



Σχολή εφαρμοσμένων τεχνών και βιώσιμου σχεδιασμού

M.Sc. Interaction Generative Design IGD

Μ.Π.Σ. Διαδραστικός Αλγοριθμικός Σχεδιασμός

Διπλωματική εργασία

**Σχεδιασμός Παραμετρικού Origami Pavilion
μέσω Υπολογιστικής Λογικής**

Παναγιώτης Ζαράνης

Αρχιτέκτονας Μηχανικός Ε.Μ.Π

Επιβλέπων Καθηγητής : Νικόλαος Κουρνιατής

Συν - Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Άννα Λάσκαρη

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Σχεδιασμός Παραμετρικού Origami Pavilion μέσω Υπολογιστικής Λογικής

Παναγιώτης Ζαράνης
Αρχιτέκτονας Μηχανικός Ε.Μ.Π

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Νικόλαος Κουρνιάτης
Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, ΠΑ.Δ.Α
(Μέλος Επιτροπής)

Συν- Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Άννα Λάσκαρη Δρ. Αρχιτέκτων Μηχανικός

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών IGD «Διαδραστικός Αλγοριθμικός Σχεδιασμός» του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου. Η συμβολή των καθηγητών όλων των θεματικών ενοτήτων του μεταπτυχιακού προγράμματος ήταν ιδιαίτερα σημαντική, και για αυτό οφείλω να τους ευχαριστήσω. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές και επιβλέποντες της διπλωματικής μου εργασίας, τον κ. Κουρνιατή Νικόλαο και την κ. Λάσκαρη Άννα, για τη συμβολή τους σε όλα τα στάδια εκπόνησης της, με τις εύστοχες και εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά και τους φίλους μου, για τη συμπαράσταση τους όλο αυτό το διάστημα.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΜΑΤΟΣ

Η επιλογή του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε σε συνεννόηση με τους διδάσκοντες κ.Κουρνιατή και κ.Λάσκαρη. Θέμα της διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο σχεδιασμός ενός παραμετρικού pavilion με στοιχεία origami, το οποίο θα βρίσκεται σε δημόσιο χώρο και θα εξυπηρετεί τη στέγαση και προστασία των περιπατητών που εισέρχονται μέσα σε αυτό από το ηλιακό φως.

Αποτελείται από σταθερό σκελετό με κινούμενα στοιχεία πλήρωσης-πανέλα. Φέρει στοιχεία origami τόσο ως προς τις αναλογίες αλλά και τις αρχές που διέπουν αυτή την τέχνη. Στόχος της κίνησης των στοιχείων πλήρωσης-πανέλων είναι να ανοιγοκλείνουν, για να φιλτράρουν τις ακτίνες του ήλιου στη διάρκεια της ημέρας. Παράλληλα, η κατασκευή αυτή είναι δυνατό να συμβάλλει στην εξοικείωση των περιπατητών με την τέχνη των origami.

Στην Ελλάδα μια χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια ειδικά τους θερινούς μήνες χρειάζεται να υπάρχει σκίαση κατά τόπους ώστε να μπορεί ο περιπατητής να ξαποσταίνει.

Βασική αρχή σχεδιασμού του pavilion αποτελεί το modularity, έτσι ώστε να είναι ευέλικτο, οικονομικότερο και ευκολότερο ως προς την κατασκευή και συναρμολόγηση του. Μελετώνται οι αρχές και οι μετασχηματισμοί των origami με στόχο να μεταφραστεί από εικαστική τέχνη σε δημιουργία χώρου που θα εξυπηρετεί και την ανάγκη στέγασης.

Γίνεται χρήση πλακέτας Arduino, αισθητήρων φωτός καθώς μοτέρ για την επίτευξη της κίνησης των στοιχείων πλήρωσης με απώτερο σκοπό τη σκίαση του pavilion στο εσωτερικό του.

Τέλος, πέραν του σχεδιαστικού μέρους μελετάται και ένα μέρος του pavilion σε μακέτα καθώς το fabrication αποτελεί σημαντικό μέρος υλοποίησης μιας μη συμβατικής κατασκευής. σε πραγματικές συνθήκες.

ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε τρία μέρη, το θεωρητικό πλαίσιο, το κύριο μέρος το οποίο περιλαμβάνει το σχεδιασμό, την προσομοίωση του κινητικού μέρους της κατασκευής, το κινητικό μέρος σε πραγματικές συνθήκες μέσα από την κατασκευή της μακέτας και τέλος τα συμπεράσματα που εξάγονται κατόπιν της μελέτης και κατασκευής μακέτας - mock up ενός πλαισίου του pavilion.

Αρχικά, στο θεωρητικό μέρος γίνεται ανάλυση των αρχών που διέπουν την τέχνη origami, την έννοια του pavilion καθώς και του modularity.

Στο σχεδιαστικό μέρος, γίνεται ανάλυση της κεντρικής ιδέας και της σχεδιαστικής μεθοδολογίας που ακολουθείται. Ακολουθεί παρουσίαση διαγραμμάτων, δισδιάστατων και τρισδιάστατων σχεδίων, φωτορεαλιστικών απεικονίσεων, καθώς και κατασκευαστικών λεπτομερειών. Παράλληλα, τα σχέδια συνοδεύονται από κώδικα σε περιβάλλον grasshopper. Στη συνέχεια, ακολουθεί φωτογραφικό υλικό κατασκευής μακέτας, όπου διερευνάται η λειτουργία του κινητικού πρωτοτύπου της κατασκευής. Ακολουθεί κώδικας σε περιβάλλον Arduino IDE και συνδεσμολογία εξαρτημάτων Arduino για την επίτευξη κίνησης της κατασκευής.

Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα κατόπιν μελέτης και υλοποίησης μέρους της εν λόγω κατασκευής καθώς και προτείνονται βελτιστοποιήσεις και δυναμικές εξέλιξης της.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο σχεδιασμός ενός παραμετρικού διαδραστικού pavilion, το οποίο φέρει στοιχεία origami.

Στόχος μιας τέτοιας κατασκευής είναι η στέγαση του περιπατητή από τον ήλιο, καθώς η Ελλάδα είναι μια χώρα με αρκετή ηλιοφάνεια και θερμό κλίμα ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, όπως και η εξοικείωση των περιπατητών – χρηστών με την τέχνη των origami.

Χρησιμοποιούνται βασικές αρχές και τεχνικές αναδίπλωσης που υπάρχουν στην τέχνη αυτή. Η κατασκευή είναι modular, έτσι ώστε να μπορεί προσαρμόζεται στις εκάστοτε ανάγκες του χώρου που τοποθετείται, να έχει μειωμένο κόστος κατασκευής, καθώς και να είναι εύκολη η συντήρηση της σε περίπτωση βλάβης.

Ο φέροντας οργανισμός είναι σταθερός, ενώ τα στοιχεία πλήρωσης είναι κινητά, ώστε να μπορούν να αναδιπλωθούν με τις τεχνικές αναδίπλωσης origami και να σκιάσουν το εσωτερικό του pavilion. Μελετώνται οι μετασχηματισμοί που μπορεί να έχει μια τέτοια επιφάνεια πλήρωσης και στη συνέχεια επιλέγεται το μοτίβο που μπορεί να εξυπηρετήσει τη διάδραση της κατασκευής αυτής με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται.

Γίνεται χρήση πλακέτας Arduino UNO R3 και προγραμματισμός αυτού, αισθητήρων φωτός καθώς μοτέρ για την επίτευξη της κίνησης των στοιχείων πλήρωσης με απώτερο σκοπό τη σκίαση του pavilion στο εσωτερικό του.

Λέξεις κλειδιά

pavilion, origami, modularity, αρχιτεκτονική, παραμετρικός σχεδιασμός, κινητική κατασκευή

ABSTRACT

The subject of this thesis is the design of a parametric interactive pavilion, which has origami elements.

The main purpose of this structure is to shelter the walker from the sun, as Greece is a country with plenty of sunshine and a warm climate, especially in the summer months. One more purpose is to familiarize the walker-users with the art of origami.

Basic folding principles and techniques of this art are used. The structure is modular, so it can be adapted to the needs of the space where it is placed. Also, it has a reduced construction cost, as well as being easy to maintain in case of any failure-damage.

The load-bearing structure is fixed, while the filling elements are mobile, so they can be folded with origami folding techniques and shade the interior of the pavilion. The transformations that the filling elements can exhibit are studied and the pattern that best serves interaction of the structure with the environment it is located in is selected.

Arduino UNO R3 microcontroller board is used and be programmed, in cooperation with light sensors and motors to achieve the movement of the filling elements with the ultimate goal of shading the pavilion inside.

Key words

pavilion, origami, modularity, architecture, parametric design, kinetic structure

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΜΑΤΟΣ	5
ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	10
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	16
1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	19
i. Γραμμές.....	19
i. Dot - x-ray γραμμές	19
ii. Πτυχώσεις	20
iii. Συμβολισμοί.....	21
1.3 ΤΥΠΟΙ ORIGAMI	22
i. Traditional Origami.....	22
i. Modular Origami	23
ii. Tessellation.....	24
iii. Kirigami	25
iv. Sculpture Origami.....	26
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	28
2.1 PAVILION ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	28
2.2 ORIGAMI PAVILLION	31
2.3 MODULARITY	34

2.4 ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΙΟΥ	36
3. ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ.....	38
3.1 ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΙΔΕΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	38
3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ	49
3.3 ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΗΣΗ.....	51
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΜΑΚΕΤΑ.....	55
5. ARDUINO	61
4.1 ΚΩΔΙΚΑΣ	63
4.2 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ	65
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	72
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ	74

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Πρώτες μορφές origami.....	16
Εικόνα 2: Αναδίπλωση χαρτιού.....	19
Εικόνα 3: Τσάκιση χαρτιού	19
Εικόνα 4: Προβολή τσάκισης χαρτιού	19
Εικόνα 5: Προβολή τσάκισης χαρτιού	19
Εικόνα 6: Απεικόνιση κοιλάδων	20
Εικόνα 7: Απεικόνιση βουνών	20
Εικόνα 8: Βέλη και ένδειξη φοράς αναδίπλωσης	21
Εικόνα 9: Βέλη και ένδειξη φοράς αναδίπλωσης	21
Εικόνα 10: Ένδειξη στροφής- περιστροφής χαρτιού	21
Εικόνα 11: Ένδειξη στροφής- περιστροφής χαρτιού	21
Εικόνα 12: Πτηνό origami	22
Εικόνα 13: Βάτραχος origami	22
Εικόνα 14: Μονάδα Sonobe.....	23
Εικόνα 15: Λουλούδι kusudama origami.....	23
Εικόνα 16: Modular origami pattern.....	23
Εικόνα 17: Εικοσάεδρο με ισόπλευρες τριγωνικές πλευρές.....	23
Εικόνα 18: Ψηφιδωτό μοτίβο origami	24
Εικόνα 19: Ψηφιδωτό μοτίβο origami	24
Εικόνα 20: Ψηφιδωτό μοτίβο origami	24
Εικόνα 21: Ψηφιδωτό μοτίβο origami	24
Εικόνα 22: Kirigami 3D σχέδιο - σύνθεση με κύβους.....	25
Εικόνα 23: Le Corbusier building kirigami	25
Εικόνα 24: Louis Hartlooper Complex in Utrecht.....	25
Εικόνα 25: Γλυπτική origami.....	26
Εικόνα 26: Γλυπτική origami.....	26
Εικόνα 27: Γλυπτική origami.....	26
Εικόνα 28: Γλυπτική origami.....	26
Εικόνα 29: Serpentine Gallery Pavilion.....	29
Εικόνα 30: The Pavilion - Fundació Mies van der Rohe	29

Εικόνα 31: Glass Pavilion at the Toledo Museum of Art.....	30
Εικόνα 32: Εξωτερική άποψη pavilion Bloom / DO SU Studio Architecture	32
Εικόνα 33: Εσωτερική άποψη pavilion Bloom / DO SU Studio Architecture.....	32
Εικόνα 34: Origami pavilion-Tal Friedman14	33
Εικόνα 35: Origami pavilion-Tal Friedman14	33
Εικόνα 36: διαγράμματα modularity.....	34
Εικόνα 37: Σχηματική απεικόνιση οριζόντιου συστήματος συντεταγμένων.....	36
Εικόνα 38: Γραμμική παράταξη εξάεδρων	38
Εικόνα 39: Προοπτική απεικόνιση γραμμικής παράταξης εξάεδρων.....	38
Εικόνα 40: Κώδικας για τη δημιουργία και γραμμική παράταξη εξάεδρων.....	39
Εικόνα 41: Σταδιακή περιστροφή εξάεδρων γύρω από τον άξονα πορείας.....	39
Εικόνα 42: Προοπτική απεικόνιση περιστροφής εξάεδρων.....	39
Εικόνα 43: Κώδικας για τη σταδιακή περιστροφή εξάεδρων	39
Εικόνα 44: Κώδικας για εξαίρεση επιφάνειας εξάεδρων	40
Εικόνα 45: Εξαίρεση επιφανειών των εξάεδρων	40
Εικόνα 46: Επιφάνειες κατασκευής που θα αποτελέσουν σκελετό για τα πανέλα.....	40
Εικόνα 47: Εξαίρεση επιφανειών που βρίσκονται στη πορεία κίνησης, και δημιουργία επιφανειών σκίασης	41
Εικόνα 48: Εξαίρεση πανέλων που δεν έχουν αναλογία διαστάσεων 1:1	41
Εικόνα 49: Κώδικας για την εξαίρεση των πανέλων στην έδραση της κατασκευής ...	42
Εικόνα 50: Δημιουργία τελικού σκελετού κατασκευής	42
Εικόνα 51: Κώδικας για τη δημιουργία τελικού σκελετού κατασκευής.....	42
Εικόνα 52: Διαγραμματική απεικόνιση μετασχηματισμού με φύλλο χαρτί	43
Εικόνα 53: Διαγραμματική απεικόνιση μετασχηματισμού με φύλλο χαρτί	44
Εικόνα 54: Προσομοίωση μετασχηματισμού πανέλου στο grasshopper.....	45
Εικόνα 55: Τελική κατασκευή με στοιχεία πλήρωσης origami panels	46
Εικόνα 56: Κώδικας για τη δημιουργία origami panels.....	46
Εικόνα 57: Πορεία ήλιου στη διάρκεια της ημέρας.....	47
Εικόνα 58: Γωνία πρόσπτωσης ακτινών ήλιου στην επιφάνεια πλήρωσης	47
Εικόνα 59: Κώδικας προσομοίωσης της κίνησης του ήλιου κατά τη διάρκεια της μέρας	48
Εικόνα 60: Παραλλαγές κίνησης origami panels βάσει της πορείας του ήλιου	48
Εικόνα 61: Προοπτική απεικόνιση έδρασης κατασκευής.....	49

Εικόνα 62: Οψοτομή έδρασης κατασκευής	49
Εικόνα 63: Θεμέλια κατασκευής	49
Εικόνα 64: Λεπτομέρεια έδρασης της κατασκευής	49
Εικόνα 65: Σύνδεση πανέλων κάθετα μεταξύ τους	50
Εικόνα 66: Σύνδεση πανέλων κάθετα μεταξύ τους	50
Εικόνα 67: σύνδεση πανέλων	50
Εικόνα 68: Σύνδεση πανέλων	50
Εικόνα 69: Φωτορεαλιστική απεικόνιση κατασκευής	51
Εικόνα 70: Φωτορεαλιστική απεικόνιση κατασκευής	51
Εικόνα 71: Φωτορεαλιστική απεικόνιση κατασκευής	52
Εικόνα 72: Φωτορεαλιστική απεικόνιση κατασκευής	52
Εικόνα 73: Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού κατασκευής	53
Εικόνα 74: Απεικόνιση βουνών και κοιλάδων origami	55
Εικόνα 75: Απεικόνιση βουνών και κοιλάδων origami σε κίνηση	55
Εικόνα 76: Μηχανισμοί για μετασχηματισμό του μεταλλικού σκελετού.....	56
Εικόνα 77: Αρθρώσεις για την κίνηση της κατασκευής	56
Εικόνα 78: Προσομοίωση μοτέρ με χρήση μανιβέλας	57
Εικόνα 79: Μεταλλικός σκελετός κατασκευής με μηχανισμό κίνησης	57
Εικόνα 80: Μετασχηματισμός κατασκευής	58
Εικόνα 81: Μηχανισμός κίνησης κατασκευής	58
Εικόνα 82: Τελική κατασκευή, με επιφάνεια πλήρωσης	59
Εικόνα 83: Θέση αισθητήρα LDR και SERVO σε κάθε πλαίσιο της κατασκευής.....	61
Εικόνα 84: Arduino Uno R4	62
Εικόνα 85: Breadboard	62
Εικόνα 86: Αισθητήρας φωτός LDR.....	62
Εικόνα 87: Servo motor	62
Εικόνα 88: Κώδικας για arduino σε περιβάλλον arduino IDE.....	63
Εικόνα 89: Συνδεσμολογία arduino και breadboard.....	65
Εικόνα 90: Συνδεσμολογία LDR sensor	66
Εικόνα 91: Συνδεσμολογία servo motor	67
Εικόνα 92: Διάδραση με arduino σε πραγματικές συνθήκες	68
Εικόνα 93: Διάδραση με arduino σε πραγματικές συνθήκες	68
Εικόνα 94: Διάδραση με arduino σε πραγματικές συνθήκες	68

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για τον σχεδιασμό του εν λόγω παραμετρικού διαδραστικού origami pavilion, αρχικά είναι αναγκαία η μελέτη της ιστορίας που έχει η τέχνη origami και των βασικών καλλιτεχνών που συνέβαλαν στην ανάπτυξη και εξέλιξη της. Επιπλέον, γίνεται μελέτη των μετασχηματισμών - αναδιπλώσεων που διέπουν την τέχνη αυτή, καθώς και των τυπολογιών origami που υπάρχουν, με σκοπό την επιλογή της κατάλληλης μορφής.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το Origami είναι μια παραδοσιακή ιαπωνική τέχνη, η οποία βασίζεται στην αναδίπλωση χαρτιού. Προκύπτει από τα συνθετικά ori (αναδίπλωση) και gami η αλλιώς kami (χαρτί). (Kyushu University Library 2021, May 7). Στην παραδοσιακή της μορφή, οι καλλιτέχνες δημιουργούν περίπλοκα τρισδιάστατα σχέδια χρησιμοποιώντας μια δισδιάστατη επιφάνεια χαρτιού την οποία αναδιπλώνουν, χωρίς όμως να χρησιμοποιούν κοψίματα ή κόλλα. (Robinson, N. 2024)



Εικόνα 1: Πρώτες μορφές origami

Πηγή: <https://paper.gatech.edu/kinetic-joy/history-origami>

Έχει ιστορία η οποία χρονολογείται εδώ και αιώνες. Υπάρχουν 3 βασικές περιοδοι που χαρακτηρίζουν την εξέλιξη των origami:

- Πρώιμη περίοδος: Ενώ η ακριβής προέλευση δεν είναι σαφής, πιστεύεται ότι ξεκίνησε στην Κίνα κατά τη διάρκεια της δυναστείας των Χαν (206 π.Χ. - 220 μ.Χ.). Κατά τον 6ο αιώνα εισήχθη στην Ιαπωνία όταν οι μοναχοί άρχισαν να εισάγουν χαρτί από το εξωτερικό. Λόγω της ακρίβειας και του μικρού

αποθέματος του χαρτιού, τα origami χρησιμοποιήθηκαν κυρίως σε θρησκευτικές τελετές. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν από τους Σαμουράι που τα φορούσαν ως φυλαχτά καλής τύχης, αφού πίστευαν ότι θα τους προστατεύσουν κατά την διάρκεια της μάχης. Οι πλούσιοι και μορφωμένοι εκείνης της περιόδου αντάλλαζαν επιστολές, διπλώνοντάς τες με τις τεχνικές του origami.

