

Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας

Ιόνιο Πανεπιστήμιο



Πτυχιακή Εργασία

*Δημιουργία Ψηφιακού Συστήματος Επιμέλειας Εκθέσεων σε Περιβάλλοντα
Εκτεταμένης Πραγματικότητας*

Σωτήριος Δόβας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Βασίλειος Κομιανός

Κέρκυρα, Φεβρουάριος 2025

Τριμελής επιτροπή

Βασίλειος Κομιανός

Ιωάννης Δεληγιάννης

Δάφνη Δραγώνα

Υπεύθυνη Δήλωση

Δηλώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Ακόμα δηλώνω ότι αυτή η γραπτή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ειδικά ως πτυχιακή εργασία για το προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος Τεχνών Ήχου και Εικόνας του Ιονίου Πανεπιστημίου και ότι θα αναλάβω πλήρως τις συνέπειες εάν η εργασία αυτή αποδειχθεί ότι δεν μου ανήκει.

Δικαιώματα - Παραχωρήσεις

- 1) Δηλώνω ότι το Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας δύναται να χρησιμοποιήσει το αποτέλεσμα της ΠΕ για διδακτικούς, ερευνητικούς, εκπαιδευτικούς σκοπούς, καθώς και για σκοπούς επικοινωνιακής πολιτικής και προώθησης του Τμήματος Τεχνών Εικόνας και Ήχου, για σκοπούς επικαιρότητας και ενημέρωσης και γενικότερα για σκοπούς που δεν έχουν κερδοσκοπικό χαρακτήρα.
- 2) Δηλώνω ότι επί αυτής δεν υφίσταται κανένα δικαίωμα ή απαίτηση οποιουδήποτε τρίτου (πέρα από τους αναφερόμενους στη παράγραφο 1 του κανονισμού ΠΕ του Τμήματος Τεχνών Ήχου και Εικόνας – Έκδοση 3.2 11/02/2016) και ότι ρητά έχω αναφέρει χωρίς καμία παρέκκλιση το όνομα και την προέλευση των πηγών που χρησιμοποιώ κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της ΠΕ.
- 3) Δηλώνω ότι στο κείμενο της ΠΕ συναινώ στην πρόσβαση της επί μέρους δημιουργικής συμβολής του στην ΠΕ με οποιαδήποτε μορφή (ενδεικτικά αναλογική, ψηφιακή) στη Βιβλιοθήκη του Τμήματος Τεχνών Εικόνας και Ήχου και στη Βιβλιοθήκη του Ιονίου Πανεπιστημίου για ερευνητικούς, διδακτικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς.
- 4) Δηλώνω ότι δύναμαι να παρουσιάσω το αποτέλεσμα της ΠΕ σε ημερίδες, περιοδικά, συνέδρια, εκθέσεις, φεστιβάλ, κλπ., αλλά και πως θα δηλώσω ρητά ότι η ΠΕ εκπονήθηκε στο Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας και να αναφέρω τον Επιβλέποντα της ΠΕ, καθώς επίσης και τον όποιο Σύμβουλο συμμετείχε στην εκπόνησή της.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Βασίλειο Κομιανό, για την πολύτιμη καθοδήγηση, τη διαρκή διαθεσιμότητα και την αμέριστη υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου. Παρά τις χρονικές καθυστερήσεις, υπήρξε πάντοτε πρόθυμος να προσφέρει τη βοήθειά του, γεγονός που συνέβαλε καθοριστικά στην ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης. Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος Τεχνών Ήχου και Εικόνας για τις γνώσεις και την καθοδήγηση που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη διαμόρφωση των ακαδημαϊκών και δημιουργικών μου δεξιοτήτων. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένειά μου και τους φίλους μου, των οποίων η στήριξη, η ενθάρρυνση και η κατανόηση υπήρξαν ανεκτίμητα σε κάθε στάδιο αυτής της διαδρομής. Χωρίς τη δική τους παρουσία και συμπαράσταση, η προσπάθεια αυτή δεν θα είχε ευοδωθεί.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	3
Συνοπτική περίληψη.....	5
Abstract.....	5
Εισαγωγή.....	6
1. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	10
1.1 Εκτεταμένη Πραγματικότητα (XR).....	10
1.1.1 Φυσικός Κόσμος.....	11
1.1.2 Εικονική Πραγματικότητα (VR).....	11
1.1.3 Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR).....	12
1.1.4 Επαυξημένη Εικονικότητα (AV).....	14
1.1.5 Μεικτή Πραγματικότητα (MR).....	16
1.2 Επιμέλεια Μουσείων/Εκθέσεων.....	17
1.2.1 Ο Ρόλος του Επιμελητή σε Μουσεία/Εκθέσεις.....	18
1.2.2 Ο Σύγχρονος Επιμελητής - Η Σχέση Επιμελητή και Καλλιτέχνη.....	19
1.2.3 Επιμέλεια Εκθέσεων σε Ψηφιακά Περιβάλλοντα.....	21
1.2.4 Εφαρμογές τεχνολογιών XR στην Επιμέλεια Εκθέσεων.....	23
1.2.4.1 Artsteps.....	27
1.2.4.2 Mozilla Hubs.....	28
1.2.4.3 Spatial.....	31
1.2.4.4 Kunstmatrix.....	32
1.2.4.5 FrameVR.....	34
1.2.5 Πλεονεκτήματα επιλογής της A-Frame.....	36
1.3 Γενικές Απαιτήσεις Συστημάτων Επιμέλειας Εκθέσεων.....	39
1.3.1 Λειτουργικές Απαιτήσεις.....	39
1.3.2 Μη-Λειτουργικές Απαιτήσεις.....	41
1.3.3 Απαιτήσεις Συμβατότητας.....	42
2. Δημιουργία Συστήματος Επιμέλειας Εκθέσεων Με την Χρήση της A-frame.....	43
2.1 Σχεδιασμός Λειτουργιών στο Παρόν Σύστημα.....	43
2.2 Τεχνολογίες και Βιβλιοθήκες.....	45
2.2.1 A-frame.....	45
2.2.2 Gui-Aframe.....	46
2.2.3 XAMPP και MySQL.....	47
2.2.4 GitHub Desktop.....	48
2.3 Αρχιτεκτονική του Συστήματος.....	48
2.4 Σχεδιασμός Διεπαφή και Εμπειρία Χρήστη (UI & UX).....	51
2.4.1 Σχεδίαση Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη (UI).....	51
2.4.2 Εμπειρία Χρήστη (UX).....	52
2.5 Από τον Σχεδιασμό στην Υλοποίηση.....	53
2.6 Ρύθμιση του Περιβάλλοντος Ανάπτυξης.....	53

2.7 Περιήγηση και Διάδραση Χρήστη.....	54
2.8 Επιλογή Φυσικού Χώρου και η Μετάβαση στο Ψηφιακό.....	57
2.9 Θέσεις Ενδιαφέροντος για την Επιλογή Εκθεμάτων.....	58
2.10 Δοκιμές Διεπαφών Χρήστη για το Μενού και η Τελική Μορφή του.....	61
2.11 Ορατότητα και Απόκρυψη Αντικειμένων σε Επαυξημένη Πραγματικότητα.....	66
2.12 Δομή της Βάσης Δεδομένων.....	69
2.12.1 Πίνακας Χρηστών (users).....	69
2.12.2 Πίνακας Εκθεμάτων και Βάσεων (apps_collab_exh).....	69
2.12.3 Διασύνδεση με το Σύστημα.....	70
2.13 Τοποθέτηση Εκθεμάτων και Φωτισμού.....	70
2.14 Αποθήκευση Περιεχομένου.....	73
2.14.1 Αποθήκευση Βάσης Στήριξης και Εκθεμάτων.....	74
2.14.2 Αντιστοίχιση και Ανάκτηση Πληροφοριών.....	74
2.15 Σύνδεση με Δικαιώματα Επιμελητή - Login Page.....	76
2.16 Αναγνώριση συσκευών.....	78
3. Συμπεράσματα.....	79
3.1. Γενικά ευρήματα.....	79
3.2 Αξιολόγηση λειτουργικότητας και εμπειρίας χρήστη.....	79
3.3 Προοπτικές και μελλοντικές βελτιώσεις.....	80
3.4 Επιπρόσθετες πληροφορίες.....	81
Βιβλιογραφία.....	82
Παράρτημα.....	85

Συνοπτική περίληψη

Η παρούσα εργασία τοποθετείται στο πλαίσιο της σύγχρονης ψηφιακής εποχής, όπου οι τεχνολογίες αιχμής συναντούν την τέχνη και την επιμέλεια εκθέσεων, δημιουργώντας καινοτόμες δυνατότητες για τους επιμελητές και τους θεατές. Η σύνθεση εργαλείων, όπως είναι οι διαδραστικές εφαρμογές μαζί με τις τεχνολογίες XR, παρέχει νέα μέσα έκφρασης και παρουσίασης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Ο σκοπός της εργασίας είναι να αναδείξει πώς ο συνδυασμός αυτών των τεχνολογιών μπορεί να υποστηρίξει την ανάπτυξη ευέλικτων και δυναμικών εκθέσεων, που προσφέρουν μια πιο άμεση, εμπλουτισμένη και προσωπική εμπειρία στους χρήστες, μεταμορφώνοντας και επεκτείνοντας τον τρόπο που αλληλεπιδρούν με τα εκθέματα.

Επιπροσθέτως, η εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη μιας διαδραστικής εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας για την παρουσίαση εκθεμάτων σε εικονικές εκθέσεις σε μεικτά περιβάλλοντα. Ο βασικός στόχος είναι η δημιουργία ενός δυναμικού περιβάλλοντος όπου οι επιμελητές μπορούν να επιλέξουν και να τοποθετήσουν εκθέματα σε προκαθορισμένες θέσεις, ενώ οι επισκέπτες έχουν τη δυνατότητα να περιηγηθούν και να αλληλεπιδράσουν με το περιεχόμενο με έναν άμεσο και κατανοητό τρόπο.

Abstract

This paper is situated in the context of the modern digital age, where cutting-edge technologies meet art and exhibition curation, creating innovative possibilities for curators and viewers. The synthesis of tools, such as interactive applications and XR technologies, provides new means of expression and presentation of cultural heritage. The purpose of the paper is to highlight how the combination of these technologies can support the development of flexible and dynamic exhibitions, which offer a more direct, enriched and personal experience to users, transforming the way they interact with exhibits.

In addition, the paper deals with the development of an interactive virtual reality application for the presentation of exhibits in virtual exhibitions in mixed environments. The main goal is to create a dynamic environment where curators can select and place exhibits in predetermined positions, while visitors are able to browse and interact with the content in a direct and understandable way.

Εισαγωγή

Η σύγχρονη τεχνολογία έχει φέρει ριζικές αλλαγές στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε και βιώνουμε την τέχνη. Οι ψηφιακές και διαδραστικές εφαρμογές παρέχουν νέους τρόπους αναπαράστασης και παρουσίασης καλλιτεχνικών έργων, επιτρέποντας τη δημιουργία εκθέσεων που ξεπερνούν τους παραδοσιακούς περιορισμούς του φυσικού χώρου. Στο πλαίσιο αυτό, οι καλλιτεχνικές εγκαταστάσεις και οι εκθέσεις αναπροσαρμόζονται και εξελίσσονται με τη χρήση τεχνολογιών όπως η Εικονική (VR) και η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και οι διαδραστικές πολυμεσικές εφαρμογές, προσφέροντας νέες εμπειρίες στους χρήστες.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στη δημιουργία μιας πλατφόρμας επιμέλειας διαδραστικών εκθέσεων μέσω της βιβλιοθήκης A-Frame¹, η οποία συνδυάζει ψηφιακές τεχνολογίες και καινοτόμες μεθόδους παρουσίασης για να προσφέρει έναν ολοκληρωμένο και εύχρηστο τρόπο διαχείρισης και παρουσίασης έργων τέχνης. Εξετάζεται πώς οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να συνδυαστούν με την παραδοσιακή επιμέλεια, ώστε να προσφέρουν μία πιο ζωντανή και αλληλεπιδραστική εμπειρία, αλλά και να διασφαλίσουν την προσβασιμότητα και εξατομίκευση της εμπειρίας για διαφορετικά κοινά.

Η ανάπτυξη της πλατφόρμας πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες επιμελητών και επισκεπτών, ενώ παράλληλα δίνεται έμφαση στην ενσωμάτωση των τεχνολογικών δυνατοτήτων με τρόπο που να εξυπηρετεί τόσο την παρουσίαση των έργων όσο και την ενίσχυση της εμπειρίας του θεατή. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει τη δυναμική προσαρμογή των εκθεσιακών χώρων, την αποθήκευση και διαχείριση του περιεχομένου και τη δυνατότητα παροχής εξατομικευμένων πληροφοριών και εμπειριών σε πραγματικό χρόνο.

Στόχος της εργασίας είναι να καταδείξει τη σημασία του συνδυασμού τεχνολογιών με την τέχνη και την επιμέλεια, προτείνοντας μια λύση που ενισχύει την επικοινωνία μεταξύ καλλιτέχνη, επιμελητή και θεατή, ενώ παράλληλα αναδεικνύει νέες μορφές αλληλεπίδρασης και συμμετοχικότητας μέσα στον εκθεσιακό χώρο.

Η διπλωματική αυτή εργασία είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς παρουσιάζει πως μέσα από τη χρήση τεχνολογιών Εκτεταμένης Πραγματικότητας (XR), δίνεται η δυνατότητα για τη

¹ <https://aframe.io/>

δημιουργία εικονικών εκθέσεων που όχι μόνο διατηρούν την καλλιτεχνική ποιότητα, αλλά και προσφέρουν πρακτικά οφέλη για τους επιμελητές, τους καλλιτέχνες και τα πολιτιστικά ιδρύματα.

Η ανέπαφη τοποθέτηση και παρουσίαση έργων τέχνης, όπως σπάνια βιβλία, χειρόγραφα ή ευαίσθητα αντικείμενα, αποτελεί ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα. Η χρήση ψηφιακών μέσων διασφαλίζει την προστασία των έργων από φθορές ή ζημιές κατά τη φάση της προετοιμασίας, επιτρέποντας στους επιμελητές να πειραματιστούν με την οργάνωση και τη διάταξη πριν τη δημιουργία της φυσικής έκθεσης. Αυτή η διαδικασία εξοικονομεί πολύτιμο χρόνο και μειώνει το κόστος που συνδέεται με τις επαναλαμβανόμενες προσαρμογές και μετακινήσεις.

Επιπλέον, το ψηφιακό περιβάλλον επιλύει σημαντικά ζητήματα που σχετίζονται με την απόσταση και τη διαθεσιμότητα των έργων τέχνης. Σε περιπτώσεις όπου τα έργα βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες ή όπου δεν υπάρχει επαρκής χωρητικότητα αποθήκευσης, η δυνατότητα εικονικής προβολής τους διευκολύνει την εκ των προτέρων οργάνωση του περιεχομένου, επιτρέποντας στους επιμελητές να εργαστούν πάνω στη συνολική παρουσίαση της έκθεσης χωρίς φυσικούς περιορισμούς.

Τέλος, οι οικονομικοί και λειτουργικοί πόροι που δαπανώνται για τη μεταφορά, τη φύλαξη και την προσαρμογή των έργων μειώνονται αισθητά, καθιστώντας την εικονική επιμέλεια μια βιώσιμη και προσιτή λύση. Με αυτόν τον τρόπο, η εργασία αυτή συμβάλλει καθοριστικά στη μετατροπή της τέχνης και του πολιτισμού σε ένα πεδίο πιο προσβάσιμο, λειτουργικό και φιλικό προς το περιβάλλον.

Οι παραπάνω δυσκολίες του καλλιτεχνικού αυτού κλάδου καλούνται να μειωθούν αν όχι να εξαλειφθούν ολοσχερώς, μπαίνοντας πια σε έναν νέο κόσμο αιχμής της τεχνολογίας που προσφέρει λύσεις στις ανάγκες των καλλιτεχνών και των λάτρων της τέχνης.

Αναφορικά με την δομή της εργασίας, χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη. Στο πρώτο μέρος, παρουσιάζονται και επεξηγούνται ορισμοί, έννοιες και τα θεωρητικά στοιχεία που χρειάστηκαν για την εκπόνηση της εργασίας, ενώ στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται τα τεχνολογικά στοιχεία που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση του έργου, περιγράφεται η διαδικασία της υλοποίησης και αναλύονται τα τελικά αποτελέσματα.

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, ακολουθήθηκε μια ολοκληρωμένη μεθοδολογική προσέγγιση, που συνδύασε θεωρητική έρευνα και πρακτική εφαρμογή. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση με στόχο την κατανόηση και τεκμηρίωση των βασικών εννοιών και των σύγχρονων τάσεων στο πεδίο της επιμέλειας εκθέσεων και των τεχνολογιών Εκτεταμένης Πραγματικότητας (XR). Η έρευνα περιλαμβάνει ελληνόγλωσσες και ξενόγλωσσες πηγές, τόσο πρωτογενείς όσο και δευτερογενείς, που καλύπτουν το φάσμα των θεωρητικών, τεχνολογικών, και εφαρμοσμένων πτυχών του θέματος.

Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε ένα ψηφιακό σύστημα επιμέλειας μουσείων στα Μικτά Περιβάλλοντα, με τη χρήση της βιβλιοθήκης **A-Frame** για τη δημιουργία τρισδιάστατων εικονικών χώρων. Το σύστημα σχεδιάστηκε ώστε να επιτρέπει στους επιμελητές να δημιουργούν, να οργανώνουν και να προσαρμόζουν εικονικές εκθέσεις, ενώ οι επισκέπτες είχαν τη δυνατότητα περιήγησης και αλληλεπίδρασης με τα εκθέματα σε πραγματικό χρόνο. Για την υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν τεχνολογίες όπως **JavaScript** για τη δημιουργία προσαρμοσμένων στοιχείων της A-frame , **MySQL** για τη διαχείριση δεδομένων, και κάποια εργαλεία ανάπτυξης όπως **XAMPP** και **GitHub Desktop**.

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. **Ανάλυση Απαιτήσεων και Σχεδιασμός Συστήματος:** Εξετάστηκαν οι γενικές απαιτήσεις επιμέλειας εκθέσεων σε ψηφιακά περιβάλλοντα, ώστε να διαμορφωθεί ένα πλαίσιο σχεδίασης που να καλύπτει τόσο λειτουργικές όσο και μη λειτουργικές ανάγκες. Ο σχεδιασμός περιλάμβανε τη δομή του συστήματος, τη διάταξη των εκθεμάτων, και την εμπειρία χρήστη (UI/UX).
2. **Ανάπτυξη και Υλοποίηση:** Δημιουργήθηκε το ψηφιακό σύστημα, το οποίο ενσωματώνει δυνατότητες όπως η τοποθέτηση εκθεμάτων, η διαμόρφωση φωτισμού, και η προσθήκη πληροφοριών για τα έργα. Η πλατφόρμα επιτρέπει τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ επιμελητών και επισκεπτών, ενισχύοντας την εκπαιδευτική και πολιτιστική διάσταση της εμπειρίας.
3. **Δοκιμές και Αξιολόγηση:** Το σύστημα δοκιμάστηκε σε πραγματικό τόπο και χρόνο, με τη συμμετοχή ομάδας χρηστών. Οι συμμετέχοντες περιηγήθηκαν στον εικονικό χώρο, αλληλεπίδρασαν με τα εκθέματα, και κατέγραψαν τις εντυπώσεις τους μέσω ερωτηματολογίων. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών εντοπίστηκαν λειτουργικά προβλήματα και παραλείψεις, τα οποία αναλύθηκαν διεξοδικά.

- 4. Βελτιστοποίηση και Ανατροφοδότηση:** Βάσει των προτάσεων που προέκυψαν από δοκιμές κατά την διάρκεια της ανάπτυξης, έγιναν διορθώσεις και βελτιώσεις στη λειτουργικότητα του συστήματος. Ειδική έμφαση δόθηκε στην ευχρηστία, την εμπειρία χρήστη, και τη συνολική αισθητική και λειτουργική ολοκλήρωση της πλατφόρμας.

Η μεθοδολογική αυτή προσέγγιση επιτρέπει την τεκμηριωμένη παρουσίαση της διαδικασίας ανάπτυξης και αξιολόγησης του συστήματος, αναδεικνύοντας τη συμβολή των τεχνολογιών XR στη βελτίωση της επιμέλειας εκθέσεων και της εμπειρίας του επισκέπτη.

1. Θεωρητικό Υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι θεμελιώδεις πτυχές της επιμέλειας εκθέσεων στο πλαίσιο της σύγχρονης ψηφιακής τεχνολογίας, με έμφαση στη σύνδεση του φυσικού και ψηφιακού κόσμου μέσω τεχνολογιών XR (Επαυξημένης και Εικονικής Πραγματικότητας). Η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων επιτρέπει στους επιμελητές να δημιουργούν και να διαχειρίζονται εκθέσεις που συνδυάζουν την καλλιτεχνική δημιουργία με την τεχνολογία, προσφέροντας νέες δυνατότητες αλληλεπίδρασης για τους επισκέπτες. Στην πορεία, αναλύονται οι απαιτήσεις που αφορούν τη λειτουργία αυτών των συστημάτων, τόσο σε επίπεδο περιεχομένου όσο και σε επίπεδο τεχνολογικών προδιαγραφών, καθώς και οι ανάγκες που προκύπτουν από τη συνεργασία των επιμελητών με τους χρήστες. Μέσω της κατηγοριοποίησης των απαιτήσεων σε λειτουργικές, μη-λειτουργικές και απαιτήσεις συμβατότητας, διασφαλίζεται η αποτελεσματικότητα και η βιωσιμότητα των ψηφιακών συστημάτων που υποστηρίζουν τη σύγχρονη επιμέλεια εκθέσεων.

1.1 Εκτεταμένη Πραγματικότητα (XR)

Η Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality - XR) αποτελεί έναν ευρύ όρο που περιλαμβάνει όλες τις τεχνολογίες που συνδυάζουν τον φυσικό κόσμο με τον ψηφιακό, δημιουργώντας καθηλωτικές εμπειρίες για τους χρήστες². Ο φυσικός κόσμος, ο οποίος αποτελεί τη βάση για όλες τις μορφές XR, αναφέρεται στο πραγματικό, υλικό περιβάλλον στο οποίο ζούμε και αλληλεπιδρούμε³. Στον φυσικό κόσμο, τα αντικείμενα και οι χώροι είναι τρισδιάστατοι και αντιλαμβάνονται μέσω των αισθήσεών μας. Οι τεχνολογίες XR επιδιώκουν να αναπαράγουν και να επαυξήσουν αυτόν τον κόσμο, δημιουργώντας έναν συνδυασμό ψηφιακών και πραγματικών στοιχείων που επιτρέπουν νέες μορφές αλληλεπίδρασης⁴.

² Η XR συνδυάζει τρεις βασικές τεχνολογίες: Εικονική Πραγματικότητα (VR), Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) και Μεικτή Πραγματικότητα (MR), αποτελώντας ένα φάσμα τεχνολογιών που επιτρέπουν διαφορετικά επίπεδα αλληλεπίδρασης μεταξύ ψηφιακού και πραγματικού κόσμου.

³ Σύμφωνα με τον Guttentag (2010), ο φυσικός κόσμος διαφοροποιείται από τον εικονικό κόσμο μέσω της απτής φύσης του και της άμεσης εμπειρίας που προσφέρει μέσω των αισθήσεων.

⁴ Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την ανάπτυξη περιβαλλόντων που είναι ταυτόχρονα καθηλωτικά και αλληλεπιδραστικά, συμβάλλοντας σε ποικίλα πεδία όπως η ψυχαγωγία, η εκπαίδευση και η αρχιτεκτονική.

1.1.1 Φυσικός Κόσμος

Ο φυσικός κόσμος αναφέρεται στο περιβάλλον και την πραγματικότητα που αντιλαμβανόμαστε μέσω των αισθήσεών μας χωρίς την παρέμβαση ψηφιακών ή εικονικών στοιχείων. Αποτελεί την αντικειμενική πραγματικότητα που περιλαμβάνει όλους τους ζωντανούς οργανισμούς, τα φυσικά φαινόμενα, και τα απτά αντικείμενα που υπάρχουν ανεξάρτητα από την ανθρώπινη αντίληψη⁵.

Στο πλαίσιο της τεχνολογίας, ο φυσικός κόσμος συχνά αντιπαράβάλλεται με τα εικονικά περιβάλλοντα, τα οποία δημιουργούνται με τη χρήση υπολογιστών και συστημάτων γραφικών για να προσομοιάσουν ή να ενισχύσουν την πραγματικότητα. Ο φυσικός κόσμος είναι η βάση στην οποία στηρίζονται οι διάφορες τεχνολογίες όπως η Εικονική Πραγματικότητα (VR), η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR), η Επαυξημένη Εικονικότητα (AV), και η Μεικτή Πραγματικότητα (MR), καθώς αυτές οι τεχνολογίες επιδιώκουν είτε να αναπαραστήσουν πιστά είτε να εμπλουτίσουν την πραγματική εμπειρία των χρηστών με πρόσθετες ψηφιακές πληροφορίες ή εντελώς νέες ψηφιακές εμπειρίες.

Συνεπώς, ο φυσικός κόσμος λειτουργεί ως το σημείο αναφοράς για όλες τις εφαρμογές που αναπτύσσονται στα πεδία της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, προσφέροντας το πλαίσιο μέσα στο οποίο συντελούνται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χρηστών και των τεχνολογιών αυτών.

1.1.2 Εικονική Πραγματικότητα (VR)

Η Εικονική Πραγματικότητα (VR) αναφέρεται σε πλήρως ψηφιακά περιβάλλοντα που δημιουργούνται από υπολογιστές, προσφέροντας στους χρήστες μια καθηλωτική εμπειρία μέσω ειδικών συσκευών, όπως οι συσκευές VR (π.χ., Oculus Rift, HTC Vive)⁶. Αρχικά, το 1995, το «Glossary of Virtual Reality Terminology»⁷ περιέγραψε την Εικονική Πραγματικότητα ως ένα σύστημα υπολογιστή που δημιουργεί έναν τεχνητό κόσμο, στον

⁵ Sharmistha Mandal, «Brief Introduction of Virtual Reality & its Challenges», *International Journal of Scientific & Engineering Research* 4, αρ. 4 (Απρίλιος 2013): 304–309, <http://hdl.handle.net/11419/2546>.

⁶ Η VR παρέχει προσομοιώσεις πραγματικού χρόνου που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση των χρηστών με το ψηφιακό περιβάλλον μέσω αισθητηριακής εμπειρίας.

⁷ C. Manetta και R. A. Blade, «Glossary of Virtual Reality Terminology», στο *International Journal of Virtual Reality* 1, αρ. 2 (1995): 35–39, <https://doi.org/10.20870/IJVR.1995.1.2.2604>.

οποίο ο χρήστης έχει την εντύπωση ότι βρίσκεται, με τη δυνατότητα να περιηγείται και να χειρίζεται αντικείμενα σε αυτόν.

Αργότερα, μια αναδιατύπωση του ορισμού δημιουργήθηκε, αναφέροντας ότι η VR είναι η χρήση ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος που δημιουργείται από υπολογιστή, το οποίο ονομάζεται «εικονικό περιβάλλον», και στο οποίο μπορεί κανείς να πλοηγηθεί και να αλληλεπιδράσει, προσφέροντας προσομοίωση σε πραγματικό χρόνο μιας ή περισσότερων αισθήσεων του χρήστη⁸. Η πλοήγηση αναφέρεται στην ικανότητα κίνησης και εξερεύνησης του εικονικού περιβάλλοντος, ενώ η αλληλεπίδραση αφορά την επιλογή και μετακίνηση αντικειμένων εντός αυτού.

Η τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας συνεχίζει να εξελίσσεται, και ο Mandal περιέγραψε την VR ως μια εμπυθιστική και πολυαισθητηριακή πραγματικότητα, επικεντρωμένη στον θεατή⁹. Στην VR, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα διάδρασης με το τρισδιάστατα παραγόμενο περιβάλλον μέσω υπολογιστικών λογισμικών, σε συνδυασμό με τεχνολογίες αλληλεπίδρασης χρήστη-μηχανής. Αυτό επιτρέπει την παρατήρηση των εικονικών περιβαλλόντων σε πραγματικό χρόνο, συνήθως με τρεις ή περισσότερους βαθμούς ελευθερίας.

Οι δυνατότητες της VR την καθιστούν ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν υψηλό επίπεδο αλληλεπίδρασης και εμπύθισης, όπως εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, σχεδιασμός χώρων, και ψυχαγωγία. Η VR δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να βιώσουν περιβάλλοντα και καταστάσεις που δεν θα μπορούσαν να βιώσουν στο φυσικό κόσμο, ανοίγοντας νέες προοπτικές για τη δημιουργικότητα και την εκπαίδευση.

1.1.3 Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR)

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) είναι μια τεχνολογία που συνδυάζει τον πραγματικό κόσμο με ψηφιακά στοιχεία, προσθέτοντας εικονικές πληροφορίες και αντικείμενα στο περιβάλλον του χρήστη¹⁰. Η λέξη "επαύξηση" προέρχεται από τον Webster,

⁸ Daniel A. Guttentag, «Virtual Reality: Applications and Implications for Tourism», στο *Tourism Management* 31, αρ. 5 (24 Αυγούστου 2009): 637–51, <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.07.003>.

⁹ Mandal, «Brief Introduction of Virtual Reality & its Challenges», 304.

¹⁰ Η AR εμπλουτίζει το πραγματικό περιβάλλον με πρόσθετα ψηφιακά δεδομένα, επιτρέποντας στον χρήστη να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον μέσω διαδραστικών εφαρμογών και συσκευών.

όπου ορίζεται ως "να γίνει μεγαλύτερο, να διευρυνθεί σε μέγεθος ή έκταση, να αυξηθεί"¹¹. Αυτή η θεμελιώδης αρχή βρίσκεται στον πυρήνα των διαφόρων ορισμών της AR, η οποία συνδυάζει τον πραγματικό κόσμο με ψηφιακά στοιχεία για να ενισχύσει την ανθρώπινη αντίληψη και αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.

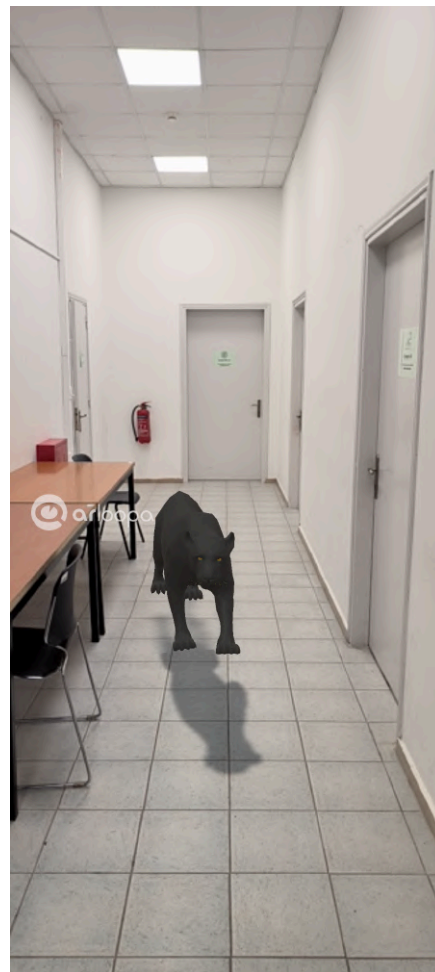
Στην AR, οι χρήστες αλληλεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο μέσω συσκευών όπως ειδικά σχεδιασμένα γυαλιά, κινητά τηλέφωνα ή tablets, μέσω των οποίων ένας υπολογιστής εμφανίζει δεδομένα στον θεατή. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στον χρήστη να βλέπει ταυτόχρονα τον πραγματικό κόσμο και τις παραγόμενες εικονικές σκηνές, ενσωματώνοντας τα ψηφιακά στοιχεία με φυσικό και αδιάλειπτο τρόπο. Σύμφωνα με το «Glossary of Virtual Reality Terminology» η AR προσφέρει τη δυνατότητα στον χρήστη να βλέπει και να αλληλεπιδρά με το εμπλουτισμένο περιβάλλον, δημιουργώντας έναν ενιαίο χώρο όπου το ψηφιακό και το πραγματικό συνυπάρχουν.

