

BIO- Κινητικό Κέλυφος | Κατασκευαστική Μέθοδος

Ραϊτσου Παναγιώτα | Πολυτεχνείο Κρήτης | Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών | Οκτώβριος 2020
Επιβλέπων: Κωνσταντίνος - Αλκέτας Ουγγρίνης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

_ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ - ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η εποχή μας χαρακτηρίζεται απο την συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία, μέχρι τώρα η αρχιτεκτονική διατηρεί κυρίως μια αμετάβλητη και σταθερή σχεδιαστική εκφραση, που προσφέρει ιδανικές λύσεις, με βασικό άξονα εκκίνησης την ορθοκανονική λογική.

Έχουν γίνει προσπάθειες ανάμιξης του ψηφιακού με τον φυσικό κόσμο ανα τον χρόνο με βασικές αναφορές το Fun Palace ,Cedric Price(60's) το The thing, Archiram(1963), William Zuk, Roger Clark, Kinetic Architecture, το Freshwater Pavillion(1999) και το Ada Intelligent space.

Με το πέρασμα του χρόνου η αρχή για μια διαδραστική αρχιτεκτονική, που ο χρήστης/άνθρωπος θα είναι ενεργός δημιουργός του χώρου όπου τον περιβάλλει σε πραγματικό χρόνο , παρέμεινε ίδια, το μονο που εξελίχθηκε είναι η τεχνολογία που κάνει εφικτό ένα τέτοιο όραμα.

Επιπλέον, η δημιουργία ενός τέτοιου δυναμικού περιβάλλοντος θα μπορούσε να συμβάλλει στην αλλαγή της διάθεσης του ανθρώπου καθώς σε περιβάλλοντα με ένταση, είτε φόρτιση θα μπορεί η κατασκευή να ψυχαγωγεί σε πραγματικό χρόνο.

Για την επιτευξη αυτού του στόχου έγινε μελέτη των φυσικών δομών και μορφών και σαν βασικά χαρακτηριστικά "ζωής" εντοπίζονται, η εύκολη προσαρμογή, η ανταπόκριση σε εξωτερικούς παράγοντες, και η συνεχής εξέλιξη για επιβίωση. Η φυσική δημιουργία είναι "οικονομική", πετυχαίνει την μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη με τους ελάχιστους δυνατούς πόρους, πράγμα καθοριστικό για την επιβίωση ενός οργανισμού. Επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό της είναι η ποικιλομορφία, όπου μικρές αλλαγές σε βάθος χρόνου προσφέρουν διαφορετικά αποτελέσματα στον ίδιο οργανισμό.

Έτσι λοιπόν κατέληξα στην δημιουργία ενός σταθερού αρθρωτού κελύφους, που θα έχει "κοινωνικό" χαρακτήρα καθώς η χωροθέτισή του προορίζεται να είναι σε δημόσιο χώρο, πάνω στο οποίο θα στηρίζεται ένα κινητό/ανταποκριτικό χωροδικτύωμα, ενώ χρησιμοποιώντας την έμφυτη ιδιότητα του υλικού, η κάλυψή του κελύφους θα ανταποκρίνεται χωρίς ηλεκτρική βοήθεια στην υγρασία, θυμίζοντας ζωντανό οργανισμό.Ενώ ταυτόχρονα, σημαντικός παράγοντας του σχεδιαμού ήταν να ακολουθούνται οι αρχές της βιομίμησης, όπου είναι:

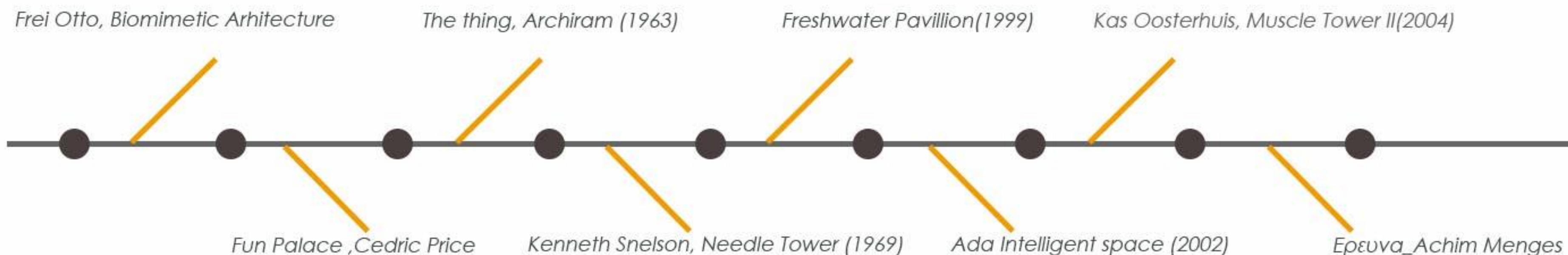
Έτερογένεια_Γεωμετρική διαφοροποίηση στοιχείων

Ανισοτροπία_Υλικό ενισχυμένο με ίνες (ξύλο)

Ιεραρχία_Πολλά επίπεδα (μεγάλης, μεσαίας και μικρής κλίμακας)

Πολυχρηστικότητα_Μπορεί να εξυπηρετεί διαφορετικές χρήσεις.'¹

*Χρονοδιάγραμμα Βιομιμητικών και Διαδραστικών Παραδειγμάτων

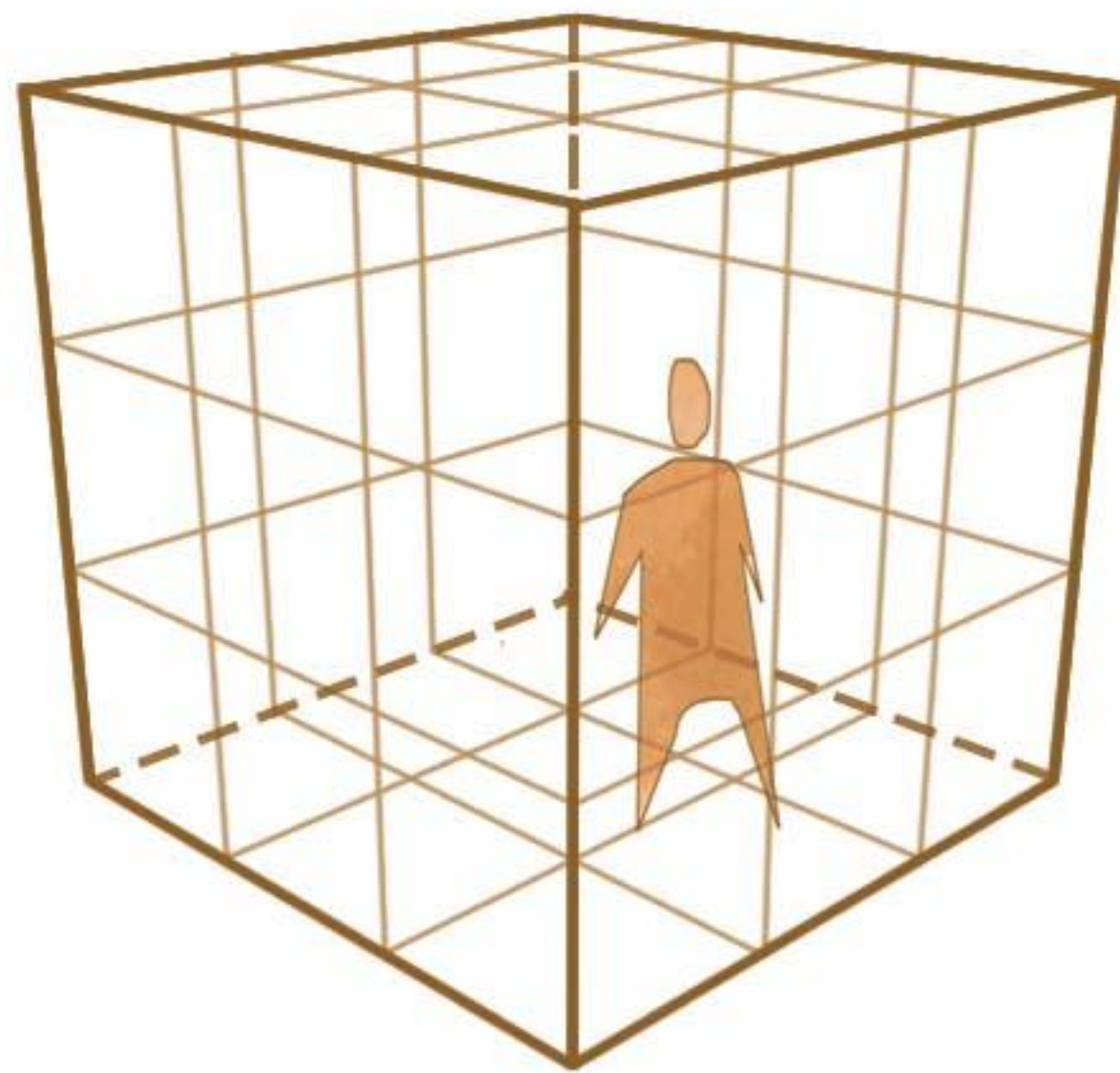


Η παρούσα διπλωματική λοιπόν πρόκειται για μια προσπάθεια επαναπροσδιορισμού της αρχιτεκτονικής που δεν σκοπεύει στον σχεδιασμό μιας κατοικίας ενός κτιριακού συνόλου ή μιας τοποθεσίας αλλά απευθύνεται κατευθείαν στον άνθρωπο. Είναι μια προσπάθεια προσομοίωσης μιας ανταποκριτικής λογικής που δρα με έναυσμα από εξωτερικούς παράγοντες, μια μεταβλητή σε πραγματικό χρόνο κατασκευή.

Η μέθοδος βιομιμητικής αναζήτησης που ακολουθείται είναι συνδιαστική bottom-up -έναυσμα το βιολογικό πρότυπο- και top-down- αναζήτηση βελτιστοποίησης συγκεκριμένου προβλήματος ακολουθώντας λύσεις εμπνευσμένες από την φύση-.

Για την επίτευξη της βιομιμητικής λογικής, η μοντελοποίηση έγινε παραμετρικά στο grasshopper του προγράμματος Rhino, που προσφέρει την δυνατότητα εμπλουτισμού του σχεδιασμού με αλγορίθμους και γεννητικούς κώδικες, αισθητήρες και ρομποτική τεχνολογία, μέσω του μικροελεγκτή μονής πλακέτας-Arduino, επιτρέποντας την αλληλεπίδραση, διάφορων επιστημονικών κλάδων.

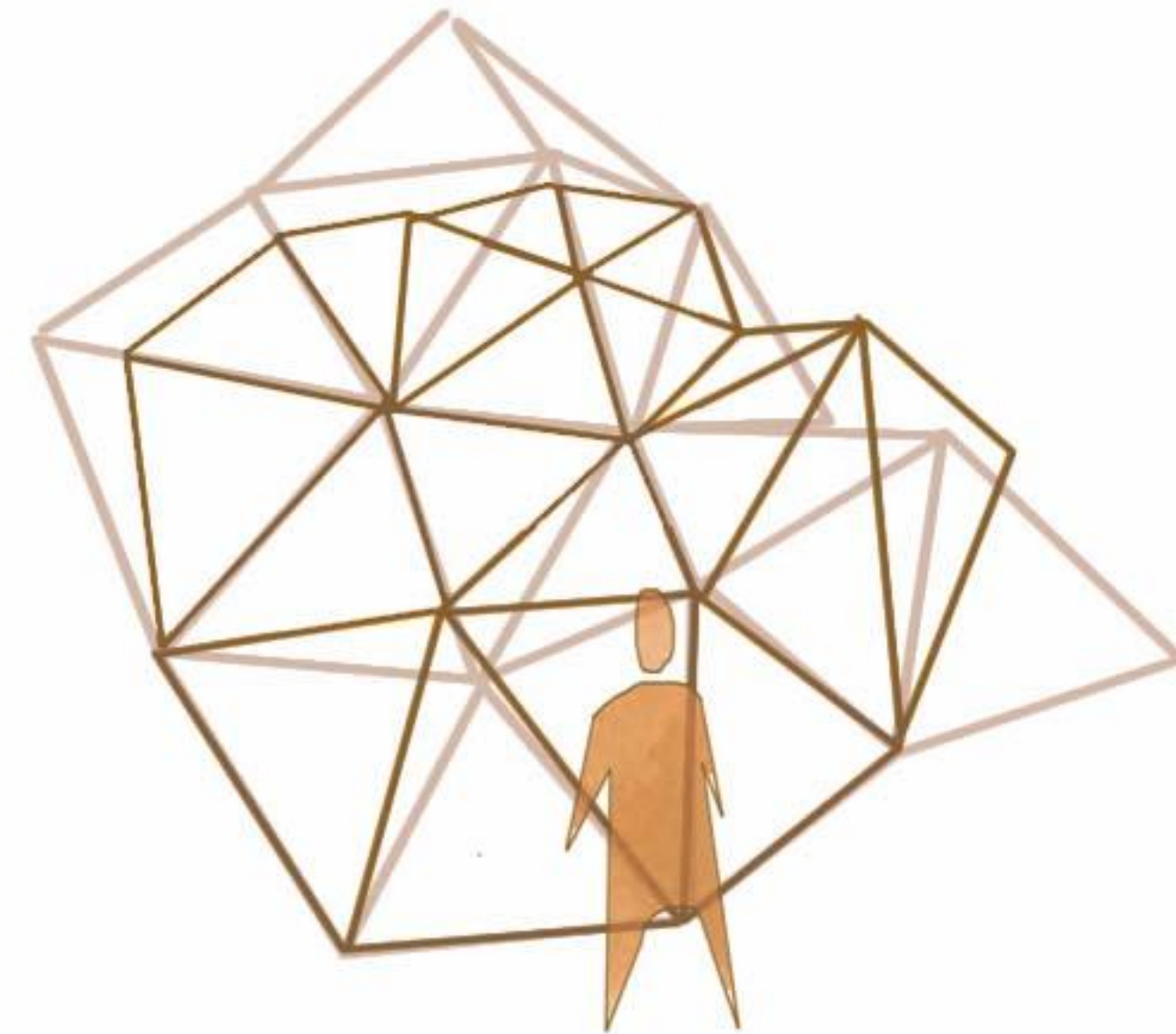
Ορθοκανονική Αρχιτεκτονική



στατικό σύστημα

σταθερές, ιδανικές λύσεις για
αμετάβλητες μελλοντικές
καταστάσεις

Αόριστη/Προσαρμόσιμη Αρχιτεκτονική



δυναμικό σύστημα

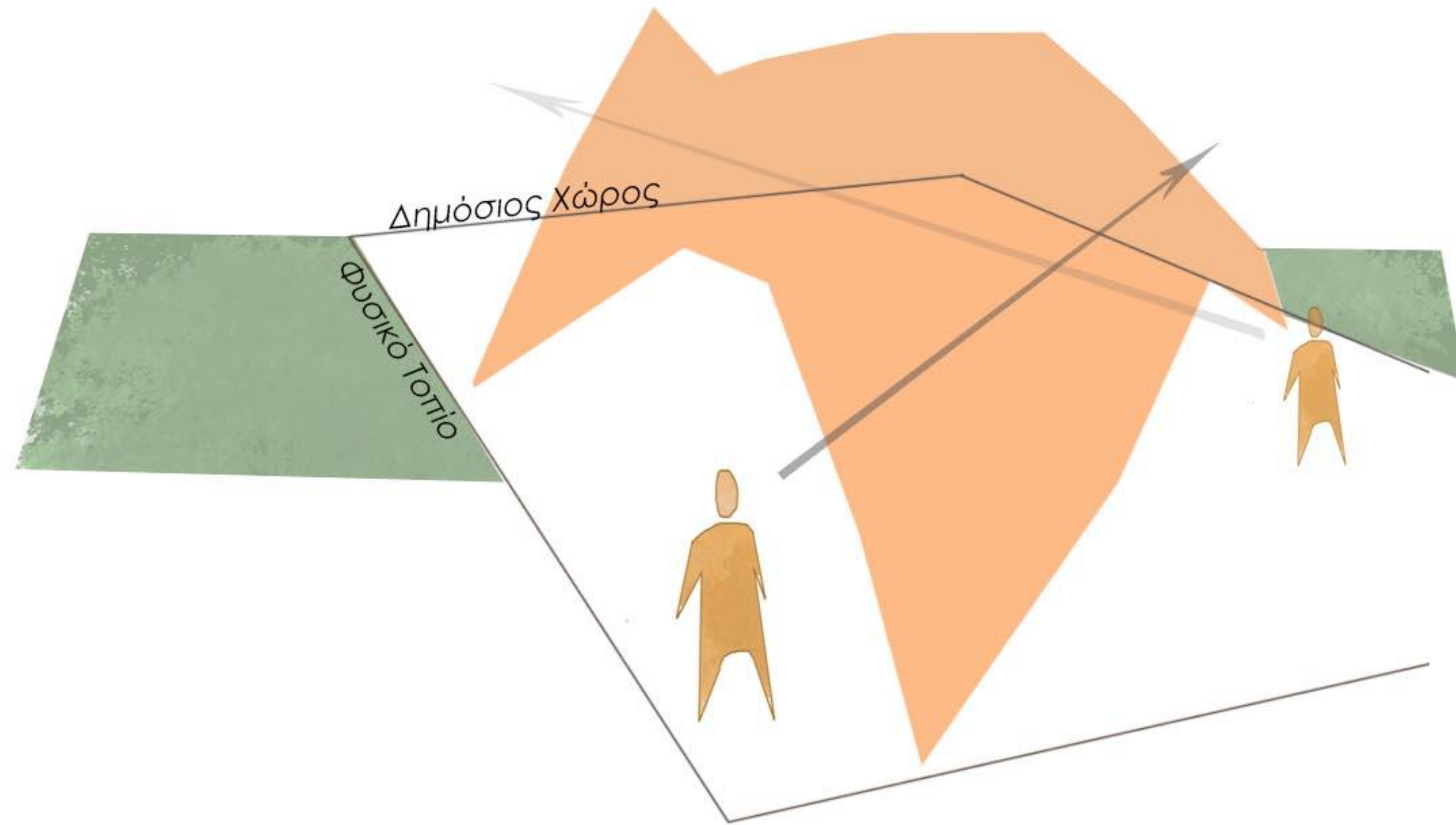
αβεβαιότητα, ατέλεια
εύρος πιθανών κατατάσεων
ενεργοποίηση επιλογής του χρήστη²

Προθέσεις

-Κεντρική ιδέα είναι η δημιουργία ενός εφήμερου διαδραστικού κελύφους που θα αντιδρά σε εξωτερικά ερεθίσματα μέσω αισθητήρων, ενώ η κίνησή του είναι εμπνευσμένη από βιολογικά πρότυπα.

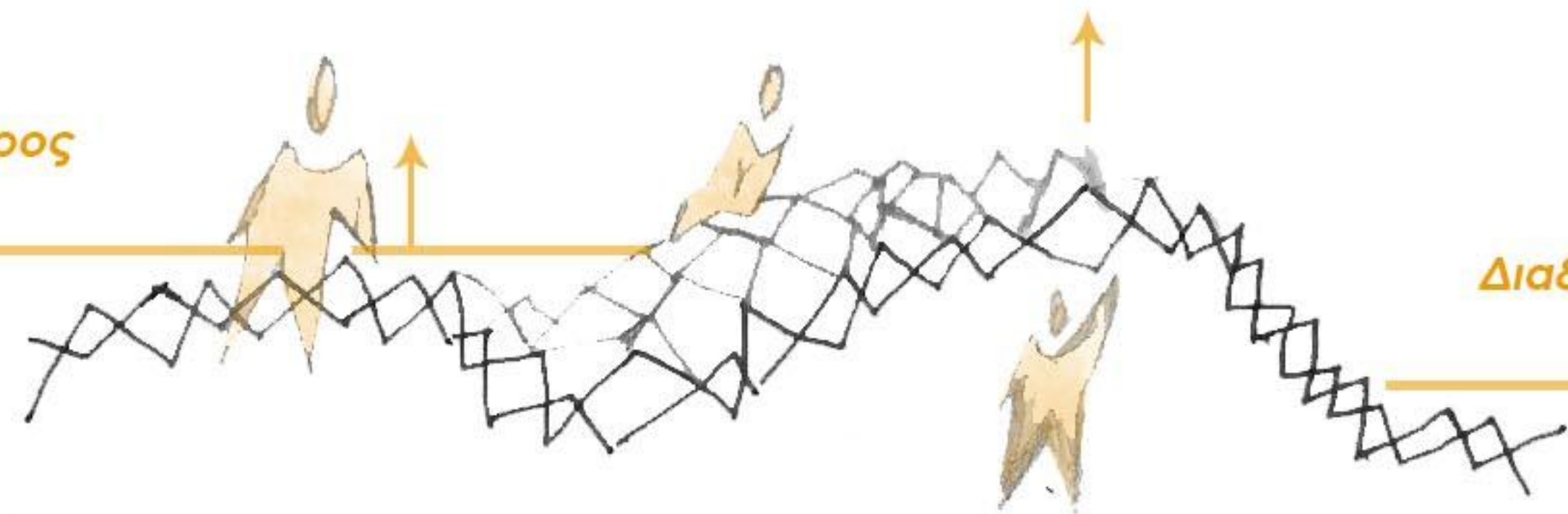
-Η χωροθέτησή του είναι σε Δημόσιο/Κοινόχρηστο χώρο, με σημαντικό παράγοντα την διαμπερότητα.

-Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι η εύκολη μεταφορά του κελύφους στον χώρο, η γρήγορη συναρμολόγηση και τέλος η αποσυναρμολόγηση μετά το πέρας της χρήσης του και η δυνατότητα αποθήκευσης για μετέπειτα χρήση. Ακόλουθώντας έτσι, την βιολογική αρχή της ζωής όπου αντίστοιχα όπως, ένας ζωντανός οργανισμός, η κατασκευή αναπτύσσεται (grow), προσαρμόζεται και ανταποκρίνεται στο γύρω περιβάλλον και τέλος "πεθαίνει" και ανακυκλώνεται.



Σταθερό Μέρος
Στάση

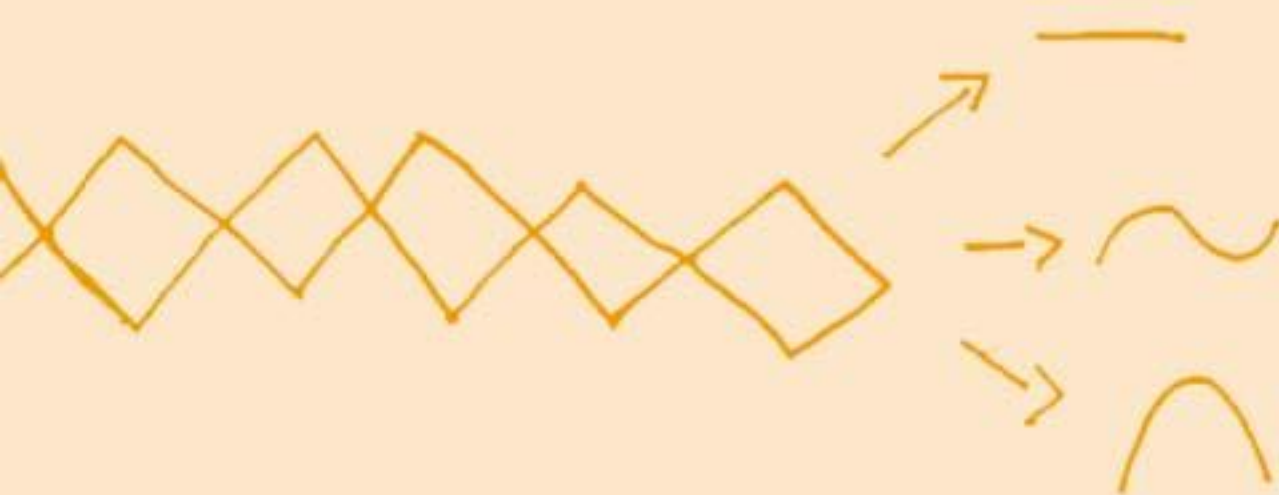
Διαδραστικό Μέρος
Κίνηση



Κλειστή Θέση

Ημιτονοειδής Κίνηση

Θολωτή Κίνηση



Βιομιμητικός Μηχανισμός

Αναζήτηση λύσεων απο την φύση

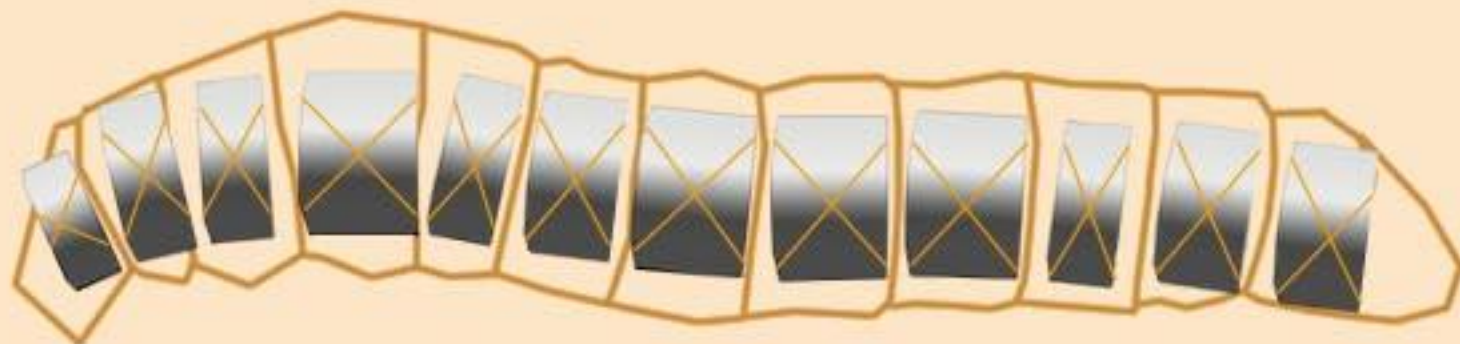
Κεφάλι Θώρακας Κοιλιά Ουρά



Βιολογικό Έναυσμα
Προνύμφες Lepidopteran



Ανάλυση Κινησιολογίας
(Locomotion)



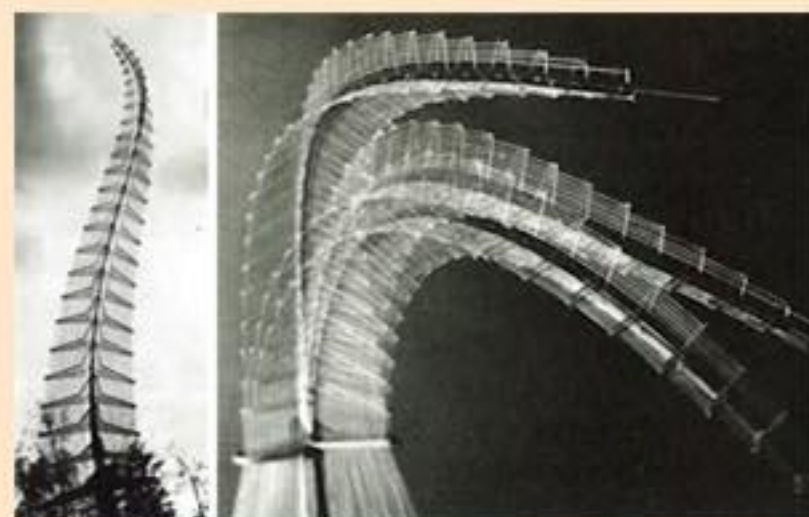
Μηχανική Απόδοση
Integrate

Κεφάλι Θώρακας Κοιλιά Ουρά

Κίνηση



Έρευνα



Εικ 1. Frei Otto flexible tower, 1936.



Εικ 2. Snelson Needle Tower, 1968

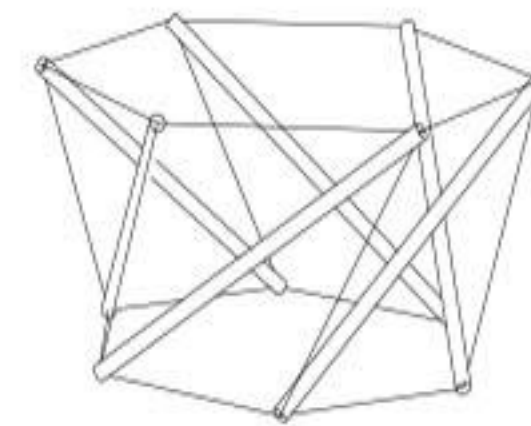
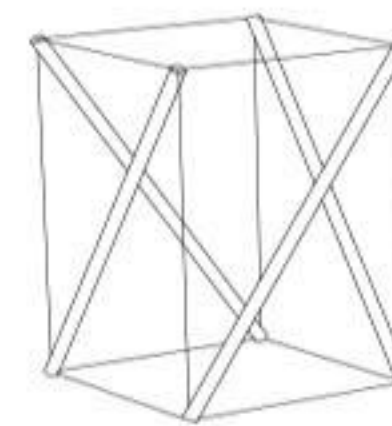
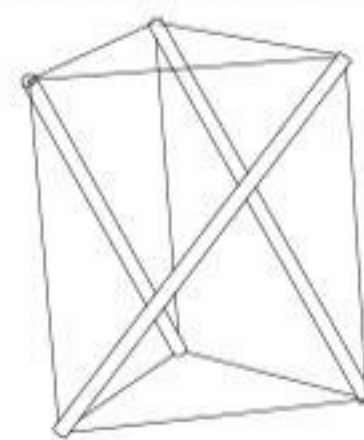


Εικ 3. Kas oosterhuis, Muscle Tower II, by The Hyperbody Research group, 2004.

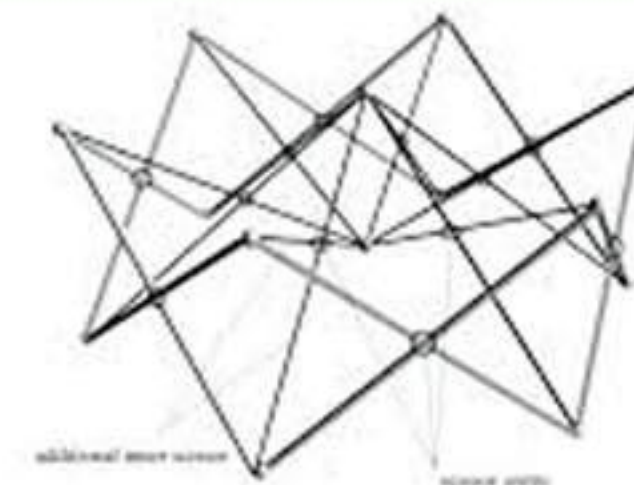
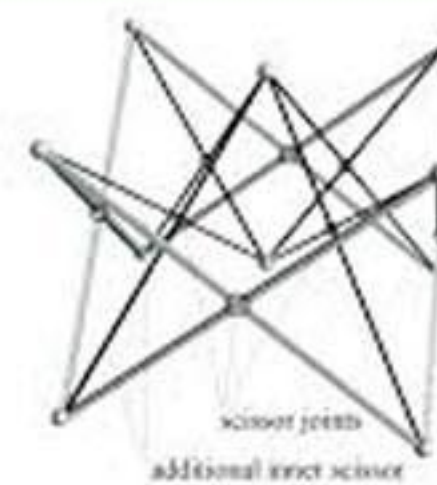


Εικ 4. Hybgrid, Sylvia Felipe, Jordi Truco, 2010

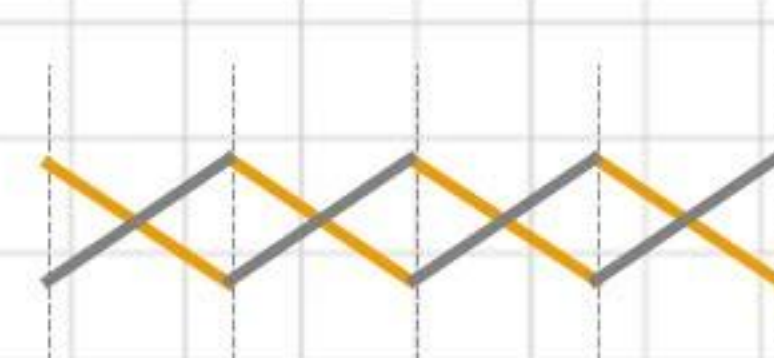
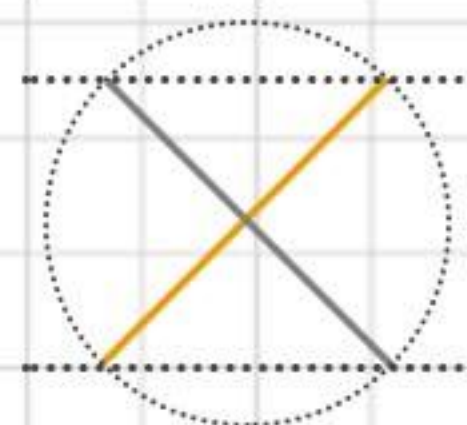
Tensegrity
Συστήματα



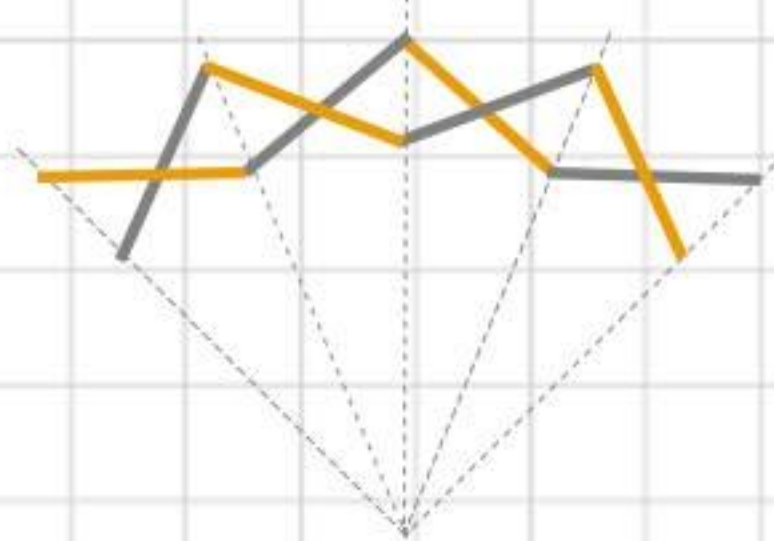
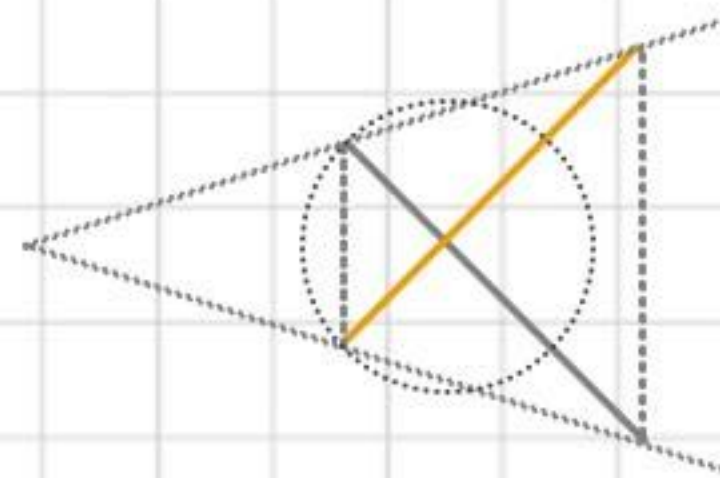
Pantograph
Συστήματα



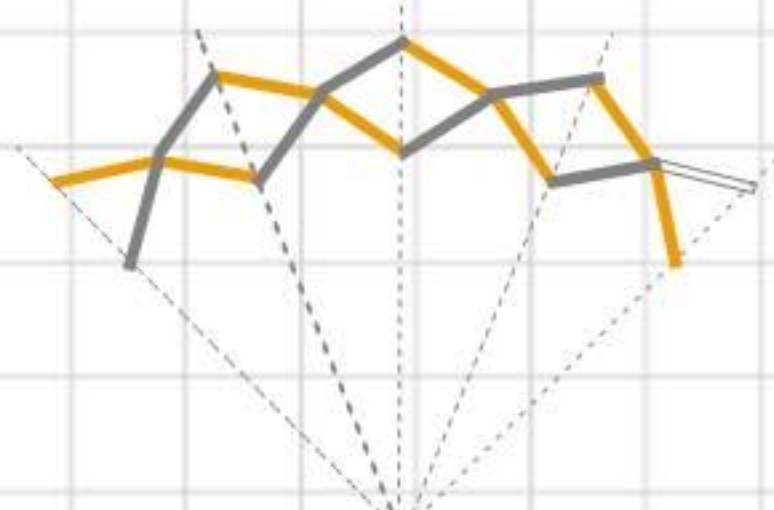
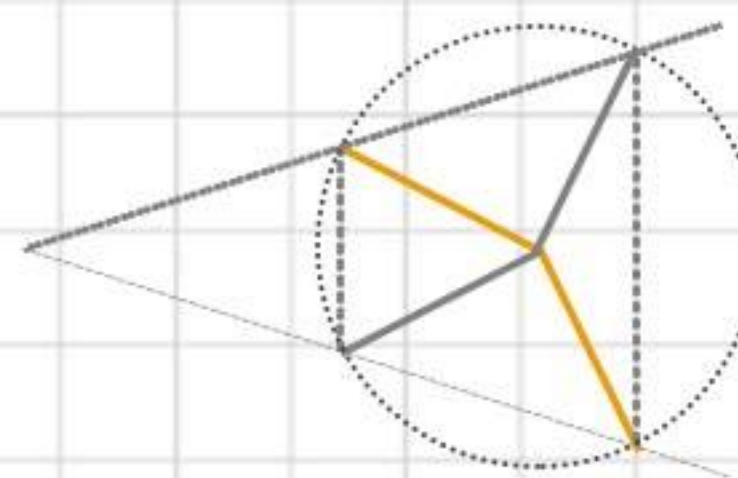
Κεντρικός
Σύνδεσμος



