

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Τρισδιάστατου (3D)
Χρονολογίου για την Οπτική Παρουσίαση
Πληροφοριών/Δεδομένων»



Του φοιτητή
Θεογιάννη Παύλου
Αρ. Μητρώου: 093440

Επιβλέπων
Κεραμόπουλος Ευκλείδης
Καθηγητής

Ημερομηνία 10/08/2026

Τίτλος Π.Ε.: Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Τρισδιάστατου (3D) Χρονολογίου για την Οπτική

Παρουσίαση Πληροφοριών/Δεδομένων

Κωδικός Π.Ε.: 26202

Ονοματεπώνυμο φοιτητή: Θεογιάννης Παύλος

Ονοματεπώνυμο εισηγητή: Κεραμόπουλος Ευκλείδης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε.: 22/03/2026

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε.: 10/08/2026

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Παύλου Θεογιάννη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επιλέχθηκε με σκοπό τη διερεύνηση σύγχρονων μεθόδων οπτικοποίησης δεδομένων καθώς και τη σύνδεσή τους με τεχνολογίες τρισδιάστατων γραφικών. Το γεγονός ότι υπήρχε έντονο προσωπικό ενδιαφέρον για τα προγράμματα και τις τεχνολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης αποτέλεσε βασικό κίνητρο για την επιλογή του συγκεκριμένου θέματος. Επιπλέον, η ενασχόλησή μου με βιντεοπαιχνίδια και η παρακολούθηση της εξέλιξής τους στο κομμάτι της οπτικοποίησης και των γραφικών ενίσχυσε το ενδιαφέρον μου σχετικά με τη μοντελοποίηση και τα τρισδιάστατα γραφικά.

Με αφορμή μία στατική εικόνα ως εργαλείο αναπαράστασης πληροφορίας, επιλέχθηκε το τρισδιάστατο χρονολόγιο ως πιο αποτελεσματικό και ελκυστικό μέσο παρουσίασης των γεγονότων. Μέσω του σχεδιασμού και της υλοποίησης ενός τέτοιου τρισδιάστατου περιβάλλοντος, μου δόθηκε η δυνατότητα κατανόησης τόσο των θεωρητικών αρχών όσο και των πρακτικών προκλήσεων που μπορεί να προκύψουν κατά την διαδικασία ανάπτυξης ενός 3D Animation Pipeline.

Το όφελος που αποκομίστηκε από την εκπόνηση της εργασίας είναι πολλαπλό. Αρχικά, ενισχύθηκαν οι τεχνικές δεξιότητες στον τομέα των τρισδιάστατων γραφικών και παράλληλα αποκτήθηκε εμπειρία στη σχεδίαση με έμφαση στην αποτελεσματική παρουσίαση πληροφοριών και δεδομένων.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός Τρισδιάστατου (3D) Χρονολογίου, με στόχο την οπτική αφήγηση και παρουσίαση πληροφοριών και δεδομένων. Η εργασία επικεντρώνεται στις θεμελιώδεις αρχές των Τρισδιάστατων Γραφικών Υπολογιστών (3D Computer Graphics) και τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου τρισδιάστατου περιβάλλοντος, μέσα από το οποίο αποδίδονται χρονικές περίοδοι και σημαντικά γεγονότα με τρόπο κατανοητό και οπτικό ελκυστικό. Μελέτη περίπτωσης της συγκεκριμένης εργασίας αποτελεί η οπτική αφήγηση της ιστορικής εξέλιξης του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος (ΔΙΠΑΕ).

Για την υλοποίηση του Χρονολογίου χρησιμοποιείται το λογισμικό «Blender», το οποίο αξιοποιείται για την πλήρη μοντελοποίηση όλων των αντικειμένων της σκηνής, την εφαρμογή υλικών και υφών, τον φωτισμό, τις κάμερες, καθώς και την απόδοση κίνησης μέχρι το τελικό rendering. Η ανάπτυξή του βασίζεται στη σύνθεση τρισδιάστατων αντικειμένων και σκηνών, τα οποία οργανώνονται χρονικά ώστε να αποτυπώνουν την εξέλιξη των γεγονότων.

Ξεκινώντας από την παρουσίαση των βασικών αρχών των τρισδιάστατων γραφικών και της οπτικοποίησης δεδομένων, αναλύεται το Blender ως λογισμικό τρισδιάστατης δημιουργίας και στοιχειοθετείται η επιλογή του ως κατάλληλο εργαλείο για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου τρισδιάστατου χρονολογίου. Έπειτα, γίνεται αναλυτική αναφορά στα βήματα υλοποίησής του, από τα πρωταρχικά σχήματα που χρησιμοποιήθηκαν, στα τελικά αντικείμενα που δημιουργήθηκαν, την απόδοση υφών, τη σύνθεσή τους στη σκηνή μέχρι και τη δημιουργία του τελικού αρχείου παρουσίασης.

Ως αποτέλεσμα της εργασίας, δημιουργήθηκε ένα ολοκληρωμένο τρισδιάστατο περιβάλλον και το αντίστοιχο τελικό animation, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η οπτική παρουσίαση της πληροφορίας με την αξιοποίηση τρισδιάστατων γραφικών, κίνησης και τεχνικών οπτικής αφήγησης.

«Design and Development of a Three-Dimensional (3D) Timeline for the Visual Presentation of Information and Data»

«Pavlos Theogiannis»

Abstract

The subject of this undergraduate thesis is the design and development of a Three-Dimensional (3D) Timeline for the visual presentation and narration of information and data. The study focuses on the fundamental principles of Three-Dimensional Computer Graphics (3D Computer Graphics) and the creation of a complete 3D environment through which historical periods and significant events are presented in a clear, engaging and visually appealing manner. As a case study, the project presents the historical evolution of the Department of Information and Electronic Engineering at the International Hellenic University (IHU).

The timeline was developed using the Blender software, which was employed for the complete modeling of all scene objects, the application of materials and textures, lighting setup, camera animation, motion design and the final rendering process. Its implementation is based on the composition of three-dimensional objects and scenes that are organized chronologically to depict the evolution of historical events over time.

Beginning with an introduction to the fundamental concepts of 3D Computer Graphics and data visualization, the thesis examines Blender as a 3D content creation software and justifies its selection as the most suitable tool for the development of the proposed 3D Timeline. Furthermore, a detailed description of the implementation process is provided, covering every stage of development, from the creation of the initial geometric primitives and their transformation into final 3D models to the application of materials and textures, the composition of the scene and the production of the final presentation.

As a result of this thesis, a complete three-dimensional environment and the corresponding final animation were created, through which the visual presentation of information is achieved by utilizing three-dimensional computer graphics, motion and visual storytelling techniques.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iii
Περίληψη.....	iv
Abstract	v
Περιεχόμενα	vi
Κατάλογος Εικόνων	ix
Συντομογραφίες.....	xi
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2ο: Γραφικά Υπολογιστών και Οπτικοποίηση Δεδομένων	3
2.1 Εισαγωγή.....	3
2.2 Γραφικά υπολογιστών και Βασικές Αρχές Τρισδιάστατων Γραφικών	3
2.2.1 Τα γραφικά Υπολογιστών ως πεδίο της Πληροφορικής	3
2.2.2 Βασικά χαρακτηριστικά των τρισδιάστατων γραφικών	5
2.2.3 Γεωμετρία, μετασχηματισμοί και σύνθεση τρισδιάστατης σκηνής.....	6
2.3 Οπτικοποίηση Δεδομένων και Οπτική Επικοινωνία	7
2.3.1 Η σημασία της οπτικοποίησης δεδομένων	7
2.3.2 Αρχές και μηχανισμοί οπτικής επικοινωνίας.....	8
2.4 Εικονογραφήματα και Οπτικοποίηση Πληροφορίας	9
2.4.1 Χαρακτηριστικά και Ρόλος των Εικονογραφημάτων.....	9
2.4.2 Μορφές και Κατηγορίες Εικονογραφημάτων	10
2.5 Χρόνος, Κίνηση και Οπτική Αφήγηση	12
2.5.1 Χρόνος, κίνηση και animation στην οπτικοποίηση δεδομένων	12
2.5.2 Οπτική αφήγηση σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα	13
2.6 Τρισδιάστατα Γραφικά στην Οπτικοποίηση Δεδομένων	13
2.6.1 Δυνατότητες και περιορισμοί των τρισδιάστατων αναπαραστάσεων	13
2.6.2 Το τρισδιάστατο χρονολόγιο ως μορφή οπτικοποίησης δεδομένων	14
2.7 Επίλογος	15
Κεφάλαιο 3ο: 3D Animation Pipeline και το Λογισμικό Blender	17
3.1 Εισαγωγή.....	17
3.2 3D Animation Pipeline.....	17
3.3 Το Blender ως Εργαλείο Υλοποίησης.....	18
3.3.1 Ιστορία του Blender.....	18
3.3.2 Πεδίο εφαρμογών	18

3.3.3	Περιβάλλον Εργασίας.....	19
3.4	Blender Production Pipeline, Εργαλεία και Δυνατότητες.....	20
3.4.1	Μοντελοποίηση (Modeling)	20
3.4.2	Χαρτογράφηση UV, υλικά και υφές.....	22
3.4.3	Rigging	24
3.4.4	Φωτισμός και κάμερες.....	24
3.4.5	Animation	25
3.4.6	Rendering	25
3.5	Σύγκριση με Εναλλακτικά Λογισμικά και Αιτιολόγηση Επιλογής του Blender.....	26
3.5.1	Autodesk Maya.....	27
3.5.2	Autodesk 3ds Max.....	27
3.5.3	Maxon Cinema 4D.....	28
3.5.4	SideFX Houdini.....	28
3.5.5	Unity και Unreal Engine.....	28
3.5.6	Η επιλογή του Blender.....	28
3.6	Επίλογος.....	29
Κεφάλαιο 4ο:	Σχεδιασμός, Απαιτήσεις και Υλοποίηση στο Blender.....	31
4.1	Εισαγωγή.....	31
4.2	Pre-Production Pipeline, Σχεδιασμός του Τρισδιάστατου Χρονολογίου	31
4.2.1	Βασική ιδέα και Σχεδιαστική προσέγγιση.....	31
4.2.2	Απαιτήσεις, Προδιαγραφές και Περιορισμοί	32
4.3	Production Pipeline και Υλοποίηση στο Blender.....	33
4.3.1	Εγκατάσταση και αρχική παραμετροποίηση του Blender.....	33
4.3.2	Μοντελοποίηση Χαρακτήρα	33
4.3.3	Μοντελοποίηση κτηρίων και περιβάλλοντα χώρου	42
4.3.4	Χαρτογράφηση UV	46
4.3.5	Απόδοση υλικών και υφών.....	49
4.3.6	Rigging	51
4.3.7	Animation	56
4.3.8	Φωτισμός και κάμερες.....	60
4.3.9	Rendering	60
4.4	Post-Production Pipeline στο Blender.....	63
4.4.1	Compositing	63
4.4.2	Video Editing και Final Output	65
4.5	Επίλογος.....	65

Κεφάλαιο 5ο:	Συμπεράσματα και Βελτιώσεις.....	67
5.1	Εισαγωγή.....	67
5.2	Συμπεράσματα.....	67
5.3	Μελλοντικές Βελτιώσεις.....	68
5.4	Επίλογος.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		70

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 Εφαρμογή των τρισδιάστατων γραφικών σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία	5
Εικόνα 2.2 Cube Mesh	6
Εικόνα 2.3 Στατικό Εικονογράφημα	10
Εικόνα 2.4 Διαδραστικό Εικονογράφημα	11
Εικόνα 3.1 3D Animation Pipeline	17
Εικόνα 3.2 Blender GUI Default View	19
Εικόνα 3.3 Blender Mesh Primitives.....	21
Εικόνα 3.4 Blender Modeling Modes	21
Εικόνα 3.5 Subdivision Surface Modifier	22
Εικόνα 3.6 Mark Seam and UV Unwrap.....	23
Εικόνα 3.7 Shader Editor and Principled BSDF Node.....	23
Εικόνα 3.8 Human Armature και Ιεραρχία οστών	24
Εικόνα 3.9 Timeline Editor	25
Εικόνα 3.10 Blender Features compared to alternative software	26
Εικόνα 3.11 New tutorials for the specific tool on Youtube platform in years 2005-2024.....	27
Εικόνα 4.1 Στατικό Εικονογράφημα Ιστορικής εξέλιξης ΤΜΠΗΣ.....	31
Εικόνα 4.2 Reference Images Import.....	34
Εικόνα 4.3 Modeling, Initial Eye Shape.....	35
Εικόνα 4.4 Face Area after new faces and Loop Cuts.....	35
Εικόνα 4.5 Εφαρμογή Subdivision Surface και Smooth by Angle Modifier	36
Εικόνα 4.6 Mirror Modifier.....	37
Εικόνα 4.7 Character Eyes and Full Head.....	37
Εικόνα 4.8 Character Shirt	38
Εικόνα 4.9 Character Trousers.....	38
Εικόνα 4.10 Character Palm and Fingers	39
Εικόνα 4.11 Character shoes	39
Εικόνα 4.12 Character Sculpting.....	40
Εικόνα 4.13 Character Hair.....	40
Εικόνα 4.14 Character Eyebrows	41
Εικόνα 4.15 Character Gown, Hat, Buttons and Tie	41
Εικόνα 4.16 Τελικό Αποτέλεσμα Μοντελοποίησης του Χαρακτήρα	42
Εικόνα 4.17 Σκελετός Κτηρίου Ευκλείδης	42
Εικόνα 4.18 Κτήριο Ευκλείδης, Μοντελοποίηση Παραθύρου	43
Εικόνα 4.19 Κτήριο Ευκλείδης, Παράθυρα Array Modifier.....	43
Εικόνα 4.20 Ολοκλήρωση του Κτηρίου Ευκλείδης.....	44
Εικόνα 4.21 Κτήριο Πληροφορικής ΔΙΠΑΕ Σίνδου.....	44
Εικόνα 4.22 Κτήριο Ηλεκτρονικής ΔΙΠΑΕ Σίνδου	45
Εικόνα 4.23 Μοντελοποίηση Λοιπών Assets.....	45
Εικόνα 4.24 Grass System Modifier Stack.....	46
Εικόνα 4.25 Mark Seams	46
Εικόνα 4.26 UV Unwrap Example.....	47
Εικόνα 4.27 UDIM Tiles.....	48
Εικόνα 4.28 Road, Trees, Buildings UV Unwrap	48
Εικόνα 4.29 Προσθήκη Υλικού και αρχικό σύστημα κόμβων Shader Editor.....	50

Εικόνα 4.30 Ολοκληρωμένο σύστημα κόμβων του χαρακτήρα	51
Εικόνα 4.31 Armature Bones Adjustment.....	52
Εικόνα 4.32 Hat Bone	52
Εικόνα 4.33 Gown Bones.....	53
Εικόνα 4.34 Rigify Addon, Generate Custom Rig.....	53
Εικόνα 4.35 Apply Transformations and Automatic Weights	54
Εικόνα 4.36 Bone Heat Weight Painting.....	54
Εικόνα 4.37 Rigged Character Completed	55
Εικόνα 4.38 Rigging Πάπυρου.....	56
Εικόνα 4.39 Idle Action	57
Εικόνα 4.40 Walk Action	57
Εικόνα 4.41 Final Character Animation Actions	58
Εικόνα 4.42 Πάπυρος Actions.....	58
Εικόνα 4.43 Final Scene Animation NLA Editor.....	59
Εικόνα 4.44 Particle System Fireworks	60
Εικόνα 4.45 Render Settings	61
Εικόνα 4.46 Shadow Jitter Light Settings	62
Εικόνα 4.47 EEVEE vs Cycles Render Example.....	63
Εικόνα 4.48 Defocus Node, Depth of Field	64
Εικόνα 4.49 Compositing Output.....	64
Εικόνα 4.50 Video Sequencer Intro Text	65

Συντομογραφίες

ΔΙΠΙΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
3D	Three-Dimensional
2D	Two-Dimensional
API	Application Programming Interface
GIF	Graphics Interchange Format
PNG	Portable Network Graphics
JPEG	Joint Photographic Experts Group
SVG	Scalable Vector Graphics
VR	Virtual Reality
HCI	Human-Computer Interaction
FOSS	Free and Open-Source Software
GNU	General Public License
VFX	Visual Effects
GUI	Graphical User Interface
DCC	Digital Content Creation
FBX	FilmBox
glTF	graphics library Transmission Format
PBR	Physically Based Rendering
BSDF	Bidirectional Scattering Distribution Function
GPU	Graphics Processing Unit
CPU	Central Processing Unit
UDIM	U Dimensional
NLA	NonLinear Animation
HDRI	High Dynamic Range Image
MP4	Moving Picture Experts Group-4 Part 14

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, με τίτλο «Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Τρισδιάστατου (3D) Χρονολογίου για την Οπτική Παρουσίαση Πληροφοριών/Δεδομένων», πραγματεύεται τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου χρονολογίου με σκοπό την οπτική αναπαράσταση της ιστορικής εξέλιξης του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος. Η εργασία διερευνά τον τρόπο με τον οποίο οι τεχνολογίες των τρισδιάστατων γραφικών και της οπτικοποίησης δεδομένων μπορούν να αξιοποιηθούν για τη δημιουργία μιας διαδραστικής και αφηγηματικής παρουσίασης της πληροφορίας, συνδυάζοντας στοιχεία χωρικής αναπαράστασης, κίνησης και οπτικής αφήγησης.

Για την υλοποίηση του έργου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Blender, το οποίο επιλέχθηκε λόγω των ολοκληρωμένων δυνατοτήτων που προσφέρει. Η ανάπτυξη του τρισδιάστατου χρονολογίου ακολούθησε τη μεθοδολογία του 3D Animation Pipeline, καλύπτοντας όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, από τον αρχικό σχεδιασμό έως την εξαγωγή του τελικού έργου.

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια, τα οποία οργανώνονται ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο, με τίτλο «Εισαγωγή», παρουσιάζεται το αντικείμενο, ο σκοπός και η σημασία της εργασίας, ενώ παράλληλα περιγράφεται συνοπτικά η δομή και το περιεχόμενο των κεφαλαίων που ακολουθούν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, με τίτλο «Γραφικά Υπολογιστών και Οπτικοποίηση Δεδομένων», αναλύονται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με τα γραφικά υπολογιστών, τα τρισδιάστατα γραφικά και την οπτικοποίηση δεδομένων. Παρουσιάζονται οι αρχές της οπτικής επικοινωνίας, τα εικονογραφήματα (infographics), η σημασία της χρονικής διάστασης, του animation και της οπτικής αφήγησης, καθώς και η αξιοποίηση των τρισδιάστατων γραφικών στην οπτικοποίηση δεδομένων.

Στο τρίτο κεφάλαιο, με τίτλο «3D Animation Pipeline και το Λογισμικό Blender», παρουσιάζονται τα στάδια του 3D Animation Pipeline και αναλύεται το λογισμικό Blender ως εργαλείο ανάπτυξης τρισδιάστατου περιεχομένου. Επιπλέον, εξετάζονται η ιστορία, οι δυνατότητες και το περιβάλλον εργασίας του εργαλείου, καθώς και η θέση του σε σχέση με άλλα αντίστοιχα λογισμικά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, με τίτλο «Σχεδιασμός, Απαιτήσεις και Υλοποίηση στο Blender», περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία ανάπτυξης του τρισδιάστατου χρονολογίου. Αρχικά παρουσιάζεται η σχεδιαστική προσέγγιση και οι απαιτήσεις του έργου, ενώ στη συνέχεια αναλύονται όλα τα στάδια της υλοποίησης στο Blender, όπως η μοντελοποίηση, η χαρτογράφηση UV, η εφαρμογή υλικών και υφών, το rigging, το animation, ο φωτισμός, το rendering, καθώς και οι διαδικασίες compositing και video editing που οδήγησαν στην παραγωγή του τελικού βίντεο.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, με τίτλο «Συμπεράσματα και Βελτιώσεις», παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάπτυξη του έργου, αξιολογείται η επίτευξη των επιμέρους στόχων της συγκεκριμένης εργασίας και προτείνονται πιθανές βελτιώσεις και μελλοντικές επεκτάσεις του τρισδιάστατου χρονολογίου που αναπτύχθηκε.

Κεφάλαιο 2ο: Γραφικά Υπολογιστών και Οπτικοποίηση Δεδομένων

2.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας, εστιάζοντας στα γραφικά υπολογιστών, στα τρισδιάστατα γραφικά και στις βασικές αρχές της οπτικής παρουσίασης δεδομένων. Στόχος του είναι να διαμορφώσει ένα συνεκτικό πλαίσιο κατανόησης των εννοιών που σχετίζονται με την αναπαράσταση και οπτικοποίηση πληροφορίας σε ψηφιακά περιβάλλοντα.

Αρχικά, εξετάζονται θεμελιώδεις έννοιες των γραφικών υπολογιστών, οι οποίες αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη τεχνικών απεικόνισης σε σύγχρονα συστήματα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές των τρισδιάστατων γραφικών, με έμφαση στη γεωμετρική αναπαράσταση, στους χωρικούς μετασχηματισμούς και στη δομή των τρισδιάστατων σκηνών. Ακολούθως, αναλύεται το πεδίο της οπτικοποίησης δεδομένων, το οποίο εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο η πληροφορία μετατρέπεται σε οπτικές μορφές για την υποστήριξη της ανάλυσης και της κατανόησης. Παράλληλα, εξετάζονται διαφορετικές μορφές οργάνωσης της πληροφορίας, όπως τα εικονογραφήματα (infographics), καθώς και έννοιες που σχετίζονται με τη χρονική διάσταση και τη δυναμική παρουσίαση της πληροφορίας.

Τέλος, επιχειρείται η σύνδεση των τρισδιάστατων γραφικών με την οπτική παρουσίαση δεδομένων, αναδεικνύοντας τον ρόλο τους ως εργαλείο για την αναπαράσταση σύνθετης πληροφορίας και την υποστήριξη πιο πλούσιων οπτικών αναπαραστάσεων.

2.2 Γραφικά υπολογιστών και Βασικές Αρχές Τρισδιάστατων Γραφικών

2.2.1 Τα γραφικά Υπολογιστών ως πεδίο της Πληροφορικής

Τα **γραφικά υπολογιστών** (Computer Graphics) αποτελούν σημαντικό πεδίο της Πληροφορικής, το οποίο ασχολείται με τη δημιουργία, την επεξεργασία, την αναπαράσταση και την απόδοση εικόνων, 2D ή 3D, μέσω υπολογιστικών συστημάτων. Ο όρος συναντάται συχνά όταν αναφερόμαστε στη σύνθεση ή τροποποίηση οπτικού περιεχομένου, συμπεριλαμβανομένων στατικών εικόνων και κινούμενων ακολουθιών [1].

Ως επιστημονικό πεδίο, τα γραφικά υπολογιστών δεν αποτελούν αυτόνομη και κλειστή ενότητα, αλλά συνδέονται στενά με ποικίλες άλλες επιστημονικές περιοχές, από τα μαθηματικά και τις εφαρμοσμένες επιστήμες έως την τεχνολογία υπολογιστών και την τέχνη του σχεδιασμού [2].

Η σημασία των γραφικών υπολογιστών στην Πληροφορική είναι ιδιαίτερα μεγάλη, επειδή συνδυάζουν θεωρητικές και πρακτικές πτυχές. Από τη μία πλευρά, απαιτούν μαθηματικό και αλγοριθμικό υπόβαθρο για την περιγραφή σχημάτων, χώρου, φωτισμού, προβολών και μετασχηματισμών. Από την άλλη πλευρά, οδηγούν σε εφαρμογές που σχετίζονται με την οπτική επικοινωνία, την προσομοίωση, την επιστημονική απεικόνιση, τη σχεδίαση συστημάτων, την εκπαίδευση, τη βιομηχανία της ψυχαγωγίας, τα βιντεοπαιχνίδια, την επιστημονική οπτικοποίηση και τα διαδραστικά περιβάλλοντα [2-3].

Η οργάνωση των γραφικών υπολογιστών παραδοσιακά βασίζεται σε τρεις βασικούς πυλώνες: τη μοντελοποίηση (modeling), δηλαδή τον μαθηματικό προσδιορισμό του σχήματος και των ιδιοτήτων εμφάνισης ενός αντικειμένου, την απόδοση (rendering), δηλαδή τη δημιουργία εικόνων από τρισδιάστατα μοντέλα, και την κίνηση (animation), δηλαδή τη δημιουργία εντύπωσης κίνησης μέσα από ακολουθίες εικόνων. Γύρω από αυτόν τον πυρήνα αναπτύσσονται συγγενείς περιοχές, όπως η

αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής (HCI), η εικονική πραγματικότητα (VR), η οπτικοποίηση δεδομένων (data visualization) και η επεξεργασία εικόνας, οι οποίες συχνά αλληλεπικαλύπτονται με τα γραφικά υπολογιστών [4].

Τα γραφικά υπολογιστών δεν αποτελούν απλώς εργαλείο αισθητικής αναπαράστασης, αλλά πεδίο που αξιοποιεί γνώσεις προγραμματισμού, μαθηματικής μοντελοποίησης υπολογιστικών τεχνικών και ψηφιακών συστημάτων. Υπό αυτή την έννοια, μπορούν να θεωρηθούν ως σημείο συνάντησης της θεωρητικής πληροφορικής με την πρακτική ανάπτυξη εφαρμογών οπτικής αναπαράστασης. Η βιβλιογραφία τα εντάσσει στα σημαντικά και δυναμικά πεδία της επιστήμης υπολογιστών, με ιδιαίτερη συμβολή τόσο στην τεχνολογική ανάπτυξη όσο και στην επικοινωνία πληροφορίας μέσω ψηφιακών μέσων [1], [5]. Επιπρόσθετα, ο κλάδος εξακολουθεί να εξελίσσεται με ταχείς ρυθμούς, καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις στο υλικό (hardware), στο λογισμικό (software) και στις διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (APIs) μεταβάλλουν συνεχώς τις πρακτικές εφαρμογές του [1].

Θεμελιακή κατηγορία του ευρύτερου πεδίου των γραφικών υπολογιστών αποτελούν τα **δισδιάστατα γραφικά** (2D Computer Graphics), τα οποία αφορούν τη δημιουργία και επεξεργασία εικόνων που οργανώνονται αποκλειστικά στο επίπεδο, χωρίς τη διάσταση του βάθους. Το περιεχόμενο μιας τέτοιας εικόνας μπορεί να αναπαρασταθεί είτε ως πλέγμα εικονοστοιχείων με συγκεκριμένη τιμή χρώματος για κάθε θέση (ψηφιδωτά ή raster γραφικά), είτε ως σύνολο γεωμετρικών σχημάτων όπως ευθείες, καμπύλες και πολύγωνα (διανυσματικά ή vector γραφικά) [1]. Η πρώτη προσέγγιση αντιστοιχεί σε προγράμματα ζωγραφικής, όπου αποθηκεύονται οι τελικές τιμές των pixel, ενώ η δεύτερη σε προγράμματα σχεδίασης, όπου τα επιμέρους σχήματα παραμένουν επεξεργάσιμα ως ανεξάρτητες οντότητες. Τα δισδιάστατα γραφικά βρίσκουν εφαρμογή σε τομείς όπως ο σχεδιασμός διεπαφών χρήστη, η ψηφιακή εικονογράφηση και η επεξεργασία εικόνας, η τεχνική σχεδίαση και οι επιστημονικές απεικονίσεις σε διανυσματική μορφή, καθώς και σε αναπαράσταση γραφικών μέσω αρχείων όπως GIF, PNG, JPEG και SVG [1]. Επιπλέον, η επεξεργασία εικόνας (image processing), η οποία βασίζεται σε δισδιάστατες αναπαραστάσεις, αποτελεί συγγενικό πεδίο που γεφυρώνει τα γραφικά υπολογιστών με πεδία της τεχνητής νοημοσύνης, όπως η υπολογιστική όραση (computer vision) [4].

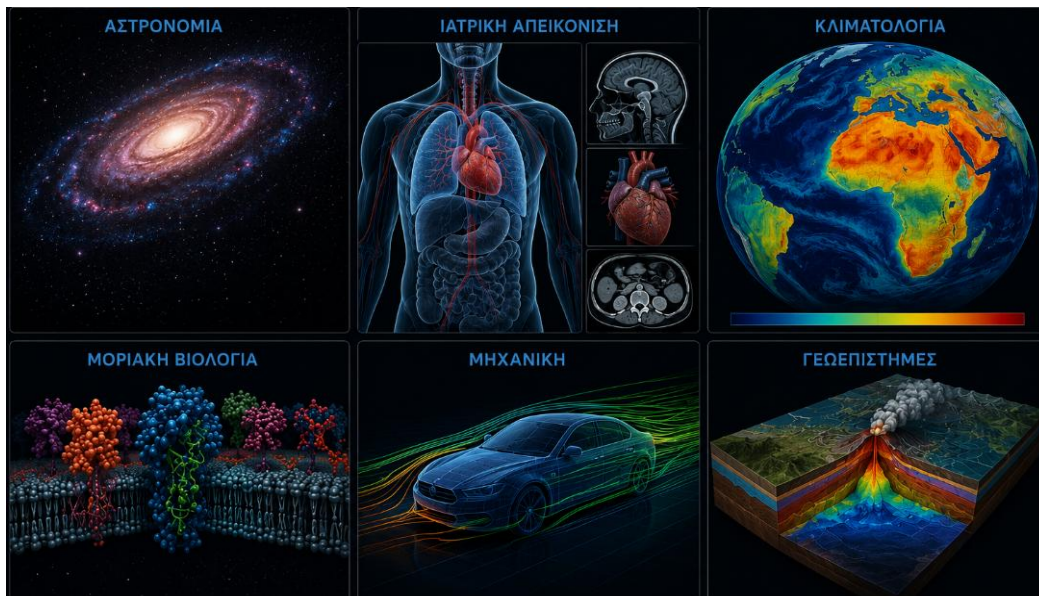
Μέσα στο ευρύτερο αυτό πεδίο των γραφικών υπολογιστών εντάσσονται και τα **τριδιάστατα γραφικά** (3D computer graphics), τα οποία αποτελούν ειδικότερη κατηγορία γραφικών υπολογιστών και επικεντρώνονται στην αναπαράσταση αντικειμένων και σκηνών μέσα σε τρισδιάστατο χώρο. Η σχέση τους με τα δισδιάστατα γραφικά είναι άμεση, καθώς βασικές έννοιες των δισδιάστατων γραφικών, όπως το σύστημα συντεταγμένων και οι γεωμετρικοί μετασχηματισμοί, αποτελούν τη βάση πάνω στα οποία βασίζονται και τα τρισδιάστατα γραφικά [1]. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι τα τρισδιάστατα γραφικά εισάγουν μια επιπλέον χωρική διάσταση, το βάθος, και απαιτούν διαδικασίες προβολής και απόδοσης για τη μετατροπή της σκηνής σε τελική εικόνα, ενώ στα δισδιάστατα γραφικά η αναπαράσταση και η τελική εικόνα συμπίπτουν ήδη στο ίδιο επίπεδο. Παρά τη διάκριση αυτή, δισδιάστατα και τρισδιάστατα γραφικά παραμένουν αλληλένδετα, αφού το τελικό αποτέλεσμα κάθε έργου τρισδιάστατων γραφικών είναι, σχεδόν πάντα, μια δισδιάστατη εικόνα [1].

Η μετάβαση από τα γραφικά υπολογιστών γενικά στα τρισδιάστατα γραφικά ειδικότερα είναι σημαντική για την παρούσα εργασία, καθώς το αντικείμενό της βασίζεται ακριβώς στην αξιοποίηση τεχνικών 3D αναπαράστασης για την οπτική παρουσίαση πληροφοριών και δεδομένων. Για τον λόγο αυτό, η εξέταση των τρισδιάστατων γραφικών που ακολουθεί δεν αντιμετωπίζεται μεμονωμένα, αλλά ως συνέχεια ενός ευρύτερου γνωστικού πεδίου της Πληροφορικής.

2.2.2 Βασικά χαρακτηριστικά των τρισδιάστατων γραφικών

Τα **τρειςδιάστατα γραφικά** (3D Computer Graphics) αποτελούν υποπεδίο των γραφικών υπολογιστών που ασχολείται με τη δημιουργία, επεξεργασία και απόδοση εικόνων βάσει τρισδιάστατων γεωμετρικών δεδομένων [1], [5]. Σε αντίθεση με τις δισδιάστατες αναπαραστάσεις, όπου το περιεχόμενο οργανώνεται κυρίως σε δύο διαστάσεις, τα τρισδιάστατα γραφικά βασίζονται σε αναπαραστάσεις αντικειμένων μέσα σε χώρο τριών διαστάσεων, συνήθως με τη χρήση καρτεσιανών συντεταγμένων (x, y, z) [1]. Το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να παρουσιαστεί ως στατική εικόνα, ως ακολουθία εικόνων για την παραγωγή animation [1] ή ως προβολή σε πραγματικό χρόνο [4], ανάλογα με την εφαρμογή και το σύστημα απόδοσης.

Η βασική αρχή των τρισδιάστατων γραφικών είναι ότι τα αντικείμενα περιγράφονται μαθηματικά μέσα σε έναν εικονικό χώρο και στη συνέχεια αποδίδονται οπτικά μέσω κατάλληλων διαδικασιών προβολής, φωτισμού και απόδοσης εικόνας. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την αναπαράσταση όχι μόνο της μορφής των αντικειμένων, αλλά και της θέσης, του προσανατολισμού, της κλίμακας και της σχέσης τους με άλλα στοιχεία της σκηνής [1]. Τα 3D γραφικά χρησιμοποιούνται σε βιντεοπαιχνίδια, κινούμενα σχέδια, ειδικά εφέ στην τηλεόραση και τον κινηματογράφο, προσομοιώσεις, αναπαράσταση πληροφοριών, καθώς και σε αρκετά επιστημονικά πεδία όπως η ιατρική, η μοριακή βιολογία, η αστρονομία, η κλιματολογία, η μηχανική και οι γεωεπιστήμες. Για παράδειγμα, στην ιατρική χρησιμοποιούνται για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις (MRI/CT scans) που βοηθούν στη διάγνωση, στον σχεδιασμό χειρουργείων και στην εκπαίδευση. Στις Γεωεπιστήμες χρησιμοποιούνται για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις γεωλογικών δομών και φυσικών φαινομένων (σεισμικές και ηφαιστειακές δραστηριότητες) και στη μηχανική για προσομοιώσεις ροής αέρα και ανάλυση καταπονήσεων για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της απόδοσης. Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζονται σχετικά παραδείγματα εφαρμογής.



Εικόνα 2.1 Εφαρμογή των τρισδιάστατων γραφικών σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των τρισδιάστατων γραφικών είναι η **χωρική αναπαράσταση**. Τα αντικείμενα δεν αντιμετωπίζονται ως επίπεδες μορφές, αλλά ως οντότητες που καταλαμβάνουν θέση στον τρισδιάστατο χώρο και μπορούν να μετασχηματιστούν, να περιστραφούν και να παρατηρηθούν από διαφορετικά σημεία θέασης. Η ύπαρξη του άξονα βάθους (z) επιτρέπει την πιο ρεαλιστική απόδοση του χώρου και ενισχύει την αίσθηση όγκου, απόστασης και προοπτικής. Η χωρική αυτή διάσταση

αποτελεί βασικό στοιχείο διαφοροποίησης των τρισδιάστατων γραφικών από τις απλούστερες δισδιάστατες μορφές απεικόνισης [1].

Εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα **οπτικής απόδοσης** των σκηνών μέσω φωτισμού, σκίασης, υλικών και κάμερας. Στα τρισδιάστατα γραφικά, η τελική εικόνα δεν είναι μόνο αποτέλεσμα της γεωμετρικής περιγραφής των αντικειμένων, αλλά και του τρόπου με τον οποίο αυτά αλληλοεπιδρούν με το φως και προβάλλονται προς τον θεατή. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την παραγωγή εικόνων με διαφορετικό βαθμό ρεαλισμού ή αφαιρετικότητας ανάλογα με τον στόχο της εφαρμογής [1].

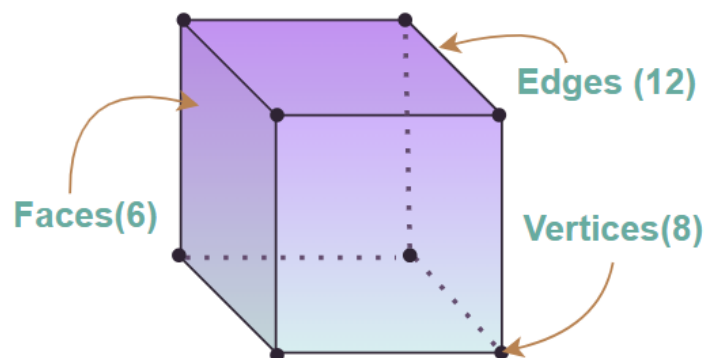
Ένα ακόμη βασικό χαρακτηριστικό των τρισδιάστατων γραφικών είναι η σύνδεσή τους με **την κίνηση και τη χρονική εξέλιξη**. Επειδή τα αντικείμενα ορίζονται μέσα σε τρισδιάστατο χώρο και μπορούν να μετασχηματίζονται, είναι δυνατή η αποτύπωση μεταβολών στον χρόνο, οδηγώντας στην παραγωγή κίνησης και δυναμικών οπτικών αναπαραστάσεων. Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε εφαρμογές όπου η πληροφορία δεν παρουσιάζεται απλώς ως στατική εικόνα, αλλά ως εξελισσόμενο οπτικό περιβάλλον [1].

Συνολικά, τα τρισδιάστατα γραφικά αποτελούν ένα σύνθετο και σημαντικό πεδίο της Πληροφορικής, καθώς συνδυάζουν γεωμετρική αναπαράσταση, μαθηματική μοντελοποίηση, οπτική απόδοση και δυνατότητα χρονικής εξέλιξης. Η μελέτη των βασικών χαρακτηριστικών τους κρίνεται απαραίτητη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο μπορούν να αξιοποιηθούν σε εφαρμογές οπτικής παρουσίασης και οπτικοποίησης δεδομένων, όπως το τρισδιάστατο χρονολόγιο που αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

2.2.3 Γεωμετρία, μετασχηματισμοί και σύνθεση τρισδιάστατης σκηνής

Η γεωμετρία αποτελεί βασικό θεμέλιο των τρισδιάστατων γραφικών, καθώς μέσω αυτής περιγράφονται η μορφή, η θέση και η χωρική οργάνωση των αντικειμένων μέσα σε έναν εικονικό χώρο.

Η γεωμετρία των τρισδιάστατων αντικειμένων περιγράφεται συνήθως μέσω βασικών ιδιοτήτων, όπως οι κορυφές (vertices), οι ακμές (edges) και οι επιφάνειες (faces), τα οποία συνδυάζονται για να σχηματίσουν τα πολυγωνικά πλέγματα ή πλέγματα (meshes) που απαρτίζουν τα βασικά τρισδιάστατα αντικείμενα. Στην εικόνα 2.2 φαίνεται ένα Cube mesh με το σύνολο των vertices, edges και faces από τα οποία αποτελείται. Τα meshes μπορούν να συνδυαστούν ώστε να σχηματιστούν πιο σύνθετα αντικείμενα και σκηνές, επιτρέποντας την απόδοση τόσο απλών, όσο και πιο πολύπλοκων μορφών μέσα στον ψηφιακό χώρο. Η γεωμετρία δεν αφορά μόνο τη μορφή ενός αντικειμένου στον χώρο αλλά και τη σχέση του με τα υπόλοιπα στοιχεία της σκηνής [6].



Εικόνα 2.2 Cube Mesh

Εξίσου σημαντική είναι η έννοια των μετασχηματισμών, μέσω των οποίων τα αντικείμενα μπορούν να μεταβάλλουν θέση, προσανατολισμό και μέγεθος. Οι βασικοί μετασχηματισμοί στα τρισδιάστατα γραφικά είναι η μετατόπιση (translation), η περιστροφή (rotation) και η κλιμάκωση (scaling) [1], [6]. Οι μετασχηματισμοί αυτοί επιτρέπουν την οργάνωση και τη σύνθεση της σκηνής, ενώ παράλληλα αποτελούν τη βάση για την κίνηση και τη χρονική εξέλιξη των αντικειμένων.