Ο Ronald Azuma¹², ανέδειξε τη διαφοροποίηση της AR από την Εικονική Πραγματικότητα (VR), επισημαίνοντας ότι, σε αντίθεση με την VR όπου ο χρήστης βρίσκεται εξ ολοκλήρου μέσα σε έναν εικονικό κόσμο, η AR συμπληρώνει τον πραγματικό κόσμο, δημιουργώντας και ενσωματώνοντας σε πραγματικό χρόνο τρισδιάστατα γραφικά πάνω στο φυσικό κόσμο. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την ταυτόχρονη παρατήρηση και αλληλεπίδραση με το φυσικό περιβάλλον, εμπλουτισμένο με ψηφιακά αντικείμενα και πληροφορίες που προσδίδουν πρόσθετη αξία στην ανθρώπινη εμπειρία.

Η AR εφαρμόζεται σε ποικίλα πεδία, από την εκπαίδευση και την τέχνη μέχρι την ιατρική και τις στρατιωτικές υπηρεσίες, προσφέροντας νέους τρόπους για την παρατήρηση, την αντίληψη και την κατανόηση του περιβάλλοντος. Μέσω της AR, οι χρήστες μπορούν να βιώσουν τον φυσικό κόσμο με επιπλέον επίπεδα πληροφορίας που εμπλουτίζουν την αντίληψή τους, δημιουργώντας έτσι μοναδικές εμπειρίες που συνδυάζουν το πραγματικό με το ψηφιακό σε έναν ενιαίο και αδιάσπαστο χώρο.

¹¹ William R. Sherman και Alan B. Craig, *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*, The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics (San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2003), 1-58.

¹² Ronald T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality", δημοσιεύθηκε στο περιοδικό *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, τόμος 6, τεύχος 4, το 1997, σελίδες 355-385.



Εικόνα 1α, 1β. Παραδείγματα AR εφαρμογής ArLoopa

1.1.4 Επαυξημένη Εικονικότητα (AV)

Η Επαυξημένη Εικονικότητα (Augmented Virtuality - AV) αναφέρεται σε ένα μείγμα του πραγματικού και του εικονικού κόσμου. Ενώ η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality - AR) εμπλουτίζει τον φυσικό κόσμο με εικονικά στοιχεία, η Επαυξημένη Εικονικότητα ακολουθεί την αντίθετη προσέγγιση, ενσωματώνοντας πραγματικά αντικείμενα και περιβάλλοντα σε έναν εικονικό χώρο¹³.

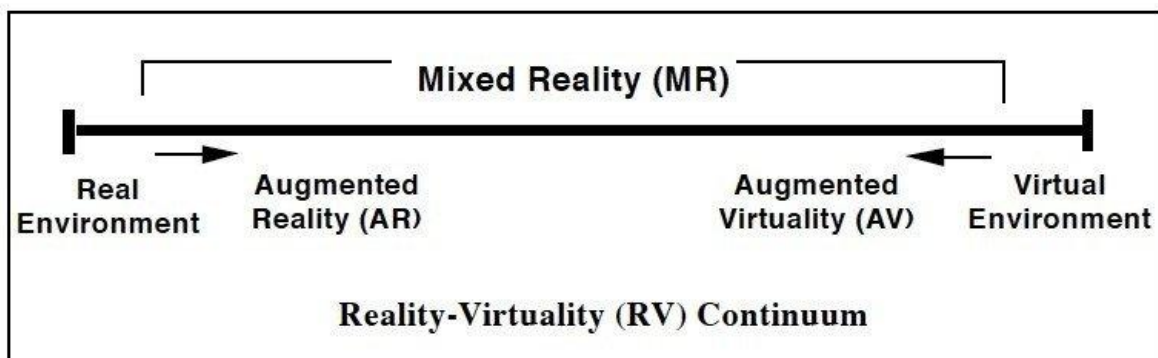
Η AV τοποθετείται στο μέσο του "Φάσματος Μεικτής Πραγματικότητας" (Mixed Reality Spectrum)¹⁴, το οποίο καλύπτει όλες τις ενδιάμεσες καταστάσεις μεταξύ της πλήρους

¹³Milgram, Paul, και Fumio Kishino. «A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays». *IEICE Transactions on Information Systems* E77-D, αρ. 12 (1994): 1321–1329.

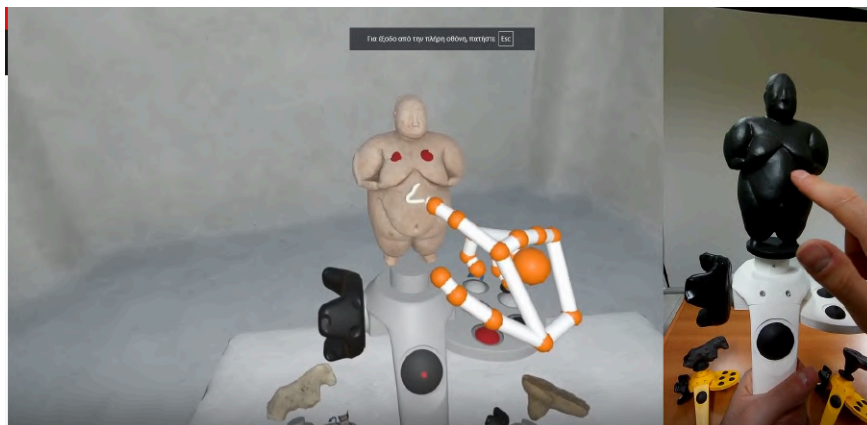
¹⁴ Ο Milgram και ο Kishino (1994) εισήγαγαν το φάσμα της Μεικτής Πραγματικότητας (MR), στο οποίο η AV κατατάσσεται ως μορφή εικονικότητας που ενσωματώνει πραγματικά στοιχεία στον εικονικό χώρο.

πραγματικότητας και της πλήρους εικονικότητας. Σε ένα περιβάλλον Επαυξημένης Εικονικότητας, φυσικά αντικείμενα ή άτομα σαρώνονται και ενσωματώνονται σε έναν εικονικό κόσμο, επιτρέποντας την αλληλεπίδραση του χρήστη με ένα περιβάλλον που συνδυάζει στοιχεία από και τα δύο πεδία.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται το συνεχές της Πραγματικότητας - Εικονικότητας, όπως ανέπτυξαν ο Milgram και ο Kishino αλλά και ένα παράδειγμα χρήσης της AV.



Εικόνα 2. Συνεχές Πραγματικότητας - Εικονικότητας



Εικόνα 3. Augmented Virtuality using Touch-Sensitive 3D-Printed Objects

Συμπερασματικά, η AV αξιοποιείται σε ποικίλους τομείς, όπως η εκπαίδευση, η αρχιτεκτονική, και η ψυχαγωγία, προσφέροντας εμπειρίες που συνδυάζουν την άμεση φυσική επαφή με την προσομοίωση και την αλληλεπίδραση μέσα σε έναν εικονικό κόσμο.

1.1.5 Μεικτή Πραγματικότητα (MR)

Η Μεικτή Πραγματικότητα (MR) είναι ένα τμήμα της XR, όπου ο φυσικός και ο ψηφιακός κόσμος συνδυάζονται σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με ψηφιακά αντικείμενα που αντιδρούν και αλληλεπιδρούν με τον πραγματικό κόσμο. Σε αντίθεση με την AR, όπου τα ψηφιακά στοιχεία εμφανίζονται απλώς πάνω από τον πραγματικό κόσμο, στη MR τα ψηφιακά αντικείμενα μπορούν να ενσωματωθούν δυναμικά στο περιβάλλον και να συμπεριφέρονται με τρόπους που μοιάζουν με τα πραγματικά αντικείμενα¹⁵. Η MR επιτρέπει μια πιο βαθιά αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο κόσμων, όπου τα εικονικά στοιχεία μπορούν να επηρεάζουν και να επηρεάζονται από τον πραγματικό χώρο και τα πραγματικά αντικείμενα¹⁶. Συμπληρωματικά, η MR χρησιμοποιείται σε τομείς όπως η εκπαίδευση, η ιατρική και η βιομηχανία για την ανάπτυξη προηγμένων προσομοιώσεων και εργαλείων εργασίας.

Η μεικτή πραγματικότητα μας απελευθερώνει από τις εμπειρίες που περιορίζονται στις οθόνες, προσφέροντας ενστικτώδεις αλληλεπιδράσεις με δεδομένα στον χώρο μας και με τους φίλους μας. Χρήστες από εκατοντάδες εκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο έχουν ζήσει την εμπειρία της μεικτής πραγματικότητας μέσω των κινητών τους συσκευών. Η AR στα κινητά μας τηλέφωνα, προσφέρει σήμερα τις πιο διαδεδομένες λύσεις μεικτής πραγματικότητας στα κοινωνικά δίκτυα. Οι χρήστες ενδέχεται να μην αντιλαμβάνονται καν ότι τα φίλτρα AR που χρησιμοποιούν στο Instagram είναι εμπειρίες μεικτής πραγματικότητας. Η Windows Mixed Reality ανεβάζει τις εμπειρίες αυτές σε ένα νέο επίπεδο, προσφέροντας εντυπωσιακές ολογραφικές αναπαραστάσεις ανθρώπων, 3D ολογραφικά μοντέλα υψηλής πιστότητας και τον πραγματικό κόσμο γύρω τους¹⁷.

¹⁵ Mandal, «Brief Introduction of Virtual Reality & its Challenges», 304.

¹⁶ Η MR επιτρέπει στους χρήστες να δρουν και να αλληλεπιδρούν σε ένα ενιαίο περιβάλλον όπου ο φυσικός και ο ψηφιακός κόσμος συνυπάρχουν με δυναμικό τρόπο, επιτρέποντας την ανάπτυξη εκπαιδευτικών προσομοιώσεων, εφαρμογών αρχιτεκτονικής και άλλων καινοτομιών.

¹⁷ Microsoft, "What is mixed reality?" Microsoft Learn, 25 Ιανουαρίου 2023, <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>.



Εικόνα 4. Αλληλεπίδραση χρήστη και αντικειμένου μέσω της εφαρμογής XrCone (Μεικτή Πραγματικότητα).

Συνολικά, η MR, και ειδικότερα οι τεχνολογίες VR και AR, έχουν ανοίξει νέους δρόμους στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, επιτρέποντας τη δημιουργία καθηλωτικών εμπειριών που ξεπερνούν τα όρια του παραδοσιακού ψηφιακού περιεχομένου. Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, οι τεχνολογίες MR χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ενός συστήματος επιμέλειας εκθέσεων που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της VR και της AR για τη δημιουργία και διαχείριση εικονικών εκθέσεων.

1.2 Επιμέλεια Μουσείων/Εκθέσεων

Η δημιουργία ενός μουσείου ή μίας έκθεσης περιλαμβάνει διάφορα στάδια και είναι μία πολύπλοκη διαδικασία. Ένας από τους σκοπούς της δράσης θα πρέπει να είναι η μετάδοση πληροφοριών και γνώσεων. Ο εκθεσιακός χώρος θα πρέπει να είναι καλαίσθητος και να ψυχαγωγεί τον θεατή/επισκέπτη προκαλώντας του μία ευχάριστη διάθεση αλλά και την επιθυμία για περαιτέρω αναζήτηση στοιχείων, προβληματισμών και αναστοχασμών. Θα πρέπει να είναι σωστά οργανωμένος τόσο ο χώρος όσο και τα εκθέματα, κάτι που απαιτεί ειδική τεχνογνωσία.

Η έκθεση των αντικειμένων αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο επικοινωνίας με τον επισκέπτη. Για το λόγο αυτό η ορθή τοποθέτηση, ο κατάλληλος φωτισμός, η σειρά εμφάνισης των εκθεμάτων έχουν μεγάλη σημασία για τη σωστή λειτουργία ενός μουσείου ή μιας έκθεσης. Θα πρέπει ένας αρμόδιος να αναλαμβάνει, να μεριμνά, να φροντίζει με ιδιαίτερο ζήλο και μεράκι και ταυτόχρονα να ελέγχει όλες εκείνες τις εργασίες όπου θα κάνουν τον μουσειακό ή εκθεσιακό χώρο αξιοπρόσεκτο, προσιτό, ευχάριστο, κατανοητό αλλά και ενδιαφέρον για τους επισκέπτες του, έτσι ώστε να αποδώσουν στο έπακρο το ρόλο της ύπαρξής τους. Θα πρέπει ουσιαστικά να επιμελείται της έκθεσης και του μουσείου. Οι υπεύθυνοι για τη εργασία αυτή στα μουσεία αλλά και στις εκθέσεις ονομάζονται **επιμελητές**.

1.2.1 Ο Ρόλος του Επιμελητή σε Μουσεία/Εκθέσεις

Όπως προαναφέρθηκε ο ρόλος του επιμελητή είναι διττός, καθώς όχι μόνο φροντίζει και μερίμνα για τον εκθεσιακό χώρο ενός μουσείου ή μιας έκθεσης αλλά ελέγχει και εποπτεύει όλες εκείνες τις εργασίες που πρέπει να γίνουν για να είναι ολοκληρωμένο το τελικό αποτέλεσμα για να επιτευχθεί και ο σκοπός της έκθεσης ή του μουσείου.

Αρχικά ο ρόλος του επιμελητή ξεκίνησε κυρίως θεσμικά και ήταν περιορισμένος στην επιμέλεια μιας συλλογής ενός μουσείου. Στην πορεία οι επιμελητές άρχισαν να γίνονται δειλά δειλά ανεξάρτητοι συνεργάτες και να μην είναι αποκλειστικοί υπάλληλοι συγκεκριμένων μουσείων και δύναται πλέον να αναλαμβάνουν την οργάνωση και την επιμέλεια όχι μόνο ενός μουσείου αλλά και διαφόρων επιμέρους εκθέσεων, τοπικών και διεθνών, σύγχρονων ή μη, γλυπτικής, ζωγραφικής και άλλων μορφών τέχνης. Ο ρόλος του αυτονομείται και γίνεται ακόμα πιο σημαντικός, καθώς είναι ο ίδιος ο επιμελητής αυτός που θα επιλέξει και θα αναδείξει τα εκθέματα. Ο ρόλος του επιμελητή εξελίσσεται και ενώ αρχικά ασχολούνταν με την ταξινόμηση, καταγραφή και εμπλουτισμό μιας μόνιμης συλλογής ενός μουσείου, πλέον οφείλει όχι μόνο να γνωρίζει σε βάθος τη συλλογή που θα εκθέσει αλλά να αναλάβει έναν πιο δημιουργικό και ενεργό ρόλο¹⁸. Στο πέρασμα των χρόνων υπήρξαν πολλές σχολές, λογικές και κινήματα σχετικά με τον τρόπο παρουσίασης των εκθεμάτων και του στησίματος των μουσείων, όπως για παράδειγμα η λογική του λευκού κύβου όπου τα εκθέματα τοποθετούνταν σε λευκούς τοίχους σε χώρους χωρίς παράθυρα και σε απόσταση μεταξύ τους, ή του μαύρου κουτιού του κινηματογράφου, με τις οποίες

¹⁸ Σοφία Κ. Χρυσανοπούλου, *Οι απαρχές της επιμέλειας εκθέσεων σύγχρονης τέχνης στην Ελλάδα, 1976-1983. Ο δρόμος προς τη διαμόρφωση του ανεξάρτητου επιμελητή εκθέσεων* (Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2021), 27-35.

προσπαθούσαν να αποσπάσουν το κοινό από τον πραγματικό κόσμο και να το μεταφέρουν σε μια άλλη εποχή, χώρο ή τόπο κινήματα που στην πορεία αμφισβητήθηκαν από διάφορους όπως τον Brian O' Doherty όπως αναφέρει και στο βιβλίο του *Inside the white cube* και τον επιμελητή εκθέσεων Serota που αναλύει το σκεπτικό του στο βιβλίο *Ερμηνεία ή εμπειρία*;

Αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων ήταν η αναγκαιότητα του επιμελητή στη δημιουργία μιας ή πολλαπλών αφηγήσεων να βαίνει αυξανόμενη. Στις σημερινές εποχές ο επιμελητής οφείλει να παρουσιάζει τα έργα με τέτοιο τρόπο ώστε να αναδεικνύεται η αντίληψη και το όραμα των δημιουργών για τα έργα τους¹⁹. Πρέπει να καταφέρνει να επικοινωνεί το κοινό με το έργο και με τον δημιουργό του ταυτόχρονα. Απαραίτητη θεωρείται η ανάπτυξη συνθηκών για την καλλιέργεια της συνολικής εμπειρίας του θεατή έτσι ώστε να κατανοεί βαθύτερα το έργο κατά την περιήγησή του στο χώρο²⁰.

Ο επιμελητής δεν περιορίζεται πλέον στο συμβατικό χώρο ενός μουσείου ή μιας αίθουσας τέχνης, αλλά αναζητά έναν καταλληλότερο χώρο που θα προσφέρει σύμπλευση των έργων τέχνης με τον εκθεσιακό τους χώρο και γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική η ανάγκη παρέμβασης από τους ίδιους τους καλλιτέχνες και η συμβολή τους για την τελική διαμόρφωση μιας έκθεσης²¹.

1.2.2 Ο Σύγχρονος Επιμελητής - Η Σχέση Επιμελητή και Καλλιτέχνη

Από τότε που άρχισε να εξελίσσεται η χωρική φύση των εκθέσεων εξελίχθηκε και ο ρόλος του επιμελητή και η σχέση του με τον καλλιτέχνη. Στη σύγχρονη εποχή έχουν παραγκωνιστεί τα παλιά επιμελητικά μοντέλα όπου ο δημιουργός ενός καλλιτεχνήματος είχε περιορισμένη ανάμειξη στον τρόπο παρουσίασης του, και τη θέση τους πήραν άλλες δράσεις, όπως η συνεχής εμπλοκή του δημιουργού και η ανοιχτή συζήτηση με τον επιμελητή σχετικά με την έκθεση των έργων του, με πολύ εποικοδομητικά αποτελέσματα²². Σκοπός είναι να

¹⁹ Ζαχαρούλα Σκλήκα, *Σύγχρονες επιμελητικές πρακτικές και η συμβολή τους στη νοηματοδότηση του έργου: Το ελληνικό παράδειγμα* (Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού, Τμήμα Φωτογραφίας και Οπτικοακουστικών Τεχνών, ΠΜΣ «Φωτογραφία: Έρευνα & Μεθοδολογία», 2023), "Ο επιμελητής – Ο ρόλος και η σχέση με τον καλλιτέχνη," 16-17.

²⁰ Ευαγγελία Τσιάρα, *Απόψεις των εκπαιδευτικών προσχολικής και πρωτοσχολικής αγωγής σχετικά με τις στρατηγικές και πρακτικές διδασκαλίας που ενισχύουν την ενεργό συμμετοχή των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού στην ενεργή συμμετοχή του μαθητή* (Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, 2021), 64-68.

²¹ Χρυσανοπούλου, *Οι απαρχές της επιμέλειας εκθέσεων*, 27-35.

²² Beryl Graham and Sarah Cook, *Rethinking Curating: Art after New Media* (Cambridge, MA: The MIT Press, 2010).

καλύπτει τις ιδιαίτερες ανάγκες των καλλιτεχνών για δημιουργία και επικοινωνία με το κοινό. Πολλές φορές η έκθεση ενός καλλιτεχνικού έργου γίνεται σε έναν χώρο όπου ο καλλιτέχνης δημιουργεί επί τόπου π.χ. η εγκατάσταση του ANDY WARHOL “Silver Pillows”, με αποτέλεσμα συχνά να μην είναι διακριτά τα όρια μεταξύ του επιμελητή και του καλλιτέχνη και να οδηγεί σε σύγκλιση μεταξύ τους και να γίνεται δυσδιάκριτη η επιμελητική πρακτική από την καλλιτεχνική διαδικασία²³.

Στη σχέση μεταξύ επιμελητή και καλλιτέχνη δημιουργείται έδαφος για δημιουργία, έρευνα και ανακάλυψη²⁴. Ο επιμελητής δεν είναι ένας απλός διοργανωτής, αλλά έχει τη δυνατότητα, μαζί με τους εικαστικούς, να συνθέσει έναν εκθεσιακό χώρο όπου τα έργα στο σύνολο τους θα αποτελούν μια εικαστική και καλλιτεχνική πρόταση προς το κοινό²⁵. Οι δημιουργοί και οι επιμελητές οφείλουν να συνεργάζονται στενά και οι ρόλοι και οι αρμοδιότητες τους πολλές φορές αλληλοκαλύπτονται. Μεγάλη έμφαση δίνεται στην ιδέα της σύλληψης του έργου κάθε δημιουργού αλλά και στην ιδέα για την έκθεση που έχει ο επιμελητής έτσι ώστε να παρουσιάζονται όλα τα ετερόκλητα εκθέματα με συνοχή, με ευφάνταστο και δημιουργικό τρόπο.

Επιπλέον τακτικά συναντάμε το φαινόμενο όπου οι ίδιοι οι καλλιτέχνες επιμελούνται τη έκθεση των έργων τους είτε μεμονωμένα είτε μαζί με έργα άλλων εικαστικών, όπως έγινε στη Biennale του Sao Paulo η οποία πήρε μεγάλη δημοσιότητα για αυτήν της την επιλογή. Αλλά και παλαιότερα υπήρξαν δημιουργοί που επιμελήθηκαν τα έργα τους, όπως ο Damien Hirst ο οποίος στη συνέχεια ίδρυσε δίκη του γκαλερί για να στεγάσει τις συλλογές του. Υπάρχει αυξανόμενη τάση οργάνωσης εκθέσεων από ομάδες εικαστικών κάτι που δηλώνει την επιθυμία τους να αποκτήσουν τον έλεγχο στο χώρο της διακίνησης της τέχνης²⁶. Οι ρόλοι λοιπόν τόσο των επιμελητών όσο και των καλλιτεχνών μεταλλάσσονται, τροποποιούνται, εμπλουτίζονται και μεταμορφώνονται. Αυτές οι τάσεις καλλιτεχνών που ακμάζουν στην εποχή μας δημιουργούν στις μέρες μας ένα συχνό φαινόμενο στην οργάνωση των εκθέσεων και αποτελούν τις καλλιτεχνικές κολεκτίβες και τις εκθέσεις που βασίζονται στην αυτοοργάνωση των εικαστικών καλλιτεχνών²⁷.

²³ Kate Fowle, “Who Cares? Understanding the Role of the Curator Today,” in *Cautionary Tales: Critical Curating*, στο Steven Rand and Heather Kouris (New York: apexart, 2007).

²⁴ Adriano Pedrosa, “What Is the Process?” in *Ten Fundamental Questions of Curating*, ed. Jens Hoffmann (Milan: Mousse Publishing, 2013), 35-39.

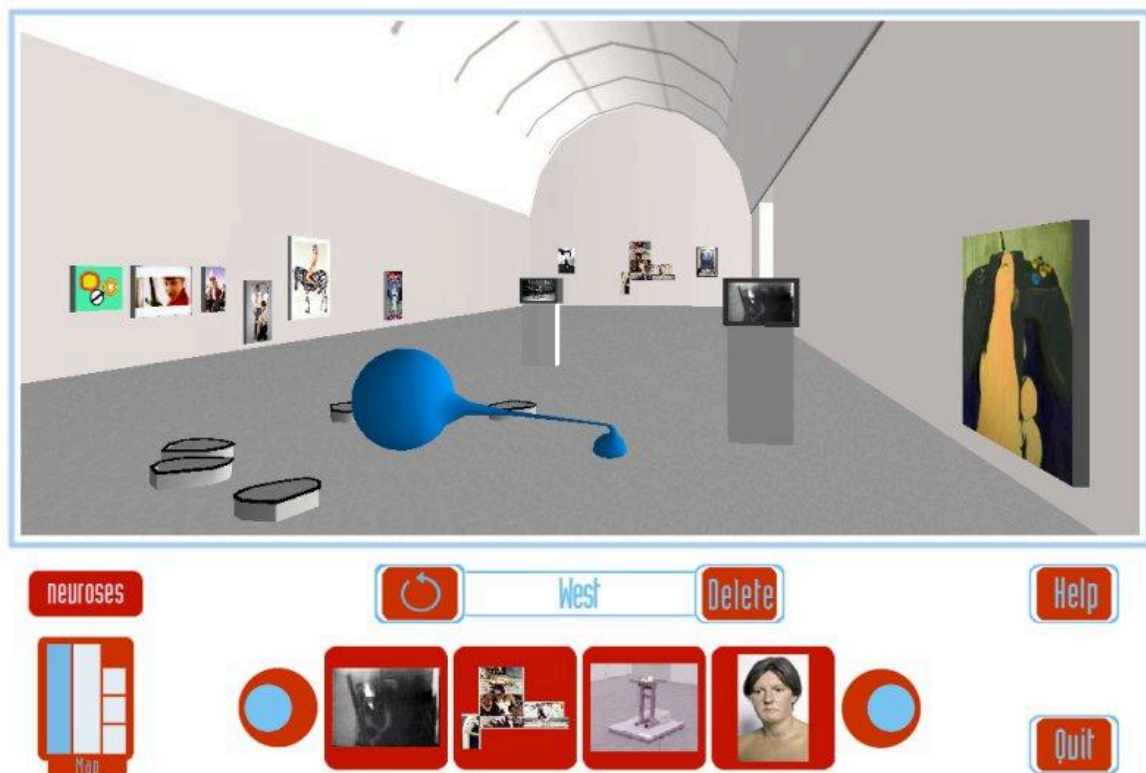
²⁵ Θωμάς Λιούτας, *Η σχέση μεταξύ εικαστικών καλλιτεχνών και εικαστικών επιμελητών. Η σύγχρονη εικαστική επιμέλεια και το Gesamtkunstwerk (Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2020)*, 8-9.

²⁶ Λιούτας, *Η σχέση μεταξύ εικαστικών καλλιτεχνών*, 8-9.

²⁷ Graham και Cook, *Rethinking Curating: Art after New Media*, 2010.

1.2.3 Επιμέλεια Εκθέσεων σε Ψηφιακά Περιβάλλοντα

Η επιμέλεια εκθέσεων σε ψηφιακά περιβάλλοντα αποτελεί μια πρωτοποριακή προσέγγιση που επαναπροσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζονται και διαχειρίζονται καλλιτεχνικά, πολιτιστικά και εκπαιδευτικά περιεχόμενα. Οι ψηφιακές εκθέσεις προσφέρουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης πολυμέσων, διαδραστικών στοιχείων και ευέλικτων σχεδιαστικών επιλογών, ενώ εξαλείφουν τους γεωγραφικούς και φυσικούς περιορισμούς που επιβάλλονται από τους παραδοσιακούς χώρους. Έτσι, καλλιτέχνες και επιμελητές μπορούν να προσεγγίσουν ένα παγκόσμιο κοινό, μετατρέποντας την τέχνη σε μια προσβάσιμη και διαδραστική εμπειρία για όλους.



Εικόνα 5. *Transmute*, Museum of Contemporary Art, Chicago, 1999.

Η διαδικασία επιμέλειας ψηφιακών εκθέσεων απαιτεί μια διεπιστημονική προσέγγιση που συνδυάζει στοιχεία από την τέχνη, την αρχιτεκτονική, τον σχεδιασμό εμπειρίας χρήστη (UX), και την τεχνολογία. Ο επιμελητής μιας ψηφιακής έκθεσης αναλαμβάνει να επιλέξει τα

εκθέματα, να τα οργανώσει σε έναν ψηφιακό χώρο και να προσδιορίσει τις σχέσεις και τις αλληλεπιδράσεις τους, με τρόπο που να υποστηρίζει την αφήγηση μιας ιστορίας ή τη μετάδοση ενός μηνύματος.

Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η εφαρμογή των ψηφιακών περιβαλλόντων στον τομέα της επιμέλειας εκθέσεων συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν την ανάγκη για τεχνολογική εξειδίκευση, την αντιμετώπιση θεμάτων που αφορούν στην απόδοση και την ευχρηστία, καθώς και τη διαχείριση της ψηφιακής αισθητικής και της εμπειρίας του χρήστη σε ένα περιβάλλον που συνεχώς εξελίσσεται. Επίσης, ένας βασικός παράγοντας είναι η ανάγκη για δεκτικότητα απέναντι στις νέες μεθόδους παρουσίασης περιεχομένου. Οι επιμελητές καλούνται να υπερβούν τις παραδοσιακές πρακτικές και να υιοθετήσουν καινοτόμες τεχνολογίες, όπως η Επαυξημένη και η Εικονική Πραγματικότητα, που εμπλουτίζουν την εμπειρία του θεατή. Η νοοτροπία αυτή συχνά απαιτεί μια αλλαγή στον τρόπο σκέψης και εργασίας, καθώς οι τεχνολογικές λύσεις δεν περιορίζονται απλώς στη μεταφορά της παραδοσιακής εμπειρίας σε ένα ψηφιακό μέσο, αλλά συχνά απαιτούν εντελώς νέες μεθοδολογίες σχεδιασμού και αλληλεπίδρασης.

Επιπλέον, ο ρόλος του επιμελητή εξελίσσεται, απαιτώντας την ανάπτυξη νέων δεξιοτήτων που σχετίζονται με τη χρήση προηγμένων ψηφιακών εργαλείων. Η επιτυχής διαχείριση και παρουσίαση μιας ψηφιακής έκθεσης προϋποθέτει γνώση τεχνολογιών όπως οι πλατφόρμες δημιουργίας 3D περιβαλλόντων, η επεξεργασία πολυμέσων και οι διαδραστικές εφαρμογές. Η εξοικείωση με αυτά τα εργαλεία αποτελεί πρόκληση για τους επιμελητές, ιδιαίτερα για εκείνους που δεν διαθέτουν προηγούμενη εμπειρία σε τεχνολογίες πληροφορικής. Κατά συνέπεια, η κατάρτιση και η επαγγελματική ανάπτυξη καθίστανται αναγκαίες, ώστε οι επιμελητές να μπορέσουν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του ψηφιακού κόσμου.