Έκκεντρος
Σύνδεσμος

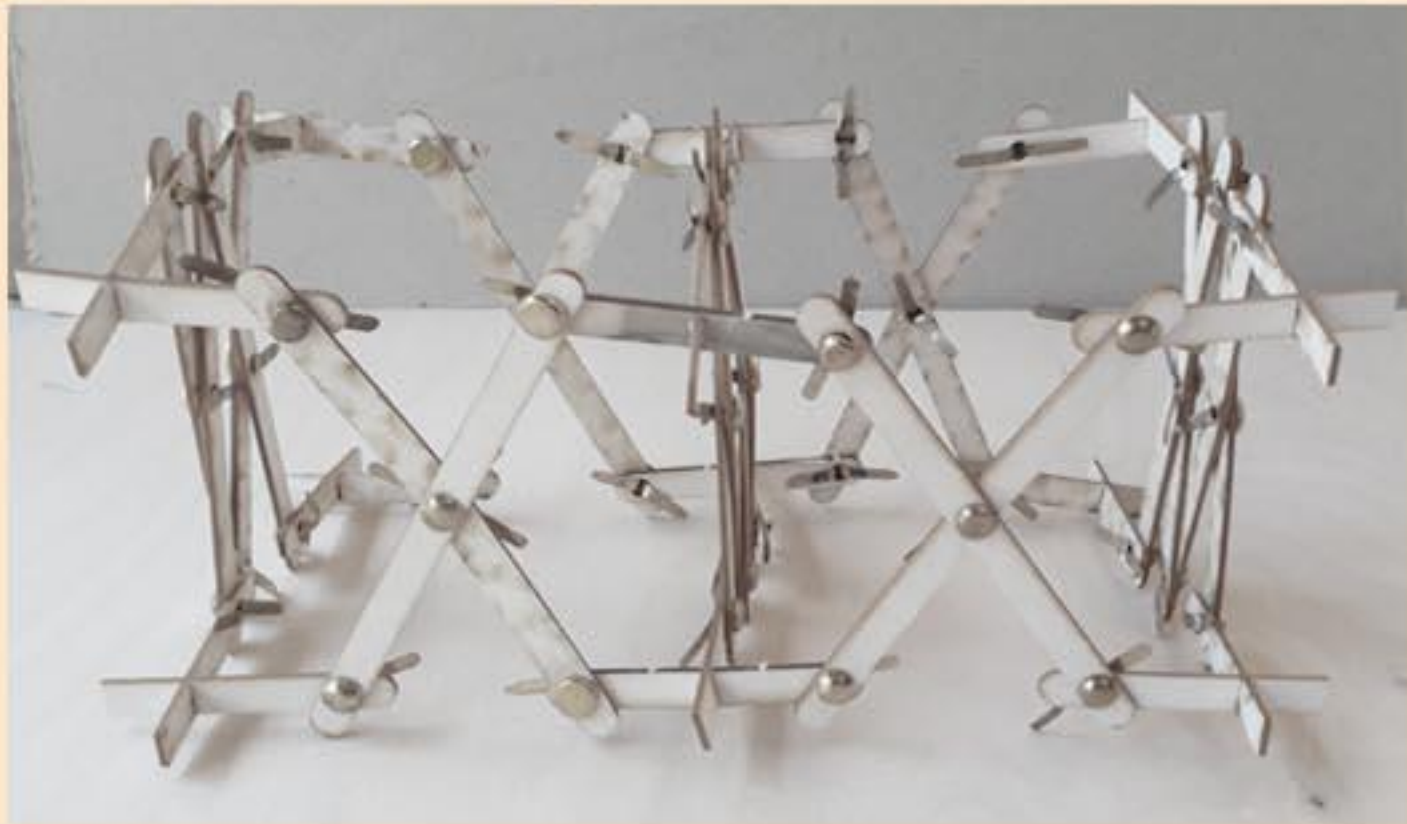


Σύνδεσμος
υπο γωνία

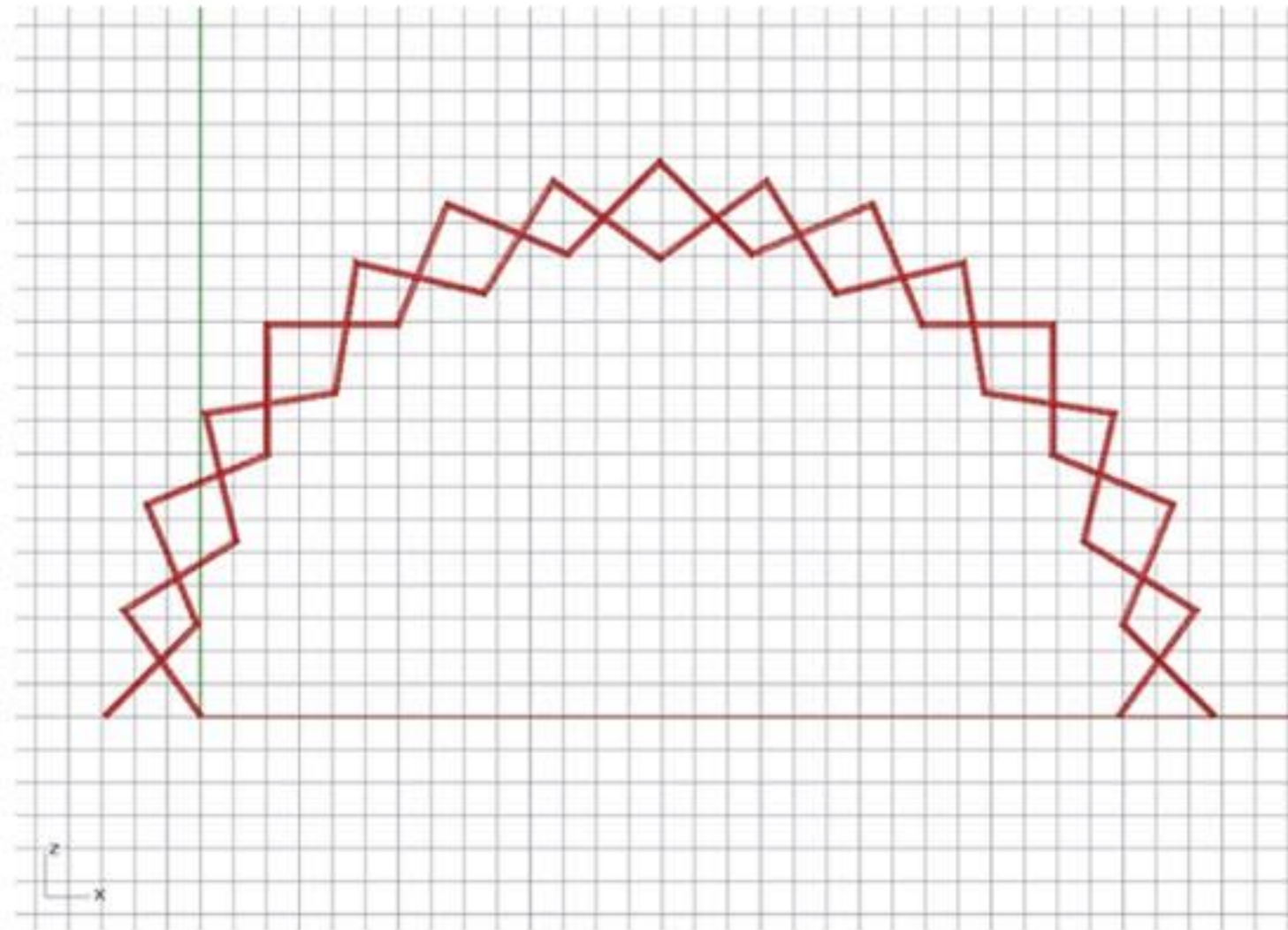
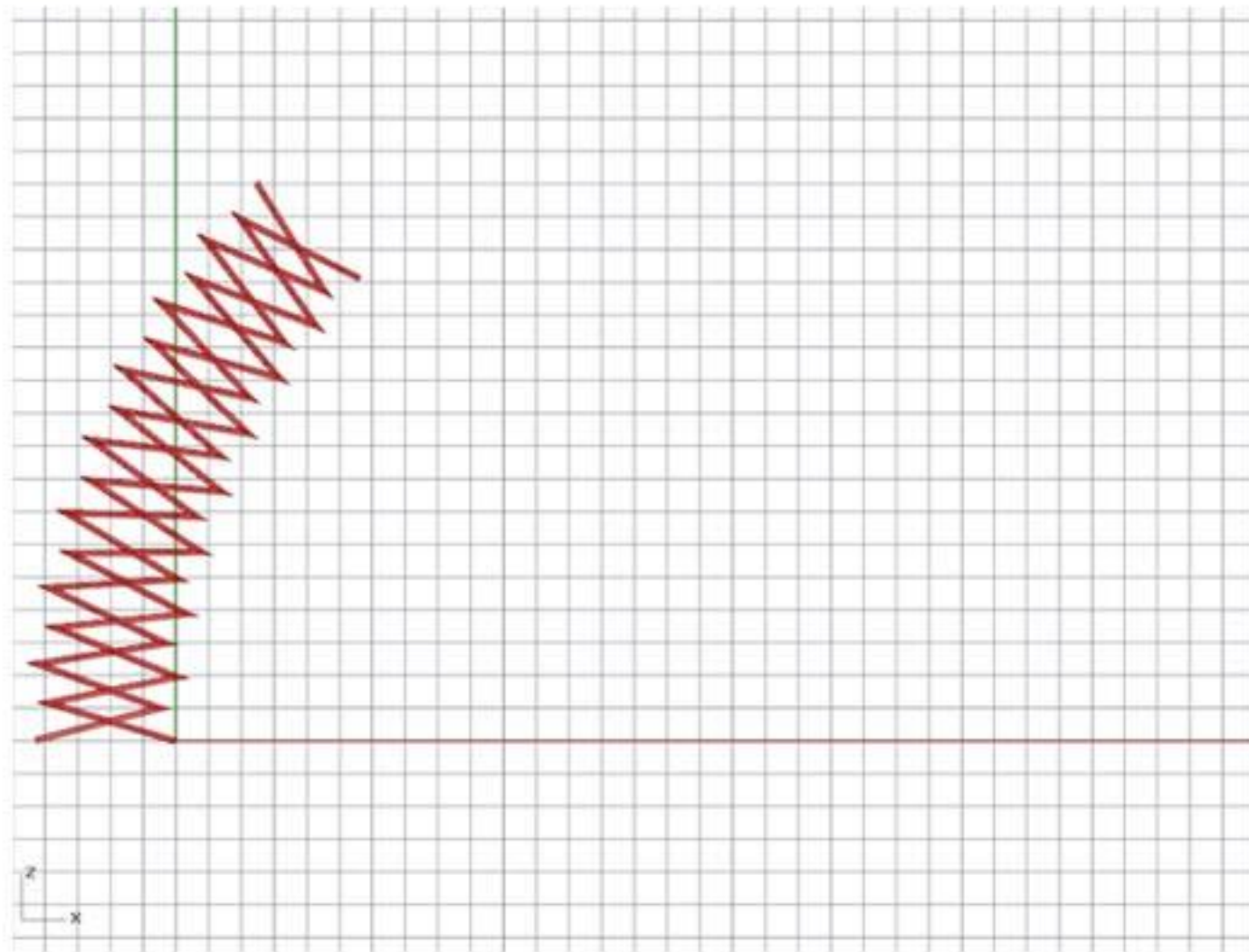
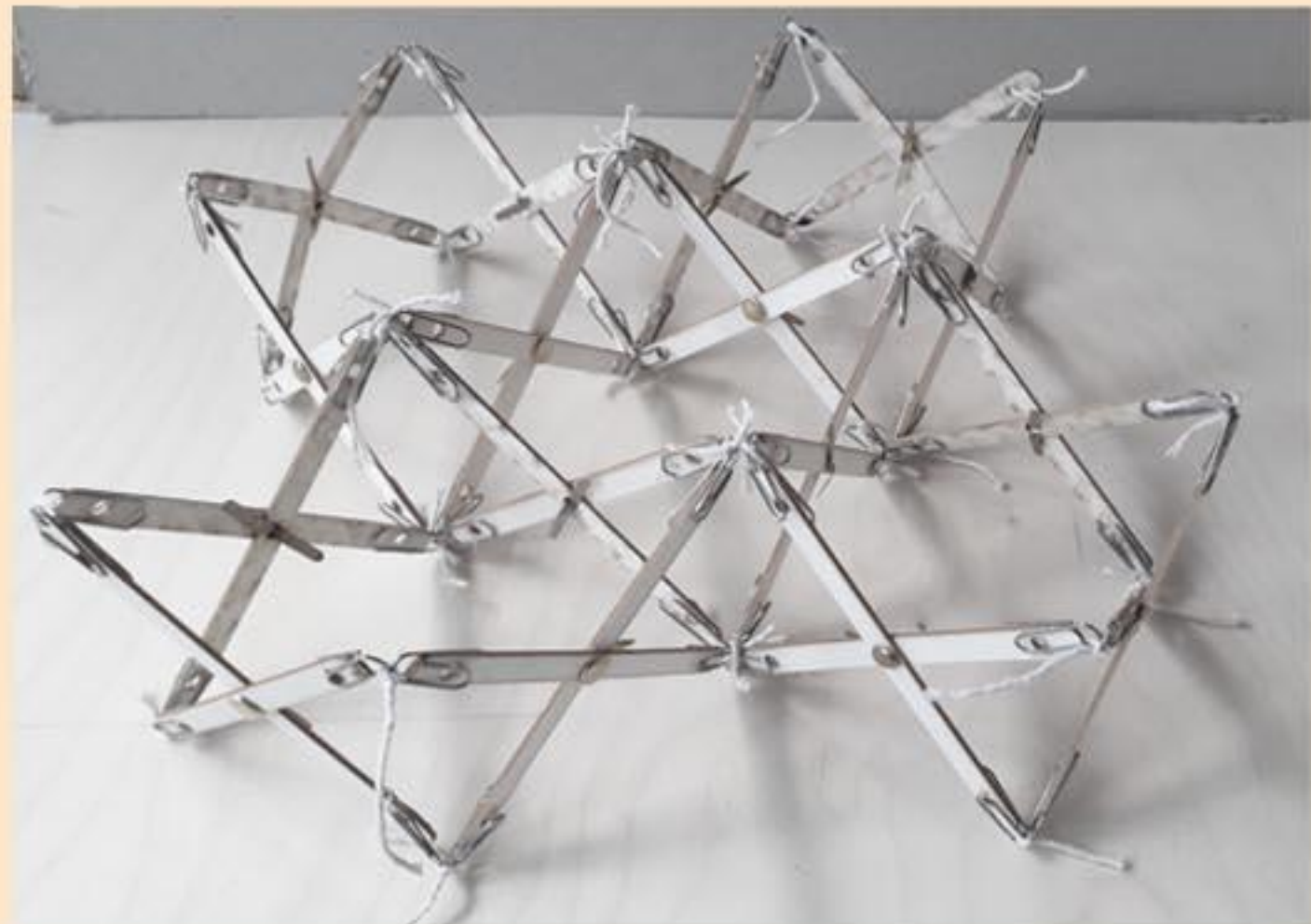


Πειραματισμός

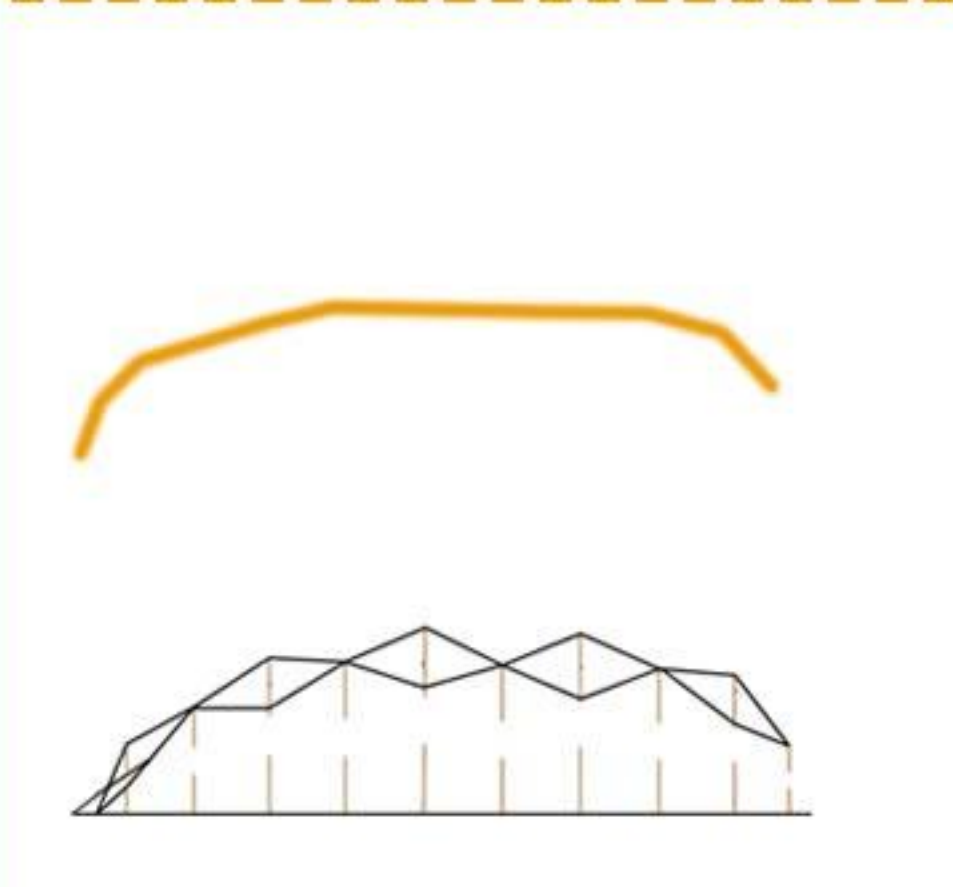
Scissor Mechanism



Pantograph Mechanism

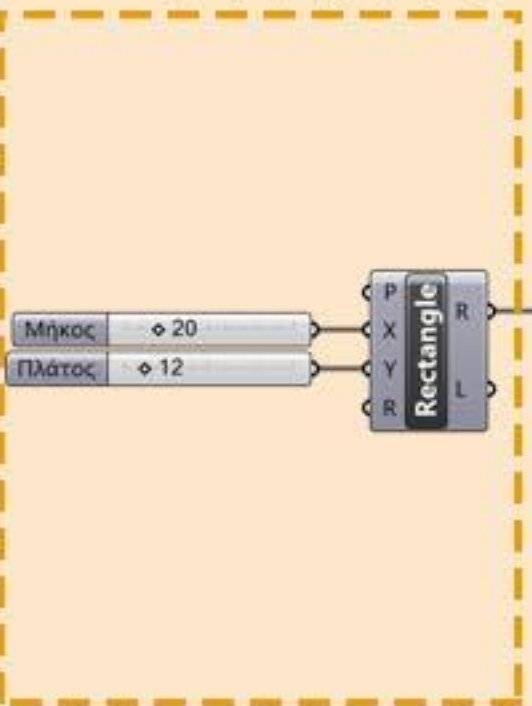


ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ

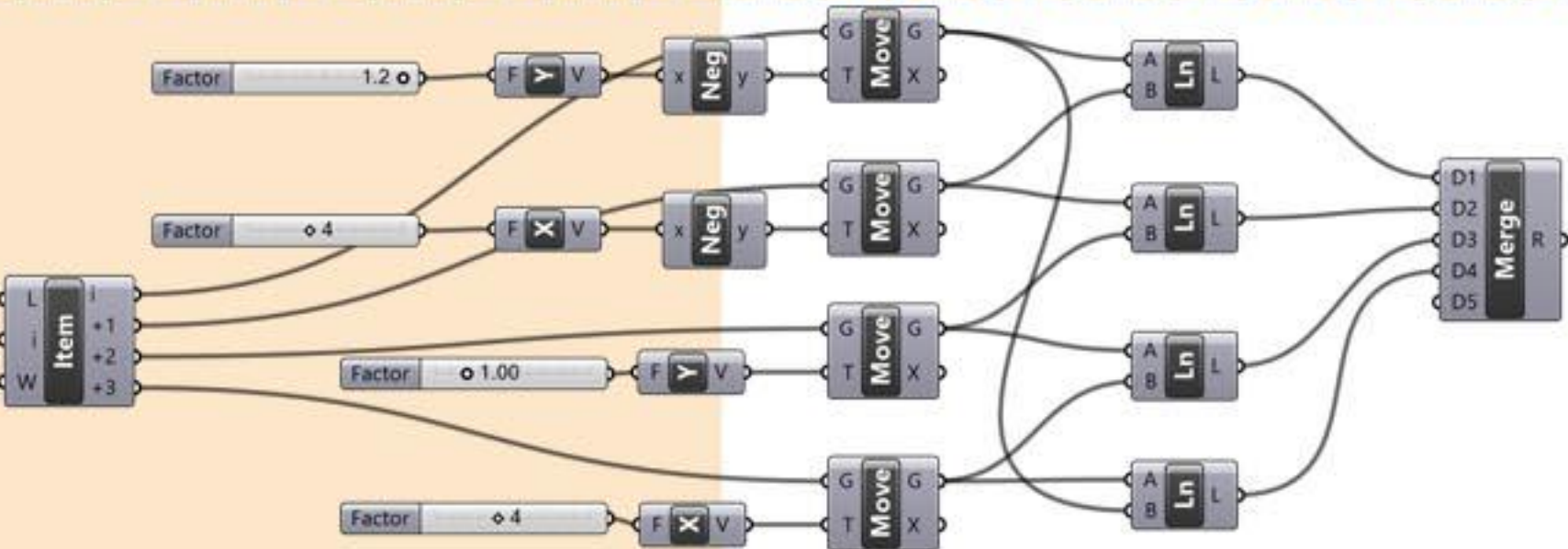


Σύνθεση Κελύφους

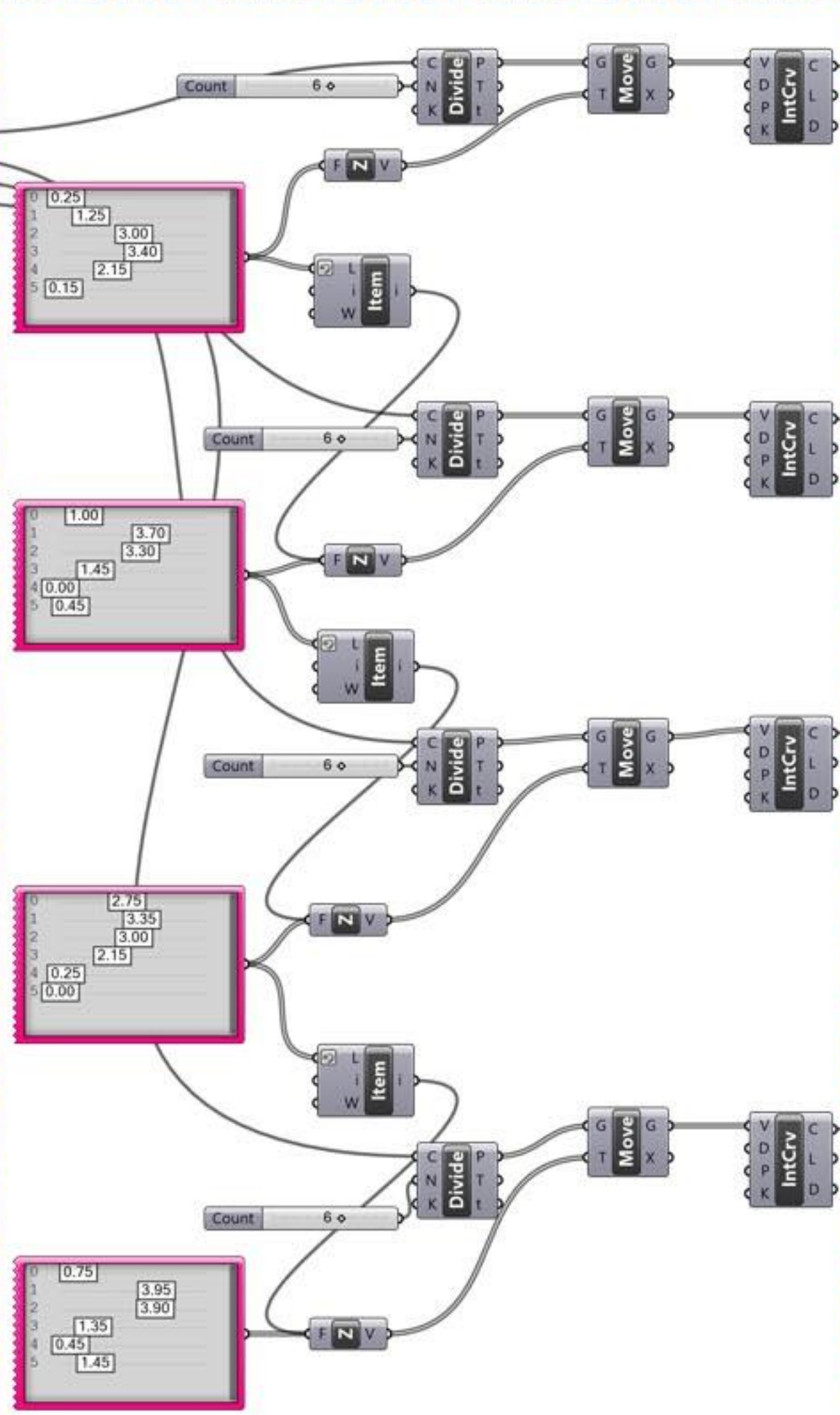
Προσαρμογή Διαστάσεων
(Μονάδα μέτρησης: μέτρα)



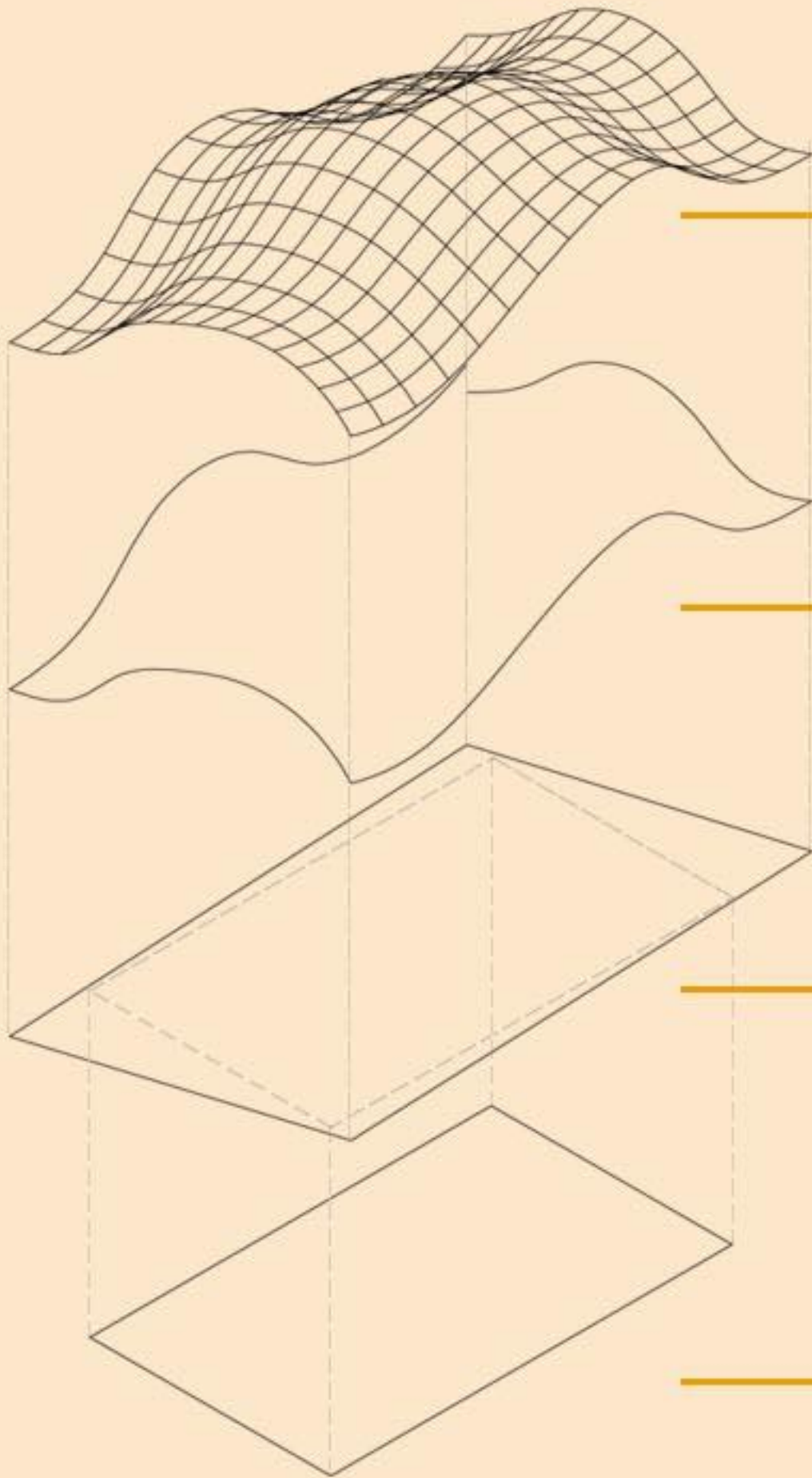
Μετακίνηση Ακμών



Δημιουργία ανοιγμάτων



Επιφάνεια



Τελική Επιφάνεια

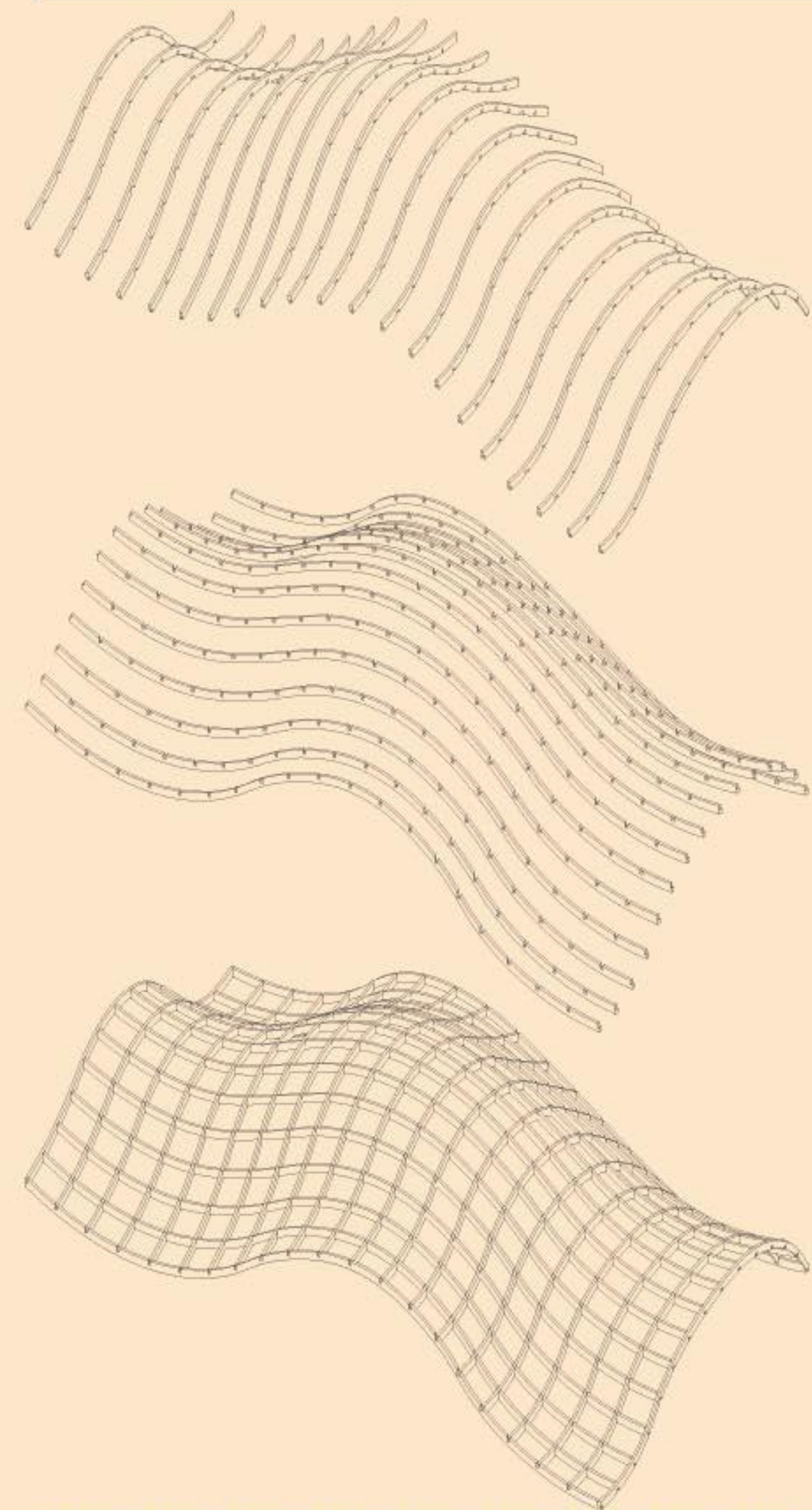
Δημιουργία ανοιγμάτων (gene pool component)

Μετακίνηση Ακμών (Έμφαση Κίνησης)

Προσαρμογή Διαστάσεων Κελύφους (μήκος, πλάτος)

Κέλυφος

Στόχος της δημιουργίας του Κελύφους είναι μια ελαφριά, αρθρωτή κατασκευή που θα ακολουθεί την κινησιολογία του κινητού χωροδουκτωμάτος.



Αριθμός Μελών, Πλάτος

Αριθμός Μελών, Μήκος

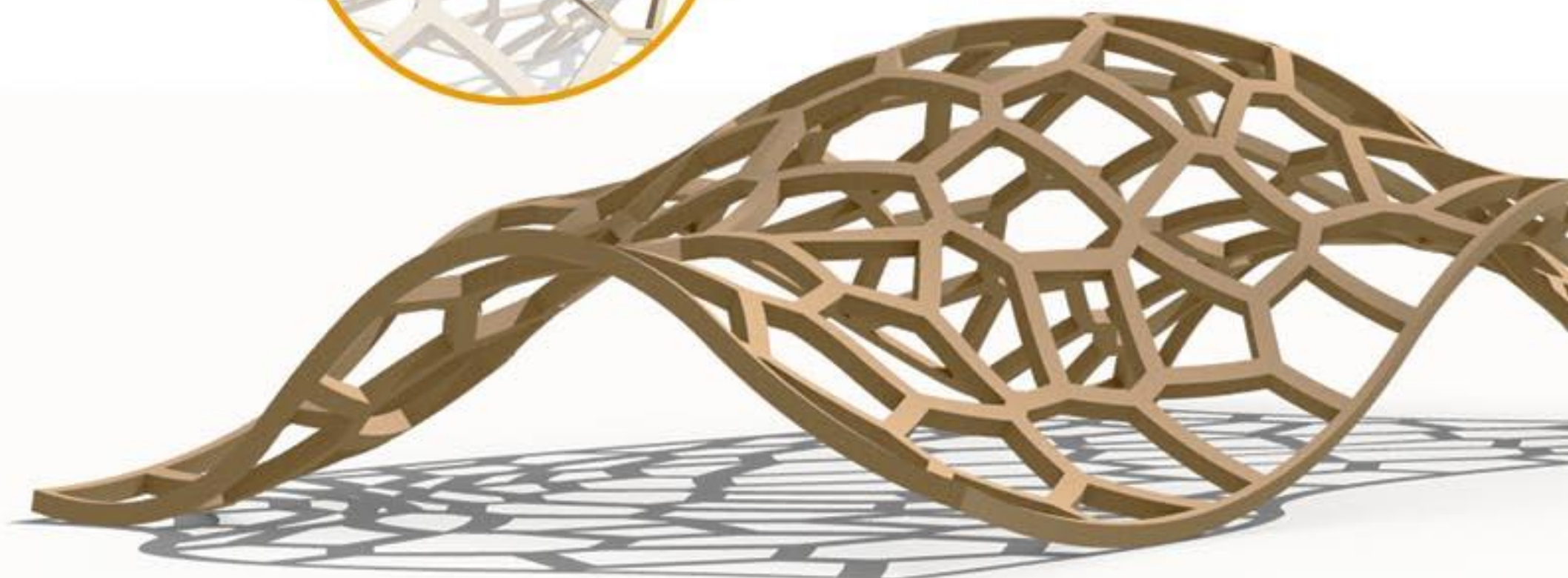
Ύψος Ξύλου

Πάχος Ξύλου

Finger Joint Connection

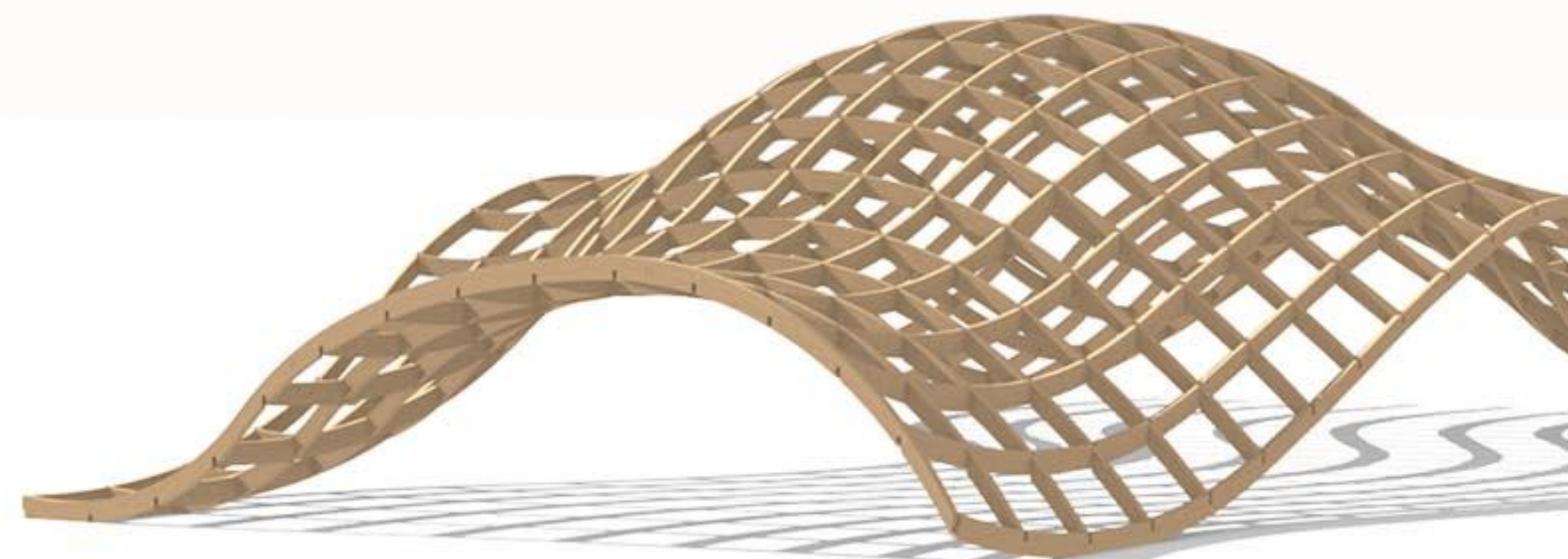


Voronoi cells



-Η κυτταρική μέθοδος νογονοί, αν και πιο κοντά στη βιολογική μέθοδο δημιουργίας κελύφους δίνει μια στατική και κλειστή αίσθηση στο κέλυφος, και έρχεται σε αντίθεση με την πρόθεσή μου.

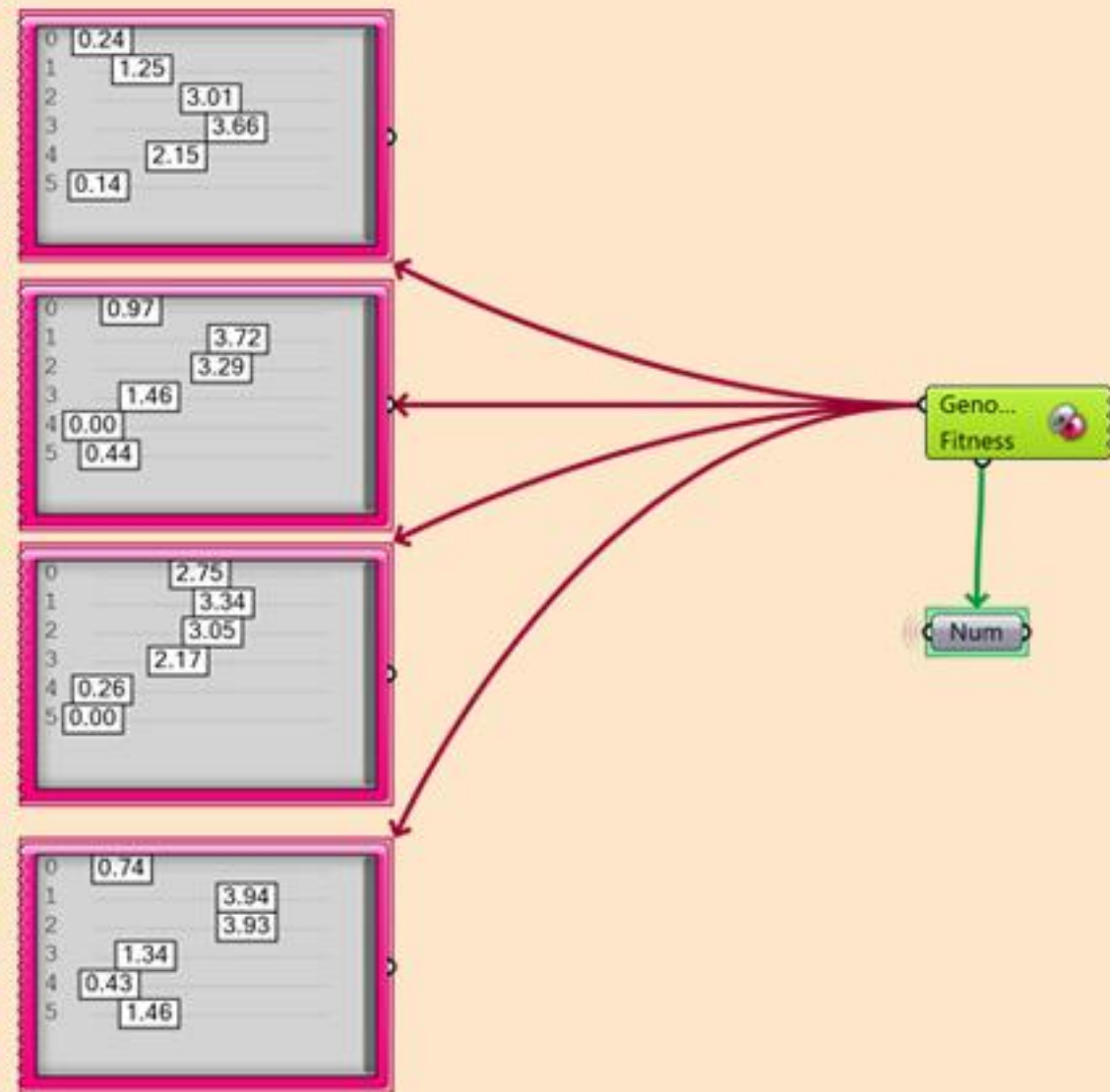
Waffle Structure



-Η κατασκευαστική μέθοδος που ακολουθείται είναι αυτή της βάφλας (waffle structure) καθώς η γραμμικότητα που προσφέρει δίνει έμφαση στο βασικό ζητούμενο που είναι η κίνηση.

