



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΡΟΦΗΣ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΣΤΡΑΒΟΥΔΑΚΗΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ – ΜΑΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ: ΟΥΓΓΡΙΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ – ΑΛΚΕΤΑΣ

ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2018

Ευχαριστίες

Με την παρούσα παράγραφο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας και ιδιαίτερα:

Τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ουγγρίνη Κωνσταντίνο, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να είμαι μέλος του ερευνητικού εργαστηρίου Μεταβαλλόμενων Ευφυών Περιβαλλόντων του Πολυτεχνείου Κρήτης, με άμεσο αποτέλεσμα την ενασχόληση και κατάρτισή μου με νέους τομείς και τεχνολογίες, αλλά φυσικά και την εκπόνηση της εργασίας μου, η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια έρευνας του εργαστηρίου. Τον ευχαριστώ επίσης για την καθοδήγηση και την συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα.

Επίσης θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της ομάδας που ασχολήθηκαν με την συγκεκριμένη έρευνα, χωρίς τους οποίους η εργασία μου δεν θα ήταν εφικτή. Συγκεκριμένα ευχαριστώ τους: Δαλίανη Χρήστο, Μαϊρόπουλο Δημήτρη, Μπατζελή Στέλιο και Ντζούφρα Σωτήρη για την συνεργασία που είχαμε και για όσα έμαθα από τον καθένα ξεχωριστά.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους μου συμπαραστάθηκαν και με βοήθησαν την περίοδο εκπόνησης της εργασίας.

Πρόλογος

Ο άνθρωπος συνδέεται με το περιβάλλον του και αναπτύσσει σχέσεις με αυτό μέσω της κιναισθητικής εμπειρίας που προκύπτει από την κίνηση του σώματος μέσα στον χώρο. Όταν ο χώρος εξοπλιστεί με νέες τεχνολογίες και ενσωματωμένα συστήματα με δυνατότητα διάδρασης και ανταπόκρισης, τότε αναπτύσσονται σχέσεις μεταξύ ατόμου και αρχιτεκτονήματος.

Στην εργασία που ακολουθεί παρουσιάζεται και αναλύεται η έρευνα και ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάστηκε ένα διαδραστικό σύστημα μεταβαλλόμενης γεωμετρίας, με στόχο την εφαρμογή και τοποθέτησή του στην οροφή μιας εκπαιδευτικής αίθουσας. Η εργασία αυτή εκπονήθηκε εντός του ευρύτερου πλαισίου έρευνας του εργαστηρίου Μεταβαλλόμενων Ευφών Περιβαλλόντων του Πολυτεχνείου Κρήτης που αφορά ενισχυμένα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα.

Σκοπός της κατασκευής που αναπτύχθηκε, είναι να καταφέρει να αλλάξει τις χωρικές συνθήκες μέσα σε έναν ήδη προκαθορισμένο χώρο και παράλληλα να προσαρμοστεί στις συνθήκες του περιβάλλοντός της και στις δραστηριότητες των ατόμων. Με την μεταβολή της γεωμετρίας, αλλά και με την βοήθεια των μηχανικών μερών της κατασκευής, επιτυγχάνεται η αλλαγή της αίσθησης του χώρου και η βελτίωση στις συνθήκες ακουστικής και φωτισμού.

Η εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο αναλύεται η έννοια της διάδρασης μεταξύ ανθρώπου και αρχιτεκτονήματος και παραθέτονται παραδείγματα διαδραστικών κατασκευών, τα οποία αποτέλεσαν έμπνευση για την συγκεκριμένη έρευνα. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται το σύστημα που κατασκευάστηκε, οι μηχανισμοί και ο προγραμματισμός της κίνησης και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν. Στο τρίτο και τελευταίο μέρος γίνεται αναφορά στον τρόπο εξέλιξης ενός διαδραστικού συστήματος σε ανταποκριτικό με την χρήση αισθητήρων και έξυπνων υλικών.

Λέξεις – Κλειδιά

Διαδραστική Αρχιτεκτονική, Ανταποκριτική Αρχιτεκτονική, Μηχατρονική, Υπολογιστικά Συστήματα, Ευφυή Περιβάλλοντα, Έξυπνα Υλικά

Abstract

People are connected with their environment throughout the kinesthetic experience resulting from the body movement in space. If space is equipped with new technologies and embedded computation systems with the ability to interact and respond to environmental changes and human needs, then a creation between human and structure is created.

In this paper an interactive structure with transformable geometries is presented, which aims to the implementation in educational classrooms. The structure's purpose is to change the spatial conditions in a defined space, depending on the environmental conditions and human activities. The transformable geometries and the movement ability of the structure allow these spatial changes, in addition with acoustics and lightning improvement.

The paper is composed of three parts. In the first one the concept of interaction between human and structure is described, along with some interactive structure paradigms that inspired us throughout the design process. In the second part the final project is described, the design, the movement programming and mechanisms and the fabrication materials. In the last part, an endeavor is made to suggest ways to evolve the interactive system to a responsive one, using sensors and smart materials.

Keywords

Interactive Architecture, Responsive Architecture, Mechatronics, Embedded Computation Systems, Smart Materials, Transformable Design, Intelligent Environments

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Εισαγωγή.....	6
Κεφάλαιο 1. Διαδραστική Αρχιτεκτονική	
Χαρακτηριστικά Διαδραστικής Αρχιτεκτονικής.....	6
Ο ρόλος του χρήστη στην Διαδραστική Αρχιτεκτονική.....	7
Ο ρόλος της τεχνολογίας στην Διαδραστική Αρχιτεκτονική.....	8
Μελέτη Παραδειγμάτων Διαδραστικής Αρχιτεκτονικής.....	9
Kinetic Membranes.....	9
Cosmic Quilt.....	10
Kinetic Pavilion.....	12
Spirit Ghost.....	14
Κεφάλαιο 2. Διαδραστική Κατασκευή Οροφής Μεταβαλλόμενης Γεωμετρίας	
Σκοπός Κατασκευής.....	17
Περιγραφή Κατασκευής.....	18
Κατασκευή Μακέτας.....	20
Προγραμματισμός Κίνησης.....	23
Υλικά Κατασκευής.....	27
Κατασκευή μονάδας σε κλίμακα 1:1.....	30
Κεφάλαιο 3. Πρόταση Εξέλιξης Μελετημένης Κατασκευής	
Μοντέλα Εφαρμογής Διάδρασης – Μεταβλητότητας.....	34
Έξυπνα Υλικά.....	35
Προτάσεις Εξέλιξης Διαδραστικής Κατασκευής.....	36
Επίλογος.....	38
Βιβλιογραφία.....	39

Εισαγωγή

Η εποχή που διανύουμε χαρακτηρίζεται ως ψηφιακή εποχή, ή εποχή της πληροφορίας. Η πληροφορία διακινείται μέσω δικτύων, υπολογιστικών συστημάτων, μικροελεγκτών και αισθητήρων. Ο ψηφιακός κόσμος συγκλίνει με τον φυσικό, μέσω της ενσωμάτωσης των ηλεκτρονικών μέσων με τις φυσικές κατασκευές, μιας τάσης που σήμερα καλείται ως Internet of Things. Η ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας παρατηρείται και στην αρχιτεκτονική, δημιουργώντας τις έννοιες της διάδρασης και ανταπόκρισης του αρχιτεκτονήματος με το περιβάλλον του και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η διάδραση λοιπόν στην αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται από την αναταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στο φυσικό χώρο και το περιβάλλον του, για την οποία προϋπόθεση είναι η ύπαρξη υπολογιστικών συστημάτων και κινητικών μηχανισμών. Έτσι δημιουργείται ένα σύστημα διαρκούς ροής πληροφορίας ανάμεσα στο αρχιτεκτόνημα και τον χρήστη, με την δυνατότητα ελέγχου των μεταβολών αλλά και της ανταπόκρισης σε αυτές.

Κεφάλαιο 1. Διαδραστική Αρχιτεκτονική

Χαρακτηριστικά Διαδραστικής Αρχιτεκτονικής

Με την εισαγωγή της έννοιας της διάδρασης στην αρχιτεκτονική, της επίδρασης δηλαδή ενός συστήματος σε ένα άλλο, δημιουργείται ο τομέας της αρχιτεκτονικής που είναι γνωστός και ως Διαδραστική Αρχιτεκτονική (Interactive Architecture). Η διαδραστική αρχιτεκτονική πραγματεύεται κυρίως την δημιουργία δυναμικών χώρων και αντικειμένων, μέσω προγραμματισμένων διαδικασιών, ικανών να εκτελέσουν μία σειρά από περιβαλλοντικές και ανθρωπολογικές λειτουργίες. Το εύρος, όμως, της ίδιας της διαδραστικής αρχιτεκτονικής είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να περιλαμβάνει τομείς όπως η ανταποκρινόμενη αρχιτεκτονική (responsive architecture), η προσαρμοστική αρχιτεκτονική (adaptive architecture), η αποδοτική αρχιτεκτονική (performance-oriented architecture), ακόμη και η βιομιμητική αρχιτεκτονική που ακολουθεί το οργανικό παράδειγμα (organic paradigm).

Οι Michael Fox και Miles Kemp στο βιβλίο τους «Interactive Architecture» ορίζουν την διαδραστική αρχιτεκτονική ως «την σύγκλιση και συνεργασία των ενσωματωμένων υπολογισμών και της τεχνητής νοημοσύνης (embedded computation – artificial intelligence) με τη φυσική διάσταση της κινηματικής (physical counterpart of kinetics), στο πλαίσιο ενός αρχιτεκτονικού στοιχείου, ούτως ώστε αυτό να προσαρμόζεται με σκοπό την επίλυση ανθρωπολογικών και περιβαλλοντολογικών ζητημάτων.»¹

Οι κύριες κατευθύνσεις λοιπόν της διαδραστικής αρχιτεκτονικής είναι, αρχικά η προσαρμογή στην ανθρώπινη συμπεριφορά και στις ανάγκες του χρήστη, ή και του ευρύτερου κοινωνικού συνόλου, καθώς και η προσαρμογή στις περιβαλλοντολογικές συνθήκες και τα φυσικά φαινόμενα. Η πρώτη κατεύθυνση ερευνά χωρικές εμπειρίες, έτσι ώστε να δημιουργήσει μια μορφή επικοινωνίας και διαλόγου ανάμεσα στον χρήστη και το αρχιτεκτονικό σύστημα, με στόχο την ανάπτυξη της κοινωνικότητας του χρήστη και την ενεργοποίηση των συναισθημάτων του σχετικά με τον χώρο, ο οποίος αντιδρά στα ερεθίσματα που λαμβάνει. Η δεύτερη κατεύθυνση αφορά τον σχεδιασμό αρχιτεκτονημάτων με κεντρικό άξονα την ενεργειακή εξοικονόμηση, την οικολογική συμπεριφορά και την προσαρμογή στις περιβαλλοντολογικές αλλαγές.²

Ο ρόλος του Χρήστη στην Διαδραστική Αρχιτεκτονική

Σημαντικό ρόλο παίζει ο βαθμός διάδρασης σε ένα σύστημα ώστε να θεωρείται κομμάτι διαδραστικής αρχιτεκτονικής. Σύμφωνα με τον Usman Haque: «Συστήματα (αρχιτεκτονήματος – χρήστη) πρέπει να ενοποιούν ένα χαρακτηρισμό της διάδρασης ως «κυκλικής», καθώς υπάρχει δράση και επανάδραση και όχι δράση – αντίδραση. Ως πραγματικά διαδραστικό σύστημα ορίζεται ένα σύστημα συνεχούς επανατροφοδότησης, με το οποίο κάποιος εισέρχεται σε μία διαρκή κατάσταση επικοινωνίας – συνομιλίας: μία διαρκής και εποικοδομητική ανταλλαγή πληροφορίας.»³

Στη διαδραστική αρχιτεκτονική το κτίριο – αντικείμενο δεν πρέπει απλά να αντιδρά σε συνθήκες του περιβάλλοντος ή σε επιθυμίες του χρήστη. Η σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ του αρχιτεκτονήματος και του χρήστη δεν είναι μία προγραμματισμένη κυκλική διαδικασία δράσης – αντίδρασης μεταξύ ανθρώπου και μηχανής. Αντίθετα, είναι αναγκαίο να υπάρχει ένας συνεχής διάλογος μεταξύ των δύο μερών, όπου δεν διαμορφώνεται μόνο το αποτέλεσμα της εισαγόμενης πληροφορίας, αλλά επηρεάζεται η ίδια η διαδικασία παραγωγής της εξερχόμενης πληροφορίας και δράσης. Ο χρήστης έχει άμεση πρόσβαση στο αποτέλεσμα της διαδικασίας, μιας και τα κριτήρια της εισροής και εκροής πληροφορίας δεν είναι προδιαγεγραμμένα. Υπάρχει λοιπόν, μία διαρκής επικοινωνία χρήστη – αισθητήρων – μικροεπεξεργαστών – ενεργοποιητών - χώρου και ξανά χρήστη. Η ανταπόκριση στα ερεθίσματα που λαμβάνονται από τον χρήστη δεν ενεργοποιεί μία τυποποιημένη, άρα αυτοματοποιημένη, σειρά αντιδράσεων από το αρχιτεκτόνημα. Αντίθετα, έχουμε κάθε φορά διαφορετική αντίδραση, αντλώντας πληροφορίες από ήδη προηγούμενες αποθηκευμένες διαδραστικές δραστηριότητες.

Ο Kas Oosterhuis στην ανάλυσή του για το πότε ένα σύστημα είναι διαδραστικό και ποιος είναι ο βαθμός διάδρασής του εισάγει τον όρο της *υπεραρχιτεκτονικής (hyperarchitecture)*, δηλαδή «την αρχιτεκτονική η οποία εγκαθιστά τρόπους επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο μεταξύ του αρχιτεκτονήματος και του χρήστη, επιτρέποντας τη διάδραση μεταξύ αυτών. Ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένα αιτήματα, αναδιαμορφώνοντας τον εαυτό της σε πραγματικό χρόνο, βασιζόμενη στην παραδοχή ότι η διάδραση μπορεί να επιτευχθεί μεταξύ δύο ενεργών μερών, όπου το ένα είναι ο χρήστης και το άλλο το αρχιτεκτόνημα με μία γενικότερη δυναμική ερμηνεία.»⁴

Η επιτυχία της διάδρασης ανάμεσα στον χρήστη και το αρχιτεκτόνημα βασίζεται στη λήψη της πληροφορίας μέσω αισθητήρων και περαιτέρω επεξεργασίας της, μέσω του μικροελεγκτή. Τα διαδραστικά αρχιτεκτονικά συστήματα στηρίζονται στην αρχή που ερευνά πώς οι σχέσεις μεταξύ απλών τμημάτων μπορούν να προκαλέσουν πολύπλοκες συλλογικές συμπεριφορές μέσα σε ένα σύστημα, και στη συνέχεια, πώς αυτά τα συστήματα μπορούν να αλληλεπιδράσουν και να δημιουργήσουν σχέσεις με το περιβάλλον. Πάνω σε αυτήν την αρχή δημιουργούνται αρχιτεκτονικά στοιχεία με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά συστήματα, με ικανότητες αντίδρασης και επικοινωνίας, λόγω των σχέσεων που αρχικά αναπτύσσονται μεταξύ των αρχιτεκτονικών μελών, του περιβάλλοντος και των χρηστών.

