



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ανάπτυξη διαδικτυακής εφαρμογής για την  
διαχείριση και προβολή εκθεμάτων αρχαιολογικών  
χώρων

ΣΚΑΠΕΤΗ ΕΙΡΗΝΗ- ΑΓΟΡΙΤΣΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΤΖΙΑΛΛΑΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ  
Καθηγητής

Λαμία 25 Φεβρουαρίου έτος 2025





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ανάπτυξη διαδικτυακής εφαρμογής για την  
διαχείριση και προβολή εκθεμάτων αρχαιολογικών  
χώρων

ΣΚΑΠΕΤΗ ΕΙΡΗΝΗ- ΑΓΟΡΙΤΣΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΤΖΙΑΛΛΑΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ  
Καθηγητής

Λαμία 25 Φεβρουαρίου έτος 2025





UNIVERSITY OF  
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

Development of a web application for the  
management and display of Archaeological site  
exhibits

SKAPETI EIRINI-AGORITSA

FINAL THESIS

ADVISOR

TZIALLAS GRIGORIOS  
Professor

Lamia 25 February year 2025



«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις <sup>(1)</sup>, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.
2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.
3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια
4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: 25/02/2025

Η Δηλούσα

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει τη δημιουργία μίας διαδικτυακής εφαρμογής, για την προβολή των εκθεμάτων του αρχαιολογικού χώρου της Αρχαίας Μελιταίας. Η ανάπτυξη έγινε μέσω της μηχανής ηλεκτρονικών παιχνιδιών Unity, αφοτόυ εξετάσθηκαν αντίστοιχες τεχνολογίες και παραδείγματα εικονικών μουσείων, σε Ελλάδα και εξωτερικό.



## ABSTRACT

---

This thesis examines the creation of an online application for the display of artifacts from the archaeological site of Ancient Melitaia. The development was carried out using the Unity game engine, after reviewing corresponding technologies and examples of virtual museums both in Greece and abroad.





## Table of Contents

|                                                                      |                  |
|----------------------------------------------------------------------|------------------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....                                                       | I                |
| ABSTRACT .....                                                       | III              |
| <b><u>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</u></b>                                       | <b><u>2</u></b>  |
| 1.1 Ο ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΙΤΑΙΑΣ.....                         | 2                |
| 1.2 ΚΙΝΗΤΡΟ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ VR ΜΟΥΣΕΙΟΥ .....             | 2                |
| 1.3 ΑΝΑΓΚΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ .....             | 3                |
| <b><u>2 ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΜΟΥΣΕΙΩΝ .....</u></b> | <b><u>3</u></b>  |
| 2.1 ΕΡΓΑΛΕΙΑ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ .....                                      | 3                |
| 2.1.1 ΥΛΙΚΟ (HARDWARE).....                                          | 3                |
| 2.1.2 WEBXR .....                                                    | 4                |
| 2.1.3 OPENGL.....                                                    | 5                |
| 2.1.4 WEBGL.....                                                     | 5                |
| 2.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ (SOFTWARE).....                                        | 6                |
| 2.2.1 ARTSTEPS .....                                                 | 6                |
| 2.2.2 A-FRAME .....                                                  | 7                |
| 2.2.3 UNREAL ENGINE.....                                             | 7                |
| 2.2.4 UNITY .....                                                    | 8                |
| 2.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ UNITY .....                                          | 9                |
| <b><u>3 ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΜΟΥΣΕΙΑ: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ.....</u></b>   | <b><u>10</u></b> |
| 3.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΜΟΥΣΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....                | 10               |
| 3.1.1 ΜΟΥΣΕΙΟ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ .....                                        | 10               |
| 3.1.2 ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΔΕΛΦΩΝ .....                              | 10               |
| 3.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΜΟΥΣΕΙΩΝ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ.....               | 12               |
| 3.2.1 ΒΡΕΤΑΝΙΚΟ ΜΟΥΣΕΙΟ .....                                        | 12               |
| 3.2.2 ΜΟΥΣΕΙΟ ΤΟΥ ΠΡΑΔΟ .....                                        | 12               |
| 3.3 GOOGLE ARTS & CULTURE .....                                      | 13               |
| <b><u>4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ.....</u></b>                       | <b><u>14</u></b> |
| 4.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ .....                                      | 14               |
| 4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ.....                                    | 14               |
| 4.2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ PROJECT .....                                   | 14               |
| 4.2.2 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ.....                    | 15               |
| 4.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ .....                                       | 15               |
| 4.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ .....                     | 15               |
| 4.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΦΩΝ.....                                  | 16               |
| 4.3.3 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΩΝ ΕΚΘΕΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΣΚΗΝΗ.....                          | 17               |

|                                                                           |                      |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 4.3.4 ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ: ΑΝΑΛΥΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ ΚΑΙ ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΧΡΗΣΤΗ ..... | 18                   |
| 4.3.4.1 ΑΝΑΛΥΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ.....                                          | 18                   |
| 4.3.4.2 ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΧΡΗΣΤΗ .....                                             | 19                   |
| 4.3.5 ΧΡΗΣΗ PREFABS.....                                                  | 19                   |
| <b>4.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ .....</b>                                      | <b>20</b>            |
| 4.4.1 ΔΟΚΙΜΕΣ.....                                                        | 20                   |
| 4.4.2 ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΕ WebGL.....                                               | 20                   |
| <br><b><u>5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u></b>                                     | <br><b><u>21</u></b> |
| 5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                                                    | 21                   |
| 5.2 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ .....                                              | 21                   |
| <br><b><u>6 ΚΩΔΙΚΑΣ .....</u></b>                                         | <br><b><u>22</u></b> |
| <br><b><u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</u></b>                                       | <br><b><u>25</u></b> |

# 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Ο Αρχαιολογικός χώρος της Μελιταίας

---

Η αρχαία Μελιταία όπου βρίσκεται στην Αχαΐα Φθιώτιδας , στα ανατολικά της σύγχρονης κοινότητας του Δομοκού, ήταν μία στρατηγικής σημασίας πόλη κατά την αρχαιότητα. Η τοποθεσία της αποτέλεσε βασικό παράγοντα της στρατηγικής της πορείας, καθώς υπήρξε η «γέφυρα» της Θεσσαλίας με την Νότια Ελλάδα , μέσω των Θαυμακών. Οι ισχυρές οχυρώσεις καθώς και η Ακρόπολη που έχουν βρεθεί στον αρχαιολογικό χώρο, μας υποδηλώνουν μία πόλη ενεργή σε διοικητικές και στρατιωτικές διαδικασίες. Η Μελιταία υπήρξε σημαντική πόλη από τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. έως και τη Ρωμαϊκή περίοδο.[1]

Κατά τη διάρκεια εκσκαφών όπου πήραν μέρος το 1993, αρχαιολόγοι έφεραν στο φως σημαντικά ευρήματα αποδεικνύοντας την πολιτισμική αλλά και θρησκευτική σημασία της περιοχής. Ένα από τα ευρήματα των ανασκαφών ήταν και ένα ορθογώνιο οικοδόμημα , χωρισμένο σε δύο χώρους , που στην πορεία επιβεβαιώθηκε ο λατρευτικός του χαρακτήρας χάρις του ενεπίγραφου βάθρου, των αγαλμάτων καθώς και των θυμιατηριών όπου βρέθηκαν στον χώρο της ανασκαφής. Στον χώρο βρέθηκαν πάνω από 3.000 θραύσματα αγγείων κυρίως άβαφων , καθώς σε μικρότερο βαθμό βρέθηκαν τα μελαμβαφή. Ακόμη μέσω των ανασκαφών βρέθηκαν αγγεία καθημερινής χρήσης, όπως αμφορείς και οينوχόες, μαγειρικά σκεύη και πινάκια. [2]

## 1.2 Κίνητρο πίσω από την ανάπτυξη ενός VR μουσείου

---

Αναμφίβολα μπορεί να πει κανείς ότι, ένας αρχαιολογικός χώρος όπως αυτός της Μελιταίας, υψηλής αρχαιολογικής σημασίας μπορεί να επωφεληθεί από μία πλατφόρμα, εύκολα προσβάσιμη από το διαδίκτυο. Η εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality) ή εν συντομία VR, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να αλληλεπιδράσει σε ένα τελείως τεχνητό περιβάλλον επιτρέποντας τη διάδραση με αντικείμενα που έχουν δημιουργηθεί από έναν υπολογιστή.[3] Ένα εικονικό μουσείο μπορεί να προσφέρει τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε από οπουδήποτε να περιηγηθεί σε έναν αρχαιολογικό χώρο, ένα μουσείο ή ακόμα και μία γκαλερί. Ένα VR μουσείο αποτελεί ένα σύγχρονο τρόπο για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς ενός χώρου μεγάλης ιστορικής σημασίας. Ακόμη είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι ένα εικονικό μουσείο αποτελεί έναν ελκυστικό τρόπο για να εξερευνήσει κανείς έναν αρχαιολογικό χώρο, πόσο μάλλον όταν μιλάμε για μαθητές και για νεαρές ηλικίες. Μέσω της παιγνιοποίησης (gamification) <sup>1</sup> ένας αρχαιολογικός χώρος όπως αυτός της Μελιταίας, μπορεί να γίνει πιο προσυτός για το ευρύ κοινό. Επιπλέον η χρήση της εικονικής πραγματικότητας επιτρέπει την αναπαράσταση του αρχαιολογικού χώρου όπως ήταν κατά την αρχαιότητα, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους επισκέπτες να “ταξιδέψουν” πίσω στον χρόνο.

---

<sup>1</sup> Gamification:” the practice of making activities more like games in order to make them more interesting or enjoyable “ ( Cambridge Dictionary, <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/gamification> )

### 1.3 Ανάγκη και στόχοι της συγκεκριμένης πλατφόρμας

---

Η ανάπτυξη μίας πλατφόρμας εικονικού μουσείου θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική όταν αφορά έναν λιγότερο γνωστό αρχαιολογικό χώρο, όπως στην προκειμένη, αυτόν της Μελιταίας. Παρά την υψηλή του αρχαιολογική σημασία, υπάρχουν ελάχιστοι διαθέσιμοι διαδικτυακοί πόροι σχετικά με τον συγκεκριμένο χώρο, με αποτέλεσμα να είναι σχετικά άγνωστος στο ευρύ κοινό. Ένας εικονικός χώρος αφιερωμένος στον αρχαιολογικό χώρο της Μελιταίας μπορεί να λειτουργήσει ως ψηφιακό αρχείο, για την ανάδειξη και διατήρηση των ευρημάτων, καθώς και της ιστορίας του τόπου. Ακόμη ένα VR μουσείο, μπορεί να αποτελέσει μία καλή λύση σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει φυσικός χώρος για την ανάδειξη των εκθεμάτων.

Ένας από τους βασικότερους στόχους κατά τη δημιουργία της συγκεκριμένης πλατφόρμας ήταν, το να είναι εύκολα προσβάσιμη από το ευρύ κοινό. Συγκεκριμένα να μην είναι απαραίτητο για κάποιον/κάποια, που θέλει να «περιηγηθεί» στο συγκεκριμένο εικονικό μουσείο να έχει και εξειδικευμένο εξοπλισμό, όπως ένα VR headset. Ακόμη μέσω της συγκεκριμένης εργασίας γίνεται προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα ψηφιακό αρχείο για τον αρχαιολογικό χώρο της Μελιταίας, με έναν ευχάριστο και διαδραστικό τρόπο. Η πλατφόρμα σχεδιάστηκε με γνώμονα την επεκτασιμότητα ώστε να είναι εφικτό να βελτιωθεί, καθώς και να μπορέσει να γίνει πιο λειτουργική και διαδραστική.