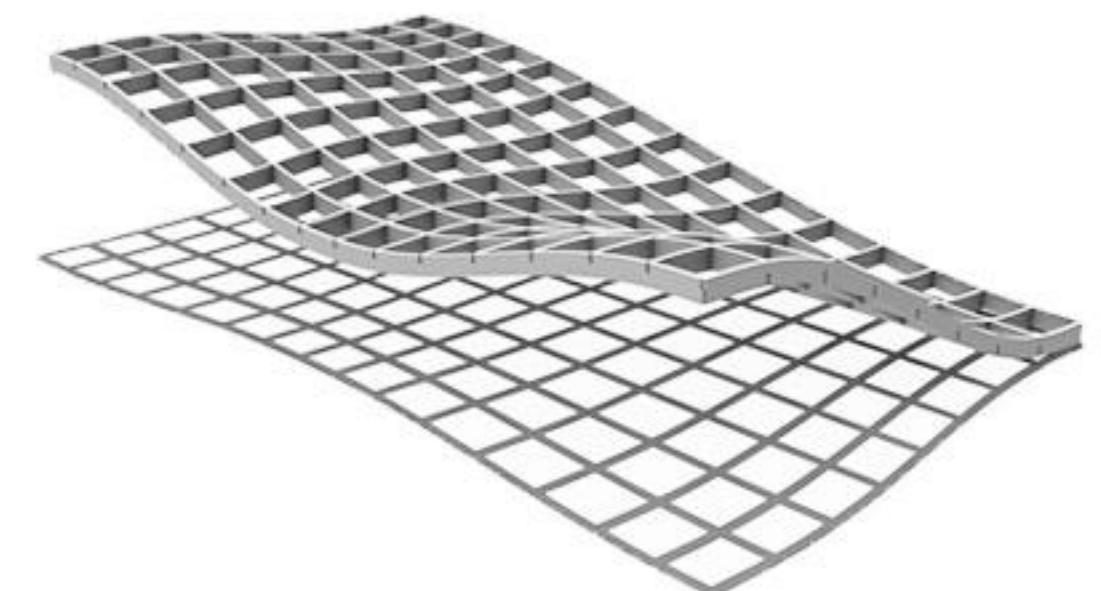
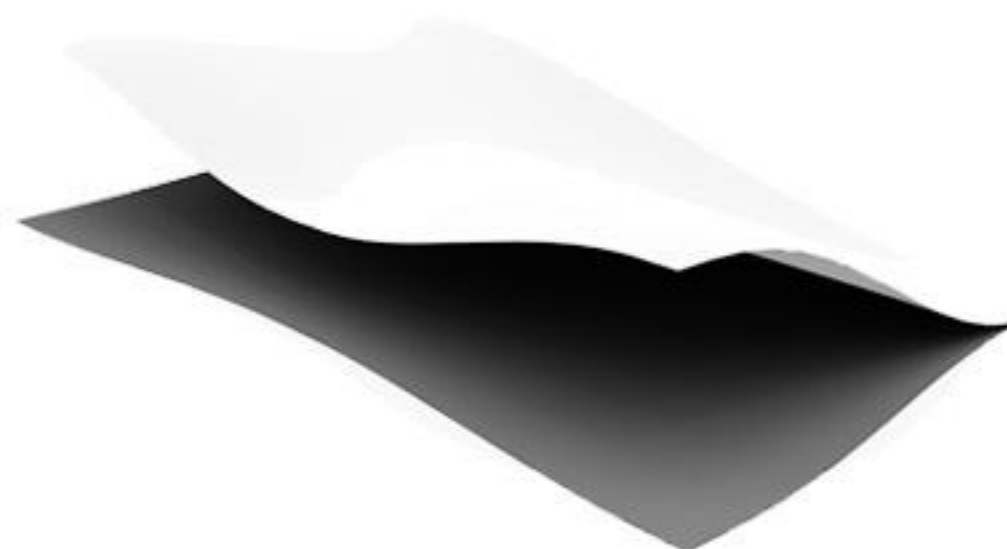
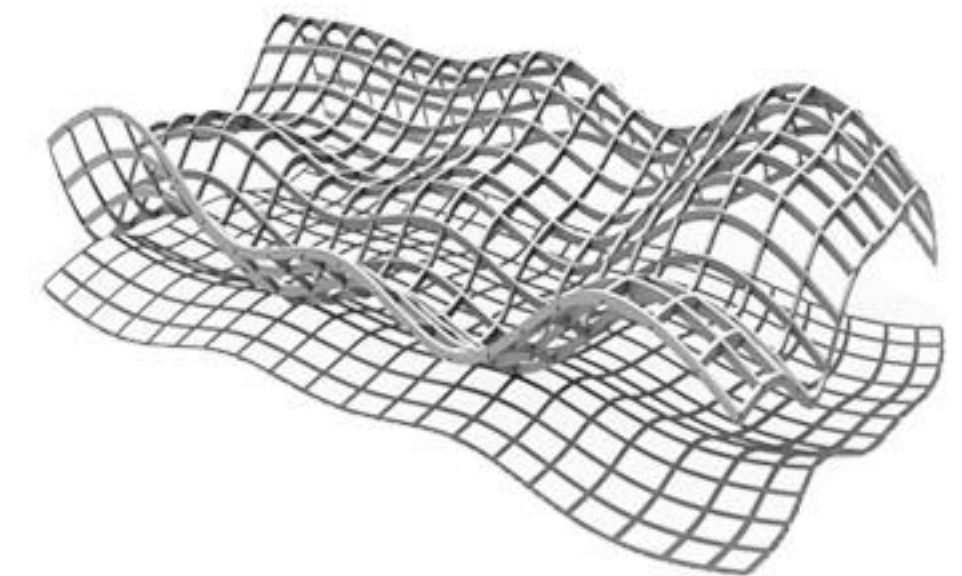
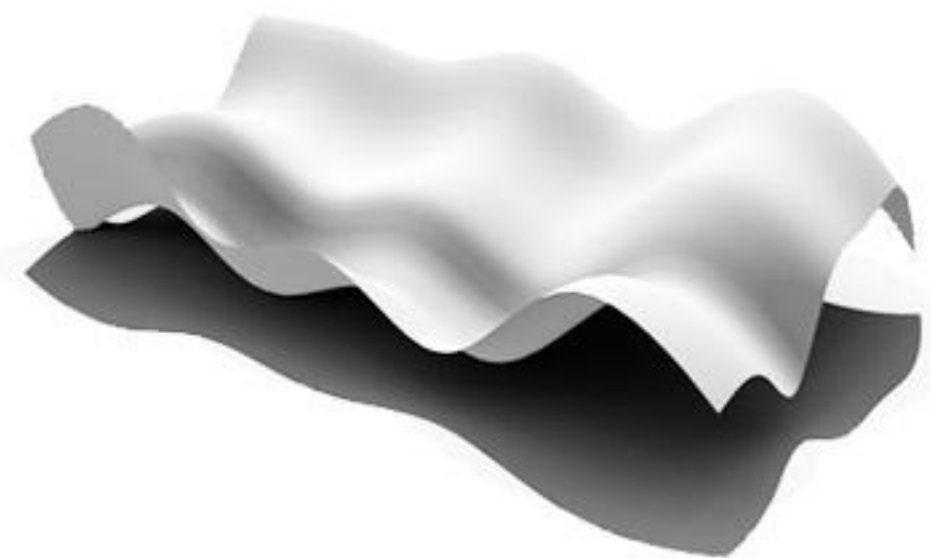
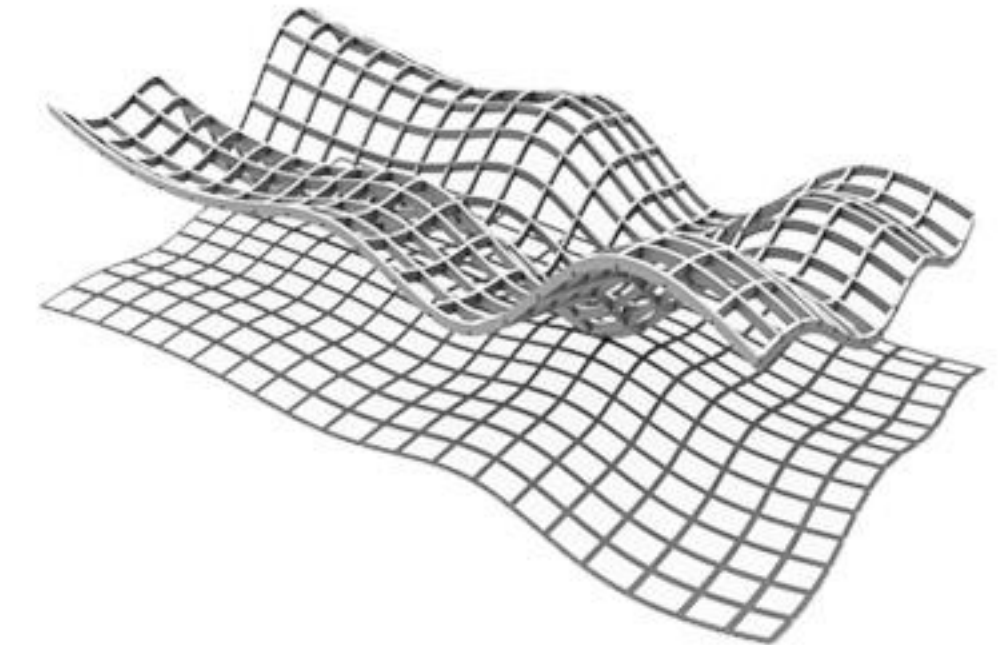
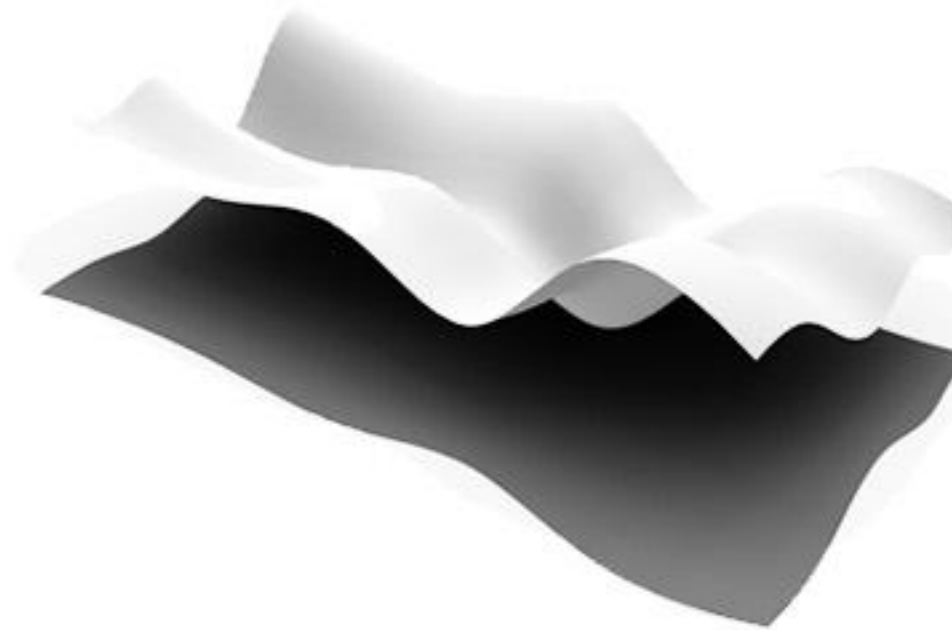
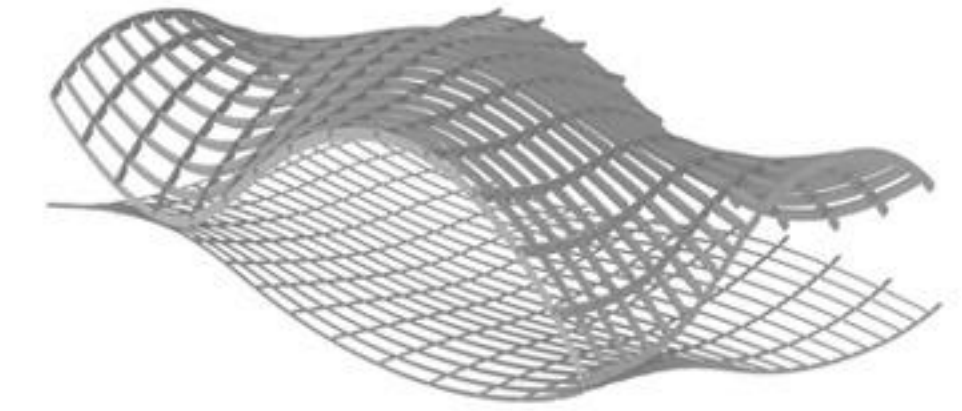
Προσαρμόσιμη Μορφολογία

-Προσαρμόσιμη γεωμετρία μέσω γενετικού
σχεδιασμού



Επιφάνεια

Κατασκευή

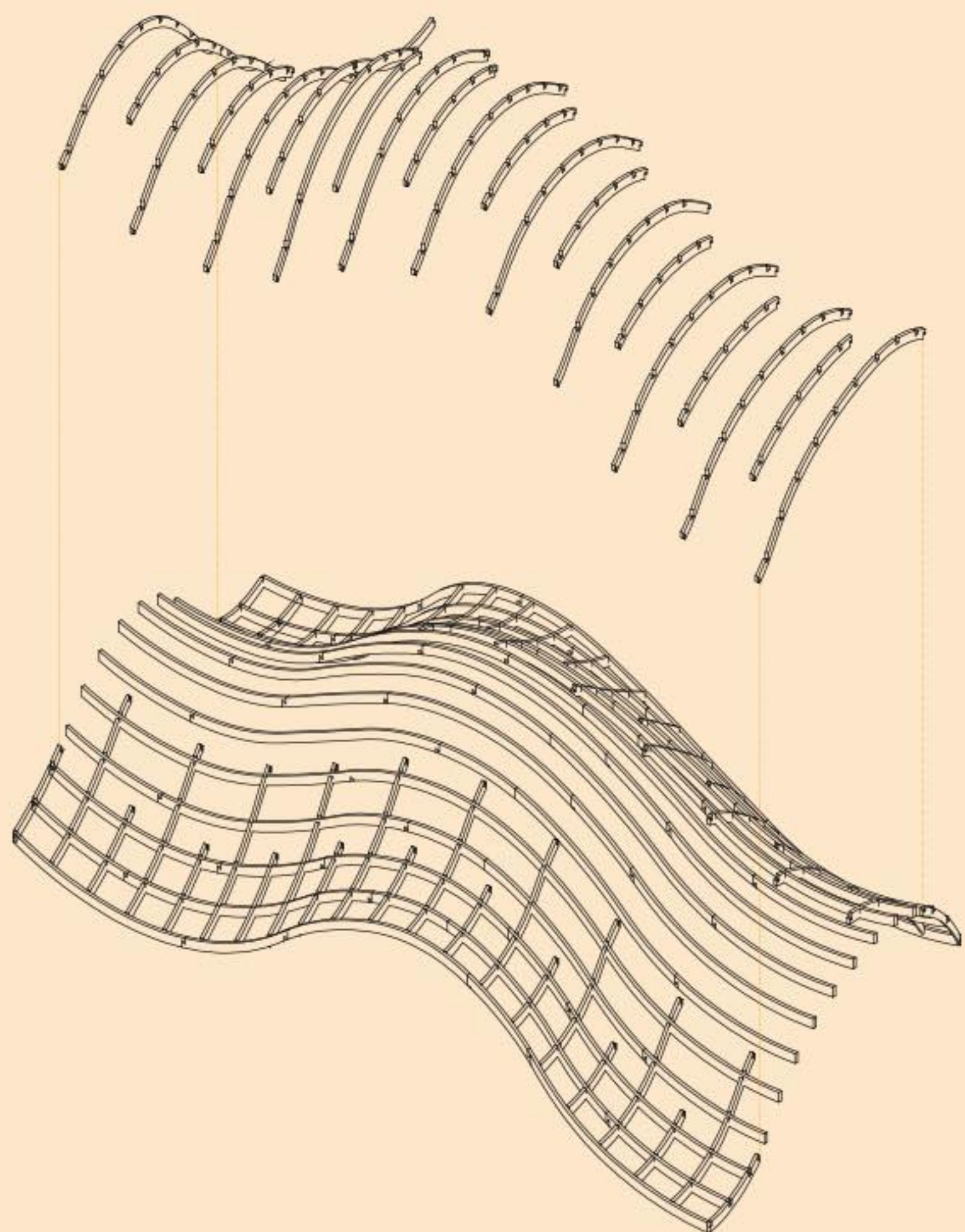


Κέλυφος

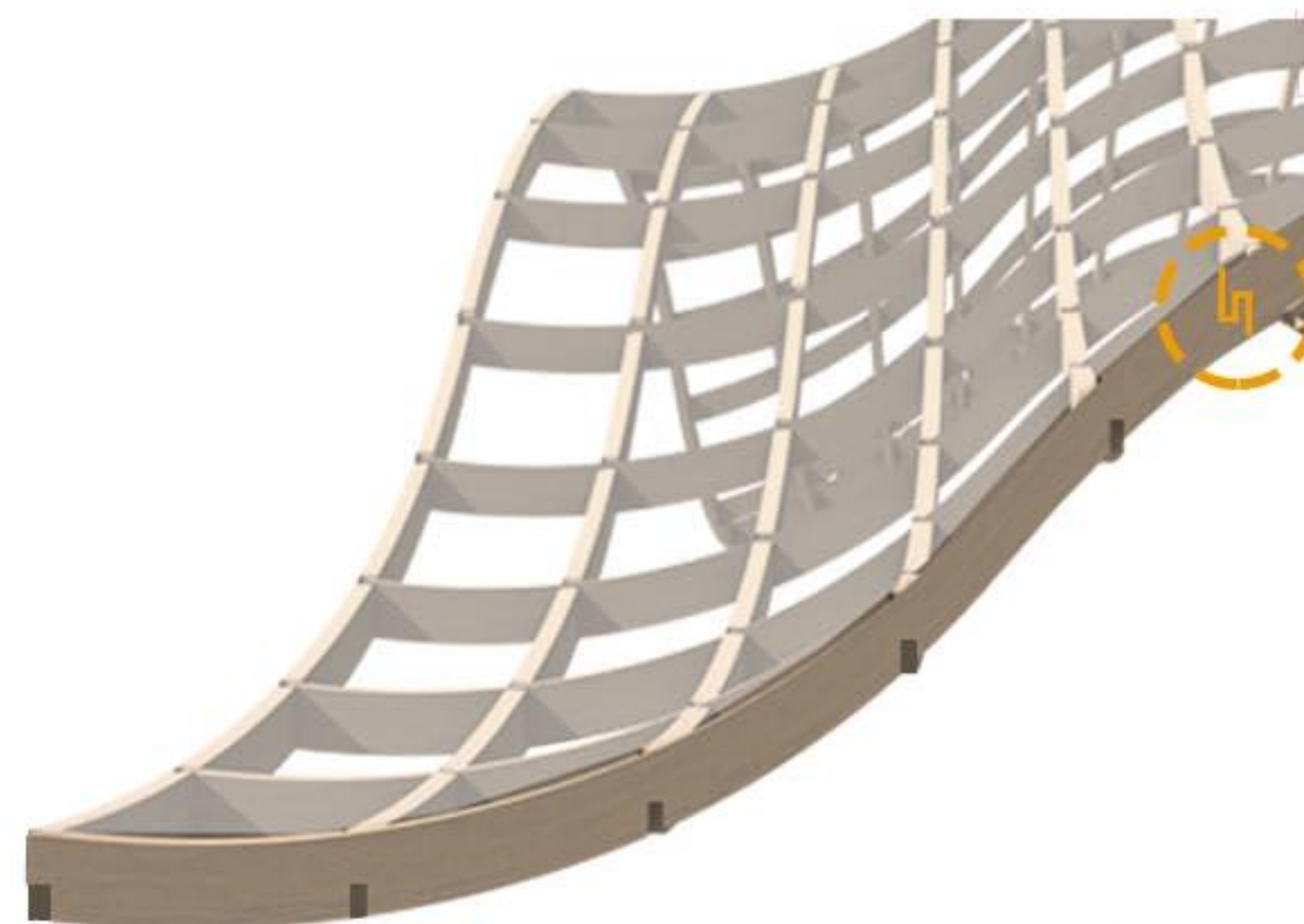
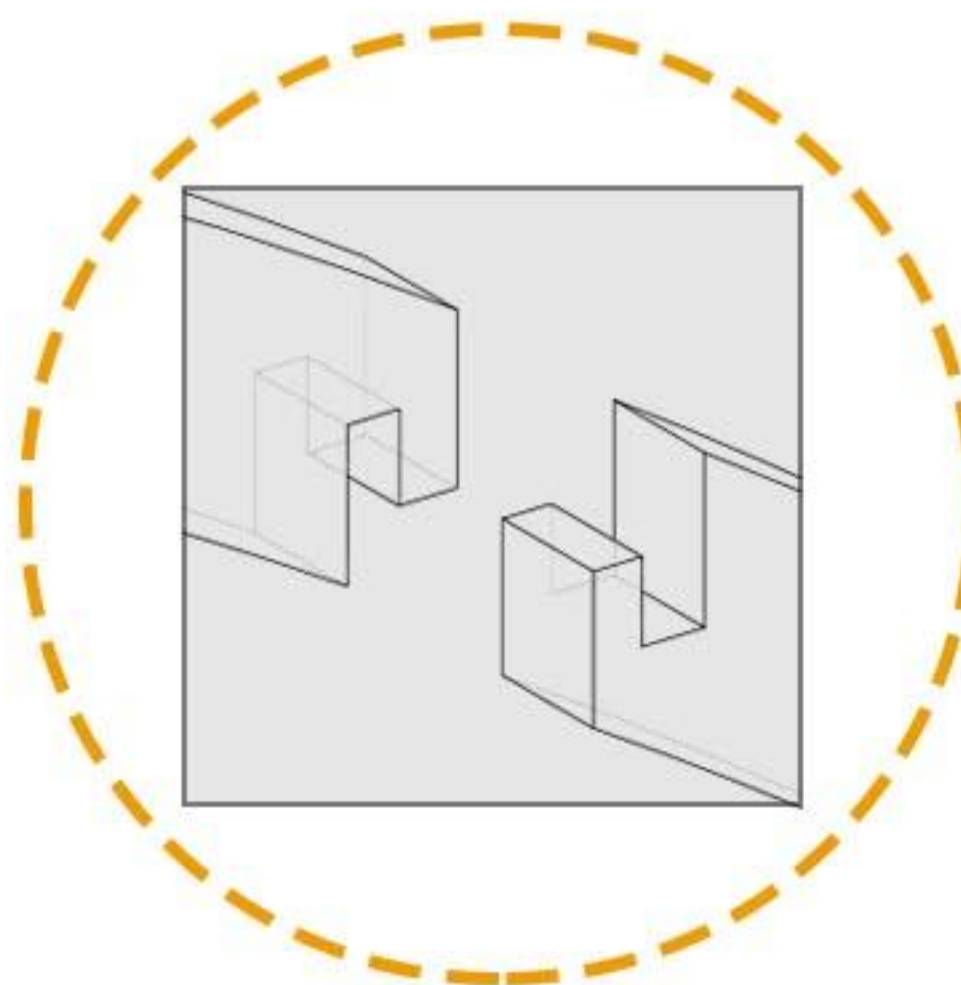
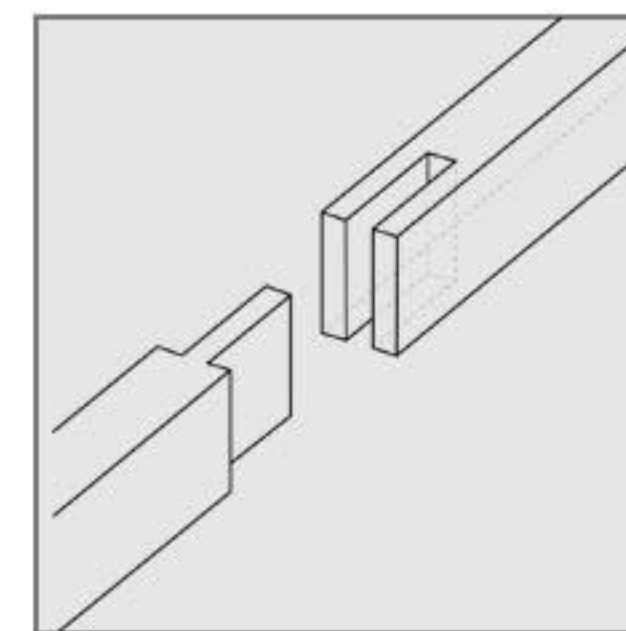
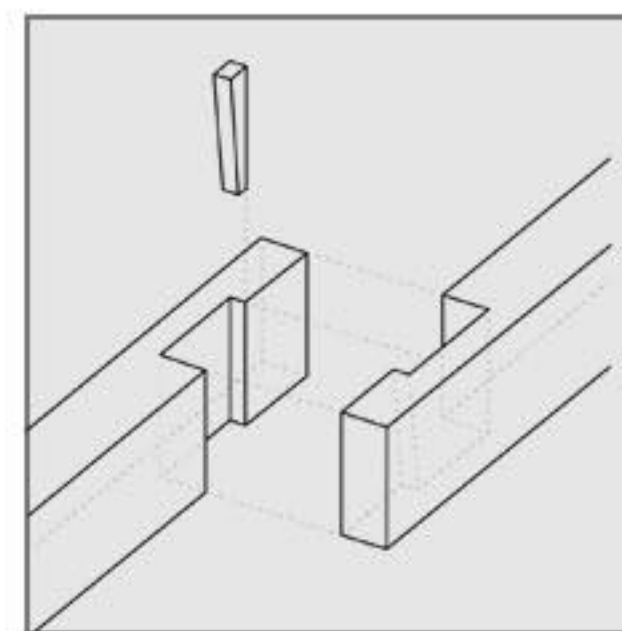
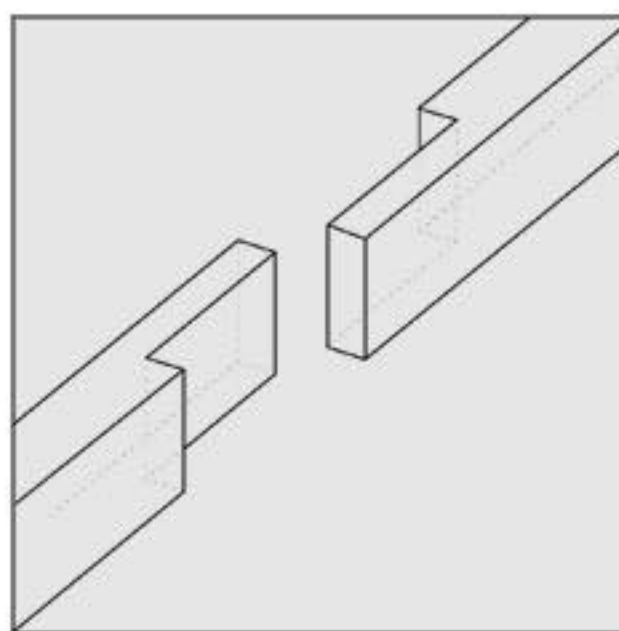
Συνδέσεις

-Προκειμένου η κατασκευή να μπορεί να μεταφερθεί εύκολα και να αποθηκευτεί έγινε παραπάνω διαμελισμός των μελών , που συνδέονται αρθρωτά με S Joint.

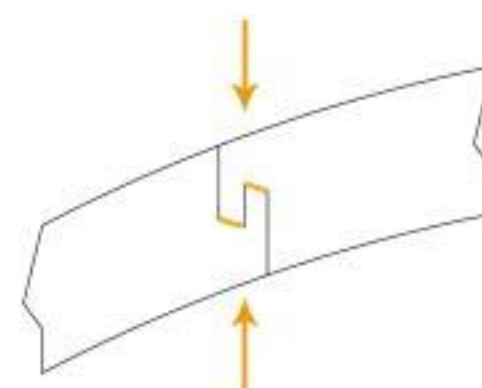
Υλικό: Κόντρα πλακέ 10cm



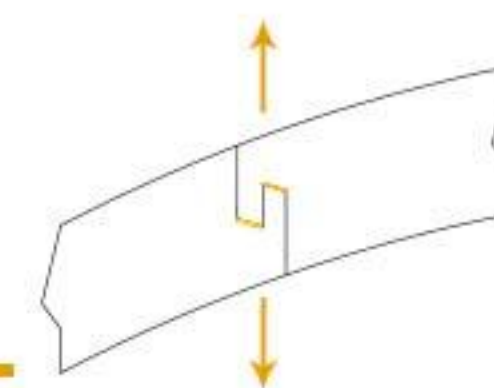
Timber Joint Selection



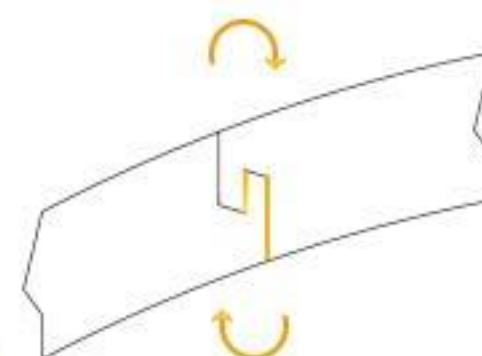
Θλίψη



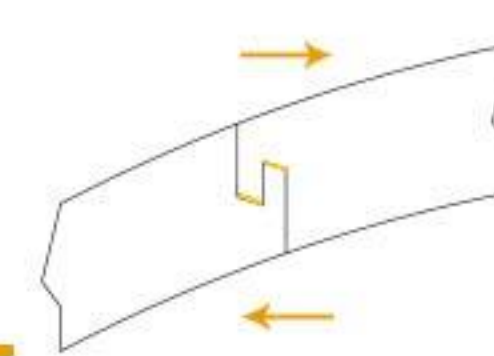
Τάση



Στρέψη



Διάτμηση



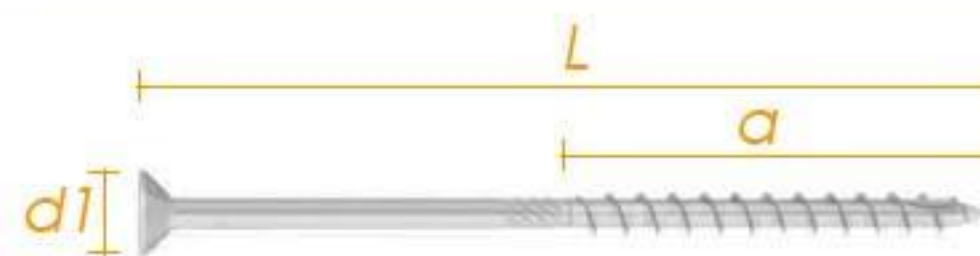
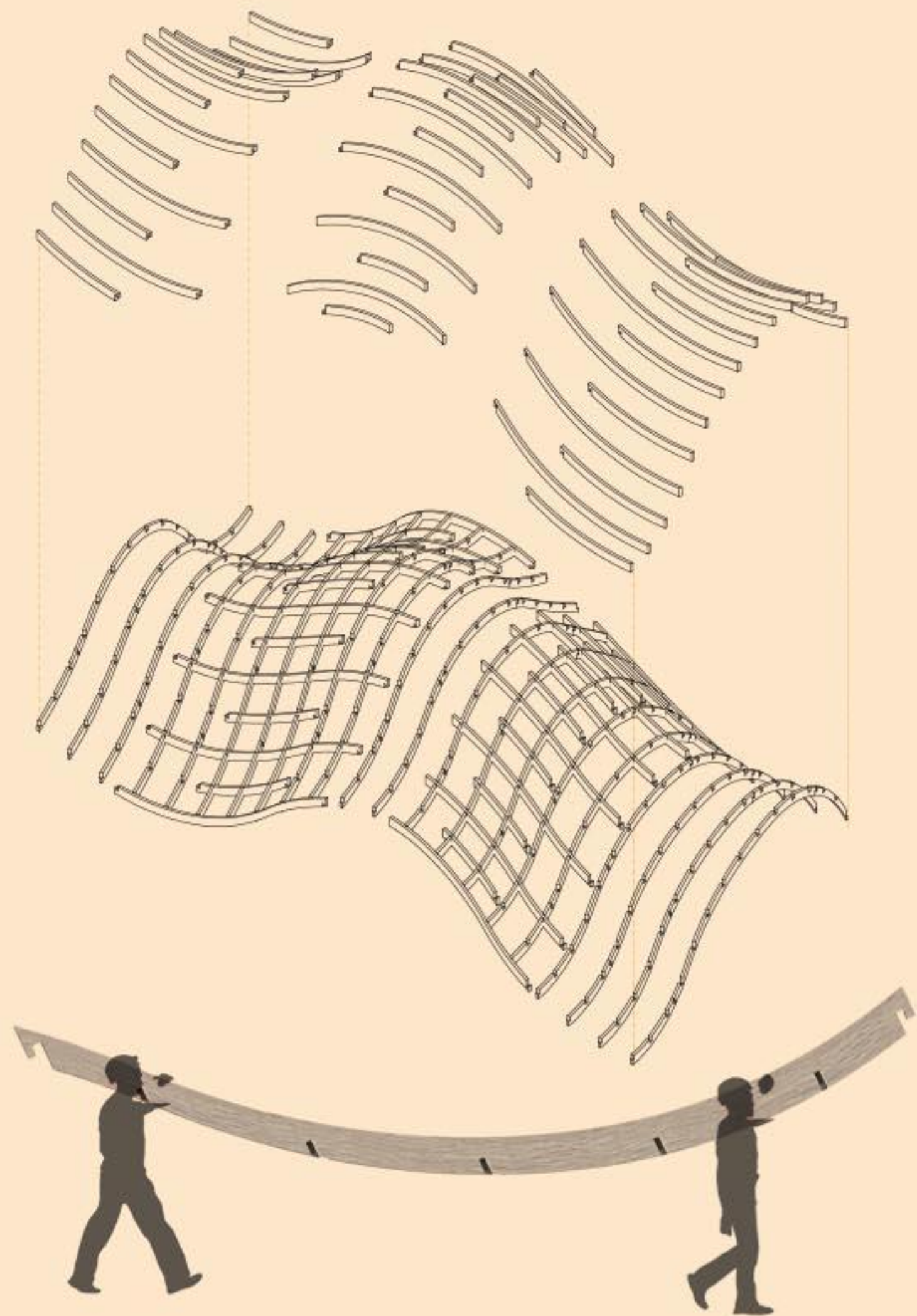
Κέλυφος

Συνδέσεις

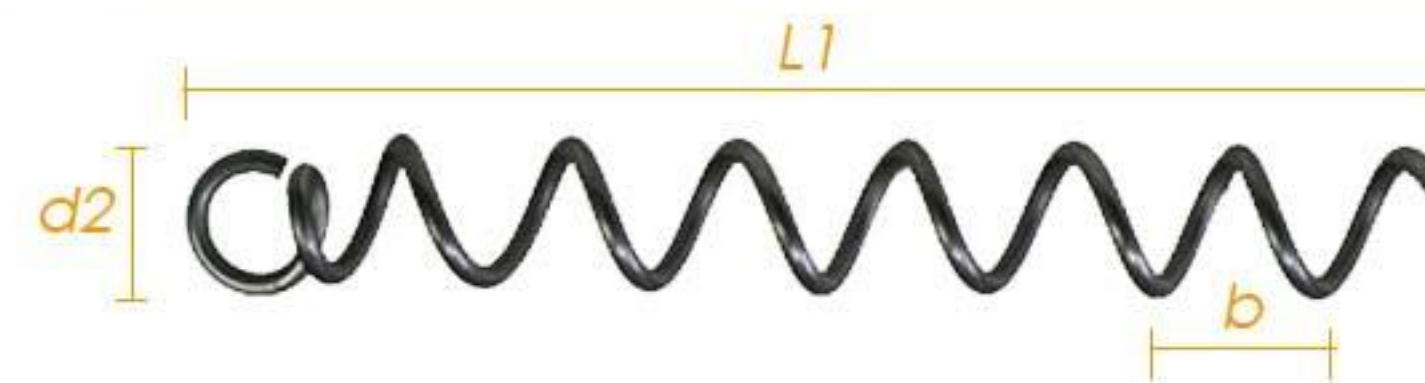
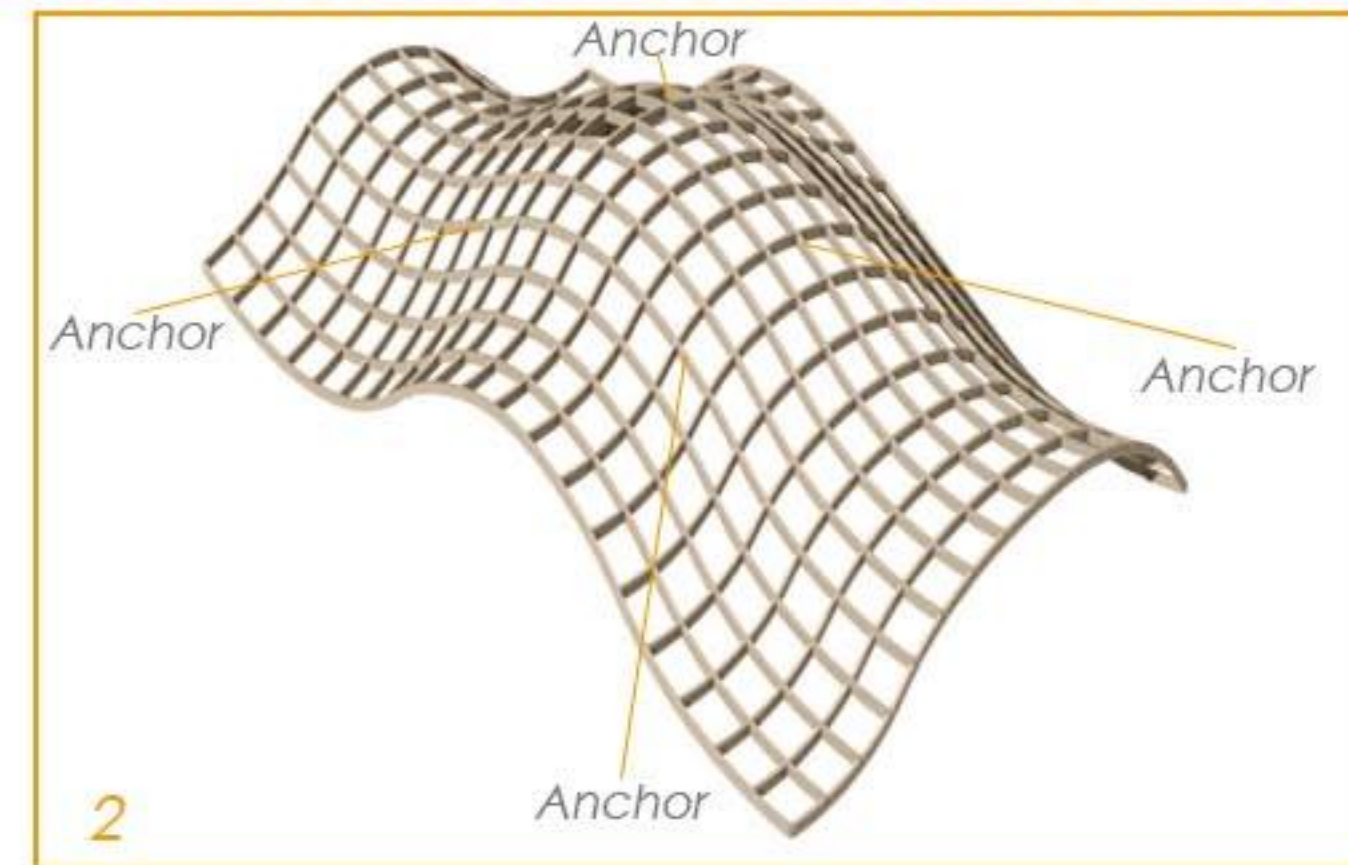
-Για μεγαλύτερη σταθερότητα, γίνεται η σύνδεση των μελών της κατασκευής και με βίδες.[1]

-Η αγκύρωση στο έδαφος γίνεται για μεγαλύτερη ασφάλεια.[2]

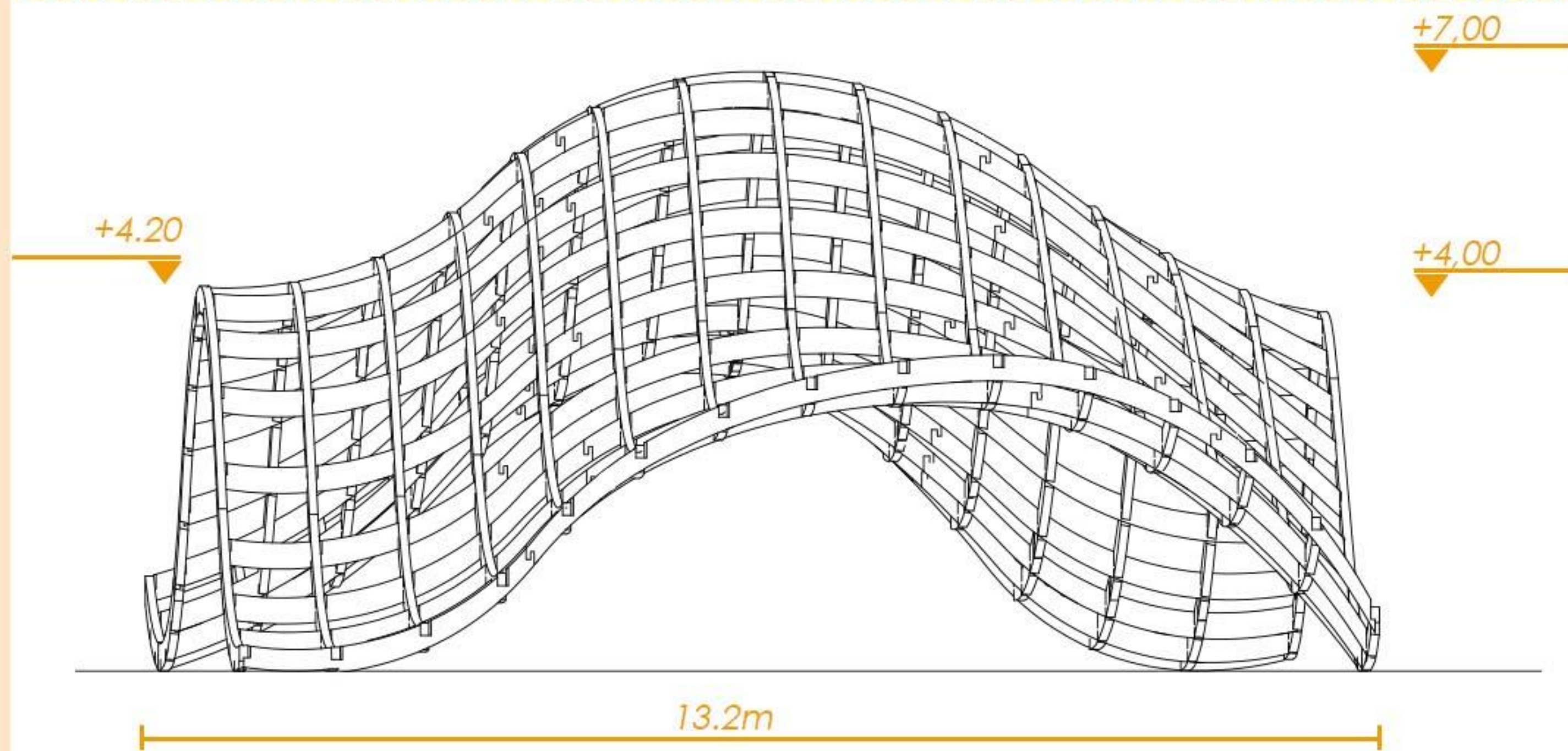
-Το μεγαλύτερο μέλος της αρθρωτής κατασκευής φτάνει τα 6,50 μέτρα και ζυγίζει περίπου 9 κιλά.



