



Πανεπιστήμιο Κρήτης – Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

## Διπλωματική Εργασία

Επόπτης καθηγητής:

Κωνσταντίνος Στεφανίδης

Επιβλέπων:

Εμμανουήλ Ζηδιανάκης

Χειμερινό Εξάμηνο 2021-2022

# Σύστημα απεικόνισης και επεξεργασίας τρισδιάστατων εικονικών εκθέσεων σε περιβάλλον ιστού

Τζάκο Άλντο (4052)

## Περίληψη

Το «Αθέατο Μουσείο» είναι ένα έργο που επιδιώκει να μεγιστοποιήσει τις δυνατότητες των Εικονικών Μουσείων (ΕΜ) μέσω της αξιοποίησης τεχνολογιών αιχμής. Ακολουθώντας το παράδειγμα της «νέας μουσειολογίας», το Έργο στοχεύει στη δημιουργία εξαιρετικά συνεργατικών και συμμετοχικών Εικονικών Μουσείων που θα προσφέρουν εξατομικευμένες, διαδραστικές και συναρπαστικές συναντήσεις χρηστών μέσω δυναμικά επαναπροσδιοριζόμενων Εικονικών Εκθέσεων.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση της διαδικασίας και της χρήσης του συστήματος απεικόνισης και επεξεργασίας τρισδιάστατων εικονικών εκθέσεων, «Exhibition Designer». Το Designer είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν εικονικές εκθέσεις από την αρχή ή ακόμα και αναπαραστάσεις πραγματικών εκθέσεων.

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Διαδικασία σχεδίασης.....	2
Χρησιμοποιώντας το σύστημα	
Σχεδίαση του χώρου της έκθεσης.....	5
Προσθήκη εκθεμάτων στην έκθεση.....	5
Επεξεργασία μεγέθους, περιστροφής και θέσης των εκθεμάτων.....	6
Προσθήκη φωτισμού.....	7
Προσθήκη διακοσμητικών.....	9
Έλεγχος της κάμερας κατά την επεξεργασία.....	9
Επιλογή σημείου εκκίνησης περιήγησης.....	10
Υλοποίηση συστήματος	
Το στήσιμο της εικονικής σκηνής.....	11
Drag and Drop μηχανισμός.....	12
Διπλότυπα εκθεμάτων.....	12
Σύστημα ελέγχου κάμερας.....	13
Λήψη στιγμιοτύπων.....	13
Μπάρα φόρτωσης.....	14
Μετατροπή από “scale” σε “dimensions”.....	14
Αξιολόγηση βάσει χρήστη.....	15
Συμπεράσματα / Μελλοντική δουλειά.....	15
Πηγές.....	16

## Εισαγωγή

Το Αθέατο Μουσείο είναι μια πλατφόρμα όπου οι χρήστες μπορούν να ανεβάσουν τα εκθέματά τους, να δημιουργήσουν εικονικές εκθέσεις και να προσθέσουν αφηγήσεις από πάνω για να προσφέρουν μια ρεαλιστική μουσειακή εμπειρία για όποιον έχει πρόσβαση σε πρόγραμμα περιήγησης ιστού.

Το πλαίσιο αυτής της πτυχιακής εργασίας καλύπτει το σύστημα δημιουργίας και επεξεργασίας των τρισδιάστατων εκθέσεων που φιλοξενούνται στην πλατφόρμα αυτή. Δεδομένου ότι κάθε τμήμα της κύριας πλατφόρμας φιλοξενείται στον Ιστό, το σύστημα αυτό έπρεπε να υλοποιηθεί με τρόπο που θα ενσωματώνεται σε αυτήν, έτσι ώστε η χρήση του να είναι απρόσκοπτη.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ως βάση το A-frame framework. Το A-Frame είναι ένα web framework ανοιχτού κώδικα για τη δημιουργία εμπειριών εικονικής πραγματικότητας. Είναι ένα Entity-Component σύστημα (ECS) για το Three.js όπου οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν σκηνές 3D και WebVR χρησιμοποιώντας HTML.

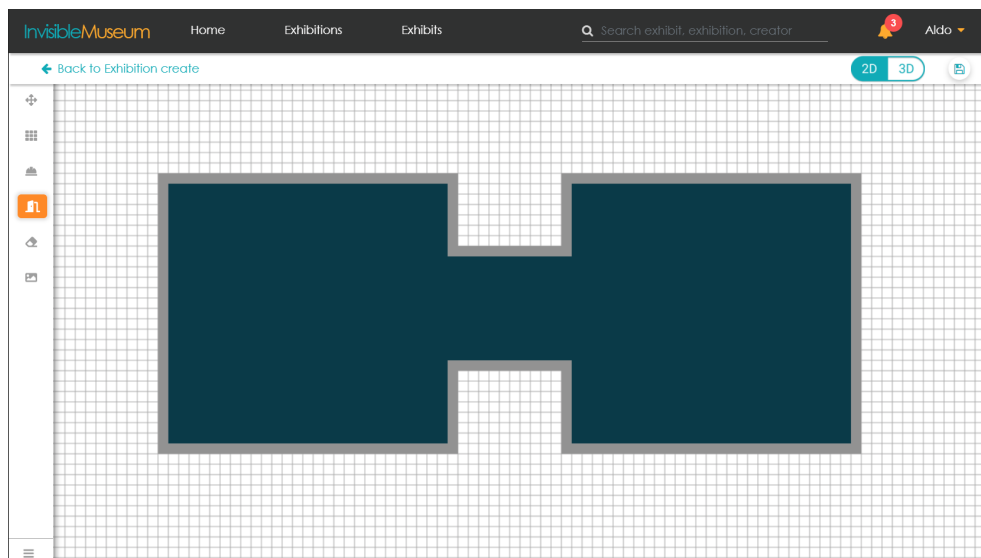
Το A-Frame ήταν τέλειο για το στήσιμο της εικονικής σκηνής, αλλά το API που παρείχε ήταν πολύ περιορισμένο για τις απαιτήσεις μας. Η λύση στο πρόβλημα αυτό ήταν η απευθείας χρήση του Three.js. Το Three.js είναι μια cross-browser βιβλιοθήκη JavaScript και μια διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και την εμφάνιση κινούμενων τρισδιάστατων γραφικών υπολογιστή (CG) σε ένα πρόγραμμα περιήγησης ιστού χρησιμοποιώντας το WebGL.