Ο ρόλος της Τεχνολογίας στην Διαδραστική Αρχιτεκτονική

Σύμφωνα με τον Kas Oosterhuis:

«Ως διαδραστική αρχιτεκτονική ορίζεται ένας νέος κλάδος της αρχιτεκτονικής που κατέστη δυνατός λόγω των εξελίξεων στην τεχνολογία της πληροφορικής και της διαθεσιμότητας νέων υλικών, με δυνατότητες που επεκτείνουν την ικανότητα του κτιρίου στην επεξεργασία πληροφοριών και στην ανίχνευση και ενεργοποίηση δράσεων (via information processing, sensors and actuators). Η διαδραστική αρχιτεκτονική δεν στηρίζεται μόνο στη φυσική υπόσταση του κτιρίου, αλλά και στη συμπεριφορά του, καθώς η συνύπαρξη των δύο πρέπει να οδηγεί σε σχεδιαστικές λύσεις που να ανοίγει πλήρως τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης του κτιρίου με το περιβάλλον του.»⁵

Η διαδραστική αρχιτεκτονική λοιπόν, γίνεται πραγματικότητα με την αυξανόμενη χρήση των νέων έξυπνων υλικών και την διαρκή εξέλιξη στον τομέα της κινηματικής και της ρομποτικής. Η συνεργασία της κινηματικής (kinetics) και των μηχανικών μερών του αρχιτεκτονήματος, με την τεχνολογία των ενσωματωμένων υπολογιστικών συστημάτων, αισθητήρων, μικροεπεξεργαστών και ενεργοποιητών (embedded computation, actuators, sensors, microprocessors) βρίσκει άμεση εφαρμογή στην διαδραστική αρχιτεκτονική. Σύμφωνα με τους Kemp και Fox η κινηματική χαρακτηρίζεται ως το hardware και τα υπολογιστικά συστήματα ως το software του αρχιτεκτονήματος.

Η διαδικασία που ακολουθείται ώστε να πραγματοποιηθεί η διάδραση είναι η εξής:

Αρχικά γίνεται συλλογή και εισαγωγή πληροφοριών από το περιβάλλον ή τον χρήστη με το σύστημα των αισθητήρων. Οι αισθητήρες ποικίλουν στον τρόπο που συλλέγουν δεδομένα και χωρίζονται σε αισθητήρες άμεσης επαφής, οι οποίοι συλλέγουν δεδομένα μέσω των στοιχείων που έρχονται σε επαφή μαζί τους, και σε αισθητήρες που δεν απαιτούν επαφή, όπως κάμερες, ραντάρ, αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας κ.α. Έπειτα οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν μεταφέρονται στον μικροεπεξεργαστή, αναλύονται και μεταφράζονται σε εντολές για τους ενεργοποιητές της κίνησης. Ο μικροεπεξεργαστής αποτελεί μια απλή έκφραση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, λειτουργεί με προσωρινή μνήμη, λαμβάνει δεδομένα από τις θύρες εισόδου, τα επεξεργάζεται, παίρνει «αποφάσεις» βάσει των παραμέτρων συμπεριφοράς που του έχουν τεθεί, και μεταφέρει τις επιθυμητές δράσεις στις συσκευές που βρίσκονται στις θύρες εξόδου. Το τελευταίο στάδιο της διαδραστικής διαδικασίας συμπληρώνουν τα μηχανικά μέρη του αρχιτεκτονήματος, τα οποία αποτελούν τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η κίνηση και η επιθυμητή μεταβολή στη γεωμετρία, το μέγεθος ή το σχήμα του αρχιτεκτονικού στοιχείου, μεταβάλλοντας την αίσθηση του χώρου. Τρόποι που χρησιμοποιούνται στην μηχανική κινηματική διαδικασία είναι η μετατόπιση με εφελκυσμό ή με τεχνολογία ψαλιδιών, η περιστροφή, η ένθεση, η κίνηση με αεροκινητικά ή υδραυλικά μέρη κ.α.⁶

1.Fox, A., Kemp M. (2009). *Interactive Architecture*. Princeton Architectural Press. σελ. 12

2.Fox, A., Kemp M. (2009). *Interactive Architecture*. Princeton Architectural Press. σελ. 126 - 128

3.Haque,U. (2006). 'AU: Architectura & Urbanismo'. *Architecture, interaction, systems*

4.Oosterhuis, K. (2012). *Hyperbody: first decade of interactive architecture*. Jap Sam Books

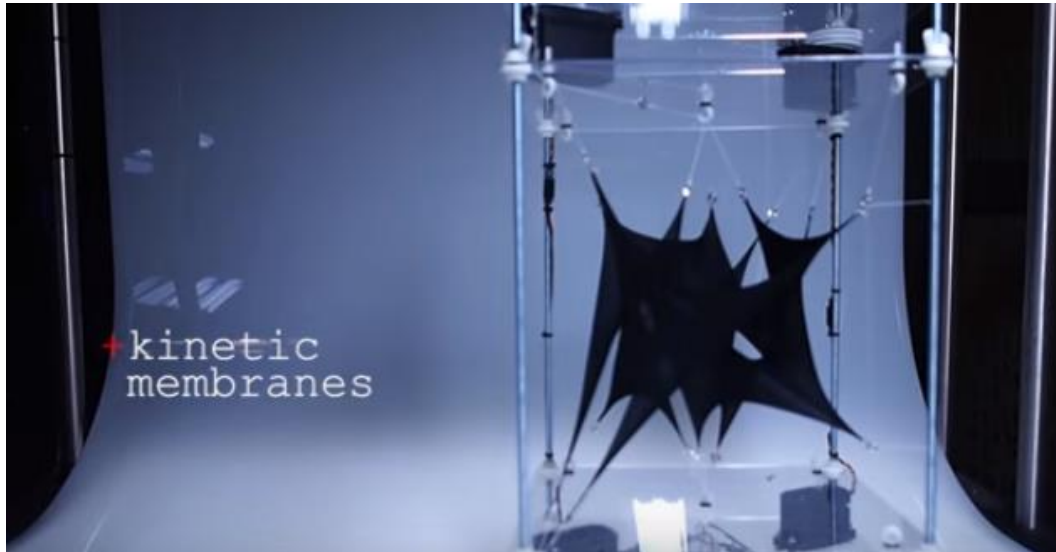
5.Oosterhuis, K. (2012). *Hyperbody: first decade of interactive architecture*. Jap Sam Books

6.Ουγγρίνης Κ. (2012). *Μεταβαλλόμενη Αρχιτεκτονική Κίνηση/Προσαρμογή/Ευελιξία*. Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ, σελ.336 - 338

Μελέτη παραδειγμάτων διαδραστικών κατασκευών

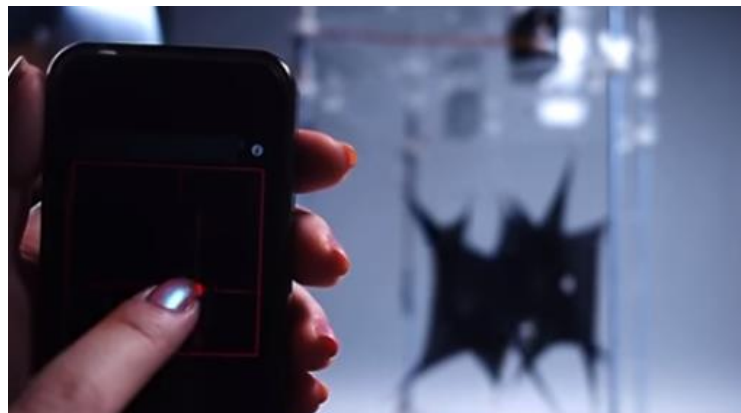
Υπάρχει πληθώρα κινητικών διαδραστικών εφαρμογών που επιβεβαιώνουν την θεωρία και τις κατηγοριοποιήσεις σχετικά με τον βαθμό διάδρασης και τους τρόπους και μηχανισμούς με τους οποίους αυτή επιτυγχάνεται. Παρακάτω παρατίθενται κάποια παραδείγματα τα οποία μελετήθηκαν και αποτέλεσαν έμπνευση για την εφαρμογή που παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Kinetic Membranes¹

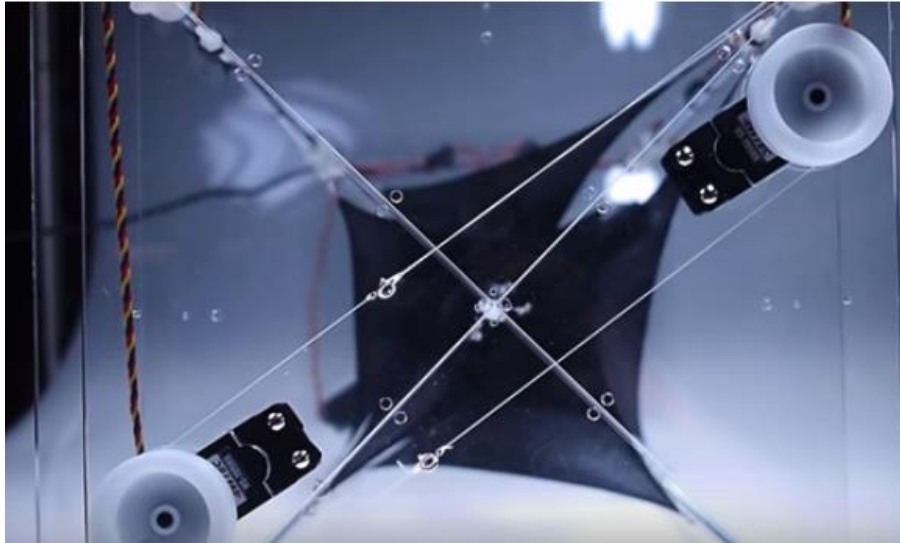


Εκ. 1 Kinetic Membranes module

Πρόκειται για μια εφαρμογή η οποία αναπτύχθηκε για να δημιουργήσει διαδραστικές, δυναμικές και ρευστές δομές μέσα στον χώρο. Αποτελεί απόδειξη για την δημιουργία σε κλίμακα 1:1 ενός ασύρματου ρυθμιζόμενου χώρου. Η μορφή των μεμβρανών σχεδιάστηκε με λογισμικό παραμετρικού σχεδιασμού και ο χειρισμός τους επιτυγχάνεται μέσω μιας οθόνης αφής, η οποία επιτρέπει στον χρήστη να κινήσει το σύστημα των μεμβρανών σε έναν καθορισμένο κানাβο στον οποίο περιορίζονται τα μηχανικά μέρη της κατασκευής.



Εκ. 2 Kinetic Membranes motion grid

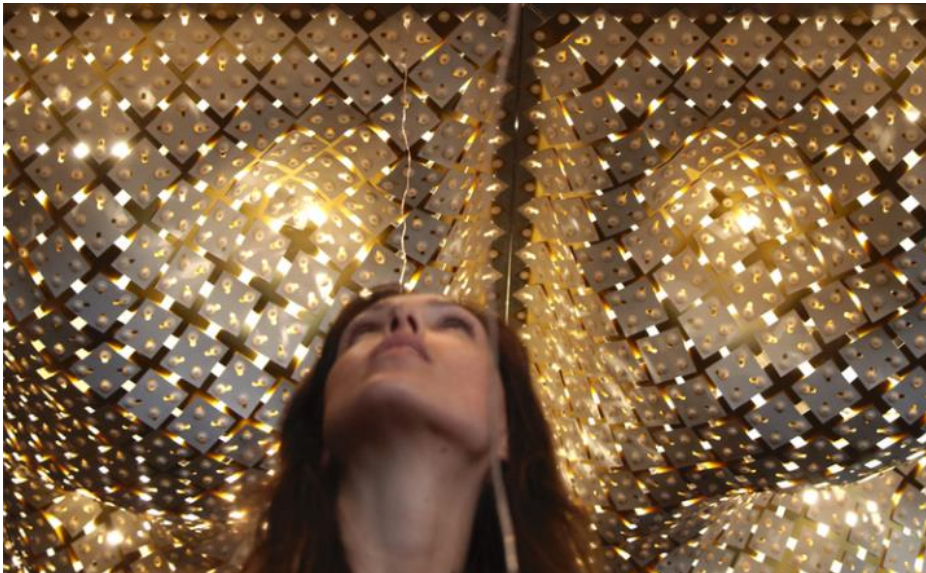


Εικ. 3 Kinetic Membranes movement mechanism

Ο χρήστης στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει ενεργό ρόλο στην εφαρμογή, καθώς επιλέγει την μορφή που θα δημιουργηθεί στον χώρο, στέλνει την πληροφορία μέσω της οθόνης στον μικροεπεξεργαστή, όπου μεταφράζεται σε κάποιο προγραμματισμένο σενάριο κίνησης.

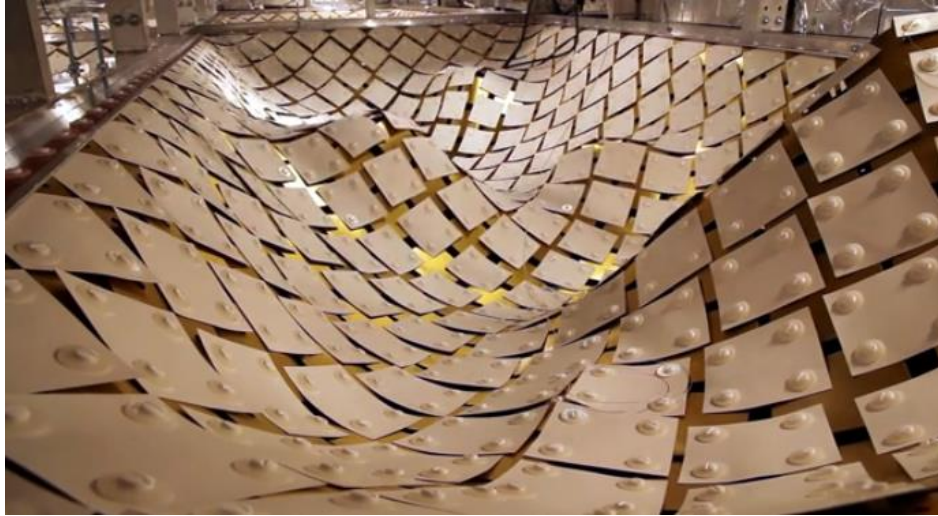
Cosmic Quilt²

Το «Κοσμικό Κάλυμμα» ξεκίνησε σαν εβδομαδιαίο workshop με φοιτητές από το Art Institute of New York, με την ομάδα «The Principals» να τους καθοδηγεί στην κατασκευή ενός διαδραστικού αρχιτεκτονικού περιβάλλοντος το οποίο θα παρουσιαζόταν στο κοινό κατά την διάρκεια του Design Week 2012 της Νέας Υόρκης.



Εικ. 4 Cosmic Quilt

Περισσότερα από 3000 κομμάτια απαρτίζουν το Cosmic Quilt και λειτουργούν ως σύστημα για να δημιουργήσουν ρευστές κινήσεις μέσα στην συνολική κατασκευή. Αυτό επιτυγχάνεται με αισθητήρες οι οποίοι λαμβάνουν δεδομένα από την κίνηση των επισκεπτών στον χώρο και τα στέλνουν μέσω του συστήματος που σχεδιάστηκε στους κινητήρες για να ενεργοποιήσουν την κίνηση.



