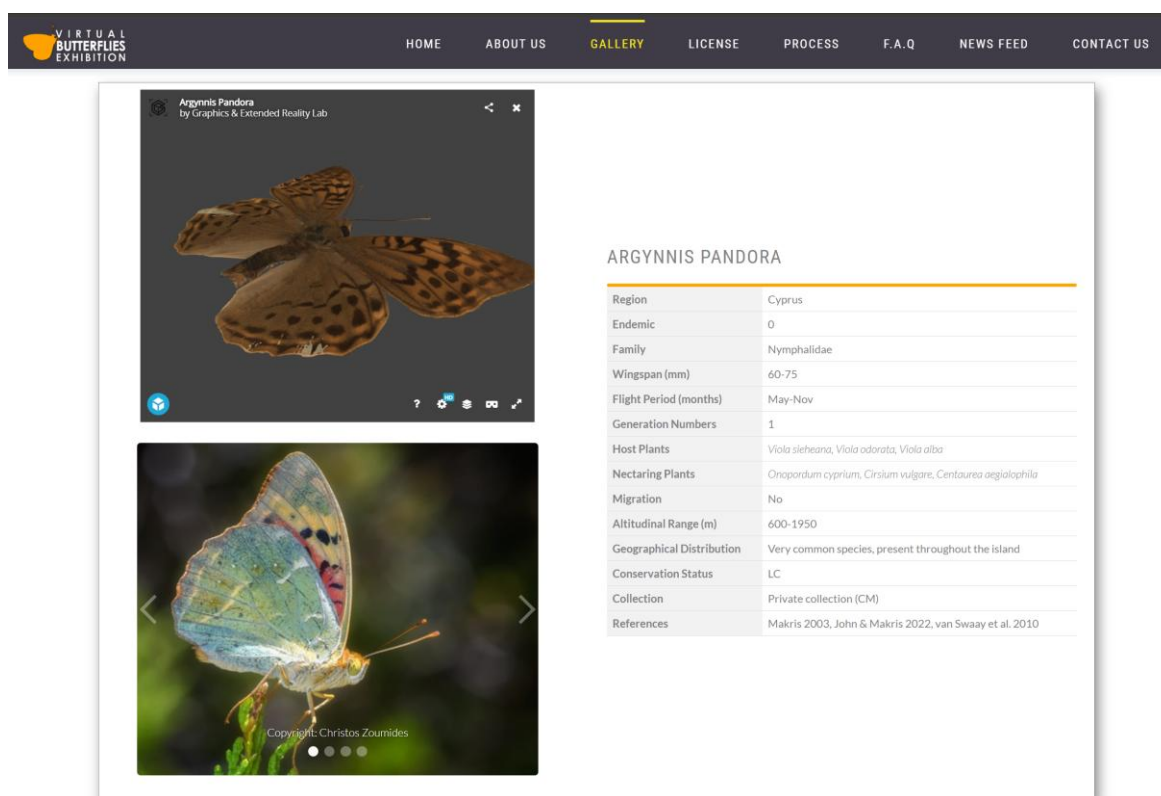
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα στάδια επεξεργασίας του 3D μοντέλου που προκύπτει από τη διαδικασία ανακατασκευής SfM, προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για animation και εφαρμογές AR. Τα εργαλεία και οι τεχνικές που αναπτύχθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, τώρα εφαρμόζονται στην πράξη με την διαδικασία καθαρισμού και retopology του 3D μοντέλου, η οποία αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του έργου Virtual Butterfly Exhibition.

4.1 Virtual Butterfly Exhibition

Το δημιουργικό μέρος της παρούσας διπλωματικής αποτελεί τη συνέχεια ενός ευρύτερου project, του Virtual Butterfly Exhibition. Το ψηφιακό αυτό αποθετήριο παρουσιάστηκε το 2025 από το Graphics & Extended Reality Lab του Πανεπιστημίου Κύπρου, αποτελώντας μια σύγχρονη ψηφιακή πλατφόρμα για την προβολή 63 τρισδιάστατων μοντέλων ενδημικών πεταλούδων. Πέρα από τον ενημερωτικό και εκπαιδευτικό του χαρακτήρα, το αποθετήριο αποσκοπεί και στην ανάδειξη της πλούσιας βιοποικιλότητας της Κύπρου και της Ελλάδας, προβάλλοντας ενδημικά είδη μέσω τεχνολογιών τρισδιάστατης απεικόνισης. Τα 3D μοντέλα τα οποία είναι αναρτημένα στο αποθετήριο μέσω του Sketchfab, επιτρέπουν στο χρήστη την εξερεύνηση και την λεπτομερή παρατήρησή τους, μέσω της μεγέθυνσης και περιστροφής τους. Ωστόσο, πέρα από την τυπική τρισδιάστατη παρατήρηση, τα μοντέλα μπορούν να εξερευνηθούν και μέσω VR/AR από την ιστοσελίδα του Sketchfab, προσφέροντας στο χρήστη μια συναρπαστική και διαδραστική εμπειρία αναδεικνύοντας την ποιότητα, τη λεπτομέρεια και τον ρεαλισμό των ψηφιοποιημένων δειγμάτων (Zotos, 2025).

Στην επίσημη ιστοσελίδα του Virtual Butterfly Exhibition παρουσιάζονται ολοκληρωμένες πληροφορίες τόσο για το κάθε είδος πεταλούδας, όσο και για την διαδικασία ψηφιοποίησής τους. Πιο συγκεκριμένα, παρέχεται επισκόπηση της διαδικασίας φωτογραμμετρίας που ακολουθήθηκε βήμα προς βήμα, από το σκανάρισμα των δειγμάτων με τον ειδικό για μικρά

έντομα και αρθρόποδα σαρωτή scAnt, μέχρι τις εικόνες υψηλής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν αργότερα για την ανακατασκευή τους στο λογισμικό φωτογραμμετρίας. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, γίνεται μια έρευνα εξεύρεσης μεθόδων για καθαρισμό, rigging και animation του μοντέλου, καθώς το σχήμα αποτελεί μια πολύ ιδιαίτερη περίπτωση φωτογραμμετρίας.



Εικόνα 4.1: Στιγμιότυπο οθόνης από την εξερεύνηση 3D μοντέλου πεταλούδας από το ψηφιακό αποθετήριο Virtual Butterfly Exhibition. Στα αριστερά προβάλλεται το μοντέλο της Argynnis pandora με τα εργαλεία εξερεύνησης, ενώ στα δεξιά παρουσιάζονται οι πληροφορίες του ενδημικού είδους (Πηγή: Virtual Butterfly Exhibition, 2025)

4.2 Στάδιο προετοιμασίας της δημιουργικής διαδικασίας

Κατά το στάδιο αυτό πραγματοποιείται ο καθαρισμός του μοντέλου στο Blender που αφορά την αποκατάσταση της γεωμετρίας και τοπολογίας, τον επανασχεδιασμό των λεπτών χαρακτηριστικών της πεταλούδας και την εφαρμογή των υφών. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας του καθαρισμού προκύπτει ένα ρεαλιστικό low poly μοντέλο με σχηματισμένα χαρακτηριστικά, υφές και επιφάνειες έτοιμο για rigging και animation. Η διαδικασία αυτή, αποτελεί την προετοιμασία του μοντέλου για περαιτέρω χρήση του από εφαρμογή AR την οποία προγραμματίζει να αναπτύξει η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου Κύπρου.

Για να επιτευχθεί ο καθαρισμός ενός τόσο ευαίσθητου δείγματος, διεξάγεται μια εκτενής έρευνα σε παρόμοια έργα, αλλά και συζητήσεις με ειδικούς.

4.3 Στάδια δημιουργίας

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα στάδια επεξεργασίας του δείγματος της πεταλούδας. Πρόκειται για μια διαδικασία που έχει ως έναρξή της τη φωτογραμμετρία και ολοκληρώνεται με το τελειοποιημένο μοντέλο, δίνοντας έμφαση στη μέθοδο της ρετοπολογίας.

4.3.1 Στάδια διαδικασίας από τη φωτογραμμετρία μέχρι την εφαρμογή υφών

Η διαδικασία για τη δημιουργία ενός animation 3D μοντέλου αληθινού δείγματος πεταλούδας απαιτεί μια ροή εργασιών αποτελούμενη από τέσσερα στάδια. Καθένα από αυτά συμβάλλει προοδευτικά στη διαδικασία δημιουργίας και ανάπτυξης του τρισδιάστατου μοντέλου και προετοιμάζει το επόμενο στάδιο της διαδικασίας έως το τελικό προϊόν. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προστέθηκε η μέθοδος του Gaussian splatting, κυρίως ως μια πειραματική προσέγγιση για λόγους βελτίωσης του μοντέλου.

Το πρώτο στάδιο του έργου Virtual Butterfly Exhibition περιλαμβάνει τη σάρωση των 63 δειγμάτων. Τα δείγματα πεταλούδων προήλθαν από υφιστάμενες δημόσιες και ιδιωτικές εντομολογικές συλλογές πεταλούδων, οι οποίες αντιπροσωπεύουν την πλήρη αυτοφυή πανίδα της Κύπρου. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν διατηρημένα και τοποθετημένα με εντομολογικές καρφίτσες σε άριστη κατάσταση, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2, κατέχοντας όλες τις προδιαγραφές που απαιτούνται ώστε να κριθούν κατάλληλα για τρισδιάστατη ψηφιοποίηση.



Εικόνα 4.2: Δείγμα πεταλούδων που χρησιμοποιήθηκαν για την διαδικασία σάρωσης (Πηγή: Zotos, 2025).

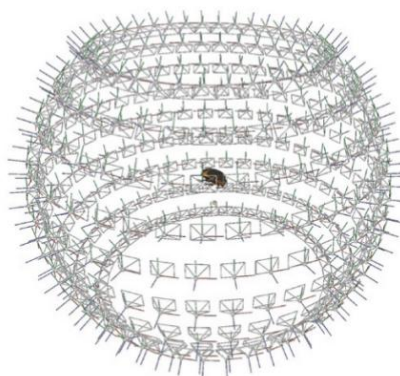
Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετήθηκαν προσεκτικά στον σαρωτή scAnt System προκειμένου να εξαχθούν οι υψηλής ευκρίνειας εικόνες από τις οποίες θα προκύψει το τελικό 3D μοντέλο. Κατά το επόμενο στάδιο, πραγματοποιείται ανακατασκευή του μοντέλου στο λογισμικό φωτογραμμετρίας 3DF Zephyr Lite, από όπου προκύπτει ένα πλέγμα με οπές -λόγω των λεπτών, εύθραυστων και με ανακλάσεις φτερών- και αρκετά χαοτική γεωμετρία και τοπολογία. Για τον λόγο αυτό, έγινε παράλληλα απόπειρα ανακατασκευής του και με τη μέθοδο Gaussian splatting, η οποία έδωσε όντως πολύ διαφορετικά αποτελέσματα.

Κατόπιν, κατά το τέταρτο στάδιο πραγματοποιείται η διαδικασία καθαρίσματος του μοντέλου (clean up) στα λογισμικά Blender και MeshLab, ενώ στο επόμενο στάδιο γίνεται το rigging του 3D μοντέλου -επίσης στο Blender-, προκειμένου να δημιουργηθεί η κίνηση κατά την οποία θα δώσει και το τελικό animation.

4.3.1.1 Στάδιο 1: 3D σάρωση δειγμάτων με scAntsystem

Για την ψηφιοποίηση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής ανοικτού κώδικα ScAnt system, ο οποίος είναι ειδικά διαμορφωμένος για να σαρώνει μικρά έντομα και αρθρόποδα. Ο σαρωτής αυτοματοποιεί τη λήψη εικόνων Εκτεταμένου Βάθους Πεδίου (Extended Depth

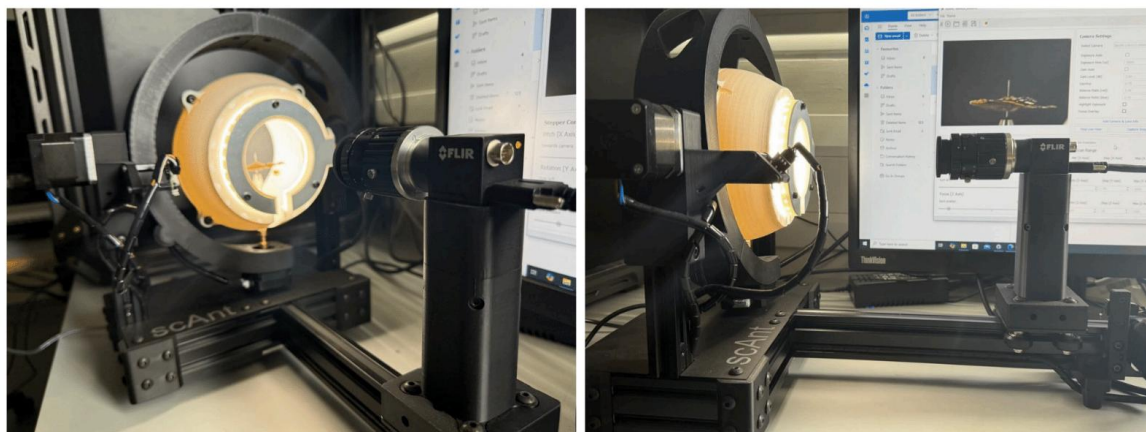
of Field- EDF) από πολλαπλές οπτικές γωνίες ελέγχοντας την περιστροφή του δείγματος, καθώς και την απόσταση εστίασης της κάμερας. Η εικόνα 4.3 απεικονίζει την τυπική τοποθέτηση της κάμερας και τις διαδρομές κίνησης που εκτελούνται κατά τη διαδικασία Structure from Motion (SfM).



Εικόνα 4.3: Οι θέσεις κίνησης της κάμερας κατά τη διαδικασία ανακατασκευής SfM (Πηγή: Zotos, 2025).

Οι παράμετροι του φλας ορίστηκαν από ένα ειδικά κατασκευασμένο σύστημα φωτισμού LED, όπου μετά από πολλές δοκιμές η διάρκεια του φλας ορίστηκε στα 200ms και καθυστέρηση στα 20ms εξασφαλίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο ομοιόμορφο φωτισμό από όλες τις γωνίες. Ο ομοιόμορφος φωτισμός αποτελεί μεγάλη παράμετρο για τη σωστή απεικόνιση των μοντέλων, ιδιαίτερα για δείγματα με ιριδίζοντα ή μεταβλητά μοτίβα χρωμάτων, όπως είναι στη συγκεκριμένη περίπτωση τα φτερά της πεταλούδας.

Η έκθεση (exposure), ο θόρυβος (gain) και η ισορροπία λευκού (white balance) υπολογίστηκαν ξεχωριστά για κάθε δείγμα ανάλογα με το χρώμα και το μέγεθος. Για παράδειγμα, τα δείγματα με φωτεινά χρώματα απαιτούσαν μικρότερους χρόνους έκθεσης, ενώ τα πιο σκούρα υψηλότερο gain και έκθεση. Οι παράμετροι αυτοί βελτιστοποιήθηκαν χειροκίνητα, αφενός για να αποφευχθεί η υπερέκθεση, και αφετέρου για να διατηρηθούν οι λεπτές υφές στην επιφάνεια των φτερών. Η εικόνα 4.5 απεικονίζει τον σαρωτή ScAnt κατά τη λειτουργία του, με ένα δείγμα πεταλούδας τοποθετημένο εντός του σαρωτή, με τον ειδικά διαμορφωμένο φωτισμό και έτοιμο για σάρωση.



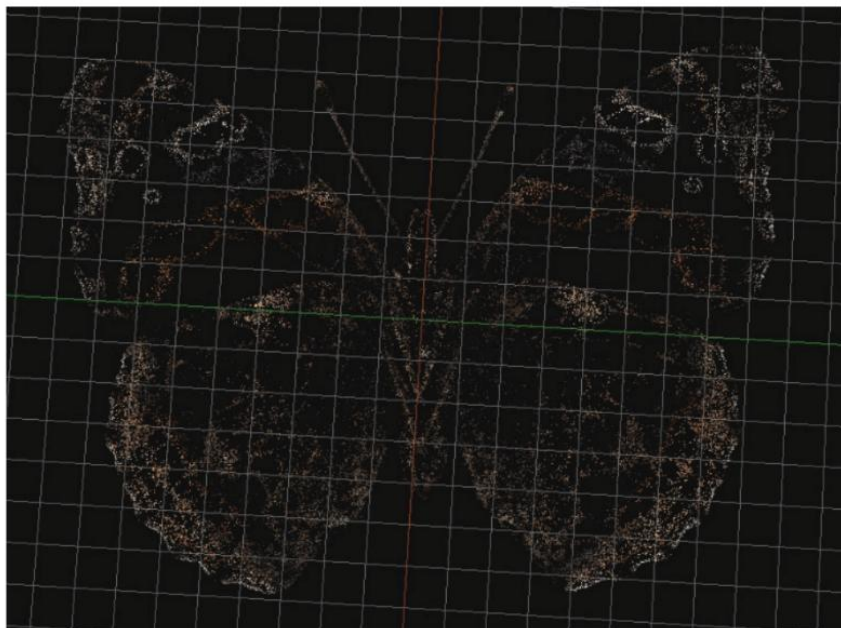
Εικόνα 4.5: Ο σαρωτής ScAnt κατά τη λειτουργία του (Πηγή: Zotos, 2025).

Ο μέσος χρόνος προετοιμασίας για κάθε δείγμα πεταλούδας και της ρύθμισης παραμέτρων της ανέρχεται στα 10-15 λεπτά, ενώ ο χρόνος σάρωσης για μια μεμονωμένη πεταλούδα ανέρχεται στις 3 – 3,5 ώρες. Το αποτέλεσμα της κάθε σάρωσης είχε ως αποτέλεσμα ένα σύνολο καθαρών και υψηλής ευκρίνειας εικόνων, με μέσο όρο τις 250 εικόνες, έτοιμες για την εισαγωγή τους σε λογισμικό φωτογραμμετρίας και την τρισδιάστατη ανακατασκευή των μοντέλων.

4.3.1.2 Στάδιο 2: Ανακατασκευή με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας

Για την παραδοσιακή ανακατασκευή με την μέθοδο της φωτογραμμετρίας αξιοποιήθηκε το λογισμικό 3DF Zephyr Lite (6.5 version). Για το κάθε δείγμα, έγινε κατά μέσο όρο η εισαγωγή 250 εικόνων στο λογισμικό και ακολούθησε η τυπική διαδικασία ανακατασκευής SfM.

- **Ευθυγράμμιση εικόνων (Image alignment):** Αρχικά, ο αλγόριθμος πραγματοποίησε σχετικό και εξωτερικό προσανατολισμό, εντοπίζοντας τα ομόλογα σημεία από τα οποία θα προκύψει το αραιό νέφος σημείων όπως φαίνεται στην εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.6. Το αραιό νέφος σημείων που προέκυψε από την αντιστοίχιση ομόλογων σημείων (Πηγή: Zotos, 2025).

- **Πυκνό νέφος σημείων (Dense point cloud):** Στη συνέχεια δημιουργείται το πυκνό νέφος σημείων με την εκτίμηση της γεωμετρίας της επιφάνειας του αντικειμένου.
- **Δημιουργία πλέγματος (Mesh creation):** Μετά τη δημιουργία του πυκνού νέφους, ακολουθεί η τριγωνοποίηση του νέφους σημείων με τη δημιουργία πλέγματος. Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται και αυτόματη συμπλήρωση οπών και εντοπισμός/ μείωση σφαλμάτων.
- **Χαρτογράφηση υφής (Texture mapping):** Σε αυτό το στάδιο εφαρμόζεται πάνω στην επιφάνεια του μοντέλου η προβολή των υφών και χρωμάτων από τις αρχικές εικόνες υψηλής ανάλυσης, δημιουργώντας έτσι ένα φωτορεαλιστικό τρισδιάστατο μοντέλο με υφές.

Μετά τη διαδικασία SfM τα μοντέλα εξήχθησαν από το 3DF Zephyr Lite σε μορφή .OBJ και .STL προκειμένου να εισαχθούν στα αντίστοιχα λογισμικά για καθαρισμό. Η εικόνα 4.7 απεικονίζει το πυκνό νέφος με τη λεπτομερή γεωμετρία και τις υφές του δείγματος Vanessa atalanta, με εμφανή το θόρυβο και τις οπές στα φτερά της, προτού εισαχθεί σε εξειδικευμένα λογισμικά για καθαρισμό.



Εικόνα 4.7: Το πυκνό νέφος με τη λεπτομερή γεωμετρία και τις υφές του δείγματος Vanessa Atalanta (Πηγή: Zotos, 2025).

4.3.1.3: Στάδιο 3: Ανακατασκευή με τη μέθοδο του Gaussian splatting

Παράλληλα με την ανακατασκευή που βασίζεται σε πλέγμα, πραγματοποιήθηκε και ανακατασκευή με τη μέθοδο Gaussian splatting με στόχο την βέλτιστη απόδοση της γεωμετρίας και την μείωση θορύβου και οπών. Η διαδικασία έγινε στο λογισμικό Polycam (version 3.7.2) και για την ανακατασκευή αντλήθηκαν οι ίδιες εικόνες από τον σαρωτή ScAnt. Η ροή εργασιών εντός του Polycam είχε ως εξής:

- **Ευθυγράμμιση εικόνων (Image alignment):** Σε αυτό το στάδιο ο αλγόριθμος εντοπίζει τα ομόλογα σημεία και πραγματοποιείται αντιστοίχιση ανάμεσα σε όλες τις εικόνες για την εκτίμηση των θέσεων της κάμερας. Επιπρόσθετα, από τον προσανατολισμό προκύπτει ένα αρχικό πυκνό νέφος σημείων.
- **Αρχικοποίηση των gaussians (Gaussian initialization):** Το αρχικό νέφος σημείων μετατρέπεται σε αναπαράσταση τύπου *splatted point* (≈ 50.000 Gaussians), όπου κάθε τρισδιάστατο Gaussian αρχικοποιείται ως προς τη θέση, την κλίμακα (συνδιακύμανση), το χρώμα και την αδιαφάνειά του.
- **Βελτιστοποίηση των gaussians (Gaussian optimization):** Σε αυτό το στάδιο εκτελείται επαναληπτική βελτιστοποίηση των παραμέτρων των gaussians μέσω τεχνικών νευρωνικής απόδοσης (neural rendering). Η

διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη βελτίωση θέσης της κάμερας, την προσθήκη νέων gaussians -όπου χρειάζεται-, τη ρύθμιση της συνδιακύμανσης, καθώς και τη ρύθμιση του χρώματος ανά gaussian, ώστε να διασφαλίζεται η φωτομετρική ακολουθία μεταξύ πολλαπλών οπτικών γωνιών. Η βελτιστοποίηση πραγματοποιείται σε GPU M2 Max 32 πυρήνων.