HBS + ενο Βίδες με κωνική κεφαλή
Υλικό: Ανθρακοχάλυβας με ενίσχυση revodip
Φ5
L: 100mm
a: 60mm
d1: 7mm



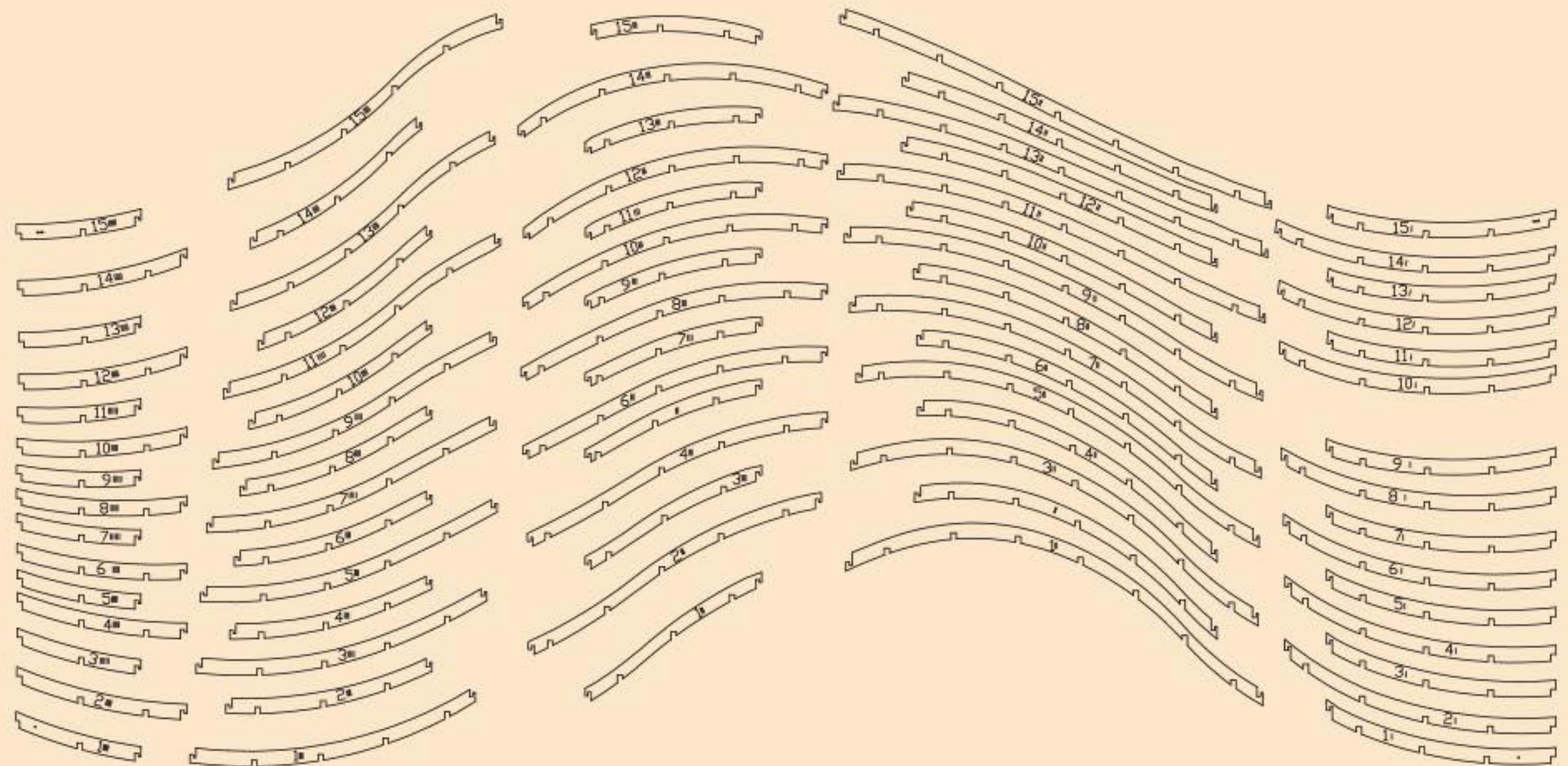
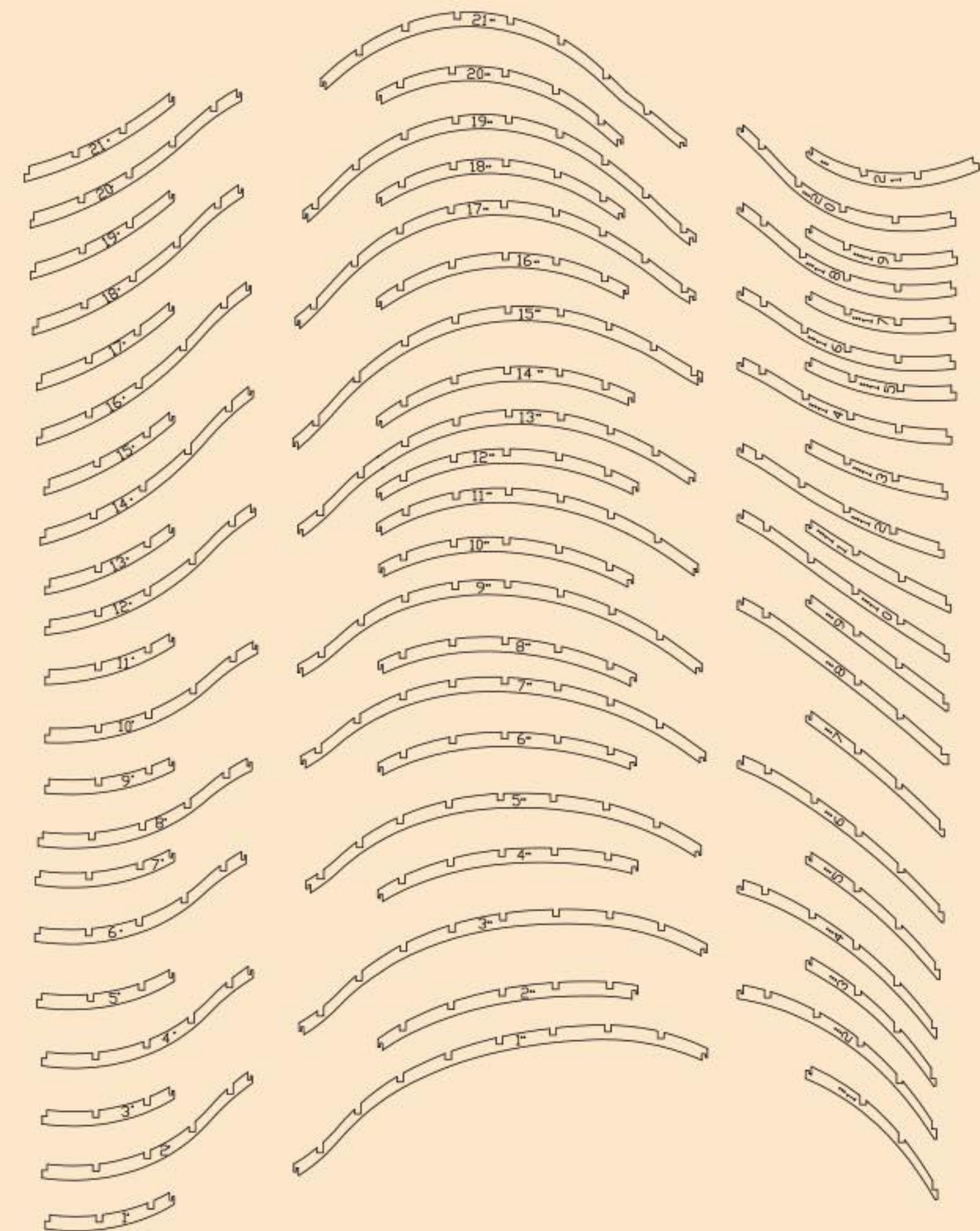
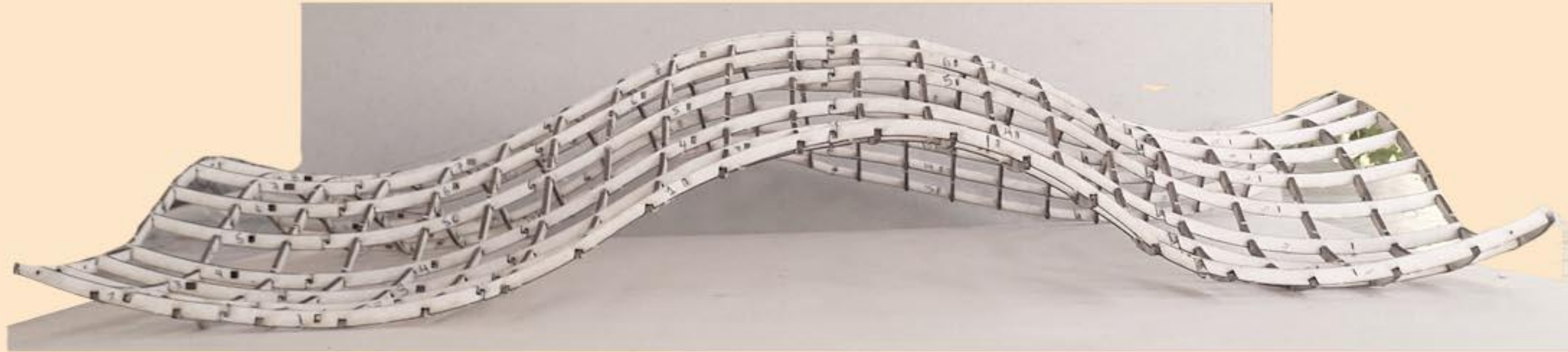
Ground Anchor
L1= 220mm
b= 48mm
d2= 32mm
Διάμετρος Σχοινιού 8mm



Fabrication

-Συνολικά το κέλυφος αποτελείται απο 138 μοναδικά μέλη -**Ετερογένεια** (63 μήκος + 75 πλάτος)

-Υλικό μακέτας: ψίχα 2mm



Χωροδικτύωμα Κατακόρυφη Κίνηση

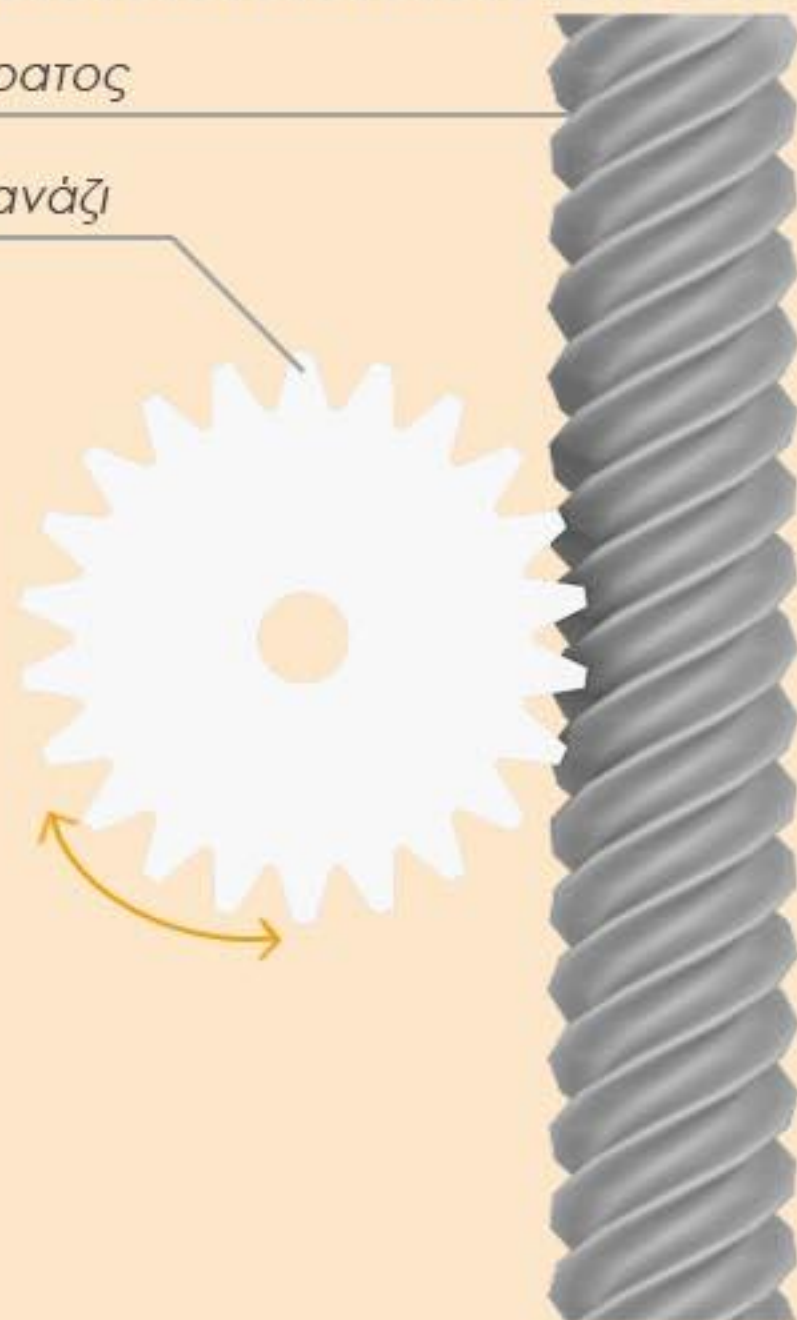
DC motor 24 V



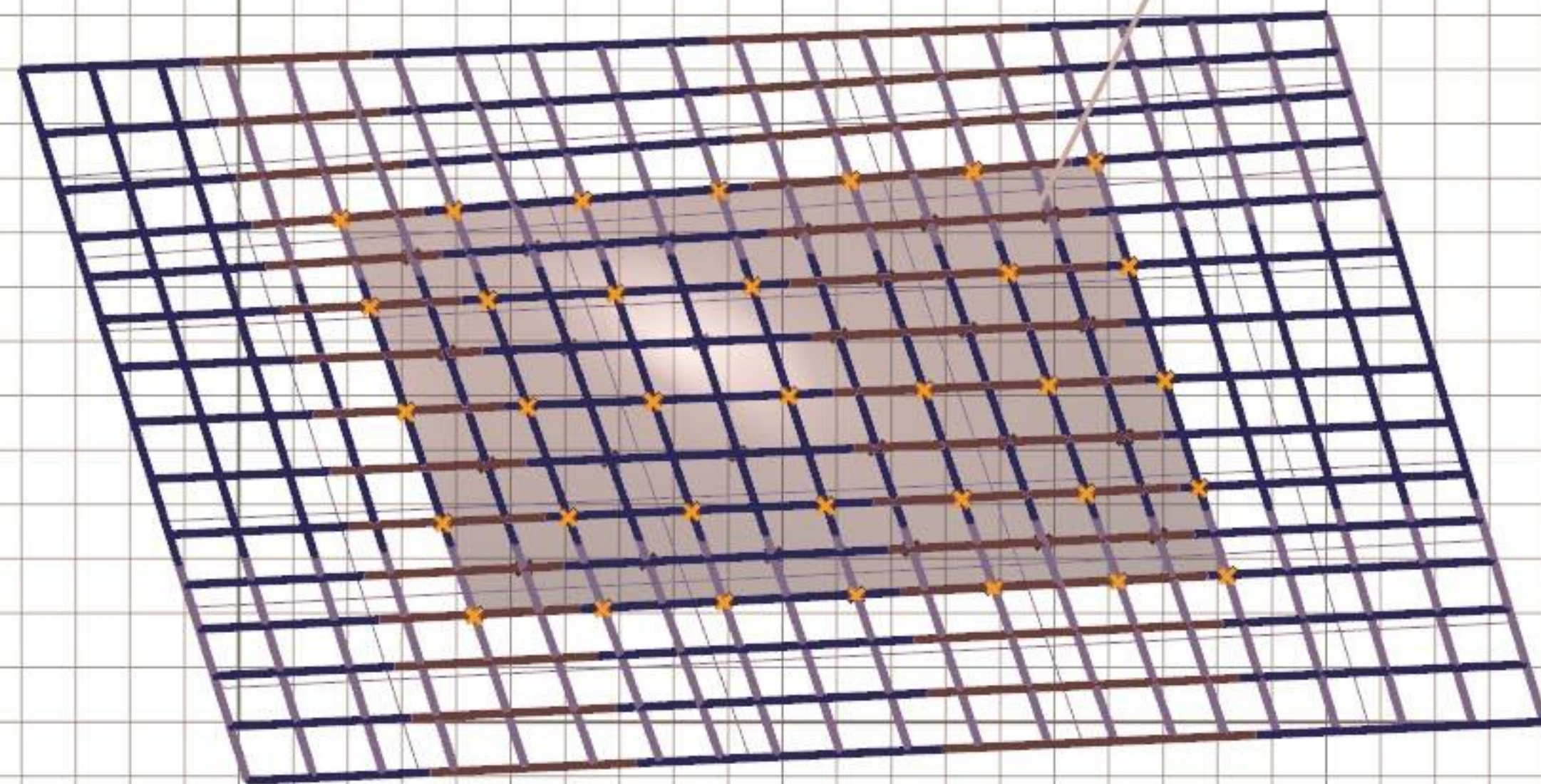
Μηχανισμός

Άτρατος

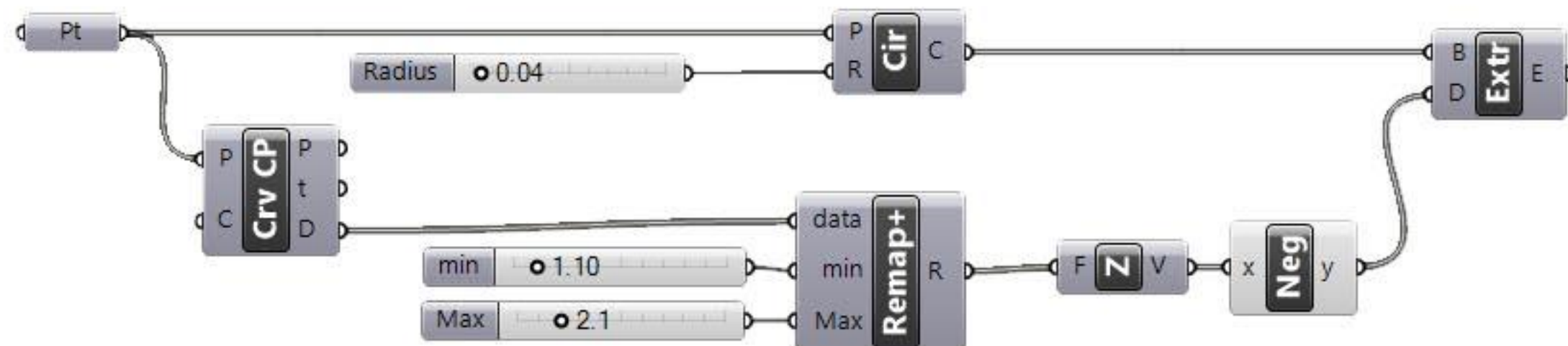
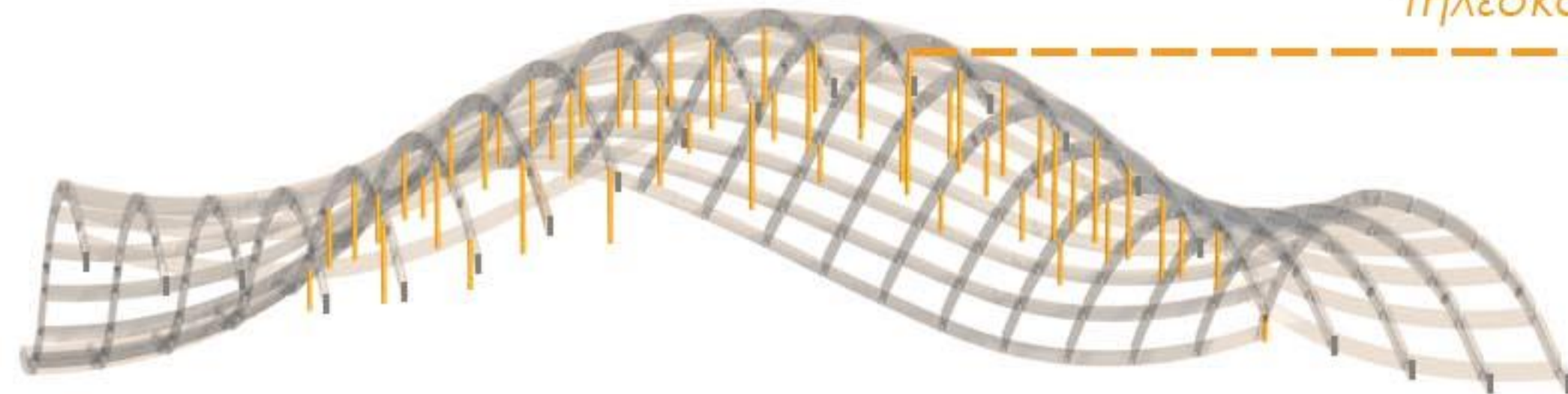
Γρανάζι



Χωροδικτύωμα



Τηλεσκοπική Ράβδος

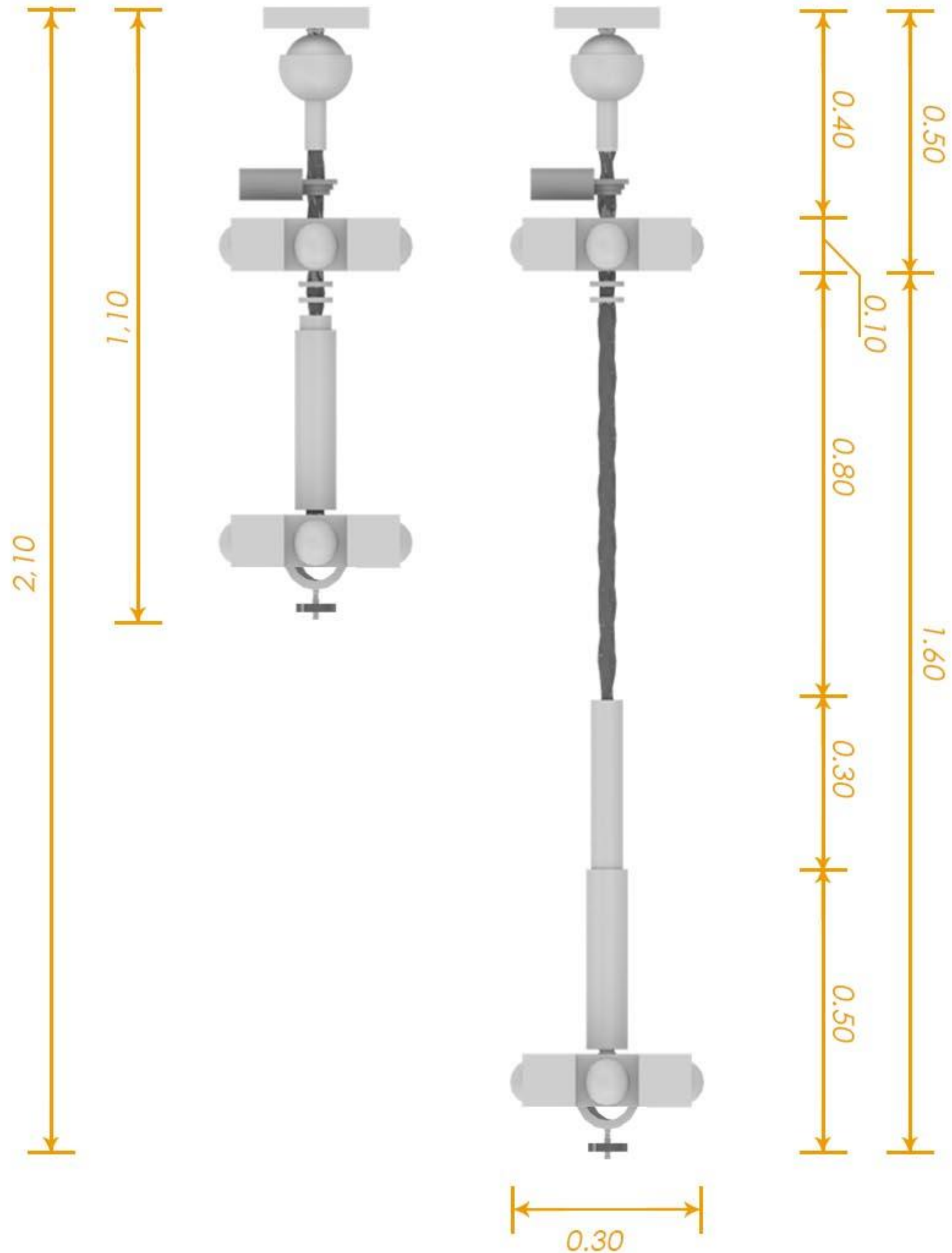
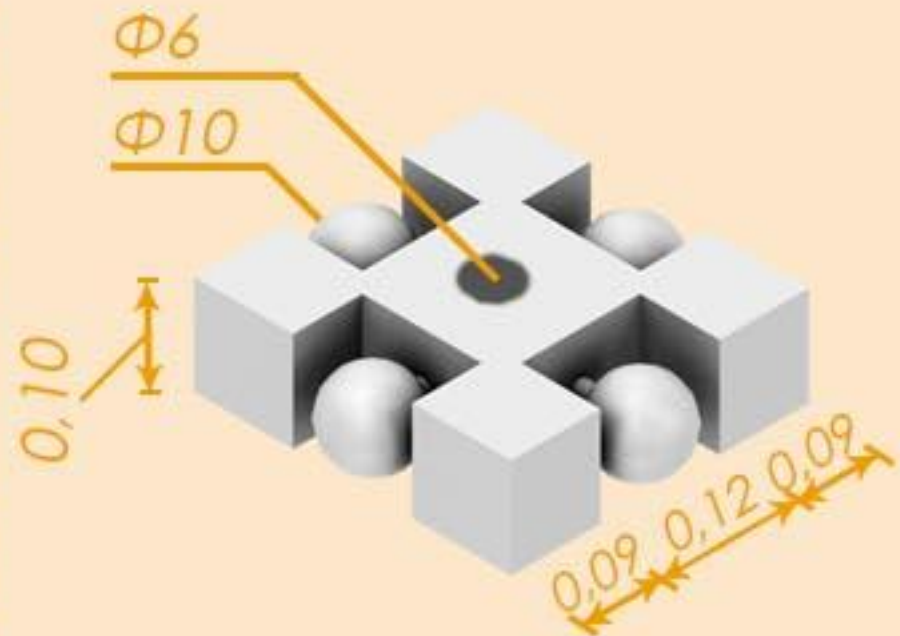
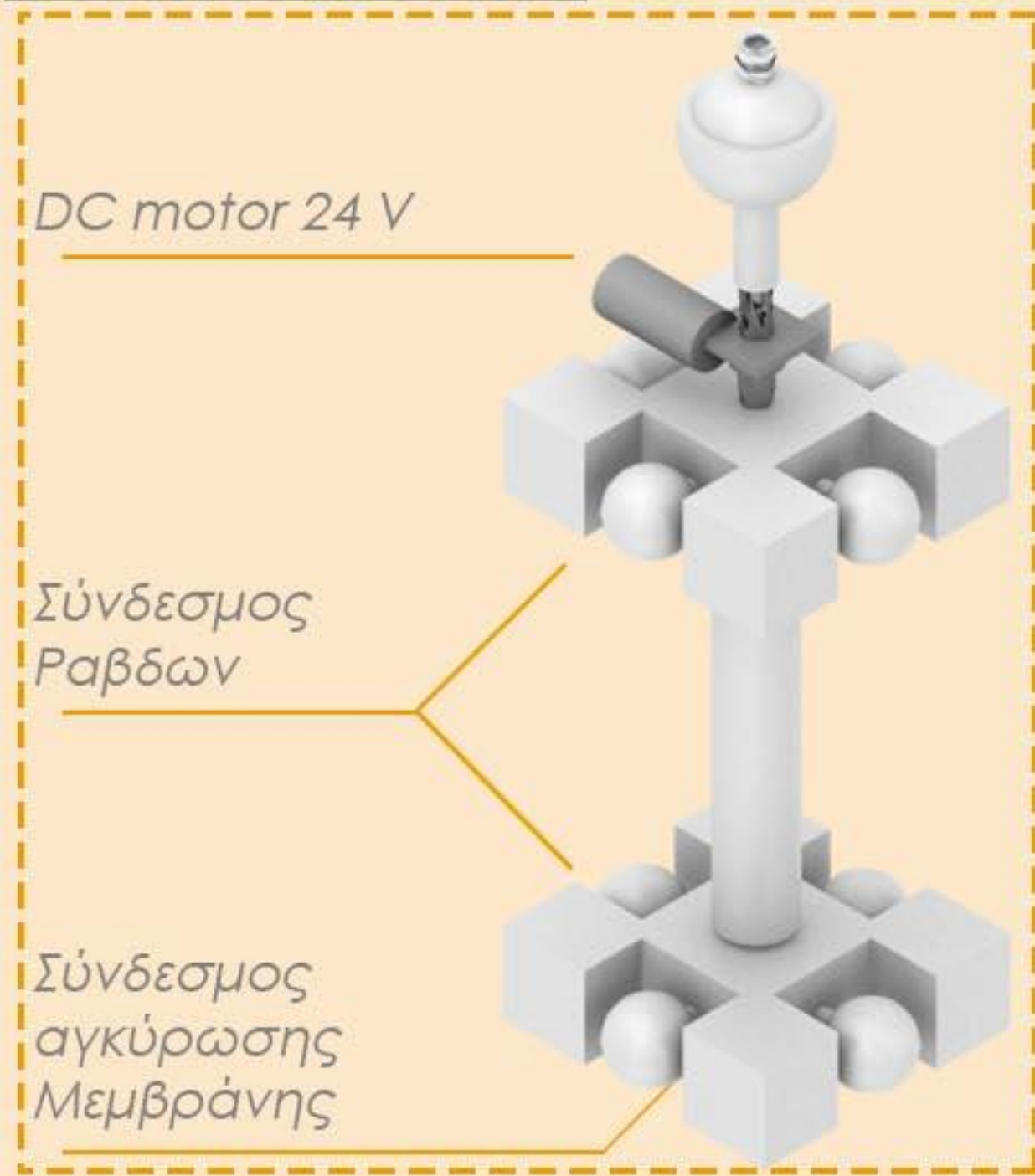


Κατακόρυφη Κίνηση

Αγκύρωση Ράβδου στην Κατασκευή

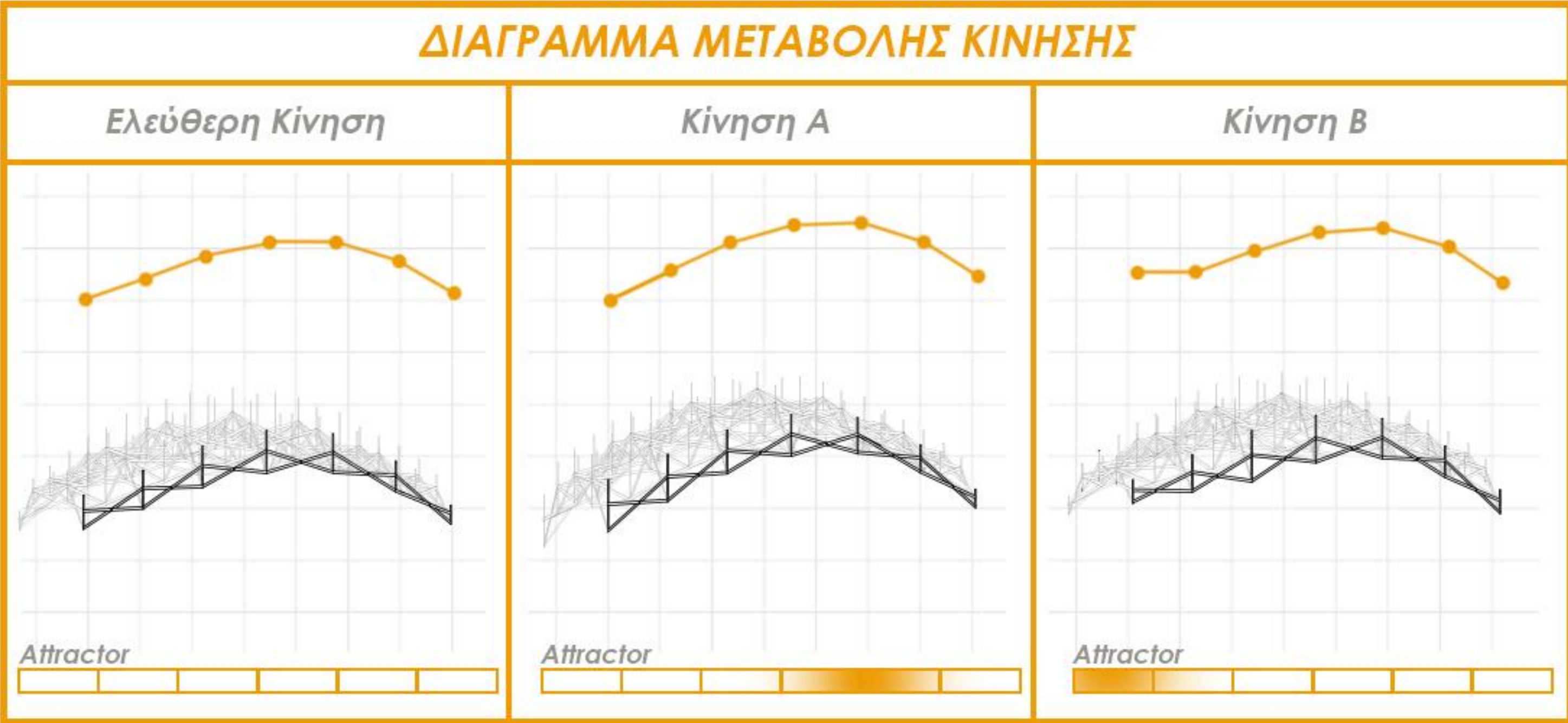
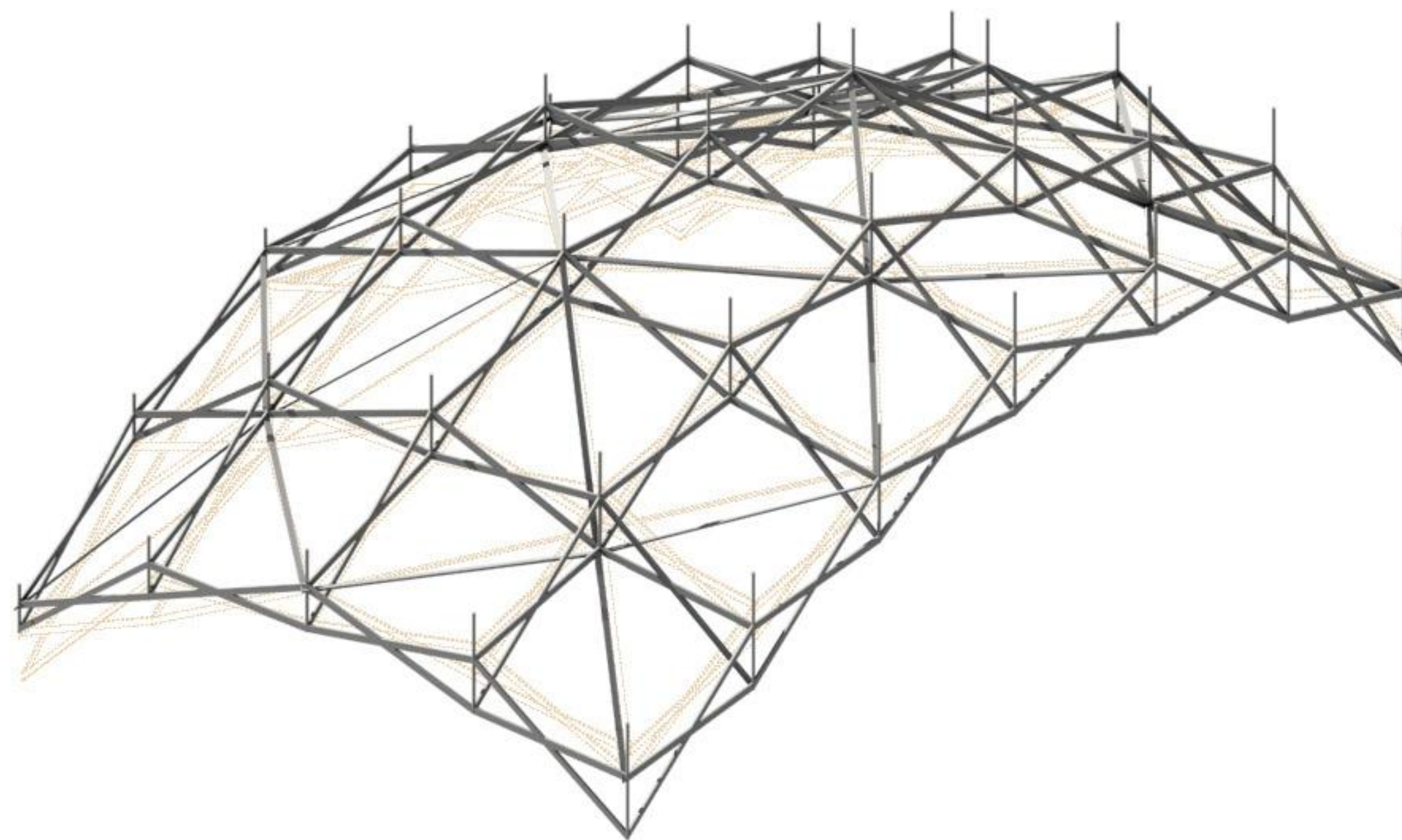
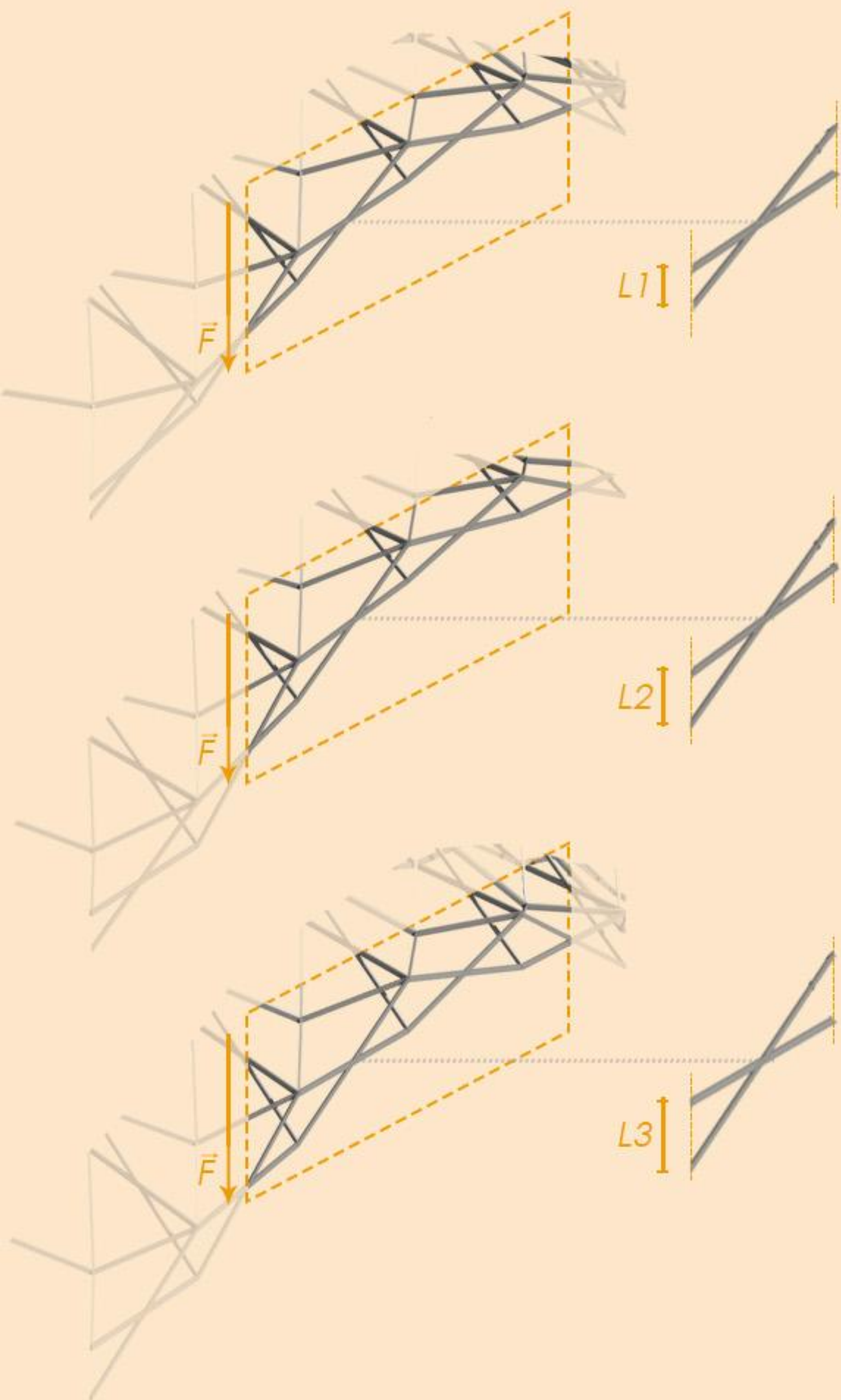