## 2 Πλατφόρμες για την Ανάπτυξη Εικονικών Μουσείων

---

### 2.1 Εργαλεία, Τεχνολογίες

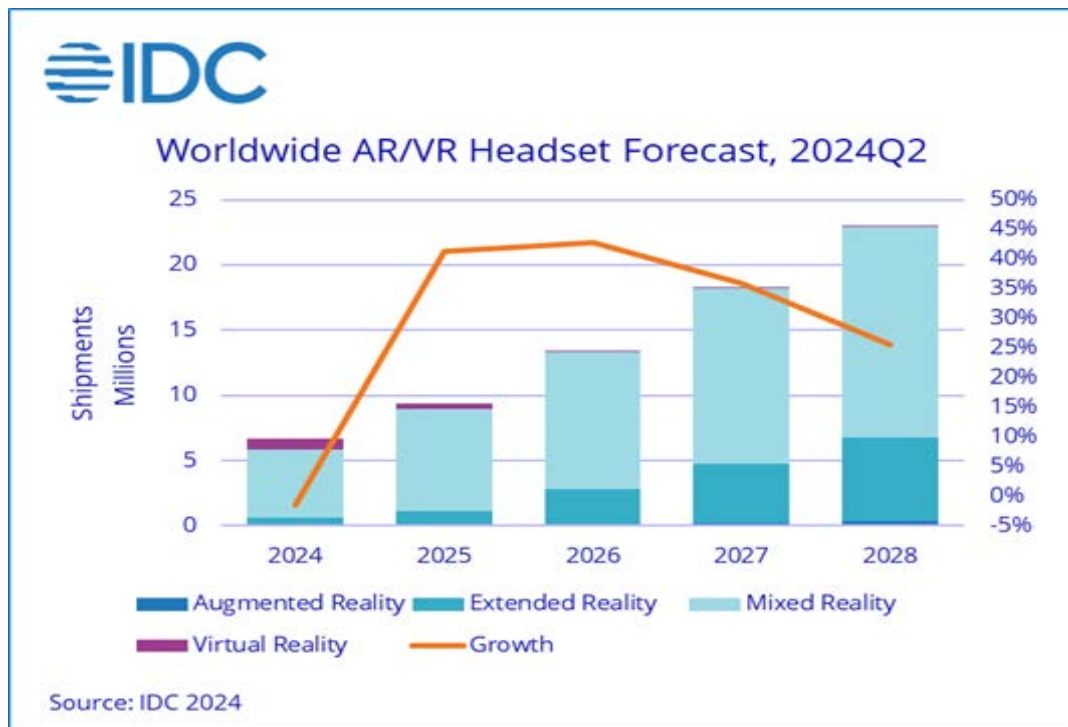
---

#### 2.1.1 Υλικό (Hardware)

---

Στη σημερινή αγορά του AR/VR Hardware υπάρχουν αναμφισβήτητα πολλές επιλογές και τεχνολογικές εξελίξεις, με συσκευές όπως το Oculus Rift, HTC Vive και η πιο πρόσφατη προσθήκη, το Apple vision pro headset. Οι συσκευές Oculus Rift ακολουθούν μία φιλοσοφία συνδεδεμένων συσκευών, με αποτέλεσμα να είναι εξαρτημένες από υπολογιστές για τη λειτουργία τους. Αντιθέτως ανεξάρτητες συσκευές όπως το HoloLens από τη Microsoft συνδυάζουν προηγμένους αισθητήρες και δεν είναι απαραίτητο αν είναι συνδεδεμένες σε έναν υπολογιστή.[4] Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το HoloLens headset από τη Microsoft δεν είναι

πλέον διαθέσιμο. Παρατηρούμε ότι, παρόλο που υπάρχουν πολλά παραδείγματα AR/VR υλικού στην αγορά, λίγα από αυτά είναι ευρέως διαδεδομένα. Για λόγους ευκολίας και προσβασιμότητας η συγκεκριμένη πλατφόρμα εικονικού μουσείου δε θα κάνει χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού.



Εικ.1: Worldwide AR/VR Headset Forecast, 2024Q2, IDC 2024

### 2.1.2 WebXR

Το WebXR API (Application Programming Interface), προσφέρει τη δυνατότητα για δημιουργία πλατφορμών εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας μέσω προγράμματος περιήγησης (browser), χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ειδικού λογισμικού. Μέσω του συγκεκριμένου API παρέχεται μία ανεξάρτητη διεπαφή, με σκοπό την ανάπτυξη εφαρμογών XR. Τα WebXR APIs αντικατέστησαν τα WebVR APIs το 2017, προσθέτοντας νέα πρωτόκολλα παρέχοντας τη δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης μιας συσκευής σε εικονικά περιβάλλοντα. Το συγκεκριμένο API κάνει χρήση SLAM<sup>2</sup> μεθόδων, με στόχο την εύρεση σημείων ενδιαφέροντος, όπως εξοχές ή ολόκληρα αντικείμενα, επιτρέποντας τον προσδιορισμό και την αποτύπωση επιπέδων επιφανειών. Αυτές οι επιφάνειες καθίστανται στη συνέχεια διαθέσιμες στον προγραμματιστή για χρήση στην ανάπτυξη εικονικών περιβαλλόντων. [5]

<sup>2</sup> SLAM: Simultaneous Localisation and Mapping,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Simultaneous\\_localization\\_and\\_mapping](https://en.wikipedia.org/wiki/Simultaneous_localization_and_mapping)

### 2.1.3 OpenGL

Το OpenGL είναι μια διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών για την απόδοση 2D και 3D γραφικών, ή αλλιώς Graphics API. Το Graphics API προσφέρει ομοιόμορφη πρόσβαση στην κάρτα γραφικών, επιτρέποντας το λογισμικό να λειτουργεί ανεξαρτήτως από τον κατασκευαστή ή το μοντέλο της κάθε κάρτας γραφικών. [6] Όταν γίνεται χρήση του OpenGL για τη δημιουργία εικονικών πλατφορμών, ξεκινάει η διαδικασία απόδοσης (rendering process), με το στάδιο της εφαρμογής. Συγκεκριμένα με την εμφάνιση ενός παραθύρου όπου περιέχονται κατάλληλες πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες των κορυφών (vertex attributes), υφές (textures) και πηγαίο κώδικα για τα shaders. Οι shaders γραμμένοι σε GLSL<sup>3</sup> μεταγλωττίζονται και εκτελούνται στην κάρτα γραφικών, έτσι ώστε να ελέγχεται ο τρόπος με τον οποίο εκτελούνται και εμφανίζονται τα γραφικά στοιχεία της πλατφόρμας. [7]

Συνοψίζοντας, το OpenGL αποτελεί μία σημαντική τεχνολογία για την ανάπτυξη VR/AR εφαρμογών. Η συμβατότητα της συγκεκριμένης τεχνολογίας με διάφορα λειτουργικά συστήματα, καθώς επίσης και με άλλα API, όπως το WebXR, το καθιστούν ιδανικό για την ανάπτυξη εικονικών εφαρμογών. Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, η χρήση OpenGL είναι σημαντική, διότι επιτρέπει την εξαγωγή της εφαρμογής σε HTML μέσω WebGL. Το WebGL, ως επέκταση του OpenGL, δίνει τη δυνατότητα προβολής 2D και 3D γραφικών απευθείας σε έναν browser. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδράσουν με την εικονική πλατφόρμα απευθείας μέσω ενός προγράμματος περιήγησης χωρίς επιπλέον λογισμικό, καθιστώντας την εφαρμογή πιο προσιτή.

### 2.1.4 WebGL

Το WebGL (Web Graphics Library) αποτελεί ένα διαδικτυακό στάνταρ, συνεργαζόμενο με την HTML5 που είναι ευρέως διαδεδομένη για την ανάπτυξη διαδικτυακών εφαρμογών. Συγκεκριμένα είναι ένα JavaScript API, βασισμένο στο OpenGL ES 2.0, το οποίο καθιστά τη χρήση 3D γραφικών εφικτή σε διαδικτυακές πλατφόρμες. Ο λόγος που καθιστά το WebGL τόσο ευρέως διαδεδομένο είναι, το γεγονός ότι μαζί με την HTML5, τα 3D γραφικά μιας πλατφόρμας γίνονται λειτουργικά μέσω ενός browser χωρίς την εγκατάσταση περαιτέρω plug-ins<sup>4</sup>. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι παρόλο η λειτουργία του WebGL υποστηρίζεται από τα περισσότερα προγράμματα περιήγησης όπως τα Google Chrome, Mozilla Firefox, Safari και Opera, υπάρχουν και προγράμματα περιήγησης τα οποία δεν την υποστηρίζουν όπως το Internet Explorer . [8] Ο τρόπος που γίνεται η απόδοση των γραφικών μέσω του WebGL ονομάζεται client-based rendering, διότι γίνεται τοπικά (locally). Ακόμη το WebGL ακολουθεί μία τεχνική απόδοσης γραφικών (rendering)

---

<sup>3</sup> GLSL: High Level Shading language, with a syntax based on C programming language.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/OpenGL\\_Shading\\_Language](https://en.wikipedia.org/wiki/OpenGL_Shading_Language)

<sup>4</sup> Plug-in: “a small computer program that makes a larger one work faster or have more features”,  
Cambridge Dictionary  
<https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/plug-in>

μέσω της κάρτας γραφικών, δηλαδή οι υπολογισμοί που είναι απαραίτητοι για την απόδοση των τρισδιάστατων γραφικών γίνονται στην κάρτα γραφικών. [10]

Τα τρισδιάστατα γραφικά που έχουν αποδοθεί από το WebGL μπορούν να τοποθετηθούν πάνω ή κάτω από άλλα αντικείμενα μιας ιστοσελίδας HTML, συγκεκριμένα αυτά τα γραφικά αποδίδονται με το στοιχείο “<canvas>”. Το κάθε πρόγραμμα περιήγησης συνδυάζει τα στοιχεία από την HTML με τα τρισδιάστατα στοιχεία από το WebGL ώστε να υπάρχει ένα ομοιόμορφο αποτέλεσμα.[9]

Η εικονική πλατφόρμα που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας κάνει χρήση του WebGL API μέσω του λογισμικού της Unity, καθώς η εξαγωγή του προγράμματος γίνεται σε HTML5. Για να επιτευχθεί αυτή η εξαγωγή των προγραμμάτων σε HTML5 η Unity χρησιμοποιεί Emscripten το οποίο μεταγλωττίζει C# κώδικα σε WebAssembly και JavaScript. Αυτός ο τρόπος εξαγωγής προγραμμάτων αποτελεί μία καλή μέθοδο για τη δημιουργία απλών εικονικών χώρων. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι για πιο εξειδικευμένα αποτελέσματα, όπως η χρήση VR Headset, μπορεί να μην αποτελεί την πιο έξυπνη λύση καθώς εκεί θα πρέπει να γίνει χρήση και άλλων API.

## 2.2 Λογισμικό (Software)

---

Είναι ευρέως γνωστό ότι για την ανάπτυξη εικονικών πλατφορμών το Λογισμικό κομμάτι της ανάπτυξης παίζει καθοριστικό ρόλο για το τελικό αποτέλεσμα. Είναι σημαντικό λοιπόν να γίνεται και η σωστή επιλογή, για την κάθε πλατφόρμα ξεχωριστά. Στις παρακάτω ενότητες παρατίθενται ορισμένες από τις λύσεις λογισμικού που υπάρχουν για τη δημιουργία εικονικών πλατφορμών.

### 2.2.1 Artsteps

---

Το Artsteps είναι μία διαδικτυακή πλατφόρμα, που σκοπό έχει τη δημιουργία απλών εικονικών χώρων, χωρίς η γνώση προγραμματισμού να είναι απαραίτητη. Επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν απλά εικονικά περιβάλλοντα όπου είναι δυνατό να παρουσιάσουν, φωτογραφίες, βίντεο και 3D μοντέλα. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να χρησιμοποιήσει ενσωματωμένα εργαλεία για τη διαμόρφωση του εικονικού χώρου, όπως για παράδειγμα ρύθμιση του φωτισμού, εγκατάσταση τοίχων και εικόνων και άλλα. Το Artsteps αποτελεί μία καλή λύση για τη δημιουργία ενός απλού εικονικού χώρου, κυρίως για άτομα που δεν έχουν ξανά ασχοληθεί με την ανάπτυξη εικονικών χώρων. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα όμως έχει και ορισμένους περιορισμούς που είναι σημαντικό να αναφέρουμε. Το Artsteps δεν προσφέρει το ίδιο επίπεδο προηγμένων εικονικών διεπαφών που μπορεί να προσφέρουν πιο εξειδικευμένες πλατφόρμες. Ακόμη τα project μέσω του Artsteps δεν είναι ιδιαίτερα επεκτάσιμα καθώς, ο χρήστης για να έχει πρόσβαση στο project του, θα πρέπει να εισέλθει στην πλατφόρμα Artsteps, με αποτέλεσμα να υπάρχουν περιορισμοί σε μεγαλύτερα project που απαιτούν ανεξάρτητες λύσεις φιλοξενίας ιστοσελίδων(hosting).