Η σύνθεση μιας τρισδιάστατης σκηνής δεν περιορίζεται μόνο στη γεωμετρία και στους μετασχηματισμούς. Μια ολοκληρωμένη σκηνή περιλαμβάνει συνήθως αντικείμενα, πηγές φωτός, κάμερες και τον μηχανισμό μέσω του οποίου η σκηνή αποδίδεται τελικά ως εικόνα. Θα μπορούσαμε να περιγράψουμε τη σκηνή ως ένα οργανωμένο σύνολο αντικειμένων και φωτεινών πηγών, το οποίο παρατηρείται από συγκεκριμένη θέση θέασης και τελικά μετατρέπεται σε δισδιάστατη εικόνα μέσω του rendering. Με άλλα λόγια, η σκηνή συγκροτείται όχι μόνο από το «τι υπάρχει» στον χώρο, αλλά και από το «πώς αυτό γίνεται ορατό» στον θεατή. Η κάμερα καθορίζει το σημείο θέασης της σκηνής και επηρεάζει άμεσα τον τρόπο με τον οποίο ο θεατής αντιλαμβάνεται τα αντικείμενα, το βάθος και τη διάταξή τους. Αντίστοιχα, ο φωτισμός είναι καθοριστικός για την ορατότητα, τη σκίαση, την αντίληψη των αντικειμένων και τη συνολική ατμόσφαιρα [1]. Επιπλέον, η οργάνωση μιας τρισδιάστατης σκηνής είναι καθοριστική όταν το έργο περιλαμβάνει πολλά αντικείμενα ή σύνθετες σχέσεις μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση τα αντικείμενα δεν αντιμετωπίζονται μεμονωμένα, αλλά ως μέρη ενός συνόλου.

Συνοψίζοντας, η τοποθέτηση των στοιχείων, η διάταξή τους στον χώρο, ο τρόπος με τον οποίο φωτίζονται και η οπτική γωνία από την οποία παρουσιάζονται, επηρεάζουν άμεσα τη σαφήνεια και την αποτελεσματικότητα της τελικής οπτικής παρουσίασης. Επομένως, η σύνθεση μιας τρισδιάστατης σκηνής δεν αποτελεί μόνο τεχνική διαδικασία, αλλά και ουσιαστικό στάδιο οργάνωσης και επικοινωνίας της πληροφορίας.

2.3 Οπτικοποίηση Δεδομένων και Οπτική Επικοινωνία

2.3.1 Η σημασία της οπτικοποίησης δεδομένων

Η **οπτικοποίηση δεδομένων** (data visualization) αποτελεί τη διαδικασία μετατροπής δεδομένων και πληροφοριών σε οπτικές αναπαραστάσεις, με σκοπό τη διευκόλυνση της κατανόησης, της ανάλυσης και της επικοινωνίας τους. Η διαδικασία αυτή εντάσσεται στο ευρύτερο πεδίο της επιστημονικής απεικόνισης και συνδέεται άμεσα με τις αρχές των γραφικών υπολογιστών, όπου τα δεδομένα μετασχηματίζονται σε οπτικές αναπαραστάσεις μέσω γεωμετρικών και υπολογιστικών διαδικασιών [4], [7].

Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα και ποσότητα δεδομένων στη σύγχρονη εποχή καθιστά την οπτικοποίηση απαραίτητη για την αποτελεσματική ανάλυση της πληροφορίας. Μέσω κατάλληλων οπτικών αναπαραστάσεων, τα δεδομένα καθίστανται πιο προσβάσιμα και κατανοητά, επιτρέποντας την αναγνώριση προτύπων, τάσεων και σχέσεων που δεν είναι άμεσα εμφανείς σε ακατέργαστη μορφή. Επιπρόσθετα, η οπτικοποίηση λειτουργεί ως εργαλείο επικοινωνίας, διευκολύνοντας τη μετάδοση πληροφορίας σε διαφορετικά επίπεδα κοινού [8].

Κεντρικό στοιχείο της διαδικασίας αποτελεί η χαρτογράφηση δεδομένων σε οπτικές μεταβλητές, όπως η θέση, το χρώμα, η φωτεινότητα, το μέγεθος και το σχήμα. Η επιλογή των κατάλληλων οπτικών κωδικοποιήσεων επηρεάζει άμεσα την ικανότητα του χρήστη να αντιληφθεί δομές και σχέσεις μέσα στα δεδομένα. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στη λογική ότι η ανθρώπινη όραση αποτελεί έναν αποτελεσματικό μηχανισμό επεξεργασίας πληροφορίας όταν αυτή παρουσιάζεται οπτικά με κατάλληλο τρόπο. Η προσέγγιση αυτή αντιμετωπίζει την οπτικοποίηση όχι ως απλή απεικόνιση, αλλά ως γνωστικό

εργαλείο υποστήριξης της ανθρώπινης σκέψης [4]. Η διαδικασία σχεδιασμού μιας οπτικοποίησης μπορεί να αναλυθεί ως ένα σύστημα αλληλεξαρτώμενων επιπέδων, που περιλαμβάνει τα δεδομένα, τους μετασχηματισμούς τους, την οπτική κωδικοποίηση και την αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Η αποτελεσματικότητα μιας οπτικοποίησης εξαρτάται από τη συνοχή αυτών των επιπέδων και από τη σωστή αντιστοίχιση μεταξύ δεδομένων και οπτικών αναπαραστάσεων [4].

Παράλληλα, η οπτικοποίηση δεδομένων βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις αρχές του οπτικού σχεδιασμού και της επικοινωνίας. Η σαφήνεια, η ιεράρχηση και η σωστή οργάνωση των οπτικών στοιχείων αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την αποτελεσματική μετάδοση του μηνύματος. Ο οπτικός σχεδιασμός πρέπει να εξυπηρετεί πρωτίστως την κατανόηση και την επικοινωνία και όχι την αισθητική υπερφόρτωση ή την πολυπλοκότητα της πληροφορίας [7], [9].

Επιπλέον, η οπτικοποίηση δεδομένων δεν αποτελεί μόνο εργαλείο παρουσίασης πληροφορίας, αλλά έχει εξελιχθεί και σε ερευνητικό αντικείμενο. Στο πλαίσιο της ανάλυσης της επιστημονικής παραγωγής και των ερευνητικών δημοσιεύσεων, οι τεχνικές οπτικοποίησης χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση και τη μελέτη βιβλιογραφικών δεδομένων, όπως δημοσιεύσεων, δικτύων αναφορών και θεματικών τάσεων. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η κατανόηση της εξέλιξης και της δομής ενός επιστημονικού πεδίου, καθώς και η ανάδειξη σχέσεων μεταξύ ερευνητικών αντικειμένων [2]. Σε πιο πρακτικό επίπεδο, η οπτικοποίηση δεδομένων συμβάλλει στη μετατροπή αφηρημένων πληροφοριών σε δομημένες οπτικές αναπαραστάσεις που διευκολύνουν την κατανόηση και την ανάλυση. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά σημαντική όταν τα δεδομένα είναι χρονικά ή δομικά σύνθετα, καθώς επιτρέπει την ανάδειξη σχέσεων, μεταβολών και αφηγηματικών προτύπων.

Συνολικά, η οπτικοποίηση δεδομένων αποτελεί ένα διεπιστημονικό πεδίο που συνδυάζει αρχές από τα γραφικά υπολογιστών, τον οπτικό σχεδιασμό και την επικοινωνία. Η συμβολή της είναι καθοριστική στη μετατροπή των δεδομένων σε γνώση, επιτρέποντας την αποτελεσματική ανάλυση και επικοινωνία της πληροφορίας σε σύγχρονα ψηφιακά περιβάλλοντα.

2.3.2 Αρχές και μηχανισμοί οπτικής επικοινωνίας

Μετά την ανάλυση των θεμελιωδών αρχών της οπτικοποίησης δεδομένων, καθίσταται σαφές ότι η αποτελεσματική αναπαράσταση της πληροφορίας δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα μετασχηματίζονται σε οπτικές μορφές, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι μορφές οργανώνονται και παρουσιάζονται στον τελικό χρήστη-θεατή. Σε αυτό το σημείο, εισάγεται η έννοια της οπτικής επικοινωνίας, η οποία εστιάζει στον σχεδιασμό και τη δομή του οπτικού μηνύματος, με στόχο τη σαφή και αποτελεσματική μετάδοση της πληροφορίας προς τον αποδέκτη. Ενώ η οπτικοποίηση δεδομένων αφορά κυρίως τη μετατροπή δεδομένων σε οπτική μορφή, η οπτική επικοινωνία εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο η οπτική αυτή πληροφορία οργανώνεται, ιεραρχείται και γίνεται κατανοητή. Η οπτική επικοινωνία αναφέρεται στη διαδικασία μετάδοσης πληροφορίας και νοήματος μέσω οπτικών μέσων, όπως εικόνες, σύμβολα, σχήματα, χρώματα και χωρικές διατάξεις [9].

Μία από τις βασικότερες αρχές της οπτικής επικοινωνίας αποτελεί η **σαφήνεια** του μηνύματος. Η πληροφορία πρέπει να παρουσιάζεται με τρόπο άμεσο και κατανοητό, αποφεύγοντας την περιττή οπτική πολυπλοκότητα που μπορεί να δυσκολέψει την ερμηνεία και την κατανόησή της. Ο σχεδιασμός του οπτικού μηνύματος οφείλει να υποστηρίξει τη γρήγορη πρόσληψη της πληροφορίας και να μειώνει την ανάγκη για γνωστική επεξεργασία εκ μέρους του χρήστη [10].

Εξίσου σημαντική αρχή αποτελεί η **οπτική ιεράρχηση**, δηλαδή η οργανωμένη διάταξη των στοιχείων μιας σύνθεσης με τρόπο που να καθοδηγεί την προσοχή του παρατηρητή. Μέσω διαφοροποιήσεων στο μέγεθος, στο χρώμα, στη θέση και στη φωτεινότητα, τα οπτικά στοιχεία οργανώνονται σε επίπεδα με

βάση τη σπουδαιότητά τους, επιτρέποντας την ταχύτερη κατανόηση της δομής ενός μηνύματος. Η σωστή ιεράρχηση συμβάλλει στην αποτελεσματική οργάνωση και ερμηνεία του οπτικού περιεχομένου [11].

Άμεσα συνδεδεμένη με τα παραπάνω είναι και η **αναγνωσιμότητα**, η οποία αφορά τον βαθμό ευκολίας με τον οποίο ένα οπτικό μήνυμα μπορεί να γίνει αντιληπτό και να ερμηνευθεί. Η αναγνωσιμότητα εξαρτάται από παράγοντες όπως η τυπογραφία, η χρωματική αντίθεση, η διάταξη και η συνοχή της σύνθεσης. Σύμφωνα με τις αρχές του σχεδιασμού της πληροφορίας (information design), η αποτελεσματική οπτική επικοινωνία απαιτεί ισορροπία μεταξύ μορφής και λειτουργίας, ώστε η πληροφορία να παραμένει άμεσα προσβάσιμη [11].

Συμπερασματικά, η οπτική επικοινωνία λειτουργεί ως μηχανισμός οργάνωσης και παρουσίασης της πληροφορίας, όπου η αποτελεσματικότητα του μηνύματος εξαρτάται από τη σαφήνεια, τη δομή και τη σχεδιαστική συνοχή. Η εφαρμογή των αρχών της είναι κρίσιμη για τη δημιουργία οπτικών συστημάτων που υποστηρίζουν την άμεση και ορθή κατανόηση της πληροφορίας από τον παρατηρητή. Επομένως, η σωστή οργάνωση της πληροφορίας, η καθοδήγηση της προσοχής και η ισορροπία ανάμεσα στην αισθητική και στη λειτουργικότητα αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την επιτυχία της οπτικής παρουσίασης.

2.4 Εικονογραφήματα και Οπτικοποίηση Πληροφορίας

2.4.1 Χαρακτηριστικά και Ρόλος των Εικονογραφημάτων

Ο όρος infographic προέρχεται από τις λέξεις information και graphics και χρησιμοποιείται για να περιγράψει μία οπτική μορφή αναπαράστασης πληροφορίας, δεδομένων ή γνώσης, με στόχο τη σαφή, συνοπτική και αποτελεσματική επικοινωνία σύνθετου περιεχομένου. Τα infographics ή εικονογραφήματα συνδυάζουν κείμενο, εικόνες και γραφικά στοιχεία, οργανώνοντας την πληροφορία σε μια ενιαία οπτική δομή, με στόχο τη γρήγορη κατανόηση και την αποτελεσματική μετάδοση του νοήματος [12-13].

Κεντρικό χαρακτηριστικό των εικονογραφημάτων είναι η οπτική οργάνωση της πληροφορίας σε ενιαίες και δομημένες αναπαραστάσεις. Αντί της γραμμικής παρουσίασης δεδομένων, η πληροφορία οργανώνεται μέσω συνδυασμού κειμένου, εικόνων, διαγραμμάτων, συμβόλων, εικονιδίων και χρωματικών σχέσεων, επιτρέποντας στον χρήστη να αντιλαμβάνεται τις σχέσεις μεταξύ των επιμέρους στοιχείων με πιο άμεσο τρόπο. Η διαδικασία αυτή δεν στοχεύει μόνο στην παρουσίαση, αλλά στη μετατροπή της πληροφορίας σε μορφή που υποστηρίζει την κατανόηση και τη γνωστική επεξεργασία της [11], [14].

Επιπρόσθετα, τα εικονογραφήματα χαρακτηρίζονται από έντονη συμπίκνωση πληροφορίας, δεδομένου ότι επιλέγονται και αποδίδονται μόνο τα ουσιώδη στοιχεία ενός συνόλου δεδομένων. Η επιλογή αυτή δεν αποτελεί απλοποίηση της πληροφορίας, αλλά διαδικασία φιλτραρίσματος και αναδόμησης, ώστε να ενισχύεται η σαφήνεια και η λειτουργικότητα του τελικού οπτικού αποτελέσματος [12], [15].

Αξίζει επίσης να τονισθεί ο ισχυρός επικοινωνιακός ρόλος των εικονογραφημάτων, καθώς λειτουργούν ως μέσο μετάδοσης σύνθετων πληροφοριών προς ένα ευρύτερο κοινό. Σύγχρονες μελέτες δείχνουν ότι η χρήση τους διευκολύνει την κατανόηση πολύπλοκων εννοιών και υποστηρίζει τη γνωστική επεξεργασία, ιδιαίτερα σε εκπαιδευτικά και επιστημονικά περιβάλλοντα [13], [16]. Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται ως εργαλείο γεφύρωσης μεταξύ πολύπλοκων δεδομένων και τελικών χρηστών, αφού επιτρέπουν τη μετατροπή αφηρημένης πληροφορίας σε κατανοητές δομές. Η προσέγγιση αυτή ενισχύεται από έρευνες που υπογραμμίζουν την αξία της οπτικής αντίληψης στην

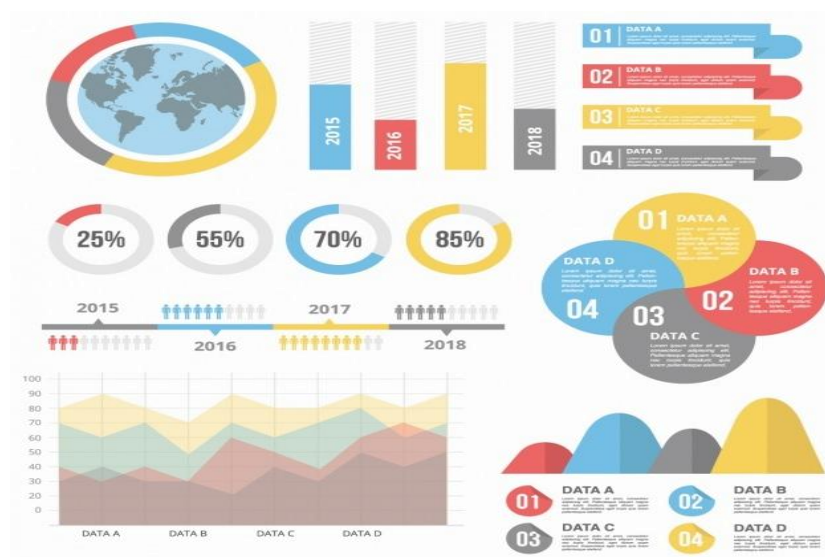
επεξεργασία πληροφοριών. Είναι αποδεδειγμένο ότι οι οπτικές αναπαραστάσεις διευκολύνουν την ταχύτερη κατανόηση σε σχέση με λεκτικές ή αριθμητικές μορφές [13], [16].

Τέλος, τα εικονογραφήματα χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορους τομείς όπου απαιτείται η γρήγορη και κατανοητή μετάδοση σύνθετης πληροφορίας. Στον τομέα της εκπαίδευσης αξιοποιούνται για τη διευκόλυνση της κατανόησης σύνθετων εννοιών και την υποστήριξη της μαθησιακής διαδικασίας μέσω της οπτικής αναπαράστασης της πληροφορίας. Στην επιστημονική επικοινωνία χρησιμοποιούνται για την παρουσίαση ερευνητικών αποτελεσμάτων και δεδομένων με τρόπο περισσότερο κατανοητό και προσιτό τόσο σε εξειδικευμένο όσο και σε μη εξειδικευμένο κοινό. Περαιτέρω, στον τομέα της δημόσιας πληροφόρησης και των μέσων ενημέρωσης, τα εικονογραφήματα συμβάλλουν στην αποσαφήνιση σύνθετων θεμάτων και εννοιών, όπως στατιστικά στοιχεία ή κοινωνικά και οικονομικά δεδομένα, καθιστώντας τα πιο εύκολα αντιληπτά από το ευρύ κοινό [13], [17].

2.4.2 Μορφές και Κατηγορίες Εικονογραφημάτων

Τα εικονογραφήματα (infographics) μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο παρουσίασης, τον βαθμό αλληλεπίδρασης και τη μορφή οπτικοποίησης της πληροφορίας. Η κατηγοριοποίηση αυτή σχετίζεται κυρίως με τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης προσλαμβάνει και αλληλεπιδρά με το περιεχόμενο. Στη σχετική βιβλιογραφία, μία από τις πιο συχνές κατηγοριοποιήσεις τα διακρίνει σε **στατικά** (static), **δυναμικά ή κινούμενα** (animated) και **διαδραστικά** (interactive). Παράλληλα, μπορούν να διακριθούν και ως προς τη χωρική τους μορφή σε **δισδιάστατα** και **τρισδιάστατα**, ανάλογα με το αν αναπτύσσονται σε επίπεδη ή σε τρισδιάστατη οπτική αναπαράσταση [15], [17].

Τα στατικά εικονογραφήματα (static infographics) αποτελούν την πιο παραδοσιακή μορφή και παρουσιάζουν την πληροφορία σε μία ενιαία, σταθερή και αμετάβλητη οπτική σύνθεση. Σε αυτή την περίπτωση, το σύνολο της πληροφορίας είναι προσχεδιασμένο και σταθερό, επιτρέποντας στον παρατηρητή να αντιληφθεί άμεσα τη συνολική δομή χωρίς αλληλεπίδραση με το περιεχόμενο. Η μορφή αυτή είναι αρκετά χρήσιμη όταν ζητούμενο είναι η άμεση και σαφής παρουσίαση πληροφοριών σε περιβάλλοντα όπως έντυπο υλικό, αναφορές, εκπαιδευτικά κείμενα ή αναρτήσεις ψηφιακού περιεχομένου [12], [17-18]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στατικού εικονογραφήματος παρουσιάζεται στην εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3 Στατικό Εικονογράφημα

Αντίθετα, τα δυναμικά ή κινούμενα εικονογραφήματα (animated infographics) εισάγουν τη διάσταση του χρόνου στην οπτική παρουσίαση της πληροφορίας. Η πληροφορία δεν εμφανίζεται ταυτόχρονα, αλλά εξελίσσεται σταδιακά, επιτρέποντας την καλύτερη κατανόηση διαδικασιών, σχέσεων και μεταβολών. Το στοιχείο αυτό της κίνησης αποδίδει την πληροφορία με πιο αφηγηματικό και ελκυστικό τρόπο. Έρευνες δείχνουν ότι τα εικονογραφήματα της συγκεκριμένης κατηγορίας μπορούν να ενισχύσουν την κατανόηση και την αφομοίωση πιο σύνθετων δεδομένων, ιδιαίτερα σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα [17], [19].

Επιπρόσθετα, μία άλλη εξίσου σημαντική κατηγορία αποτελούν τα διαδραστικά εικονογραφήματα (interactive infographics), στα οποία ο χρήστης δεν παραμένει απλός θεατής, αλλά μπορεί να αλληλεπιδρά με το περιεχόμενο, να επιλέγει τι θα δει, να εξερευνά επιμέρους ενότητες ή να μεταβάλλει το επίπεδο πληροφορίας που εμφανίζεται. Στην εικόνα 2.4 βλέπουμε ένα παράδειγμα διαδραστικής απεικόνισης στο οποίο παρουσιάζεται ένα δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αναδεικνύοντας τις ροές ενέργειας, δεδομένων και οικονομικών πόρων μέσα σε ένα σύγχρονο δίκτυο. Το γεγονός αυτό επιτρέπει πιο εξατομικευμένη εξερεύνηση των δεδομένων και έχει συνδεθεί με βελτιωμένη κατανόηση και ενεργή συμμετοχή του χρήστη. Για τον λόγο αυτό, η κατηγορία αυτή συνδέεται συχνά με ψηφιακές εφαρμογές, διαδικτυακές πλατφόρμες και περιβάλλοντα οπτικοποίησης δεδομένων που δίνουν έμφαση στην εξερεύνηση και στην εμπειρία του χρήστη [18], [20].



Εικόνα 2.4 Διαδραστικό Εικονογράφημα

Πέρα από τη διάκριση με βάση την κίνηση ή την αλληλεπίδραση, τα εικονογραφήματα μπορούν να διαφοροποιηθούν και ως προς τη χωρική τους μορφή. Τα δισδιάστατα οργανώνονται σε επίπεδο χώρο και αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή τους και εμφανίζονται κατά βάση σε έντυπα, οθόνες και ιστοσελίδες ως επίπεδες οπτικές συνθέσεις. Αντίθετα, τα τρισδιάστατα αξιοποιούν βάθος, χωρική οργάνωση και πολλές φορές κίνηση ή μεταβαλλόμενη οπτική γωνία, ώστε η πληροφορία να παρουσιάζεται μέσα σε πιο σύνθετο οπτικό περιβάλλον. Παρότι τα τρισδιάστατα εικονογραφήματα είναι λιγότερο συνηθισμένα από τα δισδιάστατα, συνδέονται άμεσα με πιο σύγχρονες μορφές

οπτικοποίησης, όπου ο χώρος και η αφηγηματική πλοήγηση αξιοποιούνται ως φορείς πληροφορίας [15], [20].

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι οι διαφορετικές μορφές και κατηγορίες αποδεικνύουν πως η οπτική παρουσίαση της πληροφορίας δεν περιορίζεται σε μία σταθερή και ενιαία μορφή. Αντίθετα μπορεί και πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με το περιεχόμενο, τον στόχο της επικοινωνίας, το μέσο παρουσίασης και τον βαθμό αλληλεπίδρασης ή πολυπλοκότητας που απαιτείται. Η κατανόηση αυτών των μορφών αποτελεί χρήσιμη θεωρητική βάση για την εξέταση πιο σύνθετων εφαρμογών οπτικοποίησης, όπως εκείνες που αξιοποιούν τρισδιάστατα γραφικά και χρονική οργάνωση της πληροφορίας [15], [21].

2.5 Χρόνος, Κίνηση και Οπτική Αφήγηση

2.5.1 Χρόνος, κίνηση και animation στην οπτικοποίηση δεδομένων

Ο χρόνος αποτελεί σημαντική διάσταση στην οπτική παρουσίαση της πληροφορίας, ιδιαίτερα όταν τα δεδομένα ή τα γεγονότα που παρουσιάζονται έχουν χρονική ακολουθία, εξέλιξη ή μεταβολή. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η πληροφορία δεν οργανώνεται μόνο χωρικά, αλλά και χρονικά, ώστε να αποδοθούν σχέσεις όπως η διαδοχή, η διάρκεια, η αλλαγή και η εξέλιξη. Η οπτικοποίηση χρονικά εξαρτώμενων δεδομένων στοχεύει στην αναπαράσταση αυτών των μεταβολών με τρόπο που επιτρέπει την κατανόηση τόσο της στιγμιαίας κατάστασης όσο και της συνολικής εξέλιξης ενός φαινομένου. Η βιβλιογραφία για την οπτικοποίηση αυτών των δεδομένων επισημαίνει ότι η ανάλυση και παρουσίαση δεδομένων που σχετίζονται με τον χρόνο κρίνεται σημαντικό ζήτημα σε πολλές εφαρμογές, καθώς απαιτεί κατάλληλες τεχνικές για την ανάδειξη χρονικών προτύπων και μεταβολών [22].

Σε αυτό το πλαίσιο, η κίνηση και το animation αποτελούν βασικούς μηχανισμούς για την απόδοση χρονικών αλλαγών. Αντί της στατικής απεικόνισης πολλαπλών χρονικών στιγμών, η χρήση animation επιτρέπει τη συνεχή μετάβαση μεταξύ καταστάσεων, καθιστώντας πιο άμεση την αντίληψη των αλλαγών και των τάσεων μέσα στα δεδομένα [23]. Η χρήση animation στην οπτικοποίηση δεδομένων δεν επιλέγεται μόνο για αισθητικούς λόγους, αλλά λειτουργεί ως εργαλείο αναπαράστασης της χρονικής πληροφορίας. Μέσω της σταδιακής εμφάνισης, μετακίνησης ή μεταμόρφωσης οπτικών στοιχείων, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί τη δυναμική εξέλιξη των δεδομένων σε συνεχή ροή. Η κίνηση μπορεί να κατευθύνει την προσοχή του θεατή, να αναδείξει σχέσεις μεταξύ στοιχείων, να παρουσιάσει χρονικές μεταβολές και να υποστηρίξει τη σταδιακή αποκάλυψη της πληροφορίας. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της κίνησης εξαρτάται από τους περιορισμούς της ανθρώπινης αντίληψης. Έρευνες δείχνουν ότι η γνωστική ικανότητα επεξεργασίας κινούμενης πληροφορίας είναι περιορισμένη, γεγονός που απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό ώστε να αποφεύγεται η γνωστική υπερφόρτωση και η απώλεια πληροφορίας. Οι κινούμενες οπτικοποιήσεις μπορούν να είναι ελκυστικές, αλλά ο μη αποτελεσματικός σχεδιασμός τους μπορεί να τις καταστήσει σε μεγάλο βαθμό δυσνόητες [7].

Παράλληλα, η επιλογή μεταξύ στατικής και κινούμενης αναπαράστασης εξαρτάται από τη φύση των δεδομένων και τον στόχο της ανάλυσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η στατική απεικόνιση πολλαπλών χρονικών σημείων μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική για σύγκριση, ενώ σε άλλες περιπτώσεις η συνεχής κίνηση διευκολύνει την κατανόηση της ροής και της εξέλιξης των δεδομένων [22].

Συνολικά, η ενσωμάτωση της χρονικής διάστασης και της κίνησης στην οπτικοποίηση δεδομένων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την αναπαράσταση δυναμικών φαινομένων, επιτρέποντας την καλύτερη ερμηνεία της ανάπτυξης και των μεταβολών μέσα στα δεδομένα.

2.5.2 Οπτική αφήγηση σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα

Η οπτική αφήγηση σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο η πληροφορία οργανώνεται στον χώρο, ώστε να υποστηρίξει μία δομημένη εμπειρία πλοήγησης και εξερεύνησης από τον χρήστη. Σε αντίθεση με τις χρονικά βασισμένες αναπαραστάσεις, η οργάνωση της πληροφορίας εδώ βασίζεται στη χωρική διάταξη και στη σχέση θέσης μεταξύ των επιμέρους στοιχείων, τα οποία εντάσσονται σε ένα ενιαίο τρισδιάστατο περιβάλλον [4].

Σε αυτό το πλαίσιο, η πρόσβαση στην πληροφορία δεν πραγματοποιείται μέσω χρονικής ροής, αλλά μέσω κίνησης και αλλαγής οπτικής γωνίας μέσα στον χώρο. Ο χρήστης αντιλαμβάνεται το περιεχόμενο μέσα από τη χωρική του τοποθέτηση και τη μετάβαση από ένα σημείο ενδιαφέροντος σε άλλο, αξιοποιώντας τη δομή του τρισδιάστατου περιβάλλοντος ως μέσο οργάνωσης της πληροφορίας [23]. Η αποτελεσματικότητα της οπτικής οργάνωσης σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο κατανομούνται τα στοιχεία στον χώρο, ώστε να υποστηρίζεται η κατανόηση των μεταξύ τους σχέσεων χωρίς να απαιτείται ταυτόχρονη παρουσίαση όλων των πληροφοριών. Η σταδιακή αποκάλυψη του περιεχομένου δεν σχετίζεται με χρονική εξέλιξη, αλλά με χωρική μετάβαση μέσα στο περιβάλλον [22]. Εντούτοις, η αυξημένη ελευθερία κίνησης στον τρισδιάστατο χώρο μπορεί να δημιουργήσει δυσκολίες, δεδομένου ότι ο χρήστης καλείται να επεξεργαστεί ταυτόχρονα χωρικές θέσεις, προοπτική και οπτική ιεράρχηση. Στο σημείο αυτό αξίζει να τονισθεί το γεγονός πως η οπτική οργάνωση σε τρισδιάστατο χώρο υποστηρίζει μορφές καθοδηγούμενης εξερεύνησης, όπου η πληροφορία δομείται ως σύνολο χωρικά τοποθετημένων στοιχείων που οδηγούν τον χρήστη σε διαφορετικά επίπεδα κατανόησης μέσω κίνησης μέσα στον περιβάλλον. Η βιβλιογραφία για την αφηγηματική οπτικοποίηση δεδομένων (narrative visualization) επισημαίνει ότι οι οπτικοποιήσεις μπορούν να συνδυάζουν στοιχεία εξερεύνησης και αφήγησης, στοχεύοντας έτσι είτε στην καθοδηγούμενη παρουσίαση ενός μηνύματος είτε στην πιο ελεύθερη διερεύνηση του περιεχομένου από τον χρήστη [23].

Η χρήση της κάμερας παίζει καθοριστικό ρόλο στην οπτική αφήγηση, αφού ελέγχει το τι βλέπει ο θεατής, με ποια σειρά το βλέπει και ποια στοιχεία προβάλλονται ως σημαντικά. Σε τρισδιάστατες σκηνές, η κάμερα μπορεί να λειτουργήσει ως μηχανισμός καθοδήγησης, αποκαλύπτοντας σταδιακά την πληροφορία και δημιουργώντας την αίσθηση της συνέχειας. Η αφήγηση επομένως δεν προκύπτει μόνο από τα αντικείμενα που υπάρχουν στη σκηνή, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο αυτά παρουσιάζονται στον θεατή μέσα στον χρόνο και στον χώρο [23].

Συνοψίζοντας, η οπτική αφήγηση σε τέτοια περιβάλλοντα αποτελεί μία χωρικά δομημένη μορφή οπτικοποίησης, κατά την οποία η πληροφορία οργανώνεται με βάση τη θέση και τις σχέσεις των στοιχείων μέσα στον χώρο και μεταξύ τους, οδηγώντας σε μια πιο βιωματική και εξερευνητική προσέγγιση της κατανόησης δεδομένων.

2.6 Τρισδιάστατα Γραφικά στην Οπτικοποίηση Δεδομένων

2.6.1 Δυνατότητες και περιορισμοί των τρισδιάστατων αναπαραστάσεων

Η αξιοποίηση των τρισδιάστατων γραφικών στην οπτικοποίηση δεδομένων επιτρέπει την αναπαράσταση πληροφορίας σε ένα χωρικά δομημένο περιβάλλον με τρεις διαστάσεις, όπου το βάθος, η προοπτική και η χωρική διάταξη μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επιπλέον άξονες κωδικοποίησης δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η απεικόνιση σύνθετων ή πολυδιάστατων δεδομένων μέσα σε ένα ενιαίο οπτικό πλαίσιο, υποστηρίζοντας τη δυνατότητα ταυτόχρονης παρουσίασης πολλαπλών μεταβλητών [4], [7].

Μία από τις βασικές δυνατότητες των 3D γραφικών είναι η ενίσχυση της χωρικής αντίληψης της πληροφορίας. Η χρήση βάθους, προοπτικής, φωτισμού και διαφορετικών γωνιών θέασης επιτρέπει στον χρήστη να κατανοήσει σχέσεις όπως η απόσταση, η ιεραρχία και η χωρική διάταξη μεταξύ των δεδομένων. Οι οπτικές ενδείξεις βάθους (depth cues) συμβάλλουν στη βελτίωση της αντίληψης της δομής ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος, ιδιαίτερα όταν τα δεδομένα έχουν εγγενή χωρικό χαρακτήρα [24]. Επιπλέον, τα τρισδιάστατα γραφικά μπορούν να ενισχύσουν την οργάνωση της πληροφορίας σε περιβάλλοντα που επιτρέπουν εξερεύνηση και αλληλεπίδραση, όπου ο χρήστης μπορεί να μετακινείται στον χώρο και να αντιλαμβάνεται διαφορετικές όψεις των δεδομένων. Η δυνατότητα αυτή βελτιώνει την κατανόηση σύνθετων δομών, στις οποίες η πληροφορία εντάσσεται σε πολυδιάστατο χώρο αναπαράστασης [4].

Παρά τα πλεονεκτήματα, τα τρισδιάστατα γραφικά παρουσιάζουν σημαντικούς περιορισμούς. Ένα από τα βασικότερα προβλήματα είναι η απόκρυψη πληροφορίας (occlusion), κατά την οποία αντικείμενα της σκηνής καλύπτουν άλλα αντικείμενα λόγω της χωρικής τους τοποθέτησης. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να μειώσει την αναγνωσιμότητα και να δυσκολέψει την άμεση σύγκριση δεδομένων μέσα στο ίδιο οπτικό περιβάλλον [25]. Ένας ακόμη περιορισμός αφορά την αντίληψη του βάθους και την οπτική πολυπλοκότητα. Παρότι τα depth cues βοηθούν στην αντίληψη της χωρικής δομής, η συνολική πολυπλοκότητα μιας τρισδιάστατης σκηνής μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ταχύτητα και την ακρίβεια της ερμηνείας της πληροφορίας [24].

Η χρήση τρισδιάστατων αναπαραστάσεων δεν οδηγεί πάντοτε σε καλύτερη κατανόηση δεδομένων. Σε περιπτώσεις όπου η πληροφορία δεν έχει ξεκάθαρη χωρική δομή, η προσθήκη τρίτης διάστασης μπορεί να αυξήσει το γνωστικό φορτίο. Μελέτες έχουν δείξει ότι η αποτελεσματικότητα των 3D οπτικοποιήσεων εξαρτάται από το θέμα της εργασίας και το πλαίσιο της χρήσης τους και ότι σε πολλές περιπτώσεις οι δισδιάστατες αναπαραστάσεις παραμένουν πιο αποδοτικές [7]. Έχει επισημανθεί ότι η χρήση τρισδιάστατων ενδείξεων βάθους δεν συνεπάγεται πάντα ανάγκη πλήρους τρισδιάστατης αναπαράστασης, αφού σε ορισμένα σενάρια μια “2½D” προσέγγιση μπορεί να προσφέρει καλύτερη ισορροπία μεταξύ απλότητας και χωρικής αναπαράστασης, περιορίζοντας την πολυπλοκότητα χωρίς απώλεια πληροφορίας [24].

2.6.2 Το τρισδιάστατο χρονολόγιο ως μορφή οπτικοποίησης δεδομένων

Το χρονολόγιο αποτελεί μία βασική δομή οπτικοποίησης χρονικών δεδομένων, στην οποία τα γεγονότα οργανώνονται με βάση τη χρονική τους ακολουθία. Μέσω αυτής της γραμμικής αναπαράστασης, καθίσταται δυνατή η αποτύπωση της εξέλιξης δεδομένων και των χρονικών σχέσεων μεταξύ γεγονότων, επιτρέποντας τη συνολική επισκόπηση μιας χρονικής πορείας [22].

Στην οπτικοποίηση δεδομένων, το χρονολόγιο λειτουργεί ως θεμελιώδης μηχανισμός μετατροπής του χρόνου σε οπτική διάσταση, όπου κάθε γεγονός αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη χρονική θέση μέσα σε μία οργανωμένη ακολουθία. Η δομή αυτή επιτρέπει την κατανόηση της χρονικής συνέχειας και την αναγνώριση των μεταβολών και των συσχετίσεων σε διαφορετικά χρονικά σημεία.

Το τρισδιάστατο χρονολόγιο (3D timeline) επεκτείνει τη βασική αυτή δομή, εντάσσοντας τη χρονική πληροφορία σε έναν τρισδιάστατο χώρο. Αντί η αναπαράσταση να περιορίζεται σε μια γραμμική ή δισδιάστατη επιφάνεια, τα γεγονότα τοποθετούνται μέσα σε ένα χωρικό περιβάλλον, στο οποίο η θέση τους, το βάθος και η προοπτική χρησιμοποιούνται ως επιπλέον στοιχεία οργάνωσης της πληροφορίας. Με αυτόν τον τρόπο, η χρονική διάσταση αποκτά χωρική υπόσταση, δίνοντας τη δυνατότητα για πολυεπίπεδη απεικόνιση δεδομένων [4]. Παράλληλα, η χρήση βάθους και προοπτικής ενισχύει τη

διαφοροποίηση των στοιχείων μέσα στον ίδιο οπτικό χώρο, γεγονός που επιτρέπει την ανάπτυξη πιο σύνθετων δομών οργάνωσης της πληροφορίας [7].

Η χρήση τρισδιάστατης αναπαράστασης σε χρονολογικές δομές επιτρέπει την ταυτόχρονη παρουσίαση πολλαπλών επιπέδων πληροφορίας. Συγκεκριμένα, διαφορετικές χρονικές περίοδοι, κατηγορίες γεγονότων ή θεματικές ενότητες μπορούν να οργανωθούν σε ξεχωριστούς χωρικούς άξονες, διευκολύνοντας έτσι τη σύγκριση και την αναγνώριση σχέσεων μέσα στο ίδιο περιβάλλον [4].

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, το τρισδιάστατο χρονολόγιο αποτελεί μια εξελιγμένη μορφή χρονικής οπτικοποίησης, η οποία συνδυάζει τη χρονική διάσταση με τη χωρική αναπαράσταση. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την πιο πλούσια οπτική διερεύνηση χρονικών δεδομένων, αξιοποιώντας τον χώρο ως επιπλέον επίπεδο οργάνωσης της πληροφορίας, αλλά απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό ώστε να διασφαλίζεται η αναγνωσιμότητα και η λειτουργικότητα της παρουσίασης.

2.7 Επίλογος

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο παρόν κεφάλαιο προκύπτει ότι τα γραφικά υπολογιστών, τα τρισδιάστατα γραφικά και η οπτική παρουσίαση δεδομένων αποτελούν αλληλένδετα πεδία που συνεισφέρουν στην αναπαράσταση και στην κατανόηση της πληροφορίας σε ψηφιακά περιβάλλοντα.

Τα γραφικά υπολογιστών παρέχουν το τεχνικό υπόβαθρο για τη δημιουργία οπτικών αναπαραστάσεων, ενώ τα τρισδιάστατα γραφικά επεκτείνουν τις δυνατότητες απεικόνισης μέσω της χρήσης του χώρου και του βάθους. Παράλληλα, η οπτικοποίηση δεδομένων επιτρέπει τη μετατροπή της πληροφορίας σε κατανοητές οπτικές μορφές.

Συνολικά, η αποτελεσματικότητα των οπτικοποιήσεων εξαρτάται από τον ισορροπημένο σχεδιασμό της πληροφορίας και της οπτικής της αναπαράστασης, καθώς και από τη διαχείριση της οπτικής πολυπλοκότητας.

Το κεφάλαιο αυτό θέτει τις βάσεις για την περαιτέρω εφαρμογή των εννοιών αυτών στην ανάπτυξη τρισδιάστατων οπτικών συστημάτων.

