



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Εκπαιδευτική Εφαρμογή Επαυξημένης Πραγματικότητας για την
Πολιτισμική Κληρονομιά**

Διπλωματική Εργασία

Σεραφείμ Καραΐσκος

Επιβλέπουσα: Τσαλαπάτα Χαρίκλεια.

Φεβρουάριος 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

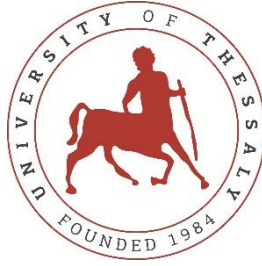
**Εκπαιδευτική Εφαρμογή Επαυξημένης Πραγματικότητας για την
Πολιτισμική Κληρονομιά**

Διπλωματική Εργασία

Σεραφείμ Καραΐσκος

Επιβλέπουσα: Τσαλαπάτα Χαρίκλεια.

Φεβρουάριος 2024



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

Augmented Reality Educational App for Cultural Heritage

Diploma Thesis

Serafeim Karaiskos

Supervisor: Tsalapata Chariklia

February 2024

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπουσα

Τσαλαπάτα Χαρίκλεια

Μέλος ΕΔΙΠ, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Μέλος

Σταμούλης Γεώργιος

Καθηγητής πρώτης Βαθμίδας, Τμήμα Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας.

Μέλος

Φεύγας Αθανάσιος

Μέλος ΕΔΙΠ, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Σεραφείμ Καραϊσκος

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Serafeim Karaiskos

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής μου, κυρία Τσαλαπάτα Χαρίκλεια, τα δυο επιπλέον μέλη της τριμελούς επιτροπής, κύριο Σταμούλη Γεώργιο και κύριο Φεύγα Αθανάσιο καθώς και την οικογένεια μου για όλη την βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν.

Διπλωματική Εργασία

**Εκπαιδευτική εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας για
την πολιτισμική κληρονομιά**

Σεραφείμ Καραϊσκος

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, οι εφαρμογές Επαυξημένης Πραγματικότητας έχουν κάνει την εμφάνισή τους ως μέσο διατήρησης και διάδοσης της πολιτιστικής κληρονομιάς και συχνά σε συσχέτιση με την εκπαίδευση. Συναντούμε την χρήση τέτοιων εφαρμογών σε μουσεία, σε αρχαιολογικούς χώρους, πινακοθήκες και άλλα. Αν και η τεχνολογία ΕΠ όμως έχει βρει ευρύ πεδίο εφαρμογής στους χώρους του πολιτισμού και της εκπαίδευσης, εντούτοις εντοπίζονται αρκετές αδυναμίες στις υλοποιήσεις, αδυναμίες που οδηγούν στην δυσaréσκεια των τελικών χρηστών τέτοιων εφαρμογών.

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας εφαρμογής κινητών τηλεφώνων με σκοπό την ανάδειξη μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς μέσα από την χρήση της τεχνολογίας Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality, AR), η οποία προσπαθεί να λύσει τα προβλήματα που εντοπίζονται στις υπάρχουσες λύσεις.

Αρχικά, πραγματοποιείται μια παρουσίαση της τεχνολογίας Επαυξημένης Πραγματικότητας με ιδιαίτερη έμφαση στην εφαρμογή της στην εκπαίδευση. Στη συνέχεια γίνεται μια ανάλυση των βασικών τεχνολογικών όρων και εννοιών που χρησιμοποιούνται σε αυτή την διπλωματική. Έπειτα, γίνεται μια μελέτη άλλων σχετικών εφαρμογών, επισημαίνοντας τις αδυναμίες που εντοπίσαμε και που μας οδήγησαν στο να πιστεύουμε πως υπάρχει η ανάγκη ανάπτυξης της δικής μας εφαρμογής.

Τέλος, αναλύουμε την μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για να αναπτύξουμε την εφαρμογή και παρουσιάζουμε με περιγραφικό και τεκμηριωμένο τρόπο όλα τα στάδια της ανάπτυξης της εφαρμογής μας. Κλείνουμε, αναφερόμενοι στα μελλοντικά σχέδια εξέλιξης της εφαρμογής και τις δυνατότητες επέκτασης και βελτίωσης.

Augmented reality educational app for cultural heritage

Serafeim Karaiskos

Abstract

In recent years, Augmented Reality (AR) applications have emerged as a medium of preserving and spreading cultural heritage, often in connection with education. We find the use of such applications in museums, archaeological sites, art galleries, etc. However, despite the wide application of AR technology in culture and education, several weaknesses are identified in existing implementations, weaknesses that lead to the dissatisfaction of end-users of such applications.

The subject of this thesis is the development of a mobile phone application aimed at highlighting monuments of cultural heritage through the use of Augmented Reality (AR) technology, which attempts to address the problems identified in existing solutions.

Initially, we present an overview of the Augmented Reality technology with an emphasis on its applications on education. Then, we conduct an analysis of the basic technological terms and concepts used in this. Next, we study other AR, highlighting the weaknesses we identified that led us to believe that there is a need for the development of our own application.

Finally, we analyze the methodology we followed to develop the application and present in a descriptive and documented way all the stages of its development. We conclude by referring to future plans for the evolution of the application and the possibilities for expansion and improvement.

Περιεχόμενα

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ	v
DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS	vi
Ευχαριστίες	vii
Περίληψη	viii
Abstract	ix
Περιεχόμενα	x
Κατάλογος Σχημάτων	xii
Κατάλογος Εικόνων	xiii
Συνοτομογραφίες	xv
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	16
1.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	16
1.2 Η τεχνολογία της Επαυξημένης Πραγματικότητας	16
1.2.1 Ορισμός της Επαυξημένης Πραγματικότητας	16
1.2.2 Βασικές Έννοιες της Επαυξημένης Πραγματικότητας	18
1.2.3 Η τεχνολογία AR ως μέσο ανάδειξης μνημείων πολιτισμικής κληρονομιάς	19
1.2.4 Η τεχνολογία AR ως εκπαιδευτικό εργαλείο	20
1.3 Ανάλυση επιπλέον βασικών εννοιών και τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική	21
1.3.1 Μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς	21
1.3.2 Εικονική Πραγματικότητα	22
1.3.3 3D Φωτορεαλισμός	22
1.3.6 RealityCapture	23
1.3.7 Γεωχωρικά Σημεία Αγκύρωσης	23
1.3.8 ARCore	24
1.3.9 ARKit	24
1.3.10 Unreal Engine	24
1.3.11 Cloud	24

Κεφάλαιο 2 Μελέτη υπαρχουσών εφαρμογών ανάδειξης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω της τεχνολογίας.	25
2.1 Cosmote Chronos.....	25
2.2 Culture App	27
2.3 myEleusis.AR	29
2.4 Ancient Olympia.....	30
2.5 Ανάδειξη του μνημείου Νερατζέ Τζαμί μέσα από τη χρήση τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας.	31
2.6 Συμπεράσματα μελέτης υφιστάμενων εφαρμογών	32
Κεφάλαιο 3 Η εφαρμογή CulturalAR	34
3.1 Η γένεση της ιδέας.....	34
3.2 Ο Ενετικός Πύργος του Αχινού	34
3.3 Απαιτήσεις 3D μοντέλου του πύργου	39
3.4 Λήψη φωτογραφικού υλικού του πύργου.....	39
3.5 Χρήση του RealityCapture	41
3.6 Ψηφιακή αναστήλωση πύργου	48
3.7 Βασική περιγραφή και δομή της εφαρμογής CulturalAR.....	49
3.8 Επιλογή της Unreal Engine ως εργαλείο ανάπτυξης	51
3.9 Ανάπτυξη ενότητας Διαχείριση Μνημείου.....	53
3.10 Ανάπτυξη ενότητας Εξερεύνηση με AR	57
3.11 Ανάπτυξη της ενότητας Εξερεύνηση χωρίς AR.....	59
Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα.....	61
4.1 Συμπεράσματα Χρήσης.....	61
4.2 Μελλοντική Ανάπτυξη	62
Βιβλιογραφία	64

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Βήματα για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση ενός μέρους πολιτιστικής σημασίας, πηγή ICOMOS.....	38
---	----

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Παράδειγμα εφαρμογής AR, πηγή Wikimedia Commons.....	17
Εικόνα 2. Παραδείγματα οπτικών εναυσμάτων, πηγή Wikimedia.....	18
Εικόνα 3. Στιγμιότυπο της εφαρμογής Cosmote Chronos, πηγή Cosmote.gr	25
Εικόνα 4. Διαδικασία σκαναρίσματος ταμπέλας, πηγή Cosmote.gr	27
Εικόνα 5. Στιγμιότυπο της εφαρμογής Culture App, πηγή cultureapp.eu	28
Εικόνα 6. Στιγμιότυπο της εφαρμογής myEleusis.AR, πηγή myeleusis.com	29
Εικόνα 7. Στιγμιότυπο της εφαρμογής Ancient Olympia, πηγή Google Play Store	30
Εικόνα 8. Τρόπος ταύτισης εφαρμογής μέσω markers, πηγή Πολυξένη Παπαζώη	31
Εικόνα 9. Πύργος Αχινού, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος	36
Εικόνα 10. Εσωτερικό του πύργου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος	36
Εικόνα 11. Η τοξωτή είσοδος του πύργου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος.....	37
Εικόνα 12. Σχεδιάγραμμα γωνιών λήψης φωτογραφιών, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος..	40
Εικόνα 13. Τμήμα της συλλογής φωτογραφιών που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του μοντέλου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος	41
Εικόνα 14. Το περιβάλλον του RealityCapture με τις φωτογραφίες μας, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος.....	42
Εικόνα 15. Ορισμός σημείων ελέγχου σε φωτογραφίες του drone και της επίγειας κάμερας, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος	43
Εικόνα 16. Το νέφος σημείων του Πύργου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος	44
Εικόνα 17. Απομόνωση πύργου στο νέφος σημείων, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος	44
Εικόνα 18. Νέφος σημείων του Πύργου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος.....	45
Εικόνα 19. Λεπτομέρεια από το νέφος σημείων του Πύργου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος	45
Εικόνα 20. Το αρχικό 3D μοντέλο του πύργου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος	46
Εικόνα 21. Το τελικό 3D μοντέλο που προέκυψε από το RealityCapture, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος.....	47
Εικόνα 22. Η σκάλα του πύργου στο Blender, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος	48
Εικόνα 23. Η στέγη του πύργου στο Blender, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος.....	48
Εικόνα 24. Εξερεύνηση με AR, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος.....	49
Εικόνα 25. Εξερεύνηση χωρίς AR, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος.....	50

Εικόνα 26. Διαχείριση μνημείου, πηγή Σεραφείμ Καραΐσκος.....	51
Εικόνα 27. Το περιβάλλον ανάπτυξης της Unreal Engine, πηγή Σεραφείμ Καραΐσκος..	53
Εικόνα 28. Παράδειγμα αιτήματος αδειών στο λειτουργικό του Android, πηγή Σεραφείμ Καραΐσκος.....	54
Εικόνα 29. Η λειτουργία αναζήτησης επιπέδων και ο αντίστοιχος κώδικας, πηγή Σεραφείμ Καραΐσκος	55
Εικόνα 30. Έλεγχος για αποθηκευμένα Spatial Anchors, πηγή Σεραφείμ Καραΐσκος ...	57
Εικόνα 31. Εμφάνιση του μοντέλου στον πραγματικό κόσμο και η εκπαιδευτική διεπαφή, πηγή Σεραφείμ Καραΐσκος	58
Εικόνα 32. Πίνακας εκπαιδευτικού περιεχομένου μνημείου, πηγή Σεραφείμ Καραΐσκος	59
Εικόνα 33. Ο πύργος μέσα στην Unreal Engine, με την τοποθέτηση ενός socket	59
Εικόνα 34. Ο εικονικός χώρος του μνημείου με το 3D μοντέλο του μνημείου, πηγή Σεραφείμ Καραΐσκος	60

Συντομογραφίες

ΕΠ Επαυξημένη Πραγματικότητα

AR Augmented Reality

VR Virtual Reality

3D Τρισδιάστατος

SDK Software Development Kit

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα Android και iOS, η οποία θα εμφανίζει στον χρήστη, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Επαυξημένης Πραγματικότητας, μια φωτο-ρεαλιστική 3D απεικόνιση ενός μνημείου πολιτιστικής κληρονομιάς, μέσω της κάμερας του κινητού του, σε πλήρη ταύτιση με τη τοποθεσία, τον προσανατολισμό και την κλίμακα του πραγματικού μνημείου, δημιουργώντας έτσι την ψευδαίσθηση στον χρήστη ότι βρίσκεται μπροστά στο μνημείο στα χρόνια της ακμής του.

Η 3D απεικόνιση, η οποία θα προκύπτει από το πραγματικό μνημείο, λαμβάνει περαιτέρω επεξεργασία και προσθήκες, ώστε να έχει την εικόνα του μνημείου, όπως αυτή ήταν στην αρχαιότητα. Γίνεται δηλαδή μια ψηφιακή αναστήλωση του μνημείου.

Παράλληλα εμφανίζει στον χρήστη όλες τις γενικές πληροφορίες για το μνημείο, αλλά και επεξήγηση επιμέρους τμημάτων του μνημείου, εμφανίζοντας διαδραστικά σημεία ενδιαφέροντος, πάνω στο ίδιο το μνημείο.

Επιπλέον, η εφαρμογή θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και εκτός του χώρου του μνημείου, όπως για παράδειγμα στο σπίτι, ή στην σχολική αίθουσα, δημιουργώντας δυνητικά ένα επιπλέον εκπαιδευτικό εργαλείο για την διδασκαλία της Ιστορίας.

Τέλος, μέσα στους σκοπούς της διπλωματικής περιλαμβάνεται και ο σχεδιασμός μιας μεθοδολογίας που θα καθιστά εύκολη, αποδοτική, χαμηλού κόστους και συνεργατική την διαδικασία ανάδειξης μνημείων μέσω της εφαρμογής.

1.2 Η τεχνολογία της Επαυξημένης Πραγματικότητας

1.2.1 Ορισμός της Επαυξημένης Πραγματικότητας

Ο όρος Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality, AR) χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σύνολο τεχνολογικών στοιχείων τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες να βλέπουν τον πραγματικό κόσμο και παράλληλα να προβάλουν σε πραγματικό χρόνο ψηφιακή - εικονική πληροφορία (όπως τρισδιάστατα και δισδιάστατα γραφικά, εικόνες και βίντεο), συνδυάζοντας τα πραγματικά με τα εικονικά αντικείμενα (Εικόνα 1). Ο ορισμός αυτός προσδιορίστηκε αρχικά από τους Caudell και Mizell το 1992 [1], αλλά ο ερευνητής

που πραγματικά καθόρισε μια λεπτομερή περιγραφή της Επαυξημένης πραγματικότητας ήταν ο Ronald Azuma το 1997.



Εικόνα 1. Παράδειγμα εφαρμογής AR, πηγή Wikimedia Commons

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα, αν και είναι μια παραλλαγή της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality, VR), διαφέρει στο γεγονός ότι επιτρέπει στον χρήστη να έχει ταυτόχρονη άποψη του πραγματικού και του ψηφιακού κόσμου, με τα ψηφιακά στοιχεία απλά να επαυξάνουν τον πραγματικό κόσμο, ενώ η Εικονική Πραγματικότητα αντικαθιστά εντελώς τον πραγματικό κόσμο με έναν ψηφιακό [2].

Σύμφωνα με τον Azuma [2], τα τρία βασικά χαρακτηριστικά της Επαυξημένης Πραγματικότητας είναι:

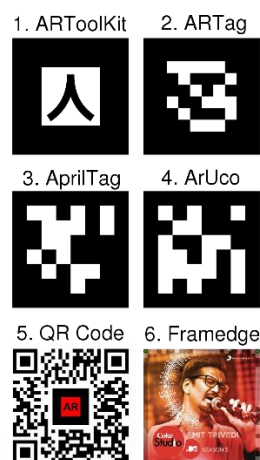
1. Ο συνδυασμός του πραγματικού και του ψηφιακού κόσμου, δίνοντας στον χρήστη μια εμπειρία χρήσης που δεν θα ήταν εφικτή χωρίς το AR.
2. Η Επαυξημένη Πραγματικότητα είναι διαδραστική σε πραγματικό χρόνο και οι ενέργειες του χρήστη σε σχέση με τα ψηφιακά αντικείμενα που προβάλλονται στον πραγματικό κόσμο έχουν ορατά αποτελέσματα, δημιουργώντας μια ψευδαίσθηση ρεαλισμού.
3. Τα ψηφιακά αντικείμενα που προβάλλονται στον πραγματικό κόσμο προβάλλονται και στις τρεις διαστάσεις και τοποθετούνται με τις κατάλληλες συντεταγμένες x, y, z, ώστε να φαίνεται ότι είναι τμήματα του πραγματικού κόσμου.

1.2.2 Βασικές Έννοιες της Επαυξημένης Πραγματικότητας

Για να έχει ο χρήστης μια εμπειρία Επαυξημένης Πραγματικότητας, απαιτείται η χρήση μιας τεχνολογικής συσκευής που θα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να βλέπει τον πραγματικό κόσμο και παράλληλα να προβάλλει εικονικά αντικείμενα. Παραδείγματα τέτοιων, κατάλληλων συσκευών είναι τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα και τα γυαλιά AR [3]. Ειδικά η χρήση Επαυξημένης Πραγματικότητας σε έξυπνα κινητά τηλέφωνα έχει γνωρίσει μεγάλη άνθηση σε συνδυασμό με την ραγδαία εξέλιξη στις τεχνολογίες και τις δυνατότητες των κινητών τηλεφώνων. Βελτιωμένοι επεξεργαστές, καλύτερες κάμερες και πιο ακριβείς αισθητήρες έχουν βελτιώσει σημαντικά τον ρεαλισμό, την απόδοση και την ακρίβεια των εφαρμογών AR, καθιστώντας τις κινητές συσκευές ως το πιο δημοφιλές μέσο χρήσης εφαρμογών AR [4].

Οι εφαρμογές AR συνήθως απαιτούν κάποιο έναυσμα (trigger) για να αρχίσουν να προβάλλουν ψηφιακό περιεχόμενο στον πραγματικό κόσμο. Τα εναύσματα αυτά μπορεί να έχουν διάφορες φυσικές μορφές και χρησιμοποιούνται ώστε να καθοριστεί ακριβώς η θέση ενός εικονικού αντικειμένου στον πραγματικό κόσμο [5].

Απτά εναύσματα μπορεί να είναι εικόνες, QR Codes ή άλλα σταθερά σημεία αναφοράς (Εικόνα 2). Τα QR Codes μπορούν εύκολα να σαρωθούν με την κάμερα της κινητής συσκευής και να προβάλλουν με βάση τη θέση του QR Code το ψηφιακό περιεχόμενο [6]. Παρόμοια, μια εφαρμογή AR μπορεί να εκπαιδευτεί στην αναγνώριση συγκεκριμένων εικόνων και να προβάλλει αντίστοιχα το ψηφιακό περιεχόμενο [7]. Επιπλέον, ως έναυσμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα δομημένα σημεία αναφοράς (όπως για παράδειγμα μια αρχιτεκτονική λεπτομέρεια ενός κτιρίου [8]).