Παράλληλα, οι ψηφιακές εκθέσεις εγείρουν ζητήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση του αισθητικού και λειτουργικού τους χαρακτήρα. Ο σχεδιασμός του ψηφιακού χώρου, η επιλογή και η διάταξη των εκθεμάτων, καθώς και η συνολική εμπειρία του χρήστη αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την επιτυχία μιας έκθεσης. Οι επιμελητές χρειάζεται να εξισορροπήσουν τις απαιτήσεις της τεχνολογικής πλατφόρμας με τις καλλιτεχνικές και αφηγηματικές προθέσεις τους, διατηρώντας την ταυτότητα και την αισθητική του περιεχομένου, ενώ παράλληλα δημιουργούν μια ελκυστική και προσιτή εμπειρία για τους επισκέπτες.

Συνολικά, η επιμέλεια σε ψηφιακά περιβάλλοντα απαιτεί από τους επιμελητές να προσαρμοστούν σε ένα δυναμικά εξελισσόμενο πεδίο, το οποίο συνδυάζει την τέχνη, την τεχνολογία και την καινοτομία. Οι επιμελητές καλούνται να λειτουργήσουν ως γέφυρα μεταξύ παραδοσιακών και νέων προσεγγίσεων, αξιοποιώντας τις δυνατότητες των ψηφιακών εργαλείων για να δημιουργήσουν εμπειρίες που είναι ταυτόχρονα πρωτοποριακές και προσβάσιμες στο ευρύ κοινό.

1.2.4 Εφαρμογές τεχνολογιών XR στην Επιμέλεια Εκθέσεων

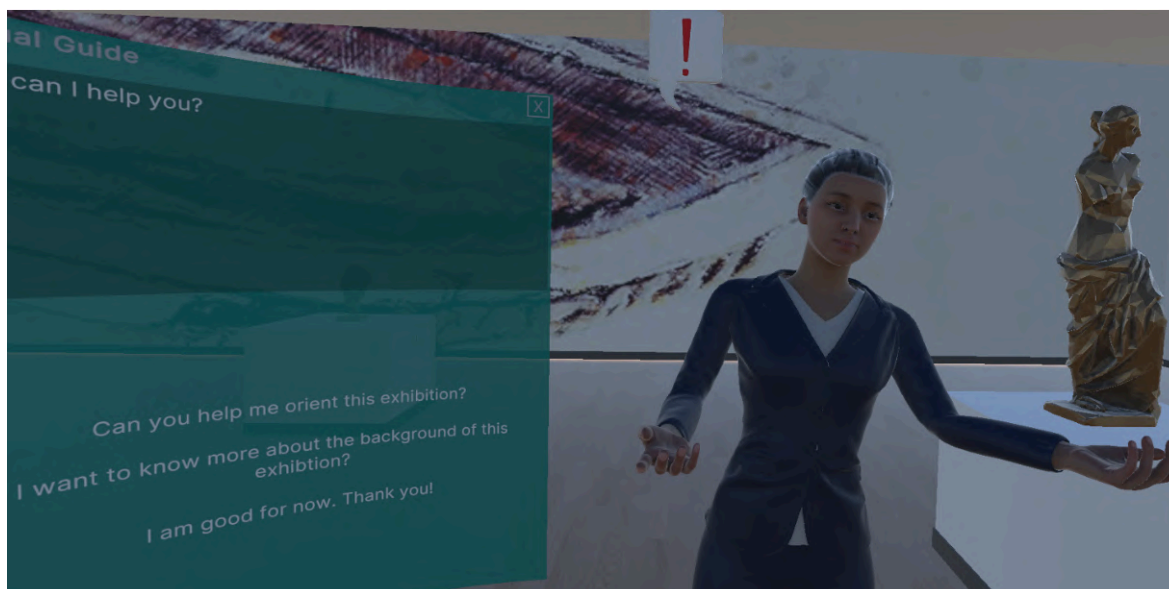
Οι σύγχρονες τεχνολογίες Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality - AR), Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality - VR), και Μεικτής Πραγματικότητας (Mixed Reality - MR), γνωστές συλλογικά ως Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality - XR), έχουν ανοίξει νέους δρόμους για την επιμέλεια και προβολή ψηφιακών εκθέσεων. Αυτές οι τεχνολογίες προσφέρουν καινοτόμες δυνατότητες για την προώθηση της τέχνης και την ενίσχυση της συμμετοχικότητας του κοινού. Η ενότητα αυτή, εξετάζει πώς οι τεχνολογίες XR μπορούν να ενισχύσουν την πρόσβαση σε καλλιτεχνικά έργα και να βελτιώσουν την εμπειρία του επισκέπτη, παρουσιάζοντας παράλληλα σχετικές μελέτες και έργα στον τομέα αυτό.

Προώθηση της Τέχνης μέσω XR Τεχνολογιών

Οι τεχνολογίες XR προσφέρουν νέες δυνατότητες παρουσίασης και διάδοσης της τέχνης. Σε ένα ψηφιακό περιβάλλον, η τέχνη δεν περιορίζεται από φυσικούς χώρους ή γεωγραφικές αποστάσεις, επιτρέποντας σε μουσεία, γκαλερί και καλλιτέχνες να προσεγγίσουν παγκόσμιο κοινό. Η δημιουργία ψηφιακών εκθέσεων μέσω XR τεχνολογιών επιτρέπει την παρουσίαση έργων σε εικονικά περιβάλλοντα, όπου οι επισκέπτες μπορούν να εξερευνήσουν τα έργα με τρόπο που μιμείται ή και ξεπερνά την φυσική εμπειρία. Αυτός ο τρόπος επιμέλειας και παρουσίασης βοηθά στην εμβάθυνση της κατανόησης του καλλιτεχνικού έργου μέσω διαδραστικών στοιχείων, όπως πολυμεσικές αφηγήσεις και αναλυτικές πληροφορίες.

Παραδείγματα τέτοιων έργων περιλαμβάνουν την πλατφόρμα **Artsteps**, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν και να επιμελούνται εικονικές εκθέσεις τέχνης,

προσφέροντας παράλληλα τη δυνατότητα επαυξημένης πραγματικότητας για την προβολή εκθέσεων σε φυσικούς χώρους. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το έργο **PrismXR**, το οποίο παρέχει μια εικονική έκθεση με δυνατότητες ανάλυσης και σχολιασμού από τους επισκέπτες, προωθώντας την αλληλεπίδραση και την ανταλλαγή ιδεών μεταξύ καλλιτεχνών και κοινού²⁸.



Εικόν 6. Παράθυρο διαλόγου με τον εικονικό βοηθό του Prism XR project.
GitHub Repository: <https://github.com/AnuitLecoidel/prismxr>

Διευκόλυνση της Πρόσβασης και Συμμετοχικότητας

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των XR τεχνολογιών είναι η διευκόλυνση της πρόσβασης στις καλλιτεχνικές εκθέσεις. Οι ψηφιακές εκθέσεις μέσω XR επιτρέπουν στους επισκέπτες να εξερευνούν εκθέματα από το σπίτι τους ή από οπουδήποτε κι αν βρίσκονται, εξαλείφοντας τα γεωγραφικά και φυσικά εμπόδια. Επιπλέον, η εικονική παρουσίαση επιτρέπει στους επισκέπτες να εξετάσουν έργα τέχνης λεπτομερώς το οποίο δεν είναι πάντοτε εφικτό σε φυσικές εκθέσεις. Αυτό περιλαμβάνει την περιήγηση σε ψηφιακά αναπαριστώμενα γλυπτά, την εξερεύνηση έργων ζωγραφικής σε πολυδιάστατες προοπτικές και την πρόσβαση σε αναλυτικά κείμενα ή βίντεο που εξηγούν τη δημιουργία των έργων.

Στο πλαίσιο αυτό, η εφαρμογή **XR Cone** της Βιβλιοθήκης του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου του Ντελφτ (TU Delft) αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα. Η εφαρμογή

²⁸Huopu Zhang, "Prism XR - A Curated Exhibition Experience in Virtual Reality with Peer Annotation Features and Virtual Guides for Art and Archaeology Classes" (Georgia Institute of Technology, 2018), 3-4.

επιτρέπει στους χρήστες να περιηγούνται σε ψηφιακές συλλογές και μη τυποποιημένα εκθέματα, όπως βίντεο και τρισδιάστατες σαρώσεις, με τρόπο που συνδυάζει τη φυσική παρουσία στον χώρο με την εικονική διάδραση²⁹. Το έργο αυτό ενισχύει την εμπειρία των επισκεπτών, καθώς μπορούν να αλληλεπιδρούν με τα εκθέματα, δημιουργώντας μια πιο προσωπική και ενεργητική εμπειρία.

Το **RiftArt** είναι μια εφαρμογή που συνδυάζει την εικονική πραγματικότητα (VR) με την εκπαίδευση και την τέχνη, προσφέροντας μια εμπυθιστική εμπειρία για να φέρει αριστουργήματα της τέχνης στην αίθουσα διδασκαλίας. Το RiftArt επιτρέπει στους χρήστες να εξερευνήσουν και να αλληλεπιδράσουν με έργα τέχνης μέσω της εικονικής πραγματικότητας, προσφέροντας μια νέα προσέγγιση στη διδασκαλία της τέχνης και της ιστορίας της τέχνης. Η εφαρμογή συνήθως χρησιμοποιεί πλατφόρμες VR όπως το Oculus Rift για να προσφέρει την εμπειρία, επιτρέποντας στους χρήστες να βλέπουν τα έργα τέχνης σε πλήρη 3D και να αλληλεπιδρούν με αυτά με διάφορους τρόπους.

Αυτή η τεχνολογία ενισχύει την εκπαιδευτική διαδικασία, επιτρέποντας στους μαθητές να βιώσουν έργα τέχνης με έναν πιο άμεσο και καθηλωτικό τρόπο, κάτι που δεν θα ήταν δυνατό με παραδοσιακά μέσα διδασκαλίας³⁰.

Βελτίωση της Εμπειρίας του Επισκέπτη

Οι XR τεχνολογίες, εκτός από τη διευκόλυνση της πρόσβασης, ενισχύουν την εμπειρία του επισκέπτη παρέχοντας περισσότερη αλληλεπίδραση και εμπάθυνση. Μέσω της εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας, οι επισκέπτες μπορούν να "βυθιστούν" στο καλλιτεχνικό περιβάλλον, κινούμενοι ελεύθερα γύρω από τα έργα και ανακαλύπτοντας κρυμμένες λεπτομέρειες. Το **CREAMS Project**, για παράδειγμα, αναπτύχθηκε με σκοπό να υποστηρίξει την εκπαιδευτική διαδικασία των φοιτητών τέχνης μέσω XR τεχνολογιών, επιτρέποντας την εμπάθυνση στις ψηφιακές εκθέσεις με την προσθήκη πολυμεσικών αφηγήσεων και διαδραστικών στοιχείων³¹.

²⁹ Vincent Cellucci, Alice Bodanzky, and Jeroen Boots, "XR Cone: Turning Non-Standard Collections into a Hall of Inspiration," Library Learning Center, TU Delft Library, Delft, The Netherlands, 2023.

³⁰ Casu, A., L. D. Spano, F. Sorrentino, and R. Scateni, "RiftArt: Bringing Masterpieces in the Classroom through Immersive Virtual Reality," in *STAG: Smart Tools & Apps for Graphics*, ed. Silvia Biasotti, Marco Tarini, and Andrea Giachetti (2015).

³¹ Vital, Rebeka, Stella Sylaiou, Dimitrios Koukopoulos, Konstantinos Koukoulis, Panagiotis Dafiotis, and Christos Fidas. "Comparison of Extended Reality Platforms and Tools for Viewing and Exhibiting Art." Digital

Η πλατφόρμα **Art Gate** παρέχει εικονικό χώρο για γκαλερί τέχνης από όλο τον κόσμο, επιτρέποντας την προβολή των εκθεμάτων μέσω μιας απλής ενσωμάτωσης του metaverse. Προσφέρει στους χρήστες την ευκαιρία να περιηγηθούν εμβυθιστικά μέσω εφαρμογών για Windows ή Mac, ενώ παράλληλα ενισχύει την προώθηση των έργων τέχνης, δίνοντας τη δυνατότητα σύνδεσης και κοινοποίησης με επαγγελματίες του χώρου τέχνης παγκοσμίως. Η πλατφόρμα είναι διαθέσιμη τόσο μέσω web πελατών όσο και σε συσκευές Oculus, διευκολύνοντας τη διεθνή προβολή και την προσβασιμότητα των εκθεμάτων³².

Προκλήσεις και Μελλοντικές Προοπτικές

Παρά τα πολλαπλά οφέλη που προσφέρουν οι τεχνολογίες XR, υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Μία από τις βασικές δυσκολίες είναι το κόστος ανάπτυξης και η τεχνογνωσία που απαιτείται για τη δημιουργία και συντήρηση αυτών των πλατφορμών. Ειδικά για μικρότερες καλλιτεχνικές ομάδες ή ιδρύματα, η ανάπτυξη πολυμεσικών εκθέσεων μπορεί να αποδειχθεί απαιτητική. Επιπλέον, η ανάγκη για εξειδικευμένο εξοπλισμό, όπως γυαλιά VR ή AR, ενδέχεται να περιορίσει την προσβασιμότητα ορισμένων χρηστών.

Ωστόσο, η συνεχιζόμενη εξέλιξη της τεχνολογίας και η μείωση του κόστους των συσκευών XR δημιουργούν θετικές προοπτικές για το μέλλον. Η χρήση εργαλείων όπως το Unity και το Vuforia, τα οποία επιτρέπουν την ανάπτυξη VR και AR εφαρμογών, ενισχύουν τη δυνατότητα δημιουργίας πλούσιων εμπειριών χωρίς την ανάγκη μεγάλων προϋπολογισμών³³.

Συμπεράσματα

Οι XR τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν ριζικά τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε και αλληλεπιδρούμε με την τέχνη. Παρέχουν νέους τρόπους παρουσίασης καλλιτεχνικών έργων και επιτρέπουν στο κοινό να εξερευνήσει εκθέσεις με έναν εντελώς καινοτόμο τρόπο. Παρά τις προκλήσεις που παραμένουν, η ταχεία εξέλιξη των XR

Applications in Archaeology and Cultural Heritage 31 (2023): e00298.
<https://doi.org/10.1016/j.daach.2023.e00298>.

³² Vital, *Comparison of Extended Reality Platforms and Tools for Viewing and Exhibiting Art*

³³ Casu, Spano, Sorrentino, and Scateni, "RiftArt," 123.

τεχνολογιών προσφέρει συναρπαστικές ευκαιρίες για την προώθηση της τέχνης και τη δημιουργία μοναδικών ψηφιακών εμπειριών. Η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών στον πολιτιστικό τομέα, τόσο στην εκπαίδευση όσο και στην ψυχαγωγία, υπόσχεται να φέρει την τέχνη πιο κοντά στο ευρύ κοινό.

Εφαρμογές για Εκθέσεις XR

Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας (XR) στον πολιτιστικό τομέα έχει μεταμορφώσει τις παραδοσιακές εκθέσεις σε δυναμικές, διαδραστικές εμπειρίες. Έχουν αναδειχθεί πολλές εφαρμογές που επιτρέπουν σε επιμελητές, καλλιτέχνες και πολιτιστικούς φορείς να σχεδιάζουν εικονικές εκθέσεις που διευρύνουν την πρόσβαση, ενισχύουν τη δημιουργικότητα και προάγουν την αλληλεπίδραση. Αυτή η ενότητα εξετάζει σημαντικές πλατφόρμες, όπως το Artsteps, το Mozilla Hubs και το FrameVR και άλλες, διερευνώντας τα χαρακτηριστικά τους και την επίδρασή τους στο πεδίο των εκθέσεων.

1.2.4.1 Artsteps

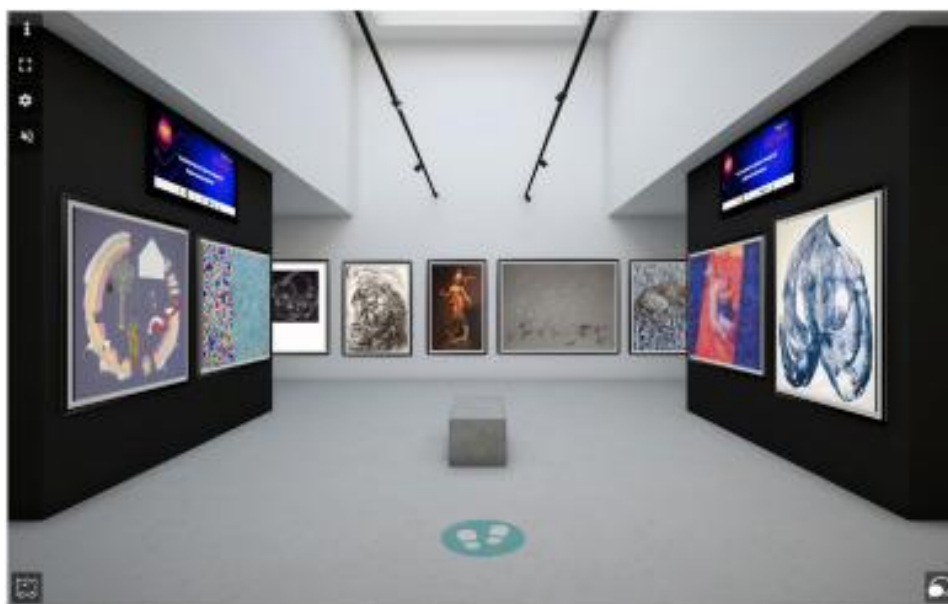
Το **Artsteps**³⁴ ξεχωρίζει ως μια φιλική προς τον χρήστη πλατφόρμα, σχεδιασμένη για τη δημιουργία καθηλωτικών εικονικών γκαλερί και εκθέσεων. Η αξία του έγκειται στην ικανότητά του να απλοποιεί τη διαδικασία επιμέλειας και σχεδιασμού ενός εικονικού χώρου, καθιστώντας το προσιτό ακόμα και σε άτομα χωρίς προηγούμενη εμπειρία σε τρισδιάστατη μοντελοποίηση ή προγραμματισμό. Μέσω της διαισθητικής διεπαφής του τύπου "drag-and-drop", οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν εξατομικευμένες διατάξεις γκαλερί, να προσθέτουν πολυμεσικό περιεχόμενο και να οργανώνουν διαδραστικές περιηγήσεις.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του Artsteps είναι η προσβασιμότητά του. Οι εκθέσεις που σχεδιάζονται μέσω της πλατφόρμας μπορούν να προβληθούν μέσω μιας ευρείας γκάμας συσκευών, όπως συμβατικοί περιηγητές ιστού, κινητές συσκευές και VR headsets. Αυτή η διαλειτουργικότητα διασφαλίζει ότι κοινά από διαφορετικά υπόβαθρα, συμπεριλαμβανομένων αυτών χωρίς πρόσβαση σε προηγμένο εξοπλισμό, μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το περιεχόμενο. Επιπλέον, το Artsteps υποστηρίζει υψηλής ποιότητας

³⁴ <https://www.artsteps.com/>

πολυμέσα, επιτρέποντας στους καλλιτέχνες να παρουσιάζουν τα έργα τους με τρόπο που μοιάζει με την εμπειρία φυσικής γκαλερί.

Η δυνατότητα της πλατφόρμας να φιλοξενεί διαδραστικές περιηγήσεις ενισχύει την εμπλοκή του κοινού, προσφέροντας καθοδηγούμενες διαδρομές μέσα από τις εκθέσεις, ενώ διατηρείται η επιλογή της ελεύθερης εξερεύνησης. Αυτή η διπλή μορφή πλοήγησης καλύπτει τόσο δομημένες εκπαιδευτικές χρήσεις όσο και ατομικές, διερευνητικές εμπειρίες. Ενσωματώνοντας τις ανάγκες δημιουργών και κοινού σε παγκόσμιο επίπεδο, το Artsteps έχει εξελιχθεί σε ένα πολύτιμο εργαλείο για εκπαιδευτικούς, επιμελητές και ανεξάρτητους καλλιτέχνες που επιθυμούν να επεκτείνουν την εμβέλεια των εκθέσεών τους πέρα από γεωγραφικούς και λογιστικούς περιορισμούς.



Εικόνα 7. Στιγμιότυπο από την πλατφόρμα *ArtSteps*.

1.2.4.2 Mozilla Hubs

Το **Mozilla Hubs** ήταν μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που προσέφερε τη δυνατότητα δημιουργίας και εξερεύνησης εικονικών τρισδιάστατων χώρων απευθείας μέσω του προγράμματος περιήγησης, χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης επιπλέον λογισμικού ή εξειδικευμένου εξοπλισμού. Η ευκολία πρόσβασης που παρείχε το Hubs το καθιστούσε

ιδανική επιλογή για χρήστες με περιορισμένη τεχνολογική εμπειρία ή εξοπλισμό. Επιπλέον, η διαλειτουργικότητα του με διάφορες συσκευές, όπως υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και συσκευές εικονικής πραγματικότητας, διευκόλυνε τη συμμετοχή ενός ευρέος φάσματος χρηστών.

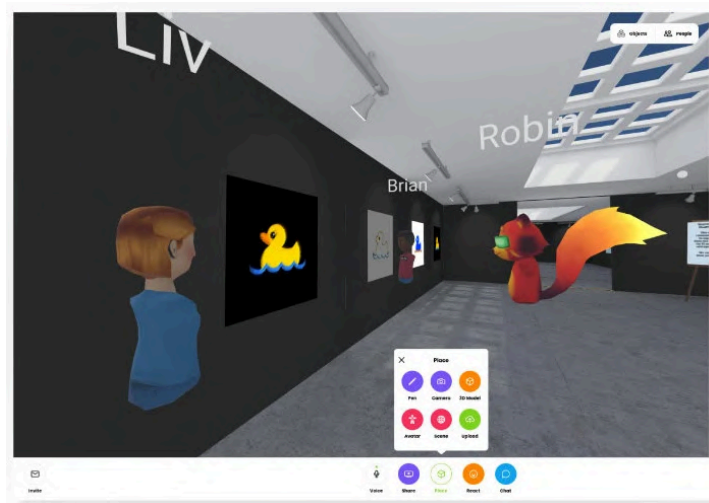
Μέσω του εργαλείου Spoke, οι χρήστες μπορούσαν να προσαρμόζουν και να δημιουργούν εικονικούς χώρους, προσθέτοντας 3D μοντέλα, εικόνες και άλλα πολυμέσα. Αυτό επέτρεπε την ανάπτυξη μοναδικών χώρων σύμφωνα με τις ανάγκες τους. Παράλληλα, το Hubs προωθούσε τη συνεργατικότητα, καθώς πολλοί χρήστες μπορούσαν να συμμετέχουν ταυτόχρονα στους ίδιους χώρους, αλληλεπιδρώντας σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η δυνατότητα το καθιστούσε χρήσιμο εργαλείο για ομάδες που εργάζονταν εξ αποστάσεως και για εκδηλώσεις με έντονο διαδραστικό χαρακτήρα.

Ωστόσο, η πλατφόρμα παρουσίαζε και ορισμένους περιορισμούς. Η απόδοσή της σε επίπεδο γραφικών ήταν περιορισμένη, καθώς λειτουργούσε μέσω προγράμματος περιήγησης. Αυτό επηρέαζε την πολυπλοκότητα και την ποιότητα των γραφικών, γεγονός που την καθιστούσε λιγότερο κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούσαν υψηλά επίπεδα λεπτομέρειας. Επιπλέον, η λειτουργία του Hubs εξαρτιόταν από μια σταθερή και γρήγορη σύνδεση στο διαδίκτυο, γεγονός που μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα σε περιοχές με χαμηλή ταχύτητα ή αστάθεια σύνδεσης. Επιπροσθέτως, η πλατφόρμα δεν ήταν σχεδιασμένη για να φιλοξενεί μεγάλες συγκεντρώσεις χρηστών, κάτι που περιόριζε τη χρήση της σε μικρότερης κλίμακας εκδηλώσεις. Συνήθως, οι χώροι του Hubs ήταν σχεδιασμένοι για να φιλοξενούν 25-30 χρήστες ταυτόχρονα, προκειμένου να διατηρείται η ομαλή λειτουργία και η ποιότητα της εμπειρίας. Αν και τεχνικά μπορούσε να υποστηρίξει περισσότερους χρήστες, η απόδοση άρχιζε να υποβαθμίζεται αισθητά όταν ο αριθμός αυτός ξεπερνούσε τα 50 άτομα.

Ο περιορισμός αυτός προέκυπτε από τη φύση της πλατφόρμας, η οποία βασιζόταν στη χρήση προγραμμάτων περιήγησης και στη μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τη διατήρηση της διαδραστικότητας. Σε μεγαλύτερα πλήθη, η πλατφόρμα δεν μπορούσε να διαχειριστεί την αυξημένη ζήτηση για πόρους, όπως επεξεργασία δεδομένων και δίκτυο, γεγονός που οδηγούσε σε καθυστερήσεις ή αποσυνδέσεις. Αυτός ο περιορισμός καθιστούσε το Hubs κατάλληλο για μικρότερης κλίμακας εκδηλώσεις, όπως καλλιτεχνικές παρουσιάσεις, συναντήσεις ομάδων ή μικρά workshops, αλλά λιγότερο ιδανικό για μεγάλα συνέδρια ή εκθέσεις με πολλούς επισκέπτες.

Ένας ακόμη σημαντικός περιορισμός του Mozilla Hubs ήταν ο τερματισμός της υποστήριξής του. Από τον Μάιο του 2024, η Mozilla διέκοψε τη λειτουργία των σχετικών υπηρεσιών, καθιστώντας την πλατφόρμα μη διαθέσιμη για μελλοντική χρήση. Παρ' όλα αυτά, η πλατφόρμα παραμένει διαθέσιμη ως έργο ανοιχτού κώδικα. Αυτό σημαίνει ότι οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα του Hubs μέσω του αποθετηρίου GitHub και να το φιλοξενήσουν σε δικούς τους διακομιστές. Επιπλέον, η κοινότητα των χρηστών του Hubs συνεχίζει να υποστηρίζει και να εξελίσσει την πλατφόρμα μέσω του Hubs Foundation, το οποίο διατηρεί τα αποθετήρια GitHub και παρέχει πόρους για την αυτόνομη φιλοξενία διακομιστών. Αυτή η εξέλιξη υπογραμμίζει την ανάγκη για νέες εναλλακτικές λύσεις στον τομέα της δημιουργίας εικονικών χώρων και εργαλείων συνεργασίας.

Παρά τα μειονεκτήματά του, το Mozilla Hubs παραμένει ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα για το πώς οι πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα μπορούν να προσφέρουν προσβάσιμες και καινοτόμες λύσεις, επιτρέποντας τη συμμετοχή και συνεργασία σε εικονικά περιβάλλοντα.



Εικόνα 8. Mozilla Hubs πριν τον τερματισμό του δημόσιου διαμοιρασμού.

1.2.4.3 Spatial

Το **Spatial**³⁵ έχει αναγνωριστεί ως μια πρωτοποριακή πλατφόρμα για εμπειρίες XR, προσφέροντας εξαιρετικά καθηλωτικά και οπτικά εντυπωσιακά εικονικά περιβάλλοντα. Αρχικά σχεδιασμένο ως εργαλείο συνεργασίας, το Spatial έχει εξελιχθεί σε ένα ισχυρό μέσο για εκθέσεις, επιτρέποντας στους δημιουργούς να κατασκευάζουν εντυπωσιακές τρισδιάστατες γκαλερί και διαδραστικές καλλιτεχνικές εγκαταστάσεις. Τα μοναδικά του πλεονεκτήματα έγκεινται στην έμφαση που δίνει σε φωτορεαλιστικά περιβάλλοντα, κοινωνική αλληλεπίδραση και διαθεσιμότητα σε πολλαπλές πλατφόρμες.

Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του Spatial είναι η ικανότητά του να αποδίδει εκθέσεις με εξαιρετική οπτική πιστότητα. Υποστηρίζοντας υφές υψηλής ανάλυσης και δυναμικό φωτισμό, εξασφαλίζει ότι τα έργα τέχνης, τα γλυπτά και τα πολυμέσα εμφανίζονται ζωντανά και ρεαλιστικά, θυμίζοντας έντονα την εμπειρία φυσικών χώρων. Αυτό το καθιστά ιδανική πλατφόρμα για την παρουσίαση λεπτομερούς ψηφιακής τέχνης ή φωτορεαλιστικών αναπαραστάσεων φυσικών έργων.

Το Spatial είναι επίσης γνωστό για την εστίαση του στην κοινωνική αλληλεπίδραση. Οι χρήστες μπορούν να συμμετέχουν σε εκθέσεις ως προσαρμόσιμοι τρισδιάστατοι χαρακτήρες, επιτρέποντας επικοινωνία και συνεργασία σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα πολύτιμο για επιμελητές και καλλιτέχνες που επιθυμούν να διοργανώσουν ζωντανές εκδηλώσεις, όπως ξεναγήσεις, συνεδρίες ερωτήσεων και απαντήσεων ή ομιλίες καλλιτεχνών, δημιουργώντας μια δυναμική και διαδραστική εμπειρία για τους συμμετέχοντες. Επιπλέον, το Spatial ενσωματώνεται άψογα με εργαλεία όπως το Zoom και το Microsoft Teams, διευκολύνοντας υβριδικές εκδηλώσεις που συνδυάζουν εικονικές και παραδοσιακές πλατφόρμες.

Η πρόσβαση σε πολλαπλές πλατφόρμες αποτελεί άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα του Spatial. Η πλατφόρμα υποστηρίζει VR headsets για μια πλήρως καθηλωτική εμπειρία, ενώ είναι διαθέσιμη και μέσω κινητών συσκευών, tablets και browsers σε υπολογιστές. Αυτή η ευελιξία εξασφαλίζει τη συμμετοχή ενός ευρέος κοινού, ανεξαρτήτως πρόσβασης σε εξειδικευμένο εξοπλισμό.

Επιπλέον, το Spatial επιτρέπει στους δημιουργούς να ανεβάζουν τρισδιάστατα μοντέλα, ήχο, βίντεο και ακόμη και NFTs, καθιστώντας το δημοφιλή επιλογή για σύγχρονους

³⁵ <https://www.spatial.io/>

καλλιτέχνες και οργανισμούς που εξερευνούν την ψηφιακή τέχνη και την τεχνολογία blockchain. Η ενσωμάτωσή του με πλατφόρμες όπως το Unity ενισχύει περαιτέρω την ευελιξία του, δίνοντας στους πιο προχωρημένους χρήστες τη δυνατότητα να δημιουργούν πολύπλοκες, εξατομικευμένες εμπειρίες προσαρμοσμένες στο όραμά τους.

Συνοπτικά, το Spatial συνδυάζει τεχνική αρτιότητα με σχεδίαση που εστιάζει στον χρήστη, καθιστώντας το ξεχωριστή επιλογή για εκθέσεις XR. Η έμφαση σε φωτορεαλιστικά περιβάλλοντα, διαδραστικά κοινωνικά χαρακτηριστικά και ευρεία προσβασιμότητα το κατατάσσει ως πολύτιμο εργαλείο για επιμελητές και καλλιτέχνες που επιδιώκουν να παρέχουν υψηλής ποιότητας, καθηλωτικές εμπειρίες που εμπλέκουν το κοινό με καινοτόμους τρόπους.