Κεφάλαιο 3ο: 3D Animation Pipeline και το Λογισμικό Blender

3.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει δύο αλληλένδετα θέματα που αποτελούν τη θεωρητική και τεχνική βάση της εργασίας. Το πρώτο αφορά τον αγωγό παραγωγής τρισδιάστατου περιεχομένου (3D Animation Pipeline), ο οποίος περιγράφει μια τυποποιημένη αλληλουχία σταδίων που ακολουθείται ανεξάρτητα από το εργαλείο ή τον τομέα εφαρμογής. Το δεύτερο αφορά το λογισμικό Blender, το οποίο επιλέχθηκε ως αποκλειστικό εργαλείο για την υλοποίηση του πρακτικού μέρους της παρούσας εργασίας.

Συγκεκριμένα, αναλύεται η ιστορία, το πεδίο εφαρμογών και το περιβάλλον εργασίας του Blender, καθώς και κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας όπως αυτό υλοποιείται εντός του εργαλείου, βάση των δυνατοτήτων που διαθέτει. Επιπλέον, γίνεται συστηματική σύγκριση του εργαλείου με τα κυριότερα εναλλακτικά λογισμικά της αγοράς, με σκοπό την τεκμηρίωση της επιλογής του ως το κατάλληλο εργαλείο για τις ανάγκες της εργασίας.

3.2 3D Animation Pipeline

Ο όρος 3D Animation Pipeline περιγράφει μια τυποποιημένη αλληλουχία σταδίων, η οποία χρησιμοποιείται για την μετατροπή μιας αρχικής ιδέας σε ένα ολοκληρωμένο οπτικό αποτέλεσμα. Ανεξάρτητα από το εργαλείο, τον τομέα εφαρμογής ή την κλίμακα του έργου, το έργο οργανώνεται σε τρεις διακριτές φάσεις όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1 , Pre-Production, Production και Post-Production [26-27].



Εικόνα 3.1 3D Animation Pipeline

Στην πρώτη φάση (Pre-Production), η αρχική ιδέα μετατρέπεται σε ένα συνεκτικό πλαίσιο που ορίζει την ιστορία και την οπτική κατεύθυνση του έργου. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τον εντοπισμό του προβλήματος και τον ορισμό των στόχων παραγωγής, τον καθορισμό της αφηγηματικής κατεύθυνσης και του οπτικού ύφους καθώς και τη δημιουργία ή συλλογή υλικού που θα βοηθήσει στη μοντελοποίηση [27].

Η επόμενη φάση (Production) αποτελεί τον βασικό κορμό του έργου, κατά την οποία υλοποιούνται όλα τα assets, η κίνηση και η σύνθεση της σκηνής [27]. Το στάδιο αυτό καλύπτει τη μοντελοποίηση, το UV mapping, την εφαρμογή υλικών, το rigging, τον φωτισμό και τις κάμερες για τη σύνθεση της σκηνής.

Η τελευταία φάση (Post-Production) επικεντρώνεται στην οπτική βελτίωση και την προετοιμασία για την τελική εξαγωγή [27]. Περιλαμβάνει την απόδοση των τελικών εικόνων, την επεξεργασία της σύνθεσης της εικόνας (compositing) για διόρθωση χρωμάτων και εφαρμογή οπτικών εφέ, την αξιολόγηση της ποιότητας και την τελική εξαγωγή σε κατάλληλη ψηφιακή μορφή.

3.3 Το Blender ως Εργαλείο Υλοποίησης

Το Blender είναι ένα δωρεάν λογισμικό, ανοιχτού κώδικα (FOSS), το οποίο προσφέρει ένα ευρύ σύνολο εργαλείων και δυνατοτήτων για τον σχεδιασμό, την επεξεργασία και την απόδοση 2D και 3D γραφικών [28]. Μέσα από ένα ενιαίο περιβάλλον εργασίας, ο χρήστης μπορεί να υλοποιήσει όλα τα στάδια ανάπτυξης ενός 3D Animation Pipeline, γεγονός που καθιστά το Blender ένα ιδιαίτερα πρακτικό και δημοφιλές εργαλείο, καθώς περιορίζει σημαντικά την ανάγκη χρήσης διαφορετικών εφαρμογών. Παράλληλα είναι συμβατό με λειτουργικά συστήματα όπως Windows, Linux και Mac Os [29], προσφέροντας ευελιξία στη χρήση του και επιλέγεται και χρησιμοποιείται αποδοτικά σε διάφορους τομείς.

3.3.1 Ιστορία του Blender

Η ανάπτυξη του Blender ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του 1990 από τον Ton Roosendaal. Αρχικά δεν ξεκίνησε ως εμπορικό προϊόν αλλά ως εσωτερικό εργαλείο του Ολλανδικού στούντιο NeoGeo με στόχο την υποστήριξη της παραγωγής τρισδιάστατων γραφικών. Το 1998 το Blender έγινε διαθέσιμο στο κοινό μέσω της εταιρείας, Not a Number (NaN), η οποία ιδρύθηκε με σκοπό την περαιτέρω ανάπτυξη και διάδοσή του. Μετά τη διακοπή λειτουργίας της NaN το 2002, και με κίνδυνο να σταματήσει η ανάπτυξη του λογισμικού, με πρωτοβουλία του Ton Roosendaal, ιδρύθηκε το Blender Foundation και οργανώθηκε η καμπάνια Free Blender, μέσω της οποίας κατάφεραν να συγκεντρωθούν οι απαραίτητοι πόροι για την ελεύθερη διάθεση του πηγαίου κώδικα. Έτσι από το 2002 το Blender κυκλοφόρησε ως λογισμικό ανοιχτού κώδικα υπό την άδεια GNU GPL. Η μετάβαση αυτή αποτέλεσε καθοριστικό σημείο στην εξέλιξη του Blender, καθώς επέτρεψε τη συμμετοχή μιας διεθνούς κοινότητας προγραμματιστών αλλά και χρηστών στη βελτίωση και επέκταση των δυνατοτήτων του εργαλείου [29].

3.3.2 Πεδίο εφαρμογών

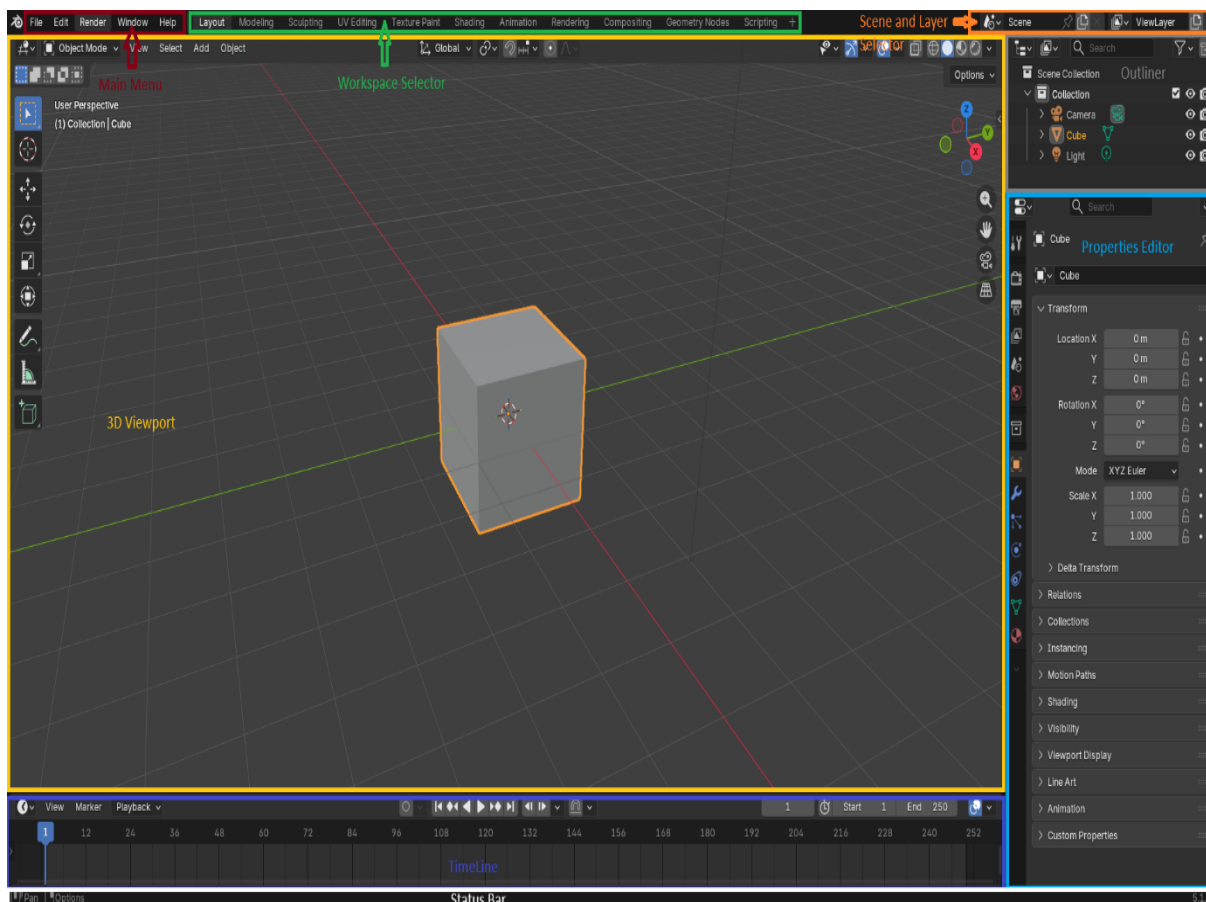
Το Blender βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς που σχετίζονται με τη δημιουργία και την οπτική αναπαράσταση τρισδιάστατου περιεχομένου. Ένα βασικό πεδίο εφαρμογής είναι η παραγωγή ψηφιακού περιεχομένου για βιντεοπαιχνίδια, όπου χρησιμοποιείται για τη δημιουργία 3D μοντέλων, περιβαλλόντων και αντικειμένων. Επιπλέον, έχει σημαντική χρήση στη βιομηχανία οπτικών εφέ (VFX) και κινηματογράφου, όπου αξιοποιείται για τη δημιουργία σύνθετων σκηνών, animation και ρεαλιστικών οπτικών αναπαραστάσεων. Εξίσου ευρεία εφαρμογή βρίσκει στην εκπαίδευση και την

επιστημονική απεικόνιση για την οπτικοποίηση εννοιών και δεδομένων μέσα από τρισδιάστατες σκηνές [28-29].

Στον τομέα της αρχιτεκτονικής οπτικοποίησης (architectural visualization), το Blender χρησιμοποιείται για την απόδοση ρεαλιστικών 3D μοντέλων κτιρίων και χώρων, επιτρέποντας την παρουσίαση σχεδιαστικών προτάσεων πριν την υλοποίησή τους. Επίσης, μπορεί να αξιοποιηθεί και στην οπτικοποίηση δεδομένων (data visualization), καθώς επιτρέπει τη μετατροπή αφηρημένων ή πολυδιάστατων δεδομένων σε χωρικές και οπτικά κατανοητές αναπαραστάσεις μέσα σε τρισδιάστατο περιβάλλον [29]. Τέλος, βρίσκει εφαρμογή στο σχεδιασμό βιομηχανικών μοντέλων, όπως για παράδειγμα για 3D εκτυπώσεις, καθώς και σε augmented ή virtual reality εφαρμογές [28].

3.3.3 Περιβάλλον Εργασίας

Το περιβάλλον εργασίας του Blender είναι σχεδιασμένο ώστε να προσφέρει ευελιξία και προσαρμοστικότητα, επιτρέποντας στον εκάστοτε χρήστη να το διαμορφώνει ανάλογα με τις ανάγκες και τη φύση του κάθε έργου. Ειδικότερα από την έκδοση 2.8 και έπειτα, πραγματοποιήθηκαν ριζικές αλλαγές από τους προγραμματιστές της εφαρμογής τόσο σε επίπεδο λειτουργικότητας, όσο και στο γραφικό περιβάλλον (GUI) της εφαρμογής, με κύριο στόχο τη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη και τον εκμοντερνισμό της εφαρμογής [28]. Στην παρούσα πτυχιακή χρησιμοποιήθηκε η πιο πρόσφατη έκδοση του εργαλείου, 5.1. Η δομή του GUI βασίζεται σε επιμέρους περιοχές και editors, οι οποίοι εξυπηρετούν διαφορετικές λειτουργίες της παραγωγικής διαδικασίας. Στην επόμενη εικόνα 3.2, διακρίνονται με διαφορετικούς χρωματισμούς οι περιοχές που ορίζουν το προκαθορισμένο (default) view του περιβάλλοντος εργασίας του Blender.



Εικόνα 3.2 Blender GUI Default View

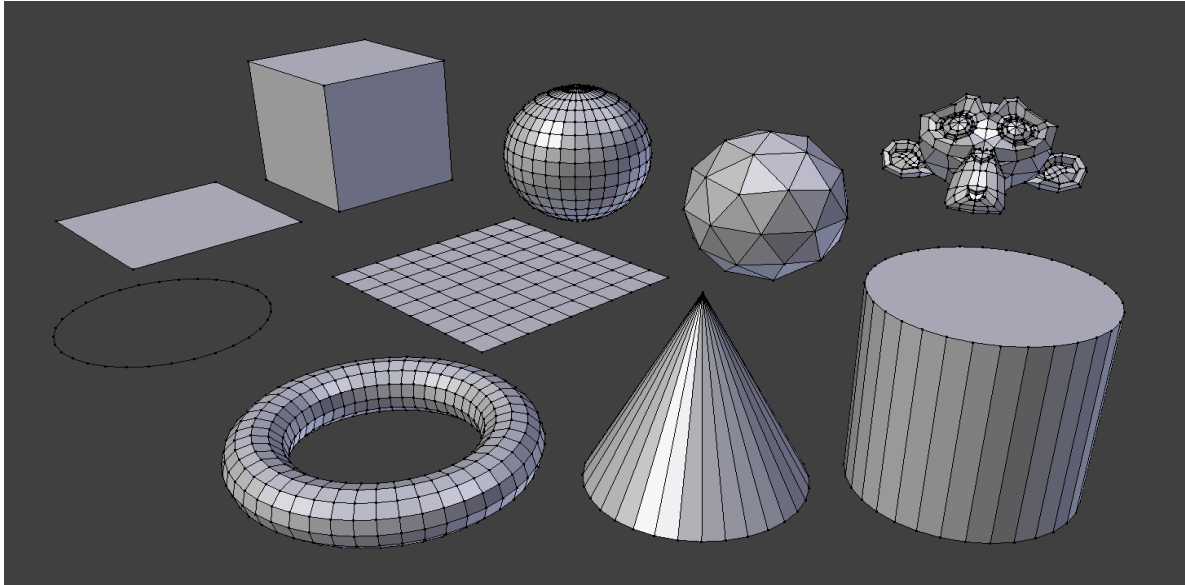
- **Main Menu:** Το βασικό μενού, το οποίο μας δίνει δυνατότητες εισαγωγής και εξαγωγής αρχείων, αποθήκευσης, προσθήκης add-ons, επεξεργασία shortcuts και πολλών άλλων λειτουργιών.
- **Workspace Selector:** Δίνει τη δυνατότητα για εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών παραθύρων, τα οποία αποτελούνται από μια σειρά περιοχών με αντίστοιχους editors με τα δικά τους εργαλεία. Κάθε παράθυρο στοχεύει σε συγκεκριμένες εργασίες όπως μοντελοποίηση, επεξεργασία UV και χρωματισμό των textures, animation, κ.ά.. Πιο αναλυτικά θα μιλήσουμε για συγκεκριμένα workspaces που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία σε επόμενη ενότητα.
- **Scene and Layer Selector:** Δυνατότητα δημιουργίας νέων σκηνών και επιπέδων (layers) καθώς και εναλλαγή μεταξύ αυτών.
- **3D Viewport:** Αποτελεί τον κύριο χώρο εργασίας, στον οποίο προβάλλεται και επεξεργάζεται η τρισδιάστατη σκηνή. Μέσα σε αυτό, ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδρά άμεσα με αντικείμενα και τη γεωμετρία της σκηνής.
- **Outliner:** Παρουσιάζει ιεραρχικά τα αντικείμενα και τα στοιχεία της σκηνής, διευκολύνοντας τη διαχείριση, την επιλογή και την οργάνωσή τους.
- **Properties Editor:** Περιλαμβάνει τις βασικές ρυθμίσεις που σχετίζονται γενικότερα με τη σκηνή καθώς και επιπλέον ρυθμίσεις για επιλεγμένα αντικείμενα όπως προσθήκη Modifiers, υφών κ.ά.
- **Timeline:** Χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της χρονικής ακολουθίας, την εισαγωγή keyframes και των βασικών στοιχείων για το animation.
- **Status Bar:** Προβάλλονται συγκεκριμένα στοιχεία που αφορούν συντομεύσεις πληκτρολογίου, στατιστικά και άλλες πληροφορίες.

3.4 Blender Production Pipeline, Εργαλεία και Δυνατότητες

Το Blender διαθέτει ένα από τα πιο πλούσια σύνολα δυνατοτήτων στον χώρο των ελεύθερων εργαλείων τρισδιάστατης δημιουργίας. Οι βασικές του λειτουργίες καλύπτουν ολόκληρο το 3D Animation Pipeline προσφέροντας, μεταξύ άλλων, δυνατότητες μοντελοποίησης, UV χαρτογράφησης, διαχείρισης υλικών και υφών, rigging, φωτισμού, animation, rendering και compositing. Οι δυνατότητές του δεν περιορίζονται σε επιμέρους λειτουργίες, αλλά συνδυάζονται ώστε να υποστηρίξουν έναν πλήρη παραγωγικό κύκλο, από τη δημιουργία αρχικών αντικειμένων έως την τελική απόδοση του οπτικού αποτελέσματος. Η πλήρης αναφορά σε όλες τις δυνατότητες και λειτουργίες του εργαλείου είναι εκτός πλαισίου της παρούσας πτυχιακής εργασίας, ωστόσο στις επόμενες υποενότητες περιγράφονται κάποια βασικά εργαλεία και οι αντίστοιχες δυνατότητες που προσφέρουν στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας.

3.4.1 Μοντελοποίηση (Modeling)

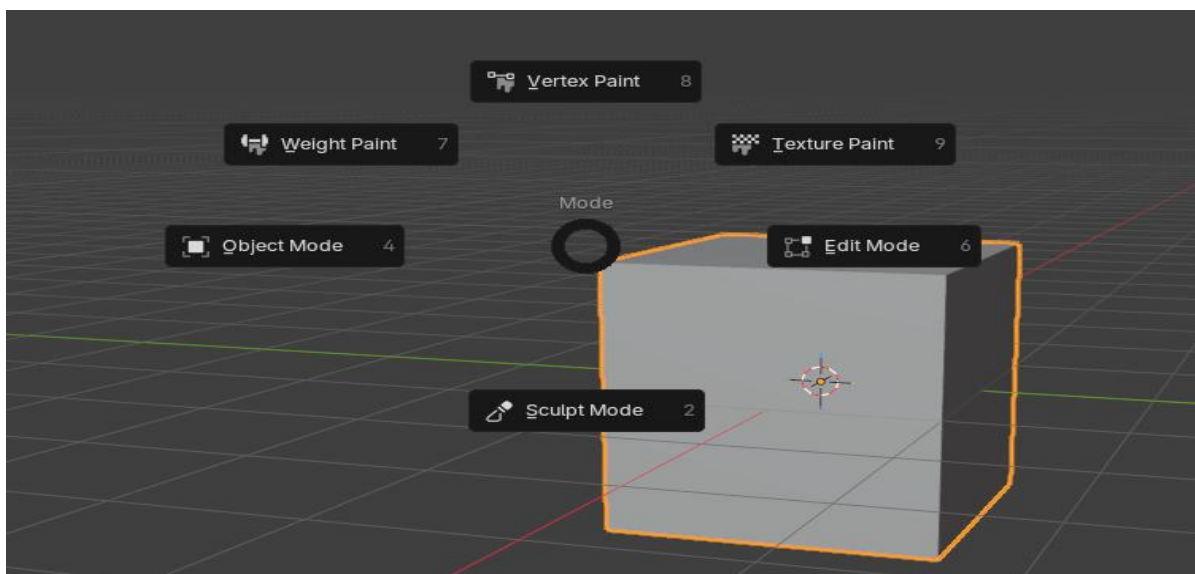
Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση αποτελεί μία από τις βασικότερες λειτουργίες του Blender και αφορά τη δημιουργία και επεξεργασία της γεωμετρίας των αντικειμένων μέσα στον τρισδιάστατο χώρο. Τα meshes αποτελούν τους βασικούς τύπους αντικειμένων, τα οποία χρησιμοποιούνται ως σημείο εκκίνησης για τη δημιουργία 3D σκηνών. Στην εικόνα 3.3 διακρίνονται μερικά από τα built-in meshes του Blender.



Εικόνα 3.3 Blender Mesh Primitives

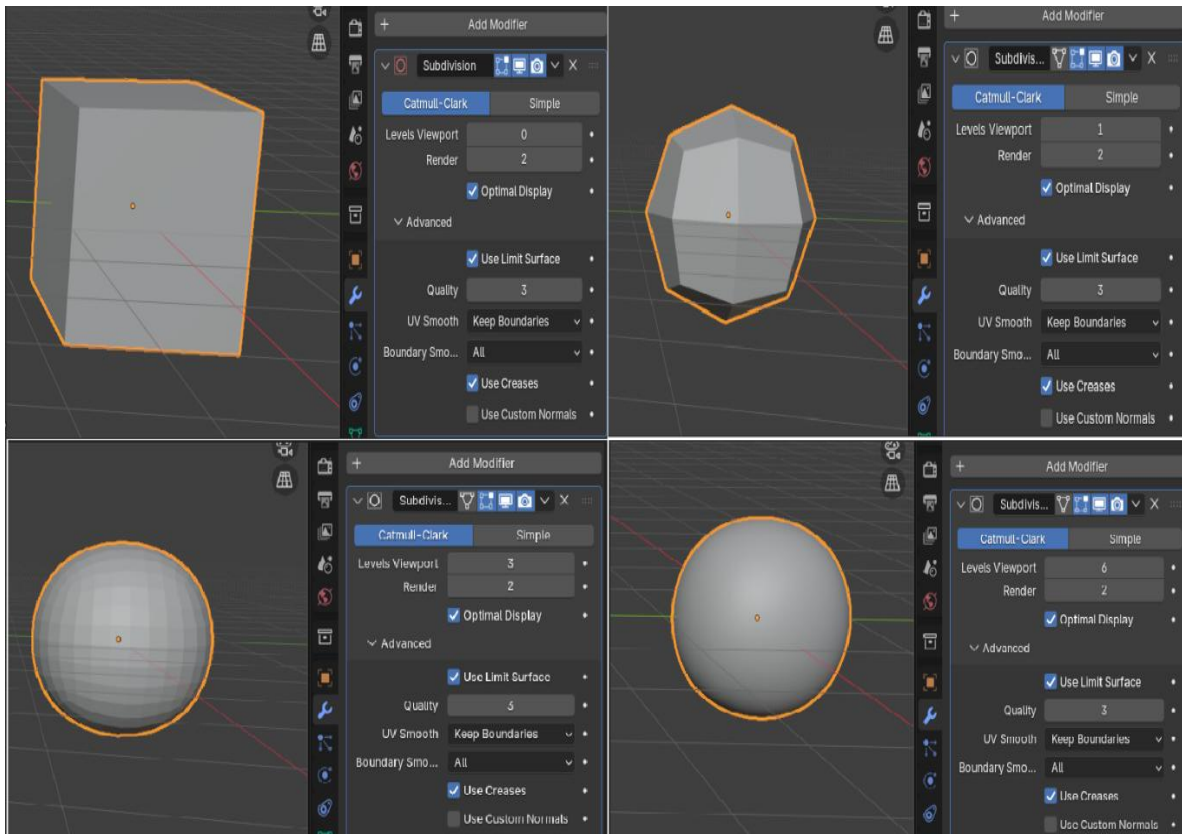
Η πιο διαδεδομένη μορφή μοντελοποίησης στο Blender είναι η πολυγωνική μοντελοποίηση (mesh modeling). Σύμφωνα και με την επίσημη τεκμηρίωση του εργαλείου [29], ένα mesh αποτελείται από κορυφές (vertices), ακμές (edges) και επιφάνειες (faces), τα οποία αποτελούν τα βασικά δομικά στοιχεία της γεωμετρίας ενός αντικειμένου. Οι κορυφές αντιστοιχούν σε σημεία στον τρισδιάστατο χώρο, οι ακμές συνδέουν τις κορυφές, ενώ οι επιφάνειες σχηματίζουν τις επιφάνειες του αντικειμένου.

Το Blender, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.4, διαθέτει αρκετές λειτουργίες για επεξεργασία της γεωμετρίας στο στάδιο της μοντελοποίησης, με βασικότερες εξ αυτών τις λειτουργίες Object και Edit Mode. Οι λειτουργίες αυτές είναι διαθέσιμες στα περιβάλλοντα εργασίας Layout και Modeling. Η πρώτη αφορά γενικό μετασχηματισμό των αντικειμένων σε σχέση με τη σκηνή, όπως μετακίνηση (translate), περιστροφή (rotate) και αλλαγή κλίμακας (scale) των αντικειμένων στον χώρο. Η δεύτερη λειτουργία χρησιμοποιείται για επεξεργασία των vertices και των πολυγώνων, επιτρέποντας στον χρήστη να μπορεί να μεταβάλλει προοδευτικά τη μορφή της γεωμετρίας και να δημιουργήσει πιο σύνθετες τρισδιάστατες δομές.



Εικόνα 3.4 Blender Modeling Modes

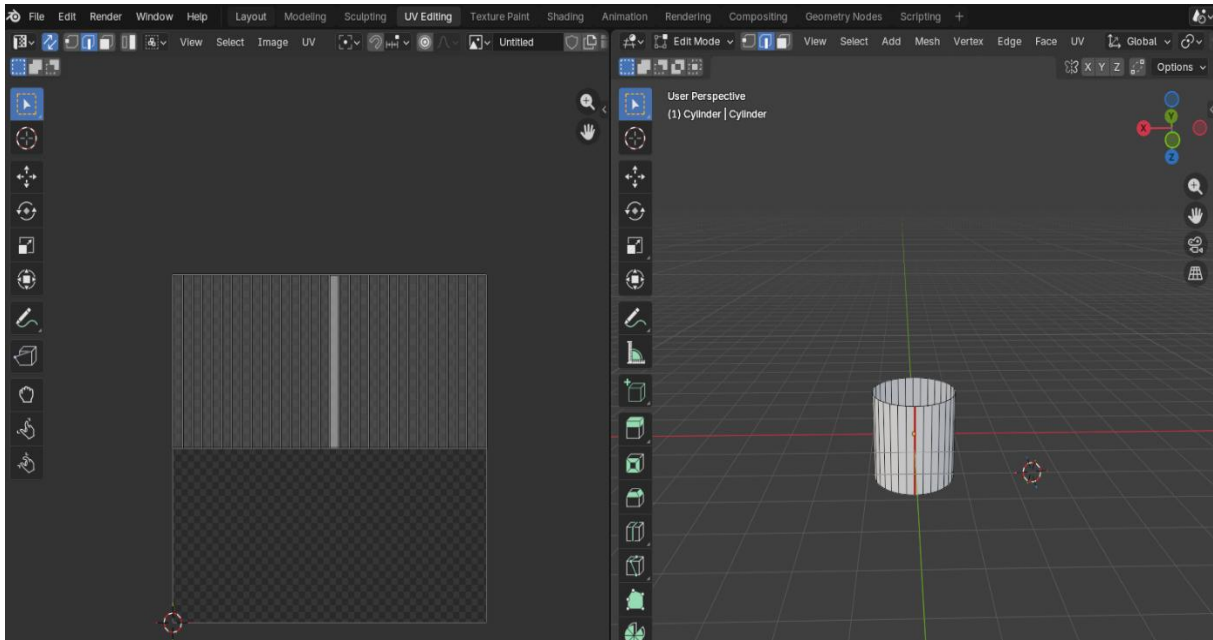
Μια ακόμα σημαντική δυνατότητα που μας δίνει το Blender στη διαδικασία της μοντελοποίησης είναι η χρήση των Modifiers, οι οποίοι επιτρέπουν τη μη καταστροφική (non-destructive) επεξεργασία της γεωμετρίας και της τοπολογίας, εφαρμόζοντας μεταβολές χωρίς άμεση και μόνιμη αλλοίωση του αρχικού αντικειμένου. Μερικά παραδείγματα εφαρμογής των Modifiers είναι για τη δημιουργία arrays από ένα μοντέλο (Array Modifier), για επεξεργασία της τοπολογίας και μείωση της πυκνότητας της γεωμετρίας (Decimate Modifier), για δημιουργία συμμετρικού αντιγράφου ως προς έναν ή περισσότερους άξονες (Mirror Modifier) ή και για εξομάλυνση των επιφανειών (Subdivision Surface Modifier). Στην Εικόνα 3.5 βλέπουμε ένα παράδειγμα χρήσης του Subdivision Surface modifier και τις αλλαγές που επιφέρει στη γεωμετρία και την εμφάνιση ενός κύβου.



Εικόνα 3.5 Subdivision Surface Modifier

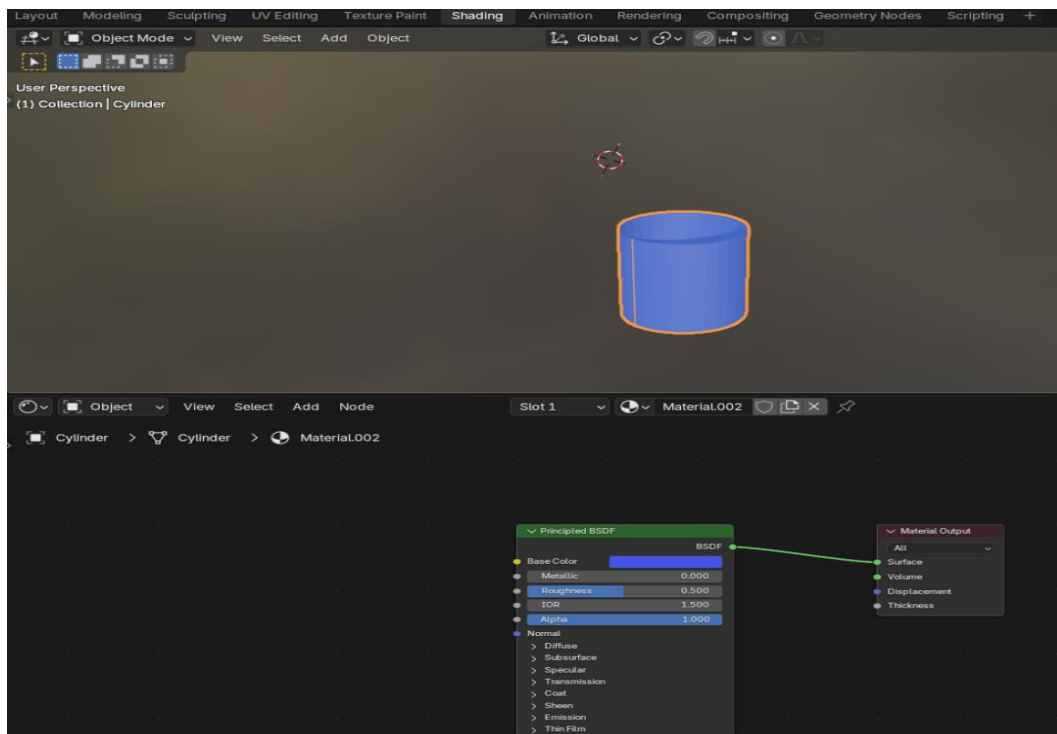
3.4.2 Χαρτογράφηση UV, υλικά και υφές

Αφού ολοκληρωθεί η μοντελοποίηση ενός 3D αντικειμένου, το επόμενο σημαντικό βήμα στο Production Pipeline είναι η χαρτογράφηση UV (UV mapping). Ως χαρτογράφηση UV ορίζουμε τη διαδικασία, μέσω της οποίας η επιφάνεια ενός 3D αντικειμένου ξεδιπλώνεται και αποτυπώνεται σε ένα 2D επίπεδο, δημιουργώντας ένα σύστημα συντεταγμένων U, V που αντιστοιχούν στους οριζόντιους και κάθετους άξονες αυτού του επιπέδου. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη μετέπειτα εφαρμογή 2D υφών, χρωμάτων και εικόνων στο τρισδιάστατο μοντέλο, αποφεύγοντας προβλήματα παραμόρφωσης ή αλλοίωσης στην ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Βασικά βήματα αυτής της διαδικασίας είναι ο ορισμός ραφών (seams) και το ξεδίπλωμα (UV Unwrap) σε UV νησίδες (Islands), όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.6, οι οποίες αντιπροσωπεύουν διαφορετικά τμήματα της επιφάνειας του αντικειμένου. Στη συνέχεια, μέσω του περιβάλλοντος εργασίας UV Editing του Blender, ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί τη διάταξη αυτών των νησίδων, ελαχιστοποιώντας τον νεκρό χώρο και αποφεύγοντας επικαλύψεις [29].



Εικόνα 3.6 Mark Seam and UV Unwrap

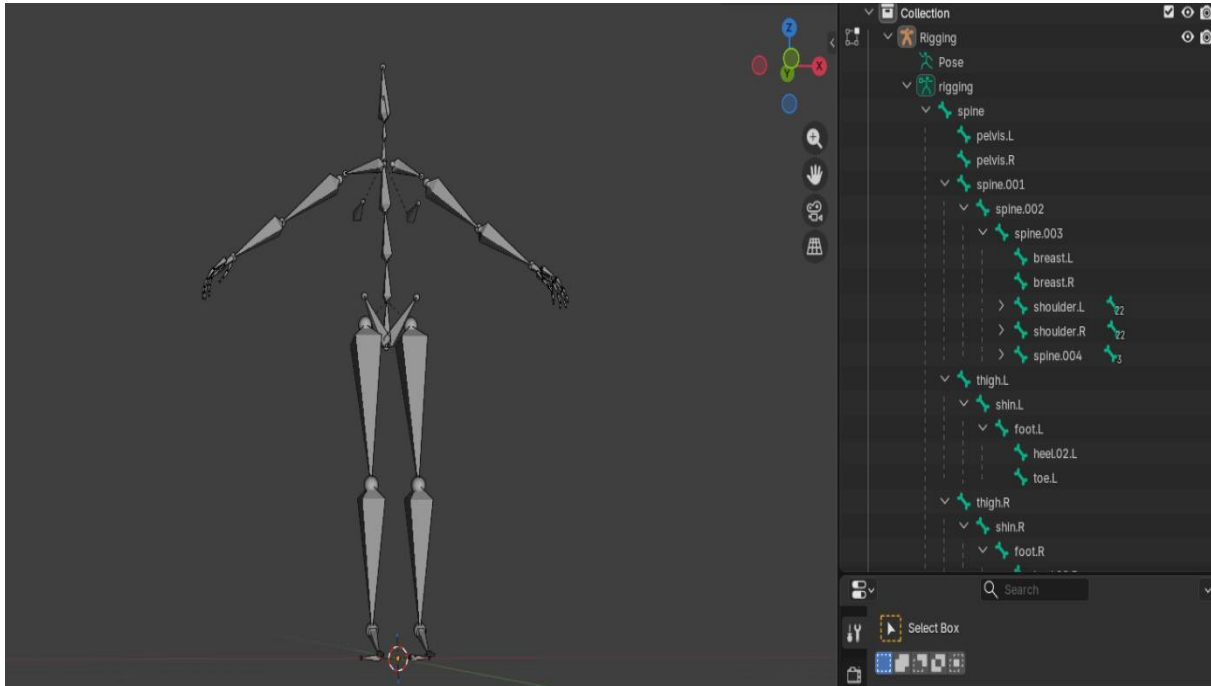
Με την ολοκλήρωση της χαρτογράφησης UV, οι νησίδες που δημιουργήθηκαν, χρησιμοποιούνται ως βάση για την εφαρμογή υφών και εικόνων που καθορίζουν την οπτική εμφάνιση της επιφάνειας. Στο Blender, η διαχείριση υλικών και υφών πραγματοποιείται μέσω του περιβάλλοντος εργασίας Shader Editor, όπου ο χρήστης συνθέτει οπτικά τη συμπεριφορά κάθε υλικού, χρησιμοποιώντας κόμβους (nodes). Ο κεντρικός κόμβος για τη δημιουργία υλικών είναι ο Principled BSDF, ο οποίος μπορεί να συνδυάσει πολλαπλές ιδιότητες επιφάνειας, σε μία ενιαία, εύχρηστη διεπαφή, εικόνα 3.7. Βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι βασίζεται στο OpenPBR Surface Shading Model, εξασφαλίζοντας συμβατότητα με άλλα επαγγελματικά λογισμικά [29].



Εικόνα 3.7 Shader Editor and Principled BSDF Node

3.4.3 Rigging

Εφόσον η σκηνή απαιτεί την κινηματογράφηση χαρακτήρα, το επόμενο στάδιο του Production Pipeline είναι το rigging, δηλαδή η δημιουργία ενός εσωτερικού σκελετού ελέγχου. Στο Blender, αυτό μπορεί να υλοποιηθεί μέσω του αντικειμένου Armature, το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο οστών (bones), ιεραρχικά οργανωμένων με σχέσεις γονέα-παιδιού, που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της παραμόρφωσης του αντικειμένου και την απόδοση κίνησης. Στην εικόνα 3.8 φαίνεται ένα παράδειγμα rigging ενός ανθρώπινου σκελετού και η ιεραρχία των οστών.



Εικόνα 3.8 Human Armature και Ιεραρχία οστών

Μετά την ολοκλήρωση του Armature απαιτείται το τελικό «δέσιμο» των οστών με το mesh του χαρακτήρα με τη χρήση τιμών βάρους. Αν και το Blender δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού αυτών των τιμών αυτόματα, με χρήση του αλγορίθμου bone heat, ο οποίος υπολογίζει την επιρροή κάθε οστού σε κάθε κορυφή του mesh βάσει της μεταξύ τους απόστασης [29], στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται χειροκίνητη επεξεργασία με ενσωματωμένα εργαλεία, όπως το Weight Painting.

3.4.4 Φωτισμός και κάμερες

Ο φωτισμός αποτελεί αναπόσπαστο στάδιο του Production Pipeline, καθώς καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ατμόσφαιρα και την αντίληψη της ποιότητας της τελικής σκηνής. Ο φωτισμός δεν επηρεάζει μόνο τη ρεαλιστική εμφάνιση της σκηνής, αλλά και την οπτική ιεράρχηση των στοιχείων, τη διάκριση των επιμέρους αντικειμένων και τη συνολική κατανόηση της παρουσιαζόμενης πληροφορίας. Το Blender διαθέτει ενσωματωμένο σύστημα φωτισμού με 4 τύπους φωτεινών πηγών, οι οποίοι εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες, όπως οι Point, Sun, Spot και Area Light [29].

Επιπλέον, η χρήση της κάμερας καθορίζει ακριβώς αυτό που θα αποδοθεί στην τελική εικόνα. Οι παράμετροί της αντιστοιχούν σε εκείνες ενός φυσικού φακού, επιτρέποντας τον έλεγχο της οπτικής γωνίας. Μέσω διαφόρων ιδιοτήτων, μπορούμε να επηρεάσουμε την προοπτική της εικόνας και την εστιακή απόσταση (Focal Length). Επίσης, το Blender υποστηρίζει επιπλέον δυνατότητες, όπως το Depth of Field Focus [29].

3.4.5 Animation

Η απόδοση κίνησης (animation) στο Blender, η οποία αποτελεί το επόμενο στάδιο ενός Production Pipeline, βασίζεται στη λογική των keyframes, δηλαδή σημείων στα οποία ο χρήστης ορίζει ρητά την τιμή μιας ή περισσότερων ιδιοτήτων ενός αντικειμένου (θέση, περιστροφή, κλίμακα, κ.ά.) σε συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο. Το κεντρικό εργαλείο για την απόδοση κίνησης είναι ο Timeline Editor, όπου ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά τον χρόνο σε frames και ο κάθετος δείκτης υποδηλώνει το τρέχον frame, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.9.



Εικόνα 3.9 Timeline Editor

Για πιο προχωρημένες λειτουργίες, το Blender παρέχει επιπλέον εργαλεία, όπως ο Graph Editor, που προσφέρει έλεγχο της κίνησης μέσω της επεξεργασίας των καμπυλών, F-Curves. Οι καμπύλες αυτές περιγράφουν πώς εξελίσσεται η τιμή μιας ιδιότητας (άξονας Y) στον χρόνο (άξονας X) και επιτρέπουν τον λεπτομερή έλεγχο της χρονικής συμπεριφοράς των αντικειμένων, επιτρέποντας τη ρύθμιση της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης, καθώς και τη δημιουργία πιο ομαλών και φυσικών μεταβάσεων. Ένα ακόμα εργαλείο είναι και ο Non-Linear Animation Editor, ο οποίος επιτρέπει την οργάνωση και την επαναχρησιμοποίηση animation μέσω ανεξάρτητων επιπέδων, διευκολύνοντας τη δόμηση σύνθετων ακολουθιών κίνησης [29].

