



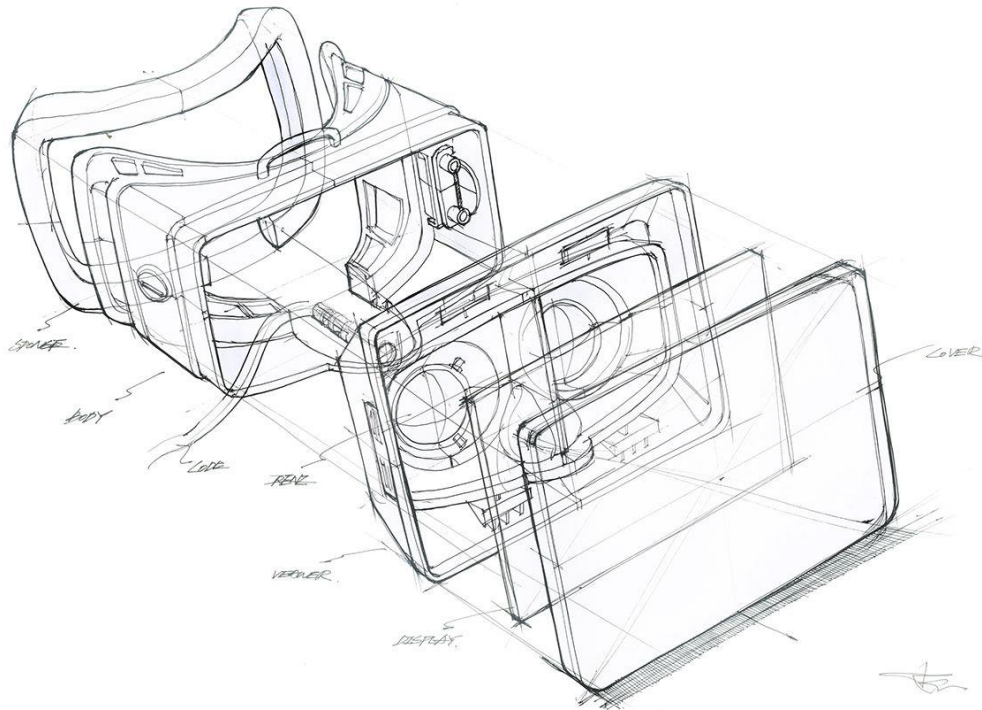
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ

Ανάπτυξη Συστήματος Μετρήσεων σε Περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας



Δημήτριος Κοντός
Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπων Καθηγητής: Ανδρέας Γεωργόπουλος

Αθήνα, Μάρτιος 2019

Ευχαριστίες

Με το τέλος της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου και την ευγνωμοσύνη μου σε όσους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωσή της.

Αρχικά, οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στον Καθηγητή κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο ο οποίος με ώθησε στο να μετατρέψω την πρωτοποριακή ιδέα του σε μια χειροπιαστή εφαρμογή. Η βοήθειά του, οι συμβουλές του, η στήριξή του και η εμπιστοσύνη του στο πρόσωπό μου ήταν καταλυτικοί παράγοντες για την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Επιπλέον, με δική του προτροπή μου δόθηκε η ευκαιρία να παρουσιάσω τα αποτελέσματα της δουλείας μου στο συνέδριο 3D – ARCH 2019 που πραγματοποιήθηκε στο Bergamo της Ιταλίας το οποίο ήταν μια πρωτόγνωρη εμπειρία για εμένα.

Ένα θερμό ευχαριστώ σε όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π. τα οποία έχουν συνεργαστεί για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου που χρησιμοποίησα και δημιουργήθηκε στα πλαίσια της αποκατάστασής του από τη Διεπιστημονική Ομάδα του Ε.Μ.Π.. Επίσης, ο καθένας ξεχωριστά με τα σχόλια του πάνω στην εφαρμογή που δημιούργησα με βοήθησε να την βελτιώσω στον βαθμό που ήταν εφικτό.

Επιπλέον, ευχαριστώ κάθε έναν από τους συμμετέχοντες στην αξιολόγηση της εφαρμογής της παρούσας διπλωματικής. Οι απαντήσεις τους στα ερωτηματολόγια με βοήθησαν να καταλάβω τις αδυναμίες της εφαρμογής και να βρω βελτιώσεις.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την διαρκή τους στήριξη και καθοδήγηση όλα αυτά τα χρόνια σε κάθε βήμα της ζωής μου.

Δημήτρης Κοντός

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής αναπτύχθηκε μια εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας με μετρητικά εργαλεία. Συγκεκριμένα, πρόκειται για μια εφαρμογή που δίνει στον εκάστοτε χρήστη τη δυνατότητα να διεξάγει τις εξής βασικές τοπογραφικές διαδικασίες: α) Μετρήσεις αποστάσεων μεταξύ δύο σημείων στον τρισδιάστατο χώρο, β) Μετρήσεις σημείων τομών και εξαγωγή αυτών, γ) Μέτρηση και εξαγωγή των τρισδιάστατων συντεταγμένων οποιουδήποτε σημείου στον τρισδιάστατο χώρο, σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας.

Μετά από συγκριτική έρευνα που έγινε με αντικείμενο τα σύγχρονα συστήματα εικονικής πραγματικότητας αποφασίστηκε πως το καλλίτερο την περίοδο εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής ήταν το HTC VIVE το οποίο και χρησιμοποιήθηκε. Εν συνεχεία, ήταν απαραίτητο να επιλεγεί μια μηχανή παιχνιδιών (Game Engine) προκειμένου να αναπτυχθεί η εφαρμογή. Οι δύο δημοφιλέστερες, ελεύθερες και ανοικτού κώδικα μηχανές είναι οι Unity3D και η Unreal Engine, μετά από δοκιμές και έρευνα ως προς τον τρόπο και τις αρχές λειτουργίας τους βρέθηκε πως βέλτιστη επιλογή για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης εφαρμογής θα ήταν η Unreal Engine 4. Η επιλογή αυτή βασίστηκε κατά πολύ στον τρόπο που αντιμετώπιζαν οι μηχανές τις οντότητες των τρισδιάστατων μοντέλων. Τελικά, στην Unreal Engine όλος ο κώδικας της εφαρμογής αναπτύχθηκε με τη χρήση της δυνατότητας εικονικού προγραμματισμού που παρέχει και ονομάζεται Blueprints.

Κατά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, ορίζεται και αναλύεται η έννοια της εικονικής πραγματικότητας αλλά και η βραχύχρονη σχετικά ιστορία της. Επιπλέον, αναλύθηκε η έννοια της πολιτιστικής κληρονομιάς και ο τρόπος με τον οποίο μπορεί η επιστήμη της εικονικής πραγματικότητας να βοηθήσει στην διατήρησή της και την ανάδειξή της. Επίσης, συγκεντρώθηκαν και παρουσιάστηκαν οι πλέον σύγχρονες μελέτες και εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας που αφορούν την πολιτιστική κληρονομιά αλλά και άλλες επιστήμες.

Τέλος απαραίτητη κρίνεται από τη διεθνή βιβλιογραφία η αξιολόγηση τέτοιου είδους εφαρμογών. Η εν λόγω εφαρμογή αξιολογήθηκε τόσο ως προς τα μετρητικά της αποτελέσματα όσο και ως προς τη χρησιμότητά της και τη λειτουργικότητά της. Για το μετρητικό κομμάτι μετρήθηκαν καθορισμένες αποστάσεις για τις οποίες ως αληθής τιμή σύγκρισης θεωρήθηκε η τιμή της αντίστοιχης απόστασης στο αρχικό τρισδιάστατο μοντέλο. Επίσης, μετρήθηκαν καθορισμένες οριζόντιες και κατακόρυφες τομές μέσω της εφαρμογής και τα σημεία που εξήχθησαν συγκρίθηκαν ως προς την απόστασή τους από το αρχικό μοντέλο. Απαραίτητος, για τη διεξαγωγή της παραπάνω σύγκρισης, ήταν ο μετασχηματισμός των μετρημένων σημείων τομής από το σύστημα συντεταγμένων της εφαρμογής στο αρχικό σύστημα του τρισδιάστατου μοντέλου. Επιπροσθέτως, απαντήθηκαν ειδικά διαμορφωμένα ερωτηματολόγια από χρήστες της εφαρμογής τα οποία ανέδειξαν τις αδυναμίες της εφαρμογής αλλά και τα δυνατά της χαρακτηριστικά προκειμένου να διαπιστωθεί η χρησιμότητά και η λειτουργικότητά της.

Σημειώνεται πως ως μετρητικό αντικείμενο κατά τη διαδικασία της ανάπτυξης αλλά και της αξιολόγησης της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της αποκατάστασής του από τη διεπιστημονική ομάδα του ΕΜΠ και συγκεκριμένα από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.

ABSTRACT

An application that allows users to conduct basic topographic measurements on an already created 3D textured model in an immersive virtual reality environment was developed in this diploma thesis. Specifically, the current version of the application, allows the user to conduct the following metric procedures: a) Distance measurements, in three-dimensional space between a pair of points, b) Measurement of cross – section points and export their coordinates and c) Measurement and export of the coordinates of any given point in three – dimensional virtual space.

A comparative research subjecting the state-of-the-art virtual reality systems was conducted in order to decide which virtual reality headset system was best to use. At last, the decision was to use the HTC VIVE virtual reality headset system. Furthermore, a game engine had to be chosen for the development of the application. The two most popular, free and open source game engines were Unity3D and Unreal Engine. After practical tests and research concerning their operation principles it was decided that the best choice for the current project was to use the Unreal Engine 4. This choice was, generally, based on the way that these two game engines treated the 3D model entities. Finally, the whole source code of the application was developed in Blueprints which are a way of virtual programming that Unreal Engine 4 provides.

In literature review, the meaning of virtual reality is defined and analyzed along with its somewhat brief history. In addition, the concept of cultural heritage and the way in which the science of virtual reality can help to preserve it and promote it has been analyzed. Also, the state-of-the-art virtual reality projects and applications related to cultural heritage and other sciences were gathered and presented.

Finally, the evaluation of such applications is considered a requisite by the international literature. This application has been evaluated in terms of its measurement results and also for its usefulness and functionality. For the measurements part defined distances were measured in the application and were compared to their corresponding distances from the ground truth 3D model. Furthermore, defined cross – sections were measured through the application and their exported points were compared and categorized in relation to their distance from the ground truth 3D model. To carry out the above-mentioned comparison it was necessary to transform the measured cross – section points from the applications' coordinate system to the coordinate system of the ground truth model. In addition, specially formulated questionnaires were answered by the application users that highlighted the weaknesses of the application but also its good features in order to ascertain its usefulness and functionality.

It should be noted that the measuring object that was used during the development and the evaluation of the application was the 3D model of the Holy Aedicule of the Tomb of Christ that was created during its full rehabilitation process carried out by the NTUA's Interdisciplinary team.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	1
1.2 ΕΙΔΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΩΝ	3
1.2.1 Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR).....	3
1.2.2 Μεικτή Πραγματικότητα (MR)	3
1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	5
1.4 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	11
1.4.1 Συστήματα εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή – Υψηλού Κόστους.....	11
1.4.2 Συστήματα εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται σε έξυπνο κινητό τηλέφωνο – Χαμηλού Κόστους.....	15
1.4.3 Αυτόνομα Συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας	16
1.5 Η ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ.....	18
1.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ.....	22
1.7 ΆΛΛΑ ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	38
1.8 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ – ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	48
1.8.1 Ολοκληρωμένα Λογισμικά.....	48
1.8.2 Διαδικτυακά Εργαλεία.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	55
2.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ HTC VIVE.....	55
2.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ HTC VIVE	59
2.3. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ HTC VIVE.	60
2.4 ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ HTC VIVE ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	67
3.1 ΜΗΧΑΝΗ ΠΑΙΧΝΙΔΙΩΝ UNITY3D.....	67
3.1.1. Βασικές αρχές της μηχανής παιχνιδιών Unity3D	67
3.1.2. Το περιβάλλον εργασίας της μηχανής παιχνιδιών Unity3D	69
3.1.3. Αδυναμίες Unity για τον χειρισμό τρισδιάστατων μοντέλων	71
3.2 Η ΜΗΧΑΝΗ ΠΑΙΧΝΙΔΙΩΝ UNREAL ENGINE.....	73
3.2.1 Βασικές αρχές της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine	73

3.2.2. Το περιβάλλον εργασίας της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine 4	74
3.2.3 Οι τρόποι προγραμματισμού στην μηχανή παιχνιδιών Unreal Engine	76
3.3 Σύγκριση των δύο μηχανών παιχνιδιού	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	81
4.1 Ο ΝΑΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΕΩΣ ΣΤΑ ΙΕΡΟΣΟΛΥΜΑ	81
4.1.1 Ιστορικά Στοιχεία του Ναού της Αναστάσεως	82
4.1.2 Αρχιτεκτονικά Στοιχεία του Ναού της Αναστάσεως	85
4.1.3 Το Ιερό Κουβούκλιο του Παναγίου Τάφου	87
4.2 Ο ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΕ	92
4.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	93
4.3.1 Δημιουργία project στην Unreal Engine 4	93
4.3.2 Δημιουργία Επιπέδου και Επιφάνειας Εδάφους	94
4.3.3 Η εισαγωγή και η τοποθέτηση του τρισδιάστατου μοντέλου	97
4.3.4 Παραμετροποίηση των υφών	102
4.3.5 Δημιουργία της οντότητας του χρήστη – παίκτη	107
4.3.6 Οπτικοποίηση των χειριστηρίων	109
4.3.7 Προγραμματισμός των λειτουργιών της εφαρμογής	113
4.4 ΣΥΝΟΨΗ – ΤΕΛΙΚΟ ΠΡΟΪΟΝ	126
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	130
5.1 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	131
5.2 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	134
5.2.1 Ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων	134
5.2.2 Ακρίβεια μέτρησης σημείων	137
5.2.3 Σχόλια – Συμπεράσματα	152
5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	154
5.3.1 Αποτελέσματα Ερωτηματολογίου	159
5.3.2 Συμπεράσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση	169
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	171
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	171
6.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ	173
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	176

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εικονική Πραγματικότητα

1.1. Ορισμός Εικονικής Πραγματικότητας

Ένας καθολικά αποδεκτός ορισμός της έννοιας της εικονικής πραγματικότητας (VR) δεν υπάρχει μέχρι σήμερα. Αυτό συμβαίνει διότι η συγκεκριμένη τεχνολογία υλοποιείται κάτω από διαφορετικά πλαίσια χρήσης και με διαφορετικούς στόχους χωρίς κατ' ανάγκη να υπάρχουν κοινές αντιλήψεις. Ένας από τους πρώτους ορισμούς, για την τεχνολογία της VR όπως την είναι γνωστή σήμερα, δόθηκε από τον Jaron Lanier το 1989.

Ο Lanier ορίζει την VR ως: “Ένα αλληλεπιδραστικό, τρισδιάστατο περιβάλλον, παραγόμενο από υπολογιστή, στο οποίο μπορεί κάποιος να εμβυθιστεί.” Αλλά και ως: “μια μέθοδο για να οπτικοποιούμε και επεξεργαζόμαστε περίπλοκα δεδομένα καθώς και να αλληλοεπιδρούμε με ηλεκτρονικούς υπολογιστές” (Lanier, 1989). Η εμβύθιση αποτελεί βασικό στοιχείο της VR και ορίζεται ως: “η ψευδαίσθηση που έχει ο χρήστης αναφορικά με την ύπαρξή του μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον.” (Slater, 1994). Πρακτικά η εμβύθιση αναφέρεται στον βαθμό στον οποίο το σύστημα VR καταφέρνει να απομονώσει το χρήστη από το φυσικό του περιβάλλον.

Σήμερα η εικονική πραγματικότητα θα μπορούσε να οριστεί ως: “έναν κλάδο της τεχνολογίας των υπολογιστών που χρησιμοποιεί ακουστικά και ειδικό εξοπλισμό εικονικής πραγματικότητας σε συνδυασμό ορισμένες φορές με πραγματικούς, φυσικούς χώρους και περιβάλλοντα πολλαπλών προβολών, ώστε να δημιουργηθούν και αναπαραχθούν ρεαλιστικές εικόνες, ήχοι και αισθήσεις που προσομοιώνουν την παρουσία ενός χρήστη σε ένα εικονικό περιβάλλον”. Βασικό χαρακτηριστικό ενός συστήματος VR είναι ο βαθμός αλληλεπίδρασης που παρέχει στο χρήστη, με το εικονικό περιβάλλον του. Έτσι, ανάλογα με τον βαθμό αλληλεπίδρασης που παρέχουν τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας, ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- **Παθητικά**, όπου ο χρήστης «συμμετέχει» (ως εξωτερικός παρατηρητής) σε εικονικό περιβάλλον το οποίο μπορεί να κινείται γύρω του, να διαθέτει εικόνα, ήχο ή ακόμη και αφή. Το βασικότερο στοιχείο είναι ότι ο χρήστης δεν μπορεί να ελέγξει την κίνηση παρά μόνο (σε κάποιες περιπτώσεις) την διεύθυνση της όρασης.
- **Εξερευνητικά**, όπου ο χρήστης ορίζει αυτόνομα την κίνηση στο χώρο και μπορεί να μετακινηθεί ελεύθερα μέσα στο περιβάλλον και να το εξερευνησει.
- **Διαδραστικά**, όπου ο χρήστης μπορεί να κινείται αυτόνομα αλλά μπορεί και να αλληλοεπιδρά πλήρως με τα στοιχεία του εικονικού περιβάλλοντος που βιώνει και κατά συνέπεια να το μεταβάλλει. Αυτό μπορεί να σημαίνει από απλή μετακίνησή τους μέχρι την αφαίρεσή τους, προσθήκη άλλων κ.λπ.

Επίσης, η εικονική πραγματικότητα μπορεί να συνδυάζει ξεχωριστά περιβάλλοντα με διαφορετικούς χρήστες οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους σε ένα ενοποιημένο εικονικό περιβάλλον. Το εικονικό αυτό περιβάλλον με βάση τα παραπάνω μπορεί να είναι είτε εξ ολοκλήρου φανταστικό είτε να προσεγγίζει την πραγματικότητα.

Αυτό που κάνει την εικονική πραγματικότητα διαφορετική από άλλου είδους γραφικές παραστάσεις ή απεικονίσεις δημιουργημένες με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι η υπόθεση ότι ο εγκέφαλος επεξεργάζεται πληροφορίες με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα όταν αυτές παρουσιάζονται σε συνδυασμό εικόνας, ήχου και αφήσης (Hamilton & Smith, 1992).

Επομένως, ένα εικονικό περιβάλλον πρέπει να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις (Winn, 1996):

1. Να δημιουργείται από μία βάση δεδομένων με έναν Η/Υ.
2. Να επιτρέπει σε σημαντικό βαθμό την αλληλεπίδραση του χρήστη, δηλαδή το περιβάλλον να ανταποκρίνεται στις δράσεις του χρήστη.
3. Οι χρήστες να λειτουργούν σε αυτό χρησιμοποιώντας σε μεγάλο βαθμό διαισθητικές μεθόδους εισαγωγής δεδομένων όπως τον λόγο, χειρονομίες ή χειριστήρια (όπως joystick, spacemouse κ.ά.).
4. Να δημιουργεί μια αίσθηση παρουσίας, δηλαδή να πείθει το χρήστη ότι είναι σε ένα άλλο περιβάλλον από το πραγματικό.

Επιπλέον, ο Zeltzer (1992) ορίζει τους ακόλουθους παράγοντες για ένα επιτυχημένο σύστημα VR ως σημαντικούς:

- ✓ **Αυτονομία**
- ✓ **Αλληλεπίδραση**
- ✓ **Αίσθηση παρουσίας**

και ισχυρίζεται ότι αυτές οι τρεις διαστάσεις πρέπει να βρίσκονται ισορροπημένα και σε μεγάλο βαθμό παρούσες.

Τέλος, εξελίσσοντας τα παραπάνω ο Heim (1998) αναγνωρίζει ως τα κύρια χαρακτηριστικά ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας τα παρακάτω:

- **Αλληλεπίδραση**
- **Εμβύθιση**
- **Πυκνότητα και πληρότητα πληροφορίας**

Όλα τα παραπάνω, ορίζουν ικανοποιητικά τις βασικές αρχές της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας. Όμως, με σκοπό να γίνει κατανοητή η έννοια των διαφορετικών πραγματικοτήτων αλλά και για να αποφευχθούν συγχύσεις, θα αναλυθούν παρακάτω και τα άλλα είδη πραγματικοτήτων.

1.2 Είδη Πραγματικοτήτων

1.2.1 Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR)

Επαυξημένη πραγματικότητα είναι η σε πραγματικό χρόνο άμεση ή έμμεση θέαση ενός φυσικού, πραγματικού περιβάλλοντος, του οποίου τα στοιχεία επαυξάνονται από στοιχεία αναπαραγόμενα από συσκευές υπολογιστών, όπως ήχος, βίντεο, γραφικά ή δεδομένα τοποθεσίας (Caudell , 1992). Είναι φανερό πως η ειδιοποιός διαφορά της επαυξημένης από την εικονική πραγματικότητα είναι πως η πρώτη προβάλλει ένα επιπρόσθετο στρώμα ψηφιακών στοιχείων πάνω σε στοιχεία του πραγματικού περιβάλλοντος που συλλέγει σε πραγματικό χρόνο, ενώ η δεύτερη εμβυθίζει το χρήστη σε ένα εξ ολοκλήρου εικονικό περιβάλλον.

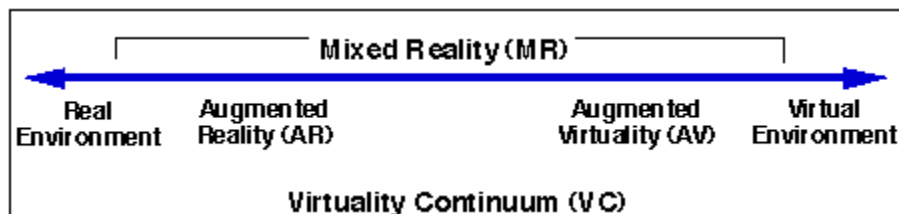
Έτσι, σε ό,τι αφορά στην τεχνολογία, η επαυξημένη πραγματικότητα είναι πιο δύσκολο να εφαρμοστεί μιας και συλλέγει, όπως προαναφέρθηκε, δεδομένα σε πραγματικό χρόνο τα οποία τα συνδυάζει με ψηφιακά δεδομένα ενώ η εικονική πραγματικότητα παρουσιάζει ένα εντελώς εικονικό περιβάλλον χωρίς να χρειάζεται να συνδέει απρόσκοπτα δυο πραγματικότητες μεταξύ τους.

Σε ό,τι όμως αφορά στον εξοπλισμό, η επαυξημένη πραγματικότητα συνδυάζεται συνήθως με μια απλή συσκευή όπως είναι ένα smartphone ή ένα tablet, ενώ αντίθετα η εικονική πραγματικότητα απαιτεί ένα πλήρες σύστημα ειδικών γυαλιών, χειριστηρίων και αισθητήρων.

Φαίνεται, λοιπόν, πως η επαυξημένη πραγματικότητα εμπλουτίζει το πραγματικό περιβάλλον με εικονικά – ψηφιακά στοιχεία χωρίς ο χρήστης να απομονώνεται από τον πραγματικό κόσμο όπως στην εικονική πραγματικότητα.

1.2.2. Μεικτή Πραγματικότητα (MR)

Η έννοια της μεικτής ή υβριδικής πραγματικότητας ορίστηκε για πρώτη φορά από τους P.Milgram και F.Kishino το 1994. Ουσιαστικά, η μεικτή πραγματικότητα αναφέρεται σε ένα “εικονικό συνεχές” το οποίο μπορεί να συνδυάσει με διαφορετικούς τρόπους εικονικά και πραγματικά αντικείμενα ή/και περιβάλλοντα και να δημιουργήσει διαφορετικές πραγματικότητες.



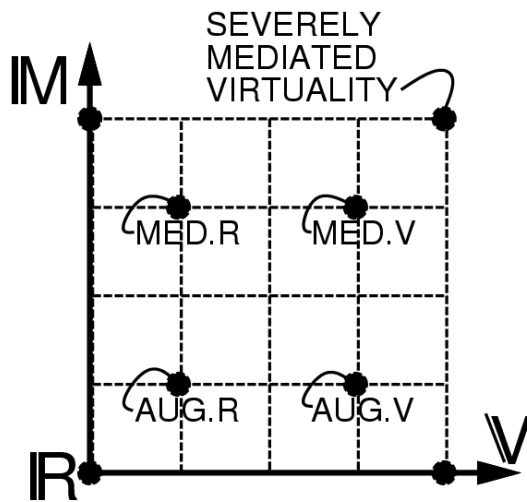
Εικόνα 1: Το "εικονικό συνεχές" (Milgram & Kishino, 1994)

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω γράφημα, έχοντας στην μία μεριά τα πραγματικά περιβάλλοντα και στην άλλη τα εξ ολοκλήρου εικονικά μπορούν να δημιουργηθούν πολλές διαφορετικές πραγματικότητες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα συνδυασμού πραγματικότητας είναι η επταυξημένη πραγματικότητα (AR) η οποία αναλύθηκε προηγουμένως αλλά και η επταυξημένη εικονικότητα (AV).

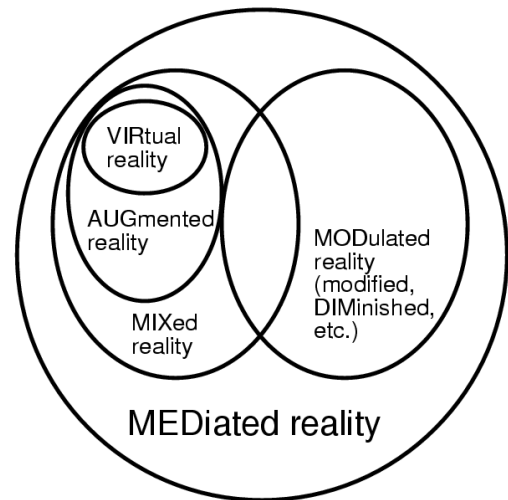
Η επταυξημένη εικονικότητα είναι το αντίστροφο της επταυξημένης πραγματικότητας αφού και αναφέρεται στην ψηφιακή υπέρθεση πραγματικών αντικειμένων σε ένα εικονικό περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο.

Πρέπει, επίσης, να τονιστεί ότι όσο εξελίσσεται η τεχνολογία τόσο δυσκολότερη θα είναι η διάκριση όλων αυτών των πραγματικότητων δεδομένου ότι σε πολλές περιπτώσεις θα είναι δύσκολο να διακριθούν τα πραγματικά από τα εικονικά στοιχεία.

Τέλος, ένας πολύ γενικότερος όρος που περιλαμβάνει την έννοια του “εικονικού συνεχούς” είναι αυτός της διαμεσολαβημένης πραγματικότητας (Mediated Reality) ο οποίος αναφέρεται στην γενικότερη τροποποίηση του πραγματικού περιβάλλοντος με τη βοήθεια της τεχνολογίας. Με αυτόν τον τρόπο, η αντίληψη του ανθρώπου για το πραγματικό περιβάλλον μπορεί να τροποποιηθεί με διάφορους τρόπους. Ένας τρόπος είναι και η ελάττωση της πραγματικότητας δημιουργώντας ένα ελαττωμένο πραγματικό περιβάλλον (Diminished Environment) όπου διάφορα στοιχεία του έχουν αντικατασταθεί από μια εικόνα φόντου. (Mann, 2002)



Εικόνα 2: Το “εικονικό συνεχές” λαμβάνοντας υπόψη και την τροποποιημένη πραγματικότητα

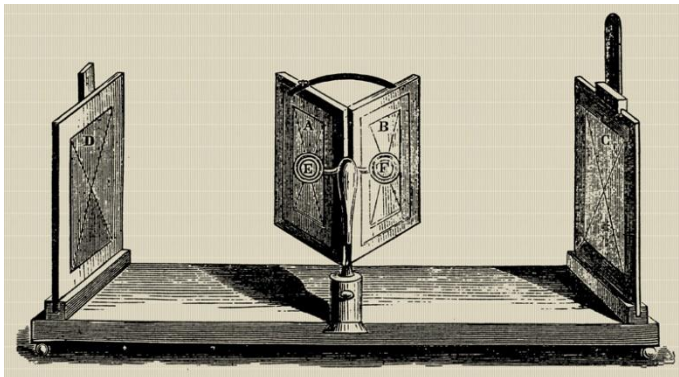


Εικόνα 3: Οι πραγματικότητες κατά τον S. Mann

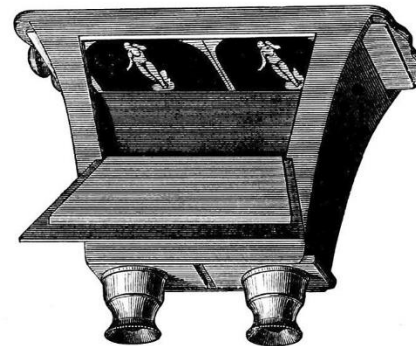
1.3 Ιστορική Ανασκόπηση

Η ιστορία της εικονικής πραγματικότητας ξεκινά πολύ πριν αυτή ονομαστεί έτσι από τον Jaron Lannier το 1989. Έτσι η ιδέα του να προβάλλεται ένα εικονικό περιβάλλον σε έναν χρήστη που μπορεί να είναι απομονωμένος ή μη από την πραγματικότητα ξεκινά από αρκετά παλαιότερα.

Πρώτη εφεύρεση που έθεσε τις βάσεις για την στερεοσκοπική αντίληψη ήταν το στερεοσκόπιο του Sir Charles Wheatstone το 1838. Το συγκεκριμένο στερεοσκόπιο χρησιμοποιούσε δύο καθρέπτες σε γωνία 45 μοιρών από τα μάτια του χρήστη και κάθε καθρέπτης αντανάκλούσε μια εικόνα που βρισκόταν στη μεριά του. Η διαδικασία αυτή είχε ως αποτέλεσμα τα μάτια του χρήστη να βλέπουν δύο διαφορετικές εικόνες του ίδιου αντικειμένου και τελικά ο εγκέφαλός του να τις συνδυάζει σαν μια τρισδιάστατη απεικόνιση. Το 1849 ο David Brewster βελτίωσε την ιδέα του στερεοσκοπίου φτιάχνοντας ένα μικρό στερεοσκόπιο που χρησιμοποιούσε φακούς. Ενδιαφέρον είναι πως και τα δύο αυτά στερεοσκόπια χρησιμοποιούσαν ζωγραφιές για να αναπαραστήσουν την στερεοσκοπική παρατήρηση μιας και η φωτογραφία δεν είχε ακόμη εφευρεθεί.



Εικόνα 4: Το στερεοσκόπιο του Sir Charles Wheatstone



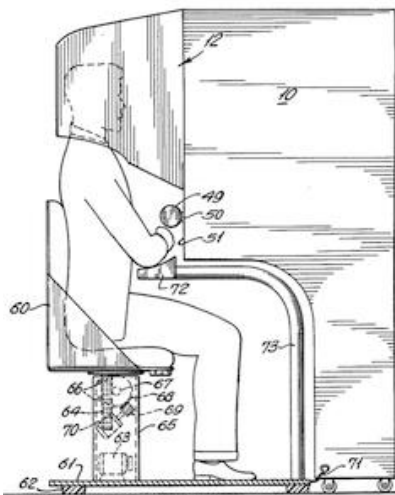
Εικόνα 5: Το στερεοσκόπιο του David Brewster

Το 1939 ο William Gruber με βάση το στερεοσκόπιο που είχε εφευρεθεί περίπου έναν αιώνα πριν δημιούργησε το View – Master το οποίο έδειχνε με τη βοήθεια της στερεοσκοπικής παρατήρησης μια εικόνα τρισδιάστατη στο χρήστη απομονώνοντας την όρασή του από το υπόλοιπο περιβάλλον. Το View – Master πωλείται μέχρι και σήμερα.



Εικόνα 6: To View - Master

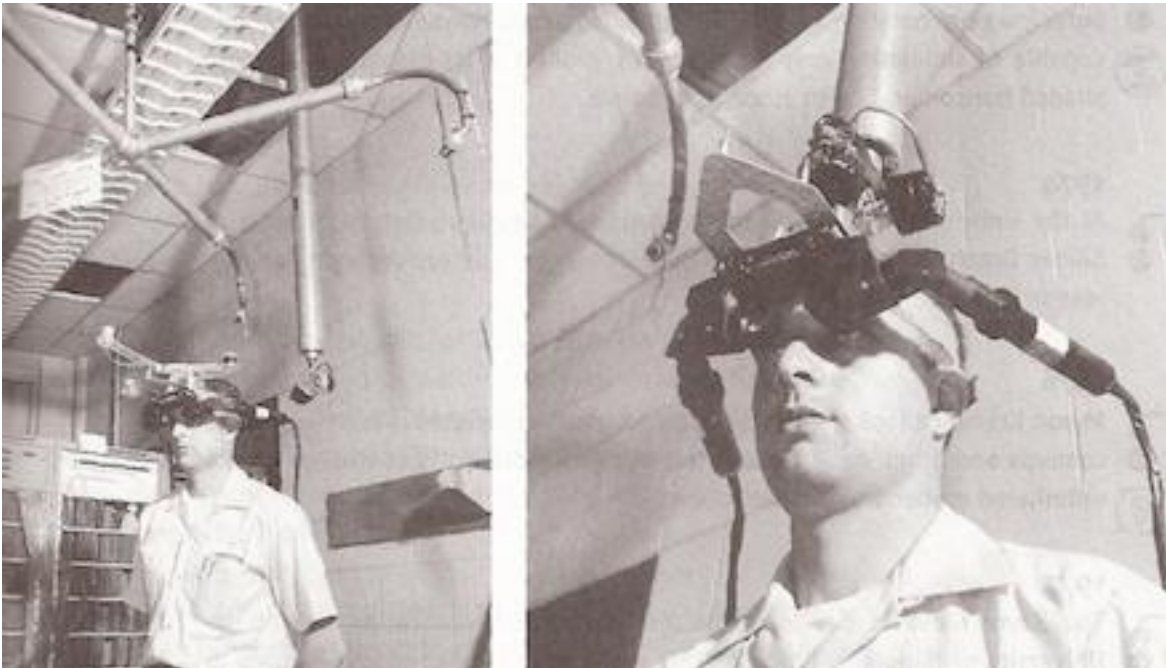
Το 1950 ο κινηματογραφιστής Morton Heilig δημιούργησε το Sensorama (η εφεύρεση κατοχυρώθηκε το 1962) που ήταν από τα πρώτα παραδείγματα εμπύθισης σε εικονικό περιβάλλον το οποίο διέγειρε παραπάνω από μια αισθήσεις. Το Sensorama όπως φαίνεται και παρακάτω έμοιαζε με θάλαμο που είχε σκοπό να απομονώσει το χρήστη από το περιβάλλον και ήταν μια μηχανική κατασκευή που αποτελείτο από μια έγχρωμη στερεοσκοπική οθόνη, ανεμιστήρες, πομπούς οσμής, στέρεο σύστημα ήχου και κινούμενη καρέκλα. Το 1960, ο ίδιος πάλι εφηύρε τα πρώτα γυαλιά κεφαλής που παρείχαν ευρεία τρισδιάστατη στερεοσκοπική παρατήρηση και στέρεο ήχο.



Εικόνα 7: Η πατέντα του Sensorama

Το 1961 οι μηχανικοί Comeau & Bryan της Philco Corporation δημιούργησαν τον προκάτοχο των σημερινών οθονών κεφαλής (HMD). Το σύστημα αυτό ονομαζόταν Headsight και χρησιμοποιούσε μία οθόνη βίντεο για κάθε μάτι αλλά και μαγνητική καταγραφή τη κίνησης τα οποία ήταν συνδεδεμένα σε μία κάμερα κλειστού κυκλώματος. Ουσιαστικά, οι κινήσεις του κεφαλιού έστριβαν την κάμερα καθιστώντας δυνατό στο χρήστη να δει ένα απομακρυσμένο περιβάλλον. Η εφεύρεση αυτή δεν ανήκει στην τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας καθώς δεν χρησιμοποιεί εικονικά γραφικά μέσω υπολογιστή αλλά οι αρχές που εφαρμόζεται πλησιάζουν πολύ τις αρχές της εικονικής πραγματικότητας.

Το 1968 ο επιστήμονας Ivan Sutherland και ο μαθητής του Bob Sproull δημιούργησαν την πρώτη οθόνη κεφαλής εικονικής – επαυξημένης πραγματικότητας την οποία ονόμασαν Sword of Damocles. Η συσκευή αυτή συνδύαζε εικόνες που προβάλλονταν στον χρήστη μέσω καθοδικών σωλήνων, δημιουργούσε την ψευδαίσθηση της τρισδιάστατης πληροφορίας και τη συνδύαζε με το πραγματικό περιβάλλον. Η προοπτική της εικόνας άλλαζε καθώς ο χρήστης κουνούσε το κεφάλι του και αυτό γινόταν με τη βοήθεια μηχανικών και υπερηχητικών αισθητήρων που μετρούσαν τη θέση και τον προσανατολισμό του κεφαλιού του χρήστη. Βέβαια, την συγκεκριμένη περίοδο η υπάρχουσα υπολογιστική ισχύς επέτρεπε στα τρισδιάστατα αντικείμενα που προβάλλονταν να είναι σε μορφή πλέγματος και όχι σε στέρεα μορφή όπως σήμερα.



Εικόνα 8: Το σύστημα Sword of Damocles

Το 1982 ο Thomas Furness, ερευνητής στα εργαστήρια ιατρικής έρευνας Armstrong της στρατιωτικής αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών, ανέπτυξε ένα προηγμένο βοήθημα

πτήσης το οποίος λεγόταν Visually Coupled Airborne Systems Simulator (VCASS). Συγκεκριμένα, ο πιλότος του μαχητικού φορούσε γυαλιά εικονικής πραγματικότητας τα οποία του παρείχαν επιπλέον πληροφορίες κατά τη διάρκεια της πτήσης όπως, ανάλυση των στόχων αλλά και την βέλτιστη πορεία. Σκοπός του ήταν ο εμπλουτισμός του οπτικού πεδίου των πιλότων με χρήσιμες πληροφορίες κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Το 1987 ο Jaron Lanier, ιδρυτής του Visual Programming Lab εδραίωσε τον όρο εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality) και ανέπτυξε πληθώρα εξοπλισμού και συστημάτων εικονικής πραγματικότητας. Επιπλέον, η συγκεκριμένη εταιρεία παρείχε τα πρώτα εμπορικά γυαλιά εικονικής πραγματικότητας αλλά και γάντια. Συγκεκριμένα, τα γάντια ονομάζονταν DataGlove και βοηθούσαν στην καταγραφή και την οπτικοποίηση της θέσης και του προσανατολισμού των αρθρώσεων του χεριού ενώ τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας ονομάζονταν EyePhone.



Εικόνα 9: Τα πρωτότυπα EyePhone και DataGlove της VPL

Το 1989 η εταιρεία Fake Space Labs εισήγαγε στην αγορά το σύστημα εικονικής πραγματικότητας BOOM (Binocular Omni-Orientalional Monitor). Επρόκειτο για ένα μικρό κουτί το οποίο περιείχε δύο οθόνες καθοδικού σωλήνα οι οποίες φαινόταν μέσα από δύο τρύπες για τα μάτια. Το κουτί ήταν προσαρμοσμένο σε έναν μηχανικό βραχίονα με τη βοήθεια του οποίου μετριόταν η θέση και ο προσανατολισμός του κουτιού. Ο χρήστης μπορούσε να φέρει το κουτί μπροστά στα μάτια του και κουνώντας το να μετακινηθεί στον εικονικό κόσμο.

Το 1990 η NASA σε συνεργασία με τη VPL δημιούργησε ένα ολοκληρωμένο σύστημα εμπύθισης σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας το οποίο βασιζόταν σε πατέντες της εταιρείας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποίησε τα EyePhone και DataGlove, που αναφέρθηκαν νωρίτερα, αλλά και μια νεότερη δημιουργία της VPL τη DataSuit. Η DataSuit ήταν μια ολόσωμη στολή σχεδιασμένη ώστε να καταγράφει και να οπτικοποιεί τον προσανατολισμό και τη θέση των άνω και κάτω άκρων αλλά και της μέσης του χρήστη.

Το 1991 η εταιρία Virtuality Group ξεκίνησε τα πρώτα ηλεκτρονικά παιχνίδια διαθέσιμα για το κοινό σε καταστήματα ηλεκτρονικών της εποχής. Ήταν η πρώτη επαφή του κοινού με την συγκεκριμένη τεχνολογία καθώς λόγω κόστους η απόκτηση ενός σύγχρονου συστήματος ήταν πολύ δύσκολη. Σε αυτές τις παιχνιδομηχανές οι παίκτες φορούσαν γυαλιά εικονικής πραγματικότητας και έπαιζαν σε πραγματικό χρόνο με απόκριση μικρότερη των 50ms παιχνίδια με τρισδιάστατα γραφικά σε περιβάλλον εμπύθισης. Σε πολλές περιπτώσεις επιτρεπόταν από τις συσκευές και το παιχνίδι με πολλαπλούς παίκτες.

Άξια αναφοράς είναι η ταινία The Lawnmower Man η οποία το 1992 συνέστησε σε ένα ευρύτερο κοινό την έννοια της εικονικής πραγματικότητας. Ο πρωταγωνιστής της συγκεκριμένης ταινίας είναι βασισμένος στον ιδρυτή της εταιρείας VPL και στις πρώτες του εμπειρίες στο εργαστήριο.

Το 1992, επίσης, δημιουργήθηκε το πρώτο δωμάτιο εικονικής πραγματικότητας CAVE στο εργαστήριο ηλεκτρονικής οπτικοποίησης του πανεπιστημίου του Ιλινόις στο Σικάγο από τους Carolina Cruz-Neira, Daniel J.Sandin και Thomas A. DeFanti. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, είναι ένα δωμάτιο σε σχήμα κύβου στο οποίο προβάλλονταν στους τοίχους στερεοσκοπικές εικόνες. Έτσι, ο χρήστης φορώντας αντί για μάσκα εικονικής πραγματικότητας τρισδιάστατα γυαλιά στα οποία είχε προστεθεί και σύστημα ανίχνευσης θέσης μπορούσε να εμπυθιστεί σε μια εμπειρία εικονικής πραγματικότητας σε κλίμακα δωματίου. Η όλη εμπειρία εμπλουτιζόταν επίσης και από τον τρισδιάστατο ήχο αλλά και την ελευθερία των κινήσεων που παρείχε στο χρήστη το συγκεκριμένο σύστημα. Πρέπει να τονιστεί ότι το Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού διαθέτει από τις 4 Νοεμβρίου του 1999 ένα συστήματα CAVE, όπως περιγράφηκαν παραπάνω, με τις ονομασίες «Κιβωτός» και «Μαγική Οθόνη». Είναι ο πρώτος οργανισμός στον κόσμο που αξιοποίησε την τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας για θέματα πολιτιστικής κληρονομιάς. Επίσης, είναι ο δεύτερος παγκοσμίως που έχει εγκαταστήσει τέτοιου είδους πρωτοποριακά συστήματα σε μουσειακό χώρο ανοιχτό στο κοινό. Η εμπειρία που βιώνει ο επισκέπτης δημιουργείται από έναν πανίσχυρο ηλεκτρονικό υπολογιστή και οι εικονικές περιηγήσεις σε αρχαίες πόλεις και τόπους βασίζονται στην ιστορικά ακριβή τρισδιάστατη αναπαράστασή τους. Επιπλέον, δίνουν στον επισκέπτη την αίσθηση ότι ο εικονικός χώρος τον περιβάλλει και του προσφέρουν τη δυνατότητα να συμμετέχει ενεργά στην εξερεύνηση και, μερικές φορές, ακόμα και στην τροποποίησή του.



Εικόνα 10: Το Σύστημα CAVE

Το 1993 η εταιρεία Sega ανακοίνωσε τη δημιουργία ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας για την κονσόλα της. Το σύστημα αυτό θα είχε σύστημα εντοπισμού κεφαλής, στερεοφωνικό ήχο και LCD οθόνες αλλά λόγω προβλημάτων στην παραγωγή παρέμεινε μόνο στη φάση του πρωτότυπου.

Το 1995 η εταιρεία ηλεκτρονικών παιχνιδιών Nintendo, κυκλοφόρησε την πρώτη φορητή κονσόλα με δυνατότητα εμβύθισης σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Βασικό πρόβλημα της κονσόλας ήταν η διχρωμία των γραφικών επειδή χρησιμοποιούσε μόνο το μαύρο και το κόκκινο χρώμα αλλά και η άβολη στάση κατά τη χρήση της. Ονομαζόταν Nintendo Virtual Boy.

Από της αρχές του 21^{ου} αιώνα λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών η έρευνα στον τομέα της εικονικής πραγματικότητας κατέστη ευκολότερη. Επιπλέον, η ταυτόχρονη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των έξυπνων τηλεφώνων βοήθησε ώστε να μπορεί οποιοσδήποτε να έχει επαφή με την τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας μέσα από το σπίτι του.

Η πρώτη επιτυχημένη δημιουργία ενός σύγχρονου συστήματος εικονικής πραγματικότητας ήταν το Oculus Rift το 2010. Το πρωτότυπο κατασκευάστηκε από τον Palmer Luckey και αργότερα εξαγοράστηκε από την εταιρεία Facebook. Το

πρωτοποριακό χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος ήταν ότι είχε εύρος θέασης 90 μοίρες οριζόντια και 110 κατακόρυφα σε τρισδιάστατο, στεροσκοπικά, περιβάλλον. Αυτό επιτεύχθηκε χάρις στον τρόπο με τον οποίο ήταν τοποθετημένες οι δύο οθόνες υγρών κρυστάλλων μέσα στη μάσκα εικονικής πραγματικότητας.

1.4 Σύγχρονα Συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας

Τα σύγχρονα συστήματα εικονικής πραγματικότητας βασίζονται σε εμπύθιση με τη βοήθεια масκών εικονικής πραγματικότητας. Συμπληρωματικά, ανάλογα με το σύστημα, προστίθενται ασύρματα χειριστήρια, τρισδιάστατος ήχος και καταγραφή της θέσης και του προσανατολισμού του χρήστη. Η εμπειρία εμπύθισης μπορεί να γίνει είτε σε καθιστή θέση του χρήστη είτε σε όρθια ή ακόμη και να υποστηρίζει κίνηση εντός του δωματίου, ανάλογα με το σύστημα που έχει επιλεγεί.

Τα περισσότερα σύστημα εικονικής πραγματικότητας δεν είναι ακόμη σε θέση να λειτουργούν αυτόνομα, και έτσι απαιτούν την επεξεργαστική ισχύ κάποιου ηλεκτρονικού υπολογιστή ή ενός έξυπνου κινητού τηλεφώνου (smartphone). Έτσι βέβαια, οι δυνατότητες κάθε τέτοιου συστήματος εικονικής πραγματικότητας εξαρτώνται άμεσα από το σύστημα στο οποίο βασίζει την λειτουργία του.

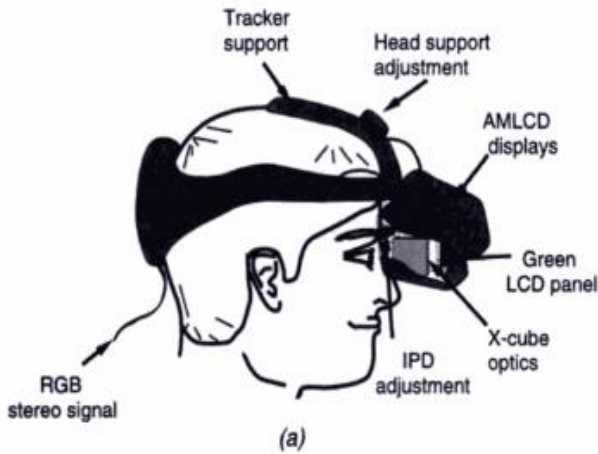
Μπορούν, τελικά, με βάση τα παραπάνω να χωριστούν τα σύγχρονα συστήματα εικονικής πραγματικότητας σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- 1. Συστήματα εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή – Υψηλού Κόστους*
- 2. Συστήματα εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται σε έξυπνο κινητό τηλέφωνο – Χαμηλού Κόστους*
- 3. Αυτόνομα συστήματα εικονικής πραγματικότητας*

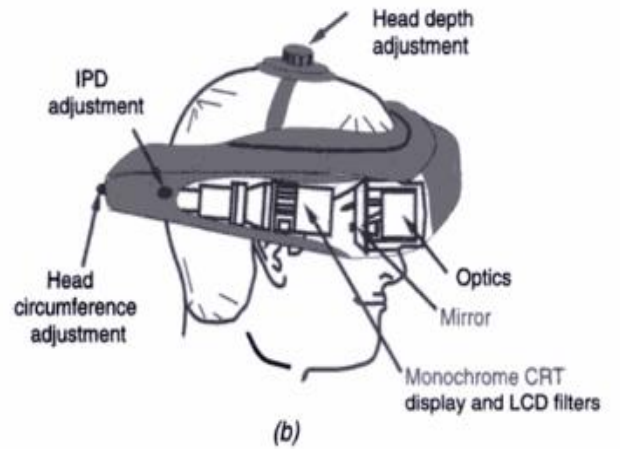
1.4.1 Συστήματα εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή – Υψηλού Κόστους

Τα συστήματα αυτά πετυχαίνουν την εμπύθιση του χρήστη με τη βοήθεια των επεξεργασμένων δεδομένων που παρέχει ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής υψηλής ισχύος στην μάσκα εικονικής πραγματικότητας. Μειονέκτημά τους είναι ότι μόνο ένα άτομο μπορεί να κάνει χρήση του συστήματος κάθε φορά.

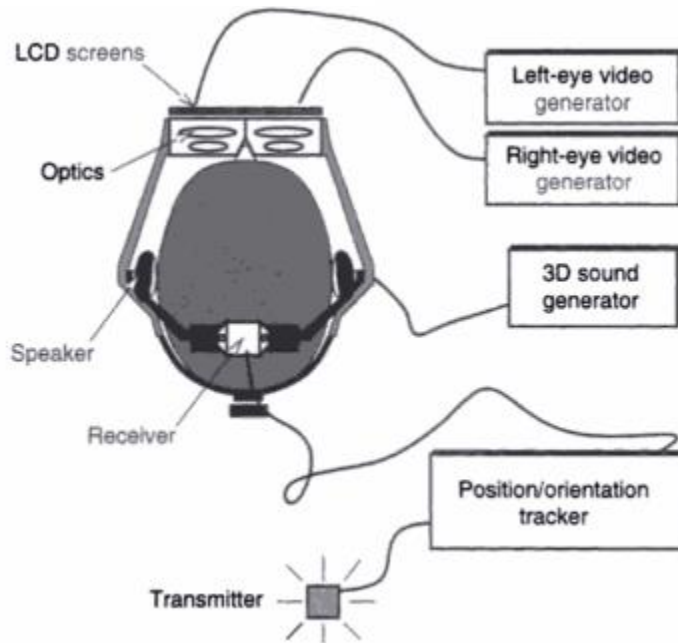
Στις τρεις παρακάτω εικόνες φαίνονται διάφορα σχέδια масκών εμπύθισης σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας.



Εικόνα 11: ProView XL35 της Kaiser Electro-Optics (2001)



Εικόνα 12: Datavisor HiRes της n-vision Inc. (1998)



Εικόνα 13: Πατέντα της Pimentel and Teixeira (1993)

Όπως φαίνεται και στα παραπάνω, το βασικότερο στοιχείο μίας μάσκας εικονικής πραγματικότητας είναι οι οθόνες που περιέχει. Η ποιότητα των οθονών σε συνδυασμό με

το πόσο καλά αποκλείει τους εξωτερικούς ερεθισμούς από το φως του περιβάλλοντος κρίνουν το πόσο καλή εμπύθιση παρέχει μία μάσκα εικονικής πραγματικότητας.

Όσον αφορά στον αποκλεισμό του εξωτερικού φωτός από το περιβάλλον, αυτός εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τον εργονομικό σχεδιασμό της μάσκας και το πόσο καλά μπορεί να εφαρμόσει στα διαφορετικά είδη προσώπου και κεφαλιού. Επιπλέον, όπως γίνεται αντιληπτό, επειδή ένα σχήμα δεν μπορεί να εφαρμόζει σωστά σε όλα τα διαφορετικά είδη, συνήθως παρέχεται δυνατότητα προσαρμογής της μάσκας στο κεφάλι του χρήστη.

Κάθε μάσκα εικονικής πραγματικότητας έχει δύο οθόνες που αντιστοιχούν σε κάθε μάτι, με σκοπό τη δημιουργία του φαινομένου της στερεοσκοπικής παρατήρησης. Βέβαια, καθώς όλα τα ζευγάρια ανθρώπινων ματιών δεν έχουν την ίδια απόσταση μεταξύ των υπάρχει μηχανισμός στις μάσκες εικονικής πραγματικότητας με τον οποίο ρυθμίζεται η απόσταση μεταξύ των οθονών ώστε να ταιριάζει στην απόσταση των δύο κορών των ματιών του χρήστη για να είναι εφικτή η στερεοσκοπική παρατήρηση. Όμως, πρέπει να τονιστεί ότι η βέλτιστη ποιότητα των οθονών μιας μάσκας δεν εξασφαλίζει απαραίτητα και μια αρεστή εμπειρία εμπύθισης στο χρήστη μιας και η τρισδιάστατη εικόνα που του προβάλλεται προκύπτει από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που χρησιμοποιείται αλλά και από το περιεχόμενο που προβάλλεται.

Αξίζει να σημειωθεί, πως για μια ικανοποιητική εμπειρία απαιτείται αρκετή υπολογιστική ισχύς για αυτό το λόγο και όλα τα σύγχρονα συστήματα έχουν απαιτήσεις ισχύος παρόμοιες με τις παρακάτω:

Εξάρτημα	Προτεινόμενα Χαρακτηριστικά	Ελάχιστα Χαρακτηριστικά
Κάρτα Γραφικών	NVIDIA GTX 1060 / AMD Radeon RX 480 ή καλύτερη	NVIDIA GTX 1050 Ti / AMD Radeon RX 470 ή καλύτερη
Εναλλακτική Κάρτα Γραφικών	NVIDIA GTX 970 / AMD Radeon R9 290 ή καλύτερη	NVIDIA GTX 960 4GB / AMD Radeon R9 290 ή καλύτερη
Επεξεργαστής	Intel i5-4590 / AMD Ryzen 5 1500X ή καλύτερος	Intel i3-6100 / AMD Ryzen 3 1200, FX4350 ή καλύτερος
Μνήμη RAM	8GB+	8GB+
Έξοδος Εικόνας	HDMI 1.3	HDMI 1.3
Θύρες USB	3XUSB 3.0 θύρες και 1XUSB 2.0 θύρα	1XUSB 3.0 θύρα και 2XUSB 2.0 θύρες
Λειτουργικό Σύστημα	Windows 10 ή νεότερο	Windows 10 ή νεότερο

*Οι απαιτήσεις αυτές αφορούν το σύστημα εικονικής πραγματικότητας Oculus Rift και παρατίθενται ενδεικτικά. (<https://support.oculus.com/1773584749575567/>)

Παρακάτω, φαίνονται τα επικρατέστερα, αυτήν τη στιγμή στην αγορά συστήματα εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται στη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.



Εικόνα 14: Το Σύστημα HTC VIVE



Εικόνα 15: Το Σύστημα Oculus Rift της Facebook



Εικόνα 16: Το σύστημα ελεύθερου λογισμικού OSVR της Razer



Εικόνα 17: Το Σύστημα Playstation VR της Sony

Τα τέσσερα παραπάνω συστήματα διαφέρουν κυρίως στις δυνατότητες που παρέχουν ενώ η γενική ιδέα στον τρόπο λειτουργίας τους είναι ίδια με αυτήν που περιγράφηκε παραπάνω. Διαφέρουν κυρίως στο αν η εμπειρία που παρέχουν στον χρήστη είναι καθιστή, όρθια ή σε επίπεδο δωματίου (που επιτρέπεται η κίνηση του χρήστη) καθώς κάθε τρόπος από αυτούς απαιτεί διαφορετικές μορφές εντοπισμού της θέσης και του προσανατολισμού της μάσκας ή/και των χειριστηρίων. Επίσης, διαφέρουν στον αν δίνουν τη δυνατότητα χρήσης χειριστηρίων και άλλων περιφερειακών όπως π.χ. ακουστικά. Τέλος, το εύρος στερεοσκοπικής θέασης κάθε μάσκας είναι διαφορετικό και ουσιαστικά ορίζει το οπτικό πεδίο του χρήστη.

Κάποια από τα παραπάνω θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο που θα περιγράφεται το σύστημα που επιλέχθηκε για την παρούσα διπλωματική.

1.4.2 Συστήματα εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται σε έξυπνο κινητό τηλέφωνο – Χαμηλού Κόστους

Τα συστήματα αυτά ουσιαστικά βασίζονται κατά κύριο λόγο στο έξυπνο κινητό τηλέφωνο του χρήστη (smartphone). Πρόκειται για μάσκες εικονικής πραγματικότητας οι οποίες όμως δεν περιέχουν την οθόνη υγρών κρυστάλλων για την οπτικοποίηση των δεδομένων. Το ρόλο της οθόνης παίζει το εκάστοτε έξυπνο κινητό τηλέφωνο του χρήστη, το οποίο εισάγεται μέσα στη μάσκα και αντικαθιστά την οθόνη. Οι υπόλοιπες αρχές λειτουργίας παραμένουν ίδιες όπως περιγράφηκαν παραπάνω με βασική, όμως, αλλαγή την καταγραφή της θέσης και του προσανατολισμού. Συγκεκριμένα, σε αυτήν την περίπτωση η καταγραφή των προαναφερθέντων στοιχείων γίνεται με τη βοήθεια των αισθητήρων που περιέχουν τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα όπως για παράδειγμα το γυροσκόπιο και το επιταχυνσιόμετρο. Επιπλέον, περιφερειακά για τρισδιάστατο ήχο ή και χειριστήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσω σύνδεσής τους στο έξυπνο κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιείται. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες μάσκες εικονικής πραγματικότητας της εν λόγω κατηγορίας με αξιοσημείωτη περίπτωση αυτή της συσκευής Google Cardboard.



Εικόνα 18: Το Google Cardboard



Εικόνα 19: Το Google Daydream



Εικόνα 20: Το Samsung Gear VR



Εικόνα 21: Το ZEISS VR ONE

Όλα τα παραπάνω συστήματα λειτουργούν όπως αναλύθηκε. Το Google Cardboard είναι ένα σύστημα φτιαγμένο από χαρτόνι όπου ο χρήστης το συναρμολογεί μόνο του. Όμως παρά την φθηνή κατασκευή του είναι σε θέση να προσφέρει απομόνωση από το εξωτερικό περιβάλλον και να δημιουργήσει το στερεοσκοπικό φαινόμενο ώστε να βλέπει τρισδιάστατα ο χρήστης κατά τη διάρκεια της εμπύθισης.

Όμως, πρέπει να τονιστεί πως η απόδοση και η ποιότητα αυτών των συστημάτων εξαρτάται άμεσα από το έξυπνο κινητό τηλέφωνο του χρήστη και σε καμία περίπτωση δεν μπορεί ακόμη να πλησιάσει την ποιότητα και τις αναλύσεις ενός συστήματος που υποβοηθείται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Πλεονέκτημα αυτών των συσκευών είναι προφανώς το κόστος και η φορητότητά τους.

1.4.3 Αυτόνομα Συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας

Τα αυτόνομα συστήματα εικονικής πραγματικότητας είναι, σε γενικές γραμμές, ακόμη σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης. Παρ' όλα αυτά κάποια μοντέλα είναι διαθέσιμα στην αγορά για το ευρύ κοινό.

Ουσιαστικά, η φιλοσοφία των συστημάτων αυτών είναι να εξαλείψουν την εξάρτηση της εμπειρίας της εικονικής πραγματικότητας από εξωτερικές πηγές επεξεργασίας και παραγωγής των δεδομένων και των εικόνων όπως είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αλλά και τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Για να επιτύχουν αυτό το σκοπό έχουν ενσωματωμένες οθόνες, συστήματα επεξεργασίας με επεξεργαστές και κάρτες γραφικών αλλά και διάφορους αισθητήρες με σκοπό την παρακολούθηση και την καταγραφή της θέσης και του προσανατολισμού του χρήστη και των περιφερειακών ή/και χειριστηρίων που μπορεί να χρησιμοποιεί. Τα προβαλλόμενα δεδομένα των συγκεκριμένων συστημάτων μπορεί να προέρχονται είτε από εξωτερικές μνήμες αποθήκευσης (π.χ. κάρτες μνήμης, είτε από εφαρμογές που εγκαθίστανται σε αυτά είτε απευθείας από το διαδίκτυο. Επιπλέον, έχουν και ενσωματωμένη μπαταρία με σκοπό να απελευθερωθούν τελείως από τα καλώδια κατά τη διάρκεια της χρήσης. Τέλος, η στάση του χρήστη μπορεί να είναι είτε καθιστή, είτε όρθια είτε σε επίπεδο δωματίου ανάλογα με το σύστημα που χρησιμοποιεί.

Μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι η αυτονομία του χρήστη κατά τη χρήση αλλά και η αποκλειστική τους σχεδίαση για εμπύθιση σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Η τεχνολογία τους όμως δεν βρίσκεται ακόμη σε τέτοιο επίπεδο ώστε να μπορούν να ανταγωνιστούν τα συστήματα που αναλυθήκαν στο κεφάλαιο 1.4.1.

Επίσης, ένα βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι λειτουργούν με μπαταρία που συνεπάγεται διακοπές της εμπειρίας εμπύθισης για τις ανάγκες της φόρτισης της συσκευής.

Παρακάτω φαίνονται τα δύο πιο δημοφιλή αυτόνομα συστήματα εικονικής πραγματικότητας, τα οποία παρέχουν εμπειρίες μεικτής πραγματικότητας διαφόρων επιπέδων όπως και επαυξημένης πραγματικότητας.



Εικόνα 22: Lenovo Mirage Solo



Εικόνα 23: HTC Vive Focus

1.5 Η Εικονική Πραγματικότητα για τη Διατήρηση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς

Προκειμένου να γίνει κατανοητό πώς μπορεί να συμβάλει η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας στην διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς πρέπει πρώτα να αναλυθεί ο όρος της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η πολιτιστική κληρονομιά είναι ένα υπερσύνολο και αναφέρεται στα κληροδοτήματα που λαμβάνει η κοινωνία ή μια ευρύτερη ομάδα από τις παλαιότερες γενιές. Οι τρεις κατηγορίες του υπερσυνόλου της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι:

1. *Η υλική ή απτή πολιτιστική κληρονομιά*
2. *Ο άυλη πολιτιστική κληρονομιά*
3. *Η φυσική κληρονομιά*

Ο όρος **υλική ή απτή πολιτιστική κληρονομιά** περιλαμβάνει κινητά και ακίνητα αντικείμενα, όπως κτήρια και ιστορικές τοποθεσίες, μεμονωμένα μνημεία, βιβλία, ντοκουμέντα, έργα τέχνης, μηχανές, ρουχισμό καθώς και άλλα αντικείμενα που θεωρούνται αξιόλογα ώστε να διατηρηθούν στο πέρασμα του χρόνου και είναι φορείς ιστορικής μνήμης. Συνήθως είναι αντικείμενα μείζονος σημασίας για τους τομείς της αρχαιολογίας, της επιστήμης, της αρχιτεκτονικής ή της τεχνολογίας ενός συγκεκριμένου πολιτισμού (Ann Marie Sullivan, 2016).

Ο όρος **άυλη πολιτιστική κληρονομιά** συνίσταται από τα μη απτά (ψηλαφητά) χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου πολιτισμού, τα οποία συχνά διατηρούνται από κοινωνικά έθιμα κατά τη διάρκεια μίας συγκεκριμένης ιστορικής περιόδου. Περιλαμβάνονται, δηλαδή, οι τρόποι και τα μέσα συμπεριφοράς μιας κοινωνίας και οι συχνοί τυπικοί κανόνες λειτουργίας σε ένα ιδιαίτερο πολιτιστικό κλίμα, όπως για παράδειγμα κοινωνικές αξίες και παραδόσεις, έθιμα και πρακτικές, οι αισθητικές και πνευματικές αντιλήψεις, η καλλιτεχνική έκφραση, η γλώσσα, καθώς και άλλες πτυχές της ανθρώπινης πολιτιστικής δραστηριότητας. Η διατήρηση της άυλης κληρονομιάς είναι πιο δυσχερής από τη διατήρηση φυσικών/απτών αντικειμένων. Είναι όμως γεγονός ότι η άυλη πολιτιστική κληρονομιά είναι άρρηκτα συνυφασμένη με την υλική ή απτή, στην οποία δίνει και ιδιαίτερη σημασία (Ann Marie Sullivan, 2016).

Ο όρος **φυσική κληρονομιά**, περιλαμβάνει την ύπαιθρο, το φυσικό περιβάλλον όπως την χλωρίδα και την πανίδα, γνωστή και ως «βιοποικιλότητα», καθώς και γεωλογικά στοιχεία συμπεριλαμβανομένης της ορυκτολογίας, παλαιοντολογίας, γνωστή και ως «γεωποικιλότητα». Τα φυσικά κληροδοτήματα εξυπηρετούν, ως σημαντικό συστατικό, την τουριστική βιομηχανία κάθε χώρας προσελκύοντας πολλούς επισκέπτες από το

εξωτερικό άλλα και σε τοπικό επίπεδο. Η φυσική κληρονομιά περιλαμβάνει πολιτιστικά τοπία με ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά και με πολιτιστικά γνωρίσματα. Αποτελεί, επομένως, ένα σημαντικό κομμάτι της συνολικής κληρονομιάς κάθε κοινωνίας (Ann Marie Sullivan, 2016).

Πέρα από τους παραπάνω, αυστηρούς, ορισμούς η UNESCO το 1989, μεταξύ άλλων, έχει ορίσει την Πολιτιστική Κληρονομιά ως: «Το συνολικό έργο των υλιστικών υπογραφών, είτε καλλιτεχνικών είτε συμβολικών, που κληροδοτήθηκαν σε κάθε κουλτούρα από το παρελθόν και συνεπώς σε όλη την ανθρωπότητα. Ως συστατικό στοιχείο για την επιβεβαίωση και τον εμπλουτισμό της πολιτιστικής ταυτότητας, σαν κληροδότημα ολόκληρης της ανθρωπότητας, η πολιτιστική κληρονομιά δίνει σε κάθε συγκεκριμένο μέρος τα διακριτά χαρακτηριστικά του και είναι η αποθήκη των ανθρώπινων εμπειριών.».(ICCROM, 1990)

Τελικά, η πολιτιστική κληρονομιά μιας κοινωνικής ομάδας είναι αυτή που ενισχύει την αίσθηση της ταυτότητας και του *ανήκειν* μέσα σε αυτήν. Επιπλέον, ενισχύει την συνεκτικότητα μέσα στην ομάδα αλλά και την αίσθηση της κοινωνικής ευθύνης. Είναι υποχρέωση, λοιπόν, των σύγχρονων γενεών να συντηρούν, να καταγράφουν αλλά και να παρουσιάζουν οποιοδήποτε κληροδότημα λαμβάνουν από τις παλαιότερες γενιές με απώτερο σκοπό την, όσο το δυνατό καλλίτερη, μετάδοσή του στις μελλοντικές γενιές.