- Περίοδος Edo (1603-1867): Το Origami γνώρισε σημαντική αναζωπύρωση, η οποία προέκυψε κυρίως λόγω της μειωμένης τιμής του χαρτιού washi¹ γεγονός που το κατέστησε πιο προσιτό στην κοινωνία. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου δημιουργήθηκαν περίπλοκα και λεπτομερή σχέδια origami.
- Σύγχρονη Εποχή: Από τον 20ο αιώνα και έπειτα, η θεματολογία των origami περιλαμβάνει ζώα, πουλιά, έντομα, λουλούδια και διάφορα γεωμετρικά σχήματα. Η τέχνη αυτή έχει πλέον κερδίσει δημοτικότητα παγκοσμίως και διαφορετικοί πολιτισμοί έχουν αναπτύξει τα δικά τους στυλ και τεχνικές.

Η τέχνη των origami, δεν είναι μόνο μια δημιουργική και καλλιτεχνική πρακτική, αλλά έχει και εκπαιδευτικά και θεραπευτικά οφέλη. Βοηθά στη βελτίωση της συγκέντρωσης, της υπομονής και των λεπτών κινητικών δεξιοτήτων. Επιπλέον, τα μοντέλα origami χρησιμοποιούνται συχνά στα μαθηματικά και την επιστήμη για την απεικόνιση γεωμετρικών εννοιών.

Βασικοί καλλιτέχνες που συνέβαλλαν στην ανάπτυξη και ανάδειξη της τέχνης αυτής είναι οι εξής:

Akira Yoshizawa: Θεωρείται ο «πατέρας του σύγχρονου origami». Εφηύρε την τεχνική wet-folding², εξελίσσοντας την τέχνη των origami, δημιουργώντας μια πιο γλυπτική και καλλιτεχνική έκφραση.

Robert Lang: Σπουδαίος και καινοτόμος δημιουργός ενός νεότερου είδους origami (crease pattern). Συνδυάζοντας μαθηματικά και γνώσεις μηχανολογίας, συνέβαλε στην

¹ Το Washi είναι παραδοσιακό ιαπωνικό χαρτί που είναι φτιαγμένο από ίνες του εσωτερικού φλοιού του δέντρου gampi, τον θάμνο mitsumata, ή τον θάμνο paper mulberry. (Hughes, S. 1978)

² Το χαρτί βρέχεται ώστε να είναι πιο μαλακό και εύκαμπτο. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να υλοποιηθούν πιο εξζητημένα και περίπλοκα σχήματα.

κατασκευή νέων πολύπλοκων μοντέλων που κάποτε φάνταζε απίθανο να κατασκευαστούν.

Erik Joisel: Γνωστός για τα περίπλοκα και ρεαλιστικά μοντέλα του origami με θεματολογία ζώων και εντόμων.

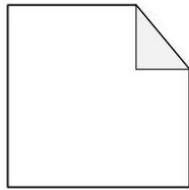
Satoshi Kamiya: με τα περίπλοκα σχέδια του, εμπνευσμένα από τον φανταστικό χώρο (μάγοι, δράκοι, μονόκεροι) αλλά και από την φύση, έχει δώσει μια ώθηση στην εξερεύνηση και τον πειραματισμό εκατοντάδων ενδιαφερόμενων ανά τον κόσμο.

1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Η τέχνη origami διέπεται από βασικές αρχές και μετασχηματισμούς, οδηγίες και συμβολισμούς για την υλοποίηση της. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται διαγράμματα που συνοδεύονται από οδηγίες, οι οποίες περιλαμβάνουν διαφορετικών τύπων γραμμές, πάχη γραμμών, πτυχώσεις, και σύμβολων.

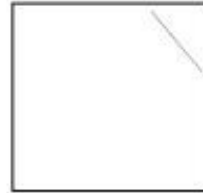
i. Γραμμές

Οι ακμές του χαρτιού συμβολίζονται με μεγαλύτερο πάχος γραμμής (βλ. εικόνα 2). Οι πτυχώσεις συνήθως υποδηλώνονται με γκρι χρώμα (βλ. εικόνα 3).



Εικόνα 2: Αναδίπλωση χαρτιού

Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>

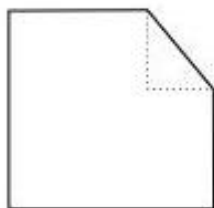


Εικόνα 3: Τσάκιση χαρτιού

Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>

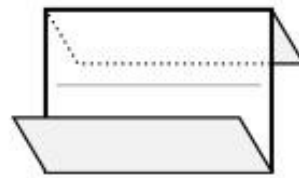
i. Dot - x-ray γραμμές

Οι ακμές οι οποίες προβάλλονται πίσω από την επιφάνεια του χαρτιού αποτυπώνονται με γραμμές dot³(βλ. εικόνα 3,4)



Εικόνα 4: Προβολή τσάκισης χαρτιού

Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>



Εικόνα 5: Προβολή τσάκισης χαρτιού

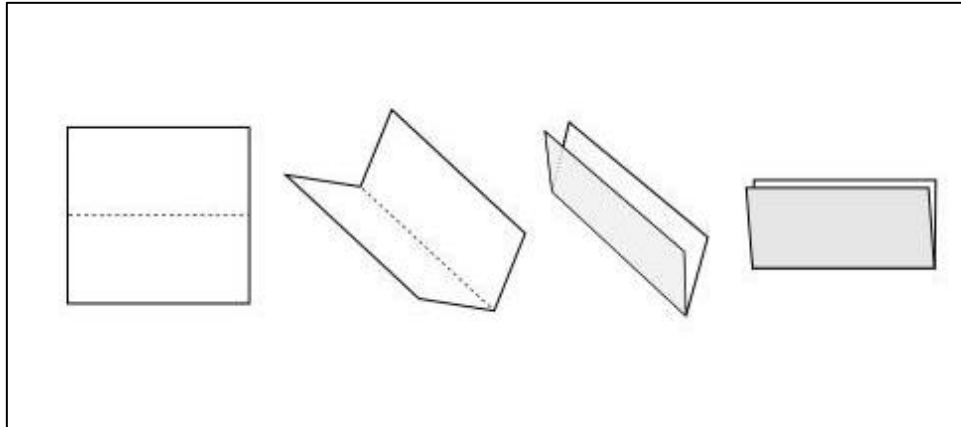
Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>

3 Γραμμή που αποτελείται από κουκκίδες.

ii. Πτυχώσεις

Υπάρχουν 2 είδη αναδιπλώσεων: πτυχώσεις κοιλάδας και πτυχώσεις βουνών.

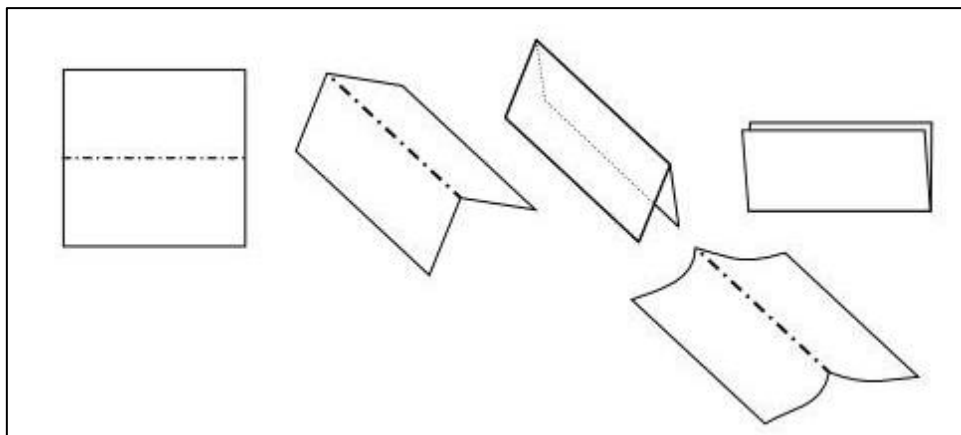
Πτύχωση κοιλάδας ορίζεται μια πτύχωση όπου διπλώνεται το χαρτί έτσι ώστε αυτή να σχηματίζει μια μικρή κοιλότητα. Υποδεικνύεται με μια γραμμή hidden⁴



Εικόνα 6: Απεικόνιση κοιλάδων

Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>

Πτύχωση βουνού ορίζεται μια πτύχωση όπου διπλώνεται το χαρτί έτσι ώστε αυτή να σχηματίζει ένα μικρό βουνό. Υποδεικνύεται με μια γραμμή dash dot⁵



Εικόνα 7: Απεικόνιση βουνών

Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>

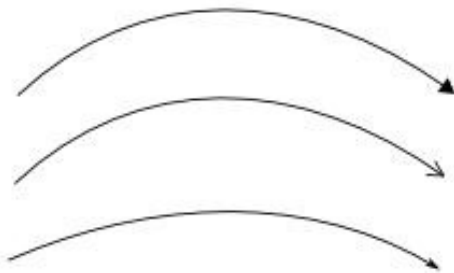
4 Γραμμή διακεκομμένη δηλαδή αποτελείται από παύλες

5 Γραμμή που αποτελείται από παύλες και τελείες

Ενώ το φύλλο χαρτί δεν έχει καμία στατική επάρκεια, η δημιουργία βουνών και κοιλάδων δημιουργεί ενισχυμένη ζώνη στην πτύχωση και κατ' επέκταση προσδίδει σχετική ακαμψία.

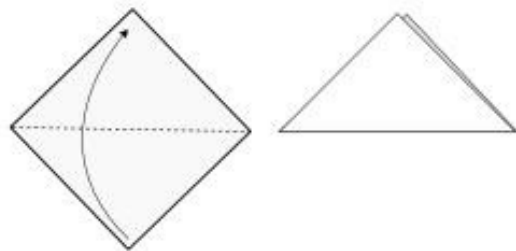
iii. Συμβολισμοί

Σε πιο περίπλοκες κατασκευές υπάρχει χρήση συμβόλων όπως βέλος και περιστροφή χαρτιού. Η χρήση συμβόλου βέλους υποδεικνύει κίνηση και αναδίπλωση προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση.



Εικόνα 8: Βέλη και ένδειξη φοράς αναδίπλωσης

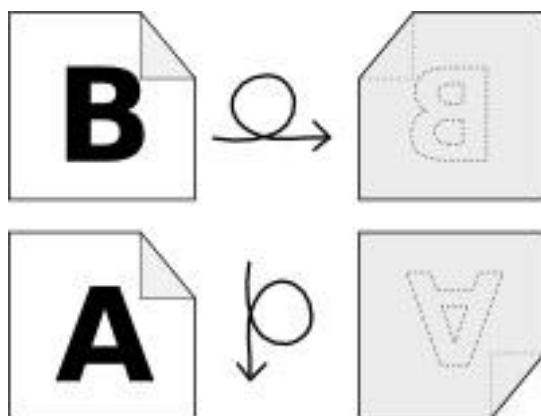
Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>



Εικόνα 9: Βέλη και ένδειξη φοράς αναδίπλωσης

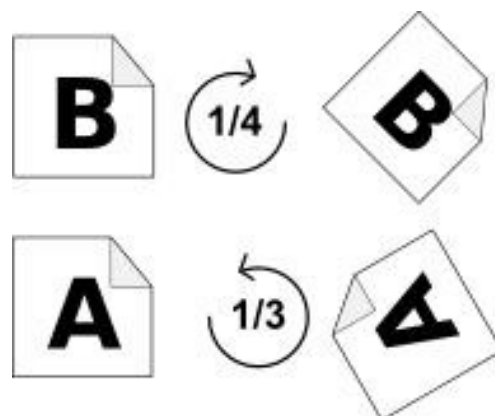
Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>

Η χρήση συμβόλου βέλους μπορεί να έχει σημαίνει είτε δίπλωμα προς τα εμπρός ή πίσω, ξεδίπλωμα, δίπλωμα και ξεδίπλωμα. Η ένδειξη στροφής υποδεικνύεται διαφορετικής μορφής βέλους. Η περιστροφή υποδεικνύεται άλλοτε με κυκλικό βέλος είτε με μορφή μοιρών.



Εικόνα 10: Ένδειξη στροφής- περιστροφής χαρτιού

Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>



Εικόνα 11: Ένδειξη στροφής- περιστροφής χαρτιού

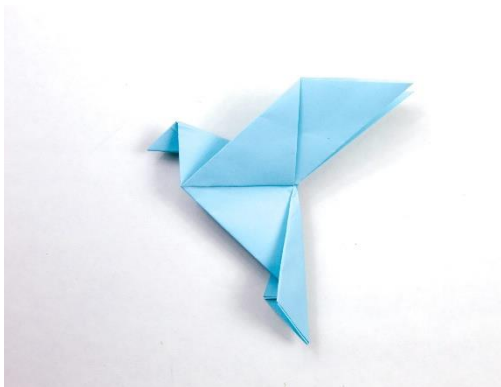
Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>

1.3 ΤΥΠΟΙ ORIGAMI

Υπάρχουν αρκετοί τύποι πτυχώσεων στην τέχνη origami και συνεχώς εξελίσσονται, επαναπροσδιορίζοντας ορισμένους από τους κανόνες σε σύγκριση με την παραδοσιακή τους μορφή. Μερικοί από αυτούς είναι traditional, modular, tessellation, kirigami και sculpture origami. Στη συγκεκριμένη κατασκευή χρησιμοποιούνται βασικές αρχές της παραδοσιακής μορφής origami.

i. Traditional Origami

Αυτή η μορφή αποτελεί την παραδοσιακή τέχνη origami και εστιάζει στη χρήση απλών πτυχώσεων. Η θεματολογία αυτών των κατασκευών είναι ζώα ή αντικείμενα που βρίσκονται στη φύση όπως για παράδειγμα ένας βάτραχος, ένας παπαγάλος, είτε ένα αεροπλάνο. Χρησιμοποιείται μόνο ένα φύλλο χαρτιού αναλογίας ένα προς ένα και χωρίς κοπή ή κόλληση. (Lang, R. J. (2010))



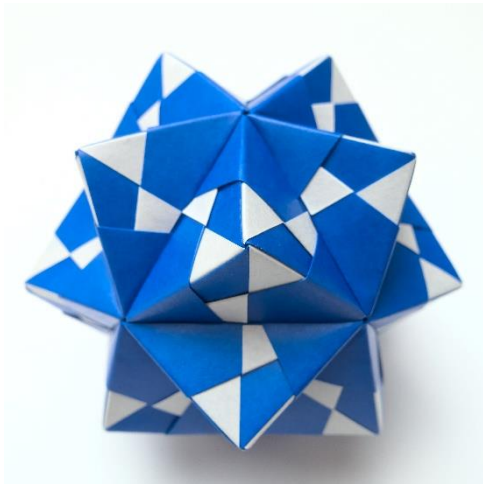
Εικόνα 12: Πτηνό origami



Εικόνα 13: Βάτραχος origami

i. Modular Origami

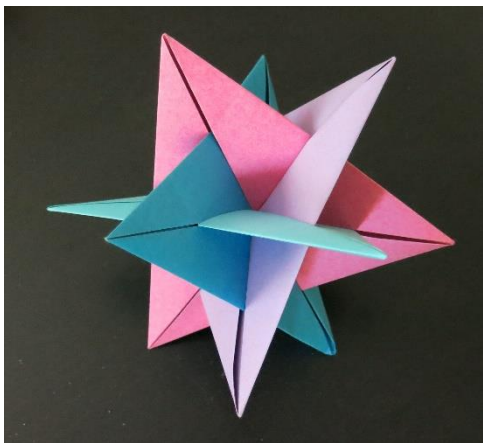
Περιλαμβάνει την αναδίπλωση πολλαπλών πανομοιότυπων μονάδων που στη συνέχεια συναρμολογούνται για να δημιουργήσουν μια μεγαλύτερη, πολύπλοκη δομή όπως για παράδειγμα μονάδες Sonobe, μπάλες λουλουδιών Kusudama. Επιτρέπει περίπλοκα γεωμετρικά σχέδια και τρισδιάστατα μοντέλα. (Fuse, T. 1990)



Εικόνα 14: Μονάδα Sonobe



Εικόνα 15: Λουλούδι kusudama origami



Εικόνα 16: Modular origami pattern



Εικόνα 17: Εικοσάεδρο με ισόπλευρες τριγωνικές πλευρές

ii. Tessellation

Είναι ψηφιδωτή μορφή origami. Με την τεχνική αυτή συμπύσσοντας το χαρτί δημιουργούνται επαναλαμβανόμενα γεωμετρικά μοτίβα. (Gjerde, E. 2009).