Εικόνα 2. Παραδείγματα οπτικών εναυσμάτων, πηγή Wikimedia

Εκτός από τα απτά εναύσματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μια σειρά από άλλες μεθόδους για την έναρξης προβολής περιεχομένου AR. Η χρήση του GPS της συσκευής μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη εφαρμογών AR που βασίζονται σε συγκεκριμένη γεωγραφική τοποθεσία και προβάλλουν το ψηφιακό περιεχόμενο με βάση τις συντεταγμένες της τοποθεσίας αυτής [9]. Η κάμερα των φορητών συσκευών παίζει κομβικό ρόλο στην κατανόηση του πραγματικού κόσμου σε μια εφαρμογή AR. Η πιο συνηθισμένη χρήση της ως έναυσμα είναι να εντοπίζει κατάλληλες επίπεδες επιφάνειες, στις οποίες ο χρήστης μπορεί να τοποθετήσει ψηφιακό περιεχόμενο [10]. Επιπλέον, με την χρήση τεχνολογιών Βαθιάς Μάθησης (Deep Learning) μια εφαρμογή AR μέσω της κάμερας μπορεί να αναγνωρίζει συγκεκριμένα αντικείμενα και χαρακτηριστικά του πραγματικού κόσμου, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σημεία αναφοράς [11]. Όλες οι μέθοδοι εναυσμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και συνδυαστικά.

Από τη στιγμή που ένα ψηφιακό αντικείμενο θα τοποθετηθεί στον πραγματικό κόσμο, η εφαρμογή AR θα πρέπει να μπορεί να παρακολουθεί την θέση του και τον προσανατολισμό του σε σχέση με τον πραγματικό κόσμο. Καθώς ο χρήστης κινείται ελεύθερα στον πραγματικό κόσμο, θα πρέπει να μπορεί να βλέπει το ψηφιακό αντικείμενο ως αναπόσπαστο κομμάτι του πραγματικού, τρισδιάστατου κόσμου. Θα μπορεί για παράδειγμα να περπατήσει γύρω από ένα 3D αντικείμενο και να το μελετήσει από όλες τις πλευρές του. Η πιο δημοφιλής μέθοδος ιχνηλάτησης (tracking) είναι η οπτική ιχνηλάτηση κατά την οποία χρησιμοποιείται η θέση της κάμερας στον πραγματικό κόσμο και η χρήση της για τον εναρμονισμό του ψηφιακού με τον φυσικό κόσμο [12].

1.2.3 Η τεχνολογία AR ως μέσο ανάδειξης μνημείων πολιτισμικής κληρονομιάς

Η τεχνολογία Επαυξημένης Πραγματικότητας έχει αναδειχτεί ως ένα πολύ ισχυρό εργαλείο στην διατήρηση, μελέτη και ανάδειξη μνημείων πολιτισμικής κληρονομιάς, προσφέροντας εμβύθιση (immersion) και διαδραστικότητα στον χρήστη, ενώ παράλληλα προφυλάσσει την ακεραιότητα των μνημείων.

Προβάλλοντας ψηφιακό περιεχόμενο πάνω από το πραγματικό μνημείο, η τεχνολογία AR προάγει την κατανόηση και την εκτίμηση των μνημείων από τους χρήστες και παράλληλα εμπλουτίζει την εκπαιδευτική εμπειρία τους. Μια συχνή χρήση της τεχνολογίας AR σε αρχαιολογικά μνημεία είναι να προβάλλει ψηφιακά αντίγραφα

τμημάτων των μνημείων που έχουν καταστραφεί, ή δεν έχουν διασωθεί, προσδίδοντας έτσι μια ολοκληρωμένη εικόνα της αρχικής εμφάνισης και σημασίας του μνημείου [13].

Ένα σημαντικό παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής AR είναι το έργο “Rome Reborn”, το οποίο επιχειρεί μια αναπαράσταση σημαντικών μνημείων της Αρχαίας Ρώμης, όπως το Κολοσσαίο και το Πάνθεον, μέσω της τεχνολογίας Επαυξημένης Πραγματικότητας [14].

Ένα ακόμα παράδειγμα είναι η εφαρμογή AR που έχει αναπτυχθεί για το Μουσείο της Ακρόπολης των Αθηνών, μέσω της οποίας οι επισκέπτες μπορούν να δουν μια ολοκληρωμένη αναπαράσταση των μαρμάρων του Παρθενώνα [15].

Σε μια άλλη προσέγγιση, μια εφαρμογή AR μπορεί να δημιουργήσει ένα εικονικό ταξίδι στον χρόνο, εμφανίζοντας την εικόνα ενός μνημείου σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους. Προβάλλοντας την εξέλιξη του μνημείου, αλλά και την διαμόρφωση της γύρω περιοχής, μέσα στους αιώνες μέσω της τεχνολογίας AR, ο χρήστης μπορεί να ανακαλύψει κρυμμένες πτυχές της ιστορίας καθώς και των ιστορικών και πολιτισμικών αλλαγών [16].

Τέλος, η AR τεχνολογία έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη εφαρμογών που παίζουν τον ρόλο του ψηφιακού ξεναγού σε συγκεκριμένα μνημεία. Σε τέτοιες εφαρμογές, ο χρήστης έχει πρόσβαση σε φωνητικές πληροφορίες, πολυμέσα και 3D απεικονίσεις ανάλογες με την τοποθεσία του μέσα στον χώρο του μνημείου, προσφέροντας μια δυναμική εξερεύνηση του χώρου [17].

1.2.4 Η τεχνολογία AR ως εκπαιδευτικό εργαλείο

Η τεχνολογία AR αποτελεί ένα νέο και καινοτόμο εργαλείο στη φαρέτρα του δασκάλου και του καθηγητή, χάρη στη δυνατότητα να δημιουργεί μια διαδραστική εμπειρία εμβύθισης (immersive experience) που κάνει την εκπαιδευτική διαδικασία πιο συναρπαστική για τους μαθητές.

Το μάθημα με την χρήση εφαρμογών AR κάνει τους μαθητές πιο ενεργούς στο μάθημα, εξάπτει την φαντασία τους και κινεί την περιέργειά τους σημαντικά περισσότερο σε σχέση με παραδοσιακές διδακτικές μεθόδους [18].

Επιπλέον, η AR τεχνολογία μπορεί να δημιουργήσει εξατομικευμένες εκπαιδευτικές εμπειρίες, προσαρμόζοντας το εκπαιδευτικό περιεχόμενο στις ανάγκες και τις προτιμήσεις του κάθε μαθητή [19].

Βέβαια, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας AR στην εκπαίδευση δεν είναι εύκολη, λόγω κυρίως των τεχνολογικών απαιτήσεων για την ύπαρξη συμβατών συσκευών και γρήγορου Internet, κάτι που δεν είναι εφικτό να υπάρχει σε κάθε μαθητή και σε κάθε τάξη [20].

Επίσης, είναι πολύ σημαντικό το περιεχόμενο των εκπαιδευτικών εφαρμογών AR να εναρμονίζεται με τους εκπαιδευτικούς σκοπούς και οδηγίες καθώς και με τις γενικές παιδαγωγικές αρχές, γιατί μόνο τότε μπορεί να δημιουργήσει ένα ουσιαστικά θετικό εκπαιδευτικό αποτέλεσμα [21].

Ειδικότερα, στα μαθήματα που διδάσκουν Ιστορία και Πολιτισμό, η τεχνολογία AR μπορεί να προσφέρει μοναδικές ευκαιρίες. Ο μαθητής μπορεί να γίνει αυτόπτης μάρτυρας ιστορικών γεγονότων, ενώ παράλληλα μπορεί να παρακολουθεί και να επεξεργάζεται αρχαία αντικείμενα ιστορικής σημασίας. Οι εφαρμογές AR μπορούν να μεταφέρουν εικονικά τους μαθητές σε αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία στην άλλη άκρη του κόσμου [13].

Για παράδειγμα, το έργο ARtAR έκανε χρήση της τεχνολογίας AR για να αναπαραστήσει ελληνικά και ρωμαϊκά αρχαιολογικά ευρήματα, δίνοντας την δυνατότητα στους μαθητές να περιεργαστούν και να μελετήσουν τα ψηφιακά αυτά αντίγραφα και να κατανοήσουν καλύτερα το ιστορικό πλαίσιο στο οποίο εντάσσονται αυτά τα ευρήματα [22].

1.3 Ανάλυση επιπλέον βασικών εννοιών και τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική

Σε αυτή την ενότητα επιχειρούμε μια ανάλυση των βασικών εννοιών και τεχνολογικών όρων που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

1.3.1 Μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς

Τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό κομμάτι της ανθρωπίνης ιστορίας και του πολιτισμού, όπως ορίζεται στο Χάρτη της Βενετίας του 1964 [23] και στο Χάρτη του Μπούρα του 2013 [24]. Είτε πρόκειται για ερείπια αρχαιολογικών χώρων, ιστορικά κτίρια, ή άλλα μνημεία που διαθέτουν σημαντική ιστορική ή πολιτιστική αξία, αυτά τα μνημεία αντικατοπτρίζουν την εξέλιξη της ανθρωπίνης κοινωνίας και επιτρέπουν στους ανθρώπους να συνδεθούν με το παρελθόν τους και να κατανοήσουν τις ρίζες τους. Η προστασία, η διατήρηση και η ανάδειξη αυτών των μνημείων είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της πολιτιστικής ταυτότητας και της πολιτιστικής κληρονομιάς για τις μελλοντικές γενιές.

1.3.2 Εικονική Πραγματικότητα

Η εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality - VR) αναφέρεται σε έναν ψηφιακό κόσμο που μιμείται την εμπειρία και την εμφάνιση ενός πραγματικού περιβάλλοντος. Μεταφέρει τον χρήστη σε έναν ψηφιακό κόσμο όπου μπορεί να αλληλοεπιδράσει με το περιβάλλον. Η τεχνολογία VR χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, όπως οι βιομηχανίες των video games και της εκπαίδευσης.

Αν και δεν υπάρχει ένας γενικά αποδεκτός ορισμός για την Εικονική Πραγματικότητα, ένα βασικό χαρακτηριστικό που συναντάται σε όλες τις διαφορετικές υλοποιήσεις της τεχνολογίας είναι η «Εμβύθιση» (Immersion) [25].

Εμβύθιση, είναι η ψευδαίσθηση που έχει ο χρήστης αναφορικά με την ύπαρξή του μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον και πρακτικά προσεγγίζεται ως ο βαθμός στον οποίο το σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας επιτυγχάνει να απομονώσει το χρήστη από το φυσικό του περιβάλλον. Για να επιτευχθεί ένας ικανοποιητικός βαθμός εμβύθισης χρησιμοποιούνται εξειδικευμένες συσκευές όπως είναι τα κράνη ΕΠ με ακουστικά και δυνατότητες στερεοσκοπικής προβολής, γάντια και ολόσωμες φόρμες. Δεν είναι απαραίτητο, όμως, να γίνεται συνδυαστική χρήση όλων των συσκευών

1.3.3 3D Φωτορεαλισμός

Ο φωτορεαλισμός στον τομέα των 3D γραφικών αναφέρεται στην αναπαράσταση αντικειμένων με τρόπο που να μοιάζουν όσο το δυνατόν περισσότερο με την πραγματικότητα. Αυτό σημαίνει ότι τα 3D μοντέλα που δημιουργούνται μπορεί να είναι δύσκολο να διακριθούν από πραγματικά αντίστοιχα αντικείμενα. Αυτή η προσέγγιση δημιουργίας 3D μοντέλων είναι δημοφιλής σε πολλούς τομείς, όπως η βιομηχανία των video games, ο κινηματογράφος και η αρχιτεκτονική καθώς προσφέρει ρεαλιστικές εμπειρίες στους χρήστες και τους θεατές.

1.3.4 Φωτογραμμετρία

Η φωτογραμμετρία αναφέρεται σε μια τεχνική δημιουργίας 3D μοντέλων με υψηλά επίπεδα λεπτομέρειας και ρεαλισμού [26]. Η διαδικασία αυτή απαιτεί την λήψη φωτογραφιών ενός αντικειμένου από όλες τις δυνατές γωνίες λήψης και την επεξεργασία αυτών με εξειδικευμένο λογισμικό. Το λογισμικό υπολογίζει τη θέση της φωτογραφικής μηχανής σε σχέση με το αντικείμενο και εντοπίζει κοινά σημεία μεταξύ των φωτογραφιών [27]. Κατόπιν, χρησιμοποιώντας τις φωτογραφίες από κάθε πιθανή γωνία, το λογισμικό

δημιουργεί ένα νέφος σημείων, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί το 3D μοντέλο. Λόγω του γεγονότος ότι η φωτογραμμετρία βασίζεται σε φωτογραφικά δεδομένα, είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα φωτο-ρεαλιστικό αρχείο υφής (texture map) που προσδίδει μέγιστο ρεαλισμό στο 3D μοντέλο [28].

1.3.5 Τρισδιάστατο (3D) μοντέλο

Ένα 3D μοντέλο είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση ενός αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο, που περιλαμβάνει μήκος, πλάτος και ύψος. Η γεωμετρία του αποτελείται από πολύγωνα που χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν τις επιφάνειες του μοντέλου [29]. Οι υφές βασισμένες σε φυσικές παραμέτρους (Physically Based Rendering, PBR) προσθέτουν λεπτομέρεια και ρεαλισμό στον τρισδιάστατο κόσμο, αναπαριστώντας την εμφάνιση των 3D αντικειμένων με ρεαλιστικό τρόπο [30]. Τα 3D μοντέλα είναι χρήσιμα σε πολλούς τομείς, όπως η αρχιτεκτονική και τα παιχνίδια .

1.3.6 RealityCapture

Το RealityCapture είναι ένα δημοφιλές λογισμικό δημιουργίας 3D μοντέλων με την τεχνική της φωτογραμμετρίας. Θεωρείται από τους ειδικούς το κορυφαίο λογισμικό για την καταγραφή σύνθετων αρχιτεκτονικών σχημάτων [31]. Ανήκει πλέον στην Epic Games, τον ίδιο όμιλο που έχει αναπτύξει την Unreal Engine.

1.3.7 Γεωχωρικά Σημεία Αγκύρωσης

Τα γεωχωρικά σημεία αγκύρωσης (Geospatial anchors) αναφέρονται σε ένα ακριβές σημείο στον πραγματικό κόσμο στο οποίο μπορούμε να «αγκυροβολήσουμε» (συνδέσουμε) ψηφιακό περιεχόμενο, εξασφαλίζοντας ότι το ψηφιακό περιεχόμενο θα εμφανίζεται πάντα σταθερά στο ίδιο σημείο. Τα γεωχωρικά σημεία χρησιμοποιούν γεωγραφικές συντεταγμένες από συσκευές GPS, αλλά και άλλα δεδομένα όπως Wifi δίκτυα, σήμα από πομπούς Bluetooth κ.α. με στόχο της επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής ακρίβειας στον ορισμό μιας θέσης [32].

Ένα δημοφιλές σύστημα Spatial Anchors προσφέρεται από την Microsoft στις υπηρεσίες της Azure Cloud. Τα Azure Spatial Anchors υποστηρίζουν εφαρμογές AR τόσο στο ARCore της Google όσο και στο ARKit της Apple. Επιτρέπουν στον προγραμματιστή να αντιλαμβάνεται τον χώρο στις τρεις διαστάσεις, να αποθηκεύει και να ανακαλεί σημεία ενδιαφέροντος σε αυτόν τον χώρο. Μια από τις πολλές πρακτικές εφαρμογές των Azure

Spatial Anchors είναι να αποθηκεύει ψηφιακό περιεχόμενο σε μια ακριβή θέση στον πραγματικό κόσμο και να δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να ανακτά αυτό το περιεχόμενο κοιτώντας το φυσικό σημείο με την κάμερά του [33].

1.3.8 ARCore

Το ARCore είναι το Software Development Kit που έχει αναπτυχθεί από την Google και αφορά την τεχνολογία AR. Χρησιμοποιείται σε συσκευές με λειτουργικό Android.

1.3.9 ARKit

Το ARKit είναι το Software Development Kit που έχει αναπτυχθεί από την Apple και αφορά την τεχνολογία AR. Χρησιμοποιείται σε συσκευές με λειτουργικό iOS.

1.3.10 Unreal Engine

Η Unreal Engine είναι ένα δημοφιλές εργαλείο ανάπτυξης παιχνιδιών και προσομοιώσεων, που δημιουργήθηκε από την Epic Games. Αποτελεί ένα ολοκληρωμένο πακέτο λογισμικού που περιλαμβάνει εργαλεία για τη δημιουργία ρεαλιστικών γραφικών, ανάπτυξη εφαρμογών και πολλά άλλα. Χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία των video games για τη δημιουργία ρεαλιστικών παιχνιδιών, αλλά επίσης έχει εφαρμογές σε άλλους τομείς όπως η αρχιτεκτονική, η κινηματογραφική παραγωγή και η εκπαίδευση. Δίνει την δυνατότητα προγραμματισμού σε C++, αλλά και με την χρήση Blueprints, που είναι μια οπτική αναπαράσταση διαδικασιών C++.

Η Unreal Engine, χάρη στα ρεαλιστικά γραφικά της και τις πολλές δυνατότητες που προσφέρει στους προγραμματιστές έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά και σημαντικά έργα διάσωσης και διάδοσης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς [34].

1.3.11 Cloud

Με τον όρο Cloud αναφερόμαστε γενικά σε ένα δίκτυο απομακρυσμένων υπολογιστικών πόρων που παρέχονται ως υπηρεσία μέσω του Διαδικτύου. Με την αποθήκευση δεδομένων σε ένα Cloud εξασφαλίζουμε την πρόσβαση στα δεδομένα αυτά σε μια ευρεία κλίμακα χρηστών [35].

Κεφάλαιο 2 Μελέτη υπαρχουσών εφαρμογών ανάδειξης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω της τεχνολογίας.

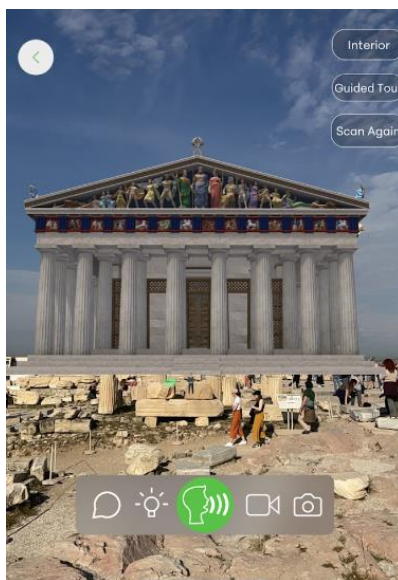
Η τεχνολογία AR έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά στην ανάπτυξη εφαρμογών που έχουν σαν στόχο την παρουσίαση μνημείων ιστορικού και πολιτιστικού ενδιαφέροντος. Παρακάτω μελετάμε τις πιο σημαντικές εφαρμογές που εντοπίσαμε, εξετάζουμε τον σκοπό τους και την εκπαιδευτική τους αξία, επισημαίνουμε τα θετικά στοιχεία τους αλλά και τις αδυναμίες τους, τις οποίες θεωρούμε ότι μπορούμε να βελτιώσουμε με την δική μας εφαρμογή.

2.1 Cosmote Chronos

Η εφαρμογή COSMOTE CHRONOS (Εικόνα 3) λειτουργεί σε συσκευές με λειτουργικό Android ή iOS και επιτρέπει στον χρήστη να εξερευνήσει τα μνημεία της Ακρόπολης των Αθηνών.

Έχει δύο λειτουργίες χρήσης: Την VR, για τους χρήστες που δεν βρίσκονται στην Ακρόπολη και την AR για χρήστες που βρίσκονται στον χώρο της Ακρόπολης.