Εκ. 5 Cosmic Quilt top view

Ο επισκέπτης λοιπόν διαδρά με το αντικείμενο σε επίπεδο χώρου, κι έτσι αναπτύσσεται μια αλληλεπίδραση μεταξύ ατόμου και αρχιτεκτονικής. Οι αισθητήρες παίζουν κυρίαρχο ρόλο σε αυτή τη σχέση αφού επιτρέπουν στην κατασκευή να ανταποκριθεί στην κίνηση του επισκέπτη, χωρίς να μεσολαβήσει κάποιο μηχανικό μέρος, όπως το πάτημα ενός κουμπιού ή κάποια οθόνη όπως συμβαίνει στο προηγούμενο παράδειγμα.



Εκ. 6 Cosmic Quilt side view

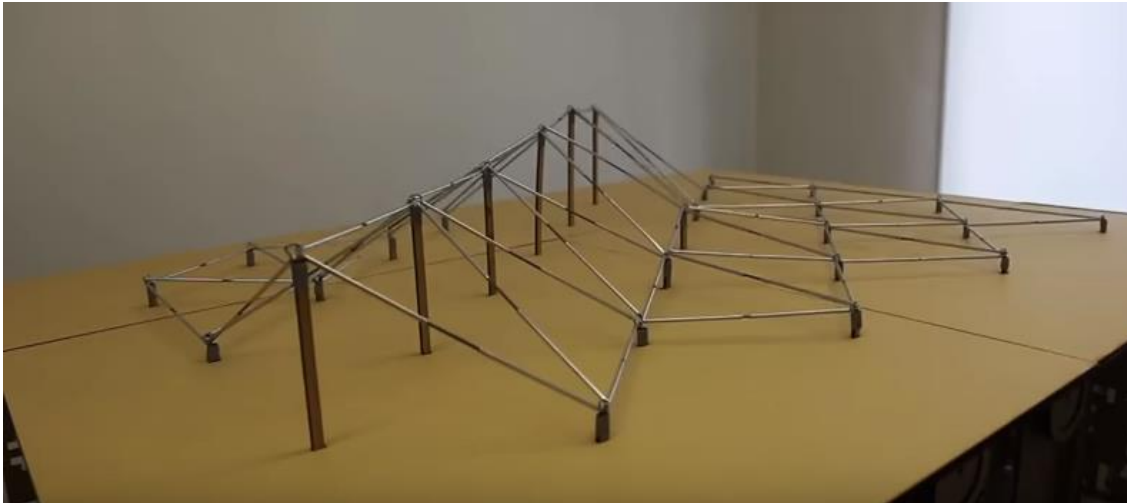
Kinetic Pavilion³

Το συγκεκριμένο project είχε ως στόχο την κατασκευή ενός κινητικού στεγάστρου, με την δυνατότητα να μεταβάλλει το σχήμα και τη γεωμετρία του, σε συνάρτηση με τις καιρικές συνθήκες, την κίνηση των ατόμων, ή την ανθρώπινη στάση και συμπεριφορά. Το σχήμα σχεδιάστηκε εξαρτώμενο από τις παραμέτρους του περιβάλλοντος στο οποίο επρόκειτο να τοποθετηθεί το στέγαστρο.



Εικ. 7 Ψηφιακή απεικόνιση του κινητικού στεγάστρου

Κατασκευάστηκε ένα μοντέλο⁴ με διαστάσεις 90x120 εκ. ώστε ελεγχθούν οι παρακάτω παράμετροι οι οποίες μεταβάλλουν την γεωμετρία της εγκατάστασης.



Εικ. 8 Kinetic Pavilion module

Καιρικές Συνθήκες: Χρησιμοποιώντας δεδομένα για τον καιρό, το στέγαστρο μεταβάλλεται και προσαρμόζεται σε κρύα ή θερμά περιβάλλοντα ανάλογα με την ηλιακή ευθυγράμμιση και ακτινοβολία. Δημιουργεί σκιερά σημεία ή σημεία με έντονη θερμική ακτινοβολία. Για την δημιουργία των σεναρίων αυτών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την εφαρμογή Ecotect της Autodesk.

Ανθρώπινη Κίνηση: Το στέγαστρο «αντιδρά» στην δυναμική κίνηση στον χώρο. Δημιουργείται έτσι ένας διάλογος ανάμεσα στην αρχιτεκτονική και αίσθηση του χώρου και τους χρήστες του στεγάστρου. Για να ελεγχθεί η παράμετρος αυτή χρησιμοποιήθηκε ένα iPad ώστε να συλλέξει δεδομένα όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικ. 9 Διάδραση ανθρώπου με κινητικό μοντέλο

Η κίνηση του δακτύλου στην οθόνη δημιουργεί συντεταγμένες, οι οποίες προσομοιάζουν την ανθρώπινη κίνηση και μεταφράζονται από το πρόγραμμα σε δεδομένα για το απαιτούμενο ύψος των κόμβων της κατασκευής. Έτσι ενεργοποιούνται οι κινητήρες ώστε να δημιουργήσουν το κατάλληλο σενάριο.

Ανθρώπινη Συμπεριφορά: Με την βοήθεια των κοινωνικών δικτύων μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες σχετικές με την διάθεση και ψυχολογία των ατόμων που χρησιμοποιούν το στέγαστρο, έτσι ώστε η κίνηση του να είναι περισσότερο ενεργή ή πιο ομαλή. Με αυτόν τον τρόπο ενθαρρύνεται η κοινωνική συνοχή και διάδραση των ατόμων μεταξύ τους αλλά και με την κινητική εγκατάσταση.

Πρόκειται λοιπόν για μια έξυπνη κατασκευή επαυξημένης πραγματικότητας όσον αφορά την αρχιτεκτονική που σύμφωνα με τους δημιουργούς «επιδιώκει να επαναπροσδιορίσει τον τρισδιάστατο χώρο κάνοντάς τον εξαρτώμενο από ψηφιακά δεδομένα».

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα παρατηρούμε μια εφαρμογή, η οποία συνδυάζει τις δυο προηγούμενες στον τρόπο που επιτυγχάνεται η διάδραση ανάμεσα στον χρήστη και το αρχιτεκτόνημα, αλλά και την εφαρμογή επιπλέον τρόπων όπως η λήψη δεδομένων από τα καιρικά φαινόμενα, αλλά και τα κοινωνικά δίκτυα και την ανθρώπινη συμπεριφορά.

Spirit|Ghost⁵

Το Spirit|Ghost project ερευνήθηκε και αναπτύχθηκε στο ερευνητικό εργαστήριο TUC TIE Lab (transformable intelligent environments laboratory) του Πολυτεχνείου Κρήτης. Έχει ως στόχο την ανάπτυξη μιας λειτουργικής χωρικής εφαρμογής στον τομέα της εκπαίδευσης και συγκεκριμένα την ανάπτυξη ενός περιβάλλοντος, το οποίο θα μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικές μεθόδους διδασκαλίας, αλλά και στην ανθρώπινη συμπεριφορά. Η διαδραστική διαδικασία χωρίζεται σε δυο στάδια. Το πρώτο (Spirit) καταγράφει την ανθρώπινη κίνηση και συμπεριφορά των χρηστών στον χώρο και αξιολογεί τις παραμέτρους που θα τροποποιηθούν ώστε να τους διευκολύνει και να δημιουργήσει το στοιχείο της αίσθησης. Το δεύτερο στάδιο (Ghost) αναλαμβάνει την ανταπόκριση του συστήματος στις ανάγκες των χρηστών, πραγματοποιεί δηλαδή τις χωρικές και περιβαλλοντολογικές αλλαγές.

Το Spirit|Ghost προσαρμόζει χωρικές παραμέτρους όπως η γεωμετρία του χώρου, τα χρώματα και η ακουστική σε διαφορετικές εκπαιδευτικές διαδικασίες. Για να ερευνηθεί η λειτουργικότητα του project κατασκευάστηκε το παρακάτω μοντέλο.



Εικ. 10 Spirit|Ghost module

Το μοντέλο αποτελείται από τρία βασικά μέρη: την πλατφόρμα του πατώματος, την κατασκευή στην οροφή και την ευλύγιστη επιφάνεια που διαμορφώνει τους τοίχους και το ταβάνι. Τρία μέρη με την δυνατότητα μεταβολής του σχήματος και της γεωμετρίας τους με αποτέλεσμα διαφορετικές χωρικές δομές.

Το project μελετήθηκε για να έχει εφαρμογή σε μια τυπική αμφιθεατρική αίθουσα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και παρακάτω φαίνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση του.



Εικ. 11 Τρισδιάστατη απεικόνιση της διαδραστικής αίθουσας σε διαφορετικές εκπαιδευτικές διαδικασίες

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας ο οποίος κατηγοριοποιεί τα προηγούμενα παραδείγματα ανάλογα με τον βαθμό διάδρασης, τα μηχανικά μέρη που χρησιμοποιεί το καθένα για να επιτύχει την διάδραση αλλά και την επίδραση που έχουν στο χρήστη.

	Βαθμός Διάδρασης	Επίδραση στο Χρήστη	Μηχανικά Μέρη
Kinetic Membranes	Απλή Διάδραση (εντολή χρήστη - αντίδραση συστήματος)	Χωρική Εμπειρία	Οθόνη αφής
Cosmic Quilt	Επικοινωνία Χρήστη – Αρχιτεκτονήματος	Χωρική Εμπειρία	Αισθητήρες λήψης δεδομένων
Kinetic Pavilion	<ul style="list-style-type: none"> Απλή Διάδραση Επικοινωνία 	<ul style="list-style-type: none"> Χωρική Εμπειρία Κοινωνικό Αντίκτυπο 	<ul style="list-style-type: none"> Οθόνη Αφής Αισθητήρες λήψης δεδομένων

	<ul style="list-style-type: none"> • Λήψη Δεδομένων από Περιβάλλον 	<ul style="list-style-type: none"> • Προσαρμογή στο Περιβάλλον 	
Spirit Ghost	<ul style="list-style-type: none"> • Επικοινωνία • Λήψη Πληροφοριών από Χώρο 	<ul style="list-style-type: none"> • Χωρική Εμπειρία • Εκπαιδευτικό – Κοινωνικό Αντίκτυπο • Προσαρμογή στις ανάγκες του χρήστη 	Αισθητήρες λήψης δεδομένων

Τα συγκεκριμένα παραδείγματα διαδραστικών κατασκευών αποτέλεσαν έμπνευση για τον σχεδιασμό και την κατασκευή της μονάδας που θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο. Η μελέτη και σύγκριση των τρόπων με τους οποίους επιτυγχάνεται η διάδραση ανάμεσα στον χρήστη και το αρχιτεκτόνημα, αλλά και ο σκοπός της κάθε κατασκευής συνέβαλαν στη δημιουργία μιας πρότυπης εφαρμογής με στόχο να αποτελέσει η ίδια πηγή έμπνευσης στο μέλλον.

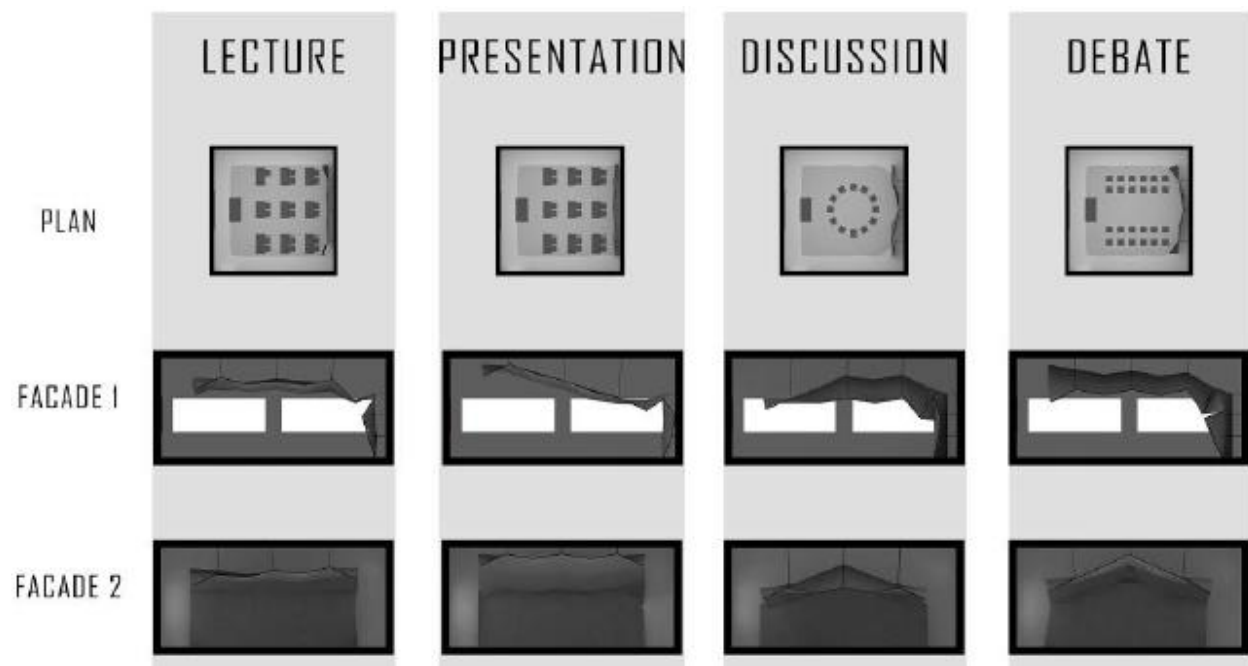
-
1. Video presentation, 'KINETIC MEMBRANES / interactive fluid form', Designed by Dionysus for Mark Foster Gage's "Design Reconnaissance", στο <https://www.youtube.com/watch?v=gskPHo-4xcw>
 2. The Principals. 'Cosmic Quilt' στο <http://theprincipals.us/#/cosmic-quilt/>
 3. Elsacker, E., Botninckx, Y., 'Kinetic Pavilion' στο <https://architizer.com/projects/kinetic-pavilion/>
 4. Video presentation, 'Kinetic Pavilion', στο https://www.youtube.com/watch?v=bk_v76_nYf8
 5. TUC TIE Lab Education, 'The Spirit | Ghost Project', στο <http://www.tielabtuc.com/#/spirit-ghost/>

Κεφάλαιο 2. Διαδραστική κατασκευή οροφής μεταβαλλόμενης γεωμετρίας

Σκοπός Κατασκευής

Η μελέτη περίπτωσης στην οποία βρίσκεται εφαρμογή ο σχεδιασμός της κατασκευής αφορά την τυπική ελληνική αίθουσα διδασκαλίας στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση, λόγω του τυπικού ελληνικού σχολείου όπως κατασκευάστηκαν από τον ΟΣΚ. Μια αίθουσα, η οποία αποτελείται συνήθως από έναν χώρο 8μΧ8μ με έναν μαυροπίνακα στο κέντρο ενός τοίχου και δύο μεγάλα παραθυρά στον τοίχο που βρίσκεται στην δεξιά ή την αριστερή μεριά του δωματίου. Στόχος της κατασκευής είναι να επαναπροσδιοριστεί ο χώρος της εκπαιδευτικής διαδικασίας επηρεάζοντας την συνολική αίσθηση των ατόμων που τον χρησιμοποιούν, βελτιώνοντας παράλληλα προβλήματα που αφορούν την ακουστική και τον φωτισμό μιας αίθουσας.