Αυτή η βιβλιοθήκη, μαζί με τη χρήση του JQuery για την επικοινωνία με τα στοιχεία του A-frame, παρέχει το όλο το απαραίτητο API για την υλοποίηση όλων των λειτουργικών τμημάτων του συστήματος απεικόνισης και επεξεργασίας τρισδιάστατων εικονικών εκθέσεων.

## Χρησιμοποιώντας το σύστημα

### Σχεδίαση του χώρου της έκθεσης

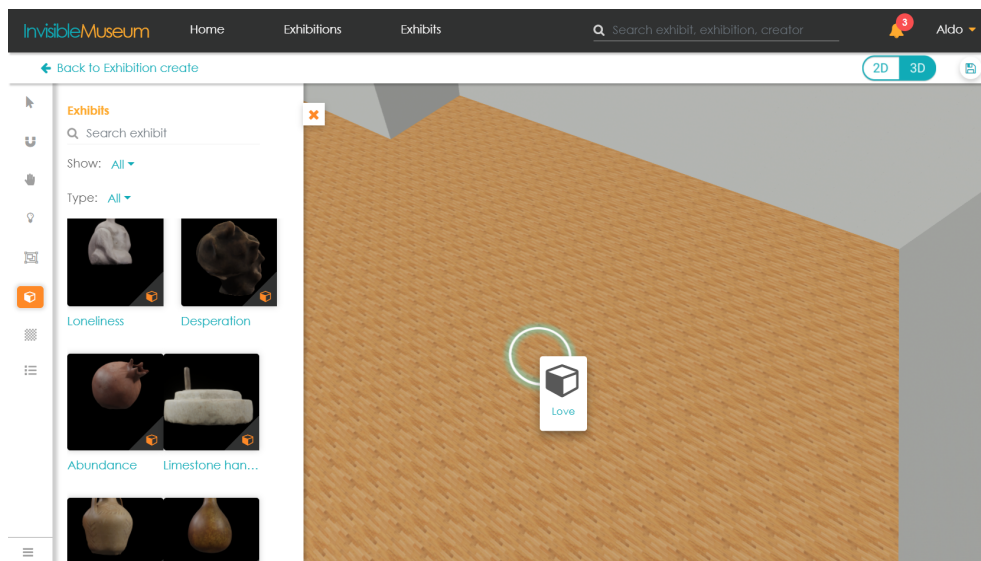
Το σύστημα επεξεργασίας εκθέσεων είναι το κομμάτι της πλατφόρμας όπου ο χρήστης συγκεντρώνει όλα τα εκθέματα, που έχει ανεβάσει προηγουμένως, σε ένα μέρος. Ξεκινώντας με ένα δισδιάστατο, tile-based πρόγραμμα επεξεργασίας δωματίου, ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει τον χώρο που θα φιλοξενήσει την έκθεσή του. Παρέχονται επίσης προκαθορισμένα δωμάτια για παράλειψη της διαδικασίας σχεδίασης.



**Εικόνα 1.** Σχέδιο κάτοψης χώρου έκθεσης από το εργαλείο σχεδίασης χώρων

### Προσθήκη εκθεμάτων στην έκθεση

Αφού δημιουργηθεί ο χώρος, μπορούν να επιλεγθούν μέσω του sidebar τα εκθέματα που θα φιλοξενήσει η έκθεση. Παρέχονται επίσης φίλτρα όπως “Τα εκθέματά μου”, “Αγαπημένα” και τύπου εκθέματος (3D, Εικόνες, Βίντεο). Μόλις ο χρήστης βρει το έκθεμα που θέλει να προσθέσει στην σκηνή, μπορεί να το σύρει μέσα σε αυτήν (drag and drop).



**Εικόνα 2.** Υπόδειξη drag and drop μηχανισμού για την προσθήκη ενός εκθέματος

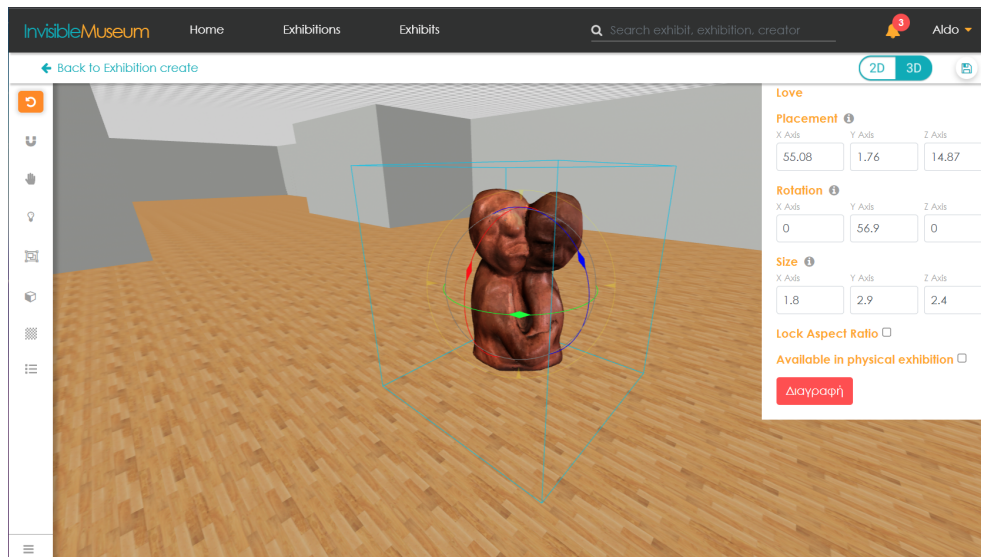
## Επεξεργασία μεγέθους, περιστροφής και θέσης των εκθεμάτων