Σύμφωνα με το πληροφοριακό υλικό της COSMOTE, χάρη στις τεχνολογίες Augmented Reality, η εφαρμογή σου προσφέρει τη δυνατότητα να περιηγηθείς στο εξωτερικό, αλλά και το εσωτερικό των μνημείων, όπως ήταν στην αρχαιότητα, είτε βρίσκεσαι πάνω στον βράχο της Ακρόπολης των Αθηνών, είτε βρίσκεσαι σε οποιοδήποτε σημείο στην Ελλάδα.



Εικόνα 3. Στιγμιότυπο της εφαρμογής Cosmote Chronos, πηγή Cosmote.gr

Η εφαρμογή Cosmote Chronos περιλαμβάνει ξενάγηση στον Παρθενώνα, στο Ιερό Βραυρωνίας Αρτέμιδος, στη Χαλκοθήκη, στο Ωδείο Ηρώδου Αττικού και σε εκθέματα στο Μουσείο Ακρόπολης.

Στα θετικά στοιχεία της εφαρμογής Cosmote Chronos εντοπίζουμε τα παρακάτω:

- Η εφαρμογή παρουσιάζει ίσως το πιο σημαντικό μνημείο του κόσμου, την Ακρόπολη των Αθηνών.
- Περιλαμβάνει λειτουργίες AR με απεικόνιση του μνημείου στην αρχαία του μορφή στην θέση του πραγματικού μνημείου.
- Περιλαμβάνει λειτουργίες προβολής των μνημείων για τους χρήστες που δεν βρίσκονται στην φυσική τοποθεσία της Ακρόπολης των Αθηνών.
- Περιλαμβάνει πλούσιο εκπαιδευτικό υλικό σε ηχητική μορφή και λειτουργίες ατομικής και ομαδικής ξενάγησης.
- Η ανάπτυξη της εφαρμογής είναι τεχνικώς άρτια, καθώς έχει αναπτυχθεί από μια μεγάλη εταιρεία.
- Τέλος, η εφαρμογή συμπεριλαμβάνει μια ψηφιακή ξεναγό, την Clio, που διαφημίζεται ως AI βοηθός.

Στην ανάλυσή μας, εντοπίσαμε τα παρακάτω αρνητικά σημεία στην εφαρμογή Cosmote Chronos:

- Δεν έχει ανακοινωθεί τυχόν επέκταση της εφαρμογής για την υποστήριξη κι άλλων μνημείων.
- Η χρήση της εφαρμογής και ειδικά της ψηφιακής ξεναγού απαιτεί γρήγορη σύνδεση στο δίκτυο. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Cosmote απαιτείται δίκτυο 5G. Στις δοκιμές μας κατανάλωσε μεγάλο όγκο δεδομένων και μείωσε σημαντικά την μπαταρία της συσκευής μας.
- Δεν είναι σαφές από την πολιτική προστασίας προσωπικών δεδομένων της Cosmote το πως διαχειρίζεται τα προσωπικά δεδομένα φωνής του χρήστη που διαβιβάζονται μέσω της εφαρμογής.
- Η λειτουργία AR, όταν βρίσκεσαι στον χώρο της Ακρόπολης, απαιτεί το σκανάρισμα μιας ταμπέλας (Εικόνα 4) για να λειτουργήσει και για να ταυτίσει το 3D μοντέλο με τον φυσικό κόσμο. Αυτή η μέθοδος ταύτισης και εντοπισμού εξαρτάται σημαντικά από τις φωτιστικές και καιρικές συνθήκες και δεν λειτουργεί πάντα. Επιπλέον, η ύπαρξη τέτοιων ταμπελών δεν είναι πάντα εφικτή σε λιγότερο γνωστά (και λιγότερο φυλασσόμενα μνημεία). Επίσης οι ταμπέλες αυτές είναι εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες αλλά και σε βανδαλισμούς, με

αποτέλεσμα να χρειάζονται συχνά αντικατάσταση. Επιπλέον, η Cosmote Chronos απαιτεί σκανάρισμα διαφορετικών ταμπελών για την προβολή του μνημείου από διαφορετική γωνία.



Εικόνα 4. Διαδικασία σκαναρίσματος ταμπέλας, πηγή Cosmote.gr

- Η λήψη πληροφοριών γίνεται μόνο ηχητικά. Δεν είναι εύκολο να λάβεις πληροφορίες για συγκεκριμένο τμήμα του μνημείου. Μπορείς να κάνεις ερωτήσεις φωνητικά, αλλά στις δοκιμές μας σε καμία περίπτωση δεν λάβαμε σωστή απάντηση. Δεν συμπεριλαμβάνονται πληροφορίες σε μορφή κειμένου.
- Η λειτουργία για τους χρήστες που δεν βρίσκονται στον χώρο της Ακρόπολης, απαιτεί πάλι την τεχνολογία AR. Δεν υποστηρίζουν όλες οι συσκευές AR, ειδικά πληθώρα συσκευών Android σε χαμηλή – μέση κατηγορία τιμής.
- Τα 3D μοντέλα των μνημείων αν και είναι πολύ καλά σχεδιασμένα, δεν είναι φωτορεαλιστικά και δεν δημιουργούν πραγματικά την ψευδαίσθηση ότι βλέπεις μπροστά σου το μνημείο.

2.2 Culture App

Η Culture App (Εικόνα 5) πρόκειται για μια εφαρμογή για συσκευές με λειτουργικό Android ή iOS. Αποτελεί μια επιχειρηματική κίνηση με περιεχόμενο επί πληρωμή. Συμπεριλαμβάνει, σύμφωνα με το site τους, μνημεία της Ακρόπολης, της Αρχαίας Κορίνθου, της Λίνδου, του Ολυμπίου, της νότιας Κλιτύς, των Δελφών και της Αρχαίας Αγοράς.



The brightest monument of the ancient Greek world, the most emblematic creation of the Athenian democracy. It was built between 447 and 438 B.C., as part of the building program of Perikles. It was dedicated to Athena Parthenos (Athena the Virgin), the patron goddess of the city. Its architects were Iktinos and Kallikrates. The sculptor Pheidias, apart from the supervision of the building program of Perikles, was also in charge of the sculptural decoration of the temple. The entire temple, as well as the roof, was made of Pentelic marble. The Parthenon is a Doric temple. Its interior is divided into two parts: the western one, where the treasury of the city was kept and the eastern one, which housed the gold and ivory statue of Athena,

Εικόνα 5. Στιγμιότυπο της εφαρμογής Culture App, πηγή cultureapp.eu

Στα θετικά της εφαρμογής Culture App εντοπίσαμε τα παρακάτω:

- Η εφαρμογή περιλαμβάνει αρκετά μνημεία σε όλη την ελληνική επικράτεια.
- Περιλαμβάνει πλούσιο υλικό σε κείμενο και ήχο.
- Είναι διαθέσιμη σε πολλές γλώσσες.
- Έχει ειδικές λειτουργίες για ξεναγούς.
- Υπάρχουν από την εταιρεία ανάπτυξης πλάνα επέκτασης της εφαρμογής με περισσότερα μνημεία.

Τα σημεία της εφαρμογής που χρήζουν βελτίωσης είναι τα παρακάτω:

- Εκτός από το μνημείο του Ολυμπίου, όλα τα υπόλοιπα μνημεία είναι διαθέσιμα επί πληρωμή και κόστος 10€ ανά μνημείο. Αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη ενός σημαντικού κόστους για την αγορά όλων των μνημείων.
- Τα 3D μοντέλα που συμπεριλαμβάνονται στην εφαρμογή αξιολογούνται ως χαμηλής ανάλυσης και χωρίς λεπτομέρειες.
- Το περιβάλλον της εφαρμογής δεν είναι φιλικό προς τον χρήστη και περιλαμβάνει αρκετά λάθη, τα οποία δημιουργούν σύγχυση στον χρήστη.

- Οι λειτουργίες AR που διαφημίζονται δεν είναι διαθέσιμες σε όλα τα μνημεία. Δεν μπορέσαμε να κάνουμε δοκιμές για να αξιολογήσουμε την λειτουργία τους.
- Δεν υπάρχει τρόπος λήψης πληροφοριών για συγκεκριμένα σημεία των μνημείων.

2.3 myEleusis.AR

Η εφαρμογή myEleusis.AR (Εικόνα 6) είναι διαθέσιμη μόνο για Android και δεν είναι διαθέσιμη στο επίσημο Play Store. Αφορά μόνο τον αρχαιολογικό χώρο της Ελευσίνας.



Εικόνα 6. Στιγμιότυπο της εφαρμογής myEleusis.AR, πηγή myeleusis.com

Η εφαρμογή myEleusis.AR υστερεί αρκετά σε πολλά σημεία και πιο συγκεκριμένα:

- Η λειτουργία AR της εφαρμογής βασίζεται στο σκανάρισμα ταμπέλας, διαδικασία παρόμοια με αυτή της εφαρμογής της Cosmote, οπότε περιλαμβάνει και όλα τα ελαττώματα που αναφέραμε παραπάνω.
- Τα 3D μοντέλα της εφαρμογής δεν είναι ρεαλιστικά καθώς περιλαμβάνουν μόνο την γεωμετρία και όχι textures.
- Είναι τοπικού ενδιαφέροντος, καθώς αφορά έναν συγκεκριμένο αρχαιολογικό χώρο, χωρίς σχέδια επέκτασης.
- Δεν υπάρχει τρόπος λήψης πληροφοριών για συγκεκριμένα σημεία των μνημείων.

2.4 Ancient Olympia

Η εφαρμογή Ancient Olympia (Εικόνα 7) είναι μια σύμπραξη του Υπουργείου Πολιτισμού και της Microsoft. Είναι διαθέσιμη για Android και iOS. Η εφαρμογή παρουσιάζει τον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Ολυμπίας. Παρουσίαση των πιο σημαντικών μνημείων σε AR και 3D. Φωνητική ξενάγηση στον αρχαιολογικό χώρο.



Εικόνα 7. Στιγμιότυπο της εφαρμογής Ancient Olympia, πηγή Google Play Store

Τα θετικά της εφαρμογής Ancient Olympia είναι:

- Η εφαρμογή περιλαμβάνει πλούσιο εκπαιδευτικό υλικό σε κείμενο και ήχο, όχι μόνο για τα μνημεία αλλά και για τους αρχαίους αγώνες.
- Είναι διαθέσιμη σε πολλές γλώσσες.
- Περιλαμβάνει χάρτη για εύκολη πλοήγηση στον αρχαιολογικό χώρο.

Τα αρνητικά σημεία της εφαρμογής, τα οποία που χρήζουν βελτίωσης είναι:

- Τα 3D γραφικά των μνημείων είναι πολύ βασικά, καθόλου φωτορεαλιστικά και χωρίς λεπτομέρειες.
- Η λειτουργία AR δεν ταυτίζει το πραγματικό μνημείο με το αντίστοιχο 3D μοντέλο.
- Η λειτουργία 3D εμφανίζει το μοντέλο αποκομμένο από το φυσικό του περιβάλλον.
- Δεν υπάρχει τρόπος λήψης πληροφοριών για συγκεκριμένα σημεία των μνημείων.

- Είναι τοπικού ενδιαφέροντος, καθώς αφορά έναν συγκεκριμένο αρχαιολογικό χώρο, χωρίς σχέδια επέκτασης.

2.5 Ανάδειξη του μνημείου Νερατζέ Τζαμί μέσα από τη χρήση τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας.

Αφορά μια διπλωματική διατριβή της Πολυξένης Παπαζώη από το Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής με θέμα την εφαρμογή της AR στο πεδίο της πολιτιστικής κληρονομιάς και πιο συγκεκριμένα των αρχιτεκτονικών μνημείων. Επιπλέον, παραθέτει διεξοδικά το σκεπτικό σχεδιασμού μιας εφαρμογής για την παρουσίαση και ανάδειξη του Νερατζέ Τζαμί, στο Ρέθυμνο.

Στη διατριβή της η κυρία Παπαζώη προσεγγίζει το πρόβλημα της ταύτισης της θέσης του φυσικού μνημείου με το εικονικό μέσω της χρήσης προκαθορισμένων σημαδιών (markers), τα οποία προκύπτουν από συγκεκριμένα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του κτιρίου (Εικόνα 8). Ο χρήστης θα πρέπει να ταυτίσει ακριβώς το σχέδιο που εμφανίζεται στην οθόνη του με το αντίστοιχο αρχιτεκτονικό χαρακτηριστικό. Αν υπάρχει ταύτιση, τότε το εικονικό μοντέλο θα εμφανιστεί στον φυσικό χώρο με μεγάλη ακρίβεια.

Η εφαρμογή περιλαμβάνει 5 διαφορετικά τέτοια markers για να καλύψει πέντε διαφορετικές γωνίες θέασης του κτιρίου.



Εικόνα 8. Τρόπος ταύτισης εφαρμογής μέσω markers, πηγή Πολυξένη Παπαζώη

Η χρήση των markers στην παρούσα διατριβή γίνεται μέσω της πλατφόρμας Vuuforia, μια κλειστού κώδικα και επί πληρωμής πλατφόρμα που προσφέρει λύσεις για την ανάπτυξη εφαρμογών ΕΠ.

Επιπλέον, η χρήση των markers σε εξωτερικούς χώρους μπορεί να επηρεαστεί από τις καιρικές συνθήκες ή από την αλλαγή φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επιπλέον, υπάρχει αυστηρή απαίτηση για την ακριβή θέση στην οποία στέκεται ο χρήστης για να ταυτίσει το marker [36].

2.6 Συμπεράσματα μελέτης υφιστάμενων εφαρμογών

Μετά από επισταμένη μελέτη των πιο σημαντικών εφαρμογών που χρησιμοποιούν την τεχνολογία AR για την ανάδειξη μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς καταλήξαμε στα παρακάτω συμπεράσματα.

Καμία εφαρμογή δεν παρείχε φωτορεαλιστικά μοντέλα των μνημείων. Πιστεύουμε ότι ο φωτορεαλισμός είναι ένα απαραίτητο συστατικό για την ανάδειξη των μνημείων σε όλους τους το μεγάλειο.

Καμία εφαρμογή δεν παρέχει αδιάκοπη και ομαλή μετάβαση από την εξωτερική όψη στην εσωτερική. Όσες εφαρμογές περιλαμβάνουν και το εσωτερικού του μνημείου, το εσωτερικό υπάρχει ως διαφορετικό μοντέλο.

Ο τρόπος ταύτισης του 3D μοντέλου μέσω AR με το μνημείο στον πραγματικό κόσμο βασίζεται (όπου διατίθεται τέτοια λειτουργία) στην ύπαρξη στον αρχαιολογικό χώρο ταμπελών που πρέπει να σκαναριστούν. Όπως προαναφέραμε, αυτή η μέθοδος ταύτισης και εντοπισμού εξαρτάται σημαντικά από τις φωτιστικές και καιρικές συνθήκες και δεν λειτουργεί πάντα. Επιπλέον, η ύπαρξη τέτοιων ταμπελών δεν είναι πάντα εφικτή σε λιγότερο γνωστά (και λιγότερο φυλασσόμενα μνημεία). Επίσης, οι ταμπέλες αυτές είναι εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες αλλά και σε βανδαλισμούς, με αποτέλεσμα να χρειάζονται συχνά αντικατάσταση. Τέλος, αυτή η μέθοδος απαιτεί ο χρήστης να βρίσκεται σε συγκεκριμένο σημείο μέσα στον αρχαιολογικό χώρο ώστε να εμφανιστεί το μνημείο μέσω του AR, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε συνωστισμό.

Εναλλακτικά είδαμε να χρησιμοποιείται η μέθοδος της οπτικής ταύτισης μέσω markers. Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια σε λογική με την παραπάνω μέθοδο καθώς πάλι ταυτίζεται μέσω της κάμερας του κινητού του χρήστη μένα ένα σταθερό και αυστηρώς συγκεκριμένο σημείο στον πραγματικό κόσμο. Η χρήση markers μέσω της Vuuforia απαιτεί

χρήση λογισμικού κλειστού κώδικα και είναι ανακριβής αν οι καιρικές και φωτιστικές συνθήκες δεν είναι οι κατάλληλες.

Καμία εφαρμογή δεν προσφέρει κάποιο τρόπο να επιλέγουμε συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος του μνημείου και να λαμβάνουμε πληροφορίες για το συγκεκριμένο σημείο. Αυτό σημαίνει ότι καμία εφαρμογή δεν εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες της τεχνολογίας ΕΠ για να παρουσιάσει εκπαιδευτικό περιεχόμενο, άμεσα συνδεδεμένο χωρικά με το μνημείο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, διαπιστώνουμε πως υπάρχει χώρος ανάπτυξης μιας νέας εφαρμογής που θα επιτυγχάνει τα παρακάτω:

Θα παρουσιάζει τα μνημεία με απόλυτα ρεαλιστικό τρόπο, χωρίς να θυσιάζει τις επιδόσεις τις εφαρμογής.

Θα διαθέτει μια νέα, καινοτόμο μέθοδο ταύτισης του μοντέλου με το μνημείο, μια μέθοδο που δεν θα απαιτεί καμία ενέργεια από τον χρήστη και θα λειτουργεί σε όλες τις φωτιστικές και καιρικές συνθήκες. Επίσης, η νέα αυτή μέθοδος δεν θα απαιτεί καμία επιπλέον επέμβαση στον χώρο του μνημείου. Τέλος το μνημείο θα εμφανίζεται άσχετα από την θέση του χρήστη στον αρχαιολογικό χώρο, αρκεί ο χρήστης να έχει στρέψει το κινητό του προς τη σωστή κατεύθυνση.

Θα έχει την δυνατότητα να παρουσιάζει στον χρήστη σημεία ενδιαφέροντος (hotspots) τα οποία θα μπορεί να επιλέξει για να λάβει επιπλέον πληροφορίες.

Θα διαθέτει μια μεθοδολογία για εύκολη, γρήγορη και χαμηλού κόστους επέκταση σε νέους αρχαιολογικούς χώρους και σε περισσότερα μνημεία.

Θα προάγει την συνεργατικότητα μεταξύ τοπικών παραγόντων, επαγγελματιών και δημόσιων φορέων

Κεφάλαιο 3 Η εφαρμογή CulturalAR

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μια εφαρμογής κινητών συσκευών που θα χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες ΕΠ για την ανάδειξη μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς και θα διδάσκει την ιστορία τους.

Πιθανοί χρήστες της εφαρμογής είναι επισκέπτες των μνημείων που περιλαμβάνονται στην εφαρμογή, κάτοικοι της περιοχής των μνημείων καθώς και μαθητές των σχολείων στις περιοχές των μνημείων, οι οποίοι θα μαθαίνουν και θα εκπαιδεύονται για την ιστορία του τόπου τους μέσα από έναν ευχάριστο και καινοτόμο τρόπο.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε το μνημείο που επιλέξαμε ως παράδειγμα στην εφαρμογή και όλα τα βήματα που ακολουθήσαμε για να δημιουργήσουμε την εφαρμογή CulturalAR.

3.1 Η γένεση της ιδέας

Έχω μεγαλώσει σε ένα χωριό της Φθιώτιδας και η ευρύτερη περιοχή είναι γεμάτη από αρχαιολογικά και ιστορικά μνημεία, τα οποία εξήπταν την φαντασία μου. Κοιτούσα τα ερείπια ενός αρχαίου ναού, ή ενός πύργου και προσπαθούσα να φανταστώ τη μορφή μπορεί να είχαν τα μνημεία αυτά όταν ήταν στην ακμή τους.

Δυστυχώς όμως, τα μνημεία που βρίσκονται σε ένα μικρό χωριό, σαν το δικό μου, παραμένουν πολλές φορές άγνωστα, ανεκμετάλλευτα και χωρίς εύκολα προσβάσιμο ενημερωτικό - εκπαιδευτικό περιεχόμενο.