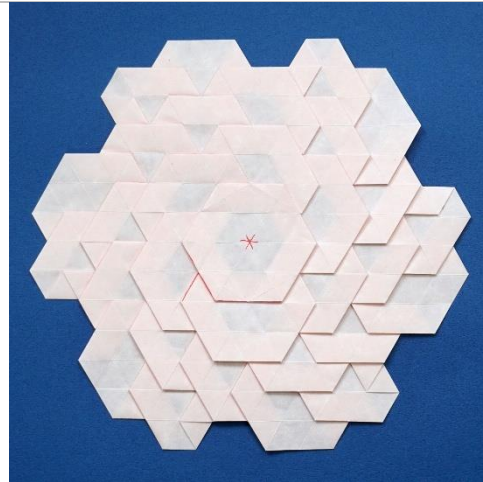
Εικόνα 18: Ψηφιδωτό μοτίβο origami



Εικόνα 19: Ψηφιδωτό μοτίβο origami



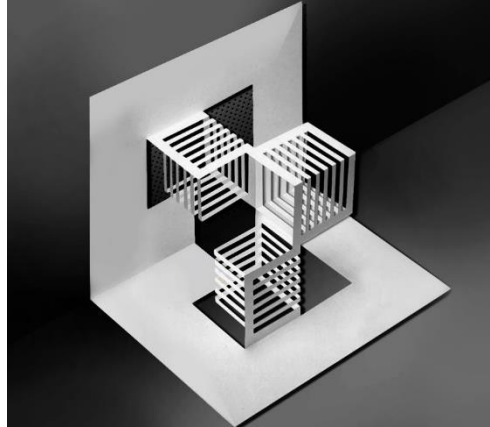
Εικόνα 20: Ψηφιδωτό μοτίβο origami



Εικόνα 21: Ψηφιδωτό μοτίβο origami

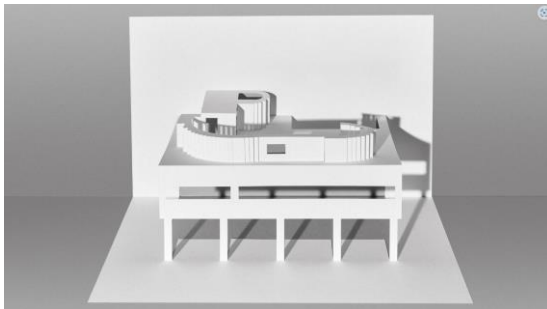
iii. Kirigami

Συνδυάζει το δίπλωμα και το κόψιμο του χαρτιού, ώστε να δημιουργηθούν περίτεχνα σχέδια. Συχνά χρησιμοποιείται για αναδυόμενες κάρτες και τρισδιάστατα μοντέλα. (Temko, F. 1968)



Εικόνα 22: Kirigami 3D σχέδιο - σύνθεση με κύβους

Η origamic αρχιτεκτονική είναι μια μορφή kirigami που περιλαμβάνει την τρισδιάστατη αναπαραγωγή αρχιτεκτονικής και μνημείων, σε διάφορες κλίμακες, χρησιμοποιώντας κομμένο και διπλωμένο χαρτί, συνήθως λεπτό χαρτόνι. Οι κατασκευές αυτές τείνουν να αποτελούνται από ένα μόνο χαρτί.



Εικόνα 23: Le Corbusier building kirigami



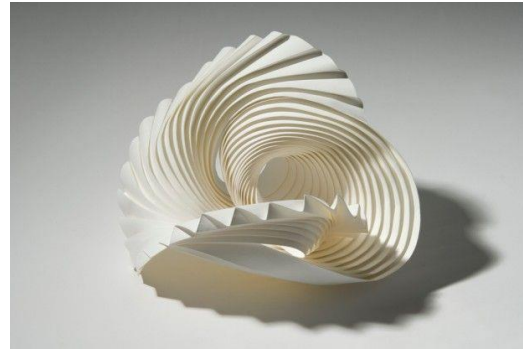
Εικόνα 24: Louis Hartlooper Complex in Utrecht

iv. Sculpture Origami

Η γλυπτική origami αποτελεί εξέλιξη του παραδοσιακού origami, ενσωματώνοντας πολύπλοκες πτυχώσεις, καμπύλες μορφές και τεχνικές διαμόρφωσης. Συχνά καταλήγει σε εξαιρετικά ρεαλιστικές και εκφραστικές φιγούρες.



Εικόνα 25: Γλυπτική origami



Εικόνα 26: Γλυπτική origami



Εικόνα 27: Γλυπτική origami



Εικόνα 28: Γλυπτική origami

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Εν συνεχεία, είναι αναγκαία η αποσαφήνιση του όρου pavilion στην αρχιτεκτονική καθώς και του origami pavilion, το οποίο διαφοροποιείται στο σχεδιασμό και την κατασκευή του, λόγω χρήσης βασικών αρχών και τεχνικών της τέχνης origami. Επιπροσθέτως, ιδιαίτερα σημαντική είναι η διερεύνηση του όρου modularity καθώς προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα στην κατασκευή και στην φορητότητα της. Τέλος, η μελέτη του ήλιου είναι καθοριστική, καθώς το pavilion πρόκειται να στεγάσει τον περιπατητή από τον ήλιο και να προσδώσει κινητικότητα και διάδραση με το περιβάλλον στο οποίο χωροθετείται.

2.1 PAVILION ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Το pavilion στην αρχιτεκτονική αποτελεί μια δομή που έχει σχεδιαστεί ως αυτόνομη ή ως επέκταση σε ένα υπάρχον κτίριο. Είναι συνήθως μια ελαφριά και προσωρινή κατασκευή που χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς, όπως παροχή καταφυγίου, δημιουργία ενός χώρου συγκέντρωσης ή χώρος προβολής έργων τέχνης και εκθεμάτων. (Pavilion Architecture Encyclopedia Britannica, 9 May 2024)

Χρησιμοποιείται από τους αρχιτέκτονες ώστε να πειραματιστούν με καινοτόμα σχέδια και τεχνικές κατασκευής. Ο σχεδιασμός του εκάστοτε pavilion μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την προβλεπόμενη λειτουργία του και το αρχιτεκτονικό στυλ με το οποίο συνδέεται. Μπορεί να είναι είτε σταθερή είτε προσωρινή κατασκευή αναλόγως το σκοπό που εξυπηρετεί. Στην περίπτωση της μόνιμης κατασκευής, συνήθως χρησιμοποιούνται υλικά όπως σκυρόδεμα και χάλυβας ώστε να έχει μεγαλύτερη αντοχή στο χρόνο. Η πλήρωση του δύναται να είναι με γυαλί. Στην περίπτωση της προσωρινής - ελαφριάς κατασκευής συνήθως χρησιμοποιούνται υλικά, όπως γυαλί, χάλυβας, ξύλο και ύφασμα. Ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα που έχει σε αυτή την περίπτωση είναι ότι δεν αφήνει αποτύπωμα στο περιβάλλον καθώς μπορεί να αποσυναρμολογηθεί και να απομακρυνθεί μετά την ολοκλήρωση της εκδήλωσης.

Υπάρχουν πολυάριθμα παραδείγματα τέτοιων κατασκευών στην αρχιτεκτονική παγκοσμίως. Μερικά αξιοσημείωτα παραδείγματα περιλαμβάνουν το Serpentine

Gallery Pavilion στο Λονδίνο, το Pavilion της Βαρκελώνης του και το Glass Pavilion στο Μουσείο Τέχνης του Τολέδο στο Οχάιο.



Εικόνα 29: Serpentine Gallery Pavilion

Πηγή: <https://www.serpentinegalleries.org/whats-on/explore/pavilion>



Εικόνα 30: The Pavilion - Fundació Mies van der Rohe

Πηγή: <https://miesbcn.com/the-pavilion/>



Εικόνα 31: Glass Pavilion at the Toledo Museum of Art

Πηγή: <https://www.archdaily.com/54199/glass-pavilion-at-the-toledo-museum-of-art-sanaa-pritzker-prize-2010>

2.2 ORIGAMI PAVILLION

Η αρχιτεκτονική Origami αναφέρεται στην εφαρμογή αρχών και τεχνικών origami στο σχεδιασμό και τη δημιουργία αρχιτεκτονικών κατασκευών. Ενώ η παραδοσιακή τέχνη origami περιλαμβάνει κυρίως δίπλωμα χαρτιού για καλλιτεχνικούς και διακοσμητικούς σκοπούς, η αρχιτεκτονική origami επεκτείνει αυτές τις αρχές με σκοπό δημιουργήσει λειτουργικά και ορισμένες φορές πλήρους κλίμακας κτίρια.

Η αρχιτεκτονική Origami αντλεί έμπνευση από τις τεχνικές αναδίπλωσης και τα γεωμετρικά μοτίβα που υπάρχουν στο παραδοσιακό δίπλωμα χαρτιού. Οι αρχιτέκτονες μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις αρχές για να δημιουργήσουν καινοτόμες και δυναμικές μορφές στα κτίρια. Μερικοί αρχιτέκτονες ενσωματώνουν τέτοιες κατασκευές στα σχέδιά τους, μιμούμενοι τα αναδιπλούμενα μοτίβα του origami. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μοναδικά αρχιτεκτονικά στοιχεία, όπως αναδιπλούμενες προσόψεις ή στέγες.

Οι αρχιτεκτονικές κατασκευές Origami φέρουν το στοιχείο της προσαρμοστικότητας και του μετασχηματισμού. Οι κατασκευές αυτές δύναται να έχουν μέρη που μπορούν να διπλώνουν, να ξεδιπλώνουν ή να μετασχηματίζονται, ώστε ανταποκρίνονται σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες ή λειτουργικές απαιτήσεις. Επιπλέον, μπορούν εύκολα να μεταφερθούν, να συναρμολογηθούν και να αποσυναρμολογηθούν.

Ενώ η παραδοσιακή τέχνη origami χρησιμοποιεί χαρτί, στην αρχιτεκτονική μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικιλία υλικών όπως μέταλλο, ξύλο, ύφασμα ή σύνθετα υλικά. Αυτά τα υλικά επιτρέπουν τη δημιουργία πιο ανθεκτικών και λειτουργικών δομών.

Αξιοσημείωτο παράδειγμα pavilion εμπνευσμένου από origami είναι το περίπτερο "Bloom", σχεδιασμένο από την αρχιτεκτονική εταιρεία DOSU Studio Architecture. Το εν λόγω pavilion μοιάζει με ανθισμένο λουλούδι. Δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας παραμετρικές μεθόδους σχεδίασης και τεχνικές ψηφιακής κατασκευής για να επιτευχθεί η περίπλοκη μορφή του. Η διάδραση του με το περιβάλλον προκύπτει από τη θερμοκρασία που επικρατεί στις επιφάνειες των πανέλων του. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται φύλλα μετάλλου τα οποία κάμπτονται βάσει της θερμοκρασίας.



Εικόνα 32: Εξωτερική άποψη pavilion Bloom / DO|SU Studio Architecture

Πηγή: <https://www.archdaily.com/215280/bloom-dosu-studio-architecture>



Εικόνα 33: Εσωτερική άποψη pavilion Bloom / DO|SU Studio Architecture

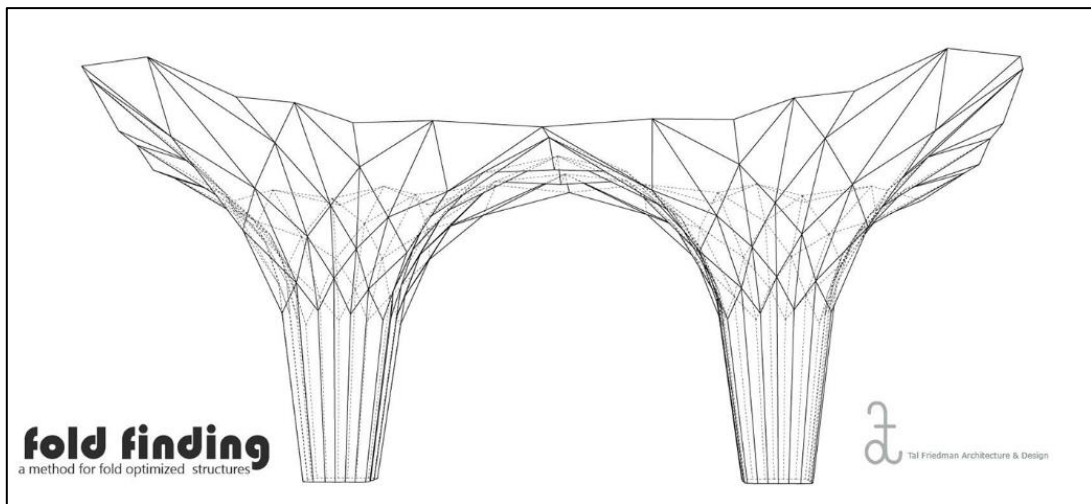
Πηγή: <https://www.archdaily.com/215280/bloom-dosu-studio-architecture>

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό Origami Pavilion του είναι αυτό του Tal Freidman. Το συγκεκριμένο pavilion αποτελεί μια νέα προσέγγιση για την κατασκευή αυτοφερόμενων διπλωμένων δομών με λεπτό κέλυφος. Φέρει στοιχεία αναδίπλωσης Origami από πανέλα αλουμινίου τα οποία είναι παραμετρικά σχεδιασμένα, ώστε να διπλώνουν και να σχηματίζουν την μορφή του λουλουδιού.



Εικόνα 34: Origami pavilion-Tal Friedman¹⁴

Πηγή: <https://www.arch2o.com>



Εικόνα 35: Origami pavilion-Tal Friedman¹⁴

Πηγή: <https://www.arch2o.com>

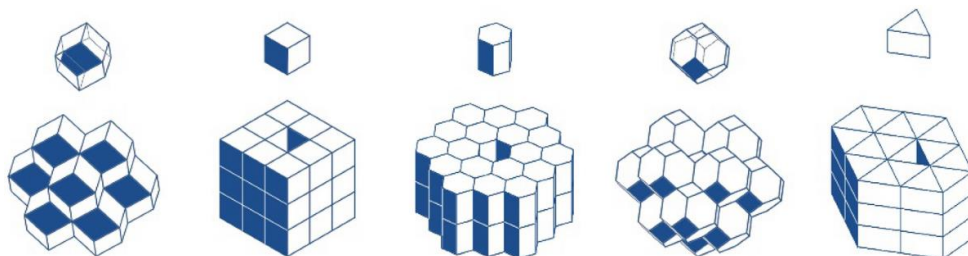
Είναι πλήρως αυτοφερόμενο και δεν απαιτεί υποδομή. Ο σχεδιασμός του είναι παραμετρικός και χρησιμοποιεί διάφορους αλγόριθμους βελτιστοποίησης. Ωστόσο, η εν λόγω κατασκευή ενώ έχει την καινοτομία ως μια αυτοφερόμενη κατασκευή, είναι στατική καθώς δεν διαθέτει κίνηση και διάδραση είτε με τον χρήστη είτε από περιβαλλοντικό ερέθισμα.

2.3 MODULARITY

Ως Modularity ορίζεται η διάσπαση ενός πολύπλοκου συστήματος σε μικρότερα, ανεξάρτητα στοιχεία ή ενότητες. Αυτές οι μονάδες μπορούν να συνδυαστούν με διαφορετικούς τρόπους για να δημιουργήσουν διάφορες διαμορφώσεις ή λειτουργίες. (Clark, K.B. 2000)

Βασικά χαρακτηριστικά αυτών των κατασκευών είναι τα εξής:

- Διαχωρισμός: Οι μονάδες είναι διακριτές και αυτόνομες
- Αντικατάσταση: Οι μονάδες μπορούν να αντικατασταθούν χωρίς να επηρεαστεί η συνολική λειτουργικότητα του συστήματος.
- Επαναχρησιμοποίηση: Οι μονάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλαπλά περιβάλλοντα ή εφαρμογές.
- Επεκτασιμότητα: Καθίσταται εύκολη η επέκταση ή μείωση των στοιχείων που απαρτίζουν το σύστημα
- Συντηρησιμότητα: Μπορούν να γίνουν αλλαγές σε μεμονωμένες μονάδες χωρίς να επηρεαστεί ολόκληρο το σύστημα.



Εικόνα 36: διαγράμματα modularity

Πηγή: <https://link.springer.com>

Οι κατασκευές αυτές έχουν μια πληθώρα πλεονεκτημάτων στη χρήση τους. Αυτά είναι:

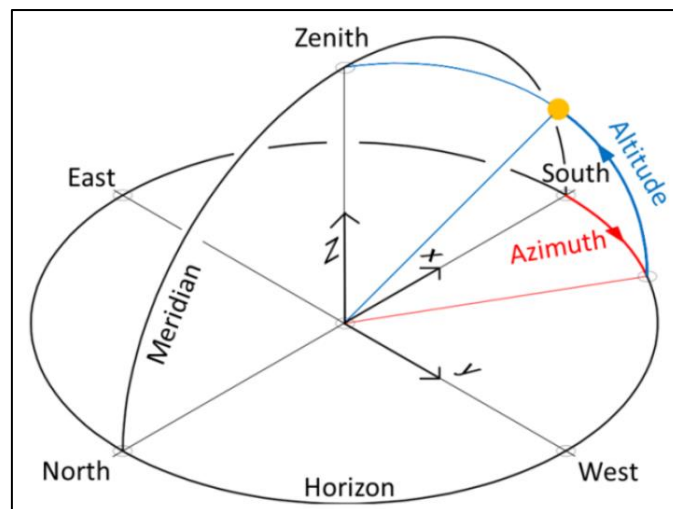
- Ευελιξία: Μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα στις εκάστοτε ανάγκες.
- Βελτιωμένη απόδοση: Οι μονάδες μπορούν να αναπτυχθούν και να δοκιμαστούν ανεξάρτητα, μειώνοντας τον χρόνο και το κόστος.
- Αξιοπιστία: Οι ελαττωματικές μονάδες μπορούν να απομονωθούν και να αντικατασταθούν χωρίς να επηρεαστεί ολόκληρο το σύστημα.