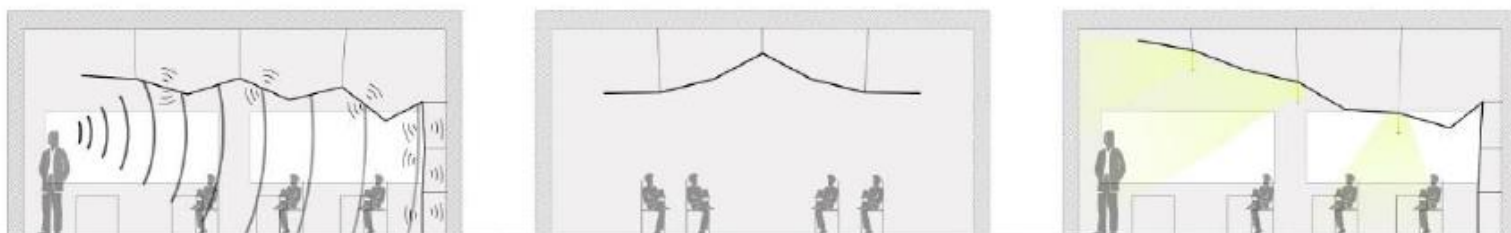
Επιπλέον, να δημιουργηθεί μια αίθουσα η οποία προσαρμόζεται στις ανάγκες διαφόρων μαθημάτων και εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων, όπως μια διάλεξη, ένα workshop, μια ομαδική δραστηριότητα, εισάγοντας χωρικά σενάρια, τα οποία αυξάνουν τα επίπεδα συγκέντρωσης των μαθητών κάνοντάς τους μέρος της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Για να επιτευχθεί αυτό μελετήθηκαν τα χωρικά χαρακτηριστικά της κάθε δραστηριότητας. Για παράδειγμα σε μια διάλεξη ή μια παρουσίαση χρειάζεται η προσοχή να είναι στραμμένη στον ομιλητή και στον πίνακα στο κέντρο της αίθουσας. Αυτό επιτυγχάνεται με μια δομή η οποία περιορίζει τον χώρο και εστιάζει στο ζητούμενο. Αντίστοιχα με μια θολωτή δομή ενθαρρύνεις τα άτομα να συγκεντρωθούν στο κέντρο και να συζητήσουν ή να δουλέψουν ομαδικά. Με μια αυστηρά διαχωρισμένη δομή, δημιουργείς ομάδες που εργάζονται ξεχωριστά. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.¹



Εικ. 12 Όψεις διαφορετικών σεναρίων. Διάλεξη, Παρουσίαση, Συζήτηση, Αντιπαράθεση

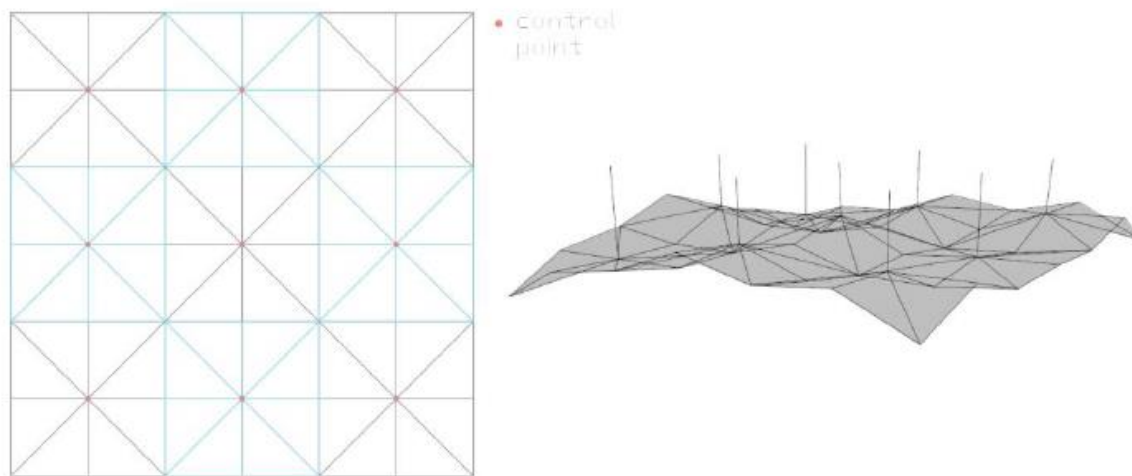
Περιγραφή Κατασκευής

Πρόκειται για μια κινητική διαδραστική κατασκευή οροφής μεταβαλλόμενης γεωμετρίας. Απαρτίζεται από 9 μπλοκ ξύλινων τριγωνικών πλαισίων, με το κάθε μπλόκ να αποτελείται από 8 τριγωνικά πλαίσια καλυμμένα με ύφασμα λύκρας. Τα μπλόκ τριγώνων δημιουργούν 9 κόμβους με δυνατότητα κίνησης στον κάθετο άξονα, με σκοπό την αλλαγή της συνολικής γεωμετρίας για την επίτευξη των μελετημένων σεναρίων. Τα διαφορετικά σχήματα της κατασκευής σε συνδυασμό με τις LED ταινίες φωτισμού συμβάλλουν στην δημιουργία χώρων μέσα στην αίθουσα και στην βελτίωση της ακουστικής και του φωτισμού.



Εικ. 13 Παράμετροι Σχεδιασμού. Ακουστική, Δημιουργία Χώρων, Φωτισμός

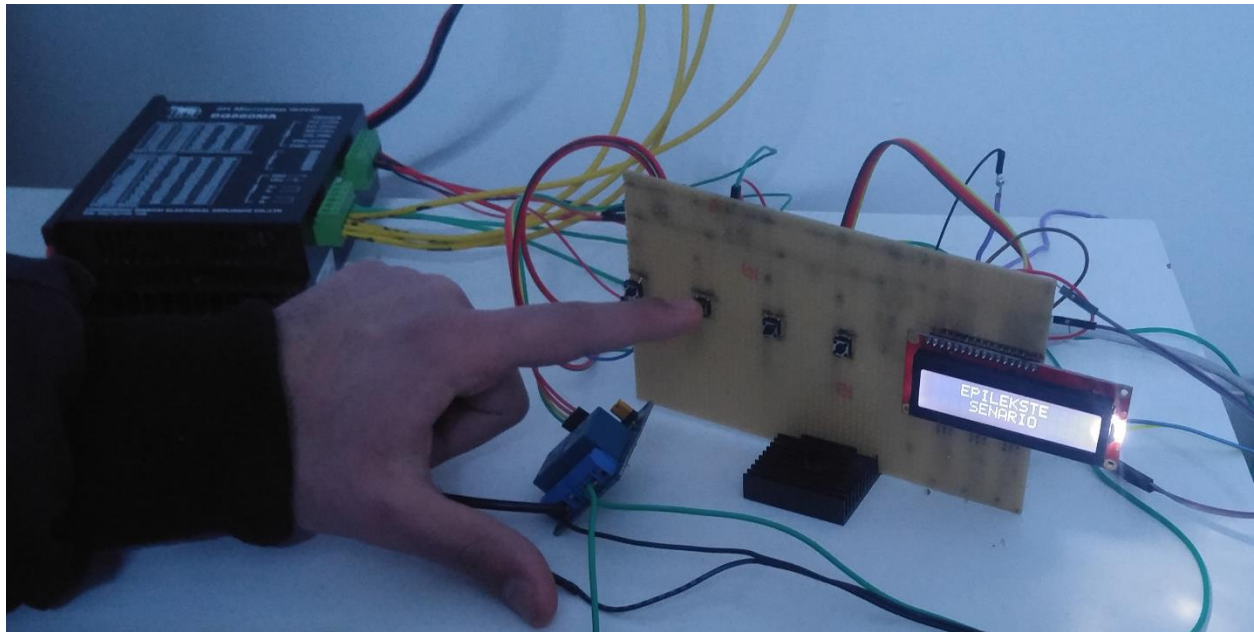
Όταν ο χρήστης επιλέγει ένα σενάριο, όλοι οι κόμβοι της κατασκευής κινούνται για να βρεθούν στις προγραμματισμένες θέσεις που σχηματίζουν το επιθυμητό σενάριο. Έτσι σχηματίζεται η καθορισμένη γεωμετρία που θα καλύψει τις ανάγκες του σεναρίου.



Εικ. 14 Σημεία Ελέγχου και Όψεις Κατασκευής

Η κίνηση της κατασκευής επιτυγχάνεται με βηματικούς κινητήρες και η μεταφορά της κίνησης από τους κινητήρες στους κόμβους, με συρματόσχοινα. Στόχος ήταν ο σχεδιασμός και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν να έχουν ως αποτέλεσμα μια ελαφριά κατασκευή, έτσι ώστε να έχουμε μια όσο το δυνατόν πιο ομαλή κίνηση, αλλά και ασφάλεια σε περίπτωση ατυχήματος.

Οι αυτοματισμοί σε κάθε προγραμματισμένο σενάριο επιτυγχάνονται μέσω μιας προτυποποιημένης πλακέτας ελέγχου, στην οποία βρίσκονται τα ηλεκτρονικά στοιχεία της κατασκευής. Ο χρήστης έχει στη διάθεσή του μια LCD οθόνη, η οποία παρέχει οδηγίες χρήσης, μέσω της οποίας μπορεί να επιλέξει το σενάριο που επιθυμεί.

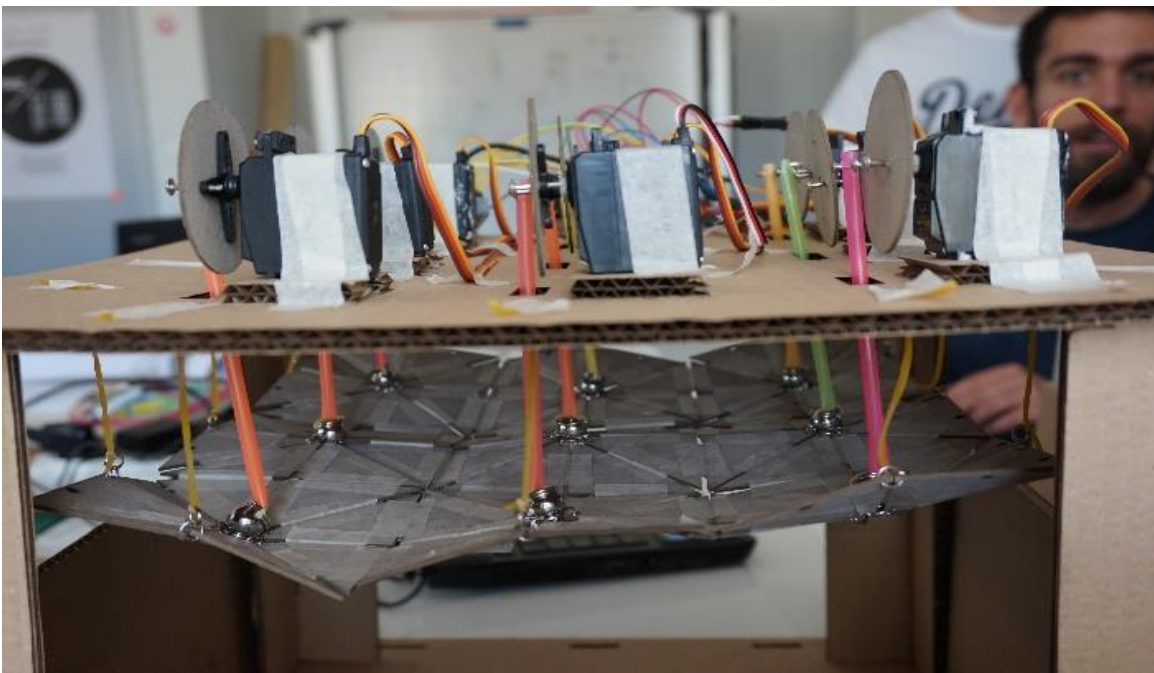
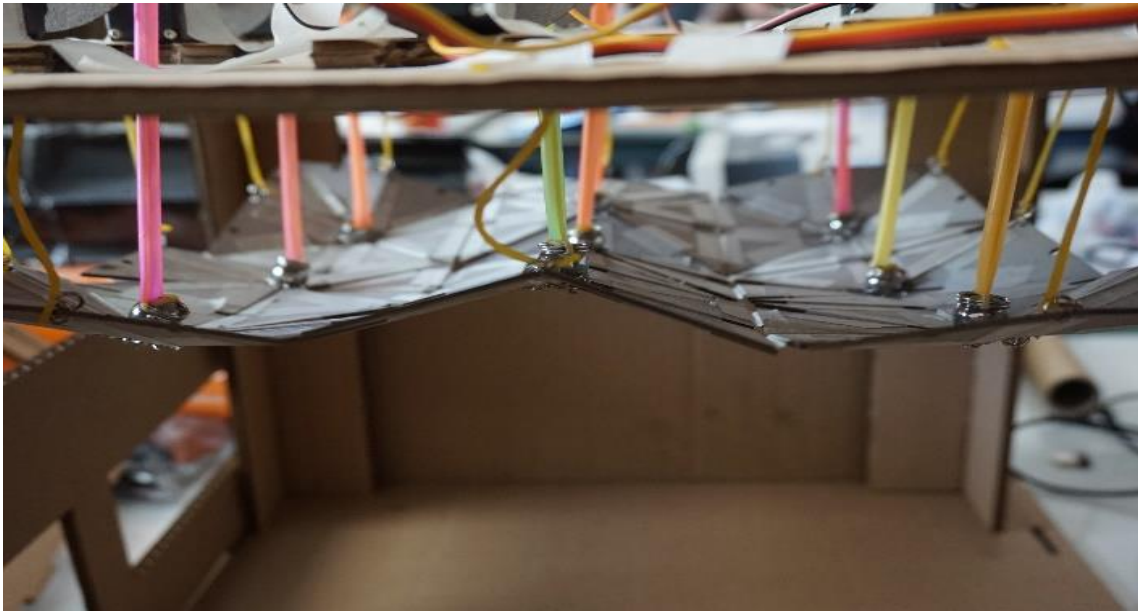


Εικ. 15 Προτυποποιημένη πλακέτα ηλεκτρονικών με LCD οθόνη επιλογής σεναρίων

-
1. Oungrinis, K.-A., Liapi, M., Georgoulakis, S., Mairopoulos, D., Lionaki, E., Ntzoufras, S., Stathopoulou, E., Telo, M. (2014). Sensponsive classrooms: Ambient Intelligent spaces that facilitate learning. In: K. Zreik (Ed.). *Architecture, City and Information Design (EurolA.14)*. Paris: Europa, 63-77.