Τα εκθέματα όταν προστίθενται στην σκηνή έχουν το μέγεθος με το οποίο ανέβηκαν στην πλατφόρμα. Τις περισσότερες φορές οι τιμές αυτές, αλλά και η περιστροφή και η θέση τους, χρειάζονται επεξεργασία ανάλογα την έκθεση. Την δυνατότητα αλλαγής αυτών των τιμών την παρέχουν 2 εργαλεία, ο inspector και τα gizmos.

Ο inspector είναι ένα παράθυρο που εμφανίζεται κάθε φορά που επιλέγεται ένα έκθεμα. Παρέχει όλες τις πληροφορίες για το μέγεθος, την περιστροφή και την θέση του επιλεγμένου εκθέματος, δίνοντας και την δυνατότητα για επεξεργασία. Επίσης προσφέρει επιλογές όπως το κλείδωμα των αναλογιών του εκθέματος κατά την αλλαγή μεγέθους και την διαγραφή του από την έκθεση.

Τα gizmos προσφέρουν μια πιο διαδραστική εμπειρία στην επεξεργασία του εκθέματος. Ο χρήστης μπορεί να κλικάρει σε ένα έκθεμα και να επιλέξει το κατάλληλο gizmo mode μέσω του sidebar ή μέσω συντομεύσεων στο πληκτρολόγιο. Στη συνέχεια, αφού επιλέξει το κατάλληλο gizmo για την τιμή που θέλει να αλλάξει, μπορεί μόνο με το ποντίκι να επεξεργαστεί το έκθεμα κατάλληλα.

Για την βέλτιστη εμπειρία προτείνεται η χρήση των gizmos για ένα γρήγορο στήσιμο της σκηνής και την συνέχεια με την χρήση του inspector να προστεθεί περισσότερη ακρίβεια.

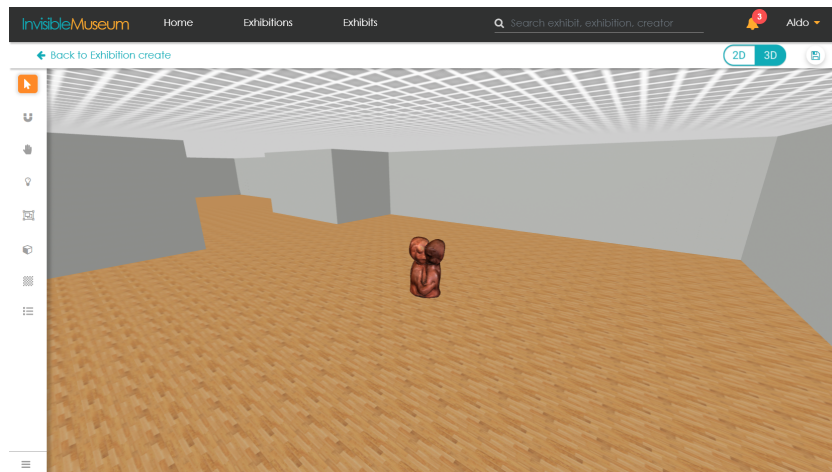


**Εικόνα 3.** Επιλεγμένο έκθεμα όπου πάνω του εμφανίζεται το gizmo της περιστροφής. Στο δεξί μέρος της φαίνεται και ο inspector.

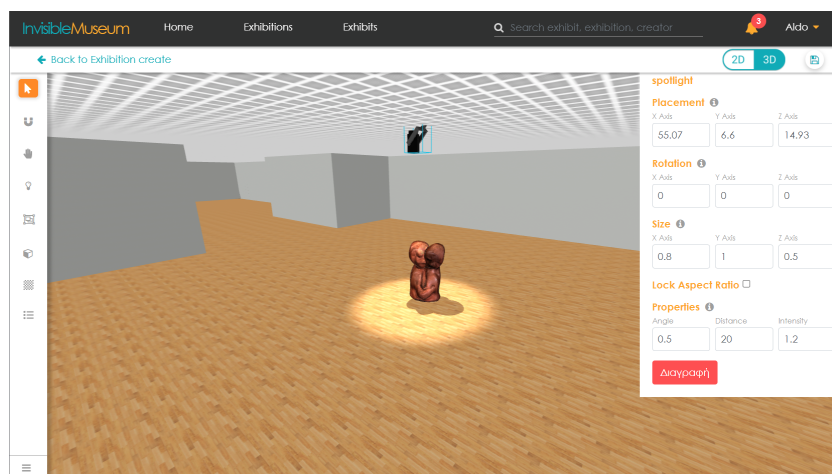
## Προσθήκη φωτισμού

Σε περίπτωση που ο χρήστης προσέθετε μόνο εκθέματα στην σκηνή, όταν κάποιος επισκέπτης θα ήθελε να δει την έκθεση αυτή, θα έβλεπε μόνο σκοτάδι. Αυτό οφείλεται στο ότι το σύστημα δημιουργίας της έκθεσης περιέχει φωτισμό που δεν γίνεται render για τους επισκέπτες. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται πολύ εύκολα με την προσθήκη φωτισμού στην σκηνή.