### 2.2.2 A-Frame

Το A-Frame είναι ένα διαδικτυακό framework ανοιχτού κώδικα βασισμένο στην HTML, για τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων. Το συγκεκριμένο framework υποστηρίζει VR headsets όπως το Oculus Rift, HTC Vive, GearVR καθώς και άλλα. Μία A-Frame σκηνή δημιουργείται μέσω του “<a-scene>” στοιχείου σε ένα αρχείο HTML, με το συγκεκριμένο στοιχείο γίνονται διαθέσιμα τα βασικά αντικείμενα που δημιουργούν μία τρισδιάστατη σκηνή, όπως 3D αντικείμενα. Τα υπόλοιπα βασικά αντικείμενα της σκηνής είναι επίσης εύκολο να προστεθούν καθώς το A-Frame υποστηρίζει HTML Events όπως “click”, “mouseenter” και άλλα. Είναι εφικτό η λειτουργία του συγκεκριμένου λογισμικού να επεκταθεί, αν κατά τη διάρκεια του βρόχου απόδοσης (rendering loop) δημιουργηθούν εξωτερικά στοιχεία χρησιμοποιώντας JavaScript. Ένας περιορισμός του συγκεκριμένου Framework είναι το γεγονός ότι ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του δεν είναι συμβατά με όλα τα προγράμματα περιήγησης.[11] Ακόμη το συγκεκριμένο λογισμικό μπορεί να μην αποτελεί καλή επιλογή για τη δημιουργία πολύπλοκων VR σκηνών διότι, η απόδοση των γραφικών γίνεται στο πρόγραμμα περιήγησης.

### 2.2.3 Unreal Engine

Το Unreal Engine είναι λογισμικό για τη δημιουργία τρισδιάστατων γραφικών ηλεκτρονικών παιχνιδιών υπολογιστή, συγκεκριμένα ανήκει στην κατηγορία των Game Engine. Αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά Game Engines για το ευρύ κοινό, καθώς είναι δωρεάν για τη χρήση φοιτητών, εκπαιδευτών και ατόμων που ασχολούνται με την ανάπτυξη ηλεκτρονικών παιχνιδιών ως χόμπι.[13] Μέσω του Unreal Engine ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ρεαλιστικά γραφικά υψηλής ποιότητας. Στην 5<sup>η</sup> έκδοση του Unreal Engine έχουν εισαχθεί και δύο νέες τεχνολογίες. Η γεωμετρία Nanite που επιτρέπει την αποτελεσματική απόδοση 3D μοντέλων με μεγάλη λεπτομέρεια και η τεχνολογία Lumen η οποία επιτρέπει ρεαλιστικό φωτισμό πραγματικού χρόνου. Τα εικονικά περιβάλλοντα τα οποία δημιουργούνται από το Unreal Engine είναι συμβατά με τα περισσότερα headset όπως το Oculus Rift και το HTC Vive. Παρόλο που το συγκεκριμένο λογισμικό επιλέγεται συνήθως από προχωρημένους προγραμματιστές, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ενός Visual Scripting<sup>5</sup> συστήματος με όνομα Blueprint, έτσι ο χρήστης μπορεί να προγραμματίσει μέσω γραφικών στοιχείων, κάτι που θεωρείται πιο εύκολο για αρχάριους προγραμματιστές.

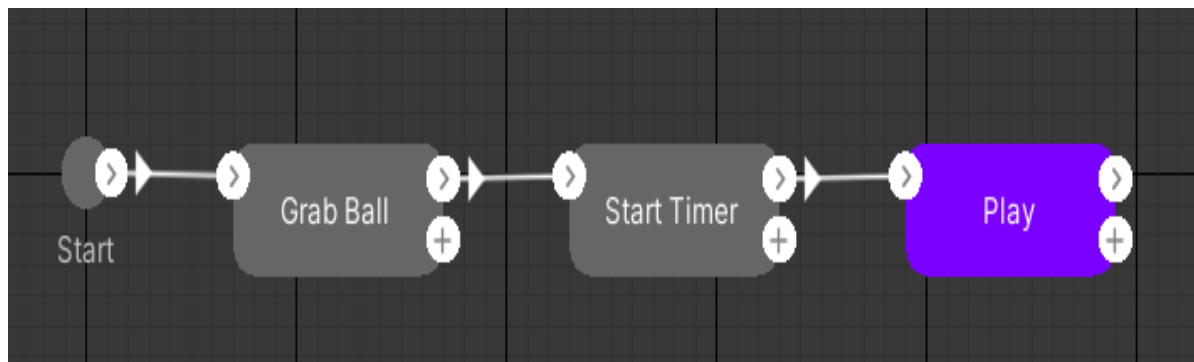
Ένα βασικό μειονέκτημα του Unreal Engine είναι ότι δεν υποστηρίζεται εξαγωγή των προγραμμάτων μέσω WebGL απευθείας από τη συγκεκριμένη πλατφόρμα αλλά θα πρέπει να γίνει χρήση τρίτου λογισμικού στην προκειμένη περίπτωση. Ένας άλλος τρόπος εξαγωγής των Unreal Engine project είναι ως εφαρμογής. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας αυτό δε θα αποτελούσε την καλύτερη λύση, καθώς προϋποθέτει ο χρήστης να είναι διατεθειμένος να κατεβάσει τα ειδικά αρχεία που να του επιτρέψουν την είσοδο στην εφαρμογή, είτε να έχει στη διάθεσή του ένα συμβατό headset.

<sup>5</sup> Visual Scripting System: “In computing a Visual Programming System is a programming language that lets user create programs by manipulating program elements graphically rather than specifying them textually”, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_programming\\_language](https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_programming_language)

### 2.2.4 Unity

Το Unity είναι ένα Game Engine το οποίο αναπτύχθηκε από την εταιρεία Unity Technologies, με σκοπό τη δημιουργία ηλεκτρονικών παιχνιδιών καθώς και τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων. Το συγκεκριμένο λογισμικό ξεχωρίζει για την ευκολία που προσφέρει στον χρήστη να δημιουργήσει 3D, AR και VR εφαρμογές οι οποίες είναι συμβατές με πολλές πλατφόρμες. Μέσω του Unity Game Engine υπάρχει η δυνατότητα για C# scripting, δηλαδή ο προγραμματιστής μπορεί να χρησιμοποιήσει τη γλώσσα προγραμματισμού C# για να δημιουργήσει διαδραστικά και δυναμικά στοιχεία στην εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορεί να ελέγξει την λογική της πλατφόρμας, να διαχειριστεί λειτουργίες των αντικειμένων και να αλληλεπιδράσει με το API από την Unity, επιτυγχάνοντας έτσι περισσότερη προσαρμοστικότητα. [14]

Για τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων μέσω του λογισμικού Unity υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ενσωματωμένων εργαλείων όπως τα XR Plugin Management και XR Interaction Toolkit. Μέσω των συγκεκριμένων εργαλείων απλοποιείται σε μεγάλο βαθμό η χρήση VR αλληλεπιδράσεων και μειώνεται η ανάγκη για χρήση κώδικα. [15] Ακόμη είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το Unity πέρα από τα ενσωματωμένα εργαλεία που προσφέρει, μπορεί να υποστηρίξει και άλλα εργαλεία, όπως για παράδειγμα το VR Builder. Το VR Builder κάνει χρήση ένα σύστημα κόμβων που έχουν ως στόχο τη δημιουργία εικονικών διαδικασιών. Κάθε κόμβος συνίσταται από «συμπεριφορές» και «καταστάσεις», με τις συμπεριφορές να αποτελούν ενέργειες που εκτελούνται στο κάθε βήμα, και τις καταστάσεις να αποτελούν απαιτήσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν πριν το επόμενο βήμα. [16]



Εικ.2: Παραδείγματα κόμβων VR Builder, Mindport

<https://www.mindport.co/vr-builder-tutorials/track-measure-add-on>

## 2.3 Επιλογή του Unity

---

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας η ανάπτυξη του εικονικού χώρου έγινε μέσω του λογισμικού Unity. Ο κύριος λόγος για αυτή την επιλογή είναι το γεγονός ότι υποστηρίζεται εξαγωγή των προγραμμάτων μέσω WebGL, έτσι υπάρχει η δυνατότητα το τελικό πρόγραμμα να μπορεί να εκτελεστεί απευθείας σε ένα πρόγραμμα περιήγησης. Με αυτόν τον τρόπο το πρόγραμμα γίνεται πιο εύκολα προσβάσιμο και δεν είναι αναγκαίο ο χρήστης να εγκαταστήσει επιπλέον λογισμικό. Επίσης η εικονική πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με το πληκτρολόγιο και το ποντίκι, έτσι ο χρήστης δεν χρειάζεται να έχει στην κατοχή του ειδικό εξοπλισμό για να περιηγηθεί στον εικονικό χώρο. Με την εξαγωγή του προγράμματος σε HTML υπάρχει η δυνατότητα η εικονική πλατφόρμα να ενσωματωθεί σε έναν διαδικτυακό ιστότοπο, έτσι μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα site που θα αφορά τον αρχαιολογικό χώρο της Μελιταίας.

Το λογισμικό Unity προσφέρει την επιλογή προγραμματισμού με τη γλώσσα C#, ιδιαιτέρως γνωστή και προτιμητέα για την ανάπτυξη ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Με τη συγκεκριμένη δυνατότητα προγραμματισμού που παρέχει το Unity, μπορούν να δημιουργηθούν προσαρμοσμένες λύσεις για το εικονικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα η κίνηση του επισκέπτη στον εικονικό χώρο καθώς και η κίνηση της κάμερας για την οπτική περιήγηση.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι ένας επίσης σημαντικός λόγος επιλογής του Unity Game Engine, είναι το γεγονός ότι μέσω του συγκεκριμένου λογισμικού τα εξαγόμενα προγράμματα έχουν την ευκαιρία για τυχόν μελλοντική επέκταση. Το project μπορεί να ξεκινήσει ως ένας απλός εικονικός χώρος σε πρόγραμμα περιήγησης και στη συνέχεια μπορεί να προστεθεί η επιλογή για χρήση VR Headset, όπως το Oculus Rift και το HTC Vive. Δημιουργώντας μία εικονική πλατφόρμα μέσω του Unity μπορεί κανείς να ακολουθήσει την τεχνική του αρθρωτού σχεδιασμού (modularity), δηλαδή χωρισμού του προγράμματος σε επαναχρησιμοποιήσιμες συνδεδεμένες ενότητες.[17] Το Asset Store από την εταιρεία Unity Technologies αποτελεί μία αυξανόμενη βιβλιοθήκη από γραφικά στοιχεία, όπως “textures” και “materials” τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα Unity project, κάνοντας το με αυτόν τον τρόπο ιδιαίτερα προσαρμόσιμο στις απαιτήσεις του εικονικού περιβάλλοντος. [14]

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι πολύ σημαντικό να βρίσκονται σε ένα εικονικό μουσείο. Το να είναι εύκολα προσβάσιμο στους χρήστες, καθώς και να είναι διαδραστικό αποτελούν βασικές προτεραιότητες. Τέλος, το γεγονός ότι η συγκεκριμένη πλατφόρμα μπορεί εύκολα να επεκταθεί μέσω του Unity Game Engine, καθώς και με τη βοήθεια πρόσθετου λογισμικού όπως τα plug-ins, σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, καθιστούν το Unity μία έξυπνη επιλογή για τη δημιουργία ενός εικονικού μουσείου.

## 3 Εικονικά Μουσεία: Παραδείγματα και Πλατφόρμες

---

### 3.1 Παραδείγματα Εικονικών Μουσείων στην Ελλάδα

---

Αναμφίβολα, στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά παραδείγματα μουσείων και αρχαιολογικών χώρων, όπου μπορούν να επισκεφτούν επισκέπτες από την Ελλάδα και το εξωτερικό. Ωστόσο, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι λίγα από αυτά έχουν την επιλογή για διαδικτυακή περιήγηση και όσα έχουν δεν διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό. Τα τελευταία χρόνια υπήρξε μία πρόοδος στην ανάπτυξη εικονικών περιβαλλόντων για μουσεία και αρχαιολογικούς χώρους στην Ελλάδα, όμως σίγουρα υπάρχει περιθώριο βελτίωσης. Στις παρακάτω ενότητες θα παρουσιαστούν μερικά παραδείγματα εικονικών μουσείων στην Ελλάδα.