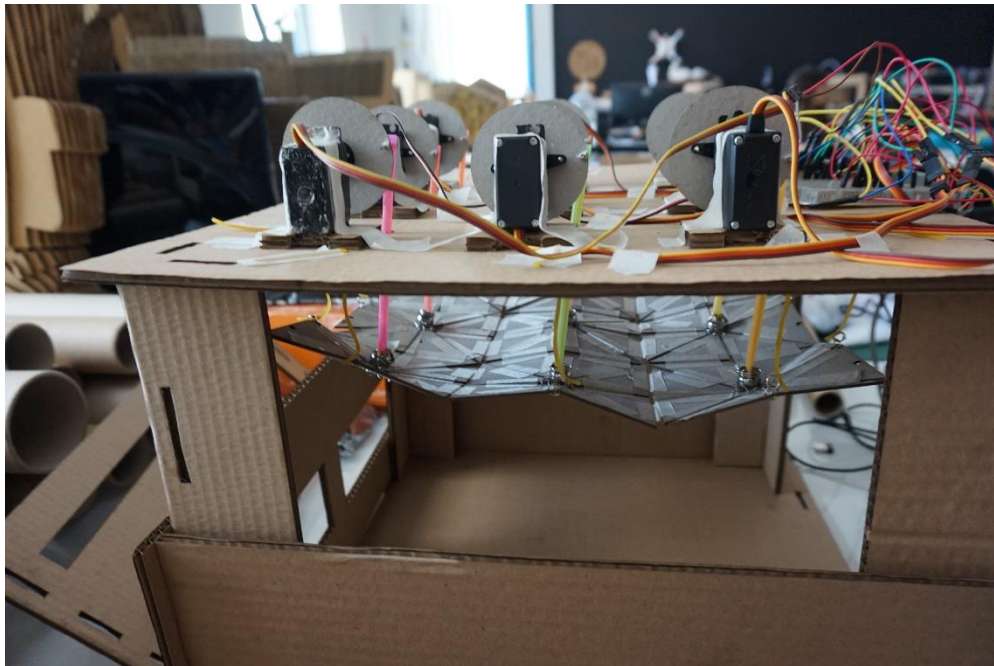
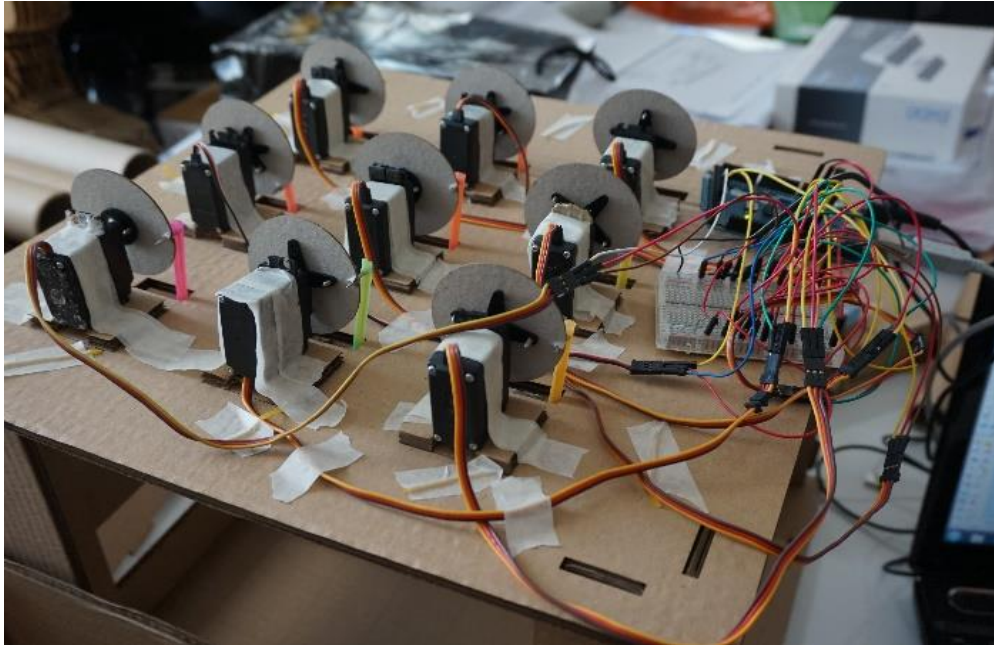
Κατασκευή Μακέτας

Για να ελεγχθεί η λύση στην οποία καταλήξαμε, κατασκευάσαμε μια μακέτα σε κλίμακα 1:25 χρησιμοποιώντας χαρτόνι, λάστιχα, καλαμάκια, σφαιρικούς μαγνήτες και μικρούς σερβοκινητήρες. Με το χαρτόνι αναπαραστήσαμε τη γεωμετρία της κατασκευής ακριβώς όπως και στην πρωτότυπη λύση, δημιουργώντας δηλαδή τρίγωνα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους ανά οκτώ με μικρούς μεταλλικούς σύνδεσμοις και όλα μαζί σε έναν κεντρικό κόμβο, με τη βοήθεια του μαγνήτη, που λειτουργεί ως εύκαμπτη άρθρωση.



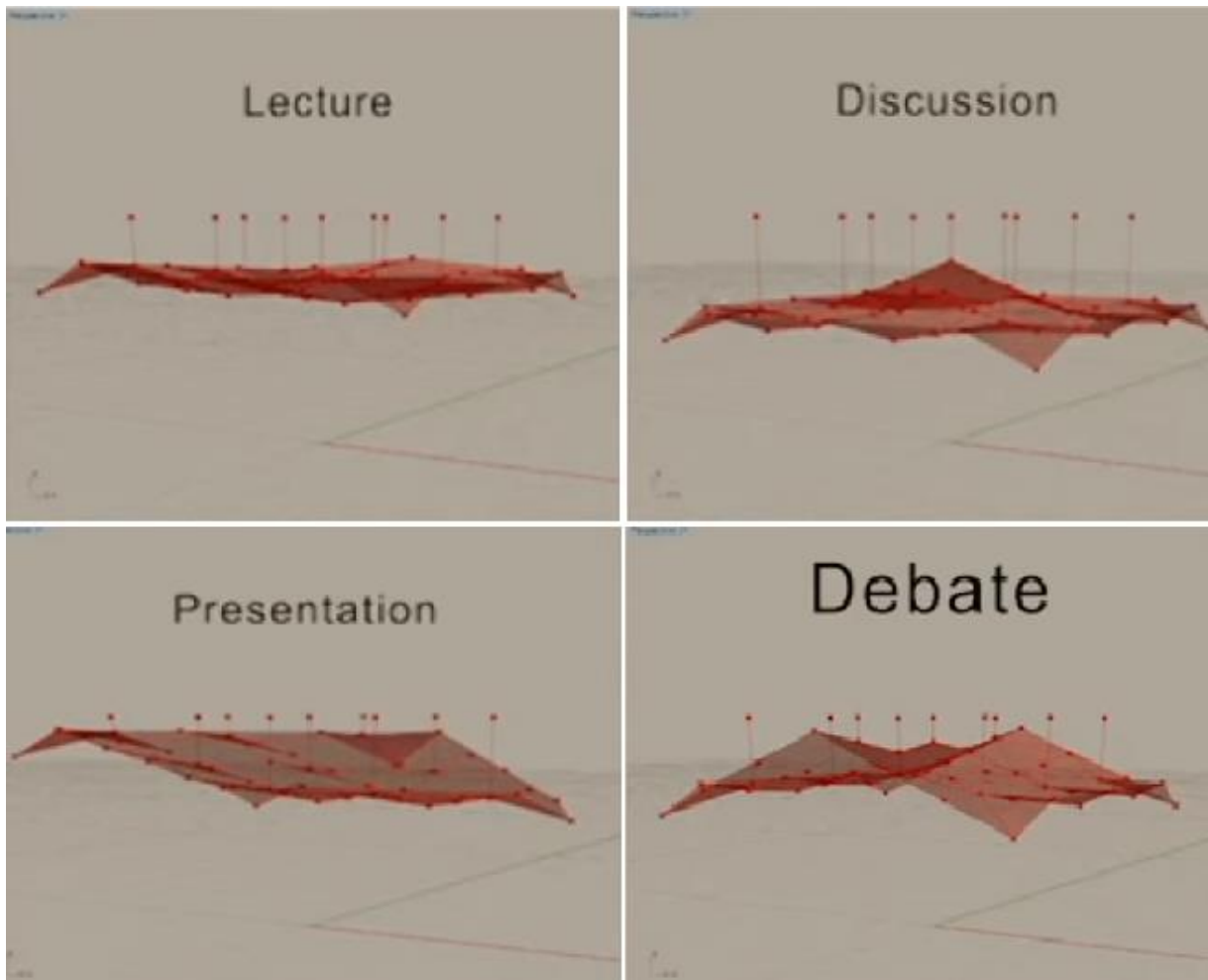
Εικ. 16 Όψεις μακέτας - μεταλλικοί σύνδεσμοι και μαγνήτες

Τα συρματόσχοινα που μεταφέρουν την κίνηση από τους κινητήρες στους κόμβους αντικαταστήθηκαν από καλαμάκια και λάστιχα και τέλος οι βηματικοί κινητήρες από σερβοκινητήρες μοντελισμού.



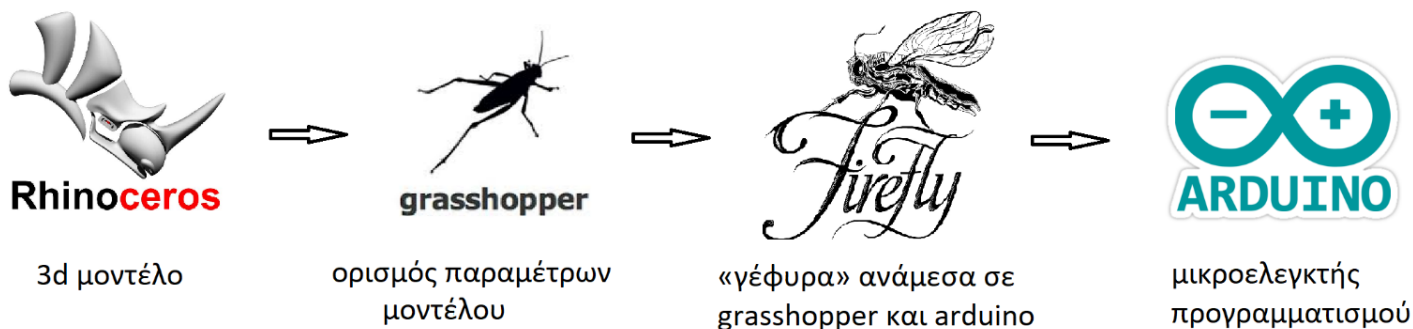
Εικ. 17 Όψεις μακέτας - σερβοκινητήρες

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα 3d σχεδίασης Rhinoceros και το add-on Grasshopper παραμετρικού σχεδιασμού μετατρέψαμε το πραγματικό μοντέλο σε ψηφιακό, με την δυνατότητα μεταβολής της γεωμετρίας του. Με την βοήθεια του Kangaroo Physics, ενός plug-in του grasshopper εισάγαμε στο μοντέλο και ελέγξαμε τις φυσικές σταθερές και παραμέτρους, όπως το βάρος της κατασκευής, το μήκος και την ελαστικότητα των συρματόσχοινων, τις τάσεις που ασκούνται στους συνδέσμους, την βαρύτητα κ.α. δημιουργώντας ουσιαστικά μια προσομοίωση της κίνησης που ακολουθεί η κατασκευή σε κάθε μεταβολή της γεωμετρίας για την επίτευξη του προγραμματισμένου σεναρίου. Με αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώσαμε ότι η κατασκευή μας είναι λειτουργική, αφού το σύστημα των τριγωνικών πλαισίων είχε την απαραίτητη ευλιγισία και ελαστικότητα ώστε να διαμορφώνει τα σενάρια, αλλά και ασφαλώς όσον αφορά το βάρος και τις τάσεις στους συνδέσμους, γεγονός πολύ σημαντικό αφού επρόκειτο να τοποθετηθεί στην οροφή μιας αίθουσας διδασκαλίας.



Εικ. 18 Ψηφιακή απεικόνιση προγραμματισμένων σεναρίων

Με την βοήθεια ενός ακόμη plug-in του Grasshopper, το Firefly πετυχαίνουμε την σύνδεση ανάμεσα στο περιβάλλον του Grasshopper και τον μικροελεγκτή Arduino, ώστε να αυτοματοποιήσουμε την διαδικασία εναλλαγής των σεναρίων και να προγραμματίσουμε την κίνηση της κατασκευής σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά στοιχεία που συμπεριλάβαμε.



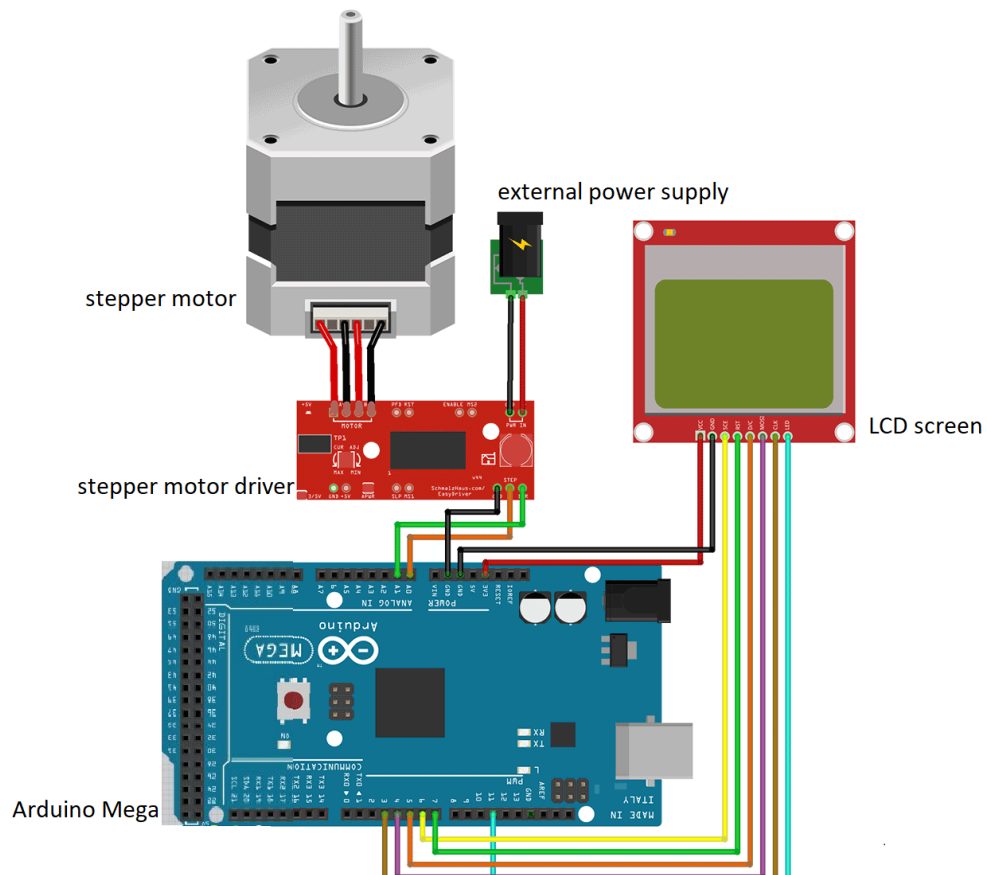
Εικ. 19 Διάγραμμα λογισμικού

Προγραμματισμός Κίνησης

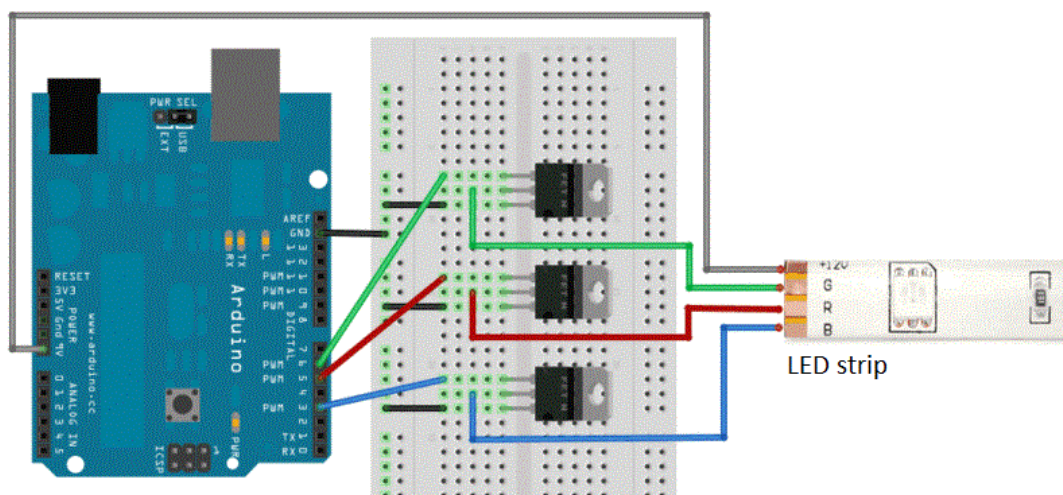
Για τον προγραμματισμό επιλέξαμε να εργαστούμε με τον μικροελεγκτή Arduino Mega. Το Arduino αποτελεί μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων και παρέχει στον χρήστη πληθώρα πλεονεκτημάτων. Μερικά από αυτά είναι το χαμηλό κόστος, η ευκολία στη χρήση λόγω του ανοικτού κώδικα και της δυνατότητας επέκτασης ή τροποποίησης του, αλλά και η ευκολία στη συνδεσιμότητά του με άλλα προγράμματα. Επίσης παρέχει την δυνατότητα αυτοματισμού της κίνησης βηματικών ή σέρβο κινητήρων, το οποίο επιζητούσαμε.