Όλα τα παραπάνω, κάνουν εμφανές το πόσο σημαντική είναι η διατήρηση και συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς και για ποιόν λόγο θα πρέπει να είναι ο θεμέλιος λίθος οποιασδήποτε πολιτιστικής πολιτικής.

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση, όποιων στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς καθίσταται εφικτή, είναι χρήσιμη και στα τρία βασικά στάδια διατήρησής της, τα οποία είναι **η καταγραφή, η συντήρηση και η παρουσίαση**. Το προηγούμενο προκύπτει από την *Χάρτα της Βενετίας για την συντήρηση και αποκατάσταση των μνημείων και αρχαιολογικών χώρων* (ICOMOS, 1964) η οποία συντάχθηκε από μια ομάδα εμπειρων ειδικών του ICOMOS στην Βενετία και παρέχει ένα διεθνές πλαίσιο την συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων. Συγκεκριμένα, αναφέρει: «Η συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων πρέπει να προσφεύγει σε όλες τις επιστήμες και τεχνικές που μπορούν να συνεισφέρουν στην μελέτη και στη διαφύλαξη της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς».

Όσον αφορά στην καταγραφή και τεκμηρίωση, η τρισδιάστατη μοντελοποίηση αποτελεί ουσιαστικά την γεωμετρική τεκμηρίωση αναφορικά με ένα απτό στοιχείο και είναι πολύ σημαντικό κομμάτι του σταδίου. Δημιουργώντας το τρισδιάστατο ψηφιακό ομοίωμά του καθίσταται εφικτό να καταγραφεί η κατάστασή του την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως η τρισδιάστατη μοντελοποίηση, ενός μνημείου για παράδειγμα, μπορεί να γίνει σε μνημεία που έχουν επιβιώσει μέχρι σήμερα αλλά και

σε μνημεία που έχουν καταστραφεί είτε λόγω φυσικών είτε λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων. Στα μεν υπάρχοντα μνημεία δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο με βάση την υπάρχουσα κατάσταση, στα δε μερικώς ή ολικώς κατεστραμμένα δημιουργούνται με τη βοήθεια κυρίως καταγεγραμμένων περιγραφών ή παλαιότερων καταγραφών σε συνδυασμό με την υπάρχουσα κατάσταση, όπου αυτό είναι εφικτό.

Η προαναφερθείσα τρισδιάστατη μοντελοποίηση καθίσταται πολύ χρήσιμη και κατά το στάδιο της συντήρησης. Αρχικά, έχοντας ψηφιακά και τρισδιάστατα καταγεγραμμένη την «αρχική» κατάσταση ενός μνημείου είναι δυνατόν να διορθωθούν οποιεσδήποτε μελλοντικές ζημιές ή να επανέλθουν οποιεσδήποτε μελλοντικές παρεμβάσεις στην προηγούμενη κατάσταση του μνημείου. Επιπροσθέτως, μελέτες συντήρησης και παρεμβάσεων αποκατάστασης καθίστανται ευκολότερες έχοντας ένα τρισδιάστατο μοντέλο που αναπαριστά με ακρίβεια την πραγματικότητα. Για παράδειγμα, μια παρέμβαση συντήρησης θα μπορούσε να απεικονιστεί πρώτα στο τρισδιάστατο μοντέλο, ώστε να αξιολογηθεί προτού να εφαρμοσθεί στην πραγματικότητα.

Όμως, το στάδιο στο οποίο η τρισδιάστατη μοντελοποίηση κάνει τη διαφορά συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους είναι αυτό της παρουσίασης. Η παρουσίαση ενός στοιχείου πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως για παράδειγμα ενός μνημείου, με τις συμβατικές δισδιάστατες μεθόδους δίνει τη δυνατότητα να παρατηρηθεί μέρος του μνημείου από συγκεκριμένη οπτική γωνία ή προβολή με αποτέλεσμα να μην μπορούν να παρουσιαστούν όλα τα στοιχεία του ή να απαιτούνται πολλές διαφορετικές παρουσιάσεις του ίδιου αντικειμένου ώστε αυτό να γίνει πλήρως κατανοητό. Αντίθετα, παρουσιάζοντας ένα διαδραστικό τρισδιάστατο μοντέλο στο οποίο μπορούν να συμπεριληφθούν όλα τα μέλη ενός μνημείου, ο χρήστης μπορεί αλληλοεπιδρώντας με την κλίμακα, τον προσανατολισμό και τη θέση του μοντέλου να δει όλα τα στοιχεία του. Επιπλέον, κάθε είδος στοιχείων, για παράδειγμα κολώνες, μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας δίνοντας στο χρήστη τη δυνατότητα να απομονώσει ή να αποκρύψει προσωρινά κάποια κατηγορία. Η τελευταία δυνατότητα, έχει μεγάλη σημασία μιας και κάθε δομικό μέρος ενός στοιχείου πολιτιστικής κληρονομιάς μεταλαμπαδεύει ξεχωριστές κάθε φορά πληροφορίες για την εποχή στην οποία ανήκει.

Έχοντας κατανοήσει, με τη βοήθεια των παραπάνω, πως η τρισδιάστατη μοντελοποίηση μπορεί να συμβάλει και στα τρία βασικά στάδια διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι φυσικό επόμενο η ανάπτυξη των τεχνολογιών της εικονικής πραγματικότητας να βελτιώσει κατά πολύ την συμβολή της σε πολλούς διαφορετικούς τομείς.

Μέσω της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας, δίνεται η δυνατότητα στο ευρύ κοινό να περιεργαστεί, να θαυμάσει η ακόμη και να μελετήσει οποιαδήποτε τρισδιάστατη αναπαράσταση μέσω της εμπύθισής του στο ψηφιακό περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατό σε ανθρώπους από όλο τον κόσμο να έχουν πρόσβαση στην ψηφιακή

τρισδιάστατη αναπαράσταση ενός στοιχείου πολιτιστικής κληρονομιάς χωρίς να εκτίθεται το ίδιο το στοιχείο με κίνδυνο να αλλοιωθεί ή να καταστραφεί. Τέτοια στοιχεία μπορεί να είναι από μικρά αρχαιολογικά ευρήματα μέχρι μεγαλοπρεπή μνημεία ή ακόμη και άυλα στοιχεία όπως τα βήματα ενός παραδοσιακού χορού.

Η συγκεκριμένη δυνατότητα, όπως περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να ωφελήσει πολλές ομάδες ατόμων. Πολύ χρήσιμη μπορεί να φανεί σε άτομα με ειδικές ανάγκες τα οποία δεν δύνανται, λόγω της κατάστασής τους, να επισκεφθούν το σημείο έκθεσης του στοιχείου πολιτιστικής κληρονομιάς που θέλουν να θαυμάσουν. Έτσι, για παράδειγμα, μέσω της εμπύθισής τους σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας μπορούν έμπρακτα να λαμβάνουν μέρος στην επίσκεψη ενός εικονικού μουσείου ή του ίδιου το αρχαιολογικού χώρου. Χρήσιμη, επίσης, μπορεί να φανεί αυτή η δυνατότητα και στους μελετητές και ερευνητές (π.χ. μηχανικούς, αρχιτέκτονες, αρχαιολόγους κ.λπ.) αλλά για πολύ διαφορετικούς λόγους σε σχέση με τους προηγούμενους. Συγκεκριμένα, όταν ένας ερευνητής πρέπει για τις ανάγκες των ερευνών του να ασχοληθεί έμπρακτα με ένα στοιχείο πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως είναι ένα μνημείο, τότε ανάλογα με τις δράσεις του σε αυτό και τι στοιχεία χρειάζεται από αυτό εκτίθεται, σε μεγάλο ή μικρό βαθμό, η ακεραιότητα του μνημείου αυτού. Χρησιμοποιώντας, όμως το τρισδιάστατο μοντέλο του συγκεκριμένου στοιχείου διαφυλάσσει την ακεραιότητα του μνημείου αυτού και τελικά μπορεί μέχρι να παρέμβει σε αυτό κατά τη διάρκεια της μελέτης του. Έτσι, διευρύνεται ο τρόπος με τον οποίο μπορεί ο ερευνητής ή ο μελετητής να αλληλοεπιδράσει με ένα στοιχείο πολιτιστικής κληρονομιάς στα πλαίσια των ερευνών του.

Πλεονέκτημα στη χρήση της επιστήμης της εικονικής πραγματικότητας δίνουν και οι τεχνολογίες αιχμής που αυτή χρησιμοποιεί. Σήμερα, οι περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούν κάποιας μορφής ηλεκτρονικό υπολογιστή και δείχνουν ξεκάθαρη προτίμηση στο να ενισχύουν τη γνώση τους μέσω των συσκευών αυτών. Επιπλέον, το οπτικό ερέθισμα και η βιωματική εμπειρία που προσφέρει η εμπύθιση σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας καθιστούν πολύ πιο ελκυστική την πληροφορία που προσφέρουν σε σύγκριση με ένα απλό κείμενο. Συμπερασματικά, με τη χρήση της εικονικής πραγματικότητας καθίσταται δυνατή η διάδοση της πολιτιστικής κληρονομιάς σε όλο και περισσότερους ανθρώπους λόγω της ελκυστικότητας που προσφέρει αλλά και της ελευθερίας που έχει ο χρήστης στην παραμετροποίηση των πληροφοριών και ερεθισμάτων που λαμβάνει.

Αντίστοιχο ερέθισμα, λόγω της τεχνολογικής της αιχμής, μπορεί να δώσει η εικονική πραγματικότητα και στα παιδιά. Τα παιδιά λόγω της έμφυτης περιέργειάς τους τείνουν να δείχνουν περισσότερο ενδιαφέρον σε σύγχρονες τεχνολογίες οπότε τους είναι πολύ πιο ενδιαφέρον να εξερευνήσουν, για παράδειγμα, έναν αρχαιολογικό χώρο σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας παρά να διαβάσουν για αυτόν σε κάποιο βιβλίο. Όμως πέρα από το ερέθισμα που προκαλεί στα παιδιά η ίδια η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας προσφέρονται μέσω αυτής και δυνατότητες δημιουργίας εμπειριών

εμβύθισης ειδικά για παιδιά και εκπαιδευτικούς σκοπούς. Μπορεί, λοιπόν, με την δημιουργία της κατάλληλης εμπειρίας εμβύθισης το παιδί να μαθαίνει για στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς παίζοντας ένα «παιχνίδι» σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Τελικά, τα ερεθίσματα αυτά λόγω και της ευχαρίστησης που προσφέρουν στα παιδιά είναι πιο δυνατά και δεν μπορούν παρά να αυξήσουν το ενδιαφέρον της νέας γενιάς για την πολιτιστική κληρονομιά και να κάνουν τη μάθηση πιο ευχάριστη και σύγχρονη και επομένως και αποτελεσματική.

Συνοψίζοντας, η επιστήμη της εικονικής πραγματικότητας με τις τεχνολογίες αιχμής που διαθέτει μπορεί να γίνει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο της πολιτιστικής κληρονομιάς. Το εργαλείο αυτό έχει δύο βασικούς σκοπούς: Την ευρεία διάδοση οποιουδήποτε είδους πολιτιστικής κληρονομιάς είναι εφικτό αλλά και την χρήση του από ερευνητές και μελετητές κάθε είδους με σκοπό την προστασία των στοιχείων της σε συνδυασμό με την αύξηση των ελευθεριών του κάθε μελετητή.

1.6 Εφαρμογές της επιστήμης της εικονικής πραγματικότητας σχετικά με την πολιτιστική κληρονομιά.

Η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας έχει ήδη εφαρμοσθεί, κυρίως από τον ερευνητικό τομέα, σε διάφορες μελέτες ή έργα σχετικά με την πολιτιστική κληρονομιά. Οι ήδη υπάρχουσες μελέτες δεν επαρκούν για να αναδειχθεί η χρησιμότητα της συγκεκριμένης τεχνολογίας στην ανάδειξη και στη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς καθώς δεν αξιοποιούνται στο έπακρο οι δυνατότητες που παρέχει, ο εξοπλισμός που απαιτείται έχει υψηλό κόστος και είναι εξειδικευμένος. Τελικά, αποτέλεσμα των προηγούμενων είναι μεγάλη μερίδα πιθανών χρηστών να μην έχουν εύκολη πρόσβαση στην τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας και να μην μπορούν να την αξιοποιήσουν. Αξίζει να σημειωθεί πως όλες οι εφαρμογές περιορίζονται στο κομμάτι της παρουσίασης των στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς σε περιβάλλον εμβύθισης και καμία δεν πραγματεύεται τις μετρητικές και παρεμβατικές δυνατότητες που παρέχει η εικονική πραγματικότητα εξαλείφοντας ταυτόχρονα τον κίνδυνο αλλοίωσης του ίδιου του μνημείου.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι κυριότερες εφαρμογές που έχουν υλοποιηθεί:

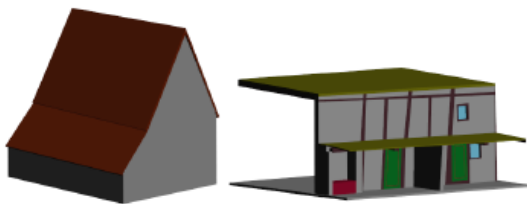
A. Εικονικό μουσείο του μουσείου “Alt-Segeberger Bürgerhaus”.

Το εργαστήριο φωτογραμμετρίας και τρισδιάστατης σάρωσης του πανεπιστημίου HafenCity του Αμβούργου δημιούργησε ένα εικονικό μουσείο βασισμένο στο ήδη υπάρχον μουσείο “Alt-Segeberger Bürgerhaus”. (T. P. Kersten et al., 2017)

Μια κλασική υλοποίηση ενός εικονικού μουσείου θα γινόταν στο πλαίσιο της παρουσίασης διάφορων συλλογών στο διαδίκτυο ή της πραγματοποίησης μιας εικονικής ξενάγησης στο χώρο του μουσείου με τη βοήθεια εικόνων πανοράματος. Η συγκεκριμένη υλοποίηση θα έδινε τη δυνατότητα μιας επίσκεψης στο μουσείο που θα είναι ανεξάρτητη του χρόνου και του χώρου μιας και το μουσείο αυτό θα ήταν προσπελάσιμο στο διαδίκτυο. Επιπλέον, προσφέρεται για την προετοιμασία ή την αξιολόγηση μιας επίσκεψης στο πραγματικό μουσείο.

Σήμερα, με την υπάρχουσα τεχνολογία καταγραφής τρισδιάστατης πληροφορίας ένα εικονικό μουσείο ξεφεύγει από τα πλαίσια που προαναφέρθηκαν και γίνεται μια ολοκληρωμένη εμπειρία, όπως αποδεικνύει και η εν λόγω εφαρμογή.

Το συγκεκριμένο εικονικό μουσείο βασίζεται στην αστική κατοικία “Old – Segeberg” η οποία ακόμη και στο τέλος του 19^{ου} αιώνα θεωρείτο η παλαιότερη της πόλης Bad Segeberg που βρίσκεται 40χλμ. βορειοανατολικά του Αμβούργου. Σήμερα, είναι ένα μια από τις λίγες καλοδιατηρημένες κατοικίες από την αρχή της πρώιμης σύγχρονης περιόδου στην ομοσπονδιακή πολιτεία Schleswig – Holstein. Σύμφωνα με τα ήδη υπάρχοντα αρχεία η κατοικία ενοικιαζόταν ήδη από το 1539 και έχει έξι κατασκευαστικές φάσεις οι οποίες φαίνονται στις παρακάτω εικόνες (T. P. Kersten et al., 2017).



Εικόνα 24: Το εξωτερικό και το εσωτερικό της κατοικίας το 1541



Εικόνα 25: Το εξωτερικό και το εσωτερικό της κατοικίας το διάστημα 1584-1588



Εικόνα 26: Το εξωτερικό και το εσωτερικό της κατοικίας το 1814



Εικόνα 27: Το εσωτερικό και το εξωτερικό της κατοικίας το 1890



Εικόνα 28: Το εξωτερικό και το εσωτερικό της κατοικίας το 1964.

Σήμερα, η συγκεκριμένη κατοικία χρησιμοποιείται ως τοπικό μουσείο.

Η δημιουργία του εικονικού μουσείου χωρίστηκε σε τρεις κύριες φάσεις:

- I. το σχεδιασμό και την ανάλυση της ιδέας
- II. την τρισδιάστατη μοντελοποίηση με πραγματική υφή ολόκληρης της κατοικίας, των περιεχομένων της και των ιστορικών της στοιχείων
- III. Ενσωμάτωση των παραπάνω σε ένα πρόγραμμα και δημιουργία δυνατοτήτων αλληλεπίδρασης με το χρήστη.

Όσον αφορά στο πρώτο στάδιο, η ιδέα ήταν να δημιουργηθεί ένα εικονικό μουσείο που να επιτρέπει την αλληλεπίδραση με το χρήστη και να ξεφεύγει από την κλασσική έννοια του εικονικού μουσείου. Έτσι, επιλέχθηκε να δημιουργηθεί ουσιαστικά ένα εκπαιδευτικό παιχνίδι (serious game) με πολλές δυνατότητες αλληλεπίδρασης.

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση της κατοικίας έγινε σε δύο φάσεις συνδυάζοντας γεωδαιτικές και φωτογραμμετρικές μεθόδους χρησιμοποιώντας σαρωτές laser αλλά και ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές SLR αντίστοιχα. Το τελικό μοντέλο σε σύγκριση με την πραγματικότητα φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 29: Η πραγματική κατοικία συγκριτικά με την τρισδιάστατη μοντελοποίηση που πραγματοποιήθηκε. (T.P. Kersten et al., 2017)

Τελικά, για την δημιουργία αυτού του εικονικού μουσείου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό δημιουργίας και ανάπτυξης ψηφιακών παιχνιδιών (Game Engine) Unreal. Η επιλογή του έγινε βάσει των δυνατοτήτων παραμετροποίησης και αλληλεπίδρασης που προσφέρει αλλά και λόγω της δυνατότητας εικονικού προγραμματισμού που παρέχει. Δημιουργήθηκαν δύο εκδοχές του εικονικού μουσείου.

Η πρώτη εκδοχή είναι μια κλασική εκδοχή εικονικού μουσείου που βασίζεται στην περιήγηση σε αυτό με τη βοήθεια του ποντικιού του ηλεκτρονικού υπολογιστή και στην εμφάνιση πληροφοριών (είτε γραφικών είτε εικονικών) για κάθε κομμάτι της περιήγησης.

Η δεύτερη εκδοχή παρέχει στο χρήστη μια ολοκληρωμένη εμπύθιση στο μουσείο με τη βοήθεια της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας. Με τη βοήθεια του συστήματος εικονικής πραγματικότητας HTC VIVE δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα ελεύθερης κίνησης στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του μουσείου αλλά και γραφικής και πληροφοριακής αλληλεπίδρασης με τα στοιχεία του. Αξίζει να τονιστούν οι κινούμενες απεικονίσεις που προσφέρονται σε αυτήν την εμπειρία εμπύθισης με κύρια αυτή των διάφορων κατασκευαστικών φάσεων του κτηρίου.



Εικόνα 30: Το γραφικό περιβάλλον της πρώτης εκδοχής της εφαρμογής. (T.P. Kersten et al., 2017)



Εικόνα 31: Το περιβάλλον της εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας (T.P. Kersten et al., 2017)

B. Διαδραστική εμπειρία εμβύθισης στο μουσουλμανικό τέμενος Σελιμιγιέ σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας με τη χρήση του συστήματος HTC VIVE.

Το εργαστήριο φωτογραμμετρίας και τρισδιάστατης σάρωσης του πανεπιστημίου HafenCity του Αμβούργου σε συνεργασία με την τουρκική ανώνυμη εταιρεία BİMTAŞ, εκμεταλλευόμενο τις πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας δημιούργησε μια διαδραστική εμπειρία εμβύθισης σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας χρησιμοποιώντας το σύστημα HTC VIVE. Η εμπειρία αναφέρεται στο μουσουλμανικό τέμενος Σελιμιγιέ που βρίσκεται στην Αδριανούπολη της Τουρκίας. Σκοπός της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι να αναδείξει τις δυνατότητες των σύγχρονων τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας στα πλαίσια της ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς (T.P. Kersten et al., 2017)

Το εν λόγω τέμενος χτίστηκε κατ' εντολή του σουλτάνου Σελίμ Β' από τον διάσημο Οθωμανό αρχιτέκτονα Μιμάρ Σινάν το διάστημα 1596 – 1575. Το έργο χαρακτηρίζεται από τους τέσσερις μιναρέδες του σε σχήμα μολυβιού που έχουν ύψος 71 μέτρα από το έδαφος και είναι οι ψηλότεροι που έχουν χτιστεί. Το συγκεκριμένο τέμενος θεωρείται ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της Οθωμανικής αρχιτεκτονικής. (T.P. Kersten et al., 2017)

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση του τεμένους έγινε μέσω 557 συνολικά επίγειων σαρώσεων λέιζερ για το εσωτερικό και το εξωτερικό του. Η υφή του μοντέλου δόθηκε με τη βοήθεια φωτογραφιών που λήφθηκαν από μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή SLR και υπέστησαν κατάλληλη επεξεργασία.



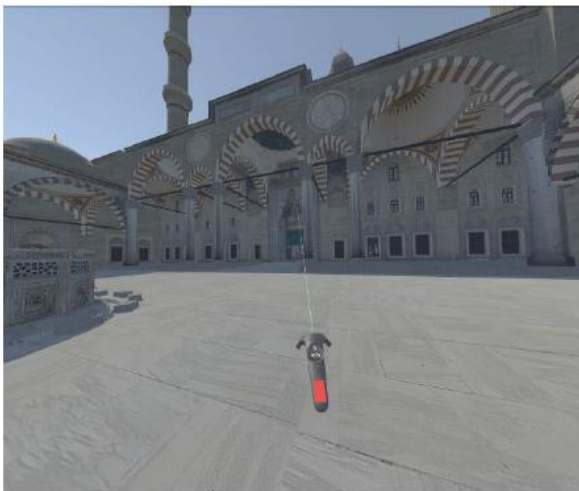
Εικόνα 32: Το εξωτερικό και το εσωτερικό του μουσουλμανικού τεμένους Σελιμιγιέ



Εικόνα 33: Το τρισδιάστατο μοντέλο (εξωτερικό και εσωτερικό) που δημιουργήθηκε.
(T.P. Kersten et al., 2017)

Στην συνέχεια, η εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας αναπτύχθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού δημιουργίας και ανάπτυξης ψηφιακών παιχνιδιών (Game Engine) UNITY. Πρέπει να τονιστεί, ότι για τις ανάγκες της εφαρμογής της εικονικής πραγματικότητας αλλά και για λόγους διαχείρισης του τρισδιάστατου μοντέλου στο λογισμικό έγινε μείωση των πολυγώνων του τρισδιάστατου μοντέλου.

Τελικά η εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας προσφέρει στον εκάστοτε χρήστη την ευκαιρία εμπύθισης στο συγκεκριμένο σημείο και παρέχει ελεύθερη κίνηση σε αυτό είτε με φυσική κίνηση, δηλαδή αληθινά βήματα, είτε με τηλεμεταφορά είτε ακόμη και με «πτήση» γύρω και πάνω από το μνημείο. Επιπροσθέτως, άξια αναφοράς είναι η δυνατότητα συνύπαρξης πολλαπλών χρηστών μέσα στο ίδιο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας που εμπεριέχεται στην εφαρμογή. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται μέσω σύνδεσης διαδικτύου και ενεργοποιεί την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών μέσω μικροφώνου. (T.P. Kersten et al., 2017)



Εικόνα 34: Το περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας της εφαρμογής



Εικόνα 35: Η αλληλεπίδραση των πολλαπλών χρηστών στο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας.

C. Τρισδιάστατη οπτικοποίηση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς με συστήματα εικονικής πραγματικότητας.

Το πολυτεχνείο του Μιλάνου της Ιταλίας συμμετείχε στο “3D Icons project” στόχος του οποίου ήταν η αύξηση του τρισδιάστατου περιεχομένου του διαδικτυακού αποθετηρίου Europeana. (S. Gonizzi Barsanti et al., 2015) Ασχολήθηκε με την τρισδιάστατη καταγραφή και οπτικοποίηση διάφορων αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς από πολλές και διαφορετικές ιστορικές περιόδους.

Σε συνέχεια αυτού του έργου το τμήμα μηχανολόγων μηχανικών του πολυτεχνείου εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα των ήδη υπαρχόντων μοντέλων και προσπαθεί να δημιουργήσει έναν νέο τρόπο να επικοινωνεί την ιστορία των αντικειμένων αυτών, αλλά και τις πληροφορίες που φέρουν σε ανθρώπους που δεν σχετίζονται με την πολιτιστική κληρονομιά.

Συγκεκριμένα, ασχολήθηκαν με τέσσερα ξεχωριστά αιγυπτιακά αντικείμενα που βρίσκονται στο κάστρο Sforza τα οποία χρησιμοποιούσαν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι στις κηδείες. Τα αντικείμενα ήταν δύο αγαλματίδια και ένα φυλακτό τα οποία χρησίμευαν ως κτερίσματα αλλά και μια ξύλινη σαρκοφάγος. (S. Gonizzi Barsanti et al., 2015)



Εικόνα 36: Το αγαλματίδιο που ανήκε στον φαραώ Ahkenaten



Εικόνα 37: Το ξύλινο αγαλματίδιο του ιερέα Imenpteh με ιερογλυφικά στο σώμα της μούμιας



Εικόνα 38: Οι δύο όψεις του φυλακτού με ευδιάκριτο κείμενο στην μια πλευρά.



Εικόνα 39: Η ξύλινη σαρκοφάγος

Η ιδέα ήταν γίνουν πιο κατανοητά αυτά τα αιγυπτιακά αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς μέσω μιας διαδραστικής μετάφρασης της Αιγυπτιακής γλώσσας την οποία και φέρουν πάνω τους.

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν το σύστημα εικονικής πραγματικότητας Oculus Rift Development Kit 2 (DK2), ο αισθητήρας κίνησης των χεριών Leap Motion και το λογισμικό ανάπτυξης ψηφιακών παιχνιδιών (Game Engine) Unity 5.

Ο χρήστης της εφαρμογής εμβυθίζεται στο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας στο οποίο του δίνεται η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τα αντικείμενα που προαναφέρθηκαν. Η αλληλεπίδραση γίνεται με τη βοήθεια του αισθητήρα Leap Motion ο οποίος καταγράφει τις κινήσεις των χεριών του χρήστη και του δίνει τη δυνατότητα να πιάσει, να περιστρέψει αλλά και να επιλέξει συγκεκριμένες επιγραφές πάνω στα αντικείμενα ώστε να τις μεταφράσει.



Εικόνα 40: Η ενσωμάτωση του αισθητήρα Leap Motion στο Oculus DK2



Εικόνα 41: Στιγμιότυπα από το περιβάλλον της εφαρμογής

Σε αυτό το σημείο τονίζεται πως λόγω της πρόσφατης ανάπτυξης της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας με τη χρήση σύγχρονων φορητών συστημάτων που εμπειρεύουν μάσκα, οι εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια της ανάδειξης και της προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς δεν είναι πολλές.

Όμως στο ευρύτερο σύνολο που βρίσκεται κάτω από την ομπρέλα της εικονικής πραγματικότητας έχουν αναπτυχθεί και άλλες εφαρμογές οι πιο αξιοσημείωτες των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω:

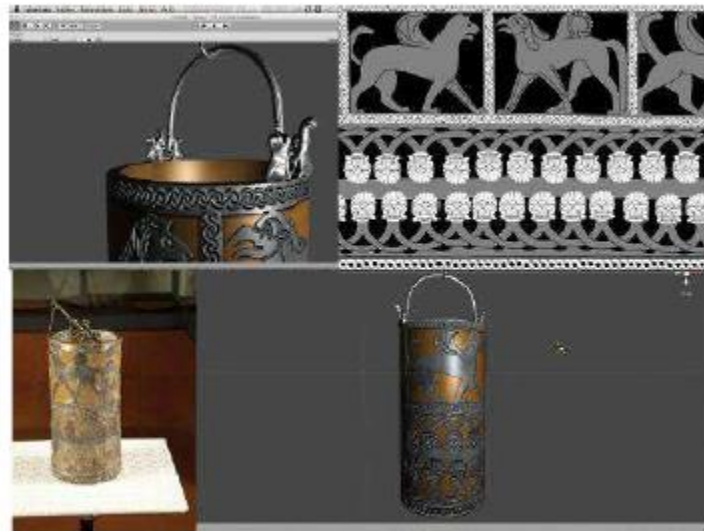
D. Etruscanning 3D Project

Το συγκεκριμένο έργο έγινε με σκοπό την ψηφιακή ανακατασκευή του τάφου Regolini Galassi που βρισκόταν στην πόλη Cerveteri της Ιταλίας. Πιο συγκεκριμένα, με την εν λόγω ψηφιακή ανακατασκευή έγινε η ψηφιακή επανατοποθέτηση των νεκρώσιμων αντικειμένων που περιείχε ο τάφος στο αρχαίο περιβάλλον τους. Τα αντικείμενα αυτά, που εκτίθενται πλέον στο μουσείου του Βατικανού, αναπαραστάθηκαν επίσης ψηφιακά για τον σκοπό που προαναφέρθηκε. (Wim Hupperetz et al., 2012)

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση του τάφου έγινε με συνδυασμό τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών μεθόδων και συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τρισδιάστατος σαρωτής λέιζερ αλλά και ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές SLR. Τα αντικείμενα του τάφου ανακατασκευάστηκαν ψηφιακά από ψηφιακές φωτογραφίες εξ ολοκλήρου χρησιμοποιώντας την επιστήμη της όρασης υπολογιστών. Αποτελέσματα της ψηφιοποίησης αυτής φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 42: Το αποτέλεσμα της τρισδιάστατης αναπαράστασης του τάφου με τα αντικείμενα που περιείχε



Εικόνα 43: Παράδειγμα τρισδιάστατης μοντελοποίησης ενός ταφικού αντικειμένου

Τελικά, όλες οι τρισδιάστατες ψηφιακές αναπαραστάσεις που δημιουργήθηκαν συντέθηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού δημιουργίας ψηφιακών παιχνιδιών (Game Engine) Unity3D σε μια εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας. Η εμπύθιση σε αυτή την εφαρμογή επιτυγχάνεται με την ελεύθερη κίνηση που επιτρέπεται στο

χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης πατάει πάνω στον πραγματικό χάρτη του τάφου και μετακινούμενος από το ένα σημείο ενδιαφέροντος στο άλλο, μεταφέρεται και ψηφιακά στα διάφορα μέρη του τάφου. Η ψηφιακή σύνθεση εμφανίζεται μέσω μιας οθόνης πολύ μεγάλων διαστάσεων που έχει την δυνατότητα να αποκόψει μερικώς τον χρήστη από την πραγματικότητα και να τον εμβυθίσει στο ψηφιακό περιβάλλον. Βέβαια, ο βαθμός εμβύθισης δεν είναι αντίστοιχος με αυτόν που προσφέρουν οι μάσκες εικονικής πραγματικότητας αλλά αυτή η μέθοδος πλεονεκτεί στην ελευθερία κινήσεων και στην απαλλαγή από περιφερειακά που προσφέρει στο χρήστη. Παρακάτω φαίνεται η υλοποίηση της εφαρμογής όπως περιγράφηκε.



Εικόνα 44: Η εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του έργου Etruscanning 3D.

Ε. Οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού.

Το ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού αναπτύσσει πλήθος εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας κάθε χρόνο με σκοπό την ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς και όχι μόνο. Είναι ο πρώτος οργανισμός στον κόσμο που αξιοποίησε την τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας για θέματα πολιτιστικής κληρονομιάς. Επίσης, είναι ο δεύτερος παγκοσμίως που έχει εγκαταστήσει τέτοιου είδους πρωτοποριακά συστήματα σε μουσειακό χώρο ανοιχτό στο κοινό. Τα προγράμματα που παρουσιάζονται απευθύνονται σε ενήλικους αλλά και μαθητές, αποδεικνύοντας ότι η πλέον σύγχρονη τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί στην εκπαίδευση.

(Πηγή: <http://www.fhw.gr/cosmos/index.php?id=15&m=2&s=15&lk=760&lg=>)

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί τρία διαφορετικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται στη στερεοσκοπική όραση σε πολύ μεγάλες ψηφιακές οθόνες. Τα συστήματα αυτά θα αναλυθούν παρακάτω: (Πηγή: http://vr.ime.gr/gr/docs/in_techno.html)

1. **Η «Κιβωτός»:** Πρόκειται για ένα δωμάτιο 3x3x3 μέτρα, όπου κάθε τοίχος και το πάτωμα αποτελούν οθόνες προβολής. Οι επισκέπτες, φορώντας ειδικά στερεοσκοπικά γυαλιά και χρησιμοποιώντας μια μικρή συσκευή πλοήγησης, συμμετέχουν σε εικονικά ταξίδια όπου εξερευνούν, ανακαλύπτουν και βιώνουν το χώρο και την ιστορία, επισκέπτονται πόλεις που δεν υπάρχουν πια, μνημεία που έχουν καταστραφεί και «βυθίζονται» σε κόσμους μαγικούς. Η «Κιβωτός» πρόκειται ουσιαστικά για ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας της μορφής CAVE που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στις εμπειρίες των χρηστών σε τέτοια συστήματα, λόγω του ότι περικλείονται από στερεοσκοπικές εικόνες, ο βαθμός εμπύθισής τους είναι αρκετά μεγάλος.



Εικόνα 45: Στιγμιότυπο από μια εμπειρία της «Κιβωτού» του Ιδρύματος Μείζονος Ελληνισμού

2. Η «Μαγική Οθόνη»: Πρόκειται για ένα φορητό σύστημα εικονικής πραγματικότητας με μία ψηφιακή επιφάνεια προβολής. Το συγκεκριμένο σύστημα προσομοιάζει σε χαρακτηριστικά αυτά της κιβωτού αλλά δεν προσφέρει αντίστοιχο βαθμό εμπύθισης μιας και προβάλλονται στο χρήστη στερεοσκοπικές εικόνες από μια μόνο κατεύθυνση.

3. Η «Θόλος»: Πρόκειται για το ημισφαιρικό «Θέατρο» Εικονικής Πραγματικότητας του Ιδρύματος, χωρητικότητας 132 ατόμων. Είναι ένα κτήριο υψηλής αρχιτεκτονικής, με μοναδική τεχνολογική υποδομή, το οποίο φιλοξενεί τις ψηφιακές συλλογές του ΙΜΕ. Μοιάζει με πλανητάριο στα φυσικά και μορφολογικά της χαρακτηριστικά. Ουσιαστικά όμως, το μόνο κοινό χαρακτηριστικό τους είναι το ημισφαιρικό σχήμα της επιφάνειας προβολής στην οροφή. Η σφαιρική εξωτερική μορφή της «Θόλου» παραπέμπει σε ένα ουράνιο σώμα που στροβιλίζεται. Πρόκειται για μια αίσθηση που αποδίδεται με την επεξεργασία των επιφανειών και την επιλογή των υλικών, όπως οι επάλληλοι δακτύλιοι που περιβάλλουν το εξωτερικό κέλυφός της και ο ειδικός φωτισμός που την αναδεικνύει κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Η ιδιαιτερότητα της «Θόλου» είναι η δυνατότητά της να προβάλλει στην ημισφαιρική επιφάνεια προβολής, κλίσης 23 μοιρών, περιεχόμενο πλήρως διαδραστικό. Αποτελεί έτσι μια μοναδική υποδομή Εικονικής Πραγματικότητας μεγάλης κλίμακας.

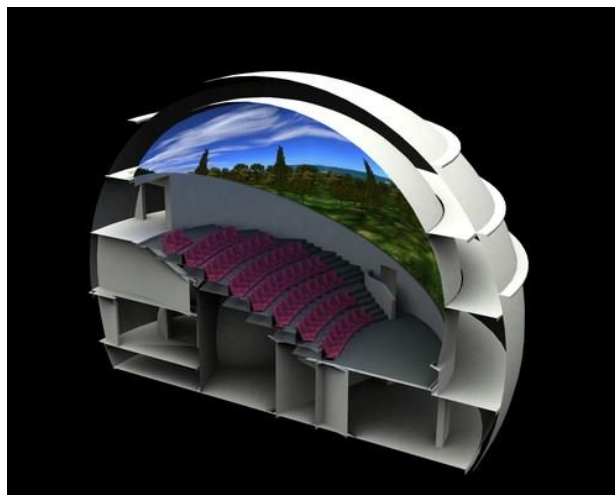
Δημιουργούνται άπειρα εναλλακτικά σενάρια περιηγήσεων στο ίδιο εικονικό μοντέλο, τα οποία εξελίσσονται τη στιγμή της περιήγησης και ο επισκέπτης έχει τη δυνατότητα να πλοηγηθεί σε πραγματικό χρόνο. Εκτός του ότι το μέσο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από δημιουργούς ή παραγωγούς για πλήθος άλλων σκοπών και εφαρμογών, έχει επίσης τη δυνατότητα να ενσωματώνει και να προβάλλει στον τρισδιάστατο χώρο κάθε είδους ψηφιακό περιεχόμενο: από βίντεο και προεπεξεργασμένες ψηφιακές προβολές έως ιστοσελίδες Διαδικτύου.

Η υπεροχή της «Θόλου», σε σχέση με τα άλλα δύο συστήματα έγκειται στην διπλή δυνατότητα που έχει να δημιουργεί μεγάλο βαθμό εμπύθισης αλλά και διαδραστικότητας με τον ψηφιακό χώρο και τα αντικείμενά του.

Παγκόσμια καινοτομία στη «Θόλο» αποτελεί η δυνατότητα που παρέχει να πραγματοποιείται πλήρης στερεοσκοπική προβολή στο σύνολο της επιφάνειας της οθόνης, με τη χρήση 12 προβολικών μηχανημάτων και ειδικών στερεοσκοπικών γυαλιών, εντείνοντας έτσι την αίσθηση της εμπύθισης και παρέχοντας πρόσθετες δυνατότητες διάδρασης. Φυσικά η προβολή στην κοίλη ημισφαιρική επιφάνεια, ακόμη και χωρίς τη χρήση της στερεοσκοπικής δυνατότητας, δημιουργεί τρισδιάστατη αίσθηση. Οι δυνατότητες συνδυασμού και εναλλαγής τους, σε συνδυασμό με τα σενάρια διάδρασης, κάνουν τη «Θόλο» ένα μοναδικό παγκόσμια έργο. (Πηγή: www.tholos254.gr)



Εικόνα 46: Το εξωτερικό της «Θόλου» τη νύχτα



Εικόνα 47: Τομή που εμφανίζει το εσωτερικό της «Θόλου»

Στα συστήματα εικονικής πραγματικότητας έχουν αναπτυχθεί και παρουσιαστεί τα παρακάτω έργα που έχουν σκοπό να αναδείξουν την πολιτιστική κληρονομιά και όχι μόνο. (A. Gaitatzes et al., 2004)

- Η αρχαία αγορά των Αθηνών.
- Περιήγηση στην Αρχαία Μίλητο.
- Περιήγηση στην Αρχαία Ολυμπία.
- Το εργαστήριο του Φειδία στην Ολυμπία.
- Ο ναός του Δία στην Ολυμπία.
- Μαγικό Βεστιάριο. (Ανάδειξη της Ελληνικής ενδυμασίας κατά την Κλασσική και Βυζαντινή περίοδο)
- Αναστηλώστε το Ασκληπιείο της αρχαίας Μεσσήνης.
- Εύρηκα! Ιστορίες από τον Αρχιμήδη.
- Αναζητώντας το υγρό χρυσάφι. (Λειτουργία ενός παλιού ελαιοτριβείου)
- Συναρμολογήστε τα αγγεία.
- Με τα πανιά ανοιχτά...στα κύματα της ιστορίας. (Μύθοι και ιστορίες της θάλασσας)
- Ταξίδι στην αρχαία Πριήνη.

Συμπληρωματικά σε αυτά τα έργα δημιουργούνται και κάποια ειδικά εκθέματα βασισμένα κυρίως στην ιστορία και την εποχικότητα.

Αυτονόητο είναι το γεγονός πως για τη δημιουργία των παραπάνω εκθεμάτων και την προβολή τους στο κοινό συνεργάζονται όλες οι απαραίτητες ειδικότητες (μηχανικοί, αρχαιολόγοι, ιστορικοί κ.λπ.) με σκοπό την διατήρηση και την ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς.

1.7 Άλλα πεδία εφαρμογής της Εικονικής Πραγματικότητας

Όπως είναι προφανές, πέρα από τον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς, η επιστήμη και τεχνική της εικονικής πραγματικότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων. Οι δυνατότητες που προσφέρει μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες και να βοηθήσουν στην εξέλιξη πολλών διαφορετικών τομέων δραστηριότητας, επιστημονικών και μη. Παρακάτω θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα κυριότερα πεδία στα οποία μπορεί να προσφέρει η εικονική πραγματικότητα.

1. Ιατρική

Στον τομέα της ιατρικής η επιστήμη της εικονικής πραγματικότητας βρίσκει αρκετές εφαρμογές, κυρίως στη χειρουργική. Η πλειονότητα των εφαρμογών αυτών σχετίζεται με τον προσχεδιασμό μιας εγχείρησης, την πλοήγηση κατά τη διάρκεια της εγχείρησης αλλά και την προσομοίωση εγχειρήσεων. Το άμεσο μέλλον επιφυλάσσει εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η εικονική ενδοσκόπηση που μπορεί να αντικαταστήσει τις παραδοσιακές ενδοσκοπικές μεθόδους που γίνονται για διαγνωστικούς σκοπούς. Οι ψηφιακές εικόνες της ενδοσκόπησης θα μπορούν να προβάλλονται στον γιατρό είτε μέσω μασκών εικονικής πραγματικότητας είτε μέσω ολογραμμάτων. (R.M. Satava et al., 1998)

Όμως οι εφαρμογές προσομοίωσης εγχειρήσεων σε εικονική πραγματικότητα έχουν εξελιχθεί περισσότερο από όλες τις υπόλοιπες. Η σημερινή γενιά νέων ιατρών μπορεί να εκπαιδευτεί έχοντας μια φωτορεαλιστική αναπαράσταση της ανατομίας του ανθρώπου η οποία διατηρεί τις ιδιότητες ενός πραγματικού ανθρώπινου ιστού και της φυσιολογίας αυτού. Τα είδη των προσομοιώσεων κυμαίνονται από εγχειρήσεις «βελόνας» μέχρι ολόκληρες εγχειρητικές διαδικασίες που διαρκούν ώρες. Σε αυτές τις εφαρμογές προσομοίωσης προστίθενται και συσκευές διεπαφής με τις οποίες ο εκπαιδευόμενος χειρουργός λαμβάνει σήματα ανάδρασης από τις κινήσεις του αλλά έχει και την αίσθηση της αφής. Επόμενο βήμα αυτών των προσομοιώσεων είναι να δημιουργούνται μοντέλα των ασθενών που πρόκειται να χειρουργηθούν, με σκοπό ο χειρουργός να εξασκεί εικονικά μια δύσκολη εγχείρηση που πρόκειται να εκτελέσει. (Rory McCloy et al., 2001)



Εικόνα 48: Εκπαίδευση νέας χειρουργού σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. (Rory McCloy et al., 2001)

Επιπλέον, ένας άλλος μεγάλος τομέας εφαρμογής της εικονικής πραγματικότητας στην ιατρική είναι η ειδικότητα της αποκατάστασης των ασθενών. Με τη βοήθεια εξειδικευμένων εφαρμογών σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας ασθενείς που έχουν υποστεί κινητικές, νοητικές ή ψυχολογικές βλάβες μπορούν βοηθηθούν ώστε να αποκατασταθούν αυτές. Αυτό καθίσταται δυνατό, διότι οι προσομοιώσεις εμπύθισης ερεθίζουν τμήματα του εγκεφάλου χωρίς την πραγματική έκθεση του ασθενή σε διάφορες καταστάσεις.

2. Εκπαίδευση

Οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας για εκπαιδευτικούς σκοπούς χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλους τους τομείς που θα αναλυθούν σε αυτό το κεφάλαιο. Για παράδειγμα, νέοι χειρουργοί εκπαιδεύονται σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας, όπως αντίστοιχα και στρατιωτικοί. Με βάση αυτά, γίνεται κατανοητό πως η εικονική πραγματικότητα προσφέρει στην εκπαιδευτική διαδικασία την διαδραστικότητα την εμπύθιση και την αναπαράσταση που πολλές φορές λείπει από αυτήν. Όσον αφορά τα την σχολική εκπαίδευση, η εικονική πραγματικότητα μπορεί να προσφέρει τα ίδια στοιχεία διεγείροντας επιπλέον την περιέργεια του νέου μαθητή λόγω της διαφορετικότητας που προσφέρει.

Επιπλέον, καθότι πρόκειται για μια εικονική εμπειρία καταγράφεται συνήθως καλύτερα στο μυαλό του μαθητή από ότι το διάβασμα ενός κειμένου. (Veronica S. Pantelidis, 2009)

Ένα καλό παράδειγμα εφαρμογής της εικονικής πραγματικότητας στην σχολική εκπαίδευση είναι η δημιουργία ενός εργαστηρίου φυσικής – χημείας σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Σε αυτό το εργαστήριο, ο μαθητής έχει τη δυνατότητα να εφαρμόσει πρακτικά όλους τους νόμους και της αρχές που μαθαίνει, να δει τα αποτελέσματά τους αλλά και να πειραματιστεί. Έτσι, η διαδραστικότητα αυτή προσφέρει μια βαθύτερη κατανόηση του αντικειμένου.

Συγκεκριμένα, οι R. Bowen, Mark Engelberg και Robin Benedetti το 1993 δημιούργησαν ένα εργαστήριο φυσικής σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Με στόχο την καλύτερη κατανόηση των φυσικών φαινομένων από τους μαθητές συνέθεσαν ένα πρώιμο σύστημα εικονικής πραγματικότητας που χρησιμοποιούσε μια μάσκα στερεοσκοπικής όρασης, ένα σύστημα τρισδιάστατου ήχου και ένα σύστημα αναγνώρισης της κίνησης των χεριών του χρήστη. Δημιούργησαν ένα απλό εικονικό περιβάλλον εργαστηρίου που περιλάμβανε ένα ορθογωνικό δωμάτιο ένα τραπέζι και ένα εκκρεμές. Στο εργαστήριο αυτό ο χρήστης μέσω διαφόρων επιλογών που του δίνονται έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει το μέγεθος της βαρύτητας και να αλληλοεπιδράσει με το εκκρεμές προκειμένου να παρατηρήσει τη συμπεριφορά του στις διαφορετικές βαρυτικές τιμές. Επιπροσθέτως, δίνεται και η δυνατότητα μέτρησης της απόστασης μεταξύ δύο σφαιρών που ο εκάστοτε χρήστης μπορεί να μετακινήσει σε όποιο σημείο επιθυμεί. (R. Bowen, 1993)

Αν αναλογιστεί κανείς πως η συγκεκριμένη εφαρμογή υλοποιήθηκε το 1993 γίνεται εμφανές πως πρόκειται για μια πρωτοποριακή υλοποίηση για την συγκεκριμένη εποχή καθώς μοντελοποιούσε τα φυσικά φαινόμενα σε ένα εικονικό περιβάλλον και ταυτόχρονα παρείχε δυνατότητες τροποποίησης των φαινομένων αυτών με σκοπό την επιστημονική παρατήρησή τους.

3. Τουρισμός

Μεγάλο κομμάτι του τουρισμού σχετίζεται και με την διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Είναι φανερό πως αναδεικνύοντας την πολιτιστική κληρονομιά με τη βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας μπορεί να επωφεληθεί ο τομέας του τουρισμού καθώς τα αξιοθέατα θα γίνονται ευκολότερα γνωστά στο ευρύ κοινό το οποίο θα έχει αμεσότερη μεν, εικονική δε επαφή μαζί τους.

Επιπλέον, η εικονική πραγματικότητα και σε αυτόν τον τομέα μπορεί να φανεί χρήσιμη στον προγραμματισμό, την διαχείριση αλλά και την προώθηση των τουριστικών προϊόντων. Συγκεκριμένα, μια εικονική επίσκεψη, από τους

επαγγελματίες στον τομέα του τουρισμού, στα μέρη όπου θέλουν να οργανώσουν τις εκδρομές τους μπορεί να τους βοηθήσει στον προγραμματισμό και να τους κερδίσει πολύτιμο χρόνο. Αντίστοιχα από τη μεριά των τουριστών μια εικονική επίσκεψη στους πιθανούς προορισμούς τους βοηθάει κατά πολύ στη λήψη μιας τελικής απόφασης. (Daniel A. Guttentag, 2009)

Άρα, από την χρήση της εικονικής πραγματικότητας στον τομέα του τουρισμού επωφελούνται και οι επαγγελματίες του τομέα καθώς προωθούν καλύτερα τα προϊόντα τους αλλά και οι πελάτες καθότι έχουν περισσότερα δεδομένα για την λήψη της σωστής απόφασης. (Daniel A. Guttentag, 2009)

Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, πως με αντίστοιχο το τρόπο η επιστήμη της εικονικής πραγματικότητας θα μπορούσε να βοηθήσει και τις ξενοδοχειακές μονάδες, οι οποίες θα μπορούν για παράδειγμα να προσφέρουν διαδικτυακά εικονικές περιηγήσεις στα δωμάτιά τους. (Daniel A. Guttentag, 2009)

4. Στρατός – Αεροναυτιλία – Αστροναύτες

Όπως είναι γνωστό, παγκόσμια, ο στρατός επενδύει σε νέες τεχνολογίες με τις οποίες θα μπορέσει να εξελίξει τις μεθόδους και τις πρακτικές του. Έχει, λοιπόν, επενδύσει σε μεγάλο βαθμό, στην επιστήμη της εικονικής πραγματικότητας και τη χρησιμοποιεί κυρίως για δύο σκοπούς. Ο πρώτος είναι η εκπαίδευση των νέων στρατιωτικών σε ειδικές καταστάσεις χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ακεραιότητά τους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται εικονικές καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης ή μάχης. Ο δεύτερος σκοπός αφορά στην στρατιωτική ιατρική και συγκεκριμένα στην θεραπεία των μετατραυματικών αγχωδών διαταραχών που συμβαίνουν σε πολλούς στρατιώτες μετά από την έκθεσή τους σε απειλητικές για τη ζωή τους καταστάσεις. Η εικονική πραγματικότητα με τη χρήση ειδικών εφαρμογών τους κάνει να συμφιλιώνονται με αυτές τις καταστάσεις και διορθώνουν σε μεγάλο βαθμό τα ψυχολογικά τραύματα που τους έχουν προκληθεί. (Ajey Lele, 2011)

Ειδική μνεία πρέπει να γίνει στην εκπαίδευση των πιλότων (εμπορικών και στρατιωτικών) οι οποίοι περνούν μεγάλο μέρος της εκπαίδευσής τους σε προσομοιωτές πτήσης εικονικής πραγματικότητας προκειμένου να είναι προετοιμασμένοι να αντιμετωπίσουν οποιαδήποτε ειδική – επικίνδυνη κατάσταση τους προκύψει.

Επιπροσθέτως, όπως είναι γνωστό ολόκληρη η εκπαίδευση ενός αστροναύτη λαμβάνει χώρα στη γη χρησιμοποιώντας κατά κόρον την τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας και της προσομοίωσης καταστάσεων.

5. Αρχιτεκτονική

Αναφορικά με την αρχιτεκτονική, η εικονική πραγματικότητα είναι αυτή την χρονική περίοδο σε θέση να προσφέρει πολλά στο κομμάτι της οπτικοποίησης. Η εμπύθιση που δημιουργείται από την χρήση ενός τέτοιου συστήματος βοηθάει τους αρχιτέκτονες στο να αντιληφθούν καλύτερα το χώρο σε συνδυασμό με το έργο τους και να το βελτιώσουν. Συγκεκριμένα, βλέποντας τα σχέδιά τους σε τρισδιάστατη οπτικοποίηση πραγματικής κλίμακας τους δίνεται η δυνατότητα να εντοπίσουν χαμένους χώρους, να αξιολογήσουν τη δημιουργία τους πριν αυτή κατασκευαστεί αλλά και να κριθεί η δημιουργία τους από πιθανούς χρήστες και εξωτερικούς παρατηρητές. (M.E. Portman et al. 2015)

Αντίστοιχες εφαρμογές της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας βρίσκει και το πεδίο της αρχιτεκτονικής εσωτερικού χώρου.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της χρησιμότητας της εικονικής πραγματικότητας στην επιστήμη των αρχιτεκτόνων είναι το λογισμικό **Prospect** που έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία **IrisVR**. Το συγκεκριμένο λογισμικό δίνει την δυνατότητα στους αρχιτέκτονες και τους σχεδιαστές να εισάγουν σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας οποιοδήποτε τρισδιάστατο μοντέλο έχουν δημιουργήσει με σκοπό να το επιθεωρήσουν σε πραγματική κλίμακα και σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Παρέχει επίσης και κάποιες δυνατότητες παραμετροποίησης όπως είναι ο συνδυασμός ή η εναλλαγή μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας. Όμως, μεγάλο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου λογισμικού είναι η δυνατότητα συνεργασίας μεταξύ πολλαπλών χρηστών, στο ίδιο εικονικό περιβάλλον. Επιπροσθέτως, παρέχονται οι δυνατότητες: αλλαγής κλίμακας ενός μοντέλου, εισαγωγή χαρακτηριστικών Building Information Modeling (BIM) ενός κτηρίου, προσομοιώσεις του ηλιακού φωτός αλλά και σχεδίαση, επί τόπου επισημάνσεων όπως και εξαγωγή αναφορών. (Πηγή: <https://irisvr.com/prospect>)



Εικόνα 49: Το περιβάλλον του λογισμικού Prospect.
(Πηγή: <https://irisvr.com/prospect>)

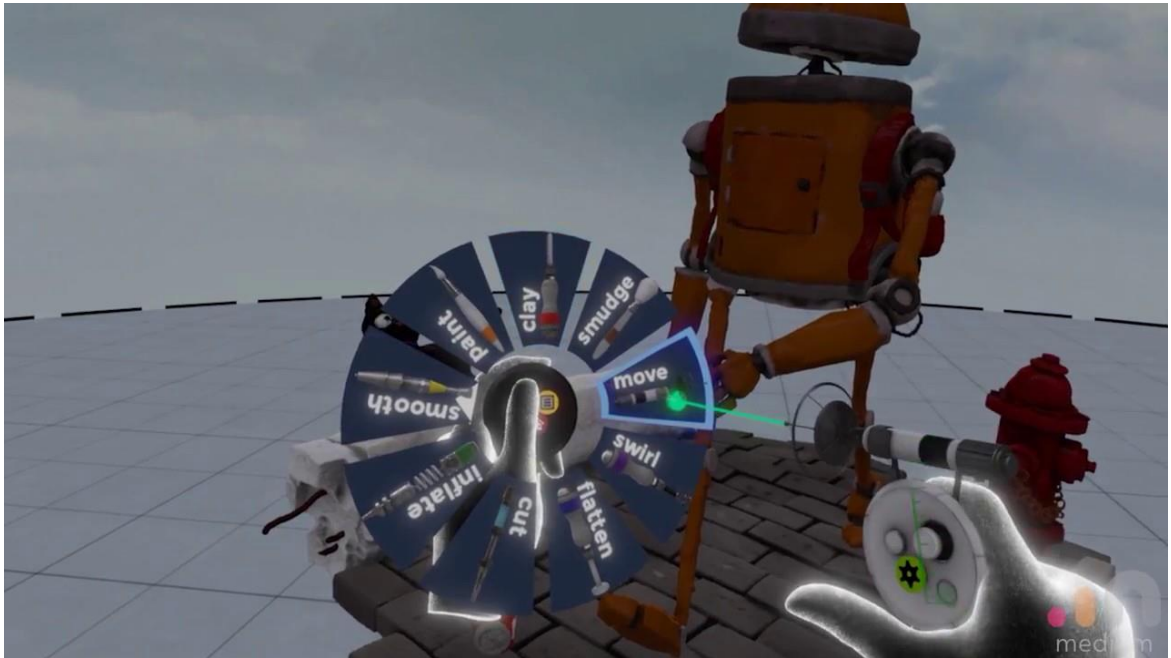
Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η εφαρμογή που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας παρέχει μια επιπλέον δυνατότητα στον τομέα της αρχιτεκτονικής και των μηχανικών γενικότερα που μέχρι τώρα δεν υπήρχε. Η δυνατότητα αυτή έχει να κάνει με το μετρητικό κομμάτι των τρισδιάστατων μοντέλων και δίνει την δυνατότητα διενέργειας διαφόρων ειδών, απλών προς το παρόν, μετρήσεων και θα αναλυθεί διεξοδικά στα επόμενα κεφάλαια.

6. Εικονική Τέχνη

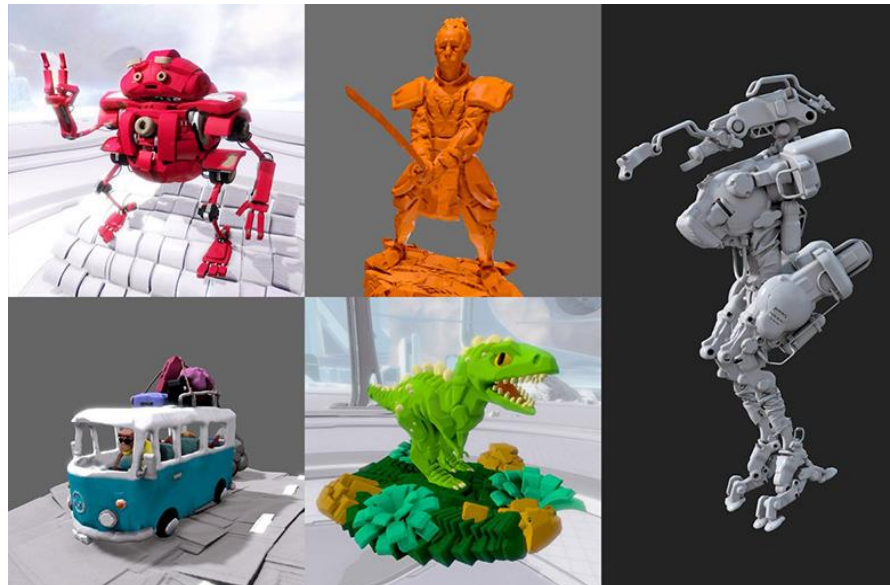
Άξια αναφοράς είναι και η τέχνη η οποία μπορεί να παραχθεί με τη βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας.

Συγκεκριμένα, η εταιρεία Oculus, η οποία παράγει τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας Oculus Rift, έχει δημιουργήσει μια εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας, που ονομάζεται Oculus Medium με την οποία ο χρήστης εμβυθίζεται και μπορεί να λαξεύσει υλικά, να τα επεξεργαστεί και να τα χρωματίσει με στόχο τελικά να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο ψηφιακό γλυπτό. Πρόκειται για μια εξαιρετικά δημιουργική διαδικασία με την οποία αρκετοί χρήστες ανά τον κόσμο έχουν δημιουργήσει μοναδικά ψηφιακά γλυπτά. Παρακάτω εμφανίζονται

στιγμιότυπα από διάφορα ψηφιακά γλυπτά αλλά και από το περιβάλλον της εφαρμογής.

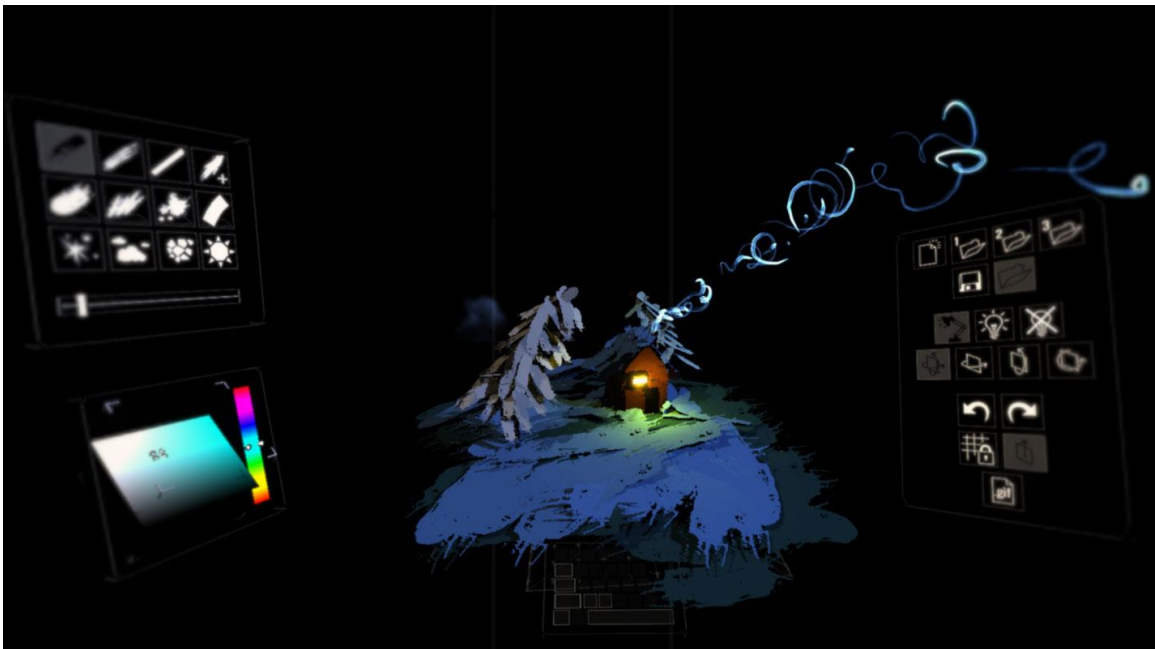


Εικόνα 3: Το περιβάλλον της εφαρμογής Oculus Medium.
(Πηγή: <https://www.oculus.com/medium/>)



Εικόνα 50: Γλυπτά που έχουν δημιουργηθεί μέσω της εφαρμογής Oculus Medium.
(Πηγή: <https://www.roadtovr.com/3d-modeling-masses-oculus-medium/>)

Επίσης, αντίστοιχη εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας στην οποία παρέχεται η δυνατότητα ζωγραφικής στον τρισδιάστατο χώρο έχει δημιουργήσει η εταιρεία Google και ονομάζεται Tilt Brush. Η συγκεκριμένη εφαρμογή παρέχει πολλές δυνατότητες παραμετροποίησης, ώστε ο κάθε χρήστης να εκφράσει τη δημιουργικότητά του με τον δικό του τρόπο στον τρισδιάστατο καμβά. Παρακάτω παρατίθενται στιγμιότυπα από το περιβάλλον της εφαρμογής.



Εικόνα 51: Στιγμιότυπο από το περιβάλλον της εφαρμογής Tilt Brush.

(Πηγή: <https://www.roadtovr.com/google-acquires-tilt-brush-developer-and-thrive-audio-to-add-to-vr-team/>)

Τέλος, να σημειωθεί πως και στις δύο αυτές εφαρμογές μπορούν να δημιουργούνται έργα με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια μιας και το επίπεδο λεπτομέρειας στο οποίο μπορεί να παρέμβει ο χρήστης είναι πολύ μεγάλο και επιπλέον έχουν πολλές δυνατότητες παραμετροποίησης.

7. Video Games

Όπως είναι λογικό, πάρα πολύ μεγάλο μέρος της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας έχει εξελιχθεί χάρη στην γιγαντιαία βιομηχανία των video games. Η εικονική πραγματικότητα προσφέρει τα περισσότερα στοιχεία από αυτά που, με την έλλειψή τους, αποξένωναν τον παίκτη από το παιχνίδι και τον έκαναν να νιώθει ότι είναι κάτι τεχνητό. Ο παίκτης παίζοντας σε εικονική πραγματικότητα εμβυθίζεται σε τόσο μεγάλο βαθμό που θεωρεί σε πολλές περιπτώσεις πως βιώνει σε πρώτο πρόσωπο την ιστορία του παιχνιδιού. Τα ψηφιακά παιχνίδια σε εικονική πραγματικότητα κάνουν τον παίκτη να συμμετέχει ενεργά, μέχρι και με τις κινήσεις του σώματός του, στο παιχνίδι. Κάποια αξιοσημείωτα παραδείγματα παιχνιδιών σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας παρουσιάζονται παρακάτω:

- **The Talos Principle VR:** Πρόκειται για ένα παιχνίδι εικονικής πραγματικότητας που έχει αναπτυχθεί από την ομάδα **Croteam VR** και μπορεί να παιχτεί με τη βοήθεια των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας HTC Vive και Oculus Rift. Είναι ένα παιχνίδι επιστημονικής φαντασίας σκοπός του οποίου είναι η επίλυση γρίφων. Στα πλαίσια του παιχνιδιού έχει δημιουργηθεί ένας ολόκληρος κόσμος ο οποίος αποτελείται από αρχαία μνημεία αλλά περιέχει πολύ εξελιγμένη τεχνολογία. Το συγκεκριμένο παιχνίδι παρέχει στο χρήστη όλες τις πιθανές δυνατότητες μετακίνησης (τηλεμεταφορά, πτήση, περπάτημα κ.λπ.) και μπορεί να είναι μια εμπειρία ορθίων ή σε επίπεδο δωματίου. (Πηγή: https://store.steampowered.com/app/552440/The_Talos_Principle_VR/)



Εικόνα 52: Στιγμιότυπο από το βιντεοπαιχνίδι *The Talos Principle VR*
(Πηγή: https://store.steampowered.com/app/552440/The_Talos_Principle_VR/)

- **Keep Talking and Nobody Explodes:** Πρόκειται για ένα πρωτοποριακό παιχνίδι συνεργασίας με μια ιδιαίτερη ιδέα που έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία **Steel Crate Games** και μπορεί να παιχτεί με τη βοήθεια των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας HTC Vive, Oculus Rift αλλά και GearVR. Το παιχνίδι αυτό απαιτεί δύο έως έξι παίκτες οι οποίοι είναι παγιδευμένοι σε ένα εικονικό δωμάτιο προσπαθώντας να αφοπλίσουν μια βόμβα. Ο ένας από τους παίκτες αφοπλίζει την βόμβα σύμφωνα με τις οδηγίες που του δίνουν οι υπόλοιποι. Πρόκειται για ένα παιχνίδι που δημιουργεί μεγάλο αίσθημα εμπύθισης λόγω των συναισθημάτων άγχους που δημιουργούνται στους παίκτες όταν παίζουν στο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Είναι, επίσης, ένα πολύ καλό παράδειγμα συνδυασμού πολλών χρηστών στο ίδιο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. (Πηγή: <https://keeptalkinggame.com/>)

Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί πολλές εκατοντάδες video games κάθε είδους από ανεξάρτητους παραγωγούς μέχρι και από εταιρείες κολοσσούς της βιομηχανίας. Είναι σίγουρο πως η εμπλοκή της εικονικής πραγματικότητας σε αυτόν τον τομέα είναι ακόμη σε πρωταρχικά στάδια και οι καινοτομίες που θα παρουσιαστούν τα επόμενα χρόνια μπορεί να αλλάξουν τον τρόπο με τον οποίο παίζονται τα ψηφιακά παιχνίδια.