#### 3.1.1 Μουσείο Ακρόπολης

---

Το Μουσείο της Ακρόπολης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αρχαιολογικά μουσεία της Ελλάδας, προσελκύοντας χιλιάδες επισκέπτες κάθε χρόνο, είναι επομένως λογικό ότι και η ψηφιακή του παρουσία είναι πολύ σημαντική, αν όχι απαραίτητη. Για τη δημιουργία των ψηφιακών πολυμέσων του Μουσείου Ακρόπολης δημιουργήθηκε το πρόγραμμα «Δημιουργία Ψηφιακού Μουσείου Ακρόπολης», ακολουθώντας διεθνείς τάσεις και πρακτικές. [18] Στόχος του συγκεκριμένου προγράμματος ήταν η ανάπτυξη ενός ψηφιακού χώρου, που θα αποτελεί το κέντρο επικοινωνίας του μουσείου με το κοινό αλλά και την ψηφιακή διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς του μουσείου.

Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου έργου καταχωρήθηκαν 27.755 ψηφιακά αρχεία, ενώ 60 από τα πιο σημαντικά εκθέματα σκαναρίστηκαν σε τρισδιάστατη μορφή. [18] Στον ιστότοπο του Μουσείου Ακρόπολης μπορεί κανείς να δει ότι υπάρχουν διάφορα ψηφιακά πολυμέσα. Μία από αυτές τις εφαρμογές είναι και η «Εικονική περιήγηση στην αίθουσα του Παρθενώνα», όπου παρατηρούμε γίνεται χρήση της πλατφόρμας Google Arts & Culture για την εικονική περιήγηση στον συγκεκριμένο χώρο του μουσείου, κάνοντας χρήση φωτογραφίες 360 μοιρών. Η εφαρμογή «Εικονική περιήγηση στο Μουσείο Ακρόπολης», που βρίσκεται στον ιστότοπο του μουσείου, αξιοποιεί ένα σφαιρικό βίντεο με εικόνες του εξωτερικού και του εσωτερικού χώρου του μουσείου, παρέχοντας επίσης τη δυνατότητα ο χρήστης να περιηγηθεί σε αυτές κάνοντας χρήση ποντικιού ή touchpad.

#### 3.1.2 Αρχαιολογικό Μουσείο Δελφών

---

Ο αρχαιολογικός χώρος των Δελφών παίζει έναν σημαντικό ρόλο στην πολιτιστική κληρονομιά της αρχαίας Ελληνικής ιστορίας, με το μαντείο των Δελφών να αποτελεί το πιο γνωστό μαντείο στην αρχαία Ελλάδα. [19] Είναι λοιπόν ευχάριστο το γεγονός ότι, το μουσείο του συγκεκριμένου αρχαιολογικού χώρου έχει τον δικό του ιστότοπο με εφαρμογή εικονικής περιήγησης.

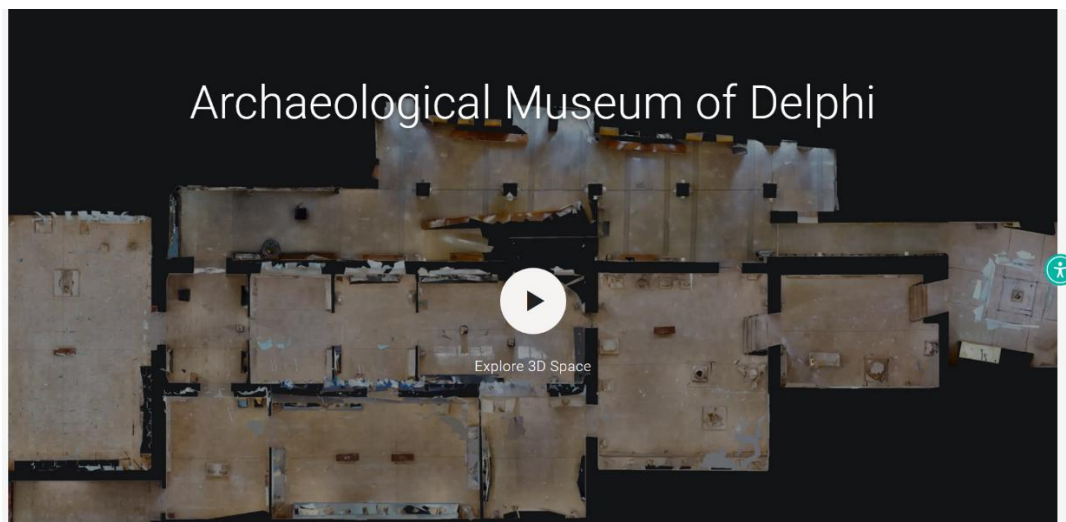
Ο ιστότοπος του Μουσείου του Αρχαιολογικού χώρου των Δελφών αποτελείται από διάφορες ενότητες, όπως πληροφορίες σχετικά με τον αρχαιολογικό χώρο, το

μουσείο, αλλά υπάρχει επίσης και η ενότητα της ψηφιακής περιήγησης. Στην ενότητα της ψηφιακής περιήγησης ο επισκέπτης μπορεί να περιηγηθεί στον χώρο του μουσείου μέσω διαδικτυακής εφαρμογής. Η ανάπτυξη των εικονικών χώρων του μουσείου φαίνεται να έχει υλοποιηθεί με εξειδικευμένο εξοπλισμό τρισδιάστατης σάρωσης, από εταιρεία παροχής υπηρεσιών τρισδιάστατης απεικόνισης και λήψης χωρικών δεδομένων. [20] Για την ακριβή απεικόνιση των χώρων του μουσείου χρησιμοποιήθηκε επίγεια 3D σάρωση για την απόκτηση δεδομένων υψηλής ακρίβειας. Το τελικό αποτέλεσμα περιέχει πανοραμικές εικόνες του χώρου του μουσείου, την κάτοψη του κτιρίου καθώς και τρισδιάστατες σαρώσεις επιλεγμένων εκθεμάτων. Τα αρχεία που παρήχθησαν από την τρισδιάστατη σάρωση, επεξεργάστηκαν σε εξειδικευμένο λογισμικό για 3D δεδομένα, λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, που δεν επιτρέπει συμβατικές μεθόδους αποθήκευσης και επεξεργασίας αρχείων. Για την ενσωμάτωση της πλατφόρμας στον ιστότοπο του μουσείου χρησιμοποιήθηκε κώδικας HTML. [21] Επίσης στον διαδικτυακό ιστότοπο του αρχαιολογικού μουσείου των Δελφών μπορούμε να δούμε ότι, υπάρχει και η δυνατότητα εγκατάστασης εφαρμογής για κινητά τηλέφωνα λογισμικού iOS και Android. Στην εφαρμογή για κινητά υπάρχει η δυνατότητα εικονικής περιήγησης στον χώρο του μουσείου καθώς και η προβολή τρισδιάστατων αντικειμένων, όπως επίσης και η προβολή βίντεο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, όπως αναγράφεται και στον επίσημο ιστότοπο του αρχαιολογικού μουσείου Δελφών, η συγκεκριμένη εφαρμογή αναπτύχθηκε με σκοπό τη διευκόλυνση της πρόσβασης ατόμων με κινητικές ή ακουστικές δυσκολίες.

Επιπλέον στο website του μουσείου υπάρχει ο σύνδεσμος με το όνομα “3d4delphi” ο οποίος μεταβιβάζει τον επισκέπτη στον ιστότοπο μιας άλλης πρωτοβουλίας, σχετικά με την ψηφιοποίηση του ναού του Απόλλωνα. Το τρισδιάστατο μοντέλο του ναού του Απόλλωνα δημιουργήθηκε για τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς του συγκεκριμένου μνημείου. Η ψηφιοποίηση του ναού έγινε με 3D σάρωση, για την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, που απαιτούνται στη δημιουργία ενός ψηφιακού αντιγράφου του μνημείου. Για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του ναού του Απόλλωνα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Structure from Motion<sup>6</sup> (SfM), με τον ναό να χωρίζεται σε τμήματα και κάθε τμήμα να αποτελεί έναν διαφορετικό όροφο του ναού. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEM analysis) για τη μελέτη της στατικής και δυναμικής συμπεριφοράς του ναού, συμπεριλαμβανομένων και σεναρίων κατάρρευσης σε περίπτωση σεισμού. [22]

---

<sup>6</sup> Structure from Motion: Structure from motion (SfM) is a photogrammetric range imaging technique for estimating three-dimensional structures from two-dimensional image sequences that may be coupled with local motion signals. It is studied in the fields of computer vision and visual perception, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Structure\\_from\\_motion](https://en.wikipedia.org/wiki/Structure_from_motion)



Εικ.3: Επίσημο site αρχαιολογικού χώρου Δελφών, Εικονική περιήγηση  
<https://delphi.culture.gr>

## 3.2 Παραδείγματα Εικονικών Μουσείων στο εξωτερικό

### 3.2.1 Βρετανικό Μουσείο

Το Βρετανικό μουσείο αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά μουσεία στον κόσμο, με πολύ μεγάλο αριθμό επισκεπτών κάθε χρόνο. Είναι επομένως φυσικό και η ψηφιακή του παρουσία να είναι πολύ σημαντική για την πρόσβασή του στο ευρύ κοινό. Μέσω του επίσημου ιστότοπου του Βρετανικού μουσείου μπορεί κανείς να δει ότι υπάρχει η δυνατότητα εικονικής περιήγησης στον χώρο του μουσείου μέσω της πλατφόρμας Google Street View. Μέσω του Google Street View ο επισκέπτης μπορεί να περιηγηθεί ψηφιακά σε πάνω από εξήντα εκθεσιακές αίθουσες, όπου περιέχονται μερικά από τα σημαντικότερα εκθέματα του μουσείου. [23] Η πλατφόρμα Google Street View κάνει χρήση πανοραμικών φωτογραφιών 360 μοιρών, οι οποίες έχουν αποτυπωθεί με εξειδικευμένο εξοπλισμό και μεθόδους, όπως αυτής της φωτογραμμετρίας. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί ότι στο επίσημο website του Βρετανικού μουσείου υπάρχει και η δυνατότητα θέασης μεγάλου αριθμού φωτογραφημένων εκθεμάτων. Οι φωτογραφίες των εκθεμάτων είναι υψηλής ευκρίνειας, έτσι ο επισκέπτης μπορεί να μεγεθύνει σε πολύ μεγάλο βαθμό την εικόνα και να διακρίνει με ευκολία τις λεπτομέρειες του εκθέματος.

### 3.2.2 Μουσείο του Πράδο

Το μουσείο του Πράδο είναι ένα από τα σημαντικότερα μουσεία τέχνης στον κόσμο με 3 εκατομμύρια επισκέπτες τον χρόνο και με πάνω από 10 εκατομμύρια επισκέπτες στο site του μουσείου, όπως και αναγράφεται σε αυτό. Στον ιστότοπο του μουσείου στην ενότητα με το όνομα “Virtual Tours”, υπάρχει η επιλογή της

εικονικής περιήγησης του χώρου του μουσείου. Η εικονική περιήγηση είναι διαδραστική και αποτελείται από φωτογραφίες 360 μοιρών υψηλής ευκρίνειας, όπως έχουμε δει μέχρι στιγμής και σε site άλλων μουσείων. Οι επισκέπτες μπορούν να «περιηγηθούν» σε διάφορους χώρους του μουσείου μέσω διαδραστικών σημείων, κάνοντας χρήση του ποντικιού ή του touchpad του υπολογιστή τους. Επίσης σε ορισμένα από τα εκθέματα υπάρχει η δυνατότητα προβολής των πληροφοριών, καθώς και του ίδιου του εκθέματος σε πιο λεπτομερή εικόνα, από αναδυόμενο παράθυρο. [24]

Αυτό που ενδεχομένως ξεχωρίζει την εικονική περιήγηση του μουσείου του Πράδο είναι το γεγονός ότι, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης VR headset πράγμα το οποίο καθιστά την εικονική περιήγηση ακόμα πιο διαδραστική. Από αυτό μπορούμε να καταλάβουμε ότι, στη συγκεκριμένη πλατφόρμα υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης στεροσκοπικής απόδοσης καθώς και λειτουργία head-tracking, οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες για τη λειτουργία των VR headset. Για την ανάπτυξη της εικονικής περιήγησης του μουσείου του Πράδο, είναι πιθανό ότι χρησιμοποιήθηκαν προσαρμοσμένες λύσεις του WebXR ή αντίστοιχου framework, καθώς η εικονική πλατφόρμα είναι προσβάσιμη μέσω προγράμματος περιηγητή.