3.4.6 Rendering

Το τελευταίο στάδιο του Production Pipeline είναι η απόδοση (rendering). Ως απόδοση ορίζουμε τη διαδικασία κατά την οποία η τρισδιάστατη σκηνή μετατρέπεται σε δισδιάστατη εικόνα ή ακολουθία εικόνων. Το Blender διαθέτει δύο κύριες μηχανές απόδοσης, τις EEVEE και Cycles, με διαφορετική φιλοσοφία και χρήση.

Η μηχανή EEVEE βασίζεται στο rasterization και δεν υπολογίζει κάθε ακτίνα φωτός ξεχωριστά. Αντίθετα, προσδιορίζει ποια επιφάνεια είναι ορατή από την κάμερα και εκτιμά στη συνέχεια πώς αλληλεπιδρά το φως με τα υλικά [29]. Ως μηχανή απόδοσης πραγματικού χρόνου βασισμένη στο rasterization, η EEVEE χρησιμοποιεί αποκλειστικά την GPU για το rendering, εξασφαλίζοντας υψηλές ταχύτητες απόδοσης και προεπισκόπηση του αποτελέσματος σε πραγματικό χρόνο, ακόμα και στο Viewport του εργαλείου.

Η μηχανή Cycles, από την άλλη, είναι μία physically-based path-tracer μηχανή απόδοσης, η οποία χρησιμοποιεί ray tracing τεχνικές, ιχνηλατώντας ακτίνες από την κάμερα στη σκηνή και προσομοιώνοντας μαθηματικά τη φυσική συμπεριφορά του φωτός, των αντανακλάσεων και των σκιών, αποδίδοντας φωτορεαλιστικά αποτελέσματα [29]. Σε αντίθεση με την μηχανή EEVEE, η Cycles μπορεί να χρησιμοποιήσει και GPU και CPU για το rendering, ωστόσο με τη χρήση GPU επιτυγχάνεται καλύτερο τελικό αποτέλεσμα. Επίσης, οι χρόνοι απόδοσης της μηχανής Cycles, είναι σημαντικά μεγαλύτεροι σε σχέση με την μηχανή EEVEE και εξαρτώνται άμεσα από το sampling που θα οριστεί.

Υπάρχει και μια τρίτη επιλογή, το Workbench, για γρήγορη προεπισκόπηση, ωστόσο, δεν προτιμάται για τελικές αποδόσεις παρά μόνο για προεπισκόπηση.

Στην τρισδιάστατη δημιουργία υπάρχει συχνά ένας συμβιβασμός ανάμεσα στον ρεαλισμό και στην ταχύτητα απόδοσης. Για τελικές στατικές εικόνες ή για αποδόσεις με φωτορεαλιστικά αποτελέσματα υπερτερεί η μηχανή Cycles. Όταν υπάρχει η ανάγκη για άμεση οπτική ανατροφοδότηση, δοκιμές σύνθεσης της σκηνής, λιγότερο φωτορεαλιστικό αποτέλεσμα, όπως για παράδειγμα stylized ή cartoon αποδόσεις και γρήγορη παραγωγή, υπερτερεί η μηχανή EEVEE.

3.5 Σύγκριση με Εναλλακτικά Λογισμικά και Αιτιολόγηση Επιλογής του Blender

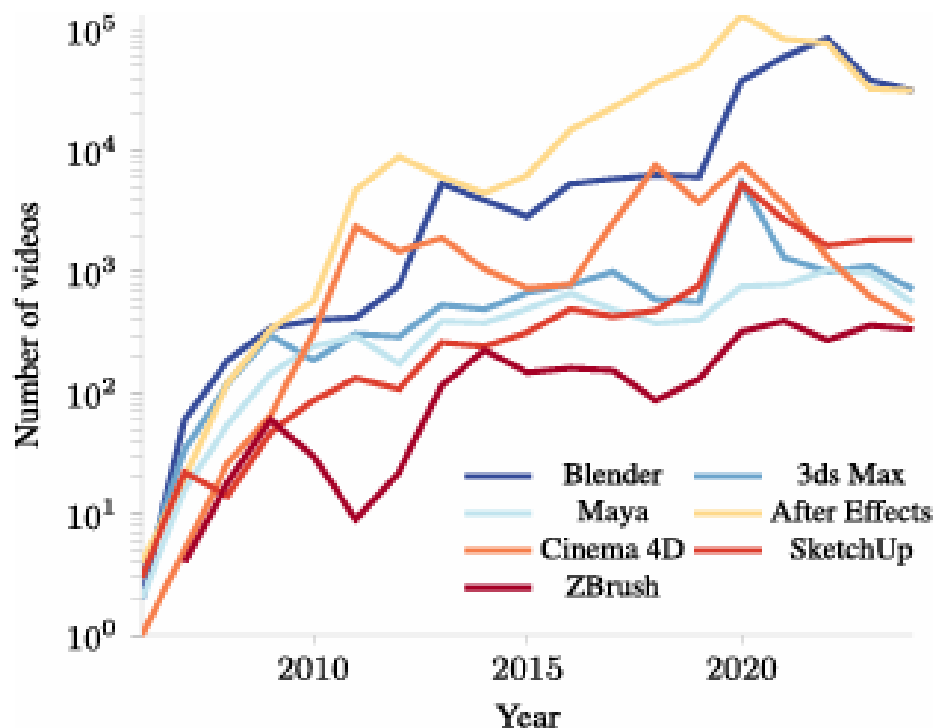
Στα πλαίσια επιλογής του κατάλληλου εργαλείου για την υλοποίηση του πρακτικού μέρους της παρούσας πτυχιακής, εξετάστηκαν συστηματικά διάφορα εργαλεία τρισδιάστατης δημιουργίας και αναλύθηκαν κάποια από αυτά. Ωστόσο, στην τελική απόφαση επιλογής λογισμικού έπρεπε να ληφθούν υπόψη αρκετοί παράγοντες. Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες είναι το κόστος, το διαθέσιμο ελεύθερο εκπαιδευτικό υλικό, οι δυνατότητες που προσφέρει το κάθε εργαλείο σε συνάρτηση με όλα τα στάδια παραγωγής, η συμβατότητα και η επεκτασιμότητα. Χαρακτηριστικά είναι και τα αποτελέσματα πρόσφατης έρευνας σχετικά με τις δυνατότητες που προσφέρει το λογισμικό Blender σε σχέση με άλλα λογισμικά [28], τα οποία παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα 3.10.

Feature	Blender	3ds Max	Maya	After effects	Cinema 4D	Sketchup	ZBrush
Path tracing	+++	+++	+++	–	+++	–	+
Rasterization	+++	+++	+++	–	+	–	++
3D mesh edits	+++	+++	+++	+	+++	++	++
Video editing	++	–	–	++	–	–	–
2D composition	++	+	++	+++	–	–	–
Hand drawing	++	+	++	+	–	–	++
Scripting	+++	++	+++	++	+++	+++	++
Motion tracking	+++	++	+	+++	+++	–	–
Platform	+++	–	++	+	++	+	+
Price	+++	–	–	+	+	++	+

The “–” denotes zero support, and “+”, “++”, “+++” range from partial to full and best support. Only the built-in features in the basic version of each program are counted. Only Blender is free; the price ratings correspond to the expenses per month

Εικόνα 3.10 Blender Features compared to alternative software

Επίσης, σύμφωνα με την ίδια έρευνα το Blender διατηρεί μία από τις πρώτες θέσεις στην πλατφόρμα YouTube σε διαθέσιμο αριθμό εκπαιδευτικού υλικού, εικόνα 3.11, απόρροια της δημοτικότητας του εργαλείου.



Εικόνα 3.11 New tutorials for the specific tool on Youtube platform in years 2005-2024

3.5.1 Autodesk Maya

Το Maya της Autodesk αποτελεί εδώ και δεκαετίες το κορυφαίο εργαλείο τρισδιάστατης μοντελοποίησης στη βιομηχανία κινούμενων γραφικών και οπτικών εφέ από επαγγελματικά στούντιο παραγωγής, ιδίως στον κινηματογράφο και τα βιντεοπαιχνίδια. Τα εργαλεία rigging του θεωρούνται από τα ωριμότερα στην κατηγορία, ενώ διαθέτει ενσωματωμένο σύστημα simulation (nCloth, nHair, Bifrost) και τον Arnold Renderer [30].

Ωστόσο, για τη χρήση του εργαλείου απαιτείται συνδρομή με σημαντικό κόστος. Αν και υπάρχει διαθέσιμη και ειδική άδεια για εκπαιδευτικά ιδρύματα και φοιτητές, εγείρει περιορισμούς στη χρήση και δεν καλύπτει την παραγωγή έξω από το εκπαιδευτικό πλαίσιο. Επίσης, επειδή κατά βάση χρησιμοποιείται στη 3D βιομηχανία από επαγγελματικά στούντιο, μειονεκτεί σημαντικά ως προς το διαθέσιμο εκπαιδευτικό υλικό σε σχέση με το Blender.

3.5.2 Autodesk 3ds Max

Το 3ds Max κυριαρχεί στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και την οπτικοποίηση χώρων, χάρη στον εύχρηστο Modifier stack του, την εκτεταμένη βιβλιοθήκη πρωτόγονων σχημάτων που διαθέτει και τον Arnold Renderer. Κυρίως απευθύνεται σε κοινό, όπως αρχιτέκτονες, designers και game asset developers. Παρότι διαθέτει δυνατότητες rigging, θεωρούνται λιγότερο προηγμένες για κινηματογράφηση χαρακτήρων και η βιομηχανία τείνει να το χρησιμοποιεί για απλούστερη απόδοση βασικών κινήσεων σε game assets ή για αρχιτεκτονικές περιηγήσεις. Όπως και το Maya, απαιτεί εξίσου υψηλή ετήσια συνδρομή. Επίσης, η πλατφόρμα λειτουργεί αποκλειστικά σε λειτουργικό σύστημα Windows, γεγονός που περιορίζει την ευελιξία ανάπτυξης [31-32].

3.5.3 Maxon Cinema 4D

Το Cinema 4D της Maxon είναι ένα επαγγελματικό λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης, animation, simulation και rendering με τον GPU Renderer Redshift. Το πιο διακριτό χαρακτηριστικό του είναι το MoGraph, ένα διαδραστικό σύστημα animation που επιτρέπει τη δημιουργία σύνθετων κινούμενων γραφικών χωρίς χειροκίνητη τοποθέτηση keyframes. Για την πρόσβαση στο εργαλείο απαιτείται εμπορική συνδρομή· αν και υπάρχουν εκπαιδευτικές άδειες για φοιτητές και εκπαιδευτικούς, αυτές παραμένουν συνδρομητικές και δεν προσφέρουν την ελευθερία χρήσης που παρέχει το λογισμικό Blender [33].

3.5.4 SideFX Houdini

Το Houdini της SideFX κατέχει ιδιαίτερη θέση στην βιομηχανία οπτικών εφέ, για προσομοιώσεις υψηλής πολυπλοκότητας. Η αρχιτεκτονική του βασίζεται σε πλήρως διαδικαστική (procedural) λογική, όπου κάθε λειτουργία αναπαρίσταται ως κόμβος σε ένα δίκτυο εξαρτήσεων, επιτρέποντας μη καταστρεπτικές αλλαγές σε οποιοδήποτε στάδιο της 3D παραγωγής.

Παρόλα αυτά, η επιλογή του για τους σκοπούς της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήταν ακατάλληλη για δύο βασικούς λόγους. Ο πρώτος αφορά τη φύση του εργαλείου. Το Houdini έχει σχεδιαστεί για την κατασκευή επαναλαμβανόμενων, παραμετρικών συστημάτων και όχι για το rigging ανθρώπινης μορφής ή τη σύνθεση αφηγηματικής σκηνής, όπως το τρισδιάστατο χρονολόγιο, στο οποίο βασικό στοιχείο είναι η έμφαση στην οπτική αφήγηση. Ο δεύτερος λόγος αφορά τους περιορισμούς της δωρεάν έκδοσης (Houdini apprentice). Αρχικά, χρησιμοποιεί συγκεκριμένη δική του μορφοποίηση αρχείων για τις σκηνές και τα assets. Οι τελικές αποδόσεις (renders) φέρουν υδατογράφημα και υπάρχει περιορισμός ως προς την ανάλυση του τελικού αποτελέσματος. Επίσης, δεν επιτρέπει εξαγωγή σε μορφές συμβατές με μηχανές παιχνιδιών, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης [34].

3.5.5 Unity και Unreal Engine

Το Unity (Unity Studios) και το Unreal Engine (Epic games) αποτελούν τις κυρίαρχες μηχανές πραγματικού χρόνου (real-time engines) στη βιομηχανία παιχνιδιών και διαδραστικών εφαρμογών. Η βασική διάκρισή τους από τα εργαλεία που εξετάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες είναι θεμελιώδης, καθώς σύμφωνα και με την επίσημη τεκμηρίωση της Unity, στο εσωτερικό μιας μηχανής παιχνιδιού δεν δημιουργούνται assets. Αυτά παράγονται σε εξειδικευμένα εργαλεία ψηφιακής δημιουργίας περιεχομένου (DCC tools), όπως για παράδειγμα τα Blender και Maya.

Κατά συνέπεια, κανένα από τα δύο δεν διαθέτει ολοκληρωμένα εργαλεία μοντελοποίησης, UV mapping ή animation, με δυνατότητες ανάλογες των DCC εργαλείων, όπως το Blender, Maya, κλπ.. Η ροή εργασίας τους προϋποθέτει εισαγωγή έτοιμων assets, συνήθως μέσω FBX ή glTF μορφής. Επομένως, δεν αποτελούν κατάλληλη επιλογή ως βασικό εργαλείο για χρήση σε μια πλήρη ροή εργασίας που αφορά την τρισδιάστατη μοντελοποίηση ολόκληρης σκηνής [35-36].

3.5.6 Η επιλογή του Blender

Η συστηματική αξιολόγηση των εναλλακτικών εργαλείων σε συνδυασμό με τις δυνατότητες, τις οποίες προσφέρει το Blender και οι οποίες παρουσιάστηκαν παραπάνω, καθιστούν το Blender ως την πλέον κατάλληλη επιλογή για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας και μπορεί να αιτιολογηθεί από ένα συνδυασμό παραγόντων:

- **Μηδενικό Κόστος:** Το Blender διατίθεται ως ελεύθερο λογισμικό ανοιχτού κώδικα, επιτρέποντας τη χρήση του για οποιοδήποτε σκοπό, εκπαιδευτικό ή εμπορικό, χωρίς περιορισμούς.
- **Εύκολη πρόσβαση σε εκπαιδευτικό υλικό:** Λόγω της φύσης του open source χαρακτήρα του Blender αλλά και της ευρείας χρήσης του στην παγκόσμια κοινότητα, ένας χρήστης μπορεί να βρει πληθώρα άρθρων και video tutorials σε οποιοδήποτε στάδιο χρειαστεί βοήθεια, ακόμα και για πιο προηγμένες λειτουργίες. Επιπρόσθετα, η Blender Foundation διατηρεί εκτεταμένη επίσημη τεκμηρίωση για όλες τις λειτουργίες του λογισμικού, προσβάσιμη σε όλους.
- **Πλήρες 3D Animation Pipeline:** Κάθε στάδιο του 3D Animation Pipeline, μπορεί να υλοποιηθεί στο ίδιο περιβάλλον, χωρίς την ανάγκη χρήσης διαφορετικού λογισμικού, υποστηρίζοντας τη συνεχή ροή εργασίας και τη βελτίωση της αποδοτικότητας της παραγωγικής διαδικασίας.
- **Πληθώρα δυνατοτήτων:** Στις νεότερες εκδόσεις παρέχονται προηγμένες δυνατότητες που ανταγωνίζονται άμεσα τα εμπορικά εργαλεία, όπως το procedural modeling με geometry Nodes, το path tracing, το sculpting κ.ά..
- **Συμβατότητα:** Πλήρης υποστήριξη εισαγωγής και εξαγωγής μορφών αρχείων όπως FBX και glTF για συμβατότητα με οποιοδήποτε downstream pipeline ή game engine.
- **Επεκτασιμότητα:** Δυνατότητα επέκτασης της λειτουργικότητας του εργαλείου μέσω πληθώρας δωρεάν add-ons.

Φυσικά, σε επιμέρους στάδια της παραγωγικής διαδικασίας ενδέχεται κάποια από τα εργαλεία που αναφέρθηκαν παραπάνω να προσφέρουν μεγαλύτερη αποδοτικότητα ή πιο στοχευμένες δυνατότητες για συγκεκριμένες εργασίες. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία το ζητούμενο δεν ήταν η βέλτιστη απόδοση μεμονωμένων σταδίων, αλλά η δυνατότητα υλοποίησης ολόκληρου του Production Pipeline μέσα σε ένα ενιαίο περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό, το Blender επιλέχθηκε ως το καταλληλότερο εργαλείο.

3.6 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο είδαμε τις βασικές θεωρητικές αρχές του 3D Animation Pipeline, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο Production Pipeline, αναλύοντας κάθε επιμέρους στάδιο, από τη μοντελοποίηση της γεωμετρίας έως και την τελική απόδοση.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, έγινε σαφές ότι το 3D Animation Pipeline δεν αποτελεί απλώς μια τεχνική ακολουθία βημάτων, αλλά ένα δομημένο πλαίσιο αποφάσεων, όπου κάθε στάδιο εξαρτάται άμεσα από τα προηγούμενα. Αυτή η αλληλεξάρτηση υπογραμμίζει τη σημασία του σωστού σχεδιασμού κατά τη φάση του Pre-Production, πριν ακόμη ξεκινήσει η πρακτική υλοποίηση.

Επιπλέον, η σύγκριση του Blender με τα εναλλακτικά εργαλεία κατέδειξε ότι κανένα από αυτά δεν συνδυάζει ταυτόχρονα πληρότητα 3D Animation Pipeline, μηδενικό κόστος πρόσβασης και καταλληλότητα για έργα με έμφαση στην κινηματογράφηση χαρακτήρα, γεγονός που εδραίωσε την επιλογή του ως το ιδανικότερο εργαλείο για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Κεφάλαιο 4ο: Σχεδιασμός, Απαιτήσεις και Υλοποίηση στο Blender

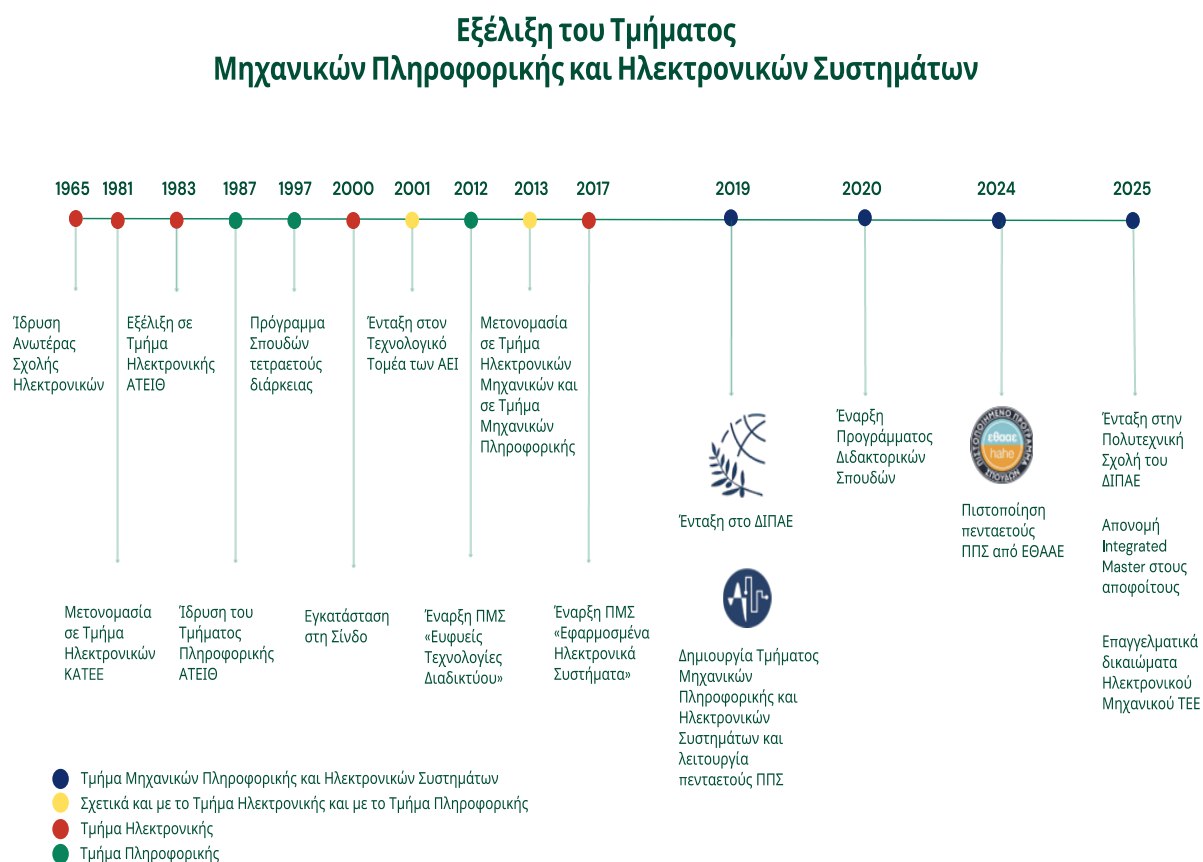
4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά η διαδικασία του σχεδιασμού και της υλοποίησης του Τρισδιάστατου Χρονολογίου, από τη σύλληψη της αρχικής ιδέας μέχρι και την τελική απόδοση, ακολουθώντας τα στάδια του 3D Animation Pipeline.

4.2 Pre-Production Pipeline, Σχεδιασμός του Τρισδιάστατου Χρονολογίου

4.2.1 Βασική ιδέα και Σχεδιαστική προσέγγιση

Η ανάπτυξη του τρισδιάστατου χρονολογίου βασίστηκε στην ιδέα της μετατροπής μιας συμβατικής οπτικής αναπαράστασης της ιστορικής εξέλιξης του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων σε ένα δυναμικό και αφηγηματικό τρισδιάστατο περιβάλλον. Αφετηρία του σχεδιασμού αποτέλεσε ένα στατικό εικονογράφημα (static infograph), το οποίο παρουσίαζε συνοπτικά τα σημαντικότερα ιστορικά γεγονότα και τις χρονολογίες-ορόσημα της εξέλιξης του Τμήματος (εικόνα 4.1). Στόχος της εργασίας ήταν η αξιοποίηση των δυνατοτήτων των τρισδιάστατων γραφικών και του animation, ώστε η πληροφορία να παρουσιαστεί με περισσότερο ελκυστικό, κατανοητό και βιωματικό τρόπο.



Εικόνα 4.1 Στατικό Εικονογράφημα Ιστορικής εξέλιξης ΤΜΠΗΣ

Η βασική σχεδιαστική ιδέα στηρίζεται στη χρήση του χώρου ως μέσου αναπαράστασης του χρόνου. Ο χρόνος αποδίδεται γραμμικά μέσω μιας λεωφόρου δύο λωρίδων μονής κατεύθυνσης, κατά μήκος της οποίας τοποθετούνται οι σημαντικότερες χρονολογίες και τα αντίστοιχα ιστορικά γεγονότα. Η χωρική αυτή αναπαράσταση επιτρέπει στον θεατή να αντιλαμβάνεται τη χρονική εξέλιξη ως μία συνεχή διαδρομή, κατά την οποία η πληροφορία αποκαλύπτεται σταδιακά.

Η αφήγηση υλοποιείται μέσω δύο τρισδιάστατων χαρακτήρων, οι οποίοι συμβολίζουν δύο φοιτητές μηχανικούς, εκπροσωπώντας αντίστοιχα το Τμήμα Πληροφορικής και το Τμήμα Ηλεκτρονικής. Η επιλογή δύο φοιτητών μηχανικών ως βασικών χαρακτήρων δεν έγινε τυχαία. Οι δύο μορφές λειτουργούν συμβολικά, εκπροσωπώντας τις δύο διαφορετικές ακαδημαϊκές κατευθύνσεις που εξελίχθηκαν παράλληλα στον χρόνο και συνέβαλαν στη διαμόρφωση του σημερινού Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων. Οι δύο χαρακτήρες κινούνται παράλληλα, ο καθένας στη δική του λωρίδα, ακολουθώντας τη χρονική πορεία των αντίστοιχων τμημάτων. Η παράλληλη παρουσία τους καθ' όλη τη διάρκεια της αφήγησης επιτρέπει την ταυτόχρονη προβολή της ιστορικής εξέλιξης των δύο τμημάτων και αναδεικνύει τόσο την αυτοτελή πορεία όσο και τα σημεία στα οποία αυτή συγκλίνει. Σε κάθε χρονολογία-ορόσημο πραγματοποιείται στάση, κατά την οποία παρουσιάζονται τα σημαντικά γεγονότα που αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Στις περιπτώσεις όπου τα γεγονότα αφορούν και τα δύο τμήματα, οι δύο διαδρομές συγκλίνουν, αναδεικνύοντας τα κοινά σημεία της ιστορικής τους πορείας. Η αφήγηση ολοκληρώνεται με τη συνένωση των δύο χαρακτήρων σε μία νέα μορφή, η οποία συμβολίζει τη δημιουργία του ενιαίου Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων. Από το σημείο αυτό και έπειτα, η παρουσίαση συνεχίζεται μέσα από έναν ενιαίο χαρακτήρα, με τη βοήθεια του οποίου αποτυπώνεται οπτικά η μετάβαση από τις δύο διακριτές ιστορικές διαδρομές στη σύγχρονη ενιαία ακαδημαϊκή ταυτότητα του Τμήματος.

Η συγκεκριμένη σχεδιαστική προσέγγιση επιδιώκει να συνδυάσει τη χρονική οργάνωση της πληροφορίας με στοιχεία οπτικής αφήγησης και τρισδιάστατης αναπαράστασης. Αντί η ιστορική εξέλιξη να παρουσιάζεται ως μία στατική χρονολογική ακολουθία, μετατρέπεται σε μια δυναμική τρισδιάστατη οπτική διαδρομή, στην οποία ο χώρος, η κίνηση και η αφήγηση λειτουργούν συμπληρωματικά για την αποτελεσματικότερη επικοινωνία της πληροφορίας.

4.2.2 Απαιτήσεις, Προδιαγραφές και Περιορισμοί

Πριν από την υλοποίηση του τρισδιάστατου χρονολογίου, κρίθηκε απαραίτητος ο καθορισμός ενός συνόλου απαιτήσεων και προδιαγραφών που θα καθοδηγούσαν τη σχεδίαση και την ανάπτυξή του. Οι απαιτήσεις αυτές προέκυψαν από τους στόχους της εργασίας και αφορούν τόσο τη λειτουργικότητα του συστήματος όσο και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, τα οποία έπρεπε να διαθέτει το τελικό έργο. Παράλληλα, λήφθηκαν υπόψη οι τεχνικοί περιορισμοί που σχετίζονται με το λογισμικό ανάπτυξης και τους διαθέσιμους πόρους.

Οι λειτουργικές απαιτήσεις του έργου καθορίστηκαν με βάση τον βασικό στόχο της παρούσας εργασίας, ο οποίος είναι η οπτική παρουσίαση της ιστορικής εξέλιξης του Τμήματος μέσω ενός τρισδιάστατου χρονολογίου. Το τελικό έργο έπρεπε να υποστηρίζει τη χρονολογική παρουσίαση των σημαντικότερων γεγονότων, διατηρώντας σαφή τη χρονική τους ακολουθία. Επιπλέον, έπρεπε να παρέχει τη δυνατότητα παρουσίασης δύο παράλληλων ιστορικών πορειών, μέχρι και την τελική ενοποίησή τους. Επίσης, κρίθηκε απαραίτητη η προβολή βασικών πληροφοριών στα σημαντικά χρονικά ορόσημα, καθώς και η υποστήριξη της αφηγηματικής ροής μέσω της κίνησης των χαρακτήρων και της κάμερας μέσα στον

τρισδιάστατο χώρο. Τέλος, βασική λειτουργική απαίτηση ήταν η παραγωγή ενός ολοκληρωμένου animation που να παρουσιάζει με συνεκτικό τρόπο ολόκληρη την ιστορική εξέλιξη του Τμήματος.

Πέρα από τις λειτουργικές απαιτήσεις, μεγάλη σημασία δόθηκε και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού αποτελέσματος. Η οπτικοποίηση έπρεπε να διατηρεί υψηλό επίπεδο σαφήνειας και αναγνωσιμότητας, ώστε η πληροφορία και τα κείμενα παρουσίασης των γεγονότων να γίνονται εύκολα αντιληπτά από τον θεατή. Η χρονική ακολουθία των γεγονότων έπρεπε να παραμείνει κατανοητή καθ' όλη τη διάρκεια της παρουσίασης, ενώ η κίνηση της κάμερας και των χαρακτήρων έπρεπε να είναι ομαλή και φυσική, χωρίς απότομες μεταβάσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά την εμπειρία παρακολούθησης. Το οπτικό περιβάλλον έπρεπε να παρουσιάζει αισθητική συνοχή και να υποστηρίζει την αφήγηση χωρίς να αποσπά την προσοχή από την πληροφορία και η σκηνή έπρεπε να διατηρεί ισορροπία μεταξύ οπτικής λεπτομέρειας και απόδοσης, ώστε να εξασφαλίζεται αποδεκτός χρόνος απόδοσης του τελικού animation.

Κατά την ανάπτυξη του έργου λήφθηκαν υπόψη ορισμένοι τεχνικοί και σχεδιαστικοί περιορισμοί. Η υλοποίηση πραγματοποιήθηκε αποκλειστικά στο Blender. Το τελικό αποτέλεσμα σχεδιάστηκε ως προ-αποδοσμένο animation και όχι ως διαδραστική εφαρμογή, γεγονός που επηρέασε ορισμένες σχεδιαστικές επιλογές και θα εξεταστεί σε επόμενο κεφάλαιο. Επιπρόσθετα, η παρουσίαση περιορίστηκε στα σημαντικότερα ιστορικά γεγονότα και χρονολογίες, με στόχο τη διατήρηση της σαφήνειας και της αφηγηματικής συνοχής. Τέλος, τα κτήρια και τα υπόλοιπα στοιχεία του περιβάλλοντος βασίστηκαν σε μεγάλο βαθμό σε οπτικές αναφορές του Πανεπιστημίου και χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό τη δημιουργία ενός αναγνωρίσιμου ακαδημαϊκού περιβάλλοντος, χωρίς να επιδιώκεται η πλήρης αρχιτεκτονική αναπαράστασή τους.

4.3 Production Pipeline και Υλοποίηση στο Blender

4.3.1 Εγκατάσταση και αρχική παραμετροποίηση του Blender

Για την ανάπτυξη του τρισδιάστατου χρονολογίου χρησιμοποιήθηκε εξ ολοκλήρου το λογισμικό Blender. Για την υλοποίηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 5.1.0 του λογισμικού από την επίσημη ιστοσελίδα <https://www.blender.org/download/>.

Μετά την εγκατάσταση, ενεργοποιήθηκαν τα εξής πρόσθετα, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στα στάδια μοντελοποίησης και rigging της εργασίας, από το Main Menu→Edit→Preferences→Add-ons:

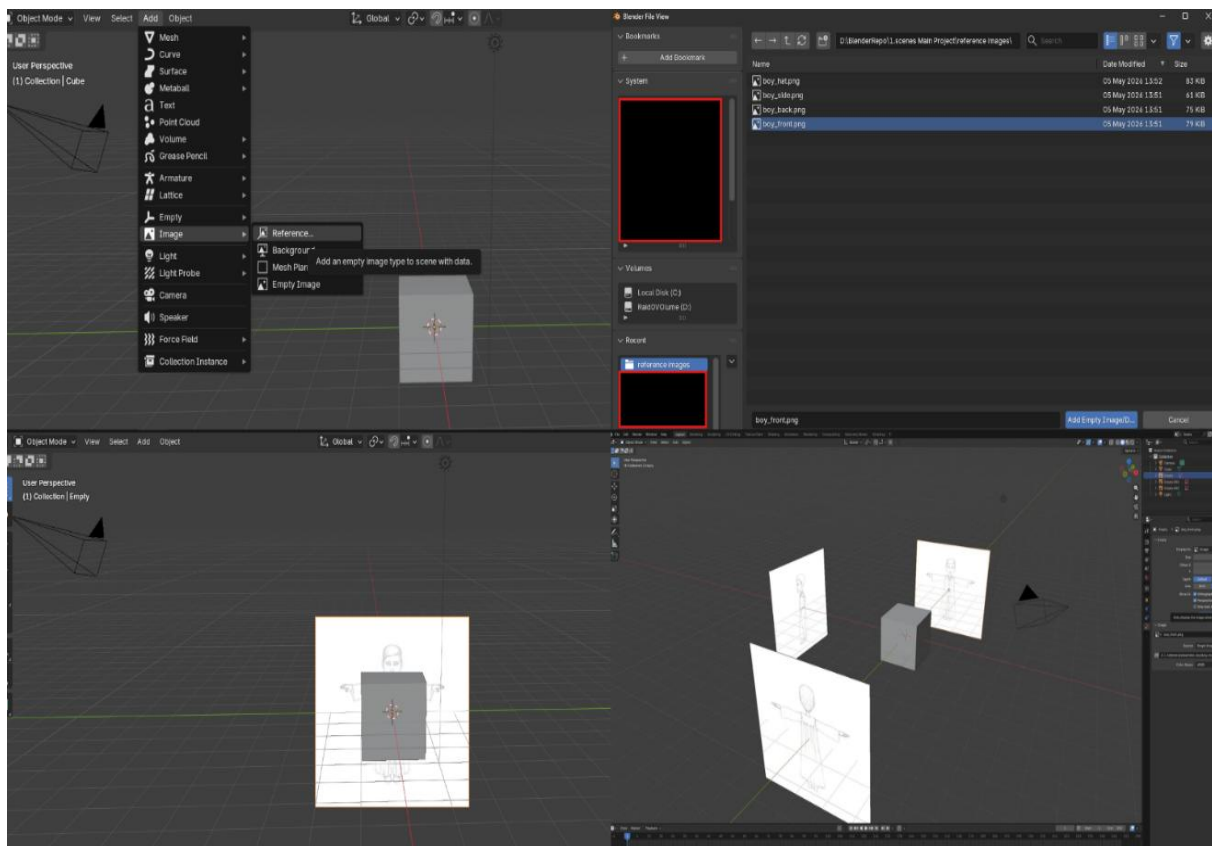
- **Rigify** (Προσφέρει βασικά templates για αυτόματη δημιουργία σκελετού από Bones για ανθρώπινη μορφή και διάφορες μορφές ζώων)
- **LoopTools** (Mesh Modeling toolkit, το οποίο προσφέρει επιπλέον δυνατότητες για την επεξεργασία των meshes)
- **Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 format** (Δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής SVG αρχείων ως curves)
- **Extra Curves Objects** (προσθέτει επιπλέον αντικείμενα mesh για χρήση στη μοντελοποίηση)

4.3.2 Μοντελοποίηση Χαρακτήρα

Πρώτο βήμα στη διαδικασία μοντελοποίησης αποτελεί η εισαγωγή των εικόνων αναφοράς στο περιβάλλον εργασίας μας. Συγκεκριμένα, στη μοντελοποίηση χαρακτήρων βοηθάει σημαντικά να έχουμε 3 όψεις, τη μπροστινή, την πίσω και μια πλάγια, καθώς μπορούμε να έχουμε καλύτερο έλεγχο στις αναλογίες που πρέπει να τηρεί η μορφή του 3D mesh και να βλέπουμε άμεσα τις αλλαγές κατά τη διάρκεια επεξεργασίας, εναλλάσσοντας τη γωνία θέασης μέσω επιλογών όπως Front/Back

Orthographic, Right/Left Orthographic, User Perspective κ.ά., χρησιμοποιώντας τα shortcuts 1-9 του πληκτρολογίου.

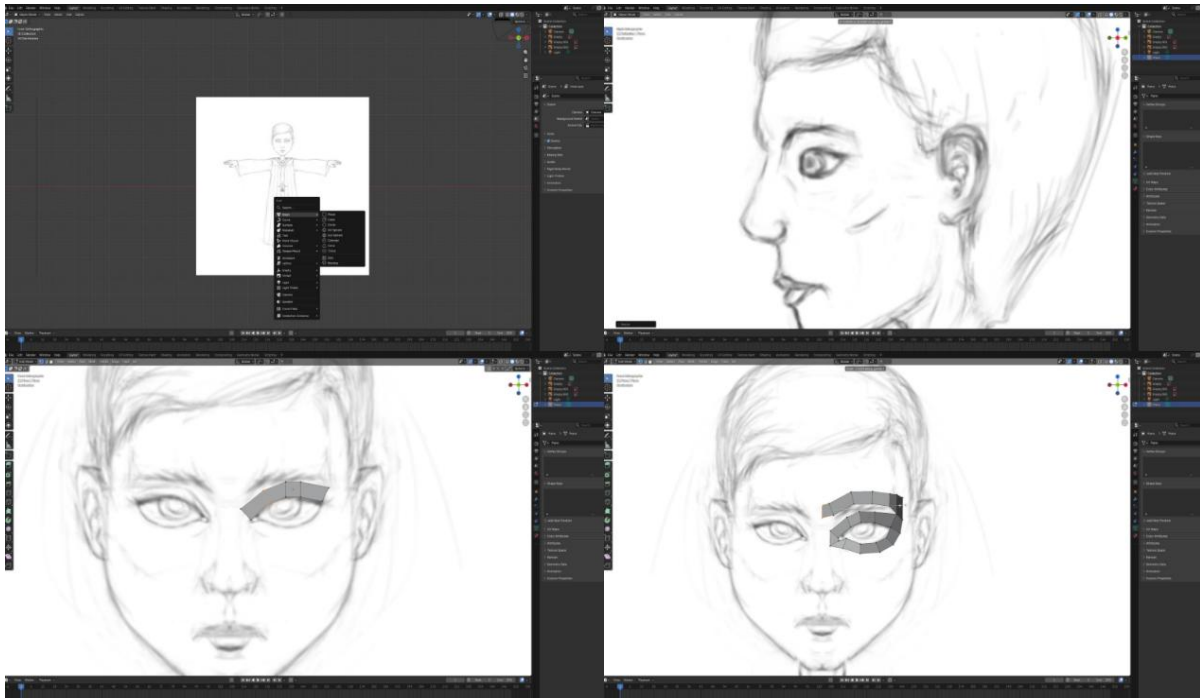
Για να προσθέσουμε μια εικόνα αναφοράς, στην αρχική σκηνή του Blender πατάμε Add (Shift+S shortcut) → Image → Reference, βρίσκουμε την εικόνα που επιθυμούμε να εισάγουμε και πατάμε το κουμπί ADD Empty Image/Drop Image to Empty. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία και για τις υπόλοιπες εικόνες αναφοράς. Έπειτα, επιλέγοντας την κάθε εικόνα ξεχωριστά και χρησιμοποιώντας τα εργαλεία move (g shortcut), rotate (r shortcut) και scale (s shortcut) σε Object Mode, τοποθετούμε τις εικόνες αναφοράς στα σημεία που μας βολεύουν. Επίσης, μια χρήσιμη ρύθμιση είναι, για την κάθε εικόνα από τον Properties Editor του Blender και την καρτέλα Object Data properties, να επιλέξουμε ποια πλευρά θέλουμε να είναι ορατή, έτσι ώστε να μην παρεμβάλλεται και επηρεάζει το οπτικό μας πεδίο κατά τη διάρκεια μοντελοποίησης. Τα παραπάνω βήματα φαίνονται με τη σειρά στην εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2 Reference Images Import

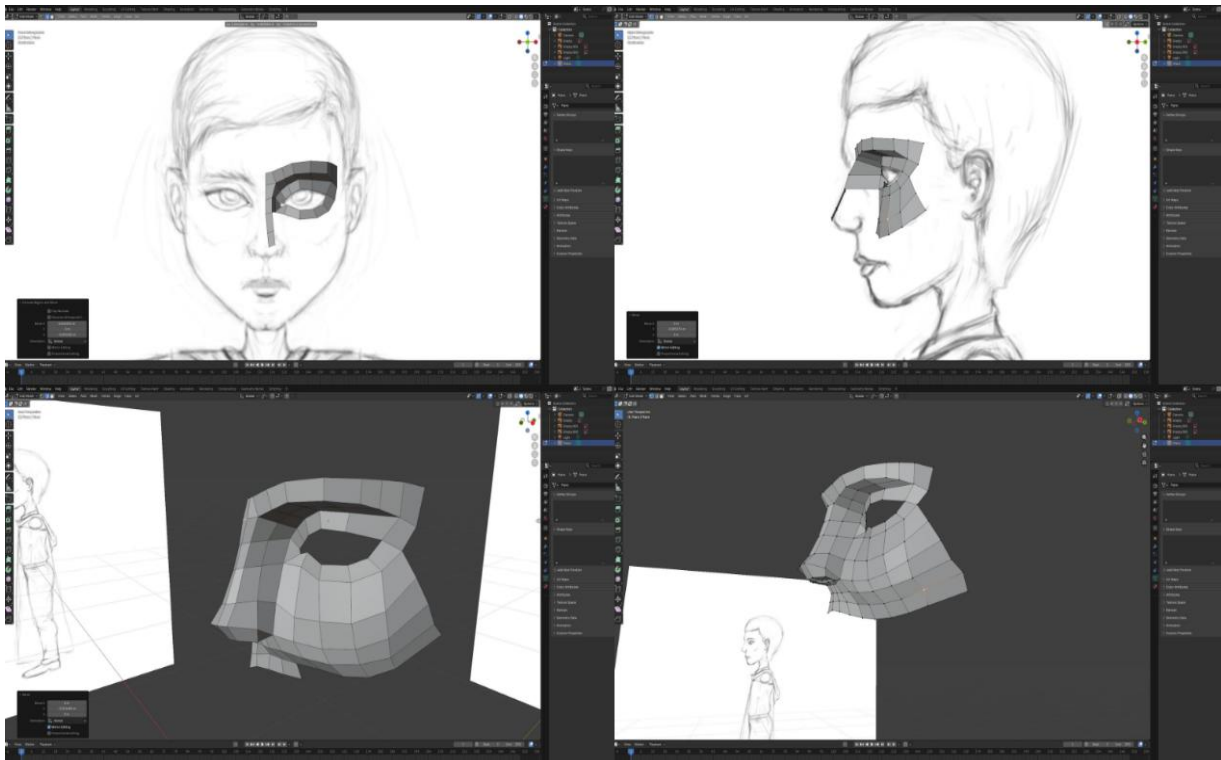
Σε λειτουργία Object Mode επιλέγουμε και διαγράφουμε (del shortcut) τον κύβο που προστίθεται εξ ορισμού σε μια νέα σκηνή και προσθέτουμε ένα νέο plane mesh, το οποίο θα επεξεργαστούμε μετέπειτα για τη δημιουργία του μοντέλου. Σε Object Mode, επεξεργαζόμαστε τις διαστάσεις, την τοποθεσία, την κλίμακα και την περιστροφή του Plane και το τοποθετούμε στο σημείο των αξόνων x,y,z από το οποίο θα ξεκινήσουμε τη μοντελοποίηση.