Τα ηλεκτρονικά στοιχεία που συμπεριλάβαμε στον προγραμματισμό και αποτελούν το σύστημα του ηλεκτρονικού κυκλώματος που δημιουργήθηκε, είναι μια οθόνη LCD στην οποία ο χρήστης επιλέγει το σενάριο που επιθυμεί ακολουθώντας τις οδηγίες, ηλεκτρονικοί διακόπτες οι οποίοι ανοίγουν και κλείνουν το κύκλωμα με εντολή του μικροελεγκτή, κουμπιά, ταινίες LED, οι κινητήρες και η τροφοδοσία του ρεύματος. Όταν διαρέει ρεύμα το κύκλωμα εμφανίζεται μήνυμα καλωσορίσματος στην οθόνη και με την βοήθεια των κουμπιών ο χρήστης επιλέγει το σενάριο που επιθυμεί. Το σύστημα πριν από κάθε αλλαγή φροντίζει να βρίσκεται πάντα στην ασφαλή αρχική θέση που έχει οριστεί για την αποφυγή ατυχήματος. Έπειτα δίνεται η εντολή στους κινητήρες να μεταφέρουν τους κόμβους τριγώνων στις απαραίτητες θέσεις για την επίτευξη του σχηματισμού που επιλέχθηκε και οι ταινίες LED παίρνουν το απαραίτητο χρώμα. Μόλις το σύστημα ολοκληρώσει την κίνησή του, ο ηλεκτρονικός διακόπτης ανοίγει διακόπτοντας τη ροή του ρεύματος για περισσότερη ασφάλεια. Τέλος χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρικό φρένο στο γρανάζι που μεταφέρει την κίνηση από τον κινητήρα στα συρματόσχοινο του κάθε κόμβου, το οποίο διακόπτει την κίνηση του γραναζιού αν το κύκλωμα δεν διαρέεται από ρεύμα, ή αν το σύστημα προσπαθήσει να «ξεπεράσει» τα όρια των προγραμματισμένων θέσεων, επίσης για λόγους ασφαλείας.

Παρακάτω φαίνονται σε διαγράμματα οι συνδεσμολογίες του μικροελεγκτή με τα βασικά ηλεκτρονικά στοιχεία του κυκλώματος.

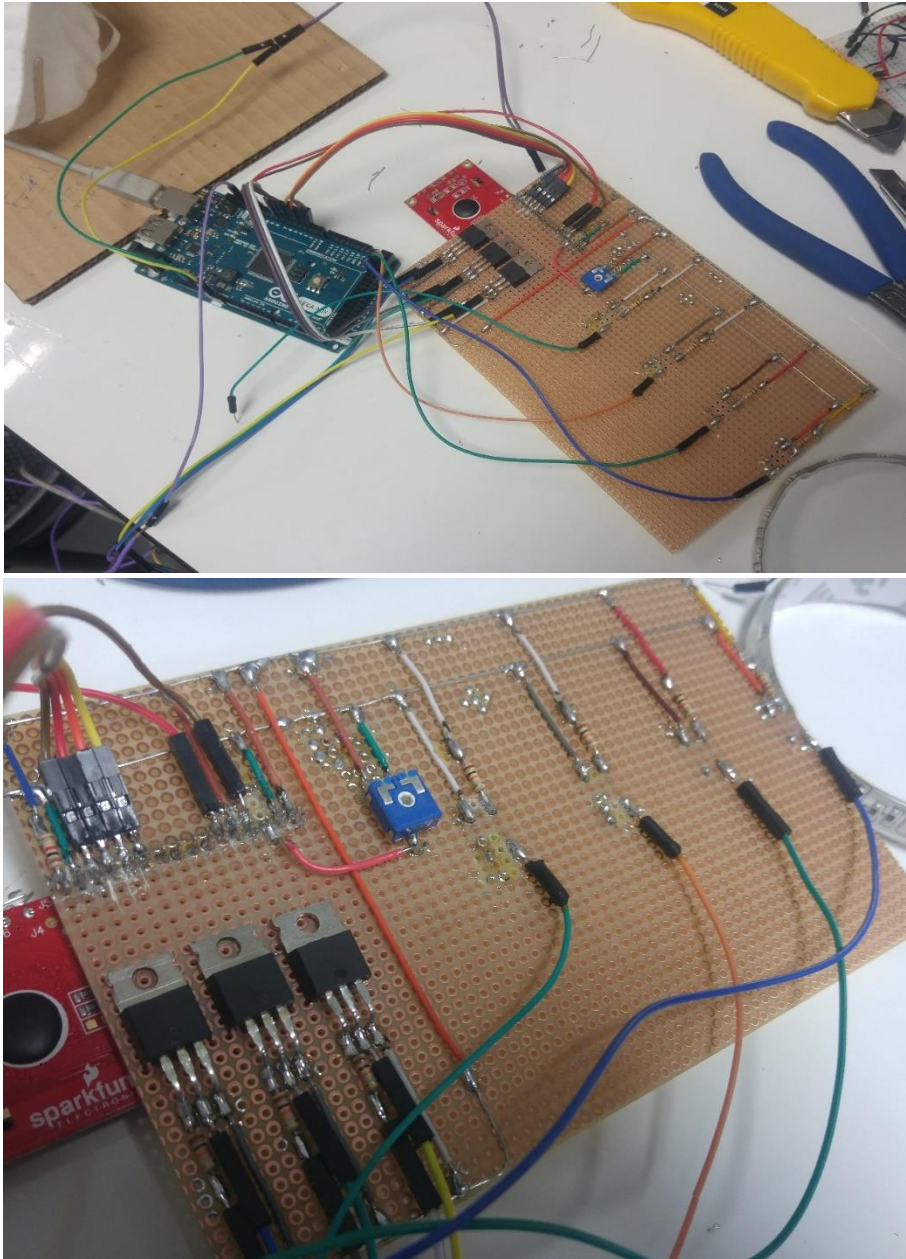


Εικ. 20 Arduino - Stepper - Screen



Εικ. 21 Arduino - LED strip

Όλα τα παραπάνω συνδέθηκαν στο Arduino Mega και στην πλακέτα που κατασκευάστηκε. Συνδέθηκαν επίσης 4 κουμπιά για τον χειρισμό των σεναρίων καθώς και οι απαραίτητες αντιστάσεις και τα απαραίτητα τρανζίστορ για την λειτουργία του κυκλώματος.



Εικ. 22 Προτυποποιημένη πλακέτα προγραμματισμού ηλεκτρονικών στοιχείων κυκλώματος

Όλα τα παραπάνω ηλεκτρονικά στοιχεία προγραμματίστηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό του Arduino. Η διαδικασία που ακολουθεί ο κώδικας, φαίνεται παρακάτω σε μορφή ψευδογλώσσας:

Χρωματικό υπόμνημα για τα ηλεκτρονικά στοιχεία του συστήματος:

Arduino Mega, LCD Screen, Limit Switches, Relays, LEDs, Buttons, Steppers

Arduino_coding

Variable Declaration

SETUP

Opening Sequence

Opening Message

Calibration – move to initial position

Calibration Message

Turn on relay

Move steppers

Hit limit switch

LEDs to default

Turn off relay

LOOP

Select Scenario

Select Scenario message

Select Scenario through buttons

Code message

Enter Code

Scenario mode

Calibration - move to initial position

Calibration Message

Turn on relay

Move steppers

Hit limit switch

Turn off relay

Enter Scenario

Changing Scenario Message

Fade LEDs to scenario mode

Turn on relay

Move steppers to scenario position

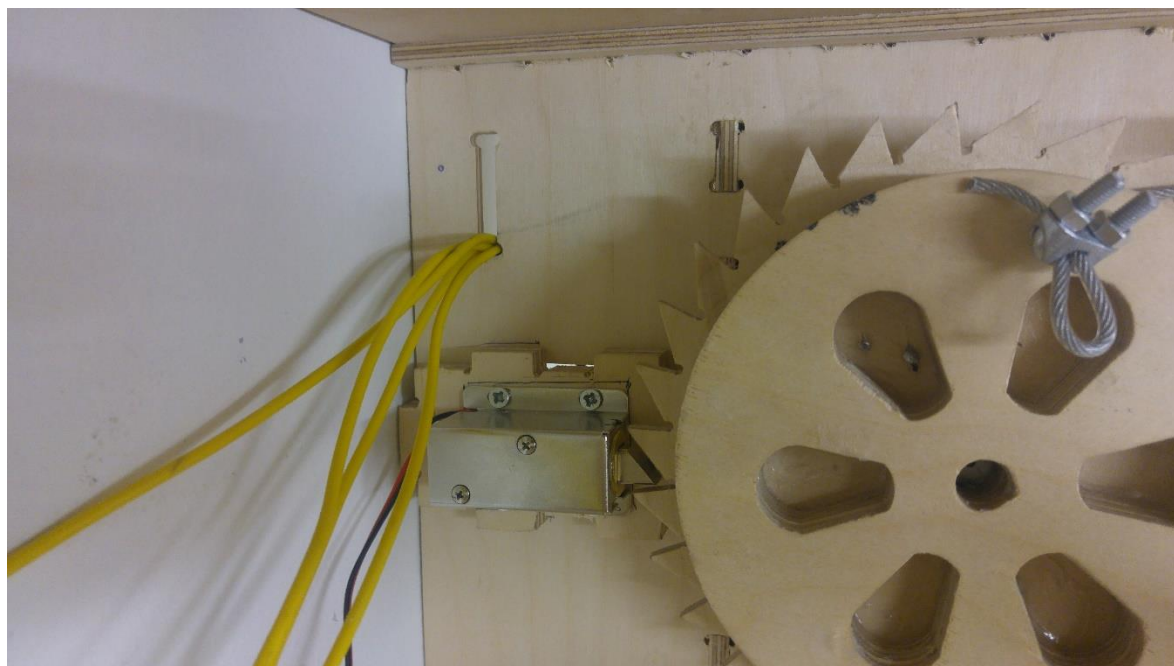
Turn off relay

Scenario Changed Message

Υλικά Κατασκευής

Ο κύριος παράγοντας επιλογής των υλικών για την μονάδα που κατασκευάστηκε, ήταν το χαμηλό κόστος, αλλά φυσικά και η κάλυψη των αναγκών μας, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να αναδεικνύει τους λόγους για τους οποίους καταλήξαμε στην συγκεκριμένη μορφολογία της μονάδας, και τα πλεονεκτήματά της. Ανάγκες όπως το χαμηλό βάρος, η ευλυγισία του συστήματος και η ημιδιαφάνεια του υφάσματος ώστε να αναδεικνύεται ο φωτισμός, έπαιξαν σημαντικό ρόλο στις τελικές επιλογές.

Αρχικά, για το εξωτερικό μέρος των τριγώνων, τον σκελετό ουσιαστικά της κατασκευής επιλέξαμε να εργαστούμε με ξύλο κόντρα πλάκε πάχους 6 χιλιοστών. Το πάχος αυτό ήταν το ιδανικό, ώστε τα τρίγωνα μας να έχουν αντοχή και να μην σπάσουν κατά την διάρκεια της κατεργασίας τους, αλλά και μετ' έπειτα με τις δυνάμεις και τριβές που επρόκειτο να τους ασκηθούν. Παράλληλα διασφαλίζει την κατασκευή μιας ελαφριάς μονάδας, γεγονός απαραίτητο για την κίνηση μέσω των κινητήρων και την συνολική ασφάλεια, αφού η μονάδα προορίζεται για τοποθέτηση στο ταβάνι ενός χώρου. Για επιπλέον ασφάλεια κατασκευάστηκε ένας μηχανισμός που τοποθετείται σε κάθε συρματόσχοινο που μεταφέρει την κίνηση από τους κινητήρες στους κόμβους της κατασκευής. Ο μηχανισμός αποτελείται από ένα ξύλινο γρανάζι στο οποίο τυλίγεται το συρματόσχοινο και ένα ηλεκτρικό μεταλλικό φρένο, το οποίο συγκρατεί την κατασκευή στο σημείο που βρίσκεται όταν δεν διαρέει ρεύμα το κύκλωμα.



Εικ.

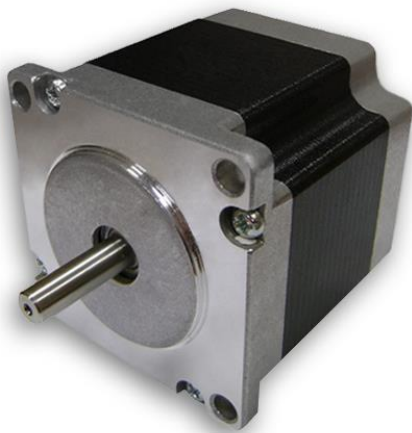
Εικ. 23 Προτυποποιημένος μηχανισμός ασφαλείας

Για το εσωτερικό μέρος των τριγώνων, το υλικό που χρησιμοποιήθηκε, ήταν η λύκρα, ύφασμα αναντικατάστατο για την συγκεκριμένη κατασκευή. Η ιδιότητά του να τεντώνει έως και 500% χωρίς να σπάει ή να χάνει την φόρμα του ήταν απαραίτητη ώστε να 'ντύσει' τα τρίγωνα και παράλληλα να προσφέρει ημιδιαφάνεια για τον φωτισμό που δημιουργούν οι ταινίες LED. Λύκρα χρησιμοποιήθηκε επίσης ως ένα από τα δυο υφάσματα για τους συνδέσμους ανάμεσα στα τρίγωνα, λόγω της εξαιρετικής του ελαστικότητας για να προσδώσει ευλυγισία στην κατασκευή. Το δεύτερο ύφασμα ήταν σκληρό και ανθεκτικό καραβόπανο ώστε να συγκρατήσει τα τρίγωνα μεταξύ τους χωρίς να σκιστεί ή να αλλοιωθεί.