### 3.3 Google Arts & Culture

---

Η πλατφόρμα Google Arts & Culture αναπτύχθηκε από την Google και έγινε διαθέσιμη για το ευρύ κοινό το 2011. Αξίζει να αναφερθεί στα πλαίσια της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας διότι, στη συγκεκριμένη πλατφόρμα υπάρχει πλήθος εκθεμάτων μουσείων, αρχαιολογικών χώρων και άλλων πολιτιστικών φορέων, από την Ελλάδα και το εξωτερικό, μεταξύ των οποίων και των πιο γνωστών μουσείων στον κόσμο.

Η εφαρμογή Google Arts & Culture είναι διαθέσιμη διαδικτυακά καθώς επίσης είναι διαθέσιμη και για εγκατάσταση σε smartphones, είτε είναι iOS είτε Android. Στη συγκεκριμένη πλατφόρμα ο χρήστης μπορεί να εξερευνήσει μουσεία και αρχαιολογικούς χώρους μέσω Google Street View, δηλαδή μέσω φωτογραφιών και βίντεο υψηλής ευκρίνειας. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα ο χρήστης να μπορεί αποθηκεύσει εκθέματα, να ενημερώνεται για εκθέσεις που παίρνουν μέρος αλλά ακόμα και να λάβει μέρος σε ηλεκτρονικά παιχνίδια της εφαρμογής. [25]

Μπορούμε λοιπόν να δούμε ότι η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελεί έναν καλό τρόπο ανάδειξης ενός μουσείου ή ενός αρχαιολογικού χώρου, παρέχοντας διαδραστικές εμπειρίες στον επισκέπτη. Για να ενταχθεί ένας πολιτιστικός φορέας στο Google Arts & Culture θα πρέπει να συνεργαστεί με την Google, συγκεκριμένα θα πρέπει, ως πρώτο βήμα, να γίνει μία ηλεκτρονική αίτηση στον επίσημο ιστότοπο Google Arts & Culture.

## 4 Παρουσίαση της Πλατφόρμας

---

### 4.1 Σκοπός της πλατφόρμας

---

Ο σκοπός της συγκεκριμένης πλατφόρμας είναι η λειτουργία της ως μία εικονική λύση για την προβολή των εκθεμάτων του αρχαιολογικού χώρου της Μελιταιίας. Βασικός στόχος της συγκεκριμένης πλατφόρμας είναι να είναι ευκολά προσβάσιμη, χωρίς να απαιτείται η χρήση VR Headset. Για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου επιλέχθηκε η μηχανή παιχνιδιών Unity καθώς και το framework WebGL. Στη συγκεκριμένη πλατφόρμα ο χρήστης μπορεί να περιηγηθεί στον εικονικό χώρο, να δει τα εκθέματα του αρχαιολογικού χώρου σε μορφή φωτογραφιών αλλά και πληροφορίες σχετικά με αυτά μέσω αναδυόμενων παραθύρων. Μία αντίστοιχη πλατφόρμα μπορεί να αποτελέσει έναν έξυπνο τρόπο ανάδειξης ενός αρχαιολογικού χώρου, ειδικά σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει κάποιος φυσικός χώρος παρουσίασης των εκθεμάτων, όπως αυτός ενός μουσείου.

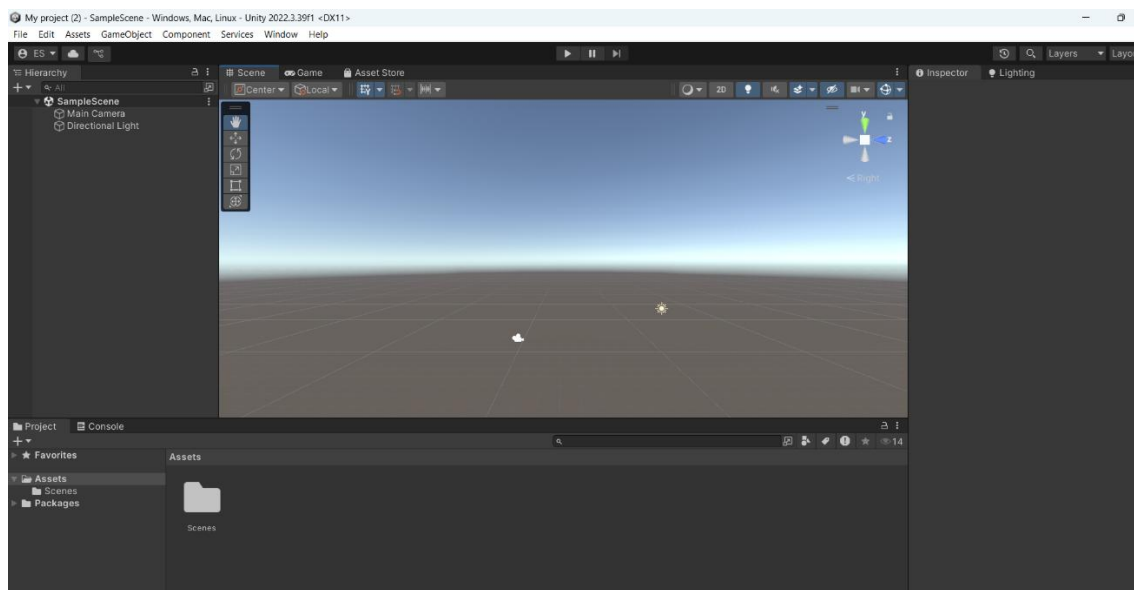
### 4.2 Περιγραφή της πλατφόρμας

---

#### 4.2.1 Δημιουργία του project

---

Όπως αναφέρθηκε ήδη, η ανάπτυξη της πλατφόρμας έγινε με τη μηχανή παιχνιδιών Unity 3D, έτσι σε πρώτη φάση ήταν απαραίτητη η εγκατάσταση του συγκεκριμένου λογισμικού. Η εγκατάσταση του λογισμικού έγινε μέσω του επίσημου ιστότοπου της Unity, εξασφαλίζοντας τη συμβατή έκδοση και συμβατότητα με WebGL. Το Unity Hub, η εφαρμογή επιφάνειας εργασίας της Unity, χρησιμοποιήθηκε για την διαχείριση του project. Έπειτα από την εγκατάσταση του Unity Hub έγινε η δημιουργία του project επιλέγοντας την ενότητα 3D core (Basic Render pipeline). Η συγκεκριμένη λειτουργία επιλέχθηκε διότι, η βασική απόδοση γραφικών, basic 3D pipeline, παρέχει μία απλή και σταθερή λύση για τη δημιουργία WebGL project, καθώς η απόδοση και η συμβατότητα είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες για την ανάπτυξη εφαρμογών προγραμμάτων περιήγησης. Η ενότητα WebGL επιλέχθηκε μέσω των ρυθμίσεων εξαγωγής του project σε αρχικό στάδιο της δημιουργίας της πλατφόρμας. Η αρχική σκηνή μετά τη δημιουργία του project περιέχει βασικά αντικείμενα όπως ο παίκτης (player) και η κάμερα (camera).



Εικ.4: Βασική σκηνή μετά τη δημιουργία νέου project

#### 4.2.2 Δομή και χαρακτηριστικά της πλατφόρμας

Η πλατφόρμα αποτελείται από μία βασική σκηνή που περιλαμβάνει τον εικονικό χώρο του μουσείου όπου εκτίθενται οι φωτογραφίες των εκθεμάτων. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιηγηθεί στον χώρο, εικονικά, προσομοιώνοντας μία ξενάγηση σε φυσικό μουσείο. Βασική προϋπόθεση κατά την ανάπτυξη της συγκεκριμένης πλατφόρμας ήταν η συμβατότητα με προγράμματα περιηγητών καθώς και με την εξαγωγή σε WebGL. Ακόμη ένα πολύ βασικό κριτήριο ήταν η περιήγηση να είναι δυνατή και χωρίς τη χρήση επιπλέον εξοπλισμού, όπως για παράδειγμα VR Headset.

### 4.3 Διαδικασία Ανάπτυξης

Στις παρακάτω ενότητες θα γίνει παρουσίαση της διαδικασίας ανάπτυξης της εικονικής πλατφόρμας όπως, της διαδικασίας επιλογής κατάλληλων εργαλείων, ανάπτυξης και μορφοποίησης αλλά και εξαγωγής του προγράμματος.

#### 4.3.1 Διαδικασία δομής του εικονικού χώρου

Η διαδικασία ανάπτυξης του εικονικού χώρου ξεκίνησε με τον σχεδιασμό του «κτιρίου», συγκεκριμένα έγινε χρήση του ενσωματωμένου εργαλείου μοντελοποίησης, ProBuilder, της Unity. Μέσω του ProBuilder είναι εφικτό να δημιουργηθούν τρισδιάστατα αντικείμενα χωρίς τη χρήση επιπλέον λογισμικού όπως του Blender ή Maya έτσι, η επεξεργασία και δημιουργία των αντικειμένων γίνεται απευθείας στο λογισμικό Unity. Επιπλέον το Probuilder προσφέρει τη δυνατότητα για δημιουργία αντικειμένων low-poly, δηλαδή χαμηλής απόδοσης γραφικών, τα οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την εξαγωγή του project σε WebGL καθώς με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται καλύτερη απόδοση.

Για τη δημιουργία του κτιρίου χρησιμοποιήθηκαν ProBuilder αντικείμενα, αρχικά τοποθετήθηκε ένα ProBuilder επίπεδο (plane) το οποίο δρα ως δάπεδο. Το

δάπεδο επιτρέπει επίσης στον χρήστη να μετακινείται στα πλαίσιά του. Στην ανάπτυξη του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε αρθρωτή (modular) προσέγγιση, δηλαδή κάθε τοίχος και κάθε αντικείμενο του τοίχου αποτελεί ένα διαφορετικό ProBuilder αντικείμενο. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το σχήμα του κύβου, το οποίο αυξομειώθηκε στα κατάλληλα μεγέθη για τις απαιτήσεις τις εργασίας. Για τις ανάγκες της εργασίας ο αρθρωτός σχεδιασμός, αποτέλεσε βασικό κριτήριο για την ανάπτυξη της πλατφόρμας καθώς, με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται η επεκτασιμότητα της πλατφόρμας όπως επίσης και η προσαρμοστικότητα της. Ακόμη μέσω της αρθρωτής σχεδίασης της πλατφόρμας η Unity δεν χρειάζεται να φορτώσει μεγάλα μοντέλα έτσι, έχουμε καλύτερη απόδοση.

Η τοποθέτηση των τρισδιάστατων αντικειμένων, δηλαδή των Probuilder κύβων έγινε με τη χρήση εργαλείων ευθυγράμμισης και πλεγμάτων, ενσωματωμένων στη μηχανή Unity. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, έγινε προσπάθεια οι διαστάσεις των τοίχων να μην απέχουν σε μεγάλο βαθμό με αυτών ενός φυσικού χώρου. Ακόμη σημαντικό ήταν να γίνει η σωστή ευθυγράμμιση των τοίχων έτσι ώστε να αποφευχθούν σημεία διαπεράσεων που έχουν ως αποτέλεσμα την κακή απόδοση των γραφικών. Τα παραπάνω, μπορούν να αποφευχθούν με την προσεκτική τοποθέτηση των αντικειμένων και με διαρκές δοκιμές. Τέλος ο χώρος του μουσείου σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε η περιήγηση σε αυτόν να γίνεται εύκολα με το πληκτρολόγιο και το ποντίκι ή touchpad. Δηλαδή στο εσωτερικό του εικονικού κτιρίου, δεν υπάρχουν πολλοί εσωτερικοί τοίχοι έτσι, ο χρήστης μπορεί να περιηγηθεί με άνεση σε αυτόν, καθώς έχει την αίσθηση ανοιχτού χώρου.