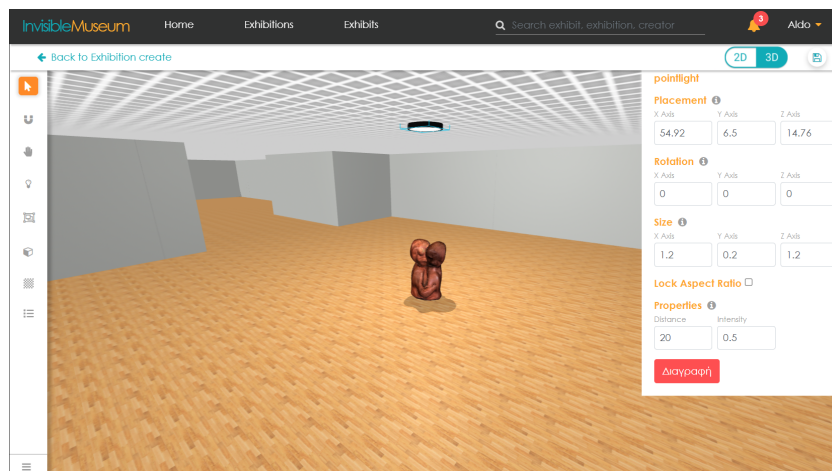
Παρέχονται 2 είδη φώτων, γενικό φως οροφής που εξομοιώνει μια συνηθισμένη λάμπα (point light) και προβολέας θέατρου (spotlight). Και τα 2 είδη παρέχουν επιλογές για την απόσταση και την ένταση του φωτός. Ο προβολέας προσφέρει επιπλέον δυνατότητα ρύθμισης της γωνίας εξάπλωσης του φωτός.



**Εικόνα 4.** Έκθεση χωρίς φωτισμό.



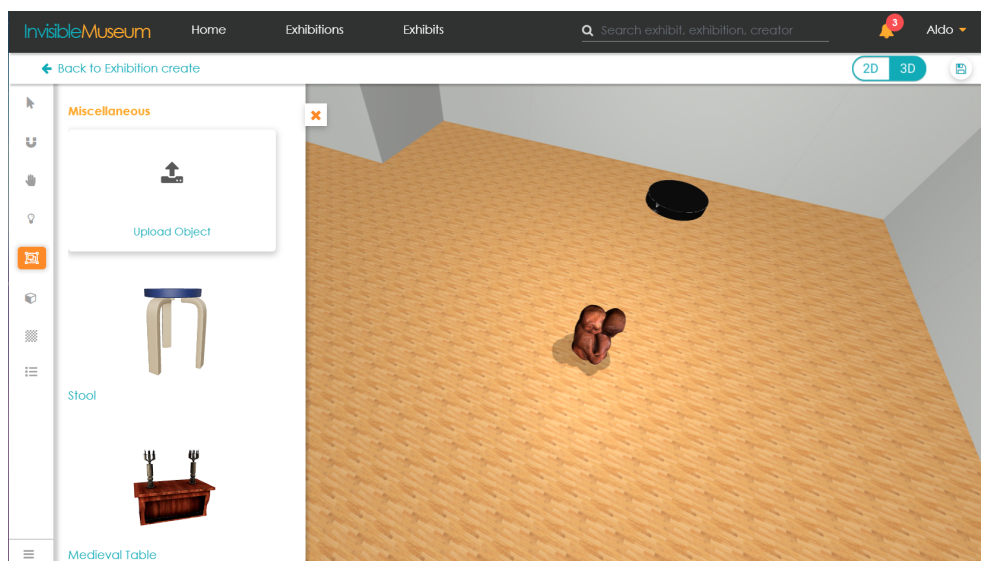
**Εικόνα 5.** Έκθεση με έναν προβολέα (spotlight).



**Εικόνα 6.** Έκθεση με ένα φως οροφής (point light).

## Προσθήκη διακοσμητικών

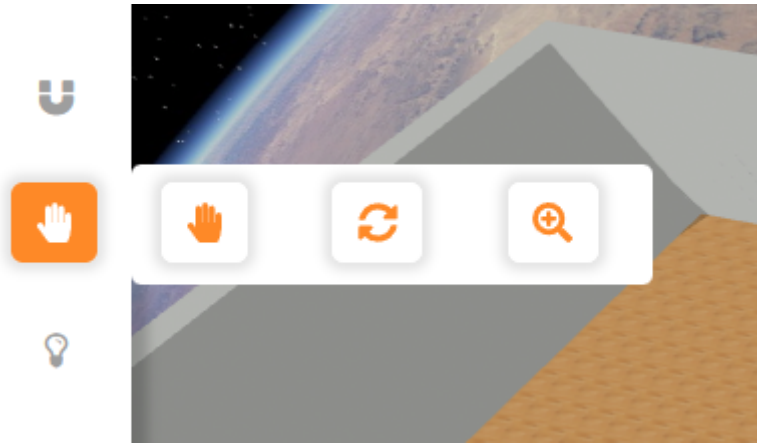
Τα εκθέματα για να προστεθούν στην σκηνή, θα πρέπει πρώτα ο χρήστης να τα ανεβάσει μέσω μιας άλλης σελίδας της πλατφόρμας, όπου η διαδικασία αυτή προϋποθέτει την προσθήκη τίτλου, περιγραφής, διαστάσεων κλπ. Ένας χρήστης μπορεί να θέλει η έκθεσή του να μοιάζει περισσότερο με έναν πραγματικό χώρο. Αυτό συνεπάγεται με την προσθήκη μοντέλων (π.χ. καναπές) που δεν είναι εκθέματα και κατά συνέπεια η χρήση της αναφερόμενης σελίδας να μην είναι κατάλληλη. Για αυτόν τον λόγο δίνεται δυνατότητα προσθήκης τρισδιάστατων μοντέλων, εικόνων και βίντεο κατά τη διάρκεια της δημιουργίας της έκθεσης (on the go). Έτσι ο χρήστης μπορεί να διακοσμήσει γρήγορα την έκθεσή του προσθέτοντας δικά του διακοσμητικά ή επιλέγοντας από μια λίστα προανεβασμένων.