Εικόνα 9. Περιβάλλον Spatial

1.2.4.4 Kunstmatrix

Το **Kunstmatrix**³⁶ είναι μια εξειδικευμένη πλατφόρμα για τη δημιουργία και προβολή εικονικών εκθέσεων, που απευθύνεται κυρίως σε καλλιτέχνες, γκαλερί και επιμελητές. Με έμφαση στην παρουσίαση έργων τέχνης σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα, το Kunstmatrix

³⁶ <https://www.kunstmatrix.com/en>

προσφέρει ένα πλήρες σύνολο εργαλείων για τη δημιουργία εντυπωσιακών ψηφιακών γκαλερί που συνδυάζουν αισθητική αρτιότητα και λειτουργικότητα.

Μία από τις βασικές δυνατότητες του Kunstmatrix είναι η εύκολη μετατροπή φυσικών εκθέσεων σε εικονική μορφή. Χρήστες μπορούν να ανεβάσουν έργα τέχνης, όπως πίνακες, γλυπτά και πολυμέσα, και να τα τοποθετήσουν σε προκαθορισμένους εκθεσιακούς χώρους. Το αποτέλεσμα είναι ένας εικονικός χώρος που προσομοιώνει την εμπειρία φυσικής επίσκεψης σε μια γκαλερί, δίνοντας έμφαση στη ρεαλιστική απεικόνιση των έργων και την αρμονία της διάταξης.

Το Kunstmatrix είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για καλλιτέχνες που επιθυμούν να παρουσιάσουν το έργο τους σε διεθνές κοινό. Οι εικονικές εκθέσεις μπορούν να δημοσιευτούν στο διαδίκτυο, καθιστώντας τα έργα προσβάσιμα από επισκέπτες σε όλο τον κόσμο, ανεξαρτήτως γεωγραφικής τοποθεσίας. Παράλληλα, η πλατφόρμα υποστηρίζει την ενσωμάτωση πληροφοριών για κάθε έργο, όπως περιγραφές, διαστάσεις, και τιμές, διευκολύνοντας τη διαχείριση της έκθεσης και την επικοινωνία με το κοινό.

Επιπλέον, το Kunstmatrix ενσωματώνει λειτουργίες επαυξημένης πραγματικότητας (AR), δίνοντας στους χρήστες τη δυνατότητα να δουν τα έργα τέχνης σε πραγματικό περιβάλλον μέσω των κινητών τους συσκευών. Αυτή η δυνατότητα είναι εξαιρετικά χρήσιμη για συλλέκτες και αγοραστές, καθώς τους επιτρέπει να φανταστούν πώς θα έδειχναν τα έργα σε έναν φυσικό χώρο, όπως ένας τοίχος ή ένα δωμάτιο.

Η πλατφόρμα παρέχει επίσης αναλυτικά στατιστικά στοιχεία σχετικά με την επισκεψιμότητα των εκθέσεων, επιτρέποντας στους επιμελητές να αξιολογήσουν την απήχηση του περιεχομένου τους και να προσαρμόσουν τις στρατηγικές τους. Με τη χρήση συνδρομητικών πακέτων, οι χρήστες αποκτούν πρόσβαση σε μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης και περισσότερες δυνατότητες προσαρμογής, καθιστώντας το Kunstmatrix κατάλληλο για επαγγελματίες στο χώρο της τέχνης.

Συνολικά, το Kunstmatrix προσφέρει έναν ευέλικτο και επαγγελματικό τρόπο δημιουργίας εικονικών εκθέσεων που ανταποκρίνονται στις ανάγκες καλλιτεχνών και επιμελητών. Με έμφαση στη ρεαλιστική απεικόνιση των έργων, την ευρεία προσβασιμότητα και τις εξελιγμένες λειτουργίες, αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για τη διάδοση της τέχνης σε παγκόσμιο επίπεδο.



Εικόνα 10. Εικονική έκθεση από το Kunstmatrix.

1.2.4.5 FrameVR

Το **FrameVR**³⁷ είναι μια πλατφόρμα εικονικής πραγματικότητας που επιτρέπει τη δημιουργία καθηλωτικών παρουσιάσεων και συναντήσεων απευθείας μέσω του προγράμματος περιήγησης, υποστηρίζοντας επιτραπέζιους υπολογιστές, κινητές συσκευές και συσκευές VR.

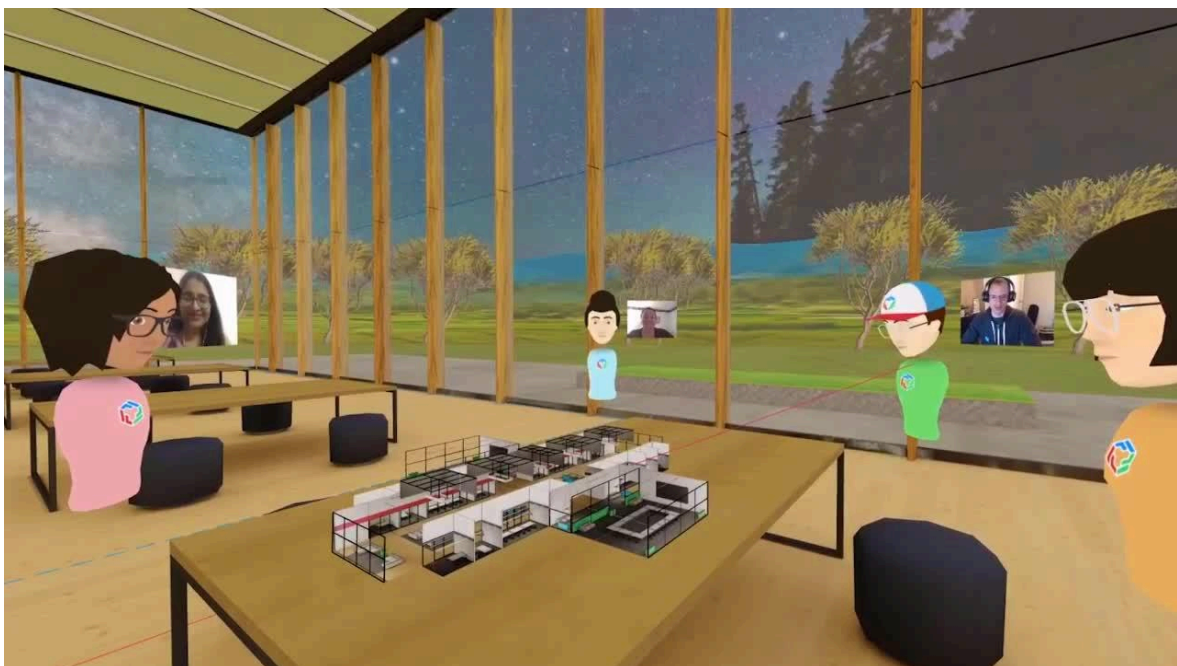
Σχεδιασμένο για να διευκολύνει τη συνεργασία σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα, το FrameVR προσφέρει στους χρήστες τη δυνατότητα να δημιουργούν και να προσαρμόζουν εικονικούς χώρους χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης πρόσθετου λογισμικού. Οι χρήστες μπορούν να ανεβάζουν ποικιλία περιεχομένου, όπως 3D μοντέλα, εικόνες, βίντεο και έγγραφα, δημιουργώντας διαδραστικούς χώρους που ανταποκρίνονται στις ανάγκες τους.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του FrameVR είναι η υποστήριξη πολλαπλών χρηστών, επιτρέποντας την ταυτόχρονη συμμετοχή έως και 500 ατόμων σε έναν εικονικό χώρο, με δυνατότητα επέκτασης κατόπιν συνεννόησης. Η πλατφόρμα προσφέρει εργαλεία όπως συνομιλία μέσω φωνής και κειμένου, κοινή χρήση οθόνης, πίνακες σχεδίασης και δημοσκοπήσεις, διευκολύνοντας την επικοινωνία και τη συνεργασία μεταξύ των συμμετεχόντων.

³⁷ <https://framevr.io/>

Επιπλέον, το FrameVR παρέχει δυνατότητες διαχείρισης, όπως ορισμός δικαιωμάτων πρόσβασης, ρυθμίσεις ασφαλείας και εργαλεία ανάλυσης για την παρακολούθηση της επισκεψιμότητας και της αλληλεπίδρασης των χρηστών. Η πλατφόρμα είναι προσβάσιμη μέσω προγραμμάτων περιήγησης σε επιτραπέζιους υπολογιστές, κινητές συσκευές και συσκευές VR, χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης πρόσθετου λογισμικού.

Συνολικά, το FrameVR αποτελεί μια ευέλικτη και ισχυρή λύση για τη δημιουργία εικονικών εκθέσεων, συναντήσεων και εκπαιδευτικών περιβαλλόντων, προσφέροντας εργαλεία που διευκολύνουν την επικοινωνία και τη συνεργασία σε τρισδιάστατους χώρους.



Εικόνα 11. Περιβάλλον FrameVR.

Χαρακτηριστικό	Artsteps	Mozilla Hubs	Spatial	Kunstmatrix	FrameVR	A-Frame
Προσβασιμότητα	Web, VR, Mobile	Web, VR	Web, VR, Mobile	Web	Web, VR, Mobile	Web
Δυνατότητα Εξατομίκευσης	Περιορισμένη σε έτοιμα πρότυπα	Υψηλή μέσω open-source	Υψηλή, με δυνατότητα upload 3D μοντέλων	Περιορισμένη	Υψηλή, με υποστήριξη για πολλαπλούς τύπους περιεχομένου	Απεριόριστη μέσω κώδικα
Κοινωνική Αλληλεπίδραση	Όχι	Ναι, με πολλούς χρήστες	Ναι, avatar-based	Όχι	Ναι	Όχι, εκτός αν προστεθεί ³⁸
Διαχείριση Περιεχομένου	Εύκολη, μέσω drag-and-drop	Περιορισμένη, απαιτεί τεχνικές γνώσεις	Πολύ εύκολη	Εύκολη για 2D και 3D έργα	Εύκολη, με δυνατότητες real-time updates	Πολύπλοκη, απαιτεί γνώσεις προγραμματισμού
Ποιότητα Γραφικών	Μέτρια	Καλύτερη σε τοπική φιλοξενία	Υψηλή, φωτορεαλιστικά γραφικά	Μέτρια	Καλή	Εξαιρετική αν προγραμματιστεί σωστά
Ευκολία στη Μάθηση	Υψηλή, φιλική για αρχάριους	Μέτρια, απαιτεί προσαρμογή	Μέτρια	Υψηλή, φιλική για αρχάριους	Μέτρια	Χαμηλή για αρχάριους
Κόστος	Δωρεάν	Ανοιχτός κώδικας, δωρεάν με κόστος φιλοξενίας	Δωρεάν, με premium δυνατότητες	Πληρωμή βάσει έργων ή συνδρομή	Δωρεάν, με premium δυνατότητες	Δωρεάν, απαιτεί hosting

Πίνακας 1. Σύγκριση των πλατφορμών σε σχέση με τις γενικές απαιτήσεις.

1.2.5 Πλεονεκτήματα επιλογής της A-Frame

Με την παρουσίαση των παραπάνω πλατφορμών, γίνεται φανερό ότι κάθε μία προσφέρει μοναδικά πλεονεκτήματα και δυνατότητες, ανάλογα με τις ανάγκες και τους στόχους της εκάστοτε εφαρμογής. Από την απλότητα και την προσβασιμότητα του Artsteps, μέχρι την τεχνική αρτιότητα του Spatial και τη συνεργατική φύση του FrameVR, οι επιλογές είναι πολλές και καλύπτουν διαφορετικά σενάρια χρήσης. Ωστόσο, παρά τις αξιοσημείωτες δυνατότητες των παραπάνω εργαλείων, η επιλογή της πλατφόρμας που θα χρησιμοποιηθεί για τη συγκεκριμένη εφαρμογή δεν εξαρτάται μόνο από τις λειτουργίες που προσφέρονται, αλλά και από παράγοντες όπως η προσαρμοστικότητα, η επεκτασιμότητα, η δυνατότητα

³⁸ Παράδειγμα εφαρμογής πολλών χρηστών μέσω του GitHub Repository: <https://github.com/vkomianos/Small-XR-Server/>

ελέγχου και εξατομίκευσης, καθώς και η τεχνολογική ελευθερία που παρέχεται στον δημιουργό.

Σε αυτό το σημείο, γίνεται σαφές ότι η επιλογή της A-Frame προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για τη δημιουργία της εφαρμογής. Η πλατφόρμα αυτή, με τη φύση της ως framework ανοιχτού κώδικα, επιτρέπει τη δημιουργία πλήρως εξατομικευμένων εικονικών χώρων από το μηδέν, παρέχοντας παράλληλα τη δυνατότητα ελέγχου κάθε λεπτομέρειας της εμπειρίας. Επιπλέον, η ελαφριά δομή της, ο εκτεταμένος βαθμός παραμετροποίησης και η ενσωμάτωσή της με σύγχρονες τεχνολογίες ιστού, όπως το HTML και το JavaScript, καθιστούν την A-Frame την ιδανική επιλογή για ένα έργο που επιδιώκει να συνδυάσει την τεχνολογική αρτιότητα με τη δημιουργική ελευθερία.

Πιο συγκεκριμένα, ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της A-Frame είναι η **απεριόριστη δυνατότητα εξατομίκευσης** που προσφέρει. Σε αντίθεση με πλατφόρμες όπως το Artsteps ή το Kunstmatrix, που περιορίζονται σε έτοιμα πρότυπα και συγκεκριμένα εργαλεία σχεδιασμού, η A-Frame βασίζεται σε τεχνολογίες ανοιχτού κώδικα (HTML, JavaScript), επιτρέποντας στον χρήστη να δημιουργήσει εξ αρχής μοναδικούς εικονικούς χώρους. Αυτό την καθιστά ιδανική για έργα που απαιτούν απόλυτη ευελιξία και την ενσωμάτωση καινοτόμων στοιχείων.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι η **υψηλή ποιότητα γραφικών** που μπορεί να επιτευχθεί μέσω προγραμματισμού. Αν και η δημιουργία απαιτεί τεχνικές γνώσεις, η A-Frame επιτρέπει τη χρήση εξαιρετικά ρεαλιστικών ή καλλιτεχνικά προσαρμοσμένων γραφικών, κάτι που είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε πλατφόρμες όπως το Mozilla Hubs ή το FrameVR, οι οποίες περιορίζονται στις προκαθορισμένες δυνατότητες του περιβάλλοντός τους.

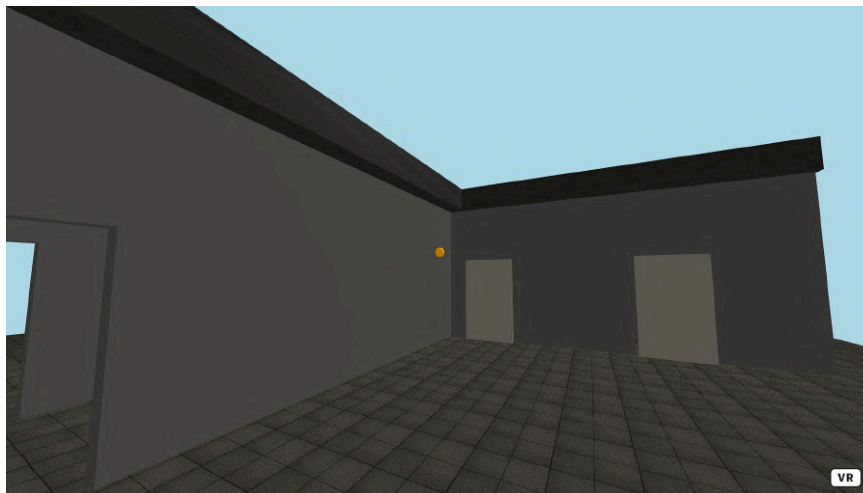
Η A-Frame ξεχωρίζει επίσης για την **αρχιτεκτονική ανοιχτού κώδικα** της, καθώς είναι πλήρως δωρεάν και δεν επιβάλλει συνδρομές ή περιορισμούς στο μέγεθος και τη φύση των έργων που μπορούν να δημιουργηθούν. Αν και απαιτεί hosting για τη φιλοξενία των έργων, αυτό επιτρέπει στους δημιουργούς να έχουν πλήρη έλεγχο της πρόσβασης και της διαχείρισης του περιεχομένου τους, κάτι που δεν είναι πάντα εφικτό σε εμπορικές πλατφόρμες όπως το Spatial ή το Kunstmatrix.

Επιπλέον, η **δυνατότητα επέκτασης και εξατομίκευσης** αλλά και η **διαλειτουργικότητα** της A-Frame την καθιστούν ιδανική για τη σύνδεση με άλλες

τεχνολογίες και εργαλεία, όπως η ενσωμάτωση στοιχείων από βιβλιοθήκες 3D ή APIs. Αυτό παρέχει δυνατότητες που ξεπερνούν κατά πολύ τα όρια των παραδοσιακών XR πλατφορμών.

Εν κατακλείδι, η επιλογή της A-Frame βασίζεται στην ευελιξία, την προσβασιμότητα στο επίπεδο ανάπτυξης και τις απεριόριστες δυνατότητες που προσφέρει στον δημιουργό, καθιστώντας την ιδανική για έργα που στοχεύουν σε υψηλή ποιότητα, καινοτομία και εξατομίκευση. Αν και μπορεί να μην είναι τόσο φιλική προς τους αρχάριους όσο άλλες πλατφόρμες, η αξία της για όσους διαθέτουν τεχνικές δεξιότητες ή αναζητούν πλήρη έλεγχο είναι ανεκτίμητη.

```
<a-entity>  
<a-entity gltf-model="#floor1" scale="1 1 1" position="0 0 0" rotation="0 -90 0"></a-entity>  
</a-entity>  
<!-- <a-plane color="blue" rotation="-90 0 0" width="20" height="20"></a-plane> -->
```



Εικόνα 12. Γραμμή κώδικα για την τοποθέτηση του 3d μοντέλου του κτιρίου (.gltf αρχείο) μαζί με την απεικόνιση του στην σκηνή της A-frame.

- **Διαχείριση Περιεχομένου:** Το σύστημα πρέπει να επιτρέπει στους επιμελητές να ανεβάζουν, να οργανώνουν και να επεξεργάζονται ψηφιακά αρχεία, όπως εικόνες, βίντεο, κείμενα, και τρισδιάστατα μοντέλα εκθεμάτων. Θα πρέπει επίσης να παρέχει εργαλεία για την ταξινόμηση και την κατηγοριοποίηση των αντικειμένων ανά θεματική ενότητα.
- **Δημιουργία και Διαμόρφωση Εκθέσεων:** Οι επιμελητές πρέπει να μπορούν να σχεδιάζουν την διάταξη των εκθεμάτων στον ψηφιακό χώρο, επιλέγοντας τον τρόπο παρουσίασης, τον φωτισμό, τη σειρά των αντικειμένων και την ροή του επισκέπτη. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει εργαλεία για την προσομοίωση της εμπειρίας του επισκέπτη, όπως και επιλογές για την προσαρμογή του περιβάλλοντος της έκθεσης.
- **Διαδραστικότητα και Αλληλεπίδραση:** Το σύστημα πρέπει να υποστηρίζει διαδραστικά στοιχεία που επιτρέπουν στους επισκέπτες να αλληλεπιδρούν με τα εκθέματα, όπως εργαλεία για την παροχή πληροφοριών μέσω πολυμέσων, δυνατότητες για την αλλαγή της προβολής ή της γωνίας θέασης των αντικειμένων, καθώς και επιλογές για τη συμμετοχή σε εικονικές περιηγήσεις ή εκπαιδευτικές δραστηριότητες.
- **Σχεδιασμός Διεπαφής Χρήστη (User Interface):** Η διεπαφή χρήστη πρέπει να είναι φιλική, διαισθητική και εύκολα προσβάσιμη από διαφορετικούς τύπους χρηστών. Οι επιμελητές πρέπει να έχουν στη διάθεσή τους ένα απλό αλλά ισχυρό σύστημα εργαλείων για την εύκολη διαχείριση του περιεχομένου και τη διαμόρφωση των εκθέσεων, ενώ οι επισκέπτες πρέπει να έχουν μια εμπειρία χρήσης που τους καθοδηγεί με φυσικό τρόπο, χωρίς να απαιτείται ειδική εκπαίδευση. Το UI πρέπει να προσαρμόζεται σε διαφορετικές συσκευές (υπολογιστές, tablets, κινητά) και να προσφέρει ελκυστικά γραφικά, ξεκάθαρη πλοήγηση, και άμεση απόκριση στις ενέργειες του χρήστη.
- **Διαχείριση Χρηστών και Δικαιωμάτων Πρόσβασης:** Το σύστημα πρέπει να επιτρέπει τη δημιουργία διαφορετικών ρόλων χρηστών (όπως επιμελητές, επισκέπτες, διαχειριστές) και να παρέχει εργαλεία για τον καθορισμό και τη διαχείριση των δικαιωμάτων πρόσβασης σε διάφορα μέρη του συστήματος, ανάλογα με τον ρόλο και τις αρμοδιότητες κάθε χρήστη.

1.3.2 Μη-Λειτουργικές Απαιτήσεις

Οι μη-λειτουργικές απαιτήσεις καθορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος, που είναι εξίσου σημαντικά για την επιτυχία του. Για το ψηφιακό σύστημα επιμέλειας εκθέσεων, οι μη-λειτουργικές απαιτήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν:

- **Απόδοση:** Το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να χειρίζεται μεγάλες ποσότητες δεδομένων και να αποδίδει τα εκθέματα και τα πολυμέσα με υψηλή ποιότητα και χωρίς καθυστερήσεις, ανεξαρτήτως του αριθμού των ταυτόχρονων χρηστών.
- **Ασφάλεια:** Είναι κρίσιμο το σύστημα να διασφαλίζει την προστασία των δεδομένων, τόσο των εκθεμάτων όσο και των προσωπικών δεδομένων των χρηστών. Αυτό περιλαμβάνει την κρυπτογράφηση των ευαίσθητων πληροφοριών, την διαχείριση των δικαιωμάτων πρόσβασης και την προστασία από κακόβουλες επιθέσεις.
- **Επεκτασιμότητα:** Το σύστημα πρέπει να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να επεκταθεί μελλοντικά, προσθέτοντας νέες λειτουργίες ή ενσωματώνοντας νέες τεχνολογίες, χωρίς να απαιτείται ριζική αναδιαμόρφωση.
- **Ευχρηστία:** Η διεπαφή του συστήματος πρέπει να είναι φιλική προς τον χρήστη, προσφέροντας εύκολη πλοήγηση, σαφείς οδηγίες και εργαλεία που να διευκολύνουν τη χρήση του από άτομα με διαφορετικά επίπεδα εξοικείωσης με την τεχνολογία.
- **Εμπειρία Χρήστη (User Experience):** Η εμπειρία χρήστη πρέπει να είναι εστιασμένη στην παροχή μιας ομαλής, ευχάριστης και αλληλεπιδραστικής διαδικασίας για όλους τους χρήστες. Το σύστημα πρέπει να προσφέρει μια συνεκτική και κατανοητή εμπειρία από την αρχή μέχρι το τέλος, με έμφαση στην προσαρμοστικότητα των λειτουργιών ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε χρήστη, είτε πρόκειται για επιμελητή είτε για επισκέπτη. Πρέπει να εξασφαλίζεται η οπτική και λειτουργική συνέπεια σε όλο το περιβάλλον, ενώ παράλληλα να ενσωματώνονται στοιχεία που ενισχύουν την αίσθηση ανακάλυψης και τη συναισθηματική σύνδεση με τα εκθέματα⁴¹.

⁴¹ Markos Konstantakis και George Caridakis, «Adding Culture to UX: UX Research Methodologies and Applications in Cultural Heritage», *Journal on Computing and Cultural Heritage* 13, αρ. 1 (Φεβρουάριος 2020): άρθρο 4, 2-6, <https://doi.org/10.1145/3354002>.

1.3.3 Απαιτήσεις Συμβατότητας

Οι απαιτήσεις συμβατότητας αναφέρονται στην ανάγκη το σύστημα να λειτουργεί απρόσκοπτα σε διαφορετικές πλατφόρμες και συσκευές. Συγκεκριμένα, το σύστημα πρέπει να:

- **Υποστηρίζει Πολλαπλές Πλατφόρμες:** Το σύστημα θα πρέπει να είναι συμβατό με διάφορα λειτουργικά συστήματα, όπως Windows, macOS, Linux, καθώς και με κινητές πλατφόρμες όπως Android και iOS.
- **Λειτουργεί Απρόσκοπτα σε Διάφορες Συσκευές:** Το σύστημα πρέπει να προσαρμόζεται αυτόματα σε διάφορα μεγέθη οθονών και συσκευών, όπως επιτραπέζιοι υπολογιστές, tablets, και smartphones, διασφαλίζοντας ότι η εμπειρία χρήστη παραμένει σταθερή και υψηλής ποιότητας.
- **Συνεργάζεται με Άλλες Τεχνολογίες:** Το σύστημα θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ενσωματώνει και να επικοινωνεί με άλλες τεχνολογίες, όπως συστήματα διαχείρισης περιεχομένου (CMS), πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης, και εφαρμογές επαυξημένης ή εικονικής πραγματικότητας (AR/VR).

Με την ολοκληρωμένη ανάλυση των απαιτήσεων του συστήματος, εξασφαλίζεται ότι το τελικό προϊόν θα είναι πλήρως εναρμονισμένο με τις ανάγκες των επιμελητών και των χρηστών, προσφέροντας μια αποτελεσματική, ασφαλή και ευχάριστη εμπειρία τόσο για τους δημιουργούς όσο και για τους επισκέπτες.

2. Δημιουργία Συστήματος Επιμέλειας Εκθέσεων Με την Χρήση της A-frame

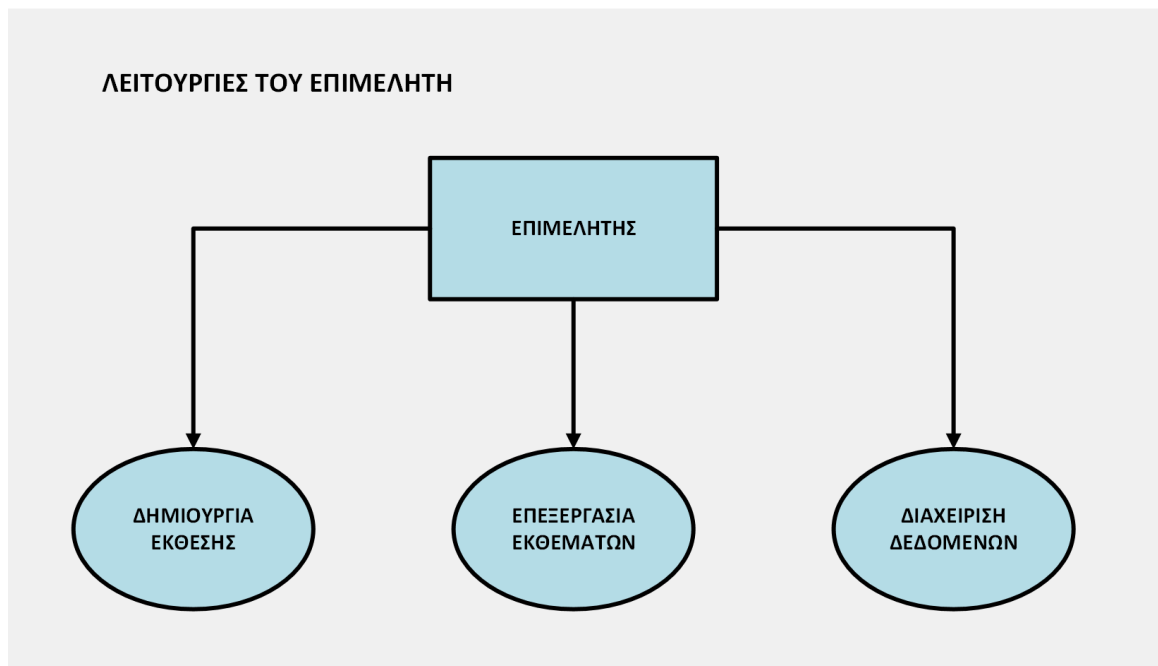
Ο σχεδιασμός και η προπαραγωγή αποτελούν θεμελιώδη στάδια, καθώς διασφαλίζουν την ομαλή μετάβαση μιας ιδέας από τη σύλληψη στην υλοποίησή της. Η οργάνωση και η μεθοδική ανάπτυξη εφαρμογών με αντίστοιχες προδιαγραφές αποτελούν σημαντικοί παράγοντες, ο οποίος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ακόμη και ως απαραίτητη προϋπόθεση για μια ολοκληρωμένη και ελκυστική εμπειρία. Έτσι, στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί και θα περιγραφεί η διαδικασία της δημιουργίας από την αρχική σύλληψη της ιδέας έως και την τελική προσκόμιση αποτελεσμάτων από τις αξιολογήσεις των δοκιμών της εφαρμογής.

2.1 Σχεδιασμός Λειτουργιών στο Παρόν Σύστημα

Η δημιουργία και διαχείριση εκθέσεων στον εικονικό χώρο συνιστά μια πολυσύνθετη διαδικασία που απαιτεί τη συνεργασία πολλαπλών ρόλων και λειτουργιών. Με βάση τις γενικές απαιτήσεις για την επιμέλεια ψηφιακών εκθέσεων, πραγματοποιήθηκε αρχικά ο σχεδιασμός των λειτουργιών που υλοποιήθηκαν στο παρόν σύστημα που θα αναφερθούν παρακάτω.

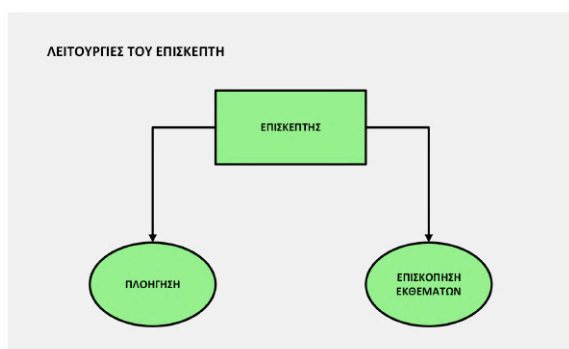
Ο επιμελητής της έκθεσης, ως κεντρική μορφή, διαθέτει τη δυνατότητα δημιουργίας νέων εκθέσεων αξιοποιώντας τα εργαλεία του εικονικού περιβάλλοντος. Ειδικότερα, έχει τη δυνατότητα να προσθέτει τρισδιάστατα εκθέματα στον εικονικό χώρο, επιλέγοντάς τα από μια προκαθορισμένη λίστα διαθέσιμων αντικειμένων. Η τοποθέτηση των εκθεμάτων πραγματοποιείται σε προκαθορισμένες θέσεις, ενώ παράλληλα επιλέγονται οι κατάλληλες βάσεις στήριξης για την ολοκληρωμένη και εύστοχη παρουσίασή τους.

Παράλληλα, ο επιμελητής διαθέτει τη δυνατότητα επεξεργασίας ή διαγραφής εκθεμάτων που έχουν ήδη ενσωματωθεί στον εικονικό χώρο. Επιπλέον, του παρέχεται η δυνατότητα να προσθέτει ή να ενημερώνει τις συνοδευτικές πληροφορίες κάθε εκθέματος, όπως η περιγραφή, το ιστορικό, τα υλικά κατασκευής και τα στοιχεία του καλλιτέχνη. Με αυτόν τον τρόπο, η εμπειρία των επισκεπτών εμπλουτίζεται με πρόσθετο περιεχόμενο, καθιστώντας την περιήγησή τους πιο διαδραστική και εκπαιδευτική.