Συγκεκριμένα, σε πολύ μικρή απόσταση από την οικία μου υπήρχαν τα ερείπια ενός πύργου, για τον οποίο όμως ελάχιστα γνώριζαν τόσο οι δάσκαλοι μου όσο και οι κάτοικοι του χωριού.

Αυτός ο πύργος λοιπόν μου έδωσε το έναυσμα για την ανάπτυξη αυτής της εφαρμογής, που ονόμασα CulturalAR.

3.2 Ο Ενετικός Πύργος του Αχινού

Ο Αχινός είναι ένα μικρό, γραφικό χωριό στην Ανατολική Φθιώτιδα που ανήκει στο Δήμο Στυλίδας. Είναι χτισμένος κυριολεκτικά πάνω στα ερείπια της αρχαίας πόλης του Εχίνου (ή Εχινούπολης).

Τα πρώτα ίχνη κατοίκησης στην περιοχή που τώρα βρίσκεται ο Αχινός εμφανίζονται από το 2000 π.Χ.. Πρόκειται για αρχαιολογικά ευρήματα όπως ένα όστρακο από φαιόμορφο αγγείο (2000/1800-1600 π.Χ.), όστρακα και λίθινα εργαλεία από πυριτόλιθο της

Υστεροελλαδικής III Β περιόδου (1300-1200 π.Χ.) και συλημένους υστεροελλαδικούς θαλαμοειδείς τάφους (1600-1100 π.Χ.).

Στους παλαιοχριστιανικούς χρόνους ο Εχίνος υπήρξε έδρα επισκοπής.

Στη διάρκεια της Φραγκοκρατίας ήταν φέουδο αρχικά της Βαρωνίας του Ζητουνίου και αργότερα του Δουκάτου των Αθηνών. Η οχύρωση της πόλης του Εχίνου που πραγματοποιήθηκε την εποχής της Φραγκοκρατίας αποτελεί συμπλήρωμα στο αρχαίο τείχος του 4ου αι. π.Χ., το οποίο έχει δεχτεί αρκετές προσθήκες στη μακραίωνη ιστορία του.

Πάνω σε ένα λόφο, στη βόρεια πλευρά του σημερινού χωριού σώζεται σε σχετικά καλή κατάσταση ένας μεσαιωνικός πύργος (Εικόνα 9), ο οποίος θέλαμε να χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα μνημείου στην εφαρμογή που αναπτύξαμε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

Επειδή, σημαντικό κομμάτι της εφαρμογής είναι η εκπαιδευτική διαδικασία μέσα από την τεχνολογία της Επαυξημένης πραγματικότητας, ήταν πολύ σημαντικό για μας να συλλέξουμε έγκυρες και ακριβείς πληροφορίες για την ιστορία του πύργου, γεγονός που δεν ήταν εύκολο, καθώς ελάχιστα στοιχεία μπορέσαμε να βρούμε online.

Από την αρχή της εργασίας μας στη διπλωματική, ένας από τους βασικούς άξονες της μεθοδολογίας μας θέλαμε να είναι η συνεργασιμότητα μεταξύ των επιστημών. Απευθυνθήκαμε λοιπόν στην εφορία αρχαιοτήτων Φθιώτιδας και αφού τους εξηγήσαμε τι προσπαθούμε να κάνουμε, ζητήσαμε αν μπορούν να μας διαφωτίσουν σχετικά με την ιστορία του πύργου του Αχινού. Με βάση τις πληροφορίες και την βιβλιογραφία που μας έδωσαν, συντάξαμε το παρακάτω περιεχόμενο, το οποίο χρησιμοποιήσαμε και ως μέρος του εκπαιδευτικού υλικού της εφαρμογής.

Αρχιτεκτονικά, ο πύργος έχει τετράγωνο σχήμα και οι πλευρές του έχουν μήκος 5,70 μέτρα. Το πάχος των τοίχων είναι 1 μέτρο και το ύψος του πύργου είναι 13 μέτρα.

Είναι κτισμένος με αρχαίους ογκόλιθους τοποθετημένους σε δόμους. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανέγερση του πύργου υπήρχαν ήδη σε κοντινή απόσταση από το σημείο του πύργου και ανήκαν στα ερείπια της αρχαίας πόλης του Εχίνου.

Στο κάτω επίπεδο του πύργου οι σειρές των ογκόλιθων είναι συναρμοσμένες μεταξύ τους με μικρές πέτρες. Από τον πρώτο όροφο και πάνω κάθε σειρά ογκόλιθων εναλλάσσεται με σειρά μικρών ορθογωνισμένων λίθων. Η συνδετική ύλη που έχει χρησιμοποιηθεί είναι ασβεστοκονίαμα.



Εικόνα 9. Πύργος Αχινού, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Οι εσωτερικές όψεις των τοίχων είναι δομημένες με χρήση ημικατεργασμένων λίθων και ασβεστοκονίαμα (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Εσωτερικό του πύργου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Ο πύργος αποτελείται από τρεις ορόφους, δηλαδή ισόγειο, πρώτο και δεύτερο όροφο. Η εσωτερική διαίρεση των ορόφων του πύργου γινόταν με ξύλινα πατώματα, όπως φαίνεται από τα υπολείμματα των δοκαριών και τα ίχνη των υποδοχών τους στις εσωτερικές επιφάνειες των τοίχων. Το ισόγειο ήταν αρχικά κλειστό, χωρίς εξωτερική είσοδο, και πιθανότατα χρησιμοποιούνταν ως αποθηκευτικός χώρος.

Η βασική είσοδος του πύργου είναι τοξωτή (Εικόνα 11), βρίσκεται σε ύψος 3μ. από τη στάθμη του εδάφους και αντιστοιχεί στο επίπεδο του πρώτου ορόφου. Στο κάτω μέρος της εισόδου σώζονται ακόμα οι υποδοχές στερέωσης της ξύλινης σκάλας που οδηγούσε στο εσωτερικό του πύργου.



Εικόνα 11. Η τοξωτή είσοδος του πύργου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Στο δυτικό τοίχο, στο επίπεδο του πρώτου ορόφου, υπάρχει ένας λίθινος κρουνός, πιθανότατα τμήμα αποχετευτικού συστήματος, ενώ στην πίσω πλευρά ανοίγεται στενή τοξοθυρίδα. Στην πρόσθια όψη του πύργου, στο επίπεδο του δεύτερου ορόφου, ανοίγεται παράθυρο με λίθινο τοξωτό πλαίσιο. Μέσα στο πάχος των τοίχων και στους δύο ορόφους υπάρχουν τζάκια.

Ο πύργος έχει υποστεί κατά καιρούς διάφορες επεμβάσεις από άγνωστους παράγοντες, στις οποίες οφείλονται τα δύο μεγάλα ανοίγματα στα χαμηλότερα μέρη του και ένα μικρότερο ορθογώνιο άνοιγμα στην πρόσθια πλευρά του [37].

Με βάση τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε τον Πύργο του Αχινού ως ένα μνημείο ιστορικής σημασίας. Σύμφωνα με την Χάρτα της Μπούρα [24] εντάξαμε στην μεθοδολογία μας συγκεκριμένες ενέργειες σύμφωνα με τα προτεινόμενα για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση ενός μνημείου πολιτιστικής σημασίας (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Βήματα για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση ενός μέρους πολιτιστικής σημασίας, πηγή ICOMOS

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το βήμα 1 αναζητήσαμε και συντάξαμε την ιστορία του πύργου. Σύμφωνα με το βήμα 2, ήρθαμε σε επαφή με τοπικούς φορείς και καθορίσαμε για ποιους λόγος είναι ιστορικής σημασίας το συγκεκριμένο μνημείο. Η ανάπτυξη της εφαρμογής ξεκινά στο βήμα 3, εντοπίζοντας την ανάγκη ύπαρξής της και υλοποιείται στο βήμα 5.

3.3 Απαιτήσεις 3D μοντέλου του πύργου

Το βασικό χαρακτηριστικό της εφαρμογής είναι η δημιουργία ενός 3D μοντέλου του πύργου, το οποίο θα εμφανίζει με τη μέγιστη δυνατή λεπτομέρεια τόσο την παρούσα κατάσταση του μνημείου, όσο και την πιθανή του εμφάνιση στα χρόνια της αρχαιότητας.

Το μοντέλο θα πρέπει να είναι φωτορεαλιστικό και να περιλαμβάνει τόσο το εξωτερικό όσο και το εσωτερικό του πύργου, σε ένα ενιαίο μοντέλο, ώστε ο χρήστης να μπορεί να δει το εικονικό μνημείο από κάθε δυνατή πλευρά, χωρίς να καταστρέφεται η ψευδαίσθηση ότι βρίσκεται μπροστά στο πραγματικό μνημείο.

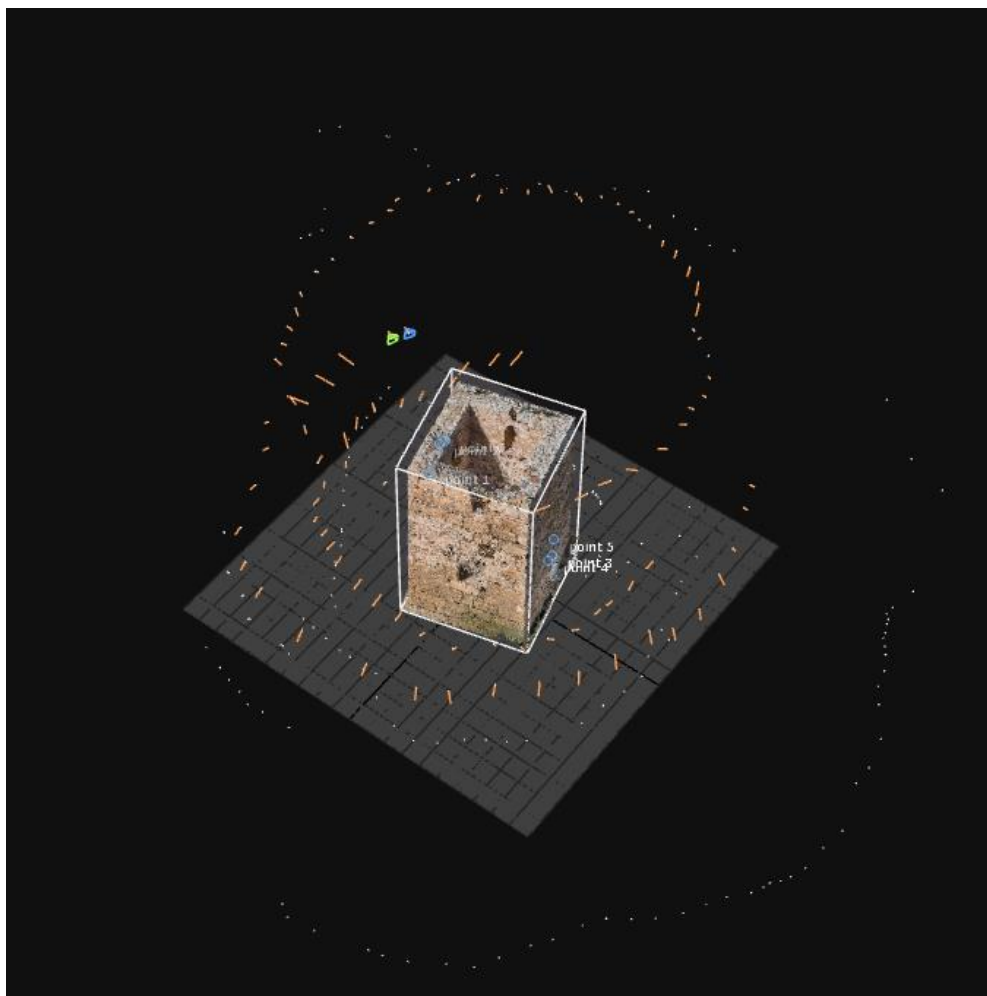
Η γεωμετρία του θα πρέπει να αποτελείται από κατάλληλο αριθμό πολυγώνων ώστε να είναι εφικτή η χρήση του σε κινητές συσκευές με υψηλά επίπεδα πιστότητας χωρίς όμως προβλήματα στις επιδόσεις της εφαρμογής.

Οι υφές του μοντέλου θα πρέπει να περιλαμβάνουν φωτογραφικές λεπτομέρειες από τον πραγματικό πύργο για να δημιουργούν τη μέγιστη δυνατή αίσθηση ρεαλισμού.

3.4 Λήψη φωτογραφικού υλικού του πύργου

Για να δημιουργήσουμε το βασικό μοντέλο του πύργου επιλέξαμε την μέθοδο της φωτογραμμετρίας.

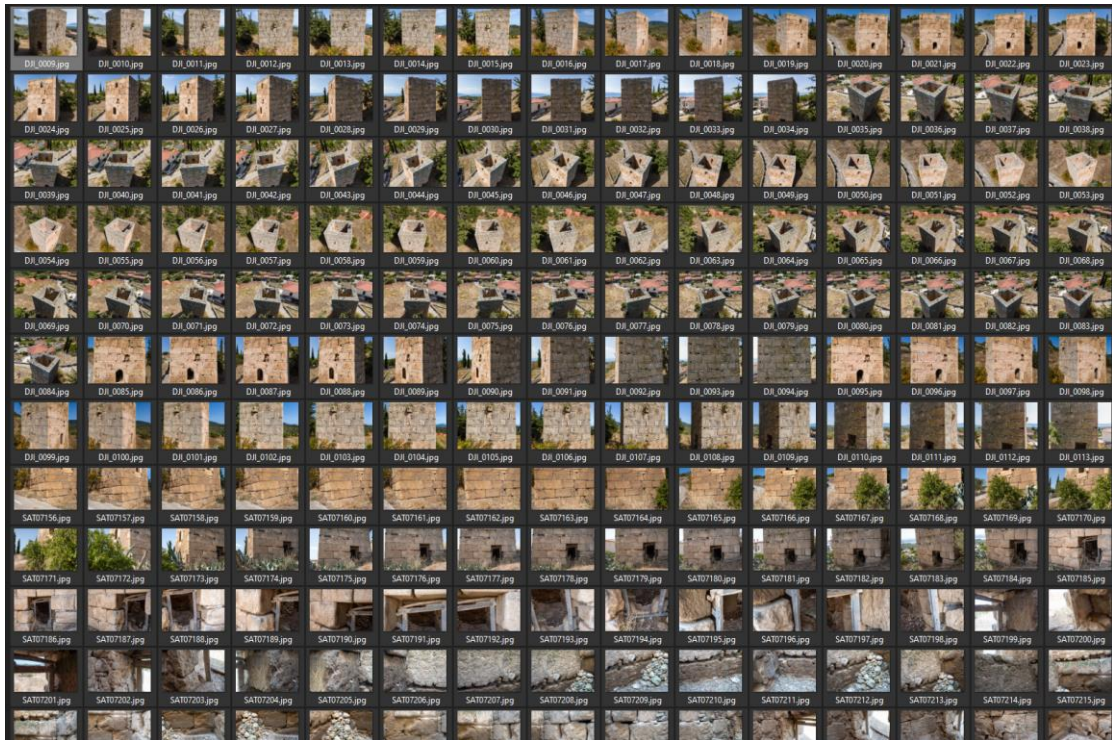
Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας περιλάμβανε τη λήψη φωτογραφιών του πύργου από κάθε δυνατή γωνία λήψης τόσο του εξωτερικού, όσο και του εσωτερικού του. (Εικόνα 12) [38].



Εικόνα 12. Σχεδιάγραμμα γωνιών λήψης φωτογραφιών, πηγή Σεραφείμ Καραΐσκος

Λόγω του μεγάλου ύψους του πύργου (13 μέτρα) χρησιμοποιήσαμε drone για την λήψη κάποιων φωτογραφιών των ψηλών σημείων του κτιρίου [39]. Χρησιμοποιήσαμε μια συμβατική φωτογραφική μηχανή για την λήψη των επίγειων φωτογραφιών.

Έγινε λήψη πάνω από χιλίων φωτογραφιών με στόχο να έχουμε όσο καλύτερη κάλυψη κάθε λεπτομέρειας του μοντέλου. Από αυτές έγινε μια τελική επιλογή των καλύτερων (Εικόνα 13), τις οποίες θα χρησιμοποιούσαμε στο πρόγραμμα RealityCapture, ώστε να υπολογιστεί το νέφος σημείων και στη συνέχεια το 3D μοντέλο του Πύργου.



Εικόνα 13. Τμήμα της συλλογής φωτογραφιών που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του μοντέλου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Οι επιλεγμένες φωτογραφίες, επεξεργάστηκαν έτσι ώστε να είναι κατάλληλες για χρήση στο RealityCapture. Έγινε βελτίωση της φωτεινότητας, της αντίθεσης και των χρωμάτων, έτσι ώστε να βοηθηθεί ο αλγόριθμος του RealityCapture να εντοπίσει τα κοινά σημεία μεταξύ φωτογραφιών.

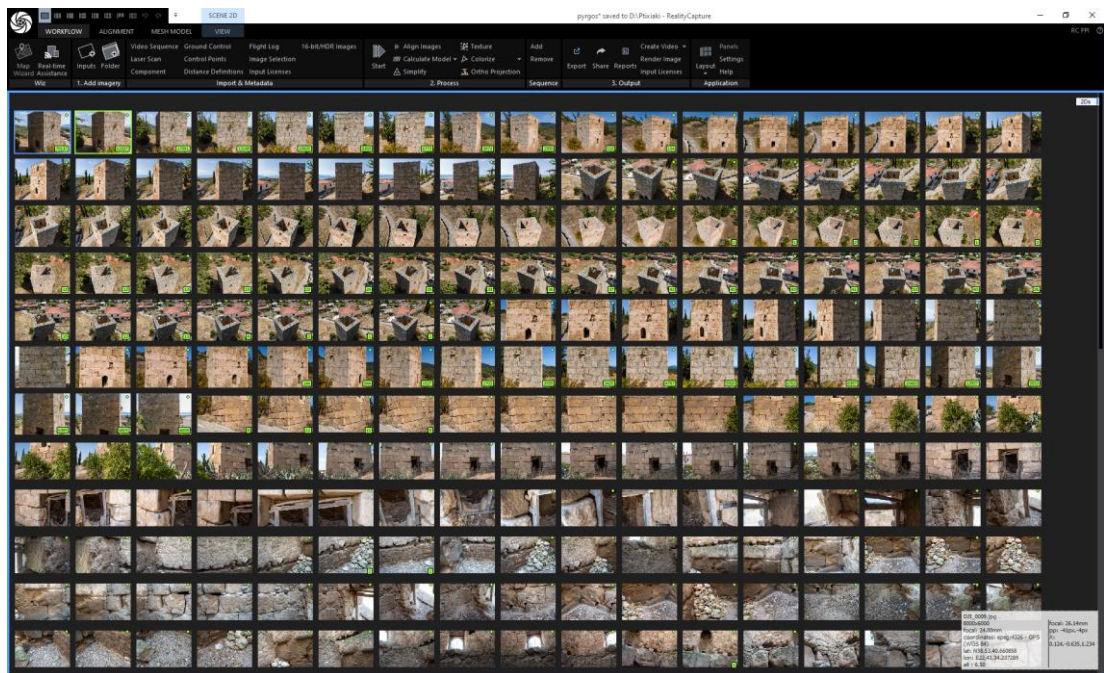
3.5 Χρήση του RealityCapture

Το επόμενο βήμα για την δημιουργία του 3D μοντέλου ήταν η χρήση του προγράμματος RealityCapture.