Telescopic spindle unit



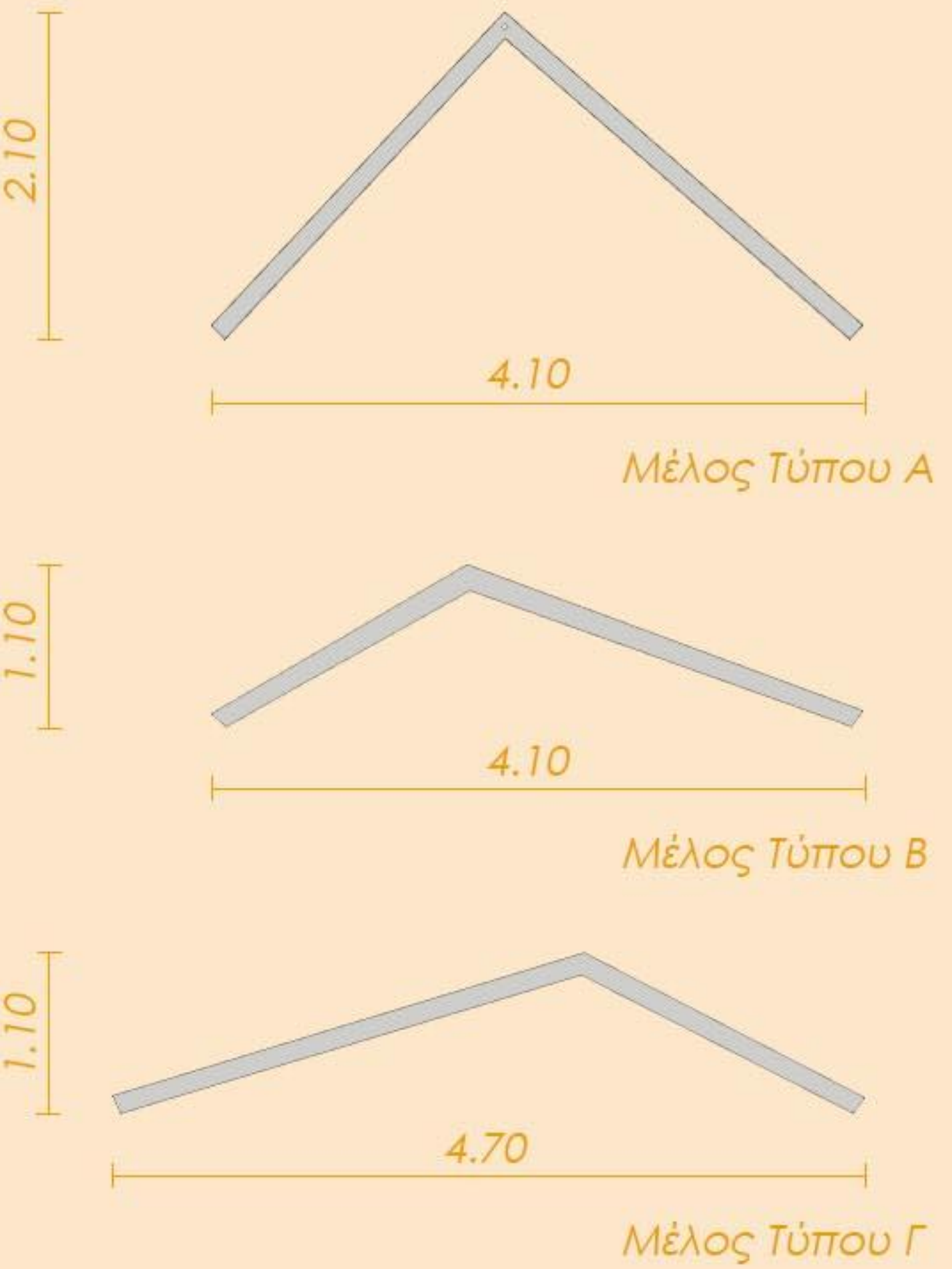
Χωροδικτύωμα

Μεταβολή Χωροδικτυώματος



Χωροδικτύωμα

Συνδέσεις



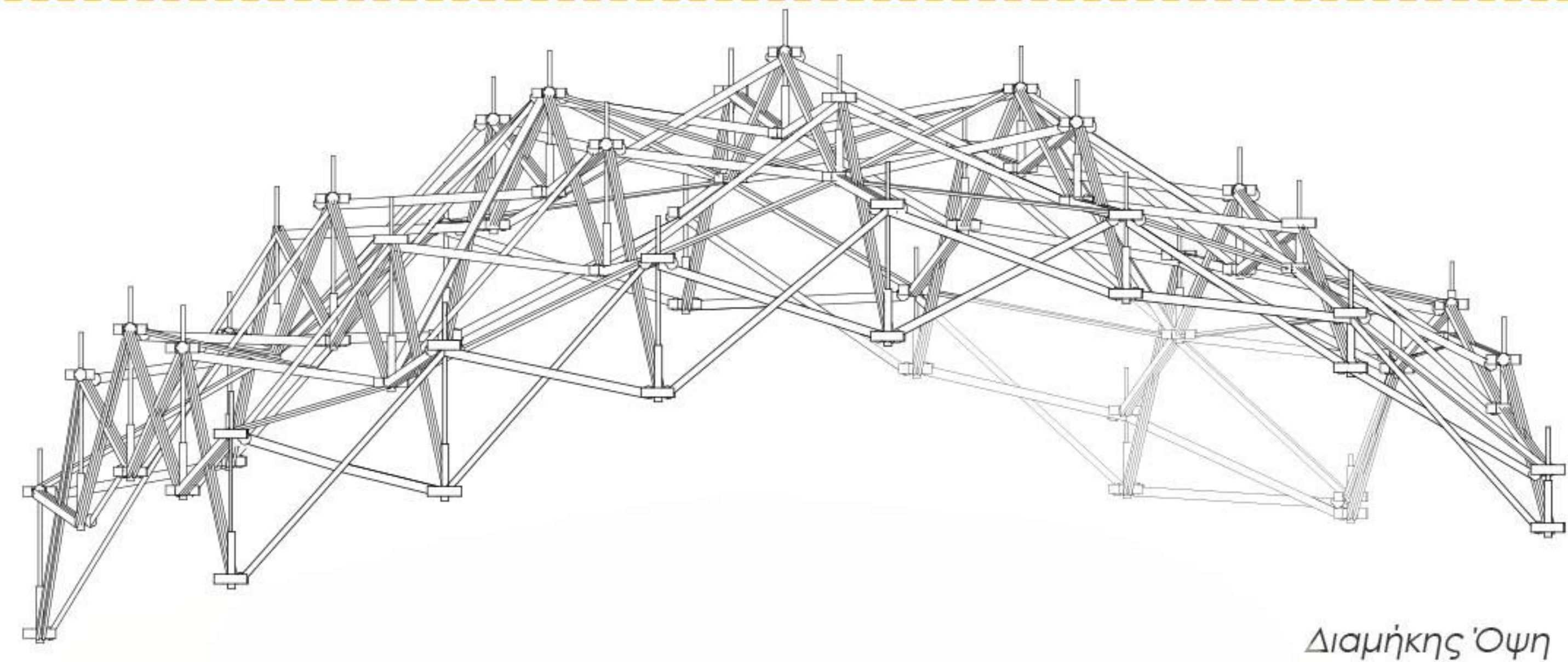
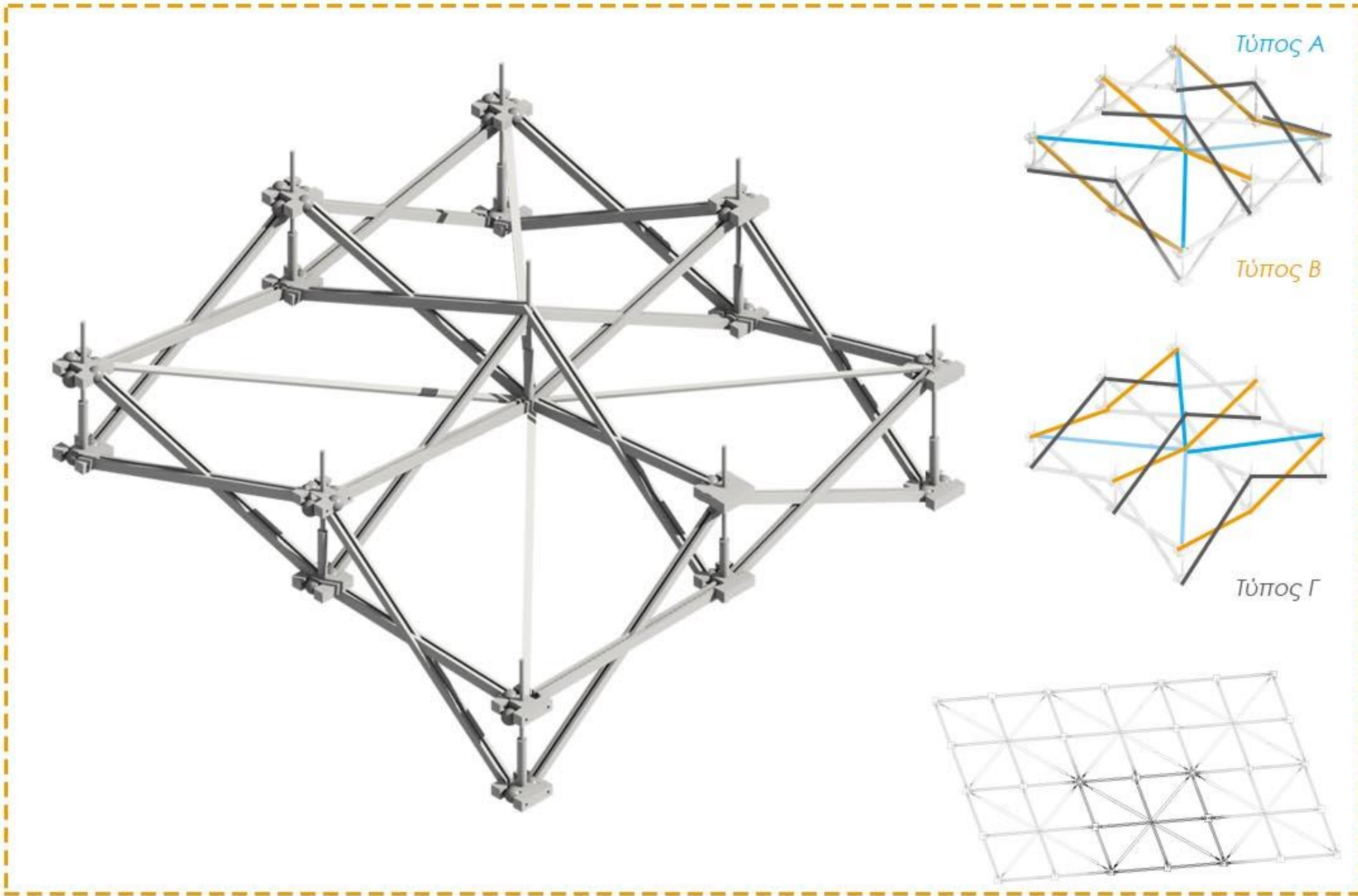
Υλικό: Plexiglass

Ύψος

0.10

Πάχος

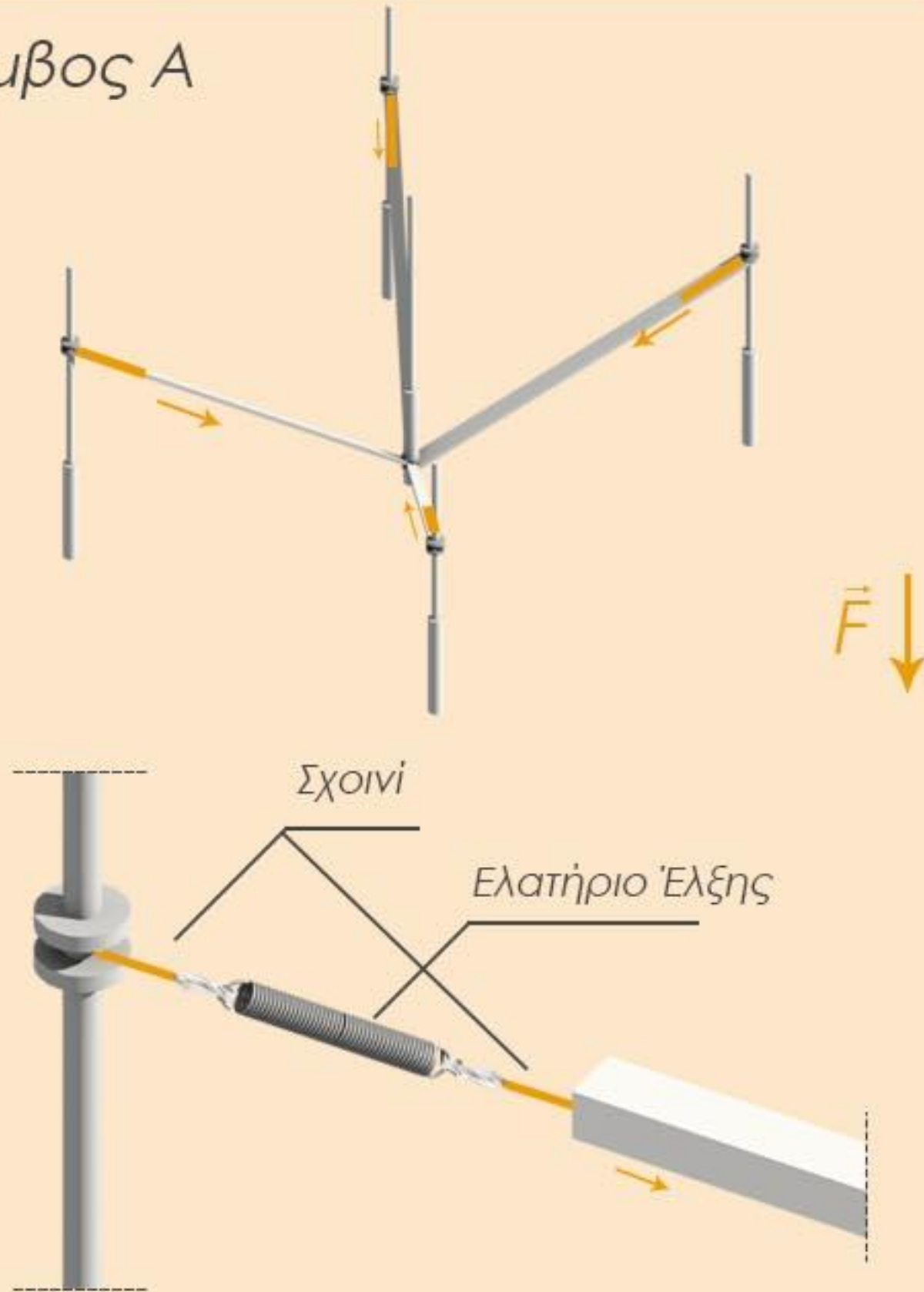
0.03



Χωροδικτύωμα

Συνδέσεις

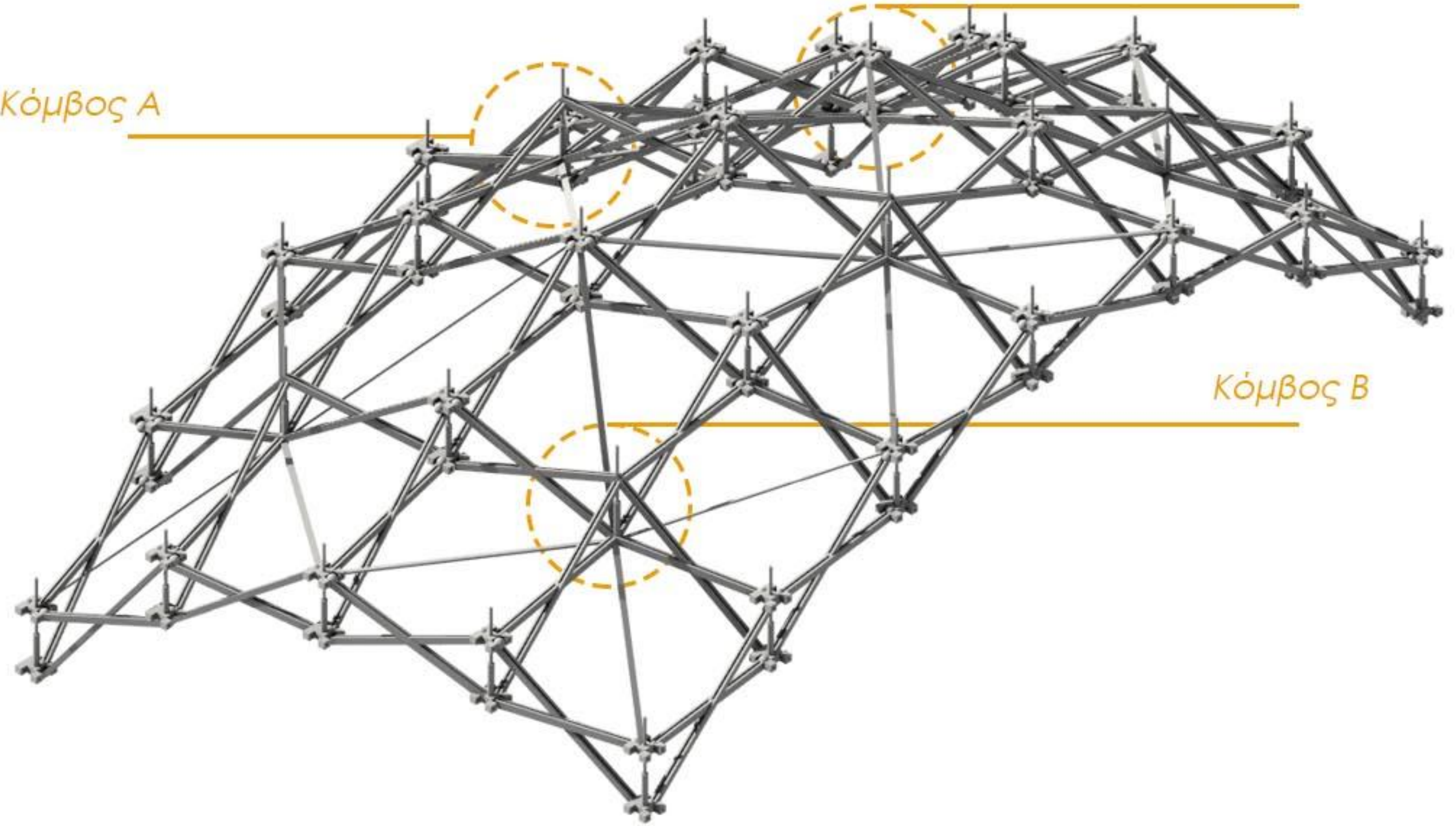
Κόμβος Α



Κόμβος Α

Κόμβος Γ

Κόμβος Β



Κόμβος Β

Κόμβος Γ

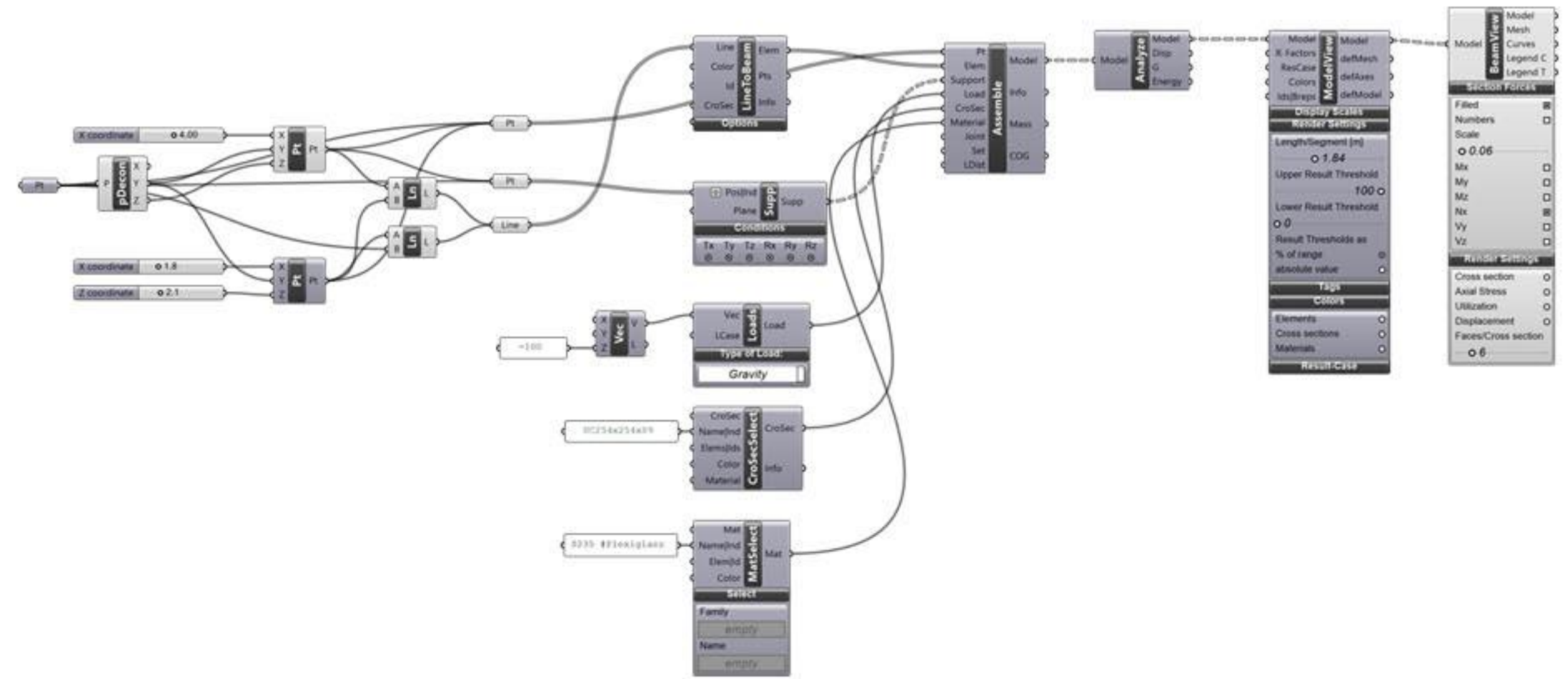


Χωροδικτύωμα

Δυνάμεις

-Χρησιμοποιώντας το plug-in Karamba 3d έγινε η απεικόνιση της κατασκευαστικής ανάλυσης λαμβάνοντας σαν παράμετρο την υλικότητα των μελών και τις φυσικές καταπονήσεις που προκαλούνται από κακόρυφες δυνάμεις.

-Για τα διαγράμματα η δύναμη που υπολογίστηκε είναι:
 $F(\text{Load}) = 100\text{Kg}$

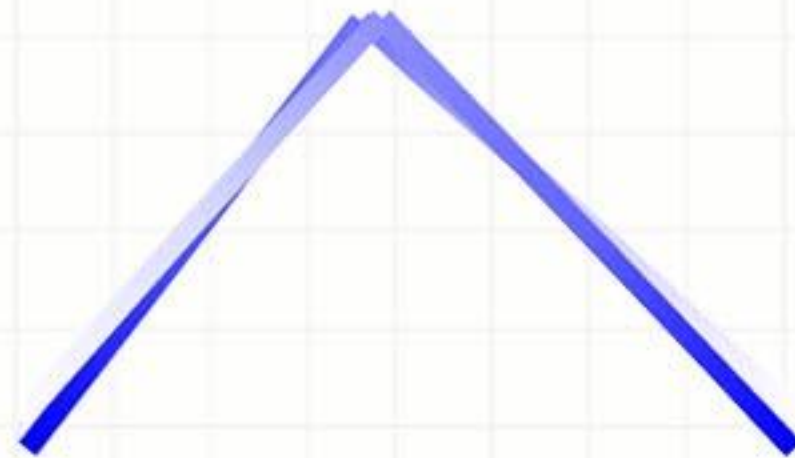


Μετατόπιση(Displacement)

Διανομή Δυνάμεων Διατομής στα Μέλη

Γραμμική Απόδοση

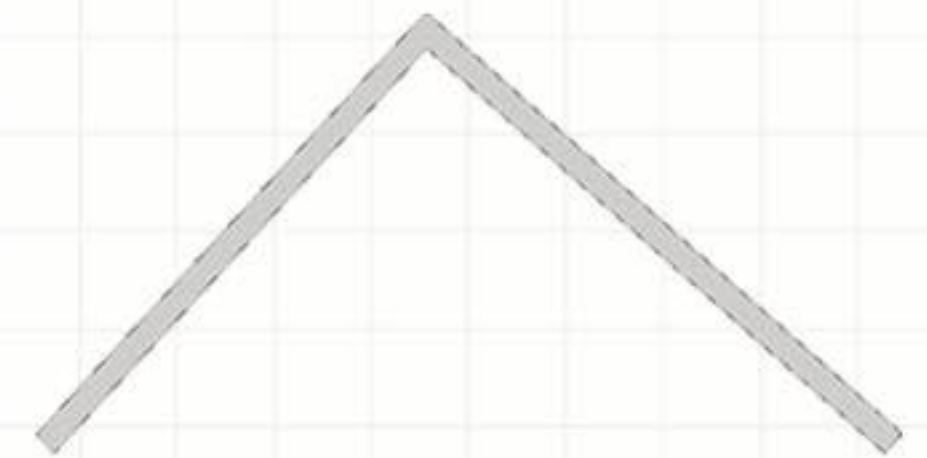
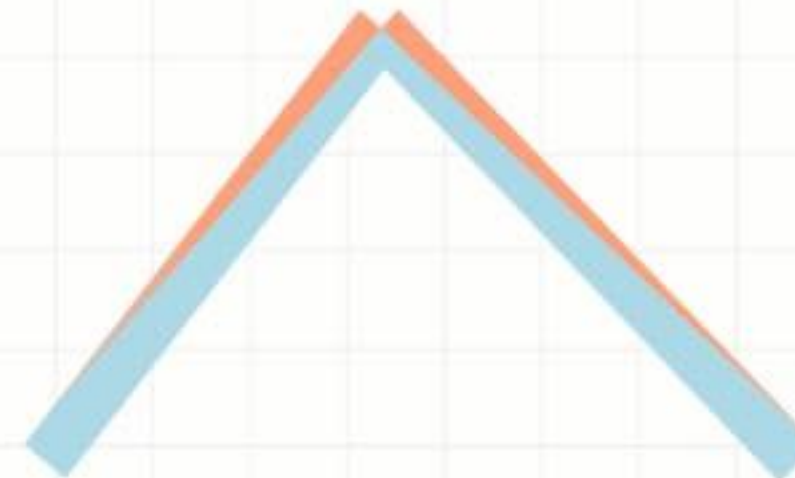
Μέλος-Τύπος Α



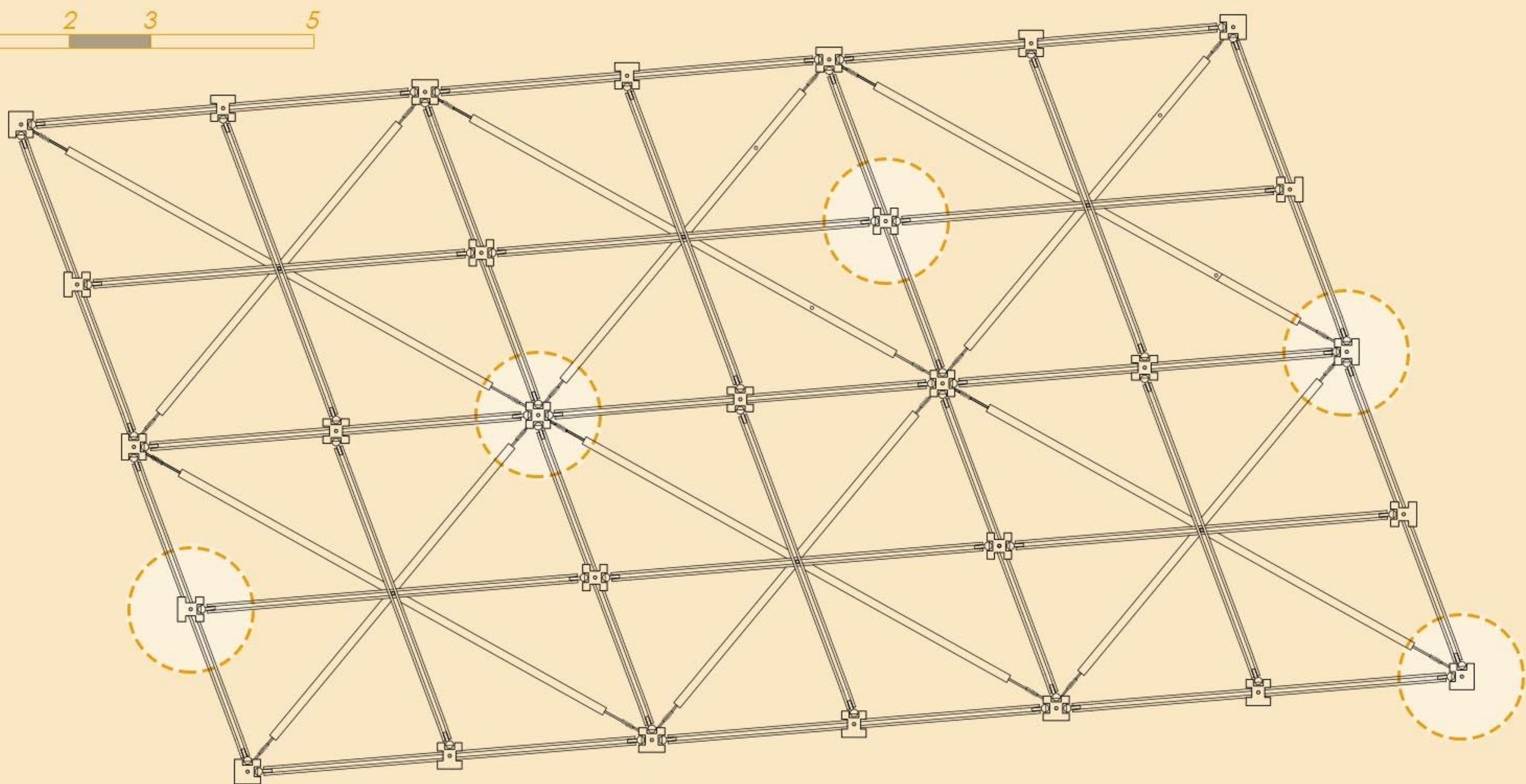
Μέλος-Τύπος Β



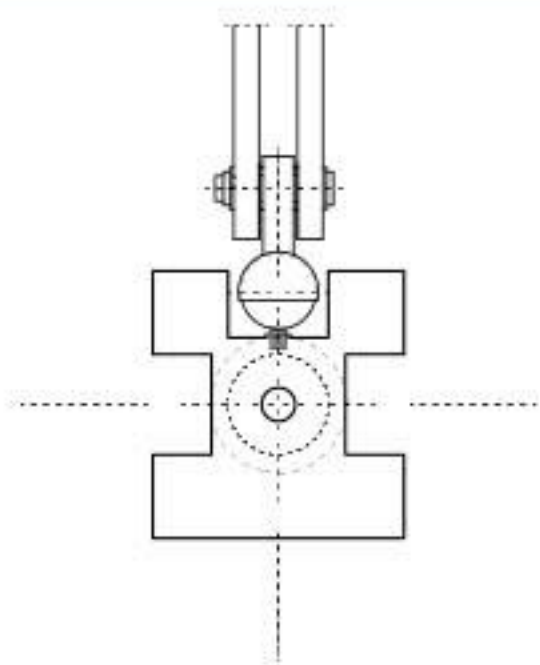
Μέλος-Τύπος Γ



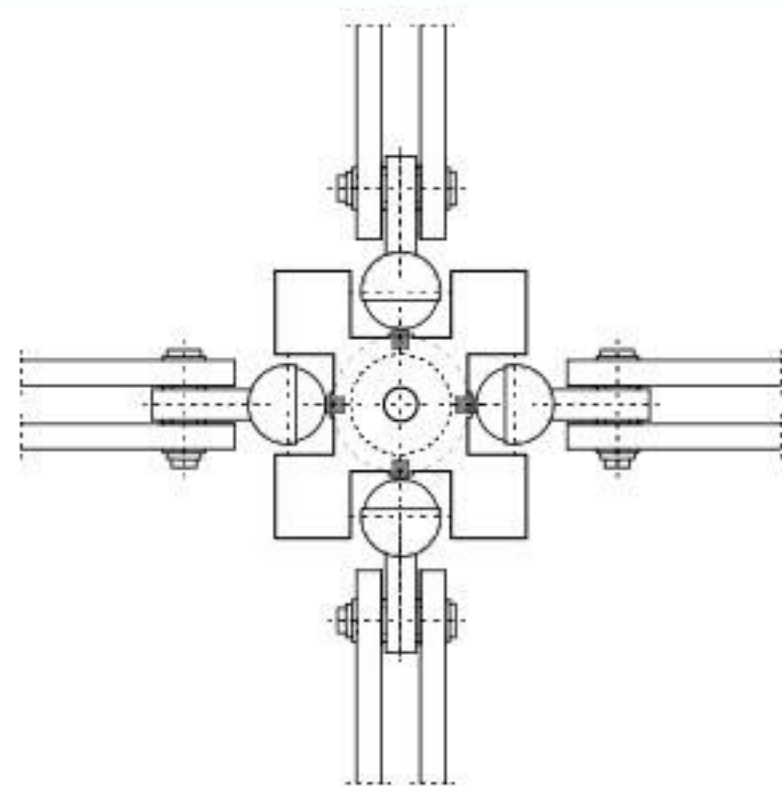
0 1 2 3 5



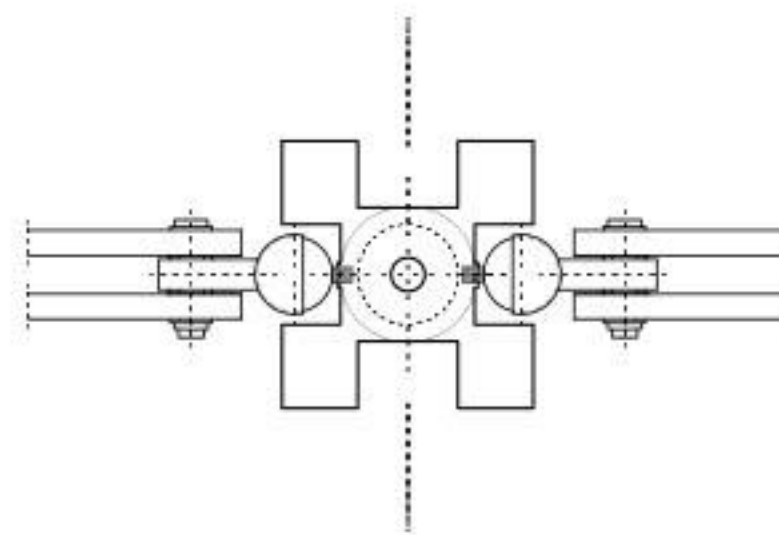
Θέση: Εξωτερική
Τεμάχια:10



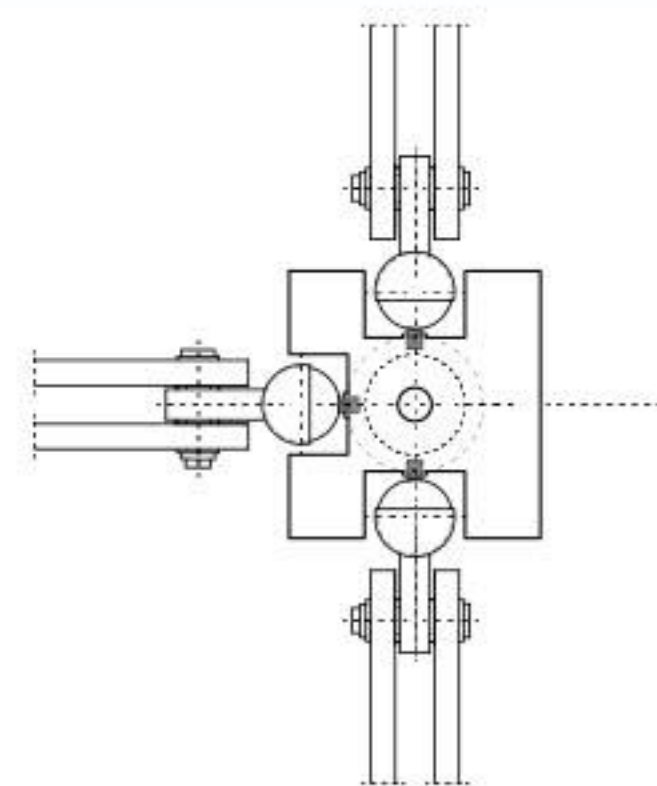
Θέση: Εσωτερική
Τεμάχια:2



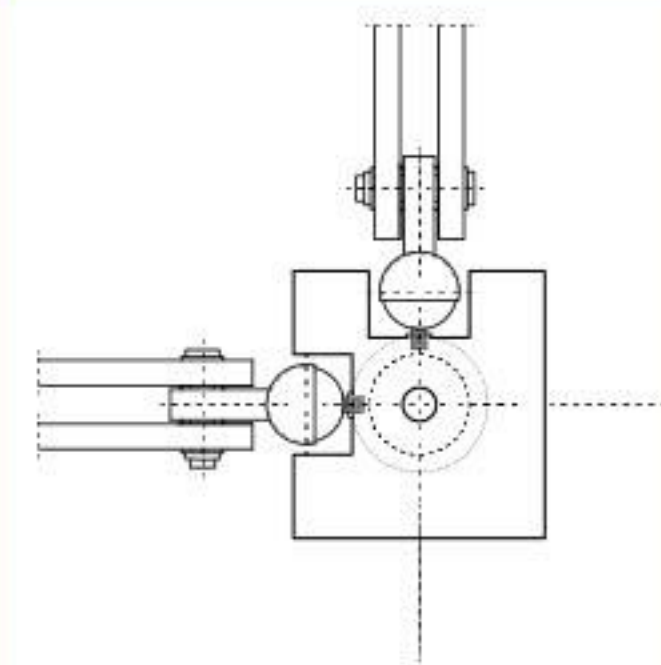
Θέση: Εσωτερική
Τεμάχια:4



Θέση: Εξωτερική
Τεμάχια:6



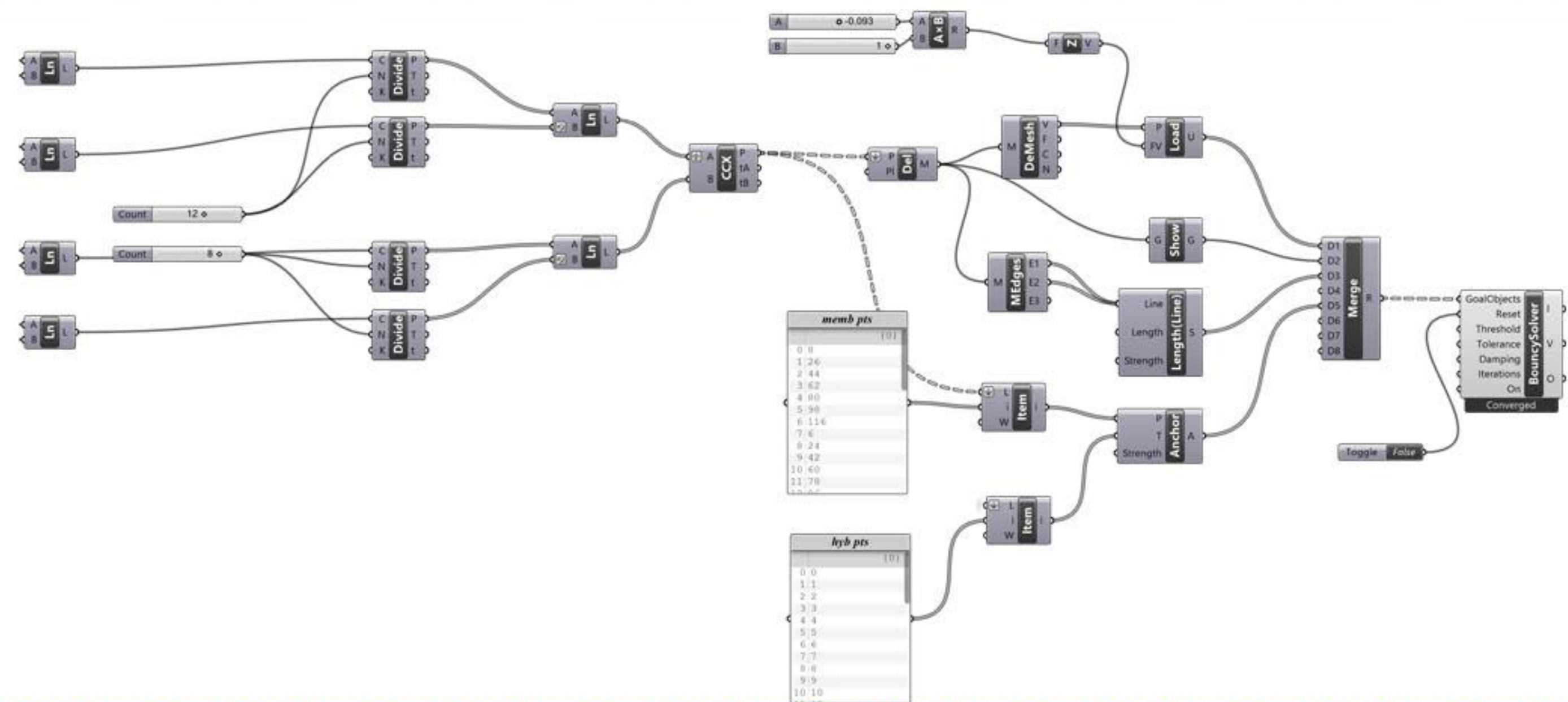
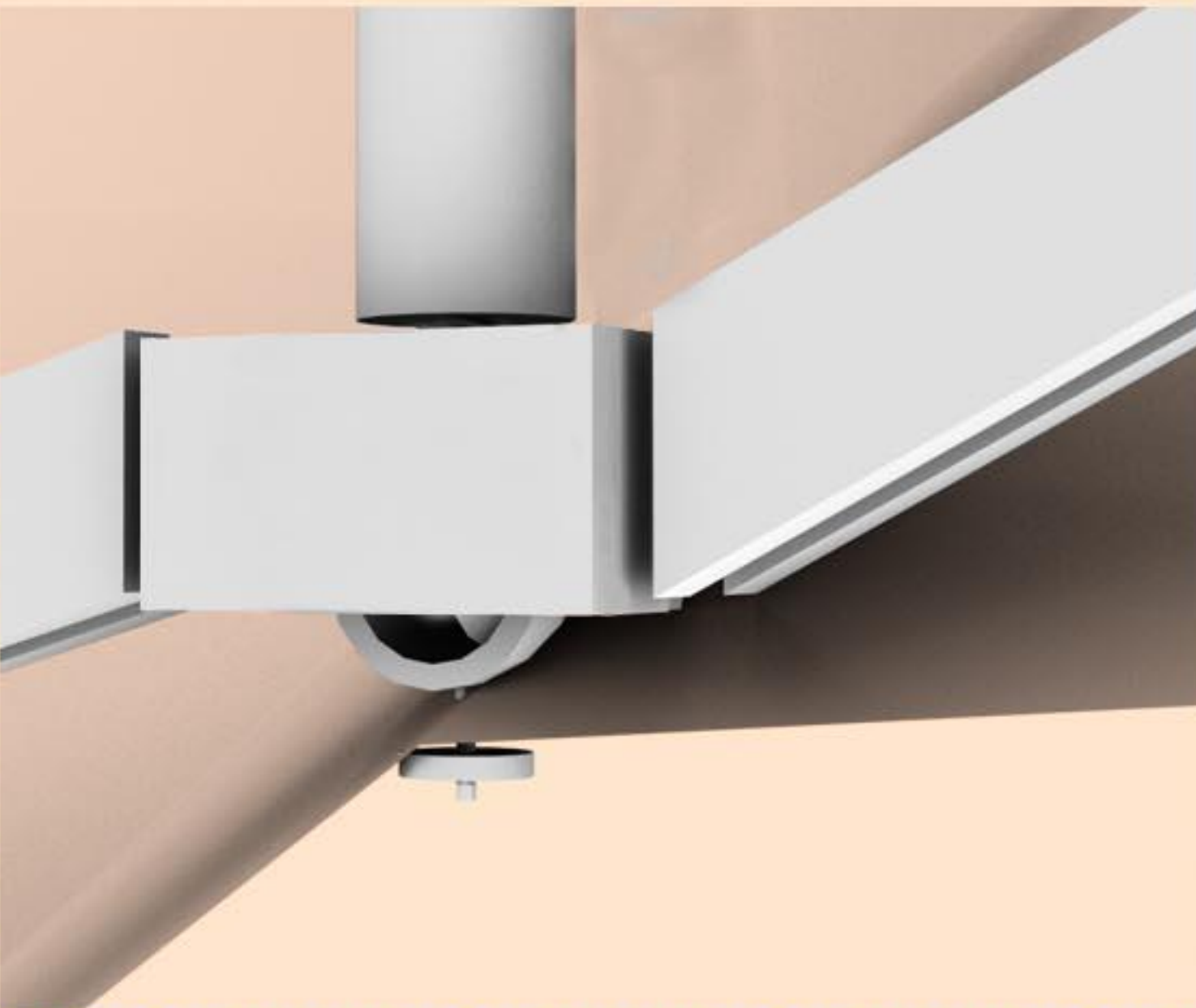
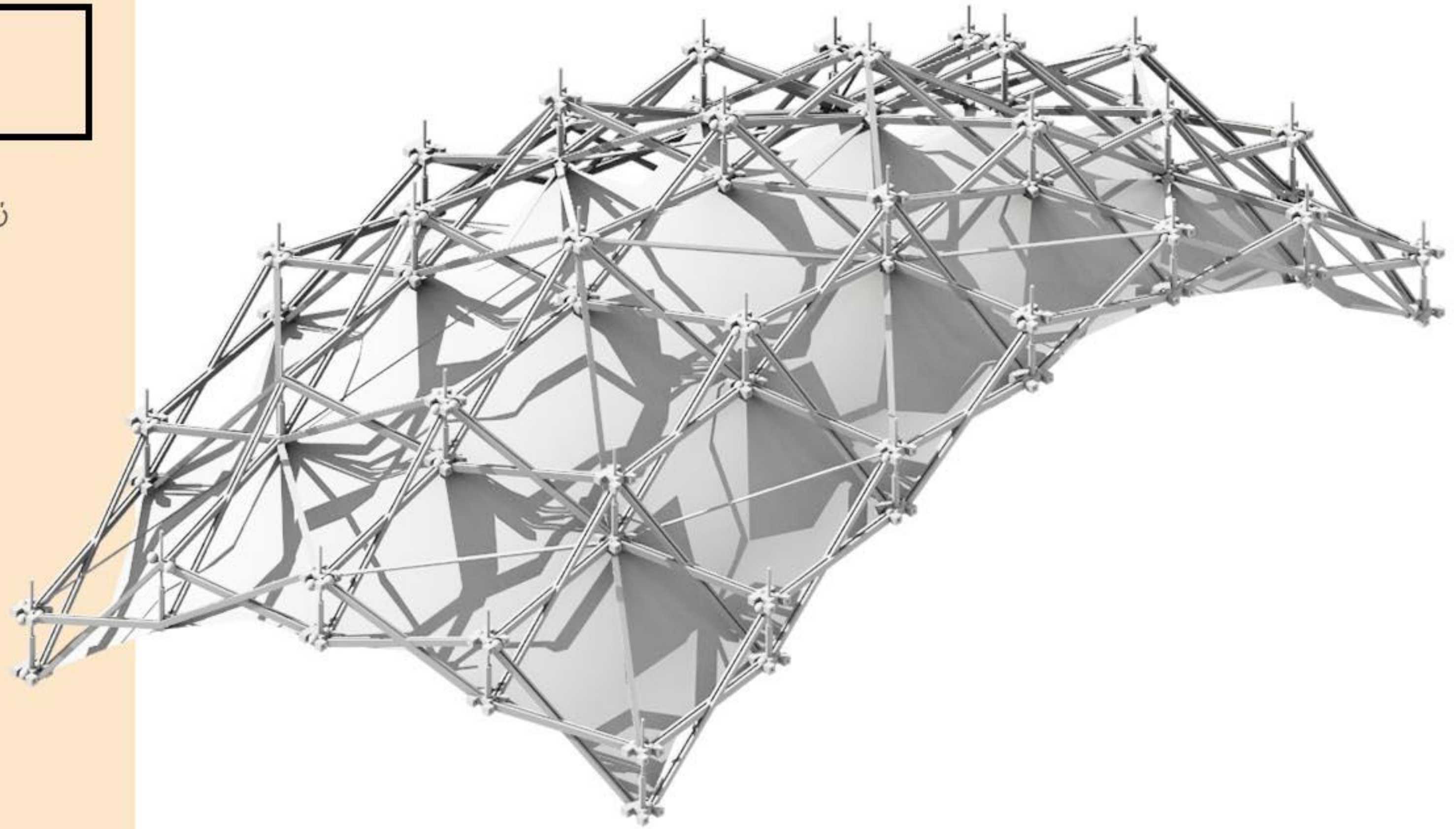
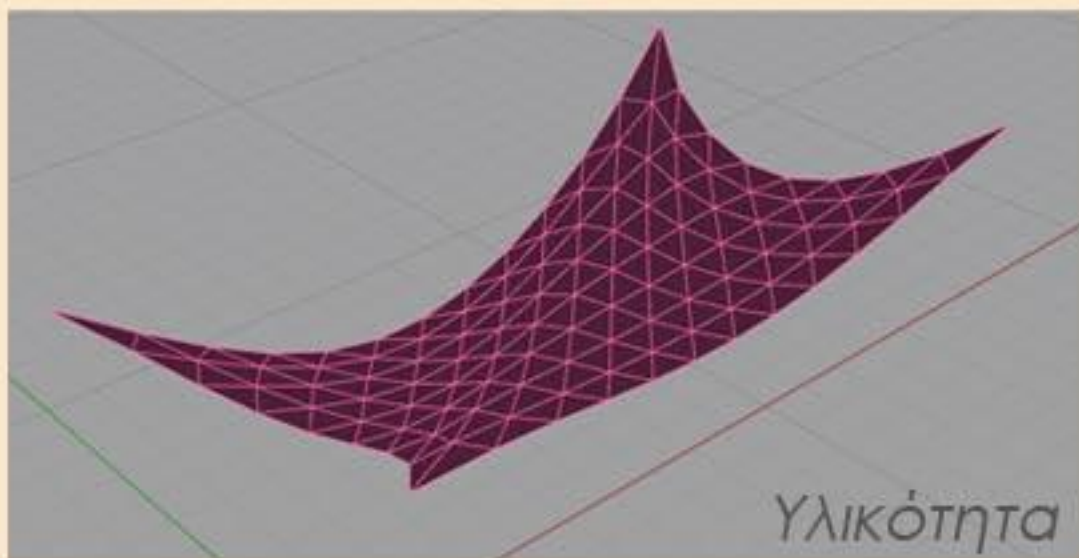
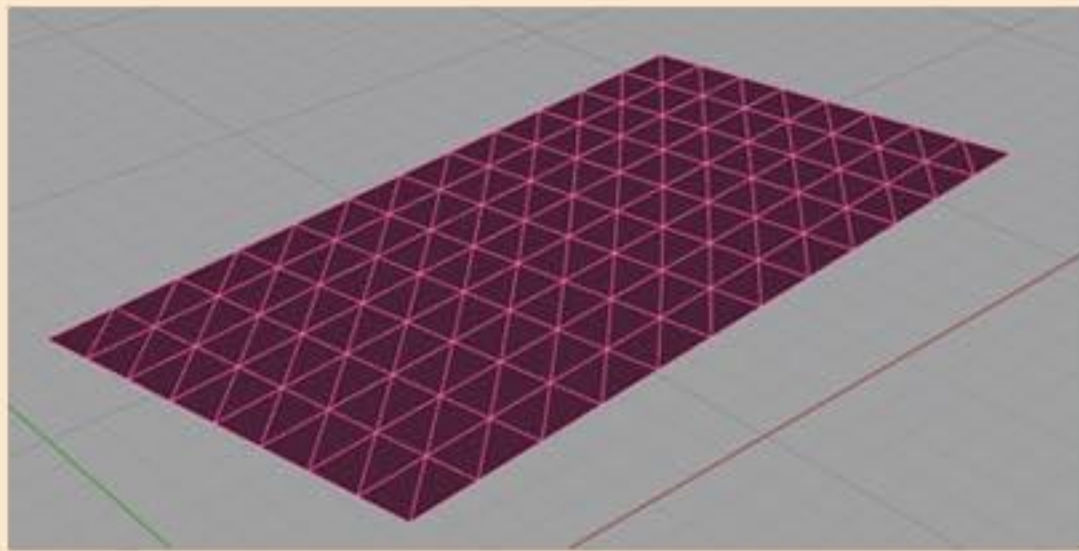
Θέση: Εξωτερική
Τεμάχια:4