- **Απόδοση (Rendering):** Σε αυτό το σημείο εκτελείται προεπισκόπηση της σκηνής τύπου splat σε πραγματικό χρόνο, μέσω της διεπαφής της εφαρμογής Polycam, επιτρέποντας στο χρήστη την επιθεώρηση και αλληλεπίδραση με την ανακατασκευή κατά τη διάρκεια ή μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας.

Μόλις ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, το μοντέλο εξάγεται σε μορφή pointbased (.PLY ή .GLTF) με επεκτάσεις splatting, ώστε να είναι δυνατή η ενσωμάτωσή του σε αγωγούς οπτικοποίησης. Ο μέσος χρόνος ολοκλήρωσης της διαδικασίας gaussian splatting ήταν περίπου 40 λεπτά για κάθε πεταλούδα.

Τα αρχικά αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η τεχνική του gaussian splatting αποτελεί μια ιδιαίτερα υποσχόμενη συμπληρωματική τεχνική της φωτογραμμετρίας, καθώς επιτρέπει τη δημιουργία ελαφριών και ιριδίζουσων υφών στα τρισδιάστατα μοντέλα, με ελάχιστη ανάγκη για μεταγενέστερη επεξεργασία, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.8. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται η λεπτομέρεια στα μοτίβα των φτερών της και η απουσία οπών, συγκριτικά με το μοντέλο της ίδιας πεταλούδας.

Συμπερασματικά, και οι δύο τεχνικές ανακατασκευής, φωτογραμμετρία και gaussian splatting, παρήγαγαν υψηλής ποιότητας οπτικοποιήσεις, παρουσιάζοντας ωστόσο διαφοροποιήσεις ως προς τα παραγόμενα αποτελέσματα. Η φωτογραμμετρία αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη τεχνική στην ψηφιοποίηση της βιοποικιλότητας, καθώς παράγει επεξεργάσιμα τρισδιάστατα μοντέλα πλέγματος με υψηλή γεωμετρική ακρίβεια και βασικά μορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως είναι η φλεβίωση των φτερών και τα μοτίβα των λεπιών. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή είναι ευαίσθητη σε ανακλαστικές επιφάνειες και φαινόμενα σκέδασης φωτός, με αποτέλεσμα να απαιτείται εκτενής μεταγενέστερη επεξεργασία για τον καθαρισμό του πλέγματος και το κλείσιμο των οπών.

Από την άλλη πλευρά, το gaussian splatting ως μια νεότερη τεχνική βασισμένη σε πεδία ακτινοβολίας και αναπαράστασης σημείων, προσφέρει ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα, με την απόδοση ιριδισμών και λεπτών χρωματικών μεταβάσεων. Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματά του παρουσιάζει αυξημένο θόρυβο και δυσκολία στην απόδοση πολύ λεπτών δομών, όπως είναι τα φτερά της πεταλούδας. Επιπρόσθετα, η απουσία γεωμετρικού πλέγματος το καθιστά ακατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν ακριβή γεωμετρία και μορφομετρία.

Στην εικόνα 4.9 απεικονίζεται οπτική σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων μέσα από το δείγμα *Papilio machaon*. Το μοντέλο φωτογραμμετρίας στα αριστερά, περιέχει αρκετές τρύπες κατά μήκος των ακμών των φτερών, οι οποίες αντίθετα απουσιάζουν στο αποτέλεσμα της gaussian splatting (δεξιά). Αν και το μοντέλο οπτικά φαίνεται πιο πλήρες στην περίπτωση της gaussian splatting, ωστόσο εμφανίζει αυξημένη θόλωση κατά μήκος των φτερών, του σώματος και των κεραίων.

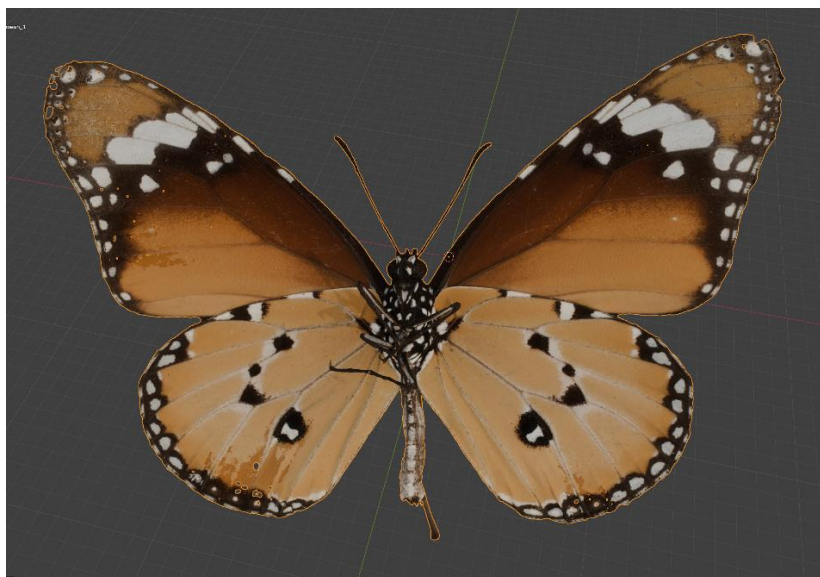


Εικόνα 4.8: Οι τελικές ανακατασκευές του δείγματος *Papilio machaon* που προέκυψαν από τις δύο μεθόδους ανακατασκευής. **Αριστερά:** η *Papilio machaon* με φωτογραμμετρία. **Δεξιά:** *Papilio machaon* με gaussian splatting (Πηγή: Zotos, 2025).

Σε κάθε περίπτωση, για κάθε μοντέλο που έχει προκύψει από ανακατασκευή, απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία σε εξειδικευμένο λογισμικό για βελτίωση του πλέγματος, της γεωμετρίας και της τοπολογίας του. Επίσης, ο καθαρισμός του μοντέλου μπορεί να γίνει συνδυαστικά με λογισμικά μοντελοποίησης όπως είναι το Blender, ή ακόμα και με το λογισμικό που πραγματοποιήθηκε ανακατασκευή, ώστε να εφαρμοστούν εκ νέου οι υφές και τα χρώματα μετά τη διόρθωση του πλέγματος. Στο επόμενο υποκεφάλαιο πρόκειται να αναλυθεί διεξοδικά αυτή η διαδικασία καθαρισμού.

4.3.1.4 Στάδιο 4: Καθαρισμός μοντέλου στο Blender

Για την παρούσα έρευνα, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της ενδημικής κυπριακής πεταλούδας *Danaus chrysippus*. Για τον καθαρισμό του μοντέλου εισάγω στο λογισμικό Blender το 3D μοντέλο που προέκυψε από την ανακατασκευή στο 3DF Zephyr Lite και εκ πρώτης όψεως παρατηρώ έναν μεγάλο αριθμό οπών επάνω στην επιφάνεια των φτερών (βλ. εικόνα 4.9).



Εικόνα 4.9: Το μοντέλο που προέκυψε από την ανακατασκευή με την παρουσία οπών και φθοράς στα άκρα των φτερών.

Σύμφωνα με τις συστάσεις του E6 (βλ. Παράρτημα σ. 100) επιχειρώ να κλείσω τις οπές στο Edit Mode επιλέγοντας τα vertices και έπειτα Fill και Grid Fill, αλλά παρατηρώ πως η υφή του γεμίσματος δεν έχει πάρει την υφή της πεταλούδας, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.10.

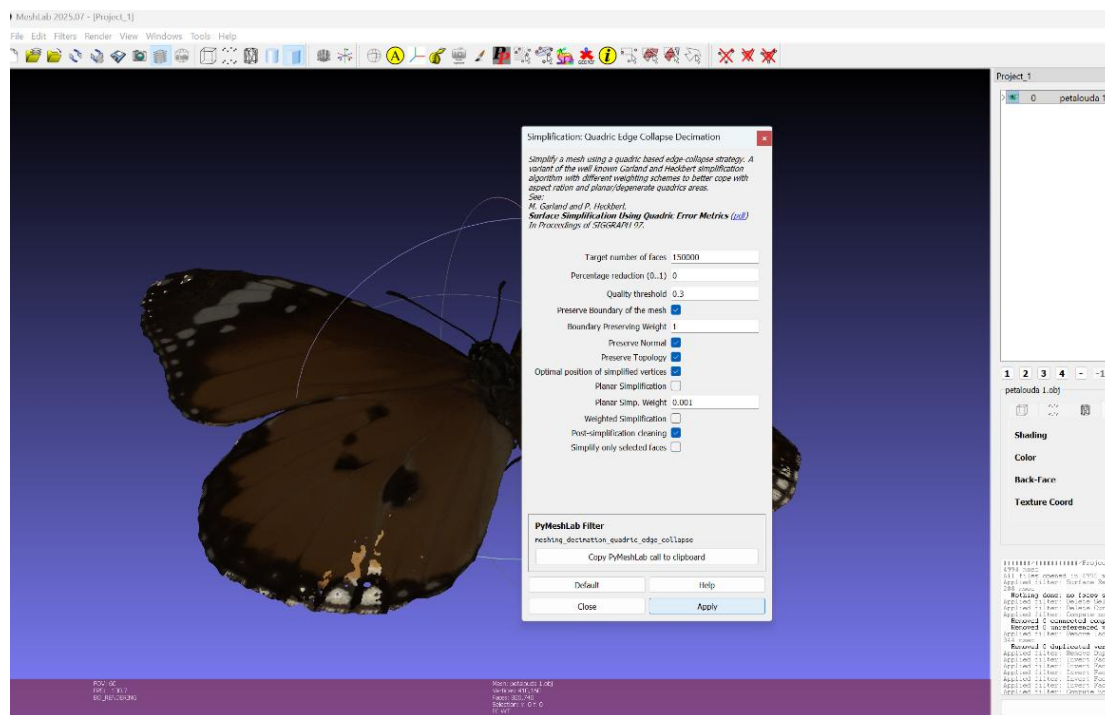


Εικόνα 4.10: Εσφαλμένο χειροκίνητο γέμισμα οπών με την απουσία υφών.

Έτσι, “γεμίζω” τις οπές με αυτόματο clean up του Blender με τις εντολές Mesh → Clean Up → Fill Holes και Make Manifold, χωρίς όμως κανένα αποτέλεσμα. Τότε, με βάση τις υποδείξεις του E2 (βλ. Παράρτημα σ. 100), επισημαίνω τα προβλήματα που παρατηρούνται στο πλέγμα και τα οποία καταστούν δύσκολο το ομαλό γέμισμα των οπών και γενικά την επεξεργασία του μοντέλου. Ο τεράστιος αριθμός πολύγωνων και τα ανάποδα normal vectors που μπερδεύονται και ενώνουν τις δύο επιφάνειες των φτερών της πεταλούδας σε μια κοινή, αποτελούν τα βασικά προβλήματα στο χαοτικό και πολύπλοκο πλέγμα του μοντέλου. Για τον λόγο αυτό, προχωρώ σε χειροκίνητο clean up του μοντέλου σε εξειδικευμένο πρόγραμμα καθαρισμού μοντέλων.

Το λογισμικό MeshLab θεωρείται από τα κορυφαία στο είδος του για καθαρισμό πολύπλοκων μοντέλων. Να σημειωθεί εδώ πως η πρώτη απόπειρα καθαρισμού πραγματοποιήθηκε στο Instant Meshes, το οποίο όμως λόγω της πολυπλοκότητας του mesh δε μπόρεσε καν να ανοίξει το αρχείο .obj. Έτσι, σύμφωνα με τις οδηγίες του E3 (βλ. Παράρτημα σ. 102) ξεκινάω στο MeshLab τον καθαρισμό, με τη διόρθωση των normals. Αρχικά, για να φτιάξω τα normal κάνω Recompute Normals, δηλαδή επιλέγω την εντολή Compute Normals for Point Sets με τιμή Neighbour number στα 20 έχοντας επιλεγμένο το Flip normals w.r.t. viewpoint. Ακολούθως, πολύ σημαντικό βήμα για να γυρίσω τα normals που είναι ανάποδα, είναι το Invert Faces Orientation.

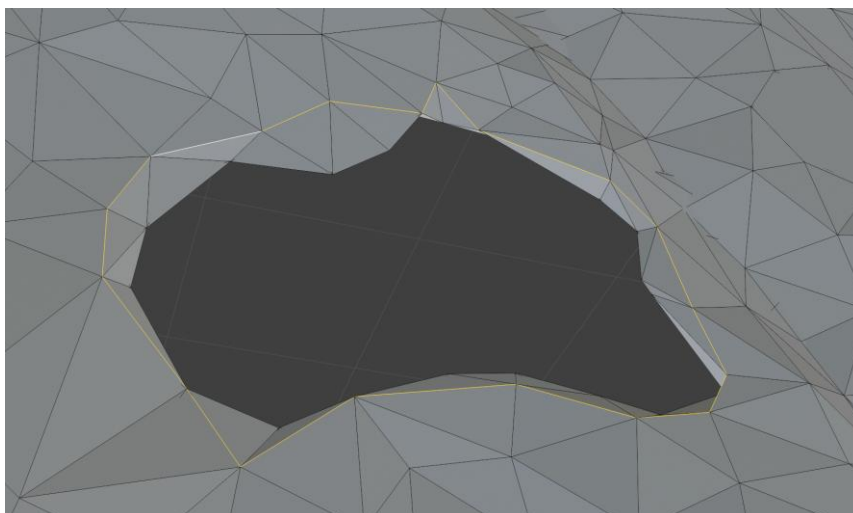
Κατόπιν, καθαρίζω το mesh με τις εξής εντολές: (wrt Diameter) και Remove Duplicated Vertices. Στη συνέχεια κάνω Filters → Remeshing → Simplification (Quadric Edge Collapse Decimation). Πρόκειται για μια εντολή πολύ σημαντική για τη γεωμετρία της πεταλούδας με τα λεπτά φτερά στα οποία υπάρχουν προβλήματα με οπές και ακανόνιστο περίγραμμα. Με αυτό τον τρόπο θα μειωθούν τα πολύγωνα, διατηρώντας παράλληλα το σχήμα του μοντέλου. Επίσης, συγχωνεύει τις ακμές (edges) σε ένα σημείο και υπολογίζει πού να τοποθετηθούν τα νέα vertex, ώστε να μη χαλάσει η επιφάνεια και να κρατηθεί το περίγραμμα. Στην εικόνα 4.11 φαίνονται οι ρυθμίσεις της εντολής. Μετά την εφαρμογή, τα vertices από 410,160 μειώθηκαν στις 74,790 και τα faces από 820,740 σε 150.



Εικόνα 4.11: Εφαρμογή εντολής Simplification για μείωση πολύγωνων και διόρθωση γεωμετρίας.

Τελευταίο βήμα για το καθάρισμα του μοντέλου στο MeshLab, αποτελεί η εντολή Screened Poisson. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικός καθώς μετατρέπει ένα πολύπλοκο και χαοτικό νέφος σημείων σε μια ομαλή και συνεχόμενη επιφάνεια. Συγκεκριμένα, δημιουργεί ομοιόμορφα τρίγωνα, βελτιώνει τη γεωμετρική ακρίβεια και εξομαλύνει σπασμένες επιφάνειες. Αφού εφαρμόσω την εντολή στο μοντέλο, εξάγω σε .obj προκειμένου να συνεχίσω την επεξεργασία του στο Blender. Μετά από αυτή τη διαδικασία εκτός από τη μείωση των πολυγώνων, αναμένω τα φτερά της πεταλούδας που είναι ενωμένα να διασπαστούν σε δύο ξεχωριστές επιφάνειες ώστε να μπορώ να κλείσω τις οπές και να εφαρμόσω ορθά τις υφές με unwrap.

Εισάγω λοιπόν και πάλι το νέο καθαρισμένο low poly μοντέλο στο Blender και παρατηρώ πως παρουσιάζει σίγουρα κάποια εξέλιξη στους τομείς που απαιτούν βελτίωση. Εκεί που παρατηρούνται οι οπές, οι δύο επιφάνειες -μπρος και πίσω φτερό-, είναι πλέον διαχωρισμένες, εκτός από ορισμένα σημεία τα οποία διορθώνω χειροκίνητα όπως φαίνεται στην εικόνα 4.12. Αφού κλείσω τις οπές με fill grid προχωρώ σε διαδικασία εφαρμογής υφών.

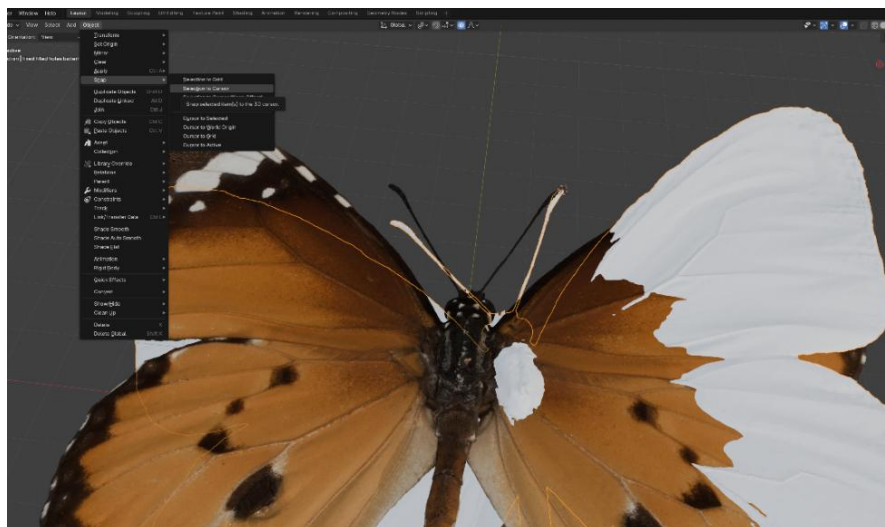


Εικόνα 4.12: Χειροκίνητος διαχωρισμός των 2 επιφανειών και κλείσιμο οπών.

Αυτή τη στιγμή, εφόσον έχω ένα μοντέλο με μικρό αριθμό πολυγώνων, διορθωμένα normals και ενιαία επιφάνεια χωρίς οπές, προχωρώ -σε πειραματικό στάδιο περισσότερο- σε texture mapping με τις τεχνικές Bake Texture και Project from View, για να δω το κατά πόσο θα μπορούσε να λειτουργήσει η ορθή εφαρμογή υφών στις συγκεκριμένες επιφάνειες. Έτσι, εισάγω στο Blender το high poly μοντέλο

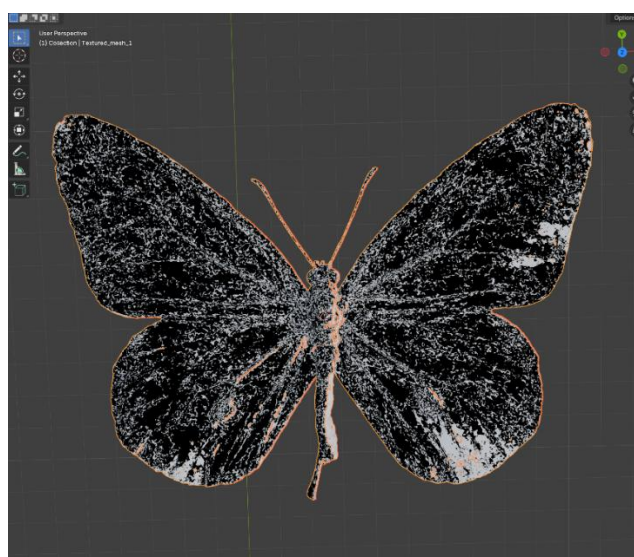
.

Επιχειρώ να εφαρμόσω texture πρώτα με την μέθοδο του Baking, σύμφωνα με τις συστάσεις των E5 και E6 (βλ. Παράρτημα σ. 103-104). Πρόκειται για μια τεχνική που χρησιμοποιείται συχνά σε μοντέλα φωτογραμμετρίας και αυτό που κάνει ο αλγόριθμος είναι να παίρνει το χρώμα από μια επιφάνεια και να το μεταφέρει σε μια άλλη, η οποία είναι τέλεια ευθυγραμμισμένη πάνω στην πρώτη. Για τον λόγο αυτό, ξεκινώ τη διαδικασία προσπαθώντας να ευθυγραμμίσω όσο καλύτερα γίνεται το ένα μοντέλο πάνω στο άλλο με τη βοήθεια της εντολής Snap και Selection to Cursor, προκειμένου η κεραία του ενός μοντέλου να “κουμπώσει” πάνω στην κεραία του άλλου, όπου έχω τοποθετήσει το cursor (βλ. εικόνα 4.13), σύμφωνα με τις οδηγίες του E5 (βλ. Παράρτημα σ. 103). Προσαρμόζω το ένα μοντέλο πάνω στο άλλο χρησιμοποιώντας τα πλήκτρα G, R και S.



Εικόνα 4.13: Χρήση Snap -> Selection to Cursor για να κουμπώσει το ένα μοντέλο πάνω στο άλλο και να καταστεί δυνατή η πλήρης ευθυγράμμιση των μοντέλων.