8. Εκπομπές και Ζωντανά Προγράμματα

Ένα άλλο είδος υπηρεσίας που έχει αρχίσει και αναπτύσσεται, είναι η παροχή οπτικοακουστικού περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας είτε μαγνητοσκοπημένου είτε σε ζωντανή μετάδοση. Οι συγκεκριμένες υπηρεσίες είναι συνήθως συνδρομητικές και προβάλλουν αθλητικούς αγώνες, συναυλίες, παραστάσεις, ταινίες και πολλά άλλα. Τέτοιες υπηρεσίες ενδεικτικά είναι οι NextVR, liveVR.io και Delight XR.

Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί πως έχει προβληθεί περιεχόμενο εικονικής πραγματικότητας και από παραδοσιακά κανάλια τηλεόρασης τα οποία με τη βοήθεια του διαδικτύου και ειδικού εξοπλισμού μπόρεσαν να καλύψουν ζωντανά σε εικονική πραγματικότητα διάφορα δρώμενα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του ποδοσφαιρικού αγώνα μεταξύ της Μπαρτσελόνα και της Ρεάλ Μαδρίτης. (Πηγή: <https://www.nextvr.com/icc-2017-announcement/>)

1.8 Περιβάλλοντα – Λογισμικά δημιουργίας εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας

Η δημιουργία και ανάπτυξη μιας εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας, που εμπίπτει σε οποιαδήποτε κατηγορία εφαρμογής της, απαιτεί τις περισσότερες φορές τη συνεργασία διάφορων ειδικοτήτων αλλά και τη χρήση πολλών και διαφορετικών λογισμικών ανάλογα με τον στόχο της.

Οι διάφορες ειδικότητες που χρειάζονται για τη δημιουργία της εξαρτώνται κυρίως από το στόχο της εφαρμογής, αλλά όπως είναι φανερό δεν μπορούν να εξαιρεθούν από οποιαδήποτε εφαρμογή τα γνωστικά αντικείμενα του προγραμματισμού και της τρισδιάστατης μοντελοποίησης.

Βασικό εργαλείο για τη δημιουργία οποιασδήποτε τέτοιας εφαρμογής είναι ένα περιβάλλον – λογισμικό στο οποίο αναπτύσσονται τρισδιάστατες διαδραστικές εφαρμογές και κυρίως παιχνίδια. Τα λογισμικά αυτά ονομάζονται Game Engines και χρησιμοποιούνται από ερασιτέχνες χρήστες ή δημιουργούς μέχρι και από εταιρείες κολοσσούς της βιομηχανίας των βιντεοπαιχνιδιών.

Όσον αφορά στην εικονική πραγματικότητα τα περιβάλλοντα – λογισμικά ανάπτυξης εφαρμογών χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Τα ολοκληρωμένα λογισμικά
- Τα διαδικτυακά εργαλεία

1.8.1 Ολοκληρωμένα Λογισμικά

Τα ολοκληρωμένα λογισμικά είναι ένα σύνολο εργαλείων ανάπτυξης διαδραστικών εφαρμογών και βιντεοπαιχνιδιών συγκεντρωμένων με τρόπο ώστε να είναι εύκολα και φιλικά προς τον εκάστοτε χρήστη. Πρόκειται δηλαδή για ολοκληρωμένα περιβάλλοντα που έχουν δυνατότητες,

- Δημιουργίας, επεξεργασίας και απεικόνισης τρισδιάστατων μοντέλων
- Δημιουργίας και επεξεργασίας υψής των μοντέλων αυτών
- Προσθήκη κινήσεων, φυσικών αντιδράσεων και ήχων

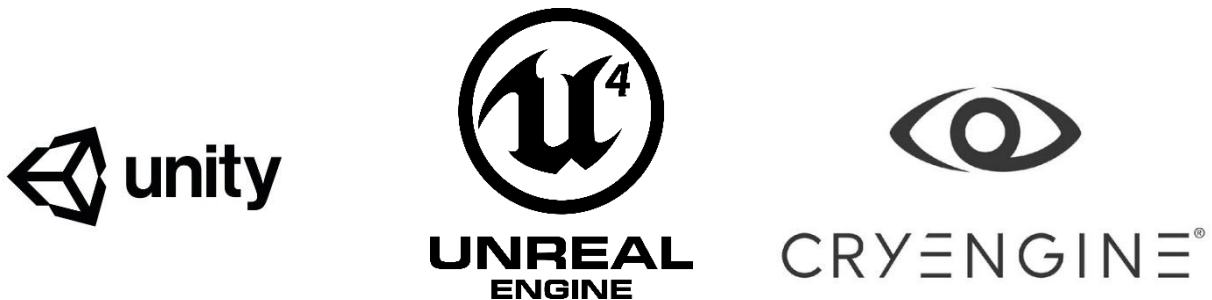
και κυρίως τη δημιουργία διαδραστικών σκηνών μέσα στην εφαρμογή που αναπτύσσεται με τη βοήθεια του προγραμματισμού. Δηλαδή, δίνεται η δυνατότητα προγραμματισμού οποιασδήποτε σταθερής ή δυναμικής κατάστασης μεταξύ παίκτη και περιβάλλοντος της εφαρμογής με σκοπό την εξυπηρέτηση του σκοπού της εφαρμογής ή του βιντεοπαιχνιδιού.

Παραδείγματα προγραμματισμού διάδρασης όπως περιγράφηκε παραπάνω μπορεί να είναι η δυνατότητα «πτήσης» του χρήστη γύρω από ένα σημείο ενδιαφέροντος, η δυνατότητα εμφάνισης πληροφοριών για ένα σημείο ενδιαφέροντος ή ακόμη και η δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ διαφορετικών σκηνών – επιπέδων της εφαρμογής.

Δεν υποστηρίζουν όμως όλα τα λογισμικά ανάπτυξης βιντεοπαιχνιδιών τη δυνατότητα δημιουργίας εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας, καθότι ο τρόπος εμπύθισης και τα συστήματα που χρησιμοποιεί ο χρήστης διαφέρουν κατά πολύ. Έτσι, απαιτείται μια διαφορετική προσέγγιση στην ανάπτυξη νέων εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας, χρησιμοποιώντας ειδικά εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό.

Η διαδικασία δημιουργίας μιας εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας θα αναπτυχθεί λεπτομερώς σε επόμενο κεφάλαιο.

Τα τρία επικρατέστερα ολοκληρωμένα λογισμικά όπως περιγράφηκαν παραπάνω είναι σήμερα τα:



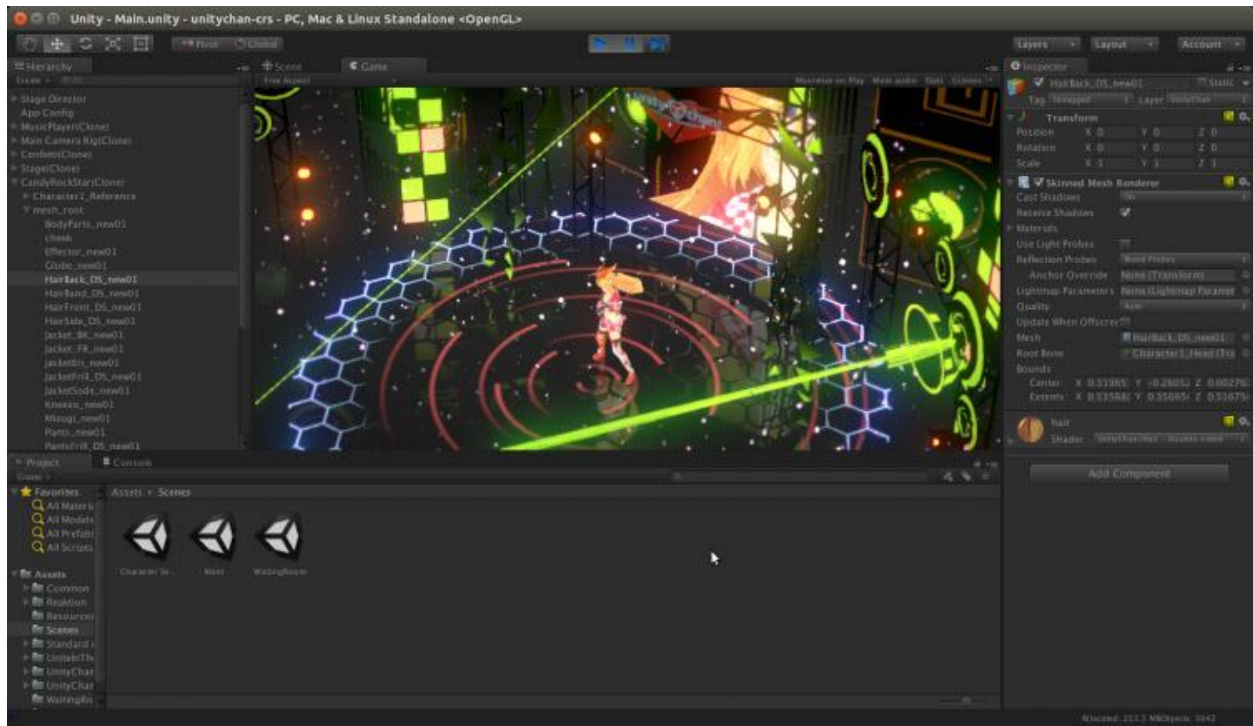
Τα λογισμικά Unity 3D και Unreal Engine 4 χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία και θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Αξίζει να σημειωθεί όμως πως οι βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας των συγκεκριμένων προγραμμάτων πλησιάζουν πολύ μεταξύ τους και έχουν κοινή λογική στον τρόπο αλληλεπίδρασής τους με το χρήστη. Οι διαφορές τους βρίσκονται στη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιούν, στον τρόπο με τον οποίο παρέχουν τα εργαλεία ανάπτυξης στο χρήστη, στο ποια εργαλεία παρέχουν αλλά και στις παρεχόμενες δυνατότητες αλλαγής ή/και παραμετροποίησης αυτών των εργαλείων.

Σε γενικές γραμμές οι περισσότερες εργασίες για τη δημιουργία μιας εφαρμογής γίνονται από το παράθυρο επεξεργασίας (Editor) του λογισμικού το οποίο ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη τον κατευθύνει σε άλλα παράθυρα λειτουργίας του λογισμικού.

Παρακάτω εμφανίζονται στιγμιότυπα οθόνης από το περιβάλλον επεξεργασίας κάθε ενός λογισμικού, ώστε να γίνει πιο κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του.

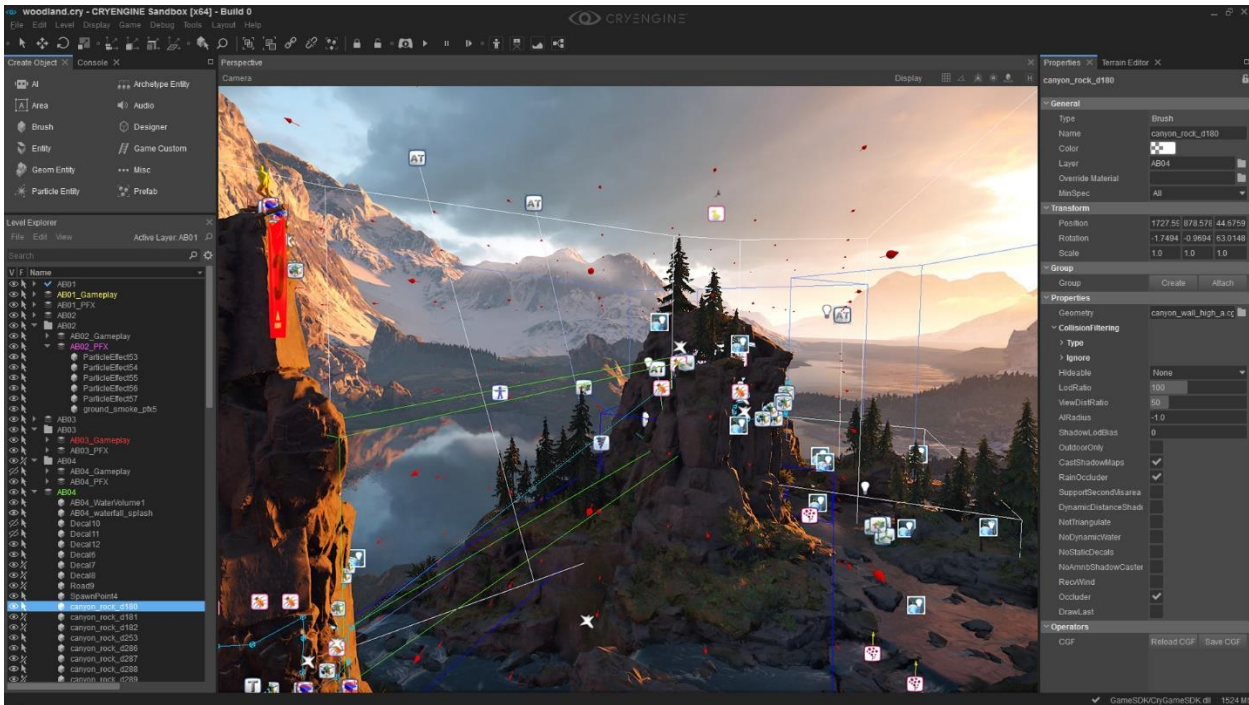
«Ανάπτυξη Συστήματος Μετρήσεων σε Περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας»



Εικόνα 53: Το παράθυρο επεξεργασίας (Editor) του λογισμικού Unity



Εικόνα 54: Το παράθυρο επεξεργασίας (Editor) του λογισμικού Unreal Engine 4



Εικόνα 55: Το παράθυρο επεξεργασίας (Editor) του λογισμικού CRYENGINE

Όπως γίνεται αντιληπτό, η λογική στη ροή εργασιών των συγκεκριμένων προγραμμάτων είναι η ίδια. Αυτό που αλλάζει, από πρόγραμμα σε πρόγραμμα, είναι η απεικόνιση και ο τρόπος εκτέλεσης κάθε εργασίας.

Έτσι και στις τρεις απεικονίσεις κεντρικά του παραθύρου φαίνεται η γραφική απεικόνιση της σκηνής στην οποία ο χρήστης μπορεί να επέμβει είτε μέσω κώδικα είτε με τα έτοιμα εργαλεία που του δίνονται, ανάλογα πάντα με το σκοπό του.

Επίσης, τα λογισμικά αυτά διαφοροποιούνται ως προς τις απαιτήσεις των συστημάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή που απαιτούν αλλά και την παραμετροποίηση ως προς τα τρισδιάστατα μοντέλα που μπορούν να επεξεργαστούν. Το συγκεκριμένο γεγονός, επηρέασε σε ένα βαθμό την παρούσα διπλωματική εργασία και θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

1.8.2 Διαδικτυακά Εργαλεία

Τα διαδικτυακά εργαλεία δημιουργίας εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας έρχονται με σκοπό να καλύψουν τις απαιτήσεις μιας μερίδας χρηστών και δημιουργών οι οποίοι σκοπεύουν να βιώσουν την εμπειρία της εμπύθισης μέσω διαδικτύου και με τη βοήθεια ενός κατάλληλου φυλλομετρητή (browser).

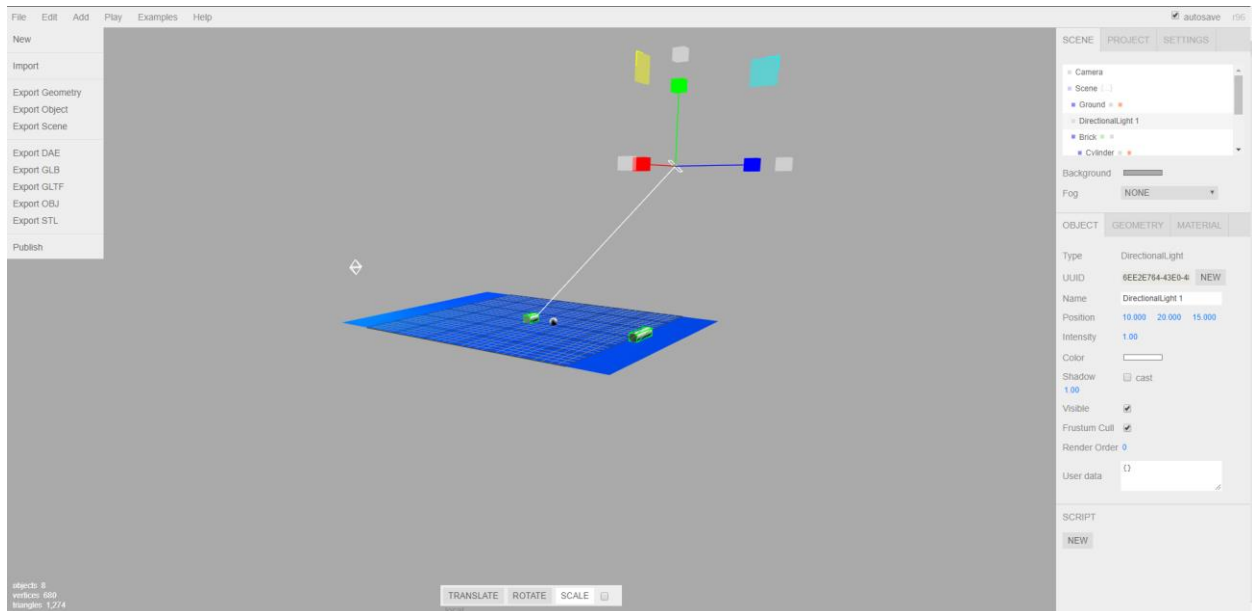
Η υποστήριξη αυτή από τους κοινούς φυλλομετρητές όλο και αυξάνεται και έχει επιτευχθεί καθολική υποστήριξη εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας σε πλατφόρμες έξυπνων

κινητών τηλεφώνων. Όσον αφορά στα συστήματα εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, η υποστήριξή τους δεν έχει τελειοποιηθεί και είναι ακόμη σε ερευνητικό στάδιο.

Όλα τα παραπάνω καθίστανται εφικτά με τη βοήθεια της έτοιμης βιβλιοθήκης προγραμματισμού η οποία είναι προσβάσιμη μέσω της γλώσσας Javascript. Ουσιαστικά αυτή η βιβλιοθήκη δίνει πρόσβαση στους πόρους του συστήματος του χρήστη, είτε είναι ηλεκτρονικός υπολογιστής είτε έξυπνο κινητό τηλέφωνο, με σκοπό μια βελτιωμένη απεικόνιση γραφικών.

Βέβαια, ό,τι περιγράφηκε παραπάνω, παρέχει την υπολογιστική ισχύ που χρειάζεται για να τρέξει μια εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας σε φυλλομετρητή. Για την ανάπτυξη, τέτοιων εφαρμογών υπάρχουν διαδικτυακά εργαλεία σε μορφή ιστοσελίδων τα οποία προσφέρουν κάποιες απλοποιημένες δυνατότητες δημιουργίας και επεξεργασίας εφαρμογών σε σχέση με αυτές των ολοκληρωμένων λογισμικών. Συμβιβασμοί σε αυτή την περίπτωση γίνονται και στην ποιότητα του αποτελέσματος αλλά και στην ποσότητα της πληροφορίας και της διαδραστικότητας που προσφέρει.

Βασική βιβλιοθήκη πάνω στην οποία αναπτύσσονται όλες οι διαδικτυακές εφαρμογές είναι η THREE.JS σε γλώσσα Javascript η οποία παρέχει τα εργαλεία για την δημιουργία μιας εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας σε περιβάλλον φυλλομετρητή. Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη παρέχει και γραφικό περιβάλλον ανάπτυξης, πέρα από το περιβάλλον κώδικα, το οποίο φαίνεται παρακάτω:



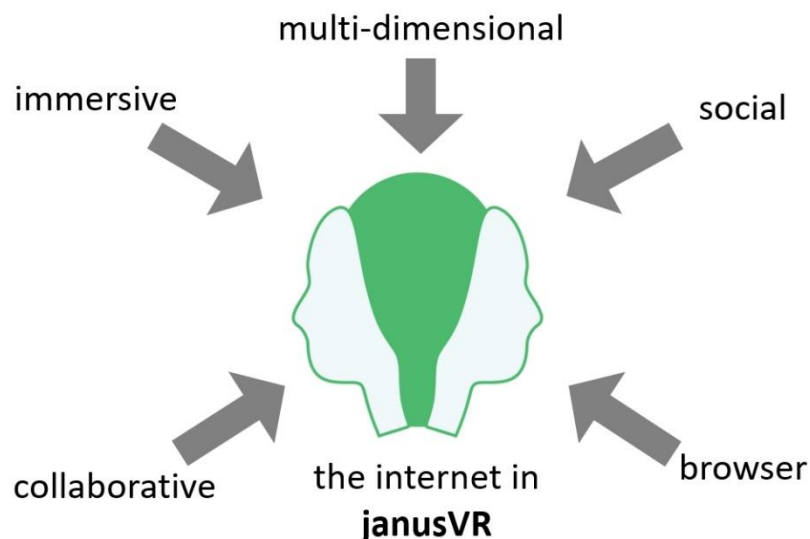
Εικόνα 563: Το παράθυρο επεξεργασίας της βιβλιοθήκης THREE.JS (<https://threejs.org/editor/>)

Όπως προαναφέρθηκε το περιβάλλον και οι δυνατότητες που δίνονται στο χρήστη είναι πολύ λιγότερες σε σύγκριση με τα ολοκληρωμένα λογισμικά, πράγμα λογικό αν σκεφτεί κανείς ότι ολόκληρη η εφαρμογή που θα αναπτυχθεί θα βασίζεται κυρίως στον φυλλομετρητή.

Με βάση τη βιβλιοθήκη THREE.JS έχουν αναπτυχθεί και άλλα εργαλεία ίδιας νοοτροπίας με διαφορές στη διάδραση με το χρήστη αλλά και στην υλοποίηση των εντολών. Ενδεικτικά αναφέρονται τα:

- A-FRAME
- REACT VR
- VIZOR.IO

Ξεχωριστή κατηγορία αποτελεί το εργαλείο **JanusVR** όπου πρόκειται ουσιαστικά για ένα τρισδιάστατο φυλλομετρητή διαδικτύου με δυνατότητα πλοήγησης στις κλασικές δισδιάστατες ιστοσελίδες αλλά και σε τρισδιάστατες που μπορούν να δημιουργηθούν μέσω αυτού. Το συγκεκριμένο εργαλείο υποστηρίζει και τα βασικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας υψηλού κόστους και υποστηρίζει την δημιουργία και επεξεργασία εφαρμογών σε άμεσο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Επίσης, υποστηρίζει και την δικτύωση πολλών χρηστών του εργαλείου σε ένα εικονικό δωμάτιο ώστε να δουλεύουν μαζί ή/και να λύνουν προβλήματα μαζί. Ουσιαστικά, βασίζεται σε έτοιμες βιβλιοθήκες προγραμματισμού φτιαγμένες ειδικά για αυτό και λειτουργεί με την νοοτροπία της παρακάτω εικόνας με σκοπό την προσπέλαση του διαδικτύου:



Εικόνα 57: Οι αρχές λειτουργίας του εργαλείου JanusVR

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

HTC Vive – Το σύστημα εικονικής πραγματικότητας που χρησιμοποιήθηκε

2.1. Ανάλυση και τρόπος λειτουργίας του HTC Vive

Το σύστημα εικονικής πραγματικότητας HTC Vive αναπτύχθηκε από τις εταιρείες HTC και Valve Corporation. Η πρώτη έκδοση του συγκεκριμένου συστήματος έγινε διαθέσιμη στο κοινό στις 5 Απριλίου 2016. Πρόκειται για ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας υψηλού κόστους και μπορεί να λειτουργήσει σε συνδυασμό με ηλεκτρονικούς υπολογιστές που χρησιμοποιούν λειτουργικό σύστημα Windows, Linux και MacOS.

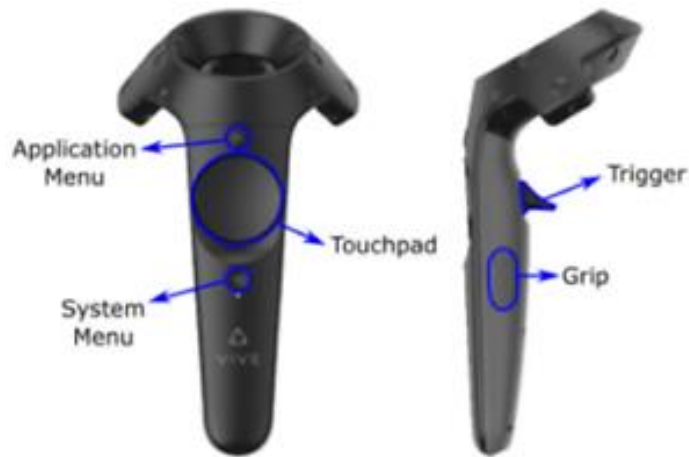
Το HTC Vive περιλαμβάνει τον εξής εξοπλισμό: (Πηγή: www.vive.com)

- **Μάσκα εικονικής πραγματικότητας:** Η συγκεκριμένη μάσκα χρησιμοποιεί δύο οθόνες οργανικών διόδων φωτοεκπομπής (OLED), μια για κάθε μάτι, με ανάλυση 1080x1200 pixel ανά οθόνη (δηλαδή 2160x1200 pixel συνδυαστική ανάλυση). Επιπλέον, η εν λόγω μάσκα παρέχει ρυθμό ανανέωσης της εικόνας της 90 Hz και έχει οπτικό πεδίο 110 μοιρών. Για λόγους ασφαλείας περιλαμβάνει επίσης μια εμπρόσθια κάμερα που επιτρέπει στους χρήστες να βλέπουν το πραγματικό τους περιβάλλον χωρίς να αφαιρούν τη μάσκα. Επιπροσθέτως, το λογισμικό του HTC Vive μπορεί να χρησιμοποιήσει την συγκεκριμένη κάμερα ως πρόσθετο βοήθημα στο σύστημα αναγνώρισης εμποδίων που παρέχει στον χρήστη.



Εικόνα 584: Η μάσκα εικονικής πραγματικότητας του HTC Vive

- **Χειριστήρια:** Περιλαμβάνει συγκεκριμένα δύο χειριστήρια, ένα για κάθε χέρι, τα οποία παρέχουν πολλαπλούς τρόπους διάδρασης και εισαγωγής δεδομένων. Λειτουργούν ασύρματα και η μπαταρία τους διαρκεί περίπου 6 ώρες χρήσης ανά φόρτιση. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το χειριστήριο του συστήματος HTC Vive και οι τρόποι διάδρασης και εισαγωγής δεδομένων που παρέχει.



Εικόνα 595: Το χειριστήριο του συστήματος HTC Vive

- **Βάσεις – Φάροι:** Πρόκειται για δύο συσκευές οι οποίες εκπέμποντας περιοδικά μη ορατό φως, με περίοδο 8,333ms, βοηθούν στον εντοπισμό και την τοποθέτηση στο χώρο της μάσκας και των χειριστηρίων του συστήματος. Επίσης, ορίζουν τον εικονικό χώρο στον οποίο λειτουργεί το σύστημα. Η αναλυτική διαδικασία εντοπισμού που πραγματοποιεί το σύστημα θα αναλυθεί παρακάτω στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.



Εικόνα 60: Οι βάσεις εντοπισμού του συστήματος HTC Vive

Επιπλέον, το HTC Vive, μέσω της μάσκας εικονικής πραγματικότητας, παρέχει έξοδο ήχου και περιλαμβάνει και ενσωματωμένο μικρόφωνο προκειμένου να δημιουργεί στο χρήστη μια ολοκληρωμένη εμπειρία εμβύθισης.

Το βασικό σύστημα HTC Vive περιλαμβάνει τα στοιχεία που περιγράφηκαν παραπάνω. Όμως, πολλά πρόσθετα περιφερειακά είναι διαθέσιμα και μπορούν να προστεθούν στο βασικό σύστημα προκειμένου να αναβαθμίσουν την εμπειρία εμβύθισης που βιώνει ο χρήστης σε πολλά διαφορετικά επίπεδα. Παρακάτω θα παρουσιαστούν κάποια από τα σημαντικότερα, με τα οποία η εμπειρία του χρήστη μπορεί να αναβαθμιστεί κατά πολύ.

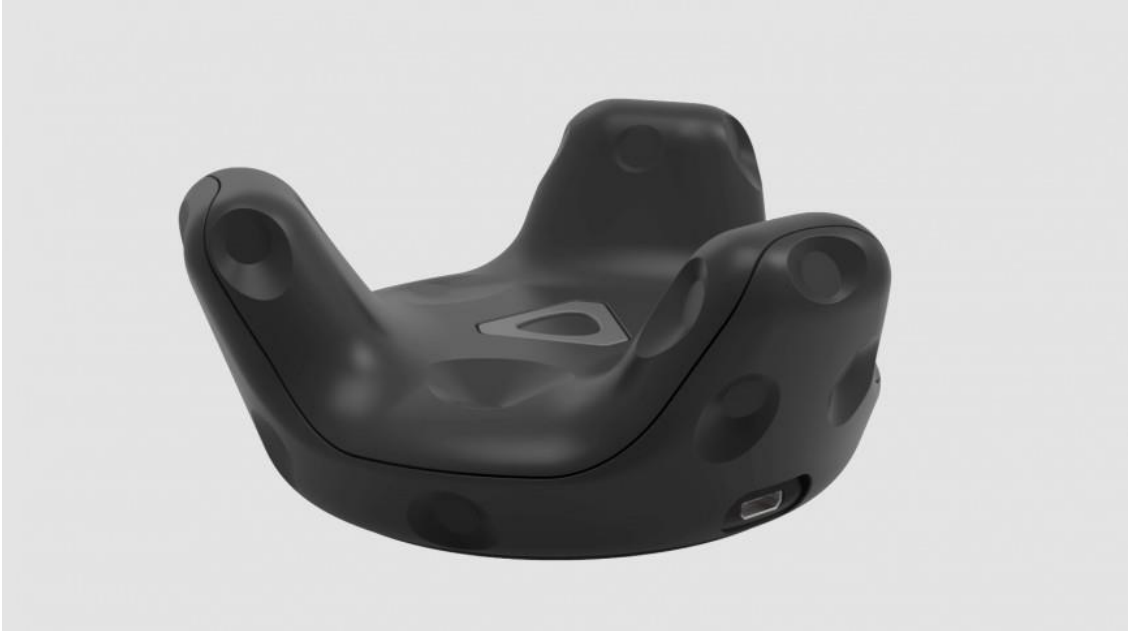
- **Vive Deluxe Audio Strap:** Πρόκειται για ένα ποιοτικό σύστημα ήχου ενσωματωμένο σε μια αρκετά πιο εύχρηστη δέστρα μάσκας από αυτή που περιλαμβάνεται στο βασικό πακέτο. Το συγκεκριμένο περιφερειακό αναβαθμίζει κατά πολύ την εμπειρία εμβύθισης του χρήστη λόγω του ποιοτικού ήχου και της απομόνωσης από εξωτερικά ηχητικά ερεθίσματα που προσφέρει. Επιπλέον, η καλύτερη δέστρα σταθεροποιεί τη μάσκα εικονικής πραγματικότητας στο κεφάλι του χρήστη με αποτέλεσμα να μην χάνεται το φαινόμενο της στερεοσκοπικής όρασης και να μην δημιουργούνται φαινόμενα που προκαλούν ζαλάδα. (Πηγή: www.vive.com)



Εικόνα 616: Το HTC Vive Deluxe Audio Strap
(Πηγή: www.vive.com)

- **Vive Tracker:** Πρόκειται για μια συσκευή εντοπισμού που είναι δυνατόν να παρακολουθείται από το σύστημα εντοπισμού του HTC Vive και προσαρτάται σε αντικείμενα προκειμένου αυτά να εντοπίζονται και να απεικονίζεται η θέση τους και ο προσανατολισμός τους στο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Επιπλέον, περιλαμβάνει συνδέσεις εισόδου δεδομένων, ώστε να επικοινωνεί με

το αντικείμενο που εντοπίζεται εφόσον αυτό χρειάζεται. Αξίζει να σημειωθεί πως η προοπτικές αξιοποίησης του συγκεκριμένου περιφερειακού είναι πάρα πολλές και καλύπτουν πολλούς τομείς δραστηριότητας. (Πηγή: www.vive.com)



Εικόνα 627: HTC Vive Tracker
(Πηγή: www.vive.com)

- **TPCast wireless adapter for Vive:** Ένα αρκετά μεγάλο πρόβλημα των σύγχρονων συστημάτων εικονικής πραγματικότητας είναι η εξάρτησή τους από τα καλώδια τροφοδοσίας ρεύματος και μεταφοράς εικόνας και δεδομένων. Η εξάρτηση αυτή περιορίζει κινητικά το χρήστη, ειδικά σε εμπειρίες κλίμακας δωματίου, και επίσης δεν του επιτρέπει να εμπυθιστεί πλήρως μιας και τον απασχολούν τα καλώδια. Με το συγκεκριμένο περιφερειακό το σύστημα εικονικής πραγματικότητας μετατρέπεται σε ασύρματο μέσω ενός δέκτη και μιας μπαταρίας που προσαρτάται στη μάσκα εικονικής πραγματικότητας αλλά και ενός πομπού που προσαρτάται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή που χρησιμοποιεί το σύστημα. (Πηγή: www.tpcastvr.com)
- Φυσικά υπάρχουν και πολλά άλλα περιφερειακά όπως εντοπισμός και παρακολούθηση των ματιών του χρήστη, των χεριών και των δακτύλων του, πολλών ειδών χειριστήρια και κατασκευές που έχουν στόχο να βελτιώσουν την εμπειρία εικονικής πραγματικότητας. Βέβαια, η εφαρμογή τους στον χρόνο θα αποδείξει κατά πόσο είναι εύχρηστα και αν βελτιώνουν την εμπειρία εμπύθισης του χρήστη. Επιπροσθέτως, γίνεται αντιληπτό ότι λόγω της ραγδαίας εξέλιξης των συγκεκριμένων συστημάτων δεν καθίσταται δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα ίδια

τα συστήματα αλλά και τα περιφερειακά τους για πολύ χρόνο ώστε να δοκιμαστούν επαρκώς αφού θεωρούνται τεχνολογικά ξεπερασμένα μόλις διατεθεί το νεότερο μοντέλο στην αγορά.

Τελικά, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, το σύστημα εικονικής πραγματικότητας HTC Vive είναι σε θέση να προσφέρει μια εμπειρία εμπύθισης σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας η οποία μπορεί να είναι σε **καθήμενη ή όρθια στάση ή και σε κλίμακα δωματίου** ανάλογα με την εφαρμογή ή το λογισμικό που χρησιμοποιεί ο εκάστοτε χρήστης.

Δίνονται πολλές ελευθερίες στην ανάπτυξη εφαρμογών για το συγκεκριμένο σύστημα όπως για παράδειγμα η χρήση (ή μη) χειριστηρίων ή άλλων αντικειμένων που εντοπίζονται, η κίνηση του χρήστη στον πραγματικό χώρο κ.ά. Τελικά, βγαίνει το συμπέρασμα πως οι πρακτικές δυνατότητες που προσφέρει το συγκεκριμένο σύστημα εξαρτώνται κατά πολύ από την εφαρμογή που χρησιμοποιεί ο χρήστης και κατ' επέκταση τη δημιουργικότητα και την εφευρετικότητα του δημιουργού κάθε μιας εφαρμογής στο πλαίσιο της αξιοποίησης των δυνατοτήτων που του παρέχει το σύστημα. Εξαρτώνται, όμως, και από τα τεχνολογικά όρια που υπάρχουν και αυτά αφορούν στοιχεία όπως η επεξεργαστική ισχύς του ηλεκτρονικού υπολογιστή που χρησιμοποιεί το σύστημα, οι οθόνες που μπορούν να τοποθετηθούν στη μάσκα κ.λπ..

2.2 Απαιτήσεις συστήματος ηλεκτρονικού υπολογιστή για τη χρήση του HTC Vive

Εξάρτημα	Προτεινόμενα Χαρακτηριστικά	Ελάχιστα Χαρακτηριστικά
Κάρτα Γραφικών	NVIDIA GTX 1060 / AMD Radeon RX 480 ή καλύτερη	NVIDIA GTX 970 / AMD Radeon R9 290 ή καλύτερη
Επεξεργαστής	Intel i5-4590 / AMD FX 8350 ή καλύτερος	Intel i5-4590 / AMD FX 8350 ή καλύτερος
Μνήμη RAM	4GB+	4GB+
Έξοδος Εικόνας	HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 ή νεότερη	HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 ή νεότερη
Θύρες USB	1XUSB 2.0 θύρα ή νεότερη	1XUSB 2.0 θύρα ή νεότερη
Λειτουργικό Σύστημα	Windows 7 SP1 ή νεότερο, Linux ή MacOS	Windows 7 SP1 ή νεότερο, Linux ή MacOS

Οι απαιτήσεις συστήματος του HTC Vive.

(Πηγή: https://www.vive.com/us/support/vive/category_howto/what-are-the-system-requirements.html)

Όπως έχει προαναφερθεί, για τη λειτουργία του HTC Vive χρειάζεται ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής υψηλών δυνατοτήτων προκειμένου να γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων ποιοτικά και με ταχύτητα για την απρόσκοπτη εμπειρία εμπύθισης του χρήστη. Οι απαιτήσεις συστήματος όπως δίνονται από την ιστοσελίδα της κατασκευάστριας εταιρείας είναι εξής:

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως τα παραπάνω χαρακτηριστικά προτείνονται από την κατασκευάστρια εταιρεία προκειμένου το σύστημα εικονικής πραγματικότητας HTC Vive να είναι σε θέση να προσφέρει μια αδιάκοπη και χωρίς προβλήματα εμπειρία εμπύθισης σε έναν χρήστη που χρησιμοποιεί τις βασικές εφαρμογές που διατίθενται στο ευρύ κοινό. Όμως, ανάλογα με την πολυπλοκότητα της εφαρμογής που πρόκειται να αναπτυχθεί οι προτεινόμενες απαιτήσεις συστήματος ενδέχεται να μην επαρκούν.

Άρα, η επάρκεια των απαιτήσεων συστήματος ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή που υποστηρίζει ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας, όπως το HTC Vive, είναι ευθέως ανάλογη με την πολυπλοκότητα της εφαρμογής που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Προφανώς, όμως, είναι απαραίτητο να πληρούνται 100% οι ελάχιστες απαιτήσεις του συστήματος μιας και οι βασικές λειτουργίες του συστήματος εικονικής πραγματικότητας υποστηρίζονται κατ' ελάχιστον από αυτά τα εξαρτήματα ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Ως πολυπλοκότητα, μιας εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας, μπορεί να οριστεί ο συνδυασμός των ταυτόχρονων υπολογισμών που πραγματοποιεί προκειμένου να φτάσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα χωρίς να παρεμποδίσει την εμπειρία εμπύθισης του χρήστη. Πρακτικά, μπορεί να είναι το πλήθος και το μέγεθος των τρισδιάστατων μοντέλων που χρησιμοποιεί ή οι ταυτόχρονες δυνατότητες διάδρασης που παρέχει ή ακόμη και το δυναμικό περιβάλλον που μπορεί να περιέχει.

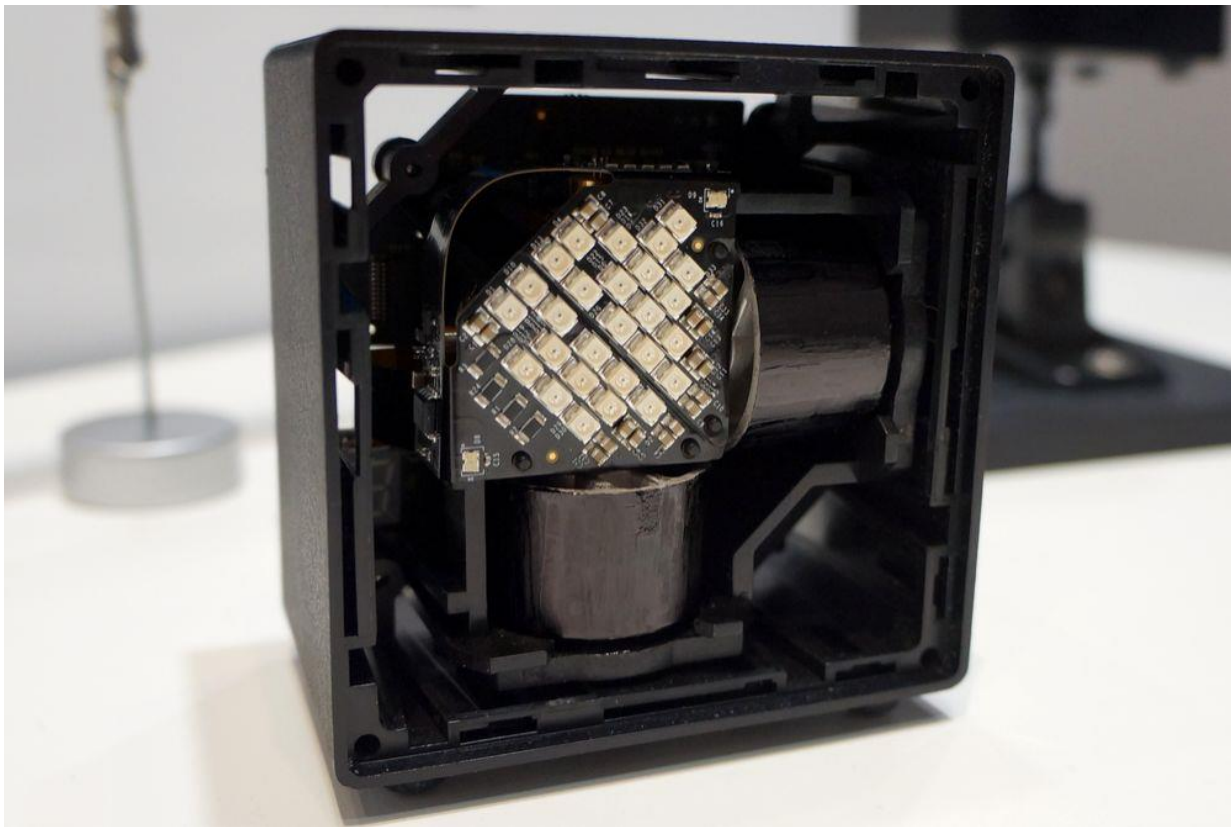
Στο συγκεκριμένο σημείο πρέπει να τονιστεί πως η εφαρμογή που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας λόγω της πολυπλοκότητάς της αναπτύχθηκε σε ένα σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή πολύ μεγαλύτερων δυνατοτήτων, από τις προτεινόμενες δυνατότητες του κατασκευαστή του HTC Vive. Συγκεκριμένα, η πολυπλοκότητα της συγκεκριμένης εφαρμογής έγκειται στα τρισδιάστατα μοντέλα υψηλής ακρίβειας και διακριτικής ικανότητας που χρησιμοποιεί.

2.3. Το σύστημα εντοπισμού της θέσης και του προσανατολισμού των στοιχείων του συστήματος HTC Vive.

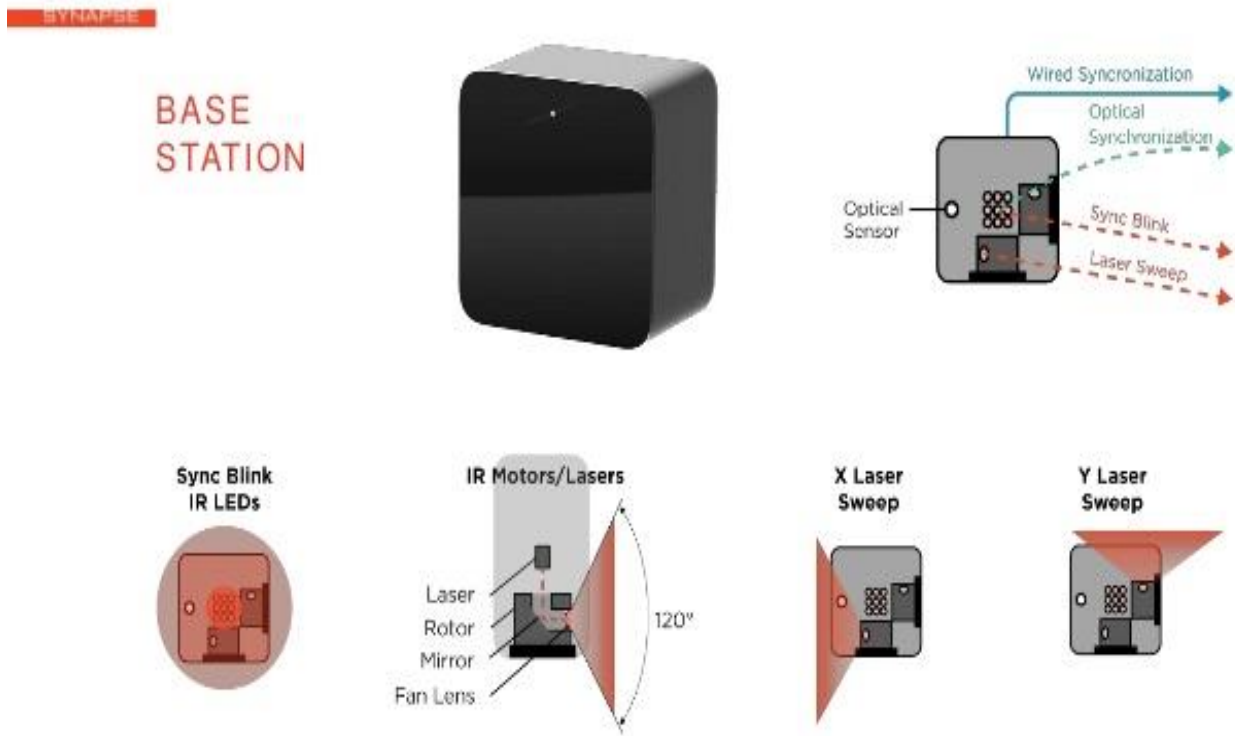
Προκειμένου το σύστημα εικονικής πραγματικότητας να εντοπίζει τη θέση της μάσκας και των χειριστηρίων στο χώρο χρησιμοποιεί ένα σύστημα εντοπισμού που βασίζεται στην εκπομπή αόρατου φωτός και στην περιοδικότητα αυτής της εκπομπής.

Συγκεκριμένα, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιούνται δύο (ή μπορεί και περισσότερες) βάσεις – φάροι με την βοήθεια των οποίων ορίζεται ο τρισδιάστατος χώρος του συστήματος εικονικής πραγματικότητας και γίνεται ο εντοπισμός των αντικειμένων μέσα σε αυτόν.

Σύμφωνα με την έρευνα του Olivier Kreylos, που τη δημοσίευσε στην ιστοσελίδα του <http://doc-ok.org/?p=1478> το 2016, από το Ινστιτούτο Ανάλυσης και Οπτικοποίησης δεδομένων του πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, κάθε φάρος εντοπισμού του συστήματος χρησιμοποιεί δύο πομπούς αόρατων ακτινών λέιζερ και ορθογώνια διάταξη από λαμπτήρες LED υπέρυθρου φωτός όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 63: Το εσωτερικό της βάσης – φάρου εντοπισμού που χρησιμοποιεί το σύστημα εικονικής πραγματικότητας HTC VIVE (Πηγή: <https://www.vrfocus.com/2017/06/steamvr-tracking-volume-increased-new-sensor-announced/>)



11 | SXSW 2017

Εικόνα 64: Τα στοιχεία και οι αρχή λειτουργίας της βάσης – φάρου διαγραμματικά
(Πηγή: Morgan Denno, SXSW 2017)

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 64, οι δύο πομποί αόρατου φωτός λέιζερ περιστρέφονται με τη βοήθεια μηχανισμού γύρω από τον κατακόρυφο και τον οριζόντιο άξονα ορίζοντας το οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο του συστήματος αναφοράς τους. Επιπροσθέτως, οι λαμπτήρες LED αναβοσβήνουν περιοδικά εξυπηρετώντας τον συγχρονισμό μεταξύ των βάσεων – φάρων.

Αναλυτικά, οι δύο πομποί λέιζερ περιστρέφονται γύρω από τον άξονά τους με ταχύτητα 3.600 στροφές ανά λεπτό. Εξ ορισμού, μόνο μια ακτίνα λέιζερ μπορεί να σαρώνει τον όγκο εντοπισμού του συστήματος αναφοράς κάθε στιγμή. Έτσι, δημιουργείται με τη βοήθεια των εκπομπών LED μια περιοδικότητα κάθε μισή περιστροφή, δηλαδή ανά 8,333 ms. Έτσι, τα υπέρυθρα LED αναβοσβήνοντας ορίζουν την έναρξη της πρώτης περιόδου όπου το οριζόντιο λέιζερ της πρώτης βάσης πραγματοποιεί την περιστροφή του, στη συνέχεια και σε χρόνο μισής περιστροφής το κατακόρυφο λέιζερ της πρώτης βάσης πραγματοποιεί την περιστροφή του ενώ ταυτόχρονα ορίζεται από τα LED η έναρξη της δεύτερης περιόδου. Η ίδια ροή ενεργειών πραγματοποιείται στη συνέχεια και από τη

δεύτερη βάση και μέχρις ότου ολοκληρωθεί από όλες τις βάσεις. Στο σημείο αυτό ξεκινάει ένας νέος κύκλος όμοιων ενεργειών από την πρώτη βάση πάλι. (Kreylos, 2016)

Σκοπός όλων αυτών των φωτεινών εκπομπών είναι να διεγείρουν τους φωτοευαίσθητους αισθητήρες που βρίσκονται πάνω στη μάσκα εικονικής πραγματικότητας του συστήματος αλλά και στα χειριστήρια. Τελικά, το σύστημα δεδομένων που δημιουργείται για κάθε αισθητήρα που ενεργοποιήθηκε περιλαμβάνει τη θέση του αισθητήρα πάνω στο αντικείμενο αλλά και τον χρόνο στον οποίο ενεργοποιήθηκε και από ποιον φάρο εντοπισμού. Έτσι, με συνδυασμό πολλών τέτοιων μετρήσεων σε λίγο χρόνο, μπορεί να ανανεώνεται η θέση της μάσκας εικονικής πραγματικότητας και των χειριστηρίων σε πραγματικό χρόνο στο συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς.

Τονίζεται, επιπλέον, πως οι καθυστερήσεις που υπάρχουν στην προαναφερθείσα ανανέωση της θέσης είναι αμελητέες για τον ανθρώπινο εγκέφαλο μιας και η θέση της μάσκας ανανεώνεται με ρυθμό 225 Hz ενώ των χειριστηρίων με ρυθμό 250 Hz ενώ η ανθρώπινη όραση όταν εκτίθεται σε ψηφιακές οθόνες ανανεώνεται με ρυθμό 50Hz έως 90Hz υπό κανονικές συνθήκες με κάποια μέγιστα να έχουν παρατηρηθεί στα 500Hz σε πολύ συγκεκριμένες συνθήκες εργαστηρίου που δεν απαντώνται σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας σας αυτό που περιγράφεται. (James Davis et al. 2015)

Στην έρευνά του ο Olivier Kreylos προσπάθησε να αξιολογήσει, μεταξύ άλλων, την ακρίβεια, την ορθότητα αλλά και τον θόρυβο που εισάγει στις παρατηρήσεις του το σύστημα εντοπισμού του HTC Vive.

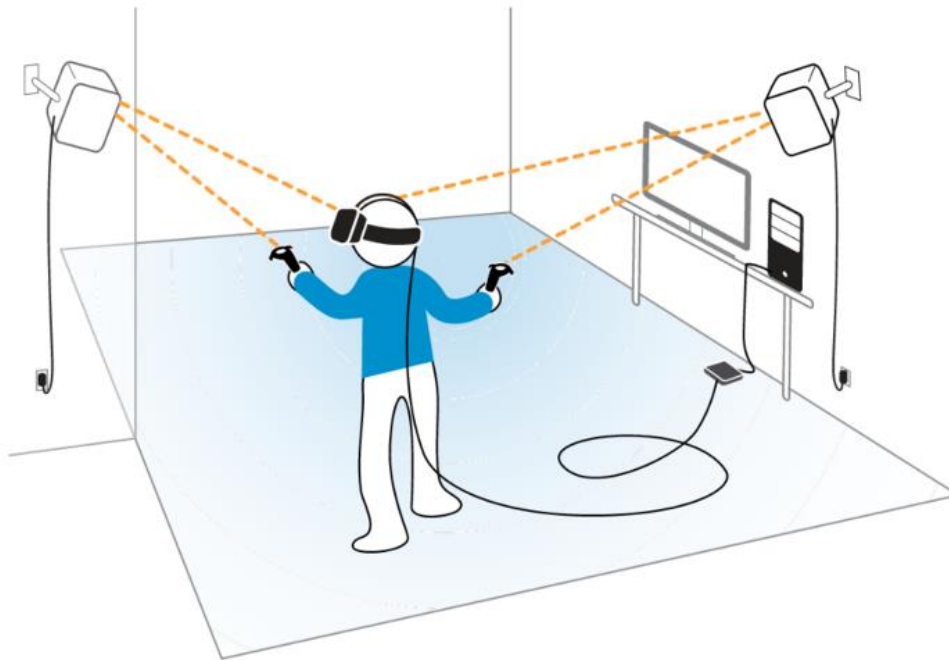
Όσον αφορά στον θόρυβο των μετρήσεων, σταθεροποιώντας την μάσκα εικονικής πραγματικότητας και ένα χειριστήριο ο Kreylos υπολόγισε πως χρησιμοποιώντας δύο βάσεις – φάρους σε σταθερή απόσταση το μέσο σφάλμα θέσης στη μάσκα και στο χειριστήριο ήταν κοντά στα 0,3mm και ήταν ομοιόμορφα κατανομημένο. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι ενώ τα αντικείμενα ήταν σταθερά η θέση τους στον τρισδιάστατο χώρο είχε μέγιστη απόκλιση κατά απόλυτη τιμή 0,3mm ανά περίοδο ανανέωσης. Αντίθετα, όταν χρησιμοποιήθηκε μόνο η μία βάση – φάρος το σφάλμα θέσης γίνεται ανομοιόμορφο διατηρώντας την τιμή του 0,3mm από τη μεριά του ενεργού φάρου αλλά από τη μεριά του ανενεργού το σφάλμα ανεβαίνει στα 2,1mm ανά περίοδο ανανέωσης θέσης. (Kreylos, 2016)

Η ορθότητα των μετρήσεων που λαμβάνει υπολογίστηκε με τη βοήθεια ενός χάρακα μήκους 36 ιντσών ο οποίος τοποθετήθηκε στο κέντρο της τρισδιάστατης περιοχής εντοπισμού. Με τη βοήθεια μια μύτης που προσαρτήθηκε στο χειριστήριο και της οποίας υπολογίστηκε η σχετική θέση σε σχέση με το χειριστήριο, συγκρίθηκαν οι μετρήσεις της θέσης κάθε υποδιαίρεσης μια ίντσας του χάρακα σε σχέση με τις θεωρητικές τιμές τους στο σύστημα συντεταγμένων που ορίζουν οι βάσεις. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προέκυψε ήταν 1,9mm και είναι μια αρκετά καλή εκτίμηση της ορθότητας της θέσης που υπολογίζει το σύστημα εντοπισμού του HTC Vive. (Kreylos, 2016)

Η ακρίβεια, από την άλλη πλευρά, υπολογίστηκε συγκρίνοντας τις πρώτες μετρήσεις που περιγράφηκαν με ένα δεύτερο σύνολο ίδιων μετρήσεων και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προέκυψε ήταν 1,5mm. (Kreylos, 2016)

Επιπλέον, πρέπει στο σημείο αυτό να τονιστεί πως ο προαναφερθείς ερευνητής Olivier Kreylos πραγματοποίησε πολλά από τα παραπάνω με τη βοήθεια ενός πειραματικού λογισμικού εικονικής πραγματικότητας που έχει δημιουργήσει και το οποίο ονομάζεται Vruil.

Πρακτικά, το σύστημα εικονικής πραγματικότητας HTC Vive έχει την δυνατότητα να ορίσει έναν τρισδιάστατο χώρο μέσα στον οποίο μπορεί να εντοπίζει την θέση και τον προσανατολισμό των αντικειμένων του ελάχιστων διαστάσεων 2m x 1,5m και μέγιστων 4m x 3m. (Πηγή: www.vive.com)



Εικόνα 65: Ο τρισδιάστατος χώρος εντοπισμού του συστήματος εικονικής πραγματικότητας HTC Vive
(Πηγή: <https://www.realite-virtuelle.com/oculus-rift-vs-htc-roomscale>)

2.4 Καταλληλότητα του HTC Vive για την παρούσα εφαρμογή

Τα σύγχρονα συστήματα εικονικής πραγματικότητας που είναι διαθέσιμα για το κοινό και έχουν πλήρως τεκμηριωμένο τον τρόπο λειτουργίας τους και προγραμματισμού τους δεν είναι πολλά. Συγκεκριμένα πρόκειται για τα εξής τέσσερα συστήματα (όπως αυτά υπήρχαν στις 01/19) : HTC Vive, Oculus Rift, OSVR και PSVR. Τα τρία πρώτα συστήματα αφορούν ανάπτυξη εφαρμογών για χρήση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ενώ το τελευταίο για χρήση με την παιχνιδομηχανή Playstation 4.

Οι δυνατότητες που παρέχουν και τα τέσσερα συστήματα είναι παρεμφερείς, με το HTC Vive να υπερέχει στην βασική δυνατότητα της παροχής εμπειρίας εικονικής πραγματικότητας σε επίπεδο δωματίου. Δηλαδή, τα τρία υπόλοιπα συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί μόνο για όρθιες ή καθιστές εμπειρίες με αποτέλεσμα να περιορίζουν κατά πολύ την κινητικότητα του χρήστη.

Επιπλέον, προαπαιτούμενα της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η ύπαρξη επίσημης υποστήριξης σε επίπεδο προγραμματισμού και ανάπτυξης μιας εφαρμογής για το συγκεκριμένο σύστημα που θα επιλεγεί αλλά και η συνεργασία του συστήματος με το λογισμικό ανάπτυξης ψηφιακών παιχνιδιών (game engine) στο οποίο θα αναπτυχθεί η εφαρμογή. Επίσης, όπως είναι φυσικό, η εφαρμογή θα έπρεπε να αναπτυχθεί για περιβάλλον ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Τελικά, λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω επιλέχθηκε το σύστημα HTC Vive που αναλύθηκε παραπάνω διότι είχε το μεγάλο πλεονέκτημα της καλύτερης υποστήριξης αλλά και της παροχής εμπειριών εικονικής πραγματικότητας σε επίπεδο δωματίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Περιβάλλοντα προγραμματισμού εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας (Game Engines) που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο πλαίσιο της ανάπτυξης της παρούσας εφαρμογής ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας ή, όπως αλλιώς ονομάζεται, μία μηχανή παιχνιδιών.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο μια μηχανή παιχνιδιού είναι ένα σύστημα λογισμικού σχεδιασμένο για τη δημιουργία και την ανάπτυξη βιντεοπαιχνιδιών και όχι μόνο. Συγκεκριμένα, διερευνήθηκε η χρήση των μηχανών παιχνιδιού **Unity3D** και **Unreal Engine 4** καθώς πρόκειται για ελεύθερα λογισμικά που έχουν πλήρως καταγεγραμμένες δυνατότητες και υποστηρίζουν τη χρήση του συστήματος εικονικής πραγματικότητας **HTC Vive** που θα χρησιμοποιηθεί.

Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναλυθεί ο τρόπος λειτουργίας και των δύο προαναφερθέντων λογισμικών, οι τεχνικές – προγραμματιστικές δυσλειτουργίες που προέκυψαν, θα συγκριθούν μεταξύ τους και θα αιτιολογηθεί η επιλογή της μηχανής **Unreal Engine 4** που χρησιμοποιήθηκε τελικά στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

3.1 Μηχανή Παιχνιδιών Unity3D

3.1.1. Βασικές αρχές της μηχανής παιχνιδιών Unity3D

Η μηχανή παιχνιδιών Unity έχει αναπτυχθεί από την ομάδα Unity Technologies και ανακοινώθηκε πρώτη φορά στο κοινό τον Ιούνιο του 2005 ως λογισμικό αποκλειστικής χρήσης από λειτουργικά συστήματα της εταιρείας Apple, γνωστά και ως macOS. Πλέον, το λογισμικό Unity μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από υπολογιστές που έχουν λειτουργικό σύστημα Windows ή Linux. Επιπροσθέτως, το έτος 2018, η μηχανή Unity3D είχε τη δυνατότητα να αναπτύξει εφαρμογές για τις παρακάτω 27 πλατφόρμες:

- | | | |
|-------------------------------|---------------------|------------------------|
| 1. iOS | 5. Mac | 10. Xbox One |
| 2. Android | 6. Linux/SteamOS | 11. Nintendo 3DS |
| 3. Windows | 7. WebGL | 12. Oculus Rift |
| 4. Universal Windows Platform | 8. Playstation 4 | 13. Google Cardboard |
| | 9. Playstation Vita | 14. SteamVR – HTC Vive |

15. PSVR	17. Windows	Mixed	18. Daydream
16. Gear VR	Reality		19. Android TV
20. Samsung SmartTV	23. Facebook Gameroom		26. Vuforia
21. tvOS	24. Apple ARKit		27. Tizen
22. Nintendo Switch	25. Google ARCore		

Η μηχανή Unity δίνει στον εκάστοτε χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει εφαρμογές και σε δισδιάστατο αλλά και σε τρισδιάστατο ψηφιακό περιβάλλον. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα προγραμματισμού της εφαρμογής στη γλώσσα C# με αποτέλεσμα οι δυνατότητες παραμετροποίησης να είναι απεριόριστες.

Άξιες αναφοράς είναι οι βιβλιοθήκες απεικόνισης γραφικών που χρησιμοποιεί η μηχανή, οι οποίες επιλέγονται ανάλογα με την πλατφόρμα ανάπτυξης της εφαρμογής και είναι οι παρακάτω:

- Direct3D (Windows & Xbox One)
- OpenGL (Linux, macOS & Windows)
- OpenGL ES (Android & iOS)
- WebGL (Εφαρμογές Διαδικτύου)
- Metal (iOS & macOS)
- Vulkan (Android, Linux & Windows)

Σημαντικό χαρακτηριστικό της μηχανής Unity είναι η δυνατότητα προσομοίωσης των φυσικών ιδιοτήτων των τρισδιάστατων αντικειμένων που χρησιμοποιεί αλλά και των φυσικών φαινομένων του περιβάλλοντός τους. Για παράδειγμα η ανίχνευση σύγκρουσης μεταξύ δύο σωμάτων ή εφαρμογή φυσικών δυνάμεων, όπως τριβή, σε ένα σώμα είναι κάποιες από αυτές τις δυνατότητες.

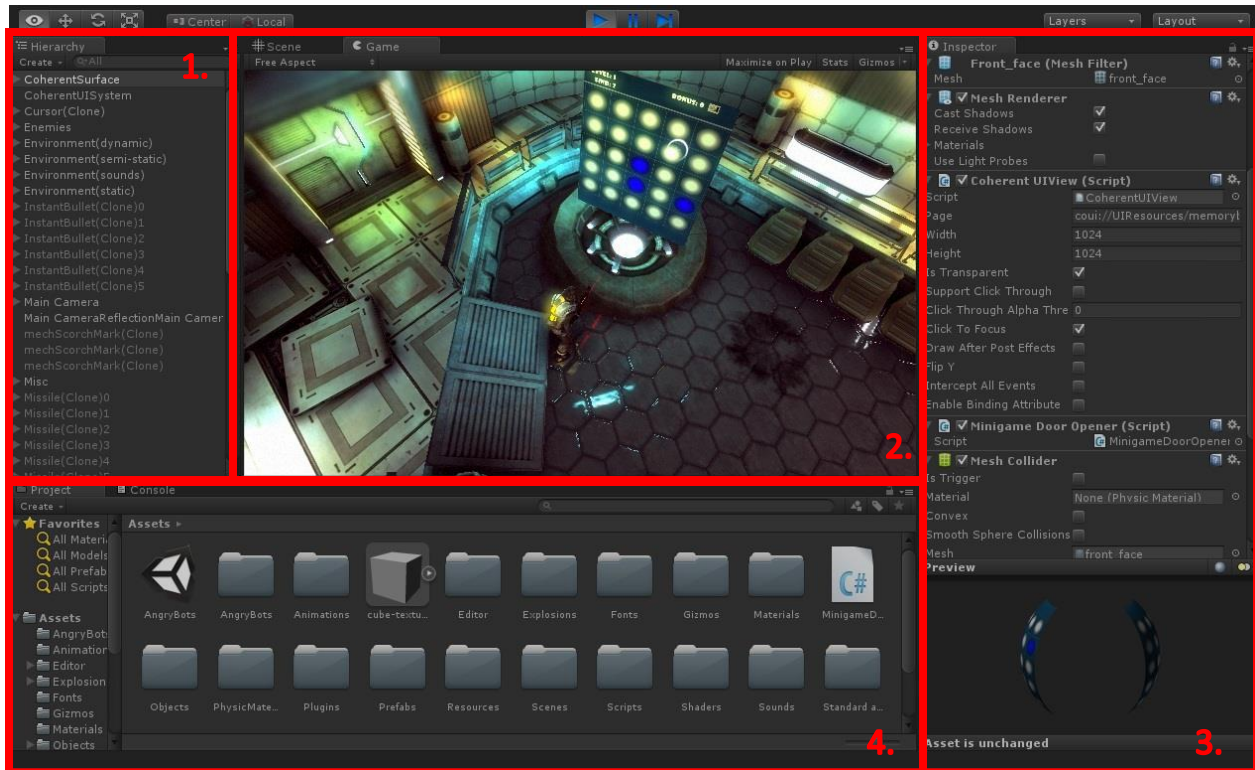
Επιπροσθέτως δίνεται η δυνατότητα προσθήκης ψηφιακού ήχου σε όποιο σημείο της εφαρμογής επιθυμεί ο χρήστης αλλά και με οποιαδήποτε παραμετροποίηση αλλά και δημιουργίας ειδικού φωτισμού για κάθε σκηνή ή αντικείμενο που θέλει ο χρήστης.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως ο τρόπος ανάπτυξης εφαρμογών με τη βοήθεια της Unity3D είναι αντικειμενοστραφής, όπως είναι και η γλώσσα C# που χρησιμοποιεί. Αυτό σημαίνει πως κάθε αντικείμενο της εφαρμογής αποτελεί μια ξεχωριστή οντότητα μέσα στην εφαρμογή, έχει δικές του ιδιότητες και χαρακτηριστικά και μπορεί να παραμετροποιηθεί και να προγραμματιστεί μοναδικά από τον εκάστοτε χρήστη.

Τελικά, με όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας μιας εφαρμογής πλήρως λειτουργικής και παραμετροποιημένης σύμφωνα με τις ανάγκες του δημιουργού για την πλατφόρμα την οποία επιθυμεί.

3.1.2. Το περιβάλλον εργασίας της μηχανής παιχνιδιών Unity3D

Μία χαρακτηριστική απεικόνιση του περιβάλλοντος εργασίας της μηχανής παιχνιδιών Unity3D εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 66) και κάθε στοιχείο της θα αναλυθεί στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.