Βέλτιστη πρακτική στη μοντελοποίηση χαρακτήρων είναι να ξεκινάμε από το πάνω μέρος του σώματος, όπως το κεφάλι, και να κατεβαίνουμε προς τα κάτω. Επιλέγοντας το Plane Mesh και μεταβαίνοντας σε λειτουργία Edit Mode → Vertex Mode, ξεκινάμε την επεξεργασία. Επιλέγουμε συγκεκριμένες κορυφές (vertices) και με λειτουργίες Extrude (e shortcut), rotate και move, αρχίζουμε να δίνουμε μορφή στο μοντέλο μας. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναλαμβάνεται και στις νέες κορυφές που δημιουργούνται μετά από extrude, όπου και όποτε χρειαστεί, για την απόδοση της επιθυμητής μορφής (Εικόνα 4.3).



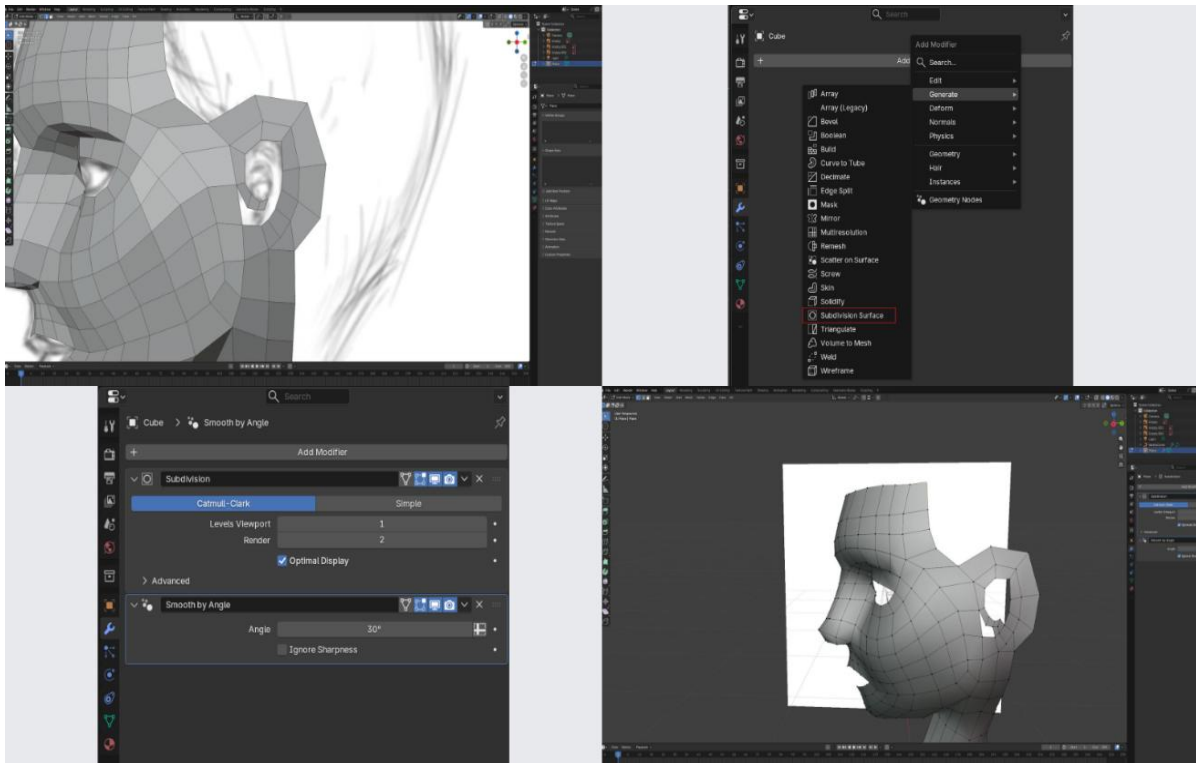
Εικόνα 4.3 Modeling, Initial Eye Shape

Για να καλύψουμε τα κενά, τα οποία δημιουργούνται ανάμεσα στις επιφάνειες, επιλέγουμε τις κορυφές που επιθυμούμε και με την επιλογή new Edge/Face from Vertices (f shortcut), προσθέτουμε νέα επιφάνεια. Επίσης, στα σημεία που χρειάζεται να προσθέσουμε γεωμετρική λεπτομέρεια χρησιμοποιούμε την επιλογή Loop Cut and Slide (Ctrl+R shortcut). Στην εικόνα 4.4 βλέπουμε την προσθήκη νέων επιφανειών, οι οποίες καλύπτουν τα κενά που υπήρχαν προηγουμένως στην περιοχή του ματιού, καθώς και την προσθήκη γεωμετρίας στην περιοχή της μύτης.



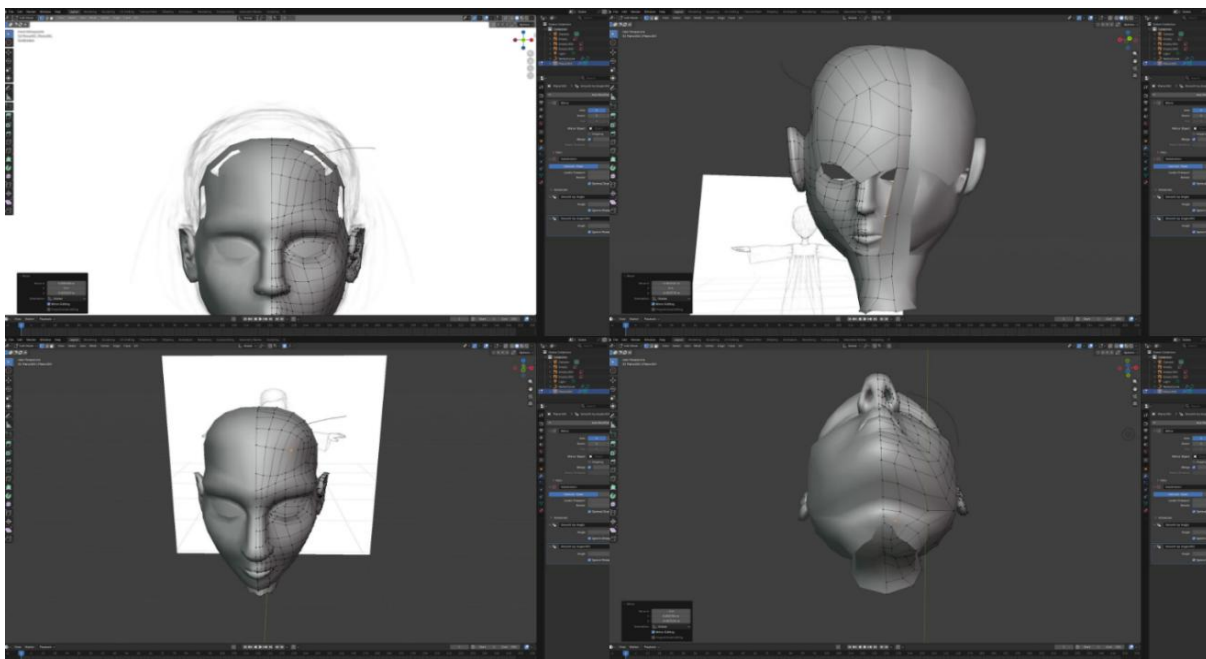
Εικόνα 4.4 Face Area after new faces and Loop Cuts

Με τον ίδιο τρόπο συνεχίζουμε τη μοντελοποίηση και του υπόλοιπου μέρους του κεφαλιού του χαρακτήρα. Συνήθως, σε σημεία που απαιτούν πιο ιδιαίτερη λεπτομέρεια σχεδιασμού, όπως για παράδειγμα τα αυτιά, βοηθάει σημαντικά η χρήση των Modifiers, του Subdivision Surface Modifier, ο οποίος βελτιώνει την εμφάνιση στο Viewport χωρίς να επηρεάζει τη γεωμετρία του μοντέλου και του Smooth by Angle Modifier, ο οποίος στρογγυλεύει αυτόματα τη σκίαση ενός mesh βάσει των γωνιών μεταξύ γειτονικών επιφανειών. Από το Properties Editor και την καρτέλα Modifiers πατάμε Add Modifier → Generate και επιλέγουμε Subdivision Surface. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία και για τον Smooth by Angle Modifier (Εικόνα 4.5). Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι η ιεράρχηση των Modifiers επηρεάζει άμεσα το οπτικό αποτέλεσμα και την εφαρμογή τους. Στο πιο πάνω επίπεδο πρέπει πάντα να εισάγονται οι Modifiers που θέλουμε να εφαρμόζονται πριν από τους επόμενους.



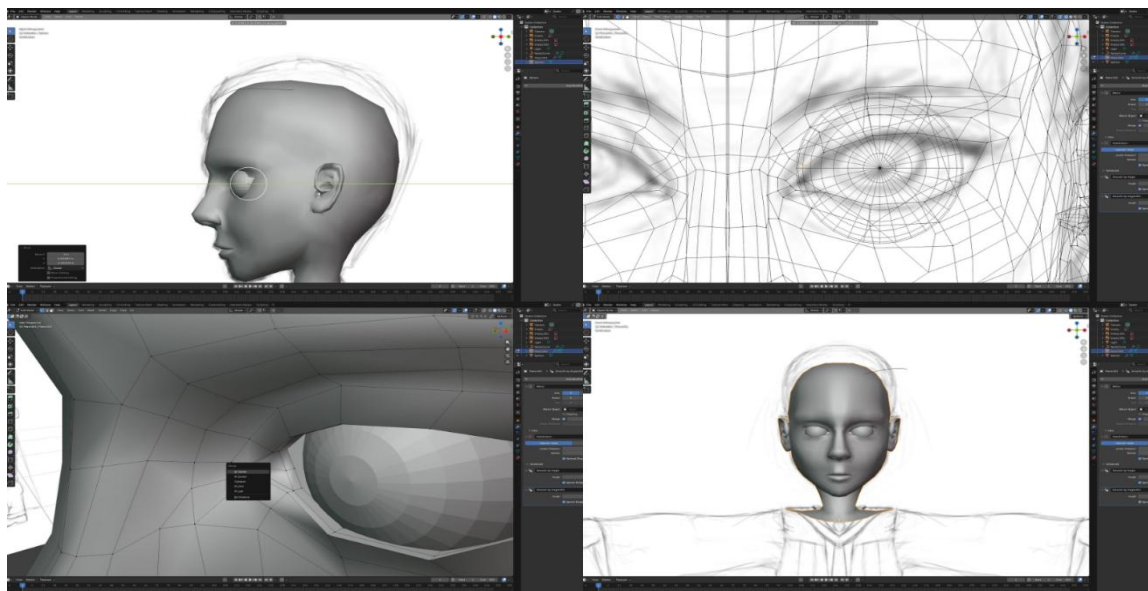
Εικόνα 4.5 Εφαρμογή Subdivision Surface και Smooth by Angle Modifier

Όπως παρατηρείτε μέχρι στιγμής μοντελοποιούμε την αριστερή πλευρά της περιοχής του κεφαλιού και του λαιμού. Τι γίνεται όμως με τη δεξιά πλευρά; Η αλήθεια είναι ότι θα μπορούσαμε με τον ίδιο τρόπο να μοντελοποιήσουμε και την άλλη πλευρά, ωστόσο, αυτό θα ήταν αρκετά χρονοβόρο και πολύπλοκο. Τη λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα έρχεται να δώσει η χρήση του Mirror Modifier. Προσθέτοντας τον συγκεκριμένο Modifier και επιλέγοντας τον άξονα που θέλουμε να εφαρμοστεί, μπορούμε πλέον να συνεχίζουμε να επεξεργαζόμαστε τη μία πλευρά και οι αλλαγές να εφαρμόζονται και στον αντίθετο άξονα (Εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.6 Mirror Modifier

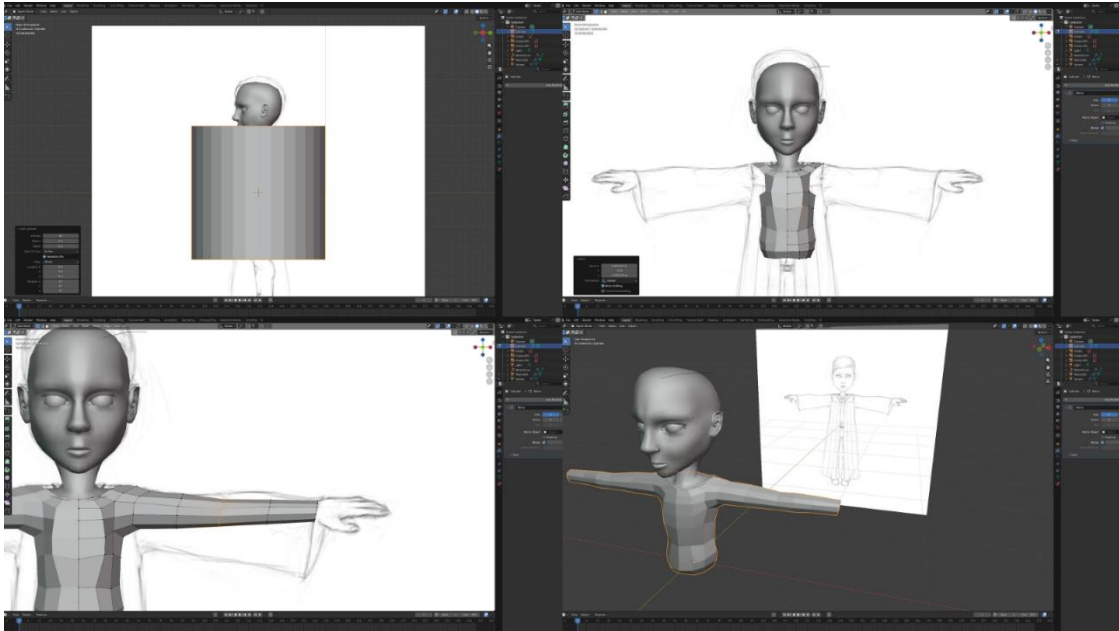
Συνεχίζουμε με τη δημιουργία των ματιών, όπου προσθέτουμε, με Shift+A σε Object Mode, ένα νέο Mesh τύπου Sphere. Επιλέγουμε το mesh, το προσαρμόζουμε και το τοποθετούμε στην περιοχή των ματιών. Έπειτα, σε Edit Mode επεξεργαζόμαστε τις κορυφές και τις ακμές της περιοχής των ματιών και βελτιώνουμε την τοπολογία, αφαιρώντας περιττές κορυφές, με τη λειτουργία Merge at Center (m shortcut), ολοκληρώνοντας τη μοντελοποίηση του κεφαλιού και του λαιμού, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.7.



Εικόνα 4.7 Character Eyes and Full Head

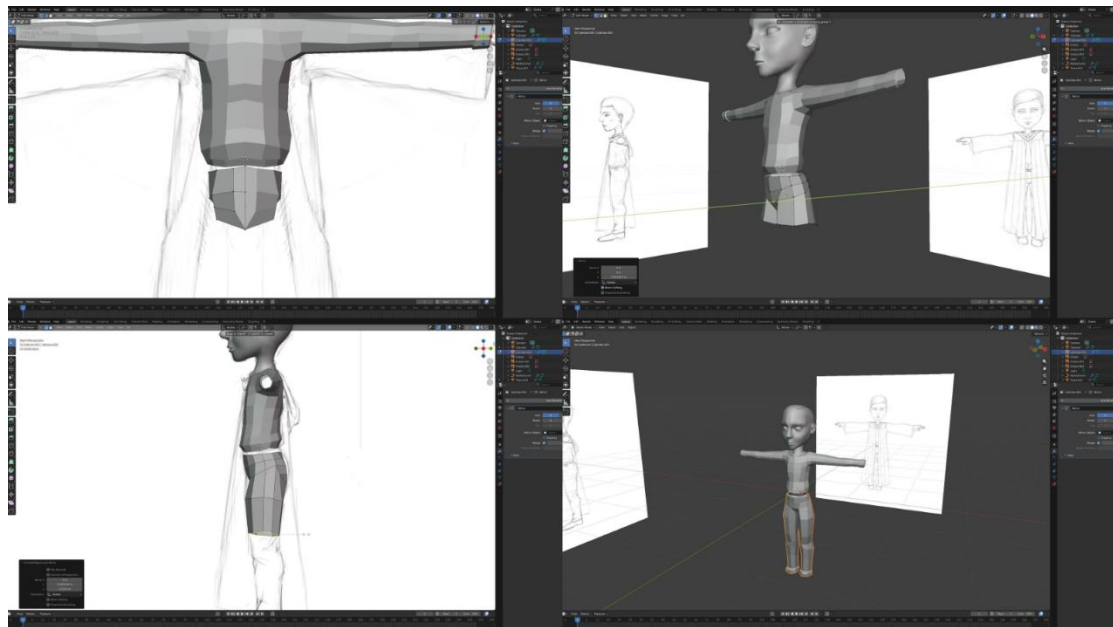
Για να αποφύγουμε την περιττή χρήση πολυγώνων, η οποία θα έχει άμεσο αντίκτυπο στην τελική απόδοση, δεν είναι απαραίτητο να δημιουργήσουμε ολόκληρο το σώμα του χαρακτήρα και έπειτα να προσθέσουμε επιπλέον ρουχισμό πάνω από αυτό. Ουσιαστικά τα μέρη του σώματος που θα καλύπτονται από τα ρούχα δεν θα είναι εμφανή στη σκηνή. Έτσι, συνεχίζουμε με τη μοντελοποίηση

του πουκαμίσου του χαρακτήρα. Εισάγουμε στη σκηνή ένα νέο Cylinder mesh σε Object Mode και έπειτα σε λειτουργία Edit Mode προσθέτουμε loop cuts και το επεξεργαζόμαστε, δίνοντάς του σταδιακά τη μορφή που επιθυμούμε. (Εικόνα 4.8).



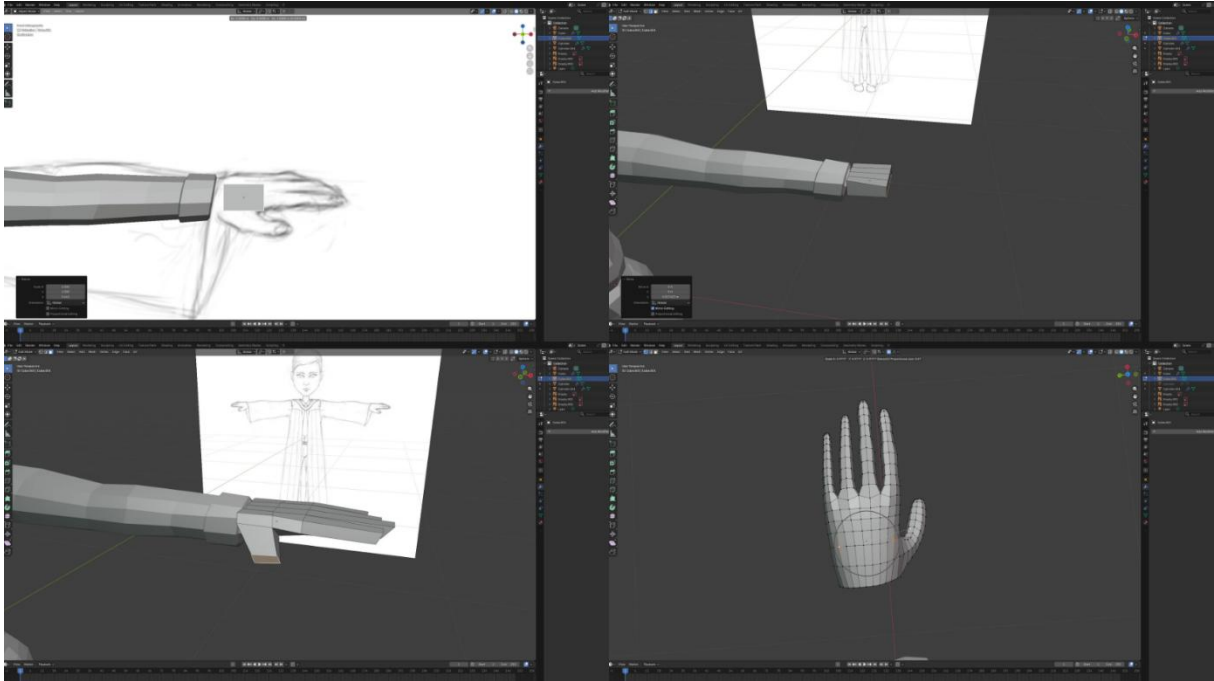
Εικόνα 4.8 Character Shirt

Με τον ίδιο τρόπο και με την εισαγωγή ενός ακόμα Cylinder Mesh δημιουργούμε και το παντελόνι του χαρακτήρα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.9.



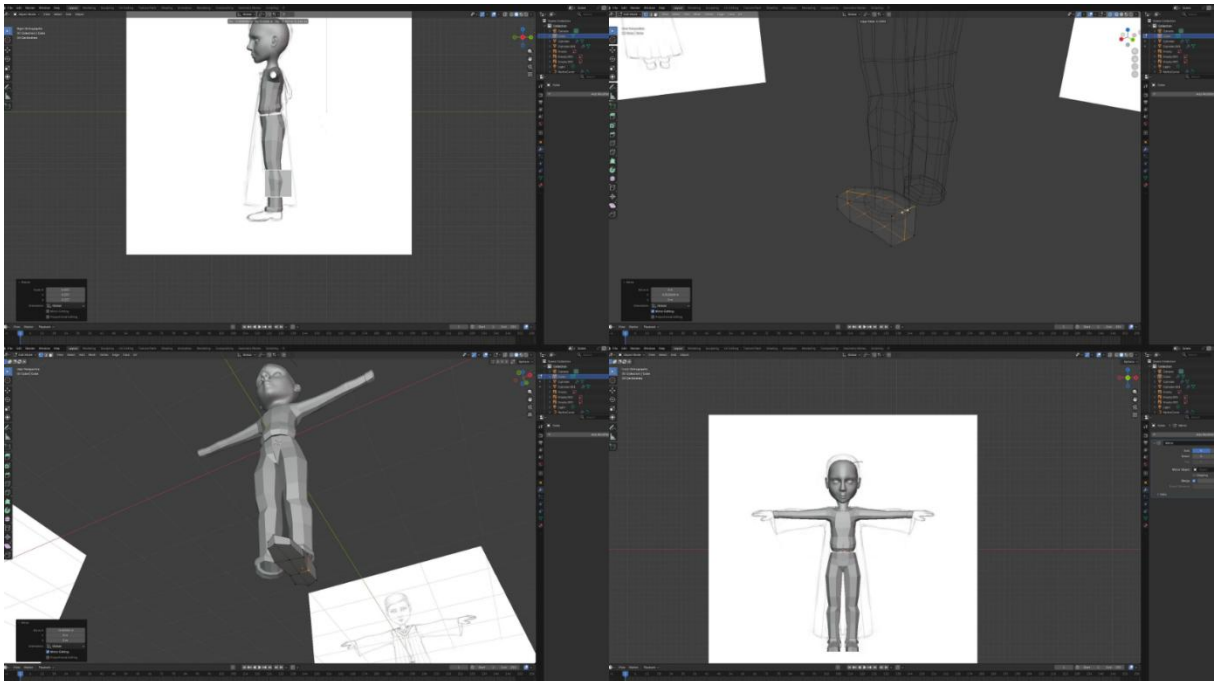
Εικόνα 4.9 Character Trousers

Για τη δημιουργία της παλάμης και των δαχτύλων του χαρακτήρα, εισάγουμε σε Object Mode ένα Cube mesh. Μεταβαίνουμε σε edit mode και με Ctrl+R προσθέτουμε Loop Cuts. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις τεχνικές επεξεργασίας που έχουμε αναφέρει και στα προηγούμενα βήματα, καθώς και με επιπλέον τεχνικές, όπως το Inset (I shortcut) αλλά και τη χρήση του εργαλείου smoothing ολοκληρώνουμε τη μοντελοποίηση της παλάμης και των χεριών (Εικόνα 4.10).



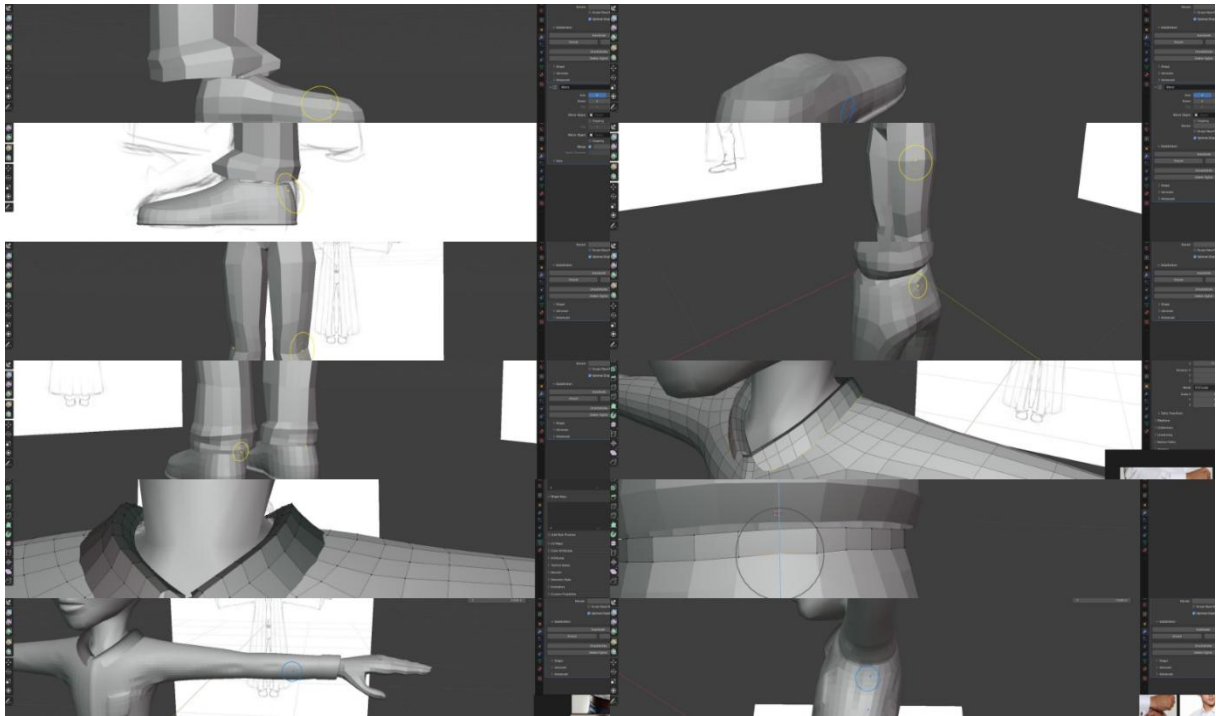
Εικόνα 4.10 Character Palm and Fingers

Επιπλέον, προσθέτουμε ένα νέο Cube mesh, το επεξεργαζόμαστε και δημιουργούμε τα παπούτσια του χαρακτήρα (Εικόνα 4.11).



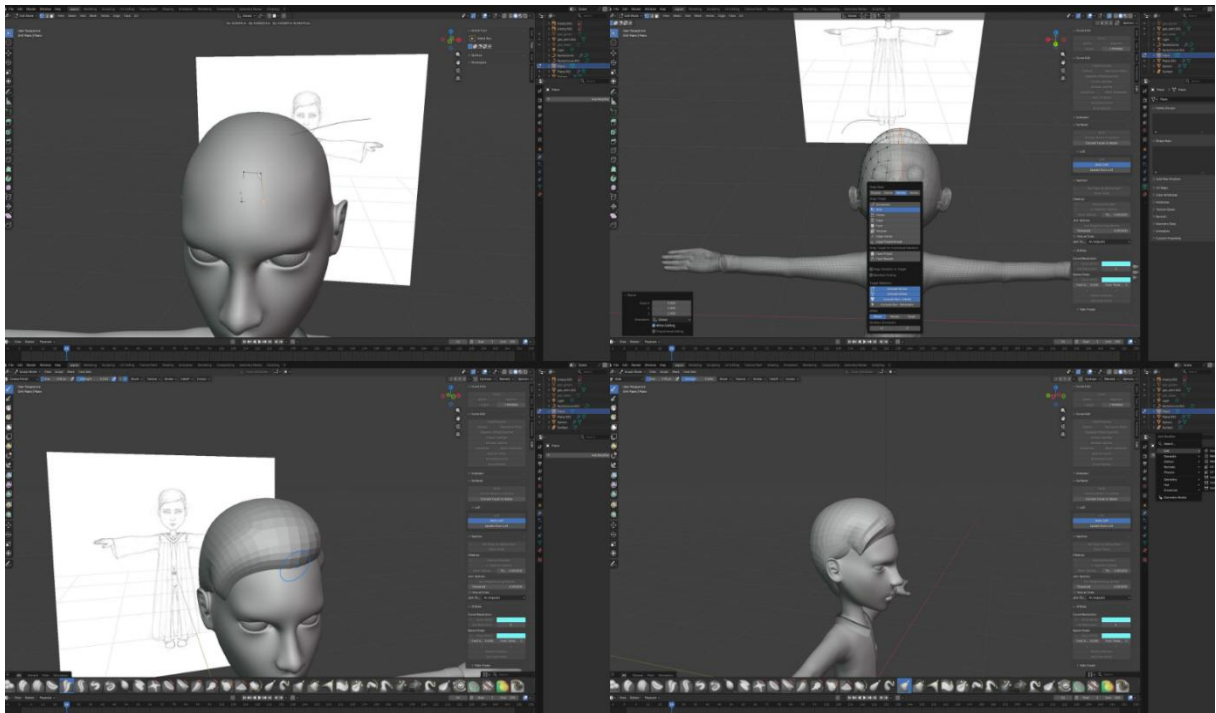
Εικόνα 4.11 Character shoes

Έχοντας έτοιμο το βασικό μοντέλο, χρησιμοποιούμε τη λειτουργία sculpting του εργαλείου για βελτίωση των λεπτομερειών και του τελικού αποτελέσματος (Εικόνα 4.12). Μερικές από τις βούρτσες που χρησιμοποιήθηκαν από τα assets του Sculpting Mode, είναι οι grab, inflate/deflate, clay Strips, draw sharp και flatten/contrast. Κάθε μία παίζει τον δικό της ρόλο και παράγει διαφορετικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 4.12 Character Sculpting

Επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία των μαλλιών. Αν και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το particle hair system του εργαλείου, δεν προτιμήθηκε για λόγους απόδοσης αλλά και στιλιστικού αποτελέσματος. Για τη δημιουργία των μαλλιών χρησιμοποιήθηκε ένα νέο Plane Mesh, το οποίο με τη λειτουργία snap στο υπάρχον mesh του κεφαλιού και την κατάλληλη επεξεργασία με sculpting έδωσε το επιθυμητό αποτέλεσμα (Εικόνα 4.13).



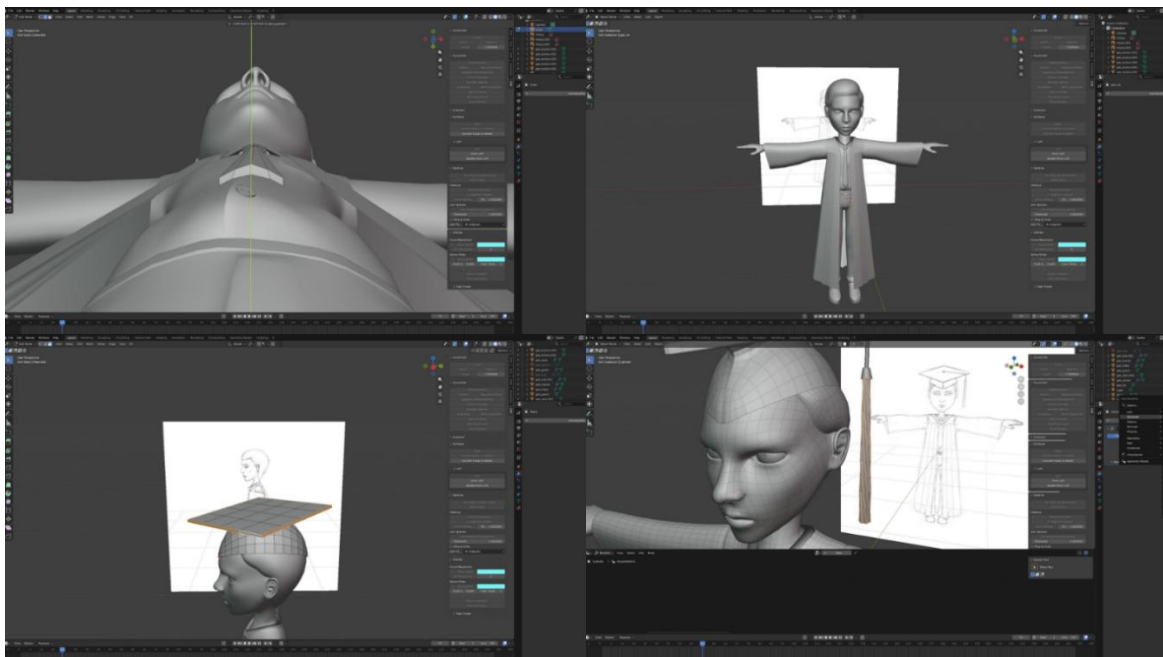
Εικόνα 4.13 Character Hair

Για τη σωστή απόδοση της σκίασης πάνω στο χαμηλού-πολυγώνου mesh των μαλλιών χωρίς να χρειαστεί αύξηση της γεωμετρικής λεπτομέρειας, εφαρμόστηκε ο Weighted Normal Modifier, ο οποίος εξομαλύνει τις αιχμηρές ακμές. Με παρόμοιο τρόπο μοντελοποιήθηκαν και τα φρύδια του χαρακτήρα, ως ξεχωριστό mesh και τοποθετήθηκαν πάνω στην περιοχή του προσώπου (Εικόνα 4.14).



Εικόνα 4.14 Character Eyebrows

Τελευταίο στάδιο είναι αυτό της μοντελοποίησης των αντικειμένων που θα απαρτίζουν το μοντέλο του χαρακτήρα και αποτελείται από τη δημιουργία της κάπας, του καπέλου και κάποιων επιπλέον αντικειμένων, όπως τα κουμπιά και η γραβάτα και το φουλάρι, ολοκληρώνοντας έτσι και το κομμάτι της ένδυσης (Εικόνα 4.15).



Εικόνα 4.15 Character Gown, Hat, Buttons and Tie

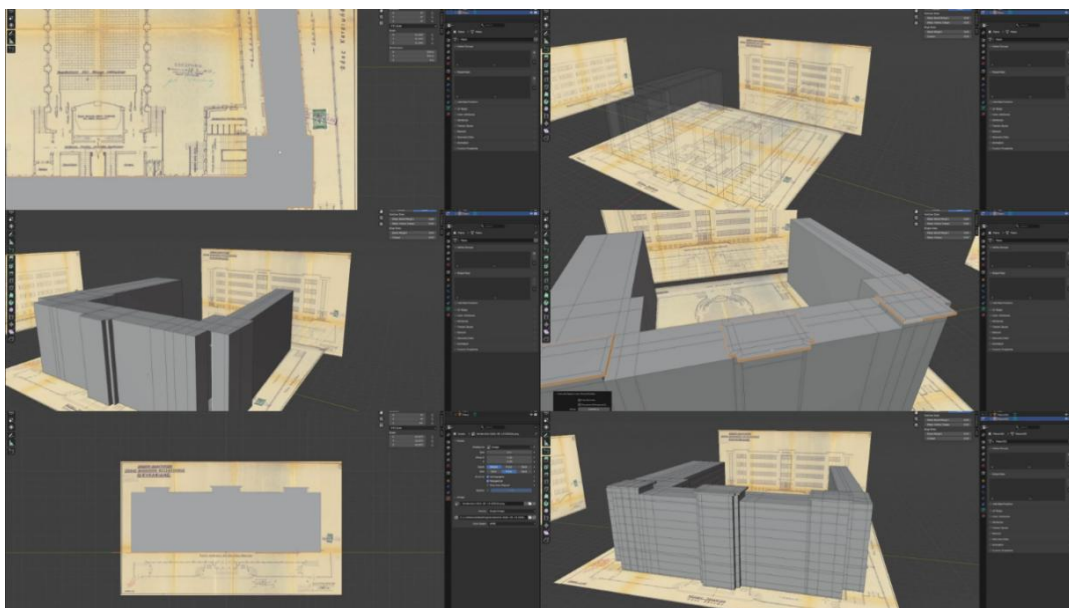
Ολοκληρώνοντας τα παραπάνω βήματα, έχουμε δημιουργήσει τον χαρακτήρα που θα χρησιμοποιηθεί στη σκηνή, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.16.