Αφού λοιπόν ολοκληρώσω την ευθυγράμμιση των μοντέλων, σε Edit Mode κάνω Unwrap του low poly μοντέλου και σε Shade Editor δημιουργώ νέο Image Texture χωρίς να το συνδέσω στο BSDF. Στη συνέχεια, ρυθμίζω τις παραμέτρους του BAKE στο Render Properties και αφού επιλέξω και τα δύο μοντέλα προχωρώ σε BAKE. Το αποτέλεσμα είναι αυτό που φαίνεται στην εικόνα 4.14. Ο λόγος που απέτυχε η διαδικασία, οφείλεται στο γεγονός του ότι η γεωμετρία του low poly μοντέλου τροποποιήθηκε ελαφρώς κατά το clean up στο Meshlab με αποτέλεσμα το ένα μοντέλο να μην εφάπτεται ακριβώς πάνω στο άλλο και το λογισμικό να μην είναι σε θέση να κάνει ορθή αντιστοίχιση στις δύο επιφάνειες.

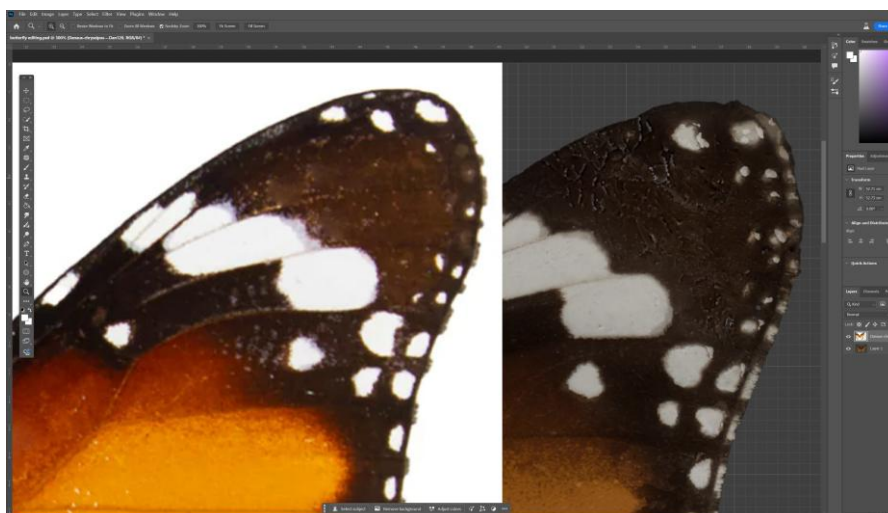


Εικόνα 4.14: Αποτυχημένη προσπάθεια Bake.

Για τον λόγο αυτό, επιχειρώ να επαναφέρω το texture mapping μέσα από το λογισμικό ανακατασκευής που δημιουργήθηκε και συγκεκριμένα μέσω του ίδιου project. Σύμφωνα με τις συστάσεις του E2 (Βλ. Παράρτημα 1 σ. 100) μετά από την επεξεργασία του πλέγματος σε εξειδικευμένο λογισμικό καθαρισμού, ακολουθεί η εισαγωγή του επεξεργασμένου μοντέλου στο αρχικό project στο λογισμικό που πραγματοποιήθηκε η μέθοδος SfM, ώστε να εφαρμοστούν οι υφές (όπως γίνεται κατά το τελευταίο στάδιο της ανακατασκευής). Επιχειρώ να εφαρμόσω τη διαδικασία αυτή στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Κύπρου όπου υλοποιήθηκε το πρόγραμμα Virtual Butterfly Exhibition με τον E4. Ωστόσο, η προσπάθεια αυτή, εντός του 3D Zephyr Lite αποτυγχάνει καθώς ο αλγόριθμος δε μπορεί να αντικαταστήσει το νέο μοντέλο με το παλιό λόγω του ότι η τοπολογία και η γεωμετρία τροποποιήθηκε, όπως επίσης και το μέγεθος/ σχήμα του μοντέλου και ο αλγόριθμος δεν είναι σε θέση να αναγνωρίσει τα κοινά σημεία.

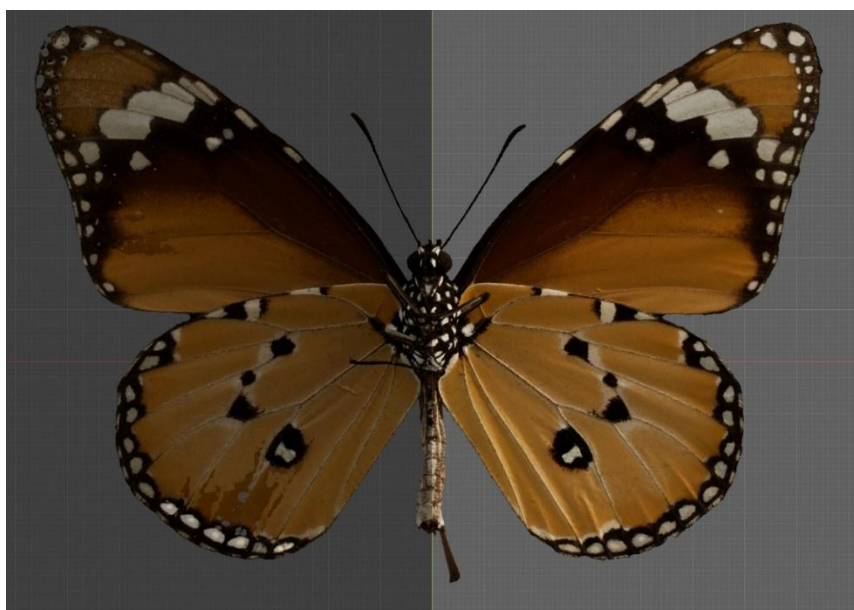
Συνεπώς, επαναφέρω το Low poly μοντέλο στο Blender και δοκιμάζω τη διαδικασία Project from View. Αυτή τη φορά εισάγω ένα screenshot του high poly και όχι το ίδιο high poly μοντέλο. Σε edit mode επιλέγω με το U την εντολή Project from View κι έτσι το screenshot του high poly προβάλλεται πάνω στην επιφάνεια του low poly μοντέλου. Ωστόσο, μαζί με την υφή της πεταλούδας πάνω στην επιφάνεια σχηματίζονται και τα υπόλοιπα στοιχεία, όπως οι οπές και το σύμβολο του cursor. Για τον λόγο αυτό, επεξεργάζομαι το screenshot στο Photoshop, σβήνοντας πολύ προσεκτικά και λεπτομερώς με clone stamp και stamp tool ατέλειες όπως: τις οπές που διαγράφονται πάνω στην επιφάνεια της πεταλούδας, το φαγωμένο περίγραμμα και τις διπλές βούλες που προέκυψαν από λάθος προσανατολισμό στο 3DF Zephyr Lite.

Για να σβήσω τις ανοιχτόχρωμες περιοχές που προκλήθηκαν από αντανάκλασεις και γυαλάδες, εισάγω μια φωτογραφία της Danaus chrysippus, την οποία έχω ως οδηγό και από την οποία αντιγράφω με clone stamp καθαρά σχέδια σε ελαττωματικές περιοχές, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.15, στην άκρη του φτερού. Η φωτογραφία χρησιμοποιήθηκε επίσης ως δείγμα ρεαλιστικής απεικόνισης του δείγματος προκειμένου το αποτέλεσμα να είναι φυσικό και να αποφευχθεί οποιοδήποτε λάθος χαρακτηριστικό σχηματίστηκε πάνω στην υφή της κατά την επικάλυψη φωτογραφιών της διαδικασίας SfM στο 3DF Zephyr Lite.



Εικόνα 4.15: Αντιγραφή των καθαρών περιοχών με clone stamp tool από την αριστερή εικόνα που απεικονίζει φωτογραφία υψηλής ανάλυσης του δείγματος *Danaus Chrisippus*, σε ελαττωματικές περιοχές της δεξιάς εικόνας που αντιστοιχεί στο texture του SfM μοντέλου.

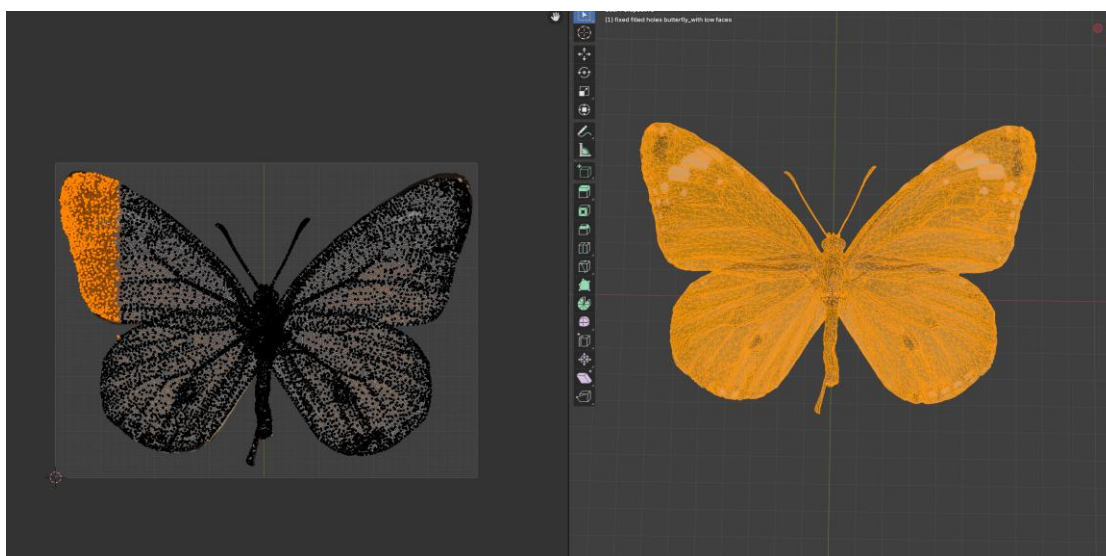
Για την πίσω πλευρά των φτερών εισάγω screenshot του μοντέλου στο Photoshop και μια εικόνα από τη σάρωση που να φαίνεται καλά η πίσω επιφάνεια. Από την εικόνα σάρωσης, με το Magnetic Lasso Tool κόβω τις βούλες και τις τοποθετώ στη σωστή θέση στο μοντέλο του screenshot, καθώς μετά τη διαδικασία SfM είχαν χάσει εντελώς τη θέση, το σχήμα και το μέγεθός τους. Στην εικόνα 4.16 απεικονίζεται το τελικό αποτέλεσμα των πισινών φτερών και πάλι συγκριτικά με την αρχική μορφή.



Εικόνα 4.16: Στην αριστερή πλευρά του μοντέλου απεικονίζεται η επιφάνεια του μοντέλου πριν την επεξεργασία, ενώ στη δεξιά πλευρά το αποτέλεσμα μετά την ολοκλήρωσή της.

Αφού ολοκληρώσω τη διόρθωση των υφών στο Photoshop, τότε εισάγω και πάλι το low poly μοντέλο στο MeshLab για να μειώσω λίγο ακόμα τον αριθμό των πολύγωνων, ώστε να έχω ένα πιο ελαφρύ mesh, ιδανικό για rigging και animation. Έτσι, μειώνω τα faces από τις 150,000 στις 30,000. Εξάγω το mesh σε .obj και το εισάγω στο Blender. Κάνω shade smooth για να εξομαλύνω λίγο την τραχιά επιφάνεια που προκλήθηκε μετά τη μείωση των faces και ξανακλείνω ό,τι οπές υπάρχουν.

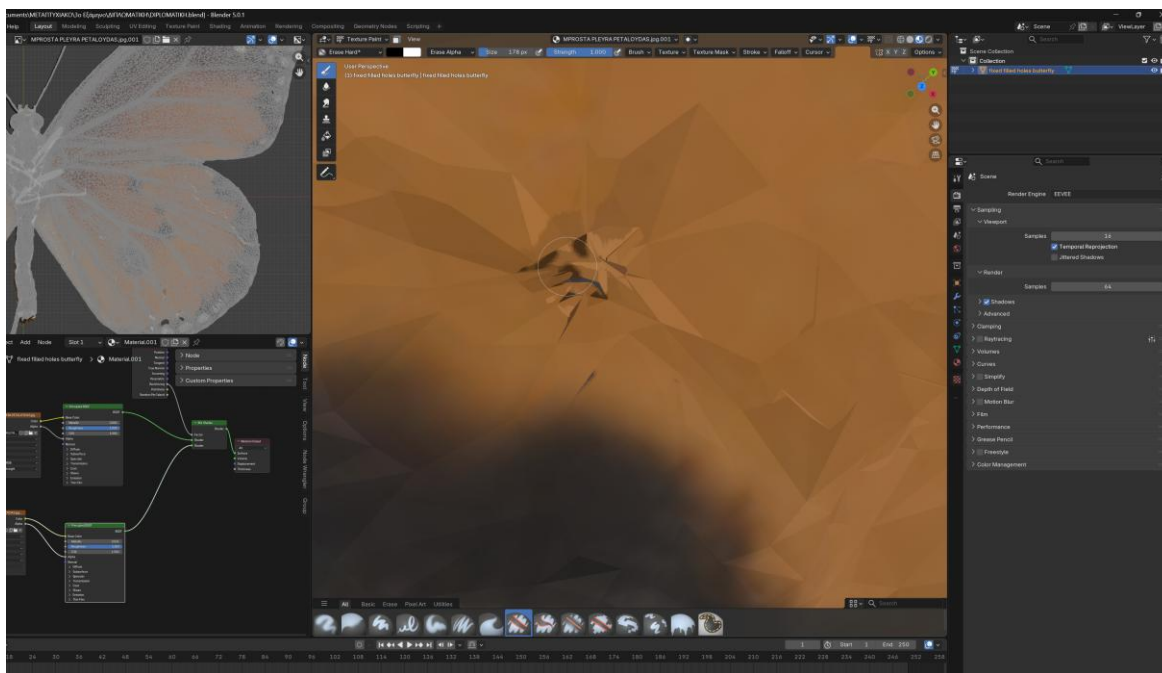
Προσθέτω ελάχιστο πάχος με το Solidify Modifier. Συνεχίζω με το βάψιμο των φτερών και την εφαρμογή των textures. Ανοίγω δεύτερο παράθυρο στα αριστερά και το ρυθμίζω σε UV Editor. Πατάω open και εισάγω το φτιαγμένο screenshot της μπροστινής πλευράς της πεταλούδας ενώ στο άλλο παράθυρο στα δεξιά στο οποίο βλέπω το μοντέλο από front view. Σε Edit Mode πατάω U, επιλέγω Project from View (Bounds) και τότε βλέπω το texture της πεταλούδας να εμφανίζεται πάνω στο UV's του mesh. Με a επιλέγω όλα τα seams και με g,s και r προσπαθώ να φέρω το texture στα όρια της πεταλούδας. Για να το πετύχω αυτό, επιλέγω και τμηματικά seams (βλ. εικόνα 4.17) και τα επεξεργάζομαι με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω, ώστε να εφάπτονται με ακρίβεια πάνω στις λεπτομέρειες του mesh όπως είναι τα νεύρα, οι βούλες στις άκρες του φτερού, οι κεραίες και οι πτυχώσεις που σχηματίζονται.



Εικόνα 4.17: Επιλογή της εντολής Project from View (Bounds) σε Edit Mode για την ακριβή εφαρμογή των textures. Χειροκίνητη μετατόπιση των seams τμηματικά.

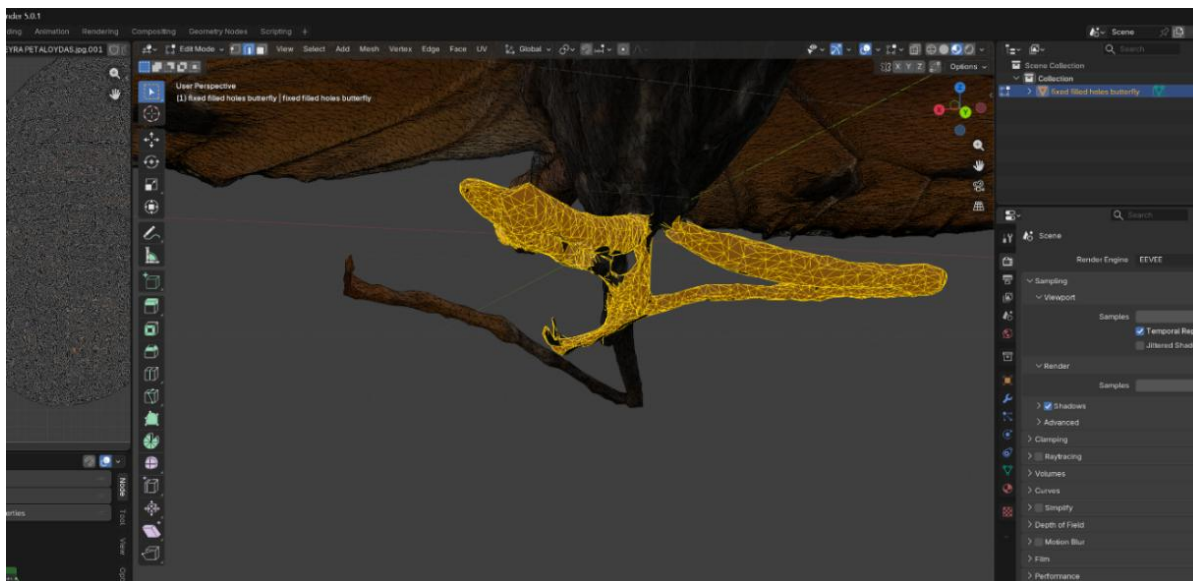
Ωστόσο, αν και οι υφές έχουν τοποθετεί με επιτυχία πάνω στο low poly μοντέλο, κάποιες οπές και βαθουλώματα επιμένουν να τονίζονται στην επιφάνεια μειώνοντας έτσι το τέλειο

αποτέλεσμα. Για τον λόγο αυτό, επιχειρώ να τις διορθώσω με γλυπτική, σύμφωνα με τις συστάσεις του Ε6 (βλ. Παράρτημα σ. 100). Πιο συγκεκριμένα, σε Sculpt Mode με τα εργαλεία Smooth και Erase Hard επιχειρώ να γεμίσω τις τρύπες και να λειαίνω την επιφάνεια εκεί που είναι ανώμαλη ή πολύ τραχιά, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.18.



Εικόνα 4.18: Λείανση επιφάνειας και γέμισμα οπών με το Flatten/ Contrast και Erase Hard tool σε Sculpt Mode.

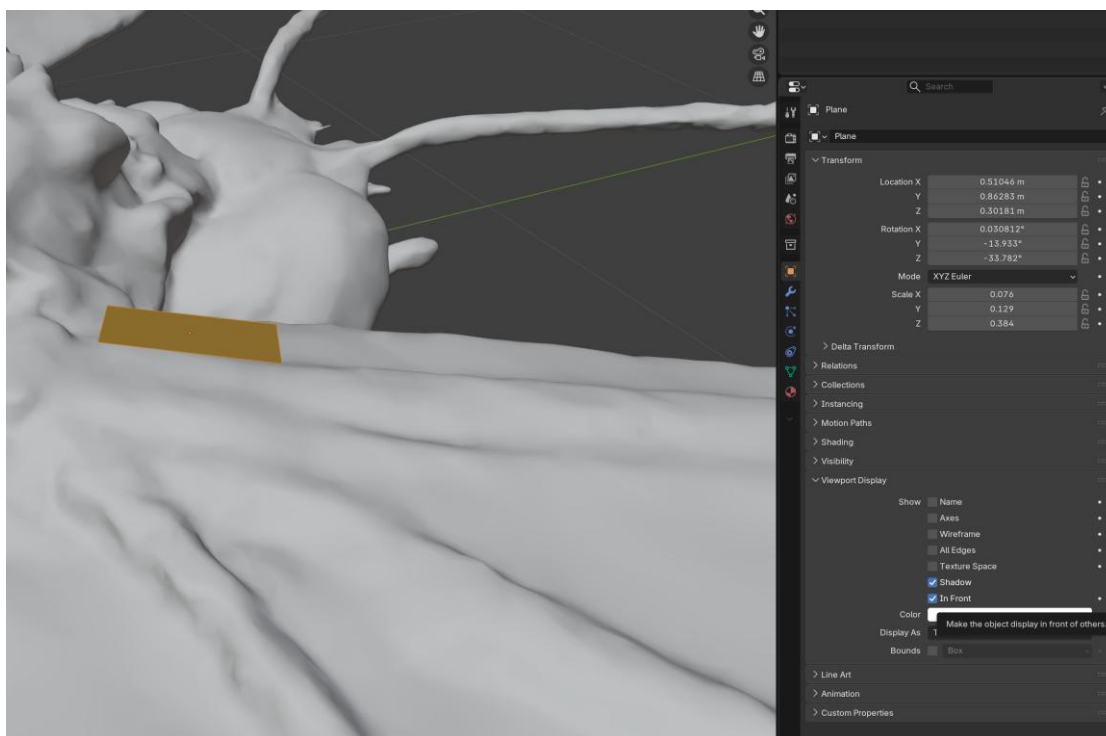
Στη συνέχεια, διορθώνω τα μπερδεμένα πόδια της πεταλούδας. Επιχειρώ να τα διαχωρίσω, διαγράφοντας τα 3 που είναι κολλημένα και κρατώντας μόνο το ένα που φαίνεται καθαρά, πολλαπλασιάζοντάς το στη συνέχεια, ώστε να έχω 6 καθαρά πόδια (βλ. εικόνα 4.19). Στην πορεία αυτή της προσπάθειας, συμπεραίνω πως ο μεγάλος αριθμός πολύγωνων που εξακολουθεί να υπάρχει δημιουργεί πολλά προβλήματα μοντελοποίησης, με κυριότερα από αυτά της παραμόρφωσης και του μη αληθοφανούς αποτελέσματος. Επιπρόσθετα, οι ατέλειες από τα βαθουλώματα και τις οπές στην επιφάνεια είναι ακόμα ενδιάκριτα παρ' όλες τις προσπάθειες για εξομάλυνσή τους με εργαλεία όπως αυτά της γλυπτικής.