- Απλοποιημένη αντιμετώπιση προβλημάτων: Τα προβλήματα μπορούν να εντοπιστούν σε συγκεκριμένες μονάδες, κάνοντας τη διάγνωση και την επισκευή ευκολότερη.
- Καινοτομία: Το modularity ενθαρρύνει τον πειραματισμό και την ανάπτυξη νέων εξαρτημάτων.

Στο σχεδιασμό του συγκεκριμένου pavilion χρησιμοποιείται η έννοια του modularity καθώς όλα τα πάνελα είναι κατασκευασμένα με τον ίδιο τρόπο, έτσι ώστε να είναι πιο εύκολο να κατασκευαστούν αλλά και να συντηρηθούν σε περίπτωση βλάβης. Αυτό που τα διαφοροποιεί μεταξύ τους είναι η κίνηση που κάνουν κατά το μετασχηματισμό τους η οποία προκύπτει από τις ακτίνες του ήλιου που προσπίπτουν πάνω τους.

2.4 ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΙΟΥ

Ιδιαίτερα σημαντική για το σχεδιασμό του pavilion αποτέλεσε η μελέτη του ήλιου καθώς ο βασικότερος στόχος της κατασκευής είναι η σκίαση του pavilion στο εσωτερικό του. Μελετώντας την θέση του ήλιου και τις ακτίνες του, διαπιστώνεται ότι αυτές πέφτουν με διαφορετική γωνία σε κάθε μέρος της γης. Η θέση του ήλιου στο οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων, ορίζεται από το αζιμούθιο (azimuth) και το ύψος του ήλιου (altitude). Το μέγιστο ύψος του ήλιου ορίζεται ως ζενίθ (zenith). Η γωνία αζιμούθιου έχει θετικές τιμές κινούμενη δεξιόστροφα, με τις 0° να ορίζονται στο βορρά. Η γωνία ηλιακού αζιμούθιου είναι το αζιμούθιο (οριζόντια γωνία σε σχέση με το βορρά) της θέσης του Ήλιου. Αυτή η οριζόντια συντεταγμένη καθορίζει τη σχετική κατεύθυνση του Ήλιου κατά μήκος του τοπικού ορίζοντα, ενώ η γωνία του ηλιακού ζενίθ (ή η συμπληρωματική γωνία της ηλιακής ανύψωσης) καθορίζει το φαινόμενο ύψος του Ήλιου.



Εικόνα 37: Σχηματική απεικόνιση οριζόντιου συστήματος συντεταγμένων

Πηγή: Oliver Montenbruck, Fundamentals of Ephemeris Calculus, 6th edition (2001), p.14

Η μελέτη της θέσης του ήλιου είναι σημαντική, καθώς αποτελεί βασική παράμετρο κίνησης των πανέλων origami. Οι επιφάνειες παραμένουν αναδιπλωμένες και ανοιχτές όταν οι ακτίνες του ήλιου δεν πέφτουν κάθετα στα πανέλα. Όσο η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων πλησιάζουν την καθετότητα στην εκάστοτε επιφάνεια πλήρωσης, τόσο τα πανέλα επιστρέφουν στο πλήρες ανάπτυγμα τους, με αποτέλεσμα κάθε επιφάνεια να σκιάζει το εσωτερικό του pavilion.

ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ

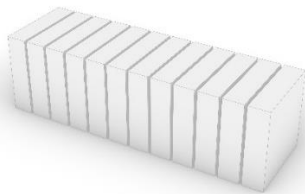
3. ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΙΔΕΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Για το σχεδιασμό χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα rhinoceros και grasshopper. Το Grasshopper είναι μια οπτική γλώσσα προγραμματισμού και περιβάλλον που βρίσκεται και εκτελείται εντός του προγράμματος Rhinoceros 3D computer-aided design (CAD). Είναι προγράμματα κατεξοχήν για παραμετρικό σχεδιασμό και διαθέτουν αρκετά plugin για πιο εξειδικευμένη σχεδίαση.

Κεντρική ιδέα σχεδιασμού του pavilion είναι η χάραξη και δημιουργία γραμμικής πορείας, όπως και στην παραδοσιακή τέχνη origami όπου δεν υπάρχουν καμπύλες μορφές.

Για τη δημιουργία χώρου εσωτερικά του pavilion, γίνεται γραμμική παράταξη εξάεδρων, τα οποία σταδιακά περιστρέφονται με σταθερή γωνία από την αρχή έως το τέλος της πορείας που ακολουθείται. Ο σχεδιασμός αυτός γίνεται καθώς ακολουθούνται βασικές αρχές της παραδοσιακής τέχνης origami, όπως η γραμμικότητα, οι αυστηρές γραμμές και το τετράγωνο.

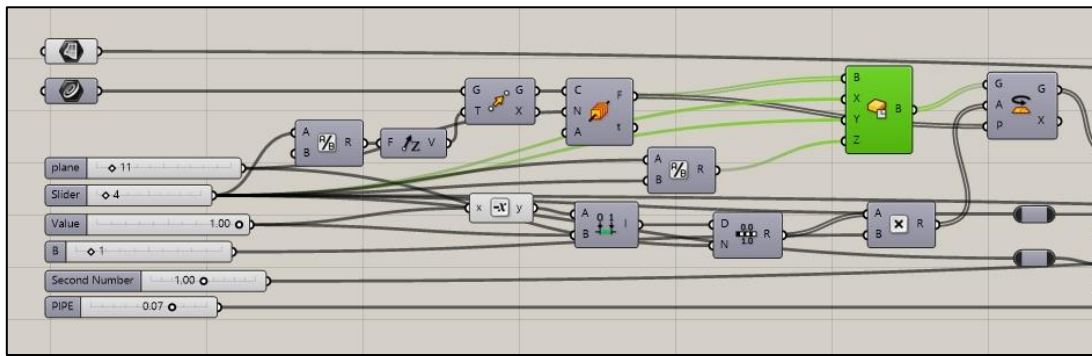


Εικόνα 38: Γραμμική παράταξη εξάεδρων



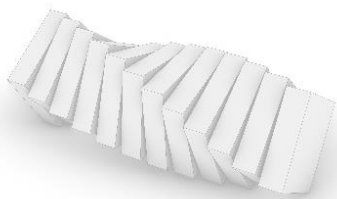
Εικόνα 39: Προοπτική απεικόνιση γραμμικής παράταξης εξάεδρων

Σε επίπεδο grasshopper, χωρίζεται η πορεία σε ίσα μέρη μέσω του component perp frame πάνω στα οποία μετακινούνται τα εξάεδρα. Υπάρχει απόσταση μεταξύ των εξάεδρων με στόχο καθένα να έχει δικό του ανεξάρτητο σκελετό.



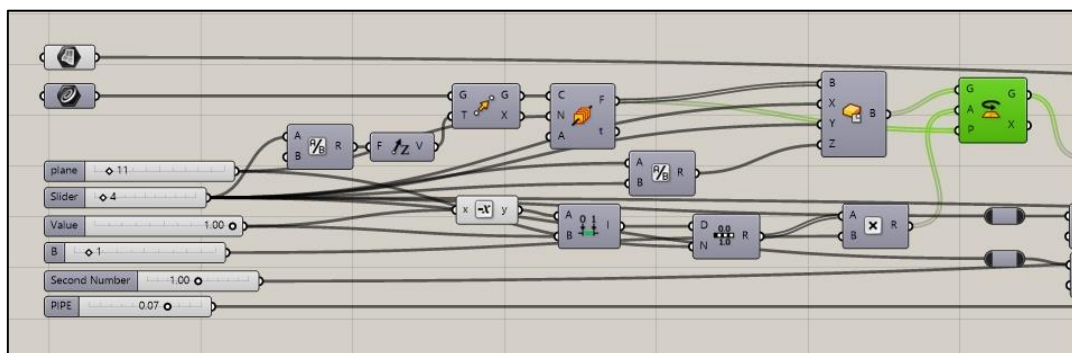
Εικόνα 40: Κώδικας για τη δημιουργία και γραμμική παράταξη εξάεδρων

Μέσω του component series και rotate γίνεται σταδιακή περιστροφή των εξάεδρων γύρω από τον άξονα πορείας του περιπατητή.

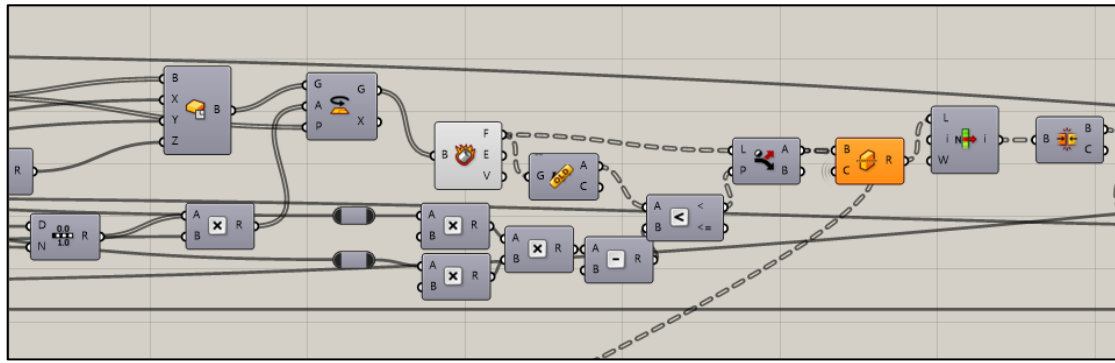


Εικόνα 41: Σταδιακή περιστροφή εξάδρων γύρω από τον άξονα πορείας

Εικόνα 42: Προοπτική απεικόνιση περιστροφής
εξάεδρων

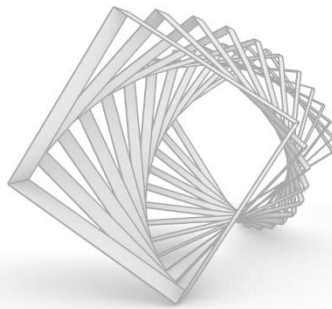


Εικόνα 43: Κώδικας για τη σταδιακή περιστροφή εξάδρων



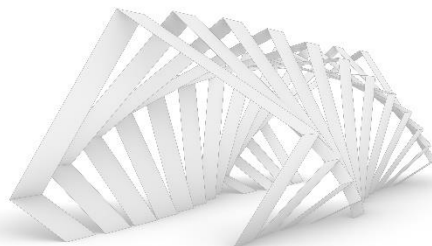
Εικόνα 44: Κώδικας για εξαίρεση επιφάνειας εξάεδρων

Μέσω του component deconstruct brep και dispatch αφαιρούνται οι επιφάνειες των εξάεδρων που βρίσκονται στον άξονα πορείας του περιπατητή.



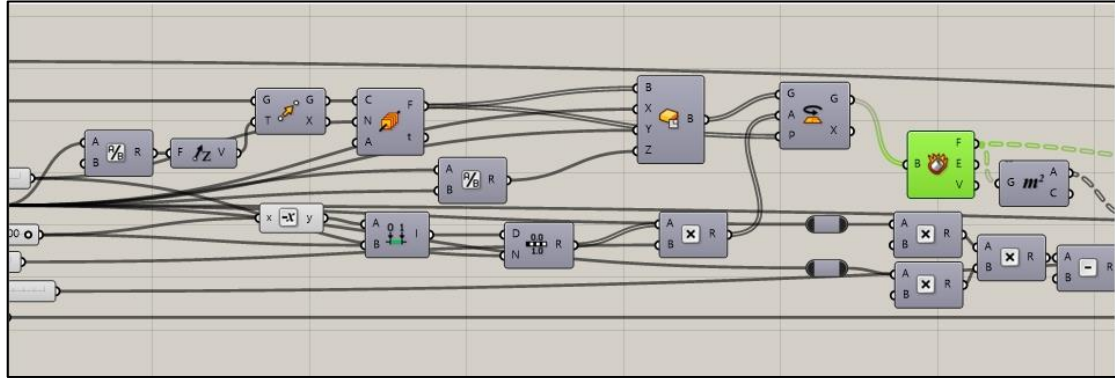
Εικόνα 45: Εξαίρεση επιφανειών των εξάεδρων

Έπειτα, γίνεται τομή των εξάεδρων αυτών με το επίπεδο του εδάφους μέσω του component brep split με το έδαφος καθώς και dispatch για αφαίρεση των επιφανειών που βρίσκονται κάτω από το έδαφος.



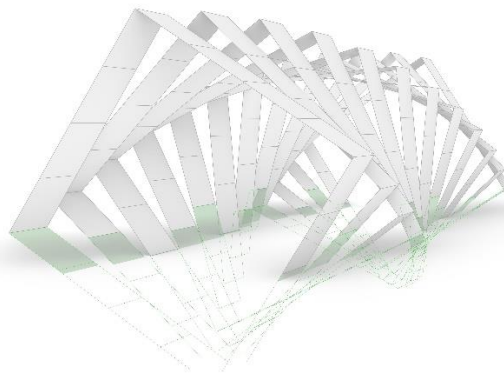
Εικόνα 46: Επιφάνειες κατασκευής που θα αποτελέσουν σκελετό για τα πάνελα

Εν συνεχεία, τα πλαίσια που δημιουργούνται χωρίζονται σε τετραγωνικής διατομής πλαίσια για την τοποθέτηση των πανέλων. Τα πανέλα με την αναδίπλωση που κάνουν επιτρέπουν ή όχι την διέλευση του ηλιακού φωτός εντός του pavilion. Στόχος των κινούμενων – αναδιπλούμενων πανέλων είναι η σκίαση στο εσωτερικό του pavilion.

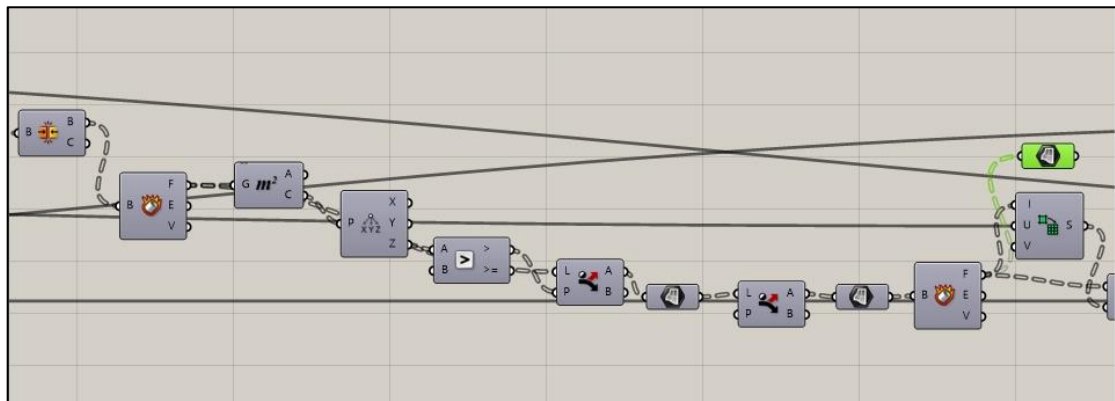


Εικόνα 47: Εξαίρεση επιφανειών που βρίσκονται στη πορεία κίνησης, και δημιουργία επιφανειών σκίασης

Στη συνέχεια μέσω του component dispatch γίνεται εξαίρεση των πλαισίων κοντά στην έδραση της κατασκευής και είναι μικρότερα του μεγέθους του τετραγώνου καθώς δεν είναι εφικτή η αναδίπλωση τους.

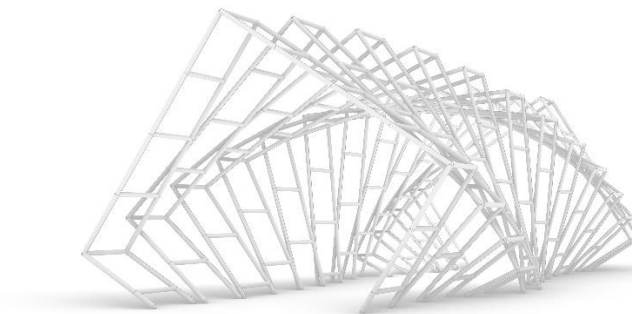


Εικόνα 48: Εξαίρεση πανέλων που δεν έχουν αναλογία διαστάσεων 1:1

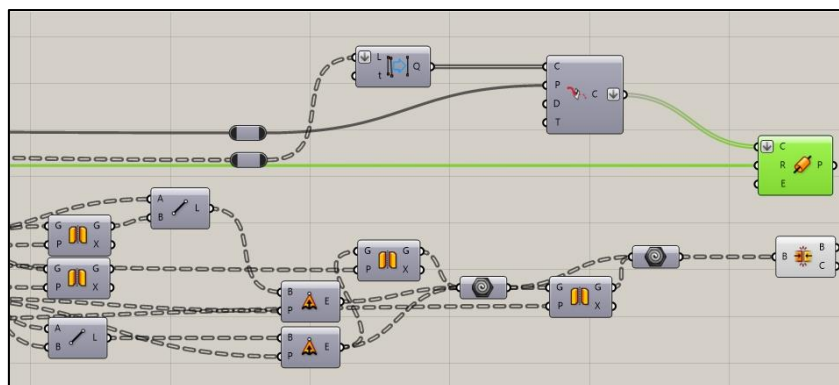


Εικόνα 49: Κώδικας για την εξαίρεση των πανέλων στην έδραση της κατασκευής

Έπειτα μέσω `brep edge` εξάγεται το `wireframe` της κατασκευής το οποίο μέσω `component pipe` δημιουργείται ο τελικός σκελετός.