Χωροδικτύωμα

Μεμβράνη

-Αγκύρωση εφελκυσμένης μεμβράνης στην ακμή του τηλεσκοπικού σωλήνα.



Διαδραστικό Κέλυφος

Κίνηση μέσω Αισθητήρων



Attractor



Sensor Range
2- 4.00 m



Attractor



HYDROSensitive Skin

Έρευνα -Achim Menges



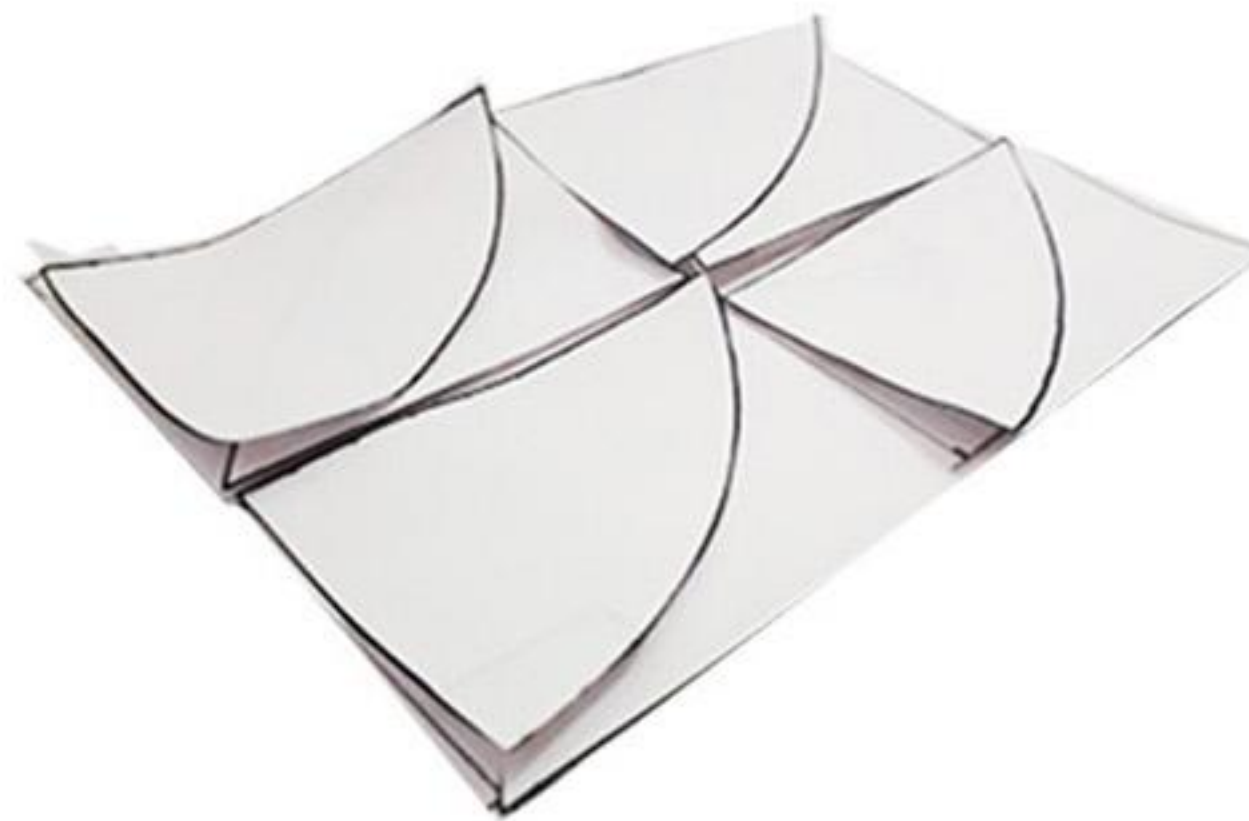
Εικ 5. Βιο-μιμητικός Μηχανισμός.



Εικ 6. Installation hydrosensitive επιδερμίδας.



Εικ 7. Αυτοσχηματισμός Ξύλου (Shelf-Shape)



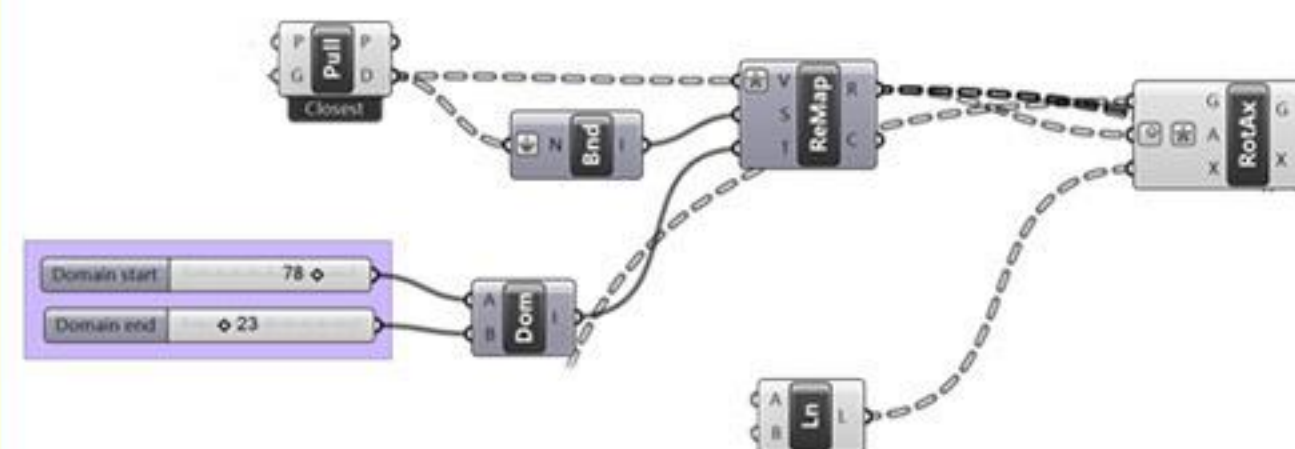
Υδρόφιλο



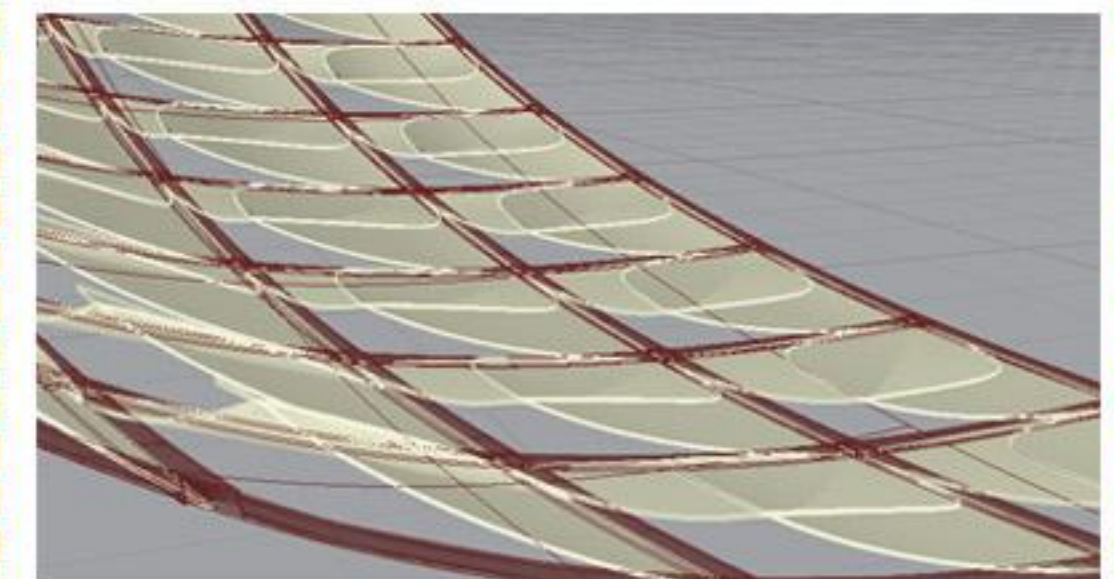
Υδρόφοβο

Προσομοίωση Αντίδρασης Υλικού στην Υγρασία

Στρέψη Γεωμετρίας ως προς τον άξονα Z



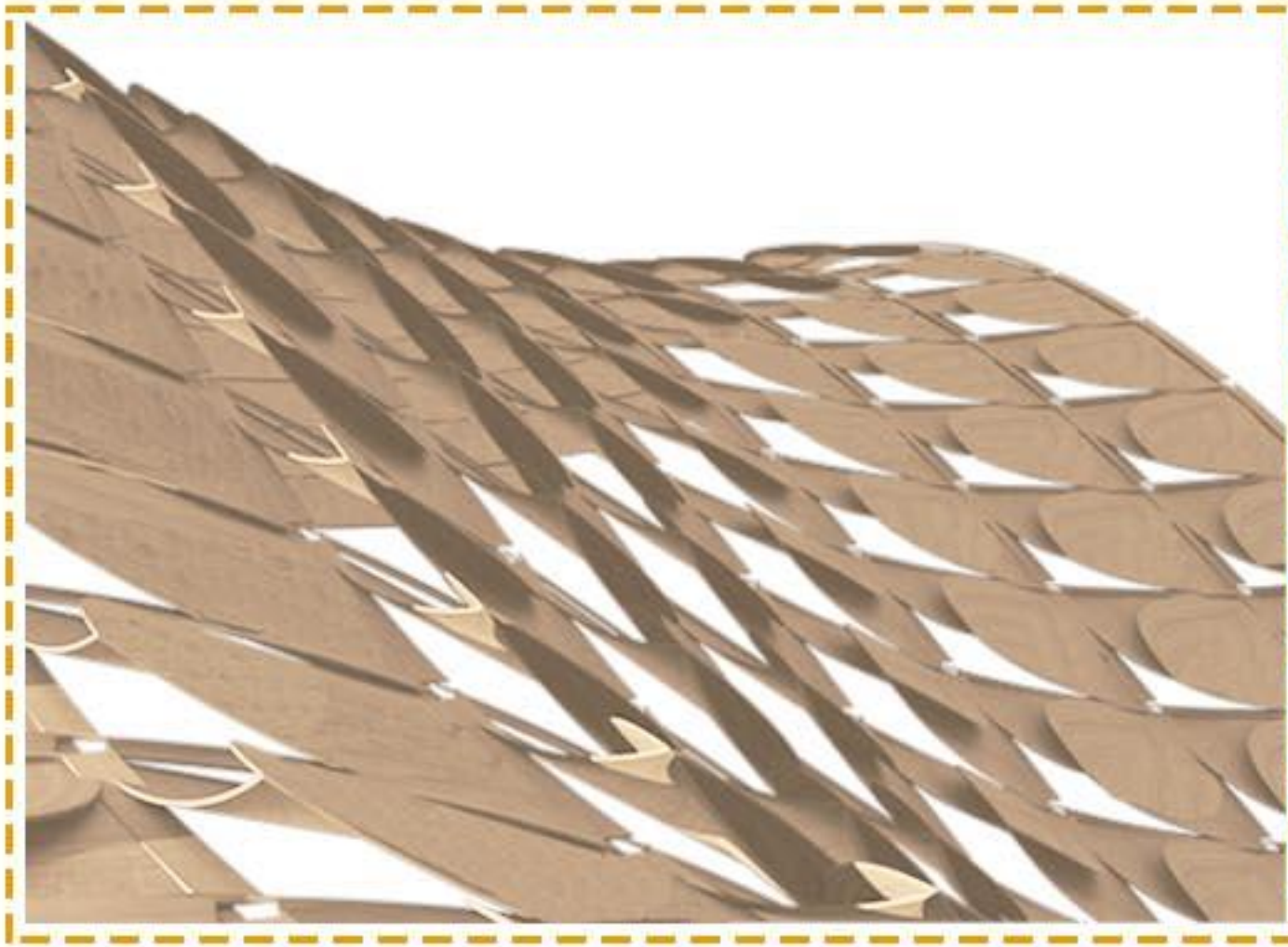
Παραμόρφωση Γεωμετρίας ως προς τον άξονα Z



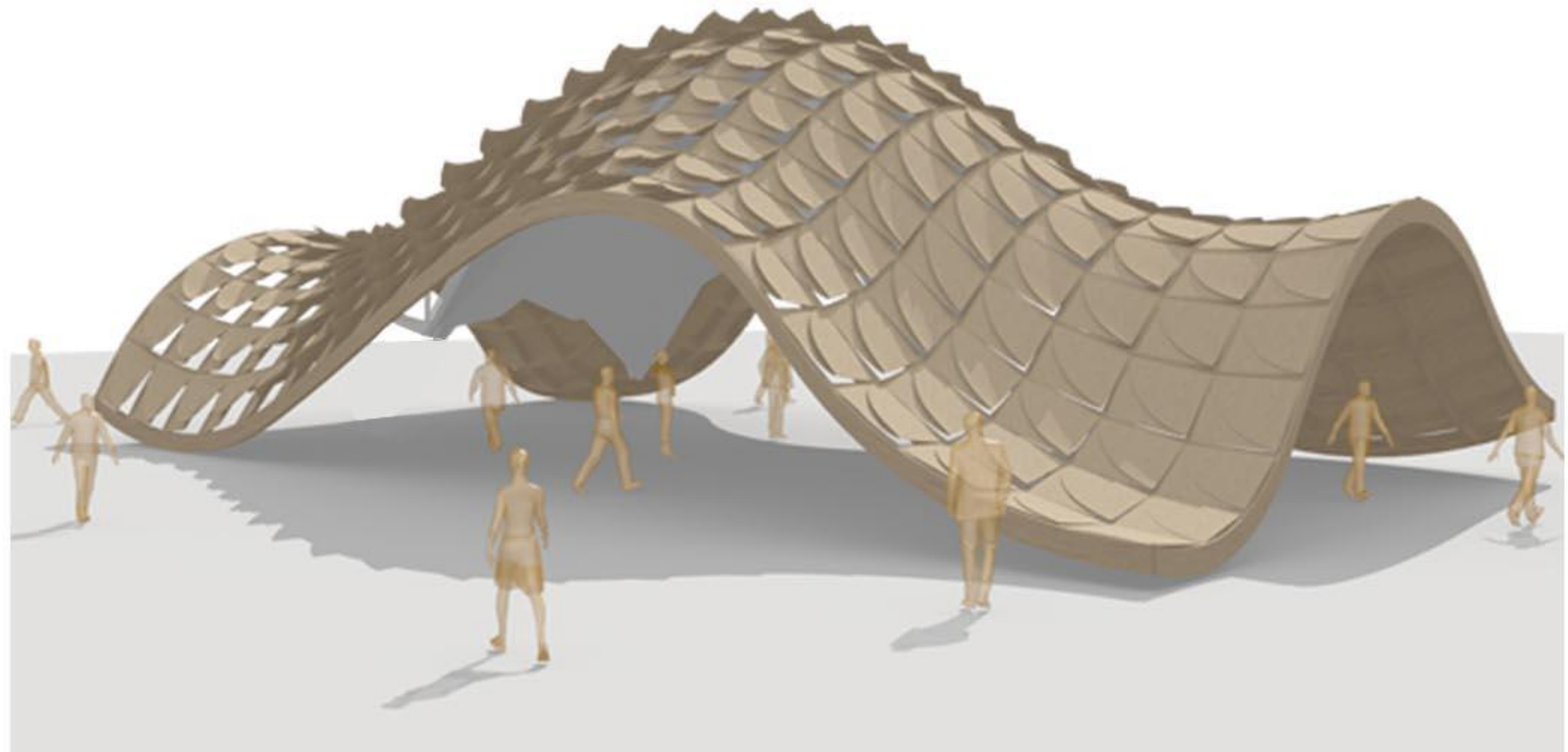
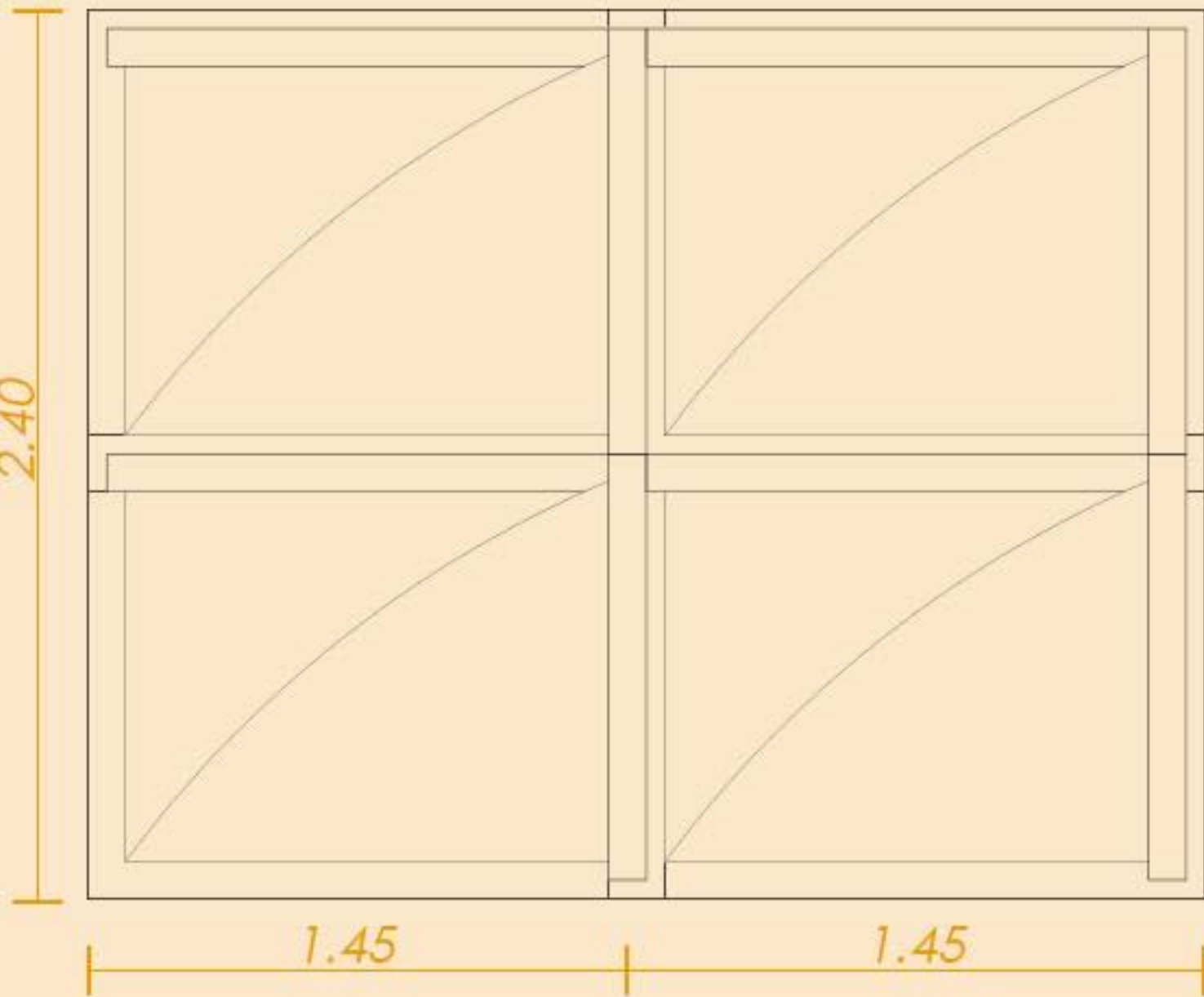
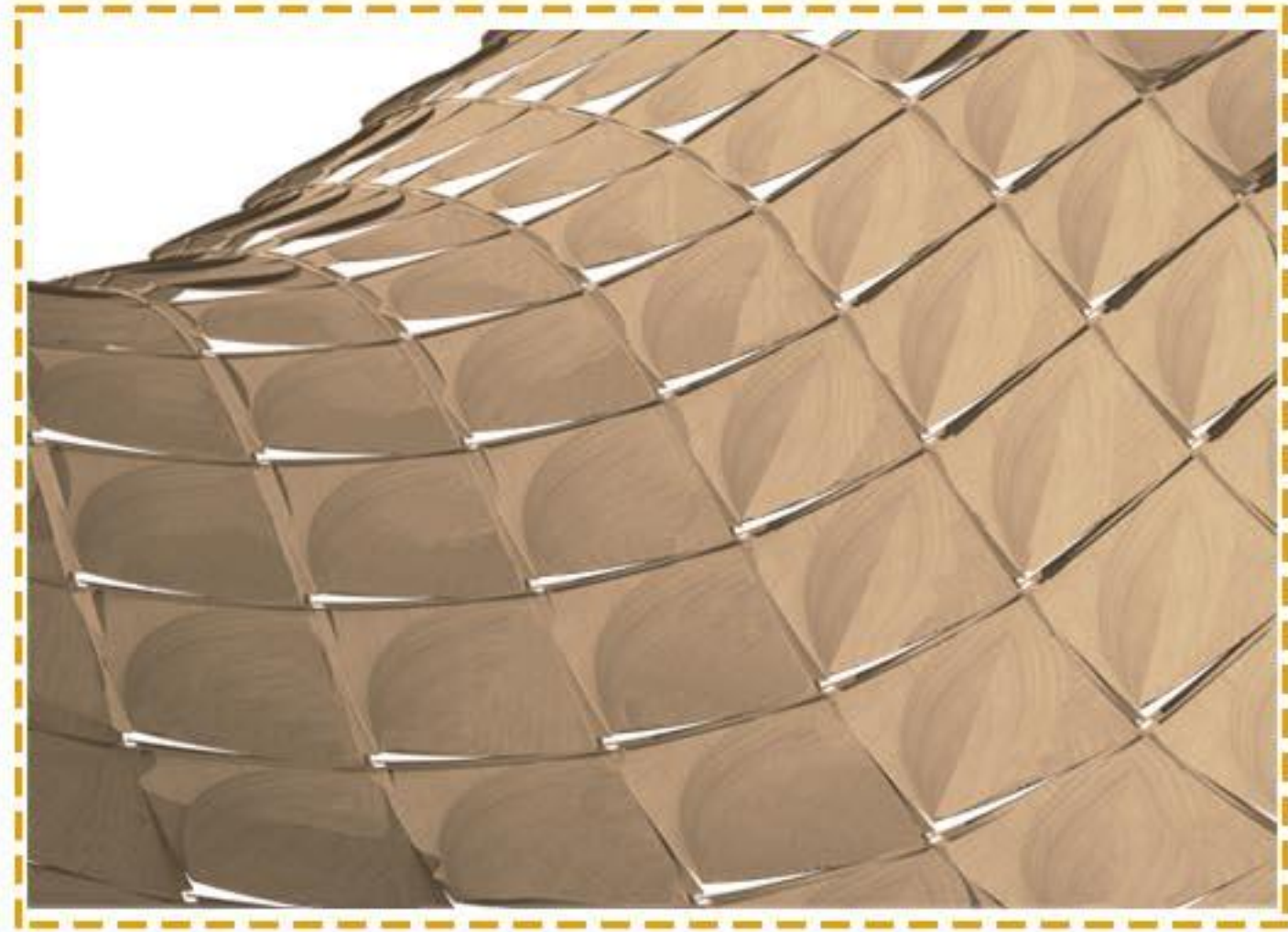
HYDROSensitive Skin



Χαμηλά Επίπεδα Υγρασίας- Ανοιχτά



Υψηλά Επίπεδα Υγρασίας- Κλειστά



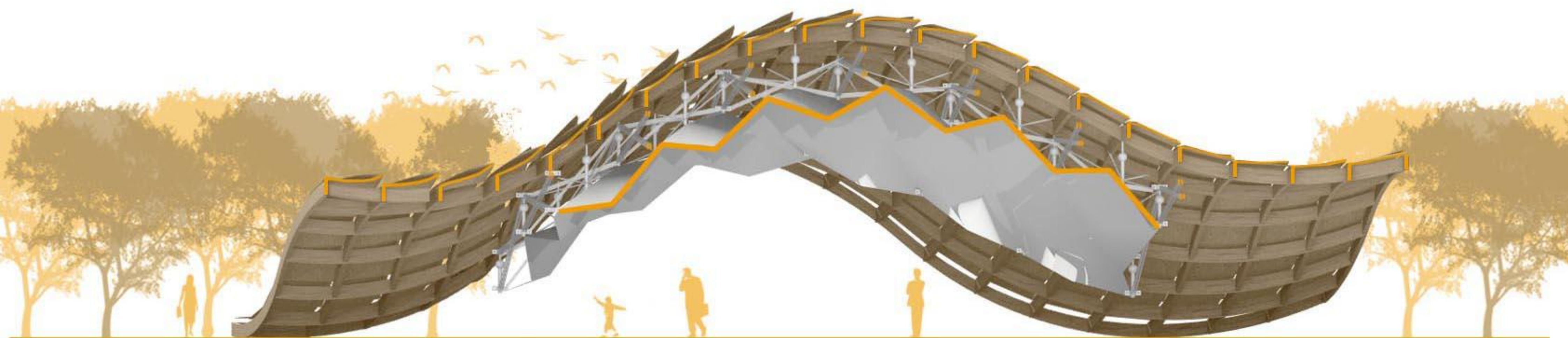
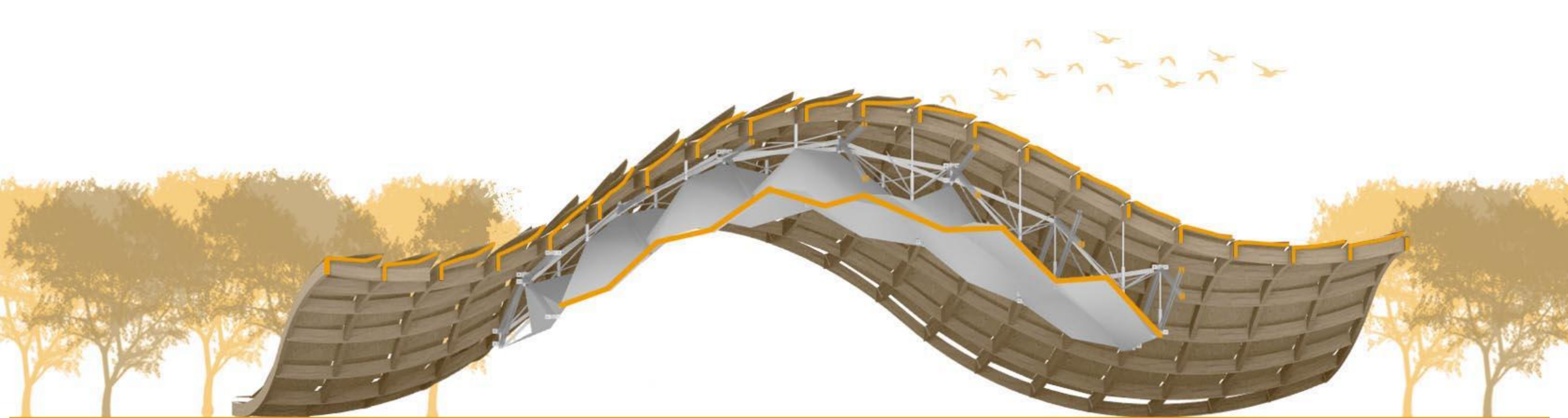
HYDROSensitive Skin

Παθητικό

Ενεργό



Υλικό: Κόντρα Πλακέ
Πάχος: 20mm



Διαμήκης Τομή

Ιεραρχία

Layer 1_

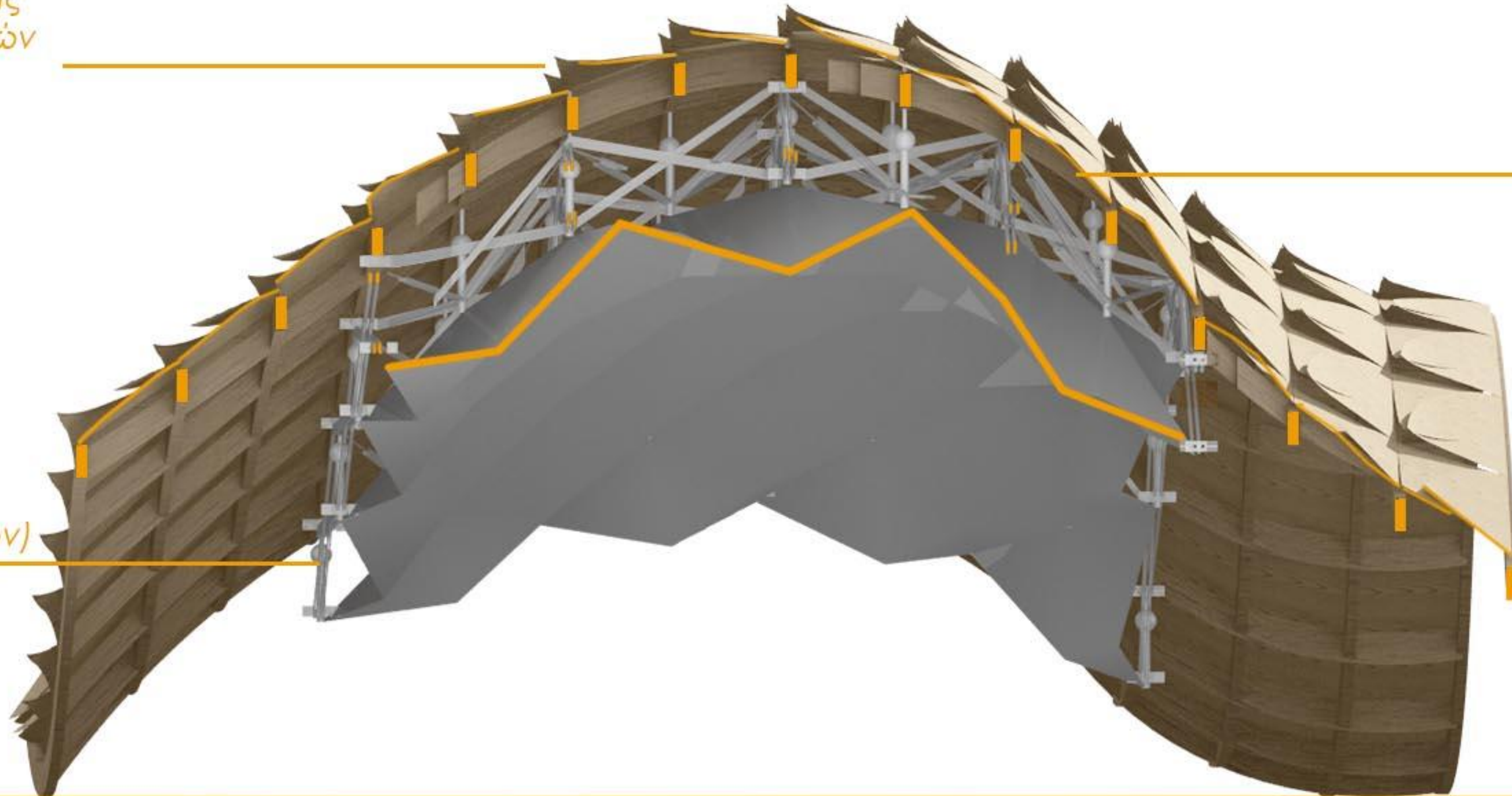
Ιδιότητα Υλικού
Αντίδραση(κίνηση) εξαιτίας
περιβαλλοντικών συνθηκών

Layer 2_

Σταθερό Κέλυφος
(Στήριξη)

Layer 3_

Διαδραστικό
Χωροδικτύωμα
(Κίνηση μέσω αισθητήρων)

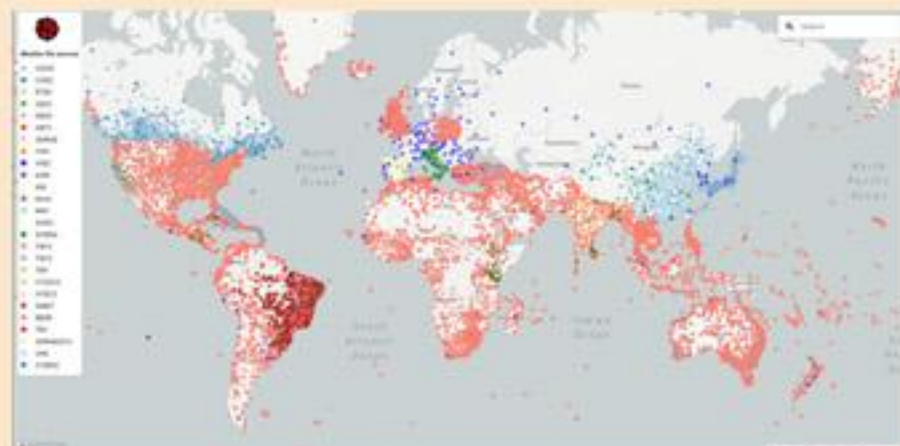


Τομή Κατα Πλάτος

Απεικόνιση Περιβαλλοντικών Συνθηκών

-Χρησιμοποιώντας το plug-in, ladybug μπόρεσα να αναλύσω τα ποσοστά υγρασίας, συνδιαστικά με τα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας, σε τρεις διαφορετικές τοποθεσίες όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους.