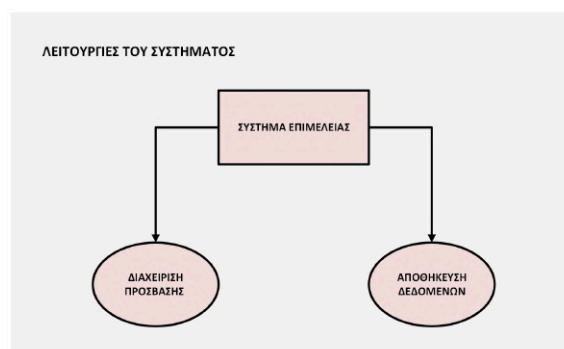


Εικόνα 14α. Λειτουργίες του επιμελητή στην παρούσα πλατφόρμα.

Η προβολή και η πλοήγηση στον εικονικό χώρο πραγματοποιούνται από τους επισκέπτες, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να εξερευνούν τον τρισδιάστατο χώρο και να αλληλεπιδρούν με τα εκθέματα. Μέσα από αυτήν την αλληλεπίδραση, οι επισκέπτες μπορούν να αποκτούν πληροφορίες για κάθε έκθεμα, είτε κάνοντας κλικ είτε προσεγγίζοντας το αντικείμενο.



Εικόνα 14.β Λειτουργίες του επισκέπτη στην παρούσα πλατφόρμα.



Εικόνα 14γ. Λειτουργίες του συστήματος στην παρούσα πλατφόρμα.

Επιπλέον, το σύστημα που υποστηρίζει την έκθεση διαθέτει τη δυνατότητα αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων τόσο για την έκθεση συνολικά όσο και για κάθε έκθεμα ξεχωριστά. Η διαχείριση των χρηστών εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του συστήματος, με τους επιμελητές να διαθέτουν δικαιώματα επεξεργασίας και τους επισκέπτες δικαιώματα προβολής, διασφαλίζοντας έτσι μια σαφή και αποτελεσματική κατανομή ρόλων.

2.2 Τεχνολογίες και Βιβλιοθήκες

Αφού παρουσιάστηκαν οι κύριες λειτουργίες του συστήματος διαχείρισης εκθέσεων στον εικονικό χώρο, είναι απαραίτητο να εμβαθύνουμε στα τεχνολογικά εργαλεία και τις βιβλιοθήκες που επιλέχθηκαν για την υλοποίησή τους. Η χρήση σύγχρονων τεχνολογιών είναι καθοριστική για την επίτευξη των στόχων του συστήματος, όπως η δημιουργία διαδραστικών τρισδιάστατων περιβαλλόντων και η αποδοτική διαχείριση δεδομένων. Στο επόμενο υποκεφάλαιο, θα αναφερθούν οι τεχνολογίες και οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν, όπως η πλατφόρμα A-frame για την ανάπτυξη εμπειριών επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας, καθώς και τα εργαλεία για την αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων, τα οποία επιτρέπουν την απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος.

2.2.1 A-frame

Η **A-frame** είναι ένα ανοικτού κώδικα framework για τη δημιουργία εμπειριών εικονικής πραγματικότητας (VR) και επαυξημένης πραγματικότητας (AR) με χρήση HTML. Αναπτύχθηκε από την Mozilla και βασίζεται στην πλατφόρμα WebXR, επιτρέποντας την εύκολη δημιουργία τρισδιάστατων (3D) περιβαλλόντων που μπορούν να προβληθούν σε οποιοδήποτε σύγχρονο πρόγραμμα περιήγησης. Η A-frame χρησιμοποιεί μια απλή σύνταξη HTML για την ορισμό τρισδιάστατων σκηνών και αντικειμένων, καθιστώντας το προσιτό σε προγραμματιστές με βασικές γνώσεις web development.

Στην πτυχιακή εργασία, η A-frame χρησιμοποιείται για την κατασκευή του εικονικού χώρου της έκθεσης και την προσθήκη των 3D εκθεμάτων. Χρησιμοποιώντας JavaScript, παρέχει επίσης τις βασικές λειτουργίες για την αλληλεπίδραση των χρηστών με τα εκθέματα και την περιήγηση στο χώρο.

Εδώ βρίσκονται μερικές λέξεις κλειδιά με την επεξήγηση τους για καλύτερη κατανόηση του θέματος:

- **Custom component:** Στην A-Frame, ένα custom component είναι ένα προσαρμοσμένο χαρακτηριστικό ή δυνατότητα που δημιουργείται για να προσθέσει νέες λειτουργίες ή να τροποποιήσει υπάρχουσες στον 3D κόσμο.
- **Entity:** Μια "οντότητα" είναι κάθε αντικείμενο στον 3D χώρο της A-Frame, το οποίο μπορεί να έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως θέσεις, σχήματα, ή ακόμα και κινούμενα μέρη.
- **Scene:** Η σκηνή (scene) είναι το σύνολο του 3D χώρου όπου τοποθετούνται και αλληλεπιδρούν οι οντότητες. Εδώ διαμορφώνονται και εμφανίζονται τα αντικείμενα.
- **Assets:** Τα assets είναι τα μέσα που χρησιμοποιούνται στον 3D κόσμο (όπως εικόνες, ήχοι ή 3D μοντέλα). Αυτά φορτώνονται στην A-Frame και χρησιμοποιούνται στις οντότητες.
- **Primitive:** Στην A-Frame, τα primitives είναι βασικά γεωμετρικά σχήματα (όπως κύβοι, σφαίρες και πρίσματα) που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία 3D αντικειμένων.
- **Event listener:** Στην A-Frame (και γενικότερα στον προγραμματισμό), ένα event listener είναι ένας μηχανισμός που "ακούει" για συγκεκριμένες ενέργειες του χρήστη ή άλλες καταστάσεις, όπως κλικ, πλησίασμα ή άλλες αλληλεπιδράσεις. Όταν συμβαίνει το γεγονός, ο event listener εκτελεί μια προκαθορισμένη ενέργεια, όπως να ενεργοποιήσει μία λειτουργία ή να τροποποιήσει την κατάσταση της σκηνής.

2.2.2 Gui-Aframe

Η βιβλιοθήκη **gui-aframe**⁴² επεκτείνει το πλαίσιο A-frame, παρέχοντας γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI) εντός τρισδιάστατων χώρων, συμβάλλοντας στη βελτίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ χρήστη και εικονικού περιβάλλοντος. Η ενσωμάτωσή της στην εφαρμογή προσδίδει μια πιο διαισθητική και ευέλικτη εμπειρία, επιτρέποντας την οπτική και λειτουργική σύνδεση του χρήστη με τα αντικείμενα του χώρου. Αντί να απαιτούνται

⁴² <https://github.com/rdub80/aframe-gui>

σύνθετες εντολές ή διαδικασίες, η χρήση της `gui-aframe` παρέχει ένα απλό, προσβάσιμο περιβάλλον αλληλεπίδρασης, διευκολύνοντας τη ροή εργασιών και μειώνοντας την πολυπλοκότητα των ενεργειών. Ως αποτέλεσμα, ενισχύεται η συνολική χρηστικότητα και αποδοτικότητα του συστήματος.

Παρόλο που η χρήση της **gui-aframe** βελτίωσε σημαντικά την αλληλεπίδραση του χρήστη με τον τρισδιάστατο χώρο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί που έπρεπε να ληφθούν υπόψη κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής. Ένας από αυτούς είναι η περιορισμένη ποικιλία γραμματοσειρών και στοιχείων σχεδίασης, που περιορίζει τις δυνατότητες προσαρμογής της αισθητικής του περιβάλλοντος. Επιπλέον, στο προγραμματιστικό κομμάτι, η βιβλιοθήκη παρέχει συγκεκριμένες επιλογές αλληλεπίδρασης, με αποτέλεσμα να μην είναι πάντα εφικτή η υλοποίηση πιο σύνθετων ή εξατομικευμένων λειτουργιών χωρίς πρόσθετες προσαρμογές και επεμβάσεις στον κώδικα. Αυτοί οι περιορισμοί έθεσαν κάποια όρια στην ευελιξία και στην προσαρμογή του συστήματος στις συγκεκριμένες ανάγκες του έργου.

2.2.3 XAMPP και MySQL

Το **XAMPP** είναι ένα ανοικτού κώδικα λογισμικό που περιλαμβάνει τον Apache server, την MySQL βάση δεδομένων, και εργαλεία όπως το PHP και το Perl, επιτρέποντας τη δημιουργία και διαχείριση ενός τοπικού server για ανάπτυξη εφαρμογών web. Ένας από τους κύριους λόγους χρήσης του XAMPP στην παρούσα εργασία είναι η ανάγκη για την ασφαλή εμφάνιση των textures στις 3D σκηνές που δημιουργούνται στην A-frame. Οι σύγχρονοι φυλλομετρητές (browsers) επιβάλλουν περιορισμούς ασφαλείας, γνωστούς ως **CORS**⁴³ (Cross-Origin Resource Sharing) policy, που εμποδίζουν την απευθείας φόρτωση αρχείων, όπως εικόνες για textures, από το τοπικό σύστημα αρχείων. Χρησιμοποιώντας τον XAMPP, οι χρήστες μπορούν να φιλοξενήσουν τοπικά τα αρχεία τους σε έναν προσομοιωμένο web server, παρακάμπτοντας αυτά τα προβλήματα ασφαλείας και εξασφαλίζοντας την ομαλή φόρτωση όλων των εξωτερικών πηγών.

Επιπλέον, το XAMPP προσφέρει σημαντικές δυνατότητες διαχείρισης και χρήσης βάσεων δεδομένων μέσω της **MySQL**, που είναι ένα σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων (RDBMS⁴⁴). Η MySQL επιτρέπει την αποθήκευση, διαχείριση, και

⁴³ Η πολιτική CORS καθορίζει τους κανόνες με τους οποίους μια ιστοσελίδα που φιλοξενείται σε έναν server μπορεί να επιτρέψει σε έναν άλλο server να έχει πρόσβαση στους πόρους της (π.χ., δεδομένα, εικόνες, API).

⁴⁴ Relational Database Management System

ανάκτηση δεδομένων με έναν οργανωμένο τρόπο, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ανάπτυξη δυναμικών και διαδραστικών web εφαρμογών. Στην παρούσα εργασία, η MySQL χρησιμοποιείται για την αποθήκευση δεδομένων σχετικών με τα εκθέματα και τον ρόλο του χρήστη, επιτρέποντας στους χρήστες να διαχειρίζονται το περιεχόμενο με έναν πιο οργανωμένο και αποδοτικό τρόπο.

Η χρήση της MySQL σε συνδυασμό με η A-frame προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας πλουσιότερων και πιο διαδραστικών 3D σκηνών, με δεδομένα που αποθηκεύονται και ανακτώνται δυναμικά. Δεδομένου ότι η HTML, η κύρια γλώσσα σήμανσης για τη δημιουργία ιστοσελίδων, δεν έχει εγγενή δυνατότητα επικοινωνίας με βάσεις δεδομένων, η σύνδεση μεταξύ MySQL και HTML γίνεται μέσω γλωσσών προγραμματισμού server-side, όπως η PHP ή το Node.js, που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με τις βάσεις δεδομένων και τη δυναμική ενημέρωση του περιεχομένου της ιστοσελίδας.

2.2.4 GitHub Desktop

Το **GitHub Desktop** είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει την εύκολη διαχείριση έργων που χρησιμοποιούν το Git, μια κατανεμημένη πλατφόρμα ελέγχου εκδόσεων. Παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον για την παρακολούθηση αλλαγών στον κώδικα, τη συνεργασία με άλλους προγραμματιστές, και τη διαχείριση των εκδόσεων του έργου.

Στην ανάπτυξη του συστήματος επιμέλειας, το GitHub Desktop χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και διαχείριση του κώδικα της εφαρμογής. Το εργαλείο αυτό επιτρέπει την ομαλή συνεργασία και τη διασφάλιση της ποιότητας του κώδικα, καθώς και τη διατήρηση ιστορικού αλλαγών, διευκολύνοντας την ανάπτυξη και την επίλυση προβλημάτων.

2.3 Αρχιτεκτονική του Συστήματος

Μια αρχική βασική σημείωση είναι ότι η αρχιτεκτονική του συστήματος αυτού βασίζεται στη μετάβαση από μια τοπική διαχείριση μέσω XAMPP σε έναν **απομακρυσμένο server**, όπου η εφαρμογή θα είναι προσβάσιμη στο κοινό διαδικτυακά. Επίσης, η δομή, όσο αφορά την επιμέλεια εκθέσεων στα ψηφιακά περιβάλλοντα αποτελείται από διάφορα βασικά συστατικά που συνεργάζονται για την υποστήριξη των λειτουργιών που περιγράφονται στις

προηγούμενες ενότητες. Κάθε στοιχείο του συστήματος διαδραματίζει έναν ξεχωριστό ρόλο, ενώ η συντονισμένη λειτουργία τους επιτρέπει την ομαλή διαχείριση και προβολή των εκθεμάτων. Τα τεχνολογικά αυτά στοιχεία που απαρτίζουν το σύστημα είναι:

1. Server Hosting

Η εφαρμογή θα φιλοξενείται σε ένα απομακρυσμένο διακομιστή (server). Ο server είναι υπεύθυνος για την πρόσβαση στην εφαρμογή από το κοινό, διασφαλίζοντας τη σταθερότητα και τη συνεχή διαθεσιμότητα της πλατφόρμας. Ο server θα διαχειρίζεται την αλληλεπίδραση των χρηστών με το σύστημα, τη φόρτωση του περιεχομένου και την επικοινωνία με τη βάση δεδομένων. Η μετάβαση στον απομακρυσμένο διακομιστή είναι το τελικό στάδιο της ανάπτυξης, εφόσον οι λειτουργίες εξετάζονται πρώτα σε δίκτυο τοπικού επιπέδου.

2. A-Frame και Χρήση 3D Περιβάλλοντος

Η εφαρμογή αξιοποιεί την πλατφόρμα **A-Frame** για την δημιουργία και διαχείριση του 3D περιβάλλοντος. Οι χρήστες περιηγούνται στον εικονικό χώρο και αλληλεπιδρούν με τα εκθέματα, ενώ οι επιμελητές προσθέτουν ή τροποποιούν τα αντικείμενα στον χώρο μέσω της διεπαφής. Η A-Frame επιτρέπει την άμεση οπτικοποίηση των εκθεμάτων σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία WebGL για την απόδοση των 3D γραφικών στον browser. Επομένως, η A-frame αποτελεί κυρίως τον βασικό πυλώνα του εικονικού περιβάλλοντος κατασκευάζοντας την βασική δομή του, ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιείται η γλώσσα JavaScript για την ανάπτυξη των διαφόρων λειτουργιών του συστήματος. Η JavaScript είναι αναπόσπαστο κομμάτι της εφαρμογής μιας και είναι υπεύθυνη για όλες τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ χρήστη και περιβάλλοντος.

3. JSON Αρχείο και Βάση Δεδομένων

Η διαχείριση δεδομένων των εκθεμάτων γίνεται μέσω ενός **json αρχείου**. Αυτό το αρχείο περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τα εκθέματα, που θα μπορούσε να είναι περιγραφές, καλλιτέχνες, ιστορικά στοιχεία και υλικά. Παρ' όλο που στην τελική έκδοση το αρχείο δεν ανανεώνεται δυναμικά, ο επιμελητής μπορεί να ενημερώνει και να προσθέτει νέα δεδομένα χειροκίνητα στο json, τα οποία το σύστημα διαβάζει για να τοποθετήσει τα εκθέματα στο χώρο. Υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί σχετικά με τις ενέργειες που μπορεί να κάνει ο επιμελητής στο αρχείο

αυτό μιας και κάποια από τα δεδομένα που περιέχει είναι υπεύθυνα για την ομαλή λειτουργία των συναρτήσεων της εφαρμογής.

Παράλληλα με το αρχείο json, το σύστημα διαθέτει μια ξεχωριστή **βάση δεδομένων**, η οποία είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία, αποθήκευση και ανάκτηση βασικών πληροφοριών σχετικά με τις θέσεις των εκθεμάτων στο χώρο και τα δικαιώματα των χρηστών. Η βάση δεδομένων διασφαλίζει ότι κάθε έκθεμα τοποθετείται σωστά στον εικονικό χώρο και διαχειρίζεται τη σύνδεση μεταξύ του επιμελητή και του περιεχομένου. Κάθε φορά που γίνεται προσθήκη ή διαγραφή ενός εκθέματος στην ψηφιακή έκθεση, στέλνονται οι απαραίτητες πληροφορίες στον διακομιστή και γίνεται αντιστοίχιση της θέσης ενδιαφέροντος με την αντίστοιχη επιλογή του χρήστη. Για παράδειγμα, στη θέση ενδιαφέροντος με χαρακτηριστικό όνομα id="1" έχει τοποθετηθεί το έκθεμα με χαρακτηριστικό όνομα id="5". Έτσι, ολοκληρώνεται μια σύνδεση μεταξύ της επιλεγμένης θέσης μαζί με το έκθεμα που περιλαμβάνει. Αντίστοιχα, αφού έχει γίνει αποθηκευτεί η σύνδεση αυτή, με τον ίδιο τρόπο ανακτώνται τα δεδομένα και ξανά εμφανίζονται στο χώρο ακριβώς όπως έχουν αντιστοιχηθεί από τον επιμελητή.

4. Διεπαφή Χρήστη (GUI - Graphical User Interface)

Το σύστημα περιλαμβάνει μια **διεπαφή χρήστη**, μέσω της οποίας οι χρήστες - επιμελητές μπορούν να προσθέτουν, να επεξεργάζονται και να αφαιρούν εκθέματα από τη υπάρχουσα λίστα. Αντιθέτως, οι χρήστες-επισκέπτες έχουν έναν περιορισμένο ρόλο, όπου μπορούν να περιηγηθούν στον εικονικό χώρο, να αλληλεπιδράσουν με τα εκθέματα και να διαβάσουν τις πληροφορίες που παρέχονται.

5. Διαχείριση Ρόλων Χρηστών - Log in Page

Υπάρχει λειτουργία για τη **διαχείριση των διαφορετικών ρόλων των χρηστών**. Οι επιμελητές έχουν πλήρη πρόσβαση και δυνατότητες επεξεργασίας των εκθεμάτων και των δεδομένων τους, ενώ οι επισκέπτες έχουν πρόσβαση μόνο για προβολή και αλληλεπίδραση με τα εκθέματα χωρίς δικαιώματα τροποποίησης. Για την ολοκληρωμένη πρόσβαση στην ιστοσελίδα, έχει δημιουργηθεί μια αρχική σελίδα (**index.php**) όπου απαιτεί την σύνδεση χρήστη (**admin ή user**). Έτσι, γίνεται η ανάθεση των ρόλων στους χρήστες σε επιμελητές και σε επισκέπτες, προσδίδοντας τις αντίστοιχες λειτουργίες στην εικονική αυτή έκθεση.

Αυτή η αρχιτεκτονική παρέχει τη βάση για μια ευέλικτη και λειτουργική εφαρμογή που μπορεί να φιλοξενεί ψηφιακές εκθέσεις και να υποστηρίζει την επιμελητική εργασία, διασφαλίζοντας την απρόσκοπτη εμπειρία χρήστη και επιμελητή.

2.4 Σχεδιασμός Διεπαφή και Εμπειρία Χρήστη (UI & UX)

2.4.1 Σχεδίαση Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη (UI)

Η σχεδίαση του γραφικού περιβάλλοντος χρήστη ή αλλιώς διεπαφή χρήστη ακολουθεί τις αρχές του **minimal design**, δίνοντας έμφαση στη σαφήνεια, την απλότητα και την ομαλή αλληλεπίδραση. Καθώς μιλάμε για μια εφαρμογή με προδιαγραφές για τρισδιάστατα περιβάλλοντα, τα βασικά στοιχεία που συγκροτούν το UI είναι:

1. Μενού Επιλογών (Selection Menu):

Το μενού επιλογών εμφανίζεται όταν ο επιμελητής αλληλεπιδράσει με την θέση ενδιαφέροντος, παρέχοντας εύκολη πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες. Για τους επιμελητές, το μενού περιέχει επιλογές για τη διαχείριση των εκθεμάτων, όπως προσθήκη και διαγραφή. Η μετακίνηση των εκθεμάτων γίνεται με την προσθήκη του εκθέματος σε ένα σημείο ενδιαφέροντος και συγχρόνως με την αφαίρεση του από το προηγούμενο.

2. Αναδυόμενα Παράθυρα Πληροφοριών (Information Pop-ups):

Όταν οι χρήστες αλληλεπιδρούν με τα εκθέματα, εμφανίζονται πληροφορίες σε αναδυόμενα παράθυρα με σαφήνεια και ευανάγνωστη μορφή. Αυτά τα παράθυρα έχουν **minimal** σχεδιασμό και προσφέρουν εύκολη πρόσβαση στις πληροφορίες που σχετίζονται με το έκθεμα. Για τους επισκέπτες αυτή είναι η κύρια αλληλεπίδραση μεταξύ χρήστη-μηχανής που μπορούν να έχουν, ενώ στην περίπτωση του επιμελητή υπάρχει μια πιο διευρυμένη εφαρμογή με επιπρόσθετες λειτουργίες.

3. Χρωματική Παλέτα και Τυπογραφία:

Η χρωματική παλέτα του συστήματος ακολουθεί μια διακριτική και ουδέτερη προσέγγιση, με απαλούς τόνους που αναδεικνύουν το περιεχόμενο χωρίς να αποσπούν την προσοχή.

2.4.2 Εμπειρία Χρήστη (UX)

Η εμπειρία χρήστη στο σύστημα αυτό είναι σχεδιασμένη ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο **φιλική και διαισθητική**, τόσο για τους επιμελητές όσο και για τους επισκέπτες.

- **Επισκέπτες:**

Οι επισκέπτες, οι οποίοι αλληλεπιδρούν κυρίως με τα 3D εκθέματα, έχουν την **ελευθερία της περιήγησης** στον εικονικό χώρο, όπου μπορούν να εξετάσουν τα εκθέματα από διάφορες γωνίες. Η απλότητα στη χρήση είναι σημαντική, ώστε να μπορούν όλοι οι χρήστες, ανεξαρτήτως εμπειρίας με τις ψηφιακές τεχνολογίες, να κινούνται εύκολα στον χώρο και να αναζητούν πληροφορίες για τα εκθέματα. Η πλοήγηση στον χώρο γίνεται με τα βασικά εργαλεία πλοήγησης (π.χ. πληκτρολόγιο ή ποντίκι για επιτραπέζιους υπολογιστές και λάπτοπ), ενώ η αλληλεπίδραση με τα εκθέματα επιτυγχάνεται μέσω **κλικ** όταν ο χρήστης πλησιάζει κάποιο έκθεμα. Σε περιπτώσεις AR, οι λειτουργίες πλοήγησης είναι παρόμοιες, με την μόνη διαφορά ότι ο χρήστης κινείται κανονικά στο χώρο όπως θα έκανε και σε μια φυσική έκθεση και συμπληρωματικά η λειτουργία κλικ αλλάζει και μετατρέπεται σε **gaze**, όπου η επιλογή των αντικειμένων γίνεται όταν ο χρήστης κοιτάζει στο ίδιο σημείο για μερικά δευτερόλεπτα.

Όταν ο χρήστης επιλέξει ένα έκθεμα, εμφανίζονται **πληροφορίες σε αναδυόμενα παράθυρα (pop-ups)**, παρέχοντας την απαραίτητη γνώση για το αντικείμενο, όπως την περιγραφή του, τον δημιουργό, τα υλικά και πιθανών άλλες χρήσιμες πληροφορίες όπως για παράδειγμα την ιστορική του σημασία. Αυτή η απλή προσέγγιση βοηθά τον χρήστη να αισθάνεται άνετα και να επικεντρώνεται στο περιεχόμενο χωρίς να αποσπάται από περίπλοκες διεργασίες.

- **Επιμελητές:**

Η εμπειρία χρήστη των επιμελητών επικεντρώνεται στην **διαχείριση και τροποποίηση των εκθεμάτων**. Οι επιμελητές έχουν πρόσβαση σε ένα **διευρυμένο UI**, μέσω του οποίου μπορούν να προσθέτουν νέα εκθέματα στο χώρο και αντίστοιχα να τα αφαιρούν, να τα τοποθετούν στις κατάλληλες θέσεις και να ενημερώνουν τις πληροφορίες τους (η ενημέρωση των πληροφοριών γίνεται στο json αρχείο και όχι μέσω της σελίδας στο διαδίκτυο, όπως προαναφέρθηκε παραπάνω). Η διεπαφή σχεδιάζεται έτσι ώστε να

διευκολύνει τις γρήγορες αλλαγές, ενώ παράλληλα προσφέρει οπτική ανατροφοδότηση σχετικά με τις θέσεις και την διάταξη των εκθεμάτων στον χώρο.

Η όλη διαδικασία είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε να **μειώνεται η πολυπλοκότητα** των λειτουργιών, με στόχο να καταστεί η επιμέλεια πιο ευέλικτη και άμεση. Ο επιμελητής έχει τη δυνατότητα να βλέπει σε πραγματικό χρόνο τις αλλαγές που πραγματοποιεί, καθιστώντας την εμπειρία πιο άμεση και διαδραστική.

2.5 Από τον Σχεδιασμό στην Υλοποίηση

Η υλοποίηση της εφαρμογής επιμέλειας ψηφιακών εκθέσεων αποτελεί ένα κρίσιμο στάδιο της ανάπτυξης του συστήματος, όπου όλες οι σχεδιαστικές και λειτουργικές απαιτήσεις μεταφράζονται σε κώδικα και λειτουργικές μονάδες. Η ανάπτυξη της ήταν μια διαδικασία που περιλάμβανε διάφορα στάδια πειραματισμού και βελτιστοποίησης. Στόχος ήταν η δημιουργία ενός λειτουργικού και αισθητικά ευχάριστου περιβάλλοντος που θα επέτρεπε τόσο στους επιμελητές όσο και στους επισκέπτες να αλληλεπιδρούν αποτελεσματικά με τα εκθέματα. Το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε με γνώμονα την ευχρηστία, την απλότητα και τη διασφάλιση της λειτουργικότητας τόσο για τους επιμελητές όσο και για τους επισκέπτες. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύει τις τεχνικές πτυχές της υλοποίησης, συμπεριλαμβανομένων των γλωσσών προγραμματισμού, των τεχνολογιών και την επεξήγηση των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν.

2.6 Ρύθμιση του Περιβάλλοντος Ανάπτυξης

Η διαδικασία ρύθμισης του περιβάλλοντος ανάπτυξης περιελάμβανε την εγκατάσταση και παραμετροποίηση του **XAMPP** για την τοπική φιλοξενία της εφαρμογής κατά τα αρχικά στάδια, καθώς και τη χρήση του **GitHub Desktop** για τη διαχείριση των εκδόσεων του κώδικα.

Για την εγκατάσταση του XAMPP, ο χρήστης πρέπει να κατεβάσει και να εγκαταστήσει την εφαρμογή, η οποία παρέχει έναν τοπικό web server με Apache, PHP και MySQL. Μετά την εγκατάσταση, ακολουθούν βήματα για την παραμετροποίηση των

σχετικών αρχείων και τη ρύθμιση των virtual hosts, ώστε να μπορεί η εφαρμογή να τρέχει τοπικά.

Παράλληλα με την ανάπτυξη, χρησιμοποιήθηκε το GitHub Desktop για τον έλεγχο έκδοσης του κώδικα, διασφαλίζοντας τη σωστή διαχείριση των αρχείων και των αλλαγών που γίνονταν. Η διαδικασία ανάπτυξης έγινε με διαδοχικά στάδια, όπου δημιουργήθηκαν διαφορετικά branches για να παρακολουθείται η πρόοδος και να εφαρμόζονται νέες λειτουργίες ή βελτιώσεις χωρίς να επηρεάζεται το κύριο branch του project. Κάθε branch αντιπροσώπευε ένα διαφορετικό στάδιο ανάπτυξης, από την αρχική δοκιμαστική έκδοση μέχρι την τελική, σταθερή έκδοση που χρησιμοποιείται σήμερα.

Η μετάβαση από το τοπικό περιβάλλον σε έναν πραγματικό διακομιστή είναι το τελευταίο βήμα για την ολοκλήρωση της ρύθμισης του περιβάλλοντος ανάπτυξης, ώστε η εφαρμογή να είναι προσβάσιμη από το κοινό και να μη βασίζεται πλέον στο XAMPP. Η δημοσίευση της εφαρμογής στο διαδίκτυο θα γίνει μέσω ενός hosting server, επιτρέποντας την πρόσβαση σε πραγματικές συνθήκες χρήσης.

Για την συγγραφή και επεξεργασία του κώδικα επιλέχθηκε ο **Sublime Text 3** editor κειμένου. Ο λόγος ήταν κυρίως αισθητικός στις προσωπικές μου προτιμήσεις και θα μπορούσε πρακτικά να γίνει η επεξεργασία σε οποιονδήποτε άλλο αντίστοιχο text editor.

2.7 Περιήγηση και Διάδραση Χρήστη

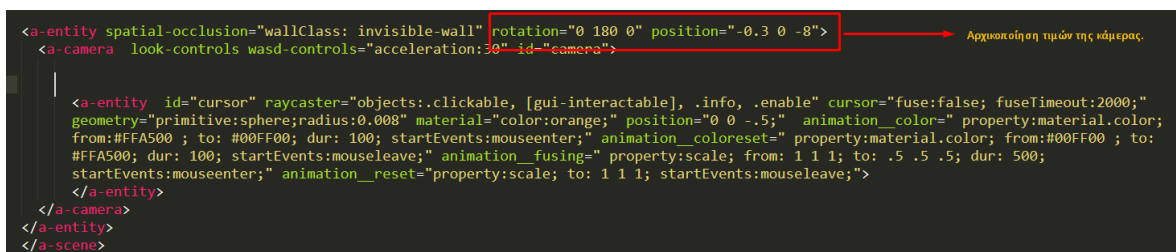
Η **κάμερα** σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον παίζει έναν κρίσιμο ρόλο, καθώς αντιπροσωπεύει το σημείο θέασης του χρήστη στον εικονικό κόσμο. Στην περίπτωση της **A-frame**, η κάμερα ορίζεται ως μια οντότητα (**<a-camera>**) μέσα στον τρισδιάστατο χώρο, που επιτρέπει την περιήγηση και την παρακολούθηση των αντικειμένων που περιλαμβάνονται στην εικονική σκηνή.

Τοποθέτηση και Περιστροφή

Βλέποντας την *Εικόνα 15* η οντότητα (**<a-entity>**) που περιέχει την κάμερα, αρχικά τοποθετείται με συγκεκριμένη **θέση** και **περιστροφή**:

- Η **θέση** (**position="-0.3 0 -8"**) τοποθετεί την κάμερα ελαφρώς μετατοπισμένη στον άξονα X και σε απόσταση από τα εκθέματα στον άξονα Z.
- Η **περιστροφή** (**rotation="0 180 0"**) γυρίζει την κάμερα κατά 180 μοίρες στον κατακόρυφο άξονα, κάτι που σημαίνει ότι η κάμερα κοιτάζει προς την αντίθετη κατεύθυνση από την αρχική.