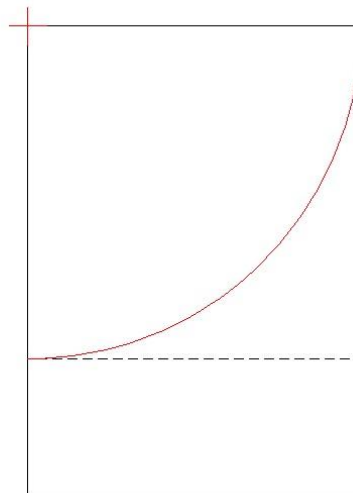
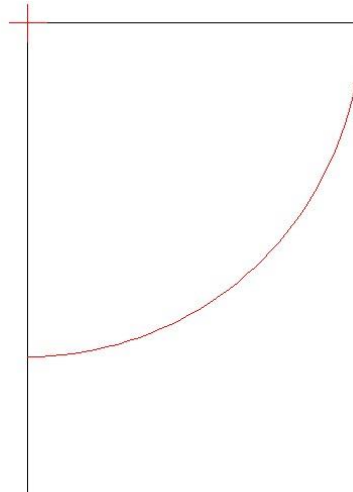
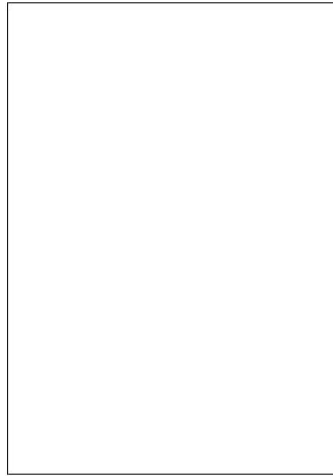
Εικόνα 50: Δημιουργία τελικού σκελετού κατασκευής



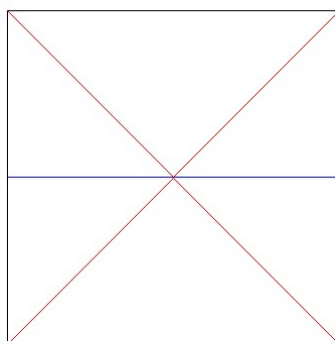
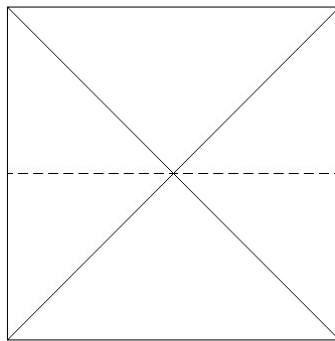
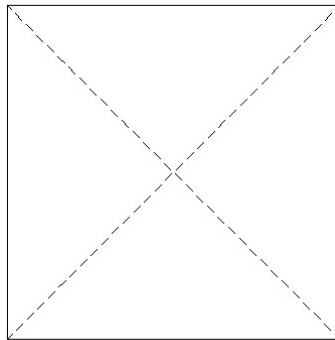
Εικόνα 51: Κώδικας για τη δημιουργία τελικού σκελετού κατασκευής

Εν συνεχεία σε κάθε τετράγωνο του κανάβου κάθε πλαισίου μελετάται ο γεωμετρικός τύπος των αρθρώσεων που συμβάλλουν στην κίνηση του κάθε πανέλου.

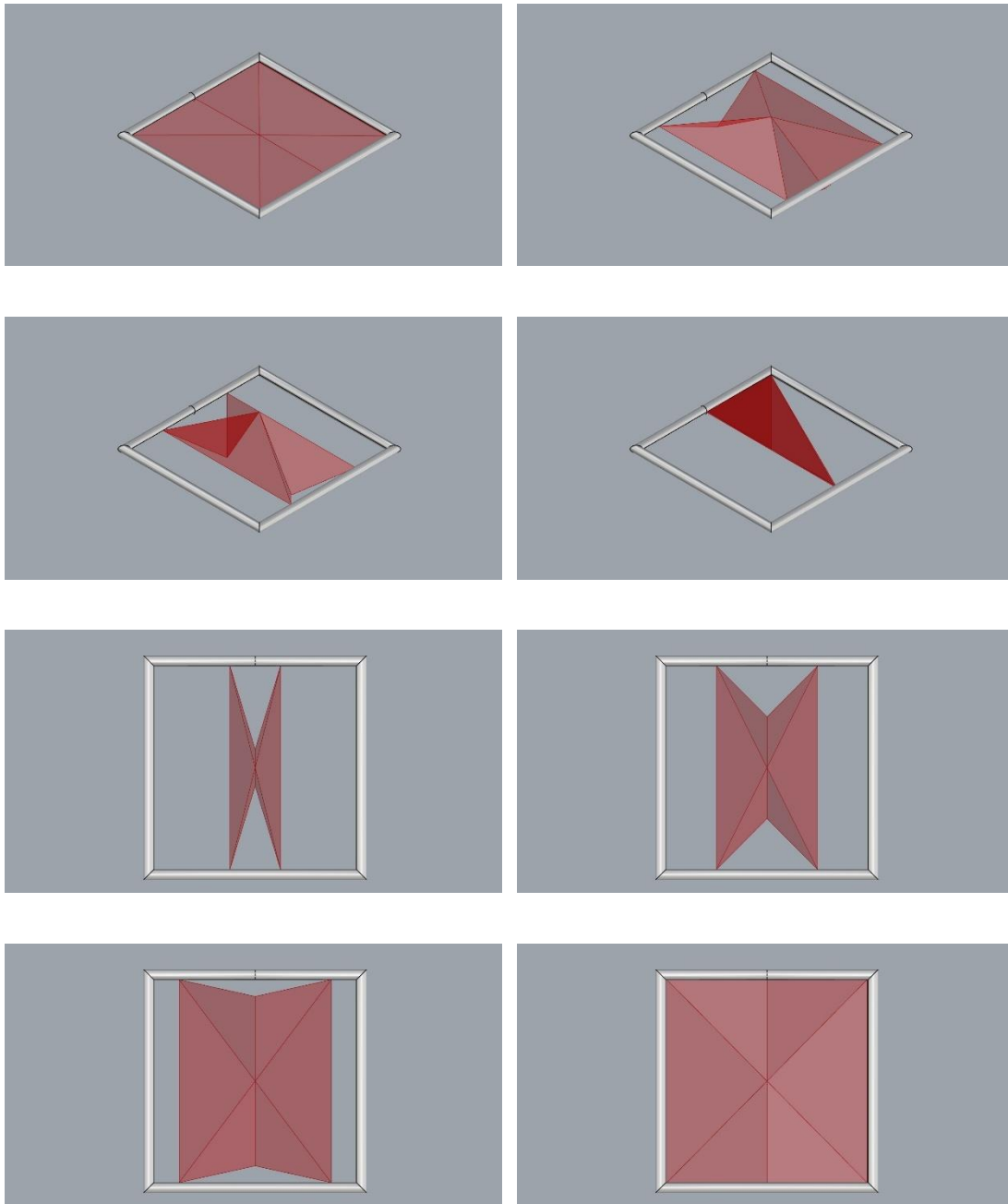
Για το σχεδιασμό των πανέλων έγιναν διάφορες εκδοχές αναδιπλώσεων σε φύλλο χαρτί A4. Μεταξύ αυτών επιλέχθηκε ο παρακάτω μετασχηματισμός:



Εικόνα 52: Διαγραμματική απεικόνιση μετασχηματισμού με φύλλο χαρτί

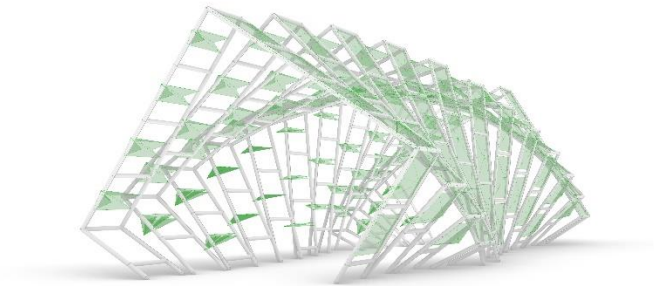


Εικόνα 53: Διαγραμματική απεικόνιση μετασχηματισμού με φύλλο χαρτί

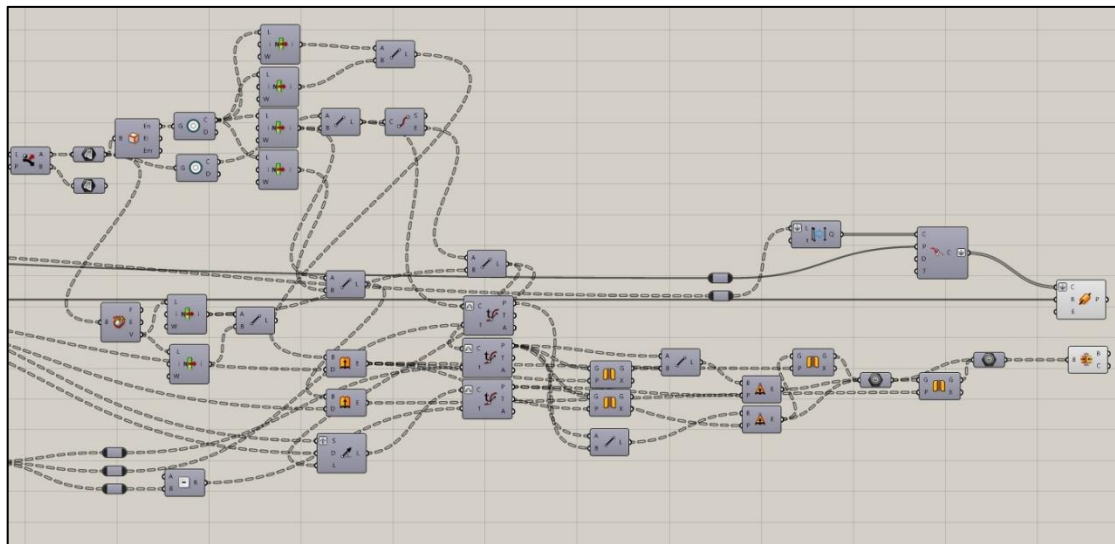


Εικόνα 54: Προσομοίωση μετασχηματισμού πάνελου στο grasshopper

Στη συνέχεια γίνεται μεταφορά των εν λόγω πανέλων στον μεταλλικό σκελετό.

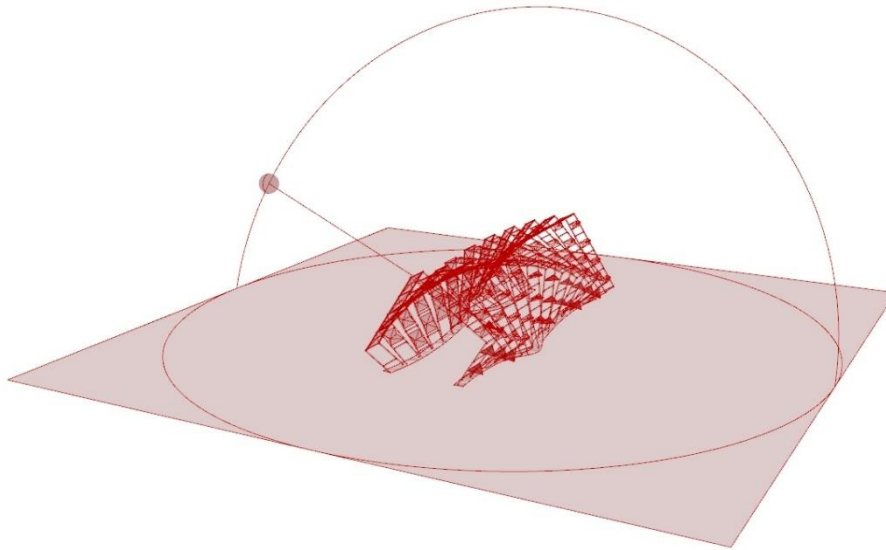


Εικόνα 55: Τελική κατασκευή με στοιχεία πλήρωσης origami panels

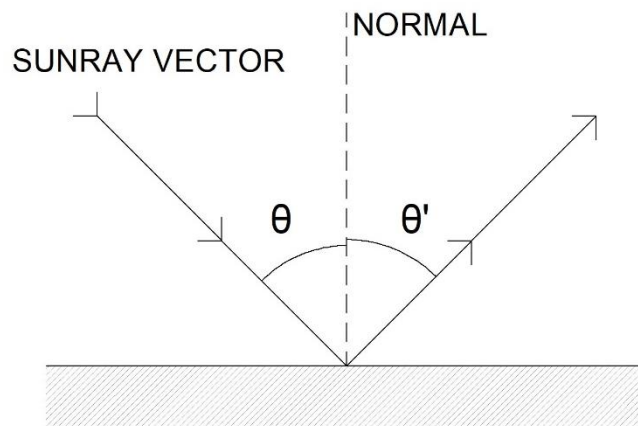


Εικόνα 56: Κώδικας για τη δημιουργία origami panels

Μετά το σχεδιασμό των πανέλων έπεται η εξάρτηση της κίνησης τους, με βάση την πορεία του ήλιου. Η κίνηση των πανέλων ορίζεται από τη γωνία πρόσπτωσης σε κάθε πανέλο ξεχωριστά. Στο grasshopper επιτυγχάνεται μέσω του component vector. Επιπροσθέτως χρειάζεται και η εντολή remap για να γίνει αναπροσαρμογή γωνιών περιστροφής κάθε πανέλου.



Εικόνα 57: Πορεία ήλιου στη διάρκεια της ημέρας

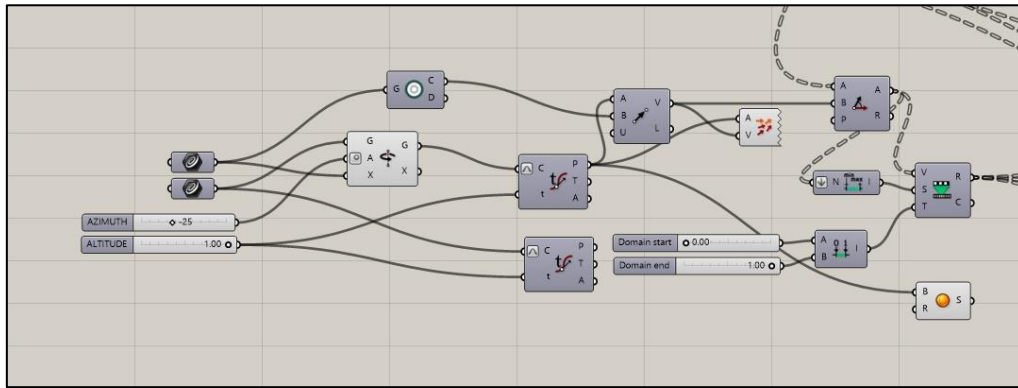


Εικόνα 58: Γωνία πρόσπτωσης ακτινών ήλιου στην επιφάνεια πλήρωσης ⁶

⁶ Νόμοι κατοπτρικής ανάκλασης:

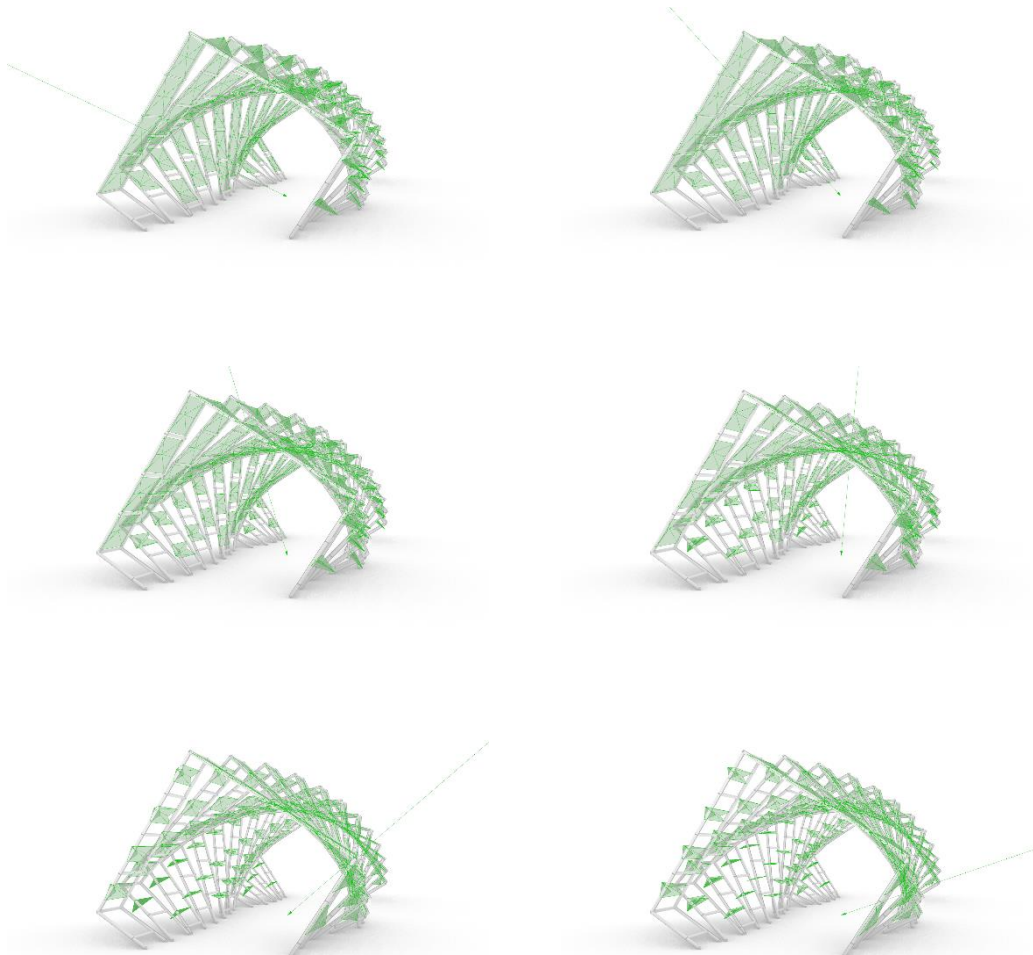
1. Η ακτίνα πρόσπτωσης, η ακτίνα ανάκλασης και η κάθετη ευθεία στο σημείο πρόσπτωσης της φωτεινής ακτίνας βρίσκονται όλες στο ίδιο επίπεδο.
2. Η γωνία πρόσπτωσης θ ισούται με τη γωνία ανάκλασης θ' .