**Εικόνα 7.** Παράθυρο διακοσμητικών. Στο πάνω μέρος εμφανίζεται το κουμπί που ο χρήστης μπορεί να ανεβάσει δικά του αρχεία.

## Έλεγχος της κάμερας κατά την επεξεργασία

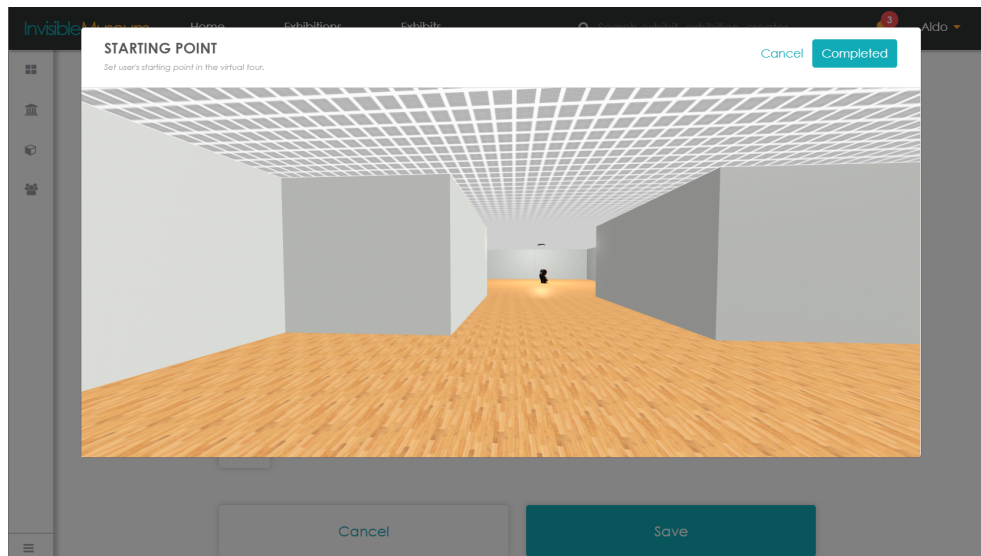
Κατά την επεξεργασία ο χρήστης μπορεί, κρατώντας πατημένο το αριστερό κλικ, να μετακινεί την κάμερα παράλληλα από το σημείο που κλικάρει, με το δεξί κλικ να την περιστρέφει γύρω από αυτό το σημείο και να ζουμάρει χρησιμοποιώντας την ροδέλα του ποντικιού. Αυτές είναι οι προεπιλεγμένες ρυθμίσεις (panning). Μέσω του sidebar ή συντομεύσεων μπορεί να αλλάξει ο χειρισμός της κάμερας επιλέγοντας επιπλέον μεταξύ τροχιακού ελέγχου (orbit) και ζούμ.



**Εικόνα 8.** Κουμπιά επιλογής χειρισμού κάμερας.

### Επιλογή σημείου εκκίνησης περιήγησης

Αφού ολοκληρωθεί η δημιουργία της έκθεσης, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει περιηγήσεις για αυτήν. Η επιλογή ονόματος, περιγραφής και εκθεμάτων μπορούν να γίνουν μέσω μίας φόρμας, όμως το σημείο έναρξης χρειάζεται μια εικόνα της έκθεσης για την επιλογή του. Για αυτόν τον λόγο υλοποιήθηκε ένα ειδικό παράθυρο, όπου ο χρήστης μπορεί να κινηθεί στην έκθεση, με την χρήση πληκτρολογίου, για να επιλέξει το σημείο που θα πρωτοβλέπουν οι επισκέπτες της έκθεσής του για την συγκεκριμένη περιήγηση.



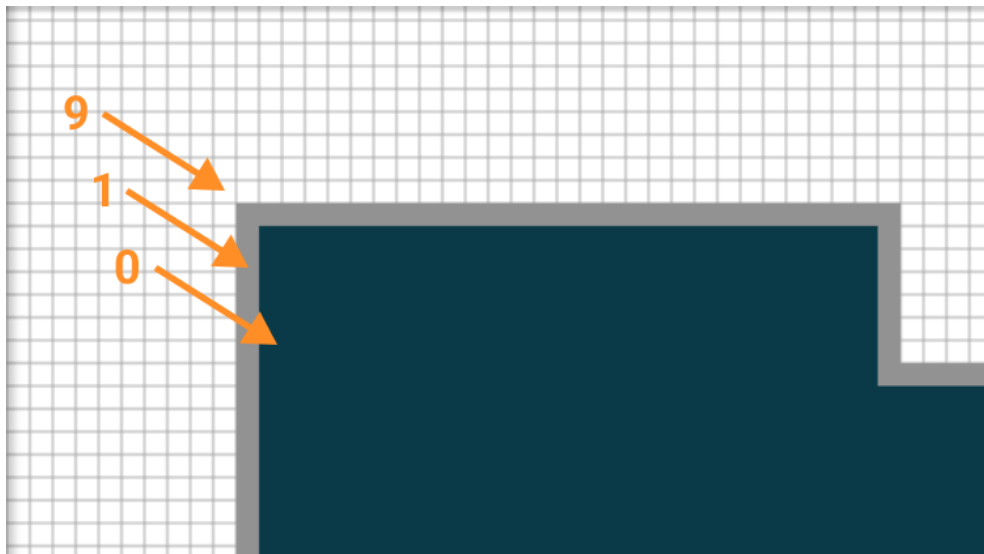
**Εικόνα 9.** Παράθυρο επιλογής σημείου έναρξης.