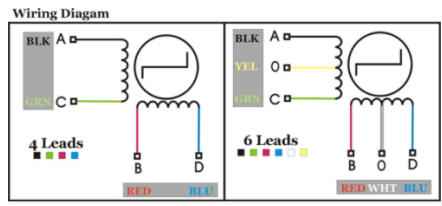
Εικ. 25 Ολοκληρωμένο μπλόκ τριγώνων επενδυμένα με λύκρα και ενωμένα με πάνινους συνδέσμους

Όσον αφορά τα ηλεκτρονικά στοιχεία του συστήματος, η πρόκληση ήταν να βρεθούν οι κατάλληλοι κινητήρες, οι οποίοι θα μετακινούσαν την κατασκευή στις προγραμματισμένες θέσεις. Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε βηματικούς κινητήρες λόγω της δυνατότητας τους να παράγουν υψηλές τιμές ροπής κατά την εκκίνησή τους, αλλά και όταν λειτουργούν σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, γεγονός που ταιριάζει απόλυτα στις ανάγκες μας, αφού χρειαζόμαστε αξιόπιστους κινητήρες με τη δυνατότητα να σηκώνουν το βάρος της κατασκευής, χωρίς να μας ενδιαφέρει η ταχύτητα. Οι βηματικοί κινητήρες, επίσης, εκτελούν πλήρεις περιστροφές, σε αντίθεση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, όπως οι σερβοκινητήρες ή οι DC κινητήρες, γεγονός που αποτέλεσε τον δεύτερο κύριο λόγο για την επιλογή μας.

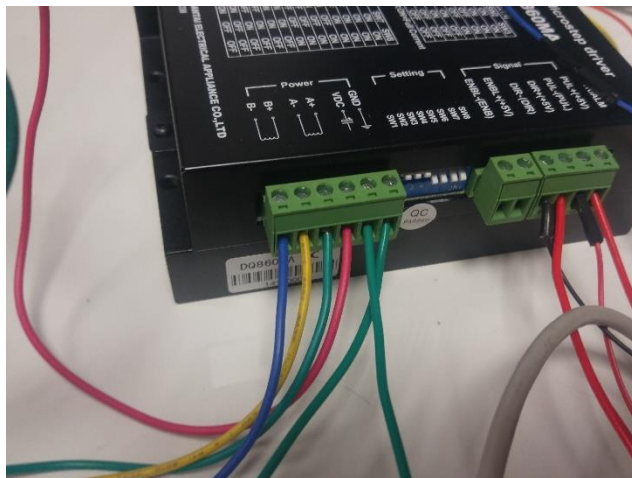


General Specifications	
Item	Specification
Step Accuracy	±5%
Temperature Rise	80°C Max
Ambient Temperature	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	100MΩ Min., 50V DC
Dielectric Strength	500V AC for one minute
Length Wire	300mm

Model	Step Angle (°)	Motor Length L(mm)	Rate Voltage (V)	Rate Current (A)	Phase Resistance (Ω)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (oz-in)	Lead Wire (NO.)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Detent Torque (kg.cm)	Motor Weight (kg)
NEMA 23 56mm	1.8	56	3.6	2	1.8	2.5	125	6	300	0.4	0.7



Εικ. 26 Βηματικός κινητήρας τύπου NEMA με τα χαρακτηριστικά του



Εικ. 27 Driver για τον βηματικό κινητήρα

Σχετικά με τον μικροελεγκτή Arduino, η ευκολία χρήσης, η ανοικτή πρόσβαση στο λογισμικό και η συνδεσιμότητα του με όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιήσαμε, αλλά και τα προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή, δεν αφήνει περιθώρια για διαφορετική επιλογή. Τέλος καλώδια, κουμπιά, ηλεκτρονόμοι (relays), αντιστάσεις, τρανζίστορ επιλέχθηκαν ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες του ηλεκτρικού κυκλώματος και να ανταποκρίνονται στην τάση και ένταση του ρεύματος που χρησιμοποιήσαμε.

Κατασκευή μονάδας σε κλίμακα 1:1

Τα παραπάνω υλικά και ηλεκτρονικά παρέχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα στο τελικό αποτέλεσμα.

Ένα βασικό πρόβλημα που αφορά τα ηλεκτρονικά, είναι ότι όλα τα στοιχεία του κυκλώματος είναι τοποθετημένα πάνω σε μια πλακέτα και προγραμματισμένα με έναν μικροελεγκτή. Το γεγονός αυτό μπορεί να δημιουργήσει διάφορες δυσλειτουργίες στα προγραμματισμένα σενάρια αφού κινητήρες και φωτισμός λειτουργούν αλληλένδετα. Αν για παράδειγμα ένα στοιχείο του κυκλώματος δεν λειτουργεί σωστά, επηρεάζει και τα υπόλοιπα, με αποτέλεσμα να δημιουργεί σύγχυση στον χρήστη. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι η αστάθεια στην κίνηση που δημιουργείται από τους κινητήρες και τα συρματόσχοινα. Οι κινητήρες έχουν συγκεκριμένο βήμα το οποίο δεν είναι όσο ομαλό θα επιθυμούσαμε και τα συρματόσχοινα διαθέτουν μια ευκαμψία που επηρεάζει πολλές φορές τη σταθερότητα της κατασκευής. Αυτό σημαίνει ότι η εναλλαγή των σεναρίων δεν είναι ομαλή και επηρεάζει την προσοχή των ατόμων και ότι η κατασκευή είναι ασταθής κατά την διάρκεια της κίνησης.

Από την άλλη μεριά, η επιλογή των συγκεκριμένων υλικών έγινε ώστε να εκμεταλλευτούμε όσα θετικά είχαν να μας προσφέρουν. Αρχικά το χαμηλό κόστος και η ευκολία εύρεσής τους ήταν από τους σημαντικότερους λόγους για την επιλογή. Επίσης η ευκολία για την κατασκευή της μονάδας, αφού με το ξύλο και το πανί είναι εύκολο να γίνουν κατεργασίες και δοκιμές. Υλικά που είχαν ως αποτέλεσμα μια ελαφριά και ευέλικτη κατασκευή και έκαναν εφικτή την ιδέα της μεταβαλλόμενης γεωμετρίας και της διάδρασης με τις μεταβλητές του περιβάλλοντος, όπως ο φωτισμός και η ακουστική. Όσον αφορά τα ηλεκτρονικά, το γεγονός ότι όλα προγραμματίστηκαν μέσω του Arduino, μια πλακέτα ανοικτού κώδικα και οι οδηγίες αναγράφονται μαζί με τα προτεινόμενα σενάρια στην οθόνη, καθιστά την μονάδα απλή στην χρήση και στην διόρθωση ή εξέλιξη του προγραμματισμού της.

Το θετικότερο στοιχείο όμως, είναι ότι μέσω αυτών των επιλογών καταφέραμε να κατασκευάσουμε μια λειτουργική μονάδα σε κλίμακα 1:1 και να ελέγξουμε ότι η ιδέα μας μπορεί να επιφέρει το μελετημένο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Παρακάτω φαίνονται εικόνες από την μονάδα που κατασκευάστηκε, που αποτελεί έναν από τους εννέα κόμβους της συνολικής κατασκευής, σε διαφορετικές θέσεις και με διαφορετικό φωτισμό ανάλογα με το κάθε σενάριο.



Εικ. 28 Διαδραστική Κατασκευή Οροφής Μεταβαλλόμενης Γεωμετρίας



Εικ. 29 Διαδραστική Κατασκευή Οροφής Μεταβαλλόμενης Γεωμετρίας



Εικ. 31 Διαδραστική Κατασκευή Οροφής Μεταβαλλόμενης Γεωμετρίας



Εικ. 30 Διαδραστική Κατασκευή Οροφής Μεταβαλλόμενης Γεωμετρίας

Η κατασκευή της μονάδας σε κλίμακα 1:1 μας έδωσε την δυνατότητα να παρατηρήσουμε και να ελέγξουμε την εφαρμογή που προτείνουμε. Ως επόμενος στόχος τίθεται η βελτίωση και εξέλιξη των λειτουργικών στοιχείων της κατασκευής, αλλά και η ολοκλήρωση και τοποθέτησή της σε μια σχολική αίθουσα στο πλαίσιο της ιδέας για μια εκπαιδευτική διαδικασία επαυξημένης χωρικής πραγματικότητας.



Εικ. 32 Τρισδιάστατη απεικόνιση ολοκληρωμένης κατασκευής τοποθετημένης σε σχολική αίθουσα

3ο Κεφάλαιο. Εξέλιξη μελετημένης κατασκευής

Μοντέλα εφαρμογής διάδρασης – μεταβλητότητας

Για να λειτουργήσει ένα διαδραστικό σύστημα ελέγχου, η κεντρική μονάδα λαμβάνει δεδομένα από τους αισθητήρες, μέσω δεκτών το σήμα μετατρέπεται σε πιο κατανοητή μορφή για την μονάδα και περνάει από τα λογικά κυκλώματα της μονάδας και τέλος αποστέλλεται πίσω στις συσκευές εξόδου και τους ενεργοποιητές. Όπως αναφέρει ο Ουγγρίνης Κ. στο βιβλίο του «Μεταβαλλόμενη Αρχιτεκτονική – Κίνηση | Προσαρμογή | Ευελιξία» υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα εφαρμογής τα οποία ανεβάζουν το βαθμό αυτοματισμού και τεχνητής νοημοσύνης και καθορίζουν την πολυπλοκότητα και τον βαθμό επέμβασης της κεντρικής μονάδας στη λειτουργία του συστήματος.¹

Το άμεσο μηχανικό μοντέλο βασίζεται στην άμεση σχέση αισθητήρων – συστήματος ελέγχου – ενεργοποιητών και είναι συνήθως σύστημα ανοικτού κύκλου. Η μονάδα ελέγχου είναι κάποιος μετατροπέας σήματος που μετασχηματίζει το σήμα από την ενεργειακή μορφή, σε μορφή για άμεση χρήση από τον ενεργοποιητή, χωρίς ενδιάμεση επεξεργασία.

Το ενισχυμένο μηχανικό μοντέλο χρησιμοποιεί λογικούς επεξεργαστές για την διαχείριση της εισερχόμενης πληροφορίας από τους αισθητήρες και προγραμματισμό, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται ο σχεδιασμός συμπεριφοράς και αντίδρασης του συστήματος.

Το καταστατικό/συνδυαστικό μοντέλο χρησιμοποιεί έξυπνα υλικά, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω, ώστε να μειωθεί ο αριθμός συνάψεων μεταξύ αισθητήρων και ενεργοποιητών. Τα έξυπνα υλικά έχουν απλή σύνδεση και επικοινωνία με τον λογικό επεξεργαστή και συμβάλουν στη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας καθώς είναι αυτο-προγραμματισμένα.

Τέλος το βιολογικό/βιομιμητικό μοντέλο έχει ως στόχο την αποκλειστική χρήση έξυπνων υλικών με ενσωματωμένες κεντρικές μονάδες ελέγχου, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός ομοιογενούς συστήματος χωρίς συνάψεις μεταξύ αισθητήρων και ενεργοποιητών. Το μοντέλο αυτό αποτελεί το επόμενο βήμα της μεταβλητότητας στην αρχιτεκτονική καθώς επιδιώκει να συνδυάσει την μηχανική κίνηση με την λογική, την αίσθηση και την επεξεργασία δεδομένων από το περιβάλλον. Στο βιομιμητικό μοντέλο, ο σχεδιαστής καλείται να βρεί την κατάλληλη μορφή κάποιου φυσικού στοιχείου ή συστήματος και να μελετήσει τον τρόπο λειτουργίας και αντιμετώπισης φυσικών καταστάσεων και προβλημάτων, ώστε να μιμηθεί την διαδικασία που ακολουθεί.²

Σημαντικό κομμάτι στην εξέλιξη του συγκεκριμένου μοντέλου αποτελεί η ανάπτυξη της ρομποτικής, της χρήσης δηλαδή ικανών υλικών που ανταποκρίνονται στις απαιτούμενες κινήσεις και της συνεργασίας τους με τα ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα, με στόχο την επίτευξη του καλύτερου τρόπου με τον οποίο το τεχνητό στοιχείο ανταποκρίνεται σε ερεθίσματα ή αλλαγές του περιβάλλοντος.

Ο υλικός χαρακτήρας της ρομποτικής είναι αρκετά σημαντικός, καθώς απαραίτητη είναι η εύρεση των υλικών που μπορούν να μιμηθούν καλύτερα το σκελετικό και μυϊκό σύστημα ενός ζωντανού οργανισμού. Οι εξαιρετικές επιδόσεις των μετάλλων τα καθιστούν ικανότατα στο να υποστηρίξουν το σκελετικό σύστημα, ενώ η δυσκολία έγκειται στην εύρεση του κατάλληλου υλικού προς υποστήριξη του μυϊκού συστήματος. Τα τελευταία χρόνια γίνεται χρήση ηλεκτροενεργών πολυμερών υλικών (*electroactive polymers – E.A.P.*), οι ιδιότητες των οποίων τα καθιστούν μια εξαιρετική λύση.

Τα Ε.Α.Ρ. υλικά έχουν παραπλήσιες ιδιότητες με τους φυσικούς μυς, όπως ελαστικότητα, ανθεκτικότητα και αντοχή στις βλάβες και στις τάσεις που τους ασκούνται. Επίσης, συστέλλονται, διαστέλλονται και κάμπτονται με παρόμοιο τρόπο όπως οι φυσικοί μύες, ώστε να υποστηρίξουν τις απαιτούμενες κινήσεις. Με αυτόν τον τρόπο, είναι ικανή κάθε κίνηση των τεχνητών μυών από Ε.Α.Ρ., ενώ μπορούν να πάρουν οποιοδήποτε σχήμα, προκειμένου να εκτελέσουν κατά τον καλύτερο τρόπο τις λειτουργίες τους.³

Στα ρομποτικά συστήματα υφίσταται διάδραση σε μεγάλο βαθμό, έτσι απαραίτητη είναι η εισαγωγή ψηφιακών συστημάτων που επιτρέπουν την ανίχνευση ερεθισμάτων και την εκτέλεση ενσωματωμένων υπολογισμών. Τα ψηφιακά συστήματα συνδέονται με τα μηχανικά μέρη του ρομπότ, που όπως προαναφέρθηκε αποτελούνται από μεταλλικά σώματα και από υλικά όπως τα Ε.Α.Ρ. Η σύνδεση επιτυγχάνεται με τα αποκαλούμενα «μικροηλεκτρονικά μηχανικά συστήματα (*micro-electro-mechanical-systems – M.E.M.S.*)», τα οποία παίρνουν μικροσκοπικές διαστάσεις και αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα αισθητήρα – επεξεργαστή – ενεργοποιητή, και έτσι δημιουργούνται ψηφιακά ρομποτικά σύνολα, με ικανότητες ανίχνευσης ερεθισμάτων, σκελετικής και μυϊκής κίνησης.⁴

Έξυπνα Υλικά

Τα έξυπνα υλικά έχουν την δυνατότητα να μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά τους και να αντιγράφουν φυσικά παραδείγματα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μεταβλητότητας, μειώνοντας την περιπλοκότητα της κατασκευής ανάλογα με τις ιδιότητες που επιδεικνύουν. Η μεταβολή, η οποία αποτελεί ιδιότητα των έξυπνων υλικών, μπορεί να είναι είτε προγραμματισμένη, είτε να προκαλείται από ένα σύστημα ελέγχου. Η δυνατότητα μεταβολής, όταν οι τιμές κάποιων συνθηκών όπως το φως, η θερμοκρασία, η πίεση κ.α. αλλοιωθούν, αποτελεί ανταπόκριση, δίνοντας στον άνθρωπο την εντύπωση ευφυΐας. Οι Addington M. και Shodek D. στο βιβλίο τους «Smart Materials and New Technologies for architecture and design professions» κατηγοριοποιούν τα έξυπνα υλικά σε υλικά Τύπου 1 και Τύπου 2 ανάλογα με την ενεργειακή τους δράση.⁵

Τα έξυπνα υλικά Τύπου 1 μεταβάλλουν μία από τις ιδιότητές τους (χημική, μηχανική, οπτική, ηλεκτρική, μαγνητική ή θερμική) σε ανταπόκριση κάποιας αλλαγής του περιβάλλοντος χωρίς την ανάγκη εξωτερικού ελέγχου.