Γωνία πρόσπτωσης είναι η γωνία που σχηματίζει η φωτεινή δέσμη με την κάθετη στο επίπεδο που πέφτει η δέσμη. Η γωνία ανάκλασης είναι η γωνία που σχηματίζει η ανακλώμενη δέσμη φωτός με την κάθετη στο επίπεδο.



Εικόνα 59: Κώδικας προσομοίωσης της κίνησης του ήλιου κατά τη διάρκεια της μέρας

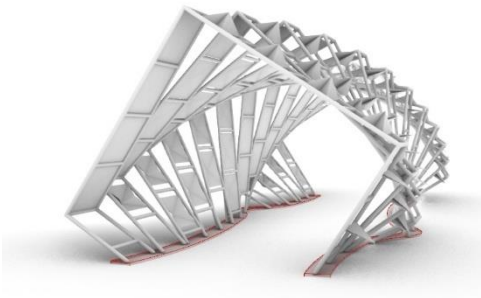
Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η συνολική κίνηση που κάνουν τα πανέλα για να επιτευχθεί η σκίαση του pavilion.



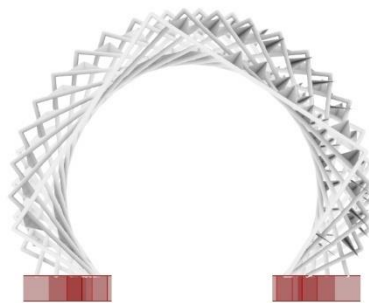
Εικόνα 60: Παραλλαγές κίνησης origami panels βάσει της πορείας του ήλιου

3.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ

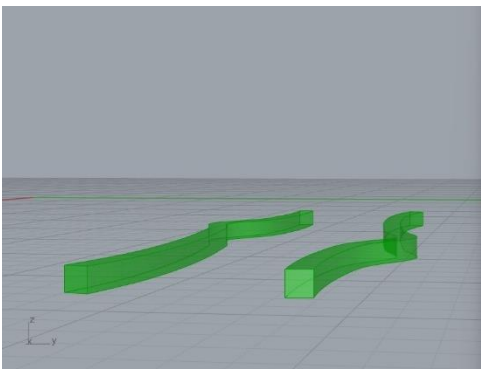
Η κατασκευή αποτελείται από μεταλλικό σκελετό μέσω της σύνδεσης των επιμέρους πανέλων. Τα στοιχεία πλήρωσης γίνονται με ύφασμα. Η έδραση γίνεται σε δύο μπετονένια θεμέλια. Η σύνδεση με τα θεμέλια πραγματοποιείται με μεταλλικές λαπάτσες, οι οποίες βιδώνονται πάνω στα μπετονένια θεμέλια.



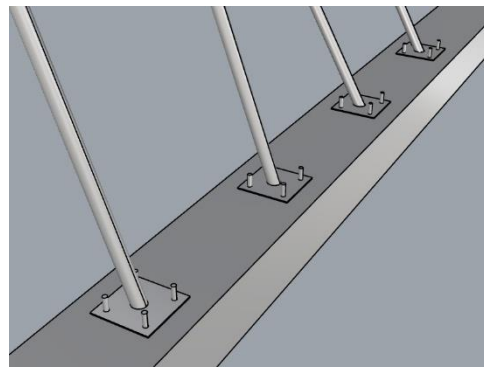
Εικόνα 61: Προοπτική απεικόνιση έδρασης κατασκευής



Εικόνα 62: Οψοτομή έδρασης κατασκευής

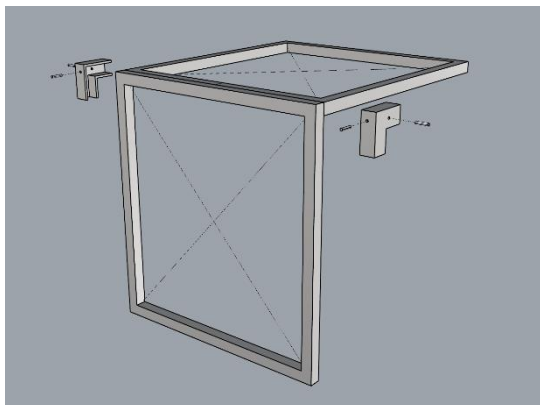


Εικόνα 63: Θεμέλια κατασκευής

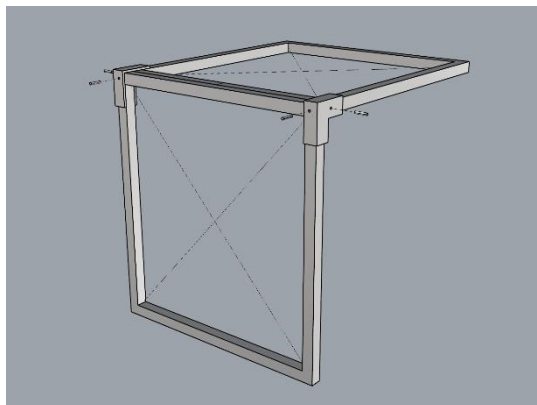


Εικόνα 64: Λεπτομέρεια έδρασης της κατασκευής

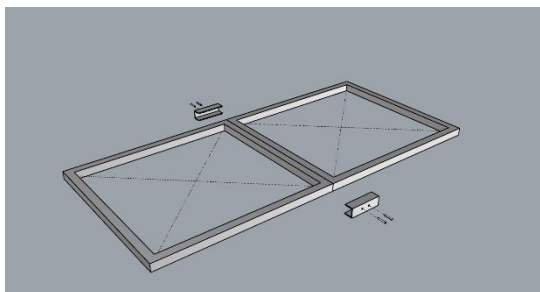
Τα πάνελα ενώνονται μεταξύ τους με μεταλλικά στοιχεία διατομής U τύπου PN.



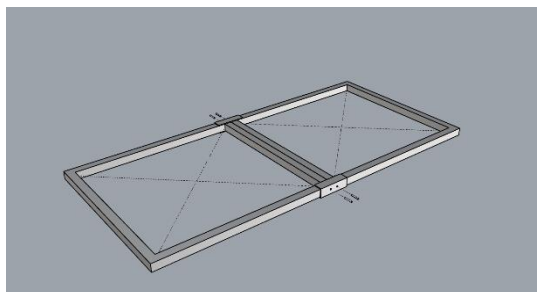
Εικόνα 65: Σύνδεση πινέλων κάρθετα μεταξύ τους



Εικόνα 66: Σύνδεση πινέλων κάρθετα μεταξύ τους



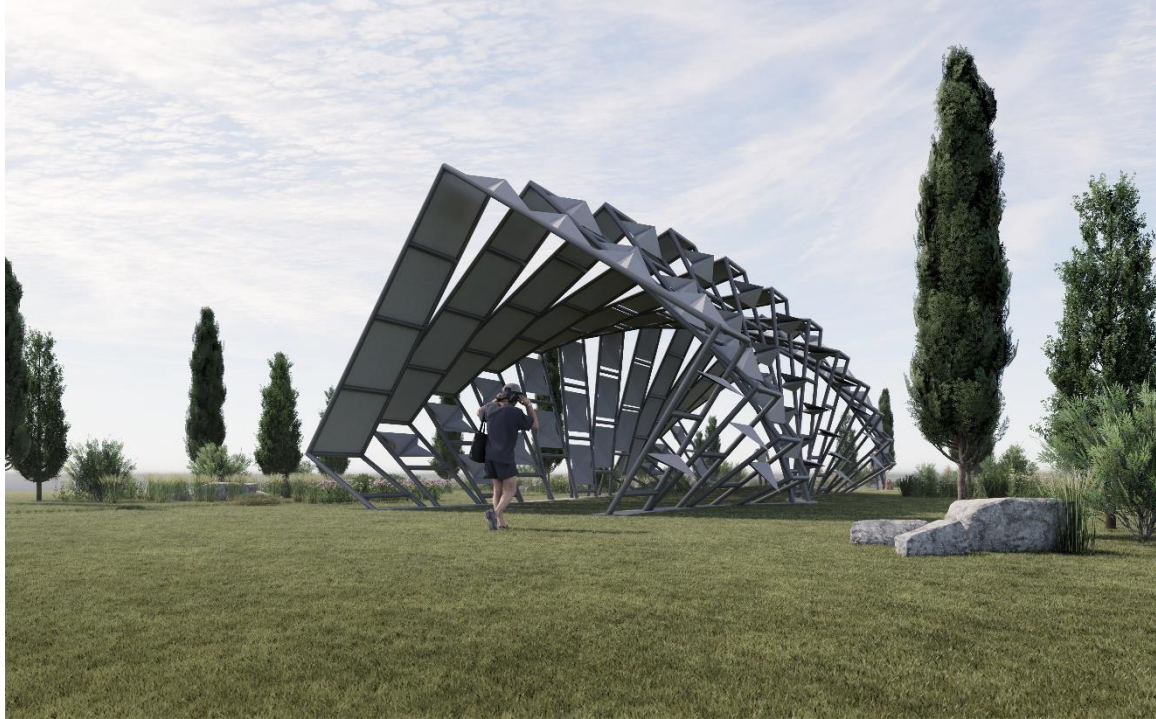
Εικόνα 67: σύνδεση πινέλων



Εικόνα 68: Σύνδεση πινέλων

3.3 ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΗΣΗ

Ακολουθεί φωτορεαλιστική απεικόνιση της κατασκευής.



Εικόνα 69: Φωτορεαλιστική απεικόνιση κατασκευής



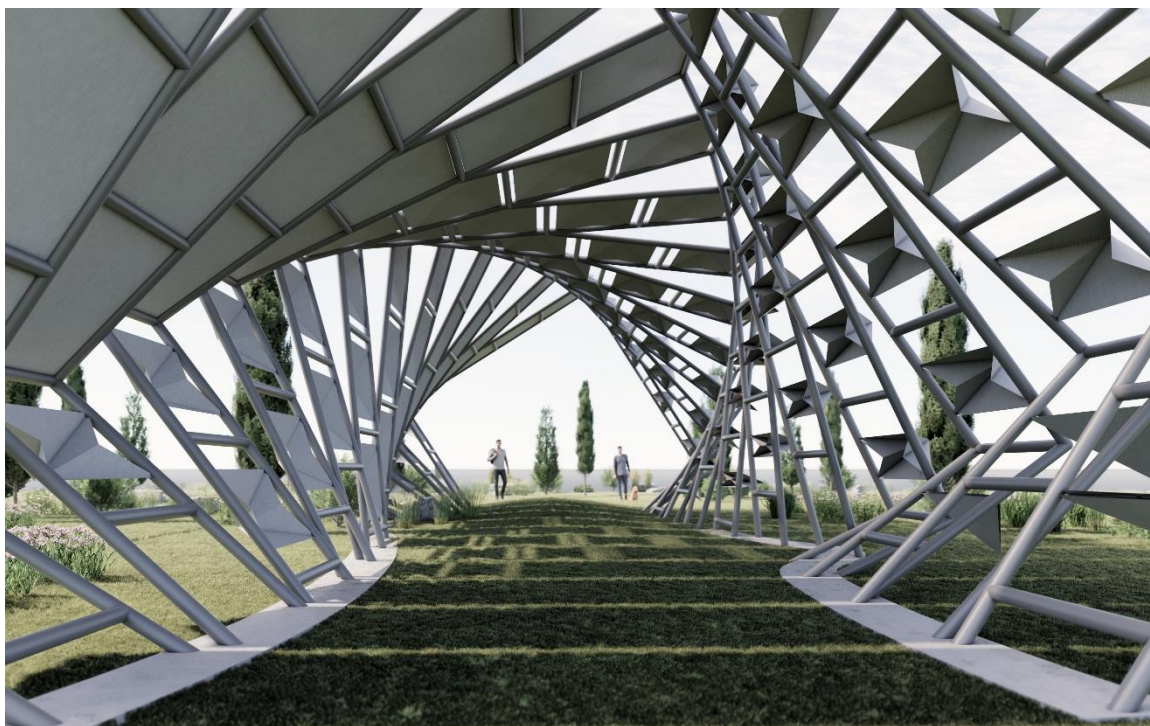
Εικόνα 70: Φωτορεαλιστική απεικόνιση κατασκευής



Εικόνα 71: Φωτορεαλιστική απεικόνιση κατασκευής



Εικόνα 72: Φωτορεαλιστική απεικόνιση κατασκευής

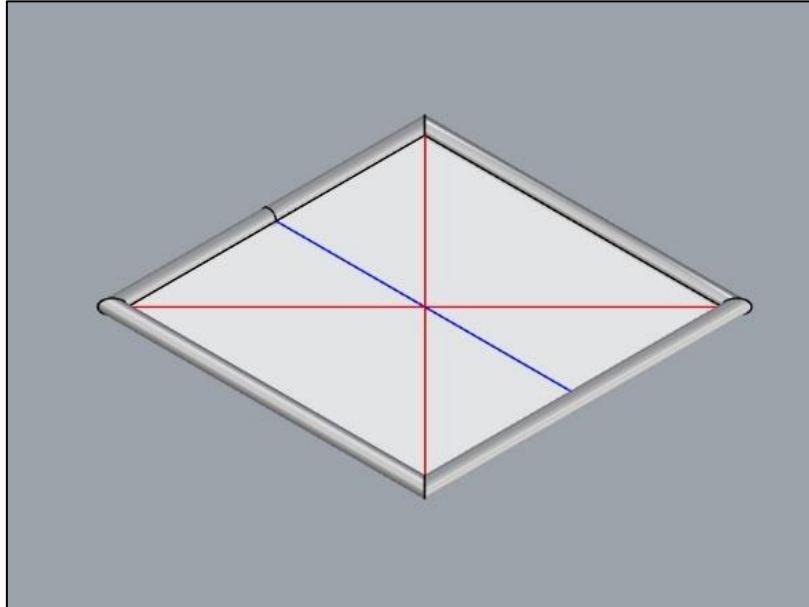


Εικόνα 73: Φωτορεαλιστική απεικόνιση εσωτερικού κατασκευής

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΜΑΚΕΤΑ

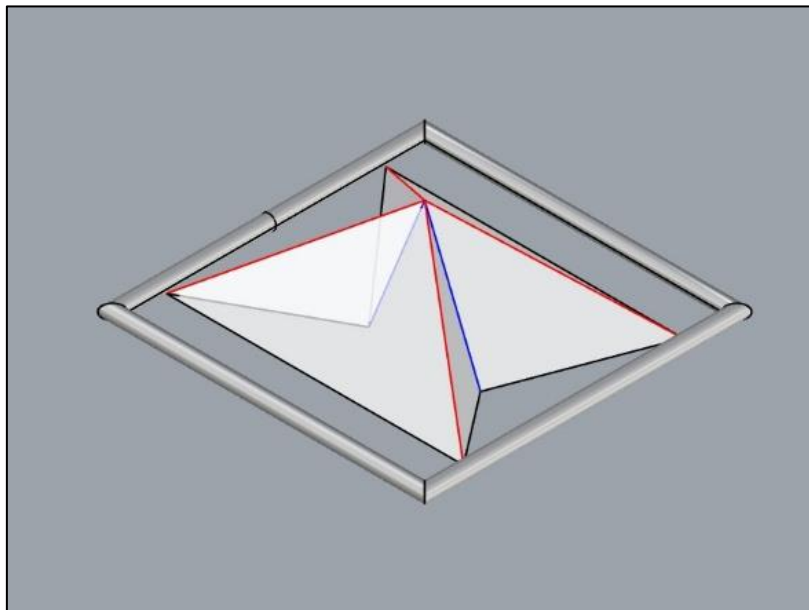
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΜΑΚΕΤΑ

Για την κατασκευή της μακέτας μελετήθηκε ο μετασχηματισμός ενός πανέλου. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα βουνά ενώ οι κοιλάδες με μπλε.



Εικόνα 74: Απεικόνιση βουνών και κοιλάδων origami

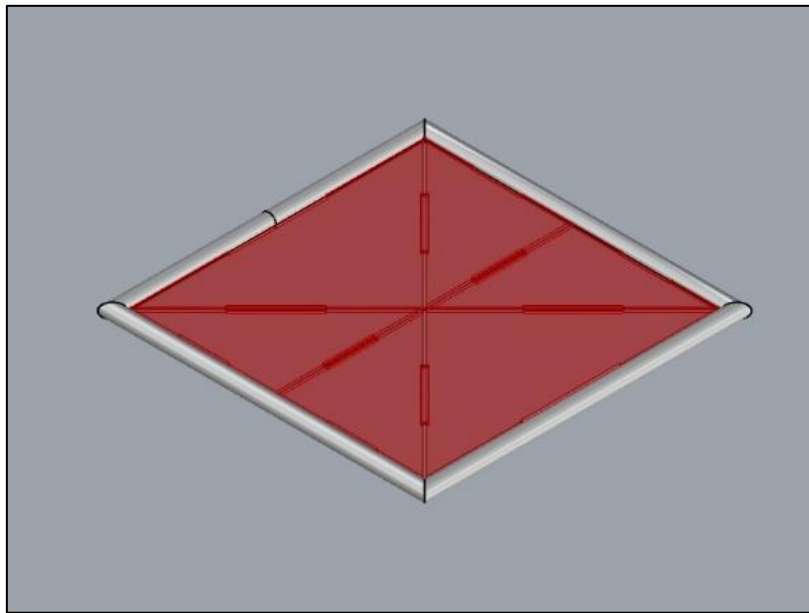
Εγίνε η παραδοχή ότι τα βουνά και οι κοιλάδες αντικαθίστανται με διπλές ράβδους οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με μεντεσέδες.