Εικόνα 66: Το περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών της Unity3D.

(Πηγή: <https://coherent-labs.com/posts/unity-3d-facebook-integration-with-coherent-ui-tutorial/>)

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, το περιβάλλον εργασίας της Unity χωρίζεται σε τέσσερα διαφορετικά κομμάτια τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω:

1. Το πρώτο κομμάτι αφορά στην ιεραρχία της πληροφορίας της εφαρμογής ή σε πιο πολύπλοκες εφαρμογές την ιεραρχία της πληροφορίας στην συγκεκριμένη σκηνή της εφαρμογής. Συγκεκριμένα, κάθε αντικείμενο που έχει προσθέσει ο χρήστης (π.χ. τρισδιάστατο μοντέλο, φωτισμός, ήχος, κ.ά.) αποτελεί ένα επίπεδο πληροφορίας. Έτσι με την ιεράρχησή τους μπορούν τα αντικείμενα να κατατάσσονται σε ομάδες πληροφορίας αλλά και κατά σημαντικότητα. Η ενότητα αυτή του περιβάλλοντος είναι πολύ χρήσιμη στο χρήστη καθώς βοηθάει στην εύκολη προσπέλαση της πληροφορίας που έχει προστεθεί στην εφαρμογή.

2. Το δεύτερο κομμάτι αφορά στην οπτική αναπαράσταση των αντικειμένων που έχει προσθέσει ο χρήστης στην εφαρμογή. Ουσιαστικά, εμφανίζει τον ψηφιακό τρισδιάστατο χώρο που έχει δημιουργήσει ο χρήστης, δίνει δυνατότητες χωροθέτησης των αντικειμένων της εφαρμογής αλλά και την ελεύθερη παρακολούθησή του χώρου από όλες τις πιθανές οπτικές γωνίες.

3. Στο τρίτο κομμάτι δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα παραμετροποίησης οποιουδήποτε αντικειμένου ή επιπέδου πληροφορίας επιλέξει. Δηλαδή, ο χρήστης επιλέγοντας ένα αντικείμενο από το υποπαράθυρο της ιεραρχίας των αντικειμένων (που επεξηγήθηκε ως πρώτο κομμάτι) του εμφανίζονται όλες οι δυνατότητες παραμετροποίησης που έχει το συγκεκριμένο αντικείμενο. Οι δυνατότητες αυτές ποικίλλουν ανάλογα με το αντικείμενο οι συνηθέστερες όμως αναφέρονται παρακάτω:
 - **Αλλαγή θέσης, κλίμακας & στροφής** του αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο
 - **Αλλαγή της υφής & του φωτισμού** του αντικειμένου
 - **Παραμετροποίηση των φυσικών ιδιοτήτων & των ιδιοτήτων σύγκρουσης** του αντικειμένου
 - **Προσθήκη αρχείων κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού C# & ρύθμιση των παραμέτρων τους** που αφορούν στο συγκεκριμένο αντικείμενο
 - **Προεπισκόπηση** του αντικειμένου
 - **Επιπλέον επιλογές** όπως ταχύτητα κίνησης αν το αντικείμενο είναι κινούμενο ή γενικά επιλογές συμπεριφοράς ενός αντικειμένου μέσα στην εφαρμογή

4. Το τέταρτο και τελευταίο κομμάτι του περιβάλλοντος εργασίας της Unity αφορά στην προσπέλαση των αρχείων του ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη βοήθεια του οποίου αναπτύσσεται η εκάστοτε εφαρμογή. Το συγκεκριμένο υποπαράθυρο καθίσταται πολύ χρήσιμο κατά τη διάρκεια δημιουργίας μιας εφαρμογής καθώς απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό την εισαγωγή αρχείων μέσα στο περιβάλλον της Unity και κατά συνέπεια της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Για παράδειγμα, τέτοια αρχεία μπορεί να είναι κώδικες προγραμματισμού, τρισδιάστατα μοντέλα, υφές τρισδιάστατων μοντέλων ή ακόμη και αρχεία ήχου.

Έτσι, κάθε χρήστης χρησιμοποιώντας το παραπάνω περιβάλλον σε συνδυασμό με προγραμματισμό σε οποιοδήποτε περιβάλλον επιθυμεί (π.χ. Microsoft Visual Studio) μπορεί να συνθέσει την εφαρμογή που θέλει.

3.1.3. Αδυναμίες Unity για τον χειρισμό τρισδιάστατων μοντέλων

Ειδική μνεία πρέπει να γίνει στον τρόπο που η μηχανή παιχνιδιών Unity (έκδοση 5.5.1) αντιμετωπίζει τα τρισδιάστατα μοντέλα που εισάγονται στο περιβάλλον της.

Η μηχανή παιχνιδιών Unity έκδοσης 5.5.1 δέχεται αρκετές μορφές αρχείων τρισδιάστατων μοντέλων όπως .obj ή .fbx αλλά και αρχεία που προέρχονται απευθείας από τα λογισμικά Autodesk 3ds Max (με κατάληξη .max), Blender (με κατάληξη .blend) κ.ά. Όμως, στην πραγματικότητα κατά την εισαγωγή αυτών των αρχείων στο περιβάλλον της Unity μετατρέπονται όλα στην μορφή .fbx μιας και είναι η μόνη που μπορεί να υποστεί διαχείριση και να τροποποιηθεί από τη συγκεκριμένη μηχανή παιχνιδιών.

Όσον αφορά στην υφή των τρισδιάστατων μοντέλων, εφόσον αυτή υπάρχει και είναι χαρτογραφημένη, εισάγεται ξεχωριστά στο περιβάλλον της εφαρμογής και μέσω της χαρτογράφησης της τοποθετείται πάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο.

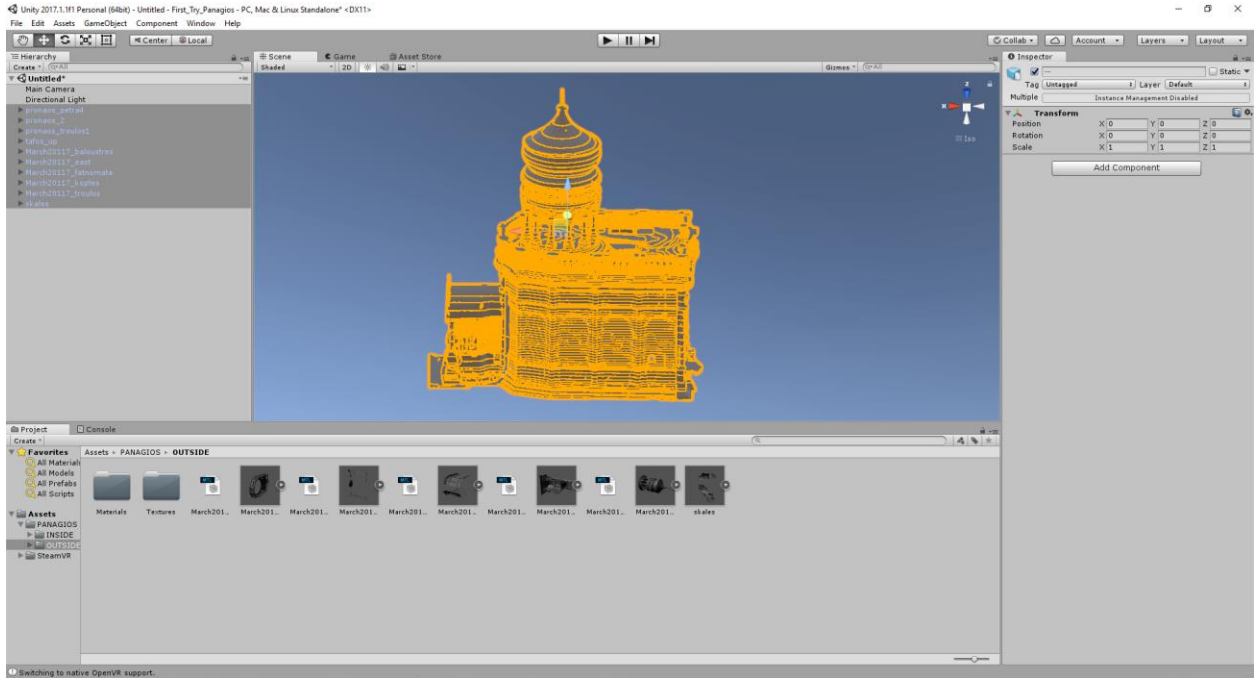
Σημειώνεται, πως ο τρόπος εισαγωγής τρισδιάστατων μοντέλων στο περιβάλλον είναι πολύ εύχρηστος και προσφέρει δυνατότητες μετασχηματισμού των συντεταγμένων αλλά και των μονάδων μέτρησης με σκοπό να ταυτιστούν με αυτά της εφαρμογής που αναπτύσσεται.

Το πρόβλημα σχετικά με την αντιμετώπιση των τρισδιάστατων μοντέλων από την μηχανή Unity προέκυψε αφού εισήχθη το μοντέλο, που επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, στο περιβάλλον της. Καθότι πρόκειται για ένα πολύ λεπτομερές και πολύπλοκο μοντέλο, το οποίο θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο και περιέχει 35.414.290 τρισδιάστατα τρίγωνα η μηχανή δεν μπορούσε να το αντιμετωπίσει ως μια συνολική οντότητα. Συγκεκριμένα, η έκδοση 5.5.1 που δοκιμάστηκε είχε τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει ως συνολικές οντότητες τρισδιάστατα μοντέλα με μέγιστο αριθμό τριγώνων τα 65.535, δηλαδή μέγεθος πληροφορίας τα 16 bit.

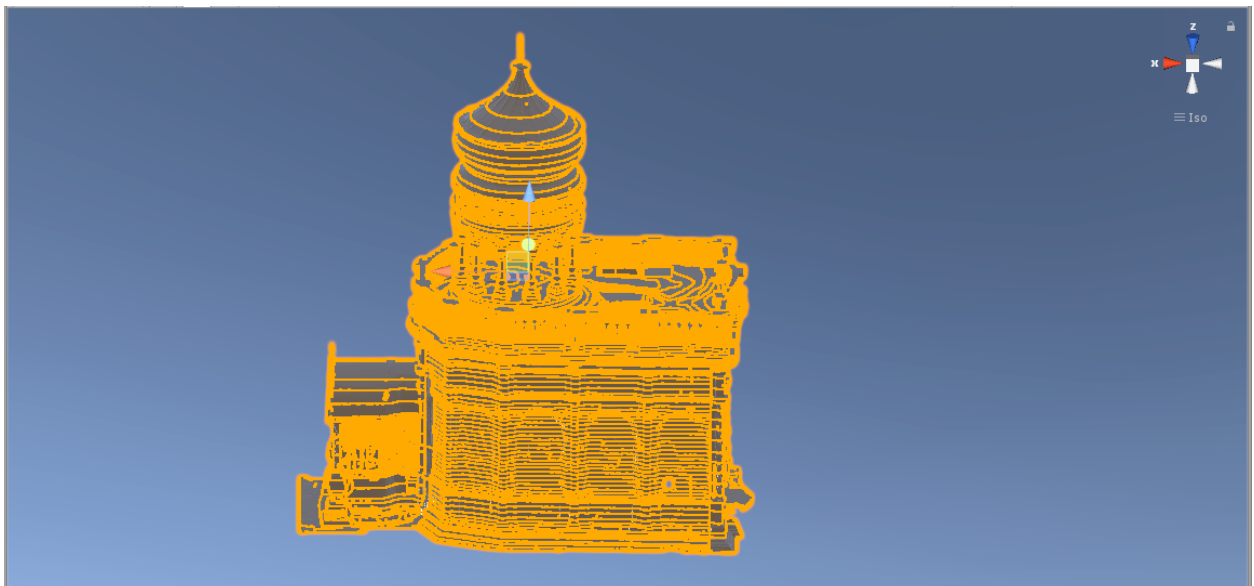
Τελικά, πραγματοποιώντας τη διαίρεση προκύπτει πως η Unity χώριζε αυθαίρετα το τρισδιάστατο μοντέλο σε 541 τμήματα. Όσον αφορά στην απεικόνιση του μοντέλου με αυτά τα δεδομένα δεν παρουσιάστηκε κανένα πρόβλημα. Αντίθετα, μετά από δοκιμές που έγιναν με το σύστημα ανίχνευσης χωρικών οντοτήτων της Unity που ονομάζεται Raycasting, παρατηρήθηκε ότι λόγω του αυθαίρετου διαχωρισμού του μοντέλου σε μικρότερα μοντέλα δημιουργούνταν «φλίδες» οι οποίες δεν μπορούσαν να ανιχνευθούν.

Τελικά, καθότι αυτό θα δημιουργούσε σημαντικό πρόγραμμα στην ανάπτυξη της εφαρμογής της παρούσας διπλωματικής και δεν μπορούσε να ξεπεραστεί στην συγκεκριμένη έκδοση αποφασίστηκε να μην χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη μηχανή παιχνιδιών.

Παρακάτω απεικονίζεται ο διαχωρισμός του τρισδιάστατου μοντέλου από τη Unity σε μικρότερα μοντέλα «φλίδες».



Εικόνα 67: Το τρισδιάστατο μοντέλο στο περιβάλλον της μηχανής παιχνιδιών Unity3D



Εικόνα 68: Κοντινότερη άποψη από τις «φλίδες» που δημιουργεί η Unity3D

3.2 Η μηχανή παιχνιδιών Unreal Engine

3.2.1 Βασικές αρχές της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine

Η μηχανή παιχνιδιών Unreal Engine έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία Epic Games και η πρώτη έκδοσή της έγινε διαθέσιμη στο κοινό το 1998 μαζί με το βιντεοπαιχνίδι Unreal που είναι το πρώτο που φτιάχτηκε σε αυτή τη μηχανή. Αρχικά, αναπτύχθηκε με σκοπό να δημιουργούνται σε αυτή παιχνίδια πρώτου προσώπου αλλά στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε και για πλήθος άλλων εφαρμογών. Η τελευταία έκδοση του λογισμικού είναι η 4 και πιο συγκεκριμένα η 4.21. Σημειώνεται πως στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 4.18 μιας και ήταν η τελευταία σταθερή έκδοση την περίοδο που αναπτύχθηκε η εφαρμογή.

Η συγκεκριμένη μηχανή μπορεί να λειτουργήσει σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές με λειτουργικό σύστημα είτε Windows είτε macOS είτε Linux και μπορεί να αναπτύξει εφαρμογές για τις παρακάτω πλατφόρμες:

1. Microsoft Windows
2. macOS
3. Linux
4. SteamOS
5. HTML5
6. iOS
7. Android
8. Nintendo Switch
9. PlayStation 4
10. Xbox One
11. Magic Leap One
12. SteamVR – HTC Vive
13. Oculus Rift
14. PSVR
15. Google Daydream
16. OSVR
17. Samsung Gear VR

Οι δυνατότητες που προσφέρει η συγκεκριμένη μηχανή είναι αρκετά παρεμφερείς με αυτές της μηχανής Unity που αναλύθηκε παραπάνω. Δηλαδή, δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει ψηφιακές εφαρμογές τόσο σε δισδιάστατο όσο και σε τρισδιάστατο περιβάλλον.

Οι βιβλιοθήκες απεικόνισης γραφικών που χρησιμοποιεί η μηχανή, οι οποίες επιλέγονται ανάλογα με την πλατφόρμα ανάπτυξης της εφαρμογής και είναι οι παρακάτω:

- DirectX10 & 11 (Windows)
- OpenGL (Linux, macOS & Windows)
- OpenGL ES (Android & iOS)
- VR Forward Rendering (Εφαρμογές VR)
- Metal (iOS & macOS)
- Vulkan (Android, Linux & Windows)

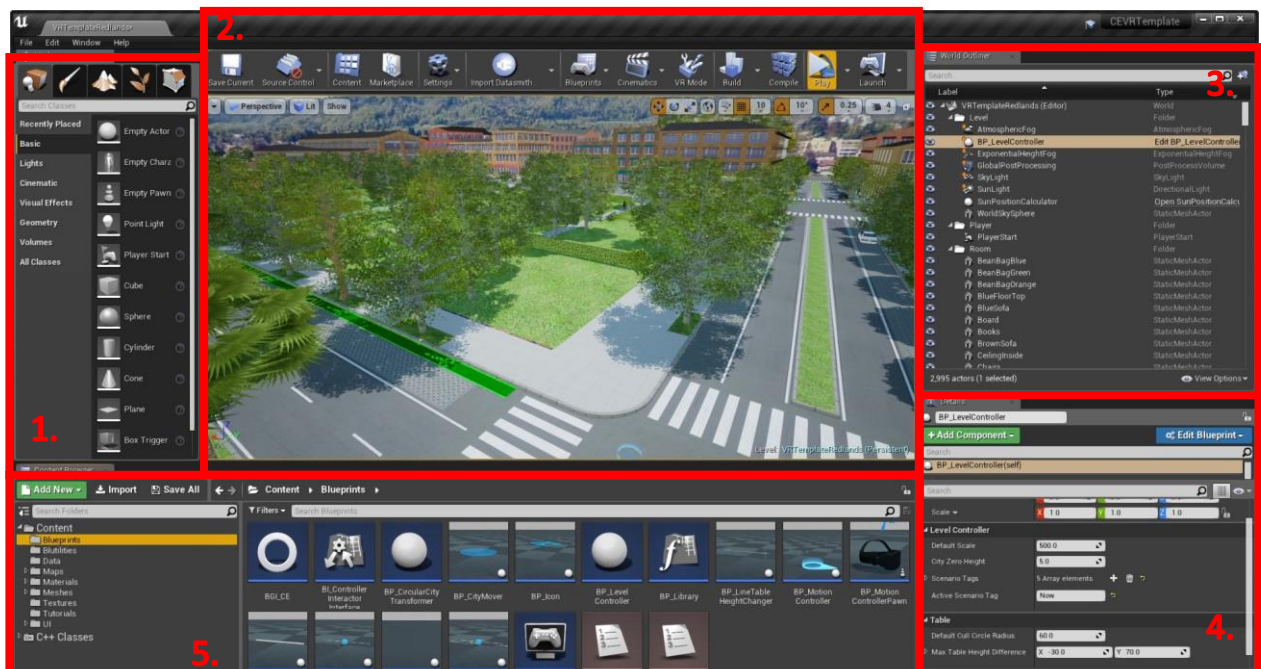
Πρόκειται για μια πλήρως εκσυγχρονισμένη μηχανή παιχνιδιών η οποία παρέχει πολλές δυνατότητες παραμετροποίησης και εμπλουτισμού της εφαρμογής που δημιουργεί ο εκάστοτε χρήστης. Προσομοιάζει και αυτή τις φυσικές ιδιότητες των αντικειμένων που χρησιμοποιεί αλλά και τα φυσικά φαινόμενα – χαρακτηριστικά του περιβάλλοντός του εφόσον αυτό είναι επιθυμητό από τον δημιουργό της εφαρμογής. Επίσης, η δυνατότητα προσθήκης ήχου στην εφαρμογή είναι δυνατή.

Μεγάλο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μηχανής είναι η δυνατότητα δημιουργίας αντικειμένων με τεχνητή νοημοσύνη. Αυτό σημαίνει πως μπορεί να προγραμματιστεί η συμπεριφορά ενός αντικειμένου προκειμένου να αντιδρά «αυτόβουλα» στα ερεθίσματα που λαμβάνει από το ψηφιακό του περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατό να δημιουργηθεί ένα πλήρως διαδραστικό περιβάλλον σε μια εφαρμογή που θα βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό την εμπειρία του τελικού χρήστη.

Επιπλέον, πλεονέκτημα της μηχανής Unreal Engine είναι η χρήση της βιβλιοθήκης απεικόνισης γραφικών DirectX10 & 11 αλλά και ο τρόπος προγραμματισμού που εισήχθη στην έκδοση 4 και θα αναλυθεί παρακάτω.

3.2.2. Το περιβάλλον εργασίας της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine 4

Μία χαρακτηριστική απεικόνιση του περιβάλλοντος εργασίας της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine 4 εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 69) και κάθε στοιχείο της θα αναλυθεί στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.



Εικόνα 69: Το περιβάλλον εργασίας της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine

(Πηγή: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/city-engine/design-planning/ce-ue4-vr-experience/>)

Το περιβάλλον εργασίας της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine 4 χωρίζεται σε πέντε βασικά υποπαράθυρα όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Τα υποπαράθυρα αυτά θα αναλυθούν παρακάτω:

1. Το πρώτο υποπαράθυρο περιέχει όλα τα νέα αντικείμενα το οποία μπορούν να προστεθούν στην εκάστοτε εφαρμογή. Δηλαδή, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη μέσω αυτού να προσθέσει από έτοιμα γεωμετρικά σχήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οντότητες, να τροποποιήσει τη γεωγραφία του περιβάλλοντος χώρου και να του προσθέσει βλάστηση, να προσθέσει υψές στις γεωμετρικές οντότητες, να προσθέσει οντότητες φωτισμού, οπτικές γωνίες από τις οποίες ο τελικός χρήστης θα βλέπει τον χώρο όταν χρησιμοποιεί την εφαρμογή κ.ά.
2. Το δεύτερο υποπαράθυρο περιέχει εργαλεία χρήσιμα για την γενική επιθεώρηση των εφαρμογών που δημιουργούνται με την μηχανή Unreal Engine 4. Παρέχει δυνατότητες όπως αποθήκευση του ό,τι έχει δημιουργηθεί μέχρι εκείνη τη στιγμή, εισαγωγή δεδομένων από το διαδίκτυο, διαχείριση του γενικού κώδικα της εφαρμογής, γενικές ρυθμίσεις της εφαρμογής και μεταγλώττισή της (compiling) κ.ά. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δοκιμάσει την εφαρμογή που έχει δημιουργήσει για την συγκεκριμένη πλατφόρμα. Επιπροσθέτως, εμφανίζει την οπτική αναπαράσταση των αντικειμένων που έχει προσθέσει ο χρήστης στην εφαρμογή. Δηλαδή, όπως προαναφέρθηκε, εμφανίζει τον ψηφιακό τρισδιάστατο χώρο που έχει δημιουργήσει ο χρήστης, δίνει δυνατότητες χωροθέτησης των αντικειμένων της εφαρμογής αλλά και την ελεύθερη παρακολούθησή της από όλες τις πιθανές οπτικές γωνίες.
3. Το τρίτο υποπαράθυρο αναφέρεται στην διαχείριση των αντικειμένων και των επιπέδων πληροφορίας που έχουν εισαχθεί στην εκάστοτε εφαρμογή. Συγκεκριμένα μπορούν κρυφτούν ή να εμφανιστούν αντικείμενα της εφαρμογής, μπορούν να δημιουργηθούν ομάδες με αντικείμενα πληροφορίας αλλά και να αφαιρεθούν αντικείμενα. Επιπλέον, με διπλό κλικ στο κάθε αντικείμενο γίνεται προεπισκόπηση του αντικειμένου σε ξεχωριστό παράθυρο όπου το αντικείμενο μπορεί να περιστραφεί ελεύθερα. Επίσης, στο συγκεκριμένο παράθυρο δίνονται στο χρήστη και οι δυνατότητες παραμετροποίησης που του δίνονται στο υποπαράθυρο 4.
4. Το τέταρτο υποπαράθυρο αφορά στην παραμετροποίηση των χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου. Επιλέγοντας ένα αντικείμενο, από το τρίτο υποπαράθυρο, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να τροποποιήσει όλα χαρακτηριστικά καθίσταται εφικτό για το εν λόγω αντικείμενο. Τέτοια χαρακτηριστικά μπορεί να είναι:
 - **Αλλαγή θέσης, κλίμακας & στροφής** του αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο
 - **Αλλαγή της υψής & του φωτισμού** του αντικειμένου

- **Παραμετροποίηση των φυσικών ιδιοτήτων & των ιδιοτήτων σύγκρουσης** του αντικειμένου
- **Επιπλέον επιλογές** όπως ταχύτητα κίνησης αν το αντικείμενο είναι κινούμενο ή γενικά επιλογές συμπεριφοράς ενός αντικειμένου μέσα στην εφαρμογή
- **Προσθήκη αρχείων κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού C++ & ρύθμιση των παραμέτρων τους** που αφορούν στο συγκεκριμένο αντικείμενο ή προγραμματισμός του αντικειμένου χρησιμοποιώντας **Blueprints**

5. Το πέμπτο και τελευταίο κομμάτι του περιβάλλοντος εργασίας της Unreal Engine 4 αφορά στην προσπέλαση των αρχείων του ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη βοήθεια του οποίου αναπτύσσεται η εκάστοτε εφαρμογή. Όπως προαναφέρθηκε και για τη μηχανή Unity3D, καθίσταται πολύ χρήσιμο κατά τη διάρκεια δημιουργίας μιας εφαρμογής καθώς απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό την εισαγωγή αρχείων μέσα στο περιβάλλον της Unity και κατά συνέπεια της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Για παράδειγμα, τέτοια αρχεία μπορεί να είναι κώδικες προγραμματισμού, τρισδιάστατα μοντέλα, υφές τρισδιάστατων μοντέλων ή ακόμη και αρχεία ήχου.

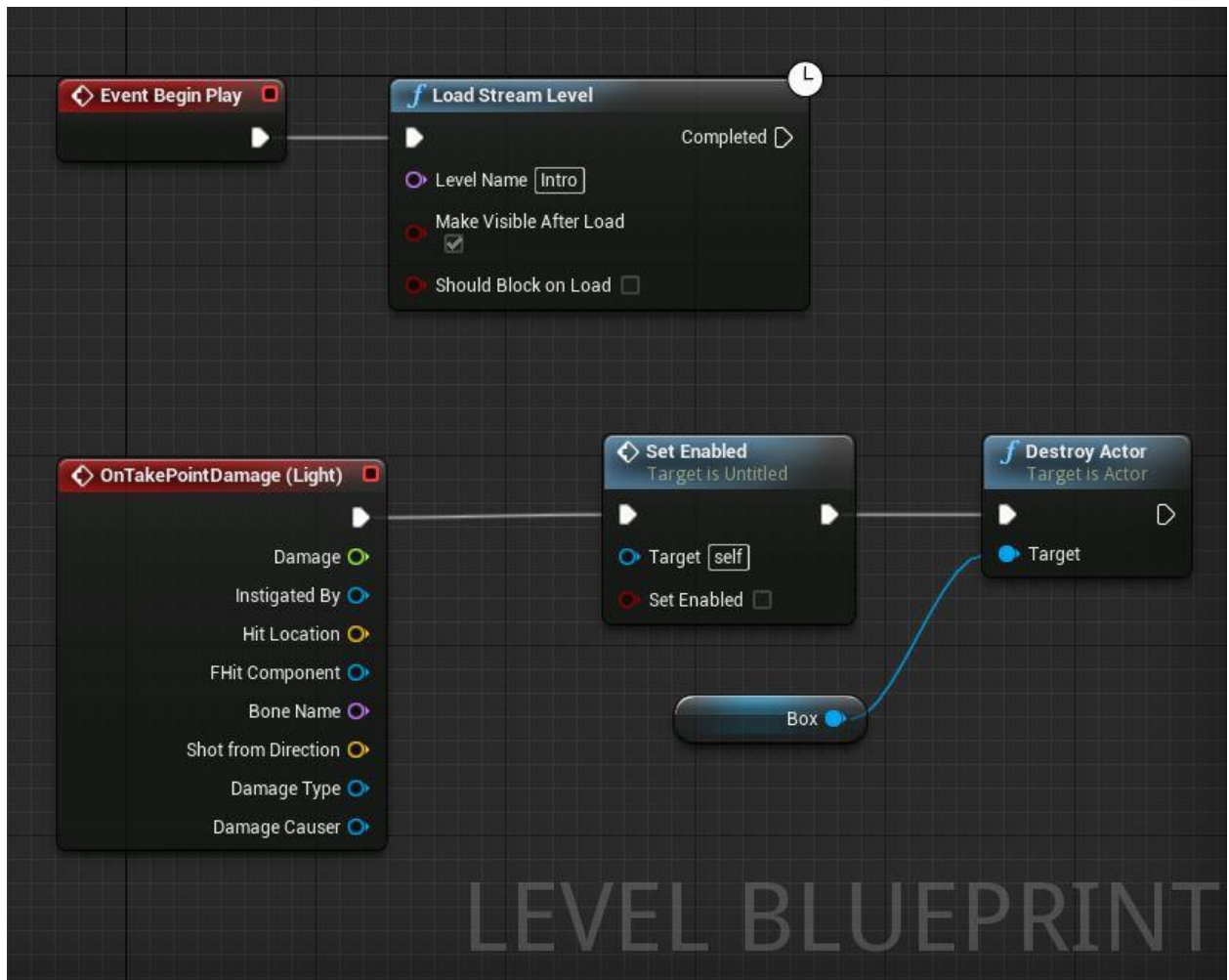
3.2.3 Οι τρόποι προγραμματισμού στην μηχανή παιχνιδιών Unreal Engine 4

Η μηχανή παιχνιδιών Unreal Engine 4 πέρα από τον κλασικό τρόπο προγραμματισμού των εφαρμογών της σε γλώσσα C++ με τη βοήθεια ενός λογισμικού όπως είναι το Microsoft Visual Studio προσφέρει στους χρήστες της και τη δυνατότητα εικονικού προγραμματισμού με τη βοήθεια του συστήματος των Blueprints που έχει δημιουργήσει. Η δυνατότητα αυτή δίνει ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα στην συγκεκριμένη εφαρμογή μιας και επιτρέπει με αυτόν τον τρόπο σε χρήστες οι οποίοι δεν είναι εξοικειωμένοι σε μεγάλο βαθμό με την προγραμματισμό και τη συγκεκριμένη γλώσσα.

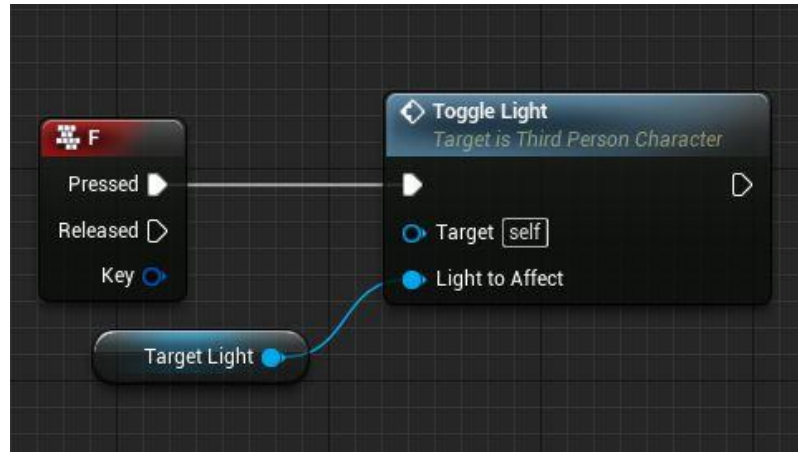
Ουσιαστικά με τη μέθοδο των Blueprints κάθε αντικείμενο έχει την δική του ξεχωριστή σελίδα που προορίζεται για τον προγραμματισμό του. Στην σελίδα αυτή, κάθε εντολή αντιπροσωπεύεται από κουτάκια που περιέχουν την εντολή και της παραμέτρους της οι οποίες μπορούν να τροποποιηθούν. Τελικά, κάθε εντολή συνδέεται με την επόμενη με τη βοήθεια απλών συνδέσμων συνέχειας, λογικών ή μαθηματικών τελεστών αλλά και εξειδικευμένων συνδέσμων ανάλογα με την περίπτωση.

Πρέπει να τονιστεί πως με τον συγκεκριμένο τρόπο προγραμματισμού παρέχονται όλες οι δυνατότητες που προσφέρει ο κλασικός προγραμματισμός και δεν χάνεται καμία δυνατότητα. Μπορούν ενδεικτικά να δημιουργηθούν συναρτήσεις, επαναληπτικές διαδικασίες, εμφωλευμένες διαδικασίες, λογικές διαδικασίες κ.λπ..

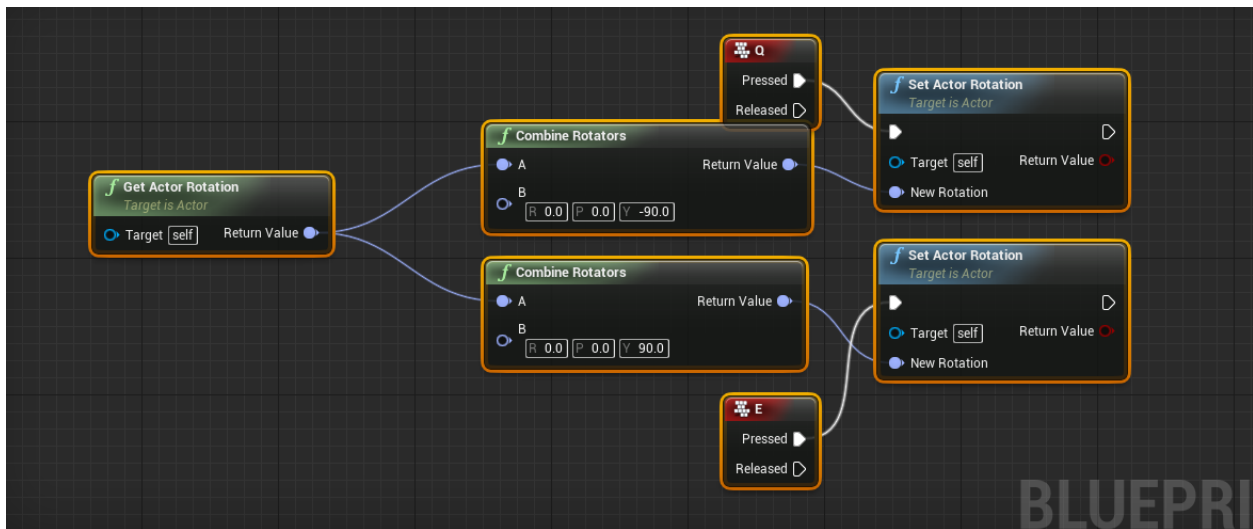
Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά στιγμιότυπα από προγραμματισμό σε Blueprints στην μηχανή Unreal Engine 4.



Εικόνα 70: Παράδειγμα εικονικού προγραμματισμού του επιπέδου ενός παιχνιδιού στη μηχανή Unreal Engine 4 (Πηγή: <https://docs.unrealengine.com/en-us/Engine/Blueprints/UserGuide/EventGraph>)



Εικόνα 71: Παράδειγμα δημιουργίας ενός διακόπτη φωτός με το πλήκτρο F με τη βοήθεια Blueprints στην Unreal Engine 4
(Πηγή: <https://uengine.ru/site-content/docs/blueprints-docs/direct-communication>)



Εικόνα 72: Παράδειγμα δημιουργίας κίνησης ενός χαρακτήρα με τη βοήθεια Blueprints στη μηχανή Unreal Engine 4
(Πηγή: <https://answers.unrealengine.com/questions/107146/simple-movement-blueprint.html>)

Συνοψίζοντας, με τον προγραμματισμό σε Blueprints ο χρήστης απαλλάσσεται από την ανάγκη χρήσης συγκεκριμένου συντακτικού προκειμένου να λειτουργήσει ο κώδικάς του μιας και η μηχανή παιχνιδιών Unreal Engine 4 αναλαμβάνει να μεταφράσει σε πραγματικό κώδικα τον εικονικό προγραμματισμό του.

3.3 Σύγκριση των δύο μηχανών παιχνιδιού

Όπως είναι προφανές από όσα αναλύθηκαν παραπάνω, η μηχανή παιχνιδιών που επιλέχθηκε για να αναπτυχθεί η εφαρμογή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η Unreal Engine 4 καθότι η βιβλιοθήκη απεικόνισης γραφικών DirectX11 κατάφερε να απεικονίσει το τρισδιάστατο μοντέλο ως μια ενιαία οντότητα.

Συγκρίνοντας τις μηχανές Unity και Unreal Engine 4 βγαίνει το συμπέρασμα πως οι δυνατότητες που παρέχουν είναι κατά βάση παρεμφερείς. Οι διαφορές των δύο μηχανών έγκεινται κυρίως στον τρόπο και στη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιούν με την Unreal Engine 4 να πλεονεκτεί σε αυτό το κομμάτι καθότι δεν απαιτεί από το χρήστη της να είναι έμπειρος και εξειδικευμένος στη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιεί.

Μια άλλη βασική διαφορά των δύο είναι τα έτοιμα – προσχεδιασμένα αντικείμενα που προσφέρουν αλλά η ευκολία του περιβάλλοντος εργασίας τους. Τα προσχεδιασμένα αντικείμενα είναι παρεμφερή με την Unreal Engine να πλεονεκτεί σε ό,τι αφορά στον σχεδιασμό του περιβάλλοντα χώρου. Σχετικά με το περιβάλλον εργασίας τους, η Unity προσφέρει ένα πιο απλό περιβάλλον μιας και η δημιουργία των εφαρμογών της βασίζεται στον προγραμματισμό σε αντίθεση με την Unreal Engine 4 που προσφέρει ένα αρκετά περίπλοκο περιβάλλον με πολλές έτοιμες λειτουργίες προκειμένου να αποφευχθεί, όσο αυτό είναι εφικτό, ο προγραμματισμός.

Επιπροσθέτως, όπως διαπιστώθηκε και από όσα προαναφέρθηκαν στον συγκεκριμένο κεφάλαιο καλύτερη αντιμετώπιση στα πολύπλοκα τρισδιάστατα μοντέλα έχει η μηχανή Unreal Engine 4.

Τελικά, λαμβάνοντας υπόψη όλα όσα αναλύθηκαν στο συγκεκριμένο κεφάλαιο βγαίνει το συμπέρασμα πως και οι δύο μηχανές παιχνιδιού που μελετήθηκαν έχουν τα πλεονεκτήματά τους και τα μειονεκτήματά τους αλλά είναι κορυφαίες στον τομέα τους. Η επιλογή κάποιας από τις δύο για την ανάπτυξη μιας ψηφιακής εφαρμογής έγκειται καθαρά στις γνώσεις, τις ανάγκες και της απαιτήσεις του εκάστοτε δημιουργού, αφού η Unity3D βασίζεται ξεκάθαρα στον προγραμματισμό σε γλώσσα C# ενώ με την Unreal Engine μπορεί να αποφευχθεί η χρήση κλασικού προγραμματισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ανάλυση της εφαρμογής που αναπτύχθηκε

Όπως αναφέρθηκε στα δύο προηγούμενα κεφάλαια για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το σύστημα εικονικής πραγματικότητας **HTC Vive** και η μηχανή παιχνιδιών (Game Engine) **Unreal Engine 4**.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αναλυθούν οι δυνατότητες της εφαρμογής, ο τρόπος που αναπτύχθηκε και προγραμματίστηκε και οι αρχές λειτουργίας της.

Επιπλέον, προκειμένου η εφαρμογή να ελεγχθεί και να αξιολογηθεί χρησιμοποιήθηκε ως τρισδιάστατο μοντέλο ελέγχου αυτό του Ιερού Κουβουκλίου του Ναού του Παναγίου Τάφου που δημιουργήθηκε κατά τις εργασίες αποκατάστασής του (2016 – 2017) τις οποίες ανέλαβε η διεπιστημονική ομάδα του ΕΜΠ. (Georgoroulos et al. 2017, Μοροπούλου et al. 2017)

4.1 Ο Ναός της Αναστάσεως στα Ιεροσόλυμα

Ο Ναός της Αναστάσεως στα Ιεροσόλυμα βρίσκεται στη χριστιανική συνοικία, στο δυτικό μέρος της παλαιάς πόλης της Ιερουσαλήμ. Είναι ο παλιότερος και σπουδαιότερος ναός από θρησκευτικής άποψης, αποτελώντας το πνευματικό κέντρο ολόκληρου του Χριστιανισμού, καθώς εκεί λέγεται πως σταυρώθηκε, τάφηκε και αναστήθηκε ο Ιησούς Χριστός. Η ιστορία του ναού ξεπερνά τους είκοσι αιώνες (Balodimos et al. 2014).

Πρόκειται για ένα πολυσύνθετο οικοδόμημα όπου η ποικιλία των αρχιτεκτονικών ρυθμών και οι αντιθέσεις τους μαρτυρούν την τόσο μακράιωνη και πολυτάραχη ιστορία του. Σήμερα, ο ναός αυτός είναι ένα ζωντανό μνημείο που το επισκέπτονται κάθε χρόνο χιλιάδες πιστοί. Όλες οι διαφορετικές χριστιανικές κοινότητες είναι ενεργές και εκπροσωπούνται μέσα στο ναό. Υπάρχει μια μοναδική κατάσταση κοινοκτημοσύνης του ναού σεβαστή από όλες τις κοινότητες η οποία μετά βίας γίνεται αντιληπτή από τους επισκέπτες. (Georgoroulos A. , et al. 2017)

Αξίζει να αναφερθεί ότι τρεις εκκλησίες έχουν τα βασικά κυριαρχικά δικαιώματα στο Ναό της Αναστάσεως, το Ελληνορθόδοξο Πατριαρχείο, το Τάγμα των Φραγκισκανών Μοναχών και το Αρμενικό Πατριαρχείο, ενώ οι Αιγύπτιοι Κόπτες, οι Σύριοι και οι Αιθίοπες έχουν το δικαίωμα της προσευχής και πολύ περιορισμένα δικαιώματα. Οι χριστιανοί των υπόλοιπων δογμάτων μπορούν να επισκέπτονται το ναό ως απλοί προσκυνητές.



Εικόνα 73: Ο Ναός της Αναστάσεως στη σημερινή του μορφή.
(Πηγή: John Arnold / AWL / Getty Images)

4.1.1 Ιστορικά Στοιχεία του Ναού της Αναστάσεως

Η ιστορία του Ναού της Αναστάσεως συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία. (Διεπιστημονική Ομάδα ΕΜΠ, National Geographic Society) , (impantokratoros.gr)

- Το διάστημα **136 – 137 μ.Χ.** ο αυτοκράτορας της Ρώμης Αδριανός, για να εμποδίσει τη μεγάλη προσέλευση προσκυνητών, διέταξε την επιχωμάτωση του Γολγοθά και του Τάφου του Χριστού. Μπροστά από τον Τάφο έχτισε Ναό αφιερωμένο σε τέσσερις θεότητες (Δίας, Ήρα, Αθηνά και Αφροδίτη) σε ένδειξη κυριαρχίας και εξουσίας.
- Το διάστημα **325 – 335 μ.Χ.** η Αγία Ελένη και ο αυτοκράτορας Μέγας Κωνσταντίνος, ύστερα από την ανεύρεση του Τιμίου Σταυρού και των υπόλοιπων προσκυνημάτων, αποκαλύπτουν τον Τάφο του Χριστού κατεδαφίζοντας το ειδωλολατρικό μνημείο του Αδριανού και χτίζουν τον ναό της Αναστάσεως. Επιπλέον, κλείνουν τον τάφο του Χριστού σε οκταγωνικό κτίσμα, γνωστό ως Ιερό Κουβούκλιο.

- Το **614 μ.Χ.** οι Πέρσες κατακτούν της πόλη της Ιερουσαλήμ και προκαλούν καταστροφές στο Ναό της Αναστάσεως.
- Το **617 μ.Χ.** ο Πατριάρχης Ιεροσολύμων Μόδεστος ανοικοδομεί τον Ναό της Αναστάσεως.
- Το **1009 μ.Χ.** ο Αιγύπτιος Χαλίφης al-Hakim bi-Amr Allah (Αλ-Χακίμ μπι-αμρ-Αλλάχ) κατακτά την Ιερουσαλήμ και προκαλεί ολικές καταστροφές στα Ιερά Προσκυνήματα.
- Το διάστημα **1042 – 1048 μ.Χ.** ο Βυζαντινός Αυτοκράτορας Κωνσταντίνος ο Μονομάχος ανοικοδομεί τον Ναό της Αναστάσεως.
- Το **1099 μ.Χ.** οι Σταυροφόροι προσθέτουν στο Ιερό Κουβούκλιο ως προθάλαμο, το Παρεκκλήσι του Αγγέλου, στο σημείο που σύμφωνα με τις Άγιες Γραφές στάθηκε ο Άγγελος μετά την Ταφή του Χριστού.
- Το **1244 μ.Χ.** οι Μαμελούκοι καταλύουν την Ιερουσαλήμ στο όνομα του Σουλτάνου της Αιγύπτου και βεβηλώνουν τον Πανάγιο Τάφο.
- Το **1555 μ.Χ.** ο Κουστωδός του Τάγματος των Φραγκισκανών, Fra Bonifacio da Ragusa (Μπονιφάτσιο της Ραγκούζα) αναστηλώνει το Ναό της Αναστάσεως.
- Το διάστημα **1808 – 1810 μ.Χ.** ο αρχιτέκτων Κάλφας Κομνηνός ο Μυτιληναίος, έπειτα από καταστροφική πυρκαγιά, αναστήλωσε το Ιερό Κουβούκλιο στη μορφή που έχει σήμερα.
- Τα επόμενα χρόνια ο ναός υπέστη τρεις σεισμούς (**1834, 1836, 1927 μ.Χ.**) και μια επιπλέον πυρκαγιά το **1949 μ.Χ.**, με ανυπολόγιστες φθορές. Ωστόσο παρέμβαση από Βρετανούς για προστασία του Κουβουκλίου είχε πραγματοποιηθεί το **1947 μ.Χ.** με την προσθήκη ενός μεταλλικού κλωβού για την υποστήριξη του Κουβουκλίου. Παρόλες τις προσπάθειες αποκατάστασης των ζημιών, τα στατικά προβλήματα δεν επιλύθηκαν πλήρως.
- Το διάστημα **2016 – 2017 μ.Χ.** η Διεπιστημονική Ομάδα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπό το συντονισμό της Καθηγήτριας Αντωνίας Μοροπούλου προβαίνει σε αποκατάσταση του Ιερού Κουβουκλίου, με βάση την κοινή απόφαση των τριών Χριστιανικών Κοινοτήτων – Φυλάκων του Παναγίου Τάφου.

Όσα, συνοπτικά, παρουσιάστηκαν παραπάνω μαρτυρούν την δαιδαλώδη ιστορία του συγκεκριμένου μνημείου αλλά και την σημαντικότητά του ως πολυδιάστατο θρησκευτικό, ιστορικό και αρχιτεκτονικό μνημείο.



Εικόνα 74: Το Ιερό Κουβούκλιο του Παναγίου Τάφου την ημέρα της τελετής της Ανάστασης
(Πηγή: <http://www.ert.gr>)

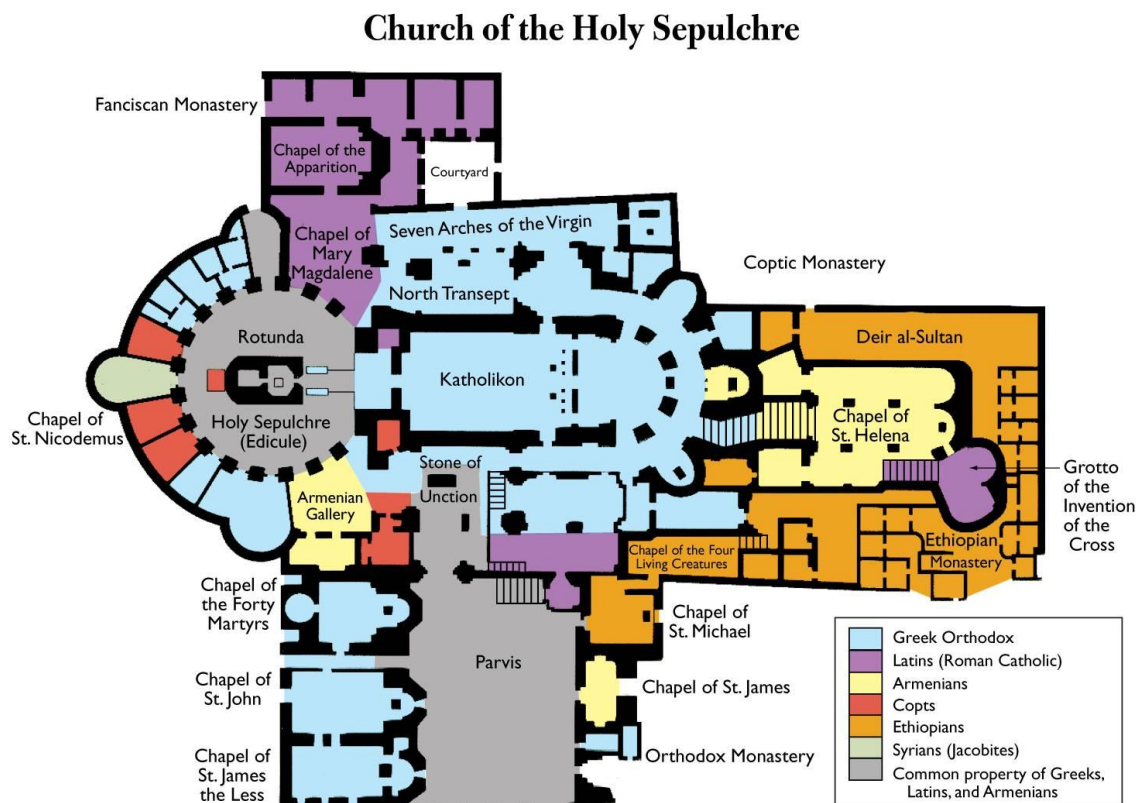


Εικόνα 75: Φωτογραφία από το εσωτερικό του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου.
(Πηγή: <https://www.cnn.gr>)

4.1.2 Αρχιτεκτονικά Στοιχεία του Ναού της Αναστάσεως

Ο Ναός της Αναστάσεως όπως μαρτυρά η ιστορία του είναι ένα μνημείο που χαρακτηρίζεται από μεγάλη αρχιτεκτονική πολυπλοκότητα. Η πολυπλοκότητα αυτή, οφείλεται στη πολυχρωμία, στη πολυγλωσσία και στη ποικιλία των δογμάτων που στεγάζει αιώνες τώρα, αλλά και στις συνεχείς εναλλαγές κυριότητας και κατακτητών, στις λεηλασίες και φυσικές καταστροφές που υπέστη και στις αλλεπάλληλες ανοικοδομήσεις και επισκευές, που τον διαμόρφωσαν σταδιακά στο πέρασμα των αιώνων.

Ουσιαστικά πρόκειται για ένα συγκρότημα κτιρίων, το οποίο περιλαμβάνει εκκλησίες, παρεκκλήσια, προσκυνήματα, δωμάτια, μπαλκόνια, διαδρόμους και βοηθητικούς χώρους. Παρακάτω φαίνεται η κάτοψη του Ναού της Αναστάσεως που εμφανίζονται όλα τα κτήρια που εμπεριέχονται σε αυτόν.



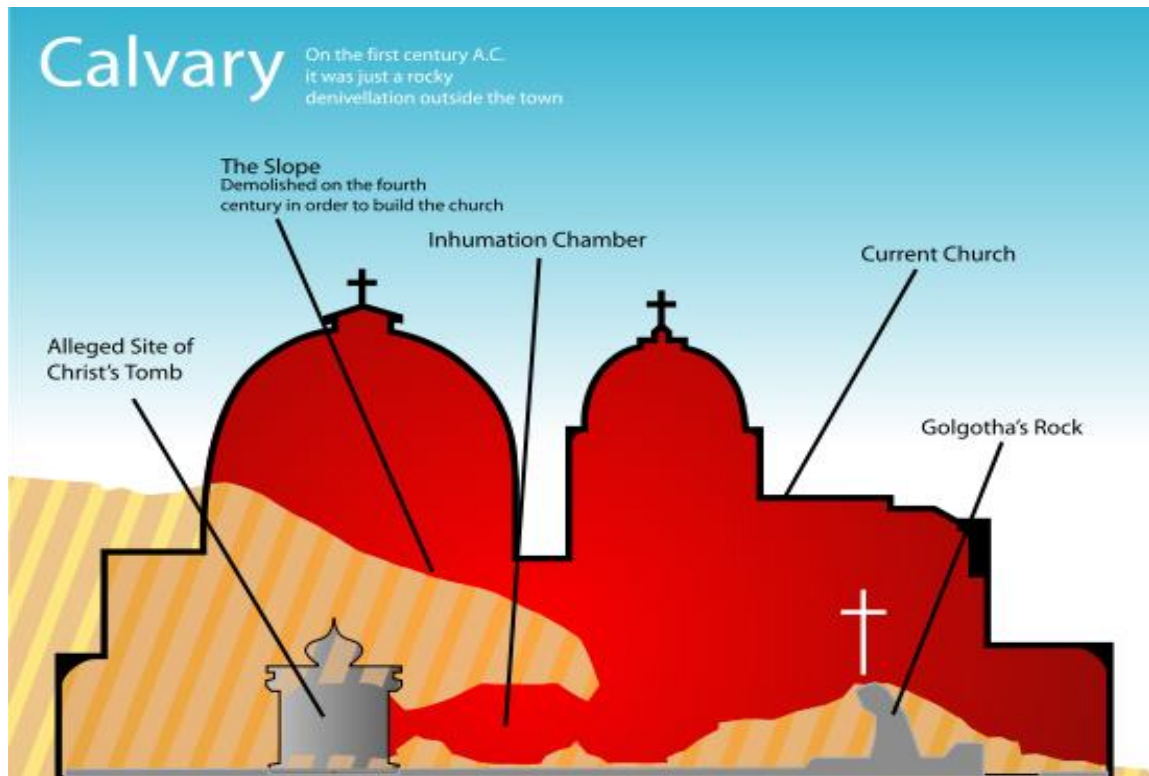
Εικόνα 76: Η κάτοψη του σημερινού Ναού της Αναστάσεως με διαχωρισμό των χώρων κάθε χριστιανικής κοινότητας (Πηγή: <http://beitemmett.blogspot.com/2009/10/holy-sepulchre-succot-and-hezekiahs.html>)

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω κάτοψη, σε κάθε χριστιανική κοινότητα αντιστοιχούν και διαφορετικά προσκυνήματα, παρεκκλήσια και γενικά χώροι του ναού. Όμως το προαύλιο, η πλάκα της αποκαθήλωσης και το Ιερό Κουβούκλιο του Παναγίου Τάφου αποτελεί κοινό κτήμα όλων των χριστιανικών κοινοτήτων.

Σήμερα, οι κυριότεροι ιεροί χώροι εντός του ναού είναι:

- Η Αγία Αποκαθήλωση
- Το Ιερό Κουβούκλιο
- Ο Φρικτός Γολγοθάς
- Το παρεκκλήσιο ευρέσεως του Τίμιου Σταυρού
- Ο τόπος των Αγίων Γυναικών κατά την Σταύρωση
- Το παρεκκλήσιο του Αδάμ
- Το παρεκκλήσιο του Ακάνθινου Στέφανου

Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι στην αρχική οικοδόμηση του Ναού της Αναστάσεως από τον Μέγα Κωνσταντίνο και την Αγία Ελένη περιλαμβάνονταν οι ιεροί τόποι του Τάφου του Χριστού και του Γολγοθά. Επιπλέον, το τότε κτηριακό σύμπλεγμα αποτελείτο από μια Βασιλική μετά τρούλου εκκλησία, ένα προαύλιο περιστοιχισμένο από κολώνες και μία ροτόντα, δηλαδή ένα κυλινδρικό κτήριο στην βάση του οποίου βρίσκεται το Ιερό Κουβούκλιο.



Εικόνα 77: Η όψη του ναού σήμερα σε σχέση με τον αρχικό βράχο του τάφου και τη θέση του λόφου του Γολγοθά. (Πηγή: Wikipedia)

4.1.3 Το Ιερό Κουβούκλιο του Παναγίου Τάφου

Το Ιερό Κουβούκλιο του Παναγίου Τάφου είναι ένα από τα κυριότερα μνημεία που περιλαμβάνει ο Ναός της Αναστάσεως. Συγκεκριμένα, δεσπόζει στο κέντρο της ροτόντας του Ναού της Αναστάσεως με περίπου 70τμ έκταση και ύψος έως το δώμα του, αντίστοιχο προς κανονικό συμβατικό διώροφο σπίτι. Ακόμη ψηλότερα φτάνει ένας τρούλος στηριζόμενος σε 12 κιονίσκους. Εσωτερικά χωρίζεται σε προθάλαμο στο ανατολικό τμήμα του, και σε ταφικό θάλαμο στο δυτικό, ο οποίος συμπίπτει με τον αρχικό ταφικό θάλαμο του Ιησού Χριστού που ήταν σκαλισμένος στο επιχώριο πέτρωμα του οποίου μεγάλο μέρος διατηρείται μέχρι σήμερα γύρω από αυτόν τον χώρο. Είναι και το μόνο που διατηρήθηκε από μια πολύ μεγαλύτερη βραχόμαζα, μέρος της οποίας ήταν κάποτε και αυτό το μνημείο. Εξωτερικά το κτίσμα έχει αρχιτεκτονική διάπλαση της εποχής του κλασικισμού, αλλά με στοιχεία της κεντροευρωπαϊκής αρχιτεκτονικής, καθώς και της κωνσταντινουπολίτικης αρχιτεκτονικής. Επικρατεί ο τοπικός ερυθρός συμπαγής λίθος. Εσωτερικά, μια αντίστοιχη διάταξη, εκτός από τους θόλους, με περισσότερο λευκό μάρμαρο από την Προκόνησο. Αυτά όλα τα υπογράφει ο ταλαντούχος κωνσταντινουπολίτης αρχιτέκτονας Κομνηνός, υπεύθυνος για το έργο της αναστήλωσης του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου, μετά την καταστροφική πυρκαγιά του 1808. (Μανώλης Κορρές, Μέλος Διεπιστημονικής Ομάδας ΕΜΠ, Σχολή Αρχιτεκτόνων)



Εικόνα 78: Η πρόσοψη του Ιερού Κουβουκλίου μετά την αποκατάστασή του από τη διεπιστημονική ομάδα του ΕΜΠ
(Πηγή: Rebeca Hale / National Geographic)



Εικόνα 79: Το ιερό κουβούκλιο του Παναγίου Τάφου στο τέλος της αποκατάστασής του στις 21 Μαρτίου 2017
(Πηγή: Getty Images)

Η ανάγκη για την αποκατάσταση και συντήρηση του Ιερού Κουβουκλίου ήταν επιτακτική αν σκεφτεί κανείς την ιστορική του πορεία αλλά και το γεγονός ότι η τελευταία παρέμβαση για αποκατάσταση έγινε το 1947, όταν η Βρετανική Αρμοστεία τοποθέτησε σιδερένιο κλωβό για να συγκρατήσει τις παραμορφώσεις του. Το μεταλλικό αυτό πλαίσιο υποστήριξε το μνημείο αρκετές δεκαετίες, όμως οι φθορές και ο κίνδυνος κατάρρευσης δεν αντιμετωπίστηκαν. Παρόλα αυτά, επί 70 χρόνια η αναστήλωση του Κουβουκλίου καθυστερούσε λόγω εγγενών δυσκολιών στη συνεννόηση των χριστιανικών κοινοτήτων που έχουν δικαιώματα στην διαχείρισή του.

Με πρωτοβουλία του Πατριάρχη Ιεροσολύμων Θεόφιλου III, στις 22 Μαρτίου 2016 το έργο της αποκατάστασης ανέλαβε το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, με επιστημονική υπεύθυνη την καθηγήτρια Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, κ. Μοροπούλου Α. (προγραμματιστική συμφωνία 623455/2016). Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαγνωστικής έρευνας και στρατηγικού σχεδιασμού υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης.

Στα πλαίσια του συγκεκριμένου προγράμματος ήταν αναγκαία και η τρισδιάστατη μοντελοποίηση του Ιερού Κουβουκλίου η οποία και έγινε από το εργαστήριο φωτογραμμετρίας του ΕΜΠ.

Η τρισδιάστατη καταγραφή του μνημείου πραγματοποιήθηκε σε διάφορες φάσεις της αποκατάστασης. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε το τελικό μοντέλο

που δημιουργήθηκε με το πέρας των εργασιών της αποκατάστασης. (Georgopoulos et al. 2017)

Το εν λόγω μοντέλο δημιουργήθηκε με έναν συνδυασμό γεωδαιτικών και φωτογραμμετρικών μεθόδων τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά του μνημείου. Συγκεκριμένα, συνδυάστηκαν οι μέθοδοι της μοντελοποίησης από ψηφιακές εικόνες αλλά και από επίγειους σαρωτές λέιζερ. (Georgopoulos et al. 2017)

Όσον αφορά στις εικόνες, αυτές τραβήχτηκαν με μία βαθμονομημένη ψηφιακή SLR φωτογραφική μηχανή Canon EOS-1Ds Mark III full frame CMOS ανάλυσης 21MP (5616x3744 pixels) και διάσταση εικονοψηφίδας 6,4μm. Οι φωτογραφίες αυτές χρησιμοποιήθηκαν, έπειτα από κατάλληλη διαλογή τους, για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του μνημείου μέσω των μεθόδων Structure from Motion (SfM) και Dense Image Matching (DIM). (Georgopoulos et al. 2017)

Επιπλέον, προκειμένου να καλυφθούν οι περιοχές του μνημείου στις οποίες ήταν αδύνατο να παραχθεί τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο λόγω των δυσμενών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που ελήφθησαν από τον επίγειο σαρωτή λέιζερ FARO 3D X 330. Αναλυτικά, σαρώθηκαν το εξωτερικό του Ιερού Κουβουκλίου, το εσωτερικό του και η ροτόντα που το περικλείει με επικαλυπτόμενα νέφη σημείων πυκνότητας ενός σημείου ανά 5mm. (Georgopoulos et al. 2017)

Τελικά, με συνδυασμό και των δύο ειδών δεδομένων, τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν, την μεγάλη υπολογιστική δύναμη που απαιτούν αλλά και την ανθρώπινη παρέμβαση δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο νέφος σημείων του μνημείου και στη συνέχεια η τρισδιάστατη επιφάνεια με αληθινή υφή που προκύπτει από αυτό. Αξίζει να σημειωθεί πως για τη δημιουργία του συγκεκριμένου μοντέλου συνδυάστηκαν πολλά και διαφορετικά λογισμικά με κυριότερα να είναι τα: Photoscan, Geomagic Studio, Meshlab και Cloud Compare. Επιπροσθέτως, η γεωαναφορά του μοντέλου που προέκυψε από την επεξεργασία των φωτογραφιών έγινε με ειδικά διαμορφωμένους στόχους – φωτοσταθερά, 38 στο σύνολο, τα οποία ήταν εμφανή στις φωτογραφίες ενώ των νεφών που σαρώθηκαν έγινε με τουλάχιστον τρεις ειδικούς στόχους ανά σάρωση που αναγνωρίζονται από τον σαρωτή. Σημειώνεται πως το σύστημα αναφοράς και των δύο ομάδων δεδομένων ήταν κοινό. (Georgopoulos et al. 2017).

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά στιγμιότυπα από το τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου.



Εικόνα 80: Απόψεις του εξωτερικού του τρισδιάστατου μοντέλου του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου



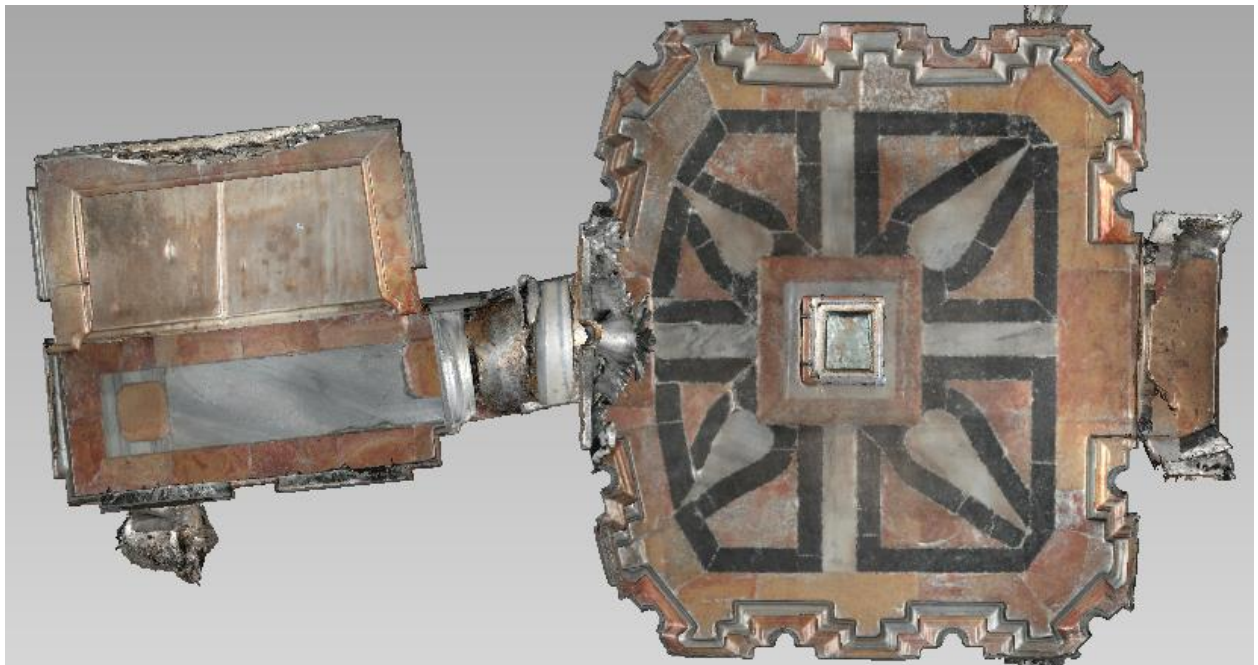
Εικόνα 81: Πλάγια όψη του μοντέλου του Ιερού Κουβουκλίου



Εικόνα 82: Πρόσοψη του μοντέλου του Ιερού Κουβουκλίου



Εικόνα 83: Κατακόρυφη τομή του εσωτερικού του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου



Εικόνα 84: Οριζόντια τομή του εσωτερικού του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου.

4.2 Ο σκοπός της εφαρμογής που αναπτύχθηκε

Σκοπός της εφαρμογής που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δυνατότητα διεξαγωγής βασικών τοπογραφικών μετρήσεων σε υπάρχοντα τρισδιάστατα μοντέλα μέσα σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Συγκεκριμένα είναι επιθυμητό να προσομοιάσει η εφαρμογή όσο το δυνατόν καλύτερα τις βασικές μετρητικές ενέργειες που πραγματοποιεί ένας Τοπογράφος Μηχανικός στο πεδίο προσθέτοντας επιπλέον ευκολίες στο χρήστη.

Οι στοιχειώδεις αυτές μετρητικές ενέργειες που επιχειρήθηκε να αναπαραχθούν σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας στην παρούσα εφαρμογή είναι:

- ✓ Μέτρηση αποστάσεων μεταξύ ζευγών σημείων
- ✓ Εξαγωγή τρισδιάστατων συντεταγμένων θέσης ενός σημείου
- ✓ Μέτρηση και εξαγωγή σημείων τομής του αντικειμένου

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, και διαφάνηκε και από την μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας αντίστοιχη μετρητική εφαρμογή δεν έχει δημιουργηθεί από την επιστημονική κοινότητα. Έτσι, με την δημιουργία της δίνεται αφορμή για την διερεύνηση ενός πεδίου της επιστήμης της εικονικής πραγματικότητας που δυνητικά μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμο σε αρκετές επιστημονικές ειδικότητες.