Εικόνα 4.19: Διαγραφή ελαττωματικών ποδιών και δημιουργία νέων από το υγιές πόδι.

Συνεπώς, αποφασίζω να αλλάξω ριζικά τρόπο επεξεργασίας και καθαρισμού του μοντέλου και να ξεκινήσω από την αρχή με χειροκίνητη διαδικασία ρετοπολγίας, σύμφωνα με τις συστάσεις των E3, E5 και E6 (βλ. Παράρτημα σ.104). Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να “χτίσω” ένα νέο μοντέλο πάνω στην επιφάνεια του high poly με τη δημιουργία νέων faces, όπου θα κολλάνε επάνω στην επιφάνεια του high poly μοντέλου με την ενεργοποίηση του snapping -όπως τόνισε ο E3-, ώστε να παίρνουν αυτόματα το σχήμα και τις καμπύλες του πρωτότυπου μοντέλου. Παράλληλα, εφαρμόζω το Shrinkwrap Modifier το οποίο βοηθάει τα faces να μένουν πάνω στην επιφάνεια του μοντέλου, καθώς το επιλέγω ως target στις παραμέτρους του Modifier.

Πιο συγκεκριμένα, ξεκινάω την όλη διαδικασία του retopology δημιουργώντας ένα νέο plane, το οποίο μικραίνω στο μέγεθος που θέλω να έχουν τα πολύγωνα και το τοποθετώ επάνω στην εσωτερική πλευρά του φτερού. Στη συνέχεια ενεργοποιώ το snapping και ρυθμίζω τις παραμέτρους στο αντίστοιχο παράθυρο. Ακολουθώντας, στο Material Properties δημιουργώ νέο Material και στο Viewport Display ορίζω ένα χρώμα ώστε η νέα επιφάνεια να ξεχωρίζει. Έπειτα, στο Viewport Display του Object Properties αυτή τη φορά επιλέγω την εντολή *In Front* ώστε τα νέα faces να προβάλλονται πάνω από την επιφάνεια του high-poly μοντέλου (βλ. εικόνα 4.20).



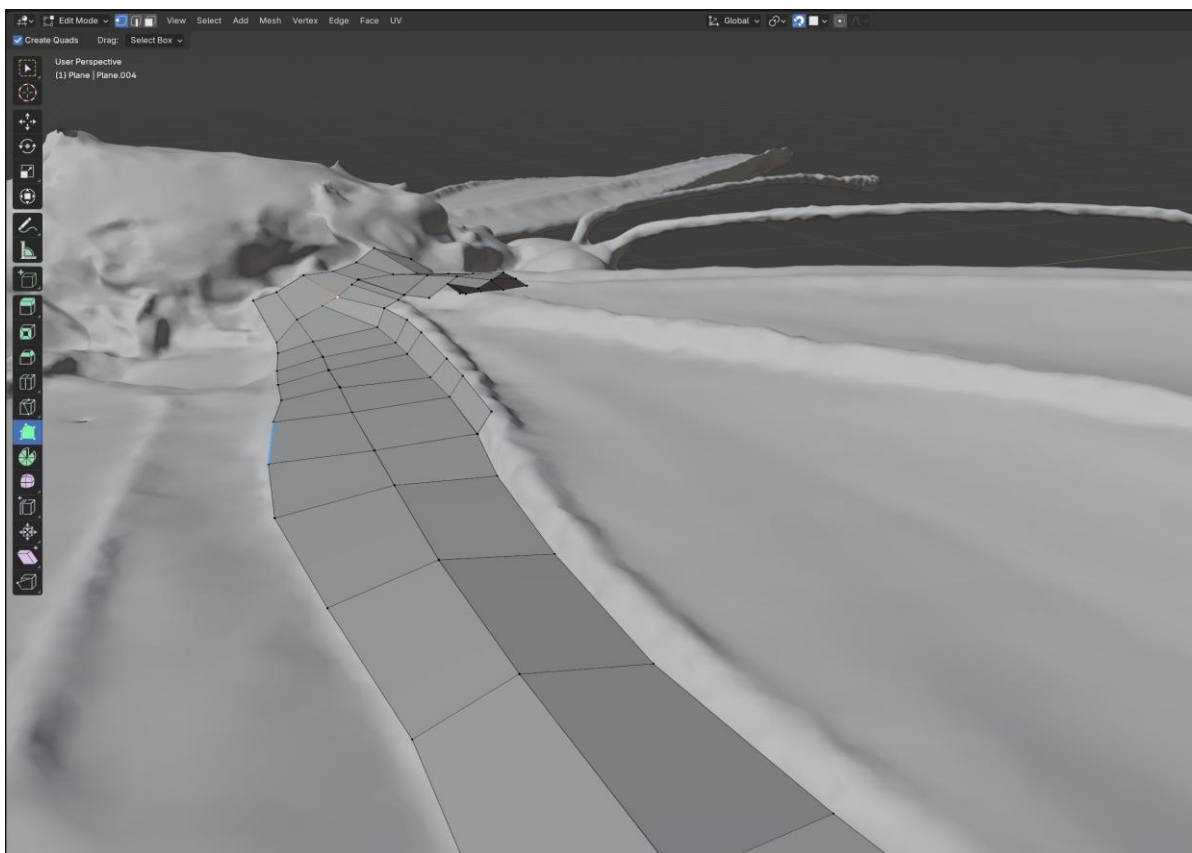
Εικόνα 4.20: Επιλογή της εντολής In Front στο Viewport Display του Object Properties με σκοπό την προβολή των νέων faces πάνω από το high-poly μοντέλο.

Επόμενη κίνηση είναι η προσθήκη του Shrinkwrap Modifier. Το συγκεκριμένο εργαλείο αποτελεί βασικό εργαλείο της διαδικασίας ρετοπολογίας, καθώς αυτό είναι που ωθεί τα νέα faces να κολλάνε πάνω στην επιφάνεια του high-poly μοντέλου και να ακολουθούν την πορεία των πτυχών και όποιων άλλων ανωμαλιών παρατηρούνται πάνω στο ανάγλυφο της επιφάνειας. Επιλέγω, λοιπόν, το Shrinkwrap στο Modifier Properties και στις ρυθμίσεις του επιλέγω το μοντέλο της πεταλούδας ως target. Τότε, παρακολουθώ πως αυτόματα το plane βγαίνει μόνο του πάνω από την επιφάνεια του φτερού και προσαρμόζεται στην κοιλότητα της επιφάνειας. Ταυτόχρονα, ενεργοποιώ με μπλε χρώμα την εντολή *On Cage*, ώστε τα vertices που μετακινούνται να φαίνονται σαν αν έχει ήδη εφαρμοστεί το Shrinkwrap, δηλαδή στην οθόνη να προβάλλεται το τελικό αποτέλεσμα.

Το επόμενο βήμα, το οποίο είναι εξίσου σημαντικό για την εξοικονόμηση χρόνου, είναι το Mirror Modifier. Στις ρυθμίσεις αρχικά επιλέγω το Clipping, το οποίο θα κάνει τα vertices να κολλάνε στον κεντρικό άξονα axis και δημιουργεί συμμετρικά μοντέλα, όπως στην περίπτωση της πεταλούδας. Όταν ολοκληρωθεί το βασικό retopology και η πεταλούδα πάρει το βασικό της σχήμα, τότε μπορώ να επιλέξω χειροκίνητα κάποια vertices και να τα προσαρμόσω στην κοιλότητα του κάθε φτερού, καθώς τα φτερά της πεταλούδας δεν είναι ίδια και αυτό θα προκαλούσε ένα μη ρεαλιστικό αποτέλεσμα.

Έπειτα, επιλέγω ως Mirror Object το high-poly μοντέλο και συνεχίζω τη διαδικασία ορίζοντας το origin στο 3D cursor. Σε αυτό το σημείο παρατηρώ πως το νέο face που προέκυψε δεν τοποθετείται στη σωστή θέση σαν καθρέφτης. Σύμφωνα με διαδικτυακές πηγές, το σφάλμα ευθύνεται στο γεγονός ότι δεν έγινε apply σε rotation/ transforms . Οπότε με Ctrl + A → All Transforms μηδενίζω rotation και scale, ενώ ευθυγραμμίζω σωστά τον mirror axis. Επαναλαμβάνω τη διαδικασία και στο high-poly μοντέλο και αφού ορίσω το 3D Cursor στο World Origin ξανακάνω Set Origin to 3D Cursor και στα δύο objects όπου τελικά προκύπτει το ορθό αποτέλεσμα του Mirror.

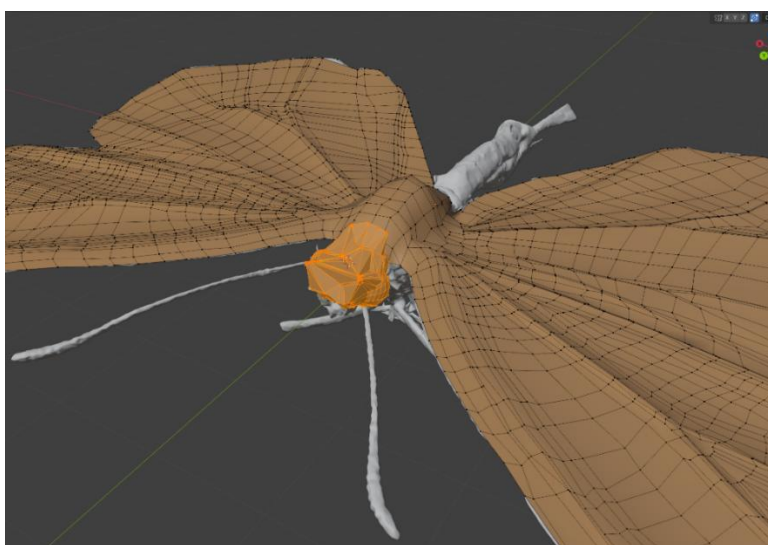
Στη συνέχεια, σε edit mode με το εργαλείο Poly Build ξεκινώ να επεκτείνω τα faces ακολουθώντας την πορεία των νεύρων που σχηματίζονται πάνω στην επιφάνεια της πεταλούδας όπως φαίνεται στην εικόνα 2.21. Στην πορεία αλλάζω την εντολή από snap to face σε snap to vertex, έτσι ώστε τα vertices να κολλάνε απευθείας στα γειτονικά vertices χωρίς να αφήνει κενά. Επίσης, σε περιπτώσεις που οι διακλαδώσεις ξεκινούν από τη μέση του φτερού δημιουργώ νέο loop cut για να καλύψω τα νεύρα.



Εικόνα 4.21: Δημιουργία faces ακολουθώντας την πορεία των νεύρων πάνω στην επιφάνεια της πεταλούδας με το εργαλείο Poly Build.

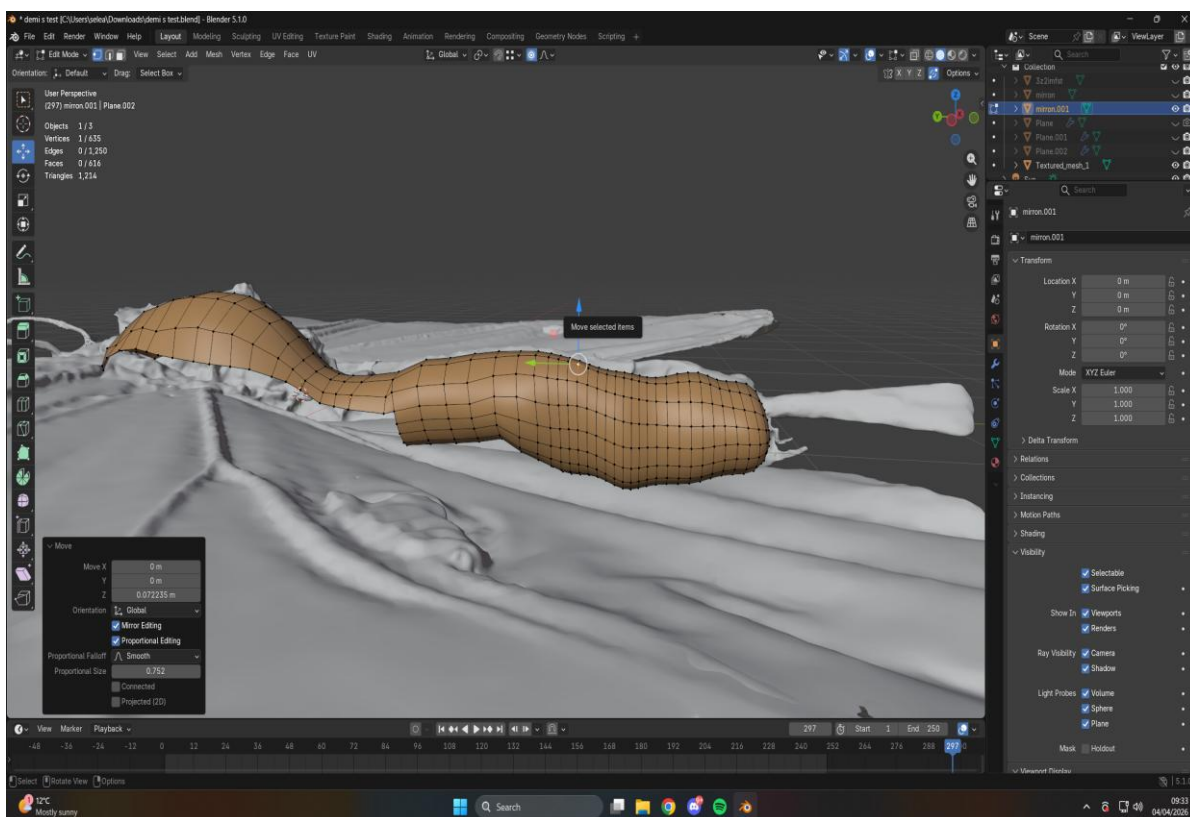
Ορισμένα σημεία που είδα ότι θέλουν προσοχή και βοηθάνε στην ομαλή τοποθέτηση των faces, είναι το να βλέπεις το μοντέλο από τη σωστή οπτική γωνία, ώστε και ο αλγόριθμος να έχει την εικόνα των διάφορων υψόμετρων και να δίνει στα faces τη σωστή κλίση για να ακολουθούν την πορεία των καμπυλών. Επίσης, κάτι άλλο σημαντικό είναι ότι οι μεγάλες και επίπεδες επιφάνειες απαιτούν και μεγάλα faces, αλλιώς τα μικρά faces μπορούν να προκαλέσουν παραμόρφωση. Ωστόσο, παρατήρησα πως ο αριθμός των faces στην κάθε σειρά πρέπει να αντιστοιχεί με τον αριθμό των faces στις υπόλοιπες σειρές, ώστε να υπάρχει και αντιστοίχιση των vertices. Σε αντίθετη περίπτωση, τα vertices που δεν ενώνονται με άλλα vertices, δημιουργούν κενό ανάμεσα στα faces και άρα μια μη συνεχή επιφάνεια, όπου στη συνέχεια κατά το UV Mapping θα προκαλέσει προβλήματα στην τοποθέτηση των υφών.

Συνεχίζω να δημιουργώ νέα faces μέχρι να καλυφθεί όλη η επιφάνεια των φτερών και έπειτα κάνω extrude τα vertices προς τα πάνω, ώστε να διαμορφώσω το σχήμα του κορμού με το κεφάλι, την κοιλιά και την ουρά. Ωστόσο, αντιμετωπίζω αρκετές δυσκολίες, καθώς τα νέα faces που τοποθετούνται με snapping, με βάση το high poly μοντέλο, δημιουργούν παραμορφωμένες επιφάνειες (βλ. εικόνα 4.22). Για τον λόγο αυτό και σύμφωνα με τις συστάσεις του E7 (βλ. Παράρτημα σ. 105), διαγράφω όλα τα faces στον κορμό και ξαναρχίζω τη διαδικασία από την αρχή, απενεργοποιώντας την εντολή snap. Επιπρόσθετα, φροντίζω ώστε ο αριθμός των vertices του κορμού, να αντιστοιχούν με εκείνα των φτερών ώστε να γίνεται ομαλή μετάβαση χωρίς να δημιουργούνται ανομοιομορφίες στις επιφάνειες.



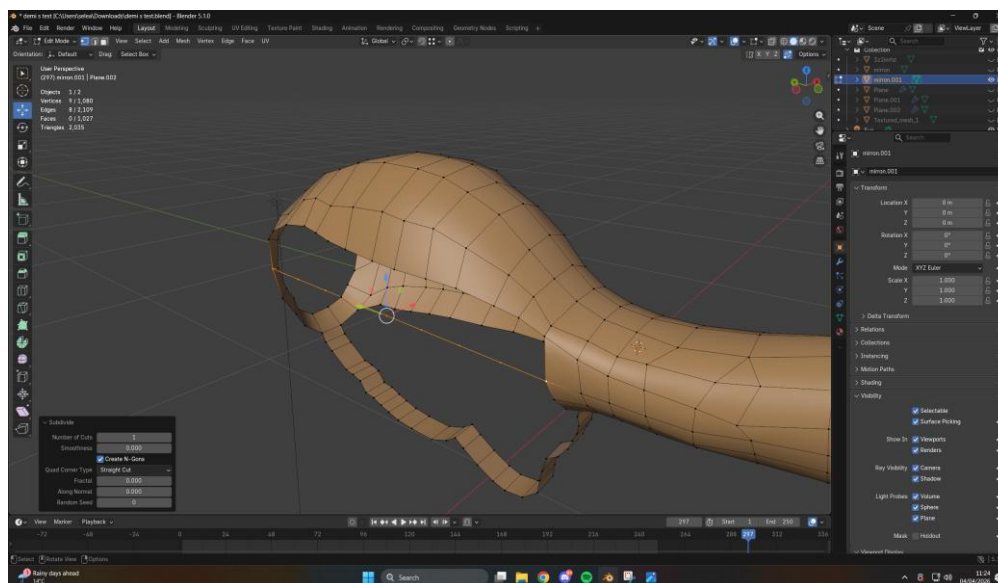
Εικόνα 4.22: Η παραμόρφωση σε κεφάλι και κορμό που προέρχεται από την τοπολογία του high poly μοντέλου και τη χρήση του εργαλείου snap.

Για την μοντελοποίηση της ουράς, συνεχίζω να κάνω extend τα faces προς τα πίσω μέχρι να φτάσω στο τέλος και γυρνώντας το μοντέλο από διάφορες γωνίες για να βρω τη σωστή θέση, εφόσον δεν έχω πλέον ενεργοποιημένο το snap tool (βλ. εικόνα 4.23). Για να δημιουργήσω την αίσθηση του κυψελοειδούς σχήματος επιλέγω τα faces και με scale τα μικραίνω, έως ότου πάρουν το χαρακτηριστικό βαθύλωμα, όπως φαίνεται από κάτω στο high poly μοντέλο.



Εικόνα 4.23: Χτίσιμο βασικού σχήματος της ουράς με extend των faces από τον κορμό.

Στη συνέχεια, αρχίζω να φτιάχνω την κοιλιά, η οποία βρίσκεται στο κάτω μέρος του κορμού. Για να το επιτύχω αυτό, δημιουργώ μια σειρά από faces στη μπροστινή πλευρά του κορμού, ώστε να επιλέγω ένα vertice από τη μια πλευρά κι ένα από την άλλη δημιουργώντας ένα edge ανάμεσά τους σαν γέφυρα. Έπειτα, κάνω το νέο edge subdiviide όσες φορές χρειαστεί, ώστε να προκύψει ο ίδιος αριθμός vertices με αυτόν του κορμού που βρίσκονται από πάνω (βλ. εικόνα 4.24).



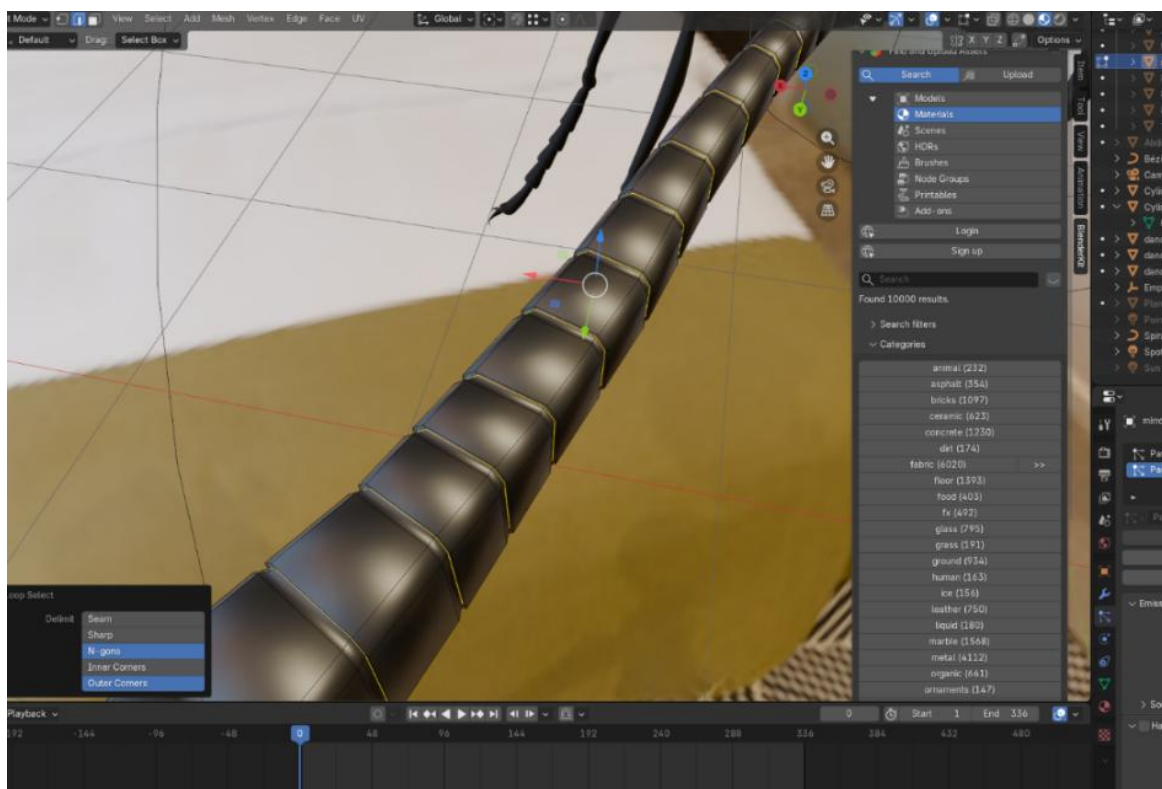
Εικόνα 4.24: Δημιουργία κοιλιάς με την επιλογή των ακριανών vertices και δημιουργία νέου edge.