Εικόνα 75: Απεικόνιση βουνών και κοιλάδων origami σε κίνηση



Εικόνα 76: Μηχανισμοί για μετασχηματισμό του μεταλλικού σκελετού

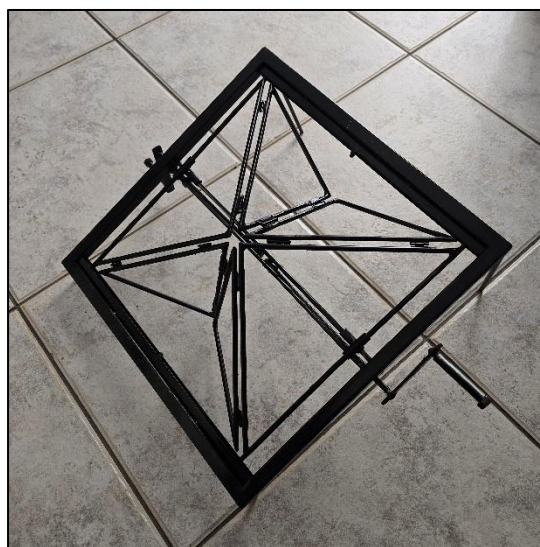


Εικόνα 77: Αρθρώσεις για την κίνηση της κατασκευής

Στην πρώτη προσπάθεια υλοποίησης της κατασκευής, η κίνηση του κάθε πανέλου απαιτεί τη χρήση δύο μοτέρ στον ίδιο άξονα. Το ένα περιστρέφεται δεξιόστροφα και το άλλο αριστερόστροφα. Η κατασκευή του σκελετού του πανέλου είναι μεταλλική ενώ η επικάλυψη- πλήρωση είναι από ύφασμα. Στα πλαίσια της κατασκευής της μακέτας τα μοτέρ αυτά, αντικαθίστανται με μανιβέλες, ενώ τα στοιχεία πλήρωσης με μακετόχαρτο.



Εικόνα 78: Προσομοίωση μοτέρ με χρήση μανιβέλας



Εικόνα 79: Μεταλλικός σκελετός κατασκευής με μηχανισμό κίνησης

Στη συνέχεια, στα πλαίσια βελτιστοποίησης της, κυρίως για την εξοικονόμηση κόστους, έγινε τροποποίηση στο μηχανισμό κίνησης έτσι ώστε να χρησιμοποιείται μόνο ένα μοτέρ για την κίνηση του κάθε πανέλου. Πιο συγκεκριμένα, ενώ στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικές βίδες δεξιόστροφου στριψώματος οπού κινούνταν μεμονωμένα η κάθε μια, στη δεύτερη περίπτωση έγινε ένωση μιας βίδας δεξιόστροφου στριψώματος με μιας αριστερόστροφου στριψώματος στο μέσο του άξονα περιστροφής.

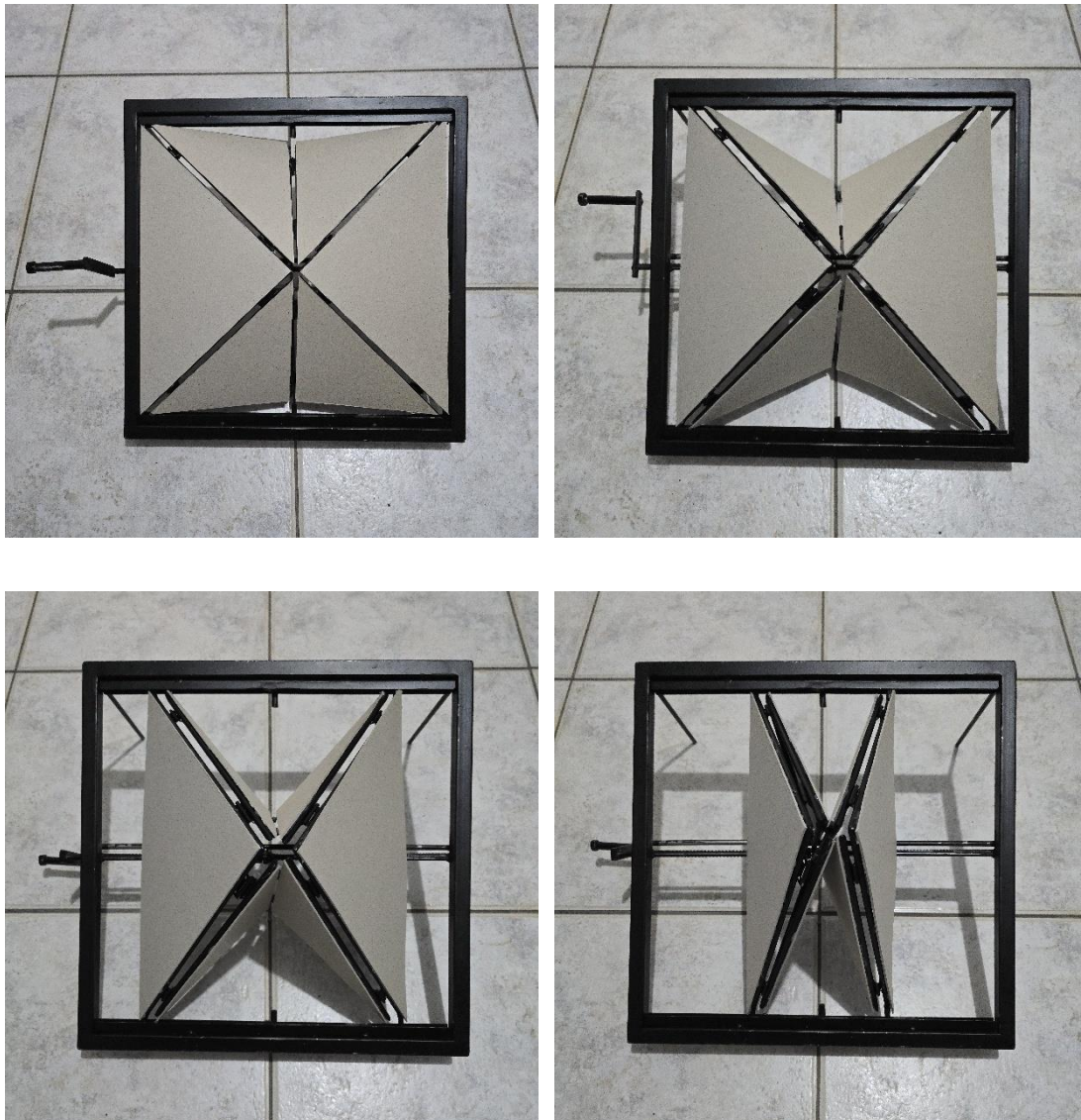


Εικόνα 80: Μετασχηματισμός κατασκευής



Εικόνα 81: Μηχανισμός κίνησης κατασκευής

Οι έξι πλευρές που δημιουργούνται από το μετασχηματισμό του κάθε πανέλου επικαλύπτονται με μακετόχαρτο.

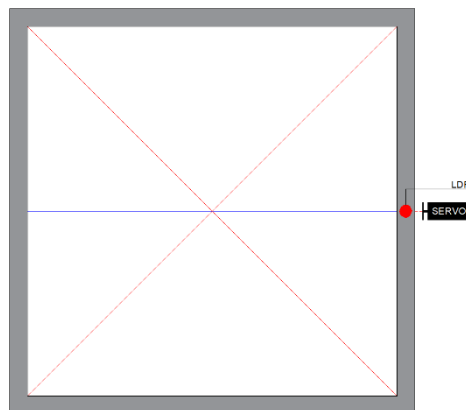


Εικόνα 82: Τελική κατασκευή, με επιφάνεια πλήρωσης

ARDUINO

5. ARDUINO

Η χρήση του Arduino είναι σημαντική, έτσι ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί η κίνηση των πανέλων της εν λόγω κατασκευής με μηχανικό τρόπο. Αρχικά, χρειάζεται ένας αισθητήρας φωτός LDR σε κάθε πλαίσιο - πανέλο έτσι ώστε αυτά να ανοιγοκλείνουν μεμονωμένα και η κατασκευή να είναι πιο ευαίσθητη στις αλλαγές του φωτός που προκύπτουν. Για παράδειγμα, οι περιπατητές που περπατούν πλησίον της κατασκευής μπορούν να επηρεάσουν και να δημιουργήσουν διάδραση με αυτή. Έπειτα, αυτός ο αισθητήρας αναλόγως την ένταση του φωτός δίνει σήμα στην πλακέτα Arduino και με τον κατάλληλο προγραμματισμό, η πλακέτα θα δίνει εντολή για την περιστροφή του μοτέρ. Η χρήση μοτέρ Servo εξυπηρετεί την περιστροφή του μηχανισμού κάθε πανέλου έτσι ώστε αυτό να ανοιγοκλείνει.



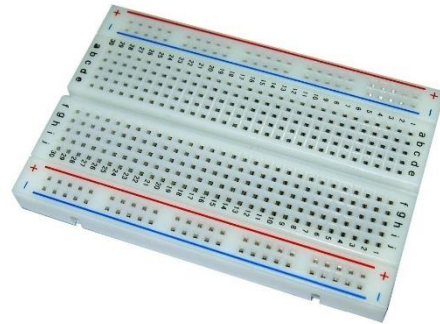
Εικόνα 83: Θέση αισθητήρα LDR και SERVO σε κάθε πλαίσιο της κατασκευής

Πιο συγκεκριμένα στα πλαίσια της μελέτης του κινητικού προτύπου της κατασκευής, είναι αναγκαία η χρήση arduino, breadboard, αισθητήρων LDR⁷ καθώς και servo motor.

⁷ Αισθητήρας Φωτός



Εικόνα 84: Arduino Uno R4



Εικόνα 85: Breadboard



Εικόνα 86: Αισθητήρας φωτός LDR



Εικόνα 87: Servo motor

Οι αισθητήρες φωτός λαμβάνουν δεδομένα από το περιβάλλον, στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά εισάγονται και επεξεργάζονται στο arduino και στη συνέχεια δίνεται η κίνηση στα μοτέρ ώστε να ανοιγοκλείσουν τα πανέλα. Για την κίνηση είναι δυνατή η χρήση DC motor⁸, stepper motor⁹, servo motor¹⁰. Στο συγκεκριμένο mock up χρησιμοποιείται servo motor. Η χρήση του breadboard γίνεται ώστε να διευκολυνθεί η συνδεσμολογία των καλωδίων μεταξύ του Arduino, των αισθητήρων και των servo motor.

⁸ Η απλούστερη μορφή κινητήρα. Όσο αυξάνεται η τάση του ρεύματος επιταχύνει, ενώ αλλάζοντας πολικότητα αλλάζει φορά περιστροφής. Για αλλαγή φοράς περιστροφής είναι απαραίτητη η χρήση H-bridge στο κύκλωμα.

⁹ Κινητήρας κατάλληλος για μεγάλα φορτία καθώς έχει μεγάλη ροπή στρέψης. Απαιτείται κατάλληλος driver στο κύκλωμα.

¹⁰ Κινητήρας που παρέχει ακρίβεια. Δεν έχει δυνατότητα για πολλές περιστροφές και η συνδεσμολογία του είναι απλή.

4.1 ΚΩΔΙΚΑΣ

Ο κώδικας γράφεται στο λογισμικό Arduino IDE¹¹. Αρχικά, γίνεται εισαγωγή της βιβλιοθήκης servo.h, έτσι ώστε η πλακέτα Arduino να μπορεί να διαχειριστεί σέρβο κινητήρες. Έπειτα, αρχικοποιούνται οι ακέραιες μεταβλητές ldrPin, servoPin, ldrValue και angle. Ως ldrPin ορίζεται το pin A0 καθώς ο αισθητήρας αυτός λαμβάνει αναλογικές τιμές. Στη συνέχεια ορίζεται ως ServoPin το digital pin 9 καθώς ο σέρβο κινητήρας λαμβάνει ψηφιακές τιμές (παλμούς ρεύματος) για τη λειτουργία του. Η μεταβλητή ldrValue ορίζεται μηδέν και αποτελεί τη τιμή που λαμβάνεται από τον αισθητήρα φωτός. Τέλος, η μεταβλητή angle ορίζεται μηδέν και αποτελεί τη γωνία περιστροφής που θα εκτελέσει ο σέρβο κινητήρας.

```
1  #include <Servo.h>
2
3  Servo myServo;
4  int ldrPin = A0;
5  int servoPin = 9;
6  int ldrValue = 0;
7  int angle = 0;
8
9  void setup() {
10     myServo.attach(servoPin);
11     Serial.begin(9600);
12 }
13
14 void loop() {
15     ldrValue = analogRead(ldrPin);
16     //Serial.println(ldrValue);
17     delay(15);
18
19     angle = map(ldrValue, 0, 1023, 0, 180);
20
21     myServo.write(angle);
22     //Serial.println(angle);
23     delay(15);
24 }
```

Εικόνα 88: Κώδικας για arduino σε περιβάλλον arduino IDE

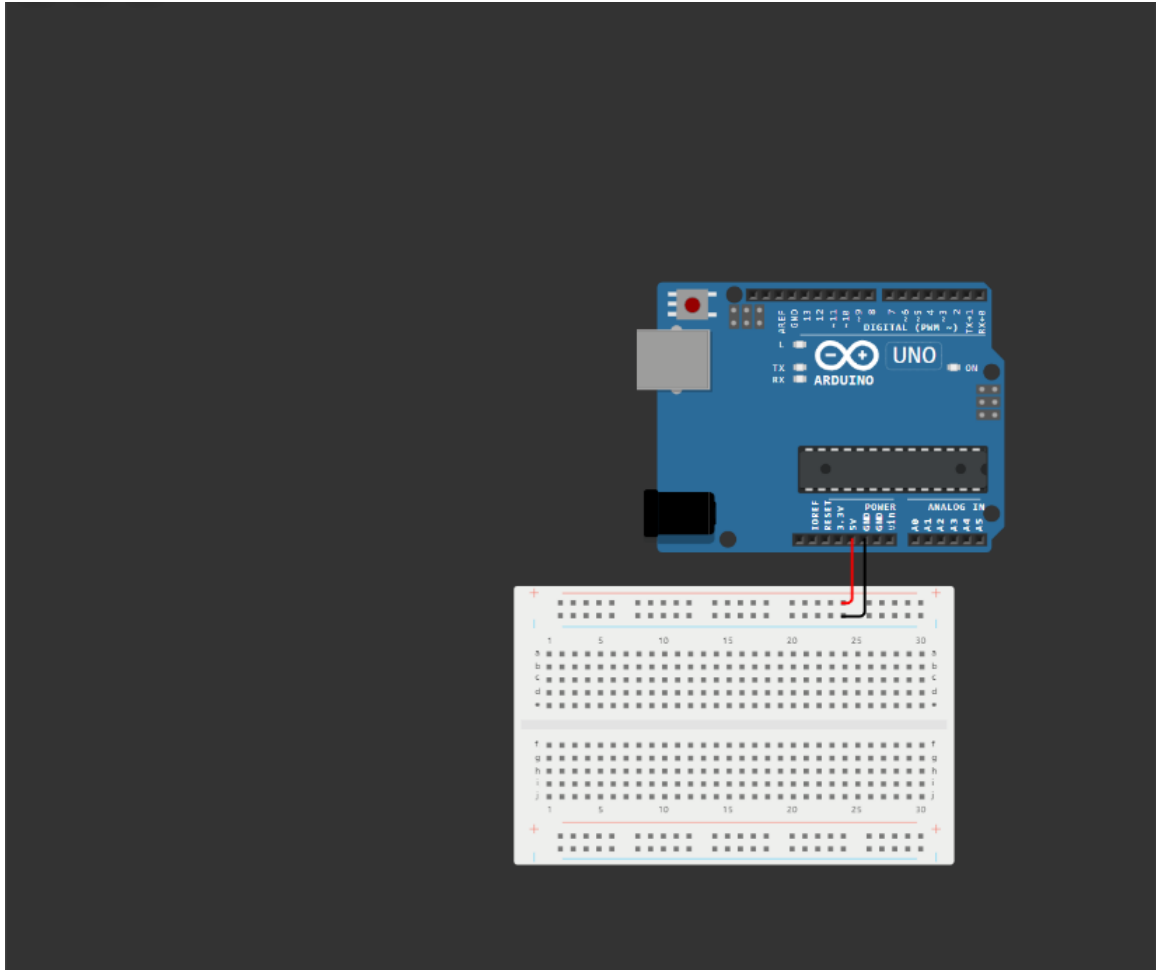
¹¹ <https://www.arduino.cc/en/software>

Εντός του void loop εκτελούνται οι παρακάτω εντολές:

- Διαβάζει την ένταση του φωτός από τον αισθητήρα LDR με αναλογική τιμή απο 0 έως 1023.
- Γίνεται (mapping) αντιστοίχιση εύρους τιμών αισθητήρα φωτός LDR απο 0 έως 1023 σε γωνία περιστροφής από 0 έως 180 του Servo κινητήρα.
- Ο σερβοκινητήρας λαμβάνει εντολή να κινηθεί με τη γωνία που καθορίζεται από την τιμή LDR. Καθώς αλλάζει η ένταση του φωτός, ο σερβοκινητήρας περιστρέφεται με γωνία αντίστοιχη της τιμής που λαμβάνει από τον αισθητήρα.