## Υλοποίηση συστήματος

### Το στήσιμο της εικονικής σκηνής

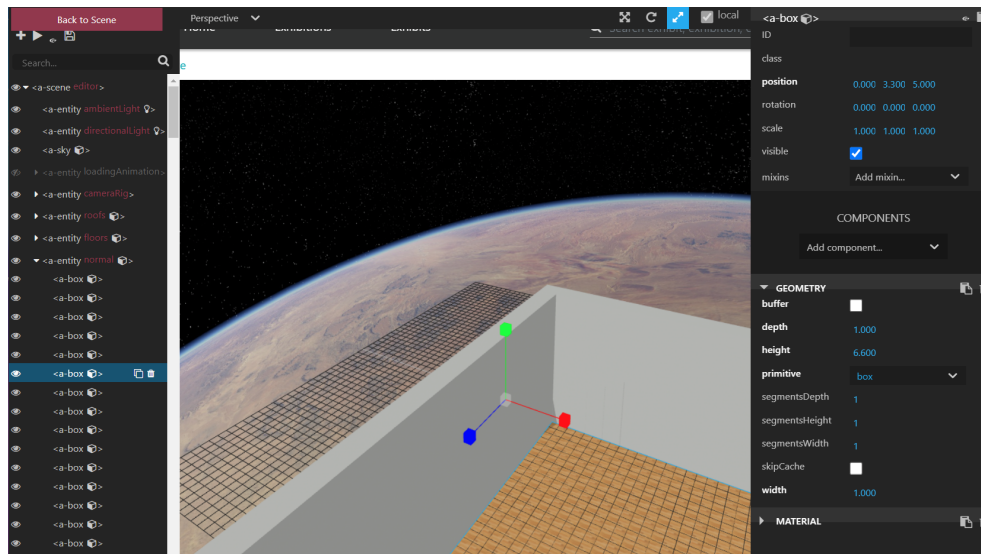
Με την ολοκλήρωση της σχεδίασης της κάτοψης του χώρου της εικονικής έκθεσης, όλη η πληροφορία για το σχέδιο αποθηκεύεται σε έναν δισδιάστατο πίνακα με ακεραίους. Ο κάθε ακέραιος στον πίνακα αντιπροσωπεύει και από μια δομή του κτιρίου, δηλαδή:

- 0 - Πάτωμα
- 1 - Τοίχος
- 3 - Πόρτα
- 9 - Κενό χώρο



**Εικόνα 10.** Αντιστοίχιση κελιών του canvas με αριθμούς ανάλογα το χρώμα.

Έπειτα, αυτός ο πίνακας χρησιμοποιείται από έναν αλγόριθμο για να παράξει τον τρισδιάστατο χώρο. Μόλις δημιουργηθεί το κάθε τρισδιάστατο κομμάτι το οποίο είναι ένα απλό κουτί (box), γίνεται συγχώνευση όλων σε ένα για καλύτερη απόδοση.



**Εικόνα 11.** Στην αριστερή πλευρά παρατηρούνται τα πολλαπλά κουτιά που συγχωνεύονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα ενιαίο χώρο.

Παράλληλα, όσο γίνεται αυτή η διαδικασία, φορτώνουν από την βάση όλα τα εκθέματα που περιέχονται στην έκθεση (σε περίπτωση που υπάρχουν).

## Drag and Drop μηχανισμός

Για την υλοποίηση του drag and drop μηχανισμού χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός από APIs. Το πρώτο κομμάτι της υλοποίησης αποτελεί η μεταφορά της πληροφορίας από το sidebar στο component του συστήματος επεξεργασίας της έκθεσης. Η Angular παρέχει έτοιμο έναν τέτοιο μηχανισμό, όμως είναι περιορισμένος για τμήματα του ίδιου component. Για να γίνει δυνατή η μεταφορά δεδομένων μεταξύ 2 διαφορετικών components δημιουργήθηκε ένα service που θα καθιστούσε δυνατή αυτή την επικοινωνία.

Το δεύτερο κομμάτι αποτελεί η υπόδειξη του σημείου που θα “προσγειωθεί” το αντικείμενο που σέρνεται απο το sidebar. Για την υλοποίηση αυτού του κομματιού χρησιμοποιήθηκε raycasting, όπου την πηγή αποτελεί το ο κέρσορας και δέκτη το πάτωμα του χώρου της έκθεσης. Στο σημείο πατώματος που χτυπάει η ακτίνα του raycaster, εμφανίζεται ένας κύκλος που βοηθάει τον χρήστη να μπορεί να επιλέξει το σημείο που θα εμφανιστεί το αντικείμενο που φέρνει από το sidebar.

## Διπλότυπα εκθεμάτων

Όταν επιλέγεται ένα εκθέμα από το sidebar και “ρίχνεται” στην σκηνή, στέλνεται ένα request στην βάση για με το id του εκθέματος για να φέρει το αρχείο με το μοντέλο/εικόνα/βίντεο που θα προβληθεί στην έκθεση. Αυτή η διαδικασία δημιουργήσε το πρόβλημα όπου σε περίπτωση διαγραφής του εκθέματος από την πλατφόρμα, αυτό θα διαγραφόταν και από όλες τις εκθέσεις, προκαλώντας περαιτέρω προβλήματα. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η περίπτωση, προστέθηκε μια διαδικασία όπου κατά την “πτώση” του εκθέματος στην σκηνή στέλνεται ένα request στην βάση να δημιουργήσει ένα αντίγραφο του εκθέματος αυτού. Το request απαντάει με το id του αντιγράφου και η διαδικασία συνεχίζεται έπειτα παρόμοια με αυτή του γνησίου. Πλέον, όμως σε περίπτωση διαγραφής του γνησίου, το έκθεμα στην έκθεση δεν θα χαθεί.

## Σύστημα ελέγχου κάμερας

Για τον έλεγχο της κάμερας χρησιμοποιήθηκε το API για το Orbit Control που παρέχει το Three.js. Επειδή τα events του ποντικιού χρησιμοποιούνται και για τα gizmos, έπρεπε να γίνει διαχωρισμός των περιπτώσεων. Αυτό επιτεύχθηκε με την απενεργοποίηση της κάθε λειτουργίας ανάλογα με ενέργειες που κάνει ο χρήστης.