Ακολουθως, σχηματίζω μια νέα γραμμή vertices, οριζόντια αυτή τη φορά, επιλέγοντας vertices από κάθε άκρη και μετακινώντας τα για να πάρουν τη σωστή θέση.. Συνεχίζω τη διαδικασία έως ότου ολοκληρώσω το σχηματισμό της κοιλιάς και στη συνέχεια επιλέγω τα vertices από την πάνω πλευρά, για να σχηματίσω το κεφάλι, με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Εφόσον ολοκληρώσω το βασικό σχήμα του προσώπου με τα μάτια, προχωρώ στις κεραίες. Περιστρέφοντας το μοντέλο ώστε να εντοπίσω τη σωστή θέση από την οποία ξεκινάει η κεραία, επιλέγω ένα face και το κάνω extend προς την κατεύθυνση που θέλω. Προχωρώ προς τα πάνω μέχρι να σχηματιστεί όλη η κεραία σε ροπαλοειδές σχήμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.25.



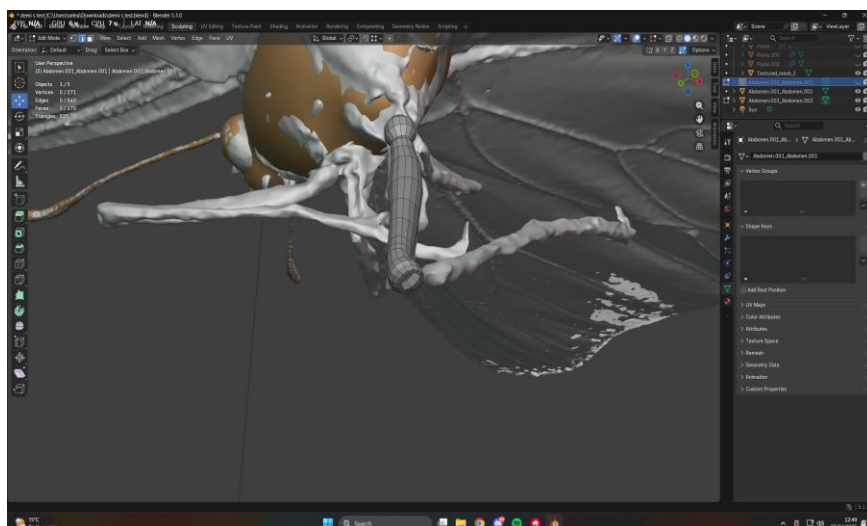
Εικόνα 4.25: Άποψη του ολοκληρωμένου κεφαλιού και της κεραίας. Επεξεργασία του τελευταίου face ώστε να αντιστοιχεί στη σωστή θέση με αυτή του οδηγού- high poly μοντέλου που βρίσκεται από κάτω.

Για να δημιουργήσω την αρθρωτή δομή που ακολουθεί το σταδιακά μεταβαλλόμενο κωνικό σχήμα της κεραίας, επιλέγω όλα τα loops, κάνω bevel μπρος και πίσω από το κάθε loop και αφού επιλέξω το μεσαίο loop, τα μετακινώ προς τα μέσα και πίσω για να σχηματίσω την καμπύλη ανάμεσα στα επί μέρους τμήματα, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 4.26.



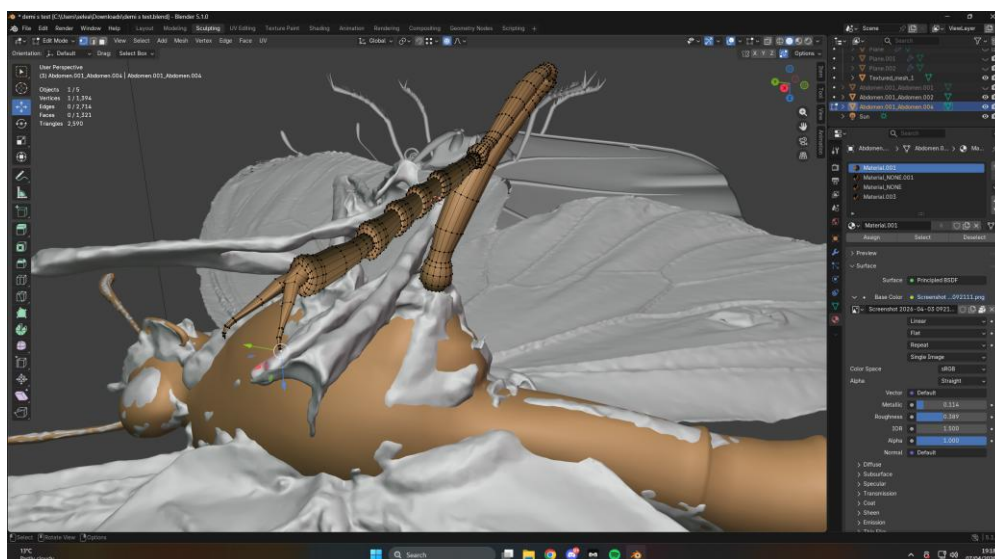
Εικόνα 4.26: Εφαρμογή bevel στα loops για τη δημιουργία καμπυλών με βάση την αρθρωτή δομή.

Συνεχίζω με τη δημιουργία των ποδιών, και καθώς στην πρώτη απόπειρα αντιμετώπισα πολλές δυσκολίες που σχετίζονται με την παραμόρφωση του ποδιού (που είχε ως βάση του το μοναδικό υγιές πόδι), αποφασίζω να εισάγω ένα καθαρό μοντέλο άλλης πεταλούδας με πόδια όμοια με αυτά της *Danaus chrisipus*, όπου θα το έχω σαν οδηγό. Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε με στόχο την απόδοση ακρίβειας και ρεαλισμού στα λεπτά χαρακτηριστικά της πεταλούδας. Έτσι, εισάγω το νέο καθαρό μοντέλο μέσα στο Blender και ξεκινώ τη δημιουργία του νέου ποδιού κάνοντας add ένα sphere. Κάνοντας extend τα vertices στην άκρη της σφαίρας, το επιμηκύνω μέχρι να καλύψει την επιφάνεια του πάνω μέρους του ποδιού, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.27.



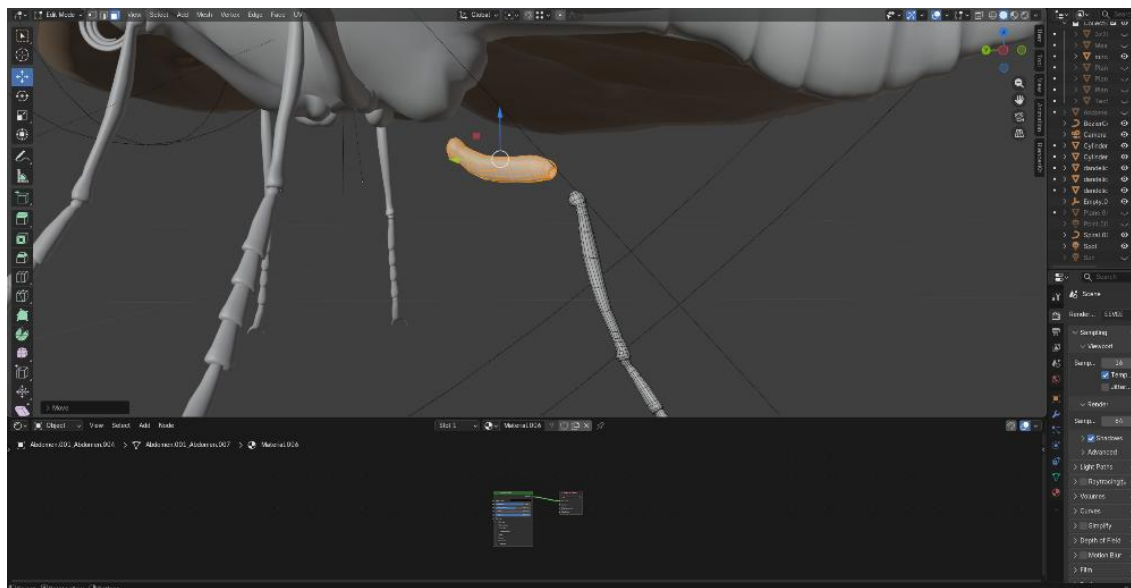
Εικόνα 4.27: Σχηματισμός ποδιού με τη δημιουργία σφαίρας και extend.

Έπειτα, για να δημιουργήσω τα διάφορα επίπεδα στο κάτω μέρος του ποδιού, επιλέγω τα ανάλογα faces στην κάτω άκρη, τα κάνω duplicate και τα μετακινώ προς τα κάτω, ώστε να πάρουν την ίδια θέση με αυτήν στον οδηγό που βλέπω από δίπλα. Συνεχίζω την ίδια διαδικασία μέχρι να φτάσω στο τέλος, όπου σχηματίζω και τη λεπτομέρεια με τα δύο γαμψά δάχτυλα, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.28. Εφόσον ολοκληρώσω το βασικό σχήμα, το πολλαπλασιάζω 3 φορές ώστε να έχω 4 πόδια και τα τοποθετώ στη σωστή θέση, κάτω από την κοιλιά.



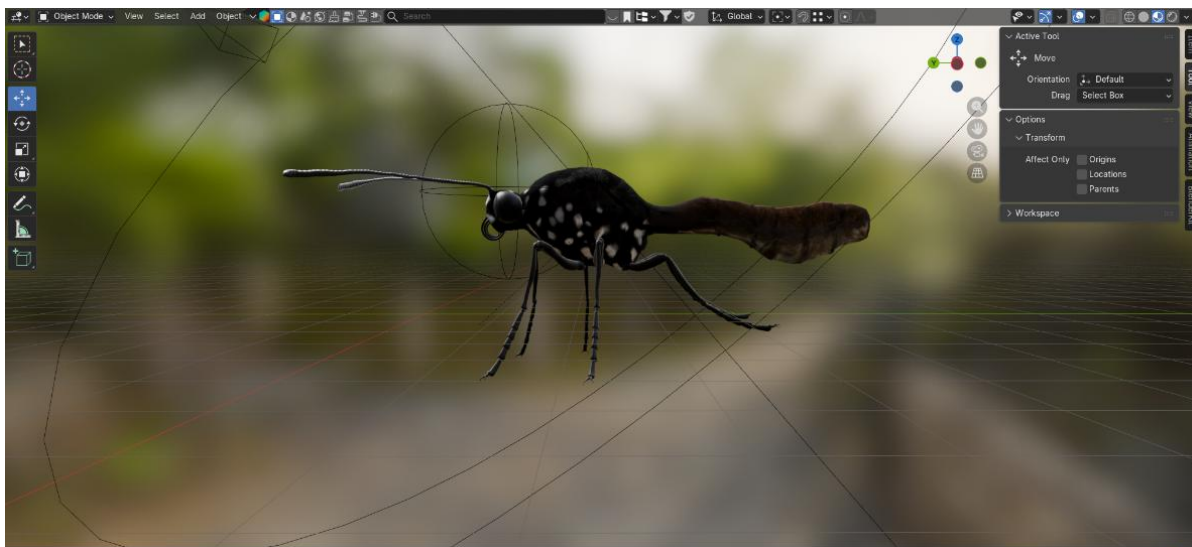
Εικόνα 4.28: Δημιουργία διάφορων επιπέδων στο κάτω μέρος του ποδιού με την εντολή duplicate και move των αντίστοιχων faces.

Στη συνέχεια, δημιουργώ τα 2 πίσω πόδια, τα οποία έχουν διαφορετικό σχήμα, θέση και κλίση από τα μπροστινά. Χρησιμοποιώ για βάση ένα υφιστάμενο πόδι από τα μπροστινά και το τροποποιώ για να το φέρω όσο πιο κοντά γίνεται στο σχήμα και μέγεθος του πίσω ποδιού, που έχω σαν πρότυπο. Αρχικά μικραίνω και χοντραίνω το πάνω μέρος του ποδιού επιλέγοντας τα αντίστοιχα vertices, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.29.



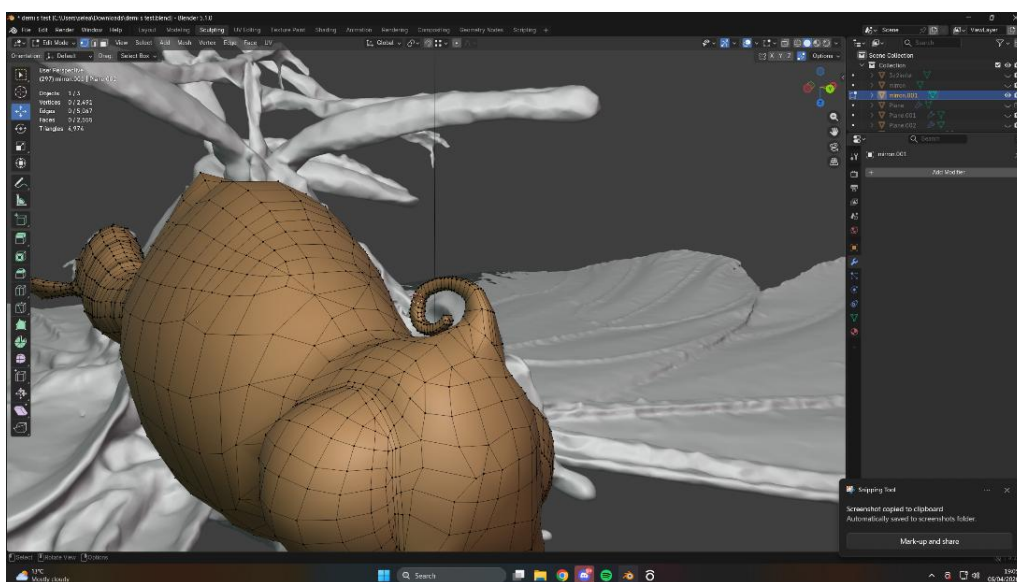
Εικόνα 4.29: Επεξεργασία του πάνω μέρος του ποδιού με την επιλογή των αντίστοιχων vertices και rotate, scale.

Έπειτα, επεξεργάζομαι και το κάτω μέρος του ποδιού και με την εντολή proportional editing μετακινώ ένα-ένα τα επί μέρους κομμάτια σε σχήμα κώνου του κάτω μέρους του ποδιού, ώστε να δημιουργηθεί η αντίστοιχη καμπύλη. Εφόσον τελειώσω με το σχήμα του ποδιού, το τοποθετώ στη σωστή θέση παράλληλα με τον κορμό αυτή τη φορά, στο πίσω μέρος και με mirror modifier δημιουργώ και το δεύτερο πόδι. Επεξεργάζομαι και τα 2 ξεχωριστά, επιλέγοντας το Origins στο Affect Only, ώστε να μην επηρεάζεται και το άλλο πόδι. Στην εικόνα 4.30 απεικονίζεται το τελικό αποτέλεσμα του κορμού και των ποδιών μετά την τοποθέτηση και των 6 ποδιών, με έντονη τη διαφορά ανάμεσα στα δύο είδη ποδιών, στο σχήμα και τη θέση.



Εικόνα 4.30: Side View της πεταλούδας μετά την επεξεργασία και τοποθέτηση και των 6 ποδιών.

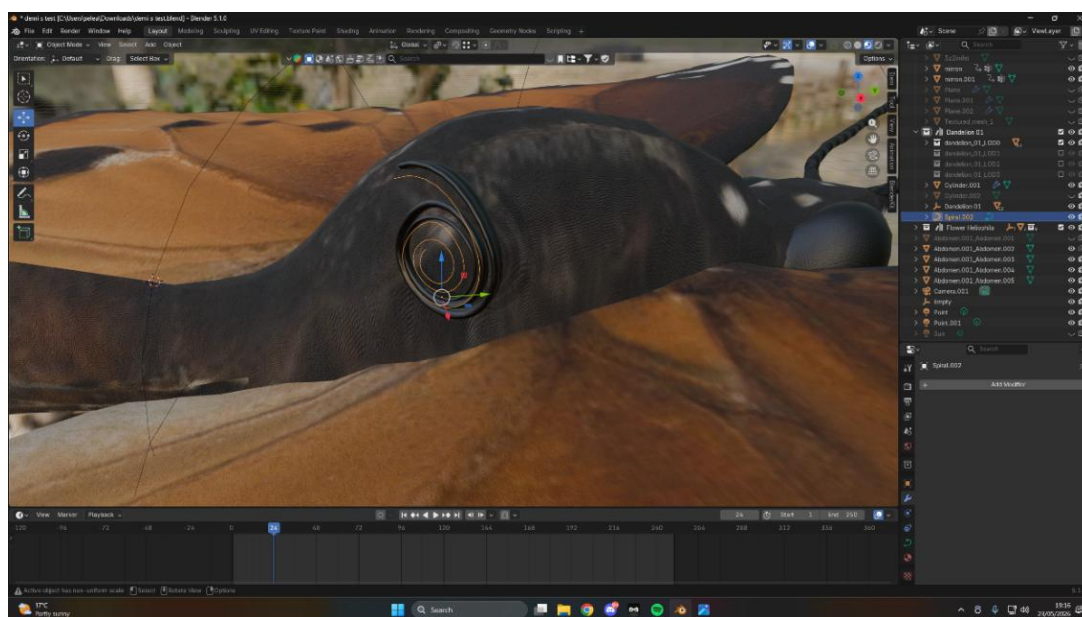
Στο σημείο αυτό, ακολουθεί η δημιουργία της προβοσκίδας. Εντοπίζω το σημείο στο κεφάλι της πεταλούδας από το οποίο ξεκινά και κάνω extrude τα faces προς τα έξω και προς τα κάτω για να δημιουργήσω το χαρακτηριστικό σχήμα της σπείρας. Ωστόσο, πρόκειται για μια αποτυχημένη χειροκίνητη προσπάθεια, καθώς το αποτέλεσμα είναι εντελώς απογοητευτικό (βλ. εικόνα 4.31).



Εικόνα 4.31: Αποτυχημένη προσπάθεια επεξεργασίας της προβοσκίδας.

Για τον λόγο αυτό, επιχειρώ να δώσω το σωστό σχήμα της σπείρας πιο μεθοδευμένα. Συγκεκριμένα, κάνω add -> curve -> spiral (logarithmic) για να έχω το βασικό σχήμα της σπείρας και στη συνέχεια δημιουργώ έναν ανεξάρτητο κύλινδρο, του οποίου δίνω το πάχος

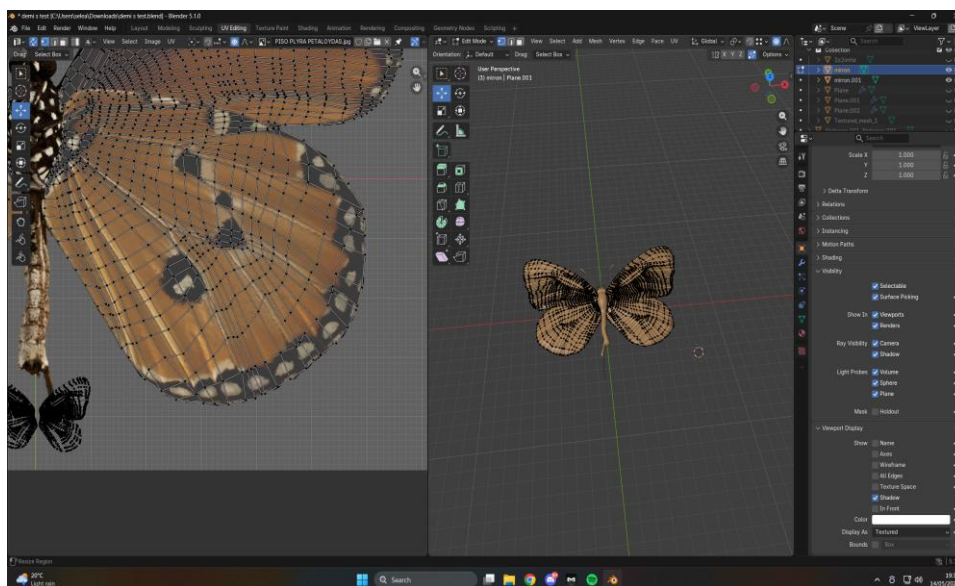
και μήκος που αντιστοιχεί στο μήκος της προβοσκίδας. Στις δύο άκρες επεξεργάζομαι το πάχος, ώστε στο τέλος του κυλίνδρου να είναι λεπτό. Έπειτα, κάνω subdivide των 100 loops για να δημιουργήσω τις καμπύλες που σχηματίζονται στην επιφάνεια της προβοσκίδας, και αφού ολοκληρώσω το σχήμα που θέλω, επιλέγω add-> modifier ->curve επιλέγοντας το spiral που είχα δημιουργήσει πριν, προκειμένου ο κύλινδρος να πάρει το τελικό του σχήμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.32.



Εικόνα 4.32: Τελικό σχήμα προβοσκίδας μετά την εφαρμογή του Modifier Curve.