Εικόνα 4.16 Τελικό Αποτέλεσμα Μοντελοποίησης του Χαρακτήρα

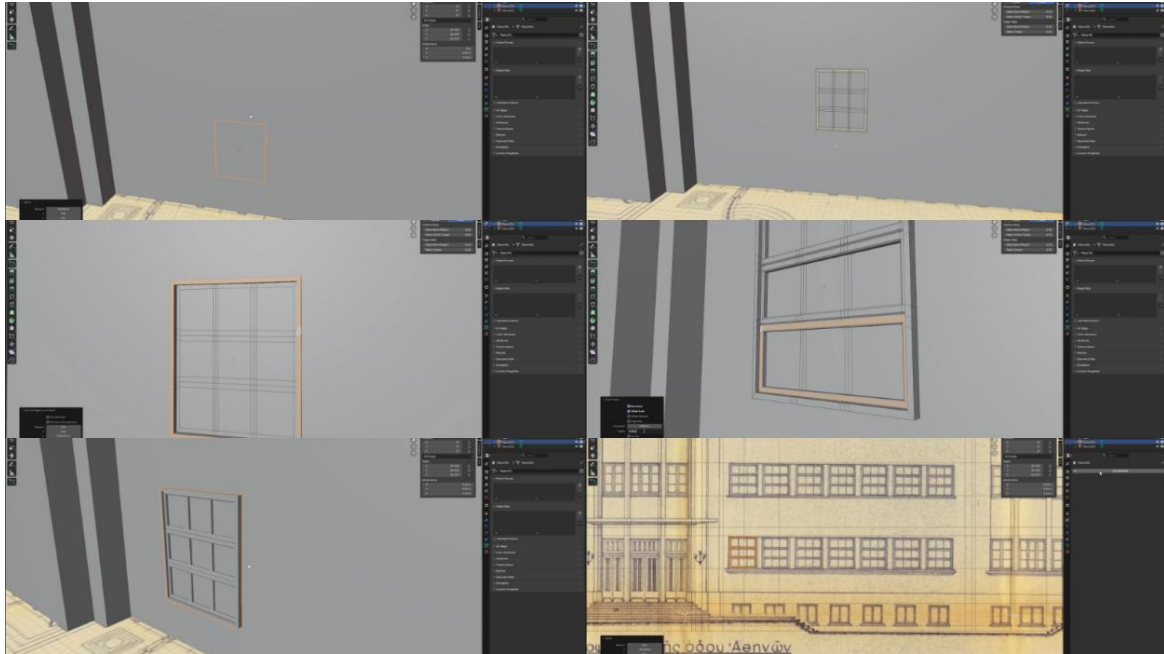
4.3.3 Μοντελοποίηση κτηρίων και περιβάλλοντα χώρου

Για την υλοποίηση του κτηρίου Ευκλείδης, όπου στεγαζόταν η Σχολή Ηλεκτρονικών πριν τη μετεγκατάστασή της στη Σίνδο, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες αναφοράς από αρχιτεκτονικά σχέδια, οι οποίες είναι διαθέσιμες στο <https://storymaps.arcgis.com/stories/4227351f2b4c4c19a6ac1df081caedb2>. Εισάγοντας ένα νέο Plane Mesh και με παρόμοιες λειτουργίες επεξεργασίας, όπως και στη μοντελοποίηση του χαρακτήρα, δημιουργήθηκε αρχικά ο σκελετός του κτηρίου (Εικόνα 4.17).

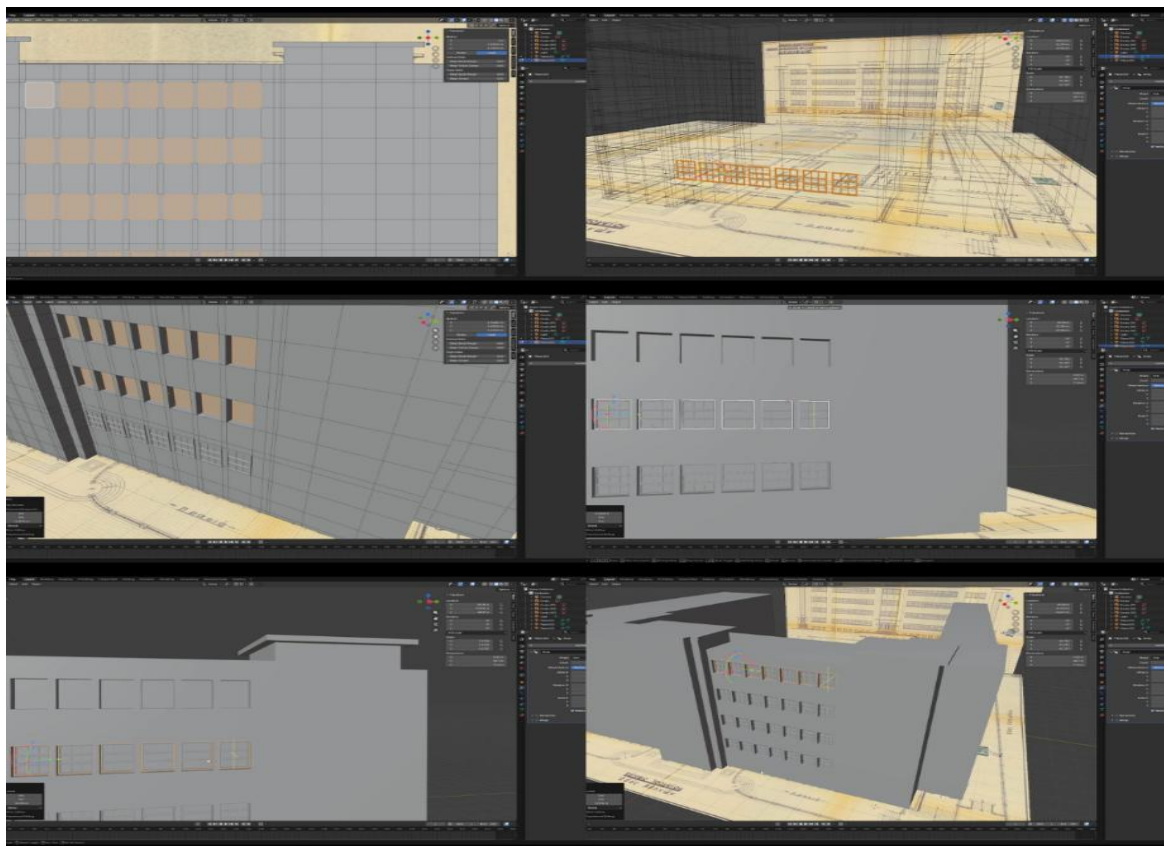


Εικόνα 4.17 Σκελετός Κτηρίου Ευκλείδης

Έπειτα, με χρήση νέου Plane Mesh και επεξεργασία αυτού, δημιουργήθηκε το παράθυρο. Για να αποφύγουμε μοντελοποίηση όλων των παραθύρων, χρησιμοποιήθηκε ο Array Modifier και έπειτα με την επιλογή duplicate (shift+D shortcut) τοποθετήθηκαν στα κατάλληλα σημεία του κτηρίου (Εικόνα 4.18 και 4.19).



Εικόνα 4.18 Κτήριο Ευκλείδης, Μοντελοποίηση Παραθύρου



Εικόνα 4.19 Κτήριο Ευκλείδης, Παραθύρα Array Modifier

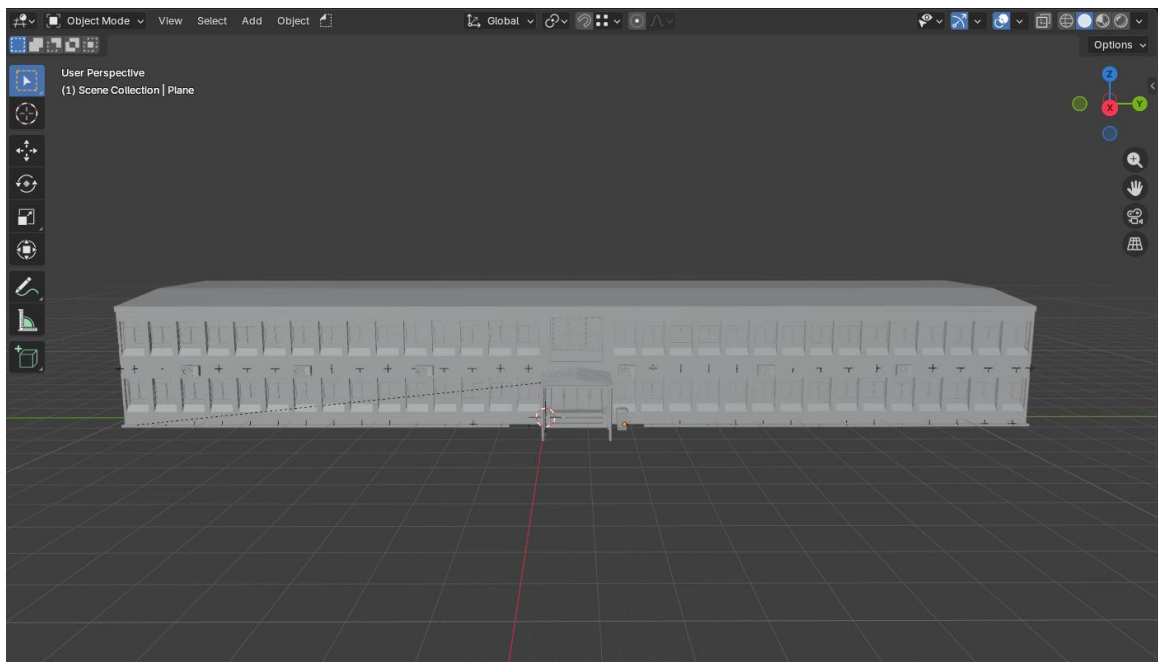
Κεφάλαιο 4

Εκμεταλλυόμενοι τα διάφορα meshes που προσφέρει το εργαλείο και την επεξεργασία της γεωμετρίας αυτών, δημιουργήθηκαν και τα υπόλοιπα στοιχεία του κτηρίου, όπως οι είσοδοι, οι σκάλες, τα υπόστεγα, μέχρι το τελικό αποτέλεσμα, το οποίο φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 4.20.



Εικόνα 4.20 Ολοκλήρωση του Κτηρίου Ευκλείδης

Με αντίστοιχες διαδικασίες δημιουργήθηκαν τα κτήρια Πληροφορικής (εικόνα 4.21) και Ηλεκτρονικής (Εικόνα 4.22) που στεγάζονται στο ΔΙΠΑΕ Σίνδου, καθώς και τα υπόλοιπα κτήρια που δημιουργήθηκαν και προστέθηκαν στην τελική σκηνή.

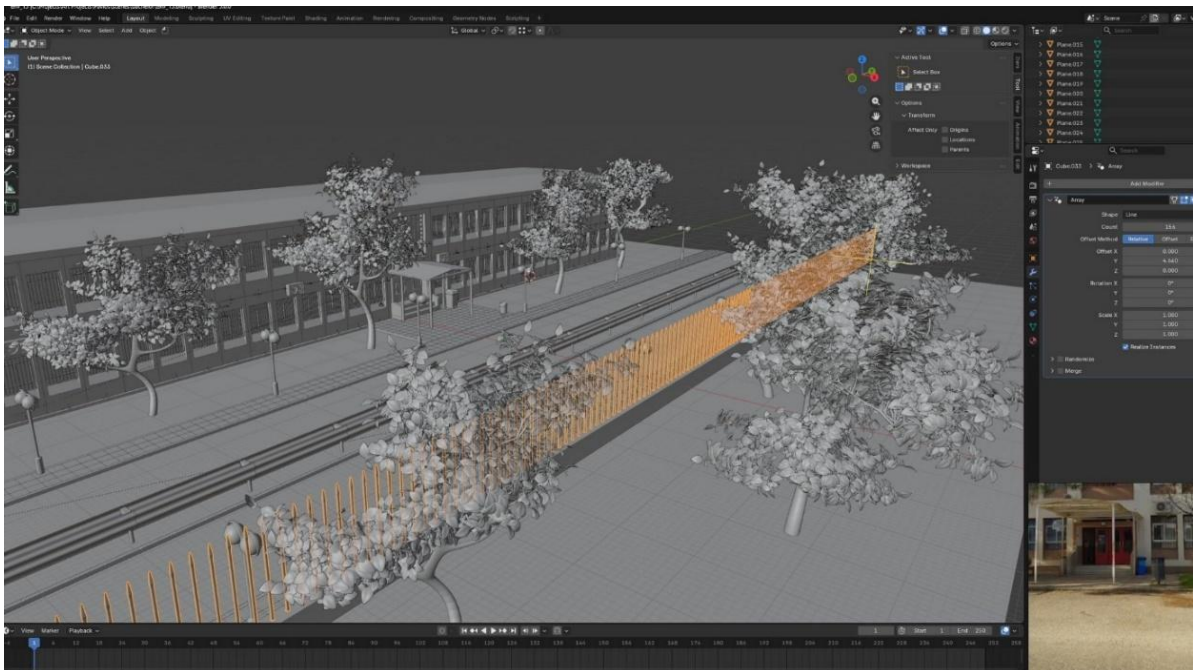


Εικόνα 4.21 Κτήριο Πληροφορικής ΔΙΠΑΕ Σίνδου



Εικόνα 4.22 Κτήριο Ηλεκτρονικής ΔΙΠΑΕ Σίνδου

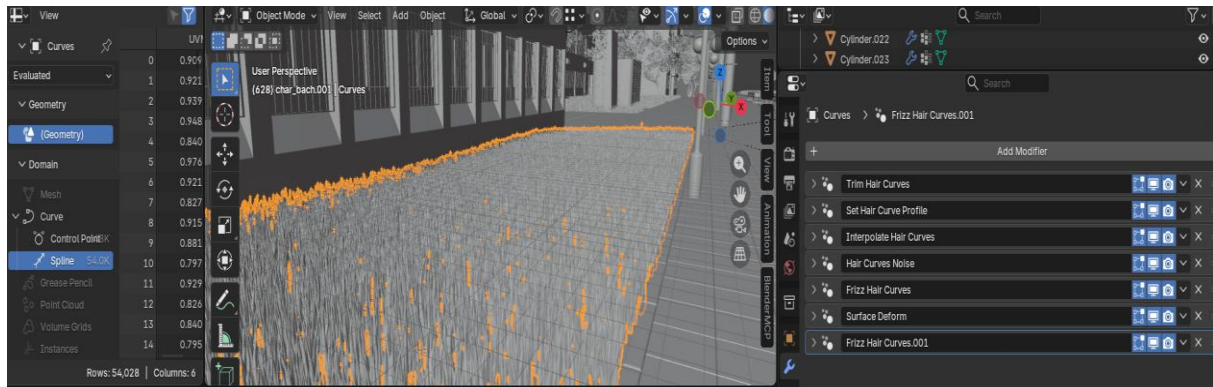
Επιπλέον, έγινε μοντελοποίηση διαφόρων assets που χρησιμοποιήθηκαν για να γεμίσουν τη σκηνή, όπως πεζοδρόμια, δέντρα, δρόμος, διαχωριστικά, κάδοι σκουπιδιών και άλλα (Εικόνα 4.23), τα οποία βασίζονται σε βασικά Mesh Objects, κυρίως Plane Meshes και επεξεργασία αυτών.



Εικόνα 4.23 Μοντελοποίηση Λοιπών Assets

Για τη δημιουργία του γρασιδιού της σκηνής αξιοποιήθηκε το ενσωματωμένο σύστημα Hair Curves του Blender. Αρχικά σχεδιάστηκε χειροκίνητα ένα μικρό σύνολο καμπυλών που θα χρησιμοποιηθούν ως «οδηγοί» πάνω σε μια επιφάνεια εδάφους. Στη συνέχεια, μέσω μιας αλυσίδας από γεωμετρικούς κόμβους, οργανωμένους σε μια σειρά από Modifiers (Trim Hair Curves, Set Hair Curve Profile, Interpolate Hair Curves, Hair Curves Noise, Frizz Hair Curves, Surface Deform), οι οδηγοί-καμπύλες πολλαπλασιάστηκαν σε πυκνά, τυχαία διαμορφωμένα τμήματα γρασιδιού, με μεταβλητό μήκος και

πάχος πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, ώστε να ακολουθούν τις παραμορφώσεις της επιφάνειας αυτής (4.24), αποδίδοντας ένα πιο ρεαλιστικό τελικό αποτέλεσμα.

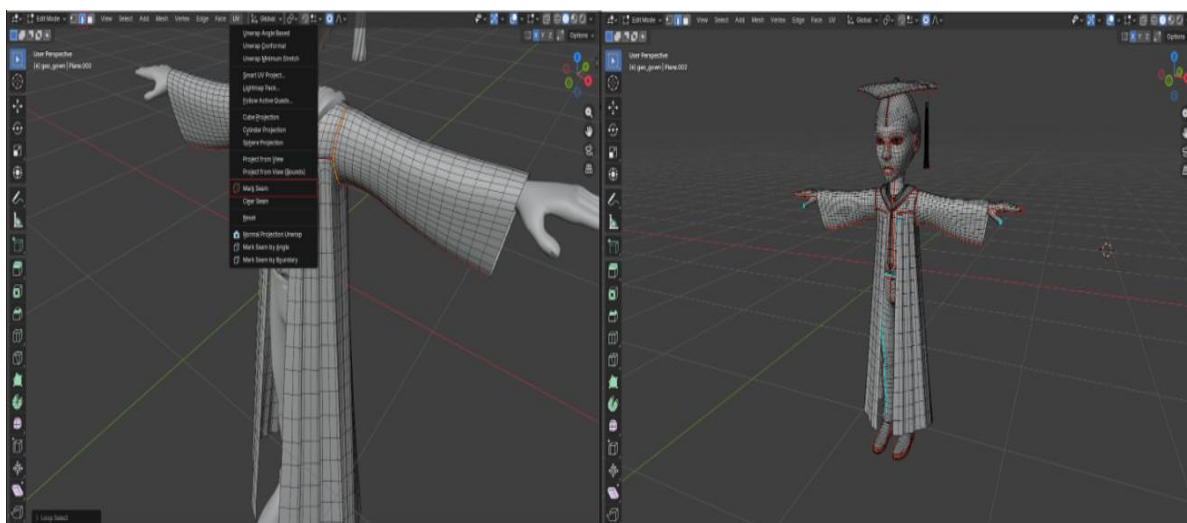


Εικόνα 4.24 Grass System Modifier Stack

4.3.4 Χαρτογράφηση UV

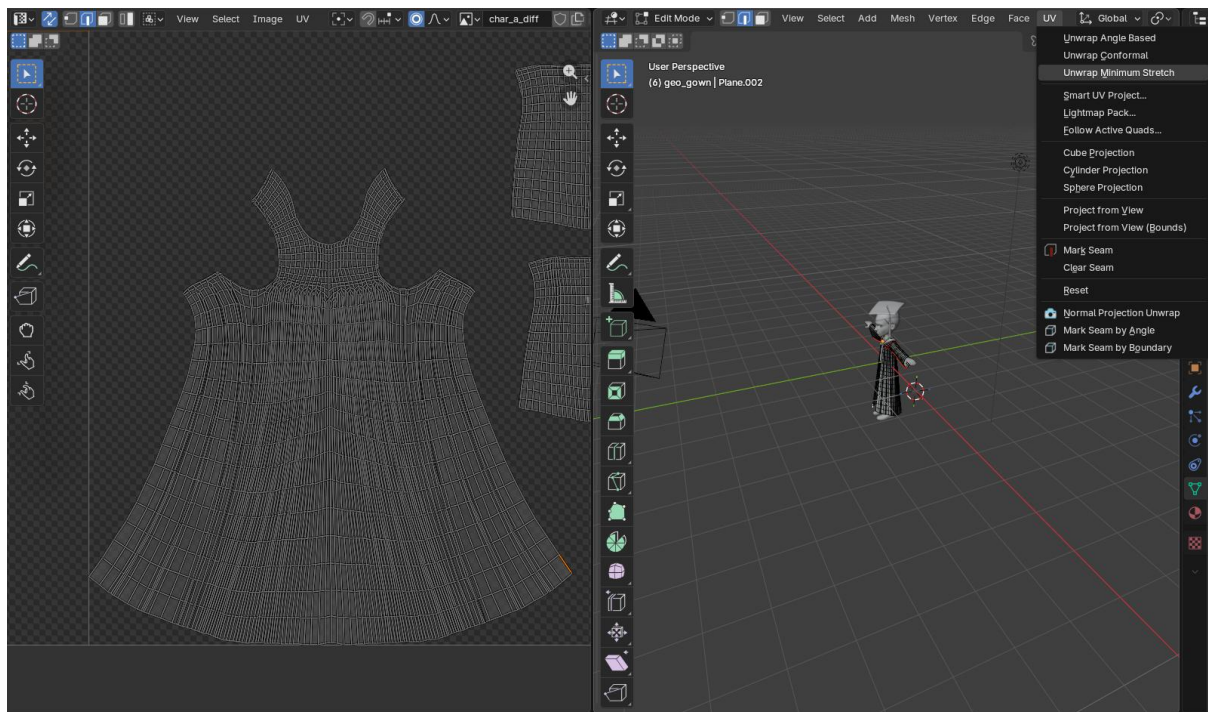
Αφού ολοκληρώθηκε το κομμάτι της μοντελοποίησης όλων των αντικειμένων, προχωράμε στο επόμενο στάδιο, το UV mapping. Μέσω αυτής της διαδικασίας, θα μπορέσουμε να αποδώσουμε, χωρίς προβλήματα, υλικά και υφές στα αντικείμενα της σκηνής. Αξίζει να περιγράψουμε τη διαδικασία χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα τον χαρακτήρα που είχε και τις περισσότερες απαιτήσεις, λόγω της πολυπλοκότητας του επιπλέον ρουχισμού και των λεπτομερειών του τρισδιάστατου μοντέλου.

Αρχικό στάδιο της χαρτογράφησης UV είναι η επιλογή των seams, δηλαδή των σημείων στα οποία θα «κοπεί» η επιφάνεια, ώστε να μπορέσουμε να την ξεδιπλώσουμε σε μια 2D επιφάνεια. Επιλέγουμε το εκάστοτε mesh (π.χ. την κάπα) σε Object Mode και μεταβαίνουμε σε λειτουργία Edit Mode και Edge Mode, ώστε να επιλέξουμε τις ακμές, στις οποίες θα εφαρμόσουμε τα seams. Επιλέγουμε το σύνολο των ακμών στο οποίο θέλουμε να εφαρμόσουμε τη λειτουργία και από το menu UV πατάμε το Mark Seam. Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία για όλα τα επιμέρους meshes που απαρτίζουν τον χαρακτήρα. Οι ακμές που γίνονται marked φαίνονται με κόκκινο χρώμα μόλις ολοκληρωθεί η εφαρμογή (Εικόνα 4.25).



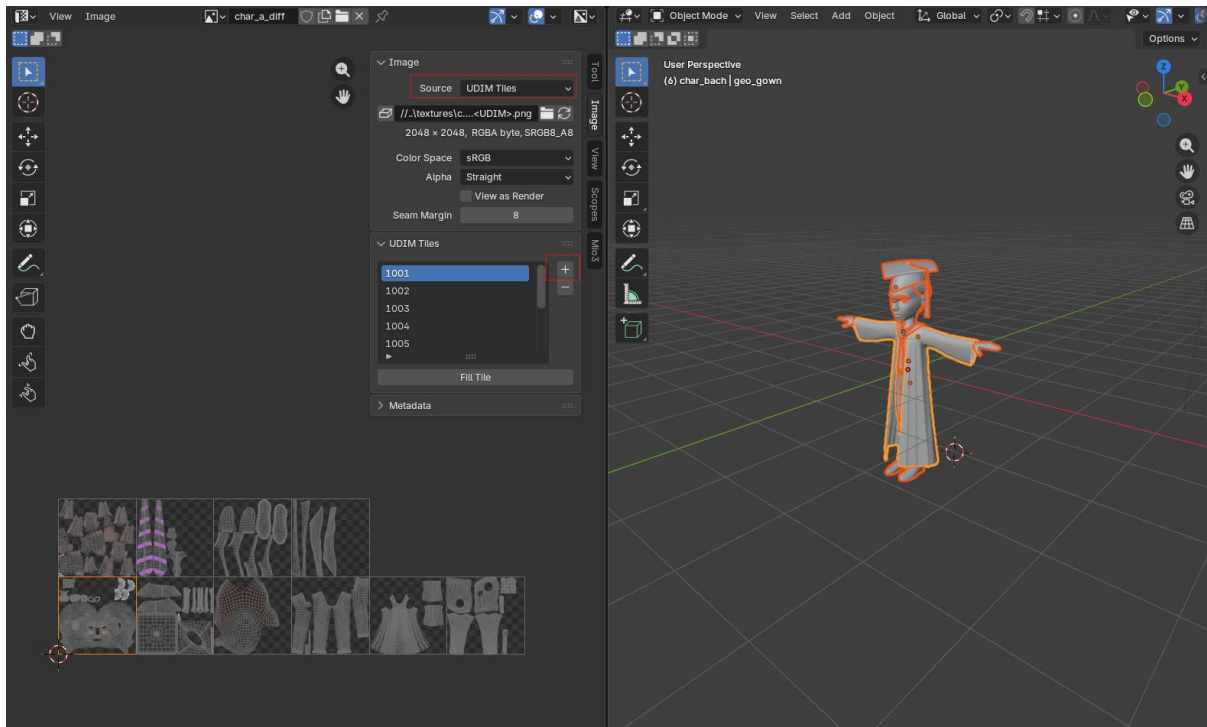
Εικόνα 4.25 Mark Seams

Αφού ολοκληρώσουμε το μαρκάρισμα των seams, επιλέγουμε το αντικείμενο και από το ίδιο μενού κάνουμε UV Unwrap (Unwrap Minimum Stretch). Έπειτα, μεταβαίνοντας στο περιβάλλον εργασίας UV Editing, μπορούμε να δούμε ότι η επιφάνεια έχει ξεδιπλωθεί στον 2D χώρο (Εικόνα 4.26). Εκεί μπορούμε να επεξεργαστούμε τα UV Islands κάνοντας align και rotate, ή εκ νέου unwrap έως ότου καταλήξουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα.



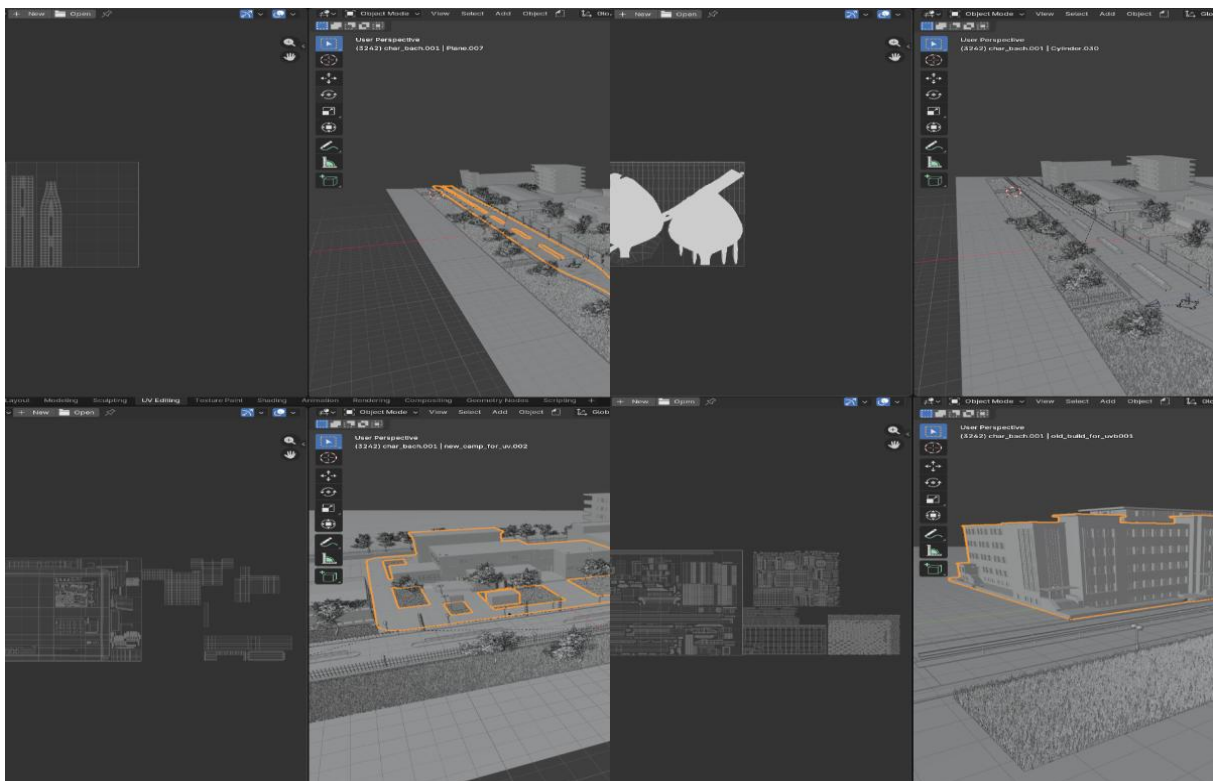
Εικόνα 4.26 UV Unwrap Example

Ο χαρακτήρας της σκηνής απαρτίζεται από πολλά διαφορετικά meshes, οπότε θα ήταν αρκετά περίπλοκο να αποδοθούν διαφορετικά υλικά, χρωματισμοί και αναλύσεις υφών σε κάθε mesh, εκμεταλλευόμενοι μόνο το βασικό UV space ενός tile (0-1). Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκε η λύση των UDIMs, η οποία επιτρέπει την προσθήκη επιπλέον tiles που καλύπτουν το δικό τους UV space και στα οποία μπορούμε να αναθέσουμε και να ελέγχουμε διαφορετικές ιδιότητες και παραμέτρους των unwrapped αντικειμένων μέσω ενός και μόνο shader. Στο Blender, μέσα από τον UV Editing Editor και τα Image Properties, αλλάζουμε το Source σε UDIM Tiles, κι έπειτα προσθέτουμε πατώντας το εικονίδιο + όσα tiles χρειαζόμαστε. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 10 tiles χωρισμένα ανά δύο σειρές, τα tiles 1001-1006 και τα tiles 1011-1014. Έπειτα μετακινούμε τα unwrapped αντικείμενα στα tiles που επιθυμούμε, επιλέγοντάς τα σε Edit mode και χρησιμοποιώντας τη λειτουργία move. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 4.27, όπου τα περισσότερα unwrapped Meshes έχουν τοποθετηθεί σε δικό τους, ξεχωριστό UDIM Tile, με εξαίρεση κάποια πολύ μικρά αντικείμενα, όπως τα μάτια, τα οποία μοιράζονται το tile του κεφαλιού ως ξεχωριστό, μικρότερο UV island. Τα UDIM Tiles χρησιμοποιήθηκαν μόνο κατά τη διαδικασία χαρτογράφησης UV του χαρακτήρα. Στα υπόλοιπα assets της σκηνής η διαδικασία της χαρτογράφησης UV ήταν γενικά πιο απλή, καθώς δεν απαιτήθηκε τόσο μεγάλος βαθμός ελέγχου στις υφές των επιφανειών.



Εικόνα 4.27 UDIM Tiles

Παρόμοια διαδικασία, χωρίς τη χρήση των UDIM tiles, πραγματοποιήθηκε στα περισσότερα meshes όπου χρειάστηκε να γίνει απόδοση υφών και υλικών, όπως, για παράδειγμα, τα δέντρα, τον δρόμο και τα διάφορα κτήρια της σκηνής (Εικόνα 4.28).



Εικόνα 4.28 Road, Trees, Buildings UV Unwrap

4.3.5 Απόδοση υλικών και υφών

Αφού έχουμε ολοκληρώσει τη χαρτογράφηση, προχωράμε στο στάδιο της απόδοσης υλικών και υφών. Αρχικά επιλέγουμε το αντικείμενο και προσθέτουμε ένα νέο υλικό από τον Properties Editor και το Material Properties. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός αρχικού συστήματος κόμβων με βασικό κόμβο τον Principled BSDF, μέσω του οποίου μπορούμε να επεξεργαστούμε ιδιότητες της επιφάνειας, όπως το χρώμα, τη μεταλλικότητα, την τραχύτητα και το subsurface scattering. Επιπλέον, μπορούμε με τη χρήση του Shader Editor να προσθέσουμε (shift+A shortcut) και να συνδυάσουμε περισσότερους κόμβους με τη χρήση των εισόδων και των εξόδων κάθε κόμβου, δημιουργώντας ένα ενιαίο σύστημα διαχείρισης της εμφάνισης όλου του χαρακτήρα, το οποίο εκμεταλλεύεται τα UDIM tiles που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Οι βασικοί κόμβοι που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και ο λόγος επιλογής τους, περιγράφονται παρακάτω.

Texture Coordinate και Mapping: Ο κόμβος Texture Coordinate (έξοδος UV) χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση του κόμβου Mapping, ο οποίος συμπιέζει μέσω κλιμάκωσης το multi-tile UV space σε κατάλληλη κλίμακα, έτσι ώστε οι επόμενοι κόμβοι που θα χρησιμοποιηθούν να μπορούν να διαβάσουν σωστά τη θέση κάθε αντικειμένου μέσα στο πλέγμα των UDIM tiles, δίνοντας πλήρη έλεγχο για το κάθε Pixel των textures της 3D σκηνής.

Gradient Texture και Separate XYZ: Ο κόμβος Gradient Texture δίνει μια ομαλή διαβάθμιση τιμών κατά μήκος του άξονα X του UV χώρου, η οποία μας βοηθάει να ξεχωρίσουμε τις στήλες των tiles (π.χ. 1001,1002,1003...). Επειδή όμως χρησιμοποιούμε και δεύτερη σειρά από tiles(1011-1014) προσθέτουμε έναν κόμβο Separate XYZ πάνω στο ίδιο Mapping vector, ώστε να απομονώσουμε ξεχωριστά και τον άξονα Y και να ξέρουμε σε ποια σειρά των tiles βρισκόμαστε.

Color Ramp Node και Mix: Χρησιμοποιούνται δύο κόμβοι Color Ramp, καθένας από τους οποίους αντιστοιχίζει μέσω της εξόδου του Gradient Texture, ένα διαφορετικό αρχικό χρώμα σε κάθε στήλη των tiles. Επιπλέον, προσθέτουμε έναν επιπλέον Color Ramp κόμβο, με είσοδο την τιμή του Separate XYZ, ο οποίος λειτουργεί ουσιαστικά ως διακόπτης και μέσω ενός κόμβου Mix επιλέγει τελικά ποιο από τα δύο αρχικά Color Ramp θα χρησιμοποιηθεί, ανάλογα με τη σειρά στην οποία ανήκει το εκάστοτε tile. Με αυτόν τον τρόπο κάθε mesh παίρνει διαφορετικό βασικό χρώμα, ανάλογα με το tile στο οποίο έχει τοποθετηθεί, χωρίς να χρειάζεται ξεχωριστή υφή για το κάθε mesh.

Image Texture: Μας δίνει τη δυνατότητα προσθήκης μιας ζωγραφισμένης υφής διάχυσης, η οποία συνδυάζεται με το προηγούμενο αποτέλεσμα μέσω ενός κόμβου Mix, με Factor το κανάλι Alpha της ίδιας υφής. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να εισάγουμε επιπλέον λεπτομέρειες πάνω από το βασικό χρώμα με τη χρήση του Texture paint Mode του εργαλείου.

Κόμβοι Mix σε λειτουργία Multiply: Με τη χρήση του κόμβου Mix και ρυθμίζοντας την ιδιότητα Blend Type σε Multiply μπορούμε να αποδώσουμε επιπλέον σκίαση και αντίθεση στα χρώματα μεταξύ των διαφορετικών επιφανειών. Χρησιμοποιήθηκαν δύο τέτοιοι κόμβοι, ο ένας για να σκουραίνει ενιαία όλο το αποτέλεσμα, και ο άλλος για να συνδυάζει μια βοηθητική υφή σε αποχρώσεις του γκρι.

Combine Color και Attribute: Οι κόμβοι αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία custom Attributes (χρωματικά κανάλια R, G, B), δίνοντας τη δυνατότητα αλλαγής του χρώματος συγκεκριμένου mesh χωρίς να χρειάζεται να ανοίξουμε και να τροποποιήσουμε τους κόμβους του Shader Editor. Το αποτέλεσμα αυτών των Attributes συνδυάζεται με το βασικό χρώμα μέσω ενός επιπλέον κόμβου Mix, ο οποίος καθοδηγείται από μια βοηθητική μάσκα υφής. Η μάσκα αυτή υπάρχει μόνο σε συγκεκριμένα tiles (εκεί όπου χρειαζόταν επαναχρωματισμός, όπως στην κάπα), οπότε η δυνατότητα αλλαγής χρώματος μέσω των Attributes εφαρμόζεται επιλεκτικά και όχι σε ολόκληρο τον χαρακτήρα. Ένας

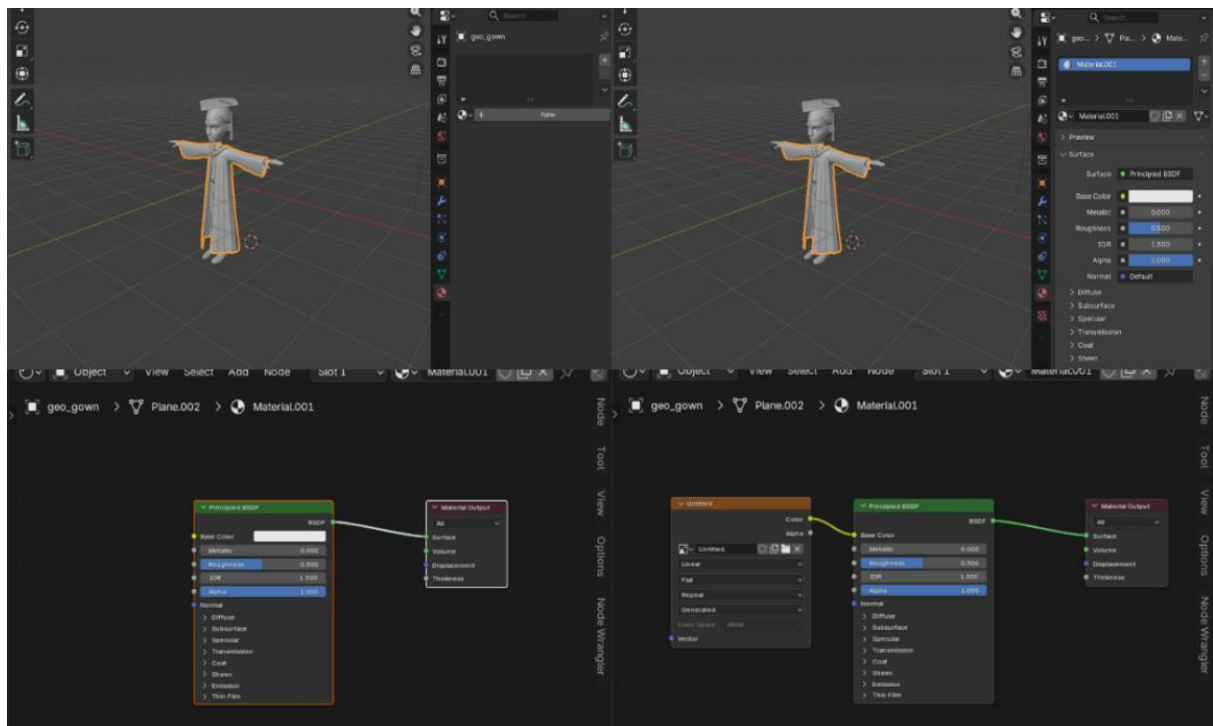
ακόμη λόγος επιλογής αυτής της μεθόδου είναι ότι ο χαρακτήρας θα εισαχθεί στην τελική σκηνή μέσω της λειτουργίας Link του Blender (για καλύτερη διαχείριση μνήμης του συστήματος), κάτι που δεν επιτρέπει την απευθείας επεξεργασία των κόμβων ενός linked αντικειμένου.

Separate Color: Χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του Roughness. Η αντίστοιχη πληροφορία είναι αποθηκευμένη στο κόκκινο κανάλι μιας UDIM υφής, οπότε ο κόμβος Separate Color ξεχωρίζει το κανάλι αυτό και το οδηγεί στην είσοδο Roughness του Principled BSDF κόμβου.