Αυτή η αρχικοποίηση των τιμών θέσης και περιστροφής γίνεται για να οριστεί η αφετηρία των χρηστών σε σχέση με τον φυσικό κόσμο, όταν χρησιμοποιούν την AR λειτουργία. Έτσι, υπάρχει μια συγκεκριμένη εκκίνηση για όλους τους χρήστες.



```
<a-entity spatial-occlusion="wallClass: invisible-wall" rotation="0 180 0" position="-0.3 0 -8">
  <a-camera look-controls wasd-controls="acceleration:30" id="camera">

    <a-entity id="cursor" raycaster="objects:.clickable, [gui-interactable], .info, .enable" cursor="fuse:false; fuseTimeout:2000;"
      geometry="primitive:sphere;radius:0.008" material="color:orange;" position="0 0 -.5;" animation_color=" property:material.color;
      from:#FFA500 ; to: #00FF00; dur: 100; startEvents:mouseenter;" animation_coloreset=" property:material.color; from:#00FF00 ; to:
      #FFA500; dur: 100; startEvents:mouseleave;" animation_fusing=" property:scale; from: 1 1 1; to: .5 .5 .5; dur: 500;
      startEvents:mouseenter;" animation_reset="property:scale; to: 1 1 1; startEvents:mouseleave;">
    </a-entity>
  </a-camera>
</a-entity>
</a-scene>
```

Εικόνα 15. Αρχικοποίηση τιμών για την κάμερα της σκηνής.

Χειρισμός Κάμερας και Κίνηση

Η **κάμερα** συνοδεύεται από το χαρακτηριστικό **wasd-controls**, το οποίο ενεργοποιεί την κίνηση μέσα στον χώρο χρησιμοποιώντας τα πλήκτρα WASD, κοινό μοτίβο σε πολλές εφαρμογές 3D και παιχνίδια:

- Η παράμετρος **acceleration="30"** αυξάνει την ταχύτητα κίνησης, παρέχοντας μια πιο ομαλή και γρήγορη περιήγηση στον χρήστη καθώς κινείται στον τρισδιάστατο χώρο.

Χρήση Κέρσورا και Αλληλεπίδραση

Για να επιτευχθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη, του περιβάλλοντος και των αντικειμένων, ήταν απαραίτητη η ανάπτυξη ενός εργαλείου επιλογής. Δημιουργήθηκε ένας **κέρσορας**, ο οποίος εμφανίζεται ως μια κίτρινη σφαίρα στο κέντρο της οθόνης,

αντιπροσωπεύοντας το σημείο εστίασης του χρήστη. Όταν ο κέρσορας εστιάζει σε διαδραστικά στοιχεία του χώρου, ενεργοποιείται ένα **animation**: η σφαίρα αλλάζει χρώμα σε πράσινο και συρρικνώνεται σταδιακά, υποδηλώνοντας τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης. Εάν ο χρήστης απομακρύνει το βλέμμα του, ο κέρσορας επανέρχεται στην αρχική του μορφή.

Αυτή η λειτουργία ενισχύει την αίσθηση της εμπύθισης και προσφέρει μια διαισθητική μέθοδο αλληλεπίδρασης, ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας όπου η χρήση ποντικιού ή πληκτρολογίου δεν είναι πρακτική.

Πρακτικά λοιπόν, στο εσωτερικό της κάμερας τοποθετείται ένας **κέρσορας** (`<a-entity id="cursor">`), που λειτουργεί ως δείκτης στο χώρο:

- Ο **raycaster** επιτρέπει στον κέρσορα να εντοπίζει και να αλληλεπιδρά με αντικείμενα που έχουν την κλάση **.clickable** ή άλλα χαρακτηριστικά (π.χ., **gui-interactable**, **.info**), επιτρέποντας έτσι την επιλογή και αλληλεπίδραση με αυτά.
- Το **cursor** στις περιπτώσεις AR λειτουργίας του συστήματος, είναι διαμορφωμένο ώστε να χρησιμοποιεί τη λειτουργία "fuse" (συγχώνευσης), κάτι που σημαίνει ότι ενεργοποιείται αυτόματα μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα χωρίς χειρισμό του χρήστη, ενώ το **fuseTimeout** καθορίζει τον χρόνο αδράνειας πριν ολοκληρωθεί μια ενέργεια.

Οπτικές Επιδράσεις και Κινήσεις

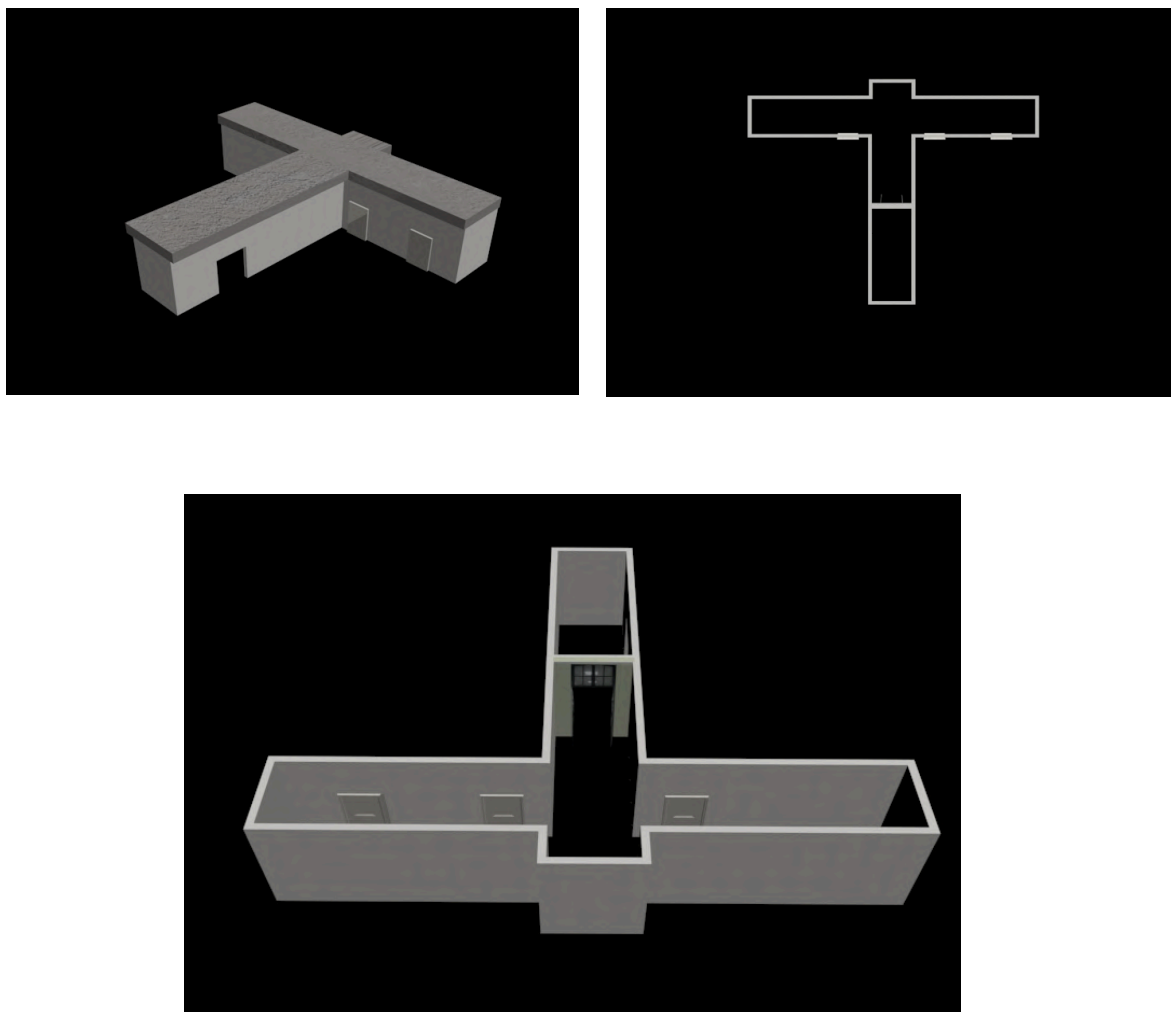
Η εμφάνιση και η συμπεριφορά του κέρσορα τροποποιείται δυναμικά μέσω **animations**:

- Η αλλαγή του **χρώματος** της σφαίρας του κέρσορα από πορτοκαλί σε πράσινο και αντίστροφα γίνεται με την είσοδο και την έξοδο του δείκτη πάνω σε αλληλεπιδράσιμα αντικείμενα.
- Παράλληλα, η **κλίμακα** της σφαίρας μειώνεται όταν ο κέρσορας "κλειδώνει" πάνω σε ένα αντικείμενο και επανέρχεται όταν ο χρήστης απομακρύνεται, προσφέροντας μια οπτική ανατροφοδότηση για την ενεργοποίηση των αλληλεπιδράσεων.

2.8 Επιλογή Φυσικού Χώρου και η Μετάβαση στο Ψηφιακό

Με σκοπό να βρεθεί μια γρήγορη και εύκολη λύση για την τοποθέτηση της συγκεκριμένης ψηφιακής έκθεσης αποφασίστηκε να αξιοποιηθεί το κτίριο της γραμματείας του τμήματος Τεχνών Ήχου και Εικόνας, μιας και προϋπήρχε σε ψηφιοποιημένη μορφή ένα μέρος των διαδρόμων του κτιρίου. Με την βοήθεια του επιβλέποντα καθηγητή (κ. Κομιανού) και την χορήγηση ενός τρισδιάστατου μοντέλου του χώρου, σε αναλογίες διαστάσεων ίδιες με τον πραγματικό, έγινε η εισαγωγή του στην A-Frame. Ο χώρος αυτός ήταν ιδανικός για την σχεδίαση του πρότζεκτ διότι αποτελείται από δύο διαφορετικούς διαδρόμους που σχηματίζουν το γράμμα “Γ”, με αποτέλεσμα να είναι επαρκής για τα ζητούμενα της διπλωματικής εργασίας και φυσικά βοήθησε το γεγονός ότι ήταν άμεσα διαθέσιμος για οποιαδήποτε μελέτη, μέτρηση ή δοκιμή.

Αφού ενσωματώθηκε το μοντέλο του κτιρίου στην A-frame, έγιναν οι απαιτούμενες επεμβάσεις ώστε να βελτιωθεί η αισθητική του χώρου. Κατασκευάστηκαν οι απαραίτητοι τοίχοι, οι πόρτες και προστέθηκαν κάποιοι φωτισμοί ώστε να αναδείξουν τις υφές των τρισδιάστατων υλικών και να εμπλουτίσουν τον χώρο συνολικά.



Εικόνα 16. 3d μοντέλο του φυσικού χώρου για την ολοκλήρωση της ψηφιακής έκθεσης.

2.9 Θέσεις Ενδιαφέροντος για την Επιλογή Εκθεμάτων

Στην παρούσα εφαρμογή, το **Grid Manager** διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην οργάνωση και διαχείριση των θέσεων ενδιαφέροντος μέσα στον τρισδιάστατο χώρο, προσφέροντας στον επιμελητή τη δυνατότητα τοποθέτησης και διαμόρφωσης των εκθεμάτων. Το Grid Manager είναι ένα **custom component** που κατασκευάστηκε ειδικά για την εφαρμογή, επιτρέποντας τη δυναμική διαχείριση των **tiles** σε συγκεκριμένες περιοχές της σκηνής, οι οποίες είναι προκαθορισμένες και διαδραστικές.

Κατασκευή και Δομή του Grid Manager

Η ανάπτυξη του Grid Manager βασίζεται στη λογική ενός δικτύου από "κελιά" ή **tiles** που καταλαμβάνουν συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος μέσα στη σκηνή. Κάθε tile φέρει τη δική του ταξινόμηση και ρόλο μέσω της κλάσης του, η οποία δηλώνεται ως **floor** ή **wall**, αντιπροσωπεύοντας τα αντίστοιχα μέρη του χώρου όπου ο επιμελητής μπορεί να τοποθετήσει τα εκθέματα. Αυτή η διαφοροποίηση στις κλάσεις των tiles επιτρέπει την αυτόματη αναγνώριση του είδους του σημείου ενδιαφέροντος και προσαρμόζει τις δυνατότητες του χρήστη αναλόγως, δηλαδή για επιλογή βάσης στήριξης ή για επιλογή εκθέματος. Η δομή του περιλαμβάνει τη χρήση **event listeners**, οι οποίοι παρακολουθούν τις ενέργειες του χρήστη – όπως το πάτημα κλικ και ενεργοποιούν την κατάλληλη ενέργεια με βάση την κατηγορία του tile.

Λειτουργικότητα και Ευκολίες του Grid Manager

Η βασική λειτουργία του Grid Manager επικεντρώνεται στην ευελιξία που παρέχει για την τοποθέτηση των εκθεμάτων με βάση τη θέση και το είδος κάθε tile, εξασφαλίζοντας έτσι την τάξη και οργάνωση των εκθεμάτων. Ειδικότερα, όταν ο χρήστης επιλέξει ένα tile με την κλάση **floor**, το Grid Manager επιτρέπει την επιλογή και προσαρμογή της βάσης στήριξης, με τη δυνατότητα τροποποίησης χαρακτηριστικών όπως το ύψος της βάσης, ώστε να προσαρμόζεται στο έκθεμα που θα φιλοξενήσει. Αντίστοιχα, όταν επιλέγεται tile με την κλάση **wall**, το Grid Manager παρέχει τη δυνατότητα τοποθέτησης ή αντικατάστασης του εκθέματος, με τρόπο που εξασφαλίζει την προβολή και αισθητική αρτιότητα στο επιλεγμένο σημείο.

Αξιοποιώντας την απλότητα και την ευελιξία που προσφέρει το συγκεκριμένο component, η διεπαφή με τα tiles καθίσταται περισσότερο **φιλική και προσανατολισμένη στη ροή εργασίας** του επιμελητή. Η αυτοματοποιημένη αναγνώριση του είδους του κάθε tile περιορίζει τα περιθώρια σφαλμάτων και επιταχύνει τη διαδικασία επιλογής και τοποθέτησης εκθεμάτων. Αυτή η δομή του Grid Manager προσφέρει σημαντικές ευκολίες στον επιμελητή, καθώς εξασφαλίζει ότι κάθε επιλογή γίνεται με τον κατάλληλο τρόπο, παρέχοντας επίσης οπτική ανατροφοδότηση και καθοδήγηση σε κάθε βήμα της διαδικασίας.

Πλεονεκτήματα Χρήσης Grid Manager στην Εφαρμογή

Σε σύγκριση με παραδοσιακές εφαρμογές τρισδιάστατης μοντελοποίησης, το Grid Manager, μέσω της δυνατότητας διάδρασης με προκαθορισμένα tiles, παρέχει μία προσέγγιση πιο καθοδηγούμενη και πιο εύκολη στην πρόσβαση. Ειδικά για εφαρμογές επιμέλειας εκθεμάτων, όπου η ανάγκη για ακριβή τοποθέτηση είναι υψηλή, το συγκεκριμένο component απλοποιεί τις διαδικασίες, μειώνοντας την ανάγκη για περίπλοκες παραμετροποιήσεις και εντολές. Με το Grid Manager, κάθε θέση ενδιαφέροντος είναι άμεσα διαθέσιμη και αναγνωρίσιμη, επιτρέποντας στον επιμελητή να παραμείνει συγκεντρωμένος στην αισθητική και στην πληροφοριακή πληρότητα των εκθεμάτων, χωρίς να επωμίζεται τεχνικές διαδικασίες.

Συνοψίζοντας, το Grid Manager αναδεικνύεται σε κρίσιμο εργαλείο για τη διαχείριση του χώρου και των εκθεμάτων, παρέχοντας την απαιτούμενη διαδραστικότητα και ευκολία χρήσης σε μία σύγχρονη εφαρμογή επιμέλειας εκθέσεων.

Συμπληρωματικά, αυτό το component είναι υπεύθυνο για:

- **Δημιουργία Πλέγματος Θέσεων:** Καθορίζει τις θέσεις ενδιαφέροντος στον τρισδιάστατο χώρο, όπου μπορούν να τοποθετηθούν εκθέματα. Το πλέγμα αυτό μπορεί να προσαρμοστεί όσον αφορά το μέγεθος, το κενό μεταξύ των θέσεων και τον αριθμό των σειρών και στηλών. Επίσης, χρησιμοποιεί παραμέτρους όπως το μέγεθος των θέσεων, το κενό μεταξύ τους, καθώς και πληροφορίες για την τοποθέτηση και περιστροφή τους στον χώρο.
- **Διαχείριση Αλληλεπίδρασης:** Επιτρέπει την επιλογή μιας θέσης από τον επιμελητή και εμφανίζει τα αντίστοιχα μενού για την επιλογή εκθεμάτων ή βάσεων. Η αλληλεπίδραση με τις θέσεις ενεργοποιεί οπτικές ενδείξεις, όπως αλλαγή χρώματος, για να διευκολύνει τον χρήστη.
- **Δυνατότητα Εναλλαγής Ορατότητας:** Παρέχει τη δυνατότητα ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης της ορατότητας των θέσεων με το πάτημα ενός πλήκτρου, καθιστώντας το περιβάλλον πιο καθαρό κατά την περιήγηση.

Εν κατακλείδι, το component "**grid-manager**" κρίθηκε ιδιαίτερα σημαντικό για την επιτυχία της εφαρμογής μιας και παρέχει ευελιξία στις δυνατότητες των επιμελητών κρατώντας πάντα ένα μινιμαλιστικό προφίλ με σκοπό την απλότητα αλλά ταυτόχρονα και

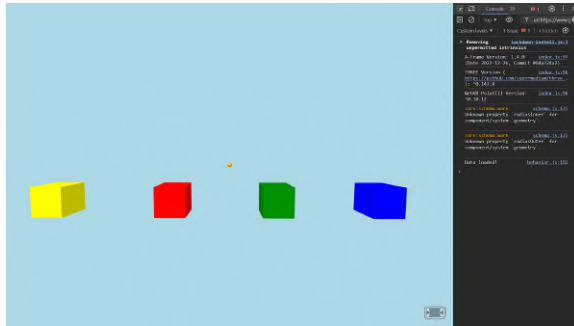
την αποδοτικότητα. Μέσω αυτής της ευελιξίας, ο επιμελητής μπορεί να διαμορφώσει τον εκθεσιακό χώρο ανάλογα με τις ανάγκες της έκθεσης.



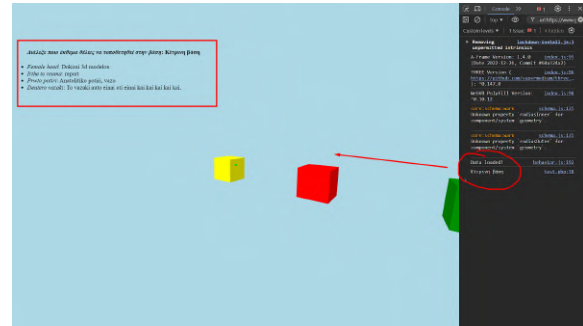
Εικόνα 17. Inspector και θέσεις ενδιαφέροντος/Grid Manager.

2.10 Δοκιμές Διεπαφών Χρήστη για το Μενού και η Τελική Μορφή του

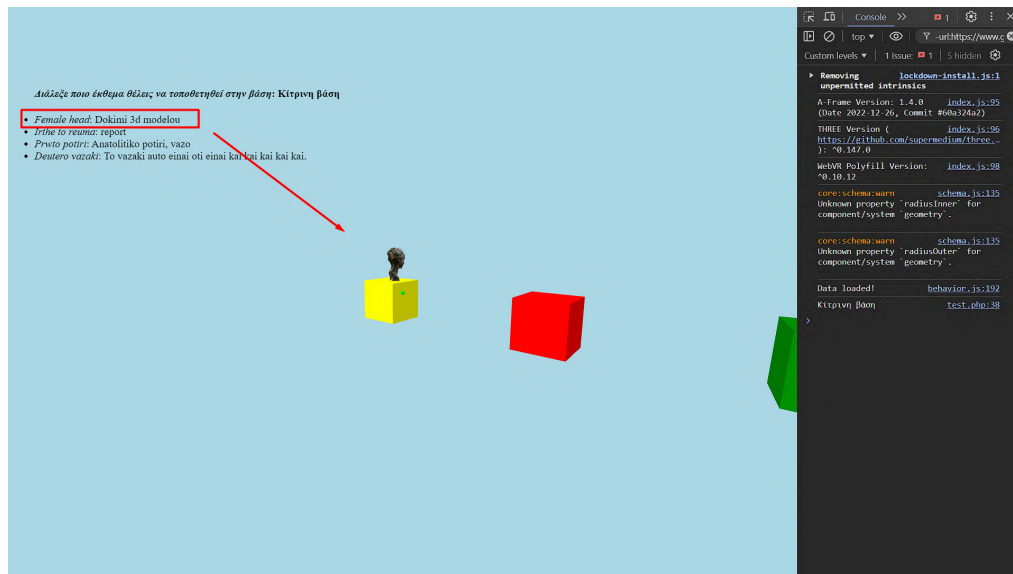
Οι αρχικές δοκιμές επικεντρώθηκαν στη δημιουργία ενός γραφικού περιβάλλοντος χρήστη για υπολογιστές, χρησιμοποιώντας τρισδιάστατα στοιχεία εντός της σκηνής του A-Frame. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με τέσσερις διαφορετικούς κύβους στη σκηνή, οι οποίοι αναπαριστούσαν τις μελλοντικές βάσεις των εκθεμάτων και έχοντας ο καθένας ένα μοναδικό αναγνωριστικόid (Εικόνα 18α). Δημιουργήθηκε ένα προσαρμοσμένο custom component, το "show-list", το οποίο εφαρμόστηκε σε όλους τους κύβους. Αυτό το custom component ήταν υπεύθυνο για την εμφάνιση της λίστας των εκθεμάτων, δηλαδή του μενού, από το οποίο ο επιμελητής μπορεί να επιλέξει το εκάστοτε έκθεμα. Αναπτύχθηκαν και εξετάστηκαν και οι δύο προσεγγίσεις του μενού επιλογών, αυτή της δισδιάστατης και αυτή τρισδιάστατης μορφής, ώστε να αποφασιστεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.



Εικόνα 18α. Κύβοι για την αναπαράσταση βάσεων.



Εικόνα 18β. Επιλογή κύβου και εμφάνιση λίστας εκθεμάτων



Εικόνα 18γ. Επιλογή εκθέματος και εισαγωγή στην σκηνή.

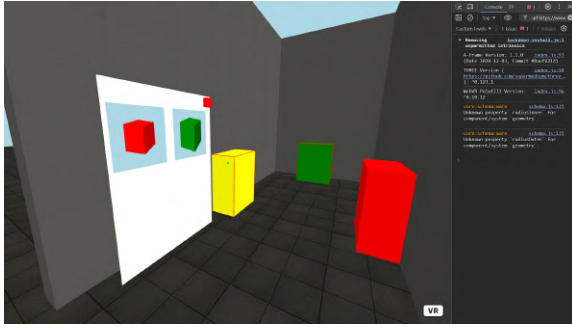
Στην πρώτη περίπτωση με την δισδιάστατη μορφή, εξετάστηκε η ανάπτυξη του μενού σε μορφή λίστας html, εμφανίζοντας την πάνω στην οθόνη της κάθε συσκευής και όχι εντός του τρισδιάστατου χώρου. Η νέα προσέγγιση στόχευε στη δημιουργία μιας διεπαφής που να μοιάζει περισσότερο με ιστοσελίδα, χρησιμοποιώντας στοιχεία όπως *div* και *ul*. Ενώ αρχικά φαινόταν μια καλή επιλογή, όταν η λίστα των εκθεμάτων μεγάλωσε σε πλήθος και αυξήθηκε ο αριθμός των εκθεμάτων, παρουσιάστηκαν δυσκολίες στην εμφάνιση. Μόλις ο χρήστης αλληλεπιδρούσε με τους κύβους του χώρου για να εμφανίσει την λίστα, αυτή κάλυπτε μεγάλο μέρος της οθόνης, έχοντας αισθητικά ένα κακό αποτέλεσμα. Ταυτόχρονα, στις κινητές συσκευές καλυπτόταν το μεγαλύτερο μέρος της οθόνης, δυσκολεύοντας την χρήση

της εφαρμογής. Αν και η συγκεκριμένη προσέγγιση παρείχε τη βασική λειτουργικότητα, η αισθητική της διεπαφής δεν ικανοποιούσε τις απαιτήσεις ευχρηστίας και οπτικής ποιότητας που κρίνονταν απαραίτητες για την τελική εφαρμογή. Επιπλέον, παρουσιάστηκαν προβλήματα με την προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές συσκευές, ιδιαίτερα σε κινητά τηλέφωνα, οπότε και απορρίφθηκε.

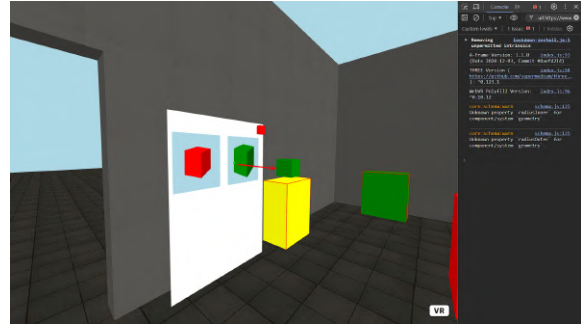


Εικόνα 19. Λίστα εκθεμάτων με την μορφή λίστας εντός της σκηνής.

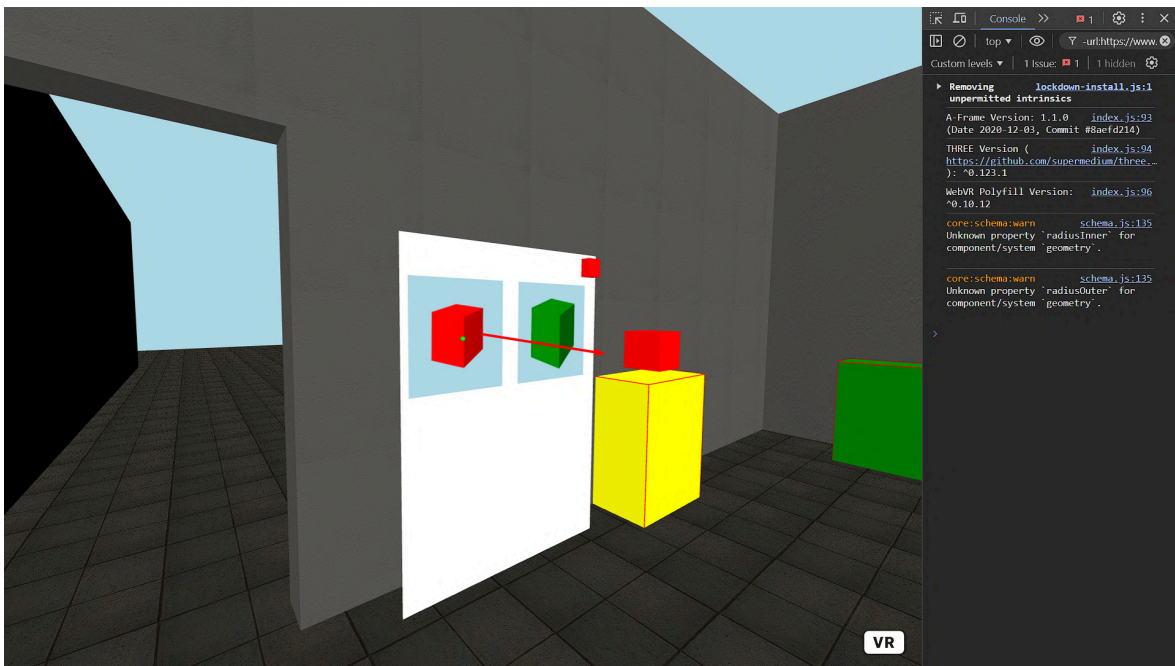
Στη δεύτερη περίπτωση, που αφορά τα τρισδιάστατα γραφικά μενού, το αρχικό σχέδιο υλοποιήθηκε με τη χρήση μιας τρισδιάστατης επιφάνειας στον χώρο, η οποία λειτουργούσε ως σελίδα χαρτιού (a-plane). Στο εσωτερικό αυτής της επιφάνειας παρατάσσονταν εικόνες (thumbnails) των εκθεμάτων (Εικόνα 20α) ενώ με την επιλογή κάθε εικόνας το αντίστοιχο έκθεμα εμφανιζόταν τοποθετημένο πάνω στη βάση του. Παρότι η προσέγγιση αυτή παρείχε έναν βαθμό λειτουργικότητας, δεν ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις αισθητικής που είχαν τεθεί.



Εικόνα 20α. Τρισδιάστατη μορφή λίστας για την επιλογή των αντικειμένων.



Εικόνα 20β. Hover mouse για την εμφάνιση εκθεμάτων πάνω στην βάση.



Εικόνα 20γ. Επιλογή επόμενου εκθέματος με τον ίδιο τρόπο.

Τελικά, αντιλαμβανόμενοι τους περιορισμούς της διςδιάστατης προσέγγισης, αποφασίστηκε η επιλογή μιας διεπαφής εντός της τρισδιάστατης σκηνής αλλά με τρόπο που να διασφαλίζει μια πιο προσεγμένη και αισθητικά αρτιότερη παρουσίαση. Συνοψίζοντας, για την υλοποίηση αυτής της προσέγγισης, χρησιμοποιήθηκε το **A-Frame GUI**, ένα framework που παρέχει δυνατότητες για τη δημιουργία γραφικών στοιχείων, όπως πλαίσια, κουμπιά και ρυθμιστικά, εντός του τρισδιάστατου περιβάλλοντος.

Με τη χρήση του A-Frame GUI, αναπτύχθηκε μια πιο συνεκτική και αισθητικά ευχάριστη διεπαφή, η οποία ήταν πλήρως ενσωματωμένη στον τρισδιάστατο χώρο. Αυτό

επέτρεψε την επίλυση των προβλημάτων προσαρμοστικότητας και βελτίωσε σημαντικά τη χρηστικότητα της εφαρμογής σε όλες τις συσκευές.

Πιο συγκεκριμένα, κατασκευάστηκαν δύο διαφορετικές μπάρες μενού εντός της 3D σκηνής, η κάθε μια με διαφορετικές επιλογές, μια για την επιλογή εκθέματος και μια για την επιλογή βάσης. Το μενού επιλογών των εκθεμάτων παρέχει και την δυνατότητα αλλαγής “σελίδας” για την ευχέρεια περισσότερων επιλογών (Εικόνα 21).

Τα δομικά στοιχεία των μενού αποτελούνται από ένα μεγαλύτερο πλαίσιο όπου ονομάζεται **a-gui-flex-container** και εσωτερικά υπάρχουν τα στοιχεία **a-gui-button** που αντιστοιχούν ένα προς ένα στα κουμπιά επιλογών. Το μενού των εκθεμάτων αποτελείται από μια ελαφρώς πιο σύνθετη δομή μιας και έχει εσωτερικά του παραπάνω **a-gui-flex-container** για την δημιουργία κουμπιών επιλογής εκθεμάτων και ξεχωριστά των δύο κουμπιών αλλαγής σελίδας, επόμενη και προηγούμενη σελίδα.



Εικόνα 21. Τρισδιάστατο μενού εκθεμάτων με την χρήση της Gui Aframe. Στο κάτω μέρος του μενού υπάρχει η επιλογή αλλαγής σελίδας για την εμφάνιση περισσότερων εκθεμάτων.