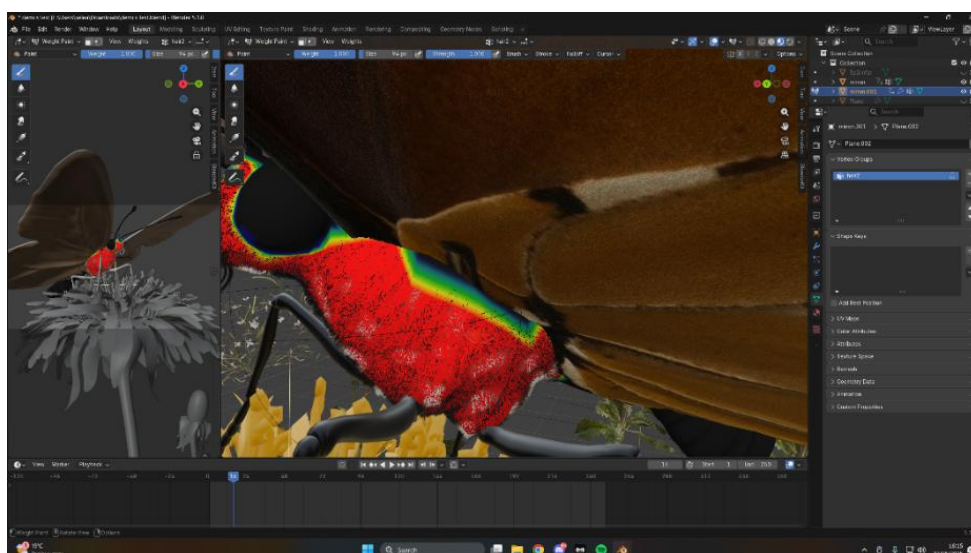
4.3.1.5 Στάδιο 5: UV Mapping

Για να εφαρμόσω το βασικό texture στην επιφάνεια των φτερών, σε edit mode και top view επιλέγω τα faces της πάνω πλευράς των φτερών και με δεξί κλικ κάνω Unwrap --> Project from View. Στη συνέχεια, επιλέγω το texture της πεταλούδας που έχω ήδη επεξεργαστεί στο Photoshop και παρατηρώ πως η εικόνα αναφοράς εμφανίζεται πάνω από το μοντέλο στο παράθυρο του UV Editor που έχω στο πλάι, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.49. Κατόπιν, επιλέγω τμηματικά τα vertices που θέλουν τροποποίηση, προκειμένου η εικόνα να εφαρμοστεί ομοιόμορφα πάνω στο σχήμα του μοντέλου. Το τελικό αποτέλεσμα απεικονίζεται στην εικόνα 4.33. Εφαρμόζω την ίδια διαδικασία και για την κάτω πλευρά της πεταλούδας.



Εικόνα 4.33: Εφαρμογή υφών με Project from View σε UV Editor.

Για να δημιουργήσω τις μικρές τρίχες στην περιοχή του κορμού, μέσα από το Weight paint mode, δημιουργώ νέο Vertex Group και επιλέγω τις περιοχές που πρέπει να εφαρμοστεί τριχώμα με particles, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.34. Αφού λοιπόν επιλέξω τα ανάλογα vertices, δημιουργώ νέο Particle System επιλέγοντας Hair αντί για Emitter. Στα Settings των particles επιλέγω το vertex group που δημιούργησα στην αρχή, ώστε οι τρίχες να εφαρμοστούν μόνο στα συγκεκριμένα μέρη.

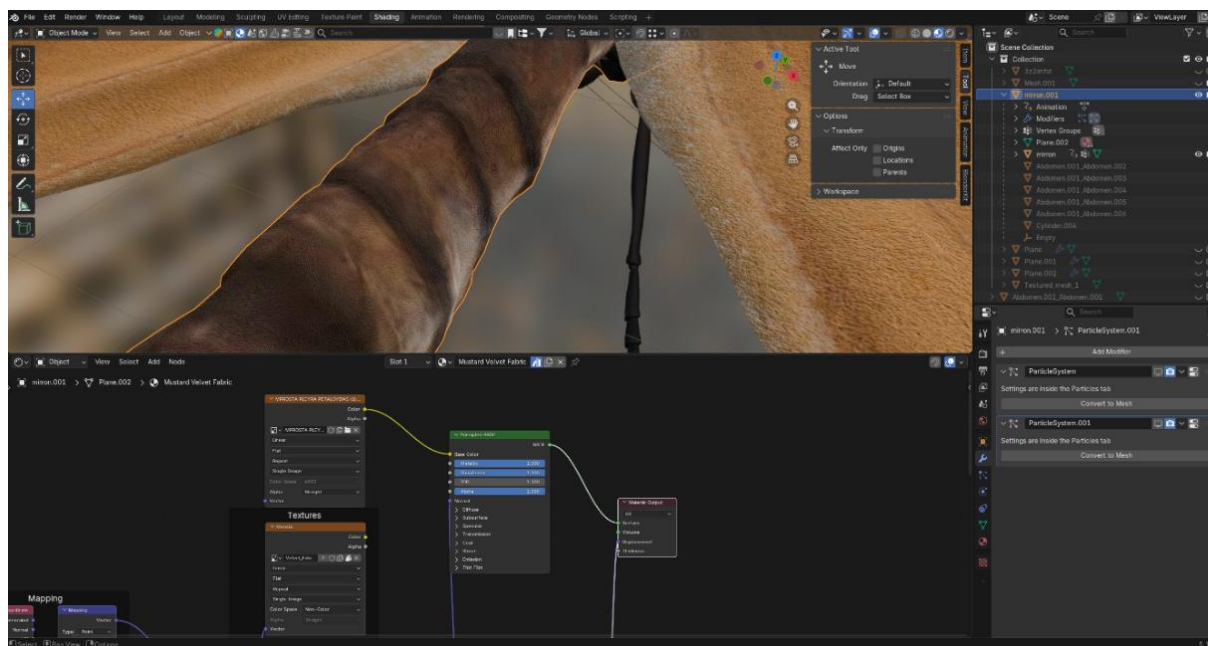


Εικόνα 4.34: επιλογή περιοχών μέσα στο Weight Paint Mode για εφαρμογή τριχώματος.

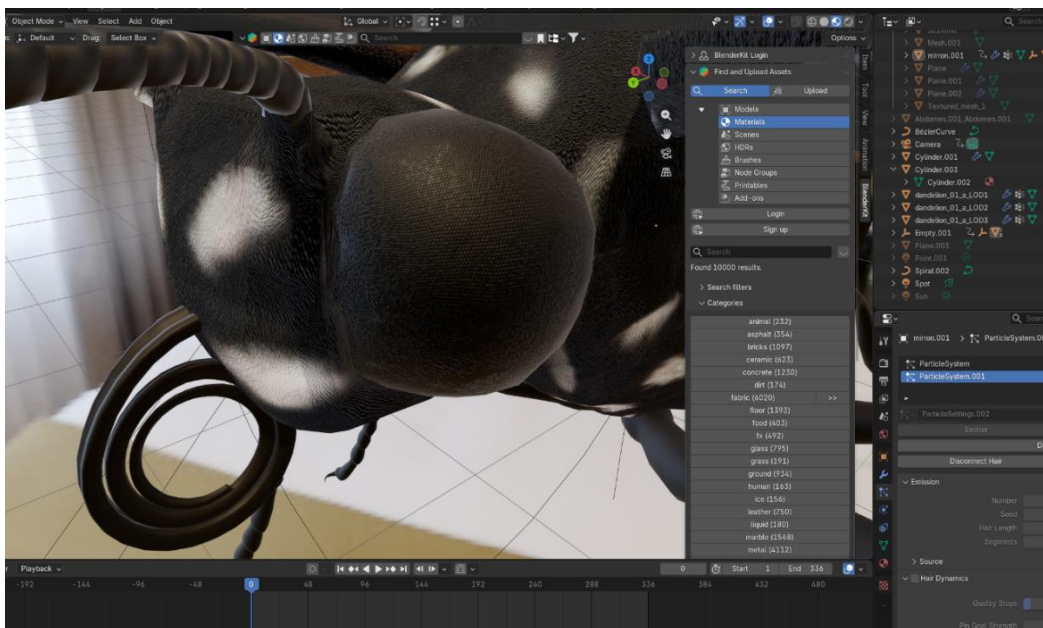
Στη συνέχεια ρυθμίζω διάφορες παραμέτρους όπως: hair length, thickness, clumping και Brownian. Ειδικότερα τα δύο τελευταία που αναφέρθηκαν ήταν πολύ σημαντικά ώστε να

δώσουν στις τρίχες διαφορετική κατεύθυνση και σχήμα για να αποδίδει ρεαλισμό. Μια ακόμα σημαντική ρύθμιση για την πυκνότητα του τριχώματος είναι το πεδίο Children, κατά το οποίο ορίζεται η τιμή πολλαπλασιασμού της κάθε τρίχας.

Για να προσδώσω πιο ρεαλιστική υφή στις επιφάνειες της πεταλούδας, χρησιμοποιώ το BlenderKit, το οποίο έχω κατεβάσει από την ιστοσελίδα του Blender. Για να εφαρμόσω το material που επιθυμώ στην κάθε επιφάνεια το κάνω drag & drop από τη βιβλιοθήκη του BlenderKit που εμφανίζεται στο πάνω μέρος του viewport και μέσα από τα nodes επιλέγω το texture του base color που είχα αρχικά, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.35. Τα συγκεκριμένα materials αναδεικνύουν την βελούδινη και ματ υφή, όπως την περιέγραψε η ερευνητική ομάδα βιολόγων. Στην περίπτωση των ματιών, εφαρμόστηκε material με κυψελωτό ανάγλυφο σχήμα που πλησιάζει στην πραγματική υφή των ματιών της πεταλούδας (βλ. εικόνα 4.36).



Εικόνα 4.35: Εφαρμογή materials μέσα από το BlenderKit για πιο ρεαλιστική απόδοση υφών και επεξεργασία του μέσα από τα Nodes.



Εικόνα 4.36: Εφαρμογή material από το BlenderKit στην επιφάνεια των ματιών για να προσδώσει το ανάγλυφο και κυψελωτό σχήμα.

Τέλος, ολοκληρώνοντας το modeling και texturing του μοντέλου, το ελέγγω από όλες τις γωνίες για τυχόν ατέλειες και συγκρίνοντάς το με το high poly μοντέλο που βρίσκεται από κάτω, παρατηρώ πως οι φλέβες στα φτερά είναι πιο επίπεδες από όσο πρέπει. Για να τις τονίσω λίγο περισσότερο, επιλέγω τα κεντρικά edges σε κάθε φλέβα και τα μετακινώ προς τα πάνω.

Αφού ολοκληρώσω τη μοντελοποίηση, για να προσδώσω μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση της πεταλούδας, δημιουργώ ένα απλό σκηνικό με objects και εικόνες που βρίσκω μέσα στο BlenderKit και τοποθετώ το 3D μοντέλο πάνω σε ένα λουλούδι, στο φυσικό του περιβάλλον. Στην εικόνα 4.37 απεικονίζεται η πεταλούδα σε side view που κάθετα πάνω σε ένα ταραξάκο, με την τελική της μορφή. Στην παρούσα φάση, έχω ένα low poly 3D μοντέλο με ακρίβεια στις λεπτομέρειες και τις υφές, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για animation, αφού πρώτα γίνει rigged ή απ' ευθείας όπως είναι από εφαρμογές AR/VR, για την παρατήρηση και εξερεύνηση του από το κοινό.



Εικόνα 4.37: Τελική μορφή 3D μοντέλου σε σκηνή που να μοιάζει με το φυσικό της περιβάλλον.

(πηγή: από προσωπικό αρχείο ερευνήτριας στο https://houtest-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/std533323_ac_eap_gr/IgCVgDJMbH_ARacng11AJyN4AfUYEMK61ucBwp08tiGk9fU?e=vF4zhh)

Συμπερασματικά, η μέθοδος της φωτογραμμετρίας απαιτεί την εξεύρεση διαφορετικών τεχνικών καθαρισμού κατά περίπτωση, προκειμένου να εξαχθεί ένα αψεγάδιαστο υψηλών προδιαγραφών τρισδιάστατο μοντέλο, για την περεταίρω χρήση του στην εκμάθηση και το πεδίο έρευνας της βιολογίας.

Κεφάλαιο 5: Περιορισμοί

Στην πορεία της έρευνάς μου, προέκυψαν αρκετές προκλήσεις και περιορισμοί, οι οποίοι σχετίζονται αποκλειστικά με το ιδιαίτερο πλέγμα του 3D μοντέλου της πεταλούδας. Συνήθως, τα μοντέλα που προορίζονται για φωτογραμμετρία πρέπει να πληρούν κάποιες προδιαγραφές όπως: ματ επιφάνειες χωρίς γυαλάδες και ανακλάσεις, αντικείμενα με όγκο και όχι επίπεδα, απλά γεωμετρικά σχήματα, επιφάνειες χωρίς επαναλαμβανόμενα μοτίβα και γωνίες που να διαφοροποιούν ξεκάθαρα το σχήμα. Καθώς το 3D μοντέλο πεταλούδας που μου δόθηκε δεν πληρούσε αυτές τις προδιαγραφές, έπρεπε να κάνω μια έρευνα για να αναζητήσω λύσεις στα προβλήματα που παρουσιάστηκαν, λόγω κακού πλέγματος κατά την ανακατασκευή του.

Τα προβλήματα αυτά επιλύθηκαν κατά βάση μέσα από τη συζήτηση με ειδικούς στο πεδίο της φωτογραμμετρίας, ψηφιακής ανακατασκευής και ρετοπολογίας, και έπειτα από προσωπική έρευνα στο διαδίκτυο. Οι συνεχείς πειραματισμοί και τροποποίηση των μεθόδων που ακολουθούσα προχωρούσαν την έρευνα μου ένα βήμα μπροστά κάθε φορά, παρ' ότι οι προσπάθειες μου αποτύγχαναν.

Πέρα από το προβληματικό πλέγμα, αντιμετώπισα δυσκολίες με τη διαδικασία ρετοπολογίας και νέων faces πάνω στο low poly μοντέλο, καθώς επειδή εργαζόμουν με snap tool πάνω στο high poly μοντέλο, οι παραμορφώσεις στις επιφάνειες μεταφέρονταν από το ένα μοντέλο αυτόματα στο άλλο. Με την απενεργοποίηση του snap tool, την εισαγωγή εξωτερικών μοντέλων, τη φυσική παρατήρηση του δείγματος και χειροκίνητη τοποθέτηση των faces, κατάφερα να προσπεράσω το πρόβλημα της παραμόρφωσης και να αποκτήσω τελικά ένα ομοιόμορφο, ρεαλιστικό και λεπτομερές μοντέλο πεταλούδας. Ωστόσο, η διαδικασία τελικά αποδείχτηκε αρκετά χρονοβόρα σε σχέση με την αρχική θεωρία της φωτογραμμετρίας που περιγράφει την όλη διαδικασία απλή και σύντομη.

Ένας άλλος περιορισμός έχει να κάνει γενικότερα με τη φωτογραμμετρία και τη μέθοδο Structure from Motion, που εφαρμόζεται σε έντομα και ερπετά για την ανακατασκευή του γενικού σχήματός τους. Η παρουσία σημαντικών γεωμετρικών παραμορφώσεων σε μορφολογικά χαρακτηριστικά όπως τα πόδια, το κεφάλι, οι κεραίες και τα μάτια -ακόμα και στο απλό γεωμετρικά σχήμα του κορμού- δεν επέτρεψαν τη διόρθωσή τους μέσω των συνήθων διαδικασιών καθαρισμού και επεξεργασίας νέφους σημείων ή πλέγματος. Ως εκ τούτου, κρίθηκε απαραίτητη η πλήρης διαγραφή των τμημάτων αυτών και η εκ νέου μοντελοποίησή τους στο Blender, διαδικασία που ξεφεύγει από την τυπική μέθοδο του retopology.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και προοπτικές εξέλιξης

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερεύννησε τη δυνατότητα αξιοποίησης τρισδιάστατων μοντέλων από εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας, ως εργαλείο για την εκμάθηση βιολογίας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Μέσα από ποιοτική έρευνα που αφορά εφαρμογές AR που δοκιμάστηκαν σε σχολεία, εξετάστηκε το κατά πόσο μπορούν αυτά τα τεχνολογικά εργαλεία να επηρεάσουν το κίνητρο και τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών. Παράλληλα, εξετάστηκαν μέθοδοι για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας και του gaussian splatting και ακολούθως για την επεξεργασία τους μέσω του σύννηθες καθαρισμού και της ρετοπολογίας.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στο πρώτο ερευνητικό ερώτημα «Σε ποιο βαθμό δύναται η χρήση της τεχνολογίας να βελτιώσει τη χωρική σκέψη και την οπτικοποίηση αφηρημένων βιολογικών δομών;», τα ευρήματα έδειξαν ότι η οπτικοποίηση αφηρημένων εννοιών μπορεί να βελτιώσει τον τρόπο που αντιλαμβάνονται οι μαθητές τις διεργασίες που συντελούνται στο σύμπαν, και πως εάν μια πληροφορία συνοδεύεται από εικόνα είναι πιο εύκολο να την αφομοιώσει κανείς. Όπως προαναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο, η χωρική σκέψη μπορεί να ενισχυθεί με οπτικές αναπαραστάσεις όπως τα 3D μοντέλα, οι οπτικές αναπαραστάσεις και τα διαδραστικά περιβάλλοντα. Όταν ένας μαθητής παρακολουθήσει τον τρόπο με τον οποίο διπλώνεται μια πρωτεΐνη μέσα από την οθόνη του κινητού και έχει αλληλεπιδράσει με αυτήν, τότε ο εγκέφαλος θα αφομοιώσει πολύ περισσότερο την πληροφορία αυτή. Συνεπώς, τα σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία, όπως είναι στην προκειμένη περίπτωση οι εφαρμογές AR, δύναται να συμβάλλουν στην ανάπτυξη της χωρικής σκέψης και κατ' επέκταση να διευκολύνουν στην κατανόηση των βιολογικών διεργασιών, μειώνοντας το γνωστικό φορτίο και αυξάνοντας την επίδοση των μαθητών.

Όσον αφορά στο δεύτερο ερευνητικό ερώτημα «Κατά πόσο αυξάνει η χρήση εφαρμογών AR το ενδιαφέρον, το κίνητρο και την ενεργή συμμετοχή των συμμετεχόντων στο μάθημα της βιολογίας, και σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας; », η έρευνα έδειξε πως όταν οι μαθητές αλληλεπιδρούσαν με εφαρμογές AR στο smartphone τους, κατά το μάθημα της βιολογίας, το ενδιαφέρον τους έμενε αμείωτο, όπως και η συγκέντρωσή τους. Ταυτόχρονα, μέσα από το παιχνίδι και τη διασκέδαση αυξανόταν το κίνητρο για γνώση και μαζί με αυτό και τα μαθησιακά αποτελέσματα. Η ενεργή συμμετοχή των παιδιών στο μάθημα, έναντι των παραδοσιακών μεθόδων εκμάθησης, όπως είναι το δασκαλοκεντρικό

σύστημα που εφαρμόζεται ακόμα στην Εκπαίδευση σε Ελλάδα και Κύπρο, μπορεί να ενισχύσει το κίνητρο και το ενδιαφέρον των μαθητών.

Όσον αφορά στο τρίτο ερευνητικό ερώτημα «Σε ποιες παιδαγωγικές προσεγγίσεις μπορούν να ενσωματωθούν τα τρισδιάστατα μοντέλα και η επαυξημένη πραγματικότητα στην Εκπαίδευση σε Ελλάδα και Κύπρο, ώστε να αποδώσουν λειτουργικά;», η έρευνα έδειξε πως τα 3D μοντέλα και οι εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας μπορούν να ενσωματωθούν στο σύστημα της Ελλάδας και της Κύπρου πιλοτικά, καθώς απαιτείται μετατόπιση από το παραδοσιακό δασκαλοκεντρικό μοντέλο προς πιο μαθητοκεντρικές μορφές διδασκαλίας που προωθούν την ενεργητική συμμετοχή του μαθητή και τη βιωματική μάθηση. Γενικότερα, η διερευνητική μάθηση, επιτρέπει στους μαθητές να παρατήσουν και να εξερευνούν υποθέσεις που σχετίζονται με βιολογικές δομές και φαινόμενα μέσα από την αλληλεπίδραση. Τα εργαλεία αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν στο πλαίσιο της συνεργατικής μάθησης, παρακινώντας τους μαθητές να μάθουν να εργάζονται σε ομάδες και να αναλύουν και ερμηνεύουν σε συνεργασία με τους συμμαθητές τους τα φαινόμενα, όπως περιγράφεται από τον όρο μάθηση μέσω έργου (Project-Based Learning).

Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, λόγω του ότι η διδασκαλία στο εκπαιδευτικό σύστημα σε Ελλάδα και Κύπρο εξακολουθεί να βασίζεται στη μετάδοση γνώσεων από τον δάσκαλο προς τον μαθητή, η αξιοποίηση τέτοιων τεχνολογικών εργαλείων μπορεί να περιορίζεται σε υποστηρικτικό ρόλο. Ως εκ τούτου, τα τρισδιάστατα μοντέλα και οι εφαρμογές AR θα μπορούσαν στην παρούσα φάση να λειτουργήσουν ως εποπτικά μέσα που διευκολύνουν την κατανόηση και αφομοίωση βιολογικών εννοιών και διεργασιών από τους μαθητές.