Επιπροσθέτως, πρέπει να τονιστεί πως η εφαρμογή λειτουργεί σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας πραγματικής κλίμακας, το οποίο σημαίνει πως ο εκάστοτε χρήστης, ανάλογα βέβαια και με την λεπτομέρεια του τρισδιάστατου μοντέλου που χρησιμοποιεί, θα εμβυθίζεται σε μεγάλο βαθμό στο εικονικό περιβάλλον με το οποίο έρχεται σε επαφή χωρίς αυτό να του φαίνεται κάτι ξένο.

Σημειώνεται, επίσης, πως ως αντικείμενο μετρήσεων για την συγκεκριμένη εφαρμογή θα χρησιμοποιηθεί το τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της αποκατάστασης του μνημείου από την διεπιστημονική ομάδα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και συγκεκριμένα από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (Georgopoulos et al. 2017, Moropoulou et al. 2017).

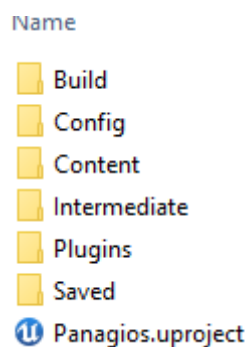
Στα επόμενα εδάφια θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο δημιουργήθηκε, αναπτύχθηκε και προγραμματίστηκε η εν λόγω εφαρμογή, ο τρόπος και οι αρχές λειτουργίας της αλλά και οι δυνατότητες που παρέχει τελικά.

4.3 Σχεδιασμός και ανάπτυξη της εφαρμογής

Παρακάτω θα αναπτυχθούν τα επιμέρους στάδια στα οποία αναπτύχθηκε η εφαρμογή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, η εφαρμογή αναπτύχθηκε στη μηχανή παιχνιδιών (Game Engine) Unreal Engine με βάση τη χρήση του συστήματος εικονικής πραγματικότητας HTC Vive.

4.3.1 Δημιουργία project στην Unreal Engine 4

Πρώτο βήμα για την ανάπτυξη και τον προγραμματισμό μιας εφαρμογής στο περιβάλλον της μηχανής παιχνιδιών Unreal Engine 4 είναι η δημιουργία ενός αρχείου εργασίας ή αλλιώς project. Με τη δημιουργία του project το λογισμικό της Unreal δημιουργεί έναν υποκατάλογο φακέλων σε ένα σημείο του σκληρού δίσκου του ηλεκτρονικού υπολογιστή που ορίζεται από τον χρήστη.



Εικόνα 85: Ο υποκατάλογος του project

Στην εικόνα 85 εμφανίζεται η μορφή του υποκαταλόγου των φακέλων στο συγκεκριμένο project.

Αναλυτικά, στο φάκελο Build αποθηκεύονται αρχεία καταγραφής (τύπου .log) τα οποία δημιουργούνται ή ανανεώνονται όταν εισάγεται μια νέα οντότητα στο project. Επιπλέον, σε αυτά τα αρχεία ανατρέχει η μηχανή προκειμένου να ανοίξει το project τις επόμενες φορές. Τα αρχεία αυτά είναι ταξινομημένα κατά πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογής (π.χ. windows, android ή iOS κ.τ.λ.). Ο φάκελος Config περιέχει τις ρυθμίσεις του project που ορίζει ο εκάστοτε χρήστης. Ο φάκελος Content περιέχει όλες τις οντότητες που εισάγονται στο project, τα blueprints, τα τρισδιάστατα μοντέλα και τις υφές τους κ.ά. Ο φάκελος Intermediate περιέχει καταγραφές, ρυθμίσεις και ό,τι είναι απαραίτητο για την εξαγωγή της εφαρμογής σε αυτόνομο πακέτο εκτέλεσης από την ή τις επιθυμητές πλατφόρμες. Στον φάκελο Plugins εγκαθίστανται οποιαδήποτε πρόσθετα λογισμικά στην μηχανή παιχνιδιών Unreal Engine 4 τα οποία μπορεί να χρησιμεύουν στην δημιουργία των εφαρμογών. Στον φάκελο Saved αποθηκεύονται όλες οι χρήσιμες πληροφορίες καταγραφής,

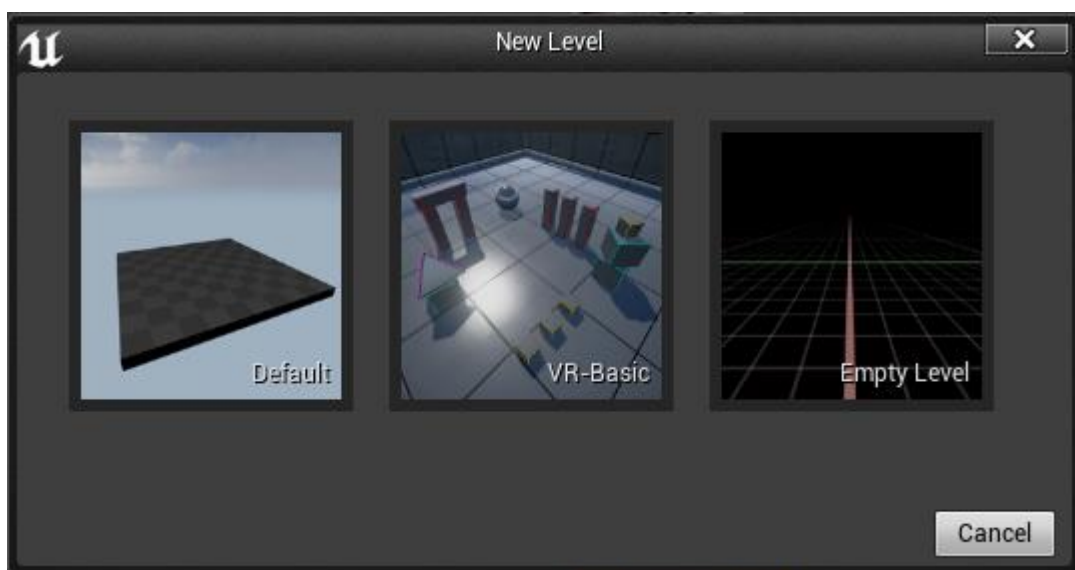
αυτοματοποιημένα από το λογισμικό, αλλά και οτιδήποτε αποθηκεύει ο χρήστης. Τέλος, το αρχείο της μορφής όνομα_project.uproject είναι το εκτελέσιμο αρχείο που οδηγεί στο άνοιγμα του συγκεκριμένου project το περιβάλλον της Unreal Engine.

Τελικά, για την συγκεκριμένη δημιουργήθηκε το project με όνομα Panagios.

4.3.2 Δημιουργία Επιπέδου και Επιφάνειας Εδάφους

Καθότι το λογισμικό στο οποίο αναπτύσσεται η εφαρμογή είναι μια μηχανή παιχνιδιών και είναι σχεδιασμένη να δημιουργεί παιχνίδια με πολλαπλά επίπεδα έπρεπε να δημιουργηθεί ένα επίπεδο και στο project της εν λόγω εφαρμογής. Συγκεκριμένα, με το επίπεδο αυτό δημιουργείται ο κενός τρισδιάστατος χώρος στον οποίο θα γίνουν οι όποιες εργασίες.

Από προεπιλογή η Unreal Engine δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει ένα από τα τρία είδη επιπέδου που φαίνονται στην εικόνα 86.



Εικόνα 86: Οι προεπιλογές δημιουργίας επιπέδου στην Unreal Engine

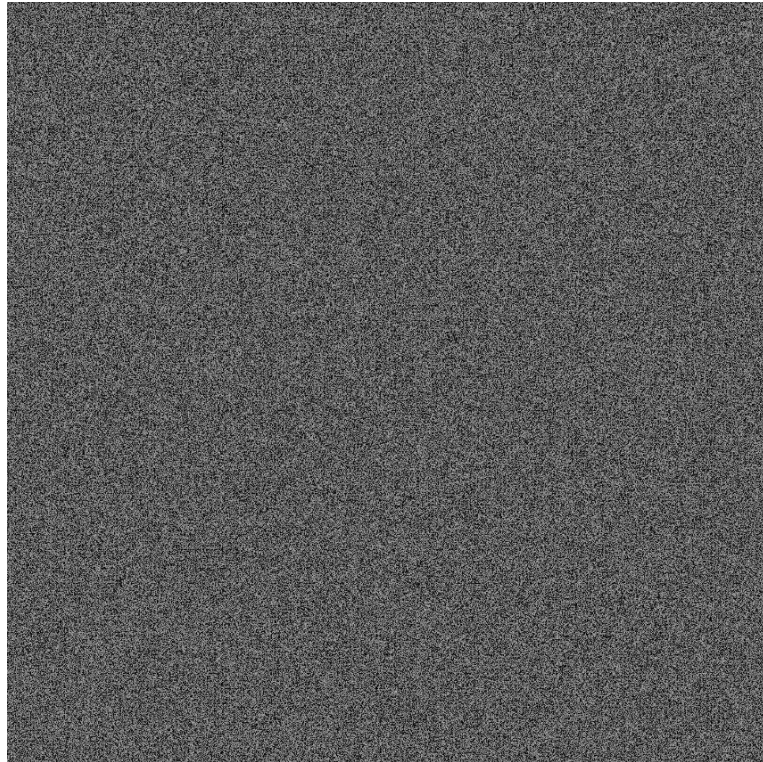
Οι τρεις αυτές προεπιλογές καλύπτουν τις απαιτήσεις οποιουδήποτε χρήστη. Για τις ανάγκες της μετρητικής εφαρμογής της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε το επίπεδο Default.

Με την επιλογή του συγκεκριμένου επιπέδου δημιουργούνται αυτόματα μια βασική επιφάνεια εδάφους και ένα «γήινο» περιβάλλον που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της υψής ουρανού που δίνεται στον περιβάλλοντα χώρο γύρω από το έδαφος και ονομάζεται sky sphere.

Αρχικά, η επιφάνεια του εδάφους δημιουργείται χωρίς υφή και με προεπιλεγμένες διαστάσεις 100 μέτρα μήκος, 100 μέτρα πλάτος και 5 μέτρα πάχος. Για την εν λόγω εφαρμογή οι τρεις αυτές διαστάσεις δεκαπλασιάστηκαν με αποτέλεσμα οι

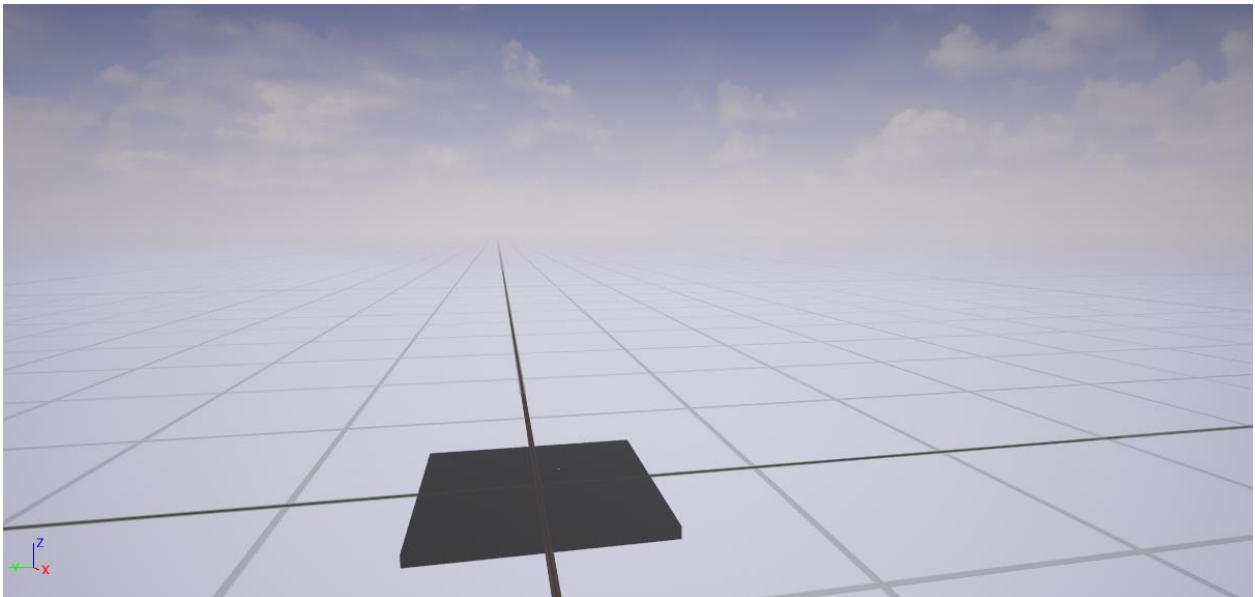
διαστάσεις του επιπέδου να γίνουν ένα χιλιόμετρο μήκος, ένα χιλιόμετρο πλάτος και 50 μέτρα πάχος. Οι συγκεκριμένες διαστάσεις του εδάφους βοηθούν στο χρήστη να νιώθει «ασφαλής» όταν χρησιμοποιεί την εφαρμογή και να μην νιώθει ότι απειλείται να «πέσει» από το ψηφιακό έδαφος στο οποίο βρίσκεται.

Επιπλέον, δόθηκε μια ουδέτερη υφή στην επιφάνεια του εδάφους προκειμένου να μην αποπροσανατολίζει το χρήστη από το βασικό αντικείμενο της εφαρμογής αλλά και να βοηθάει την εμπειρία εμπύθισης. Η εικόνα της υφής παρατίθεται στην εικόνα 87.



Εικόνα 87: Η υφή της επιφάνειας εδάφους.

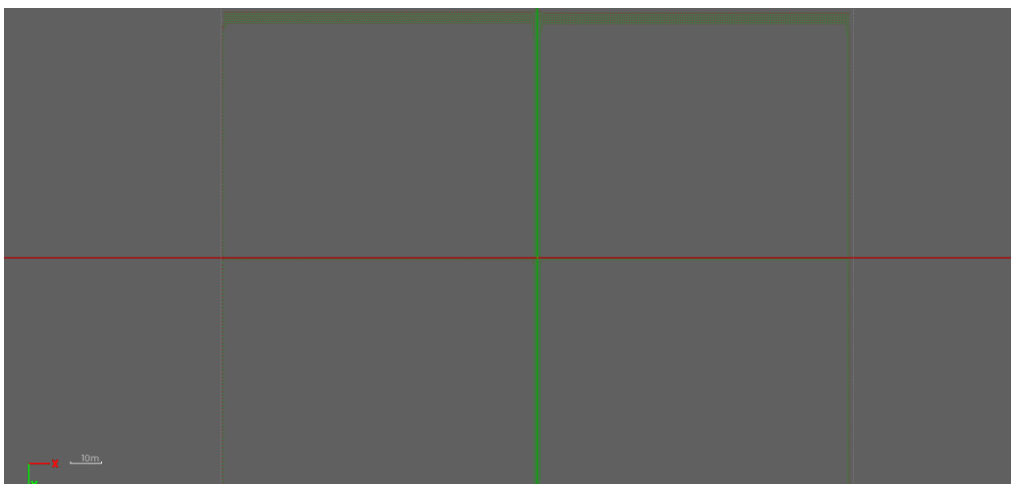
Τελικά, μετά από όλα τα παραπάνω δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον που προσομοιάζει την πραγματικότητα και θα βοηθήσει τον χρήστη να νιώσει οικεία όταν θα χρησιμοποιεί την εφαρμογή. Το περιβάλλον αυτό φαίνεται στην εικόνα 88.



Εικόνα 88: Το ψηφιακό περιβάλλον στο οποίο θα αναπτυχθεί η εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας.

Σημειώνεται, επιπλέον, πως το έδαφος έχει τοποθετηθεί έχοντας το κεντρικό σημείο της πάνω πλευράς του στις συντεταγμένες $(0,0,13.415)$. Οι συντεταγμένες αυτές αναφέρονται στο τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα του περιβάλλοντος που μόλις δημιουργήθηκε και με βάση αυτές θα τοποθετηθεί μετέπειτα και το τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου.

Το σύστημα συντεταγμένων του ψηφιακού τρισδιάστατου περιβάλλοντος φαίνεται στην εικόνα 89 με τον άξονα Z να είναι κατακόρυφος και κατά συνέπεια κάθετος σε αυτούς των X και Y.



Εικόνα 89: Το σύστημα συντεταγμένων του ψηφιακού τρισδιάστατου περιβάλλοντος. Με κόκκινο χρώμα ορίζεται ο άξονας X ενώ με πράσινο ο άξονας Y.

4.3.3 Η εισαγωγή και η τοποθέτηση του τρισδιάστατου μοντέλου

Το τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της αποκατάστασης του μνημείου από την διεπιστημονική ομάδα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και συγκεκριμένα από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (Georgoroulos et al. 2017, Μογορούλου et al. 2017) ενσωματώθηκε στην εφαρμογή με την διαδικασία που θα αναλυθεί παρακάτω.

Η αρχική μορφή του τρισδιάστατου μοντέλου του μνημείου ήταν σε τύπο αρχείου .obj με ξεχωριστό αρχείο χαρτογραφημένης υφής. Το μοντέλο αυτό ήταν διαθέσιμο από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας είτε ενοποιημένο, δηλαδή όλα του τα στοιχεία σε ένα αρχείο της μορφής .obj και αντίστοιχα η υφή του ενοποιημένη σε ένα αρχείο εικόνας, είτε χωρισμένο σε κομμάτια. Τα εν λόγω κομμάτια ήταν λογικά και όχι τυχαία χωρισμένα. Συγκεκριμένα, ο τρόπος διαχωρισμού φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Κομμάτια Τρισδιάστατου Μοντέλου	
Εσωτερικό Μνημείου	Εξωτερικό Μνημείου
<i>Πρόναος 2</i>	<i>Δάπεδο</i>
<i>Πρόναος 3</i>	<i>Μπαλούστρες</i>
<i>Πρόναος Πέτρα</i>	<i>Δυτικό</i>
<i>Πρόναος Τρούλος</i>	<i>Φατνόματα</i>
<i>Τάφος Κάτω</i>	<i>Κόπτες</i>
<i>Τάφος Πάνω</i>	<i>Τρούλος</i>
<i>Τάφος Κάτω Πέτρα</i>	<i>Παγκάκια</i>
-	<i>Σκάλες</i>

Όπως φαίνεται στον πίνακα, τα κομμάτια του τρισδιάστατου μοντέλου είναι χωρισμένα βάσει του αρχιτεκτονικού στοιχείου που αναπαριστά το καθένα. Έτσι, καθιστούν ευκολότερη τη διαχείριση της πληροφορίας που παρέχουν.

Επιπλέον, καθότι πρόκειται για ένα τρισδιάστατο μοντέλο πολύ μεγάλης λεπτομέρειας το μέγεθος του συνολικού αρχείου του θα ήταν πολύ δυσκολότερα διαχειρίσιμο από οποιοδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή και οποιοδήποτε λογισμικό. Κατά συνέπεια, η χρήση του τρισδιάστατου μοντέλου σε κομμάτια δίνει το πλεονέκτημα της ευκολότερης και γρηγορότερης διαχείρισής του από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και τα εκάστοτε λογισμικά.

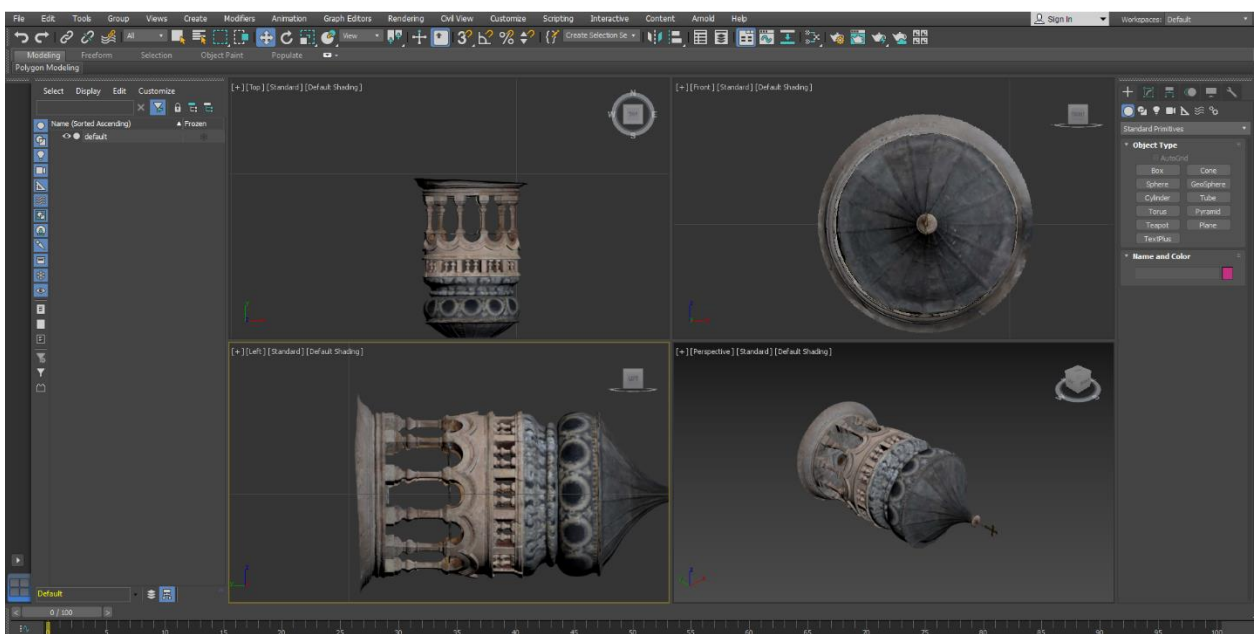
Σε αυτό το σημείο τονίζεται πως το σύστημα αναφοράς του εν λόγω μοντέλου είναι το ίδιο με το τοπικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς που δημιουργήθηκε από τη

Διεπιστημονική ομάδα του ΕΜΠ για τις ανάγκες των εργασιών αποκατάστασης. Το συγκεκριμένο γεγονός δημιουργούσε πρόβλημα στην εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου στο περιβάλλον της Unreal Engine 4 καθώς η θέση του μοντέλου βρισκόταν πολύ μακριά από κέντρο (0,0,0) του συστήματος αναφοράς της μηχανής παιχνιδιών και επειδή η μηχανή διαφέρει από ένα λογισμικό ψηφιακής σχεδίασης δεν παρέχει την δυνατότητα εστίασης σε ένα αντικείμενο που βρίσκεται πολύ μακριά από το κέντρο του συστήματός της.

Έτσι, δοκιμάζοντας την εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου με την θέση που είχε, παρατηρήθηκε ότι η εισαγωγή του ήταν επιτυχής από το λογισμικό αλλά η εύρεσή του στον τρισδιάστατο ψηφιακό χώρο ανάπτυξης της εφαρμογής δεν ήταν δυνατή. Έτσι, αφού η αυτόματη εστίαση στο αντικείμενο ή σε δοσμένο σημείο με γνωστές συντεταγμένες δεν παρέχεται από την Unreal Engine το τρισδιάστατο μοντέλο έμεινε «χαμένο» στον ψηφιακό χώρο.

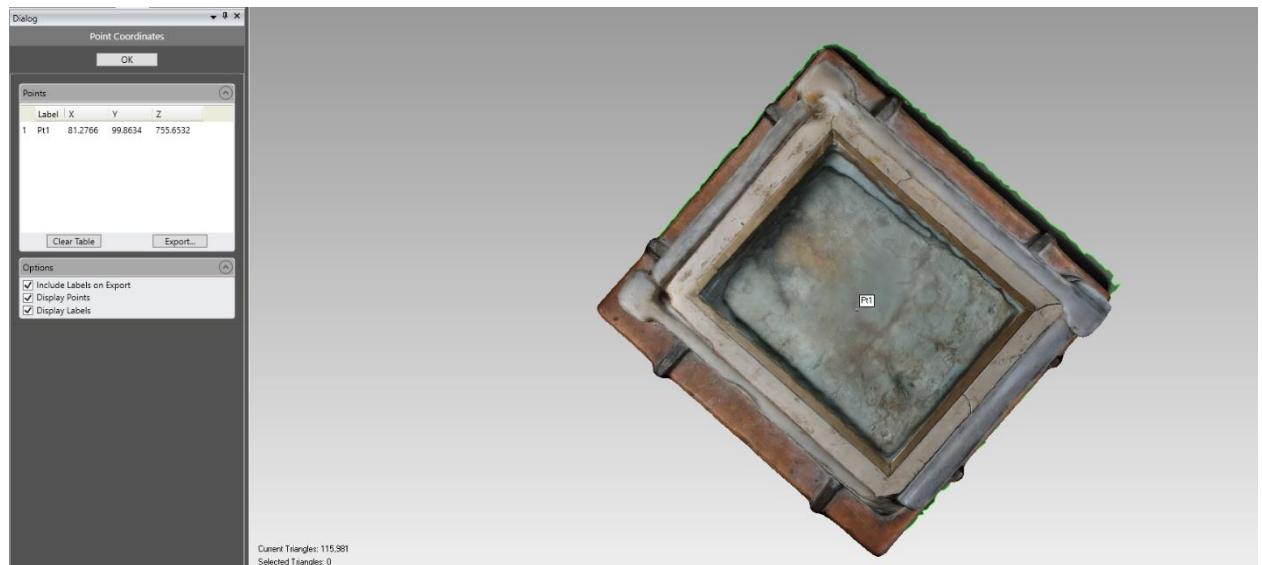
Τελικά, προκειμένου να αντιμετωπιστεί το παραπάνω πρόβλημα, αποφασίστηκε να γίνει μετάθεση του μοντέλου προκειμένου να πλησιάσει το (0,0,0) και να είναι εμφανές στον ψηφιακό τρισδιάστατο χώρο της μηχανής Unreal Engine 4. Συγκεκριμένα, η μετάθεση έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού τρισδιάστατης μοντελοποίησης 3ds max της εταιρείας Autodesk όπου εισάγοντας στο λογισμικό κάθε κομμάτι του τρισδιάστατου μοντέλου κατά -80 μέτρα στον άξονα X, κατά -110 μέτρα στον άξονα Y και κατά -760 μέτρα στον άξονα Z. Σημειώνεται, πως ο συγκεκριμένος μετασχηματισμός διατήρησε ακέραιες τις σχετικές θέσεις των επιμέρους κομματιών του τρισδιάστατου μοντέλου αφού η μετάθεση ήταν σταθερή.

Επιπλέον, με τη βοήθεια του λογισμικού 3ds max μετασχηματίστηκε και ο αρχαιακός τύπος κάθε επιμέρους κομματιού από .obj σε .fbx προκειμένου η μετατροπή να είναι ελεγχόμενη, να γίνει από ένα εξειδικευμένο λογισμικό και να μην γίνει από την μηχανή παιχνιδιών αυτοματοποιημένα και χωρίς έλεγχο. Έτσι, διατηρήθηκε με σιγουριά το επίπεδο λεπτομέρειας και η αρχική ακρίβεια του τρισδιάστατου μοντέλου και των επιμέρους στοιχείων του.



Εικόνα 908: Ο εξωτερικός τρούλος στο περιβάλλον του λογισμικού 3ds max της Autodesk

Η επιλογή της μετάθεσης κατά -80,-110,-760 μέτρα στους άξονες X, Y, Z αντίστοιχα έγινε έπειτα από δειγματοληπτικό έλεγχο των αρχικών συντεταγμένων του μοντέλου. Για παράδειγμα, οι αρχικές συντεταγμένες του κέντρου της πέτρας στο εσωτερικό του προθαλάμου (εικόνα 91) είναι (81.277,99.863,755.653). Έτσι, μεταθέτοντάς την κατά τις προαναφερθείσες τιμές προκύπτουν συντεταγμένες (1.277, -10.137, -4.347) οι οποίες είναι πολύ κοντά στο κέντρο (0,0,0) του ψηφιακού συστήματος αναφοράς.

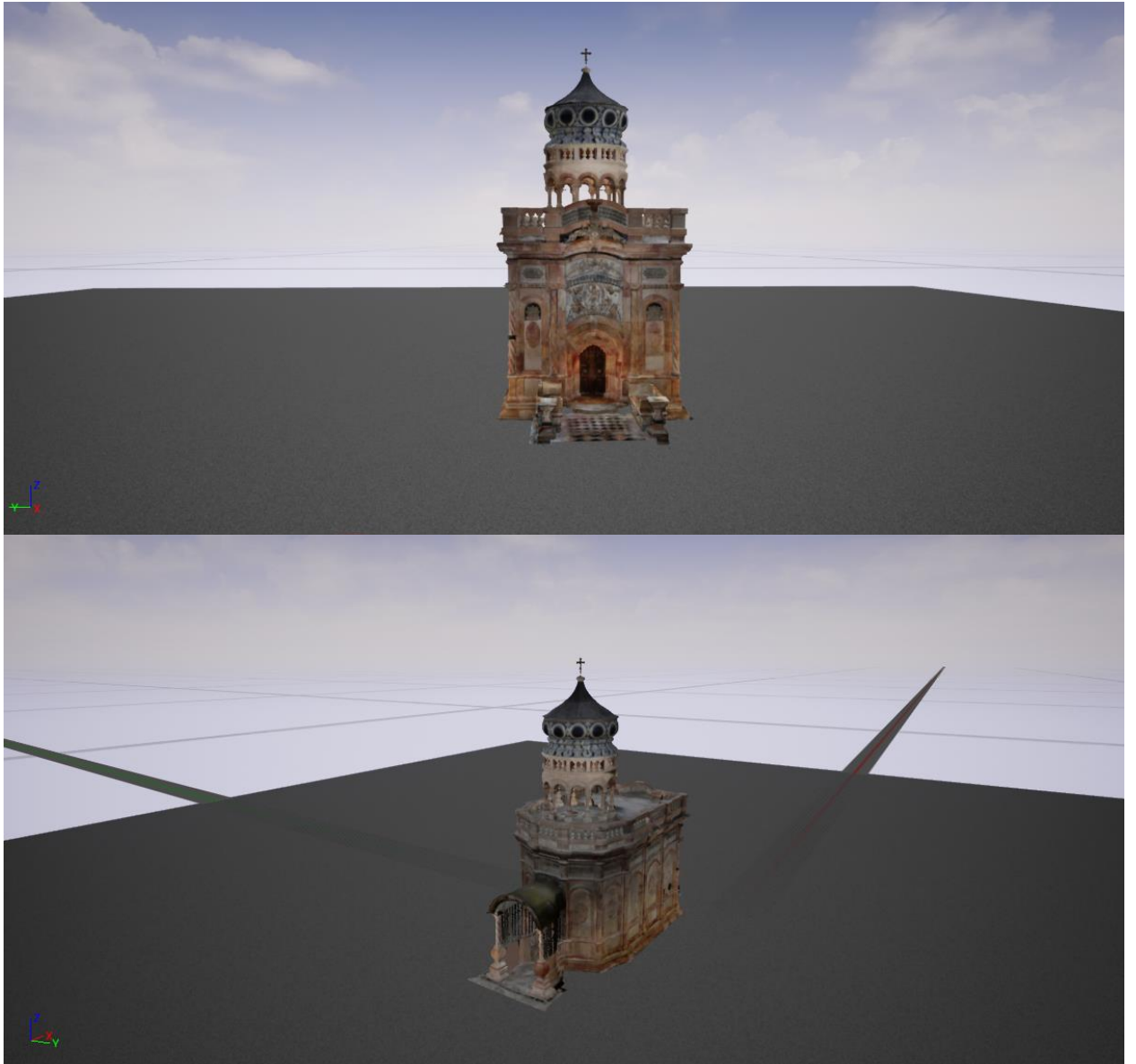


Εικόνα 91: Οι δειγματοληπτικές συντεταγμένες του κέντρου της πέτρας του Πρόναου

Η παραπάνω μετάθεση, όπως αναλύθηκε, είχε ως αποτέλεσμα την εισαγωγή του μοντέλου στον τρισδιάστατο χώρο ανάπτυξης της εφαρμογής που παρέχει η Unreal Engine 4, να είναι ορατό και να μπορεί να υποστεί επεξεργασία και να παραμετροποιηθεί. Αναλυτικά, η θέση του με τον μετασχηματισμό βρέθηκε να είναι αρκετά κοντά στο κέντρο (0,0,0) του συστήματος αναφοράς της Unreal Engine 4 με αντίθετο όμως προσανατολισμό κατά τον άξονα Y αφού τα θετικά των δύο συστημάτων σε αυτόν τον άξονα δεν ταυτίζονταν. Τονίζεται, πως η κλίμακα παρέμεινε σταθερή και πραγματική μιας και δεν επηρεάστηκε από τους μετασχηματισμούς.

Για την τελική τοποθέτηση του μοντέλου στον χώρο της εφαρμογής ομαδοποιήθηκαν τα επιμέρους κομμάτια του ώστε να αντιμετωπίζονται σαν σύνολο, ορίστηκε ένα σημείο βάσης σύμφωνα με το οποίο θα μετακινηθεί και θα περιστραφεί το μοντέλο μέσα στον τρισδιάστατο χώρο. Τέλος, με χειροκίνητες μεταθέσεις και περιστροφές η ομάδα των μοντέλων τοποθετήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε η βάση του κτηρίου να εφάπτεται στο έδαφος το οποίο είχε δημιουργηθεί σε προηγούμενο βήμα.

Παρακάτω (εικόνες 8 και 9) φαίνεται σε στιγμιότυπα από διάφορες οπτικές γωνίες η τελική τοποθέτηση του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου.



Εικόνα 92: Απόψεις του εξωτερικού του τρισδιάστατου μοντέλου στο ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής στην τελική του θέση



Εικόνα 939: Απόψεις του εσωτερικού του τρισδιάστατου μοντέλου στο ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής στην τελική του θέση

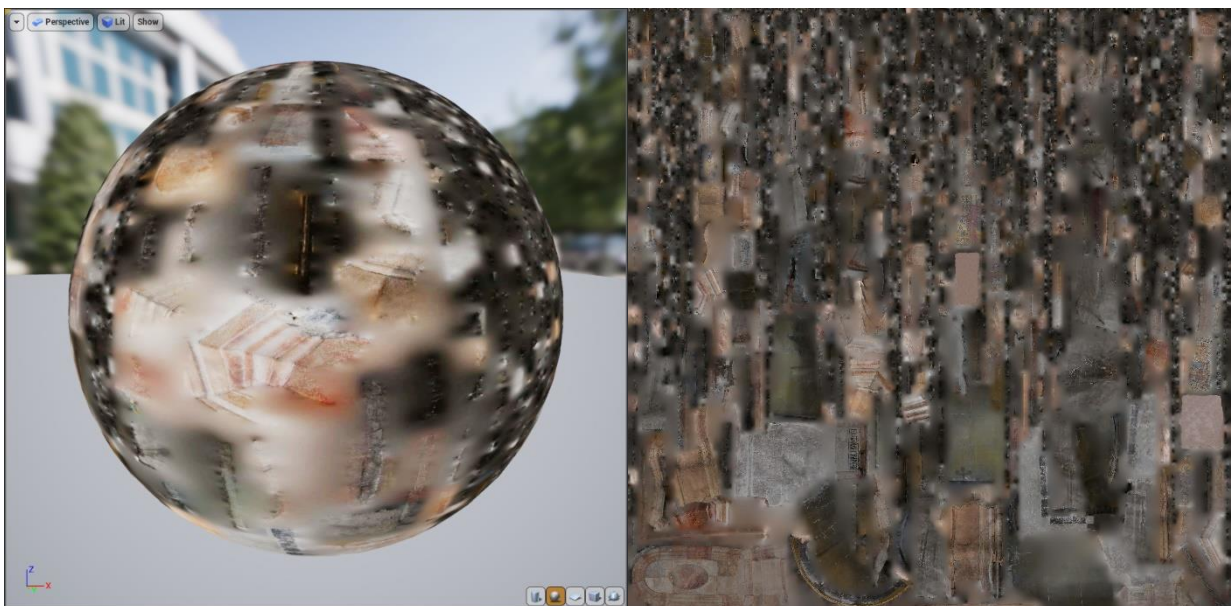
Τονίζεται πως η υφή του του τρισδιάστατου μοντέλου αναγνωρίστηκε και προσαρτήθηκε αυτόματα στην επιφάνεια κάθε επιμέρους μοντέλου καθότι ήταν χαρτογραφημένη. Βέβαια, για την τελική απεικόνισή της όπως αυτή φαίνεται στα παραπάνω στιγμιότυπα χρειάστηκαν παραμετροποιήσεις και τροποποιήσεις οι οποίες θα αναλυθούν στα επόμενα εδάφια.

4.3.4 Παραμετροποίηση των υφών

Η μηχανή παιχνιδιών Unreal Engine 4 παρέχει πολλούς και διαφορετικούς μεταξύ τους τρόπους απεικόνισης της υφής της επιφάνειας ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Ο προηγούμενος ισχυρισμός είναι απολύτως λογικός αν σκεφτεί κανείς πως σε μια τρισδιάστατη ψηφιακή εφαρμογή ή ένα βιντεοπαιχνίδι η εμφάνιση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αληθοφάνεια ή την ποιότητα των ψηφιακών αντικειμένων με τα οποία αλληλοεπιδρά ο χρήστης. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα από τη μηχανή να δημιουργήσει ο χρήστης εξ ολοκλήρου την υφή σε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο.

Αναλυτικά, η υφή ενός τρισδιάστατου μοντέλου είναι μία ψηφιακή εικόνα της μορφής αρχείου .jpg ή άλλης αντίστοιχης. Η Unreal Engine προκειμένου να την ενσωματώσει σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο δημιουργεί ένα «υλικό» με βάση την υφή και τη χαρτογράφησης της. Τελικά για να απεικονιστεί η υφή του εκάστοτε αντικείμενου η Unreal εφαρμόζει το κατάλληλο υλικό στη θέση που της ορίζει η χαρτογράφηση της υφής του. Το πλεονέκτημα που παρέχει αυτό το ενδιαμέσο στάδιο είναι ότι στο εκάστοτε «υλικό» μπορούν να δοθούν διαφορετικές ιδιότητες ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετεί.

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 94) φαίνεται το «υλικό» που δημιουργήθηκε προκειμένου να δοθεί υφή στο τρισδιάστατο μοντέλο των κοππών σε σύγκριση με την ψηφιακή εικόνα της υφής.



Εικόνα 94: Το «υλικό» του τρισδιάστατου μοντέλου των κοππών σε σύγκριση με την υφή του.

Σημειώνεται πως ένα τέτοιο «υλικό» δεν έχει συγκεκριμένο σχήμα και διαστάσεις και μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιοδήποτε τρισδιάστατο μοντέλο. Ο λόγος που απεικονίζεται τρισδιάστατο είναι για να παρέχεται στο χρήστη δυνατότητα προεπισκόπησης των αλλαγών που πραγματοποιεί στις ιδιότητές του και να προσομοιάζει καλύτερα την εφαρμογή του σε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο.

Οι ιδιότητες που μπορεί κανείς να τροποποιήσει σε ένα «υλικό» της μηχανής Unreal Engine 4 είναι πάρα πολλές και η ανάλυση όλων τους ξεφεύγει από το σκοπό της παρούσας διπλωματικής. Για τον λόγο αυτό, θα αναλυθούν μόνο οι ιδιότητες που χρησιμοποιήθηκαν ή τροποποιήθηκαν.

Η Unreal Engine κατά την εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου αντιστοίχησε αυτόματα τις υφές των επιμέρους κομματιών με κάθε ένα αφού ήταν χαρτογραφημένες. Έτσι, δημιούργησε ένα «υλικό» για κάθε κομμάτι του μοντέλου με το οποίο εφάρμοσε την υφή του. Οι ιδιότητες των υλικών αυτών ήταν οι προεπιλεγμένες.

Το αποτέλεσμα της παραπάνω αυτοματοποιημένης διαδικασίας ήταν η υφή να μην εμφανίζεται σωστά και να χάνεται μέρος της λεπτομέρειάς της και της ζωντανίας της. Αυτό συνέβη διότι οι ιδιότητες των προεπιλεγμένων «υλικών» ήταν άμεσα εξαρτώμενες από τον φωτισμό που έχει προστεθεί στον τρισδιάστατο χώρο της εφαρμογής. Στη συνέχεια, δοκιμάζοντας όλους τους τρόπους φωτισμού που παρείχε η εφαρμογή παρατηρήθηκε ότι λόγω της πολυπλοκότητας του αντικειμένου κάποια περιοχή του θα ήταν πάντα υποφωτισμένη και κάποια θα ήταν πάντα υπερφωτισμένη. Έτσι, προκειμένου να ξεπεραστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα θα έπρεπε είτε να τοποθετηθεί πολύ μεγάλος αριθμός οντοτήτων φωτισμού συνδυάζοντας διάφορα είδη και εντάσεις είτε να τροποποιηθούν συγκεκριμένες ιδιότητες των «υλικών» των τρισδιάστατων μοντέλων προκειμένου να μην απαιτείται η χρήση φωτισμού για να αναδειχθούν ορθά οι λεπτομέρειες των υφών.

Επιλέχθηκε να γίνει τροποποίηση των ιδιοτήτων των «υλικών» καθότι η τοποθέτηση του κατάλληλου φωτισμού κρίθηκε ότι θα ήταν πολύ χρονοβόρα, με χειρότερα αποτελέσματα και επιπλέον θα κατανάλωνε περισσότερους πόρους επεξεργασίας από το λογισμικό και τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε.

Τελικά με στόχο όπως προαναφέρθηκε να μην είναι απαραίτητη η χρήση οντοτήτων φωτισμού στο τρισδιάστατο ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής ορίστηκε ως ιδιότητα του «υλικού» η ιδιότητα unlit με την οποία δεν επηρεάζεται από αντικείμενα φωτισμού. Επιπλέον, η υφή συνδέθηκε με τέτοιο τρόπο στο «υλικό» ώστε να εκπέμπει τον δικό της φωτισμό από κάθε pixel της στο χρώμα και την ένταση που ορίζει αυτό. Το αποτέλεσμα των παραπάνω ρυθμίσεων ήταν να δημιουργηθεί ένα αυτόφωτο ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο φωτίζεται με την κατάλληλη ένταση ώστε να διατηρούνται αναλλοίωτα τα πραγματικά χαρακτηριστικά της υφής του.

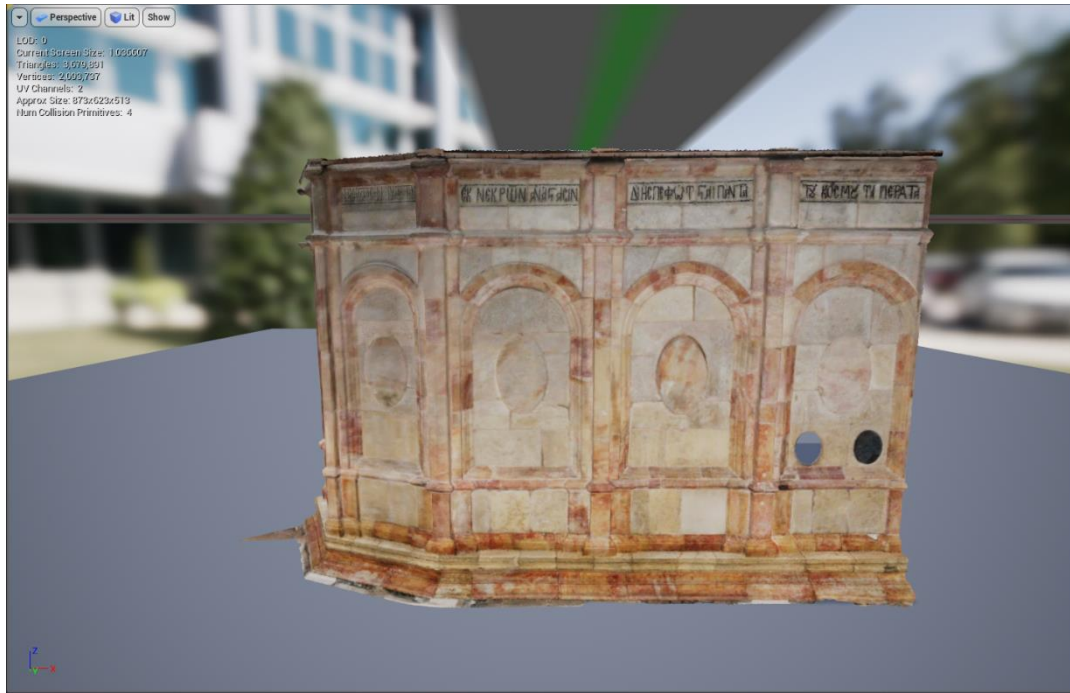
Στις τρεις παρακάτω εικόνες (11, 12, 13) συγκρίνεται η διαφορά των υφών και τρόπων φωτισμού που αναλύθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 9510: Κομμάτι του τρισδιάστατου μοντέλου, υφής προεπιλεγμένων ιδιοτήτων, φωτιζόμενο από στατικό σημειακό αντικείμενο φωτός



Εικόνα 96: Κομμάτι του τρισδιάστατου μοντέλου, υφής προεπιλεγμένων ιδιοτήτων, φωτιζόμενο από δυναμικό σημειακό αντικείμενο φωτός



Εικόνα 97: Κομμάτι του τρισδιάστατου μοντέλου με υφή όπως δημιουργήθηκε έπειτα από τις παραμετροποιήσεις. (αυτόφωτο)

Όπως φαίνεται και από τα στιγμιότυπα, η τρίτη περίπτωση του αυτόφωτου τρισδιάστατου μοντέλου παρουσιάζει πιστά την πραγματικότητα χωρίς να την τροποποιεί ή να την αλλοιώνει. Επιπλέον, συγκρίνοντας το αποτέλεσμα με μία φωτογραφία από το ίδιο σημείο του Ιερού Κουβουκλίου που απεικονίζεται, το παραπάνω συμπέρασμα ενισχύεται σημαντικά παρόλο που και η φωτογραφία δεν μπορεί να ληφθεί υπό ιδανικές συνθήκες φωτισμού λόγω της θέσης του μνημείου. Η εν λόγω φωτογραφία παρατίθεται παρακάτω (εικόνα 98):



Εικόνα 98: Το Ιερό Κουβούκλιο του Παναγίου Τάφου.
(Πηγή: <https://kokkinoslawfirm.com>)

Επιπροσθέτως, αξίζει να παρατεθεί στις παρακάτω εικόνες (15,16) πώς εμφανίζεται ένα κομμάτι τρισδιάστατου μοντέλου υφής προεπιλεγμένων ιδιοτήτων, που εξαρτάται από τον φωτισμό, στον τρισδιάστατο ψηφιακό χώρο της εφαρμογής που δεν περιλαμβάνει κανένα αντικείμενο φωτισμού.



Εικόνα 99: Κομμάτι του τρισδιάστατου μοντέλου με υφή εξαρτώμενη από τον φωτισμό στον ψηφιακό χώρο της εφαρμογής



Εικόνα 100: Όλο το τρισδιάστατο μοντέλο με αυτόφωτη υφή στον ψηφιακό χώρο της εφαρμογής

Παρατηρείται, όπως είναι λογικό, ότι στην περίπτωση της εικόνας 15 το κομμάτι του τρισδιάστατου μοντέλου εμφανίζεται μαύρο αφού εξαρτάται από φωτιστικές πηγές οι οποίες δεν υπάρχουν στο τρισδιάστατο ψηφιακό περιβάλλον της παρούσας εφαρμογής.

4.3.5 Δημιουργία της οντότητας του χρήστη – παίκτη

Αφού δημιουργήθηκε το ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής, όπως αναλύθηκε στις προηγούμενες υποενότητες, έπρεπε να δημιουργηθεί η οντότητα η οποία θα αντιπροσώπευε τον χρήστη της εφαρμογής.

Η εν λόγω οντότητα, ονομάστηκε VR Pawn και αποτελεί ουσιαστικά τον πυρήνα της εφαρμογής καθώς σε αυτήν γίνεται η αναγνώριση και ο εντοπισμός του συστήματος εικονικής πραγματικότητας αλλά και ο προγραμματισμός όλων των λειτουργιών της εφαρμογής.

Η VR Pawn ανήκει στην κατηγορία οντοτήτων Pawn της μηχανής Unreal Engine 4. Οι οντότητες Pawn είναι η φυσική αναπαράσταση του χρήστη στον ψηφιακό κόσμο. Επίσης, η συγκεκριμένη κατηγορία οντοτήτων χρησιμοποιείται και για τη δημιουργία αντικειμένων με τεχνητή νοημοσύνη στο ψηφιακό περιβάλλον.

Συγκεκριμένα, με την εισαγωγή μιας Pawn οντότητας σε μία τυχαία θέση του ψηφιακού περιβάλλοντος της εφαρμογής δίνεται η δυνατότητα παραμετροποίησής της και προγραμματισμού της ώστε να εκτελεί τις λειτουργίες που εξυπηρετούν την εφαρμογή. Σημειώνεται ότι με την εισαγωγή της η οντότητα είναι κενή πληροφορίας και προγραμματισμού και δεν αντιπροσωπεύει κανέναν παίκτη – χρήστη.

Καθότι όμως η παραπάνω οντότητα ήταν κενή πληροφορίας έπρεπε σε πρώτη φάση να παραμετροποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζει το σύστημα εικονικής πραγματικότητας HTC VIVE. Η υποστήριξη του συστήματος από το VR Pawn και κατ' επέκταση από την μηχανή Unreal Engine 4 περιλαμβάνει:

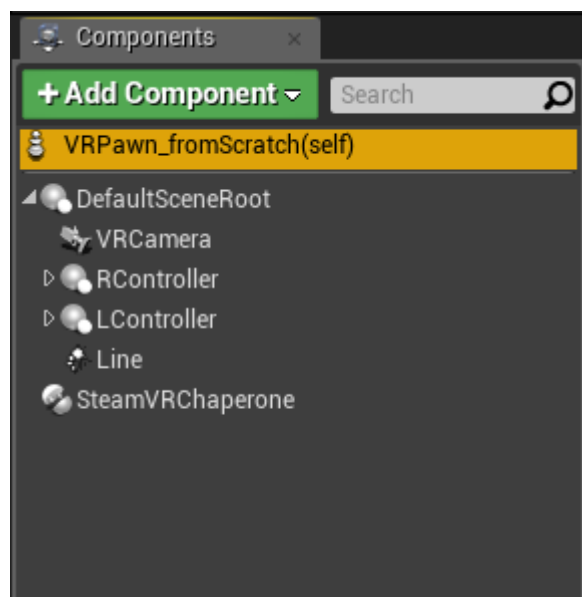
- Την υποστήριξη της μάσκας εικονικής πραγματικότητας του HTC VIVE, δηλαδή της ψηφιακής οθόνης στην οποία θα προβάλλεται η εφαρμογή
- Την υποστήριξη και οπτικοποίηση των χειριστηρίων του HTC VIVE με τα οποία ο χρήστης θα αλληλοεπιδρά με την εφαρμογή
- Τον εντοπισμό και την χωρική παρακολούθηση των παραπάνω αντικειμένων στον ψηφιακό τρισδιάστατο χώρο

Με τον όρο υποστήριξη νοείται η αναγνώριση και δυνατότητα αλληλεπίδρασης των παραπάνω αντικειμένων με την εφαρμογή προκειμένου να έχει την δυνατότητα ο εκάστοτε χρήστης να χρησιμοποιεί την εν λόγω εφαρμογή με το συγκεκριμένο σύστημα εικονικής πραγματικότητας.

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, τα βασικά στοιχεία που χρειάζονται προκειμένου να επιτευχθεί η συνεργασία μεταξύ του συστήματος HTC VIVE και της μηχανής Unreal Engine 4 διατίθενται από τη μηχανή σαν «προκατασκευασμένες»

οντότητες. Ο σκοπός που διατίθενται έτσι, είναι για να ωθήσουν το χρήστη να αφιερώσει χρόνο στη δημιουργία περιεχομένου για την εφαρμογή του και όχι να αναλώνεται σε διαδικασίες σύνδεσης συστημάτων που είναι περίπλοκες και χρονοβόρες.

Έτσι προκειμένου η εφαρμογή να λειτουργεί και να συγχρονίζεται με το σύστημα HTC VIVE έπρεπε στην οντότητα VR Pawn να προσαρτηθούν τα εξαρτήματα που φαίνονται στο παρακάτω στιγμιότυπο οθόνης που λήφθηκε από το παράθυρο επεξεργασίας της (εικόνα 101).



Εικόνα 101: Τα εξαρτήματα που προσαρτήθηκαν στην οντότητα VR Pawn

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι ως εξάρτημα στη μηχανή Unreal Engine 4 νοείται οποιαδήποτε οντότητα μπορεί να προσαρτηθεί σε ένα βασικό της αντικείμενο. Τέτοια μπορεί να είναι τρισδιάστατα μοντέλα, blueprints, κάμερες κ.ά.

Το εξάρτημα DefaultSceneRoot αντιπροσωπεύει το υπερσύνολο κάτω από το οποίο προσαρτώνται όλα τα εξαρτήματα του VR Pawn.

Το εξάρτημα VRCamera είναι η αναπαράσταση της μάσκας εικονικής πραγματικότητας που χρησιμοποιείται και περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους της. Τέτοιες είναι η θέση της, ο προσανατολισμός της, το επίπεδο προβολής που απεικονίζει το ψηφιακό περιβάλλον, το οπτικό της πεδίο κ.ά.

Τα εξαρτήματα RController και LController αντιπροσωπεύουν τις λειτουργίες των χειριστηρίων του συστήματος εικονικής πραγματικότητας HTC VIVE, αλλά δεν τα αναπαριστούν με κάποιο τρισδιάστατο μοντέλο στον ψηφιακό χώρο. Ο τρόπος αναπαράστασής τους θα αναλυθεί μετέπειτα.

Τέλος, το εξάρτημα SteamVRChaperone είναι ο συνοδός κάθε οντότητας χρήστη – παίκτη η οποία αναπτύσσεται για εφαρμογές του συστήματος HTC VIVE μιας και είναι η βιβλιοθήκη όλων των επεκτάσεων και συναρτήσεων με τη βοήθεια των οποίων συνεργάζεται το HTC VIVE με τη μηχανή Unreal Engine 4.

Τελικά, με τις παραπάνω ενέργειες έχει δημιουργηθεί η οντότητα που αντιπροσωπεύει τον χρήστη – παίκτη της εφαρμογής, ο χρήστης μπορεί να δει μέσα στον ψηφιακό χώρο αλλά δεν μπορεί να αλληλοεπιδράσει με αυτόν και να μετακινηθεί μέσα σε αυτόν αφού οι λειτουργίες της εφαρμογής δεν έχουν προγραμματιστεί ακόμη.

4.3.6 Οπτικοποίηση των χειριστηρίων

Πολύ σημαντικό στοιχείο για την επίτευξη ενός μεγάλου βαθμού εμπύθισης κατά τη χρήση της εφαρμογής είναι η αληθοφανής οπτικοποίηση των χειριστηρίων του συστήματος HTC VIVE προκειμένου ο χρήστης να βλέπει τα χειριστήρια που κρατάει στο ψηφιακό περιβάλλον και να μπορεί να κατανοήσει τα κουμπιά τους και να αλληλοεπιδράσει με αυτά.

Συγκεκριμένα, τα χειριστήρια του HTC VIVE στην εν λόγω εφαρμογή οπτικοποιήθηκαν με τη βοήθεια ενός τρισδιάστατου μοντέλου που παρέχεται ελεύθερα προς χρήση στην ψηφιακή βιβλιοθήκη τρισδιάστατων μοντέλων www.sketchfab.com.

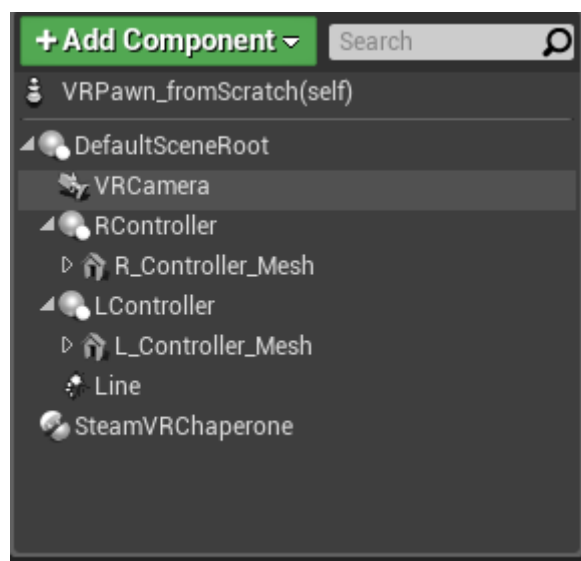
Τονίζεται, πως στην συγκεκριμένη βιβλιοθήκη παρέχονται πολλές εκδοχές του τρισδιάστατου μοντέλου αλλά μετά από συγκρίσεις επιλέχθηκε η πιο αληθοφανής (εικόνα 102) και η οποία μπορεί να βρεθεί στην ιστοσελίδα: <https://sketchfab.com/models/9f03e4a80c5a4b31a24bb122f17cb229>



Εικόνα 102: Το τρισδιάστατο μοντέλων των χειριστηρίων που χρησιμοποιήθηκε.
(Πηγή: <https://sketchfab.com/models/9f03e4a80c5a4b31a24bb122f17cb229>)

Πρέπει να αναφερθεί ότι τα δύο χειριστήρια του HTC VIVE είναι πανομοιότυπα για αυτόν τον λόγο και χρησιμοποιείται το ίδιο τρισδιάστατο μοντέλο για την απεικόνισή τους στο ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής.

Στη συνέχεια, προκειμένου να οπτικοποιηθεί το εν λόγω μοντέλο στο ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής αλλά και να ακολουθεί τη θέση και τον προσανατολισμό των χειριστηρίων έπρεπε να προστεθεί ως εξάρτημα «κάτω» από τα εξαρτήματα της VR Pawn που αντιπροσωπεύουν το δεξί και το αριστερό χειριστήριο του συστήματος. Έτσι, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 103) «κάτω» από τα LController και RController έχουν προστεθεί τα τρισδιάστατα μοντέλα με όνομα R_Controller_Mesh και L_Controller_Mesh.



Εικόνα 103: Η προσθήκη των τρισδιάστατων μοντέλων των χειριστηρίων στην οντότητα VR Pawn.

Όπως γίνεται αντιληπτό από το όνομά τους τα δύο τρισδιάστατα μοντέλα είναι διαφοροποιημένα. Η διαφοροποίηση αυτή, πραγματοποιήθηκε, καθώς έπρεπε να διαχωριστεί οπτικά το αριστερό χειριστήριο από το δεξί μιας και θα εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες κατά τη χρήση της εφαρμογής.

Η διαφοροποίηση αυτή έγινε χρωματίζοντας την υφή των δύο μοντέλων διαφορετικά αλλά κρατώντας την τρισδιάστατη επιφάνεια των μοντέλων ίδια. Συγκεκριμένα, το αριστερό χειριστήριο χρωματίστηκε κόκκινο ενώ το δεξί χειριστήριο πράσινο.



Εικόνα 104: Το αριστερό και το δεξί χειριστήριο αντίστοιχα.

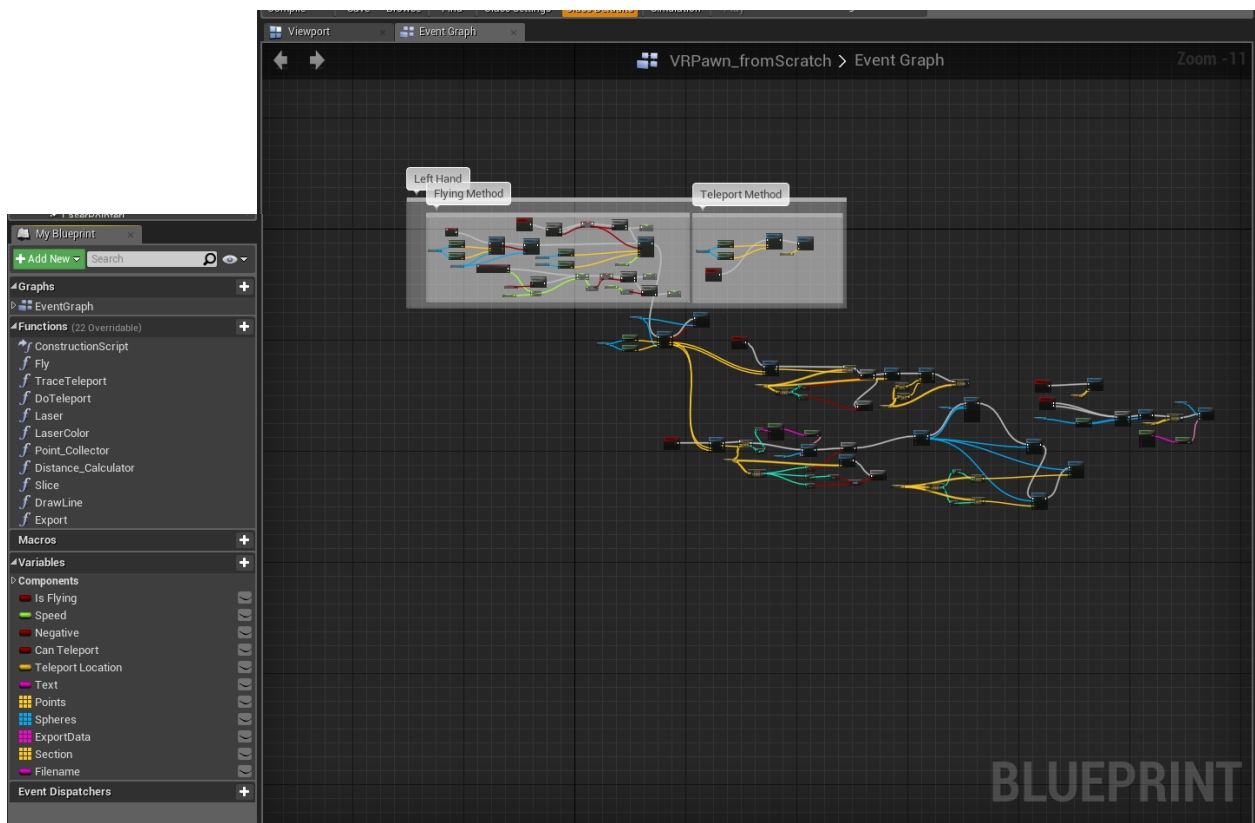
Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι όλες οι παραμετροποιήσεις της υφής που αναλύθηκαν στο εδάφιο 4.3.4 προκειμένου τα αντικείμενα να είναι «αυτόφωτα» και να στερούνται της ανάγκης φωτισμού στο τρισδιάστατο ψηφιακό περιβάλλον έχουν εφαρμοσθεί και στις εν λόγω υφές.

Τελικά, με την οπτικοποίηση των χειριστηρίων ο χρήστης είναι σε θέση να τα δει στο ψηφιακό περιβάλλον και εφαρμογή μπορεί να μεταφράσει την κίνησή τους στο πραγματικό περιβάλλον σε κίνηση στο ψηφιακό αυτόματα.

4.3.7 Προγραμματισμός των λειτουργιών της εφαρμογής

Όπως προαναφέρθηκε όλες οι λειτουργίες της εφαρμογής προγραμματίστηκαν με τη χρήση του εικονικού προγραμματισμού σε μορφή Blueprints που παρέχει η μηχανή Unreal Engine 4. Συγκεκριμένα, κάθε πτυχή της προγραμματίστηκε στο γράφημα γεγονότων του παραθύρου επεξεργασίας της οντότητας VR Pawn.

Στο γράφημα γεγονότων ορίζεται, με τη βοήθεια εικονικού προγραμματισμού, το αποτέλεσμα ενός γεγονότος ή διαδικασία που αρχίζει με το συγκεκριμένο γεγονός. Τέτοια γεγονότα μπορεί να είναι το πάτημα ενός κουμπιού, η αφή σε συγκεκριμένα σημεία του χειριστηρίου, το πάτημα ενός συνδυασμού κουμπιών κ.ά. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 105) φαίνεται ολόκληρο το γράφημα γεγονότων της εφαρμογής αλλά και η αλληλουχία και σύνδεση των εντολών μεταξύ τους. Επιπλέον, φαίνονται οι συναρτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και οι αναγκαίες μεταβλητές.



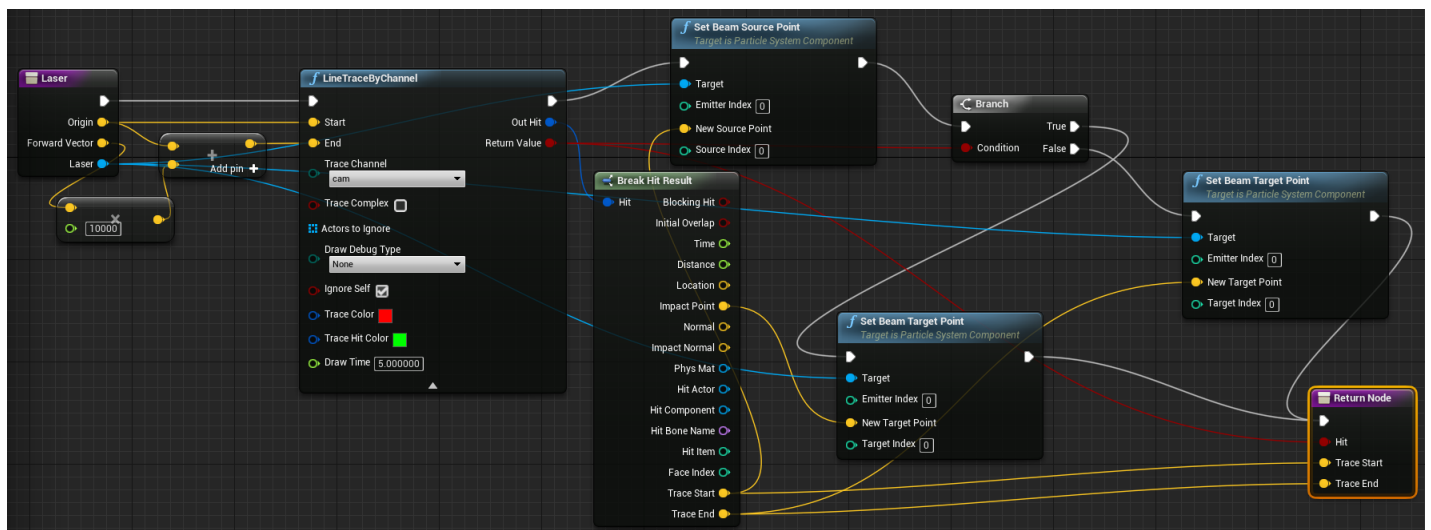
Εικόνα 105: Το γράφημα γεγονότων(δεξιά), οι συναρτήσεις και οι μεταβλητές (αριστερά).

Στην παρούσα υποενότητα, θα αναλυθεί κάθε διαδικασία που προγραμματίστηκε στο πλαίσιο της δημιουργίας της παρούσας εφαρμογής.

- **Διαδικασία υποβοήθησης σκόπευσης**

Καθότι η εφαρμογή που αναπτύχθηκε βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη σκόπευση σημείων και για τη μετακίνηση του χρήστη στο ψηφιακό της περιβάλλον αλλά και για την πραγματοποίηση των μετρητικών διαδικασιών έπρεπε να αναπτυχθεί ένα σύστημα σκόπευσης σημείων.

Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε σε Blueprint η συνάρτηση Laser με την οποία φαίνεται να εκπέμπεται από κάθε χειριστήριο μια ακτίνα Laser. Η συγκεκριμένη ακτίνα λειτουργεί και ως επιλογέας σημείων αφού για το αριστερό χέρι με τη βοήθειά της ο χρήστης επιλέγει τα σημεία τηλεμεταφοράς του ενώ για το δεξί ο χρήστης επιλέγει τα σημεία με τα οποία θα εκτελέσει τις μετρητικές διαδικασίες. Η συνάρτηση με την οποία εκπέμπεται η ακτίνα από το κέντρο βάρους κάθε χειριστηρίου στο ψηφιακό περιβάλλον φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 106).

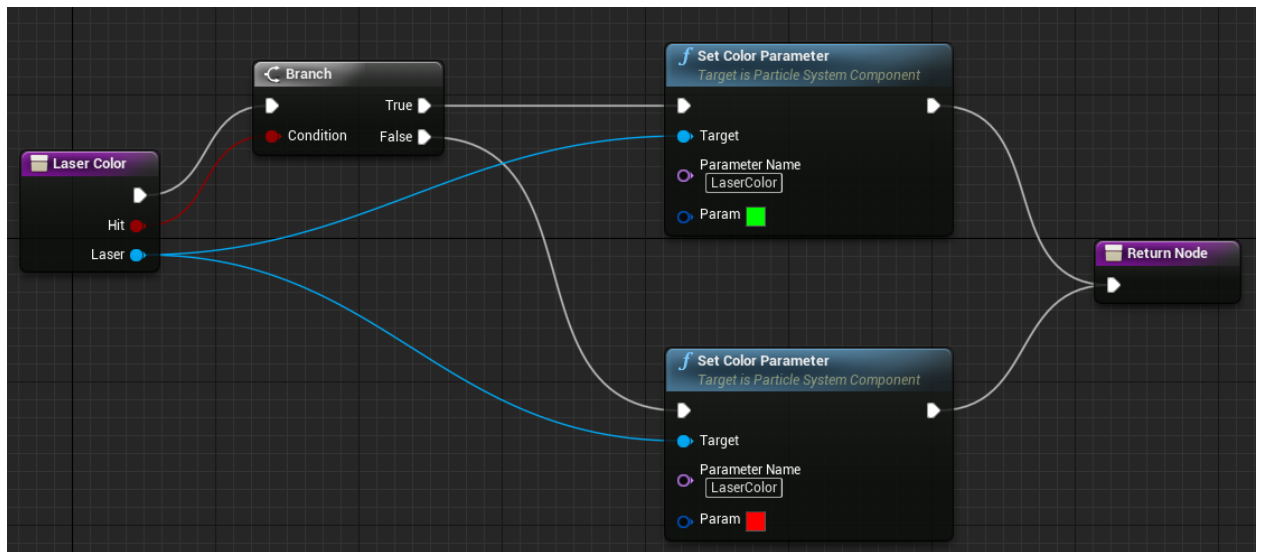


Εικόνα 106: Η συνάρτηση Laser σε μορφή Blueprint

Προκειμένου να εκπέμπει την ακτίνα laser η συνάρτηση δέχεται ως δεδομένα την θέση και τον προσανατολισμό του χειριστηρίου και επιστρέφει την αρχή και το τέλος της ακτίνας σε συντεταγμένες του ψηφιακού χώρου αλλά και την λογική μεταβλητή Hit που εκφράζει αν η ακτίνα τέμνει κάποιο τρισδιάστατο αντικείμενο. Η συνάρτηση αυτή ανανεώνεται σε κάθε καρέ της εφαρμογής με σκοπό η ακτίνα να είναι πάντα διαθέσιμη στο χρήστη.

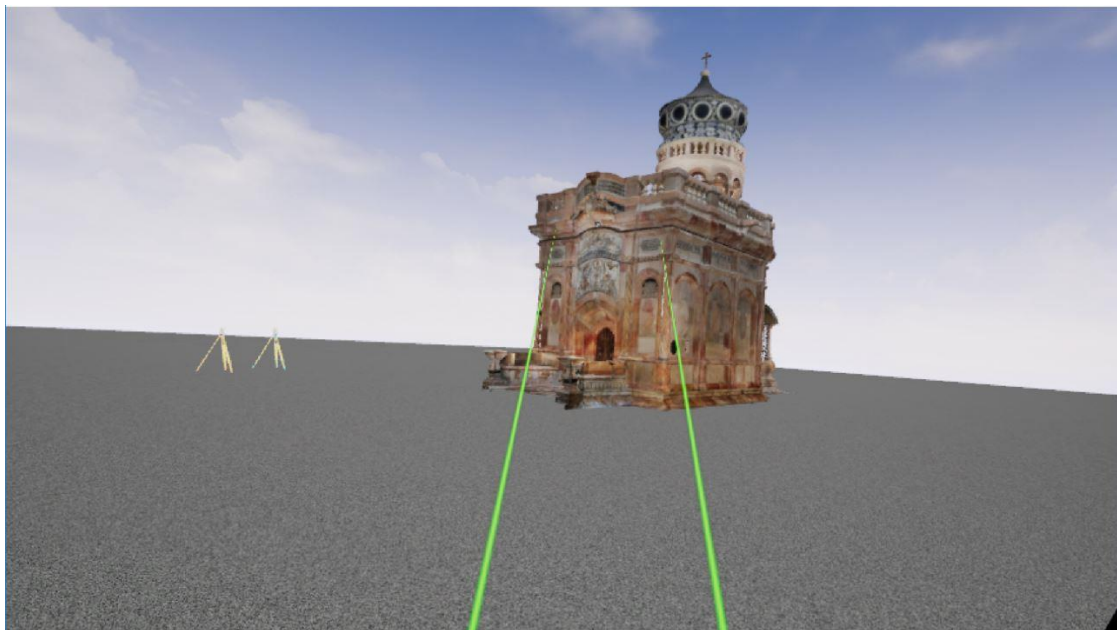
Επιπλέον, με τη βοήθεια της συνάρτησης Laser Color, η οποία δέχεται ως μεταβλητή την προαναφερθείσα μεταβλητή Hit, η ακτίνα Laser που εκπέμπεται από τα χειριστήρια έχει χρώμα πράσινο εφόσον τέμνει κάποιο αντικείμενο και χρώμα κόκκινο στην αντίθετη περίπτωση.

Η συνάρτηση Laser Color φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 107):



Εικόνα 107: Η συνάρτηση Laser Color σε μορφή Blueprint

Συνοψίζοντας, με τη διαδικασία υποβοήθησης σκόπευσης επιτυγχάνεται πέρα από την υποβοήθηση της σκόπευσης του χρήστη και ο έλεγχος αν η ακτίνα τέμνει κάποιο τρισδιάστατο αντικείμενο του ψηφιακού χώρου.

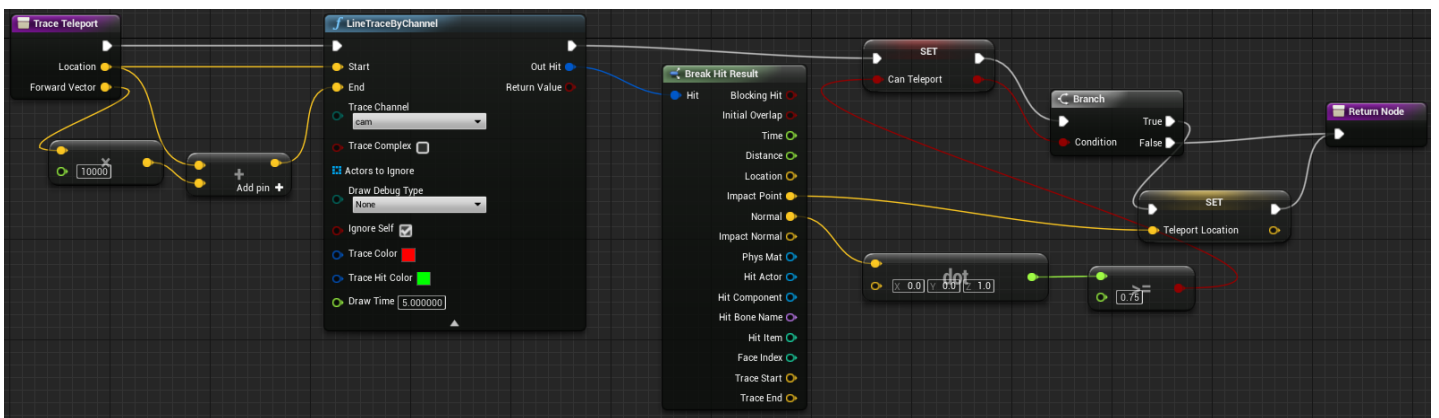


Εικόνα 108: Στιγμιότυπο οθόνης από την εφαρμογή με εμφανή τα Laser.

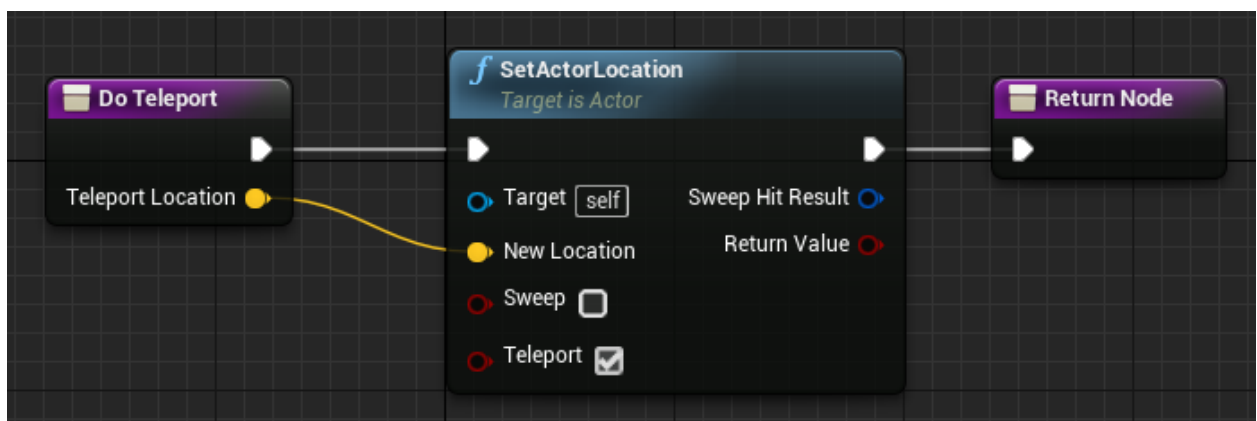
- **Τηλεμεταφορά στον τρισδιάστατο ψηφιακό χώρο**

Προκειμένου ο χρήστης να μπορεί να μετακινείται στον τρισδιάστατο ψηφιακό χώρο προγραμματίστηκε η διαδικασία της τηλεμεταφοράς του μέσα σε αυτόν. Ουσιαστικά, με την συγκεκριμένη διαδικασία ο χρήστης επιλέγει την θέση στην οποία θέλει να μετακινήσει την οντότητα VR Pawn μέσω της οποίας βιώνει την εφαρμογή.

Για την τηλεμεταφορά, με το πάτημα του κουμπιού Thumbstick του αριστερού χειριστηρίου εκτελούνται οι συναρτήσεις Trace Teleport και Do Teleport με τη σειρά που αναφέρθηκαν. Συγκεκριμένα, με την πρώτη συνάρτηση διερευνάται αν ο χρήστης είναι δυνατό να τηλεμεταφερθεί στο σημείο όπου δείχνει η ακτίνα laser και αν είναι δυνατόν αποθηκεύει την συγκεκριμένη θέση σε μια μεταβλητή. Στη συνέχεια η μεταβλητή με τη θέση της τηλεμεταφοράς μεταβιβάζεται στην συνάρτηση Do teleport η οποία μετακινεί τη θέση του VR Pawn και κατ' επέκταση του χρήστη. Οι δύο συναρτήσεις φαίνονται στις παρακάτω εικόνες (εικόνα 109 & 110).



Εικόνα 109: Η συνάρτηση Trace Teleport σε μορφή Blueprint.



Εικόνα 110: Η συνάρτηση Do Teleport σε μορφή Blueprint.

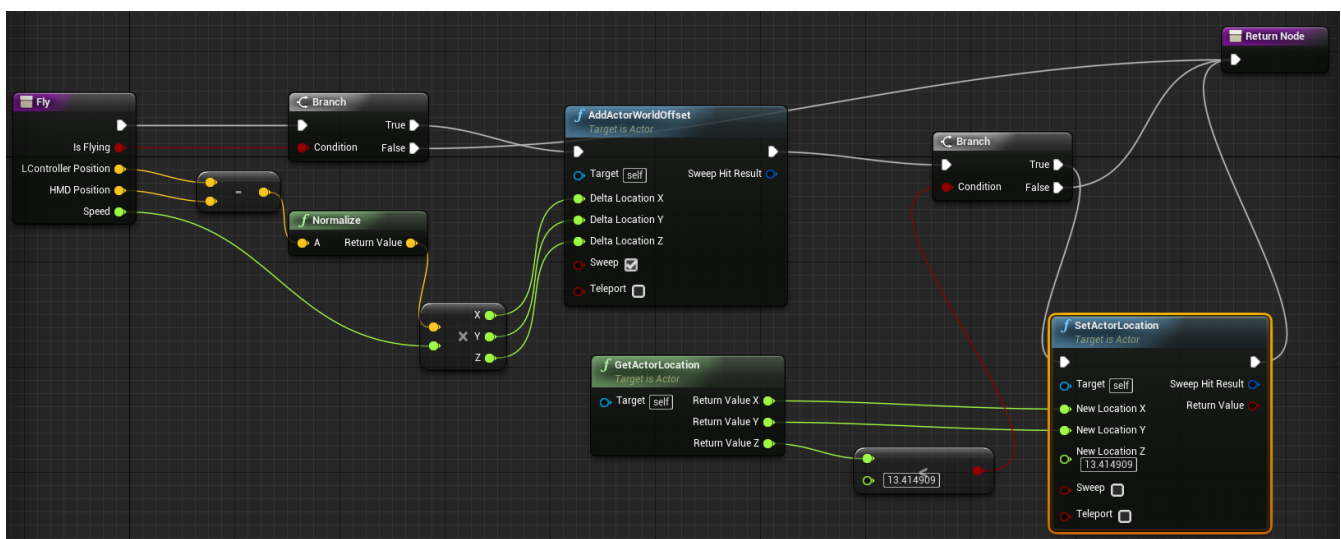
Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως η δυνατότητα τηλεμεταφοράς του χρήστη εξαρτάται από την κλίση της τρισδιάστατης επιφάνειας στο σημείο όπου ζητάει να τηλεμεταφερθεί. Συνεπώς, δεν δίνεται η δυνατότητα τηλεμεταφοράς σε κατακόρυφες επιφάνειες ή σε επιφάνειες με μεγάλες κλίσεις προκειμένου να διατηρηθεί η αληθοφάνεια της εφαρμογής. Έτσι, με την συγκεκριμένη διαδικασία ο χρήστης μπορεί να τηλεμεταφερθεί σε επιφάνειες οριζόντιες ή σχεδόν οριζόντιες τις οποίες μπορεί να υποδείξει με την ακτίνα του χειριστηρίου του.

- Πτήση στον τρισδιάστατο ψηφιακό χώρο

Με τη δημιουργία της διαδικασίας της τηλεμεταφοράς επιτράπηκε στο χρήστη η μετακίνηση γύρω από το μνημείο και μέσα σε αυτό αλλά μόνο στο επίπεδο του εδάφους. Για περισσότερη ελευθερία μετακίνησης αποφασίστηκε να προγραμματιστεί και άλλος ένας τρόπος μεταφοράς ο οποίος θα ήταν η πτήση του χρήστη στον τρισδιάστατο ψηφιακό χώρο.

Ουσιαστικά, με την διαδικασία της πτήσης ο χρήστης με τις κινήσεις του αριστερού του χεριού έχει τη δυνατότητα να κατευθυνθεί στον τρισδιάστατο χώρο πετώντας πάνω από το μνημείο, γύρω από αυτό αλλά και μέσα σε αυτό σε όποιο ύψος επιθυμεί. Συγκεκριμένα, ο χρήστης πατώντας τη σκανδάλη του αριστερού χειριστηρίου εκκινεί τη διαδικασία πτήσης με την οποία ίπταται όπου δείχνει με το χειριστήριο. Επιπλέον, για ανυψωθεί πρέπει να σηκώσει το αριστερό του χέρι πάνω από το κεφάλι του. Η διαδικασία πτήσης ανανεώνεται σε κάθε καρτέ της εφαρμογής και διακόπτεται όταν ο χρήστης ξαναπατήσει τη σκανδάλη του αριστερού χειριστηρίου.

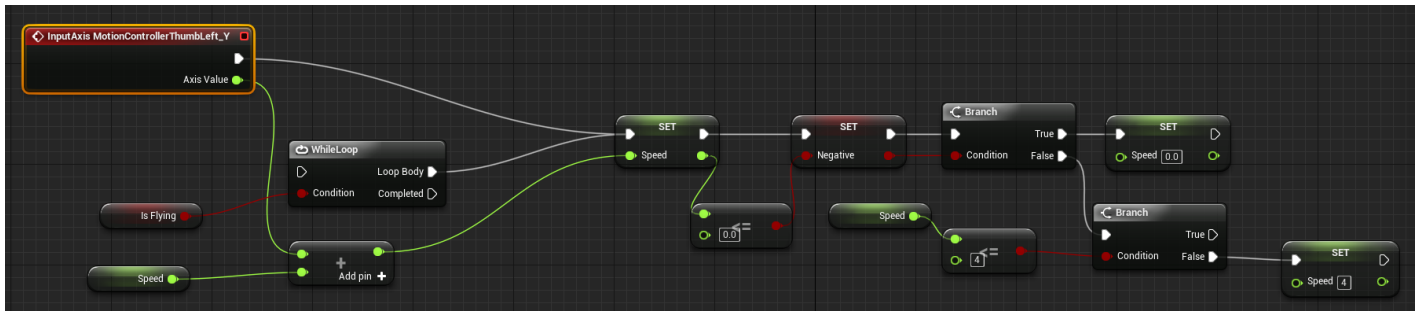
Όλη η πτήση λαμβάνει χώρα με τη βοήθεια της συνάρτησης Fly η οποία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 111).



Εικόνα 111: Η συνάρτηση Fly σε μορφή Blueprint.

Τονίζεται πως μέσω της συγκεκριμένης συνάρτησης δεν επιτρέπεται στον χρήστη να πετάξει χαμηλότερα από το επίπεδο του εδάφους προκειμένου η διαδικασία πτήσης να είναι πιο εύχρηστη, αληθοφανής και να μην ξενίζει τον χρήστη. Επιπροσθέτως, ορίστηκε και επιλογή παραμετροποίησης της ταχύτητας πτήσης προκειμένου να δίνεται η δυνατότητα στον εκάστοτε χρήστη να πετάει στο ψηφιακό περιβάλλον με την ταχύτητα που νιώθει άνετα. Συγκεκριμένα, με την αφή στον κατακόρυφο άξονα του κουμπιού Thumbstick του αριστερού χειριστηρίου και θεωρώντας ως κέντρο του το κέντρο του κυκλικού κουμπιού ο χρήστης μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα αγγίζοντας στα θετικά του άξονα και να τη μειώσει αγγίζοντας στα αρνητικά του.

Η διαδικασία αυξομείωσης της ταχύτητας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 112).



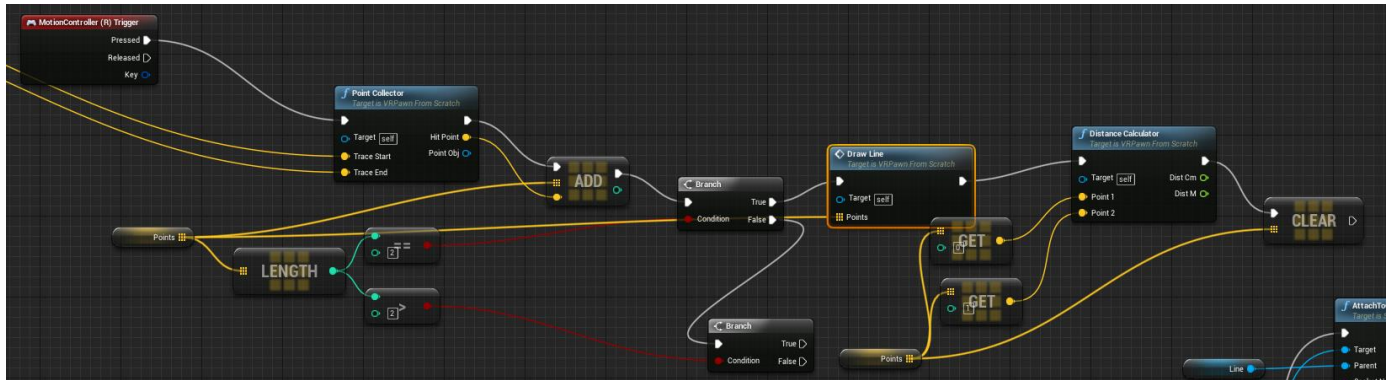
Εικόνα 112: Η διαδικασία αυξομείωσης της ταχύτητας πτήσης σε μορφή Blueprint

• Μετρήσεις Αποστάσεων

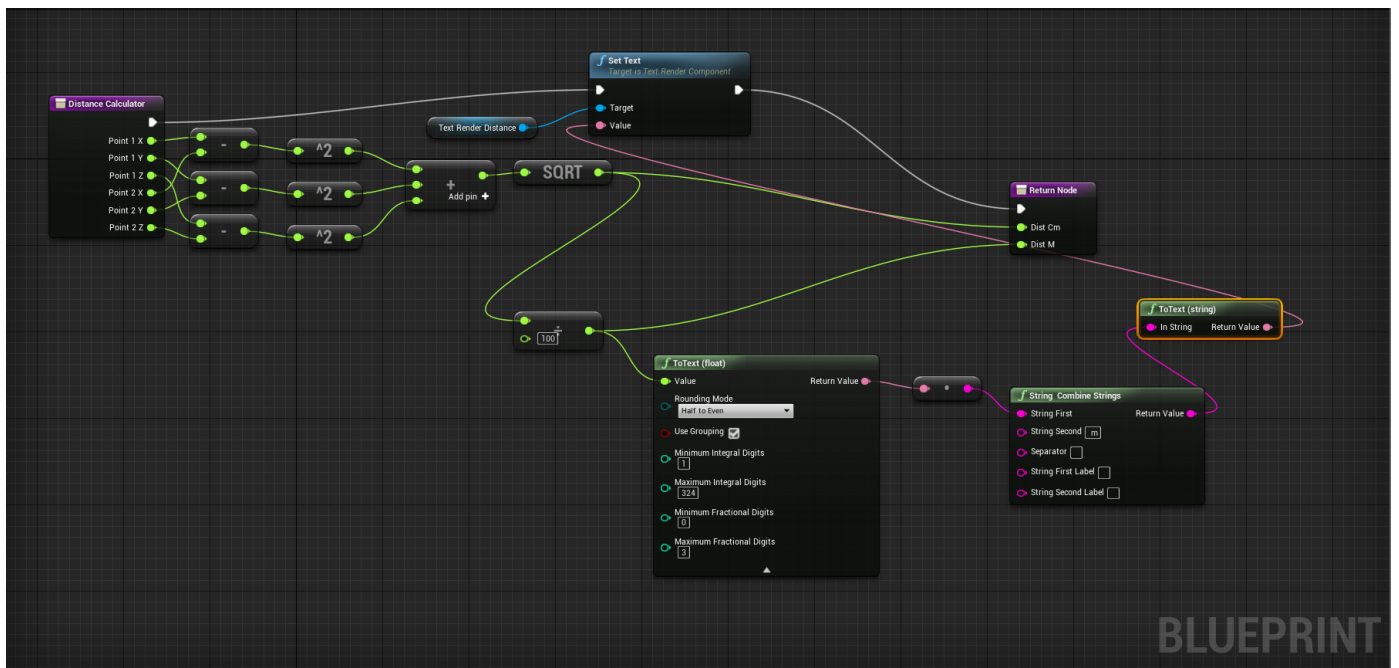
Η δημιουργία του εργαλείου μετρήσεων απόστασης επιτρέπει στο χρήστη να μετρά αποστάσεις μεταξύ δύο σημείων που επιλέγει σε μία τρισδιάστατη οντότητα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας την σκανδάλη του πράσινου (δεξιού) χειριστηρίου ο χρήστης επιλέγει διαδοχικά το πρώτο και το δεύτερο σημείο μεταξύ των οποίων επιθυμεί να μετρήσει την απόστασή τους στο χώρο.

Αναλυτικά, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει οποιοδήποτε σημείο του χώρου το οποίο τέμνεται με τις βοηθητικές ακτίνες. Έτσι, με την επιλογή από το χρήστη του πρώτου σημείου, αυτό αποθηκεύεται σε έναν συγκεκριμένο πίνακα που ονομάζεται Points. Επιλέγοντας και το δεύτερο σημείο αυτό αποθηκεύεται στον ίδιο πίνακα και ταυτόχρονα υπολογίζεται και η μεταξύ τους απόσταση. Η απόσταση υπολογίζεται μέσω της συνάρτησης Distance Calculator η οποία εφαρμόζει τον παρακάτω κλασικό τύπο υπολογισμού της τρισδιάστατης απόστασης:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$



Εικόνα 113: Η διαδικασία μέτρησης απόστασης σε μορφή Blueprint



Εικόνα 114: Η συνάρτηση υπολογισμού απόστασης (Distance Calculator) σε μορφή Blueprint

Επιπλέον, όπως φαίνεται και στις εικόνες 29 και 30 χρησιμοποιούνται κάποια πρόσθετα υπό-εργαλεία προκειμένου να κάνουν το εργαλείο μέτρησης αποστάσεων πιο εύχρηστο.

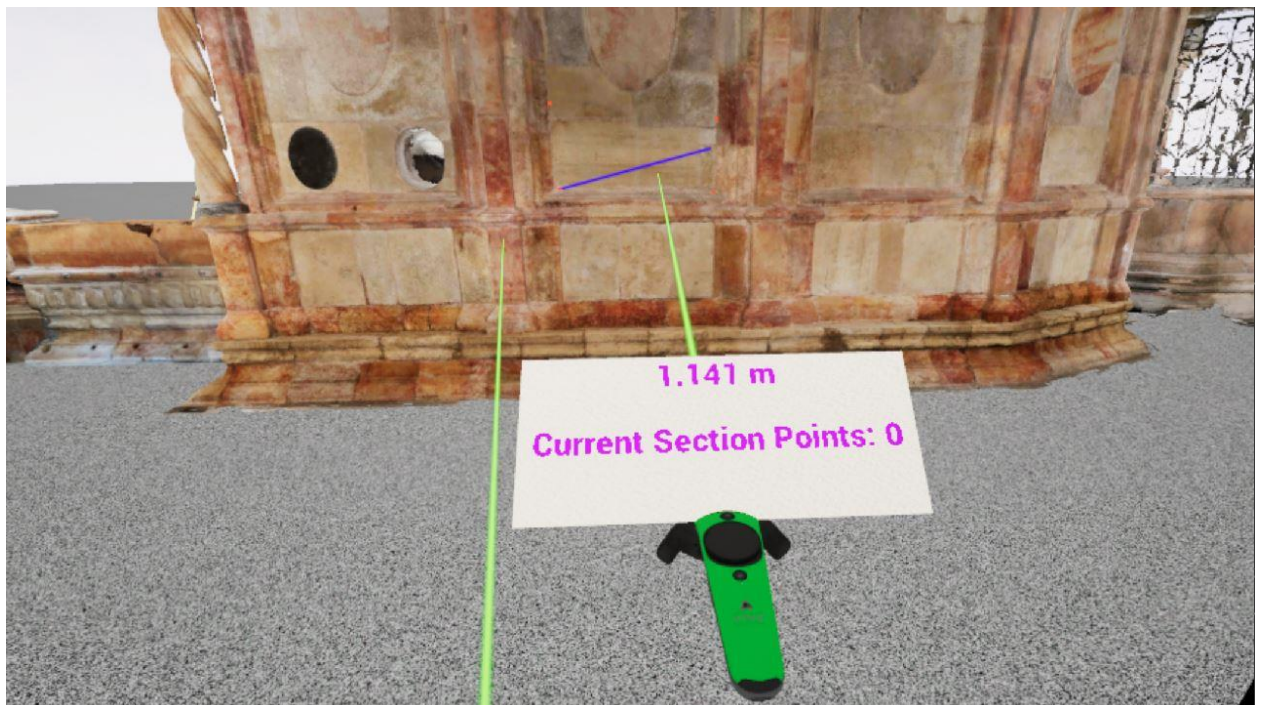
Το πρώτο υπό-εργαλείο ενεργοποιείται με τη συνάρτηση Point Collector (εικόνα 116) σύμφωνα με την οποία τα σημεία του τρισδιάστατου χώρου που επιλέγει ο χρήστης επισημαίνονται με τη βοήθεια πολύ μικρών κόκκινων σφαιρών προκειμένου να αναγνωρίζονται.

Το δεύτερο υπό-εργαλείο ενεργοποιείται με τη συνάρτηση Draw Line (εικόνα 117) με τη βοήθεια της οποίας τα δύο σημεία των οποίων ο χρήστης μετράει την απόσταση ενώνονται με μία μπλε γραμμή. Αξίζει σε αυτό το σημείο, να τονιστεί πως ολόκληρη η διαδικασία μέτρησης αποστάσεων επανεκκινείται με την επιλογή του τρίτου σημείου. Έτσι, η προηγούμενη μέτρηση διαγράφεται μαζί και με την μπλε γραμμή που δημιουργείται. Επίσης, όπως είναι φυσικό το τρίτο σημείο γίνεται πρώτο καθώς τα προηγούμενα διαγράφονται. Αξίζει να σημειωθεί πως στο

συγκεκριμένο στάδιο της εφαρμογής η δυνατότητα αποθήκευσης των μετρημένων αποστάσεων δεν παρέχεται και αποτελεί αντικείμενο μελλοντικής βελτίωσης.

Το τρίτο υπό-εργαλείο βρίσκεται μέσα στην συνάρτηση Distance Calculator (εικόνα 114) και αφορά στην εμφάνιση της τιμής της μετρηθείσας απόστασης μέσα στο ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής. Για τον σκοπό αυτό, προσαρτήθηκε στο δεξί χειριστήριο μια οντότητα δισδιάστατης πινακίδας στην οποία εμφανίζεται η συγκεκριμένη πληροφορία.

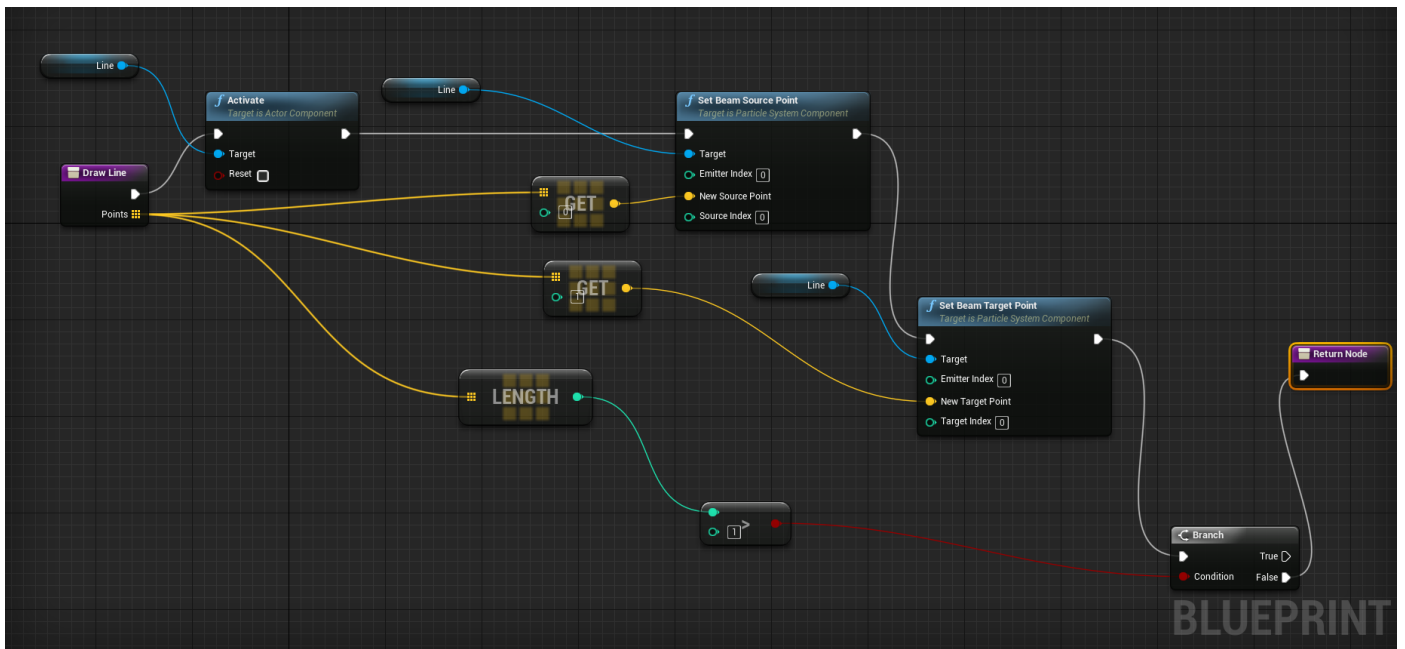
Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 115) φαίνεται στιγμιότυπο από το ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής όπου εμφανίζεται το αποτέλεσμα των τριών παραπάνω υπό-εργαλείων.



Εικόνα 115: Μέτρηση απόστασης στην εφαρμογή & τα αποτελέσματα των τριών υπό-εργαλείων.



Εικόνα 116: Η συνάρτηση Point Collector σε μορφή Blueprint



Εικόνα 117: Η συνάρτηση Draw Line σε μορφή Blueprint.

- **Μετρήσεις και Εξαγωγές Συντεταγμένων Σημείων – Τομές**

Τελευταίο εργαλείο που υλοποιήθηκε για την εφαρμογή της παρούσας διπλωματικής είναι αυτό των μετρήσεων και εξαγωγής των τρισδιάστων συντεταγμένων σημείων του χώρου. Χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο εργαλείο ο χρήστης μπορεί να μετρήσει τις συντεταγμένες οποιουδήποτε τρισδιάστατου σημείου μιας οντότητας και να τις εξαγάγει σε αρχείο της μορφής .txt. Έτσι, μπορεί να το χρησιμοποιήσει προκειμένου να εξαγάγει οριζόντιες ή κατακόρυφες τομές τις οποίες έχει μετρήσει ο ίδιος στο ψηφιακό περιβάλλον.

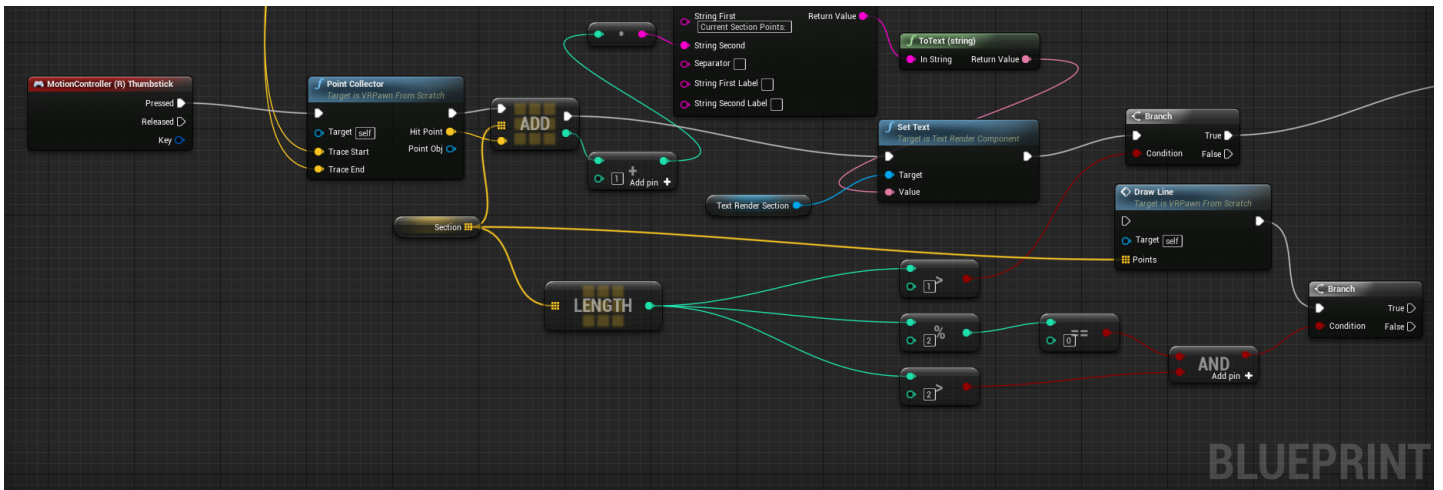
Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το εργαλείο αυτό είναι παρόμοιος με αυτόν του εργαλείου μετρήσεων απόστασης. Συγκεκριμένα, ο χρήστης με τη βοήθεια του κουμπιού ThumbStick του πράσινου (δεξιού) χειριστηρίου επιλέγει διαδοχικά τα σημεία τα οποία θέλει να μετρήσει. Τα εν λόγω σημεία αποθηκεύονται σε έναν πίνακα, επισημαίνονται με τη βοήθεια της συνάρτησης Point Collector, ενώνονται με κίτρινη γραμμή με τη βοήθεια της συνάρτησης Draw Line και αναφέρεται το πλήθος τους στην οντότητα της δισδιάστατης πινακίδας. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να εξαγάγει τα μετρηθέντα σημεία με το κουμπί Shoulder του κόκκινου (αριστερού) χειριστηρίου αλλά και να επανεκκινήσει τη διαδικασία, δηλαδή να διαγράψει τις ήδη υπάρχουσες μετρήσεις με το κουμπί Shoulder του πράσινου (δεξιού) χειριστηρίου.

Σημειώνεται, πως η εξαγωγή του πίνακα των σημείων γίνεται με την συνάρτηση Export η οποία χρησιμοποιεί εντολές της πρόσθετης βιβλιοθήκης VictoryPlugin που δημιουργήθηκε από τον χρήστη Rama και είναι διαθέσιμη στον σύνδεσμο:

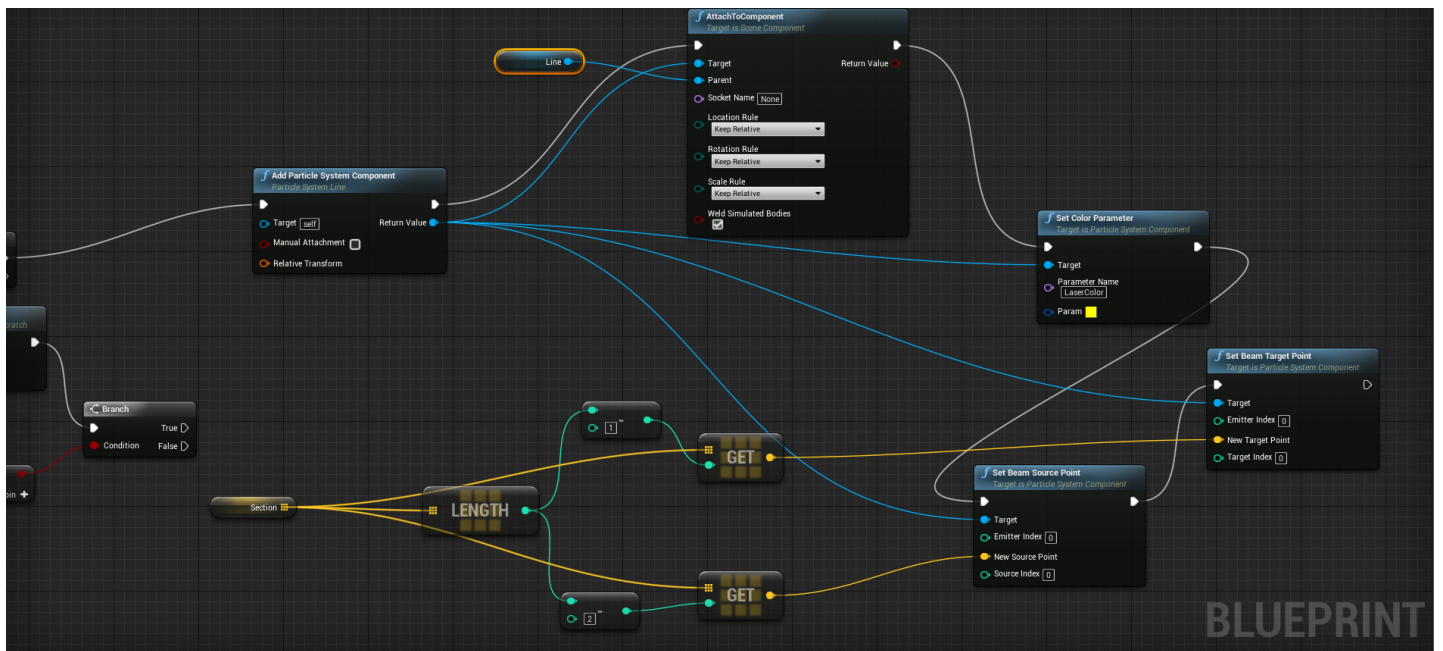
<https://forums.unrealengine.com/development-discussion/blueprint-visual-scripting/4014-39-rama-s-extra-blueprint-nodes-for-you-as-a-plugin-no-c-required>

Στις δύο παρακάτω εικόνες (εικόνα 118 & 119) φαίνεται το εργαλείο μετρήσεων τρισδιάστατων συντεταγμένων σημείων σε μορφή Blueprints. Επιπλέον, στην εικόνα 120 φαίνεται η συνάρτηση Export με την οποία γίνεται η εξαγωγή των μετρηθέντων σημείων και στην εικόνα 121 η διαδικασία επανεκκίνησης του εργαλείου.

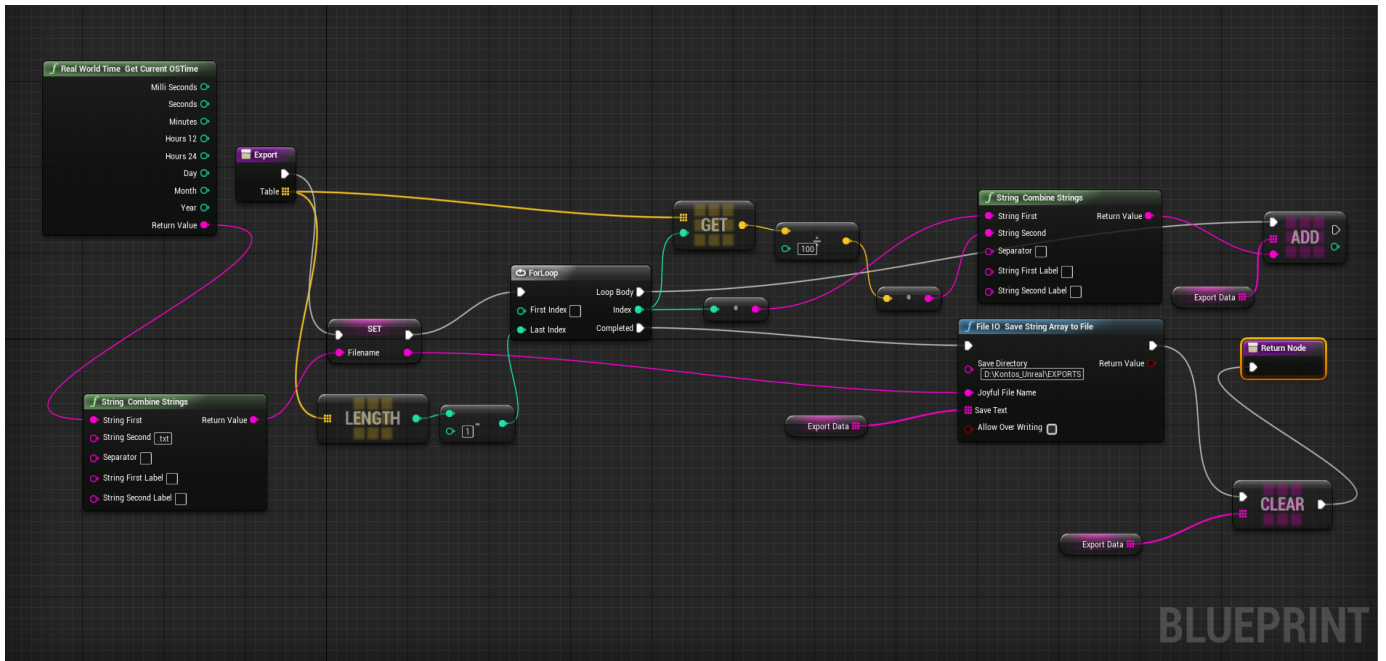
«Ανάπτυξη Συστήματος Μετρήσεων σε Περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας»



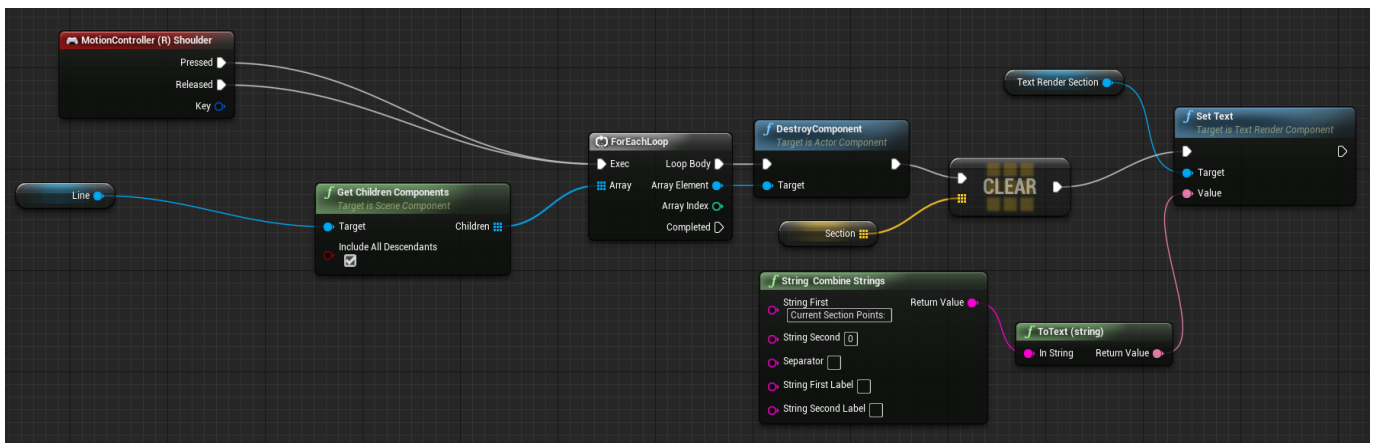
Εικόνα 118: Το εργαλείο μέτρησης συντεταγμένων σε μορφή Blueprint (1/2).



Εικόνα 119: Το εργαλείο μέτρησης συντεταγμένων σε μορφή Blueprint (2/2).



Εικόνα 120: Η συνάρτηση Export σε μορφή Blueprint.



Εικόνα 121: Η διαδικασία επανεκκίνησης του εργαλείου σε μορφή Blueprint

Επιπλέον, παρακάτω παρατίθεται στιγμιότυπο (εικόνα 122) από το περιβάλλον της ψηφιακής εφαρμογής κατά τη χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου, αλλά και ένα πρότυπο αρχείο εξαγωγής συντεταγμένων (εικόνα 123) προκειμένου να γίνει κατανοητή η μορφή του.



Εικόνα 122: Στιγμιότυπο από το ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής κατά τη διάρκεια χρήσης του εργαλείου.

0 X=-0.842 Y=-3.760 Z=1.460
1 X=-0.842 Y=-3.738 Z=1.526
2 X=-0.843 Y=-3.730 Z=1.600
3 X=-0.846 Y=-3.728 Z=1.668
4 X=-0.843 Y=-3.728 Z=1.743
5 X=-0.843 Y=-3.725 Z=1.817
6 X=-0.840 Y=-3.723 Z=1.883
7 X=-0.839 Y=-3.725 Z=1.947
8 X=-0.842 Y=-3.725 Z=2.012
9 X=-0.842 Y=-3.725 Z=2.081
10 X=-0.842 Y=-3.724 Z=2.157

Εικόνα 123: Πρότυπο αρχείο εξαγωγής συντεταγμένων

4.4 Σύνοψη – Τελικό Προϊόν

Η εφαρμογή που δημιουργήθηκε εξυπηρετεί τον σκοπό της καθότι δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να πραγματοποιήσει όλες τις λειτουργίες για τις οποίες δημιουργήθηκε. Στην παρούσα υποενότητα θα δοθούν συνοπτικές οδηγίες για τον τρόπο λειτουργίας της εφαρμογής προκειμένου να γίνουν ευκολότερα κατανοητές και οι δυνατότητες που προσφέρει το τελικό προϊόν.

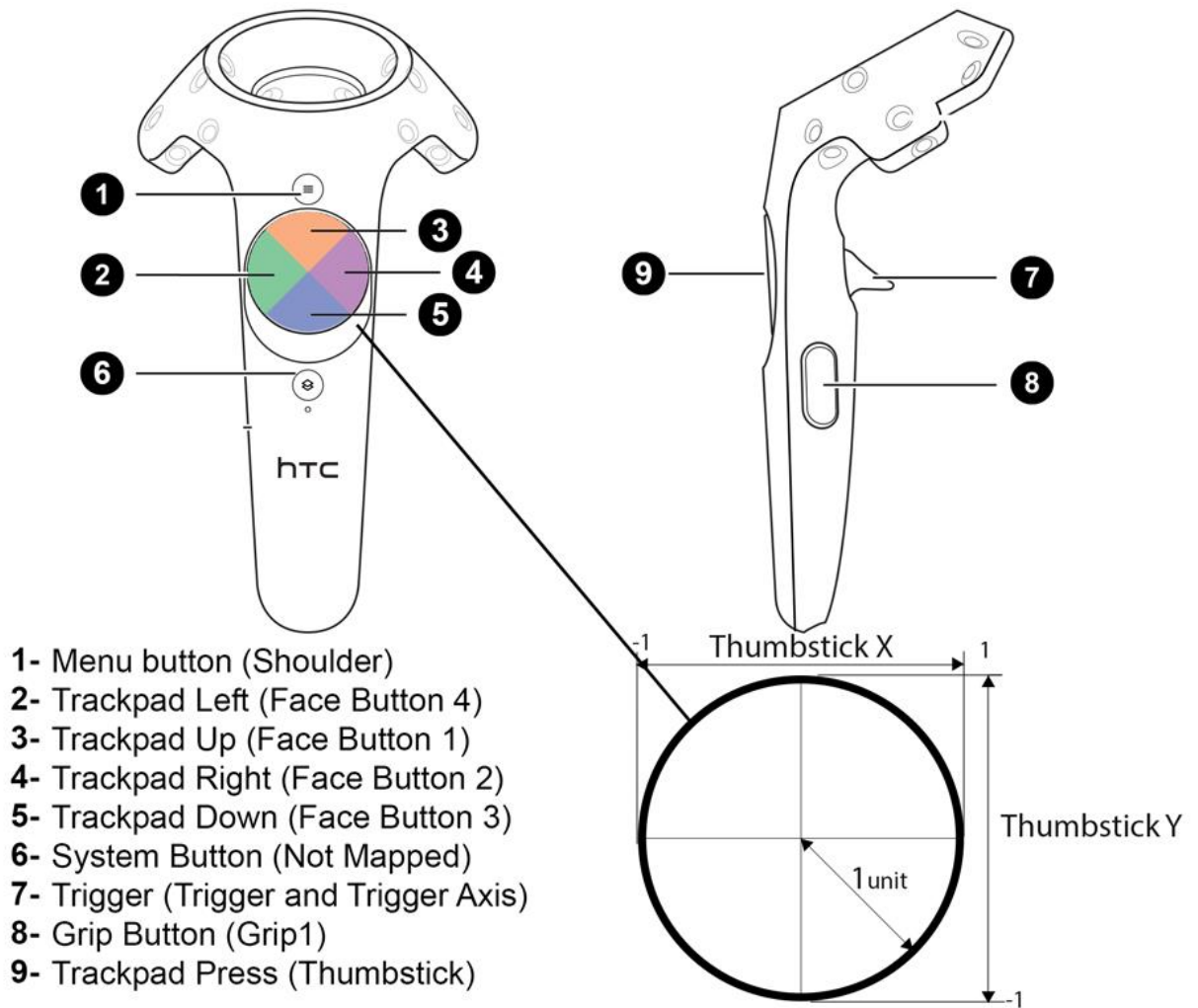
Τα εργαλεία που προσφέρει η εφαρμογή, όπως είναι κατανοητό και από τα προηγούμενα, χωρίζονται σε εργαλεία μετακίνησης μέσα στον τρισδιάστατο ψηφιακό χώρο και σε εργαλεία μετρήσεων. Όλες οι δυνατότητες μετακίνησης ελέγχονται από το κόκκινο (αριστερό) χειριστήριο, ενώ όλες οι μετρητικές δυνατότητες από το πράσινο (δεξί) χειριστήριο.

Όσον αφορά στην μετακίνηση ο χρήστης μπορεί είτε να τηλεμεταφερθεί από το ένα σημείο του εδάφους σε άλλο δείχνοντας με την ακτίνα υποβοήθησης το σημείο που επιθυμεί και πατώντας το πλήκτρο Thumbstick είτε να πετάξει ελεύθερα στο χώρο ξεκινώντας και διακόπτοντας τη διαδικασία πτήσης με το πλήκτρο Trigger. Επιπλέον, η ταχύτητα πτήσης ρυθμίζεται με την αφή στον κατακόρυφο άξονα του πλήκτρου Thumbstick.

Όσον αφορά στις μετρητικές ενέργειες ο χρήστης μπορεί να μετρήσει την τρισδιάστατη απόσταση μεταξύ δύο σημείων με το κουμπί Trigger ενώ με το κουμπί Thumbstick μπορεί να μετρήσει τις τρισδιάστατες συντεταγμένες διαδοχικών σημείων και τελικά να τις εξαγάγει με το κουμπί Shoulder του κόκκινου (αριστερού) χειριστηρίου. Σημειώνεται, πως η διαδικασία μέτρησης τρισδιάστατων συντεταγμένων σημείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάλλιστα και για μετρήσεις οριζόντιων ή κατακόρυφων τομών του εκάστοτε αντικειμένου. Επιπλέον, τα ήδη μετρημένα σημεία μπορούν να διαγραφούν με το κουμπί Shoulder του πράσινου (δεξιού) χειριστηρίου.

Τελικά, με την παραπάνω εφαρμογή, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να περιηγηθεί γύρω και μέσα στο τρισδιάστατο μοντέλο και να διεξαγάγει βασικές μετρητικές διαδικασίες. Επιπλέον, με την εξαγωγή των δεδομένων δίνεται η δυνατότητα να υποστούν επεξεργασία με οποιονδήποτε τρόπο κρίνει σκόπιμο ο χρήστης.

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 124) εμφανίζεται ένας χάρτης με τις ονομασίες των πλήκτρων του χειριστηρίου του συστήματος εικονικής πραγματικότητας HTC VIVE.



Εικόνα 124: Ο χάρτης των πλήκτρων των χειριστηρίων του συστήματος HTC VIVE.
(Πηγή: <https://forums.unrealengine.com/filedata/fetch?id=1111783&d=1460020388>)

Σημειώνεται πως ο παραπάνω χάρτης περιέχει τις ονομασίες των πλήκτρων του HTC VIVE όπως αυτές είναι χαρτογραφημένες στη μηχανή Unreal Engine 4.

Τέλος, παρατίθενται κάποιες φωτογραφίες (εικόνα 125) κατά τη διάρκεια της χρήσης της εφαρμογής οι οποίες λήφθηκαν στο Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του ΕΜΠ.



Εικόνα 125: Φωτογραφίες κατά τη διάρκεια χρήσης της εφαρμογής.
(Θέση: Εργαστήριο φωτογραμμετρίας ΕΜΠ, Χρήστης: Παναγιώτης Αγραφιώτης)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Αξιολόγηση της εφαρμογής

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αξιολογηθεί η εφαρμογή που δημιουργήθηκε ως προς τη λειτουργικότητά της αλλά και τη χρηστικότητά της. Για αυτόν τον σκοπό, κρίθηκε σκόπιμο, να ελεγχθεί η εφαρμογή ως προς την ακρίβεια των μετρητικών της εργαλείων αλλά και να αξιολογηθεί από διαφορετικούς χρήστες.

Ο έλεγχος της ακρίβειας των μετρητικών εργαλείων της εφαρμογής αφορά στην ακρίβεια με την οποία τα μετρηθέντα σημεία αντιστοιχούν σε σημεία της επιφάνειας του τρισδιάστατου μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε. Στο σημείο αυτό τονίζεται πως καθώς τα συστήματα αναφοράς της εφαρμογής και του πρωτογενούς τρισδιάστατου μοντέλου διαφοροποιήθηκαν κατά τη διάρκεια δημιουργίας της εφαρμογής έπρεπε να μετασχηματιστούν τα μετρημένα σημεία από την εφαρμογή στο αρχικό σύστημα. Επίσης, ελέγχθηκε και η ακρίβεια του εργαλείου μέτρησης αποστάσεων συγκρίνοντας έναν αριθμό μετρημένων αποστάσεων με την αληθινή τιμή τους.

Η αξιολόγηση της εφαρμογής έγινε από χρήστες διαφορετικών χαρακτηριστικών οι οποίοι αφού την χρησιμοποίησαν απάντησαν ένα ειδικά δημιουργημένο ερωτηματολόγιο που στοχεύει στην μελλοντική βελτίωσή της μέσω της ανάδειξης των αδυναμιών και των προβλημάτων της.

Στα παρακάτω εδάφια θα αναλυθούν όλες οι ενέργειες που περιγράφηκαν παραπάνω.

5.1 Μετασχηματισμός μεταξύ των δύο συστημάτων αναφοράς

Προκειμένου σε επόμενο βήμα να ελεγχθεί η ακρίβεια των μετρήσεων που πραγματοποιούνται από τα εργαλεία της εφαρμογής έπρεπε να βρεθεί η σχέση μεταξύ του συστήματος αναφοράς της εφαρμογής και του αρχικού συστήματος αναφοράς του τρισδιάστατου μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε.

Όπως έχει αναφερθεί, προκειμένου να εισαχθεί το τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στην εφαρμογή και να αποτελέσει αντικείμενο μετρήσεων και δοκιμών έπρεπε να μετασχηματιστεί από το πρωτογενές σύστημα στο οποίο είχε μετρηθεί ώστε να πλησιάσει στο κέντρο (0,0,0) του συστήματος της εφαρμογής και να μπορεί να τροποποιηθεί η θέση του μέσα σε αυτήν.

Αρχικά προκειμένου να πλησιάσει το τρισδιάστατο μοντέλο το κέντρο του συστήματος αναφοράς της εφαρμογής μετατοπίστηκε η θέση του κατά (-80,-110,-760) μέτρα για τους άξονες X, Y, Z αντίστοιχα. Στη συνέχεια μετακινήθηκε και στράφηκε χειροκίνητα μέσα στο τρισδιάστατο περιβάλλον της εφαρμογής προκειμένου να αποκτήσει μια θέση κατάλληλη για να εξυπηρετήσει τους σκοπούς της εφαρμογής.

Συγκεκριμένα, η μετακίνηση της θέσης έγινε χωρίς να χρησιμοποιηθεί κάποια σταθερή τιμή μεταβολής για κάποιον από τους άξονες αλλά χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία που παρέχει η μηχανή Unreal Engine προκειμένου να έρθει το μοντέλο στην επιθυμητή θέση.

Αντίθετα, η στροφή που πραγματοποιήθηκε είναι εξαρχής γνωστή καθώς ο άξονας Y του συστήματος αναφοράς της εφαρμογής έχει αντίθετη φορά από αυτόν του αρχικού συστήματος του τρισδιάστατου μοντέλου. Έτσι, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του καθρεπτισμού σημείου (mirror) με σταθερό άξονα τον X τα θετικά του αρχικού συστήματος συντεταγμένων του μοντέλου, κατά τον άξονα Y, ταυτίστηκαν με τα θετικά του συστήματος αναφοράς της εφαρμογής στον ίδιο άξονα.

Η παραπάνω περιγραφή εκφράζεται με μαθηματικές σχέσεις ως εξής:

$$X_{\pi} = X_{vr} + X_{\mu}$$

$$Y_{\pi} = -Y_{vr} + Y_{\mu}$$

$$Z_{\pi} = Z_{vr} + Z_{\mu}$$

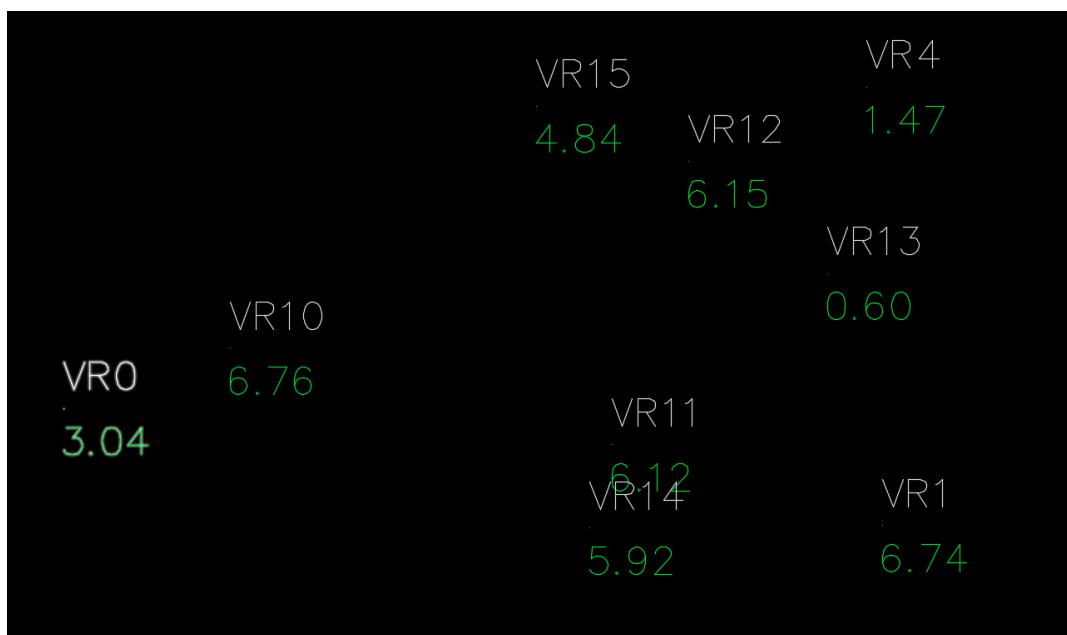
όπου: το π αναφέρεται στο αρχικό σύστημα του μοντέλου, το vr στο σύστημα συντεταγμένων της εφαρμογής και μ στη μετατόπιση που αντιστοιχεί για κάθε άξονα.

Στη συνέχεια προκειμένου να μπορούν να μετασχηματιστούν οι συντεταγμένες οποιωνδήποτε σημείων από το ένα σύστημα στο άλλο αρκούσε να επιλεγεί το καλλίτερο χαρακτηριστικό σημείο που είναι εμφανές και στα δύο συστήματα ώστε να γίνεται η μετάθεση ταυτίζοντας αυτό στα δύο συστήματα αναφοράς και αντιστρέφοντας το πρόσημο των Y συντεταγμένων των εκάστοτε σημείων.

Για τον παραπάνω σκοπό, μετρήθηκαν και στα δύο συστήματα αναφοράς εννέα χαρακτηριστικά σημεία του τρισδιάστατου μοντέλου με σκοπό να επιλεγθεί το καλλίτερο.

Οι συντεταγμένες των χαρακτηριστικών σημείων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα για κάθε σύστημα ξεχωριστά. Σημειώνεται, πως για το σύστημα της εφαρμογής οι μετρήσεις των σημείων έγιναν μέσω των μετρητικών εργαλείων που αναπτύχθηκαν για την εφαρμογή ενώ για το αρχικό σύστημα του μοντέλου οι μετρήσεις των σημείων πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού Geomagic Wrap (εκδ. 2017).

Αρ. Σημείου	Σύστημα Συντεταγμένων Εφαρμογής			Αρχικό Σύστημα Συντεταγμένων		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
0	-9.116	-6.675	3.041	73.552	101.254	757.211
1	1.457	-8.186	6.738	84.133	102.757	760.911
4	1.246	-2.53	1.47	83.870	97.094	755.611
10	-6.971	-5.899	6.761	75.714	100.474	760.949
11	-2.042	-7.145	6.121	80.636	101.729	760.282
12	-1.046	-3.488	6.151	81.614	98.056	760.313
13	0.741	-4.933	0.596	83.294	99.463	754.757
14	-2.326	-8.218	5.92	80.377	102.798	760.094
15	-3.009	-2.775	4.842	79.651	97.346	759.026



Εικόνα 126: Σκαρίφημα των μετρημένων σημείων στο σύστημα συντεταγμένων της εφαρμογής



Εικόνα 127: Σκαρίφημα των μετρημένων σημείων στο αρχικό σύστημα συντεταγμένων του τρισδιάστατου μοντέλου

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, η διαδικασία μετασχηματισμού των σημείων μεταξύ των δύο συστημάτων αναφοράς ακολουθεί τα εξής βήματα:

- **Καθρεπτισμός** των σημείων ως προς το επίπεδο ΧΖ.
- **Μετάθεση** όλων των σημείων ταυτίζοντας ένα από τα μετρημένα και στα δύο συστήματα σταθερά σημεία.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως μετά από δοκιμές μετασχηματισμών ταυτίζοντας κάθε φορά και διαφορετικό σημείο κρίθηκε πως το καλλίτερο σημείο είναι το **11** καθώς βρίσκεται κεντρικά στο μοντέλο και μοιράζει ομοιόμορφα το σφάλμα των μετρήσεων στα υπόλοιπα σταθερά σημεία τα οποία σε αυτές τις περιπτώσεις δοκιμών έχουν το ρόλο σημείων ελέγχου.

Επιπλέον, είναι προφανές πως η ανάγκη του συγκεκριμένου μετασχηματισμού εισάγει σφάλματα σε όλη τη διαδικασία μιας και οι μετρήσεις των σταθερών σημείων στα δύο συστήματα αναφοράς υπόκεινται στα σφάλματα της μέτρησης του εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε, στο σφάλμα του χρήστη κατά την εύρεση του ταυτόσημου σημείου κ.ά..

5.2 Ακρίβεια των μετρήσεων της εφαρμογής

Προκειμένου να διαπιστωθεί η ακρίβεια με την οποία τα μετρημένα σημεία από την εφαρμογή αντιστοιχούν σε σημεία της επιφάνειας του τρισδιάστατου μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε μετρήθηκαν 13 σύνολα σημείων που αντιστοιχούν σε οριζόντιες και κατακόρυφες τομές του μοντέλου. Σημειώνεται πως ο έλεγχος της ακρίβειας θα πραγματοποιηθεί στο αρχικό σύστημα συντεταγμένων και έτσι τα σφάλματα που θα προκύψουν εμπεριέχουν και τα σφάλματα του μετασχηματισμού που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο εδάφιο.