#### 4.3.2 Εφαρμογή Υλικών και Υφών

Η εφαρμογή των υλικών αποτελεί βασικό κομμάτι στην ανάπτυξη πλατφορμών μέσω Unity διότι με αυτόν τον τρόπο τα αντικείμενα παίρνουν τρισδιάστατη μορφή και γίνονται πιο ρεαλιστικά.

Ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόστηκαν οι υφές είναι μέσω των Υλικών (Materials) της Unity. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα υλικά μέσω του Shader Standard της Unity έτσι ώστε να καθοριστούν οι οπτικές ιδιότητες των επιφανειών όπως των τοίχων και του δαπέδου. Κάθε υλικό αποτελείται από διάφορα αρχεία τα οποία τοποθετούνται στο κατάλληλο σημείου του Inspector. Το παράθυρο Inspector είναι ένας από τους βασικούς τρόπους επεξεργασίας των αντικειμένων μέσω του Unity Editor. Για την επεξεργασία των υφών μέσω Inspector καθορίστηκαν τα shader type, για τον τρόπο με τον οποίο το υλικό αποδίδει φως και σκιά, τα texture slots και το Rendering mode το οποίο ορίζει αν το υλικό θα είναι διαφανές ή όχι.

Τα πακέτα των υφών εγκαταστάθηκαν είτε μέσω του Unity Asset Store είτε από ιστότοπο που παρέχει πακέτα για μηχανές παιχνιδιών όπως Unity και Unreal Engine. Τα πακέτα των υφών εμπεριείχαν αρχεία της μορφής PNG/JPG και EXR. Το αρχείο PNG χρησιμοποιήθηκε στο Albedo το οποίο καθορίζει το βασικό χρώμα και την υφή του υλικού. Ακόμη τα αρχεία JPG εφαρμόστηκαν στην επιλογή Normal Map, η οποία προσθέτει ένα ανάγλυφο εφέ, δίνοντας λεπτομέρειας χωρίς επιπλέον γεωμετρία. Τα αρχεία EXR εφαρμόστηκαν στην επιλογή Lightmap, η οποία επιτρέπει την αποθήκευση πληροφοριών φωτισμού και σκιών βελτιώνοντας τον φωτισμό στη σκηνή. Τέλος στην επιλογή Occlusion Map εφαρμόστηκε το grayscale PNG αρχείο, για να αποδοθεί καλύτερα η αντίθεση σε σκοτεινές περιοχές του υλικού ώστε να έχουμε περισσότερη λεπτομέρεια.

Για την καλύτερη απόδοση των υφών κατά την εξαγωγή σε WebGL χρησιμοποιήθηκε συμπίεση σε ETC2 και DXT για τη μείωση της απαιτούμενης μνήμης αλλά διατηρώντας την ευκρίνεια των υλικών. Ακόμη για την απόδοση των γραφικών χρησιμοποιήθηκε ο Standard Shader για μεγαλύτερη απόδοση ευκρίνειας, όπου αυτό ήταν δυνατό.

#### 4.3.3 Προσθήκη των εκθεμάτων στη σκηνή

Η έκθεση των αρχαιολογικών ευρημάτων στον εικονικό χώρο του μουσείου έγινε με τη μορφή εικόνων των εκθεμάτων. Για να επιτευχθεί αυτό, πραγματοποιήθηκε πρώτα μία διεργασία επεξεργασίας των φωτογραφιών ως materials για τη ρεαλιστική απόδοση των εικόνων και την εύκολη προσαρμογή τους στις ανάγκες του project.

Ως πρώτο στάδιο ήταν η εισαγωγή των εικόνων στο περιβάλλον της Unity, συγκεκριμένα στο πεδίο των Asset, έτσι ώστε να γίνει σωστά η διαχείρισή τους. Μετά την ολοκλήρωση εισαγωγής των εικόνων στο λογισμικό, το επόμενο βήμα ήταν η αποθήκευση των εικόνων ως textures και συγκεκριμένα το Texture Type τέθηκε ως Default. Μετά την ολοκλήρωση αυτού του βήματος δημιουργήθηκαν τα υλικά με τις υφές των εικόνων, τα οποία και αποθηκεύτηκαν σε ξεχωριστό φάκελο για την καλύτερη διαχείρισή τους. Στην επιλογή των Shaders των υλικών έγινε χρήση του Unlit/Texture έτσι ώστε να υπάρχει συμβατότητα με την εξαγωγή WebGL όπως επίσης και για τη διασφάλιση καλύτερης απόδοσης του project σε προγράμματα περιήγησης.

Για την παρουσίαση των εκθεμάτων στον εικονικό χώρο, χρησιμοποιήθηκαν τρισδιάστατα αντικείμενα στα οποία εφαρμόστηκαν τα υλικά, τα οποία δημιουργήθηκαν από τις εικόνες. Τα αντικείμενα που επιλέχθηκαν για αυτόν τον σκοπό είναι τα επίπεδα (planes) μέσω Probuilder. Τα συγκεκριμένα αντικείμενα αυξήθηκαν σε μέγεθος μέσω αλλαγών στο παράθυρο Inspector και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αυτά τα κατάλληλα υλικά, δηλαδή οι φωτογραφίες που αναλογούν στο κάθε ένα από αυτά. Στα επίπεδα τα οποία εφαρμόστηκε φωτογραφία ίδιου ύψους και πλάτους, δηλαδή τετράγωνου σχήματος, δεν χρειάστηκε να αλλαχθούν οι αναλογίες του σχήματος του επιπέδου. Το αποτέλεσμα ήταν ικανοποιητικό καθώς δεν υπήρχαν αλλοιώσεις στο έκθεμα που απεικονιζόταν. Στις περιπτώσεις που η φωτογραφία του εκθέματος δεν είχε τετράγωνο σχήμα, χρειάστηκε και η προσαρμογή των αναλογιών του επιπέδου, έτσι ώστε να μην υπάρξουν αλλοιώσεις. Για να γίνει σωστή προσαρμογή, υπολογίστηκε ο λόγος ύψους προς πλάτος (Height/Width) κάθε εικόνας και στη συνέχεια το επίπεδο αυξομειώθηκε αναλόγως ώστε να ταιριάζει με αυτή την αναλογία. Τέλος τα επίπεδα τοποθετήθηκαν κατάλληλα στη σκηνή, δοκιμάζοντας επανειλημμένα την τοποθέτησή τους αλλάζοντας τη θέση και τη γωνία τους στον χώρο, ούτως ώστε να διασφαλιστεί η ευκρινής προβολή τους.

Βάσει των παραπάνω προσαρμογών εξασφαλίστηκε το γεγονός ότι, οι εικόνες παρουσιάζονται στον εικονικό χώρο με ευανάγνωστο τρόπο και διατηρώντας ένα ρεαλιστικό μέγεθος, βοηθώντας τον χρήστη να έχει μία καλύτερη εμπειρία περιήγησης.

#### 4.3.4 Διαδραστικά στοιχεία: Αναδυόμενα παράθυρα και πλοήγηση χρήστη

Η διαδραστικότητα αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό για την ανάπτυξη VR εφαρμογών επιτρέποντας στους χρήστες μία καλύτερη εικονική εμπειρία. Οι δύο κύριες διαδραστικές λειτουργίες που έχουν εφαρμοστεί στην πλατφόρμα είναι τα αναδυόμενα παράθυρα με πληροφορίες των εκθεμάτων και η περιήγηση σε πρώτο πρόσωπο (First Person Controller).

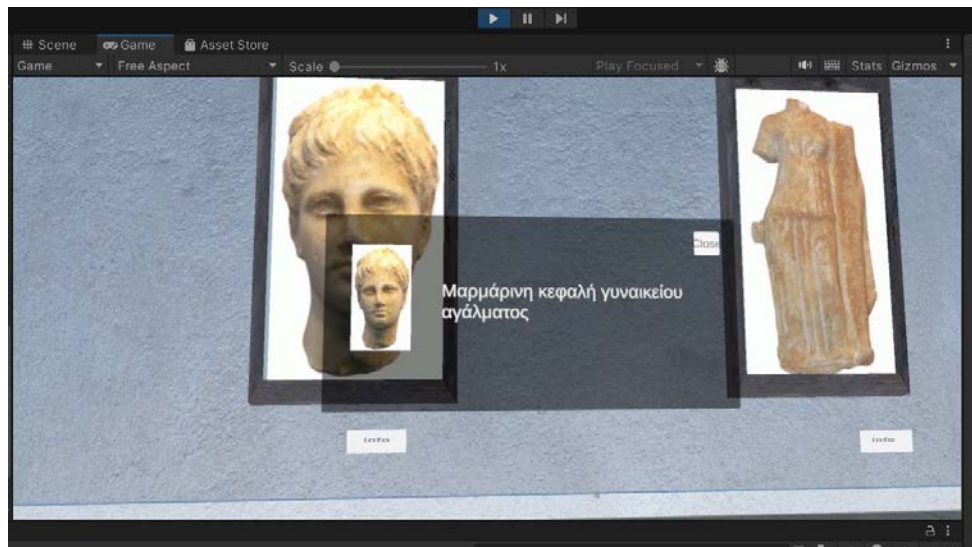
##### 4.3.4.1 Αναδυόμενα παράθυρα

Στα πλαίσια ανάπτυξης του συγκεκριμένου εικονικού χώρου ήταν πολύ σημαντικό να ενσωματωθεί και η λειτουργία αναδυόμενων παραθύρων, στα οποία εμπεριέχονται εικόνες των εκθεμάτων καθώς και μία σύντομη περιγραφή για το κάθε ένα από αυτά.

Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στη χρήση UI αντικειμένων της Unity και συγκεκριμένα του UI Canvas το οποίο περιέχει τα κατάλληλα στοιχεία για τη δημιουργία των αναδυόμενων παραθύρων. Κάθε UI Canvas αποτελείται από ένα Panel στο οποίο εμπεριέχονται ορισμένα στοιχεία διεπαφής τα οποία είναι τα Text, Image και Button. Στο παράθυρο Hierarchy αυτά τα στοιχεία βρίσκονται εντός του Canvas, για την καλύτερη διαχείρισή τους. Αρχικά το Panel βρίσκεται σε ανενεργή κατάσταση, δηλαδή δεν είναι εμφανές και λειτουργικό έως ότου ενεργοποιηθεί από τον χρήστη μέσω του καθορισμένου Button. Για να επιτευχθεί αυτή η λειτουργία, χρησιμοποιήθηκε κώδικας σε C# ο οποίος γράφτηκε στο text editor Visual Studio Code. Για την ομαλή διαχείριση του UI, η μετάβαση μεταξύ καταστάσεων γίνεται μέσω της ιδιότητας SetActive(true/false), η οποία ελέγχει τη διαθεσιμότητα των παραθύρων στην οθόνη.

Οι φωτογραφίες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στο Panel έχουν τη μορφή υφών αλλά σε αντίθεση με τις φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν στα επίπεδα, το Texture Shader έχει ορισθεί ως 2D/Sprite. Οι εικόνες εφαρμόστηκαν στο Panel ως Image Components και για να διατηρηθούν οι αρχικές τους διαστάσεις επιλέχθηκε Preserve Aspect Ratio , ώστε να μην υπάρξει κάποια παραμόρφωση. Τέλος στα αναδυόμενα παράθυρα η παρουσίαση των πληροφοριών των εκθεμάτων γίνεται μέσω Text Components. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε η χρήση του TextMeshPro (TMP), διότι με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να έχουμε μεγαλύτερη ευελιξία επιλέγοντας δυνατότητες μορφοποίησης. Μέσω του συγκεκριμένου εργαλείου επιτρέπεται η εμφάνιση σύντομων περιγραφικών φράσεων δίπλα από κάθε εικόνα. Ακόμη επιλέχθηκε κατάλληλη γραμματοσειρά η οποία υποστηρίζει την Ελληνική γλώσσα, χωρίς να παράγει αλλοιώσεις κειμένου.