Όσον αφορά το τέταρτο ερευνητικό «Μπορεί ένα 3D μοντέλο που έχει προκύψει από τη φωτογραμμετρία και τη μέθοδο του SfM να χρησιμοποιηθεί από AR εφαρμογές που προορίζονται για χρήση σε σχολικές αίθουσες στο μάθημα της βιολογίας; Με ποια προσέγγιση μπορούν να επιλυθούν οι όποιες δυσκολίες και ποια βήματα θα πρέπει να γίνουν προκειμένου το 3D μοντέλο να τηρεί όλες τις προδιαγραφές για περεταίρω επεξεργασία;» τα ευρήματα έδειξαν πως ένα 3D μοντέλο που έχει προκύψει από τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας και του SfM μπορεί να χρησιμοποιηθεί από εφαρμογές AR, ύστερα όμως από μια σειρά στοχευμένων μεθόδων επεξεργασίας και καθαρισμού του. Συγκεκριμένα, για να μπορέσει να γίνει rigged και animated ή ακόμα και χρήση του απλού καθαυτού 3D

μοντέλου θα πρέπει να διορθωθεί η τοπολογία, γεωμετρία και τα παραμορφωμένα μέρη που έχουν προκύψει από την ανακατασκευή. Στην παρούσα έρευνα, οι συνήθεις τρόποι καθαρισμού του μοντέλου πεταλούδας από διάφορα λογισμικά δεν ήταν αρκετά για να διορθώσουν τα παραπάνω προβλήματα. Έτσι, ακολουθήθηκε η μέθοδος της ρετοπολογίας και το χτίσιμο του low poly μοντέλου από την αρχή, με βάση το αρχικό high poly παραμορφωμένο μοντέλο. Το γεγονός λοιπόν ότι απαιτήθηκε η ρετοπολογία και η εκ νέου μοντελοποίηση των περισσότερων λεπτομερών ανατομικών χαρακτηριστικών, υποδεικνύει ότι η μέθοδος της φωτογραμμετρίας δεν συστήνεται για την ανακατασκευή αρθρωπόδων και άλλων πλασμάτων με λεπτά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, με την κατάλληλη επεξεργασία, το 3D μοντέλο μπορεί να αποτελέσει ένα υψηλής ευκρίνειας δείγμα για την προσαρμογή και χρήση του από εφαρμογές AR, με απώτερο σκοπό τη μελέτη του από μαθητές για εκπαιδευτική χρήση.

Όσον αφορά τη χρήση του τελικού τρισδιάστατου μοντέλου πεταλούδας, πέρα από την παρουσία του στο ψηφιακό αποθετήριο Virtual Butterflies Museum, θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από εφαρμογές AR/VR, για τον σκοπό που περιγράφεται στην παρούσα έρευνα. Η ενσωμάτωσή του σε τέτοια εργαλεία αποτελεί την σίγουρη εξέλιξή του, καθώς η ερευνητική ομάδα των πανεπιστημίων που ανήκει το έργο, έχει προβλέψει τη δημιουργία της εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας σε επόμενη φάση. Επιπρόσθετα, καθώς τα χαρακτηριστικά του 3D μοντέλου της πεταλούδας διαγράφονται από πολύ ευκρινείς λεπτομέρειες, θα μπορούσε το δείγμα αυτό να συμπεριληφθεί και από άλλες ψηφιακές βιβλιοθήκες για την παρατήρησή του από το κοινό.

Συμπερασματικά, η παρούσα εργασία επιβεβαιώνει τον σημαντικό ρόλο των τρισδιάστατων μοντέλων και της επαυξημένης πραγματικότητας για την εκμάθηση της βιολογίας στις σχολικές αίθουσες. Οι νέες τεχνολογίες μπορούν να υποστηρίξουν τη βιωματική μάθηση και να αναπτύξουν ολιστικά τις ικανότητες των μαθητών και να αυξήσουν το κίνητρο και τα μαθησιακά αποτελέσματα. Ειδικότερα στην περίπτωση της Ελλάδας και της Κύπρου, θα μπορούσαν να αποτελέσουν το έναυσμα για τον μετασχηματισμό και εκσυγχρονισμό του συστήματος σε ένα πιο φιλικό, μαθητοκεντρικό μοντέλο για τους μαθητές, με κύρια χαρακτηριστικά το παιχνίδι, τη συνεργασία και την αλληλεπίδραση.

Παράρτημα Α: «Συμβουλευτικές συνεντεύξεις με ειδικούς»

Στο παρόν παράρτημα, παρατίθεται υλικό από τις συμβουλευτικές συνεντεύξεις ανοικτού τύπου που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των φωτογραμμετρικών τρισδιάστατων μοντέλων. Το δείγμα της έρευνας συγκροτήθηκε με τη μέθοδο της σκόπιμης δειγματοληψίας, καθώς επιλέχθηκαν άτομα εγνωσμένου κύρους και αποδεδειγμένης εμπειρίας στους αντίστοιχους τομείς. Ειδικότερα, οι συμμετέχοντες επιλέχθηκαν βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων, όπως η επιστημονική εξειδίκευση, η επαγγελματική εμπειρία και η αναγνωρισμένη συνεισφορά στους τομείς της φωτογραμμετρίας, της 3D μοντελοποίησης και της ρετοπολογίας.

Ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση του προφίλ των συμμετεχόντων, καθώς και ενδεικτικά αποσπάσματα των ερωτήσεων και απαντήσεων που αξιοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία λήψης τεχνικών ζητημάτων. Για λόγους δεοντολογίας προσωπικών δεδομένων οι συμμετέχοντες αναφέρονται με τους κωδικούς E1-E7 (E= Ειδικός). Τέλος, για λόγους τήρησης των αρχών ερευνητικής δεοντολογίας, τα στοιχεία ταυτοποίησης έχουν αφαιρεθεί από τα παρατιθέμενα αποσπάσματα επικοινωνίας.

Κωδικός	Ιδιότητα	Τομέας εξειδίκευσης	Μέσο επικοινωνίας	Κύριο ζήτημα
E1	Πανεπιστημιακός Διδάσκων	Τρισδιάστατη μοντελοποίηση	Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο	Κλείσιμο οπών χωρίς αλλοίωση υφής και διαχωρισμός ενωμένων φτερών
E2	Πανεπιστημιακός Διδάσκων	Φωτογραμμετρία	Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο	Κλείσιμο οπών χωρίς αλλοίωση υφής και διαχωρισμός ενωμένων φτερών
E3	Επαγγελματίας 3D Modeler	3D Modeling, clean up, retopology, ανάπτυξη VR/AR εφαρμογών	Τηλεφωνική Επικοινωνία	Αποκατάσταση γεωμετρίας και τοπολογίας, μείωση πολύγωνων

E4	Πανεπιστημιακός Διδάσκων	Ψηφιακή ανακατασκευή SfM, Φωτογραμμετρία, 3D Modeling, IT	Διά ζώσης συνάντηση	Επεξεργασία νεφών σημείων και texture mapping στο 3D Zephyr Lite
E5	3D Modeler/ Animator	3D Modeling, 3D Animation, Clean up, Retopology Φωτογραμμετρία με δείγματα ζώων	Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο	Texture mapping, αποκατάσταση γεωμετρίας και τοπολογίας, διόρθωση mesh
E6	Πανεπιστημιακός Διδάσκων	3D Modeling, Φωτογραμμετρία	Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο	Κλείσιμο οπών και texture mapping
E7	3D Modeler/ Animator	Retopology, 3D Modeling 3D Animation	Τηλεφωνική Επικοινωνία	Ρετοπολογία και παραμόρφωση νέου πλέγματος

Πίνακας Α.1 Προφίλ και χαρακτηριστικά συμμετεχόντων

Α.1 Επιδιόρθωση οπών στην επιφάνεια των φτερών

Ερώτημα: Πώς μπορεί να πραγματοποιηθεί η πλήρωση των οπών που δημιουργήθηκαν στα φτερά του μοντέλου, χωρίς να δημιουργηθεί παραμόρφωση στη γεωμετρία και διαφοροποίηση του texture σε σχέση με την υπόλοιπη επιφάνεια;

Απάντηση E1: Κλείσιμο μιας -μιας οπής ξεχωριστά και χειροκίνητα, εφόσον αυτό είναι εφικτό (βλ. Σχήμα Α1).

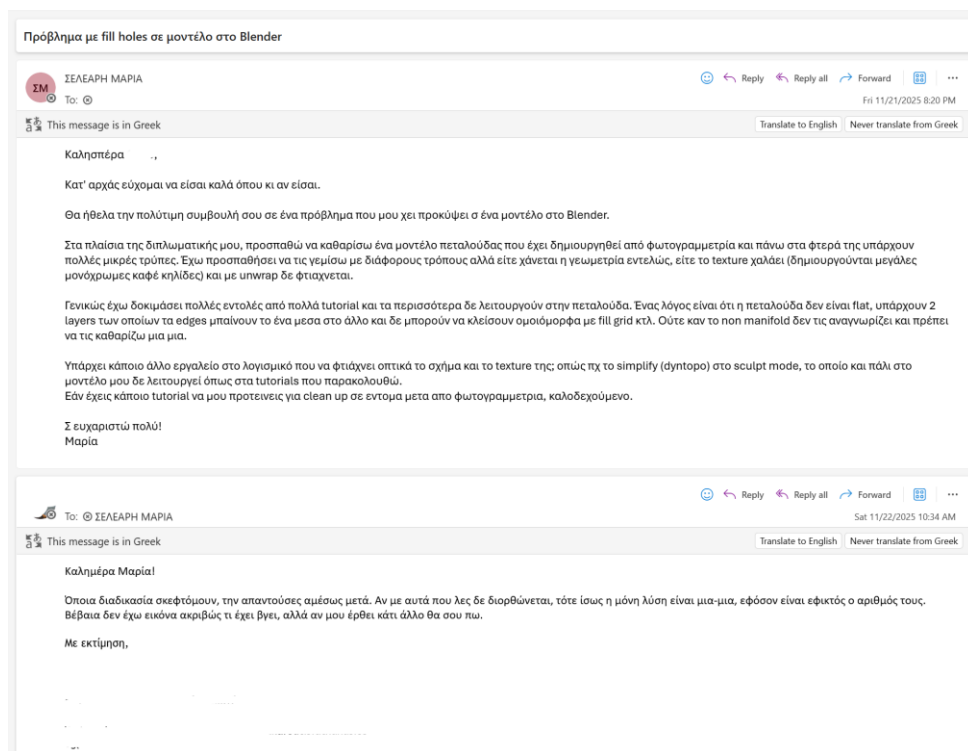
Απάντηση E2: Το πρόβλημα είναι ότι τα τρίγωνα από το πάνω μέρος των φτερών μπερδεύονται με τα κάτω, καθώς έχουν κατεύθυνση προς το εσωτερικό των φτερών, με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να τα ενώνει και να δημιουργεί τις οπές. Συστήνεται διαχωρισμός των πολύγωνων, έτσι ώστε τα τρίγωνα να πάρουν τη σωστή κατεύθυνση (βλ. Σχήμα Ε3).

Προτεινόμενες λύσεις:

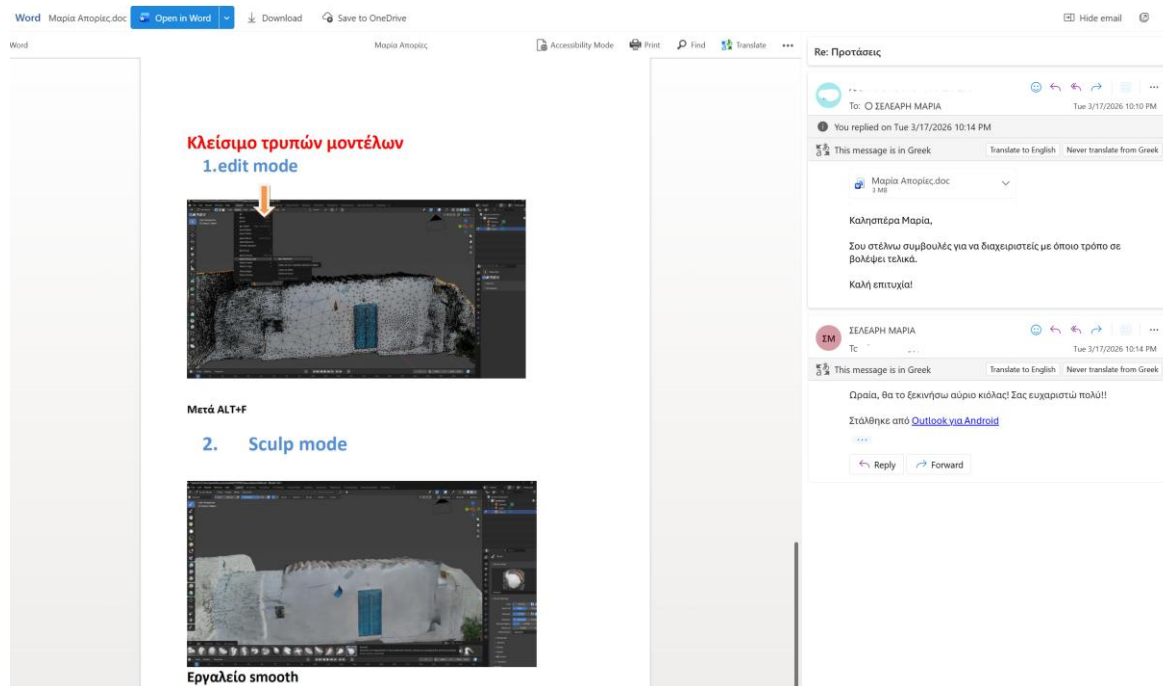
1. Αύξηση εικόνων στο SfM,
2. Επεξεργασία ξεχωριστά των νεφών σημείων για το κάθε φτερό κι έπειτα τριγωνισμός,
3. Χειροκίνητη επεξεργασία τριγώνων (πολυγώνων) σε εξειδικευμένο λογισμικό καθαρισμού πλέγματος και στη συνέχεια εισαγωγή του επεξεργασμένου μοντέλου στο λογισμικό φωτογραμμετρίας μόνο για texture mapping.

Απάντηση Ε6: Κλείσιμο τρυπών μοντέλων είτε σε edit mode με την επιλογή όλων των vertices περιμετρικά της τρύπας και την επιλογή fill, είτε με το εργαλείο γλυπτικής smooth σε sculpt mode (βλ. σχήμα Α2).

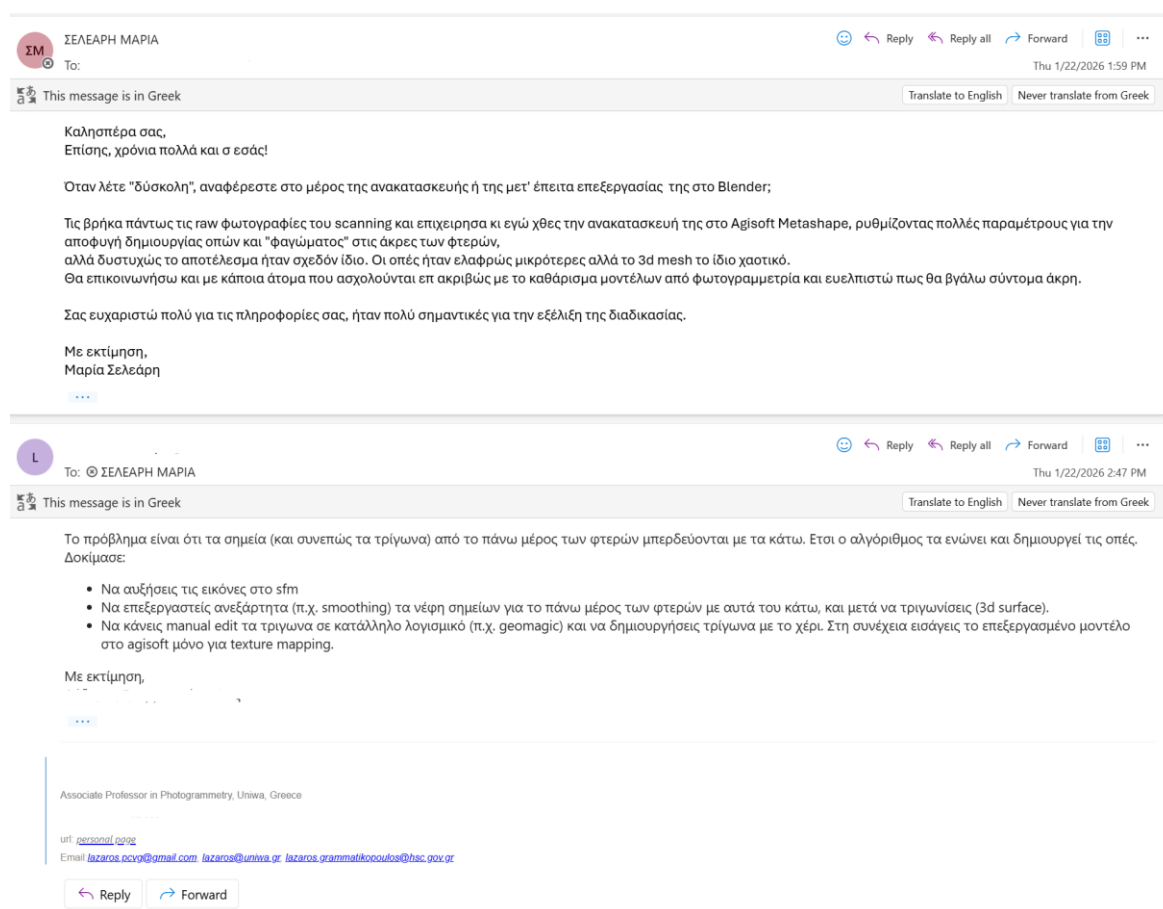
Τεκμήρια επικοινωνίας:



Σχήμα Α1: Απόσπασμα ηλεκτρονικής επικοινωνίας με τον Ε1.



Σχήμα Α2: Απόσπασμα επικοινωνίας μέσω ακαδημαϊκού ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με τον Ε6.



Σχήμα Α3: Απόσπασμα ηλεκτρονικής επικοινωνίας με τον Ε2

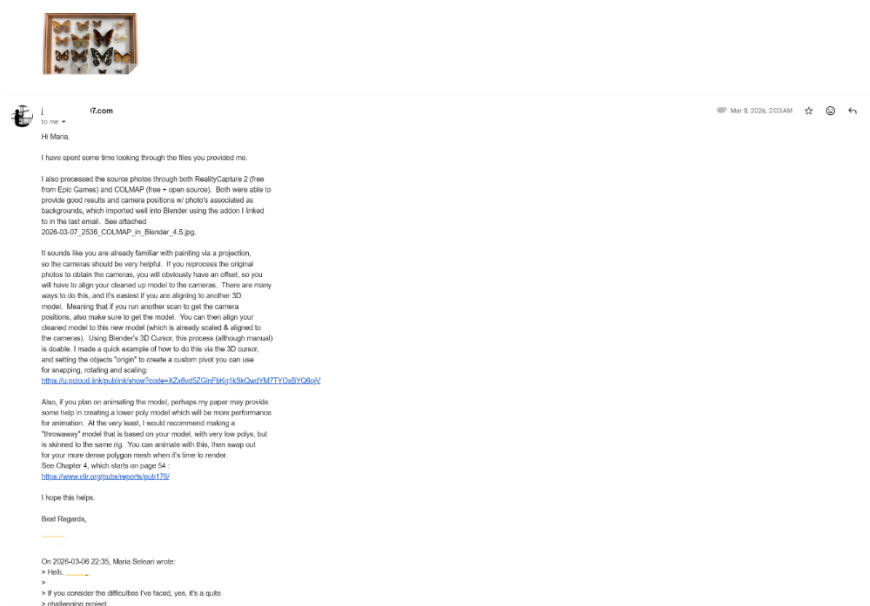
A2. Αποκατάσταση γεωμετρίας, τοπολογίας και μείωση πολύγωνων

Ερώτημα: Πώς μπορεί να μειωθεί ο αριθμός των πολύγωνων, να αποκατασταθεί η τοπολογία/ γεωμετρία του μοντέλου, και τα τρίγωνα που έχουν κατεύθυνση προς το εσωτερικό των φτερών να επανέλθουν στη σωστή θέση, ώστε να διαχωριστεί το πάνω φτερό από το κάτω, για να μπορούν να κλείσουν οι οπές;

Απάντηση E3: Επεξεργασία πλέγματος (mesh) σε εξειδικευμένο λογισμικό καθαρισμού, όπως είναι το MeshLab, με έμφαση στην εντολή Screened Poisson, η οποία έχει την ικανότητα να δημιουργεί ομοιόμορφα τρίγωνα, να βελτιώνει τη γεωμετρική ακρίβεια και να εξομαλύνει σπασμένες επιφάνειες.

Απάντηση E5: Εγκατάσταση του plugin *Photogrammetry Importer* στο Blender, ώστε να εισαχθούν όλες οι θέσεις κάμερας μέσα στο Blender, να γίνει προσανατολισμός εκ νέου και το μοντέλο να ανακτήσει ορθή γεωμετρία και σωστές υφές ταυτόχρονα. Επίσης, επανάληψη ολόκληρης της διαδικασίας SfM σε διαφορετικό λογισμικό φωτογραμμετρίας για τυχόν διαφορετικά αποτελέσματα (βλ. Σχήμα A4).

Τεκμήρια επικοινωνίας:



Σχήμα A4: Απόσπασμα επικοινωνίας με τον E5, μέσω προσωπικού ηλεκτρονικού ταχυδρομείου

A3. Εφαρμογή υφών (texture mapping)

Ερώτημα: Πώς μπορώ να εφαρμόσω τις υφές στο low poly επεξεργασμένο μοντέλο μέσα στο Blender;

Απάντηση E5: Συνδυασμός μεθόδων Baking και Project from View, εγκατάσταση *Photogrammetry Importer* plugin για επανάλληψη προσανατολισμού και επαναφορά ορθών υφών και επανάλληψη ολόκληρης της διαδικασίας SfM σε διαφορετικό λογισμικό φωτογραμμετρίας, Επίσης, ορθή και ακριβής τοποθέτηση του low poly μοντέλου επάνω στο high poly με τη χρήση των 3D cursor, origin και snapping.