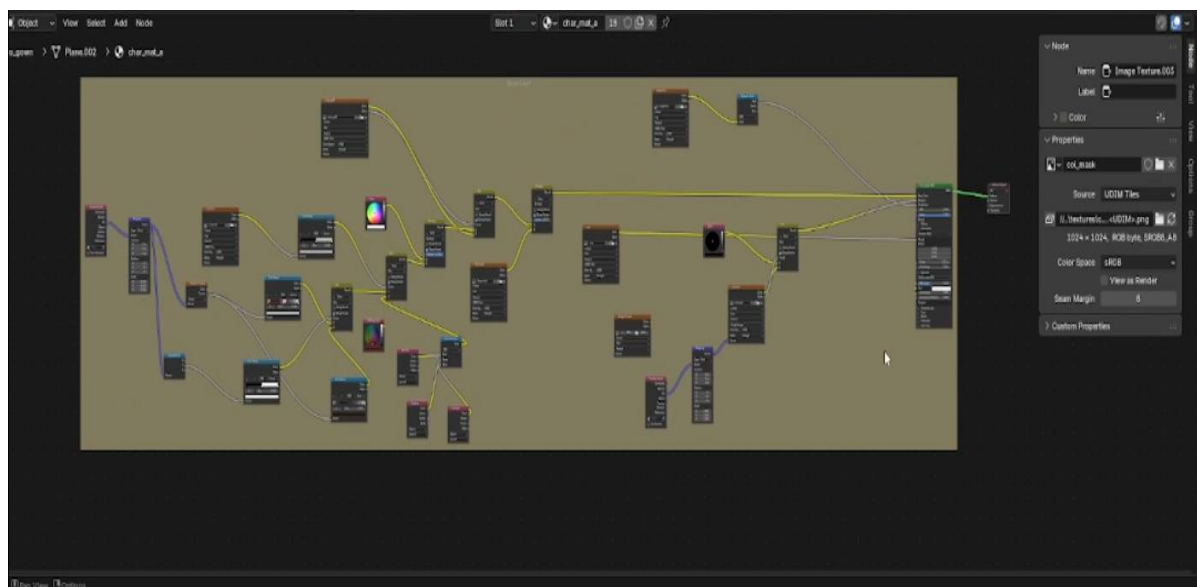
Subsurface Scattering: Με τη χρήση μιας ξεχωριστής υφής και τροφοδοτώντας την είσοδο Subsurface Weight του Principled BSDF κόμβου, μπορούμε να ελέγξουμε το πού και πόσο έντονο θα είναι το φαινόμενο της υποδόριας σκέδασης στο δέρμα.

Μεταλλικότητα (Metallic): Για το Metallic χρησιμοποιήθηκε μια ξεχωριστή μάσκα υφής και όχι με UDIM, αλλά με δικό της κόμβο Texture Coordinate και Mapping. Εφαρμόστηκε μετατόπιση κατά -1 στον άξονα X, ώστε η ίδια μάσκα να καλύπτει και να επαναχρησιμοποιείται συμμετρικά, χωρίς να χρειάζεται ξεχωριστή υφή για κάθε πλευρά του μοντέλου.

Στην εικόνα 4.29 φαίνονται τα βήματα προσθήκης και εφαρμογής υλικού και το αρχικό σύστημα κόμβων που δημιουργείται αυτόματα από το σύστημα, καθώς και η προσθήκη νέου κόμβου για απόδοση υφής, ενώ στην εικόνα 4.30 μπορούμε να δούμε στιγμιότυπο από το ολοκληρωμένο σύστημα κόμβων.



Εικόνα 4.29 Προσθήκη Υλικού και αρχικό σύστημα κόμβων Shader Editor



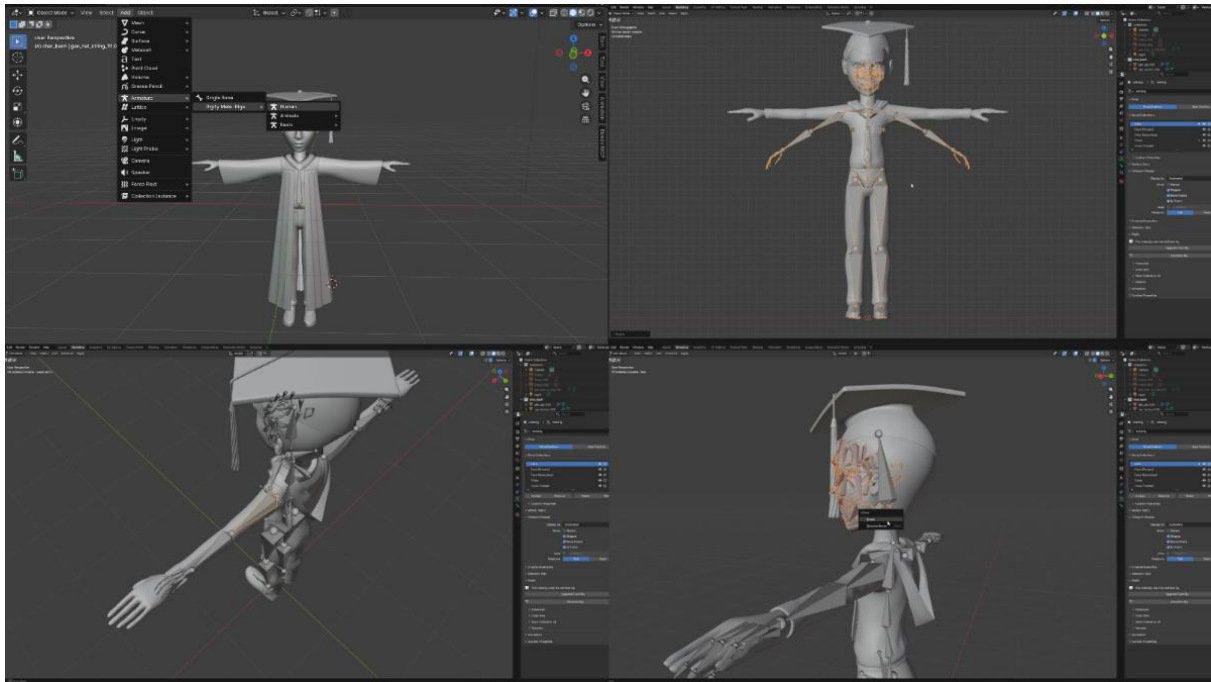
Εικόνα 4.30 Ολοκληρωμένο σύστημα κόμβων του χαρακτήρα

Για τα υπόλοιπα αντικείμενα δεν χρειάστηκε να υλοποιηθεί τόσο πολύπλοκο σύστημα shading. Στα περισσότερα meshes έγιναν assign διάφορα υλικά με απλούς χρωματισμούς και υφές, οι οποίες είναι διαθέσιμες δωρεάν, από βιβλιοθήκες όπως το BlenderKit, χρησιμοποιώντας τον βασικό κόμβο Principled BSDF. Επίσης, για τη δημιουργία των textures των ημερομηνιών, των πινακίδων και των κειμένων χρησιμοποιήθηκε το δωρεάν Online εργαλείο Photopea, το οποίο είναι διαθέσιμο στο <https://www.photopea.com>.

Για τον σχεδιασμό των τριών χαρακτήρων – μηχανικών επιλέχθηκαν οι χρωματικοί τόνοι του πορτοκαλί, του γαλαζοπράσινου και του μπλε. Η επιλογή των συγκεκριμένων χρωμάτων βασίστηκε στις αρχές της προσβασιμότητας, καθώς οι συνδυασμοί αυτοί είναι γενικά ευκολότερα διακριτοί από άτομα με αχρωματοψία ή άλλες διαταραχές της χρωματικής όρασης. Επιπλέον, τα χρώματα αυτά παρουσιάζουν ικανοποιητική μεταξύ τους αντίθεση, συμβάλλοντας στη σαφή διάκριση των χαρακτήρων. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται το γεγονός ότι οι πληροφορίες παραμένουν κατανοητές και εύκολα αντιληπτές από ένα ευρύτερο σύνολο χρηστών.

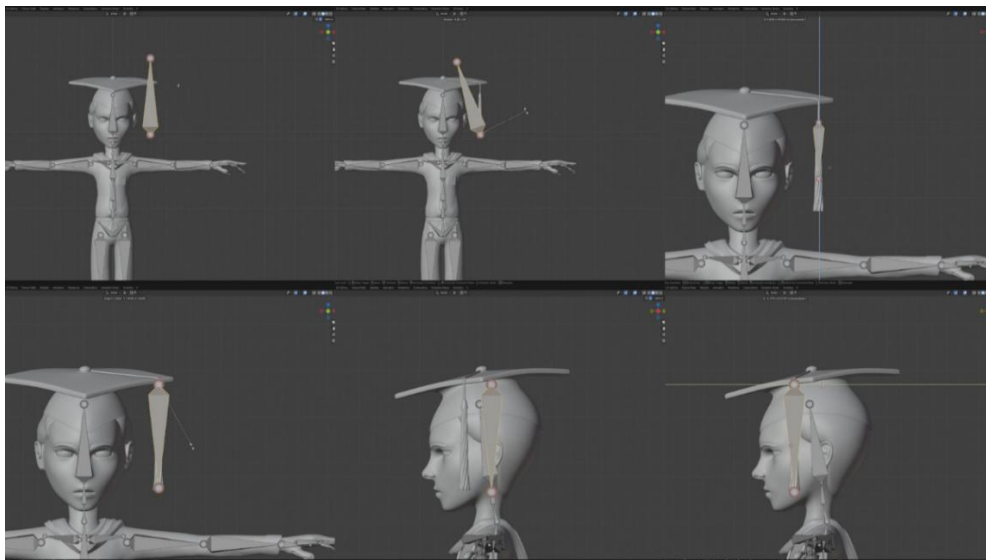
4.3.6 Rigging

Επόμενο στάδιο της εργασίας αποτελεί το Rigging του χαρακτήρα. Για τη δημιουργία του αρχικού σκελετού και για την αποφυγή επαναλαμβανόμενων χειροκίνητων βημάτων, χρησιμοποιήθηκε το πρόσθετο Rigify. Στο περιβάλλον εργασίας Modeling και σε λειτουργία Object Mode, πατάμε Add και εντοπίζουμε την επιλογή Armature. Από το υπομενού Rigify Meta-Rigs, επιλέγουμε το Human. Με αυτόν τον τρόπο εισάγεται στη σκηνή, ένα έτοιμο armature με την κατάλληλη ιεραρχική δομή των οστών. Έπειτα, με τις λειτουργίες move, rotate, scale προσαρμόζουμε τον σκελετό αλλά και το κάθε Bone ξεχωριστά στα σημεία του χαρακτήρα που θα πρέπει να επηρεάζουν, και τέλος, αφαιρούμε τα περιττά bones από την περιοχή του προσώπου, με το shortcut X και μετά delete bones, καθώς για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας δεν απαιτείται λεπτομερής απόδοση των κινήσεων και των εκφράσεων του προσώπου. Οι παραπάνω ενέργειες φαίνονται με τη σειρά στην εικόνα 4.31.



Εικόνα 4.31 Armature Bones Adjustment

Στη συνέχεια, θα πρέπει να προσθέσουμε επιπλέον bones στα αντικείμενα στα οποία θέλουμε να αποδώσουμε επιπλέον κίνηση κατά το animation, όπως το καπέλο και η κάπα. Αυτό μπορεί να γίνει είτε εισάγοντας νέο Single Bone από το μενού Add ή επιλέγοντας ένα bone από το υπάρχον Armature και χρησιμοποιώντας το shortcut duplicate (shift D). Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για move, rotate και scale του Bone, ώστε να τοποθετηθεί στο σημείο που θέλουμε (Εικόνα 4.32).



Εικόνα 4.32 Hat Bone

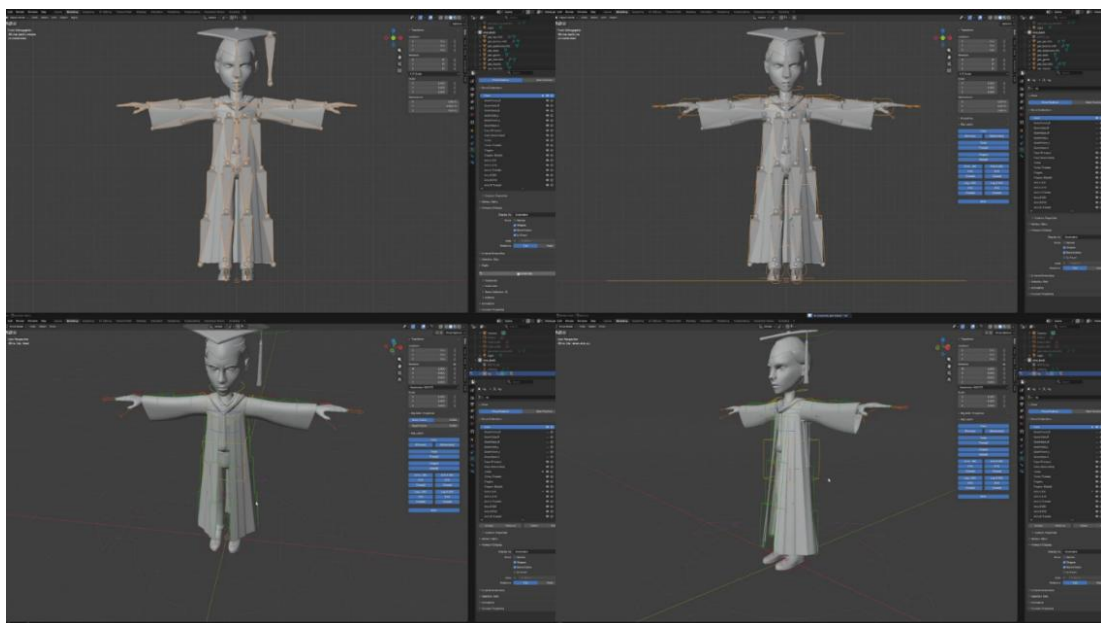
Ακολουθούμε τα ίδια βήματα και για την προσθήκη νέων Bones στην κάπα, η οποία χρειάζεται περισσότερες από μία αλυσίδες bones, ώστε να αποδοθεί ρεαλιστικά η κίνησή της σε διαφορετικά σημεία (μπροστά, πίσω, πλάι). Δεν χρειάζεται να δημιουργήσουμε bones και στις δύο πλευρές της κάπας. Το Blender μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε Symmetrize στον άξονα x και να δημιουργήσουμε αυτόματα τα αντίστοιχα bones στην άλλη πλευρά. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η κατάλληλη ονομασία των bones με συγκεκριμένες καταλήξεις _R ή _L αντίστοιχα (εικόνα 4.33).

Με την ίδια ακριβώς λογική προστέθηκαν και επιπλέον bones στα μανίκια της κάπας ώστε να αποδίδεται πιο φυσικά η κίνηση στο ύφασμα γύρω από τους βραχίονες κατά το animation. Και εδώ δημιουργήθηκαν bones μόνο στη μία πλευρά και στη συνέχεια έγιναν Symmetrize στην απέναντι πλευρά.



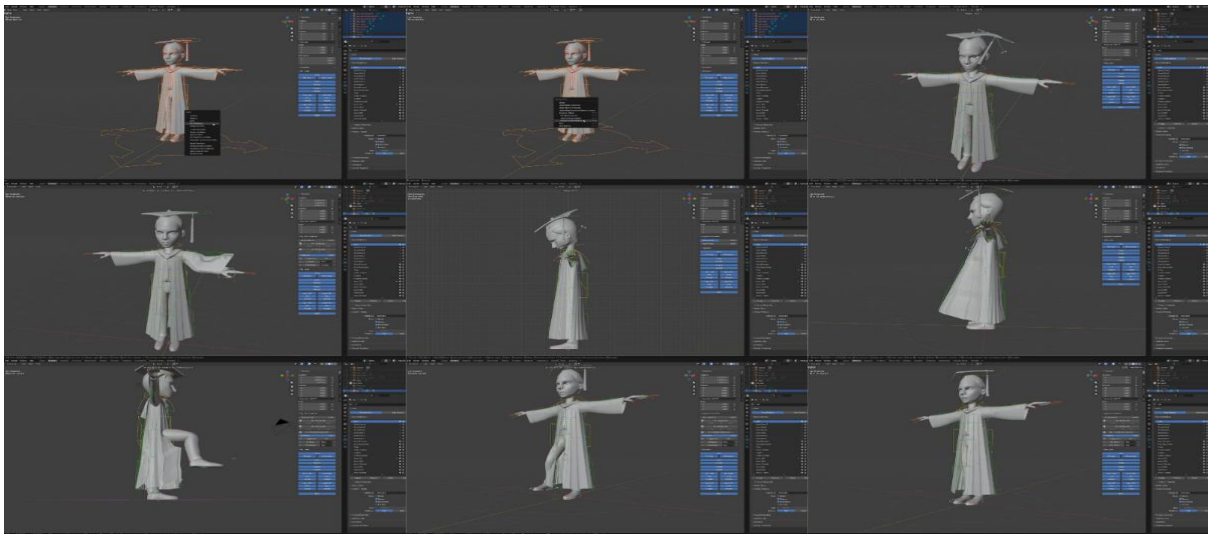
Εικόνα 4.33 Gown Bones

Εφόσον έχουμε ολοκληρώσει όλες τις απαιτούμενες ενέργειες στο σκελετό μας, το rig είναι θεωρητικά έτοιμο. Ωστόσο υπάρχει μια επιπλέον δυνατότητα μέσω του πρόσθετου Rigify, η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή. Με την επιλογή Generate Rig, το εργαλείο δημιουργεί ένα custom σκελετό, ακριβώς ίδιο με τον αρχικό, με custom χρώματα και σχήματα αναπαράστασης των οστών, το οποίο βοηθάει σημαντικά αργότερα στον έλεγχο της κίνησης των διάφορων μερών, αλλά και στην ευκολότερη οπτική αναγνώριση των οστών, χωρίς να χρειάζεται να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία χειροκίνητα για κάθε οστό (Εικόνα 4.34).



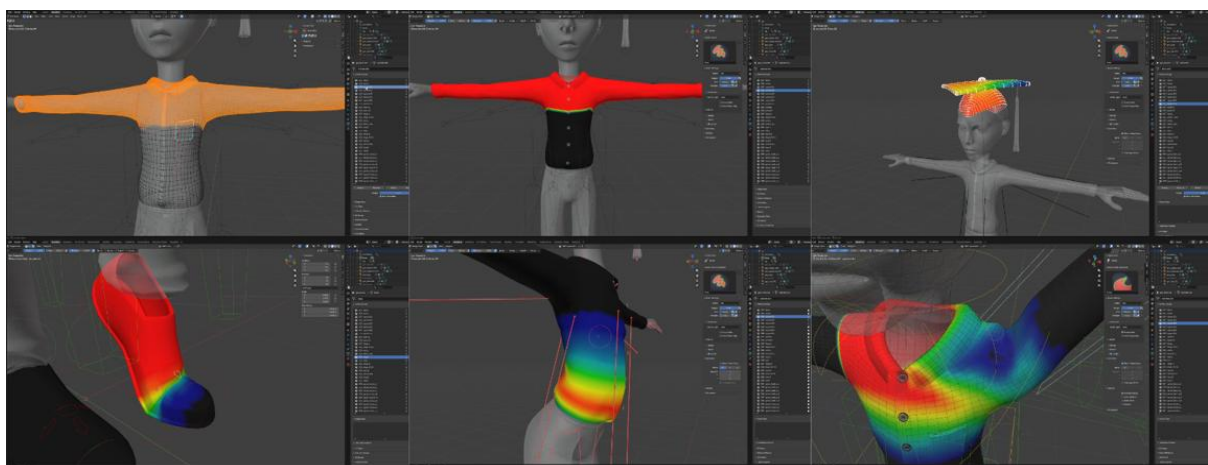
Εικόνα 4.34 Rigify Addon, Generate Custom Rig

Προχωρώντας στα επόμενα βήματα της διαδικασίας, κάνουμε apply όλα τα transformations στο Armature και αποδίδουμε βάρη επιλέγοντας αρχικά τον χαρακτήρα και έπειτα το Armature, και με το shortcut ctrl+P πατάμε Armature, Deform With Automatic Weights, για να ορίσουμε το parenting και την αυτόματη απόδοση βάρους. Έπειτα, ελέγχουμε από Pose Mode πώς ανταποκρίνεται ο χαρακτήρας και ο ρουχισμός όταν μετακινούμε διαφορετικά μέρη του σκελετού. Όπως παρατηρούμε και στην εικόνα 4.35, με την αυτόματη απόδοση βάρους δεν λειτουργούν όλα τέλεια σε όλα τα σημεία και υπάρχουν ανεπιθύμητες παραμορφώσεις κυρίως στα ρούχα του μοντέλου. Αυτό συμβαίνει επειδή ο αλγόριθμος Bone Heat που χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία αυτή, βασίζεται στον όγκο και την απόσταση των κοντινότερων vertices, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα να αποτυγχάνει να αποδώσει σωστά τα βάρη σε αντικείμενα που έχουν μεγάλη απόσταση ή επικαλύπτουν άλλα meshes, όπως η κάπα.



Εικόνα 4.35 Apply Transformations and Automatic Weights

Για να διορθώσουμε τα ανεπιθύμητα deformations στο ελάχιστο δυνατό, πρέπει χειροκίνητα με τη χρήση του εργαλείου Weight Painting, για κάθε οστό, να ελέγξουμε και να χρωματίσουμε ή αποχρωματίσουμε συγκεκριμένα vertex Groups, επηρεάζοντας τις τιμές βάρους και έπειτα να ξαναδοκιμάσουμε σε Pose Mode πώς αποδίδονται οι αλλαγές με έλεγχο της κίνησης. Στιγμιότυπο της διαδικασίας του Weight Painting για μερικά από τα μέρη του χαρακτήρα, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 4.36.



Εικόνα 4.36 Bone Heat Weight Painting

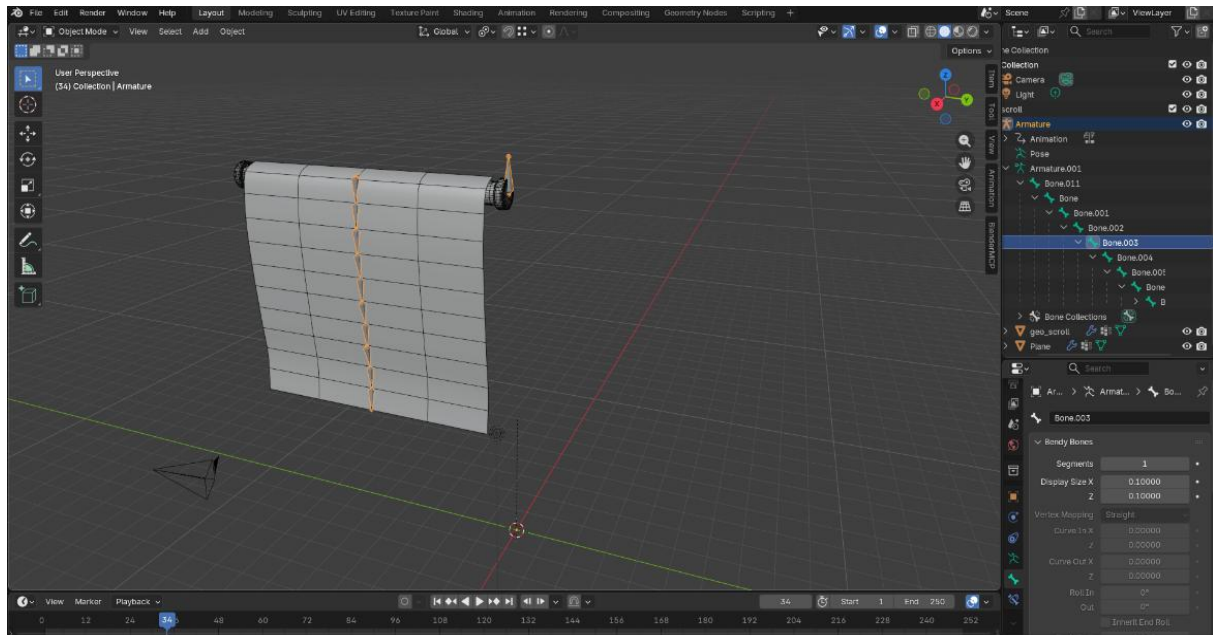
Η συγκεκριμένη διαδικασία χρειάστηκε να επαναληφθεί αρκετές φορές, καθώς δεν υπάρχουν συγκεκριμένα βάρη που μπορούν να αποδοθούν, ώστε να επιτευχθεί το τέλει αποτέλεσμα. Η βελτίωση του αποτελέσματος έρχεται μέσα από επαναλαμβανόμενες δοκιμές και συνεχείς αλλαγές στις τιμές των βαρών και στα αντίστοιχα vertices που αλληλοεπιδρούν.

Έχοντας ολοκληρώσει όλα τα παραπάνω βήματα, το Rigging του χαρακτήρα έχει ολοκληρωθεί (Εικόνα 4.37).



Εικόνα 4.37 Rigged Character Completed

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε χειροκίνητο Rigging στο Mesh, το οποίο θα αντιπροσωπεύει τον πάπυρο που θα εμπεριέχει τα κείμενα με τα διάφορα γεγονότα του τμήματος, ώστε να μπορεί να γίνει μετέπειτα animate το ξετύλιγμα και τύλιγμα του παπύρου. Σε αυτή την περίπτωση, το Rigging ήταν αρκετά απλό, προσθέτοντας μερικά bones και κάνοντας parenting στο Bone που τοποθετήθηκε στη δεξιά άκρη του παπύρου (Εικόνα 4.38).



Εικόνα 4.38 Rigging Πάπυρου

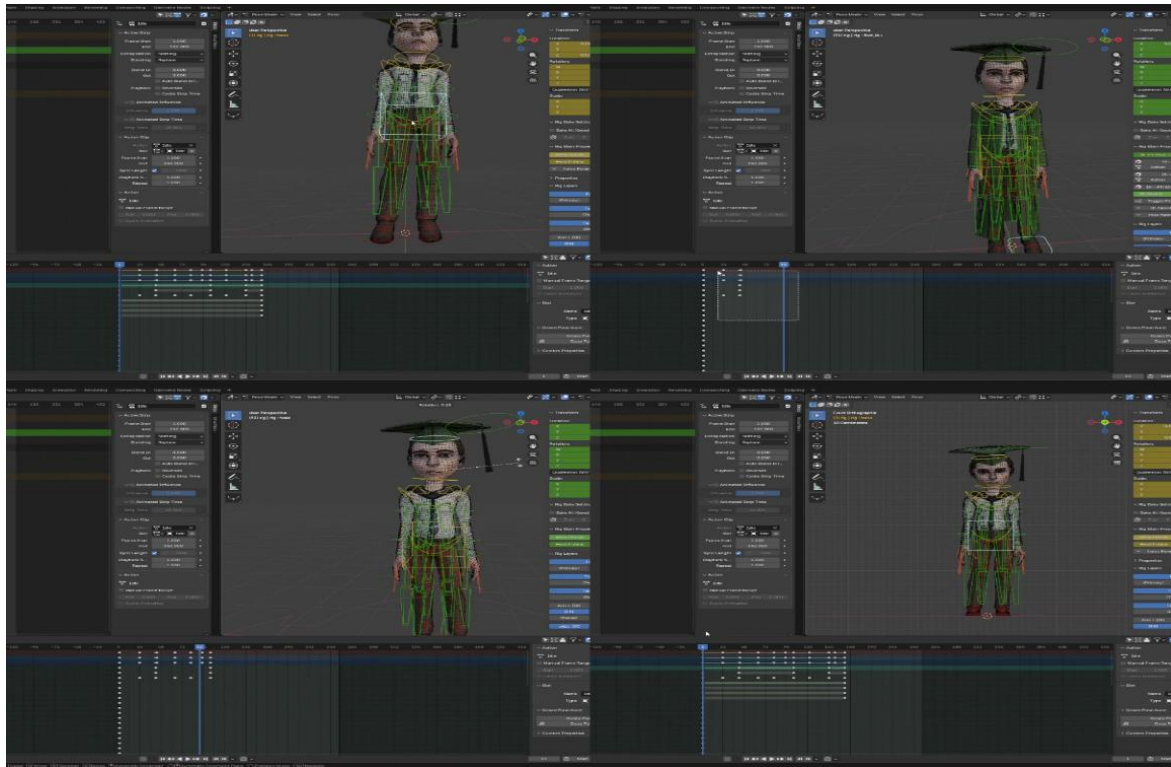
4.3.7 Animation

Η διαδικασία του Animation πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Αρχικά δημιουργήθηκαν τα επιμέρους actions μέσα στη σκηνή εργασίας του κάθε αντικείμενου (χαρακτήρας και πάπυρος) και έπειτα, με τη χρήση της λειτουργίας Link του Blender, τα αντικείμενα αυτά μαζί με τα actions και τα NLA Strips τους εισήχθησαν στην τελική σκηνή. Στην τελική σκηνή έγινε ο συνδυασμός και η χρονική διευθέτησή τους πάνω σε μια ενιαία χρονική γραμμή διάρκειας 4200 frame.

Για τη δημιουργία του animation του χαρακτήρα μεταβαίνουμε στο περιβάλλον εργασίας Animation. Επιλέγουμε το Armature και αλλάζουμε σε λειτουργία Pose Mode. Θα χρησιμοποιήσουμε τον Action Editor του Blender, ο οποίος μας δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας διαφορετικών ενεργειών που θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα για τις ανάγκες της τελικής σκηνής, καθώς και το εργαλείο Nonlinear Animation, μέσω του οποίου μπορούμε να οργανώσουμε και να συνδυάσουμε τα actions αυτά σε μία ενιαία χρονική αλληλουχία.

Για τη δημιουργία κίνησης εισάγουμε keyframes στον Action Editor ή στον Dope Sheet Editor με τη συντόμευση I ή με δεξί κλικ και insert Keyframe σε Pose Mode, σε συγκεκριμένα frames της σκηνής, μετακινώντας τα bones του rig στις επιθυμητές θέσεις. Από τον Action Editor πατάμε New και δημιουργούμε ένα νέο action. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν μεταξύ άλλων, τα actions Idle (κίνηση ηρεμίας) Walk (περπάτημα), RaiseHead και LowerHead (ανύψωση και χαμύλωμα κεφαλιού) καθώς και ένα στατικό action Rest.

Στη συνέχεια, μεταβαίνουμε στον NLA Editor, επιλέγουμε το action που δημιουργήσαμε κάθε φορά και πατάμε Push Down Action, ώστε η ενέργεια να μετατραπεί σε strip πάνω σε ξεχωριστό NLA track και να μπορούμε να συνεχίσουμε να την επεξεργαζόμαστε ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα actions. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται σταδιακά ένα σύνολο από NLA tracks, ένα για κάθε ομάδα κίνησης, τα strips των οποίων μπορούμε να μετακινήσουμε, να επιμηκύνουμε ή να επαναλάβουμε πάνω στη χρονική ακολουθία, ώστε να πετύχουμε πιο σύνθετες επαναλαμβανόμενες κινήσεις. Στις παρακάτω εικόνες 4.39 και 4.40 φαίνεται η δημιουργία των Idle και Walk Actions και στην εικόνα 4.41 το τελικό Animation του χαρακτήρα με όλα τα actions.

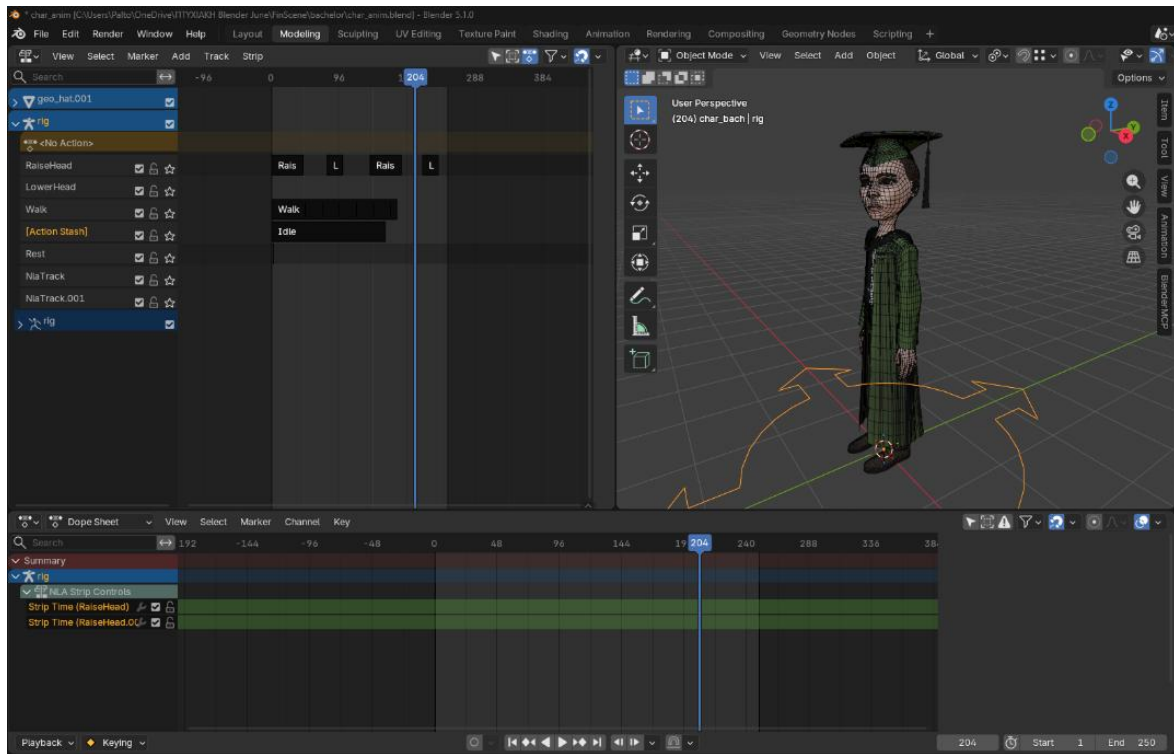


Εικόνα 4.39 Idle Action



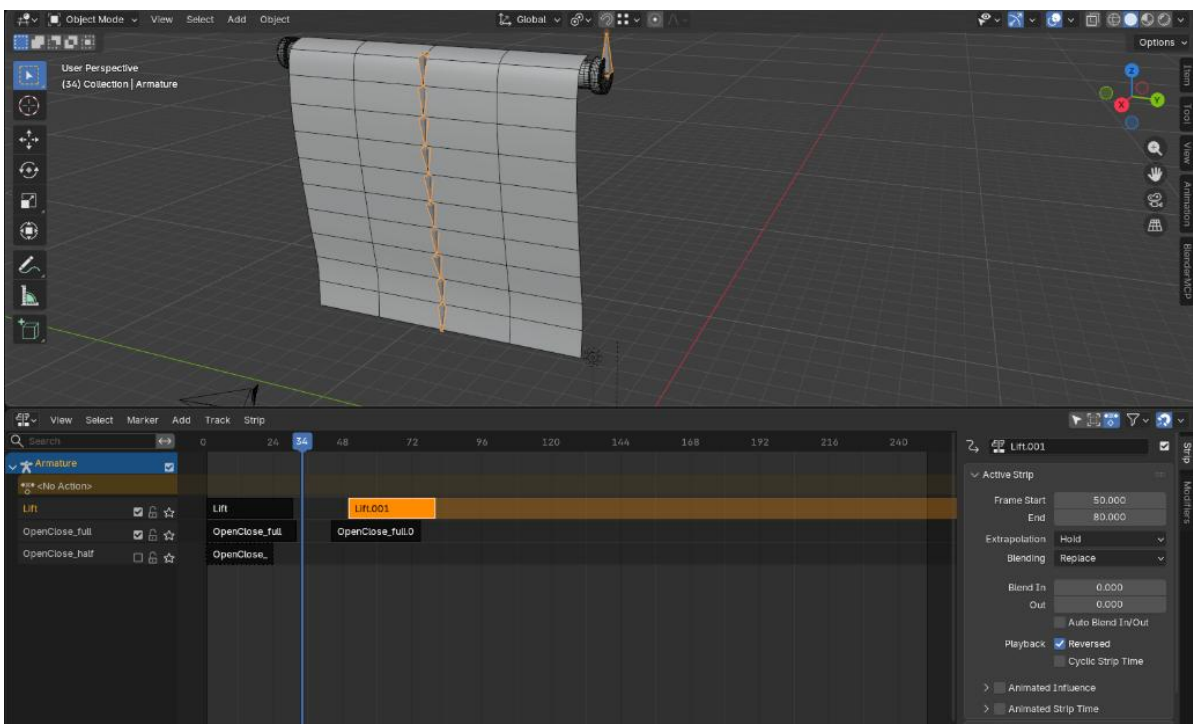
Εικόνα 4.40 Walk Action

Κεφάλαιο 4



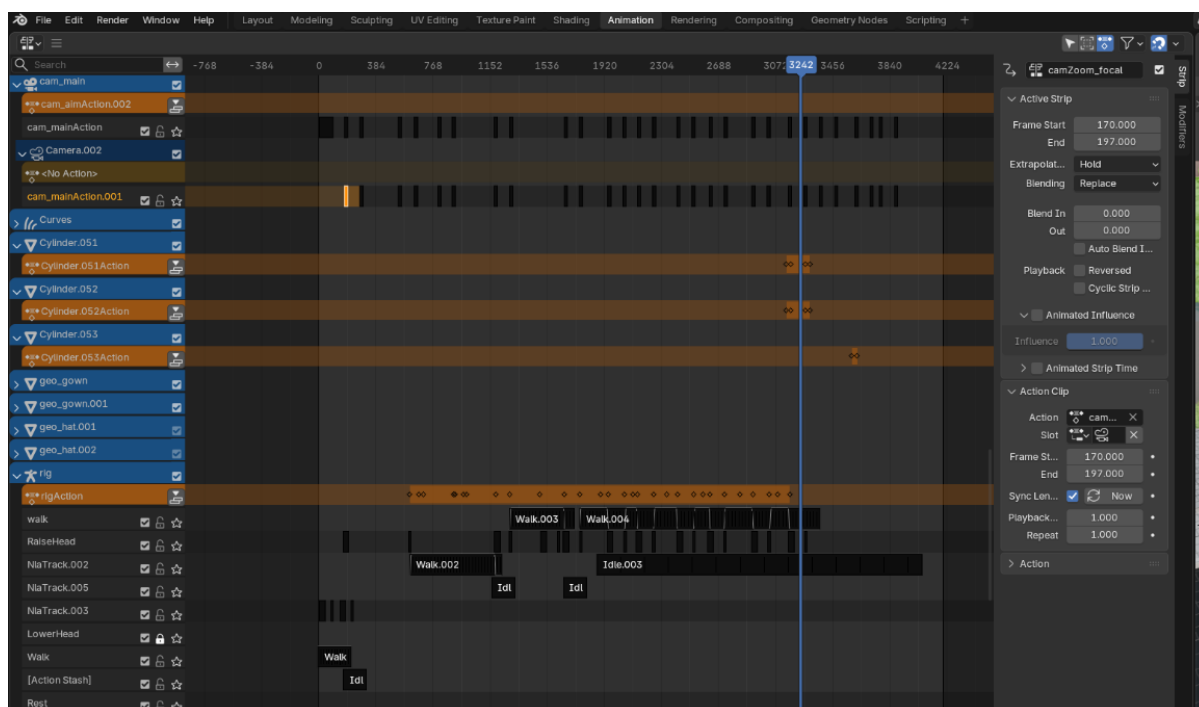
Εικόνα 4.41 Final Character Animation Actions

Η ίδια διαδικασία εφαρμόστηκε και για το rig του παπύρου στη δική του ξεχωριστή σκηνή όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 4.42, για actions όπως το ξετύλιγμα, το τύλιγμα και το σήκωμα, αποδίδοντας την επιθυμητή κίνηση κατά τη διάρκεια εμφάνισης των κειμένων των γεγονότων της ιστορικής εξέλιξης του Τμήματος.