2.11 Ορατότητα και Απόκρυψη Αντικειμένων σε Επαυξημένη Πραγματικότητα.

Η ορατότητα αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την εμπειρία του χρήστη σε εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Η δυνατότητα δυναμικής διαχείρισης της ορατότητας αντικειμένων στη σκηνή, ανάλογα με τη θέση και την οπτική γωνία του χρήστη, είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ρεαλιστικών και λειτουργικών περιβαλλόντων. Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζεται το custom component **spatial-occlusion**, το οποίο αναπτύχθηκε για να καλύψει αυτήν την ανάγκη, προσφέροντας μια αυτοματοποιημένη προσέγγιση για τον έλεγχο της ορατότητας των αντικειμένων.

Το **spatial-occlusion** αποτελεί ένα προσαρμοσμένο component που αναπτύχθηκε για την πλατφόρμα A-Frame με σκοπό την προσομοίωση ενός μηχανισμού απόκρυψης και αποκάλυψης αντικειμένων στη σκηνή, ανάλογα με το αν αυτά είναι ορατά από την κάμερα ή κρύβονται πίσω από άλλα αντικείμενα. Η λειτουργία αυτή είναι εξαιρετικά σημαντική για την ενίσχυση της ρεαλιστικότητας και την αποτελεσματική διαχείριση των οπτικών στοιχείων σε εφαρμογές εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας.

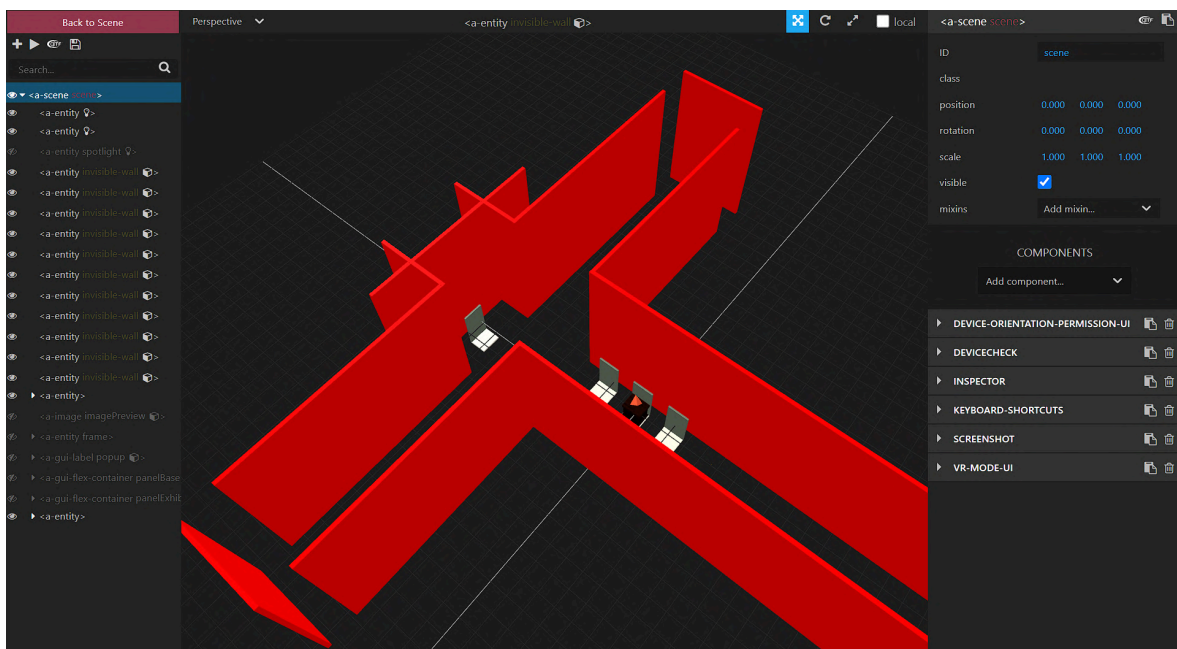
Η βασική λειτουργία του component βασίζεται στην τεχνική **raycasting**. Η τεχνική αυτή αξιοποιείται για την προσομοίωση ακτίνων που εκκινούν από την κάμερα προς μια ή και περισσότερες οντότητες (entities) στη σκηνή, με στόχο την ανίχνευση εμποδίων. Αυτές οι οντότητες στο στην παρούσα εφαρμογή είναι τα **εκθέματα**, οι **βάσεις των εκθεμάτων**, οι **θέσεις ενδιαφέροντος** (στις περιπτώσεις επιμέλειας) και τέλος το **πλαίσιο πληροφοριών** του κάθε εκθέματος. Συγκεκριμένα, το component εντοπίζει αν η ευθεία γραμμή που συνδέει την κάμερα και τις οντότητες διακόπτεται από κάποιο αντικείμενο, όπως στην δική μας περίπτωση, ένας "αόρατος τοίχος" (που ορίζεται από την κλάση **invisible-wall**).

Σε κάθε καρέ της σκηνής (κάθε **tick**), ο μηχανισμός ελέγχει αν οι οντότητες βρίσκονται πίσω από κάποιο εμπόδιο ή παραμένουν ορατές από την κάμερα. Αν εντοπιστεί εμπόδιο, τα αντικείμενα "κρύβονται" με την απενεργοποίηση της ορατότητας τους, ενώ αν το εμπόδιο απομακρυνθεί, η ορατότητα των οντοτήτων αποκαθίσταται.

Η χρήση του **spatial-occlusion** είναι ιδανική για εφαρμογές στις οποίες απαιτείται να εστιάσει ο χρήστης μόνο στα αντικείμενα που είναι άμεσα ορατά. Στα παιχνίδια, για παράδειγμα, οι παίκτες μπορούν να βλέπουν μόνο τα αντικείμενα που βρίσκονται μέσα στη γραμμή ορατότητάς τους, κάτι που ενισχύει την εμπύθιση και την εμπειρία του χρήστη.

Επίσης, σε εκπαιδευτικές εφαρμογές ή εικονικές περιηγήσεις, το component μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποκάλυψη μόνο των σχετικών πληροφοριών που βρίσκονται στον οπτικό άξονα του χρήστη, επιτρέποντάς του να αλληλεπιδρά με τα σημαντικότερα στοιχεία της σκηνής. Επιπλέον, σε εφαρμογές που απαιτούν διαχείριση πόρων, η απόκρυψη μη ορατών αντικειμένων μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη βελτιστοποίηση της απόδοσης, μειώνοντας το φορτίο στον επεξεργαστή και στη μνήμη.

Η λειτουργία του μηχανισμού βασίζεται σε τρία κύρια στάδια. Αρχικά, κατά την εκκίνηση του component, γίνεται ανίχνευση όλων των αντικειμένων που ανήκουν στην κατηγορία των "εμποδίων", όπως τοίχοι. Αυτά τα αντικείμενα ορίζονται με τη σχετική κλάση `invisible-wall` και αποθηκεύονται ώστε να χρησιμοποιούνται σε μελλοντικούς υπολογισμούς. Στη συνέχεια, σε κάθε καρέ της σκηνής, ο μηχανισμός υπολογίζει τις θέσεις της κάμερας και των αντικειμένων που έχουν τη δυνατότητα απόκρυψης. Χρησιμοποιείται η τεχνική του raycasting για την ανίχνευση πιθανών εμποδίων, υπολογίζοντας τη γραμμή ορατότητας μεταξύ της κάμερας και κάθε αντικειμένου. Τέλος, λαμβάνεται απόφαση για το αν το κάθε αντικείμενο πρέπει να κρυφτεί ή να εμφανιστεί. Αν η γραμμή ορατότητας διακόπτεται από κάποιο εμπόδιο, το αντικείμενο θεωρείται κρυμμένο και η ορατότητα του απενεργοποιείται, ενώ αν δεν ανιχνεύεται εμπόδιο, το αντικείμενο παραμένει ορατό.

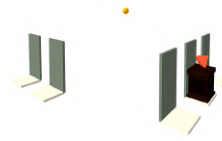


Εικόνα 22. Οι αόρατοι εικονικοί τοίχοι που αποκρύπτουν τα εκθέματα ανάλογα με την θέση του χρήστη.



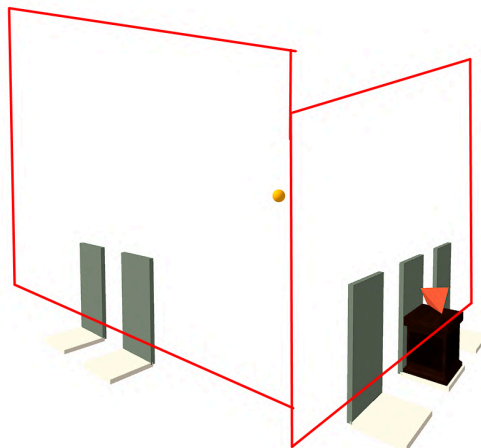
VR

Εικόνα 23α. Απόκρυψη των αντικειμένων που βρίσκονται πίσω από τους αόρατους εικονικούς τοίχους.



VR

Εικόνα 23β. Μετακίνηση στο χώρο για την πρόσβαση σε διαφορετικές θέσεις ενδιαφέροντος.



VR

Εικόνα 23γ. Ενδεικτική απεικόνιση των αόρατων τοίχων όταν ο χρήστης μετακινείται στο χώρο.

Το **spatial-occlusion** προσφέρει μια δυναμική και αυτοματοποιημένη διαχείριση της ορατότητας των αντικειμένων, διευκολύνοντας τον χρήστη στη δημιουργία σκηνών με αυξημένο ρεαλισμό και καλύτερη απόδοση. Η προσέγγιση αυτή εξασφαλίζει ότι οι χρήστες επικεντρώνονται μόνο στα σημαντικά στοιχεία της σκηνής, αποφεύγοντας περιττές πληροφορίες που μπορεί να αποσπάσουν την προσοχή τους. Το component αυτό είναι σχεδιασμένο με τρόπο που επιτρέπει την ευέλικτη εφαρμογή του σε διαφορετικά περιβάλλοντα, ενώ είναι εύκολο να προσαρμοστεί για συγκεκριμένες ανάγκες, όπως η

διαχείριση ειδικών τύπων εμποδίων ή η προσαρμογή των ορατών οντοτήτων. Με αυτόν τον τρόπο, η ενσωμάτωση του **spatial-occlusion** προσδίδει ιδιαίτερη αξία σε οποιαδήποτε εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας, προσφέροντας τόσο λειτουργικότητα όσο και απόδοση.

2.12 Δομή της Βάσης Δεδομένων

Η βάση δεδομένων της εφαρμογής παίζει κεντρικό ρόλο στην αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων που σχετίζονται με τους χρήστες και την οργάνωση των εκθεμάτων στον εικονικό χώρο. Για τη σχεδίασή της, επιλέχθηκε μια απλή αλλά αποτελεσματική δομή που περιλαμβάνει δύο βασικούς πίνακες: τον πίνακα **users** και τον πίνακα **apps_collab_exh**, όπως ονομάστηκαν στον τοπικό διακομιστή κατά την διάρκεια της ανάπτυξης.

2.12.1 Πίνακας Χρηστών (users)

Ο πίνακας **users** χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των χρηστών του συστήματος και την αντιστοίχιση των ρόλων τους. Περιέχει τις ακόλουθες στήλες:

- **id**: Ένας μοναδικός αριθμός που αντιπροσωπεύει τον κάθε χρήστη.
- **username**: Το όνομα χρήστη που χρησιμοποιείται για την είσοδο στο σύστημα.
- **password**: Ο κωδικός πρόσβασης του χρήστη, αποθηκευμένος με ασφάλεια.
- **tag**: Καθορίζει τον ρόλο του χρήστη, είτε ως επιμελητή (admin) είτε ως επισκέπτη (user).

Η ύπαρξη αυτού του πίνακα επιτρέπει στο σύστημα να διαχειρίζεται δυναμικά τα δικαιώματα πρόσβασης, εξασφαλίζοντας ότι μόνο οι επιμελητές μπορούν να αλλάξουν τη διαμόρφωση των εκθεμάτων, ενώ οι επισκέπτες περιορίζονται στην περιήγηση στον χώρο.

2.12.2 Πίνακας Εκθεμάτων και Βάσεων (apps_collab_exh)

Ο δεύτερος πίνακας, **apps_collab_exh**, περιλαμβάνει τις εξής στήλες:

- **id**: Ένα μοναδικό αναγνωριστικό για κάθε θέση ενδιαφέροντος στο χώρο της έκθεσης από το Grid Manager.

- **exhibit**: Η αναφορά στο έκθεμα που έχει επιλεγεί για τη συγκεκριμένη θέση.
- **base**: Η βάση στήριξης που έχει επιλεγεί για το έκθεμα στη συγκεκριμένη θέση.

Αυτός ο πίνακας επιτρέπει την αντιστοίχιση κάθε θέσης στον εικονικό χώρο με τα αντίστοιχα εκθέματα και τις βάσεις στήριξής τους που έχουν επιλεγεί. Κάθε θέση έχει ένα μοναδικό id, και η σύνδεση εκθεμάτων και βάσεων γίνεται με τη χρήση αυτών των πεδίων, επιτρέποντας στον επιμελητή να επιλέξει και να αποθηκεύσει τη διαμόρφωση.

2.12.3 Διασύνδεση με το Σύστημα

Η βάση δεδομένων είναι διασυνδεδεμένη με το σύστημα επιμέλειας και διαχειρίζεται τις πληροφορίες των εκθεμάτων και των χρηστών σε πραγματικό χρόνο. Κάθε φορά που ο επιμελητής προσθέτει ή αλλάζει εκθέματα και βάσεις στον εικονικό χώρο, τα δεδομένα αποθηκεύονται στον πίνακα `apps_collab_exh`. Η πρόσβαση στα δεδομένα και η ανάκτησή τους γίνεται με ερωτήματα SQL, διασφαλίζοντας την ακρίβεια και τη συνοχή των πληροφοριών κατά την περιήγηση των επισκεπτών.

Η απλότητα του σχεδιασμού της βάσης δεδομένων επιτρέπει την ταχύτατη εκτέλεση και τη σωστή λειτουργία του συστήματος, διασφαλίζοντας την αποθήκευση και ανάκτηση όλων των απαιτούμενων δεδομένων χωρίς καθυστερήσεις.

2.13 Τοποθέτηση Εκθεμάτων και Φωτισμού

Η εφαρμογή απαιτούσε μια δυναμική μέθοδο για την τοποθέτηση των εκθεμάτων στον χώρο. Για τον σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε μια συνάρτηση που επιτρέπει στον επιμελητή να τοποθετεί και να αντικαθιστά εκθέματα στα σημεία ενδιαφέροντος του Grid Manager. Η συνάρτηση αυτή ελέγχει εάν υπάρχει ήδη έκθεμα στη συγκεκριμένη θέση και το αντικαθιστά εάν είναι απαραίτητο. Επιπλέον, προσαρμόζει το μέγεθος του εκθέματος (scale) για να ταιριάζει στον χώρο και διασφαλίζει ότι τα εκθέματα εμφανίζονται σωστά από οπτική και λειτουργική άποψη.

Τα δεδομένα του κάθε εκθέματος παρέχονται στην συνάρτηση μέσω του αρχείου json. Το αρχείο αυτό παρέχει πληροφορίες που είναι υπεύθυνες και για την προσαρμογή τους στο

χώρο (τοποθεσία, μέγεθος, χρώμα) αλλά ταυτόχρονα και πληροφορίες απαραίτητες για την πληροφόρηση των χρηστών (τίτλος έργου, περιγραφή, καλλιτέχνης κα..)

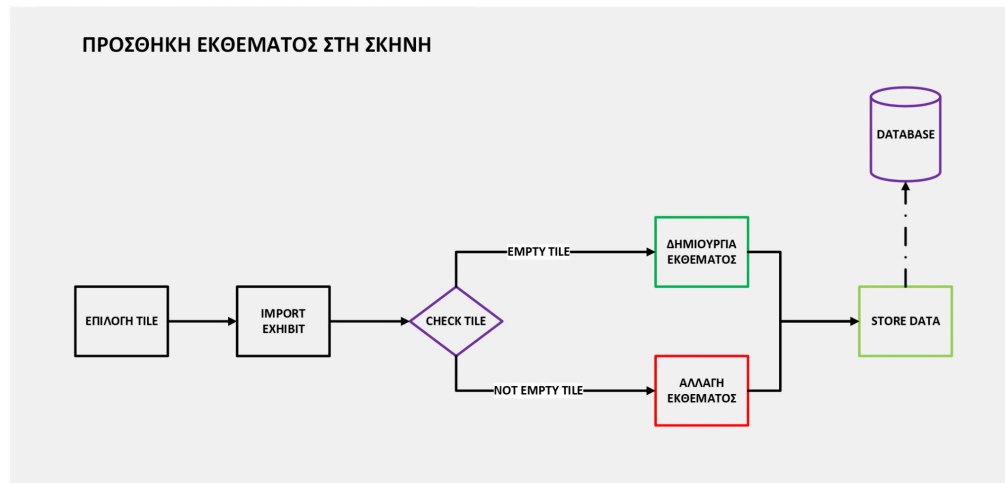
Για την υλοποίηση αυτής της λειτουργίας, αξιοποιούνται συγκεκριμένες οντότητες **A-frame** που δημιουργούνται δυναμικά με τη χρήση **HTML** και **JavaScript**. Παρακάτω περιγράφεται η βασική λογική και η διαδικασία πίσω από την τοποθέτηση αντικειμένων:

- 1. Αρχικοποίηση εκθεμάτων στο αρχείο json:** Η πρώτη αυτόματη διεργασία που λαμβάνει χώρα όταν κάποιος εισέρχεται στην πλατφόρμα είναι η φόρτωση δεδομένων από ένα αρχείο json όπου έχουν αρχικοποιηθεί διάφορες τιμές για τα εκθέματα και τις βάσεις στηρίζεως. Το json αρχείο, είναι μια μορφή οργάνωσης περιεχομένου ώστε να γίνεται πιο εύκολη η πρόσβαση στο εκάστοτε αντικείμενο. Πιο συγκεκριμένα, δίνονται τιμές για την διαμόρφωση του κάθε αντικειμένου στο χώρο και αυτές αφορούν είτε πληροφορίες προς ανάγνωση από τους χρήστες (τίτλος έργου, περιγραφή έργου κλπ), είτε τιμές για τον σχηματισμό τους στο χώρο. Στην παρούσα έκδοση της εφαρμογής, δημιουργούνται primitive αντικείμενα της A-frame ως εκθέματα, το καθένα με τις δικές τους διαφορετικές ιδιότητες και *χαρακτηριστικά* (Εικόνα 24). Ένα πολύ σημαντικό σημείο είναι ο τίτλος και η περιγραφή των εκθεμάτων. Παρέχεται η δυνατότητα λοιπόν, σε κάθε επιμελητή της εφαρμογής, να μπορεί να επεξεργαστεί το αρχείο json, όπου όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, με σκοπό να αλλάξει τις πληροφορίες εμφάνισης των εκθεμάτων. Το κομμάτι της αρχικοποίησης των πληροφοριών αυτών είναι κρίσιμης σημασίας διότι αν οριστούν, είτε λάνθασμένα, είτε και καθόλου, η μόνη αλληλεπίδραση που έχει ο θεατής στην έκθεση, θα είναι δυσλειτουργική, με το πιο πιθανό αποτέλεσμα να χάσει το ενδιαφέρον του.
- 2. Δυναμική Τοποθέτηση και Ρύθμιση Θέσης:** Τα αντικείμενα όμως δεν έχουν προκαθορισμένη θέση στην συνολική έκθεση. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει που θα τοποθετηθούν τα εκθέματα χρησιμοποιώντας τις θέσεις ενδιαφέροντος στο χώρο. Οι θέσεις ενδιαφέροντος, έχουν κατασκευαστεί και τοποθετηθεί στο χώρο με κεντρικό άξονα την εμπειρία χρηστών σε σχέση με παρόμοιες εφαρμογές, προκαλώντας μια όσο το δυνατόν πιο διαισθητική εμπειρία από αυτούς.
- 3. Εισαγωγή Αντικειμένων μέσω Αλληλεπίδρασης και Ορισμός Ιδιοτήτων:** Μέσω της αλληλεπίδρασης με την επιφάνεια της σκηνής, ενεργοποιείται ο μηχανισμός

(συνάρτηση) **ImportExhibit** που επιτρέπει την εισαγωγή των αντικειμένων. Κάθε αντικείμενο είναι μια οντότητα A-frame που περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως η θέση, η περιστροφή και η κλίμακα. Επίσης, στα αντικείμενα ορίζονται συγκεκριμένες ιδιότητες όπως αυτή του id και του class για την κατηγοριοποίηση τους και στη συνέχεια τους προσδίδεται το σχήμα και το χρώμα τους. Η τελική εντολή της συνάρτησης θέτει το νέο αντικείμενο ως παιδί της θέσης ενδιαφέροντος που επιλέχθηκε από τον χρήστη, ώστε να αντιστοιχιστούν η θέση και το αντικείμενο.

```
{
  "id": 1,
  "title": "A box",
  "shape": "box",
  "width": "0.3",
  "height": "0.3",
  "depth": "0.3",
  "color": "blue",
  "description": "A blue box discovered in 1989\n It's size is 0.6m x 0.6m x 0.6m",
  "position": "0 0.25 -0.2",
  "rotation": "0 180 0"
},
{
  "id": 2,
  "title": "A sphere",
  "shape": "sphere",
  "position": "0 0.25 -0.2",
  "color": "#33FF57",
  "radius": "0.2",
  "description": "A neon green sphere discovered \nin 2020. It's radius is 0.4m"
},
{
  "id": 3,
  "title": "A cylinder",
  "shape": "cylinder",
  "position": "0 0.25 -0.2",
  "color": "#3357FF",
  "radius": "0.5",
  "height": "1",
  "scale": "0.4 0.4 0.4",
  "description": "A blue cylinder discovered in 2015\n It's radius is 1 and scaled by\n 0.4 on every axis"
},
}
```

Εικόνα 24. Η δομή του json αρχείου για την αρχικοποίηση τιμών και δημιουργία των primitive αντικειμένων.



Εικόνα 25. Διάγραμμα ροής προσθήκης εκθεμάτων στη σκηνή και αποθήκευση τους στην βάση δεδομένων.

2.14 Αποθήκευση Περιεχομένου

Οι συναρτήσεις αποθήκευσης και ανάκτησης εκθεμάτων (**storebase**, **store**, **retrieve**) στο σύστημα αυτό υλοποιούνται για την οργάνωση και την ασφαλή διαχείριση των δεδομένων των εκθεμάτων. Η λειτουργικότητά τους εξυπηρετεί την ανάγκη του επιμελητή να μπορεί να τοποθετεί, να ενημερώνει και να ανακτά την πληροφορία για κάθε έκθεμα, διασφαλίζοντας συνεχή σύνδεση με τη βάση δεδομένων και διατήρηση της ακεραιότητας των στοιχείων του εκθεσιακού χώρου.

Κατά την κλήση των συναρτήσεων γίνεται η διασύνδεση μεταξύ του βασικού αρχείου της εφαρμογής μαζί με ένα εξωτερικό αρχείο (sql.php), όπου είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία της εφαρμογής με τους πίνακες του σέρβερ. Στο δεύτερο αυτό αρχείο χρησιμοποιείται δηλαδή γλώσσα PHP και αναπτύσσονται εντολές για την αποθήκευση και ανάκτηση των δεδομένων από την βάση δεδομένων.

Η **συνάρτηση storeDataBase()** διαχειρίζεται την τοποθέτηση βάσεων στήριξης για τα εκθέματα και διασφαλίζει ότι κάθε θέση θα καταχωρείται στη βάση μόνο μία φορά. Η **συνάρτηση storeData()** χειρίζεται τα ίδια τα εκθέματα, αποθηκεύοντας το κάθε αντικείμενο και τη θέση του στο χώρο, ενώ η **retrieveData()** επιτρέπει την ανάκτηση των στοιχείων που έχουν αποθηκευτεί και την εμφάνισή τους στη σκηνή. Οι συναρτήσεις λειτουργούν σε συνδυασμό για να προσφέρουν στον επιμελητή μια συνεχή και αξιόπιστη σύνδεση με τον

χώρο αποθήκευσης των δεδομένων, εξασφαλίζοντας ότι οποιαδήποτε επιλογή ή αλλαγή θα αποθηκευτεί και θα εμφανιστεί σωστά στον χώρο.

2.14.1 Αποθήκευση Βάσης Στήριξης και Εκθεμάτων

Η διαδικασία αποθήκευσης εκκίνησης μέσω των συναρτήσεων `storebase` και `store` διασφαλίζει ότι κάθε έκθεμα και βάση θα συνδεθεί με ένα μοναδικό αναγνωριστικό (`id`) για ακριβή αντιστοίχιση. Στη συνάρτηση `storeDataBase()`:

1. Αρχικά, γίνεται έλεγχος αν υπάρχει ήδη εγγραφή στη βάση για το `id` που επιλέχθηκε.
2. Αν δεν υπάρχει, δημιουργείται νέα εγγραφή στον πίνακα `apps_collab_exh` με το `id`.
3. Έπειτα, ενημερώνεται η σειρά `base` του πίνακα με την επιλεγμένη βάση στήριξης, επιτρέποντας την αναγνώριση και την οργάνωση των βάσεων του κάθε εκθέματος.

Παρόμοια λειτουργία ακολουθεί και η `storeData()` για την τοποθέτηση εκθεμάτων:

1. Ελέγχει αν το `id` είναι ήδη καταχωρημένο.
2. Αν όχι, εισάγει μια νέα εγγραφή και στη συνέχεια ενημερώνει την σειρά `exhibit`, συνδέοντας το κάθε έκθεμα με την προδιαγεγραμμένη θέση του.

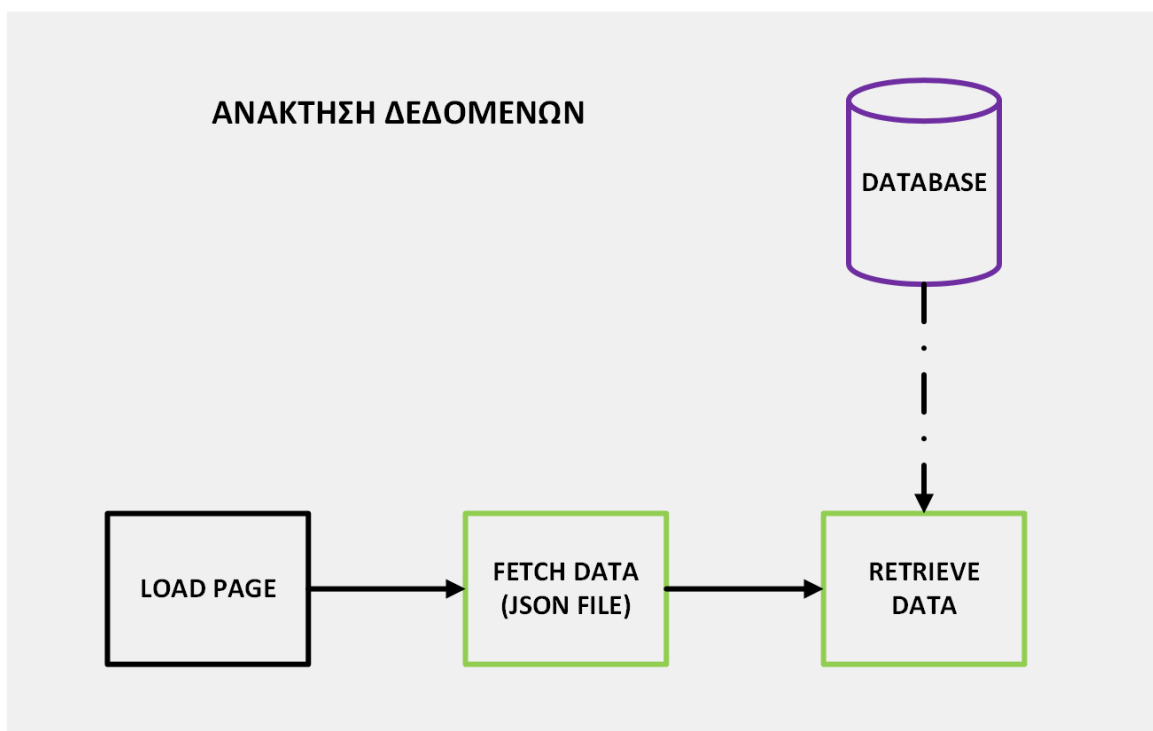
Η χρήση εντολών `UPDATE` στα πεδία `base` και `exhibit` διασφαλίζει την ενημέρωση κάθε εγγραφής, χωρίς ανάγκη νέας δημιουργίας, επιτρέποντας την άμεση και δυναμική αποθήκευση δεδομένων στο σύστημα.

2.14.2 Αντιστοίχιση και Ανάκτηση Πληροφοριών

Για την ανάκτηση των αποθηκευμένων δεδομένων, η συνάρτηση `retrieveData()` αντλεί όλες τις πληροφορίες από τη βάση δεδομένων μέσω μιας εντολής `SELECT`:

1. Όλες οι εγγραφές από τον πίνακα `apps_collab_exh` ανακτώνται και αποθηκεύονται σε έναν πίνακα δεδομένων (`data`), ο οποίος περιέχει τα εκθέματα και τις βάσεις στήριξης.
2. Τα δεδομένα κωδικοποιούνται στη συνέχεια σε μορφή json, επιτρέποντας την άμεση μετάδοση στην εφαρμογή για ανανέωση της σκηνής.

Με την ολοκλήρωση της ανάκτησης δεδομένων, ο εικονικός χώρος μπορεί να ενημερωθεί άμεσα με τα εκθέματα και τις βάσεις στήριξης που έχουν ήδη επιλεγεί και αποθηκευτεί. Το json που επιστρέφεται από τη `retrieveData()` παρέχει τις πληροφορίες θέσης και τα χαρακτηριστικά κάθε εκθέματος, και η εφαρμογή χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για την ακριβή τοποθέτηση και εμφάνιση των αντικειμένων στο χώρο.



Εικόνα 26. Διάγραμμα ροής ανάκτησης δεδομένων από την βάση δεδομένων.

Ο συνδυασμός αυτών των συναρτήσεων δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης εκθεμάτων, επιτρέποντας στον επιμελητή την ομαλή και ακριβή διαχείριση και εμφάνιση των αντικειμένων, με δυνατότητες τροποποίησης σε πραγματικό χρόνο.

2.15 Σύνδεση με Δικαιώματα Επιμελητή - Login Page

Η διαφοροποίηση των χρηστών σε διαχειριστές και επισκέπτες είναι ένα σημαντικό κομμάτι της υλοποίησης της εφαρμογής, αφού στόχος είναι η επεξεργασία από την μια πλευρά και η προβολή προς την άλλη. Έτσι, σχεδιάστηκε η αρχική σελίδα στην οποία οι χρήστες χρειάζεται να εισάγουν τα στοιχεία τους ώστε να κατανεμηθούν σε μια από τις δύο υπάρχουσες κατηγορίες χρηστών (admin/user).