Απάντηση E6: Μέθοδος Baking, με βάρος στην αύξηση της τιμής Extrusion σε περίπτωση “κενών” και βαφή με χρώμα είτε με τη χρήση του Eyedropper (σταγονόμετρο), είτε με το πλήκτρο Sample.

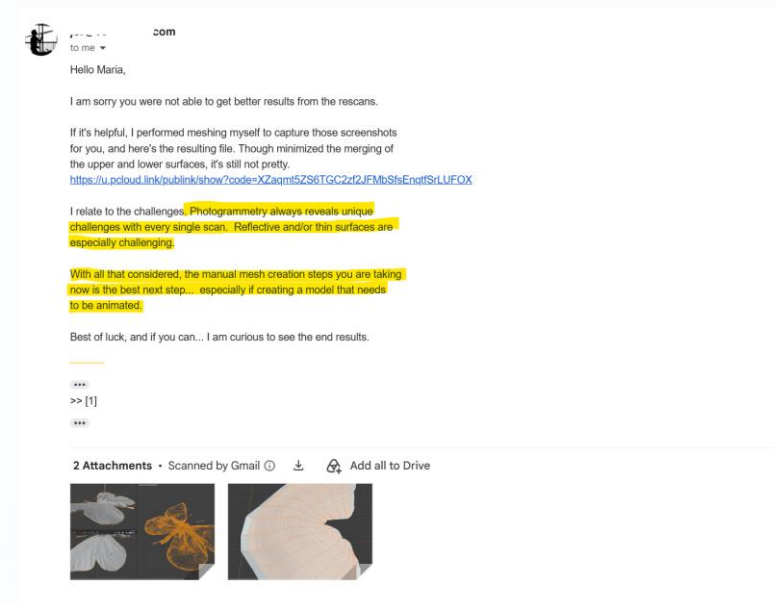
A4: Εφαρμογή μεθόδου ρετοπολογίας

Ερώτημα: Τι εναλλακτική λύση έχω σε περίπτωση που τα προβλήματα με την εφαρμογή υφών, το κλείσιμο οπών, παραμορφώσεων, γεωμετρίας και τοπολογίας επιμένουν;

Απάντηση E3: Σχεδίαση νέου μοντέλου από την αρχή πάνω στο high poly μοντέλο με την μέθοδο της ρετοπολογίας.

Απάντηση E5: Λαμβάνοντας υπόψιν τις ιδιαίτερες προκλήσεις που δημιουργεί η φωτογραμμετρία, στην περίπτωση αυτή η καλύτερη λύση είναι η χειροκίνητη δημιουργία πλέγματος με τη μέθοδο της ρετοπολογίας (βλ. Σχήμα A5).

Τεκμήρια επικοινωνίας:



Σχήμα Α5: Απόσπασμα επικοινωνίας με τον Ε5, μέσω προσωπικού ηλεκτρονικού ταχυδρομείου

Α5: Παραμόρφωση στα νέα faces κατά τη διαδικασία ρετοπολογίας

Ερώτημα: Γιατί κατά τη χειροκίνητη δημιουργία πλέγματος με την τοποθέτηση νέων faces πάνω στο High poly μοντέλο η παραμόρφωση συνεχίζει να υπάρχει;

Απάντηση Α7: Εάν κατά τη δημιουργία νέων faces που τοποθετούνται με extrude πάνω στην επιφάνεια των φτερών της πεταλούδας είναι ενεργοποιημένο το snap tool, τότε το high poly μοντέλο που είναι από κάτω σαν βάση, τραβάει σαν μαγνήτης τα νέα faces και τα τοποθετεί στην ίδια θέση με πριν. Με την απενεργοποίηση του snapping tool, επιτυγχάνεται η χειροκίνητη τοποθέτηση των faces στη σωστή θέση, γυρίζοντας παράλληλα το μοντέλο από όλες τις οπτικές γωνίες για εξακρίβωση της σωστής θέσης.

Παράρτημα Β: «Ψηφιακό συνοδευτικό υλικό»

Το ψηφιακό υλικό που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο του δημιουργικού μέρους της Δ.Ε. περιλαμβάνει:

- Το τελικό αρχείο Blender (.blend),
- Το τρισδιάστατο μοντέλο της πεταλούδας (.fbx),
- 3 εικόνες τεκμηρίωσης,
- 3 βίντεο του τελικού αποτελέσματος
- Φάκελο με στιγμιότυπα οθόνης με την ορθή θέση των Nodes
- Φάκελο με τις υφές (textures)

Το υλικό είναι διαθέσιμο στην ακόλουθη ηλεκτρονική τοποθεσία (OneDrive):

[https://houtest-](https://houtest-my.sharepoint.com/:f/g/personal/std533323_ac_eap_gr/IgCVgDJMbH_ARacng11AJyN4AfUYEMK61ucBwp08tiGk9fU?e=vF4zhh)

[my.sharepoint.com/:f/g/personal/std533323_ac_eap_gr/IgCVgDJMbH_ARacng11AJyN4AfUYEMK61ucBwp08tiGk9fU?e=vF4zhh](https://houtest-my.sharepoint.com/:f/g/personal/std533323_ac_eap_gr/IgCVgDJMbH_ARacng11AJyN4AfUYEMK61ucBwp08tiGk9fU?e=vF4zhh)

Ημερομηνία τελευταίας πρόσβασης: 20/06/26

Βιβλιογραφία

Δημητριάδης, Σ. (2015). *Θεωρίες Μάθησης και Εκπαιδευτικό Λογισμικό*. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.

Ευαγγέλου, Φ. (2021) *Οι απόψεις εκπαιδευτικών Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης της Περιφέρειας Ηπείρου από την εφαρμογή της εξ αποστάσεως – σύγχρονης και ασύγχρονης – εκπαίδευσης την περίοδο του Covid-19*. Στο: Open Education - The Journal for Open and Distance Education and Educational Technology Volume 17, Number 2 (σσ. 24-27). EKT.

Ιατράκη, Γ. και Μικρόπουλος, Α. (2022). *Η συμβολή της ψηφιακής τεχνολογίας στην εκπαίδευση μαθητών με αναπηρίες στις Φυσικές Επιστήμες: μια βιβλιογραφική ανασκόπηση*. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κόκλα, Μ., Κονταξάκη, Σ., Πανόπουλος, Γ., & Τομαή, Ε. (2016). *Χωρική σκέψη και η σημασία της στην εκπαίδευση*. Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας.

Λέπουρας, Γ., Αντωνίου, Α., Πλατής, Ν., Χαριτός, Δ. 2015. *Ανάπτυξη συστημάτων εικονικής πραγματικότητας*. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα

Μουστάκας, Κ., Παλιόκας, Ι., Τσακίρης, Α., Τζοβάρας, Δ., 2015. *Γραφικά και Εικονική Πραγματικότητα*. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις

Πατιάς Π. 1993. *Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία*. Εκδόσεις Ζήτη.

Χούτου, Χ. (2023). *Η ενσωμάτωση των μαθηματικών και των εικαστικών τεχνών στη διδασκαλία και μάθηση μέσα από τη συνεργασία εκπαιδευτικών*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2022). *Molecular Biology of the Cell* (7th ed.). W. W. Norton & Company.

Almalki, N. (2016). *What is the Best Strategy “Evidence-Based Practice” to Teach Literacy Skills for Students with Multiple Disabilities? A Systematic Review*. World Journal of Education.

American Association of Physics Teachers. (1998). *Goals of the Introductory Physics Laboratory*. American Journal of Physics.

Amon, T. (2006). *Web Virtual Reality Edutainment in Biology and Physics*. Springer.

Arrow Electronics, Inc. (2020, March 4). *How VR and AR are driving the future of industrial maintenance, safety, and efficiency*. https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/how-vr-and-ar-are-driving-the-future-of-industrial-maintenance-safety-and-efficiency?utm_source=chatgpt.com

Arslan, A., Kofoglu, M., Dargut, C. (2020). *Development of Augmented Reality Application for Biology Education*. Turkish Science Education, Volume 17.

Ascione, L. (2023). *Roblox, PLTW team up for immersive STEM experience*. Ανακτήθηκε 17 Ιανουαρίου, 2026, από <https://www.eschoolnews.com/digital-learning/2023/07/19/roblox-pltw-immersive-stem-experience/>

Ba, R. K. T. A., Cai, Y., Guan, Y. (2019). Augmented Reality Simulation of Cardiac Circulation Using APPLearn (Heart). *2018 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, 241–243. <https://doi.org/10.1109/aivr.2018.00055>

Bahriddinova, G. (2025). *The Importance of Teaching Fine Arts in Secondary Schools: developing creative and critical thinking*. International Multidisciplinary Research in Academic Science.

Bimber, O., & Raskar, R. (2006). *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. A K Peters/CRC Press.

Bois, M. C., Morris, J. M., Boland, J. M., Larson, N. L., Scharrer, E. F., Aubry, M.-C., et al. (2021). *Three-dimensional surface imaging and printing in anatomic pathology*. J. Pathol. Inf. 12, 22. doi: 10.4103/jpi.jpi_8_21

Bot A., D & Irschick J., D. (2019). *Using 3D Photogrammetry to Create Open-Access Models of Live Animals: 2D and 3D Software Solutions*. Στο J. Grayburn, Z. Lischer-Katz, K. Golubiewski-Davis, & V. Ikeshoji-Orlati (Eds.), *3D/VR in the academic library: Emerging practices and trends* (σσ. 54–63). Council on Library and Information Resources.

Chenoweth, E. M., Houston, J., Huntington, K. B., and Straley, J. M. (2022). *A virtual necropsy: applications of 3D scanning for marine mammal pathology and education*. Animals 12, 5275. doi: 10.3390/ani12040527

Christensen, R., Knezek, G. (2006). *Findings from the spring 2006. Irving laptop surveys for teachers*. Ανακτήθηκε 25 Ιανουαρίου, 2026, από <http://iittl.unt.edu.irving.index.htm>.

Ciloglu, T., Ustrun, Ahmet Berk. (2023). *The Effects of Mobile AR based Biology Learning Experience on Students' Motivation, Self-Efficacy, and Attitudes in Online Learning*. Journal of Science Education and Technology.

Ciullo, S., Falcomata, T., Pfannenstiel, K., Billingsley, G. (2015). *Improving Learning With Science and Social Studies Text Using Computer-Based Concept Maps for Students With Disabilities*. Behavior Modification.

Cook, M. (2011). *Teachers' use of visual representations in the science classroom*. Science Education International.

Cottrell, B., Kalacska, M., Arroyo-Mora, J. P., Lucanus, O., Cottrell, P., Lehnhart, T., Raverty, S. (2025). *3D reconstructions of stranded marine mammals via easily accessible remote sensing tools for use in morphometrics and visualizations*. *Frontiers in Marine Science*, 12, Article 1485788. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1485788>

de Vries, E., Demetriadis, S., και Ainsworth, S. (2009). *External representations for learning. Headed towards a digital culture*. Στο N. Ballacheff κ.α.. (Eds), *Technology Enhanced Learning: Principles and Products*, Kaleidoscope Legacy Book, (σσ. 137-153). Netherlands, Springer.

Digital Life 3D. (2017). *Photogrammetry and 3D digitization gear*. <https://digitallife3d.org/gear>

Durão, R. M., & Moutinho, R. (2022). *Augmented reality in vocational training: A systematic review of research and applications*. *Computers in Human Behavior*, 129, 107125. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.107125>

Elassaad Elharbaoui 1,2* , Dawser Zineddin 1,3 , Jean Gabin Ntebutse 4 , Mossadok Ben-Attia 1,5. (2025). *Augmented reality-based teaching-learning tool, and the evolution of conceptions about "human breathing": Fifth-grade basic Tunisian students' case*. *Journal of Digital Educational Technology*.

European Commission. (2025). *Digital Skills – Cyprus National Action Plan 2021-2025. Better Internet for Kids*. Ανακτήθηκε: Ιανουάριος 2026, από <https://better-internet-for-kids.europa.eu/en/rules-guidelines/digital-skills-cyprus-national-action-plan-2021-2025>

European School Education Platform. (2025). *ICT Tools for Teaching and Learning* (EPCY 5.1 – one week). European Commission. Ανακτήθηκε: Ιανουάριος 2026, από https://school-education.ec.europa.eu/en/learn/courses/ict-tools-teaching-and-learning-epcy-51-one-week?utm_source=chatgpt.com

e-me Digital Educational Platform. (2025). *e-me: Digital educational platform for pupils and teachers*. <https://e-me.edu.gr/>

Fatikhova, L., Sayfutdiyarova, E. (2017). *Improvement of Methodology of Teaching Natural Science for Students with Intellectual Disabilities by Means of 3D-Graphics*. European Journal of Contemporary Education,

Fernández-López, A., Rodríguez-Fórtiz, M. J., Rodríguez-Almendros, M. L., Martínez-Segura, M. J. (2013). *Mobile learning technology based on iOS devices to support students with special education needs*. Computers & Education

FlippedNormals. (2020). *Retopo in Blender - Retopologizing the Face*. YouTube. Διαθέσιμο στο: <https://www.youtube.com/watch?v=OuFwUaS8yII>

Galkienė A., Monkevičienė, O. (2021). *Improving Inclusive Education through Universal Design for Learning*. Springer.

Giglioli, I. A. C., Alcañiz Raya, M., and Riva, G. (2018). The past, present, and future of virtual and augmented reality research: A network and cluster analysis of the literature. Front. Psychol. 9. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02086

Gilbert, J. K. (2010). *The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction*. Asia-PAsific forum on Science Learning and Teaching, 11(1), 1-19.

Han, J., Roth, W. (2006). *Chemical Inscriptions in Korean Textbooks: Semiotics of Macro and Microworld*. Science Education, 90(2), 173-201.

Haryad, R., Pujiastuti, H. (2022). *Fun physics learning using augmented reality*. AIP Conference Proceedings, Volume 2468, Article 020016.

Hess, R. (2010). *Blender Foundations: The Essential Guide to Learning Blender*. Focal Press.

International Journal of Instructional Technology and Distance Learning. (2015, October). Vol. 12, No. 10 (σσ. 4–8). Editorial Board: Perrin, D. G., Perrin, E., Muirhead, B., & Betz, Ανακτήθηκε από http://www.itdl.org/Journal/Oct_15/Oct15.pdf).

Irschick, D. J., Martin, J., Siebert, U., Kristensen, J. H., Madsen, P. T., Christiansen, F. (2020). *Creation of accurate 3D models of harbor porpoises (Phocoena phocoena) using 3D photogrammetry*. Marine Mammal Science. <https://doi.org/10.1111/mms.12759>

Kalana, M. H. A., Junaini, S., Fauzi, A. (2020). *Mobile augmented reality for biology learning: Review and design recommendations*. Journal of Critical Reviews, 7(12), 579–585. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.12.104>

Kasinidou, M., Kleanthous, S., Otterbacher, J., (2025) *Cypriot teachers' digital skills and attitudes towards AI*. Discover Education, 4. Άρθρο 6. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00390-6>

Kerbl, B., Kopanas, G., Leimkühler, T., & Drettakis, G. (2023). *3D Gaussian splatting for real-time radiance field rendering* (arXiv preprint 2308.04079). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.04079>

Küçük, S., Kapakin, S., Göktas, Y. (2016). Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. *Anatomical Sciences Education*, 9(5), 411–419. <https://doi.org/10.1002/ase.1603>

Laumann, D., Schlummer, P., Abazi, A., Borkamp, R., Lauströer, J., Pernice, W., Schuck, C., Schulz Schaeffer, R., Heusler, S. (2024). *Analyzing the Effective Use of Augmented Reality Glasses in University Physics Laboratory Courses for the Example Topic of Optical Polarization*. Journal of Science Education and Technology.

Linder, W. (2016). *Digital Photogrammetry A Practical Course*. Springer.

Liu, W., Sun, J., Li, W., Hu, T., and Wang, P. (2019). *Deep learning on point clouds and its application: A survey*. Sensors 19 (19), 4188. doi: 10.3390/s19194188

Lyra, K., Isotani S., Reis R., Marques L., Pedro L., Jaques P., Bitencourt I. (2016). *Infographics or Graphics+Text: Which Material is Best for Robust Learning*. International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT).

McKissick, B., Davis, L., Spooner, F., Fischer, L., Graves, C. (2018). *Using Computer-Assisted Instruction to Teach Science Vocabulary to Students with Autism Spectrum Disorder and Intellectual Disability*. Rural Special Education Quarterly

McMahon, D., Cihak D., Wright R., & Bell, S., (2016). *Augmented Reality for Teaching Science Vocabulary to Postsecondary Education Students With Intellectual Disabilities and Autism*. JRTE.

Metpattarahiran, C. (2021). *STEM Education for Developing Undergraduates' 21st Century Skills*. Journal of Multidisciplinary in Social Sciences.

Meyer, R. (2024). *The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning*. Educational Psychology Review. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09842-1>

Namukasa, S. (2024). *Integrating Arts into Science Curriculum for Holistic Education*. Kampala International University.

OECD. (2025). *PISA 2025: Programme for International Student Assessment*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
<https://www.oecd.org/en/about/programmes/pisa.html>

Ok, M. W., Hudges, J., Bocklage, O. (2017). *Teaching and learning Biology with iPads for High School Students with Disabilities*. Journal of Educational Computing Research.

pchav. (n.d.). *Enlivened Hawksbill Sea Turtle | Animated Photogrammetry Scan*. Instructables. Διαθέσιμο στο: <https://www.instructables.com/Enlivened-Hawksbill-Sea-Turtle-Animated-Photogramm/>

Rassineux, A. (1997). *3D mesh adaptation. Optimization of tetrahedral meshes by advancing front technique*. Comput. Methods Appl. Mechanics Eng. 141, 335. doi: 10.1016/S0045-7825(96)01116-4

RCSB Protein Data Bank. (n.d.). *RCSB PDB: Explore macromolecular structures*. Retrieved February 2026, from <https://www.rcsb.org/>

Remondino, F., & Campana, S. (2014). *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*. BAR International Series.

Rosenhahn, B., Klette R., Metaxas, D., 2008. *Human Motion. Understanding, Modelling, Capture and Animation*. Springer.

Safadel, P., White, D. (2018). Facilitating Molecular Biology Teaching by Using Augmented Reality (AR) and Protein Data Bank (PDB). *TechTrends*, 63(2), 188–190. <https://doi.org/10.1007/s11528-018-0343-0>

Santos, M., Lübke A , Taketomi T., Yamamoto G., Rodrigo M., Sandor C., Kato H. (2016). *Augmented reality as multimedia: the case for situated vocabulary learning*. Research and Practice in Technology Enhanced Learning.

Scargill, T., Chen, J., & Gorlatova, M. (2021). *Here To Stay: Measuring Hologram Stability in Markerless Smartphone Augmented Reality*. arXiv.

Schiavo, C., Camuffo, E., Badia, L., Milani, S. (2025, March 20). *SAGE: Semantic-Driven Adaptive Gaussian Splatting in Extended Reality* (arXiv:2503.16747). arXiv. <https://arxiv.org/pdf/2503.16747>

Schnotz, W. (2002). *Towards an Integrated View of Learning from Text and Visual Displays*. Educational Psychology Review, 14(1), 101-120.

Smith, C., Cihak, D., Kim, B., McMahon, D., Wright, R. (2017). *Examining Augmented Reality to Improve Navigation Skills in Postsecondary Students With Intellectual Disability*. Journal of Special Education Technology

Smith, J., & Jones, M. (2013). *Head-mounted display (HMD) used for virtual reality immersion with the head tracker*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Head-mounted-display-HMD-used-for-virtual-reality-immersion-with-the-head-tracker_fig2_6481837

Soulis, S. G., Georgiou, A., Dimoula, K., & Rapti, D. (2016). *Surveying inclusion in Greece: empirical research in 2683 primary school students*. International Journal of Inclusive Education, 20(7), 770–783. <https://doi.org/10.1080/13603116.2015.1111447>

Stuart, L. A. G., Wells, D. M., Atkinson, J. A., Castle-Green, S., Walker, J., & Pound, M. P. (2025). *High-fidelity wheat plant reconstruction using 3D Gaussian splatting and neural radiance fields*. *GigaScience*, 14, giaf022. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giaf022>

Sweller, J. (1988). *Cognitive load during problem solving: Effects on learning*, *Cognitive Science*. Cognitive Science.

Terrazas-Arellanes, F., Gallard M., A., Strycker, L., Walden, A. (2018). *Impact of interactive online units on learning science among students with learning disabilities and English learners*. *International Journal of Science Education*.

Uttal, D. H., & O'Doherty, K., (2008). *Comprehending and learning from "visualization": A developmental Perspective*. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization in science education*, 53–72. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Vassilopoulou, A., Mavrikaki, E. (2016). *Can ICT in Biology courses improve AD/HD students' achievement*. *Improving Schools*.

Villanueva, M., Taylor, J., Therrien, W., Hand, B. (2012). *Science Education for students with special needs*. *Studies in Special Education*.

Visavadiyaa, R. M., & Ahmed, Z. Z. (2017). *Location Based Augmented Reality Application*. *Journal of Student Research*. <https://doi.org/10.47611/jsr.vi.573>

Vitezić V, Perić M. *The role of digital skills in the acceptance of artificial intelligence*. *J Busi Indust Mark*. 2024. <https://doi.org/10.1108/jbim-04-2023-0210/full/html>.

Wandinger, U. (2005). "Introduction to LiDAR," in *LiDAR: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere* (Springer Science+Business Media Inc., NY: Springer), 1–8.

Wu, T., Yuan, Y.-J., Zhang, L.-X., Yang, J., Cao, Y.-P., Yan, L.-Q., & Gao, L. (2024). Recent advances in 3D Gaussian splatting. *Computational Visual Media*, 10(4), 613–642. <https://doi.org/10.1007/s41095-024-0436-y>

Zhao, Y. (2025). *Smartphone-Based Undergraduate Physics Labs: A Comprehensive Review of Innovation, Accessibility, and Pedagogical Impact*. *European Journal of Physics*.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.