Όπως έχουμε πει, το RealityCapture είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιεί φωτογραφίες για να δημιουργήσει ψηφιακά, 3D μοντέλα πραγματικών αντικειμένων. Λειτουργεί με το να αναλύει τις φωτογραφίες από διάφορες γωνίες και να αναγνωρίζει κοινά σημεία σε κάθε φωτογραφία. Στη συνέχεια, συνδυάζει αυτές τις πληροφορίες για να δημιουργήσει ένα 3D μοντέλο.

Η χρήση του RealityCapture είναι δωρεάν και απαιτεί μια μικρή πληρωμή για την τελική εξαγωγή του μοντέλου.

Αρχικά δημιουργήσαμε ένα νέο project στο RealityCapture και εισήγαμε το φωτογραφικό υλικό που τραβήξαμε και επεξεργαστήκαμε από τον πύργο (Εικόνα 14).

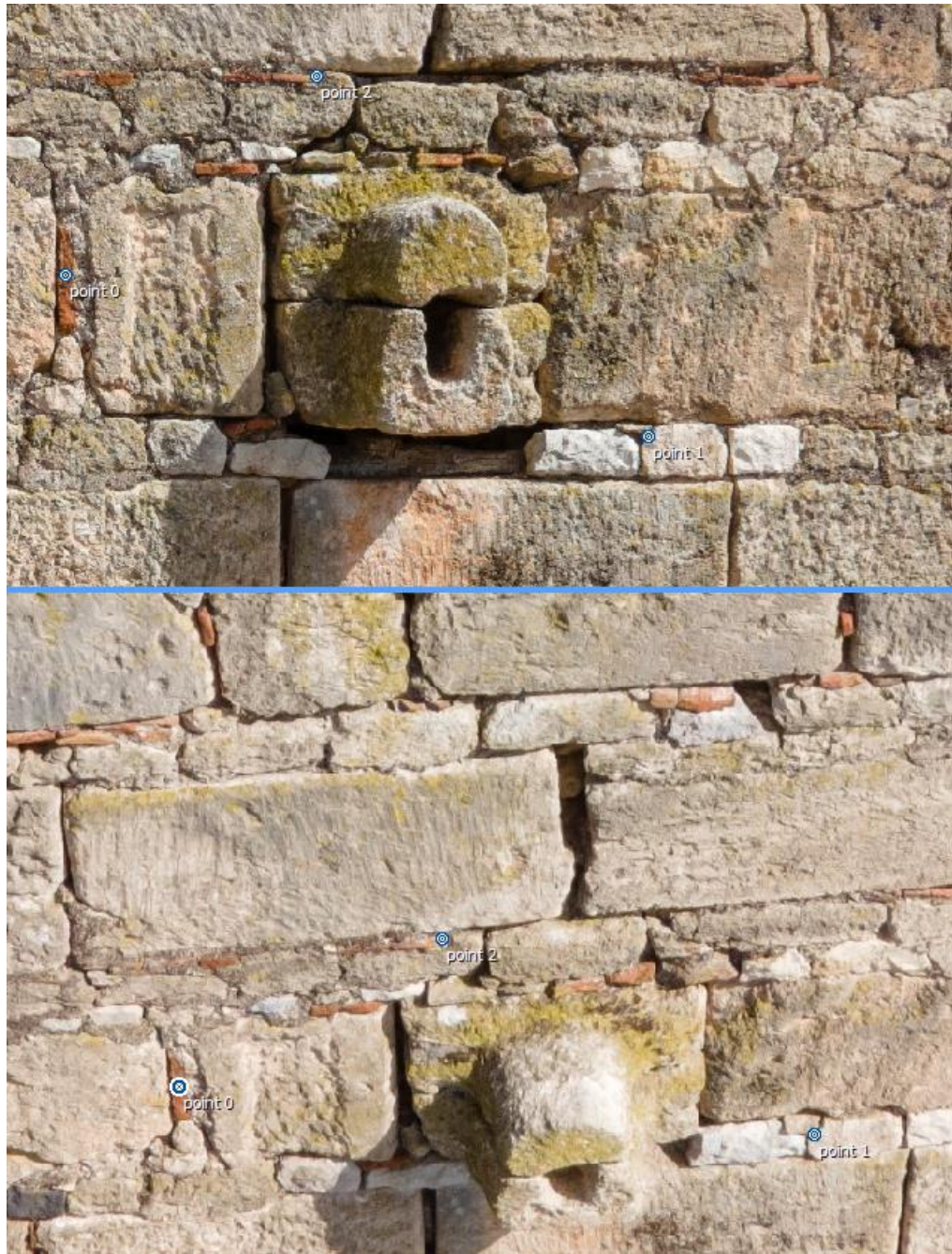


Εικόνα 14. Το περιβάλλον του RealityCapture με τις φωτογραφίες μας, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Στη συνέχεια ξεκινήσαμε την διαδικασία με το πρώτο βήμα που ονομάζεται “Ευθυγράμμιση Εικόνων” (Image Alignment). Η ευθυγράμμιση εικόνων είναι μια διαδικασία κατά την οποία το RealityCapture υπολογίζει τη θέση, τον προσανατολισμό και τις ρυθμίσεις της κάμερας, όπως πχ ο φακός που χρησιμοποιήθηκε πάνω στην κάμερα, για κάθε εικόνα. Με βάση αυτές τις πληροφορίες εντοπίζει κοινά σημεία μεταξύ γειτονικών φωτογραφιών. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ένα τρισδιάστατο νέφος σημείων (point cloud) από το οποίο σε επόμενο βήμα θα προκύψει το 3D μοντέλο.

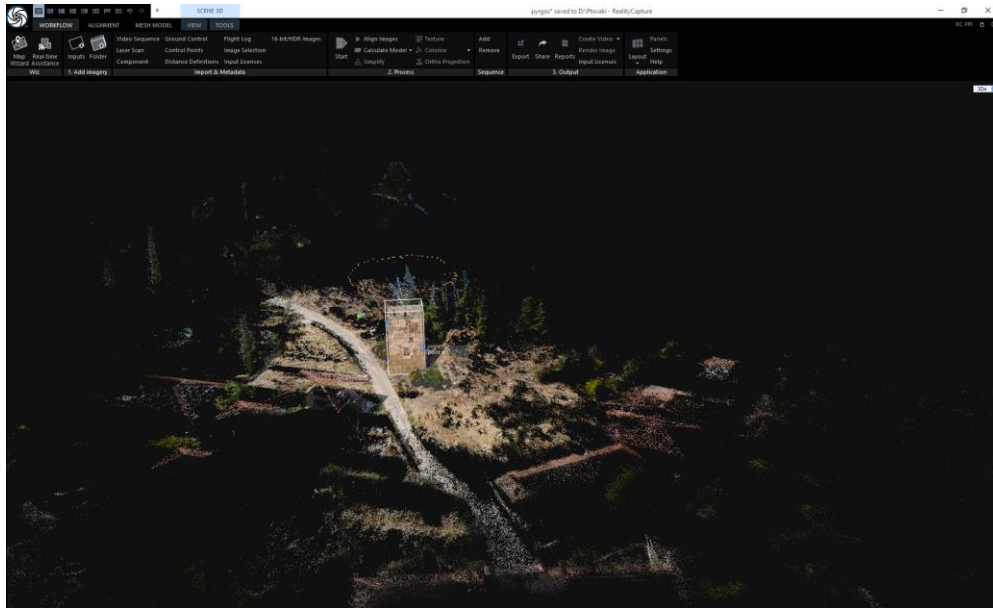
Το πρώτο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε, λόγω της χρήσης συνδυασμού drone και επίγειας κάμερας αλλά και ταυτόχρονης λήψης του εξωτερικού αλλά και του εσωτερικού του πύργου ήταν όταν αρχικά δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά νέφη σημείων, ένα για τις λήψεις του drone, ένα για τις λήψεις της επίγειας κάμερας και ένα για το εσωτερικό. Τα τρία αυτά νέφη δεν είχαν ταύτιση μεταξύ τους.

Για να λύσουμε αυτό το πρόβλημα τοποθετήσαμε χειροκίνητα κάποια σημεία ελέγχου (control points) σε συγκεκριμένα σημεία του πύργου που ήταν ορατά και από πχ λήψη του drone και από επίγεια λήψη (Εικόνα 15)



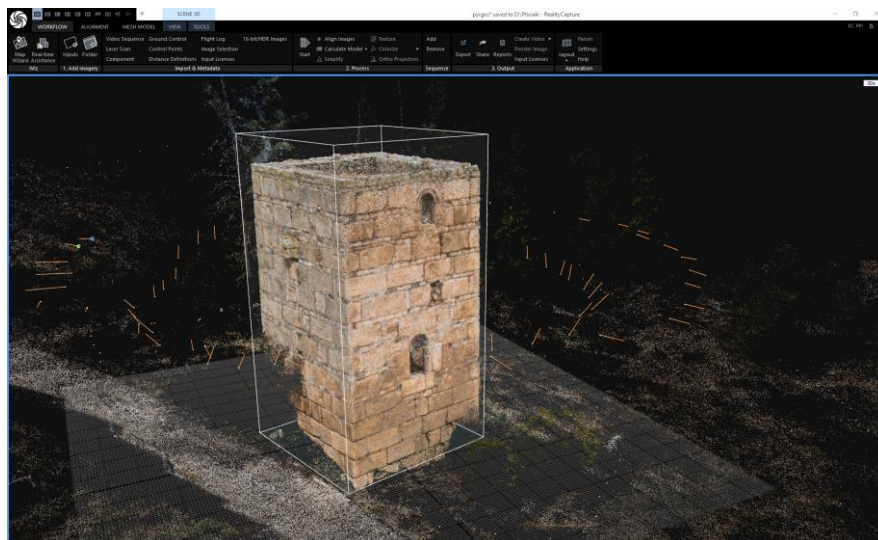
Εικόνα 15. Ορισμός σημείων ελέγχου σε φωτογραφίες του drone και της επίγειαας κάμερας, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Με τον τρόπο αυτό βοηθήσαμε το RealityCapture να ταυτίσει τα νέφη και να δημιουργήσει ένα ενιαίο νέφος σημείων που συνδυάζει όλες τις λήψεις μας (Εικόνα 16).



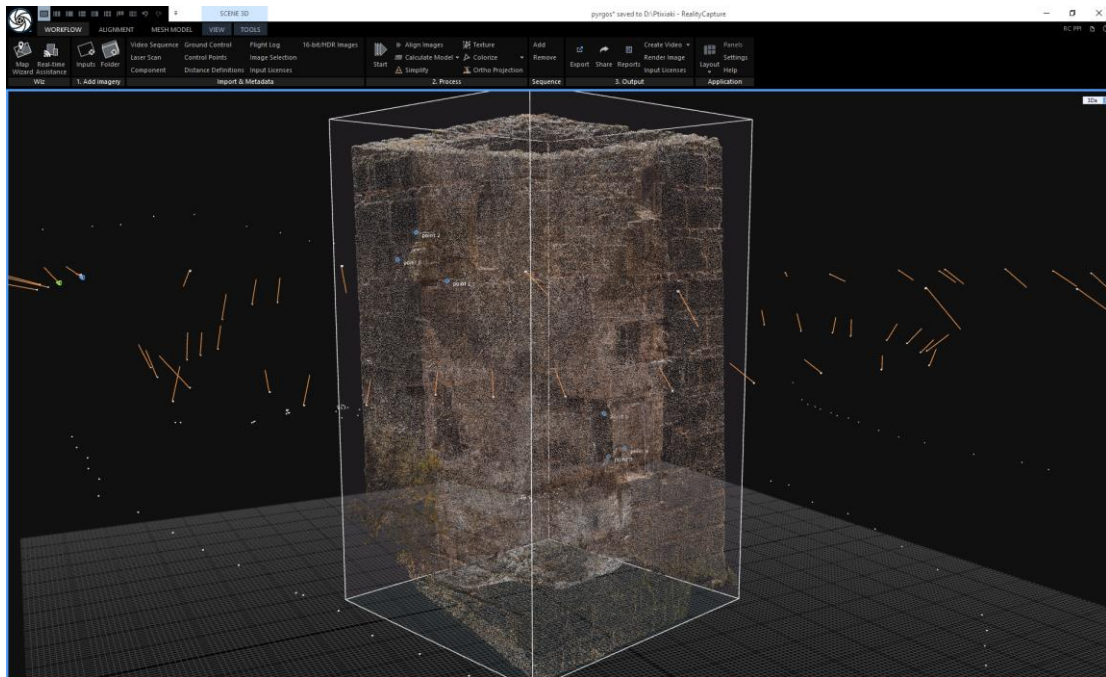
Εικόνα 16. Το νέφος σημείων του Πύργου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Όπως παρατηρούμε, το νέφος σημείων αποτελείται από χιλιάδες σημεία τα οποία ήδη έχουν αρχίσει να σχηματίζουν το τρισδιάστατο σχήμα του πύργου. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε σε αυτή τη φάση είναι ότι το RealityCapture έχει συμπεριλάβει και χιλιάδες σημεία που μας είναι άχρηστα όπως ο περίγυρος, δέντρα κ.α. Αυτό λύνεται εύκολα ορίζοντας με ένα πλαίσιο (Reconstruction Region) μόνο το κομμάτι του νέφους που μας ενδιαφέρει και κάνοντας ξανά Image Alignment (Εικόνα 17).

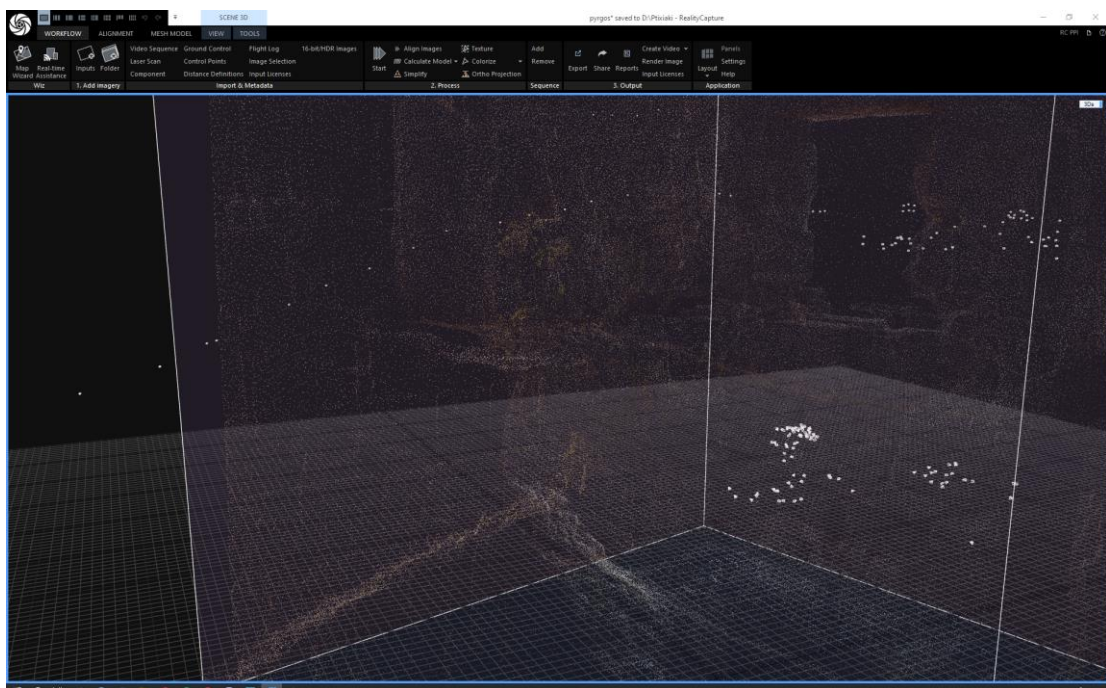


Εικόνα 17. Απομόνωση πύργου στο νέφος σημείων, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Με αυτό τον τρόπο το RealityCapture αγνοεί όλα τα σημεία που δεν αφορούν τον πύργο και δημιουργείται ένα πιο καθαρό νέφος (Εικόνες 18 & 19).

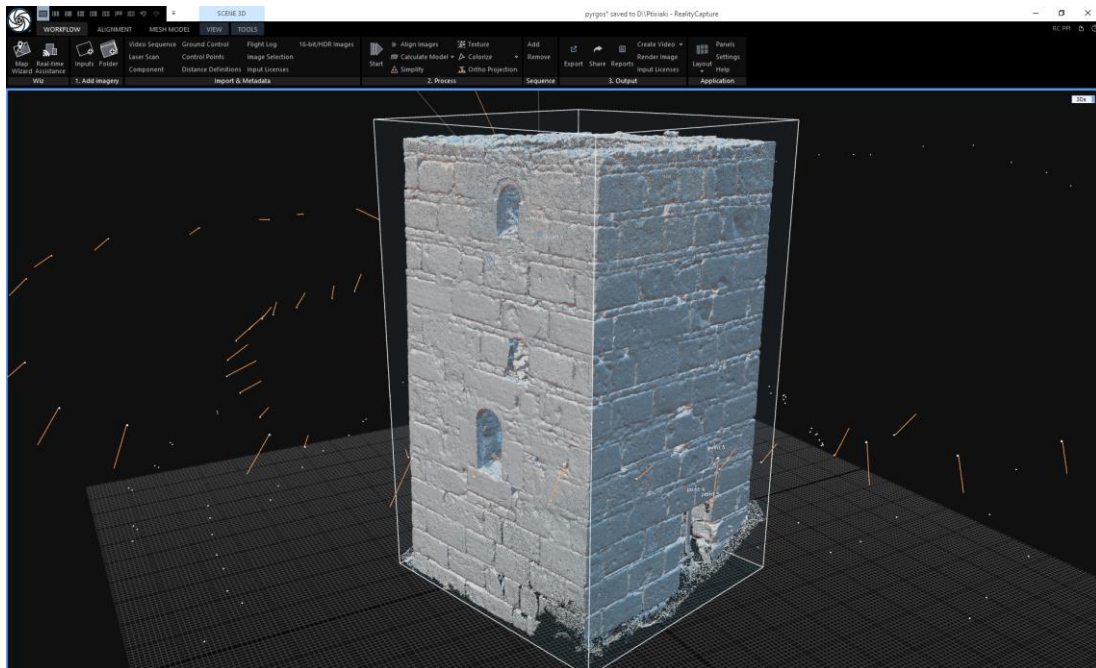


Εικόνα 18. Νέφος σημείων του Πύργου, πηγή Σεραφεΐμ Καραΐσκος



Εικόνα 19. Λεπτομέρεια από το νέφος σημείων του Πύργου, πηγή Σεραφεΐμ Καραΐσκος

Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία της γεωμετρίας του 3D μοντέλου με βάση το νέφος σημείων. Σε αυτή τη φάση ο αλγόριθμος του RealityCapture χρησιμοποιεί τα σημεία του νέφους για να σχηματίσει μια συνεχή γεωμετρική επιφάνεια που προσεγγίζει με ακρίβεια χιλιοστών το πραγματικό αντικείμενο (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Το αρχικό 3D μοντέλο του πύργου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Το αρχικό μοντέλο του πύργου αποτελείται από 131.000.000 πολύγωνα, προσφέροντας απίστευτα επίπεδα λεπτομέρειας στο 3D μοντέλο, αλλά παράλληλα καθιστώντας αδύνατη τη χρήση του μοντέλου σε μια εφαρμογή κινητών τηλεφώνων, λόγω του περιορισμένων δυνατοτήτων hardware των κινητών.

Το επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι η απλοποίηση (simplification) που μειώνει τον αριθμό των πολυγώνων, χωρίς ορατή διαφορά στην ποιότητα και την λεπτομέρεια του μοντέλου. Μετά από αυτή την διαδικασία το μοντέλο έχει 1.000.000 πολύγωνα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί επαρκώς σε κινητές συσκευές.