Τα Orbit Controls συνδέονται άμεσα και με την λειτουργία επιλογής αντικειμένων. Για παράδειγμα, όταν ο χρήστης κλικάρει κάποιο αντικείμενο, θα πρέπει η κάμερα να το γνωρίζει έτσι ώστε να κινείται σύμφωνα με αυτό. Πάνω σε αυτό υλοποιήθηκε και η λειτουργία “Focus object”. Αυτή η λειτουργία δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εστιάζει σε ένα αντικείμενο της σκηνής με το να στρέφει την κάμερα πάνω του όσο δουλεύει με αυτό. Τέλος, προς ευκολία του χρήστη, ο κέρσορας αλλάζει ανάλογα την επιλεγμένη λειτουργικότητα.

## Λήψη στιγμιοτύπων

Η λήψη στιγμιοτύπων αποτελεί σημαντική λειτουργία για την αποθήκευση μιας έκθεσης. Το στιγμιότυπο χρησιμοποιείται ως εξώφυλλο στην φόρμα με τα στοιχεία της έκθεσης για το σύστημα επεξεργασίας. Αποτελεί, επίσης, ένδειξη στον χρήστη για την κατάσταση της τρισδιάστατης έκθεσης. Η υλοποίηση του αποτελείται από 2 τμήματα. Το πρώτο τμήμα χρησιμοποιεί το API του A-frame το οποίο παρέχει την δυνατότητα λήψης στιγμιοτύπου του canvas στον οποίο στήνεται η σκηνή. Στο δεύτερο τμήμα γίνεται η μετατροπή από canvas σε binary large object (BLOB), το οποίο μπορεί να συμπεριληφθεί σε ένα POST request και να αποθηκευτεί στη βάση. Για να αποτραπεί η δημιουργία πολλαπλών αρχείων από στιγμιότυπα στην βάση με το κάθε save της έκθεσης, γίνεται αντικατάσταση του προηγούμενου κάθε φορά, με βάση το id της έκθεσης.

## Μπάρα φόρτωσης

Το μέγεθος των εκθέσεων συνήθως μπορεί να ξεπεράσει τις πολλές δεκάδες MegaBytes, το οποίο οδηγεί σε μία, ασυνήθιστη για τα δεδομένα του ίντερνετ, καθυστέρηση της φόρτωσης. Για να αποφευχθεί η αίσθηση στον χρήστη πως υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την φόρτωση, ήταν αναγκαία η υλοποίηση μια μπάρας φόρτωσης. Τα μαθηματικά για τον υπολογισμό του ποσοστού της μπάρας είναι πολύ απλά. Αρκεί να γνωρίζουμε το συνολικό μέγεθος της έκθεσης και το μέγεθος των αρχείων που έχουν κατέβει μέχρι στιγμής. Το πρόβλημα με αυτή την υλοποίηση, όμως, είναι πως ο υπολογισμός του μεγέθους των κατεβασμένων αρχείων γίνεται μετά που κατέβουν. Έτσι, με την ύπαρξη μεγάλων αρχείων η ανανέωση του ποσοστού γίνεται πολύ σπάνια. Η λύση για αυτό το πρόβλημα ήταν ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας του δικτύου του χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο η ανανέωση της μπάρας γίνεται βάση της μέσης ταχύτητας του δικτύου και του συνολικού μεγέθους των αρχείων της έκθεσης. Βέβαια, με την χρήση της μέσης ταχύτητας δεν έχουμε 100% ακρίβεια στο ποσοστό της μπάρας, αλλά η διαφορά δεν είναι συνειδητή στον χρήστη.

## Μετατροπή από “scale” σε “dimensions”

Όταν γίνεται μεταφόρτωση των εκθεμάτων στην πλατφόρμα, τα τρισδιάστατα μοντέλα διατηρούν τις διαστάσεις τους. Το σύστημα αρχικά ήταν υλοποιημένο με τρόπο που ο χρήστης θα μπορούσε να αλλάξει το μέγεθος των εκθεμάτων κάνοντας scale τις αρχικές διαστάσεις του μοντέλου. Αυτή η διαδικασία οδηγούσε σε σύγχυση όταν ο χρήστης έβλεπε στον inspector ένα έκθεμα με διαστάσεις, παράδειγμα 10x10x10 να έχει ίδιο “μέγεθος” με ένα άλλο που έχει διαστάσεις 3x3x3. Στην περίπτωση αυτή το “μέγεθος” = “scale”, ενώ θα ήταν σωστότερο αν το “μέγεθος” = “dimensions”. Η αλλαγή αυτή αποδείχθηκε πιο δύσκολη από ότι υπολογίστηκε, διότι η three.js δεν παρέχει πληροφορία για τις διαστάσεις των μοντέλων. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκε το bounding box (πλαίσιο οριοθέτησης) που παρέχει το API. Το bounding box βοηθάει στον υπολογισμό του μεγέθους μετά από κάθε αλλαγή στο scale του μοντέλου βάση του τύπου:

$$\text{Μέγεθος} = (\text{Scale\_τελικό} / \text{Scale\_αρχικό}) * \text{Διαστάσεις}$$

Όπου οι διαστάσεις παρέχονται από το bounding box.

Με αυτόν τον τρόπο όλα τα εκθέματα έχουν ανάλογα μεγέθη.