Παγκόσμια Καιρικά Δεδομένα



.epw

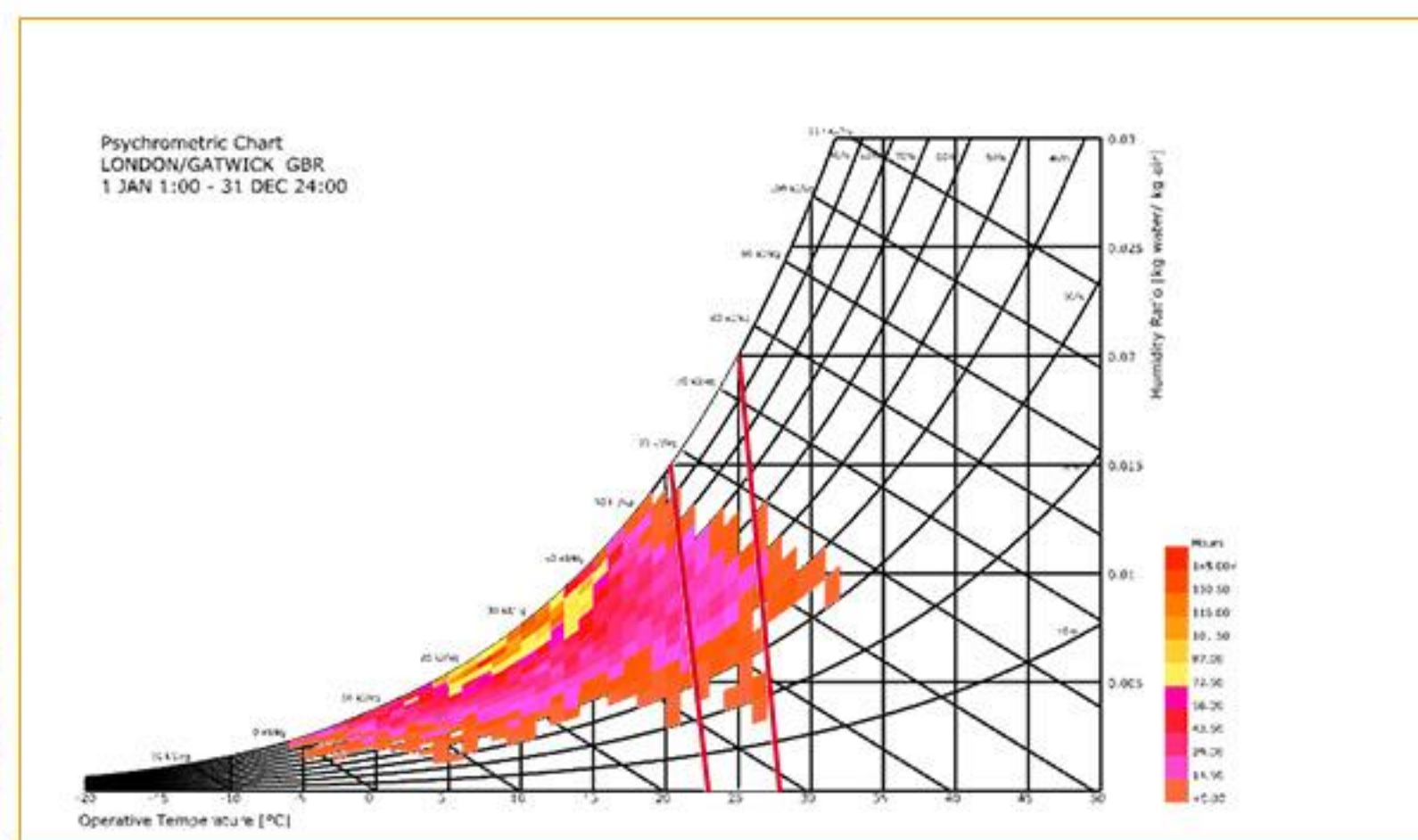
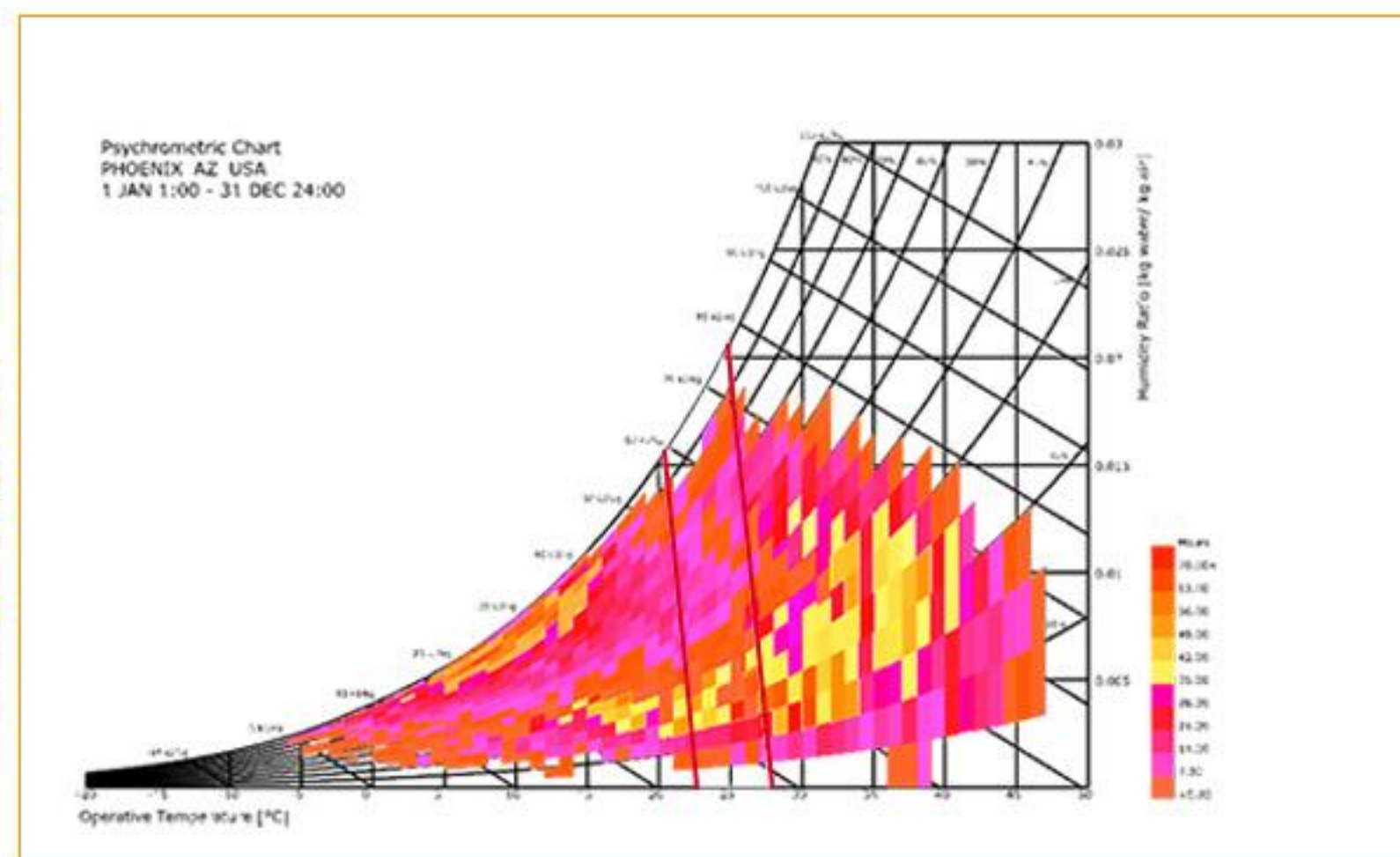
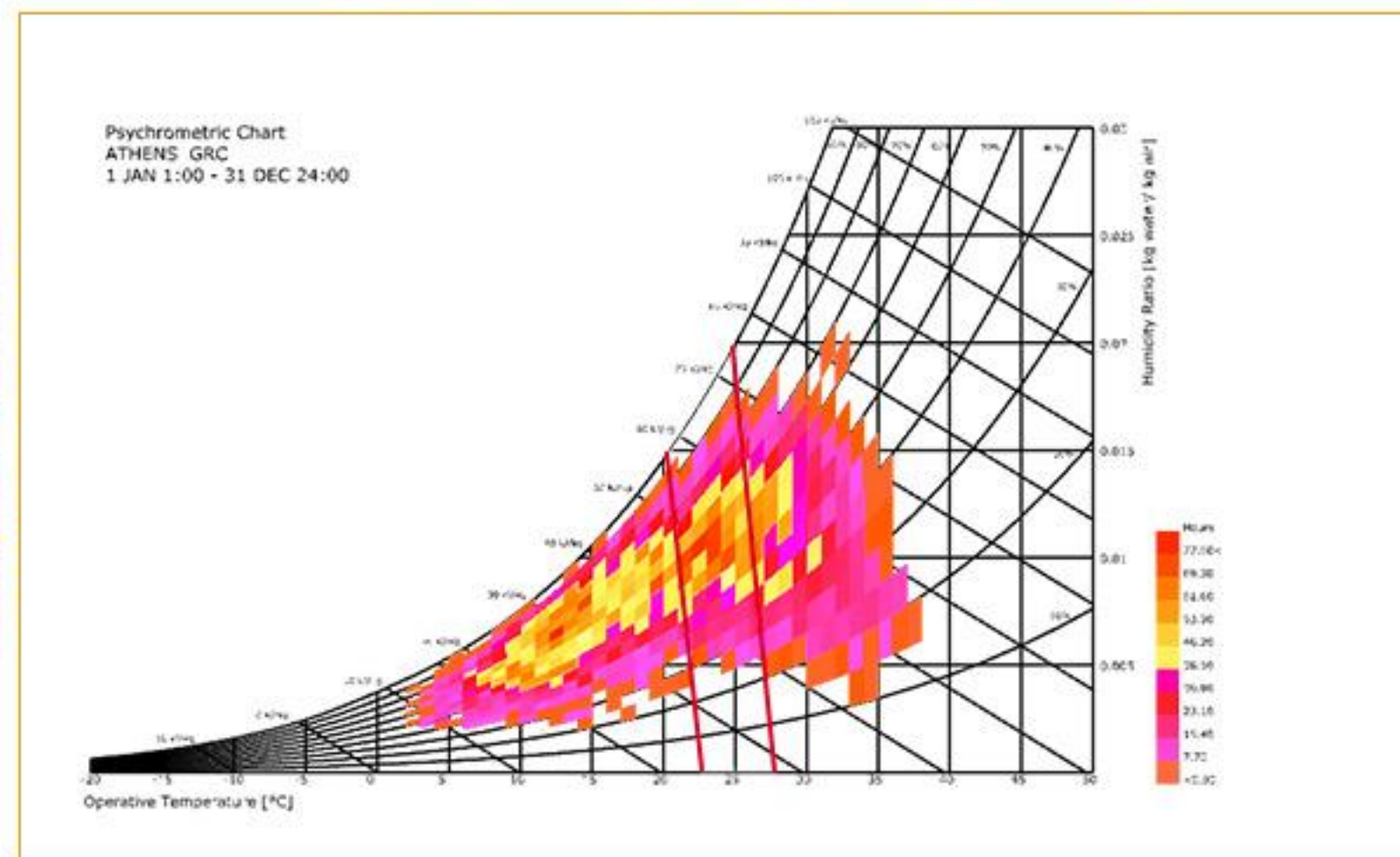


Αθήνα_Ελλάδα

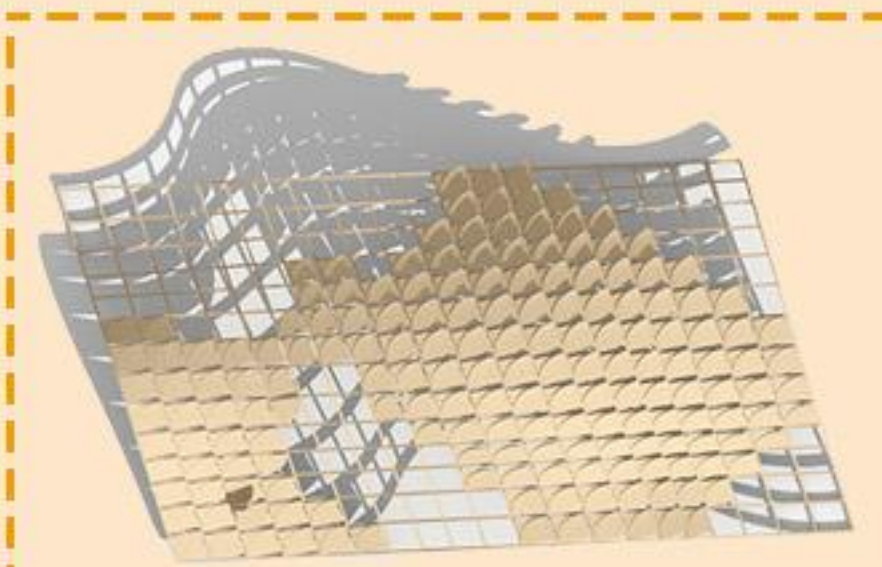
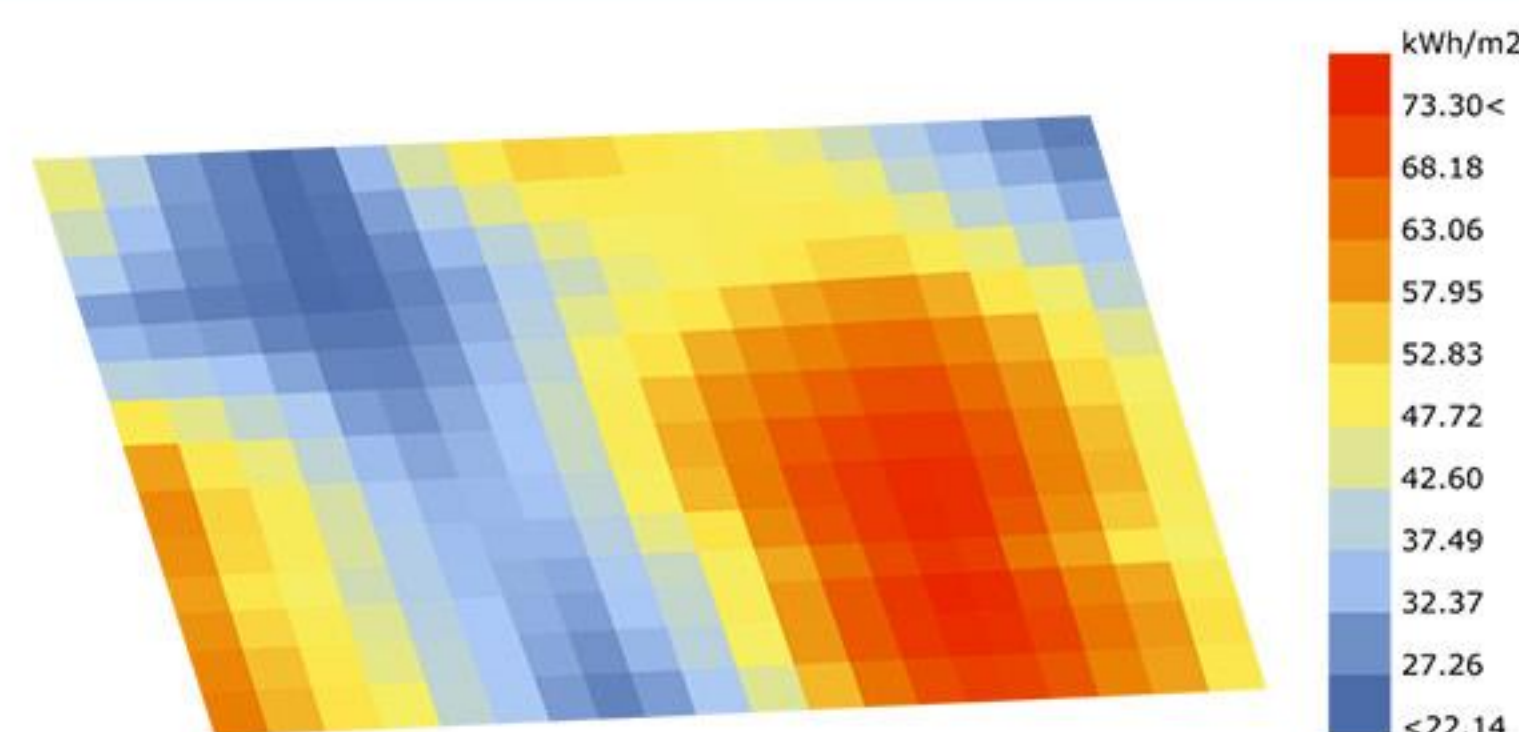
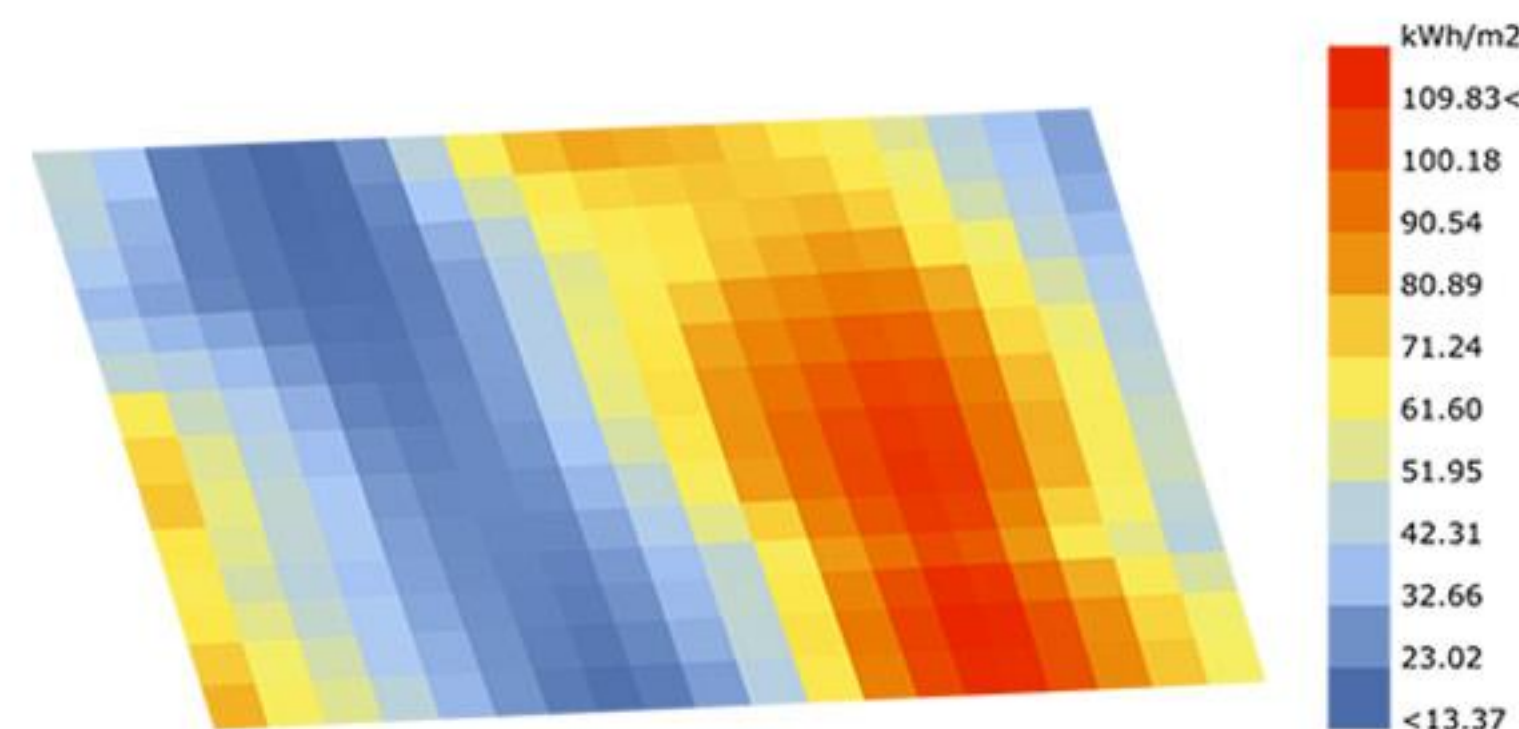
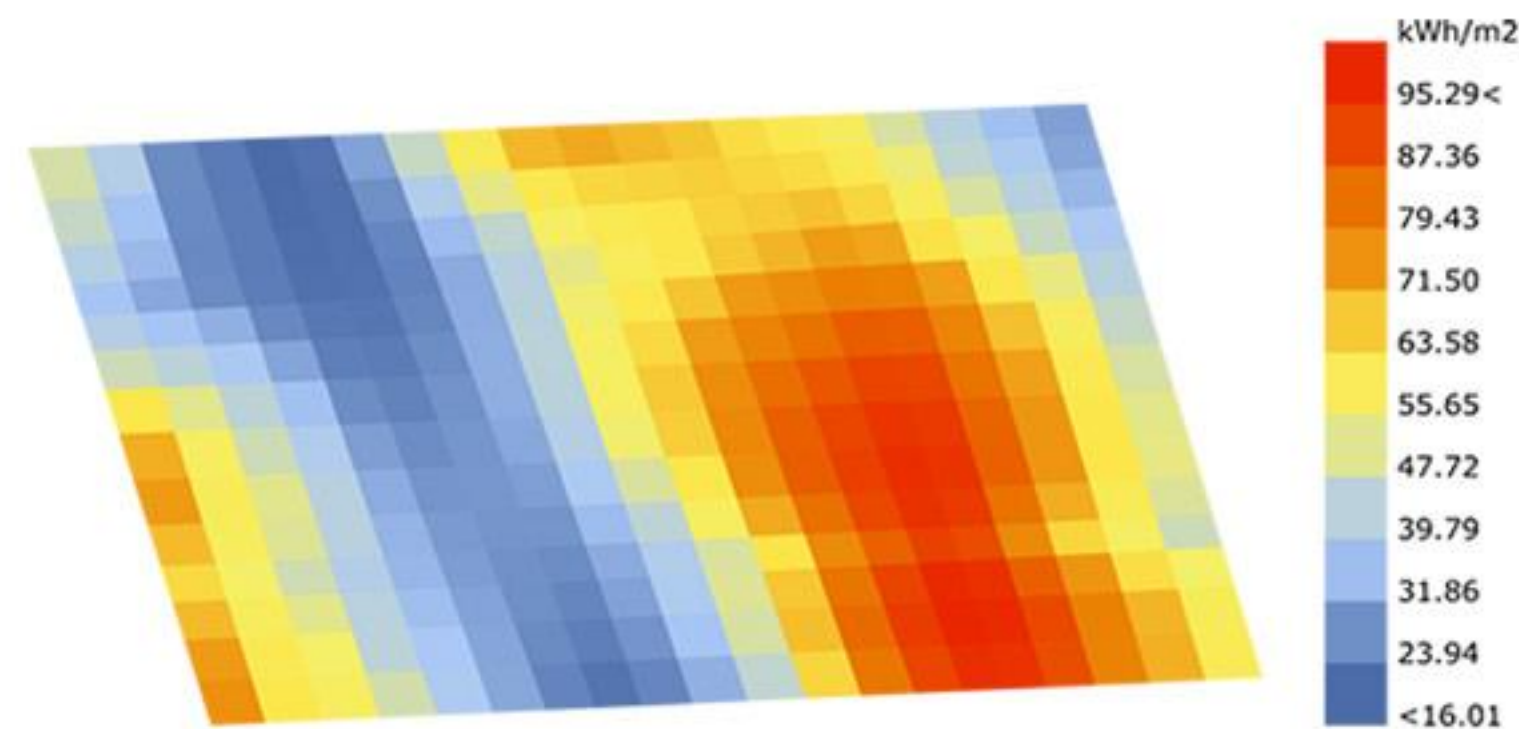
Φοίνιξ(Αριζόνα)_Αμερική

Λονδίνο_Ηνωμένο Βασίλειο

Ψυχομετρικό γράφημα Υγρασίας



Ανάλυση Ακτινοβολίας



Αστικό Τοπίο

-Χώρος κοινωνικοποίησης/ εκδηλώσεων.





Πολυχρηστικότητα

Χωροδικτύωμα

- Η χωροθέτηση του κινητού χωροδικτυώματος προτείνεται να γίνει σε χώρους με μεγάλο χρόνο αναμονής ή σε χώρους με ένταση, όπως είναι, νοσοκομεία, γραφεία, αεροδρόμια, σταθμοί τραίνων.

Είτε σε χώρους με εμπορική δραστηριότητα, όπως σε αστικές στοές.

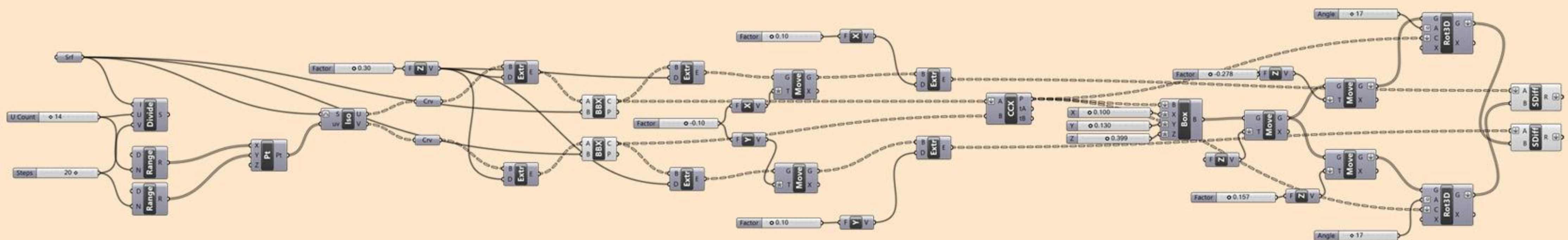
Σαν μια προσπάθεια μεταβολής της ανθρώπινης διάθεσης μέσω της διάδρασης σε πραγματικό χρόνο.

Εικ 8. Στοά Νικολούδη_ Αθήνα



Πολυχρηστικότητα

Waffle Structure



Διάδραση

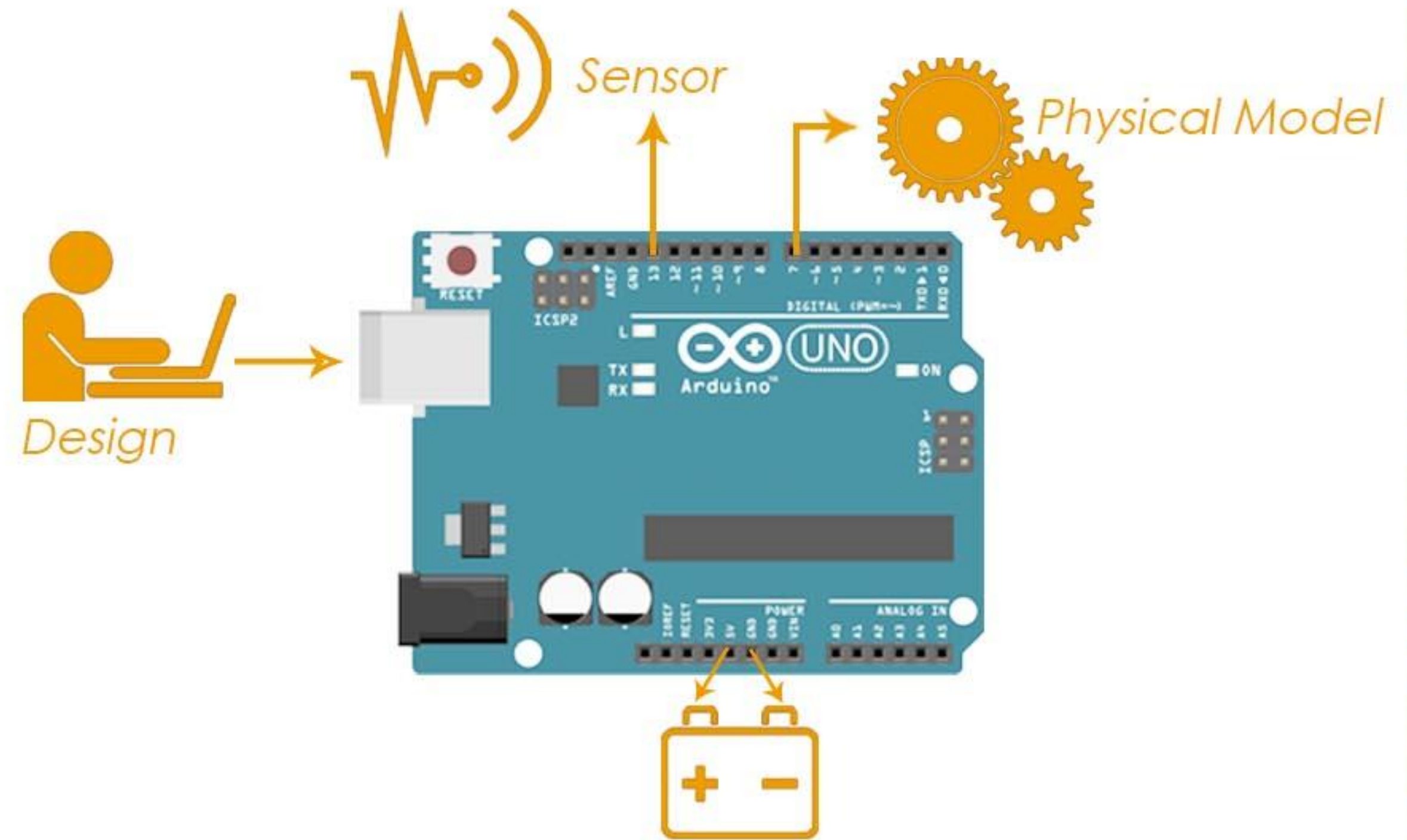
Προσθήκη μικροελεγκτή | Arduino Uno

-Με την προσθήκη του plug in firefly σε συνδιασμό με τον μικροελεγκτή μονής πλακέτας Arduino έγινε ο έλεγχος της κίνησης(διάδρασης) του ψηφιακού μοντέλου, αναλογικά μέσω ποτενσιόμετρου.

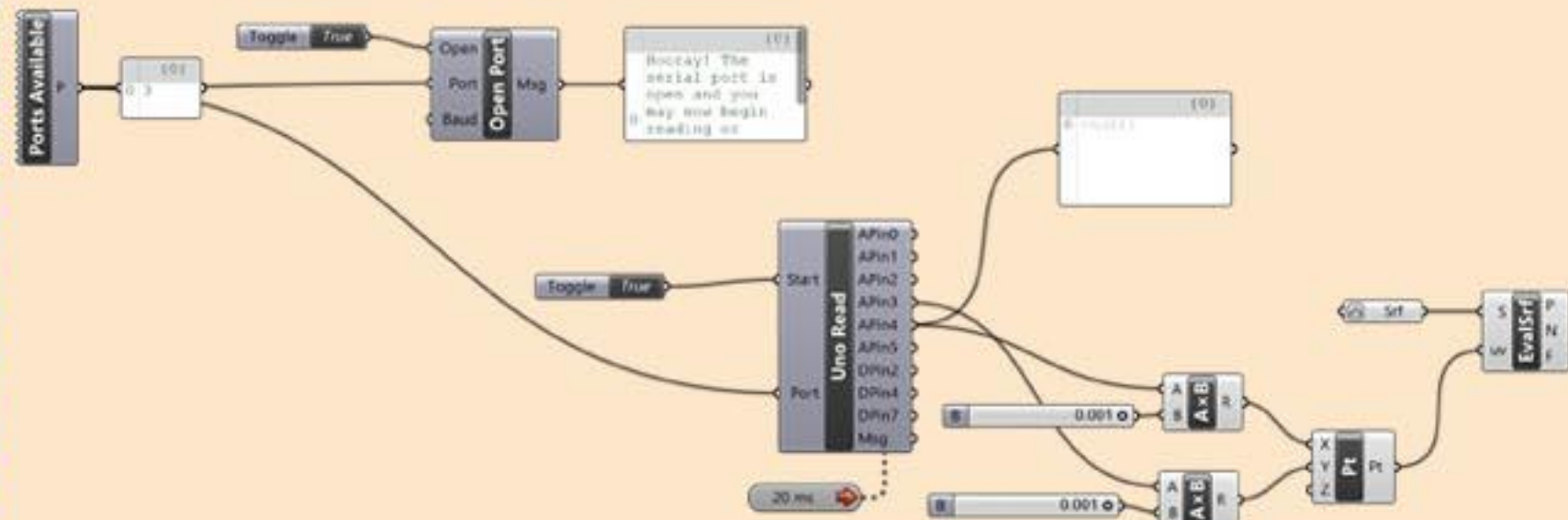
-Η ενεργοποίηση του μηχανισμού γίνεται μέσω του αισθητήρα ultrasonic sensor όπου αντιλαμβάνεται απόσταση(cm), ενώ η κίνηση δίνεται μέσω τριών servo motors που ενεργοποιούν τον μηχανισμό του servo κινητήρα.

MG996R Servo Motor Χαρακτηριστικά:

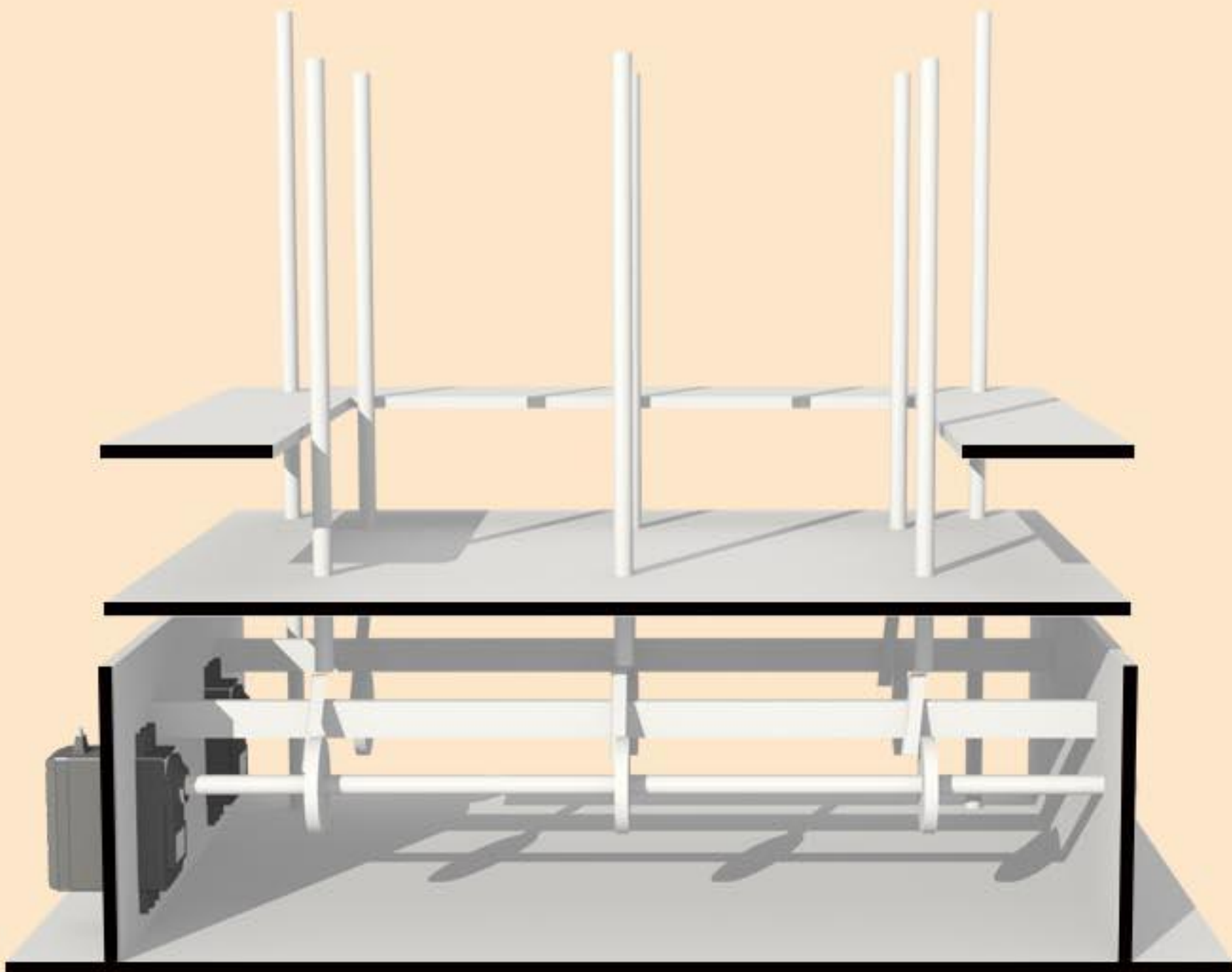
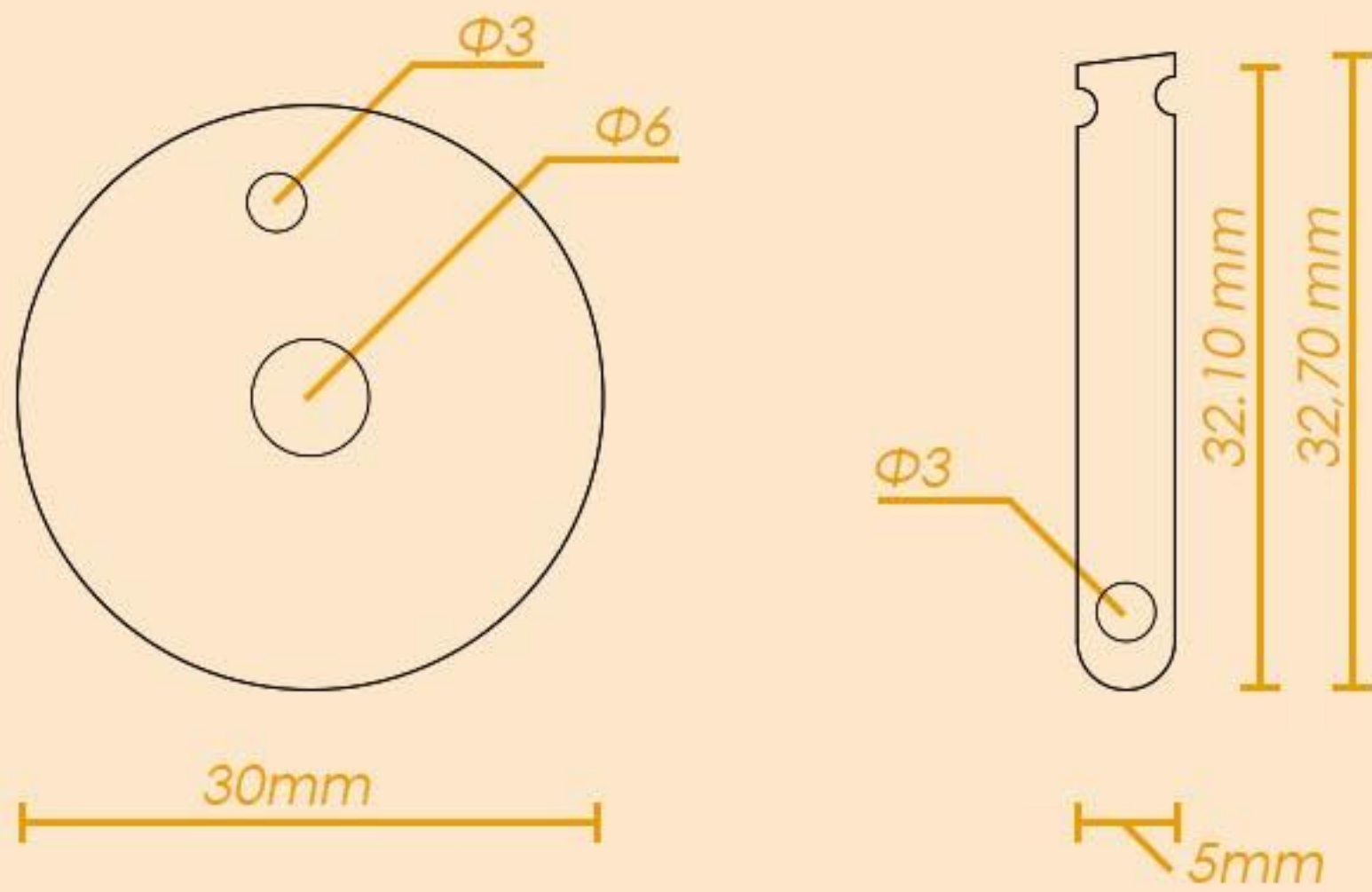
- Ρεύμα: 2.5A (6V)
- Ροπή: 9.4 kg/cm (σε 4.8V)
- Μέγιστη περιστροφική δύναμη: 11 kg/cm (6V)
- Ταχύτητα λειτουργίας 0.17 s/60°
- Τύπος γραναζιού: Μεταλλικό
- Σρέψη : 0°-180°
- Βάρος : 55gm