4.2 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ

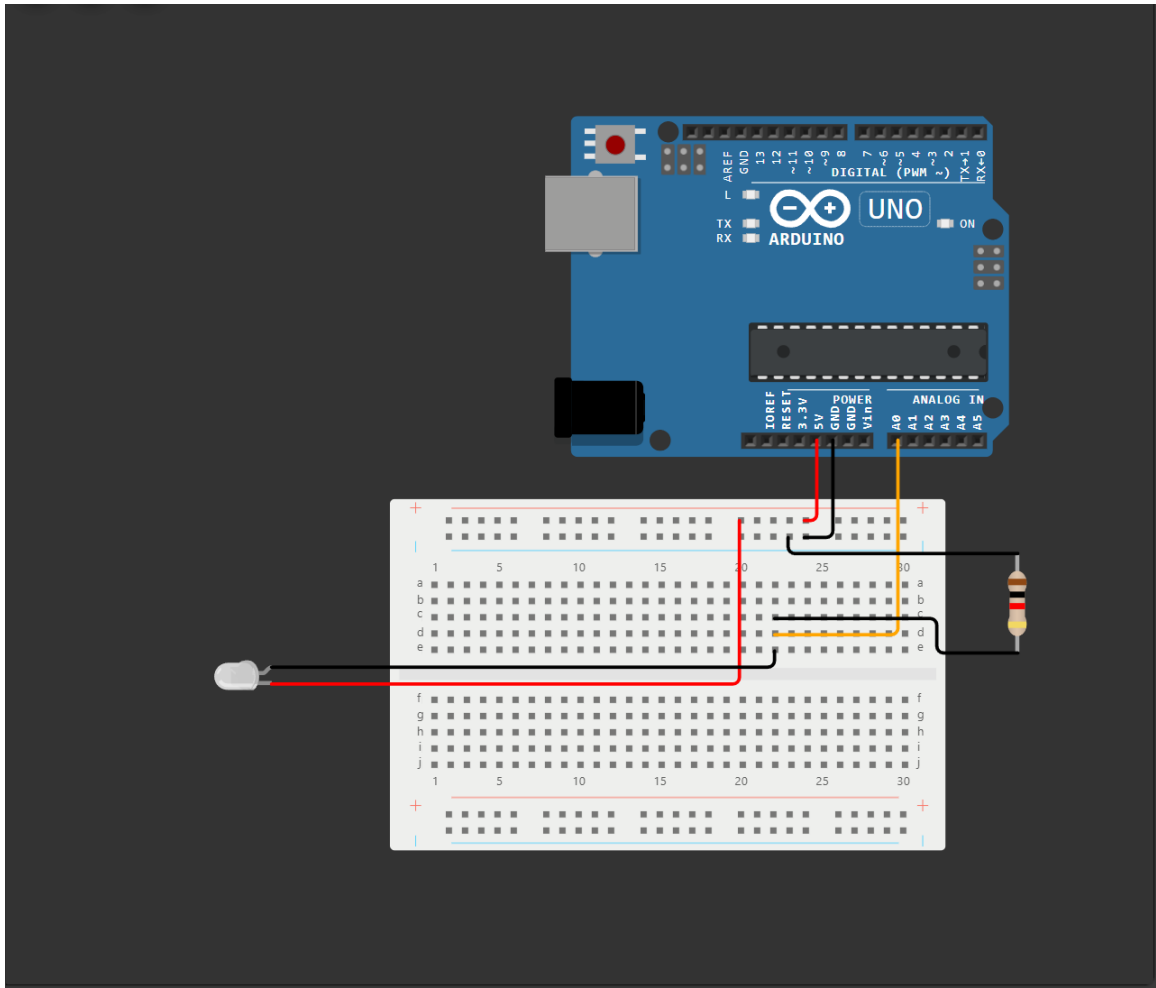
Αρχικά, για την συνδεσμολογία, χρησιμοποιείται πλακέτα Arduino UNO R3 και breadboard όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Συνδέεται με κόκκινο καλώδιο η παροχή ρεύματος 5V, ενώ με μαύρο η γείωση GND.



Εικόνα 89: Συνδεσμολογία arduino και breadboard

Πηγή: www.wokwi.com επεξεργασία: Ζαράνης Παναγιώτης

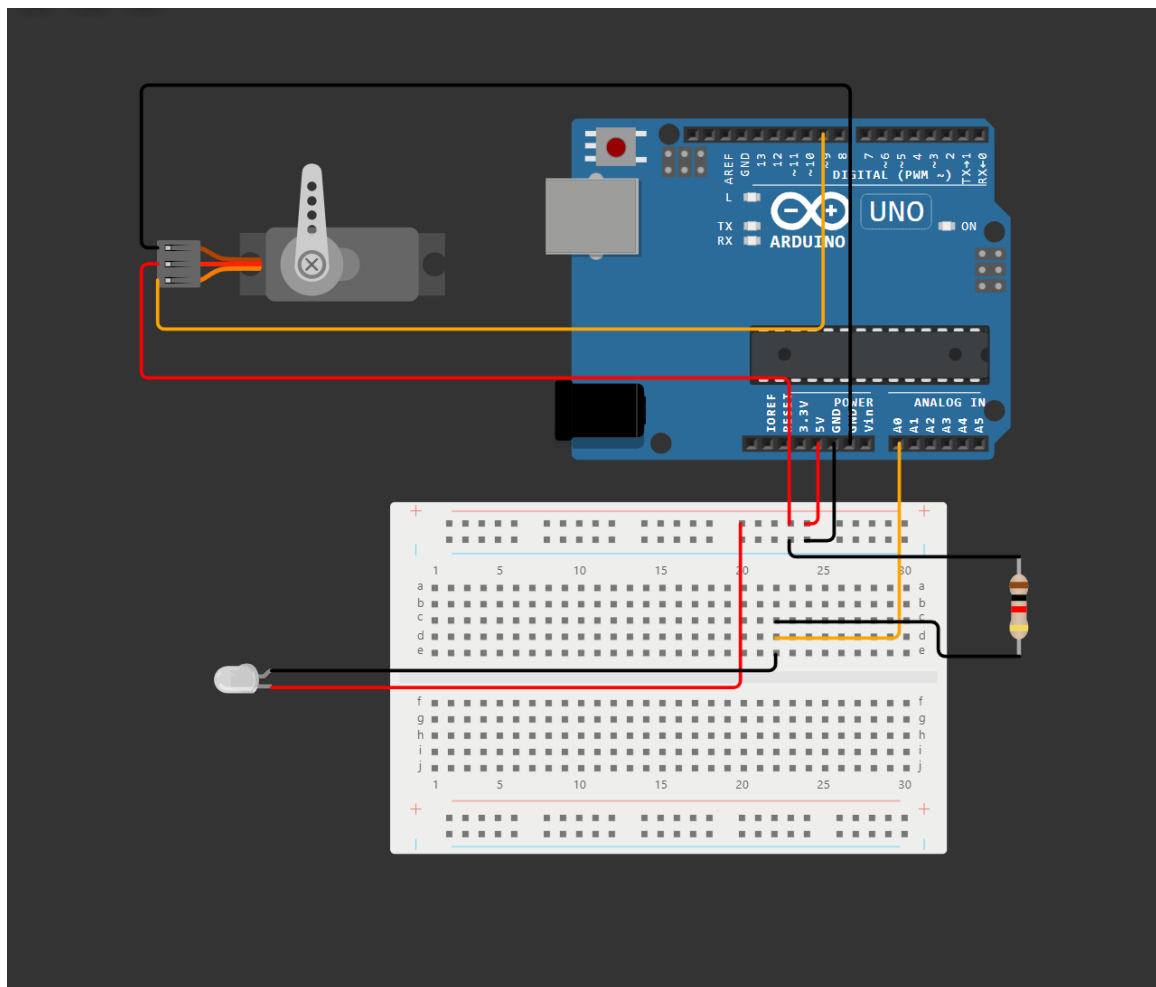
Έπειτα ο αισθητήρας φωτός LDR συνδέεται με την παροχή ρεύματος με κόκκινο καλώδιο ,τη γείωση GND (παρεμβάλλεται αντίσταση) με μαύρο, καθώς και την αναλογική θέση A0 του Arduino με πορτοκαλί, ώστε να δίνει τις τιμές έντασης φωτός.



Εικόνα 90: Συνδεσμολογία LDR sensor

Πηγή: www.wokwi.com επεξεργασία: Ζαράνης Παναγιώτης

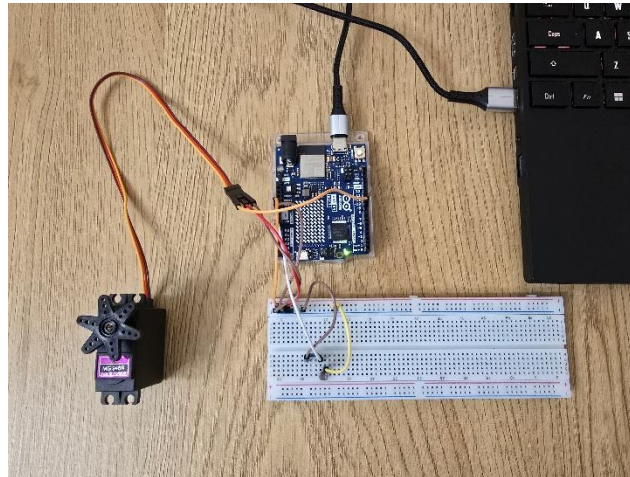
Τέλος, ο servo κινητήρας συνδέεται με το ρεύμα 5V με χρώμα καλωδίου κόκκινο, τη γείωση GND του Arduino με χρώμα καλωδίου μαύρο, καθώς και τη ψηφιακή θέση 9 του Arduino μέσω πορτοκαλί καλωδίου, από την οποία λαμβάνει τη γωνία που πρέπει να περιστραφεί.



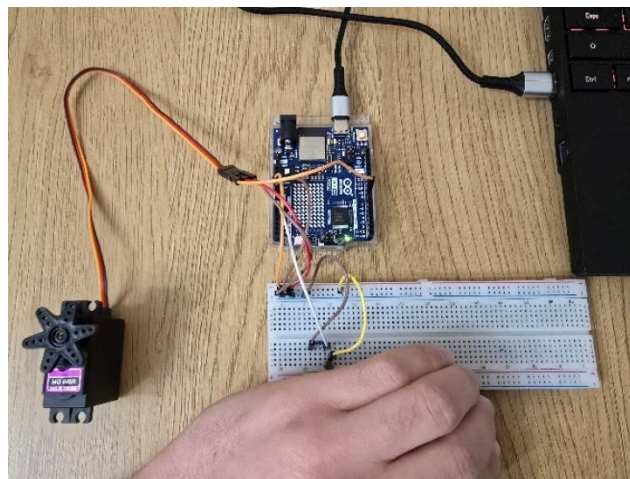
Εικόνα 91: Συνδεσμολογία servo motor

Πηγή: www.wokwi.com επεξεργασία: Ζαράνης Παναγιώτης

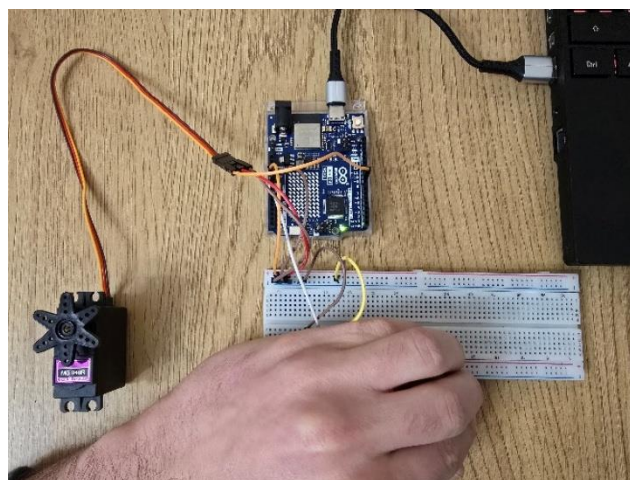
Στη συνέχεια, μέσω της πλατφόρμας arduino IDE περάστηκε ο κώδικας στην πλακέτα του Arduino UNO R3 και έγινε η συνδεσμολογία σε πραγματικές συνθήκες, ώστε να δοκιμαστεί η λειτουργία του.



Εικόνα 92: Διάδραση με arduino σε πραγματικές συνθήκες



Εικόνα 93: Διάδραση με arduino σε πραγματικές συνθήκες



Εικόνα 94: Διάδραση με arduino σε πραγματικές συνθήκες

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, οι παραμετρικές κατασκευές έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, δεδομένου ότι κάθε φορά καλύπτουν τις ανάγκες του σχεδιασμού και του χρήστη. Κάθε κατασκευή διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες γεγονός το οποίο προσδίδει μοναδικότητα στην κάθε μια.

Οι αρχές σχεδιασμού καθώς και η κινητική λειτουργία του pavilion εξοικειώνουν τον χρήστη – περιπατητή με την τέχνη του origami. Η κίνηση της κατασκευής με βάση τους εξωτερικά ερεθίσματα που λαμβάνει, κάνει την κατασκευή να λειτουργεί σαν ένας οργανισμός στο περιβάλλον το οποίο ανήκει.

Παρόλα αυτά, για την υλοποίηση μιας τέτοιας παραμετρικής κινητικής κατασκευής, πολλές φορές απαιτείται ειδικός σχεδιασμός, καλούπια αλλά και ειδικοί μηχανισμοί. Το γεγονός αυτό δημιουργεί αυξημένο κόστος κατασκευής και πολλές φορές ασύμφορο στο χρήστη. Το modularity μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη μείωσης κόστους και συντήρησης της κατασκευής απλοποιώντας και ομαδοποιώντας διεργασίες που χρειάζονται.

Η εν λόγω κατασκευή, κατά τη δεύτερη προσπάθεια μελέτης και υλοποίησης της κίνησης της βελτιστοποιήθηκε μειώνοντας το κόστος κατασκευής. Η κίνηση του κάθε πανέλου επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός μοτέρ, σε αντίθεση με την πρώτη προσπάθεια κατασκευής όπου η κίνηση επιτυγχάνονταν με τη χρήση δύο μοτέρ.

Επιπλέον, θα μπορούσε να βελτιωθεί μέσω της ομαδοποίησης περισσότερων από ένα πανέλων, ώστε αυτά να κινούνται μόνο με ένα μοτέρ. Το πλεονέκτημα αυτής της λύσης ότι μειώνεται περαιτέρω το κόστος κατασκευής λόγω χρήσης μικρότερου αριθμού σε μοτέρ. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή περιορίζεται η ελευθερία κίνησης των πανέλων καθώς και δημιουργείται διαφορετικό οπτικό αποτέλεσμα καθώς επίσης μειώνεται η διάδραση της κατασκευής με το χρήστη.

Σε κάθε περίπτωση είναι σημαντική η βελτιστοποίηση της κατασκευής τόσο σε επίπεδο συντήρησης όσο και σε επίπεδο κόστους. Αυτό πάντοτε είναι συναρτήσεως των εκάστοτε αναγκών που πρέπει να καλυφθούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ Lang, R. J. (2010). *Origami design secrets: Mathematical methods for an ancient art*. CRC Press.
- ❖ Fuse, T. (1990). *Unit origami: Multidimensional transformations*. Japan Publications.
- ❖ Gjerde, E. (2009). *Origami tessellations: Awe-inspiring geometric designs*. A K Peters/CRC Press.
- ❖ Temko, F. (1968). *Kirigami, the creative art of papercutting*. Japan Publications.
- ❖ Yoshizawa, A. (2005, March 19). Akira Yoshizawa – Origami artist of stunning originality who became an ambassador for Japanese culture and his art. *The Sunday Times*.
- ❖ Sukhatme, S. P., & Nayak, J. N. (2008). *Solar energy: Principles of thermal collection and storage* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- ❖ Robinson, N. (2024, October 11). Origami. *Encyclopedia Britannica*. Retrieved October 29, 2024, from <https://www.britannica.com/art/origami>
- ❖ Tavin. (2014). *wonder how to*. from: <https://tavin.wonderhowto.com/how-to/read-diagrams-0122391>
- ❖ History of Origami. (n.d.). *Robert C. Williams Museum of Papermaking*. Retrieved October 29, 2024, from <https://paper.gatech.edu/kinetic-joy/history-origami>

- ❖ Pavilion Architecture Encyclopedia Britannica, 9 May 2024
- ❖ Lang, R. J. (2011). *Twists, Tilings, and Tessellations*. CRC Press.
- ❖ Buri, H., & Weinand, Y. (2008). Origami – Folded Plate Structures.
- ❖ Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2008, 20.
- ❖ Lister, D. (2007). *The art of origami*. Sterling.
- ❖ Duffie, John A.; Beckman, William A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes (4η έκδοση). ISBN 978-0-470-87366-3.
- ❖ Introduction to the practice of "origata" to wrap and tie feelings of joy by yourself (in Japanese). Nikkei, Inc. March 31, 2017. Archived from the original on November 15, 2022. Retrieved November 15, 2022.
- ❖ About Origata (in Japanese). Yamane origata. May 11, 2013. Archived from the original on April 13, 2022. Retrieved November 15, 2022.
- ❖ History and Present of Origami: Sengoku ~ Mid-Edo (in Japanese). Kyushu University Library. Archived from the original on May 7, 2021. Retrieved November 14, 2022.
- ❖ Kyushu University Library. (2021, May 7). Archived from the original on May 7, 2021. Retrieved November 14, 2022.
- ❖ Hughes, S. (1978). *Washi: The world of Japanese paper*. Tokyo: Kodansha International.
- ❖ Baldwin, C.Y.; Clark, K.B. (2000). "Chapter 3: What Is Modularity?". *Design Rules: The power of modularity*. MIT

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- ❖ Wokwi - World's most advanced ESP32 Simulator

Πηγή: www.wokwi.com

- ❖ Arduino – Home

Πηγή: www.arduino.cc

- ❖ Fundació Mies van der Rohe

Πηγή: <https://miesbcn.com>

- ❖ ArchDaily | Broadcasting Architecture Worldwide

Πηγή: www.archdaily.com

- ❖ Arch2O | Architecture and Design magazine

Πηγή: www.arch2O.com

- ❖ Serpentine Galleries

Πηγή: <https://www.serpentinegalleries.org>

- ❖ Tavin's Origami - WonderHowTo

Πηγή: <https://tavin.wonderhowto.com>

- ❖ Springer

Πηγή: <https://link.springer.com>

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.