Στα αναδυόμενα παράθυρα γίνεται χρήση δύο βασικών κουμπιών, Button UI Elements. Η λειτουργία των κουμπιών έχει υλοποιηθεί με τη χρήση C# κώδικα και εφαρμογή της μεθόδου OnClick(), ελέγχοντας τη μετάβαση «ενεργό» και «ανενεργό». Το κουμπί με την ένδειξη “info”, χρησιμεύει για το άνοιγμα του αναδυόμενου παραθύρου και έχει αρχικά λευκό χρώμα. Κατά τη χρήση του, το κουμπί αλλάζει χρώμα και γίνεται πράσινο πριν ξανά γυρίσει στο αρχικό του χρώμα. Το δεύτερο κουμπί με την ένδειξη “close” έχει τη λειτουργία η οποία είναι υπεύθυνη για το κλείσιμο του παραθύρου. Παρόμοια με το πρώτο κουμπί το χρώμα αλλάζει κατά τη λειτουργία του κουμπιού, αυτή τη φορά σε κόκκινο χρώμα.



Εικ.5: Παράδειγμα αναδυόμενου παραθύρου.

#### 4.3.4.2 Πλοήγηση χρήστη

Η περιήγηση του χρήστη στον εικονικό χώρο γίνεται με First Person Controller (FPC), το οποίο έχει προγραμματιστεί σε C#. Βασική προϋπόθεση κατά την ανάπτυξη της πλατφόρμας ήταν, ο χρήστης να μπορεί να μετακινηθεί με το πληκτρολόγιο και το ποντίκι ή touchpad, χωρίς τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού. Μέσω του C# script καθορίστηκε η ταχύτητα κίνησης του χρήστη στον εικονικό χώρο, όπως επίσης και η λειτουργία περιστροφής της κάμερας. Ο χρήστης για να αλλάξει την οπτική του γωνία θα πρέπει να κάνει κλικ και να σύρει το ποντίκι στη σκηνή Unity. Τα παραπάνω ρυθμίστηκαν έτσι ώστε ο χρήστης να έχει μία ομαλή περιήγηση στον χώρο του εικονικού μουσείου.

#### 4.3.5 Χρήση Prefabs

Για την περαιτέρω διαμόρφωση του χώρου χρησιμοποιήθηκαν Prefabs, δηλαδή προ-δημιουργημένα αντικείμενα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία σκηνή είτε αυτούσια είτε έπειτα από επεξεργασία. Τα συγκεκριμένα Prefabs εγκαταστάθηκαν από το Unity Asset Store.

Για την παρουσίαση των εκθεμάτων χρησιμοποιήθηκαν αντικείμενα σε μορφή κορνίζας, έτσι ώστε να αποδοθεί περισσότερος ρεαλισμός στη σκηνή. Οι κορνίζες αυξομειώθηκαν μέσω του παραθύρου Inspector και τοποθετήθηκαν παράλληλα από τα επίπεδα στα οποία έχουν τοποθετηθεί οι εικόνες. Ακόμη, τα άλλα αντικείμενα που τοποθετήθηκαν είναι αυτά που έχουν μορφή δέντρου. Τα συγκεκριμένα αντικείμενα τοποθετήθηκαν έξω από το εικονικό κτίριο.

Εκτός από τα παραπάνω αντικείμενα στη σκηνή εγκαταστάθηκε επίσης και ένα Skybox το οποίο δρα ως φόντο. Το συγκεκριμένο Skybox είναι 2D και δεν είναι ρεαλιστικό σε μεγάλο βαθμό όμως, είναι κατάλληλο για τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου ψηφιακού χώρου. Ακόμη το Skybox είναι υπεύθυνο και για τον

φωτισμό του χώρου, προσφέροντας ρεαλιστικά αποτελέσματα χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση επιπλέον φωτισμού.

## 4.4 Δοκιμές και Εξαγωγή

---

### 4.4.1 Δοκιμές

---

Κατά τη διάρκεια του project, χρειάστηκε να γίνουν επανειλημμένες δοκιμές για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία της πλατφόρμας και των διαδραστικών της στοιχείων. Ένα πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίστηκε ήταν η λανθασμένη τοποθέτηση των Canvas. Αρχικά τα συγκεκριμένα αντικείμενα βρίσκονταν εκτός του πεδίου της κάμερας και είχαν λανθασμένη κλίμακα μεγέθους. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την επανατοποθέτηση και ρύθμιση του μεγέθους των UI Canvas, έτσι ώστε να ευθυγραμμίζονται με το πεδίο προβολής της κάμερας. Ένα ακόμη πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίστηκε ήταν αυτό της προβολής των εικόνων μέσα στα Panel. Κατά την αρχική τοποθέτηση των εικόνων μέσα στα UI Panel, ορισμένες από αυτές παρουσιάζονταν παραμορφωμένες λόγω των λανθασμένων αναλογιών που είχαν. Αυτό το πρόβλημα επιλύθηκε με τη σωστή επιλογή του Render Mode και τη σωστή τοποθέτηση των εικόνων μέσα στα Panel.

Ακόμη ένα άλλο στοιχείο το οποίο χρειάστηκε πολλαπλές δοκιμές ήταν αυτό του First Person Controller, καθώς με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μετακινείται στον χώρο. Η ταχύτητα κίνησης ήταν αρχικά πολύ υψηλή με αποτέλεσμα η μετάβαση στον χώρο να μην γίνεται με ευκολία. Τέλος έγιναν και προσαρμογές στις ρυθμίσεις της κάμερας για να αποδοθεί μία πιο ρεαλιστική εμπειρία. Σε αρχικό στάδιο της ανάπτυξης, οι τοίχοι έμοιαζαν να έχουν κλίση προς τα έξω, πράγμα το οποίο ήταν αντιαισθητικό. Για να επιλυθεί το συγκεκριμένο ζήτημα έπρεπε να ρυθμιστεί κατάλληλα το Field of View (FoV) της κάμερας. Επιπλέον για να έχουμε ακόμα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα ρυθμίστηκε και η γωνία θέασης ελαφρώς προς τα επάνω, έτσι ώστε ο παίκτης να φαίνεται ότι κοιτάει προς τα πάνω και όχι οριζόντια ή προς τα κάτω.

### 4.4.2 Εξαγωγή σε WebGL

---

Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της πλατφόρμας και για τον συνεχή έλεγχο, η επιλογή εξαγωγής του προγράμματος που επιλέχθηκε ήταν η Build and Run της Unity. Η συγκεκριμένη επιλογή επιτρέπει την άμεση εκτέλεση του προγράμματος, χωρίς τη χρήση server. Η επιλογή Build and Run είναι μία καλή επιλογή για την ανάπτυξη της πλατφόρμας καθώς η συνεχής δοκιμή καθίσταται πολύ εύκολη. Όμως η συγκεκριμένη επιλογή μας επιτρέπει να δοκιμάσουμε την πλατφόρμα μία φορά καθώς χρειάζεται εκ νέου εξαγωγή.

Επομένως για την τελική εξαγωγή του προγράμματος επιλέχθηκε η εξαγωγή Build, η οποία και δημιουργήσε τα κατάλληλα αρχεία για εξαγωγή σε WebGL. Για τη λειτουργία της πλατφόρμας σε πρόγραμμα περιήγησης εφαρμόστηκε η δημιουργία τοπικού server και συγκεκριμένα έγινε επιλογή Node.js server. Ακόμη έγιναν περαιτέρω ρυθμίσεις για την εξαγωγή σε WebGL, συγκεκριμένα στις ρυθμίσεις που αφορούν τον παίκτη, έγινε επιλογή του WebGL 2.0 για τη σωστή απόδοση των γραφικών.

## 5 Συμπεράσματα

---

### 5.1 Συμπεράσματα

---

Μία διαδικτυακή πλατφόρμα για τον Αρχαιολογικό χώρο της Μελιταίας χρησιμεύει ως μία σημαντική συμβολή τόσο στη διατήρηση όσο και στην προσβασιμότητα του συγκεκριμένου χώρου.

Αναπτύσσοντας τη συγκεκριμένη πλατφόρμα βασικός στόχος ήταν η προσβασιμότητα και συγκεκριμένα, η λειτουργία της μέσω ενός προγράμματος περιήγησης. Βασικό άξονας ήταν να ακολουθηθεί μία αρθρωτή προσέγγιση, όπως ξεχωριστών αντικειμένων Probuilder, για μεγαλύτερη ευελιξία και επεκτασιμότητα του project. Πριν από την ανάπτυξη της διαδικτυακής πλατφόρμας, εξετάστηκαν παραδείγματα VR εμπειριών που προσφέρονται από μουσεία και αρχαιολογικούς χώρους σε Ελλάδα και εξωτερικό, όπως αυτό του μουσείου της Ακρόπολης και του μουσείου του Πράδο.

Η εξερεύνηση WebGL και VR εφαρμογών προσφέρει έξυπνες λύσεις για να γίνουν πιο προσβάσιμες οι εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας πλατφόρμες. Τέλος στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία έγινε προσπάθεια, ανάδειξης σύγχρονων τεχνολογιών για τη δημιουργία εικονικών πλατφορμών, συγκεκριμένα στον τομέα των μουσείων και αρχαιολογικών χώρων.

### 5.2 Πιθανές Επεκτάσεις

---

Ένας τρόπος για περαιτέρω επέκταση και βελτίωση της πλατφόρμας είναι η ενσωμάτωση 3D μοντέλων. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να γίνει χρήση ειδικού εξοπλισμού για την τρισδιάστατη σάρωση των εκθεμάτων, έτσι ώστε να αποτυπωθεί η ακριβής γεωμετρία και υφή των αντικειμένων. Μόλις ολοκληρωθεί η σάρωση τα δεδομένα πρέπει να εισαχθούν σε λογισμικό 3D μοντελοποίησης, όπως είναι το Blender, για την επεξεργασία τους. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να βελτιωθούν τα τρισδιάστατα μοντέλα, να αυξηθεί η ευκρίνειά τους και να γίνουν ακόμα πιο λεπτομερή, καθώς και να προστεθούν υψηλής ποιότητας υφές οι οποίες θα δώσουν ρεαλιστική αίσθηση στα εκθέματα. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι, μέσω του λογισμικού Blender είναι εφικτό να δημιουργηθούν 3D μοντέλα χωρίς τη χρήση ειδικών σαρωτών, αλλά με τη λήψη πολλαπλών εικόνων περιμετρικά του κάθε αντικειμένου. Αυτή η τεχνική ονομάζεται φωτογραμμετρία, με τις εικόνες στη συνέχεια να πρέπει να εισαχθούν σε ειδικό λογισμικό, όπως για παράδειγμα το Meshroom, για τη δημιουργία 3D πλέγματος (mesh). Το αποτέλεσμα εξάγεται σε OBJ, FBX ή άλλες μορφές συμβατές με το Blender και Unity. Μία τέτοια επέκταση του project θα καθιστούσε την πλατφόρμα ακόμα πιο ρεαλιστική.

Η προσθήκη επιλογής χρήσης VR Headset, θα μπορούσε ακόμα να είναι μία βελτίωση της συγκεκριμένης πλατφόρμας. Για να συμβεί κάτι τέτοιο θα πρέπει να γίνει ενσωμάτωση κατάλληλου SDK (Software Development Kit) για χρήση VR υλικού, όπως για παράδειγμα το Oculus Rift. Με τη συγκεκριμένη προσθήκη, για να είναι εφικτή η εξαγωγή της πλατφόρμας σε πρόγραμμα περιήγησης, θα πρέπει να γίνει και η ενσωμάτωση κατάλληλων API όπως για παράδειγμα αυτό του WebXR.

Ακόμη κατά την ανάπτυξη της πλατφόρμας θα πρέπει να γίνεται χρήση VR υλικού και συνεχείς δοκιμές. Με τη χρήση ενός VR Headset οι χρήστες θα μπορούσαν να αλληλεπιδράσουν με τα εκθέματα με φυσικό τρόπο, είτε μέσω ειδικών χειριστηρίων είτε με την κίνηση του κεφαλιού.

## 6 Κώδικας

Παρακάτω παρατίθεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της πλατφόρμας. Ο κώδικας αφορά το First Person Controller και τα αναδυόμενα παράθυρα.