Συγκεκριμένα, με οδηγό κάποιες τομές που πραγματοποιήθηκαν στο αρχικό μοντέλο με τη βοήθεια του λογισμικό Geomagic Wrap (εκδ. 2017) πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον της εφαρμογής με το εργαλείο τομών τα παρακάτω:

- 3 Κατακόρυφες Εξωτερικές Τομές
- 3 Οριζόντιες Εξωτερικές Τομές
- 3 Κατακόρυφες Εσωτερικές Τομές
- 4 Οριζόντιες Εσωτερικές Τομές

Οι κατακόρυφες τομές διαφοροποιούνται βάσει της θέσης του κατακόρυφου επιπέδου με το οποίο τέμνουν το τρισδιάστατο μοντέλο ενώ οι οριζόντιες βάσει της στάθμης του.

Πρόσθετα σε αυτές τις μετρήσεις, προκειμένου να εξεταστεί και η ακρίβεια του εργαλείου μετρήσεων απόστασης που παρέχει η εφαρμογή, μετρήθηκαν 30 αποστάσεις από το εσωτερικό και το εξωτερικό του τρισδιάστατου μοντέλου μεταξύ δύο χαρακτηριστικών σημείων κάθε φορά. Ως αληθής τιμή σύγκρισης για κάθε απόσταση θεωρήθηκε η ίδια απόσταση μετρημένη στο αρχικό σύστημα αναφοράς του τρισδιάστατου μοντέλου με τη βοήθεια του λογισμικού Geomagic Wrap (εκδ. 2017).

5.2.1 Ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων

Όπως αναφέρθηκε μετρήθηκαν μέσω της εφαρμογής 30 αποστάσεις στο εσωτερικό και το εξωτερικό του τρισδιάστατου μοντέλου. Οι αποστάσεις αυτές είχαν μετρηθεί και στην επιφάνεια του τρισδιάστατου μοντέλου στο αρχικό σύστημα αναφοράς με τη βοήθεια του λογισμικού Geomagic Wrap (εκδ. 2017) και θεωρήθηκαν ως οι αληθείς τιμές για τον συγκεκριμένο έλεγχο.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης σύγκρισης:

Αρ. Απόστασης	Αληθής Τιμή (m)	Μετρημένη Απόσταση (m)	Υπόλοιπα (m) (Αλ-Μετ)
1	4.331	4.321	0.010
2	1.751	1.758	-0.007
3	3.662	3.669	-0.007
4	4.817	4.810	0.007
5	2.245	2.240	0.005
6	4.366	4.378	-0.012
7	5.354	5.329	0.025
8	2.664	2.659	0.005
9	2.674	2.680	-0.006
10	0.938	0.939	-0.001
11	2.152	2.156	-0.004
12	7.798	7.791	0.007
13	14.465	14.512	-0.047
14	9.32	9.310	0.010
15	3.793	3.807	-0.014
16	3.726	3.732	-0.006
17	9.172	9.179	-0.007
18	7.159	7.150	0.009
19	5.799	5.807	-0.008
20	8.183	8.196	-0.013
21	13.283	13.278	0.005
22	1.891	1.891	0.000
23	2.162	2.157	0.005
24	2.843	2.834	0.009
25	3.497	3.493	0.004
26	3.154	3.154	0.000
27	7.237	7.231	0.006

28	2.225	2.220	0.005
29	5.909	5.918	-0.009
30	2.931	2.927	0.004
$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum(\text{Υπόλοιπο} - \text{Αριθμητικός Μέσος})^2}{n - 1}}$ όπου n: το πλήθος των τιμών του δείγματος.	Αριθμητικός Μέσος:		-0.001
	Τυπική Απόκλιση (σ_0)		0.012

Όπως παρατηρήθηκε από τις παραπάνω μετρήσεις αποστάσεων η ακρίβεια με την οποία μπορεί ο εκάστοτε χρήστης να μετρήσει αποστάσεις πάνω σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο μέσω της εφαρμογής που υλοποιήθηκε είναι 0.012m, δηλαδή η τιμή της τυπικής απόκλισης (σ_0). Αναλυτικά, καθώς ο αριθμητικός μέσος των υπολοίπων των μετρήσεων έχει τιμή -1mm, που είναι πολύ κοντά στη μηδενική, βγαίνει το συμπέρασμα πως δεν εισάγονται συστηματικά σφάλματα στις μετρήσεις. Έτσι, ο υπολογισμός της τυπικής απόκλισης αρκεί ώστε να εκτιμηθεί το σφάλμα του πληθυσμού από το οποίο προέρχεται αυτό το δείγμα μετρήσεων αλλά και κατ' επέκταση το σφάλμα του δείγματος. Στην περίπτωση που ο αριθμητικός μέσος ήταν κατά πολύ μεγαλύτερος από το μηδέν τότε προκειμένου να εκτιμηθεί το σφάλμα του συνολικού πληθυσμού θα ήταν αναγκαίος και ο υπολογισμός του μέσου τετραγωνικού σφάλματος των μετρήσεων (RMSE). (Qassim, 2013)

Βέβαια πρέπει να τονιστεί πως το συγκεκριμένο αποτέλεσμα προέκυψε με ένα σχετικά μικρό πλήθος παρατηρήσεων και χρησιμοποιώντας ως αληθείς τιμές αυτές του τρισδιάστατου μοντέλου στο πρωταρχικό σύστημα αναφοράς. Έτσι, έχει υπολογιστεί η σχετική ακρίβεια μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων. Προκειμένου να υπολογιστεί η απόλυτη ακρίβεια του συστήματος για το εργαλείο μέτρησης αποστάσεων πρέπει να ακολουθηθεί διαφορετική διαδικασία που δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής καθώς απαιτούνται ενέργειες έρευνας ως προς τον τρόπο λήψης σημείων της μηχανής Unreal Engine 4 αλλά και πραγματοποίηση μετρήσεων στο πραγματικό αντικείμενο από όπου προήλθε το τρισδιάστατο μοντέλο που χρησιμοποιείται ώστε να μην εισάγονται εις διπλούν τα σφάλματα του τρισδιάστατου μοντέλου κατά τους υπολογισμούς.

Συνοψίζοντας, η ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων σε σύγκριση με αυτές που μετρήθηκαν μέσω του λογισμικού Geomagic Wrap είναι αρκετά καλή αν σκεφτεί κανείς πως στην τιμή των 0.012m συμπεριλαμβάνεται το σφάλμα του εκάστοτε χρήστη αλλά και η αδυναμία εύρεσης ταυτόσημου σημείου λόγω των δύο διαφορετικών απεικονίσεων (VR & Geomagic).

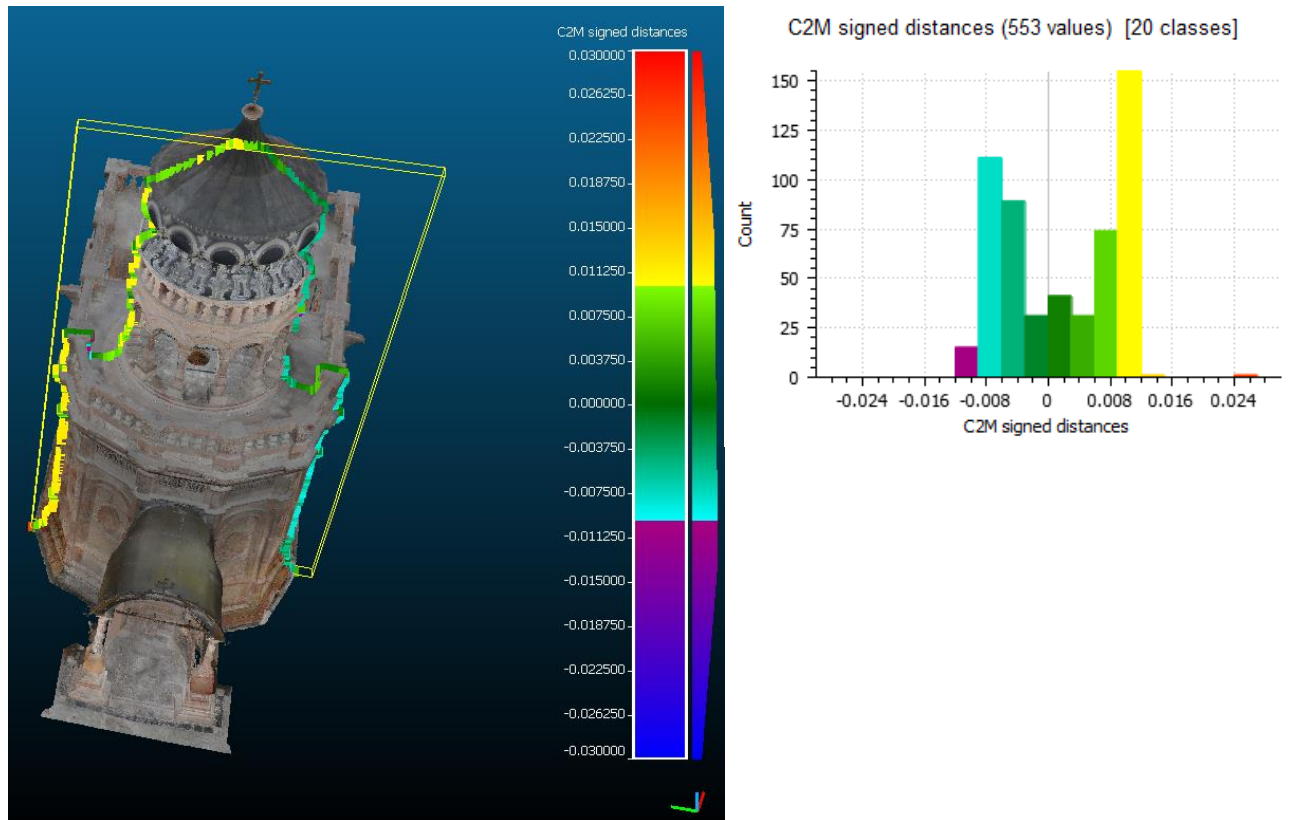
5.2.2 Ακρίβεια μέτρησης σημείων

Στο παρόν εδάφιο θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο ελέγχθηκε η ακρίβεια με την οποία τα μετρημένα, μέσω της εφαρμογής σημεία, αντιστοιχούν σε σημεία της επιφάνειας του τρισδιάστατου μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε. Για να ελεγχθεί αυτό, αποφασίστηκε να μετρηθούν με τη βοήθεια της εφαρμογής 13 προκαθορισμένες τομές, οι οποίες είχαν οριστεί μέσω του λογισμικού Geomagix Wrap (εκδ. 2017).

Αναλυτικά, ο χρήστης οδηγούμενος από τις προκαθορισμένες αυτές τομές, τις μέτρησε στην εφαρμογή και προέκυψαν μετά την εξαγωγή των μετρήσεων 13 αραιά νέφη σημείων που κάθε ένα αντιστοιχούσε και σε κάθε τομή. Στη συνέχεια, με τον τρόπο που αναλύεται στο εδάφιο 5.1 τα αραιά αυτά νέφη μετασχηματίστηκαν από το σύστημα της εφαρμογής στο αρχικό σύστημα του τρισδιάστατου μοντέλου προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκρισή τους. Τέλος, με τη βοήθεια του λογισμικού CloudCompare υπολογίστηκε η απόσταση κάθε μετρημένου σημείου από την επιφάνεια για κάθε αραιό νέφος σημείων κάθε τομής. Έτσι, η επιφάνεια του αρχικού συστήματος αναφοράς ορίστηκε ως επιφάνεια αναφοράς.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης που περιγράφηκε. Συγκεκριμένα, για κάθε συγκρινόμενη τομή δίνεται σε στιγμιότυπα οθόνης η τρισδιάστατη απεικόνιση της απόστασης (σε μέτρα) κάθε σημείου από την επιφάνεια αναφοράς με χρωματικές διαβαθμίσεις αλλά και το ιστόγραμμα των αποστάσεων (σε μέτρα).

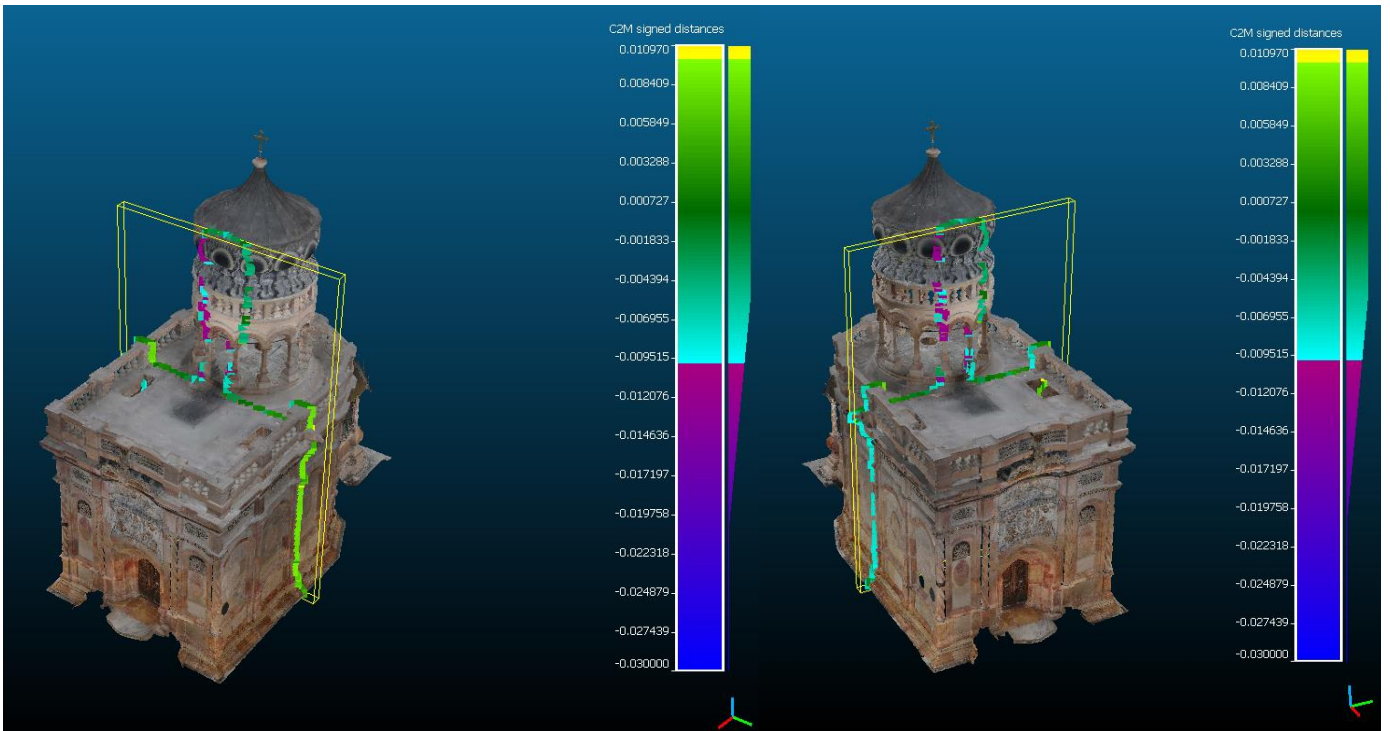
1η Κατακόρυφη Εξωτερική Τομή:



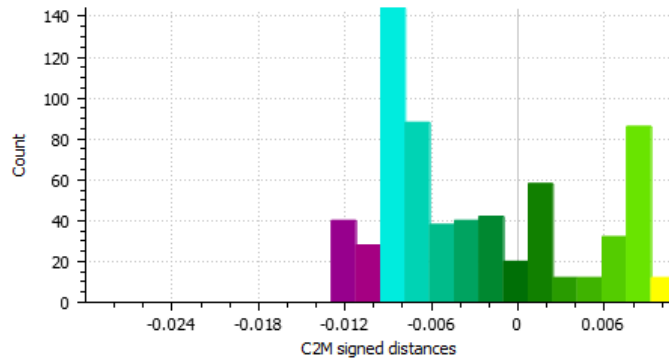
Εικόνα 128: Απεικόνιση αποστάσεων 1^{ης} κατακόρυφης εξωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς. (Λογισμικό: CloudCompare)

Σε αυτήν την τομή, οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 553 σημείων, κυμαίνονται από -0.012m έως 0.012m με αρκετές από αυτές να βρίσκονται στα άκρα του συγκεκριμένου διαστήματος.

2^η Κατακόρυφη Εξωτερική Τομή:



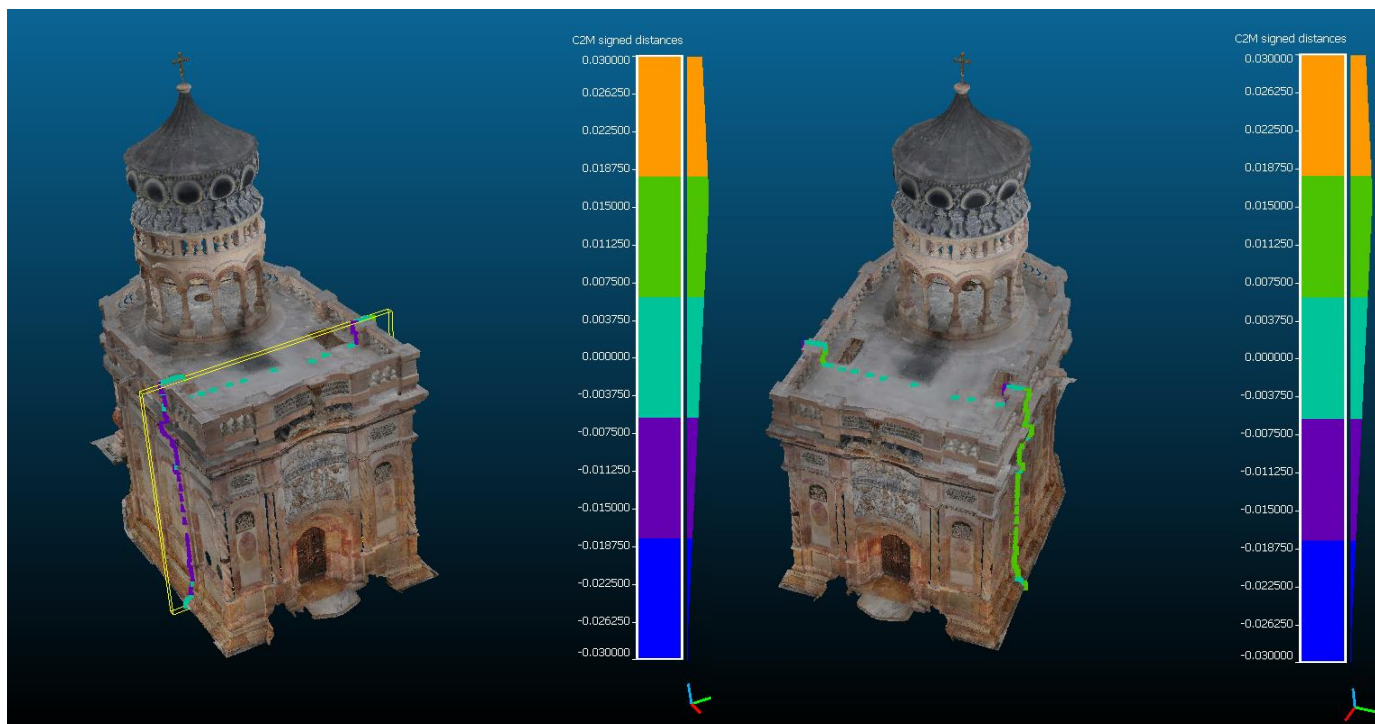
C2M signed distances (660 values) [24 classes]



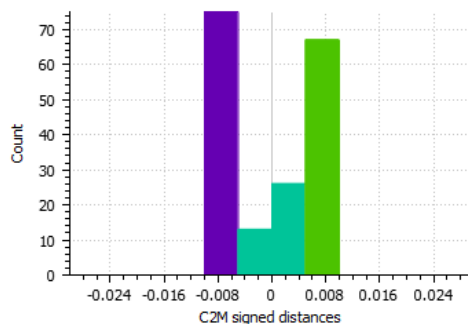
Εικόνα 129: Αποστάσεις 2^{ης} κατακόρυφης εξωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς. (Λογισμικό: CloudCompare)

Σε αυτήν την τομή, οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 660 σημείων, κυμαίνονται από -0.012m έως 0.08m με τις περισσότερες να ανήκουν στο διάστημα -0.01m έως 0.008m.

3^η Κατακόρυφη Εξωτερική Τομή:



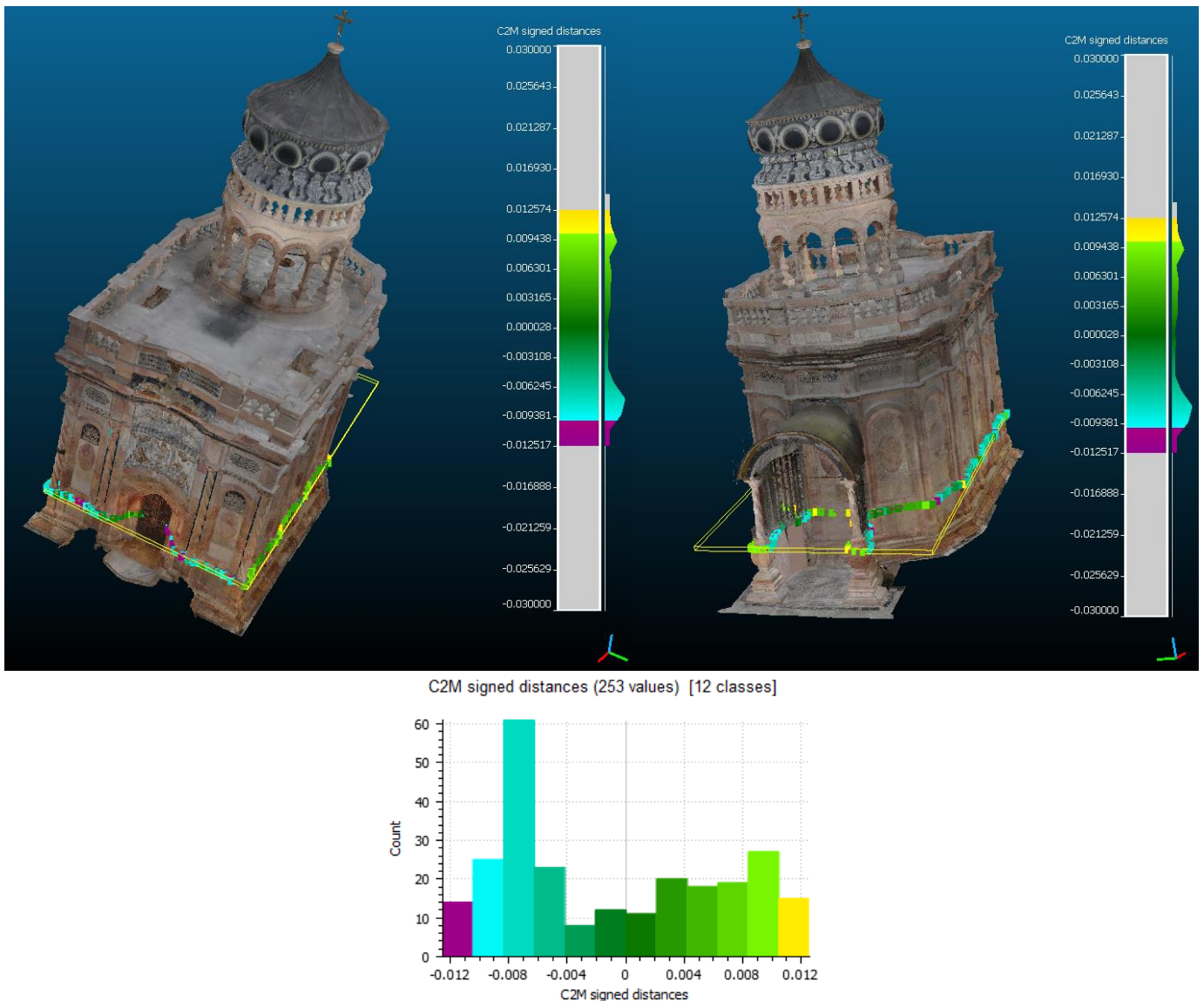
C2M signed distances (188 values) [12 classes]



Εικόνα 129: Αποστάσεις 3^{ης} κατακόρυφης εξωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς.
(Λογισμικό: CloudCompare)

Σε αυτήν την τομή, οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 188 σημείων, κυμαίνονται από -0.01m έως 0.01m με αρκετές από αυτές να βρίσκονται στα άκρα του συγκεκριμένου διαστήματος.

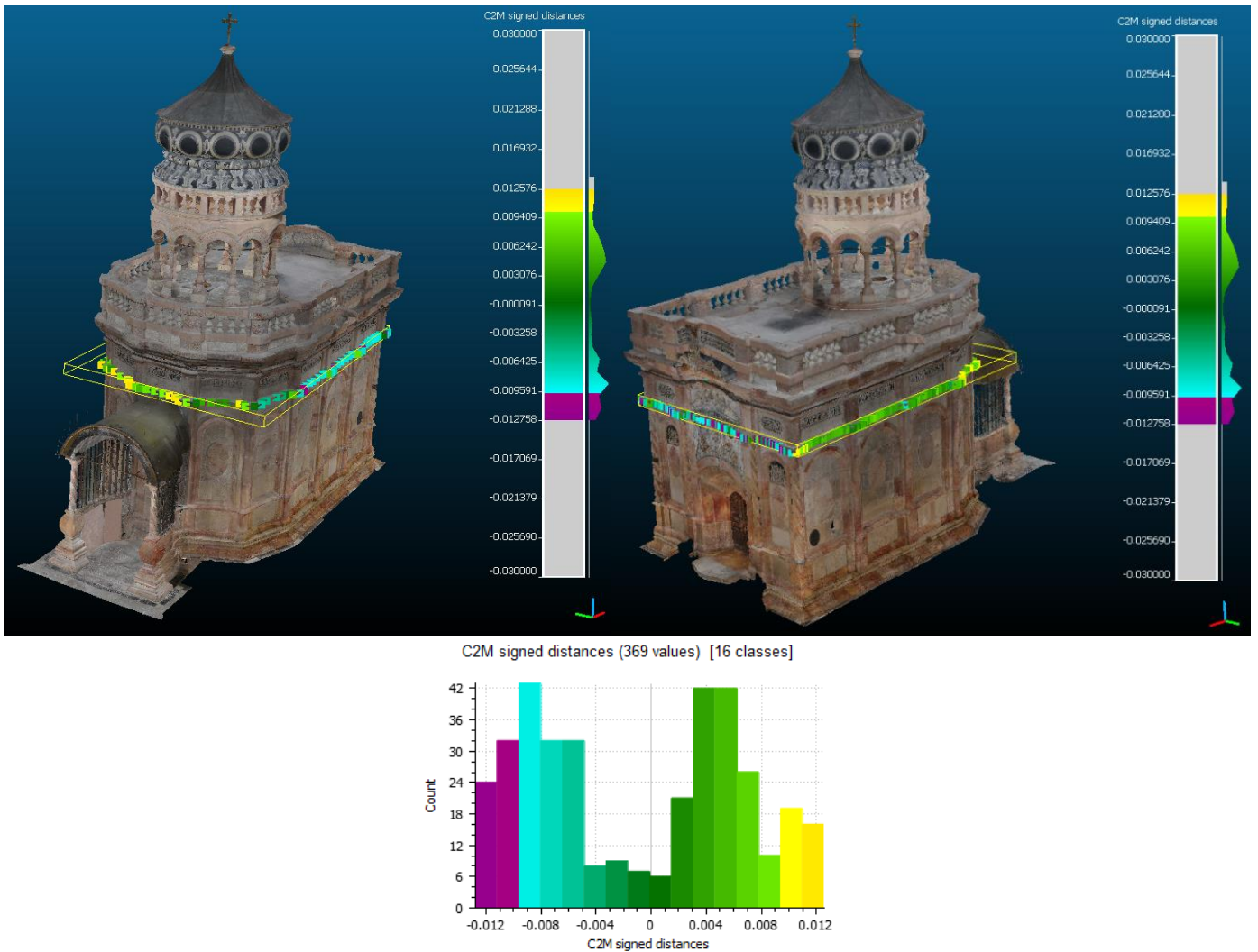
1^η Οριζόντια Εξωτερική Τομή:



Εικόνα 130: Αποστάσεις 1^{ης} οριζόντιας εξωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς. (Λογισμικό: CloudCompare)

Σε αυτήν την τομή παρατηρούμε πως οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 253 σημείων, κυμαίνονται από -0.012m έως 0.012m με το 1/4 αυτών να βρίσκεται στο υπό-διάστημα από -0.008m έως -0.004m ενώ οι υπόλοιπες είναι σχετικά ομοιόμορφα κατανεμημένες στα υπόλοιπα υπό-διαστήματα.

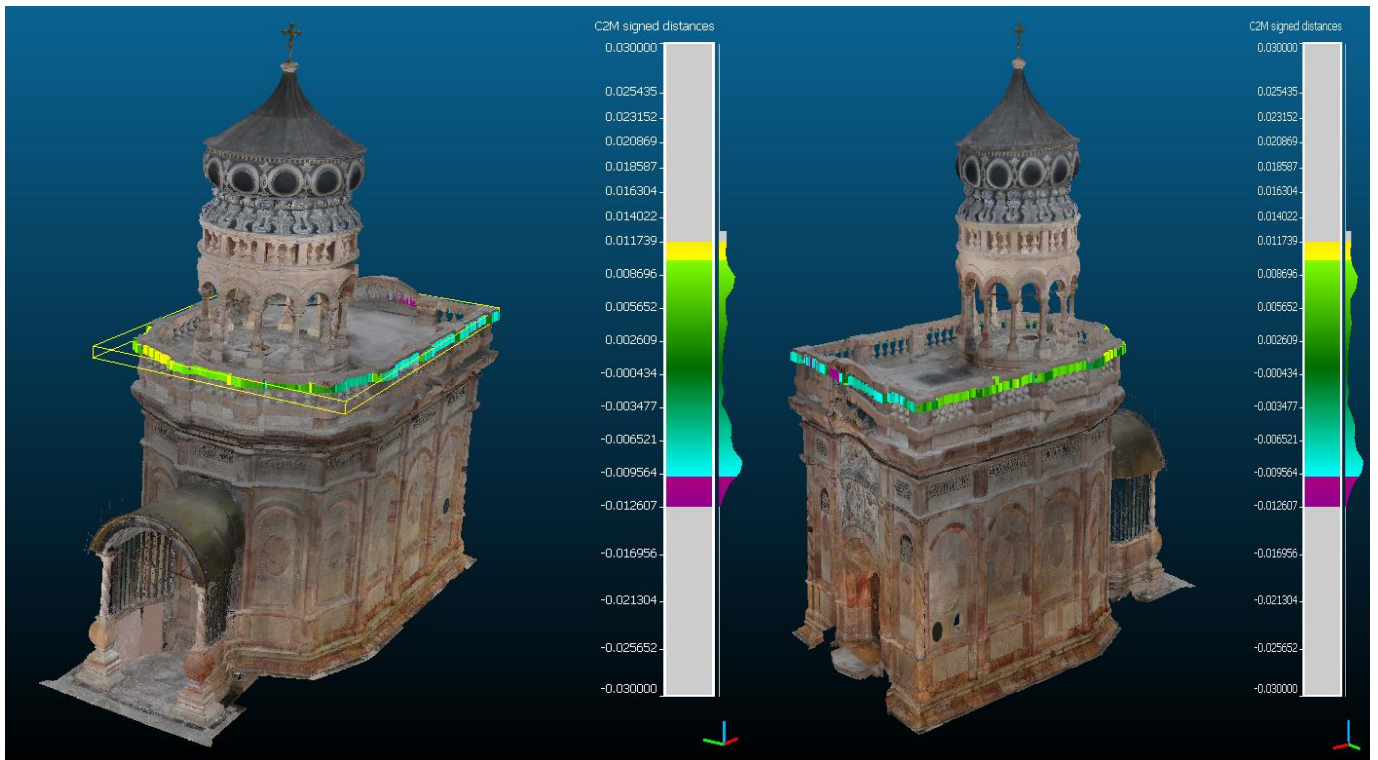
2^η Οριζόντια Εξωτερική Τομή:



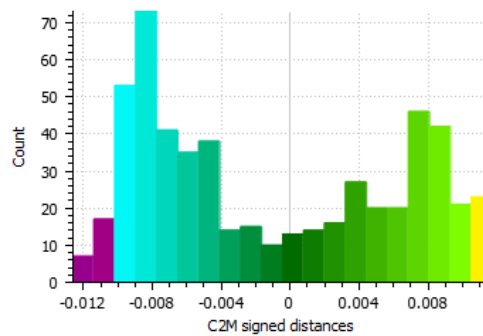
Εικόνα 13111: Αποστάσεις 2^{ης} οριζόντιας εξωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς. (Λογισμικό: CloudCompare)

Σε αυτήν την τομή, οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, σε πλήθος 369 σημείων, κυμαίνονται από -0.012m έως 0.012m. Επιπλέον, πάλι παρατηρείται οι σχεδόν ακριανές τιμές του ιστογράμματος να έχουν την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης.

3^η Οριζόντια Εξωτερική Τομή:



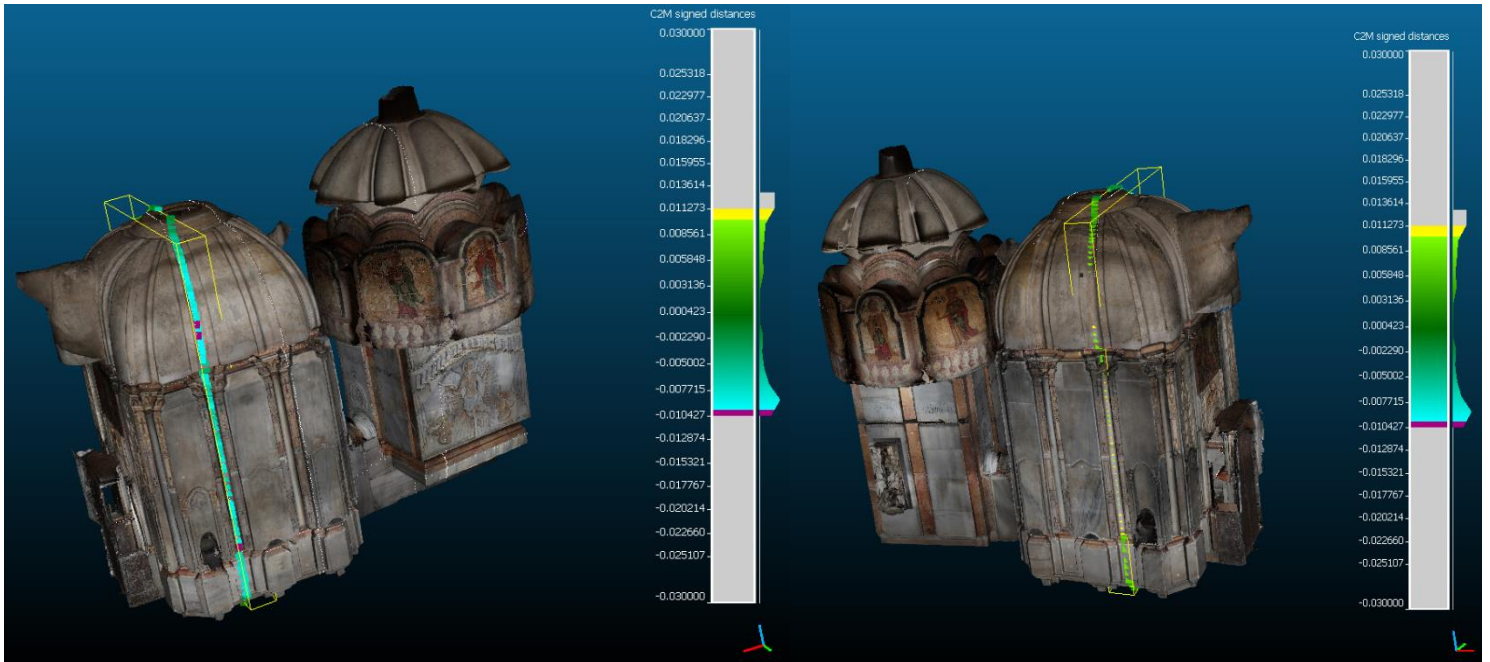
C2M signed distances (545 values) [20 classes]



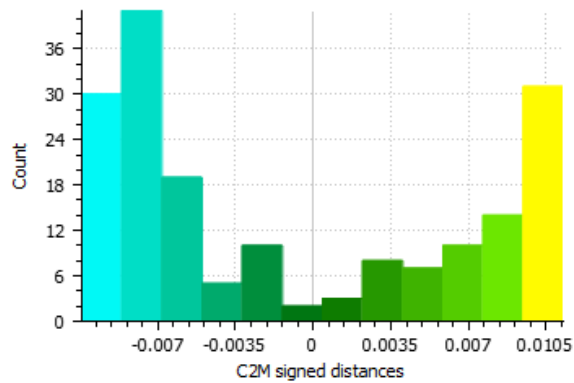
Εικόνα 13212: Αποστάσεις 3^{ης} οριζόντιας εξωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς.
(Λογισμικό: CloudCompare)

Στην συγκεκριμένη τομή οι τιμές των περισσότερων συγκρινόμενων αποστάσεων, από το πλήθος των 545 συνολικά, εμπεριέχονται στο διάστημα -0.01m έως 0.01m με κάποιες ακραίες τιμές να φτάνουν μέχρι την τιμή 0.012m.

1^η Κατακόρυφη Εσωτερική Τομή:



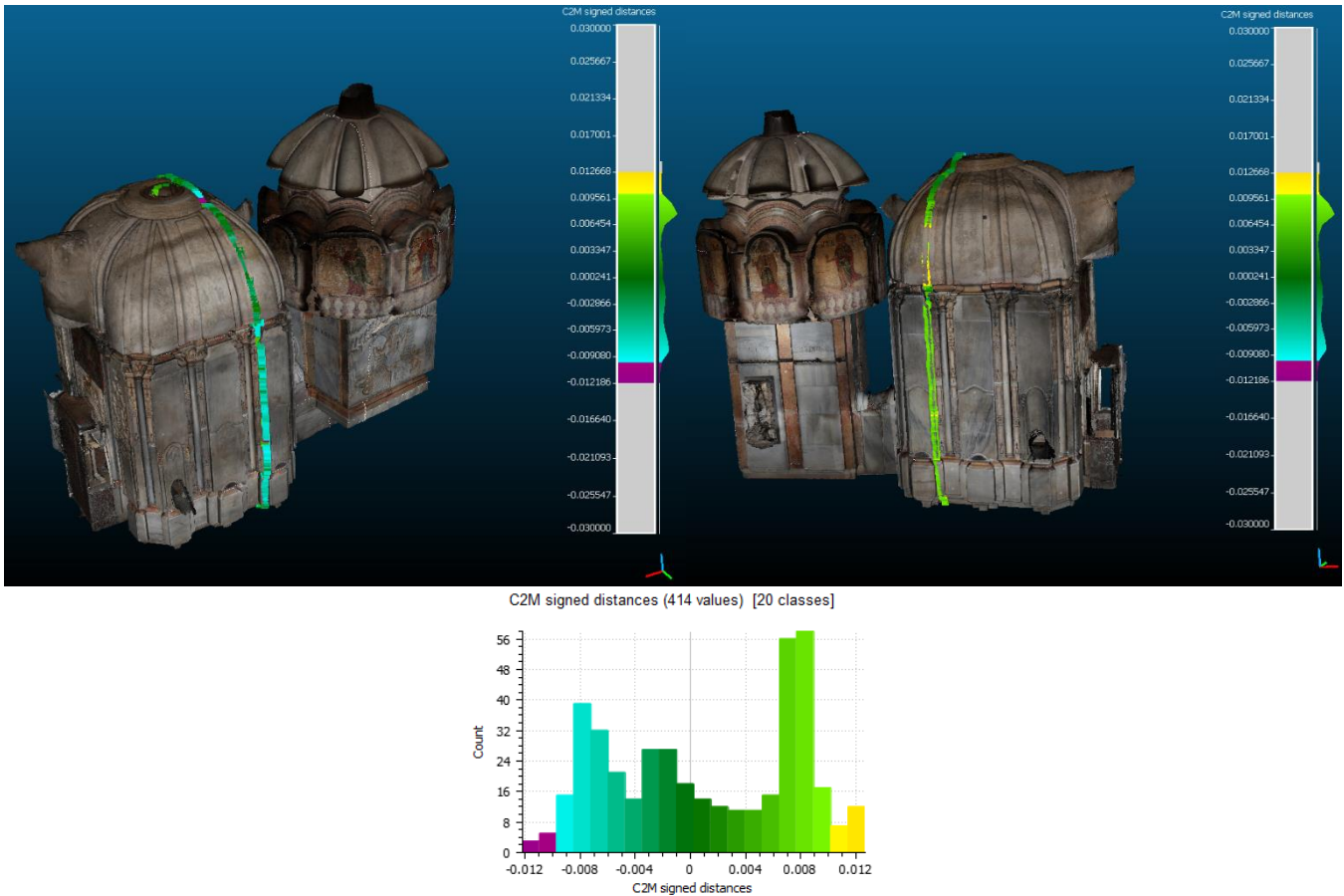
C2M signed distances (180 values) [12 classes]



Εικόνα 133: Αποστάσεις 1^{ης} κατακόρυφης εσωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς. (Λογισμικό: CloudCompare)

Σε αυτήν την τομή παρατηρούμε πως οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 180 σημείων, κυμαίνονται από -0.01cm έως 0.01cm περίπου με αρκετές από αυτές να βρίσκονται στα άκρα του συγκεκριμένου διαστήματος.

2^η Κατακόρυφη Εσωτερική Τομή:

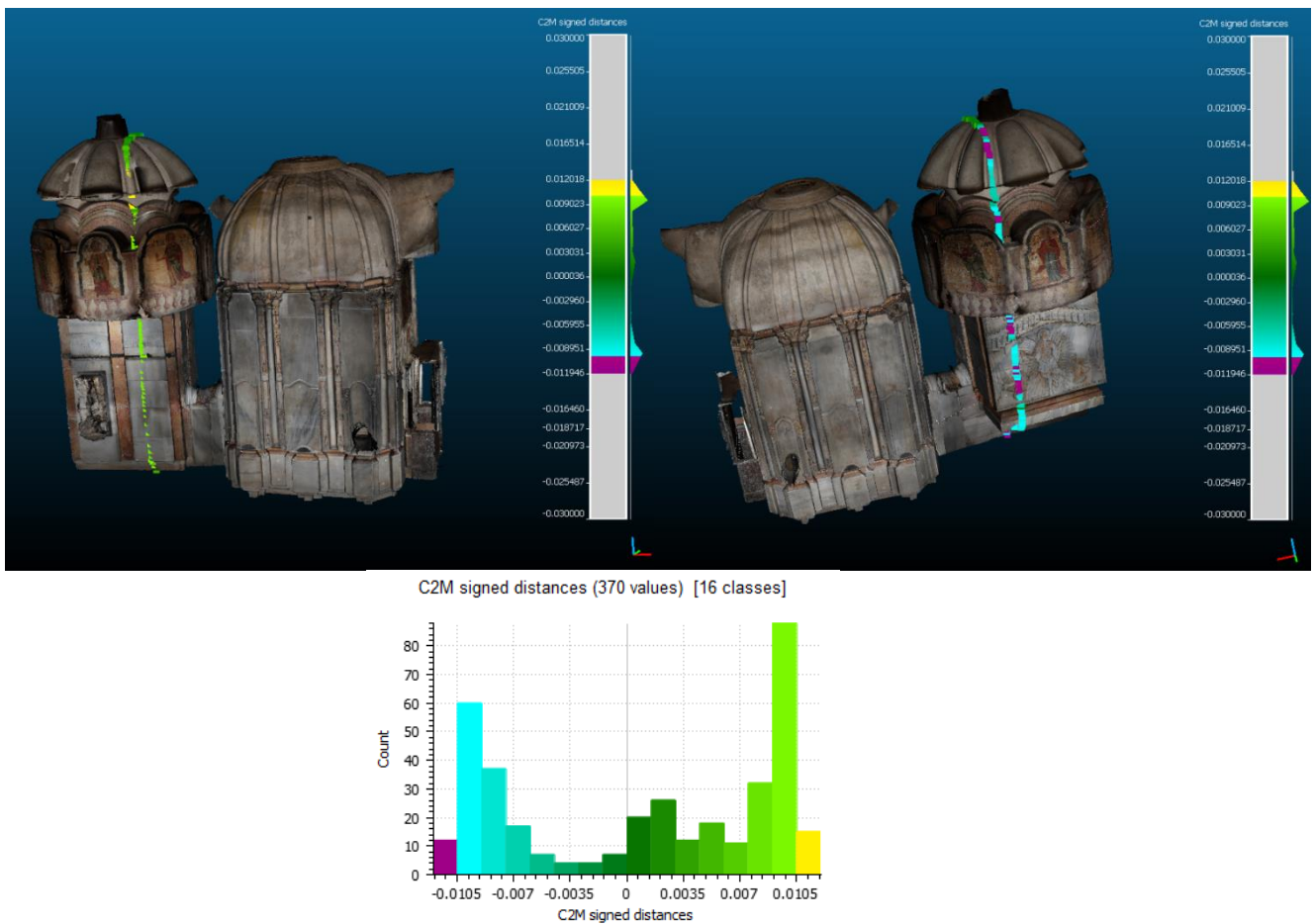


Σε αυτήν την τομή, οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 414 σημείων, κυμαίνονται από -0.012m έως 0.012m. Μεγαλύτερη συχνότητα

Εικόνα 134: Αποστάσεις 2^{ης} κατακόρυφης εσωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς.
(Λογισμικό: CloudCompare)

εμφάνισης, σύμφωνα με το ιστογράμμα, έχουν οι τιμές που βρίσκονται στο διάστημα από 0.007m έως 0.009.

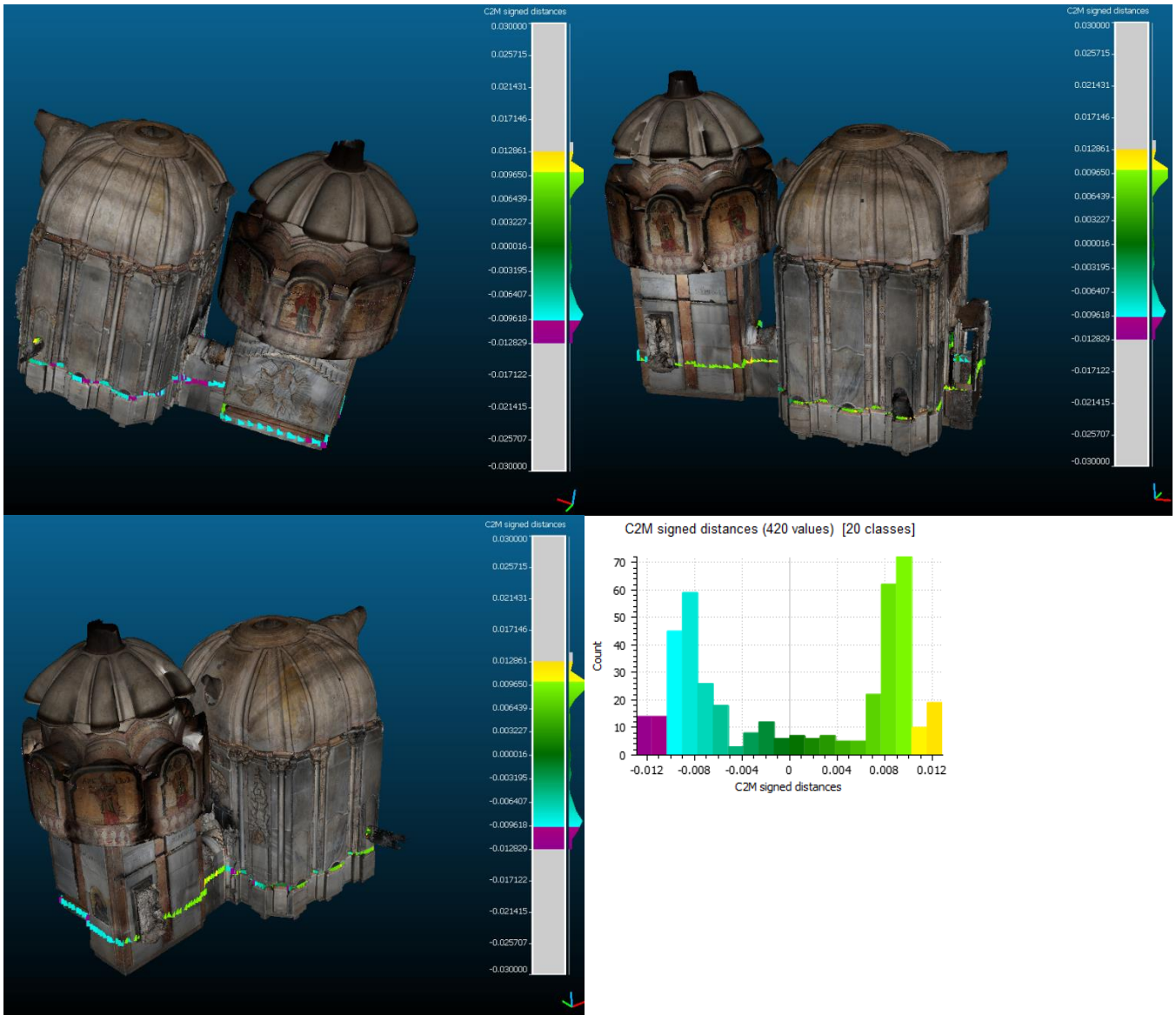
3^η Κατακόρυφη Εσωτερική Τομή:



Εικόνα 135: Αποστάσεις 3^{ης} κατακόρυφης εσωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς. (Λογισμικό: CloudCompare)

Σε αυτήν την τομή, οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 370 σημείων, κυμαίνονται από -0.0105m έως 0.0105m με αρκετές από αυτές να βρίσκονται στα άκρα του συγκεκριμένου διαστήματος.

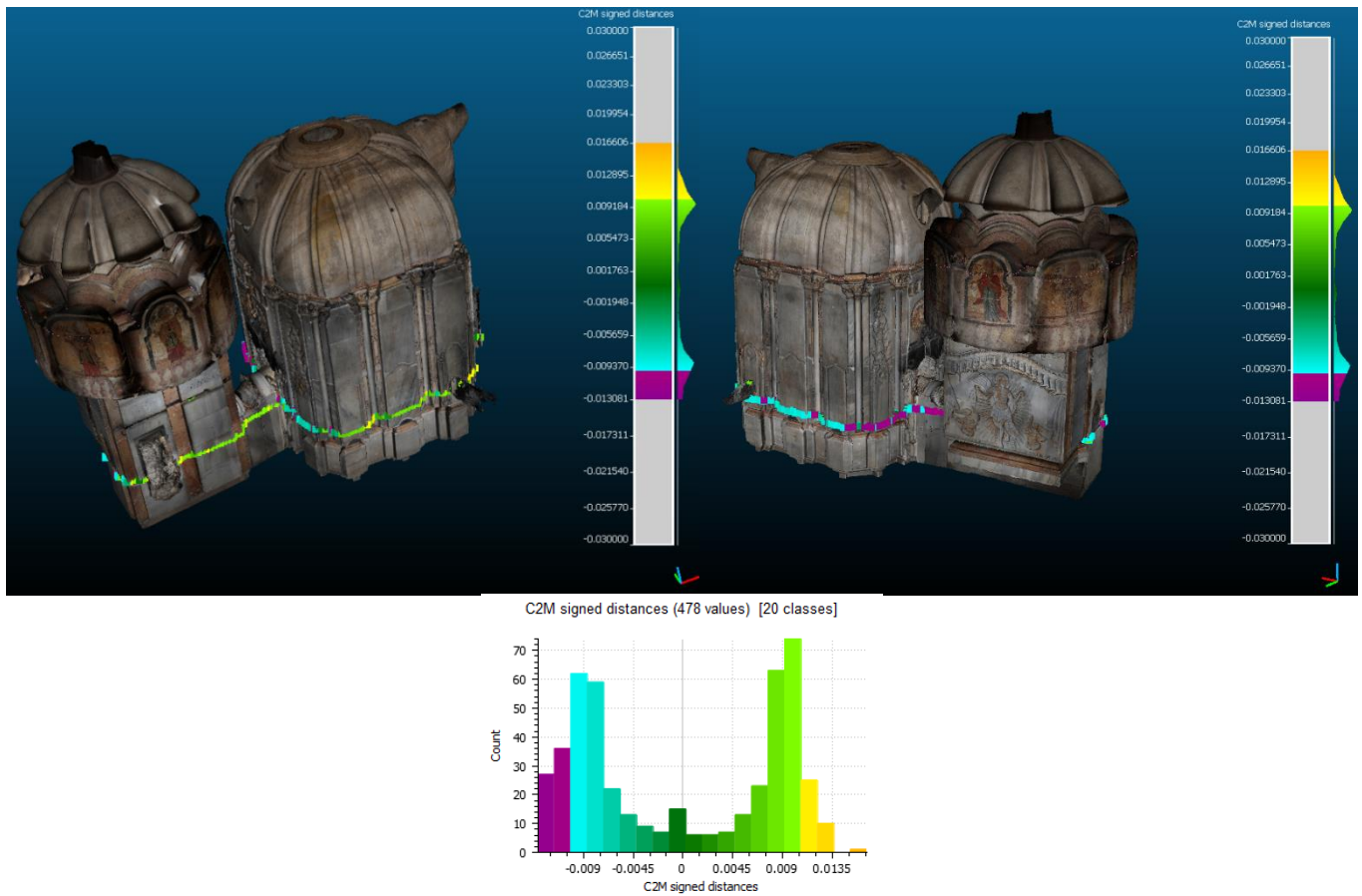
1^η Οριζόντια Εσωτερική Τομή:



Εικόνα 136: Αποστάσεις 1^{ης} οριζόντιας εσωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς. (Λογισμικό: CloudCompare)

Σε αυτήν την τομή, οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 420 σημείων, κυμαίνονται από -0.012m έως 0.012m με τις περισσότερες από αυτές να βρίσκονται στα άκρα του συγκεκριμένου διαστήματος.

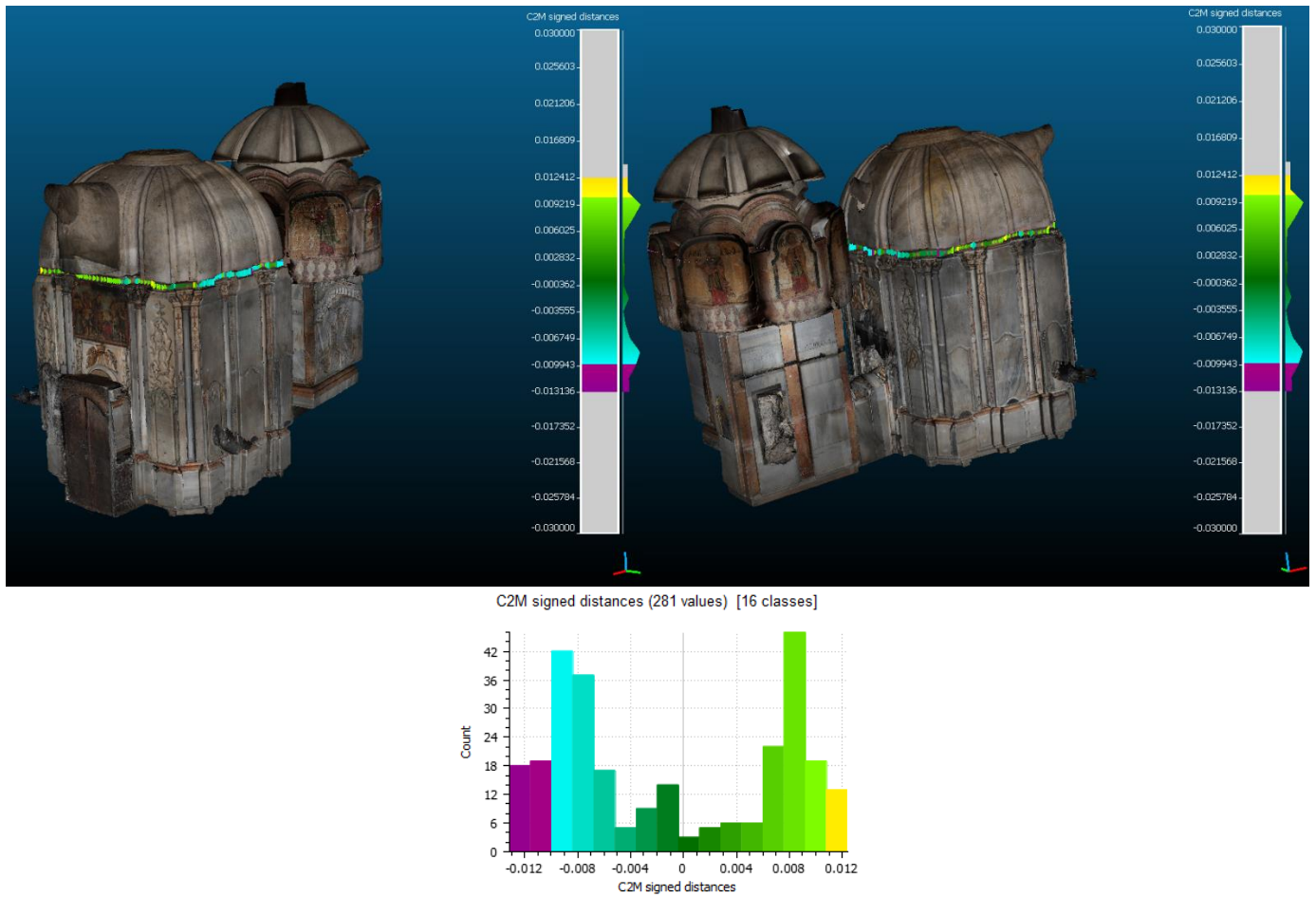
2^η Οριζόντια Εσωτερική Τομή:



Εικόνα 137: Αποστάσεις 2^{ης} οριζόντιας εσωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς.
(Λογισμικό: CloudCompare)

Σε αυτήν την τομή, οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 478 σημείων, κυμαίνονται από -0.0135m έως 0.0135m με τι περισσότερες από αυτές να βρίσκονται στα άκρα του συγκεκριμένου διαστήματος.

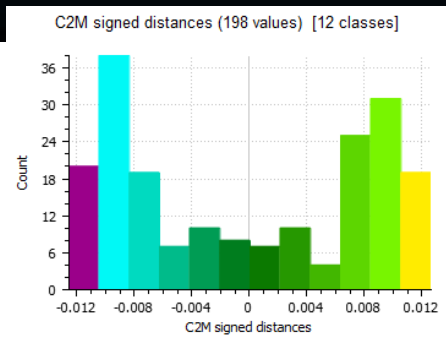
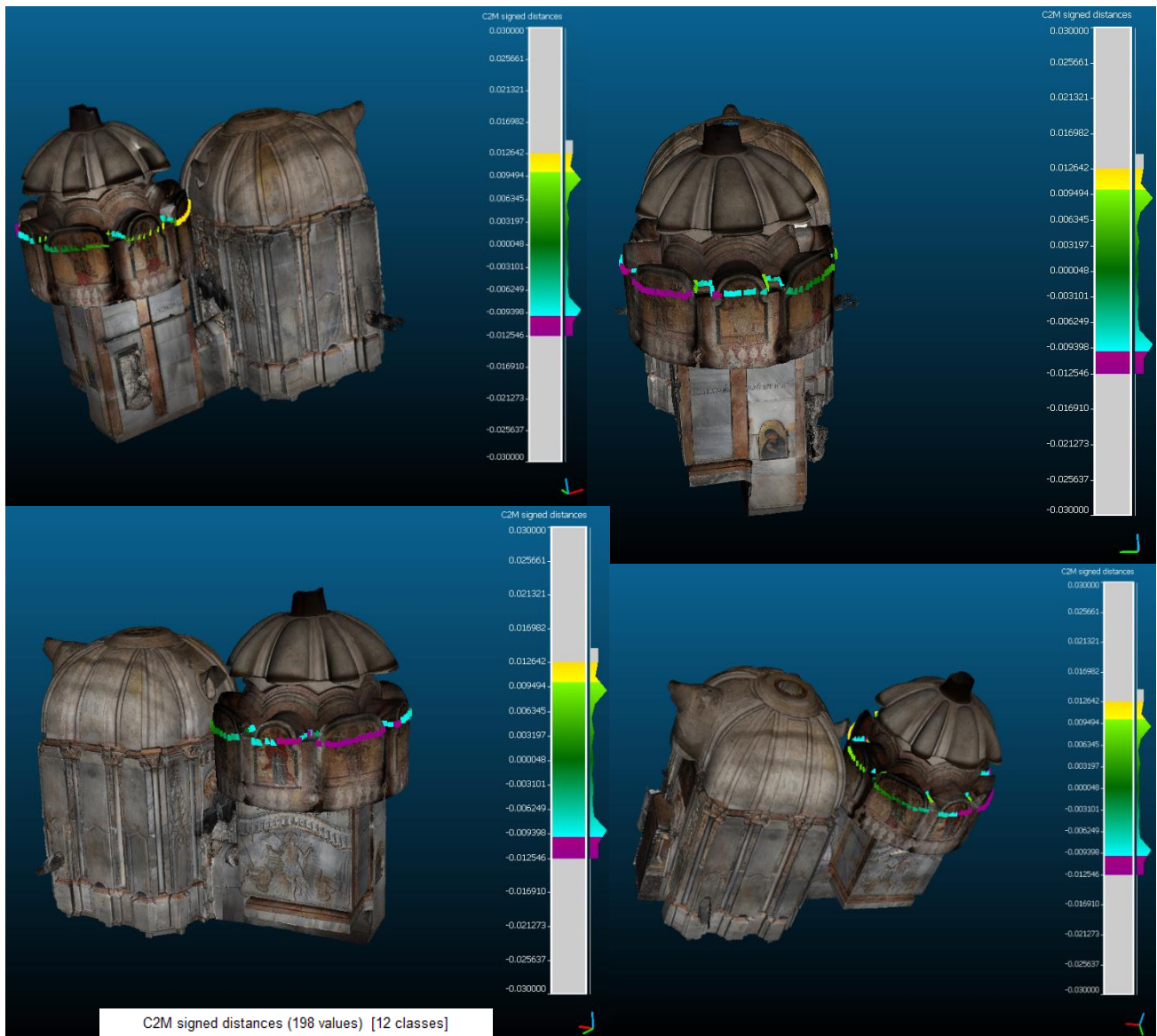
3^η Οριζόντια Εσωτερική Τομή:



Εικόνα 138: Αποστάσεις 3^{ης} οριζόντιας εσωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς. (Λογισμικό: CloudCompare)

Σε αυτήν την τομή, οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 420 σημείων, κυμαίνονται από -0.012m έως 0.012m με τις περισσότερες από αυτές να βρίσκονται στα άκρα του συγκεκριμένου διαστήματος.

4^η Οριζόντια Εσωτερική Τομή:



Εικόνα 139: Αποστάσεις 4^{ης} οριζόντιας εσωτερικής τομής από την επιφάνεια αναφοράς.
(Λογισμικό: CloudCompare)

Τέλος και σε αυτήν την τομή παρατηρούμε πως οι τιμές των συγκρινόμενων αποστάσεων, με πλήθος 420 σημείων, κυμαίνονται από -0.012m έως 0.012m με τις περισσότερες από αυτές να βρίσκονται στα άκρα του συγκεκριμένου διαστήματος.

Επιπλέον, στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά οι αριθμητικοί μέσοι των διαφορών των μετρήσεων για κάθε τομή αλλά και η τυπική της απόκλιση από την επιφάνεια αναφοράς όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό CloudCompare.

A/A	Είδος Τομής	Αριθμητικός Μέσος (m)	Τυπική Απόκλιση (m)
1	<i>Κατακόρυφη Εξωτερική</i>	0.002	0.021
2		-0.005	0.027
3		-0.007	0.055
1	<i>Οριζόντια Εξωτερική</i>	-0.001	0.007
2		-0.001	0.008
3		-0.001	0.007
1	<i>Κατακόρυφη Εσωτερική</i>	0	0.008
2		0.001	0.007
3		0.001	0.008
1	<i>Οριζόντια Εσωτερική</i>	0	0.009
2		0	0.009
3		-0.001	0.008
4		0	0.008

Τελικά, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό πως οι κατακόρυφες εξωτερικές τομές έχουν σφάλματα τα οποία υπερβαίνουν κατά πολύ αυτά των υπολοίπων τομών. Συγκεκριμένα, οι κατακόρυφες εξωτερικές τομές έχουν τιμές τυπικών αποκλίσεων που ξεπερνούν τα 0.02m και φτάνουν έως τα 0.055m. Επιπλέον, στη 2^η και 3^η οι αριθμητικοί μέσοι είναι μακριά από το μηδέν. Αντίθετα, στις υπόλοιπες τομές οι τυπικές αποκλίσεις έχουν τιμές από 0.007m έως 0.009m με τον αριθμητικό μέσο να είναι είτε μηδέν είτε 0.001m κατ' απόλυτη τιμή. Έτσι, για τις υπόλοιπες τομές βγαίνει το ασφαλές συμπέρασμα ότι δεν παρουσιάζεται κάποια συστηματικότητα στα σφάλματα τους (Qassim, 2013). Όμως, τα σφάλματα που παρουσιάζονται στις κατακόρυφες εξωτερικές τομές δεν είναι τυχαία και πιθανότατα οφείλονται σε συγκρινόμενα σημεία που είναι κοντά στην επιφάνεια αλλά δεν ανήκουν σε αυτή και μετρήθηκαν εκ παραδρομής από το χρήστη μέσα στην εφαρμογή.

Έτσι, μπορούμε με ασφάλεια να συμπεράνουμε πως η τυπική απόκλιση με την οποία τα μετρηθέντα σημεία τομών μέσω της εφαρμογής ανήκουν στην αληθή επιφάνεια είναι λίγο κάτω από 0.01m.

5.2.3 Σχόλια – Συμπεράσματα

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα αποτελέσματα που παρατίθενται στα προηγούμενα εδάφια το σφάλμα των μετρήσεων που γίνονται μέσω της εφαρμογής κυμαίνεται περίπου στο 1cm κατ' απόλυτη τιμή. Παρόμοιο αποτέλεσμα είχαν και οι συγκρίσεις των αποστάσεων με την τυπική τους απόκλιση να είναι 1.2cm.

Με τις παραπάνω παρατηρήσεις βγαίνει το συμπέρασμα πως έχοντας ως επιφάνεια αναφοράς το τρισδιάστατο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε μπορούν να διεξαχθούν με ικανοποιητική ακρίβεια βασικές μετρητικές εργασίες εποπτείας, ελέγχου και μελέτης ενός τρισδιάστατου αντικειμένου που δεν έχουν πολύ υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας.

Όσον αφορά στις μετρήσεις αποστάσεων δεν παρατηρείται κάποια συστηματικότητα η οποία να παράγει σφάλματα και να μπορεί να σχολιαστεί. Αντίθετα, η ακρίβεια των μετρήσεων αποστάσεων εξαρτάται όπως προαναφέρθηκε κατά πολύ από την εμπειρία του χρήστη αλλά και τη δυνατότητα επιλογής του επιθυμητού σημείου κατά τη χρήση της εφαρμογής.