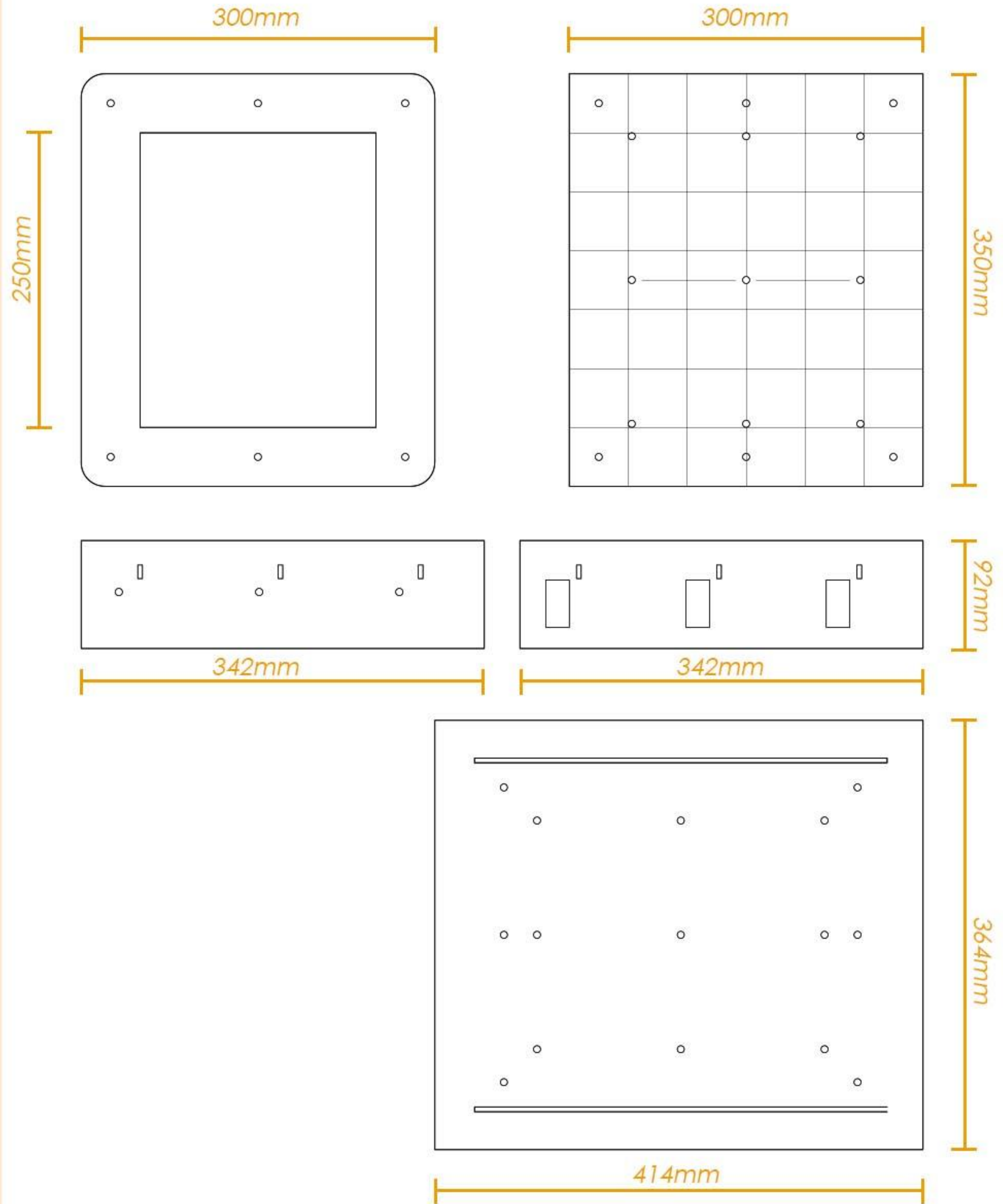
Μηχανισμός Servo Κινητήρα



Fabrication

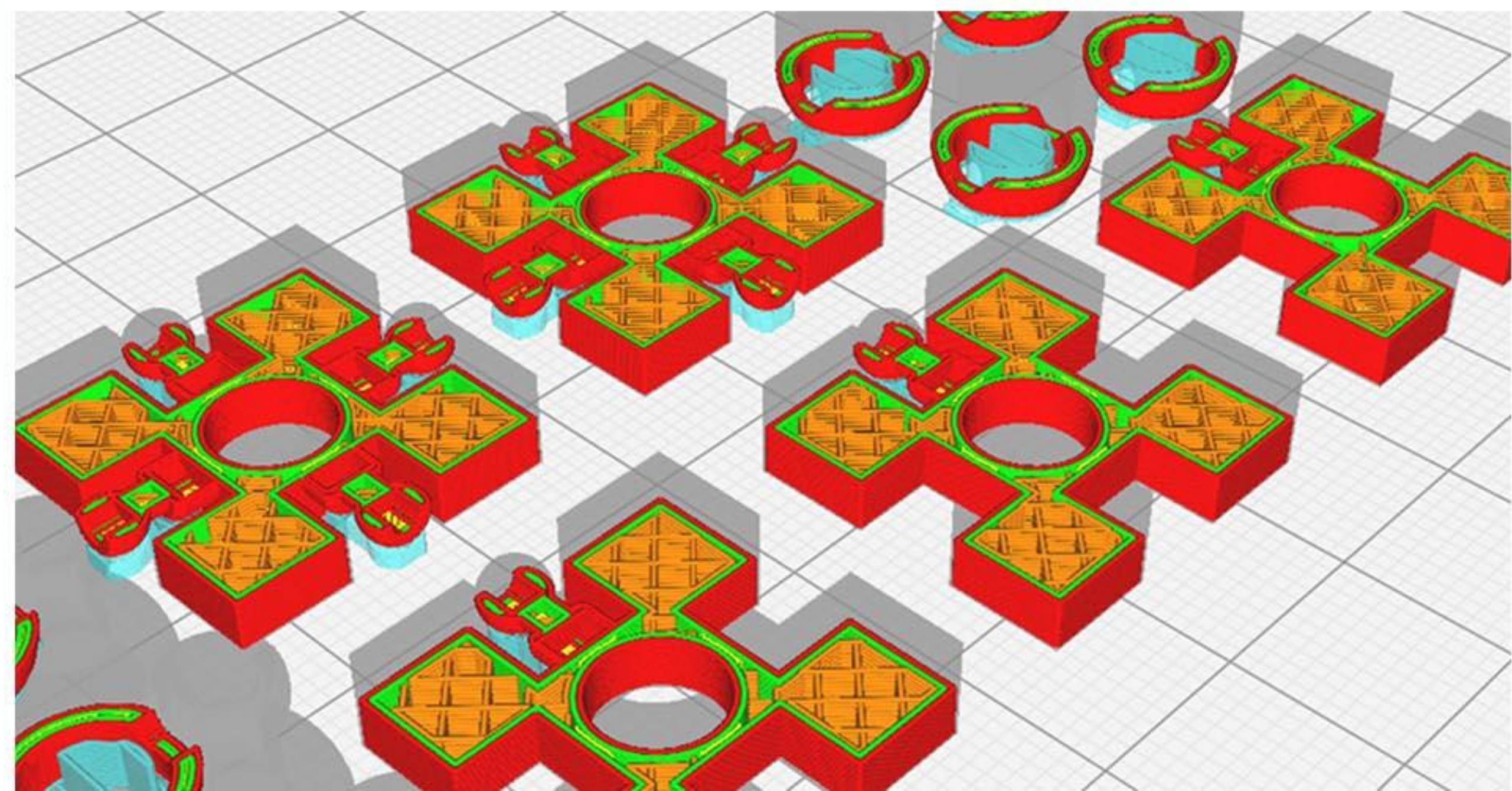
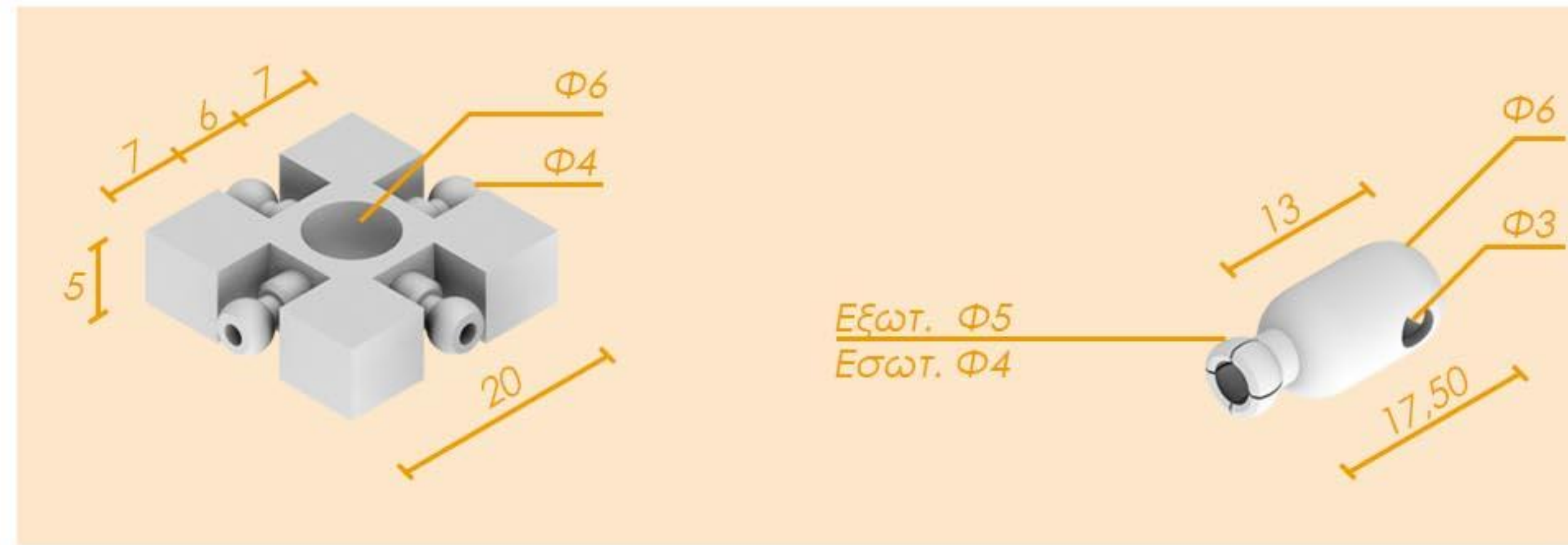
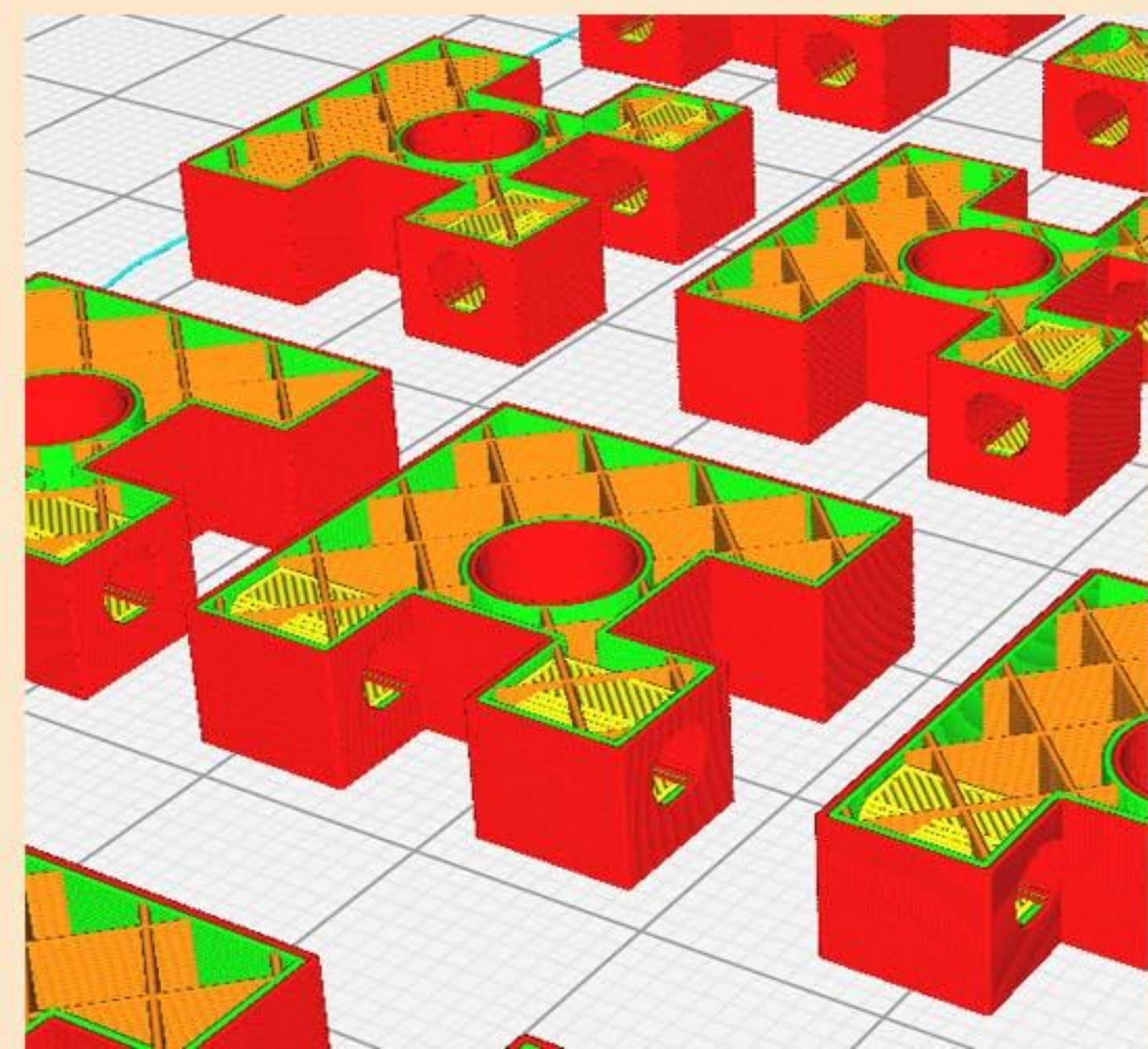
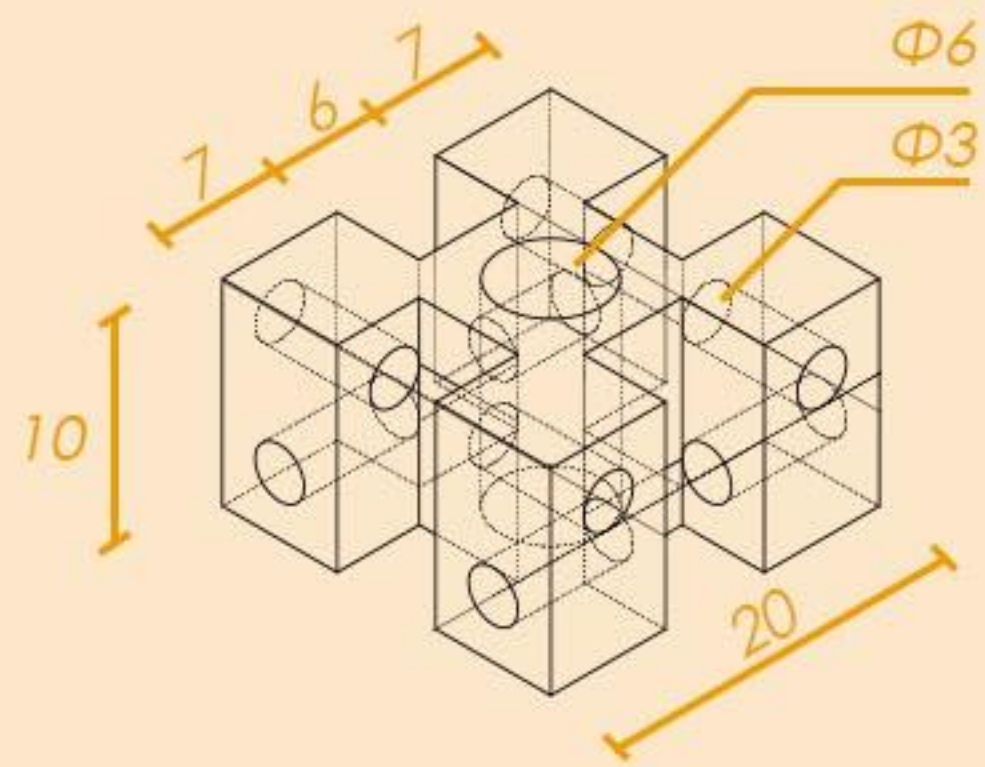


Διαμήκης Τομή Μακέτας



Fabrication

3d printed connectors



Διάδραση

Προσθήκη μικροελεγκτή | Arduino Uno

3d printed connector

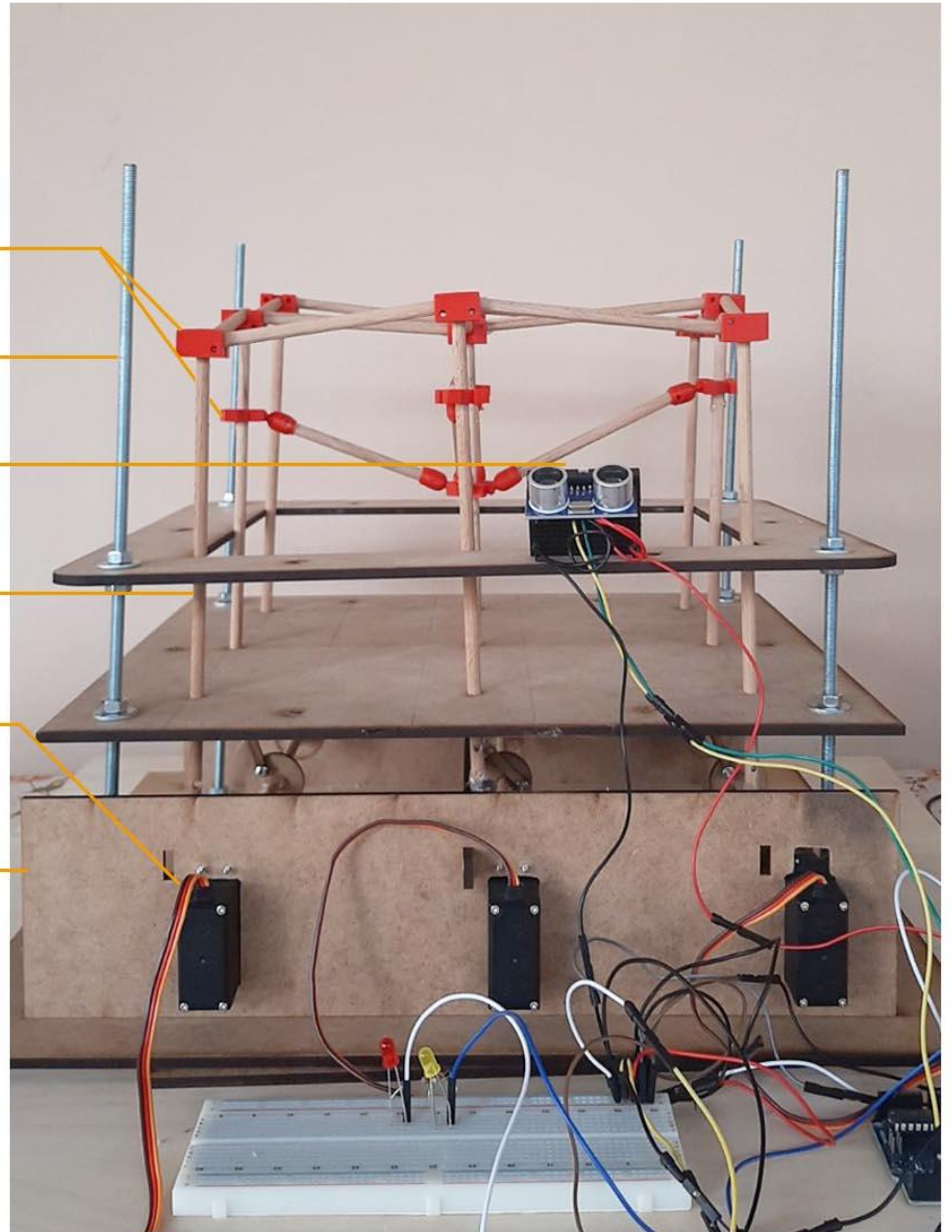
Ντίζα 6mm

Ultrasonic Sensor

Καβίλια 6mm

MG996R Servo Motor

Μηχανισμός




```
#include <Servo.h>

int ultrasonic = 0;

int centimeters = 0;

int unnamed = 0;

int i = 0;

long readUltrasonicDistance(int triggerPin, int echoPin)
{
    pinMode(triggerPin, OUTPUT); // Clear the trigger
    digitalWrite(triggerPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    // Sets the trigger pin to HIGH state for 10 microseconds
    digitalWrite(triggerPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(triggerPin, LOW);
    pinMode(echoPin, INPUT);
    // Reads the echo pin, and returns the sound wave travel time in microseconds
    return pulseIn(echoPin, HIGH);
}

Servo servo_10;

Servo servo_9;

Servo servo_8;

void setup()
{
    servo_10.attach(10);

    servo_9.attach(9);

    servo_8.attach(8);

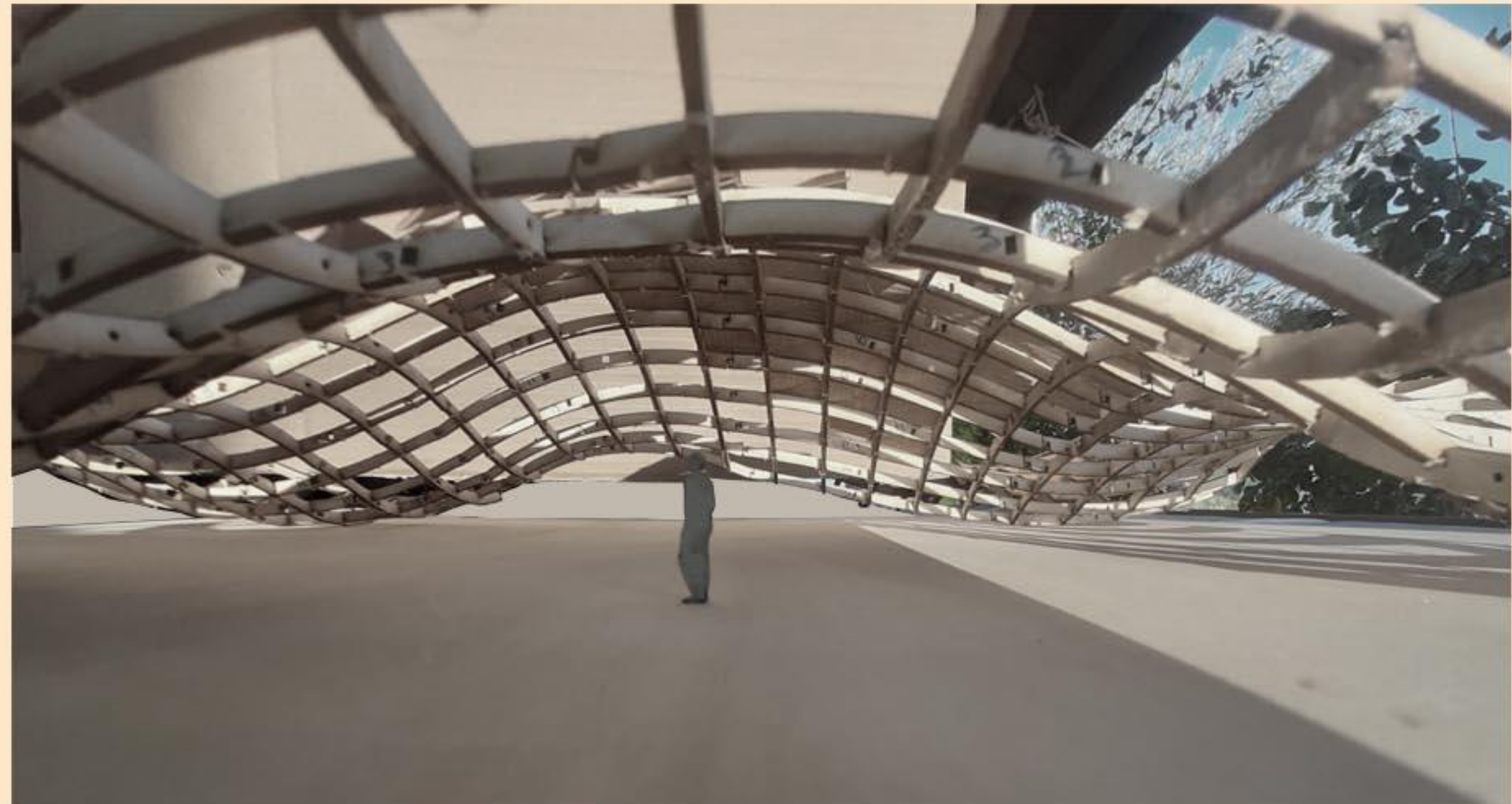
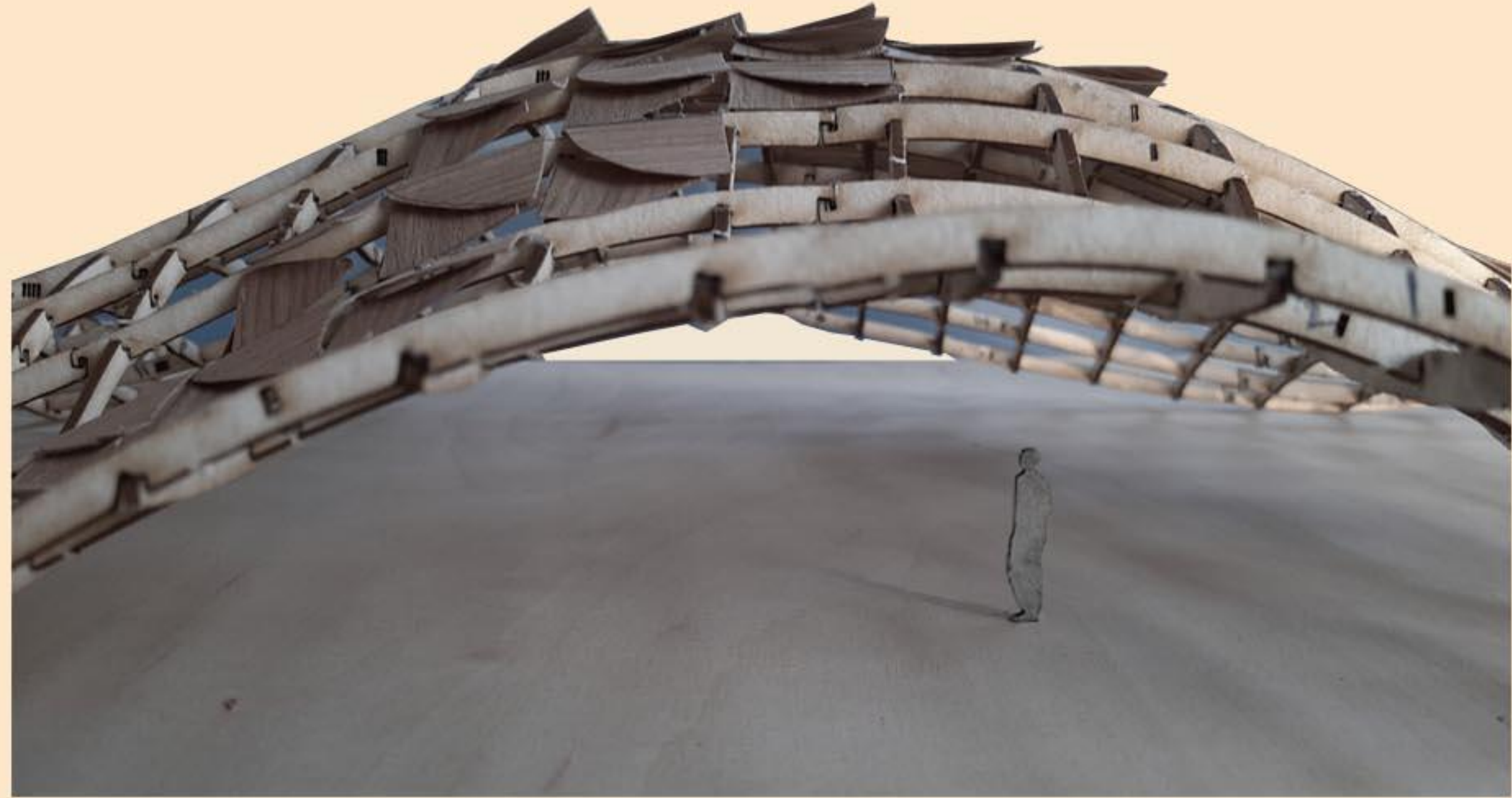
    pinMode(13, OUTPUT);
}

void loop()
{
    centimeters = 0.01723 * readUltrasonicDistance(4, 3);
    if (centimeters < 200) {
        servo_10.write(180);
        servo_9.write(0);
        servo_8.write(180);
        digitalWrite(13, HIGH);
    }
    if (centimeters > 200) {
        servo_10.write(0);
        servo_9.write(180);
        servo_8.write(0);
        digitalWrite(13, LOW);
    }
}
```

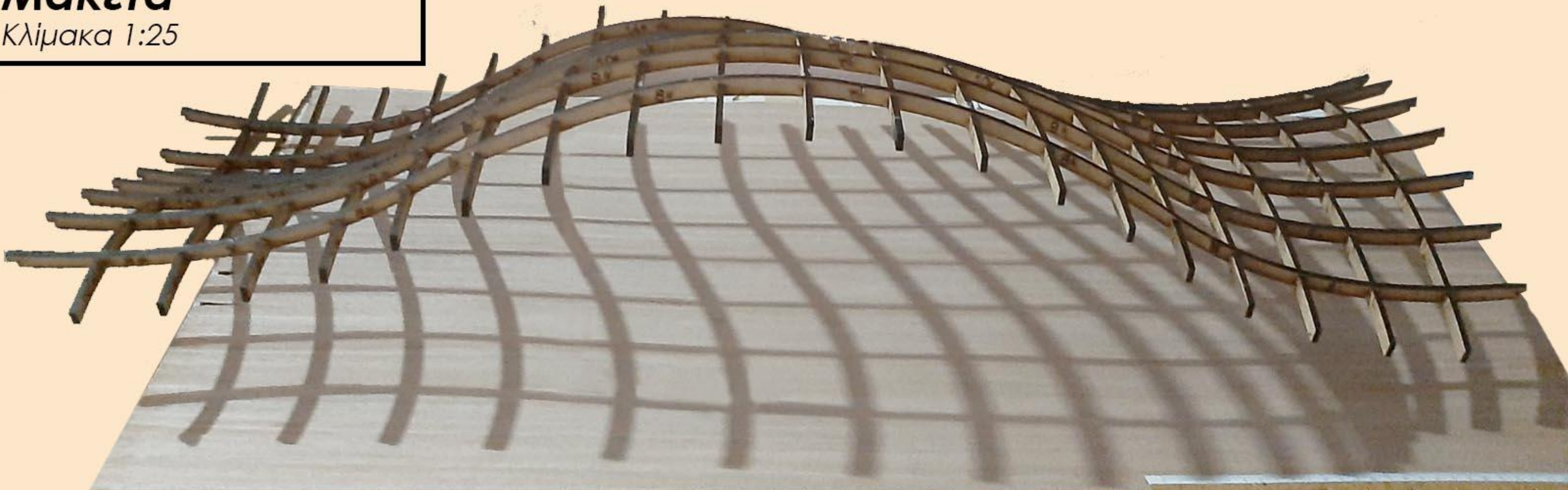


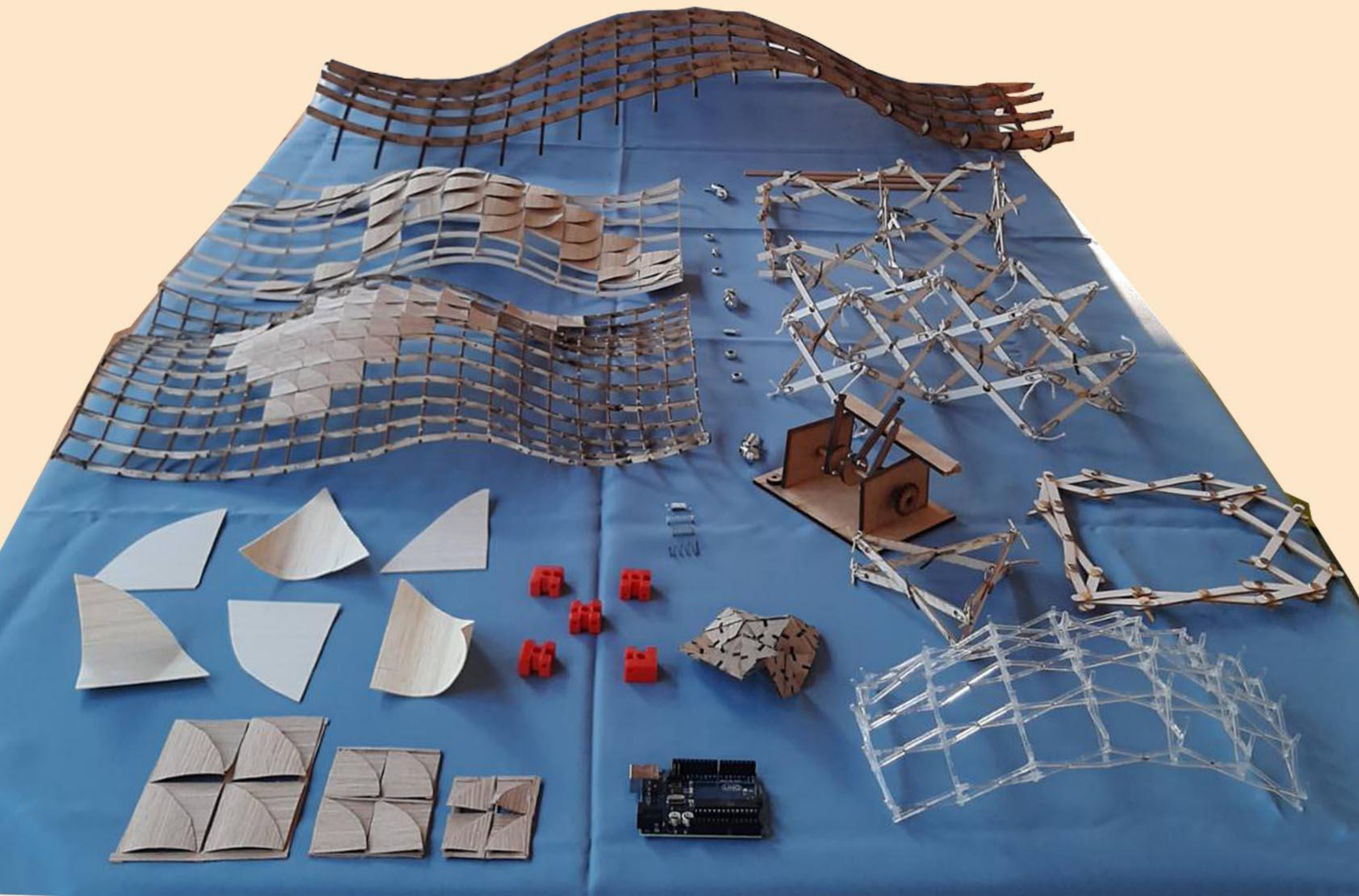
Μακέτα

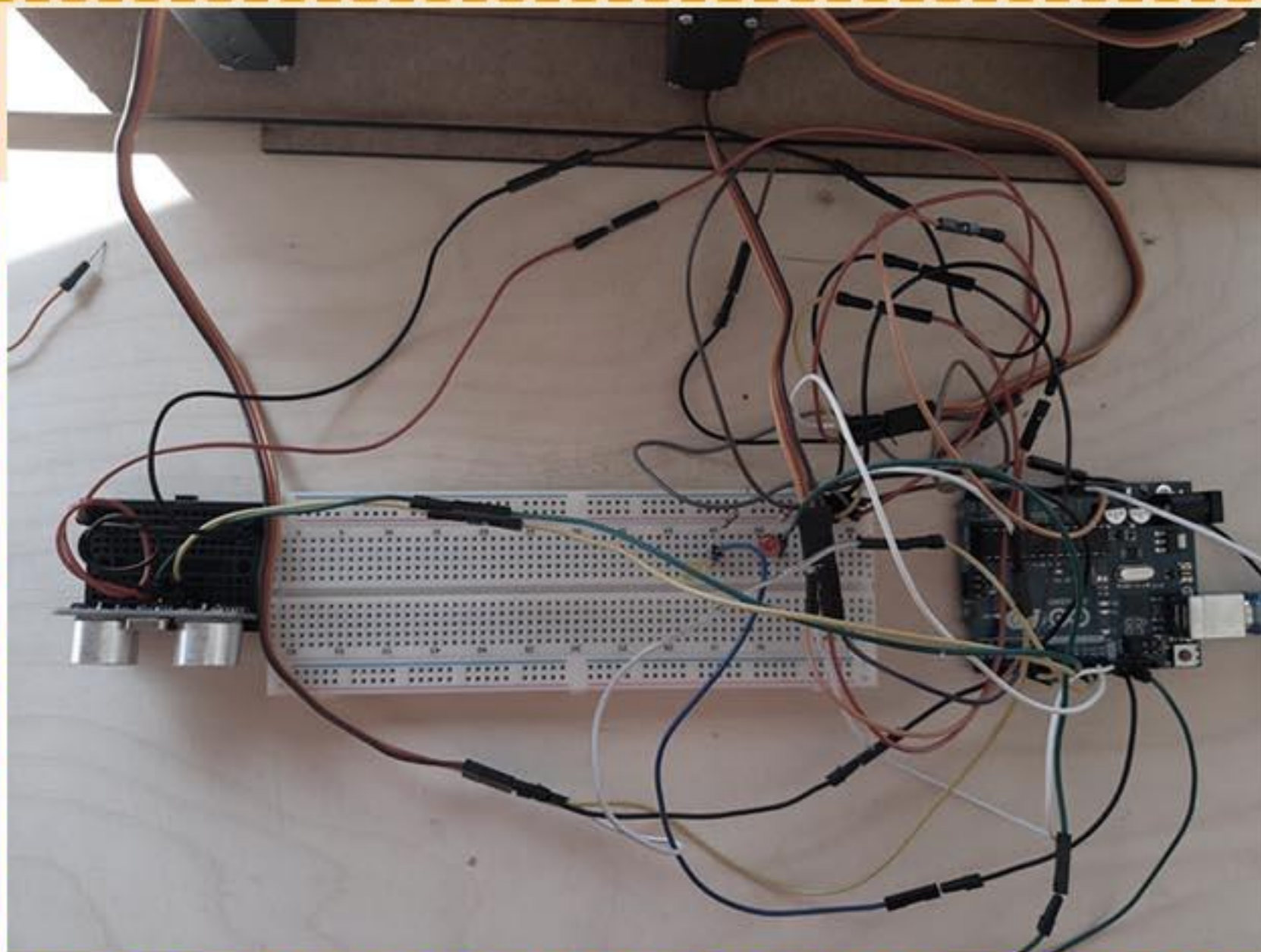
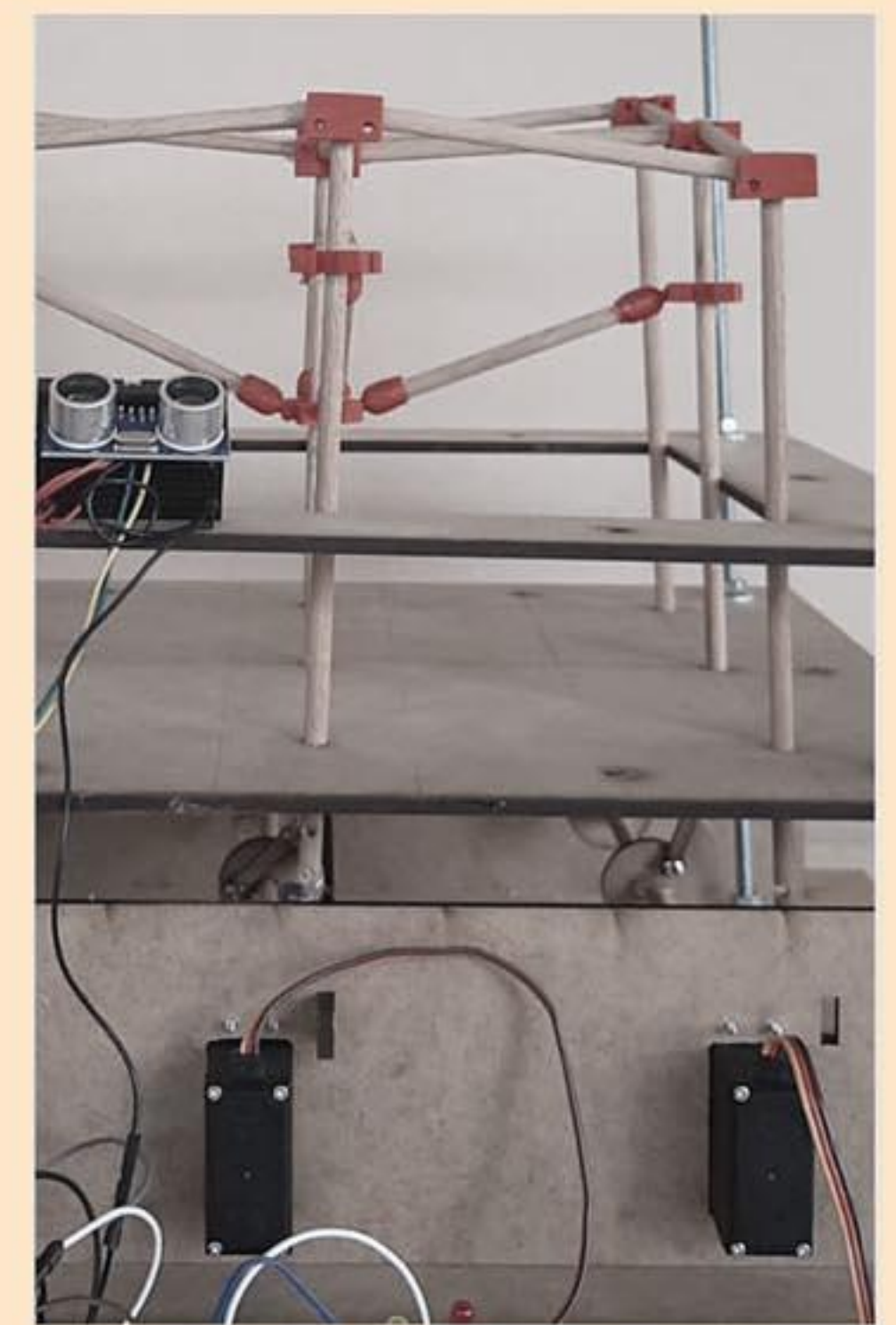
Κλίμακα 1:50



Μακέτα
Κλίμακα 1:25







Ευχαριστώ τον κ. Ουγγρίνη, για την καθοδήγησή του καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, τον Δομέτιο Σαρρή για την βοήθειά του, όπως και την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξή τους.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Noemi Friedman, Adnan Ibrahimbegovic, 2013**, Overview of highly flexible, Deployable lattice structures used in architecture and civil engineering undergoing largedisplacements
- Daniel Rosenberg, 2010**, Indeterminate Architecture: Scissor-Pair Transformable Structures
- Giulia E Fenci , Neil GR Currie, 2017**, Deployable structures classification: A review
- Kelvin Roovers, Niels De Temmerman, 2017**, Deployable scissor grids consisting of translational units
- Tom Van Mele, Niels De Temmerman, Lars De Laet, Marijke Mollaert , 2010**, Scissor-hinged retractable membrane structures
- Steffen Reichert, Achim Menges, David Correa, 2015**, Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness.
- Arnim von Gleigh, Christian Pade, Ulrich Petshow, Eugen Pissarskoi, 2009**, Potensials and Trends inBiomimetics

Διπλωματικές Εργασίες

- Μαρούδα Ιουλία, 2016**, Κιναισθησία - Διαδραστικές Αρθρωτές Κατασκευές
- Σκουλούδη Ηρώ, 2017**, BIO- Inspired Architecture | From Form to Fabrication Flock Based Spatially Distributed Open-Source Customisable Plywood Structure.

Ηλεκτρονικές Πηγές_ Εικόνες

- Εικ 1. Frei Otto_flexible Tower: <https://magazine.sangbleu.com/2014/04/29/dead-loads/>
- Εικ 2. Keneth Snelson Needle Tower: https://www.brianesty.com/bodywork/wp-content/uploads/2011/01/dragon_new.jpg
- Εικ 3. Kas Oosterhuis, Muscle Tower II:
http://archtctr2.0.viernulvier.nl/sensory_enhanced_bamboostic/Sensory%20enhanced%20Bamboostic.htm
- Εικ 4. Hybgrid, Sylvia Felipe, Jordi Truco: <http://www.achimmenges.net/?p=4407>
- HBS + evo Βίδα: <https://docplayer.gr/41930202-Hbs-evo-vides-exoterikoy-me-koniki-kefali-anthrakohalyvas-me-enishysi-revodip.html>
- Ground Anchor: <https://www.spyrabase.co.uk/product/220mm-ground-anchor-2/>
- DC Motor 24V: https://www.ketterer.de/media/ketterer_product_brochure_motor_spindle_drives.pdf
- Εικ 5. HygroSkin : <http://www.achimmenges.net/?p=5612>
- Εικ 6. Building skin prototype: <http://s3.amazonaws.com/arena-attachments/1501073/8cf9a7e4e62ad52f2f3bd65faed19824.pdf?1513037335>
- Εικ 7. <http://www.achimmenges.net/?p=21454>
- Εικ 8. Στοά Νικολούδη: <https://www.protothema.gr/city-stories/article/723598/to-pagotorolo-kai-o-kapodistriass-sti-stoa-nikoloudi/>
- ladybug logo : <https://www.ladybug.tools/>
- <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ArduinoUNO.png>
- <https://icons8.com/icon/1740/car-battery>
- <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gears.png>
- <https://icons8.com/icon/11501/proximity-sensor>
- <https://www.semanticscholar.org/paper/A-biomimetic-approach-for-designing-stent-graft-as-Singh-Wang/1ed5dd634404574dbe0aa9dcafdef1d9f9775ac5>

Βιβλιογραφία

Ηλεκτρονικές Πηγές_ Εικόνες

-https://toppng.com/arduino-logo-PNG-free-PNG-Images_222719

-<https://www.food4rhino.com/app/firefly>

-<https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fc7.uihere.com%2Ffiles%2F442%2F350%2F342%2Fpictogram-infographic-business-process-businessperson-work-time-cliparts.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.uihere.com%2Ffree-cliparts%2Fpictogram-infographic-business-process-businessperson-work-time-cliparts-1731222&tbnid=fN8eKTKTCy5aSM&vet=10CBUQxiAoAmoXChMlyMWLspWF7AIVAAAAAB0AAAAAEAw..i&docid=UhpJSH7Z7NyIVM&w=728&h=561&itg=1&q=human%20%20designing%20chair%20and%20laptop%20%20logo&ved=0CBUQxiAoAmoXChMlyMWLspWF7AIVAAAAAB0AAAAAEAw>