Για το First Person Controller:

```
C: > Users > eirin > Desktop > Skapeti_antlr > Ask1 > src > # Βασική κλάση User.py
1  # Βασική κλάση User
2  class User:
3      def __init__(self, user_id, username, password, email):
4          self.user_id = user_id
5          self.username = username
6          self.password = password
7          self.email = email
8
9      def log_in(self):
10         pass
11
12     def log_out(self):
13         pass
14
15     # Κλάση Student που κληρονομεί από User
16     class Student(User):
17         def __init__(self, user_id, username, password, email, student_id):
18             super().__init__(user_id, username, password, email)
19             self.student_id = student_id
20
21         def view_assignments(self):
22             pass
23
24         def submit_assignment(self, assignment, file):
25             pass
26
27     # Κλάση Professor που κληρονομεί από User
28     class Professor(User):
29         def __init__(self, user_id, username, password, email, professor_id):
30             super().__init__(user_id, username, password, email)
31             self.professor_id = professor_id
32
33         def create_assignment(self, course, details, deadline):
34             pass
35
```

```

35
36     def grade_assignment(self, submission, grade):
37         pass
38
39 # κλάση Administrator που κληρονομεί από User
40 class Administrator(User):
41     def __init__(self, user_id, username, password, email, admin_id):
42         super().__init__(user_id, username, password, email)
43         self.admin_id = admin_id
44
45     def add_user(self, user):
46         pass
47
48     def remove_user(self, user_id):
49         pass
50
51     def update_user(self, user):
52         pass
53
54 # κλάση Course
55 class Course:
56     def __init__(self, course_id, course_name, professor):
57         self.course_id = course_id
58         self.course_name = course_name
59         self.professor = professor
60         self.students = []
61
62     def add_student(self, student):
63         pass
64
65     def remove_student(self, student_id):
66         pass

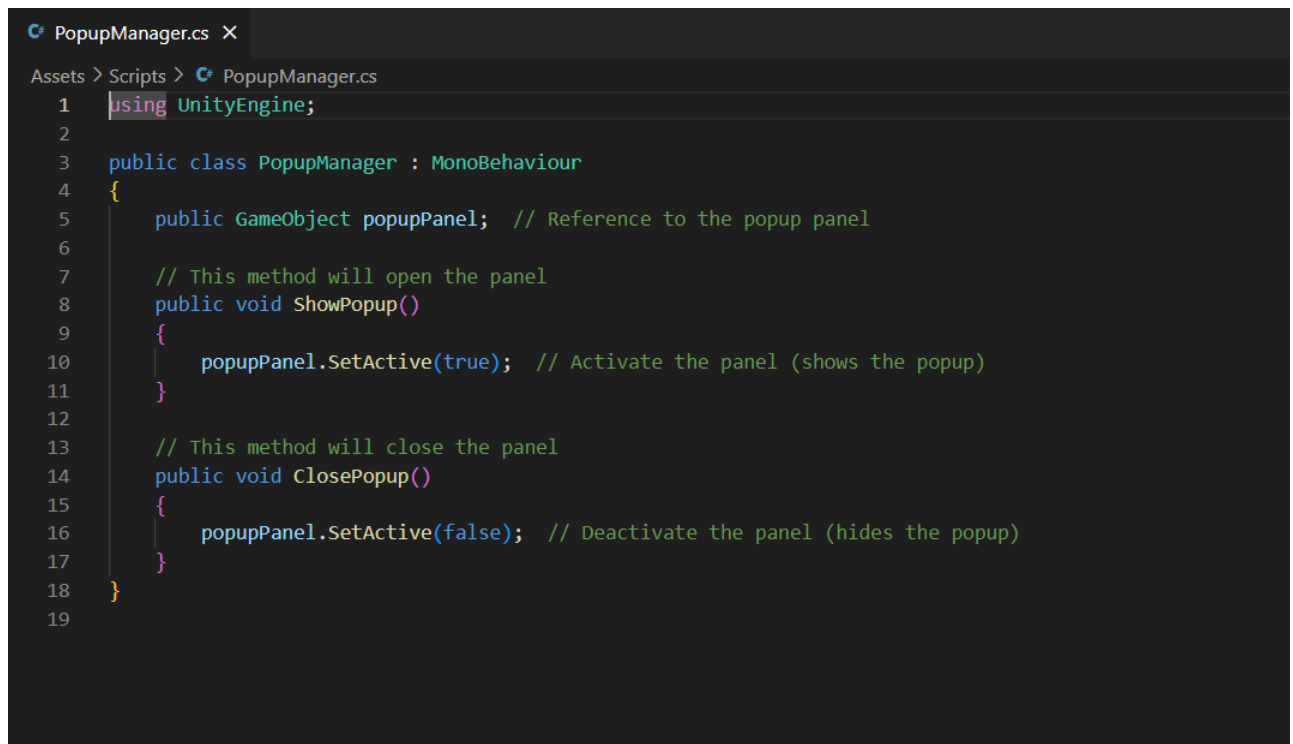
```

```

67
68 # κλάση Assignment
69 class Assignment:
70     def __init__(self, assignment_id, course, details, deadline):
71         self.assignment_id = assignment_id
72         self.course = course
73         self.details = details
74         self.deadline = deadline
75
76     def submit_assignment(self, student, file):
77         pass
78
79 # κλάση Submission
80 class Submission:
81     def __init__(self, submission_id, assignment, student, file, submission_date, grade=None):
82         self.submission_id = submission_id
83         self.assignment = assignment
84         self.student = student
85         self.file = file
86         self.submission_date = submission_date
87         self.grade = grade
88

```

Για τα αναδυόμενα παράθυρα:



The image shows a screenshot of a Unity script editor with a dark theme. The file name 'PopupManager.cs' is visible in the top left. The script content is as follows:

```
Assets > Scripts > PopupManager.cs
1  using UnityEngine;
2
3  public class PopupManager : MonoBehaviour
4  {
5      public GameObject popupPanel; // Reference to the popup panel
6
7      // This method will open the panel
8      public void ShowPopup()
9      {
10         popupPanel.SetActive(true); // Activate the panel (shows the popup)
11     }
12
13     // This method will close the panel
14     public void ClosePopup()
15     {
16         popupPanel.SetActive(false); // Deactivate the panel (hides the popup)
17     }
18 }
19
```

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1]. Άρθρο <https://www.domokos.gr/episkeptes/axiotheata/archaia-poli-melitaias/>
- [2]. Το ιερό της Εννοδίας στη Μελιταία της Αχαΐας Φθιώτιδας Διπλωματική Μεταπτυχιακή εργασία, Σταυρογιάννης Λάμπρος  
<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/handle/11615/47003>
- [3]. The Role of AR and VR Technologies in Education Developments: Opportunities and Challenges, Hadi Ardiny, Esmaeel Khanmirza, 2018
- [4]. Augmented and Virtual Reality in Libraries, Jolanda-Pieta van Arnhem, Christine Elliot, Marie Rose  
[https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=PslaDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA45&dq=software+for+vr+development&ots=HV6vUW\\_01v&sig=1jCUes7gTDjYe3nGoKloXpiDtJ0&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=PslaDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA45&dq=software+for+vr+development&ots=HV6vUW_01v&sig=1jCUes7gTDjYe3nGoKloXpiDtJ0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [5]. Protocols of immersive web WebXR APIs and the AR Cloud, Federico Biggio  
[https://www.researchgate.net/publication/347816335\\_Protocols\\_of\\_immersive\\_web\\_Web\\_XR\\_APIs\\_and\\_the\\_AR\\_Cloud](https://www.researchgate.net/publication/347816335_Protocols_of_immersive_web_Web_XR_APIs_and_the_AR_Cloud)
- [6]. Introduction to Computer Graphics: Using OpenGL and Java, Karsten Lehn, Merijam Gotzes, Frank Klawonn  
[https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=FMPDEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=what+is+opengl&ots=O\\_MNlqqDyQ&sig=4g9V8MAWftWXyr1zeQTyxFqdMa0&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=FMPDEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=what+is+opengl&ots=O_MNlqqDyQ&sig=4g9V8MAWftWXyr1zeQTyxFqdMa0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [7]. Developing Graphics Frameworks with Java and OpenGL, Lee Stemkoski, James Cona  
<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781003153375/developing-graphics-frameworks-java-opengl-lee-stemkoski-james-cona>
- [8]. Web Based 3D Analysis and Visualization using HTML5 and WebGL, Kanishk Chaturvedi  
[https://www.researchgate.net/publication/309615620\\_Web\\_based\\_3D\\_analysis\\_and\\_visualization\\_using\\_HTML5\\_and\\_WebGL](https://www.researchgate.net/publication/309615620_Web_based_3D_analysis_and_visualization_using_HTML5_and_WebGL)
- [9]. WebGL: Up and Running, Tony Parisi  
[https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=uYnyaBClb3IC&oi=fnd&pg=PR2&dq=WebGl&ots=Qdy-gbqr3F&sig=WFCRHF9z-Zna\\_barekzqowtB8UE&redir\\_esc=y#v=onepage&q=WebGl&f=false](https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=uYnyaBClb3IC&oi=fnd&pg=PR2&dq=WebGl&ots=Qdy-gbqr3F&sig=WFCRHF9z-Zna_barekzqowtB8UE&redir_esc=y#v=onepage&q=WebGl&f=false)
- [10]. Real Time Graphics with WebGL2, Farhard Ghayour, Diego Cantor  
[https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=Qel1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=how+unity+uses+webgl&ots=bcoM6hbBRi&sig=PLi1nO1h6S6U6aQY7JtCQnszFpg&redir\\_esc=y#v=onepage&q=how%20unity%20uses%20webgl&f=false](https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=Qel1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=how+unity+uses+webgl&ots=bcoM6hbBRi&sig=PLi1nO1h6S6U6aQY7JtCQnszFpg&redir_esc=y#v=onepage&q=how%20unity%20uses%20webgl&f=false)

- [12]. Web-based Virtual Reality with A-Frame, Solange Gomes Santos, Jorge C. S. Cardoso, IEEE  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8760795>
- [13]. Epic Games, Unreal Engine Website,  
<https://www.unrealengine.com/en-US>
- [14]. Unity Technologies, Unity Documentation  
<https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>
- [15]. Unity Technologies, Unity Documentation, XR Interaction Toolkit  
<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@2.3/manual/index.html>
- [16]. Mindport, VR Builder  
<https://www.mindport.co/vr-builder>
- [17]. Intel, Modular Concepts for Game and Virtual Reality Assets  
[www.intel.com/content/dam/develop/external/us/en/documents/modularityforgames.pdf](http://www.intel.com/content/dam/develop/external/us/en/documents/modularityforgames.pdf)
- [18]. Μουσείο Ακρόπολης, Ψηφιακό Μουσείο, επίσημο site  
<https://www.theacropolismuseum.gr/psifiako-mouseio>
- [19]. Μαντείο Δελφών, Wikipedia site  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B5%CE%AF%CE%BF\\_%CF%84%CF%89%CE%BD\\_%CE%94%CE%B5%CE%BB%CF%86%CF%8E%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B5%CE%AF%CE%BF_%CF%84%CF%89%CE%BD_%CE%94%CE%B5%CE%BB%CF%86%CF%8E%CE%BD)
- [20]. Αρχαιολογικό Μουσείο και Χώρος Δελφών, επίσημο site  
<https://delphi.culture.gr/the-beginnings-of-the-sanctuary/>
- [21]. Advanced Digitization Methods for the Protection and Dissemination of Cultural Heritage towards Digital transformation: The Archaeological Museum of Delphi, M. C. Tsakoumaki, D.M. Lala, A. Tsaroucha, A. Psalti  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827123004080>
- [22]. 3D Modeling & Analysis Techniques for the Apollo Temple in Delphi, Maravelakis, Emmanuel, Georgia Giannioti, Athanasia Psalti, Marilena Tsakoumaki, Danae Phaedra Pocobelli, Michael Xinogalos, Demitrios Galanakis, Nikolaos Bilalis, and Georgios Stavroulakis. 2023  
<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/7/1730>
- [23]. The British Museum, official website,  
<https://www.britishmuseum.org/blog/how-explore-british-museum-home>
- [24]. Μουσείου του Πράδο, επίσημο site,  
<https://www.museodelprado.es/en/virtual-tours>
- [25]. Eliminating Boundaries in Learning Culture Through Technology: A Review of Google Arts & Culture, Ratri Wahyuningtyas

[https://www.researchgate.net/profile/Kristiawan-Indriyanto/publication/337869455\\_Proceeding\\_FLA10\\_Conference\\_2017/links/5defba23299bf10bc3518d3c/Proceeding-FLA10-Conference-2017.pdf#page=180](https://www.researchgate.net/profile/Kristiawan-Indriyanto/publication/337869455_Proceeding_FLA10_Conference_2017/links/5defba23299bf10bc3518d3c/Proceeding-FLA10-Conference-2017.pdf#page=180)