Υλικά Τύπου 1 είναι τα υλικά χρωμικής μεταβολής, τα οποία αλλάζουν τις οπτικές τους ιδιότητες και τον τρόπο με τον οποίο αντανακλούν, απορροφούν ή διαχέουν το φως και τα αποτελέσματα γίνονται αντιληπτά ως χρωματικές μεταβολές. Χωρίζονται σε ηλεκτροχρωμικά (*electrochromics*), θερμοχρωμικά (*thermochromics*), μηχανοχρωμικά (*mechanochromics*), τα οποία αλλάζουν χρώμα όταν εκτίθενται σε ηλεκτρική τάση, μεταβολή θερμοκρασίας ή μηχανικές εντάσεις και παραμορφώσεις αντίστοιχα.

Υλικά αλλαγής φάσης ανήκουν επίσης στον Τύπο 1, υλικά δηλαδή που μεταβάλλουν τη φυσική τους καταστασή (στερεά, υγρά και αέρια) με αλλαγή των μοριακών τους στοιχείων. Κατηγορίες τέτοιων υλικών αποτελούν τα ηλεκτρο-μαγνητοτροπικά, όπως τα αιωρούμενα σωματίδια (*suspended particles*) ή τα ηλεκτροενεργά πολυμερή που αναφέρθηκαν προηγουμένως, καθώς και τα μνημονικά όπως τα κράματα μνήμης (*shape memory alloys*), τα οποία μεταλλάσσουν προγραμματισμένα τη μορφή τους όταν βρεθούν κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας ή ηλεκτρικής τάσης.

Τα έξυπνα υλικά Τύπου 2 μετατρέπουν την ενέργεια που δέχονται σε άλλη μορφή ενέργειας, ώστε να επιτύχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα μεταβολής. Τα υλικά εκπομπής φωτός, που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία, παράγουν φως μέσα από την εκπομπή ενέργειας που έλαβε το υλικό. Τέτοια μπορεί να είναι ηλεκτροφωτιζόμενα (electroluminescents), όπως οι αγωγοί LED, θερμοφωτιζόμενα (thermoluminescents), φωτοβολταϊκά (photovoltaic) κ.α. Στον Τύπο 2 ανήκουν επίσης τα υλικά ανταλλαγής ενέργειας, τα οποία διαχειρίζονται με τον ίδιο τρόπο την ενέργεια, όπως και τα υλικά της προηγούμενης κατηγορίας, με την διαφορά ότι μπορούν να λειτουργήσουν και αντίστροφα.

Προτάσεις για εξέλιξη διαδραστικής κατασκευής

Η διαδραστική κατασκευή που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι λειτουργική και πετυχαίνει τον σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκε, χωρίς αυτό να σημαίνει όμως ότι δεν υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης στον βαθμό διάδρασης της κατασκευής με τον χρήστη και το περιβάλλον, αλλά και στους μηχανισμούς και στα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται. Παρακάτω γίνεται προσπάθεια να προταθούν ιδέες και λύσεις εξέλιξης της υπάρχουσας κατασκευής με στόχο την έρευνα και μελέτη τους για μελλοντική εφαρμογή.

Σε πρώτο στάδιο, κρίνεται «απαραίτητο» η διαδραστική κατασκευή να αποκτήσει την δυνατότητα της ανταπόκρισης. Σύμφωνα με τον Sterk T. «Ως ανταποκρινόμενη αρχιτεκτονική (responsive architecture) ορίζεται η αρχιτεκτονική, η οποία μέσω αισθητήρων μετρά πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες και ενεργοποιεί, μέσω κατάλληλων μηχανισμών, την προσαρμογή του αρχιτεκτονήματος όσον αφορά το σχήμα, τη μορφή, το χρώμα ή τον ανταποκρινόμενο χαρακτήρα του. Η ανταποκρινόμενη αρχιτεκτονική έχει ως σκοπό να τελειοποιήσει και να διευρύνει την πειθαρχία στην αρχιτεκτονική με το να βελτιώσει την ενεργειακή συμπεριφορά των αρχιτεκτονικών διαδραστικών συστημάτων με τη χρήση ανταποκριτικών τεχνολογιών (by sensors /control systems / actuators), ενώ παράλληλα παράγει συστήματα που αντανakλούν τις τεχνολογικές συνθήκες της εποχής μας».⁶

Συνεπώς προτείνεται η προσθήκη και χρήση αισθητήρων, σημαντικών στοιχείων στην δημιουργία ενός μεταβαλλόμενου ανταποκριτικού περιβάλλοντος, αφού αποτελούν το δίκτυο αντίληψης του χώρου σε σχέση με τα όσα συμβαίνουν μέσα και γύρω από αυτόν. Πιο συγκεκριμένα αισθητήρες θέσης και κίνησης θα ήταν αρκετά χρήσιμοι στην κατασκευή μας. Οι αισθητήρες θέσης αντιλαμβάνονται την θέση κάποιου αντικειμένου ή την κατεύθυνση και ταχύτητά του χρησιμοποιώντας τεχνολογίες οπτικής, μηχανικής, πίεσης, ενώ οι αισθητήρες κίνησης βασίζονται στην υπέρυθρη ακτινοβολία και την διαφορά θερμοκρασίας. Θα έχουν την δυνατότητα λοιπόν να λαμβάνουν δεδομένα σχετικά με την κίνηση των ανθρώπων στην αίθουσα ή την διάταξη που έχουν κάποια δεδομένη στιγμή και μετά την επεξεργασία τους από την μονάδα ελέγχου, οι ενεργοποιητές να διαμορφώνουν το κατάλληλο σενάριο, ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών, χωρίς να υπάρχει ανθρώπινη παρέμβαση. Χρήσιμοι θα ήταν επίσης αισθητήρες φωτός, ώστε να λαμβάνουν δεδομένα για την ένταση του φωτός και να χρησιμοποιούνται για την βελτίωση του φωτισμού μέσω των LED αγωγών, καθώς και αισθητήρες εγγύτητας για την ασφαλή κίνηση της κατασκευής εντός των καθορισμένων ορίων.

Συνεπώς, με την χρήση διαφόρων αισθητήρων στην κατασκευή, πετυχαίνουμε την συλλογή δεδομένων, τα οποία αναλύονται, επεξεργάζονται και μεταφράζονται σε κίνηση για τους ενεργοποιητές, ενισχύοντας την διαδραστική κατασκευή με το στοιχείο της ανταπόκρισης στις αλλαγές του περιβάλλοντος, χωρίς την άμεση ανθρώπινη παρέμβαση.

Σε δεύτερο στάδιο έρευνας για την εξέλιξη της κατασκευής, θα είχε ενδιαφέρον να μελετηθεί πως μπορούμε να περάσουμε από το μηχανονικό στο καταστατικό μοντέλο. Όπως προαναφέρθηκε, σε ένα καταστατικό μοντέλο διάδρασης, στόχος είναι η εισαγωγή έξυπνων υλικών, με αποτέλεσμα την μείωση των μηχανικών μερών της κατασκευής και την απλούστευση της επικοινωνίας και μετάδοσης πληροφοριών. Αρχικά θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε υλικά χρωμικής μεταβολής για να πετύχουμε τους χρωματισμούς του κάθε σεναρίου ανάλογα με τις αλλαγές του περιβάλλοντος σε φωτισμό και θερμοκρασία. Θερμοχρωμικά και φωτοχρωμικά υλικά, τα οποία αλλάζουν χρώμα σύμφωνα με τις θερμοκρασιακές αλλαγές και τις συνθήκες φωτισμού θα ήταν κατάλληλα.

Επίσης κράματα ή πολυμερή με δυνατότητες μορφικής μνήμης (shape memory alloys/polymers), θα μπορούσαν να έχουν χρήση στην κατασκευή. Πρόκειται για υλικά, τα οποία μεταλλάσσουν τη μορφή τους όταν υποστούν αλλαγή θερμοκρασίας ή ηλεκτρικής τάσης. Οι σύνδεσμοι των κόμβων της κατασκευής ή ακόμη και ολόκληρος ο σκελετός των τριγωνικών πλαισίων θα μπορούσε να αποτελείται από τέτοια υλικά, τα οποία θα επέτρεπαν στην κατασκευή να σχηματίζει τα επιθυμητά σενάρια ανάλογα με τη θερμοκρασία και χωρίς την μεσολάβηση μηχανικών μερών.

Μια ακόμη πρόταση, η οποία δεν αφορά έξυπνα υλικά, σχετίζεται με τους μηχανισμούς της κίνησης και την αντικατάσταση των συρματόσχοινων και βηματικών κινητήρων, από ρομποτικούς βραχίονες. Οι ρομποτικοί βραχίονες θα έχουν την δυνατότητα να εκτελούν τις κινήσεις για την πραγματοποίηση των σεναρίων ομαλά και με απόλυτη ακρίβεια. Επίσης υποστηρίζουν μεγαλύτερο βάρος κατασκευής και περισσότερες κινήσεις και δυνατές θέσεις, γεγονός που σημαίνει ότι η κατασκευή αποκτά μεγαλύτερη ευελιξία.

-
1. Ουγγρίνης Κ. (2012). *Μεταβαλλόμενη Αρχιτεκτονική Κίνηση/Προσαρμογή/Ευελιξία*. Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ, σελ.351
 2. Fox, A., Kemp, M. (2009). *Interactive Architecture*. Princeton Architectural Press, σελ.237
 3. Ουγγρίνης Κ. (2012). *Μεταβαλλόμενη Αρχιτεκτονική Κίνηση/Προσαρμογή/Ευελιξία*. Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ, σελ.354
 4. Bar-Cohen Y., Breazeal C. (2003). *Biologically Inspired Intelligent Robotics*, Proceedings of the SPIE Smart Structures Conference San Diego, Paper 5051-02, SPIE,
 5. Addington, M., Schodek, D. (2005). *Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions*. Architectural Press, σελ. 79-108
 6. Sterk, T. (2005). 'Automation in Construction', *Building Upon Negroponte: A Hybridized Model of Control Suitable for Responsive Architecture*, σελ. 225-232

Επίλογος

Η αρχιτεκτονική, στην προσπάθεια της για ευελιξία και προσαρμογή στις αλλαγές, υιοθετεί ιδιότητες όπως η διάδραση, η μεταβλητότητα και η ανταπόκριση. Η άνθιση του ψηφιακού κόσμου επαναπροσδιορίζει τον φυσικό και δημιουργεί νέες σχέσεις ανάμεσα στον άνθρωπο και τον χώρο που τον περιβάλλει. Η ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στον χρήστη και το αρχιτεκτόνημα αποτελεί προϋπόθεση για να χαρακτηριστεί ένα σύστημα διαδραστικό.

Με την συγκεκριμένη κατασκευή έγινε προσπάθεια να προσδιοριστεί ένα τέτοιο σύστημα και να ερευνηθεί το κατά πόσο μπορεί να ανταπεξέλθει στον σκοπό του. Κατά πόσο μπορεί δηλαδή, να δημιουργήσει επικοινωνία ανάμεσα στο χρήστη και την κατασκευή και να προσαρμοστεί στις ανάγκες του χρήστη.

Η κατασκευή αποτελεί επίσης την αρχή μιας έρευνας με προοπτική εξέλιξης. Μιας έρευνας για την μετάβαση από το διαδραστικό μοντέλο στο ανταποκριτικό, γεγονός που θα εισάγει μια νέα διάσταση στον τρόπο λειτουργίας του συστήματος και νέες δυνατότητες. Δυνατότητες που θα οδηγήσουν τον χρήστη ένα βήμα πιο κοντά στην εμπειρία της «επαυξημένης χωρικής πραγματικότητας».

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση και Ελληνική Βιβλιογραφία

Addington, M., Schodek, D. (2005). *Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions*. Oxford: Architectural Press.

Bar-Cohen Y., Breazeal C. (2003). *Biologically Inspired Intelligent Robotics*. Proceedings of the SPIE Smart Structures Conference San Diego, Paper 5051-02, SPIE.

Fox, A., Kemp, M. (2009). *Interactive Architecture*. Princeton Architectural Press.

Haque,U. (2006). 'AU: Architectura & Urbanismo'. *Architecture, interaction, systems*.

Oostehuis, K. (2003). *Hyperbodies. Towards an Emotive Architecture*. Basel; Boston; Berlin: Birkhauser.

Oosterhuis, K. (2012). *Hyperbody: first decade of interactive architecture*. Jap Sam Books.

Oungrinis, K.-A., Liapi, M., Georgoulakis, S., Mairopoulos, D., Lionaki, E., Ntzoufras, S., Stathopoulou, E., Telo, M. (2014). Sensponsive classrooms: Ambient Intelligent spaces that facilitate learning. In: K. Zreik (Ed.). *Architecture, City and Information Design (EuroplA.14)*. Paris: Europa.

Spiller, N. (2009). *Digital Architecture Now: A Global Survey of Emerging Talent*. Thames & Hudson.

Sterk, T. (2005). 'Automation in Construction', *Building Upon Negroponte: A Hybridized Model of Control Suitable for Responsive Architecture*.

Γιαννούδης, Σ. (2012). *Προσαρμόσιμη Αρχιτεκτονική*. Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ

Ουγγρίνης, Κ.-Α. (2012). *Μεταβαλλόμενη Αρχιτεκτονική Κίνηση/Προσαρμογή/Ευελιξία*. Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ.

Διαδικτυακή Βιβλιογραφία

'Cosmic Quilt' στο <http://theprincipals.us/#/cosmic-quilt/>

HYPERBODY στο <http://www.hyperbody.nl/>

'Kinetic Pavilion' στο <https://architizer.com/projects/kinetic-pavilion/>

TUC TIE Lab Education, 'The Spirit|Ghost Project', στο <http://www.tielabtuc.com/#/spirit-ghost/>

Video presentation, 'KINETIC MEMBRANES / interactive fluid form' στο <https://www.youtube.com/watch?v=qskPHo-4xcw>

Video presentation, 'Kinetic Pavilion', στο https://www.youtube.com/watch?v=bk_v76_nYf8