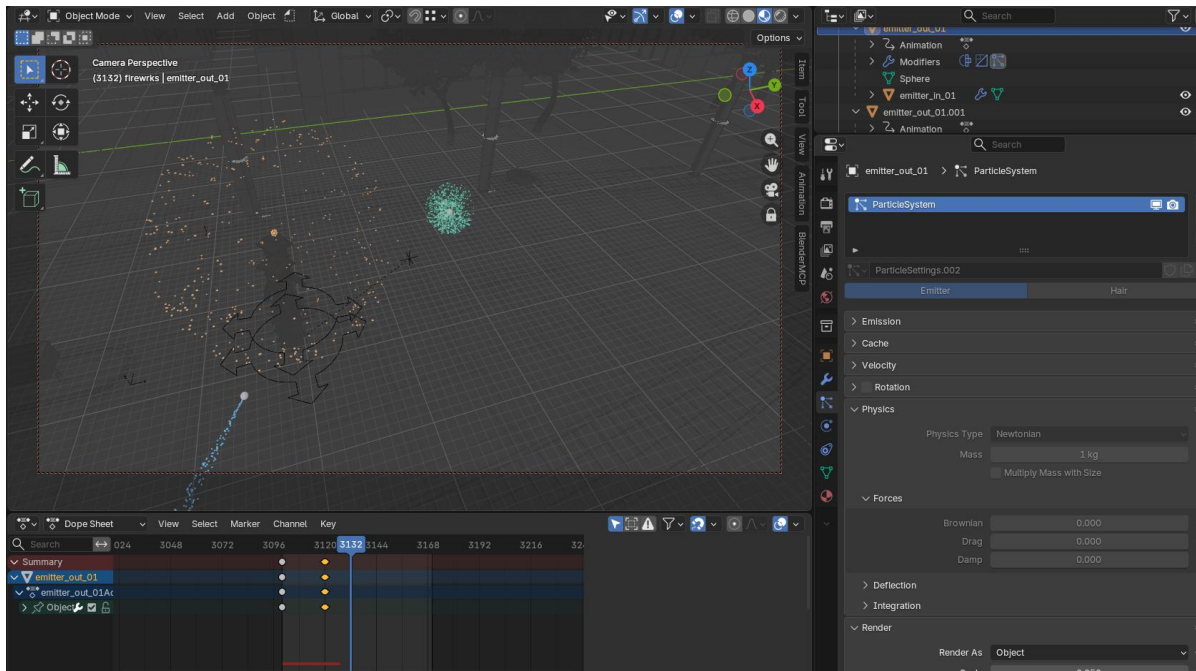
Εικόνα 4.42 Πάπυρος Actions

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τόσο ο χαρακτήρας όσο και ο πάπυρος εισήχθησαν στην τελική σκηνή με τη λειτουργία Link. Τα NLA strips των δύο αντικειμένων τοποθετήθηκαν κατάλληλα πάνω στην ενιαία χρονική γραμμή ακολουθίας, ώστε οι επιμέρους κινήσεις να συμβαδίζουν χρονικά με την εξέλιξη της υπόλοιπης σκηνής. Επίσης, η κίνηση της κάμερας στην τελική σκηνή δεν έγινε με τη χρήση keyframes απευθείας στο αντικείμενο της κάμερας, αλλά μέσω ενός ξεχωριστού μηχανισμού στόχευσης. Για να επιτευχθεί αυτό εφαρμόστηκε ένας constraint τύπου Track To, ο οποίος αναγκάζει την κάμερα να στρέφεται συνεχώς προς ένα Empty Object, το οποίο είναι parented στο rig του χαρακτήρα. Η τεχνική αυτή προτιμήθηκε, καθώς απλοποιεί σημαντικά τη διαδικασία. Εξαιρέση αποτελούν κάποια κομμάτια της σκηνής, όπως, για παράδειγμα, μεταξύ των frames 3150-3181, όπου δόθηκε κίνηση στην ίδια την κάμερα για την απόδοση κοντινού πλάνου σε συγκεκριμένο σημείο της σκηνής. Στιγμιότυπο του Animation της τελικής σκηνής από τον NLA Editor φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 4.43.



Εικόνα 4.43 Final Scene Animation NLA Editor

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα σωματιδίων (Particle System) του Blender για την απόδοση κίνησης των εφέ των πυροτεχνημάτων που προστέθηκαν στη σκηνή. Δημιουργήθηκαν 4 διαδοχικά χρονικά μετατοπισμένα ζεύγη σωματιδίων, καθένα από τα οποία αποτελείται από δυο φάσεις: μια αρχική φάση εκτόξευσης με σωματίδια χαμηλότερης ταχύτητας και μικρής διάρκειας ζωής και μια δεύτερη φάση έκρηξης με σωματίδια πολύ υψηλότερης και τυχαίας ταχύτητας προς όλες τις κατευθύνσεις. Και στις δύο φάσεις εφαρμόστηκε προσομοίωση φυσικής (Newtonian) με επίδραση βαρύτητας, ώστε τα σωματίδια να ακολουθούν τη φυσική τροχιά πτώσης μετά την έκρηξη. Έπειτα, προστέθηκαν δύο Keyframes, ένα στην αρχική θέση εκτόξευσης και ένα στην τελική θέση έκρηξης (Εικόνα 4.44).



Εικόνα 4.44 Particle System Fireworks

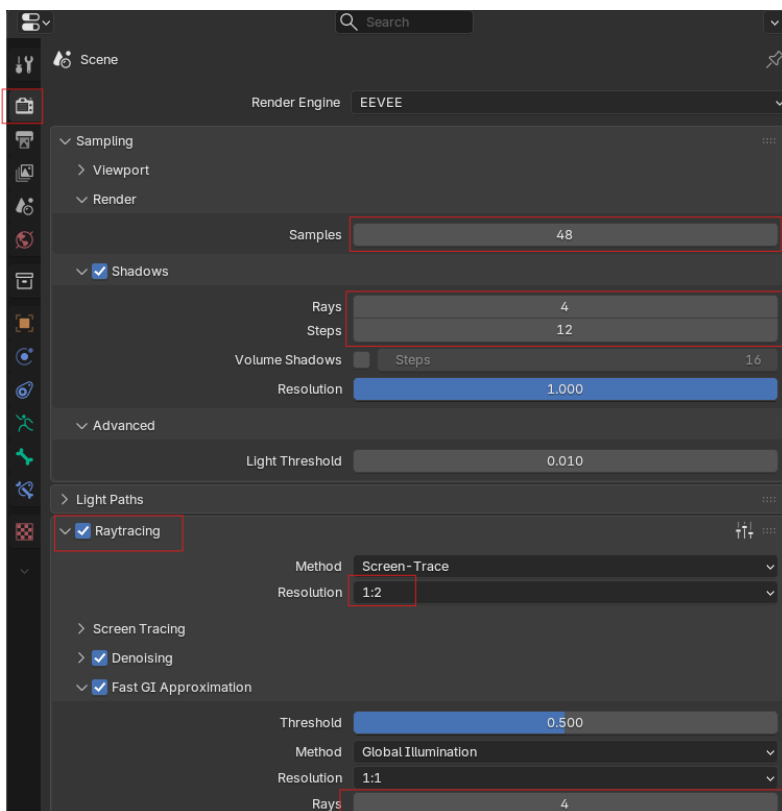
4.3.8 Φωτισμός και κάμερες

Το Blender σε οποιαδήποτε νέα σκηνή προσθέτει μία κάμερα και μία πηγή φωτός τύπου Point Light. Για την κάμερα της σκηνής οι ρυθμίσεις ήταν γενικά απλές, αλλάζοντας την εστιακή απόσταση του φακού σε 39.12mm και διατηρώντας τον τύπο του φακού σε Perspective.

Για τον φωτισμό τη σκηνής αφαιρέθηκε το αρχικό Point Light και χρησιμοποιήθηκε νέα πηγή φωτός τύπου Area light. Η πηγή τοποθετήθηκε σε μεγάλη απόσταση από τη σκηνή, και ρυθμίστηκε σε υψηλή ένταση 10000000 και θερμό χρώμα 5708Kelvin, ώστε να προσομοιώνεται η συμπεριφορά του ηλιακού φωτός. Ο συγκεκριμένος τύπος φωτισμού προτιμήθηκε από το Sun light, διότι τοποθετούμενο σε μεγάλη απόσταση, αποδίδει κι αυτό σχεδόν παράλληλες ακτίνες, όπως θα συνέβαινε και με το φως του ήλιου, με το πλεονέκτημα ότι, λόγω του καθορισμένου μεγέθους του παράγει πιο μαλακές, ρεαλιστικές σκιές και αποδίδει πιο ρεαλιστική εμφάνιση επάνω σε γυαλιστερές και μεταλλικές επιφάνειες. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε μια εικόνα περιβάλλοντος, προσθέτοντας στα World Properties του εργαλείου ένα HDRI background από την ιστοσελίδα Poliigon, με πολύ χαμηλή ένταση 0.2, λειτουργώντας συμπληρωματικά στο βασικό φως της σκηνής αλλά και για την απόδοση του ουρανού.

4.3.9 Rendering

Για το rendering χρησιμοποιήθηκε η μηχανή Eevee. Οι βασικότεροι λόγοι επιλογής της μηχανής Eevee έναντι της μηχανής Cycles είναι ο χρόνος απόδοσης, οι δυνατότητες του hardware του υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του πρακτικού μέρους της εργασίας, καθώς και το τελικό stylized αποτέλεσμα που επιδιώκουμε να έχει το τρισδιάστατο χρονολόγιο της εργασίας. Οι κυριότερες ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν στην καρτέλα των Render Settings φαίνονται στην επόμενη εικόνα 4.45 και εξηγούνται παρακάτω:



Εικόνα 4.45 Render Settings

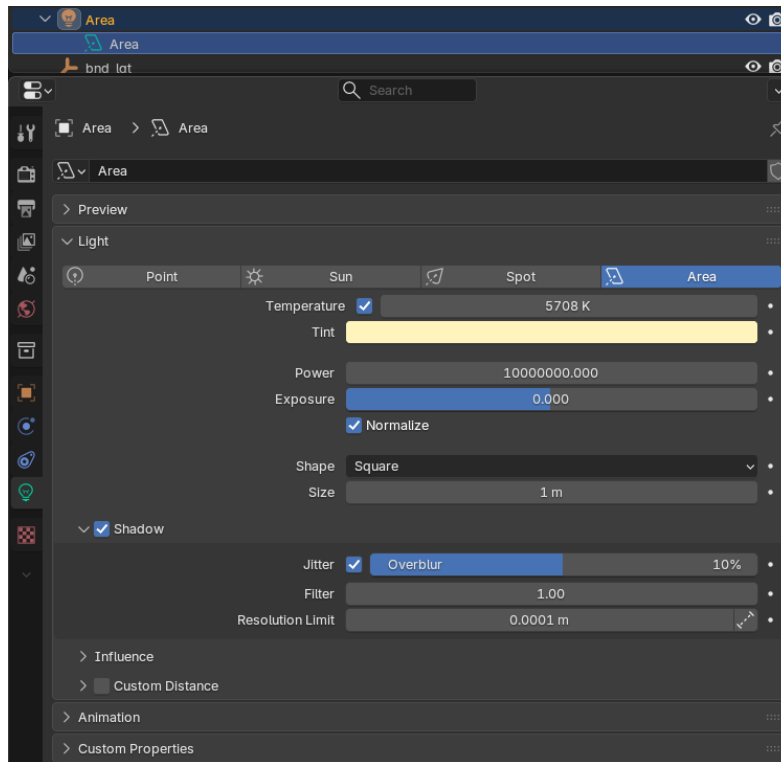
Render Samples: Ο αριθμός των δειγμάτων ανά Pixel, ο οποίος καθορίζει πόσα δείγματα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της τελικής τιμής κάθε pixel. Η αύξηση του αριθμού των samples συμβάλλει στη μείωση του θορύβου και στη βελτίωση της ποιότητας της τελικής εικόνας. Για τους σκοπούς της εργασίας και έπειτα από διάφορες δοκιμές, ορίστηκε η τιμή 48, ώστε να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό και καθαρό αποτέλεσμα, χωρίς όμως να επιβαρύνεται υπερβολικά ο συνολικός χρόνος απόδοσης της σκηνής.

Shadows: Η μηχανή απόδοσης EEVEE χρησιμοποιεί shadow maps για τον υπολογισμό των σκιών, σε αντίθεση με την μηχανή Cycles που υπολογίζει τις σκιές μέσω ray tracing απευθείας. Οι παράμετροι Rays και Steps καθορίζουν την ποιότητα δειγματοληψίας του shadow map, με την πρώτη να ορίζει πόσες ακτίνες υπολογίζονται ανά pixel για τον υπολογισμό της σκιάς, και τη δεύτερη να ορίζει πόσα ενδιάμεσα βήματα εξετάζονται κατά μήκος κάθε ακτίνας. Επειδή στη σκηνή υπάρχει ουσιαστικά μία κυρίαρχη πηγή φωτισμού το Area Light, η οποία καλύπτει ένα μεγάλο ανοιχτό περιβάλλον, αυξήθηκε ο αριθμός των rays σε 4 και η τιμή των Steps σε 12, ώστε να αποφευχθεί θόρυβος και ανακρίβειες στην απόδοση σκιών, χωρίς να χρειαστεί να αυξηθεί ο συνολικός αριθμός των render samples. Όσο περισσότερα είναι τα βήματα τόσο αυξάνεται και η ακρίβεια και είναι μια ιδιαίτερα σημαντική ρύθμιση σε μεγάλες σκηνές, όπου η πηγή φωτός βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση.

Raytracing: Ενεργοποιήθηκε η επιλογή Raytracing, ώστε να αποδοθούν σωστά οι αντανakλάσεις και ο έμμεσος φωτισμός σε επιφάνειες με μεταλλικότητα. Παράλληλα, μειώθηκε η τιμή του Resolution σε 1:2, ώστε οι υπολογισμοί ray tracing να πραγματοποιούνται στη μισή ανάλυση σε σχέση με την τελική εικόνα και στη συνέχεια να πραγματοποιείται το upscaling/denoise. Η επιλογή αυτή μας βοηθά σημαντικά, αφού μας επιτρέπει να μειώσουμε αρκετά τον χρόνο απόδοσης, θυσιάζοντας ελάχιστα την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος.

Όλες οι υπόλοιπες ρυθμίσεις στην καρτέλα Render Properties παρέμειναν ως είχαν, βάση των προεπιλογών του εργαλείου.

Μια επιπλέον ρύθμιση που ενεργοποιήθηκε, η οποία σχετίζεται άμεσα με το αποτέλεσμα του Rendering, αφορά τον φωτισμό. Στο Area Light της σκηνής ενεργοποιήθηκε η επιλογή Shadow Jitter, η οποία δημιουργεί μια τυχαία μετατόπιση στο shadow map για κάθε rendered sample. Επειδή τα samples συνδυάζονται, με κάθε πέρασμα το αποτέλεσμα βελτιώνεται δίνοντας πιο ομαλές και φυσικές σκιές (Εικόνα 4.46).



Εικόνα 4.46 Shadow Jitter Light Settings

Ο υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του πρακτικού μέρους της εργασίας αλλά και του rendering έχει λειτουργικό σύστημα Windows 11 και διαθέτει τα παρακάτω hardware Specs:

CPU AMD Ryzen 5 2600X (6-core/12/thread), GPU AMD Radeon RX 5700XT (8GB VRAM), RAM 48GB, 1TB Samsung EVO SSD.

Αν και μπορεί να μην αποτελεί απαραίτητο κομμάτι της εργασίας, ο υπολογισμός και η ανάλυση των χρόνων απόδοσης συμβάλει στην αιτιολόγηση της επιλογή της μηχανής EEVEE για την τελική απόδοση του τρισδιάστατου χρονολογίου. Για την εκτίμηση του συνολικού χρόνου απόδοσης της σκηνής πραγματοποιήθηκε δοκιμαστικό Rendering σε πέντε διαφορετικά frames της σκηνής με τη μηχανή EEVEE. Ο χρόνος απόδοσης ανά frame κυμάνθηκε μεταξύ 64,5 και 152,1 δευτερολέπτων, με εκτιμώμενο μέσο όρο περίπου τα 121,4 δευτερόλεπτα ανά frame. Η διακύμανση αυτή οφείλεται στη διαφορετική πολυπλοκότητα του κάθε frame. Με βάση τον παραπάνω μέσο όρο, ο εκτιμώμενος χρόνος απόδοσης ολόκληρης της σκηνής και για τα 4200 frames, υπολογίζεται σε περίπου 141,6 ώρες, δηλαδή 5 ημέρες και 22 ώρες συνεχόμενης λειτουργίας Rendering. Σε αντίστοιχη δοκιμή με την μηχανή Cycles με τις προκαθορισμένες ρυθμίσεις του εργαλείου, ο χρόνος αυτός είναι περίπου 1,83 φορές μεγαλύτερος, με εκτιμώμενο χρόνο απόδοσης της σκηνής 259,1 ώρες, δηλαδή 10 ημέρες και 19 ώρες.

Η τελική απόδοση του ίδιου frame με χρήση και των 2 μηχανών, φαίνεται στην Εικόνα 4.47 (αριστερά το Render με Eevee και δεξιά το Render με Cycles).



Εικόνα 4.47 Eevee vs Cycles Render Example

Για τις ρυθμίσεις εξόδου του Rendering προτιμήθηκε η εξαγωγή του κάθε frame ως εικόνα με μορφή OpenEXR, ώστε να διατηρούνται όλα τα render passes και το πλήρες εύρος χρωμάτων. Αν και θα μπορούσαμε να εξάγουμε το αποτέλεσμα απευθείας σε μορφή βίντεο, δεν συστήνεται, καθώς αν προκύψει κάποιο συμβάν ή σφάλμα κατά τη διάρκεια της εξαγωγής θα πρέπει να πραγματοποιηθεί από την αρχή η διαδικασία. Αντίθετα, με την εξαγωγή του κάθε frame ως εικόνα, μπορούμε να επιλέγουμε συγκεκριμένο frame για εξαγωγή γεγονός που προσφέρει ευελιξία. Επίσης, εξάγοντας ως εικόνα, έχουμε καλύτερο έλεγχο στην μετέπειτα επεξεργασία και διόρθωση ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων, αν χρειαστεί, σε μεμονωμένα frames.

Για την απόδοση του εφέ των πυροτεχνημάτων χρησιμοποιήθηκε το σύστημα σωματιδίων (Particle System) του Blender. Δημιουργήθηκαν τέσσερα διαδοχικά, χρονικά μετατοπισμένα ζεύγη σωματιδίων αποτελούμενα από δύο φάσεις.

4.4 Post-Production Pipeline στο Blender

Μετά την ολοκλήρωση του Rendering για όλη την ακολουθία των frames της τελικής σκηνής, ακολουθεί το στάδιο Post-Production. Σε αυτό το στάδιο θα εκμεταλλευτούμε τα ενσωματωμένα εργαλεία του Blender, Compositor και Video Sequence Editor, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση, επεξεργασία και την τελική εξαγωγή του ολοκληρωμένου βίντεο της εργασίας.

4.4.1 Compositing

Η σύνθεση στο Blender πραγματοποιείται με σύστημα κόμβων από το περιβάλλον εργασίας Compositing. Για την τελική σύνθεση της σκηνής συνδυάστηκαν δύο διαφορετικές ακολουθίες εικόνων με τη χρήση δύο Image Sequence κόμβων: η κύρια απόδοση της τρισδιάστατης σκηνής και μία ξεχωριστή ακολουθία για το εφέ των πυροτεχνημάτων, η οποία αποδόθηκε ξεχωριστά για συγκεκριμένη χρονική στιγμή της αφήγησης.

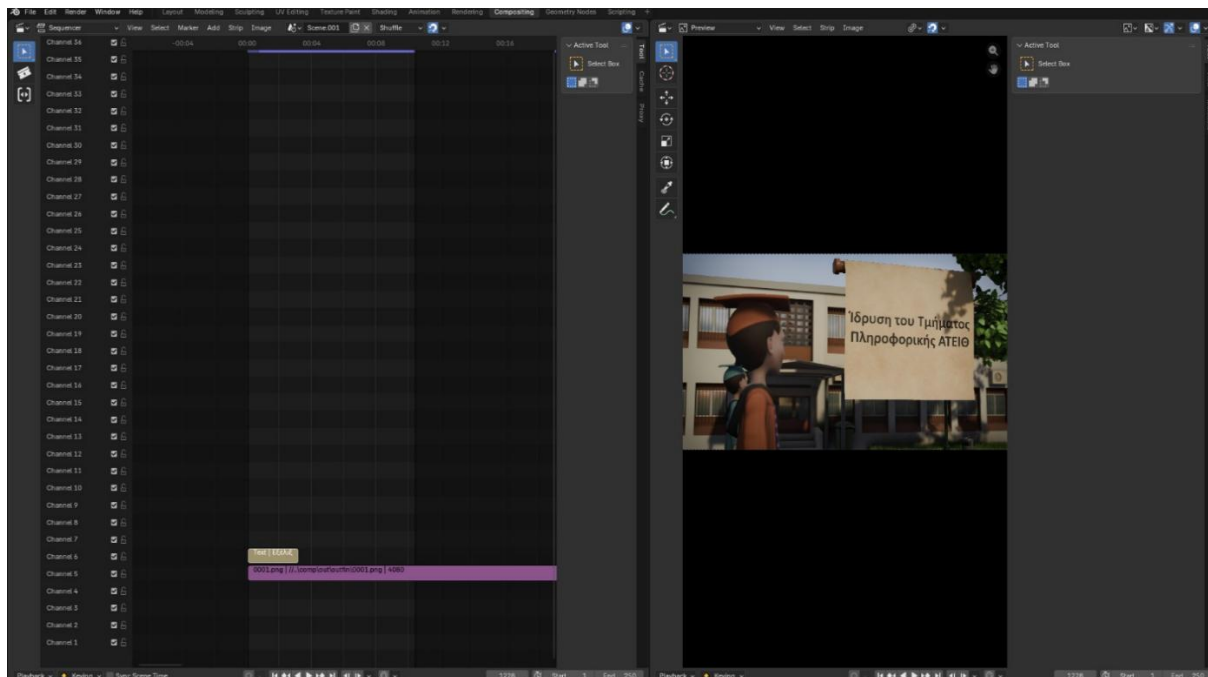
Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν και συνδυάστηκαν κάποιοι βασικοί κόμβοι για τη βελτίωση του οπτικού αποτελέσματος. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε μια σειρά διορθώσεων χρώματος, αντίθεσης και φωτεινότητας με τη χρήση των Color Correction, RGB Curves και Exposure κόμβων αντίστοιχα.

Επιπλέον, για τα πυροτεχνήματα χρησιμοποιήθηκε ο κόμβος Glare, ώστε να αποδοθεί σωστά το εφέ της λάμψης γύρω από τα φωτεινά σημεία της έκρηξης.

Για την προσομοίωση του πεδίου βάθους (Depth of Field) της κάμερας, χρησιμοποιήθηκαν δύο κόμβοι Defocus. Ο πρώτος κόμβος είναι υπεύθυνος για το θόλωμα των στοιχείων που βρίσκονται πιο κοντά

4.4.2 Video Editing και Final Output

Μετά την ολοκλήρωση του Compositing, η τελική ακολουθία εικόνων, πλέον σε PNG μορφή, εισήχθη στον Video Sequence Editor στο περιβάλλον εργασίας Video Editing του Blender, όπου πραγματοποιήθηκε η τελική συρραφή τους σε μια ενιαία χρονική ακολουθία. Από εκεί έγινε και η προσθήκη κειμένου στην αρχή του βίντεο (Εικόνα 4.50), η προσθήκη ήχου, καθώς και η εξαγωγή του αποτελέσματος σε τελική μορφή βίντεο MP4, ολοκληρώνοντας έτσι το σύνολο της παραγωγικής διαδικασίας, από τη μοντελοποίηση έως το τελικό, έτοιμο προς αναπαραγωγή, αρχείο.



Εικόνα 4.50 Video Sequencer Intro Text

4.5 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιήθηκε αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας του σχεδιασμού και των βημάτων ανάπτυξης του τρισδιάστατου χρονολογίου με τη χρήση του Λογισμικού Blender. Περιγράφηκε ολόκληρη η πορεία δημιουργίας του τρισδιάστατου, animated έργου, από τη δημιουργία των μοντέλων, την προετοιμασία των υφών και των υλικών, έως το Rigging, το Animation, τη ρύθμιση κάμερας και φωτισμού, το Rendering και τέλος το στάδιο του Post-Production για την τελική εξαγωγή του τελικού βίντεο.

Κάθε στάδιο έθεσε τις δικές του προκλήσεις: από την οργάνωση των υφών ώστε να υποστηρίζουν ευέλικτο χρωματισμό, μέχρι τη διόρθωση της κίνησης του ρουχισμού και τον υπολογισμό ρεαλιστικού χρόνου απόδοσης με βάση το διαθέσιμο υλικό. Η εμπειρία ανέδειξε πόσο στενά συνδεδεμένα είναι τα επιμέρους στάδια μιας τέτοιας παραγωγής, καθώς αποφάσεις σε πρώιμο στάδιο επηρέαζαν συχνά τις δυνατότητες σε επόμενα.

Κεφάλαιο 5ο: Συμπεράσματα και Βελτιώσεις

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η συνολική αποτίμηση της πτυχιακής εργασίας και αξιολογούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη του τρισδιάστατου χρονολογίου. Αρχικά, παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα σχετικά με την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν κατά τον αρχικό σχεδιασμό και σύλληψη της ιδέας, καθώς και με τη συμβολή της οπτικοποίησης δεδομένων μέσω τρισδιάστατων γραφικών στην αποτελεσματική παρουσίαση της ιστορικής πληροφορίας. Στη συνέχεια, προτείνονται πιθανές βελτιώσεις και μελλοντικές επεκτάσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να εμπλουτίσουν τη λειτουργικότητα και τις δυνατότητες του έργου.

5.2 Συμπεράσματα

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε ως κύριο στόχο τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου χρονολογίου για την οπτική παρουσίαση της ιστορικής εξέλιξης του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων. Μέσα από τη μελέτη των αρχών της οπτικοποίησης δεδομένων και των τρισδιάστατων γραφικών, αλλά και την αξιοποίηση του λογισμικού Blender, αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο τρισδιάστατο animation, το οποίο παρουσιάζει την ιστορική πορεία του Τμήματος με τρόπο περισσότερο κατανοητό, ελκυστικό και αφηγηματικό σε σχέση με μία συμβατική δισδιάστατη παρουσίαση.

Κατά τη διάρκεια της εργασίας διαπιστώθηκε ότι η αξιοποίηση των τεχνολογιών τρισδιάστατων γραφικών μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την κατανόηση και την οπτική επικοινωνία της πληροφορίας. Η χρήση του χώρου, της κίνησης, του φωτισμού και της οπτικής αφήγησης συνέβαλε στην αποτελεσματικότερη παρουσίαση των ιστορικών γεγονότων και επέτρεψε στον θεατή να παρακολουθήσει με φυσικό τρόπο τη χρονική εξέλιξη και τη σχέση μεταξύ των επιμέρους γεγονότων.

Η υλοποίηση του έργου σύμφωνα με τα στάδια του 3D Animation Pipeline επέτρεψε την οργανωμένη ανάπτυξη του τρισδιάστατου χρονολογίου, από τον αρχικό σχεδιασμό και τη μοντελοποίηση έως το animation, το rendering και τη μεταγενέστερη επεξεργασία του τελικού βίντεο. Η προσέγγιση αυτή ανέδειξε τη σημασία της σωστής οργάνωσης της παραγωγικής διαδικασίας, δεδομένου ότι κάθε στάδιο, ξεχωριστά αλλά και συνολικά, επηρέασε την ποιότητα και τη συνοχή του τελικού αποτελέσματος. Παράλληλα, η εργασία ανέδειξε τις δυνατότητες του Blender ως ολοκληρωμένου εργαλείου ανάπτυξης τρισδιάστατου περιεχομένου. Η ενιαία πλατφόρμα εργασίας που προσφέρει επέτρεψε την ολοκλήρωση όλων των επιμέρους σταδίων παραγωγής χωρίς την ανάγκη χρήσης διαφορετικών λογισμικών, διευκολύνοντας τόσο την ανάπτυξη όσο και τη διαχείριση του έργου.

Συνολικά, οι στόχοι που τέθηκαν κατά την έναρξη της εργασίας επιτεύχθηκαν. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα λειτουργικό τρισδιάστατο χρονολόγιο, το οποίο αξιοποιεί τις αρχές της οπτικοποίησης δεδομένων και της οπτικής αφήγησης για την παρουσίαση της ιστορικής εξέλιξης του Τμήματος. Τα αποτελέσματα της εργασίας καταδεικνύουν ότι τα τρισδιάστατα γραφικά και κατ' επέκταση τα γραφικά υπολογιστών συνολικά μπορούν να αποτελέσουν ένα αποτελεσματικό μέσο οργάνωσης, ερμηνείας και επικοινωνίας σύνθετης πληροφορίας, προσφέροντας νέες δυνατότητες στην ανάπτυξη εκπαιδευτικών και πληροφοριακών εφαρμογών.

5.3 Μελλοντικές Βελτιώσεις

Παρόλο που οι στόχοι της παρούσας εργασίας επιτεύχθηκαν στο σύνολό τους, υπάρχουν αρκετές δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης και επέκτασης του συγκεκριμένου τρισδιάστατου χρονολογίου, οι οποίες θα μπορούσαν να βελτιώσουν τόσο τη λειτουργικότητα όσο και τη συνολική εμπειρία του χρήστη.

Μία σημαντική επέκταση θα ήταν η μετατροπή του έργου από προ-αποδοσμένο animation σε διαδραστική εφαρμογή. Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης θα μπορούσε να περιηγείται ελεύθερα στο τρισδιάστατο περιβάλλον, να επιλέγει συγκεκριμένες χρονικές περιόδους ή γεγονότα και να λαμβάνει επιπλέον πληροφορίες μέσω διαδραστικών στοιχείων, όπως αναδυόμενα παράθυρα και εικόνες. Επιπρόσθετα, θα μπορούσε να επιλέγει διαφορετικές διαδρομές παρουσίασης, να μεταβαίνει απευθείας σε συγκεκριμένες χρονολογίες, να εξερευνά τα τρισδιάστατα μοντέλα από διαφορετικές οπτικές γωνίες, καθώς και να ενεργοποιεί προαιρετική ηχητική αφήγηση ή επεξηγηματικό υλικό. Οι δυνατότητες αυτές θα καθιστούσαν την παρουσίαση περισσότερο εξατομικευμένη, επιτρέποντας στον χρήστη να αλληλεπιδρά με το περιεχόμενο σύμφωνα με τα ενδιαφέροντα και τις ανάγκες του.

Η υλοποίηση του χρονολογίου σε μια μηχανή ανάπτυξης εφαρμογών, όπως το Unity ή η Unreal Engine, θα επέτρεπε την ενσωμάτωση τέτοιων διαδραστικών λειτουργιών, τη βελτίωση της απόδοσης σε πραγματικό χρόνο και τη δυνατότητα διάθεσης της εφαρμογής σε πολλαπλές πλατφόρμες, όπως υπολογιστές, κινητές συσκευές και διαδικτυακά περιβάλλοντα. Αξίζει να αναφερθεί πως ο σχεδιασμός όλων των αντικειμένων πραγματοποιήθηκε με γνώμονα τη μελλοντική επεκτασιμότητα και τη συμβατότητά τους με μηχανές παιχνιδιών (game engines), καθώς και με τεχνολογίες όπως το Web3D, με σκοπό την προσθήκη διαδραστικότητας.

Για τον λόγο αυτό, καταβλήθηκε σημαντική προσπάθεια η μοντελοποίηση του χαρακτήρα, των κτηρίων και του περιβάλλοντος χώρου να πραγματοποιηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορέσουν να επαναχρησιμοποιηθούν ως έτοιμα ανεξάρτητα τρισδιάστατα μοντέλα (assets) μέσα σε τέτοιες πλατφόρμες. Συμπερασματικά, το μεγαλύτερο μέρος του τρισδιάστατου περιεχομένου που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της εργασίας μπορεί να αξιοποιηθεί σε μελλοντικές εφαρμογές χωρίς να απαιτείται εκ νέου μοντελοποίηση, γεγονός που μπορεί να μειώσει σημαντικά τον χρόνο ανάπτυξης μιας πιθανής διαδραστικής έκδοσης του έργου.

Τέλος, θα μπορούσαν να προστεθούν επιπλέον στοιχεία οπτικής και ηχητικής αφήγησης, όπως αφηγηματική φωνή, ηχητικά εφέ και εμπλουτισμένα animations, ώστε η παρουσίαση να γίνει περισσότερο ελκυστική και να ενισχυθεί η συνολική εμπειρία του θεατή.

5.4 Επίλογος

Η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών των τρισδιάστατων γραφικών και των μεθόδων οπτικοποίησης δεδομένων δημιουργεί νέες δυνατότητες για την αποτελεσματική παρουσίαση σύνθετης πληροφορίας σε πλήθος επιστημονικών, εκπαιδευτικών και επαγγελματικών πεδίων. Η αξιοποίηση της τρισδιάστατης απεικόνισης δεν περιορίζεται πλέον στη βιομηχανία των ψηφιακών μέσων και της ψυχαγωγίας, αλλά επεκτείνεται σε τομείς, όπως η εκπαίδευση, η έρευνα και η επιστημονική επικοινωνία, όπου η κατανόηση και η μετάδοση της γνώσης αποτελούν βασικές προτεραιότητες.

Η παρούσα εργασία επιχείρησε να αναδείξει τις δυνατότητες αυτές μέσα από τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου χρονολογίου, αξιοποιώντας το λογισμικό Blender και τις αρχές του 3D Animation Pipeline. Η διαδικασία σχεδιασμού και υλοποίησης ανέδειξε ότι η συνδυαστική αξιοποίηση της οπτικοποίησης δεδομένων, της οπτικής αφήγησης και των τρισδιάστατων γραφικών μπορεί να

μετατρέψει μία συμβατική παρουσίαση ιστορικών πληροφοριών σε μία περισσότερο οργανωμένη, κατανοητή και παραστατική εμπειρία για τον θεατή.

Η ολοκλήρωση της εργασίας αποτελεί αφετηρία για περαιτέρω ενασχόληση με τις δυνατότητες των τρισδιάστατων τεχνολογιών στην παρουσίαση πληροφοριών και δεδομένων. Η συνεχής εξέλιξη των διαθέσιμων εργαλείων και τεχνολογιών αναμένεται να δημιουργήσει ακόμη περισσότερες ευκαιρίες για την ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών, συμβάλλοντας στην αποτελεσματικότερη επικοινωνία της γνώσης και στην ενίσχυση της εμπειρίας του χρήστη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] D.J.Eck, “Introduction to Computer Graphics, Version 1.4”, *Department of Mathematics and Computer Science, Hobart and William Smith Colleges*, 2023. [Online]. Available: <https://math.hws.edu/graphicsbook/>
- [2] I.Sajovic and B. Boh Podgornik, “Bibliometric analysis of visualizations in computer graphics: A study,” *SAGE Open*, vol. 12, no. 1, Jan.2022
- [3] H. Rushmeier, J.Dykes,J.Dill, and P.Yoon, “Revisiting the need for formal education in visualization”, *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 27, no. 6, pp. 12-16, 2007
- [4] S. Marschner and P. Shirley, *Fundamentals of Computer Graphics*, 4th ed. Boca Raton, FL: CRC Press,2016.
- [5] D. J. Eck, *The Most Complex Machine: A Survey of Computers and Computing*. Geneva, NY: Hobart and William Smith Colleges, 1995. [Online]. Available: <https://math.hws.edu/eck/TMCM/TMCM.pdf>.
- [6] J. F. Hughes, A. van Dam, M. McGuire, D. F. Sklar, J.D. Foley, S.K. Feiner and K. Akeley, *Computer Graphics: Principles and Practice*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley, 2013
- [7] C. H. Chen, W. Härdle, and A. Unwin, Eds., *Handbook of Data Visualization*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2008.
- [8] M. A. C. Gatto, “*Making research useful: Current challenges and good practices in data visualisation*”, Reuters Institute for the Study of Journalism, University of Oxford, Oxford, UK, May 2015. [Online]. Available: <https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/sites/default/files/2017-11/Making%20Research%20Useful%20-%20Current%20Challenges%20and%20Good%20Practices%20in%20Data%20Visualisation.pdf>.
- [9] J. Frascara, *Communication Design: Principles, Methods, and Practice*. New York, NY: Allworth Press, 2004.
- [10] S. Few, “*Data visualization effectiveness profile*”, Perceptual Edge, 2017. [Online]. Available: https://www.perceptualedge.com/articles/visual_business_intelligence/data_visualization_effectiveness_profile.pdf.
- [11] R. Pettersson, “*Information design—principles and guidelines*”, *Journal of Visual Literacy*, vol. 29, no. 2, pp. 167–182, 2010
- [12] [N] M. Smiciklas, *The Power of Infographics: Using Pictures to Communicate and Connect with Your Audiences*. Indianapolis, IN: Que Publishing, 2012.
- [13] J. J. Otten, K. Cheng, and A. Drewnowski, “*Infographics and public policy: Using data visualization to convey complex information*”, *Health Affairs*, vol. 34, no. 11, Nov. 2015.
- [14] F. Rebelo and M. M. Soares, Eds., *Advances in Ergonomics in Design*, ser. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 777. Cham, Switzerland: Springer, 2019.
- [15] A. Sultana and S. M. Mahmood, “*Visualizing concepts through infographics: An overview*”, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, vol. 10, no. 12, Dec. 2023.

- [16] S. Few, “*Tapping the power of visual perception*”, Perceptual Edge, Sep. 2004. [Online]. Available: https://data.europa.eu/sites/default/files/course/4.2_TappingThePowerOfVisualPerception.pdf.
- [17] M. K. Afify, “*The effect of the difference between infographic designing types (static vs animated) on developing visual learning designing skills and recognition of its elements and principles*”, International Journal of Emerging Technologies in Learning, vol. 13, no. 9, 2018.
- [18] D. A. Ismaeel and E. N. Al Mulhim, “*The influence of interactive and static infographics on the academic achievement of reflective and impulsive students*”, Australasian Journal of Educational Technology, vol. 37, no. 1, pp. 147–162, 2021.
- [19] S. Delil, “*The impact of infographic animation videos on data visualization*”, International Journal of Social Sciences and Education Research, vol. 3, no. 4, pp. 1178–1183, 2017.
- [20] N. Alamsyah, Adnan, and M. Palennari, “*Comparison of the effectiveness of static, animated, and interactive infographics on students' creative thinking skills in biology learning*”, Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, vol. 11, no. 6, pp. 957–964, Jun. 2025.
- [21] A. Parveen and N. Husain, “*Infographics as a promising tool for teaching and learning*”, Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, vol. 8, no. 8, pp. 554–559, Aug. 2021.
- [22] W. Aigner, S. Miksch, H. Schumann, and C. Tominski, *Visualization of Time-Oriented Data*, 2nd ed. London, UK: Springer, 2023.
- [23] J. Heer and B. Shneiderman, “*Interactive dynamics for visual analysis*”, Communications of the ACM, vol. 55, no. 4, pp. 45–54, Apr. 2012.
- [24] C. Ware, “*Designing with a 2½D attitude*”, Information Design Journal, vol. 10, no. 3, pp. 258–265, 2001.
- [25] N. Elmqvist and P. Tsigas, “*A taxonomy of 3D occlusion management for visualization*”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 14, no. 5, pp. 1095–1109, Sep. 2008.
- [26] W.-F. Wang, C.-T. Lu, J. P. Ng, Y.-T. Chiu, T.-Y. Lee, M. Wang, B.-Y. Chen, and X. A. Chen, “AnimAgents: Coordinating multi-stage animation pre-production with human–multi-agent collaboration,” arXiv:2511.17906, Nov. 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2511.17906>.
- [27] I. S. Mukkaramah, F. Setiawan, and R. Prasetyo, “Implementation of a 3D animation production pipeline for a psychological well-being trailer: Visualizing self-acceptance using Autodesk Maya,” *INTECHNO: Information Technology Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 65–76, Dec. 2025.
- [28] T. Chlubna, M. Vlnas, T. Milet, and P. Zemčík, “Survey of FOSS 3D/2D graphics software Blender usage in science, academia, and industry,” *The Visual Computer*, vol. 42, no. 1, Art. no. 95, Jan. 2026.
- [29] Blender Foundation, “Blender reference manual,” [Online]. Available: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/>.
- [30] Autodesk, “Maya Overview,” [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/maya/overview>.
- [31] Autodesk, “3ds Max Overview,” [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>.

- [32] Autodesk, "Comparison of 3ds Max and Maya," *Autodesk Knowledge Network*. [Online]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Comparison-of-3ds-Max-and-Maya.html>.
- [33] Maxon, "Cinema 4D," [Online]. Available: <https://www.maxon.net/en>.
- [34] SideFX, "Apprentice restrictions," [Online]. Available: <https://www.sidefx.com/faq/question/apprentice-restrictions/>.
- [35] Unity Technologies, "What is Unity," *Unity Learn, Unity Technologies*. [Online]. Available: <https://learn.unity.com/tutorial/what-is-unity>.
- [36] Epic Games, "Unreal Engine 5.8 documentation," *Epic Games Developer Documentation*, [Online]. Available: <https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/unreal-engine-5-8-documentation>.