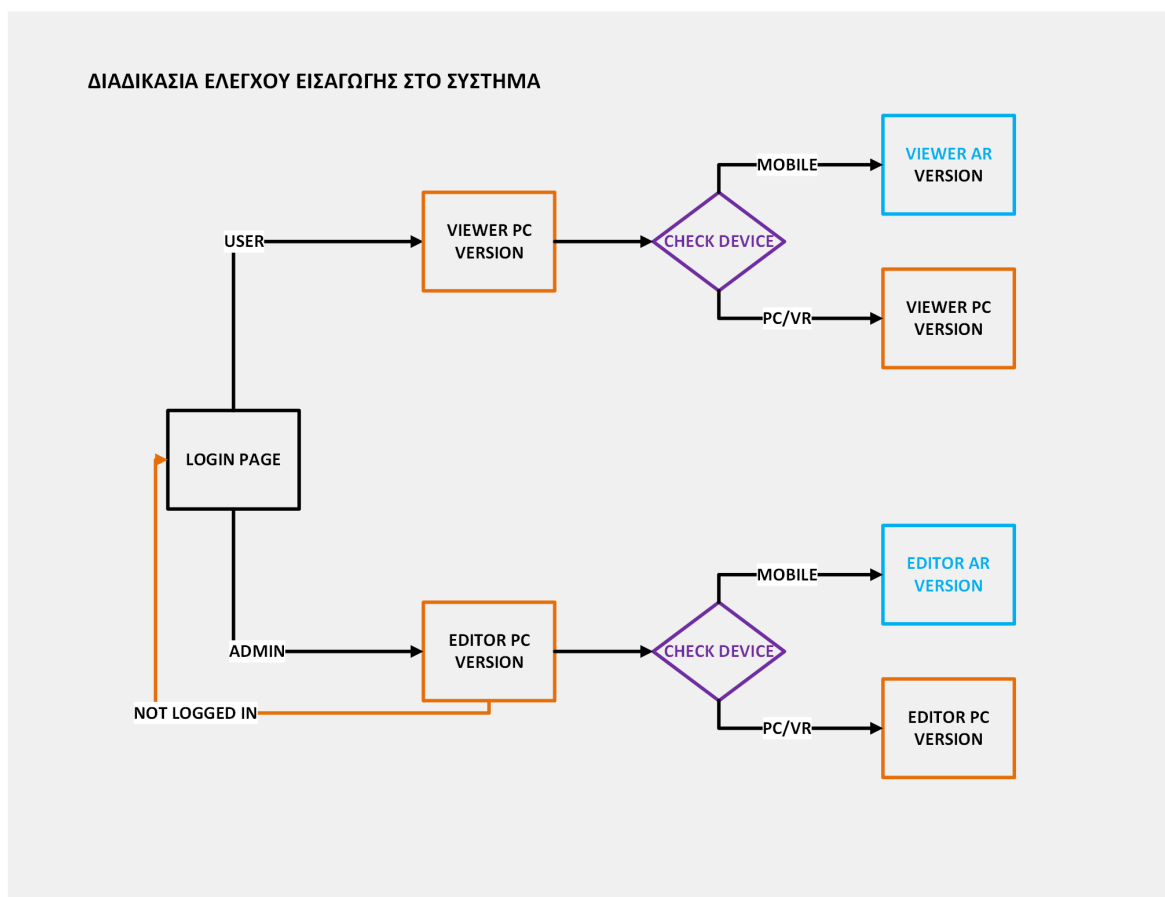
Το αρχείο *index.php* λειτουργεί ως η κύρια σελίδα εισόδου (login page) για την εφαρμογή. Εμφανίζει μια φόρμα στην οποία ο χρήστης καλείται να εισάγει το όνομα χρήστη και τον κωδικό πρόσβασής του. Η φόρμα αυτή περιλαμβάνει:

- **Πεδίο Εισαγωγής Ονόματος Χρήστη (Username):** Ο χρήστης καλείται να εισαγάγει το όνομα χρήστη του. Για τη διευκόλυνση της πρόσβασης των θεατών, υπάρχει η οδηγία να πληκτρολογήσουν απλά τη λέξη "user".
- **Πεδίο Εισαγωγής Κωδικού Πρόσβασης (Password):** Το πεδίο αυτό αφορά τον κωδικό πρόσβασης του επιμελητή, ενώ ταυτόχρονα δεν απαιτείται από τον θεατή.
- **Μήνυμα Λάθους:** Σε περίπτωση αποτυχημένης εισαγωγής στοιχείων, εμφανίζεται μήνυμα λάθους για να καθοδηγήσει τον χρήστη στην ορθή επανεισαγωγή των στοιχείων.

Η φόρμα αυτή είναι διαμορφωμένη να στέλνει τα δεδομένα της μέσω της μεθόδου POST στο αρχείο *login.php* για την επαλήθευση. Το αρχείο *login.php* περιλαμβάνει τη λογική αυθεντικοποίησης του χρήστη. Αναλυτικά, η λειτουργία του βασίζεται στα εξής τέσσερα βήματα:

1. **Έλεγχος Δεδομένων από τη Φόρμα:** Κατά την υποβολή της φόρμας, γίνεται αρχικά έλεγχος αν έχουν σταλεί στοιχεία ονόματος χρήστη (uname) και κωδικού πρόσβασης (password). Τα δεδομένα περνούν από τη συνάρτηση *validate*, η οποία αφαιρεί τυχόν επιπλέον κενά ή χαρακτήρες που μπορεί να προκαλέσουν κενά ασφαλείας στην εφαρμογή (π.χ., ειδικοί χαρακτήρες για SQL injection).
2. **Αναζήτηση στη Βάση Δεδομένων:** Χρησιμοποιώντας το όνομα χρήστη και τον κωδικό πρόσβασης, η εφαρμογή εκτελεί ένα SELECT ερώτημα στον πίνακα *users* της βάσης δεδομένων. Αν η καταχώρηση είναι επιτυχής, ελέγχεται αν υπάρχει χρήστης με τα αντίστοιχα στοιχεία.

3. **Έλεγχος Διαπιστευτηρίων:** Αν τα στοιχεία του χρήστη συμφωνούν με τα δεδομένα στη βάση, τότε ο χρήστης επιτρέπεται να εισέλθει στην εφαρμογή. Αν το όνομα χρήστη είναι admin, ο χρήστης ανακατευθύνεται στη σελίδα διαχείρισης του επιμελητή (**editorPc.php**), διαφορετικά ο χρήστης θεωρείται θεατής και ανακατευθύνεται στη σελίδα περιήγησης (**viewerPc.php**). Εάν τα στοιχεία δεν αντιστοιχούν, ο χρήστης ενημερώνεται από την σελίδα σύνδεσης με το μήνυμα αποτυχημένης σύνδεσης.
4. **Δημιουργία Συνεδρίας (Session):** Αν τα διαπιστευτήρια είναι ορθά, δημιουργούνται συνεδρίες (\$_SESSION) με πληροφορίες του χρήστη, όπως user_name, tag, και id. Οι συνεδρίες αυτές διευκολύνουν τη διάκριση των χρηστών εντός της εφαρμογής και παρέχουν πληροφορίες που απαιτούνται κατά τη διάρκεια της σύνδεσης.



Εικόνα 27. Διάγραμμα ροής σύνδεσης με το σύστημα

2.16 Αναγνώριση συσκευών

Καθώς ο χρήστης επισκέπτεται την ψηφιακή έκθεση το πρόγραμμα εφαρμόζει κάποιος γρήγορους ελέγχους για την λήψη δεδομένων που αφορούν τον τρόπο επίσκεψης της εφαρμογής. Προτού μπορέσει ο χρήστης να κατευθυνθεί στην εφαρμογή ο αλγόριθμός εξετάζει την περίπτωση επίσκεψης της σελίδας από κινητές συσκευές, επιτραπέζιους υπολογιστές ή ακόμα και συστήματα VR και AR. Μόλις συλληφθεί η πληροφορία αυτή, τότε ο χρήστης ανακατευθύνεται στην εκάστοτε παραλλαγή της εφαρμογής.

Αυτό συμβαίνει διότι, η εμπειρία χρήστη των επισκεπτών από τις διαφορετικές συσκευές εμφανίζει και διαφορετικές απαιτήσεις. Παρ' όλο που η βασική λειτουργία είναι η ίδια σε κάθε ενδεχόμενη περίπτωση πρέπει να καλυφθούν άλλες ανάγκες. Για παράδειγμα, όταν γίνεται η επίσκεψη από έναν υπολογιστή, η διάδραση αντικειμένων με τον κέρσορα γίνεται πατώντας το κλικ του ποντικιού, ενώ όταν βρισκόμαστε σε κινητές συσκευές, είναι ενεργοποιημένη η ιδιότητα *fuse* όπου επιτρέπει την επιλογή αντικειμένων στο χώρο απλά εστιάζοντας για μερικά δευτερόλεπτα στο σημείο διάδρασης. Αντίστοιχα, υπάρχουν και άλλες μικρές αλλαγές στις διάφορες λειτουργίες της εφαρμογής ανάλογα με την κάθε ανάγκη που προκύπτει.

3. Συμπεράσματα

3.1. Γενικά ευρήματα

Η θεωρητική διερεύνηση της εργασίας ανέδειξε τη σημασία της επιμέλειας εκθέσεων σε ψηφιακά περιβάλλοντα και την επίδραση των τεχνολογιών μεικτής πραγματικότητας στη διαχείριση και παρουσίαση των εκθεμάτων. Η χρήση XR τεχνολογιών επιτρέπει νέες μορφές αλληλεπίδρασης, διευρύνοντας το πεδίο της επιμέλειας πέρα από τους φυσικούς περιορισμούς των παραδοσιακών εκθέσεων. Ωστόσο, η επιτυχημένη εφαρμογή τους απαιτεί υψηλή τεχνολογική εξειδίκευση και προσαρμοστικότητα στις ανάγκες των χρηστών, όπως καταδείχθηκε και από τις πρακτικές δοκιμές της παρούσας πλατφόρμας.

Αναφορικά με τη διαδικασία ανάπτυξης και αξιολόγηση της εφαρμογής, καθώς και τη συλλογή δεδομένων από χρήστες μέσω ερωτηματολογίων, προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργικότητα, τη χρηστικότητα και τη γενικότερη εμπειρία που προσφέρει η πλατφόρμα. Η ανάλυση των απαντήσεων έδειξε ότι η εφαρμογή αξιοποιήθηκε και από επιμελητές (Admin) αλλά και από επισκέπτες (Users). Οι χρήστες δοκίμασαν την πλατφόρμα σε διαφορετικές συσκευές, όπως υπολογιστές, laptops και κινητά τηλέφωνα, ενώ ο προτιμώμενος φυλλομετρητής ήταν ο Chrome. Πέρα από αυτό, η εξοικείωση των χρηστών με τις τεχνολογίες XR ποίκιλλε σημαντικά, γεγονός που επηρέασε τη συνολική εμπειρία τους. Κάποιοι χρήστες ανέφεραν υψηλό επίπεδο κατανόησης, ενώ άλλοι χρειάστηκαν περισσότερο χρόνο για να προσαρμοστούν στις δυνατότητες της εφαρμογής.

3.2 Αξιολόγηση λειτουργικότητας και εμπειρίας χρήστη

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που εντοπίστηκαν αφορά τους περιορισμούς στη χρήση της πλατφόρμας μέσω κινητών συσκευών. Συγκεκριμένα, ορισμένα smartphones δεν υποστηρίζονται από το ARCore της Google, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η περιήγηση στον χώρο με τις κινητές τους συσκευές. Επιπλέον, οι χρήστες iPhone με λειτουργικό iOS δεν έχουν πρόσβαση στη λειτουργία AR Mode, κάτι που πιθανώς σχετίζεται με τις δυνατότητες συμβατότητας της A-Frame. Αυτοί οι περιορισμοί επηρέασαν τη φυσική

παρουσία χρηστών στην έκθεση και αναδεικνύουν την ανάγκη για βελτιώσεις στο σύστημα. Ακόμη, η πλειοψηφία των συμμετεχόντων βρήκε τις λειτουργίες της ψηφιακής έκθεσης χρήσιμες και ενδιαφέρουσες. Παράλληλα, επισημάνθηκε η ανάγκη για πρόσθετες λειτουργίες που θα βελτιώσουν τη συνολική εμπειρία. Στη διαχείριση της εικονικής έκθεσης, οι απόψεις διέφεραν: ορισμένοι χρήστες δεν συνάντησαν δυσκολίες, ενώ άλλοι ανέφεραν ότι χρειάστηκε χρόνος προσαρμογής για την πλήρη κατανόηση του συστήματος. Όσον αφορά τον χρόνο που απαιτήθηκε για τη χρήση της εφαρμογής, οι περισσότεροι χρήστες τον αξιολόγησαν ως ικανοποιητικό. Ωστόσο, υπήρξαν αναφορές ότι το σύστημα απαιτεί περισσότερο χρόνο εξοικείωσης, ειδικά για άτομα με περιορισμένη εμπειρία σε XR τεχνολογίες, έχοντας προβλήματα και με το υλισμικό και την συμβατότητα συσκευών και συστήματος.

3.3 Προοπτικές και μελλοντικές βελτιώσεις

Τα σχόλια των χρηστών κατέδειξαν συγκεκριμένα σημεία προς βελτίωση. Ένα από τα ζητήματα που αναφέρθηκαν αφορούσε την ορθή τοποθέτηση των πλακιδίων στον εικονικό χώρο. Η A-Frame επιχειρεί να αναγνωρίσει φυσικά αντικείμενα μέσω της κάμερας των κινητών συσκευών και να προσαρμόσει τα ψηφιακά αντικείμενα σε αυτόν, ωστόσο ο αλγόριθμός της παρουσιάζει δυσκολίες, κάτι που επηρεάζει την ακριβή εκτέλεση και παρουσίαση των πλακιδίων. Όμως, η συνολική αξιολόγηση της πλατφόρμας από τους χρήστες ήταν θετική, με αρκετούς να δηλώνουν ότι έζησαν μια νέα και ενδιαφέρουσα εμπειρία. Επιπλέον, στην παρούσα φάση της εφαρμογής, τα εκθέματα αποτελούνται από πρωτογενή (primitive) αντικείμενα κατασκευασμένα μέσω της A-Frame, γεγονός που συμβάλλει στην απλοποίηση της διαδικασίας και στη μικρότερη δέσμευση πόρων, διασφαλίζοντας έτσι γρηγορότερη ανταπόκριση του συστήματος. Με μερικές προσαρμογές στον κώδικα, είναι δυνατή η εισαγωγή τρισδιάστατων μοντέλων σε μορφές .obj, .glTF και .glb, κάτι που θα μπορούσε να εμπλουτίσει την οπτική παρουσίαση της έκθεσης. Ένα ακόμη στοιχείο προς βελτίωση είναι ο φωτισμός, καθώς η ακριβής αναπαράσταση των φωτεινών συνθηκών μπορεί να ενισχύσει τη ρεαλιστικότητα των αντικειμένων. Η έλλειψη σωστής απόδοσης φωτισμού μπορεί να οδηγήσει σε μη φυσικές εικόνες, μειώνοντας την εμβυθιστική εμπειρία του χρήστη, δεδομένου ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι σε θέση να αντιληφθεί ασυνέπειες στον φωτισμό και στη σκίαση των αντικειμένων. Συνεπώς, η προσθήκη περισσότερων λειτουργιών και η περαιτέρω βελτίωση της διεπαφής χρήστη (UI),

λειτουργικά και αισθητικά, θα μπορούσαν να ενισχύσουν την ευχρηστία και την εμπειρία χρήσης της πλατφόρμας.

Συμπερασματικά, η εικονική επιμέλεια εκθέσεων αναδεικνύεται ως μια πολλά υποσχόμενη εφαρμογή της τεχνολογίας XR, με προοπτικές εξέλιξης και ευρύτερης αποδοχής από το κοινό. Η εργασία αυτή καταδεικνύει τη σημασία του συνδυασμού τεχνολογιών μεικτής πραγματικότητας με την επιμέλεια εκθέσεων, προσφέροντας νέες δυνατότητες παρουσίασης και αλληλεπίδρασης. Οι μελλοντικές επεκτάσεις της πλατφόρμας μπορούν να εστιάσουν στη βελτίωση της προσαρμοστικότητας για διαφορετικά επίπεδα χρηστών, στη βελτίωση της προσβασιμότητας και στην ενσωμάτωση πιο εξελιγμένων λειτουργιών για την επιμέλεια ψηφιακών εκθέσεων.

3.4 Επιπρόσθετες πληροφορίες

Λόγω έλλειψης εξοπλισμού τρισδιάστατων γυαλιών (VR) ή γυαλιών επαύξησης, η παρουσίαση της εφαρμογής γίνεται σε περιβάλλον υπολογιστή και κινητού τηλεφώνου. Συμπληρωματικά με το παρόν έγγραφο, υπάρχουν σχετικά βίντεο, που επεξηγούν τον τρόπο λειτουργίας της εφαρμογής, όπως για παράδειγμα τον τρόπο πλοήγησης και διάδρασης με τα διαδρούντα αντικείμενα, αναδεικνύει τις δυνατότητες της και παρουσιάζει μια περιήγηση ενός επιμελητή και ενός επισκέπτη στο χώρο.

Βιβλιογραφία

Aggarwal, Rohit, και Anshul Singhal. «Augmented Reality and its effect on our life.» Στο *2019 9th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, 510–15. Noida, India, 2019.

Almurbati, Nehal. "Virtual Exhibitions as an Interactive Educational Tool." Στο *2021 Sustainable Leadership and Academic Excellence International Conference (SLAE)*, 1–6. Manama, Bahrain, 2021.

Azuma, Ronald T. "A Survey of Augmented Reality." *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6, αρ. 4 (1997): 355–385.

Bartolini, Sandro, Alessandro Mecocci, Alessandro Pozzebon κ.ά. "Augmented Virtuality for Coastal Management." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7, αρ. 3 (2018): 92.

Cellucci, Vincent, Alice Bodanzky, και Jeroen Boots. "XR Cone: Turning Non-Standard Collections into a Hall of Inspiration." *IFLA*, 23 Ιουλίου 2023.

Cook, Sarah. "On Curating New Media Art." Στο *Preserving and Exhibiting Media Art: Challenges and Perspectives*, επιμ. Julia Noordegraaf κ.ά., 123–134. Άμστερνταμ: Amsterdam University Press, 2013.

Edgar, Janice. "Virtual Exhibitions: A New Product of the IT Era." *Journal of Convention & Exhibition Management* 4, αρ. 2 (2002): 69–79.

Fowle, Kate. "Who Cares? Understanding the Role of the Curator Today." Στο *Cautionary Tales: Critical Curating*, επιμ. Steven Rand και Heather Kouris. Νέα Υόρκη: apexart, 2007.

Gockel, Bianca, Holger Graf, Alfonsina Pagano, κ.ά. "VMUXE: An Approach to User Experience Evaluation for Virtual Museums." *Lecture Notes in Computer Science*, τ. 8012, 262–272.

Graham, Beryl, και Sarah Cook. *Rethinking Curating: Art after New Media*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2010.

Guttentag, Daniel A. "Virtual Reality: Applications and Implications for Tourism." *Tourism Management* 31, αρ. 5 (2008): 637-651.

Kalawsky, Roy S. "VRUSE—A Computerised Diagnostic Tool." *Applied Ergonomics* 30, αρ. 1 (1999): 11–25.

Komianos, Vasileios, Athanasios Tsipis, και Katerina Kontopanagou. "Introducing Digitized Cultural Heritage to Wider Audiences." *Technologies* 12 (2024): 196.

Konstantakis, Markos, και George Caridakis. "Adding Culture to UX: UX Research Methodologies and Applications in Cultural Heritage." *Journal of Computer-Mediated Communication* 13, αρ. 1 (2020).

Koukopoulos, Dimitrios, Panagiotis Dafiotis, Stella Sylaiou, Konstantinos Koukoulis, και Christos Fidas. "Evaluating the Design of an Art Student Framework Supporting XR Exhibitions: Evaluating an Art Student Framework."

Στο *PCI '22: Proceedings of the 26th Pan-Hellenic Conference on Informatics*, 267–272. Αθήνα, Ελλάδα, 29–31 Νοεμβρίου 2022.

Mandal, Sharmistha. "Brief Introduction of Virtual Reality & Its Challenges." *International Journal of Scientific & Engineering Research* 4, αρ. 4 (2013): 304–309.

Manetta, Carol, και Richard A. Blade. "Glossary of Virtual Reality Terminology." *International Journal of Virtual Reality* 1, αρ. 2 (1995): 35–39.

Microsoft. "Τι είναι η μεικτή πραγματικότητα;" Microsoft Learn, 25 Ιανουαρίου 2023.

Milgram, Paul, και Fumio Kishino. "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays." *IEICE Transactions on Information and Systems* E77-D, αρ. 12 (1994): 1321–1329.

Neges, Matthias, Stefan Adwernat, και Michael Abramovici. "Augmented Virtuality for Maintenance Training Simulation." *Procedia Manufacturing* 19 (2018): 171–178.

Nicholas Serota. *Εμπειρία ή Ερμηνεία: The Dilemma of Museums of Modern Art*. Αθήνα: ΑΓΡΑ, 2005.

Noordegraaf, Julia, Cosetta G. Saba, Barbara Le Maître, κ.ά., επιμ. *Preserving and Exhibiting Media Art*. Άμστερνταμ: Amsterdam University Press, 2013.

O'Doherty, Brian. *Inside the White Cube*. Berkeley: University of California Press, 1986.

Palma, Gianpaolo, Sara Perry, και Paolo Cignoni. "Augmented Virtuality Using Touch-Sensitive 3D-Printed Objects." *Remote Sensing* 13, αρ. 11 (2021): 2186.

Pedrosa, Adriano. "What Is the Process?" Στο *Ten Fundamental Questions of Curating*, επιμ. Jens Hoffmann, 62–71. Μιλάνο: Mousse Publishing, 2013.

Piumsomboon, Thammathip, Arindam Day, κ.ά. "Exploring Enhancements for Remote Mixed Reality Collaboration." Παρουσίαση στο συνέδριο SIGGRAPH Asia 2017 Mobile Graphics & Interactive Applications, Νοέμβριος 2017.

Rizvić, Selma, Bojan Mijatovic, Dusanka Boskovic, Ivona Ivkovic-Kihic, κ.ά. "Workflow of Extended Reality Applications for Museum Exhibitions." Παρουσίαση στο συνέδριο 2022

International Balkan Conference on Communications and Networking (BalkanCom), Αύγουστος 2022.

Sherman, William R., και Alan B. Craig. *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. Berkeley: University of California, 2003.

Somaratna, Sajeewanie, και Raymond Uzwysyn. "Technology Enhanced Learning Spaces."

Sylaiou, Stella, Panagiotis Dafiotis, κ.ά. "From Physical to Virtual Art Exhibitions." *Journal of Cultural Heritage* 66, no. 2 (Φεβρουάριος 2024): 86-98.

Vital, Rebeka, Stella Sylaiou, κ.ά. "Comparison of Extended Reality Platforms." *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 31, no. 2 (Οκτώβριος 2023): e00298.

Wang, Ning, και Xukun Shen. "The Research on Interactive Exhibition Technology of Digital Museum Resources." Παρουσίαση στο συνέδριο Green Computing and Communications (GreenCom), 2013 IEEE και Internet of Things (iThings/CPSCoM), IEEE International Conference on και IEEE Cyber, Physical and Social Computing, Αύγουστος 2013.

Zhang, Huopu. *Prism XR – A Curated Exhibition Experience in Virtual Reality with Peer Annotation Features and Virtual Guides for Art and Archaeology Classes*. 2024.

Λέπουρας, Γεώργιος, Αντωνίου, Αγγελική, Πλατής, Νικόλαος, Χαρίτος, Δημήτρης. *Ανάπτυξη συστημάτων εικονικής πραγματικότητας*. Αθήνα: Κάλλιπος, 2015. [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Παράρτημα

Σύνδεσμος Εικονικής Έκθεσης:

- Για Επισκέπτες

<https://v-corfu.gr/apps/tests/webxr-exhibition/viewerPc.php>

Username: user

Password:

- Για Επιμελητές

<https://v-corfu.gr/apps/tests/webxr-exhibition/editorPc.php>

Username: admin

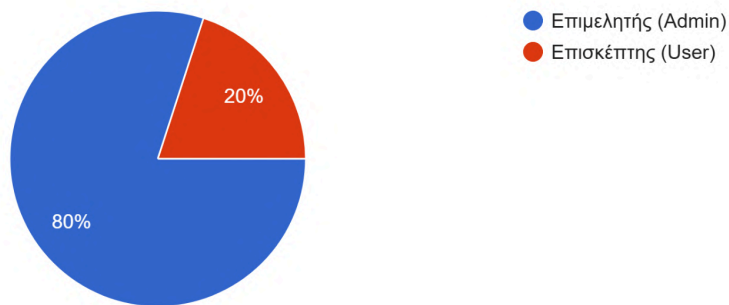
Password: pass

Σύνδεσμος Ερωτηματολογίου:

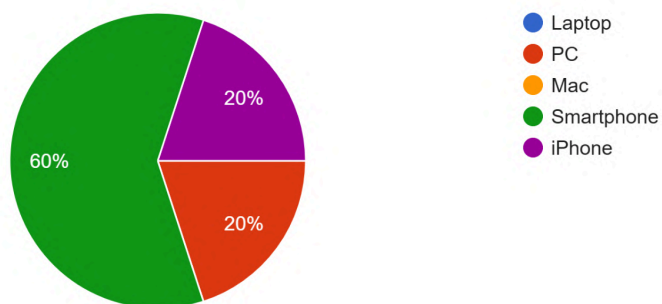
<https://forms.gle/di9s9YgsDsgz2JvJ8>

Αποτελέσματα Ερωτηματολογίου

Έκανα χρήση της πλατφόρμας ως επιμελητής (admin) ή ως επισκέπτης (user);
5 απαντήσεις



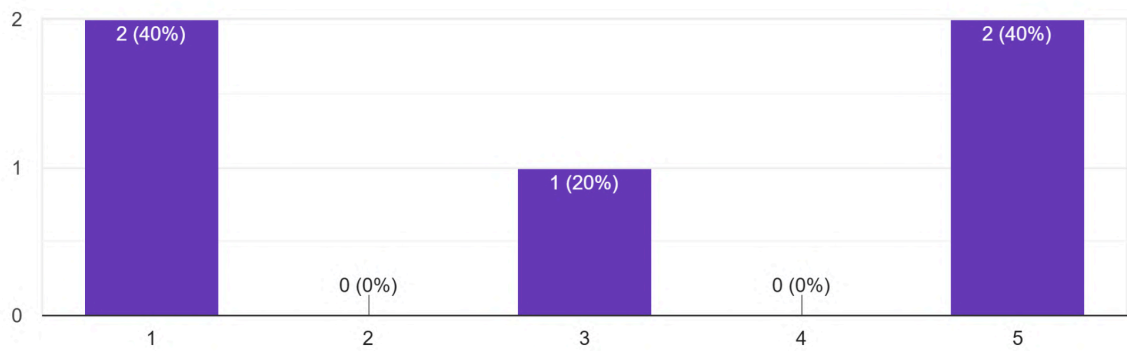
Τι συσκευή χρησιμοποίησες για την χρήση της ψηφιακής έκθεσης;
5 απαντήσεις



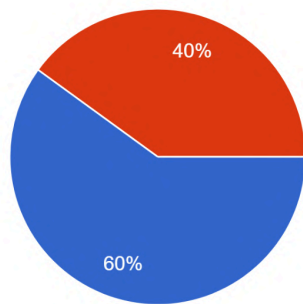
Ποιον φυλλομετρητή χρησιμοποίησες για την χρήση της ψηφιακής έκθεσης;
5 απαντήσεις



Πόσο καλά γνωρίζεις τις τεχνολογίες XR;
5 απαντήσεις

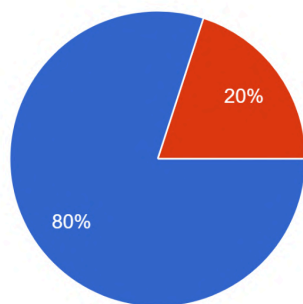


Τι γνώμη έχετε για τις λειτουργίες της εικονικής έκθεσης;
5 απαντήσεις



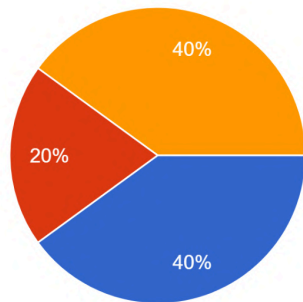
- Όλες οι λειτουργίες είναι χρήσιμες και ενδιαφέρουσες για εμένα.
- Η ψηφιακή έκθεση προσφέρει μερικές ενδιαφέρουσες λειτουργίες, αλλά επίσης και μερικές που δεν είναι τόσο χρήσιμες.
- Δεν υπάρχουν χρήσιμες και ενδιαφέρουσες λειτουργίες.

Ήταν διαθέσιμες όλες οι λειτουργίες που θα θέλατε να υπάρχουν;
5 απαντήσεις



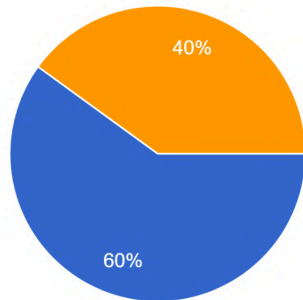
- Ναι
- Όχι, θα προτιμούσα να υπήρχαν και άλλες λειτουργίες.

Πώς σας φάνηκε η διαχείριση της εικονικής έκθεσης;
5 απαντήσεις



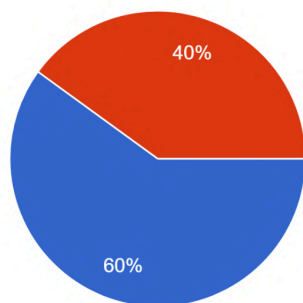
- Μου ήταν δύσκολο να χρησιμοποιήσω την ψηφιακή έκθεση και δεν μπορούσα να εστιάσω στο περιεχόμενο.
- Στην αρχή έπρεπε να συγκεντρωθώ πλήρως στην ψηφιακή έκθεση αλλά μετά από κάποιο χρονικό διάστημα μου ήταν πιο εύκολο να εστιάσω στον τρόπο χρήσης του.
- Από την αρχή δεν είχα κανένα πρόβλημα για την χρήση της ψηφιακής έκθεσης και το απολάμβανα πλήρως.

Τι γνώμη έχετε για τον χρόνο που απαιτήθηκε για τη χρήση της;
5 απαντήσεις



- Είμαι ικανοποιημένος/ικανοποιημένη με τον χρόνο που μου χρειάστηκε για να πετύχω τους στόχους μου και διασκέδ...
- Μερικές φορές χρειαζόμουν το σύστημα καθυστερούσε να ανταποκριθεί στις κινήσεις που έκανα με σκοπό να χάνετ...
- Χρειαζόμουν πολύ χρόνο διότι το σύστημα απαιτεί μη αναγκαίες και άβο...
- Μου πήρε τόσο πολύ χρόνο ώσπου τελικά το παράτησα.

Πώς αξιολογείτε την εμπειρία σας με την εικονική έκθεση;
5 απαντήσεις



- Έζησα κάτι εντελώς νέο για μένα και πήρα νέες ιδέες.
- Έζησα κάτι που ήδη γνωρίζω, αλλά θα μπορούσα ακόμα να το απολαύσω.
- Έζησα κάτι ήδη πολύ γνωστό και βαρετό.