## Αξιολόγηση βάσει χρήστη

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω το σύστημα που περιγράφεται σε αυτήν την πτυχιακή εργασία αποτελεί ένα κομμάτι μιας μεγαλύτερης πλατφόρμας. Κατά την διάρκεια της ανάπτυξης, συνεργάτες του πρότζεκτ χρησιμοποιούσαν το συγκεκριμένο σύστημα για να τεστάρουν διάφορα τμήματα της πλατφόρμας. Μέσα από την διαδικασία του testing, δημιουργούνταν χρήσιμο feedback για την επίλυση bugs, ακόμη και για την βελτίωση της εμπειρίας χρήσης.

Για την δημιουργία των εκθέσεων χρησιμοποιήθηκαν όλες οι λειτουργίες που προσφέρει το σύστημα ανάπτυξης εικονικών εκθέσεων. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ο δισδιάστατος σχεδιαστής χώρου για την δημιουργία του χώρου που θα φιλοξενήσει τις εκθέσεις. Στη συνέχεια προστέθηκαν τα αντίστοιχα εκθέματα που είχαν ανέβει προηγουμένως στην πλατφόρμα. Επιπλέον προστέθηκαν διακοσμητικά όπως προθήκες, τοιχογραφίες και φωτισμός (χώρου και προβολείς). Όλα υπέστησαν τις κατάλληλες τροποποιήσεις για να ταιριάξουν στην εικονική έκθεση και να προσαρμοστούν σε αναλογίες παρόμοιες με μία πραγματική.

Πέρα από το testing και την αξιολόγηση εσωτερικά από την ομάδα ανάπτυξης, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση και στο Ιστορικό Μουσείο Κρήτης. Μέσα στα πλαίσια ενός πολιτιστικού προγράμματος, το μουσείο κλήθηκε να χρησιμοποιήσει την πλατφόρμα για την δημιουργία 2 εκθέσεων με τίτλο “Στέλιος Αμανάκης: Πολεμώντας στο Δυτικό Μέτωπο” και “Οδυσσέας Ελύτης: «Φρόντισε να τυπωθεί πανομοιότυπο»”, όπου το υλικό αποτελείται πραγματικά φωτο-σκαναρισμένα εκθέματα. Κατά την δημιουργία των εκθέσεων αυτών παρατηρήθηκαν δυσκολίες στην χρήση του συστήματος, με αποτέλεσμα τον προγραμματισμό επισκέψεων στο κτίριο του μουσείου.

Η διαδικασία της αξιολόγησης συμπεριλάμβανε την χρήση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο, όπου ο χρήστης κλήθηκε να περιγράψει την κάθε του ενέργεια (thinking aloud μέθοδος). Μέσω αυτής της διαδικασίας καταγράφηκαν, επιπλέον, τρόποι χρήσης του συστήματος που δεν είχαν προβλεφθεί μέσω συμπεριφορικής ανάλυσης. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν ερωτήσεις για τις δυσκολίες ή προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά την διάρκεια της δημιουργίας της έκθεσης έτσι ώστε να καταγραφούν με σκοπό την επίλυσή τους.

Το κυριότερο πρόβλημα που εντωπίστηκε ήταν η εξαφάνιση των εκθεμάτων από την έκθεση. Το οποίο προκαλούνταν από μία ασυγχρόνιστη αποθήκευση της έκθεσης στην βάση δεδομένων η οποία οδηγούσε στην επανεγγραφή της τελευταίας έκδοσης από μια παλιότερη. Για παραγωγή του συγκεκριμένου προβλήματος χρειαζόταν να γίνει η χρήση του συστήματος από πραγματικούς χρήστες, οι οποίοι θα χρησιμοποιούσαν το σύστημα με έναν τρόπο, που δεν είχε προβλεφθεί από τα σενάρια χρήσης μέχρι εκείνη την στιγμή. Επιπλέον, εντοπίστηκαν και άλλα, μικρότερης κλίμακας, προβλήματα που δεν οδηγούσαν σε καταστροφικές συνέπειες,

αλλά υποβάθμιζαν την ποιότητα της εμπειρίας χρήσης. Τέτοια προβλήματα αποτελούσαν διάφορες εικονικές ασυνέπειες (visual bugs), καθυστέρηση φόρτωσης κάποιων λειτουργιών, δυσκολίες στην χρήση κάποιων εργαλίων του συστήματος, ακόμη και η άγνοια από τον χρήστη ύπαρξης μερικών από αυτών.

## Συμπεράσματα / Μελλοντική δουλειά

Η πτυχιακή εργασία αυτή αποτέλεσε μια σημαντική πρόκληση όμως το αποτέλεσμα είναι πολύ ικανοποιητικό και αφήνει πολλά περιθώρια για περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση. Κύριοι λόγοι που οδήγησαν στην αύξηση της δυσκολίας του έργου αποτέλεσαν η έλλειψη επαρκούς documentation, ο συνδυασμός των εργαλείων (Angular, A-frame, Three.js) μεταξύ τους αλλά κυρίως η απειρία ενασχόλησης με παρόμοια διαδικτυοκεντρικά πρότζεκτ (από προσωπική πλευρά). Από την άλλη πλευρά, η ομάδα που ασχολούνταν παράλληλα με την ίδια πλατφόρμα, παρείχε την κατάλληλη βοήθεια για την ομαλή ανάπτυξη και επίλυση προβλημάτων που προέκυπταν κατά την διάρκεια.

Πλέον, το πρότζεκτ βρίσκεται σε στάδιο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από χρήστες, όμως υπάρχουν λειτουργίες που μπορούν να προστεθούν για να εμπλουτίσουν την εμπειρία χρήσης. Κύριες λειτουργίες που δεν έχουν υλοποιηθεί είναι, παράδειγμα, το Undo/Redo (design pattern) και η συνεργατική δημιουργία μέσω πολλαπλών χρηστών. Αυτές οι λειτουργίες, όπως και άλλες που μπορούν να προκύψουν αποτελούν στόχο για το μέλλον του πρότζεκτ.

## Πηγές

<https://angular.io>

<https://threejs.org>

<https://aframe.io>