Αναφορικά, με τις μετρήσεις των τομών οι ακραίες τιμές των διαγραμμάτων αθροίζουν μεγάλο πλήθος παρατηρήσεων. Επομένως οι μετρήσεις σημείων τρισδιάστατων συντεταγμένων μέσω της εφαρμογής απέχουν συνήθως από την επιφάνεια αναφοράς περίπου 1cm ενώ λίγα σημεία είναι αυτά που ταυτίζονται με αυτήν ή σχεδόν ταυτίζονται με αυτήν. Σημαντικό ρόλο σε αυτό το γεγονός έχει ο μετασχηματισμός που λαμβάνει χώρα προτού γίνει η σύγκριση μεταξύ των δύο. Συγκεκριμένα, ο μετασχηματισμός εισάγει σφάλματα στην όλη διαδικασία καθότι, όπως προαναφέρθηκε, κατά την εκτέλεσή του ταυτίζονται δύο σημεία τα οποία έχουν επιλεχθεί ως ταυτόσημα από το χρήστη. Έτσι, η αβεβαιότητα με την οποία ο χρήστης έχει επιλέξει δύο πραγματικά ταυτόσημα σημεία εισάγει προφανώς σφάλματα στην όλη διαδικασία.

Τελικά, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, συμπεραίνεται πως η μετρητική ακρίβεια των εργαλείων της εφαρμογής που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξαρτάται κατά πολύ από την αβεβαιότητα επιλογής των σημείων μέτρησης κατά τη χρήση της. Συγκεκριμένα, τα σημεία επιλέγονται με τη βοήθεια ενός συστήματος υποβοήθησης σκόπευσης το οποίο χρησιμοποιεί εικονικές τρισδιάστατες ακτίνες laser. Οι ακτίνες αυτές, προκειμένου να είναι ορατές, έχουν συγκεκριμένο πάχος το οποίο κατά την τομή τους με την προς μέτρηση τρισδιάστατη επιφάνεια δημιουργεί μία αβεβαιότητα επιλογής σημείου αντίστοιχη του πάχους της ακτίνας. Σε αυτό το σημείο σημειώνεται πως η μηχανή

Unreal Engine μέσω της οποίας δημιουργήθηκε η εφαρμογή δεν γνωστοποιεί το πάχος της εν λόγω ακτίνας ούτε δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να το τροποποιήσει. Έτσι, η συγκεκριμένη αβεβαιότητα ποσοτικοποιείται με τον τρόπο που εφαρμόστηκε στο παρόν κεφάλαιο.

Τέλος, η εμπειρία του χρήστη στη συγκεκριμένη εφαρμογή παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική ακρίβεια των μετρήσεων καθώς αυτή επηρεάζει άμεσα την επιλογή των σημείων προς μέτρηση των τρισδιάστατων συντεταγμένων.

5.3 Επεξεργασία Ερωτηματολόγιων Αξιολόγησης της Εφαρμογής

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της χρηστικότητας, της καλής λειτουργίας και ευκολίας χειρισμού της εφαρμογής αποφασίστηκε να γίνει η αξιολόγησή της με τη χρήση κατάλληλου ερωτηματολογίου. Συγκεκριμένα χρήστες διαφόρων ηλικιών, διαφορετικού επιπέδου μόρφωσης, διαφορετικών ειδικοτήτων αλλά και εμπειρίας με τη χρήση παρόμοιων εφαρμογών κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν την εφαρμογή που δημιουργήθηκε και έπειτα να την αξιολογήσουν απαντώντας σε προκαθορισμένες ερωτήσεις ενός ειδικά διαμορφωμένου ερωτηματολογίου. Επιπλέον, σημειώνεται πως οι χρήστες κλήθηκαν να συμπληρώσουν ένα έντυπο συγκατάθεσης για τη χρήση των στοιχείων τους από την συγκεκριμένη έρευνα όπως επιβάλλεται από τους νέους κανόνες προσωπικών δεδομένων που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Παρακάτω παρατίθενται αυτούσια το έντυπο συγκατάθεσης και το ερωτηματολόγιο:

ΕΝΤΥΠΟ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ

Τίτλος: Αξιολόγηση Μετρητικής Εφαρμογής Εικονικής Πραγματικότητας

Παρακαλώ διαβάστε μέχρι τέλους.

Η συγκεκριμένη έρευνα που διεξάγεται θεωρείται ακίνδυνη. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής θα σας ζητηθεί να αλληλοεπιδράσετε με μια εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας μετρητικού χαρακτήρα χρησιμοποιώντας τα χειριστήρια του συστήματος εικονικής πραγματικότητας και κινούμενοι στο χώρο. Οι συγκεκριμένες δοκιμές θα παρακολουθούνται από την Δημήτρη Κοντό, που είναι ο σχεδιαστής της εφαρμογής, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Ανδρέα Γεωργόπουλου.

Στο εν λόγω πείραμα, αναμένεται να συμμετάσχετε για περίπου 10 – 15 λεπτά. Αφού σας εξηγηθεί πως λειτουργεί η εφαρμογή, θα τη χρησιμοποιήσετε και στο τέλος θα συμπληρώσετε το παρόν ερωτηματολόγιο. Τα δεδομένα σας θα χρησιμοποιηθούν ανώνυμα, μαζί με τα δεδομένα άλλων συμμετεχόντων. Να θυμάστε ότι η συμμετοχή σας είναι εξ ολοκλήρου **εθελοντική**. Μπορείτε **να επιλέξετε** να μην συμμετάσχετε σε μέρος των δοκιμών και **να αποχωρήσετε** από αυτές οποιαδήποτε στιγμή χωρίς καμία επίπτωση. Τέλος έχουμε το δικαίωμα, για οποιονδήποτε λόγο, να μην σας χρησιμοποιήσουμε στις συγκεκριμένες δοκιμές.

Παρακαλώ κυκλώστε τις απαντήσεις σας και υπογράψτε παρακάτω:

Κατανοείτε αυτό το έντυπο;	NAI	OXI
Συναινείτε στο να συμμετάσχετε σε αυτήν την έρευνα;	NAI	OXI
Επιβεβαιώνετε ότι είστε ηλικίας άνω των 18 ετών;	NAI	OXI
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί φωτογραφία σας σε δημοσίευση;	NAI	OXI
Υποφέρετε από ίλιγγο ή επιληψία;	NAI	OXI
Συμφωνείτε να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα σας, ανώνυμα , σε περαιτέρω εγκεκριμένες έρευνες;	NAI	OXI

Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία: _____

Υπογραφή: _____

Αξιολόγηση Μετρητικής Εφαρμογής Εικονικής Πραγματικότητας

A. Δημογραφικά Στοιχεία

1. Φύλο

- Άνδρας
 Γυναίκα

2. Ηλικία *

- 12-18
 19-30
 31-45
 46-65
 66 και άνω

3. Επίπεδο Σπουδών

- Μαθητής\τρια
 Απόφοιτος Λυκείου
 Προπτυχιακός Φοιτητής
 Πτυχίο Bachelor
 Πτυχίο Master
 Διδακτορικό

4. Έχετε εμπειρία στις Τοπογραφικές - Μετρητικές Δραστηριότητες *

- Ναι
 Όχι
 Σχετικά

5. Είστε εξοικειωμένος\νη με την πολιτιστική κληρονομιά

- Ναι
 Όχι
 Σχετικά

6. Είστε Δεξιόχειρας ή Αριστερόχειρας;

- Δεξιόχειρας
 Αριστερόχειρας

B. Η/Υ - Βιντεοπαιχνίδια

*Σημείωση: Ως Η/Υ αναφέρονται οποιοσδήποτε συσκευές μπορούν να εκτελέσουν παρεμφερείς δραστηριότητες με έναν κλασικό ηλεκτρονικό υπολογιστή

7. Έχετε στην κατοχή σας συσκευή-ες Η/Υ;

- Ναι
 Όχι

8. Αν ναι, τι είδους συσκευές; (PCs, Tablets, Smartphones κλπ)

9. Για ποιό/ποιά από τα παρακάτω χρησιμοποιείτε τις συσκευές Η/Υ;

- Δουλεία Γραφείου (Word, Excel κλπ)
 Κοινωνική Δικτύωση
 Αναψυχή
 Αναπαραγωγή ή/και Επεξεργασία Πολυμέσων
 Παιχνίδια
 Αναζήτηση Πληροφοριών
 Άλλο

10. Έχετε λάβει εκπαίδευση στη χρήση Η/Υ;

- Ναι
 Όχι

11. Θεωρείτε τον εαυτό σας Gamer;

- Ναι
 Όχι

12. Αν ναι, πόσο συχνά παίζετε βιντεοπαιχνίδια;

- Καθημερινά
 Κάποιες μέρες την εβδομάδα
 Κάποιες μέρες τον μήνα
 Άλλο: _____

Γ. Συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας

13. Έχετε εμπειρία από την χρήση κάποιου συστήματος εικονικής πραγματικότητας;

- Ναι
 Όχι

14. Αν ναι, από ποιο;

15. Έχετε παίξει ποτέ παιχνίδι σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας;

- Ναι
 Όχι

Δ. Αξιολόγηση της εν λόγω εφαρμογής

16. Πόσο πραγματικό φαινόταν το περιβάλλον το οποίο βιώνετε;

	1	2	3	4	5	
Καθόλου	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Είχα αποκοπεί πλήρως από την πραγματικότητα

17. Η κλίμακα του εικονικού περιβάλλοντος ήταν

- Πραγματική
 Εξωπραγματική

18. Η μετακίνηση μέσα στο εικονικό περιβάλλον ήταν

- Εύκολη
 Μέτρια
 Δύσκολη

19. Ποιόν τρόπο μετακίνησης προτιμήσατε;

- Τηλεμεταφορά
 Πτήση (Fly-Around)

20. Ο τρόπος χειρισμού της πτήσης ήταν

- Εύκολος
 Μέτριος
 Δύσκολος

21. Σας φάνηκε εύχρηστο το εργαλείο μέτρησης αποστάσεων;

1 2 3 4 5

Δεν μπόρεσα να μετρήσω απόσταση Πολύ εύχρηστο

22. Σας φάνηκε εύχρηστο το εργαλείο μέτρησης και εξαγωγής τομών;

1 2 3 4 5

Δεν μπόρεσα να μετρήσω τομές Πολύ εύχρηστο

23. Ο τρόπος σκόπευσης σημείων που χρησιμοποιεί η εφαρμογή είναι

- Εύχρηστος
 Δύσρηστος

24. Νιώσατε κάποιου είδους δυσφορία κατά τη διάρκεια χρήσης της εφαρμογής;

- Ναι
 Όχι

25. Αν ναι, γιατί;

Ε. Προτεινόμενες Βελτιώσεις

ΣΤ. Ελεύθερα σχόλια

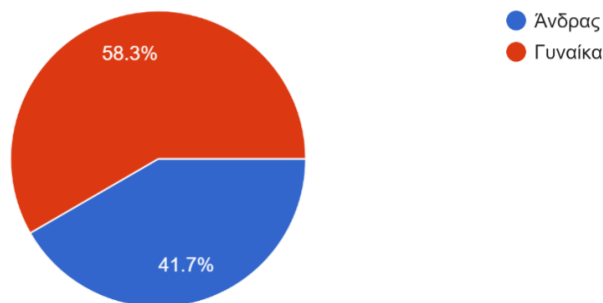
5.3.1 Αποτελέσματα Ερωτηματολογίου

Όπως φαίνεται από το ερωτηματολόγιο, οι χρήστες καλούνται να αξιολογήσουν το περιβάλλον της εφαρμογής ως προς την αληθοφάνειά του, τα εργαλεία της εφαρμογής ως προς τη χρησιμότητά τους αλλά και γενικότερα της ευχρηστίας της εφαρμογής. Επιπλέον, στην αρχή του ερωτηματολογίου δίνουν κάποια στοιχεία για τον εαυτό τους προκειμένου να γίνει καλύτερη κατηγοριοποίηση των απαντήσεών τους.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποίησαν την εφαρμογή και απάντησαν στο ερωτηματολόγιο 48 άτομα τα δημογραφικά στοιχεία των οποίων φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα (εικόνα 140).

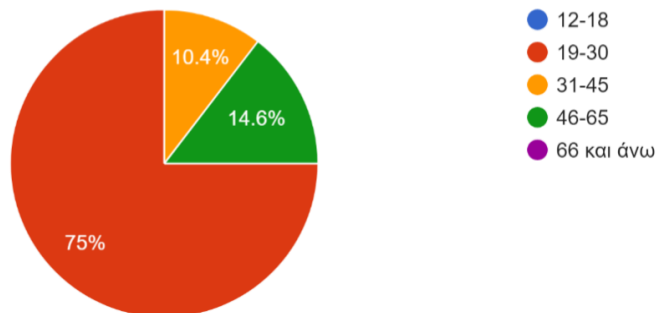
Φύλο

48 responses



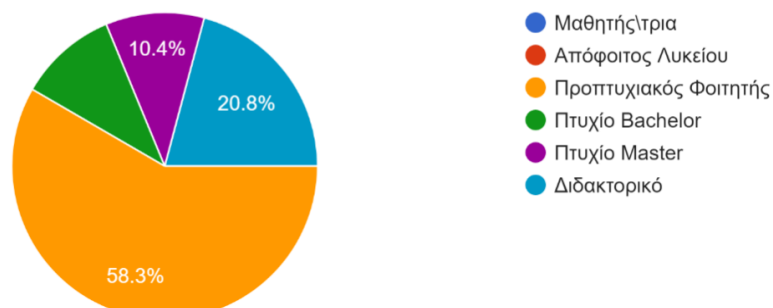
Ηλικία

48 responses



Επίπεδο Σπουδών

48 responses



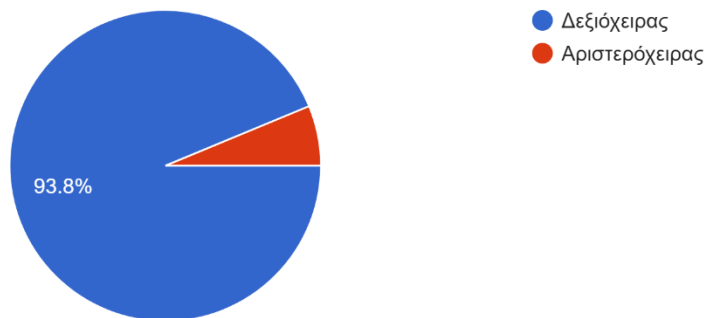
Εικόνα 140: Δημογραφικά Στοιχεία Ερωτηθέντων

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα το 58.3% των ανθρώπων που απάντησαν το ερωτηματολόγιο ήταν γυναίκες ενώ το υπόλοιπο (41.7%) ήταν άνδρες. Επιπλέον, το 75% ανήκε στο ηλικιακό διάστημα των 19 – 30 ετών, το 14.6% στο ηλικιακό διάστημα των 46 – 65 ετών και το 10.4% στο ηλικιακό διάστημα των 31 – 45 ετών. Τέλος, όσον αφορά στο επίπεδο σπουδών των συμμετεχόντων το 58.3% ήταν προπτυχιακοί φοιτητές, το 20.8% είχαν διδακτορικό, το 10.4% πτυχίο Master και το υπόλοιπο 10.4% πτυχίο Bachelor. Υπήρχε, επομένως, ένα ευρύ δείγμα ερωτηθέντων με διαφορετικά δημογραφικά στοιχεία το οποίο θα οδηγήσει σε μια πιο αξιόπιστη αξιολόγηση.

Τονίζεται, επίσης, πως το 93.8% των ερωτηθέντων ήταν δεξιόχειρες ενώ μόνο το 6.3% αριστερόχειρες (εικόνα 141).

Είστε Δεξιόχειρας ή Αριστερόχειρας;

48 responses

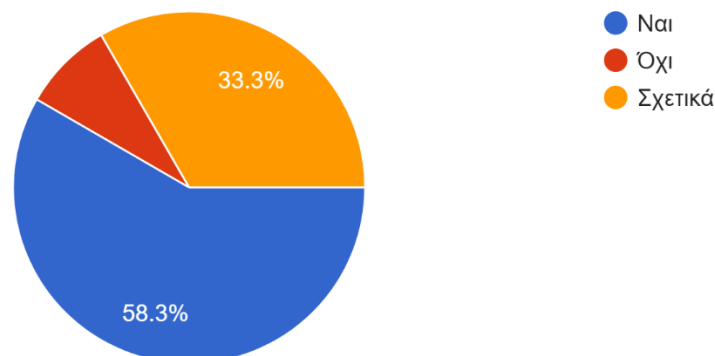


Εικόνα 141: Δεξιόχειρες ή Αριστερόχειρες;

Σημαντικό θεωρήθηκε να ερωτηθούν οι χρήστες σχετικά με την εμπειρία τους στις τοπογραφικές – μετρητικές δραστηριότητες. Όπως φαίνεται παρακάτω (εικόνα 142) το 58.3% είχε εμπειρία στις μετρητικές δραστηριότητες, το 33.3% είχε σχετική εμπειρία ενώ το υπόλοιπο 8.4% δεν είχε καθόλου εμπειρία.

Έχετε εμπειρία στις Τοπογραφικές - Μετρητικές Δραστηριότητες

48 responses

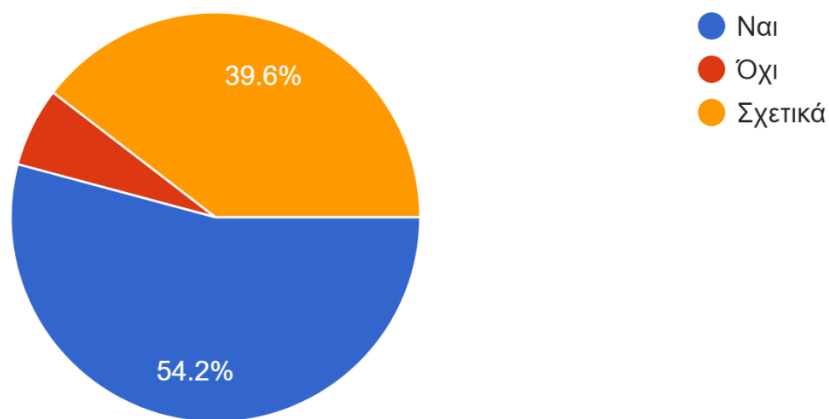


Εικόνα 14213: Εμπειρία των ερωτηθέντων στις Τοπογραφικές – Μετρητικές Δραστηριότητες.

Πολύ σημαντικό στοιχείο για την αξιολόγηση της εφαρμογής ήταν και η εξοικείωση των χρηστών με την πολιτιστική κληρονομιά. Σύμφωνα με τα παρακάτω αποτελέσματα (εικόνα 143) το 54.2% των χρηστών δήλωσε εξοικειωμένο με την πολιτιστική κληρονομιά, το 39.6% σχετικά εξοικειωμένο ενώ το υπόλοιπο 6.2% καθόλου εξοικειωμένο με την πολιτιστική κληρονομιά.

Είστε εξοικειωμένος\νη με την πολιτιστική κληρονομιά

48 responses



Εικόνα 143: Εξοικείωση των ερωτηθέντων με την πολιτιστική κληρονομιά

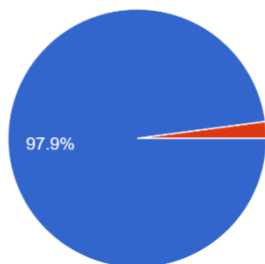
Όλα τα παραπάνω στοιχεία σκιαγραφούν το βασικό προφίλ και το υπόβαθρο των χρηστών που έλαβαν μέρος στην αξιολόγηση της εφαρμογής. Όμως για την κατανόηση και την σωστή χρήση της παρούσας εφαρμογής πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η εμπειρία του χρήστη με την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών γενικά αλλά και ειδικότερα με τα βιντεοπαιχνίδια και τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας. Έτσι, οι ενότητες του ερωτηματολογίου που θα αναλυθούν παρακάτω σκοπεύουν στην διερεύνηση των παραπάνω χαρακτηριστικών κάθε χρήστη καθότι, όπως είναι προφανές, ένας έμπειρος χρήστης ηλεκτρονικών υπολογιστών και βιντεοπαιχνιδιών θα είναι σε θέση να χειριστεί και να κατανοήσει ευκολότερα την παρούσα εφαρμογή.

Στα παρακάτω γραφήματα φαίνεται η εμπειρία των χρηστών στη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, στα βιντεοπαιχνίδια αλλά και στα συστήματα εικονικής πραγματικότητας.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως ως συσκευή ηλεκτρονικού υπολογιστή, στο πλαίσιο του παρόντος ερωτηματολογίου, νοείται οποιαδήποτε συσκευή μπορεί να εκτελέσει παρόμοιες δραστηριότητες με ένα κλασικό ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Έχετε στην κατοχή σας συσκευή-ες Η/Υ;

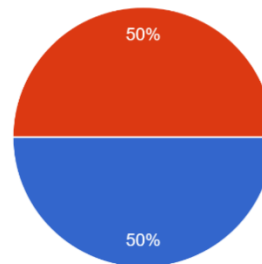
48 responses



● Ναι
● Όχι

Έχετε λάβει εκπαίδευση στη χρήση Η/Υ;

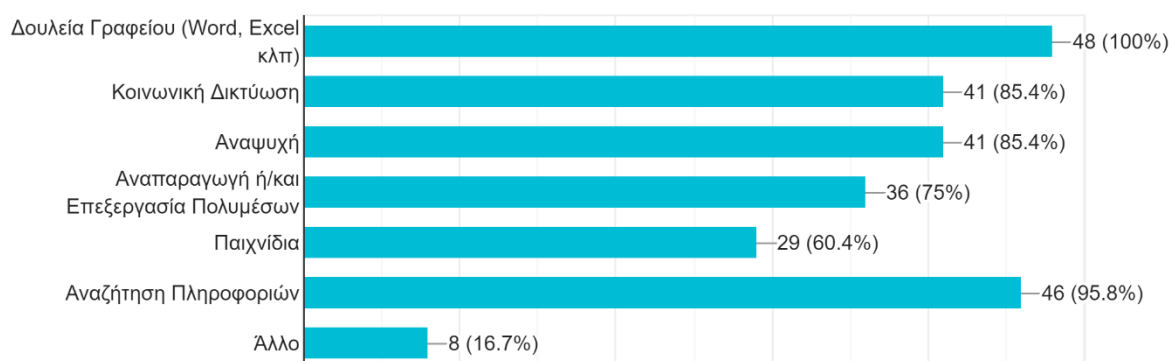
48 responses



● Ναι
● Όχι

Για ποιό/ποιά από τα παρακάτω χρησιμοποιείτε τις συσκευές Η/Υ;

48 responses



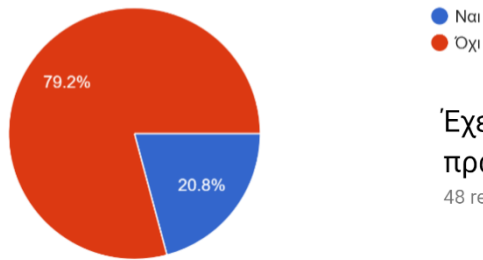
Εικόνα 144: Εμπειρία των ερωτηθέντων σχετικά με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών

Παρατηρείται από τα παραπάνω (εικόνα 144) πως το 97.9% των ερωτηθέντων έχει στην κατοχή του κάποια συσκευή ηλεκτρονικού υπολογιστή ενώ μόλις το 2.1% των ερωτηθέντων δεν έχει. Επιπλέον, οι μισοί έχουν λάβει εκπαίδευση στη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών ενώ οι άλλοι μισοί όχι. Τέλος, οι ερωτηθέντες χρησιμοποιούν τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές για πληθώρα εργασιών όπως φαίνεται στο ιστόγραμμα (Εικόνα 144).

Όσον αφορά στα βιντεοπαιχνίδια αλλά και στα συστήματα εικονικής πραγματικότητας στα παρακάτω γραφήματα (εικόνα 145) φαίνεται πως το 79.2% των χρηστών δεν παίζει βιντεοπαιχνίδια και επίσης δεν έχει εμπειρία από συστήματα εικονικής πραγματικότητας. Αντίστοιχα για το υπόλοιπο 20.8% συμβαίνουν τα αντίθετα. Επιπλέον, το 81.3% των χρηστών δεν είχε παίξει ποτέ κάποιο παιχνίδι εικονικής πραγματικότητας.

Θεωρείτε τον εαυτό σας Gamer;

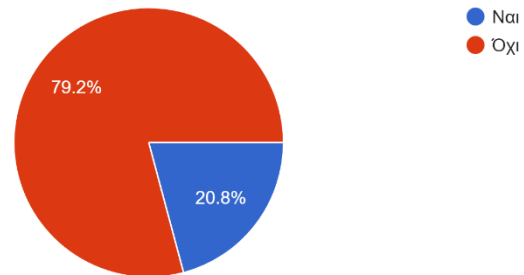
48 responses



● Ναι
● Όχι

Έχετε εμπειρία από την χρήση κάποιου συστήματος εικονικής πραγματικότητας;

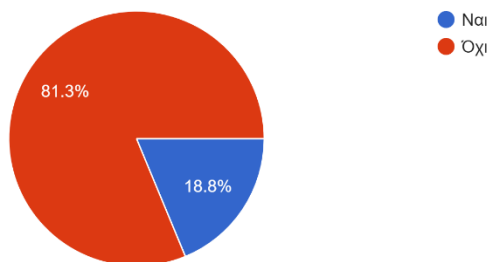
48 responses



● Ναι
● Όχι

Έχετε παίξει ποτέ παιχνίδι σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας;

48 responses



● Ναι
● Όχι

Εικόνα 145: Εμπειρία ερωτηθέντων στα βιντεοπαιχνίδια αλλά και στα συστήματα εικονικής πραγματικότητας

Αφού, λοιπόν, αναλύθηκαν όλα τα χαρακτηριστικά των χρηστών που επηρεάζουν το αποτέλεσμα της παρούσας αξιολόγησης παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματά της. Συγκεκριμένα, η αξιολόγηση της εφαρμογής βάσει του παρόντος ερωτηματολογίου χωρίζεται στις τρεις παρακάτω ενότητες:

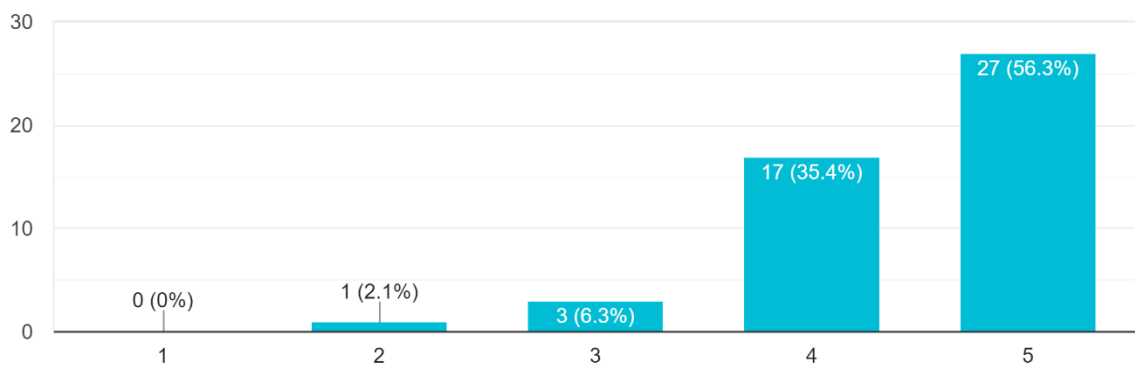
- Βαθμός Εμβύθισης του χρήστη & Αληθοφάνειας του περιβάλλοντος της εφαρμογής
- Ευκολία μετακίνησης στο ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής
- Ευκολία χρήσης των μετρητικών εργαλείων της εφαρμογής

Επιπλέον, στους χρήστες δόθηκε η δυνατότητα να καταγράψουν οποιαδήποτε δυσφορία ένιωσαν κατά τη διάρκεια χρήσης της εφαρμογής, να προτείνουν βελτιώσεις αλλά και να σχολιάσουν οτιδήποτε επιθυμούν.

Όσον αφορά στον βαθμό εμπύθισης και στην αληθοφάνεια του περιβάλλοντος της εφαρμογής οι χρήστες κλήθηκαν να βαθμολογήσουν από το 1 έως και το 5 την αληθοφάνεια του περιβάλλοντος που βίωναν αλλά και να χαρακτηρίσουν την κλίμακά του ως πραγματική ή εξωπραγματική. Τα αποτελέσματα παρατίθενται παρακάτω (εικόνα 146).

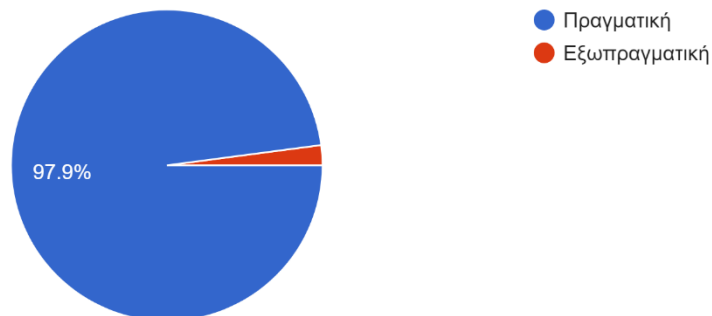
Πόσο πραγματικό φαινόταν το περιβάλλον το οποίο βιώνετε;

48 responses



Η κλίμακα του εικονικού περιβάλλοντος ήταν

48 responses



Εικόνα 146: Βαθμός Εμπύθισης των χρηστών και αληθοφάνεια της εφαρμογής

Παρατηρείται πως το 56.3% των χρηστών βαθμολόγησε με 5 την αληθοφάνεια του περιβάλλοντος της εφαρμογής και αντίστοιχα το 35.4% την βαθμολόγησε με 4. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα δείχνει πως το περιβάλλον της εφαρμογής ήταν πολύ αληθοφάνες για τους περισσότερους χρήστες. Επίσης, στο 97.9% των χρηστών η κλίμακα του περιβάλλοντος της εφαρμογής ήταν πραγματική.

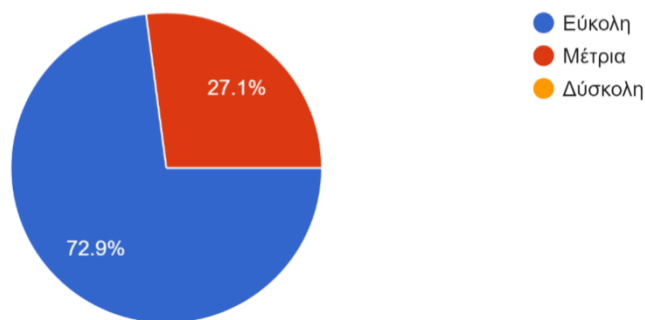
Αυτά τα αποτελέσματα οδηγούν στο συμπέρασμα πως η εφαρμογή παρείχε στους περισσότερους χρήστες μια εμπειρία εικονικής πραγματικότητας με μεγάλο βαθμό εμπύθισης της οποίας το περιβάλλον ήταν κατά πολύ αληθοφάνες.

Σημειώνεται, πως τα αίτια που οδήγησαν τους υπόλοιπους χρήστες σε μία διαφορετική εμπειρία εξαρτώνται ίσως από την μη εξοικείωσή τους με τέτοιοι είδους τεχνολογίες αλλά για να βγει ασφαλές συμπέρασμα πρέπει να διερευνηθούν ατομικά.

Αναφορικά με την μετακίνηση στο ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής, το 72.9% των χρηστών την χαρακτήρισε εύκολη ενώ το υπόλοιπο 27.1% μέτρια. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως κανένας χρήστης δεν χαρακτήρισε την μετακίνηση ως δύσκολη. Επιπροσθέτως, το 56.3% των χρηστών προτίμησε την πτήση ως τρόπο μετακίνησης ενώ το 43.8% την τηλεμεταφορά. Τέλος, για το 66.7% ο τρόπος χειρισμού της πτήσης ήταν εύκολος, για το 31.3% μέτριος ενώ για το υπόλοιπο 2.1% δύσκολος. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα εμφανίζονται διαγραμματικά παρακάτω (εικόνα 147).

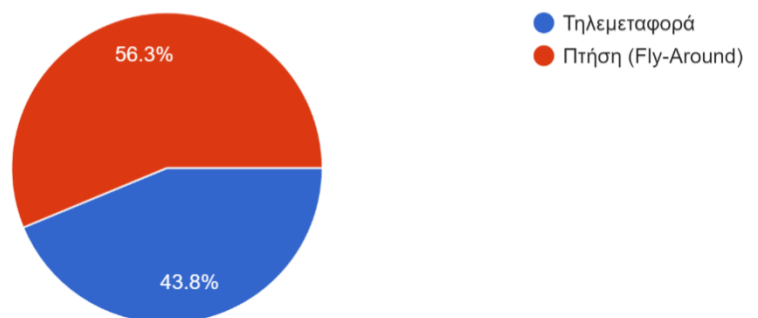
Η μετακίνηση μέσα στο εικονικό περιβάλλον ήταν

48 responses



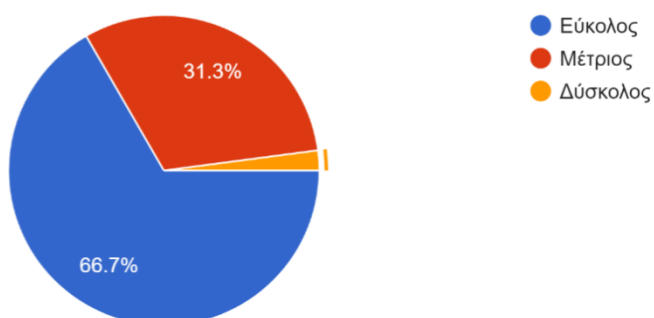
Ποιον τρόπο μετακίνησης προτιμήσατε;

48 responses



Ο τρόπος χειρισμού της πτήσης ήταν

48 responses

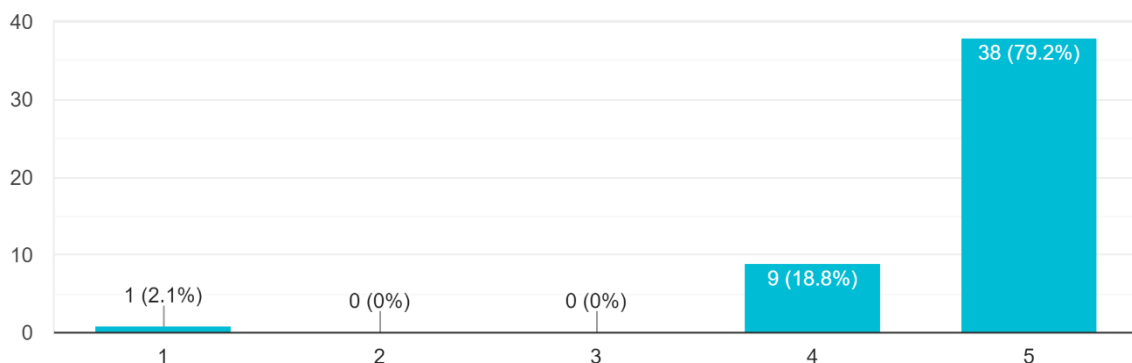


Εικόνα 147: Αποτελέσματα ευκολίας μετακίνησης στο ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής

Τέλος, για την αξιολόγηση της ευκολίας χρήσης των μετρητικών εργαλείων της εφαρμογής ζητήθηκε από τους χρήστες να τα βαθμολογήσουν από το 1 έως και το 5 με το 1 να εκφράζει το πολύ δύσχρηστο ενώ το 5 το πολύ εύχρηστο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα (εικόνα 148). Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί πως και οι 48 ερωτηθέντες χαρακτήρισαν εύχρηστο τον τρόπο σκόπευσης σημείων που χρησιμοποιεί η εφαρμογή.

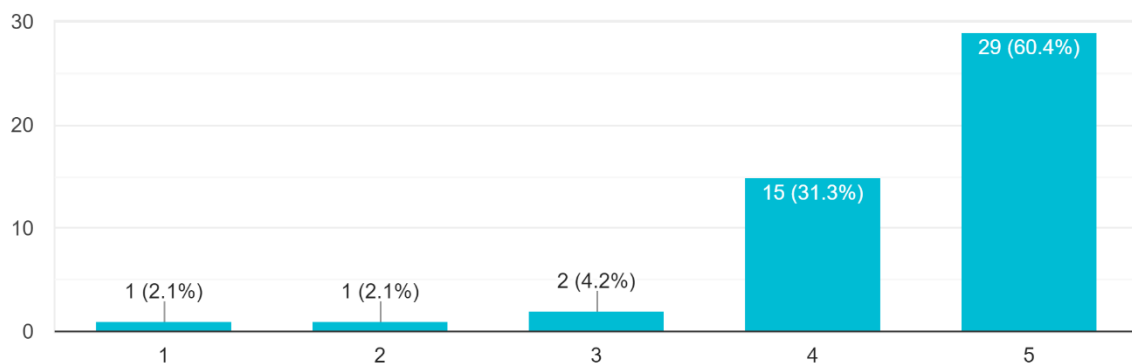
Σας φάνηκε εύχρηστο το εργαλείο μέτρησης αποστάσεων;

48 responses



Σας φάνηκε εύχρηστο το εργαλείο μέτρησης και εξαγωγής τομών;

48 responses



Εικόνα 148: Χαρακτηρισμός των μετρητικών εργαλείων της εφαρμογής

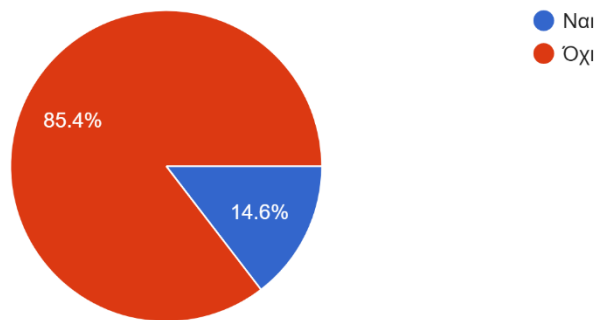
Το εργαλείο μέτρησης αποστάσεων βαθμολογήθηκε με 5, δηλαδή ως πολύ εύχρηστο, από το 79.2% των ερωτηθέντων και το 18.8% το βαθμολόγησε με 4, δηλαδή ως εύχρηστο.

Όσον αφορά το εργαλείο μέτρησης και εξαγωγής τομών, το 60.4% των χρηστών το βαθμολόγησε με 5 και το 31.3% των χρηστών με 4, δηλαδή το χαρακτήρισαν ως πολύ εύχρηστο και εύχρηστο αντίστοιχα. Όμως, για το συγκεκριμένο εργαλείο παρατηρείται ότι το 8.4% των χρηστών δυσκολευτήκαν λίγο – πολύ στην χρήση του.

Επιπλέον, σημαντικό είναι ο χρήστης να νιώθει ευχάριστα κατά την χρήση της εφαρμογής. Έτσι, οι χρήστες ερωτήθηκαν αν ένιωσαν κάποια δυσφορία κατά τη χρήση της εφαρμογής και αν ναι ποια. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω (εικόνα 149).

Νιώσατε κάποιου είδους δυσφορία κατά τη διάρκεια χρήσης της εφαρμογής;

48 responses



Εικόνα 149: Δυσφορία χρηστών κατά τη χρήση της εφαρμογής.

Φαίνεται, πως το 85.4% των χρηστών δεν ένιωσε κάποια δυσφορία κατά την χρήση της εφαρμογής ενώ το υπόλοιπο 14.6% ένιωσε. Οι αιτιολογήσεις της δυσφορίας που δόθηκαν από τους χρήστες ήταν:

- «Υποφοβία»
- «Γιατί δεν είχα συνηθίσει»
- «Λόγω του ότι βρισκόμουν σε ένα χώρο μόνος/η μου»
- «Ζάλη»
- «Γρήγορη πτώση κατά τη διάρκεια της πτήσης»

Παρατηρείται με αυτόν τον τρόπο πως πολλοί από τους πραγματικούς φόβους και ανασφάλειες των ανθρώπων βρίσκουν αντίκρισμα και σε ένα περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τους δημιουργούς τέτοιων εφαρμογών.

Τέλος, παρακάτω παρατίθενται αυτούσιες οι προτεινόμενες βελτιώσεις και τα ελεύθερα σχόλια των χρηστών της εφαρμογής.

Προτεινόμενες Βελτιώσεις:

- ✓ Θα μπορούσε να αξιοποιήσει το "έγγραφο" που κρατάει ο χρήστης για προβολή της τομής πέρα από τις αποστάσεις.
- ✓ Προσθήκη ακουστικών για να γίνει η εμπειρία πιο αληθοφανής.

- ✓ Να φαίνεται ο άνθρωπος.
- ✓ Συμπλήρωση υποβάθρου / Περιβάλλοντος χώρου.
- ✓ Διαμόρφωση φωτεινότητας ή shades από το χρήστη (να υπάρχουν προεπιλογές).
- ✓ Καλό θα ήταν να υπάρχει δυνατότητα περιστροφής του θεατή ανεξάρτητα από τη μετακίνησή του.
- ✓ Μεγαλύτερη ευχέρεια κινήσεων στο χώρο (καλώδιο / έπιπλα)
- ✓ Η ευκρίνεια σε κάποιες τοιχογραφίες ήταν περιορισμένη. Η διαδικασία εξαγωγής τομών δεν ήταν αρκετά εύχρηστη, θα μπορούσε ίσως να φαίνονται με κάποιο τρόπο την ώρα που γίνεται η περιήγηση.
- ✓ Να υπολογίζει και άλλα στοιχεία εκτός από αποστάσεις.
- ✓ Το σύστημα Fly-Around (Καλύτερος έλεγχος από τον χρήστη)
- ✓ Αύξηση αλληλεπίδρασης (π.χ. σημεία ενδιαφέροντος) - Προτεινόμενη διαδρομή (καθοδήγηση στην περιήγηση)
- ✓ Δυνατότητα πλάγιας κίνησης.
- ✓ Να υπάρχει και ένα τμήμα της πραγματικότητας για να αντιμετωπιστούν φαινόμενα ζάλης.
- ✓ Βελτίωση της λειτουργίας πτήσης.

Ελεύθερα Σχόλια:

- Θα είναι εντυπωσιακότερο όταν βελτιωθεί η ανάλυση των γυαλιών κάτι το οποίο εξαρτάται από τη βιομηχανία.
- Πολύ ενδιαφέρουσα σαν εφαρμογή. Δίνει την εντύπωση της πραγματικότητας μέσα στο ναό.
- Ωραίο με πολλές δυνατότητες βελτίωσης.
- Θα ήθελα να δημιουργηθούν και άλλα τέτοια προγράμματα καθώς είναι πολύ ενδιαφέροντα και εντυπωσιακά.
- Τέλειο Μοντέλο!
- Πολύ καλή εργασία
- Είναι μια νέα οπτική εμπειρία.
- Πάρα πολύ καλή προσπάθεια. Συγχαρητήρια!

- Χρήσιμο από την σκοπιά του αρχιτέκτονα στην ανίχνευση "αφανών" ποιοτήτων του χώρου και της κίνησης του παρατηρητή μέσα σε αυτόν. Για τους ειδικούς που μελετούν τα μνημεία είναι χρήσιμο εργαλείο εποπτείας, γενικών παρατηρήσεων ή υπενθύμισης λεπτομερειών, απαιτείται όμως η παρουσία στο πεδίο για εξαντλητική κατανόηση του αντικειμένου και ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων.
- Εξαιρετική εμπειρία. Εξαιρετική δουλειά. Μια νέα δυνατότητα.
- Αρκετά ευχάριστο και εύχρηστο.

5.3.2 Συμπεράσματα που προκύπτουν από την αξιολόγηση

Γενικό συμπέρασμα της αξιολόγησης του προηγούμενου εδαφίου είναι πως η εφαρμογή που δημιουργήθηκε είναι εύχρηστη για έναν χρήστη εξοικειωμένο με αυτού του είδους την τεχνολογία και τις εφαρμογές. Βέβαια εννοείται πως μπορεί να βελτιωθεί σε όλα της τα κομμάτια και προτάσεις βελτίωσης θα δοθούν στο επόμενο κεφάλαιο λαμβάνοντας υπόψη και αυτές που δόθηκαν από τους ερωτηθέντες.

Επιπροσθέτως, παρατηρήθηκε πως οι περισσότεροι χρήστες εμπυθίστηκαν σε ικανοποιητικό βαθμό προκειμένου να είναι σε θέση να απολαύσουν μια εμπειρία εικονικής πραγματικότητας.

Στο κομμάτι της μετακίνησης, η τηλεμεταφορά έγινε κατανοητή και χρησιμοποιήθηκε από όλους. Αντίθετα, η λειτουργία πτήσης δυσκόλεψε κάποιους χρήστες οι οποίοι ήταν εντελώς άπειροι σε θέματα βιντεοπαιχνιδιών και τεχνολογίας.

Τα μετρητικά εργαλεία θεωρήθηκαν σε γενικές γραμμές εύχρηστα. Συγκεκριμένα, το εργαλείο μέτρησης αποστάσεων χαρακτηρίστηκε, βάσει των αποτελεσμάτων, ως ευκολότερο σε σχέση με το εργαλείο μέτρησης και εξαγωγής τομών το οποίο δυσκόλεψε αρκετούς χρήστες. Έτσι, βγαίνει το συμπέρασμα πως το εργαλείο μέτρησης και εξαγωγής τομών πρέπει να βελτιωθεί.

Τέλος, όπως προαναφέρθηκε οι πραγματικοί φόβοι και οι ανασφάλειες κάθε χρήστη έχουν αντίκρισμα και σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας. Έτσι, κάθε δημιουργός πρέπει να μπαίνει στη θέση τέτοιων χρηστών με σκοπό να εξαλείψει όσο το δυνατόν περισσότερες πηγές δυσφορίας κατά τη χρήση της εφαρμογής για τον εκάστοτε χρήστη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα – Μελλοντικές Βελτιώσεις

6.1 Συμπεράσματα

➤ **Γενικά Συμπεράσματα:**

Η ανάπτυξη και υλοποίηση της εφαρμογής που περιγράφηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, οδηγεί στο γενικό συμπέρασμα πως η χρήση της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας μπορεί να ωφελήσει πολλούς επιστημονικούς κλάδους και να τους ωθήσει προς την τεχνολογική εξέλιξη. Η επιστήμη του μηχανικού μπορεί να αξιοποιήσει στο έπακρο την εικονική πραγματικότητα σε θέματα οπτικοποίησης και όχι μόνο. Πιο συγκεκριμένα, οι μηχανικοί που έχουν σχέση με τρισδιάστατα δεδομένα οποιασδήποτε μορφής μπορούν να αξιοποιήσουν την εν λόγω τεχνολογία ως μια εναλλακτική και, σε πολλές περιπτώσεις, πιο πλήρη μέθοδο απεικόνισης των δεδομένων τους αλλά και ως έναν τρόπο διάδρασης με αυτά χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εργαλεία. Τα τρισδιάστατα μοντέλα μπορούν να επωφεληθούν περισσότερο από όλα τα υπόλοιπα ήδη τρισδιάστατων δεδομένων μιας και η απεικόνισή τους σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας παρουσιάζει σε μεγάλο βαθμό ρεαλιστικότητα την πραγματικότητα, γεγονός που δεν συμβαίνει με άλλες μεθόδους απεικόνισης σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

Όσον αφορά στην πολιτιστική κληρονομιά, η εικονική πραγματικότητα μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην μελέτη, στη διατήρησή της αλλά και στην ανάδειξή της. Όπως αναφέρθηκε πολλάκις στον παρόν κείμενο, ένα αντικείμενο πολιτιστικής κληρονομιάς, οποίο είναι δυνατόν να απεικονιστεί τρισδιάστατα, μπορεί να αναδειχθεί και να διαδοθεί μέσω της εικονικής πραγματικότητας δίνοντας την ευκαιρία σε οποιονδήποτε να έρθει σε επαφή μαζί του, να το μελετήσει και κάποιες φορές και να το «επεξεργαστεί» εικονικά. Επιπλέον, ένας τοπογράφος μηχανικός μπορεί να συμβάλει σε αυτό δημιουργώντας ακριβή και λεπτομερή τρισδιάστατα μοντέλα αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας έχει εξελιχθεί σε σημείο τέτοιο ώστε να είναι εφικτό οι δημιουργοί να παράγουν εφαρμογές υψηλής ποιότητας και μεγάλου βαθμού εμπύθισης που προσομοιάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα και αποσπούν εξ ολοκλήρου τον χρήστη από το πραγματικό περιβάλλον του. Ο μεγάλος βαθμός εμπύθισης επιτυγχάνεται με τα σύγχρονα συστήματα εικονικής πραγματικότητας που χρησιμοποιούν μάσκες εικονικής πραγματικότητας πολύ υψηλής ανάλυσης και περιγράφηκαν αναλυτικά στο 2^ο κεφάλαιο.

➤ Ειδικά Συμπεράσματα

Την περίοδο εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής (έτος 2018-2019) αποφασίστηκε μετά από έρευνα πως το καλύτερο σύγχρονο σύστημα εικονικής πραγματικότητας για να χρησιμοποιηθεί στην εκπόνησή της ήταν το HTC VIVE. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημά του έναντι των άλλων παρεμφερών συστημάτων, που ήταν διαθέσιμα στο εμπόριο, είναι ο εντοπισμός της θέσης του χρήστη σε επίπεδο δωματίου. Συγκεκριμένα, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να χρησιμοποιήσει την φυσική του κίνηση μέσα σε ένα προκαθορισμένο χώρο προκειμένου να μετακινείται στο περιβάλλον της εκάστοτε εφαρμογής. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί άνετα να χρησιμοποιεί το σύστημα έχοντας γυρισμένη την πλάτη του στον υπολογιστή που το υποστηρίζει δεδομένου ότι οι αισθητήρες του δεν επηρεάζονται από τη θέση και τον προσανατολισμό του χρήστη ή των αντικειμένων του συστήματος.

Επιπροσθέτως, μετά από δοκιμές, ως καταλληλότερη μηχανή παιχνιδιών (Game Engine) για την ανάπτυξη της εφαρμογής της παρούσας διπλωματικής εργασίας κρίθηκε η Unreal Engine 4. Η μηχανή αυτή, σε σύγκριση με την Unity3D, που ήταν η δεύτερη που εξετάστηκε, διαπιστώθηκε ότι αντιμετωπίζει με σωστότερο τρόπο τα πολύπλοκα τρισδιάστατα μοντέλα αλλά και ότι επικοινωνεί καλύτερα με το HTC VIVE. Συγκεκριμένα η Unity3D, απεικόνιζε τα πολύπλοκα τρισδιάστατα μοντέλα ως πολλές «φλίδες» μεμονωμένων οντοτήτων με αποτέλεσμα να μην είναι λειτουργικό για τα μετρητικά εργαλεία που αναπτύχθηκαν. Αντίθετα η Unreal Engine κατάφερε να απεικονίσει ως ενιαία οντότητα το τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου που χρησιμοποιήθηκε ως αντικείμενο μετρήσεων. Επιπλέον, η δυνατότητα εικονικού προγραμματισμού που παρέχει η μηχανή Unreal Engine είναι πολύ εύχρηστη και βοηθάει τον εκάστοτε δημιουργό να επικεντρώνεται στις λειτουργίες της εφαρμογής του καθώς εξαλείφει το συντακτικό από τον προγραμματισμό.

Τελικά, η εφαρμογή δημιουργήθηκε έχοντας δύο μετρητικά εργαλεία: το εργαλείο μέτρησης αποστάσεων και το εργαλείο μέτρησης και εξαγωγής τομών και τρισδιάστατων συντεταγμένων σημείων. Χρησιμοποιώντας ως μετρητικό αντικείμενο το τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου που είναι ένα πολύ λεπτομερές και ακριβές μοντέλο βγαίνει το συμπέρασμα πως η εφαρμογή μπορεί να λειτουργήσει με οποιοδήποτε τρισδιάστατο μοντέλο και μοναδικός περιορισμός στην εισαγωγή του είναι οι δυνατότητες του εκάστοτε ηλεκτρονικού υπολογιστή που την υποστηρίζει.

Η ακρίβεια των μετρητικών εργαλείων που δημιουργήθηκαν σε σχέση με την επιφάνεια αναφοράς υπολογίστηκε περί το 1cm. Συγκεκριμένα, όπως αναλύεται στο 5^ο κεφάλαιο, πραγματοποιώντας, πολλές ομάδες μετρήσεων και με τα δύο εργαλεία στο περιβάλλον της εφαρμογής και μετασχηματίζοντας τις μετρήσεις αυτές στο αρχικό σύστημα αναφοράς του τρισδιάστατου μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε παρατηρήθηκε η παραπάνω απόκλιση από την επιφάνειά του. Δηλαδή, τα μετρηθέντα σημεία ή αποστάσεις απείχαν από την αληθή τους τιμή κατά μέσο όρο 1cm. Η συγκεκριμένη απόκλιση οφείλεται στον μετασχηματισμό που λαμβάνει χώρα καθώς τα κοινά σημεία βάσει των οποίων γίνεται έχουν επιλεχθεί από τον χρήστη τόσο στην εφαρμογή όσο και στην αληθή επιφάνεια και η ταύτισή τους εξαρτάται από την

ακρίβεια επιλογής τους. Επιπλέον, άγνωστη είναι η ακρίβεια με την οποία η εφαρμογή επιλέγει και μετρά σημεία τρισδιάστατων συντεταγμένων και μπορεί να εισάγει σφάλματα στην όλη διαδικασία. Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει το σφάλμα σκόπευσης του εκάστοτε χρήστη.

Πρόσθετα η εφαρμογή αξιολογήθηκε μέσω διαφόρων χρηστών που τη χρησιμοποίησαν και απάντησαν ένα ειδικά διαμορφωμένο ερωτηματολόγιο. Από την εν λόγω διαδικασία βγαίνει το συμπέρασμα πως πρόκειται για μια πρωτόγνωρη εμπειρία για τους περισσότερους χρήστες που τους κινεί το ενδιαφέρον. Όμως οι χρήστες της επιδέχεται πολλές βελτιώσεις προκειμένου να κάνει την εμπειρία του χρήστη ακόμη πιο ομαλή.

6.2 Μελλοντικές Βελτιώσεις

Λαμβάνοντας υπόψη και τις προτάσεις των χρηστών που απάντησαν το ερωτηματολόγιο αξιολόγησης απαραίτητες μελλοντικά είναι οι παρακάτω βελτιώσεις:

- ✓ Ορισμός, σταθεροποίηση και εμφάνιση του επιθυμητού επιπέδου τομής του αντικείμενου στο ψηφιακό περιβάλλον της εφαρμογής. Αναλυτικά, να δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει το επίπεδο, π/χ/ οριζόντιο ή κατακόρυφο, στο οποίο επιθυμεί να καταγράψει την τομή και να μπορεί να επιλέξει σημεία μόνο στην τομή αυτού με το αντικείμενο.
- ✓ Δυνατότητα εξαγωγής και αποθήκευσης, σε ξεχωριστό αρχείο, των μετρήσεων των αποστάσεων.
- ✓ Προσθήκη περαιτέρω εργαλείων μετρήσεων όπως μετρήσεις γωνιών, μετρήσεις εμβαδού, μετρήσεις υψομέτρων κ.ά. Συγκεκριμένα, με την εν λόγω προσθήκη δημιουργείται και η ανάγκη ανάπτυξης ενός μενού επιλογών προκειμένου να είναι ευκολότερη η επιλογή του κάθε εργαλείου και να γίνει καταμερισμός των εργασιών της εφαρμογής. Επίσης, πολύ χρήσιμη θα ήταν και η προσθήκη εργαλείων «επί τόπου» σχεδίασης τύπου CAD στο περιβάλλον της εφαρμογής. Τονίζεται πως για όλα αυτά τα εργαλεία χρήσιμη θα ήταν και η δυνατότητα εξαγωγής των παραγώγων τους σε μορφές αρχείων που μπορούν να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία.
- ✓ Προσθήκη ρυθμίσεων εισαγωγής τρισδιάστατου μοντέλου από τον εκάστοτε χρήστη. Με την συγκεκριμένη προσθήκη μπορεί να δίνεται η δυνατότητα στον εκάστοτε χρήστη να προσθέτει στην εφαρμογή ένα ή περισσότερα τρισδιάστατα μοντέλα της επιλογής του προκειμένου να δουλέψει πάνω σε αυτά.
- ✓ Καλύτερη κατανόηση των πηγών των σφαλμάτων αλλά και προσπάθεια εξάλειψής τους. Ένας καλός τρόπος εξάλειψης μέρους των σφαλμάτων θα ήταν ο

υπολογισμός των βέλτιστων παραμέτρων μετασχηματισμού μεταξύ των δύο συστημάτων αναφοράς. Σημειώνεται όμως πως ο υπολογισμός αυτός εξαρτάται κάθε φορά από το τρισδιάστατο μοντέλο που χρησιμοποιείται και το αρχικό σύστημα συντεταγμένων στο οποίο αναφέρεται.

- ✓ Εμπλουτισμός του περιβάλλοντος χώρου προκειμένου να γίνει ακόμη πιο αληθοφανής η εμπειρία εμβύθισης. Συγκεκριμένα, για το τρισδιάστατο μοντέλο του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου θα μπορούσε να προστεθεί το τρισδιάστατο μοντέλο της περιβάλλουσας Ροτόντας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημοσιεύσεις:

Kundalakesi.M, Swathi T, Ashapriya B, Sruthi R, 2017. A Study of Virtual Reality. International Journal of Trend in Research and Development, Volume 4(3), ISSN: 2394-9333

Adrián Borrego, Jorge Latorre, Mariano Alcañiz, Roberto Llorens, 2018. Comparison of Oculus Rift and HTC Vive. Feasibility for virtual reality-based exploration, navigation, exergaming, and rehabilitation

James Davis, Yi-Hsuan Hsieh, Hung-Chi Lee, 2015. Humans perceive flicker artifacts at 500 Hz. Scientific Reports | 5: 7861 | DOI: 10.1038/srep07861

Paul Milgram, Fumio Kishino, 1994. A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on Information Systems, Vol E77-D, No.12 December 1994.

Eike Falk Anderson, Leigh McLoughlin, Fotis Liarokapis, Christopher Peters, Panagiotis Petridis, Sara de Freitas, 2009. Serious Games in Cultural Heritage. The 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST - State of the Art Reports (2009)

Tomasz Mazuryk, Michael Gervautz. Virtual Reality History, Applications, technology and Future.

Francisco Soler, Francisco Javier Melero, Maria Victoria Luzón, 2017. A complete 3D information system for cultural heritage documentation. Journal of Cultural Heritage 23 (2017) 49–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2016.09.008>

Ann Marie Sullivan, Cultural Heritage & New Media: A Future for the Past, 15 J. MARSHALL REV. INTELL. PROP. L. 604 (2016).

J. Jokilehto, 1990. Definition of Cultural Heritage. ICCROM

Michela Mortaraa, Chiara Eva Catalanoa, Francesco Bellottib, Giusy Fiuccic, Minica Houry-Panchettid, Panagiotis Petridis, 2014. Learning cultural heritage by serious games. Journal of Cultural Heritage 15 (2014) 318–325. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2013.04.004>

International charter for the conservation and restoration of monuments and sites (the Venice Charter 1964). 2nd International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, Venice, 1964. ICOMOS.

S. Gonizzi Barsanti, G. Caruso, L. L. Micoli, M. Covarrubias Rodriguez, G. Guidi, 2015. 3D Visualization of Cultural Heritage Artefacts with Virtual Reality Devices. The International

Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W7, 2015. 25th International CIPA Symposium 2015, 31 August – 04 September 2015, Taipei, Taiwan. doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-165-2015.

T. P. Kersten, G. Büyüksalih, F. Tschirschwitz, T. Kan, S. Deggim, Y. Kaya, A. P. Baskaraca, 2017. The Selimiye Mosque of Edirne, Turkey – An Immersive and Interactive Virtual Reality Experience using HTC Vive. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-5/W1, 2017. GEOMATICS & RESTORATION – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, 22–24 May 2017, Florence, Italy. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-403-2017

T. P. Kersten, F. Tschirschwitz, S. Deggim, 2017. Developments of a Virtual Museum Including a 4D Presentation of Building History in Virtual Reality. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3, 2017. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-361-2017.

Wim Hupperetz, Raffaele Carlani, Daniel Pletinckx, Eva Pietroni, 2012. Etruscanning 3D project. The 3D reconstruction of the Regolini Galassi Tomb as a research tool and a new approach in storytelling. VAR. Volume 3 Number 7. ISSN: 1989-9947.

A. Gaitatzes, D. Christopoulos, G. Papaioannou, 2004. The Ancient Olympic Games: Being Part of the Experience. The 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2004), pp. 1–10.

M.E. Portman, A. Natapov, D. Fisher-Gewirtzman, 2015. To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. Computers, Environment and Urban Systems 54 (2015) 376–384. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.05.001>.

Luca Chittaro, Roberto Ranon, 2000. Adding Adaptive Features to Virtual Reality Interfaces for E-Commerce. AH2000: International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems, Lecture Notes in Computer Science 1892, Springer-Verlag, Berlin, 2000, pp. 85-96.

R. Bowen Loftin, Mark Engelberg, Robin Benedetti, 1993. Applying Virtual Reality in Education: A Prototypical Virtual Physics Laboratory. 0-8186-4910-0/93 IEEE 1993.

Veronica S. Pantelidis. Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality. Themes in Science and Technology Education, Special issue, Pages 59 – 70, Klidarithmos Computer Books.

Daniel A. Guttentag, 2009. Virtual reality: Applications and implications for tourism. Tourism Management 31 (2010) 637–651. doi: 10.1016/j.tourman.2009.07.003.

Rory McCloy, Robert Stone, 2001. Virtual Reality in surgery. BMJ 2001; 323:912–5.

Maria T. Schultheis, Alber A. Rizzo, 2001. The Application of Virtual Reality Technology in Rehabilitation. Rehabilitation Psychology, 2001, Vol. 46, No. 3, 296 – 311. DOI:1037//0090-5550.46.3.296.

Ajele Lele, 2011. Virtual reality and its military utility. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. DOI: 10.1007/s12652-011-0052-4.

Georgopoulos, A., Lambrou, E., Pantazis, G., Agrafiotis, P., Papadaki, A., Kotoula, L., Lampropoulos, K., Delegou, E., Apostolopoulou, M., Alexakis, M., Moropoulou, A., 2017. Merging Geometric Documentation with Materials Characterization and Analysis of the History of the Holy Aedicule in the Church of the Holy Sepulchre in Jerusalem. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-5/W1, 487-494, 2017 <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-487-2017>.

Moropoulou, A., Korres, E., Georgopoulos, A., Spyarakos, C., Mouzakis, Ch., 2017. Faithful Rehabilitation of the Holy Tomb of Christ. American Society of Civil Engineers, Nov. 2017 (pp. 54-61,78).

Balodimos D., Lavvas, G., Georgopoulos A., 2003. Wholly documenting Holy Monuments. Proc. XIX International CIPA Symposium «New perspectives to save Cultural Heritage», Antalya, Turkey, 2003, p. 502-505.

Ιστοσελίδες:

(τελευταία πρόσβαση στις 03/03/19)

<https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/2547/1/Chapter01.pdf>

https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/4490/1/02_chapter_9.pdf

http://vr.arch.uth.gr/VR-Arch/02_VR_Intro/

https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality

<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama>

<https://www.gamersnexus.net/guides/1208-history-of-virtual-reality-and-future/Page-3>

https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift

<https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscope>

<https://www.theverge.com/a/best-vr-headset-oculus-rift-samsung-gear-htc-vive-virtual-reality>

<https://www.pcmag.com/article/342537/the-best-virtual-reality-vr-headsets>

<https://uploadvr.com/standalone-vr-comparison-oculus-vive/>

<https://www.lullabot.com/articles/11-tools-for-vr-developers>

<https://www.lullabot.com/articles/webvr-landscape>

<https://facebook.github.io/react-360/docs/what-is.html>

<https://janusvr.com/index.html>

<https://site.vizor.io/>

<https://aframe.io/>

<https://threejs.org/editor/>

<https://www.cryengine.com/>
<https://www.crytek.com/>
<https://www.khronos.org/webgl/>
<https://www.unrealengine.com>
<https://unity3d.com/>
<http://www.unesco.org/new/en/culture/themes/illicit-trafficking-of-cultural-property/unesco-database-of-national-cultural-heritage-laws/frequently-asked-questions/definition-of-the-cultural-heritage/>
<http://www.fhw.gr/fhw/>
http://vr.ime.gr/gr/docs/in_intro.html
<http://www.fhw.gr/cosmos/vr/gr/index.html>
<http://www.tholos254.gr/gr/index.html>
<http://www.fhw.gr/cosmos/index.php?id=15&m=2&s=15&lk=760&lg=>
<https://www.roadtovr.com/3d-modeling-masses-oculus-medium/>
<https://www.oculus.com/medium/>
<https://www.roadtovr.com/google-acquires-tilt-brush-developer-and-thrive-audio-to-add-to-vr-team/>
<https://www.tiltbrush.com/>
<https://nextvr.com/>
<http://livevr.io/>
<https://delight-vr.com/>
<https://www.wearable.com/vr/vr-peripherals-controllers>
tpcastvr.com
<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-virtual-reality/>
<https://www.vr.org/about-us/history-of-vr/>
https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality
[https://en.wikipedia.org/wiki/The_Sword_of_Damocles_\(virtual_reality\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Sword_of_Damocles_(virtual_reality))
<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>
<https://www.slideshare.net/MorganDenno/sneak-peek-designing-tracked-objects-for-steam-vr>
<http://doc-ok.org/?p=1478>
https://store.steampowered.com/app/552440/The_Talos_Principle_VR/
<https://keeptalkinggame.com/>
<https://www.nextvr.com/icc-2017-announcement/>
<https://irisvr.com/prospect>
[https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_\(game_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine))
<https://docs.unity3d.com/>
<http://www.royalchronicles.gr/episkepsi-ston-paniero-nao-tis-anastaseos-ierousalim/>
<http://jerusalem-patriarchate.info>
http://www.freemonks.gr/index.php?page=news_info&lang=1&id=508
<https://www.impantokratoros.gr/909B79F4.el.aspx>
<http://beitemmett.blogspot.com/2009/10/holy-sepulchre-succot-and-hezekiahs.html>
<http://www.sacred-destinations.com/israel/jerusalem-church-of-holy-sepulchre>
https://madainproject.com/church_of_the_holy_sepulchre
<https://www.ntua.gr/el/news/ntua-at-world/item/605-o-panagios-tafos-to-mnimeio-kai-to-ergo-apokatastasis-tou-ieroy-kouvoukliou>

Βιβλία:

Dawn of the new everything – Jaron Lanier

Rethinking VR: Key Concepts and Concerns by Char Davies

In Hybrid Reality: Art, Technology and the Human Factor Hal Thwaites, ed. (9th International Conference on Virtual Systems and Multimedia) Montreal, Canada: International Society on Virtual Systems and Multimedia (2003) pp. 253-262, illus.

Caudell T. P. and Mizell, D. W., “Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes,” in Proceedings IEEE Hawaii International Conference on Systems Sciences, Page(s) :659-669, 1992.

Virtual Reality Technology, 2nd Edition, Grigore C. Burdea, Philippe Coiffet, Jul 2003

Virtual Reality Systems, 1st Edition, R.A. Earnshaw, March 1993

Current and future applications of virtual reality for medicine R.M. Satava, S.B. Jones Dept. of Surg., Yale Univ. Sch. of Med., New Haven, CT, USA