Το επόμενο στάδιο στη δημιουργία του 3D μοντέλου, το οποίο θα αποδώσει και τον απαιτούμενο ρεαλισμό, είναι η εφαρμογή χρωμάτων και υφών στο μοντέλο (texturing). Από τη στιγμή που το μοντέλο μας έχει δημιουργηθεί με βάση φωτογραφικό υλικό, το RealityCapture έχει όλη την πληροφορία που χρειάζεται για να υπολογίσει με ακρίβεια τις υφές πάνω στο 3D μοντέλο (Εικόνα 21).



Εικόνα 21. Το τελικό 3D μοντέλο που προέκυψε από το RealityCapture, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

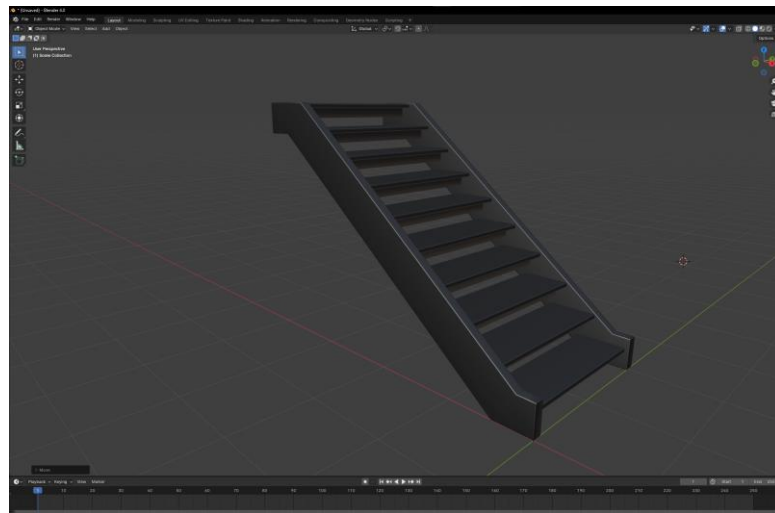
Το τελευταίο βήμα στο RealityCapture είναι να εξαγάγουμε το 3D μοντέλο σε μια μορφή αρχείου, η οποία να μπορεί να εισαχθεί και να χρησιμοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές. Για τις ανάγκες μας επιλέξαμε να εξαγάγουμε το μοντέλο σε μορφή Autodesk FBX [40] και το texture σε PNG.

3.6 Ψηφιακή αναστήλωση πύργου

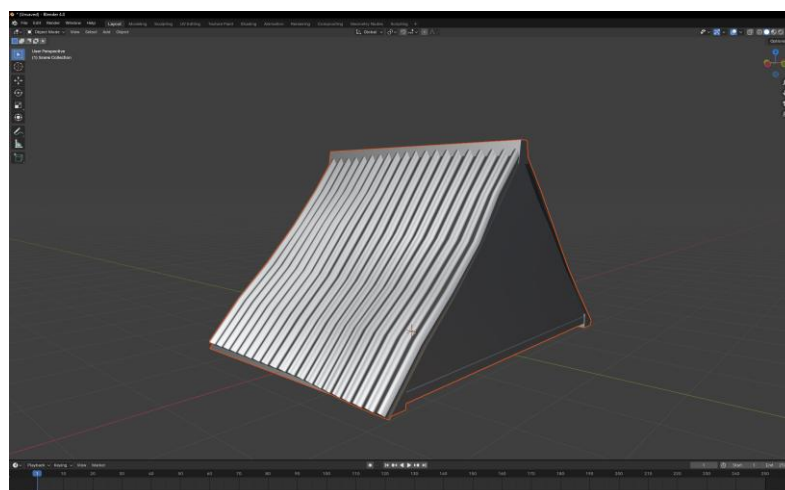
Για να προσδώσουμε κατά το δυνατόν την ψευδαίσθηση ότι ο χρήστης της εφαρμογής έχει μπροστά του το μνημείο, όπως αυτό ήταν στην αρχαιότητα, έπρεπε να επέμβουμε στο 3D μοντέλο ώστε να προσθέσουμε στοιχεία του μνημείου που δεν έχουν διασωθεί [41].

Τέτοια στοιχεία είναι η στέγη, η σκάλα που οδηγούσε στην είσοδο του πύργου, τα ξύλινα πατώματα των ορόφων κ.α.

Αρχικά, συμβουλευτήκαμε την εφορία αρχαιοτήτων Φθιώτιδας αλλά και τοπικούς αρχιτέκτονες, οι οποίοι μας έδωσαν κάποιες κατευθύνσεις για το πως πιθανώς ήταν αυτά τα στοιχεία. Στη συνέχεια σχεδιάσαμε σε 3D αυτά τα στοιχεία στο πρόγραμμα δημιουργίας 3D μοντέλων, Blender, ένα πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα (Εικόνα 22 & 23).



Εικόνα 22. Η σκάλα του πύργου στο Blender, πηγή Σεραφεΐμ Καραΐσκος



Εικόνα 23. Η στέγη του πύργου στο Blender, πηγή Σεραφεΐμ Καραΐσκος

Τα 3D μοντέλα που σχεδιάσαμε, στη συνέχεια συνδυάστηκαν με το μοντέλο του πύργου, έτσι ώστε να αποτελούν μια ενιαία οντότητα.

3.7 Βασική περιγραφή και δομή της εφαρμογής CulturalAR

Ο πυρήνας της παρούσας διπλωματικής είναι η εφαρμογή CulturalAR. Η εφαρμογή έχει σκοπό να αναδείξει μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς και να διδάξει την ιστορία τους μέσα από την τεχνολογία Επαυξημένης Πραγματικότητας [42], κάνοντας έτσι την εκπαιδευτική διαδικασία καινοτόμο και διασκεδαστική.

Σκοπός μας ήταν να αναπτύξουμε μια εφαρμογή που να έχει πρακτική χρήση σε πολλαπλά σενάρια, όπως για παράδειγμα σε μια επίσκεψη στον φυσικό χώρο του μνημείου, ή εναλλακτικά μέσα στην τάξη ενός σχολείου.

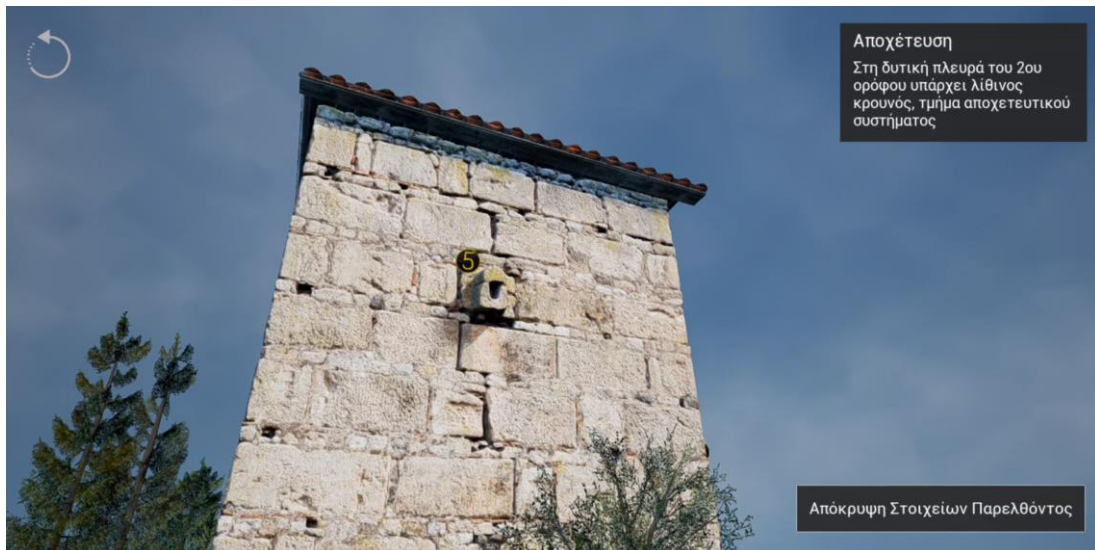
Γι' αυτό τον λόγο η εφαρμογή αποτελείται από δύο βασικές ενότητες. Η Εξερεύνηση με AR (Εικόνα 24) επιτρέπει στον χρήστη που έχει επισκεφτεί τον φυσικό χώρο του μνημείου να προβάλει μέσω ΕΠ το 3D μοντέλο ακριβώς στη θέση του πραγματικού μνημείου, απλά κοιτώντας το πραγματικό μνημείο μέσα από την κάμερά του, χωρίς να χρειαστεί να σκανάρει markers κτλ. Παράλληλα εμφανίζονται σε συγκεκριμένα σημεία του μνημείου κάποια hotspots, πχ δίπλα στην είσοδο του πύργου, τα οποία αφού τα πατήσει με το δάχτυλό του, μπορεί να λάβει πληροφορίες για το συγκεκριμένο τμήμα του μνημείου. Τέλος, έχει την δυνατότητα να εμφανίσει τα επιπλέον στοιχεία του μνημείου, τα οποία δεν έχουν διασωθεί, εμφανίζοντας μια εκδοχή του μνημείου, όπως αυτό ήταν στην αρχαιότητα.



Εικόνα 24. Εξερεύνηση με AR, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Η ενότητα Εξερεύνηση χωρίς AR (Εικόνα 25) έχει σχεδιαστεί για χρήση μακριά από τον φυσικό χώρο του μνημείου, όπως για παράδειγμα στο σπίτι, ή στην σχολική αίθουσα. Σε αυτή την ενότητα έχει γίνει μια εικονική απεικόνιση όχι μόνο του μνημείου, αλλά και του

περίγυρου χώρου. Ο χρήστης περιηγείται σε ένα πλήρως εικονικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας τα δάχτυλά του για να κοιτάξει τριγύρω του και για να μετακινηθεί στο 3D περιβάλλον. Έχει την ελευθερία να κινηθεί γύρω από το μνημείο, να μπει στο εσωτερικό του, να εμφανίσει τα στοιχεία του πύργου που δεν έχουν διασωθεί και φυσικά να χρησιμοποιήσει τα hotspots για να λάβει τις πληροφορίες για επιμέρους σημεία του μνημείου.



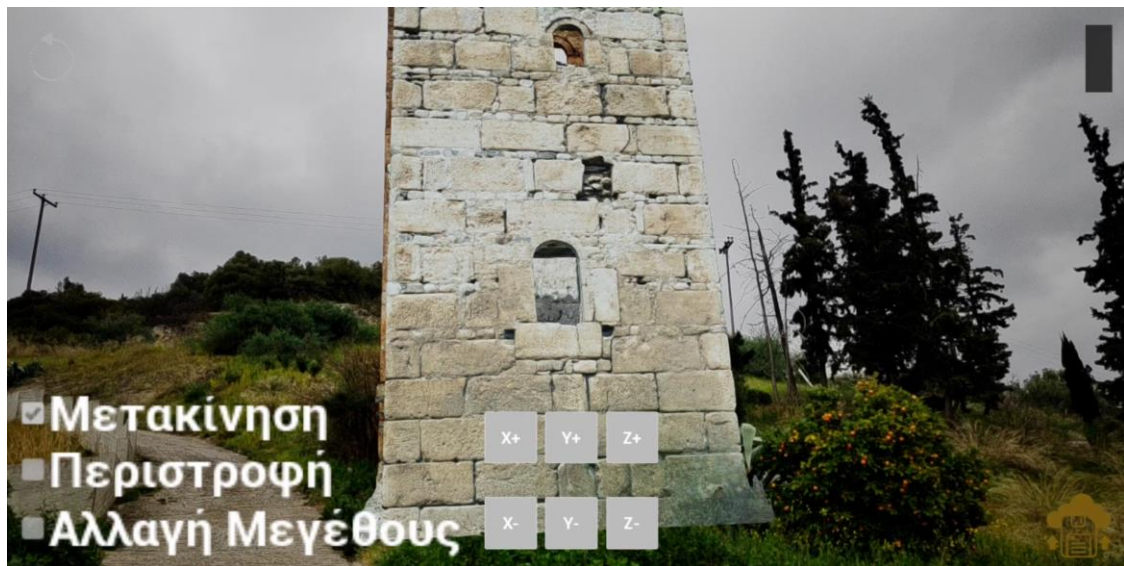
Εικόνα 25. Εξερεύνηση χωρίς AR, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Υπάρχει και μια τρίτη, βοηθητική ενότητα, η Διαχείριση Μνημείου (Εικόνα 26). Στην παρούσα φάση της εφαρμογής χρησιμοποιείται για την πρωτότυπη μέθοδο που έχουμε αναπτύξει για την ταύτιση της θέσης, του προσανατολισμού και της κλίμακας του μνημείου στο 3D μοντέλο με αυτή του μνημείου στον πραγματικό κόσμο. Η όσο το δυνατόν πιο ακριβής ταύτιση της θέσης του εικονικού και του πραγματικού μνημείου είναι πολύ σημαντική για να έχει ο χρήστης μια ολοκληρωμένη εμπειρία στον χώρο του μνημείου.

Στη Διαχείριση μνημείου, αφού ο χρήστης σκανάρει το περιβάλλον και εντοπίσει ένα επίπεδο σημείο, τοποθετεί το 3D μοντέλο στον πραγματικό κόσμο. Στην οθόνη του εμφανίζονται κάποια κουμπιά χειρισμού, με τα οποία μπορεί να αλλάξει θέση, να περιστρέψει και να αλλάξει το μέγεθος του μοντέλου. Χρησιμοποιεί αυτά τα χειριστήρια ώστε να ταυτίσει πλήρως την θέση, τον προσανατολισμό και την κλίμακα του 3D μοντέλου με αυτή του πραγματικού μνημείου.

Η εφαρμογή στο παρασκήνιο λαμβάνει στις γεωγραφικές συντεταγμένες του χρήστη από το GPS της συσκευής του και βάση αυτές υπολογίζει τις γεωγραφικές συντεταγμένες

του 3D μοντέλου μέσα στον πραγματικό κόσμο. Επειδή βέβαια, ο εντοπισμός θέσης μέσω GPS μπορεί να έχει απόκλιση αρκετών μέτρων η εφαρμογή καταγράφει και οπτικά δεδομένα μέσω της κάμερας του κινητού, ώστε να μπορεί να οριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η θέση του μοντέλου στον πραγματικό χώρο. Γι' αυτό τον λόγο είναι σημαντικό να στρέψουμε την κάμερα περιμετρικά του μνημείου για να συλλέξουμε όσο πιο πολλά δεδομένα μπορούμε. Όταν η εφαρμογή έχει συλλέξει ικανοποιητικό αριθμό δεδομένων για να μπορεί να οριστεί με ακρίβεια η θέση του μνημείου, εμφανίζεται στην οθόνη μας η ένδειξη ότι μπορούμε να αποθηκεύσουμε τα στοιχεία τοποθέτησης στο cloud. Στην παρούσα φάση της εφαρμογής, για τα παραπάνω χρησιμοποιούμε την τεχνολογία Spatial Anchors της Microsoft Azure Cloud.



Εικόνα 26. Διαχείριση μνημείου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Σε μελλοντικές εκδόσεις της εφαρμογής η ενότητα Διαχείριση μνημείου, θα επιτρέπει σε κάθε χρήστη να μπορεί να ανεβάσει το μνημείο της περιοχής του στην εφαρμογή και να είναι διαθέσιμο για όλους του χρήστες, ενώ παράλληλα θα αναπτύξουμε την δική μας τεχνολογία Spatial Anchors.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζουμε αναλυτικά την μεθοδολογία ανάπτυξης της εφαρμογής με την χρήση της Unreal Engine και θα αναφερθούμε επίσης σε όλα τα μελλοντικά σχέδια ανάπτυξης.

3.8 Επιλογή της Unreal Engine ως εργαλείο ανάπτυξης

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής CulturalAR επιλέξαμε την Unreal Engine (Εικόνα 27) ως εργαλείο ανάπτυξης, καθώς κάλυπτε όλες τις απαιτήσεις μας.

Καταρχάς, η Unreal Engine είναι μία από τις κορυφαίες μηχανές ανάπτυξης παιχνιδιών (game engine) στην αγορά, γνωστή για την ισχυρή απόδοση γραφικών και την υψηλή ποιότητα απεικόνισης. Αυτό την καθιστά ιδανική για τη δημιουργία εφαρμογών AR που απαιτούν φωτορεαλιστικές γραφικές απεικονίσεις.

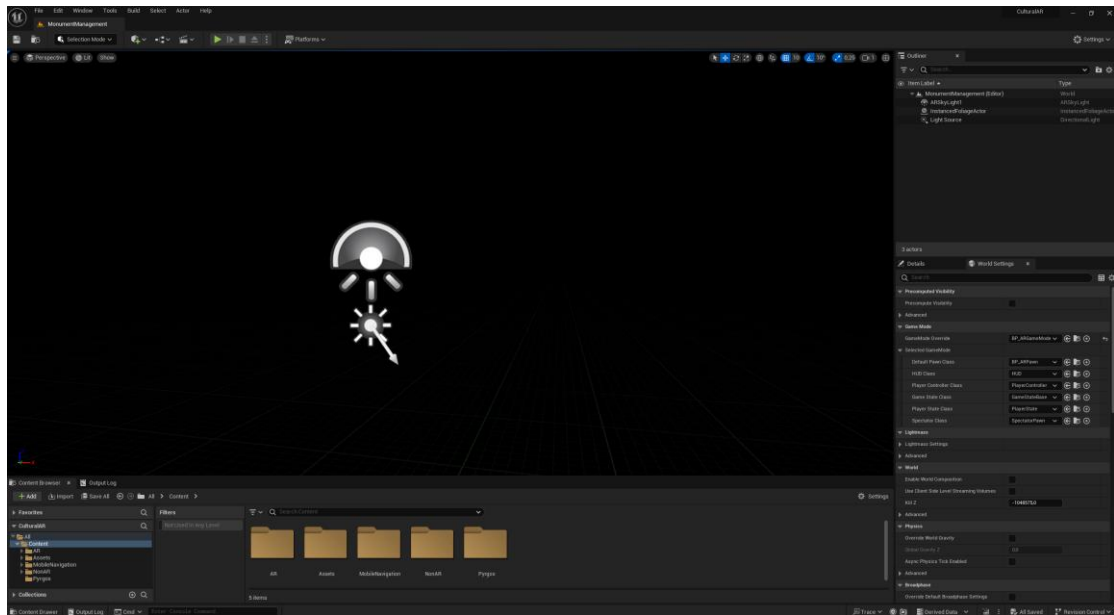
Επιπλέον, η Unreal Engine παρέχει μια πληθώρα εργαλείων και λειτουργιών που διευκολύνουν την ανάπτυξη εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της υποστήριξης για τις πλατφόρμες Android και iOS. Η Unreal Engine παρέχει εγγενή υποστήριξη για το ARCore της Google και το ARKit της Apple, τα δύο κυρίαρχα frameworks για την ανάπτυξη εφαρμογών AR για κινητές συσκευές [43].

Ένα άλλο σημαντικό κριτήριο επιλογής ήταν η υποστήριξη της Unreal Engine προς τα Spatial Anchors, μέσω της Azure, ένα σημαντικό κομμάτι της ιδέας υλοποίησης και της καινοτομίας της εφαρμογής.

Βασικό επίσης ήταν ότι η γλώσσα προγραμματισμού της Unreal Engine είναι C++, μια από τις πιο ισχυρές και διαδεδομένες γλώσσες προγραμματισμού, ενώ παράλληλα υποστηρίζει και μια εναλλακτική μορφή οπτικού προγραμματισμού, που την ονομάζει Blueprints.

Τέλος, η Unreal Engine έχει μια τεράστια κοινότητα που παρέχει υποστήριξη και πληροφορίες σε προγραμματιστές. Αυτό είναι σημαντικό, καθώς η δυνατότητα ανταλλαγής γνώσεων με άλλους μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία ανάπτυξης και να επιλύσει πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια του έργου.

Η ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε στην έκδοση 5.3 της Unreal Engine.

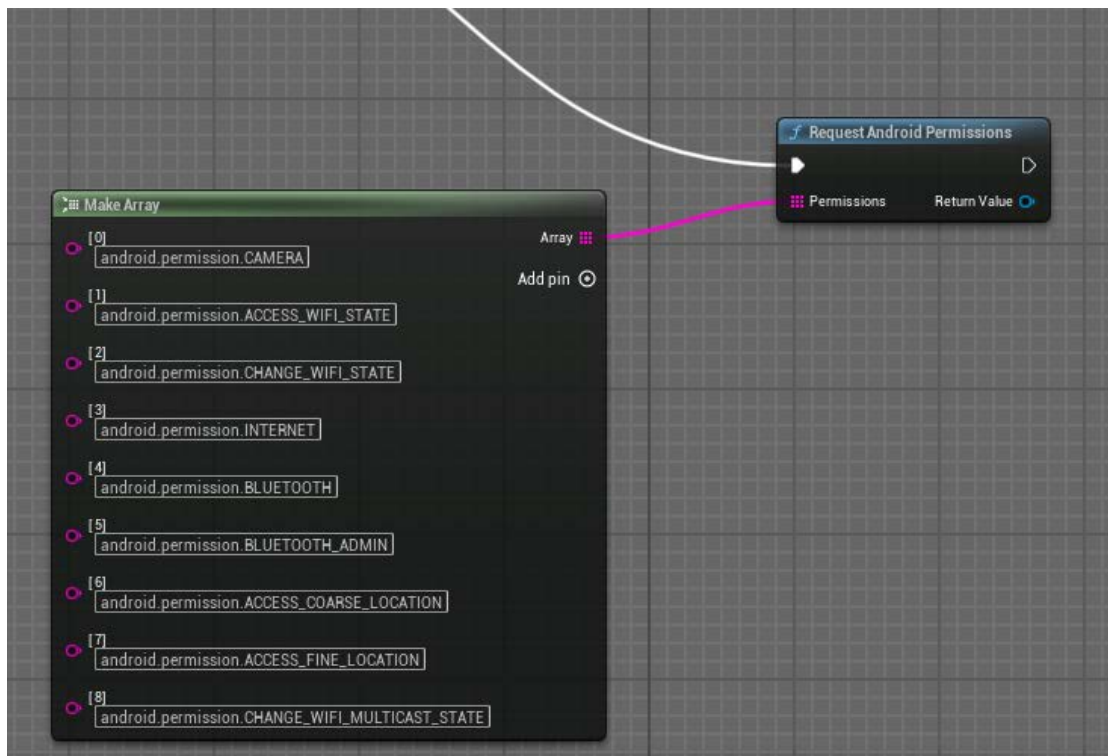


Εικόνα 27. Το περιβάλλον ανάπτυξης της Unreal Engine, πηγή Σεραφείμ Καράϊσκος

3.9 Ανάπτυξη ενότητας Διαχείριση Μνημείου

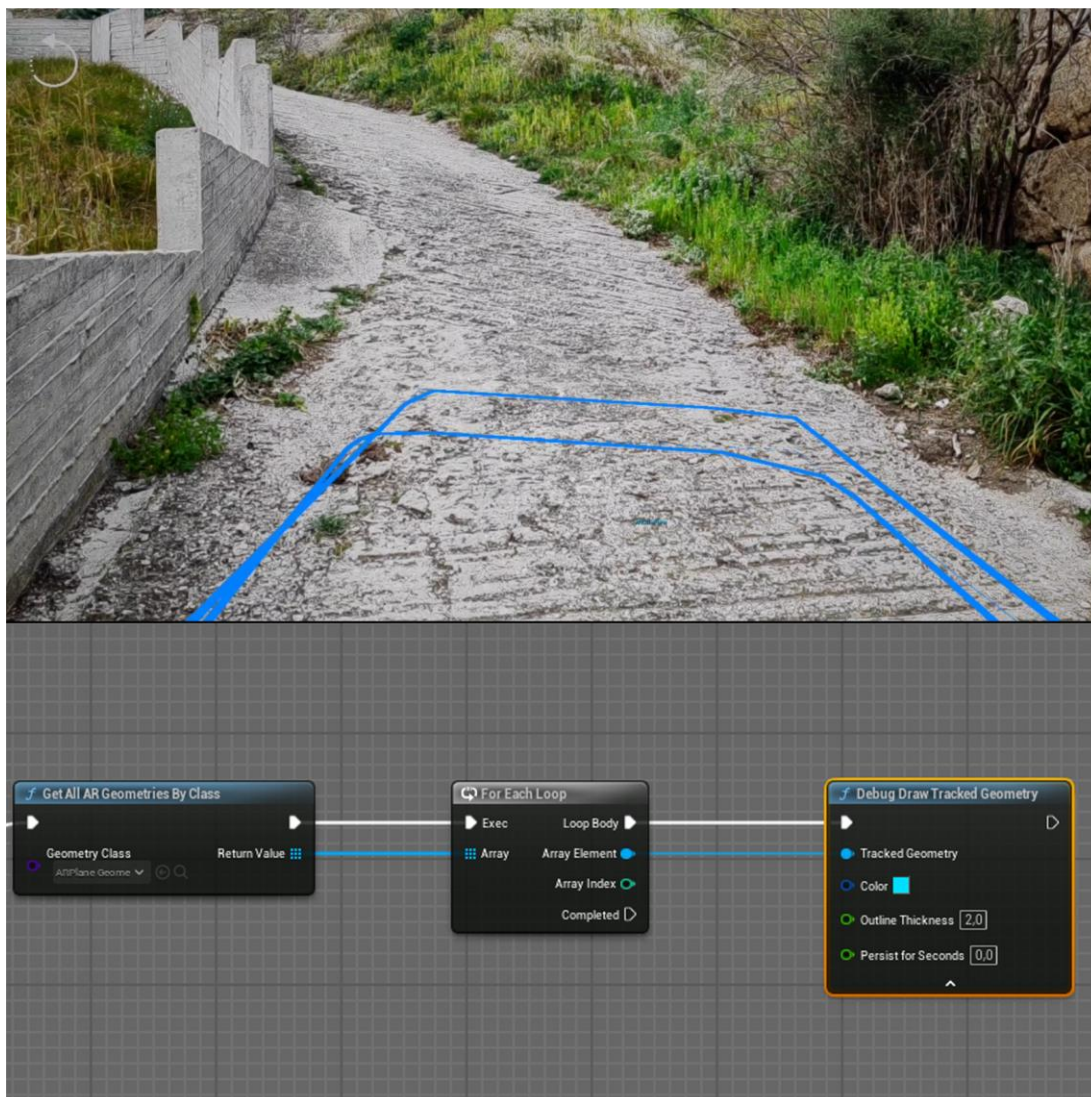
Το πιο σημαντικό σημείο της εφαρμογής και αυτό που λύνει τα προβλήματα που συναντήσαμε σε άλλες εφαρμογές είναι η ενότητα Διαχείριση Μνημείου. Αυτή η λειτουργία της εφαρμογής χρησιμοποιείται για να τοποθετήσει το 3D μοντέλο του μνημείου σε μια συγκεκριμένη θέση στον πραγματικό κόσμο και να αποθηκεύσει όλες τις παραμέτρους της θέσης στο Cloud, ώστε να είναι εφικτό να εμφανίζεται στην ίδια ακριβώς θέση που ορίστηκε σε όλους τους χρήστες που επισκέπτονται το μνημείο.

Αρχικά δημιουργούμε ένα νέο AR session για να έχουμε πρόσβαση σε όλες τις ρουτίνες που προσφέρει το SDK του λειτουργικού της συσκευής μας (ARCore για Android, ARKit για iOS). Την πρώτη φορά που ο χρήστης θα κάνει χρήση της λειτουργίας Διαχείριση Μνημείου, θα του ζητηθεί να δώσει άδεια πρόσβασης στην κάμερα του κινητού του και στις υπηρεσίες τοποθεσίας (Εικόνα 28). Χωρίς τις συγκεκριμένες άδειες, το AR Session δεν μπορεί να ξεκινήσει. Επιπλέον, ζητούμε κάποιες πρόσθετες άδειες από το λειτουργικό, ώστε να μπορούμε να αποθηκεύουμε δεδομένα στο cloud.



Εικόνα 28. Παράδειγμα αιτήματος αδειών στο λειτουργικό του Android, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Αφού λοιπόν, δοθούν οι απαραίτητες άδειες, η εφαρμογή αρχίζει να σκανάρει μέσω της κάμερας τον χώρο στον οποίο βρισκόμαστε, αναζητώντας κατάλληλο επίπεδο στο οποίο θα μπορούμε να τοποθετήσουμε αρχικά το 3D μοντέλο του μνημείου. Κάθε κατάλληλο επίπεδο που εντοπίζεται, επισημαίνεται στην οθόνη με ένα μπλε πλαίσιο (Εικόνα 29). Έπειτα, ο χρήστης το μόνο που έχει να κάνει είναι να πατήσει πάνω στον επισημασμένο επίπεδο της επιλογής του και το 3D μοντέλο του μνημείου θα εμφανιστεί, ως τμήμα του πραγματικού κόσμου.



Εικόνα 29. Η λειτουργία αναζήτησης επιπέδων και ο αντίστοιχος κώδικας, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Αφού το μοντέλο τοποθετηθεί στον πραγματικό κόσμο η εφαρμογή αφενός εμφανίζει στον χρήστη ένα μενού διεπαφής για την ακριβή μετακίνηση, περιστροφή και αλλαγή μεγέθους του μοντέλου. Με αυτό τον τρόπο έχει τον απόλυτο έλεγχο ώστε να τοποθετήσει το 3D μοντέλο σε τέτοιο σημείο στον πραγματικό κόσμο, ώστε να ταυτίζεται επακριβώς με το πραγματικό μνημείο.

Παράλληλα, στο παρασκήνιο δημιουργεί μια σύνδεση με το Azure Cloud και την υπηρεσία Spatial Anchors. Όταν επιτευχθεί η σύνδεση, εκτελούνται δύο διαδικασίες. Αφενός η εφαρμογή αναζητά στην περιοχή που βρισκόμαστε για την ύπαρξη ήδη αποθηκευμένου μνημείου στο Cloud. Αν βρεθεί, μας ενημερώνει και μας δίνει την δυνατότητα να το διαγράψουμε. Αφετέρου, αρχίζουμε να συλλέγουμε δεδομένα γεωγραφικών συντεταγμένων από το GPS της συσκευής αλλά οπτικά δεδομένα από την

κάμερα, ώστε να μπορούμε να ορίσουμε επακριβώς την εκάστοτε θέση του 3D μοντέλου στον πραγματικό κόσμο. Αυτά τα δεδομένα είναι που αποθηκεύονται στο Azure Cloud, ως Spatial Anchor, όταν ο χρήστης είναι ικανοποιημένος με τη θέση του μνημείου και επιλέξει να το αποθηκεύσει.

Για να είμαστε σίγουροι ότι έχουμε αρκετά δεδομένα για να μπορούμε να ορίσουμε με υψηλή ακρίβεια την θέση του 3D μοντέλου του μνημείου στον πραγματικό κόσμο, έχουμε ορίσει ένα αριθμητικό σκορ το οποίο αποτελείται από την ακρίβεια της γεωγραφικής θέσης που λάβαμε από το GPS και από την ποιότητα των οπτικών δεδομένων που λάβαμε από την κάμερα. Αν αυτό το σκορ είναι μικρότερο της μονάδας, τότε δεν έχουμε αρκετά δεδομένα για ακριβή ορισμό θέσης και δεν δίνουμε στον χρήστη την δυνατότητα αποθήκευσης. Αν το σκορ είναι μεγαλύτερο της μονάδας, τότε ενεργοποιούμε την δυνατότητα αποθήκευσης στο Cloud και εμφανίζουμε στον χρήστη την αντίστοιχη επιλογή [44].

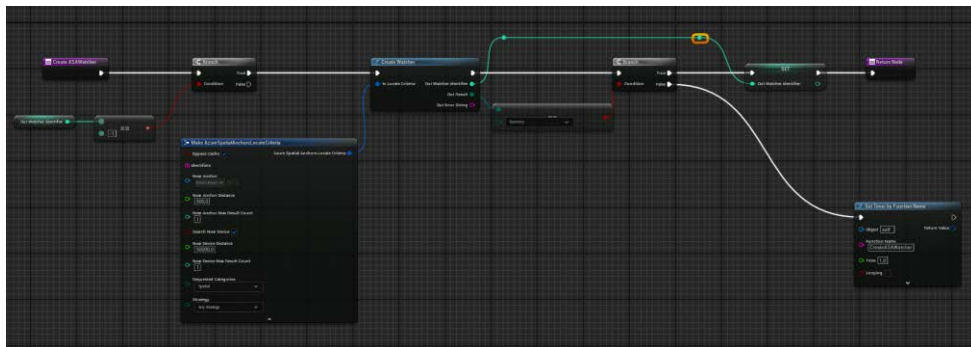
Αν ο χρήστης είναι ικανοποιημένος από τη θέση του 3D μοντέλου και έχει ενεργοποιηθεί η δυνατότητα αποθήκευσης, επιλέγει την Αποθήκευση και δημιουργείται στο Azure Cloud ένα Spatial Anchor με την πληροφορία της θέσης, του προσανατολισμού και της κλίμακας του μοντέλου καθώς επίσης και οπτικές πληροφορίες από τον περίγυρο χώρο, δεδομένα που χρησιμοποιούνται συνολικά από τα Azure Spatial Anchors για τον ακριβή ορισμό της θέσης του 3D μοντέλου.

Ένα πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε σε αυτή την διαδικασία ήταν ένα bug στην υλοποίηση μιας ρουτίνας της Unreal Engine, της “Pin Component”. Η Pin Component αγκιστρώνει ένα αντικείμενο με συντεταγμένες του ψηφιακού περιβάλλοντος της Unreal Engine σε συντεταγμένες του πραγματικού κόσμος, όπως τον αντιλαμβάνεται το AR Session. Αυτό το bug είχε ως αποτέλεσμα να μην αποθηκεύει την κλίμακα (Scale) του 3D μοντέλου στο Azure Cloud σωστά. Λύσαμε αυτό το πρόβλημα, δημιουργώντας μια απλοποιημένη εκδοχή ενός δικού μας cloud, στο οποίο αποθηκεύουμε μόνο την κλίμακα του μοντέλου. Οπότε η τοποθεσία και ο προσανατολισμός αποθηκεύονται στο Azure Cloud ενώ η κλίμακα στο δικό μας cloud. Το δικό μας cloud αποτελείται από ένα web πρόγραμμα γραμμένο σε PHP το οποίο λαμβάνει κλήσεις GET από την εφαρμογή. Περιλαμβάνει δύο υπορουτίνες. Αποθήκευση κλίμακας και ανάκτηση κλίμακας. Η ανάκτηση της κλίμακας χρησιμοποιείται παρακάτω στην ενότητα Εξερεύνηση με AR.

3.10 Ανάπτυξη ενότητας Εξερεύνηση με AR

Αυτή η λειτουργία δίνει την δυνατότητα στον χρήστη της εφαρμογής να εξερευνήσει το μνημείο και να λάβει πληροφορίες, όταν αυτός βρίσκεται στον φυσικό χώρο του μνημείου. Σε αυτή την λειτουργία δημιουργούμε ξανά ένα AR Session καθώς και διασύνδεση με το Azure Cloud Spatial Anchors.

Αυτή τη φορά όμως, αντί να σκανάρουμε για να εντοπίσουμε επίπεδα στον χώρο, σκανάρουμε την περιοχή γενικότερα και πιο συγκεκριμένα κοιτάμε το πραγματικό μνημείο μέσα από την κάμερά μας. Η εφαρμογή στέλνει τα γεωγραφικά δεδομένα του GPS και τα οπτικά δεδομένα της κάμερας στο Azure Cloud και ελέγχει αν υπάρχει αποθηκευμένο Spatial Anchor που να ταιριάζει με τα δεδομένα αυτά (Εικόνα 30) [45].



Εικόνα 30. Έλεγχος για αποθηκευμένα Spatial Anchors, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Αν βρεθεί Spatial Anchor που να ταιριάζει με την αναζήτησή μας, αρχικά σταματάμε την διαδικασία αναζήτησης για να ελευθερώσουμε πόρους του συστήματος. Έπειτα, εμφανίζουμε στον χρήστη το 3D μοντέλο του μνημείου σε πλήρη ταύτιση με το πραγματικό μνημείο. Επιπλέον, εμφανίζουμε την διεπαφή εξερεύνησης μνημείου, που δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να διαβάσει για την ιστορία και την κατασκευή του μνημείου, να λάβει πληροφορίες για συγκεκριμένα τμήματα του μνημείου και να εμφανίσει τα στοιχεία του παρελθόντος (πχ στέγη) τα οποία δεν σώζονται στο πραγματικό μνημείο (Εικόνα 31).



Εικόνα 31. Εμφάνιση του μοντέλου στον πραγματικό κόσμο και η εκπαιδευτική διεπαφή, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Η διεπαφή του χρήστη αποτελείται από τα εξής τμήματα. Αρχικά από το πλήκτρο Εμφάνιση Στοιχείων Παρελθόντος. Πατώντας αυτό το πλήκτρο εμφανίζονται στην οθόνη και σε πλήρη ταύτιση με το 3D μοντέλο επιπλέον αρχιτεκτονικά στοιχεία του μνημείου, τα οποία δεν έχουν διασωθεί. Στο παράδειγμά μας, με τον πύργο του Αχινού, εμφανίζεται εξωτερικά η στέγη, η σκάλα που οδηγεί στην είσοδο του πρώτου ορόφου και εσωτερικά το πάτωμα το πρώτου ορόφου με την σκάλα που οδηγούσε στο ισόγειο καθώς και κάποια διακοσμητικά στοιχεία.

Το δεύτερο κομμάτι της διεπαφής του χρήστη αποτελείται από αριθμημένα πλήκτρα, αγκιστρωμένα σε συγκεκριμένα σημεία του μνημείου στον 3D χώρο. Πατώντας κάθε ένα από τα πλήκτρα αυτά λαμβάνουμε πληροφορίες για το συγκεκριμένο σημείο του μνημείου.

Τα πλήκτρα αυτά είναι έτσι δημιουργημένα ώστε να είναι ορατά από όποια απόσταση κι αν κοιτάζει ο χρήστης το μνημείο και ο αριθμός του κάθε πλήκτρου να είναι πάντα ορατός, άσχετα από τη γωνία θέασης.

Ο τρόπος που αναπτύξαμε για να προσθέτουμε το εκπαιδευτικό υλικό του μνημείου περιλαμβάνει δύο βήματα:

Αρχικά, δημιουργούμε ένα πίνακα (Array) με τις προς εμφάνιση πληροφορίες (Εικόνα 32). Για κάθε σημείο ενδιαφέροντος αυτή τη στιγμή χρησιμοποιούνται έναν τίτλος και ένα μικρό κείμενο, αλλά μελλοντικά μπορεί να διανθιστεί με πλούσιο οπτικοακουστικό περιεχόμενο.

▼ Model 1	
▼ Title Text	8 Array elements
Index [0]	Γενικές πληροφορίες
Index [1]	Σκεπή
Index [2]	Παράθυρο 2ου ορόφου
Index [3]	Ογκόλιθοι
Index [4]	Εισόδος πύργου
Index [5]	Αποχέτευση
Index [6]	Μεταγενέστερο άνοιγμα
Index [7]	Επεμβάσεις
▼ Description Text	8 Array elements
Index [0]	Ο πύργος είναι τετράγωνος με πλευρά μήκους 5,70 μ., πάχος τοιχών 1μ. και μέγιστο ύψος που υπολογίζεται σε 12,29 μ.
Index [1]	Ο πύργος στεγάζεται από μια κεραμοσκεπή, όπως αποδεικνύουν ευρήματα στον χώρο του πύργου αλλά και στην οροφή του.
Index [2]	Στον 2ο όροφο υπάρχει ένα παράθυρο με λίθινο τοξωτό πλαίσιο για να υπάρχει φυσικός φωτισμός.
Index [3]	Για την οικοδόμηση του πύργου χρησιμοποιήθηκαν ογκόλιθοι από τα ερείπια της ακρόπολης του αρχαίου Σουλίου.
Index [4]	Η είσοδος του πύργου είναι τοξωτή, βρίσκεται σε ύψος 3μ. από τη στάση του εδάφους και αντιστοιχεί στην είσοδο του πύργου.
Index [5]	Στη δυτική πλευρά του 2ου ορόφου υπάρχει λίθινος κρονόσ, τμήμα αποχετευτικού συστήματος.
Index [6]	Το ισόγειο ήταν αρχικά κλειστό και αναμφίβολα θα χρησιμοποιούνταν ως αποθηκευτικός χώρος. Το εσωτερικό του πύργου είναι κλειστό.
Index [7]	Ο πύργος έχει υποστεί κατά καιρούς διάφορες επεμβάσεις, στις οποίες οφείλονται τα δύο μεγάλα ανοίγματα που υπάρχουν στην πρόσοψη.

Εικόνα 32. Πίνακας εκπαιδευτικού περιεχομένου μνημείου, πηγή Σερραφεΐμ Καραϊσκος

Στη συνέχεια για κάθε σημείο ενδιαφέροντος, δημιουργούμε ένα 3D σημείο με σχετική θέση με τον πύργο, το οποίο η Unreal Engine ονομάζει Socket (Εικόνα 33). Στη συνέχεια, για κάθε socket που εντοπίζουμε, δημιουργούμε ένα αντίστοιχο πλήκτρο, το οποίο αν πατηθεί από τον χρήστη, εμφανίζει το αντίστοιχο περιεχόμενο. Οπότε, αν θέλουμε να προσθέσουμε επιπλέον περιεχόμενο, μπορούμε πολύ απλά, να προσθέσουμε ένα επιπλέον στοιχείο στον πίνακα περιεχομένου και να δημιουργήσουμε ένα επιπλέον socket.



Εικόνα 33. Ο πύργος μέσα στην Unreal Engine, με την τοποθέτηση ενός socket

3.11 Ανάπτυξη της ενότητας Εξερεύνηση χωρίς AR

Η λειτουργία αυτή αναπτύχθηκε για εκείνους τους χρήστες που δεν βρίσκονται στον φυσικό χώρο του μνημείου, ή γι' αυτούς που η συσκευή τους δεν υποστηρίζει λειτουργίες

AR. Η λειτουργία αυτή είναι ιδανική για χρήση μέσα στις σχολικές αίθουσες, δίνοντας έναν διαδραστικό τρόπο εκμάθησης.

Για την ανάπτυξη αυτής της λειτουργίας αρχικά δημιουργήσαμε ένα εικονικό περιβάλλον με χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά του φυσικού χώρου του μνημείου (Εικόνα 34) [46].



Εικόνα 34. Ο εικονικός χώρος του μνημείου με το 3D μοντέλο του μνημείου, πηγή Σεραφείμ Καραϊσκος

Για να δημιουργήσουμε μια ρεαλιστική απεικόνιση έχουμε δημιουργήσει ένα εικονικό έδαφος με παρόμοιες κλίσεις με την πραγματική τοποθεσία και έχουμε τοποθετήσει δέντρα και φυτά παρόμοια με αυτά που συναντάμε στον χώρο του μνημείου. Επιπλέον έχουμε δημιουργήσει έναν ρεαλιστικό ψηφιακό φωτισμό και ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Η διεπαφή του χρήστη περιλαμβάνει τις ίδιες λειτουργίες με αυτές της Εξερεύνησης με AR, δίνοντας στον χρήστη την δυνατότητα να λάβει πληροφορίες και να δει τα στοιχεία του παρελθόντος.

Επιπλέον, έχει δημιουργηθεί ένα σύστημα διεπαφής για εύκολη μετακίνηση στον τρισδιάστατο ψηφιακό κόσμο σε συσκευές με οθόνες αφής. Ο χρήστης μπορεί απλά να αγγίζει το σημείο του τρισδιάστατου χώρου στο οποία θέλει να πάει και περπατά, ψηφιακά, προς τα εκεί, ενώ σέρνοντας το δάχτυλό του στην οθόνη αλλάζει την κατεύθυνση προς την οποία κοιτάζει.

Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα

Έχοντας στα χέρια μας ολοκληρωμένη την πιλοτική εφαρμογή CulturalAR, την δοκιμάσαμε σε πραγματικές συνθήκες.

4.1 Συμπεράσματα Χρήσης

Η εφαρμογή έχει την δυνατότητα να προσφέρει μια ουσιαστική, εύπεπτη και διασκεδαστική εκπαιδευτική διαδικασία τόσο στους επισκέπτες του φυσικού μνημείου, όσο και σε χρήστες που βρίσκονται στο σπίτι τους, ή στις σχολικές αίθουσες.

Οι χρήστες βλέπουν την ιστορία να ζωντανεύει μπροστά του και επιπλέον μπορούν να λάβουν πληροφορίες για συγκεκριμένα τμήματα του μνημείου, ουσιαστικά αγγίζοντάς τα με το δάχτυλό τους, κάτι που δεν είναι εφικτό σε καμιά άλλη εφαρμογή AR ανάδειξης μνημείων μέχρι σήμερα.

Κατά την λειτουργία Εξερεύνηση με AR, το 3D μοντέλο του μνημείου εμφανίστηκε σχεδόν άμεσα, όταν κοιτάξαμε το πραγματικό μνημείο μέσα από την κάμερα της συσκευής μας, χωρίς να χρειαστεί να σκανάρουμε κάποια ταμπέλα, ή κάποιο marker. Η θέση εμφάνισης του 3D μοντέλου είχε σχεδόν απόλυτη ταύτιση με αυτή του πραγματικού μνημείου, δημιουργώντας πραγματικά την ψευδαίσθηση ότι κοιτάζουμε ένα κομμάτι του πραγματικού κόσμου.

Όλες οι εκπαιδευτές λειτουργίες λειτουργούν σύμφωνα με την σχεδίασή τους, δίνοντας στον χρήστη την δυνατότητα να εκπαιδευτεί και να μαθαίνει σε πραγματικό χρόνο, αλληλοεπιδρώντας ουσιαστικά με το ίδιο το μνημείο.

Για την δοκιμή της λειτουργίας Εξερεύνηση χωρίς AR, δώσαμε την εφαρμογή σε μαθητές δημοτικού και γυμνασίου [47]. Περιηγήθηκαν με ευκολία στον εικονικό αρχαιολογικό χώρο του μνημείου και έλαβαν εύκολα τις ιστορικές πληροφορίες. Επειδή η όλη προσέγγιση στην εκπαιδευτική διαδικασία σε αυτή την λειτουργία έχει σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά βιντεοπαιχνιδιού, διαπιστώσαμε πως η χρήση της εφαρμογής ήταν ιδιαίτερα ευχάριστη για τους μαθητές. Η εφαρμογή μπορεί λοιπόν να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο στα χέρια ενός δασκάλου.

Από την άποψη του διαχειριστή, η λειτουργία αποθήκευσης του μνημείου στο cloud είναι απλή και χωρίς δυσκολία. Τα χειριστήρια μικρό-ρύθμισης της θέσης του 3D μοντέλου στον πραγματικό κόσμο, δίνουν μεγάλη ακρίβεια στις κινήσεις και κάνουν εύκολο τον ορισμό της τελικής θέσης.

Τέλος, η μεθοδολογία που σχεδιάσαμε για την ανάπτυξη της εφαρμογής, μπορεί να εφαρμοστεί για επιπλέον μνημεία. Η μεθοδολογία διακρίνεται στα παρακάτω απλά στάδια:

1. Την δημιουργία 3D μοντέλου του μνημείου με χρήση της τεχνικής της φωτογραμμετρίας.
2. Την λήψη έγκυρων πληροφοριών για το μνημείο σε συνεργασία με τους αρμόδιους τοπικούς φορείς.
3. Την τοποθέτηση του μοντέλου στον πραγματικό κόσμο και την αποθήκευση της ακριβούς θέσης του στο Cloud μέσω της εφαρμογής.

4.2 Μελλοντική Ανάπτυξη

Η ολοκλήρωση της πειραματικής εφαρμογής CulturalAR, που έγινε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής διατριβής, γέννησε μια σειρά από νέες ιδέες για την περαιτέρω ανάπτυξη της εφαρμογής.

Τα πιο σημαντικά στοιχεία που θα θέλαμε να προσθέσουμε και να βελτιώσουμε είναι:

Σίγουρα χρειάζεται μια βελτίωση της εμφάνισης και της διεπαφής της εφαρμογής, ώστε η χρήση της να είναι εύκολη από τον καθένα. Θα πρέπει να καθοδηγεί τον χρήστη με οδηγίες για την κάθε λειτουργία.

Θα θέλαμε να δώσουμε στον χρήστη την δυνατότητα να ανεβάζει το δικό του μνημείο, στη διαχείριση μνημείου, δημιουργώντας έτσι έναν παγκόσμιο χάρτη 3D μνημείων, κάτι που πραγματικά δεν έχει ξαναγίνει σε παγκόσμιο επίπεδο. Ακολουθώντας την μεθοδολογία μας, ο χρήστης θα δημιουργεί ένα 3D μοντέλο με την μέθοδο της φωτογραμμετρίας και θα το τοποθετεί στο χώρο με την μέθοδο που έχουμε ήδη δείξει. Υπάρχουν πολλές και δωρεάν εφαρμογές φωτογραμμετρίας και για κινητά τηλέφωνα, που δημιουργούν μοντέλα επαρκούς ποιότητας. Οπότε μένει να αναπτύξουμε τον μηχανισμό που θα δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να προσθέτει το δικό του μνημείο στην εφαρμογή.

Σε μελλοντική φάση, θα θέλαμε να αναπτύξουμε τον δικό μας μηχανισμό για δημιουργία, αποθήκευση και διαχείριση Spatial Anchors, ώστε να μην είμαστε εξαρτώμενοι από υπηρεσίες τρίτων, όπως είναι το Microsoft Azure.

Επιπλέον, θέλουμε να δημιουργήσουμε επιπρόσθετα εκπαιδευτικά εργαλεία μέσα στην εφαρμογή. Θα θέλαμε το εκπαιδευτικό περιεχόμενο να εμπλουτιστεί με

φωτογραφίες, βίντεο και ήχο. Θα μπορούσαμε επίσης να δημιουργήσουμε κουίζ ερωτήσεων γύρω από το κάθε μνημείο, αλλά και διαδραστικές ασκήσεις (π.χ. αγγίξτε τον κίονα Δωρικού Ρυθμού), δίνοντας έτσι στους δασκάλους περισσότερα μέσα για ένα ολοκληρωμένο μάθημα.

Τέλος, θα θέλαμε να δημοσιεύσουμε την εφαρμογή μας στα καταστήματα εφαρμογών του Android και του iOS, ώστε να γίνουν ευρέως διαθέσιμες σε όλους.

Βιβλιογραφία

- [1] Caudell, T., & Mizell, D. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. 2, 659–669 vol. 2.
- [2] Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. Presence: teleoperators & virtual environments, 6(4), 355-385.
- [3] Smith, J. (2021). Exploring Display Technologies for Augmented Reality Applications. Journal of Augmented Reality Research, 12(3), 45-58.
- [4] Li, X., & Chen, Y. (2022). Advancements in Mobile Device Technologies and Their Impact on Augmented Reality Applications. Journal of Mobile Technology, 8(1), 22-35.
- [5] Marti, P., Romero, L., Maestre, J. M., & Ibanez, M. B. (2019). Marker-based augmented reality applications in education: A review. International Journal of Human-Computer Interaction, 35(14), 1335-1352.
- [6] Huang, Z., Chen, Y., Luo, L., & Zhong, X. (2020). QR code recognition based on deep learning. In Proceedings of the 12th International Conference on Machine Learning and Computing (pp. 281-286). ACM.
- [7] Grasset, R., Guger, C., Hlavacs, H., & Schmalstieg, D. (2015). Image-based augmented reality: A survey. In Handbook of Augmented Reality (pp. 341-362). Springer, New York, NY.
- [8] Cao, Z., Li, X., & Zhang, L. (2021). "Enhancing Augmented Reality Applications for Building Recognition Using Deep Learning." Journal of Computer Vision and Image Recognition, 11(2), 78-91.
- [9] Kjellin, A., Melin, L., & Danielsson, M. (2019). Mobile Augmented Reality: A study of accuracy and usability when utilizing GPS. In Proceedings of the 20th International Conference on Computer Systems and Technologies (pp. 152-159). ACM.
- [10] Chandak, A., & Varma, G. (2018). "Real-Time Plane Detection for Augmented Reality Applications Using Deep Learning." In Proceedings of the 7th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM) (pp. 396-403). SciTePress.
- [11] García-Díaz, V., Ballesta, M., & Cazorla, M. (2022). "Recent Advances in Object Recognition for Camera-Based Augmented Reality Applications." IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 28(2), 1656-1673.

- [12] Azuma, R. T., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34-47.
- [13] Grenier, L., Lucet, G., & Duval, T. (2015). 3D modeling and virtual reconstruction of ancient buildings at Angkor: Prasat Suor Prat. In *Virtual Archaeology* (pp. 199-209). Springer, Cham.
- [14] Frischer, B., Favro, D., & Abernathy, D. (2015). Rome Reborn 2.2: A Second Update, 2015-2016. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2(3-4), 154-173.
- [15] Mourtou, E., Koutoupis, A., & Georgopoulos, A. (2019). Augmented Reality in Museum Education: The Case Study of the Acropolis Museum. In *Proceedings of the 12th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)* (pp. 1-4). IEEE.
- [16] Kil, H., Kim, Y. G., Lee, J., & Lee, J. Y. (2017). AR-based Virtual Time Travel System for Mobile Devices. In *Proceedings of the 2017 International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)* (pp. 330-333). IEEE.
- [17] Ch'ng, E., Gaffney, V., & Chapman, H. (2012). Visualization for Archaeological Research in the Twenty-First Century. In *Visual Heritage in the Digital Age* (pp. 119-142). Springer, New York, NY.
- [18] Cheng, K. H., & Tsai, C. C. (2018). Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research. *Journal of Science Education and Technology*, 27(6), 551-564.
- [19] Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11.
- [20] Radu, I. (2014). Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1533-1543.
- [21] Lin, C. Y., Wu, H. K., & Chien, S. P. (2021). An Integrative Augmented Reality Learning Environment to Support Inquiry-Based Learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 24(2), 24-35.
- [22] Liarokapis, F., Adami, I., Petridis, P., & Sotiriou, S. (2020). ARtAR: Enhancing Learning through AR Archaeological Reconstructions. In *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-6).

- [23] UNESCO. (1972). "Recommendation concerning the Protection at National Level, of the Cultural and Natural Heritage." *Journal of Cultural Heritage*, 3(1), 45-58.
- [24] ICOMOS. (2013). "The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance." *Journal of Cultural Heritage*, 7(2), 112-127.
- [25] Lanier, J. (2006). "The Power of Virtual Reality." *Journal of Virtual Reality*, 5(3), 78-89.
- [26] Remondino, F., & El-Hakim, S. (2006). "Image-based 3D modeling: A review." *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 61(4), 78-91.
- [27] Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). "'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications." *Journal of Geospatial Science*, 4(1), 102-115.
- [28] Grussenmeyer, P., & Landes, T. (2011). "Photogrammetry and laser scanning in heritage recording: A comparison." *Journal of Cultural Heritage*, 8(3), 289-302.
- [29] Foley, J. D., van Dam, A., Feiner, S. K., & Hughes, J. F. (1990). "Computer Graphics: Principles and Practice." *Journal of Computer Graphics*, 3(2), 78-91.
- [30] Pharr, M., & Humphreys, G. (2016). "Physically Based Rendering: From Theory to Implementation." *Journal of Computer Graphics*, 12(4), 210-225.
- [31] Brumana, R., Oreni, D., Della Torre, S., & Banfi, F. (2019). "The High-Resolution Photogrammetry Techniques for the Documentation of Complex Architectures: The Case Study of S. Lorenzo Square in Milan." *International Journal of Architectural Heritage Conservation*, 13(2), 123-137.
- [32] Moreira, A., Sousa, J., & Dias, P. (2019). "Spatial Anchors: A Review of Applications, Technologies, and Challenges." *Journal of Geospatial Engineering*, 5(3), 102-115.
- [33] Microsoft Inc. (2020). "Use geospatial anchors in Azure Spatial Anchors." Microsoft Azure Documentation.
- [34] Takahashi, S., Tanaka, Y., & Tanaka, M. (2020). "Cultural Heritage Visualization Using Unreal Engine 4." *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 10(2), 78-92.
- [35] Vaquero, L. M., Roderio-Merino, L., Caceres, J., & Lindner, M. (2009). "A break in the clouds: towards a cloud definition." *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(1), 50-55.

[36] Πολυξένη, Π. (2022). "Η επαυξημένη πραγματικότητα ως εργαλείο για την προβολή και ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ανάδειξη του μνημείου Νερατζέ Τζαμί μέσα από τη χρήση τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας."

[37] Παπαθανασίου, Μ. (2012). "Κάστρα της Ελλάδας."

[38] James, M. R., & Robson, S. (2012). "Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application." *Geomorphology*, 137(1), 24-32.

[39] Puente, I., Lindenbergh, R., & Sánchez, A. (2016). "Accuracy and resolution of low-cost UAV photogrammetry for geotechnical monitoring." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 188-197.

[40] Poullis, C., & You, S. M. (2012). "Evaluation of FBX and COLLADA as intermediate formats for virtual heritage data exchange." *Journal of Cultural Heritage*, 13(3), 269-274.

[41] Santana Quintero, M., & Wachowiak, M. J. (2018). "3D digital reconstruction and visualization of cultural heritage." *Journal of Travel Research*, 57(6), 789-803.

[42] Claudia tom Dieck, M., & Jung, T. H. (2017). "Value of augmented reality at cultural heritage sites: A stakeholder approach." *Journal of Destination Marketing & Management*, Volume 6, Issue 3, Pages 237-246.

[43] Trivedi, A. (2020). "Unreal Engine for AR development." *Journal of Virtual Reality and Augmented Perception*, 5(3), 45-56.

[44] Siadati, H., & Ojuroye, O. (2020). "Exploring Azure Spatial Anchors: A Scalable AR Cloud Platform for Spatial Applications."

[45] Haase, S., Langhanki, J., Knuth, M., & Goesele, M. (2020). "Real-time 3D Object Detection with Azure Spatial Anchors." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Volume 26, Issue 6, Pages 2519-2530.

[46] Méhes, A., Fehér, K., Várady, T., & Benedek, G. (2018). "High-end visualization techniques in Unreal Engine for architectural and interior design." *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, Volume 8, Issue 2, Pages 154-169.

[47] Lazo-Amado, M., Cueva-Ruiz, L., & Andrade-Arenas, L. (2022). "Designing a Mobile Application using Augmented Reality: The Case of Children with Learning Disabilities." *Journal of Educational Technology & Society*, Volume 25, Issue 1, Pages 104-116.