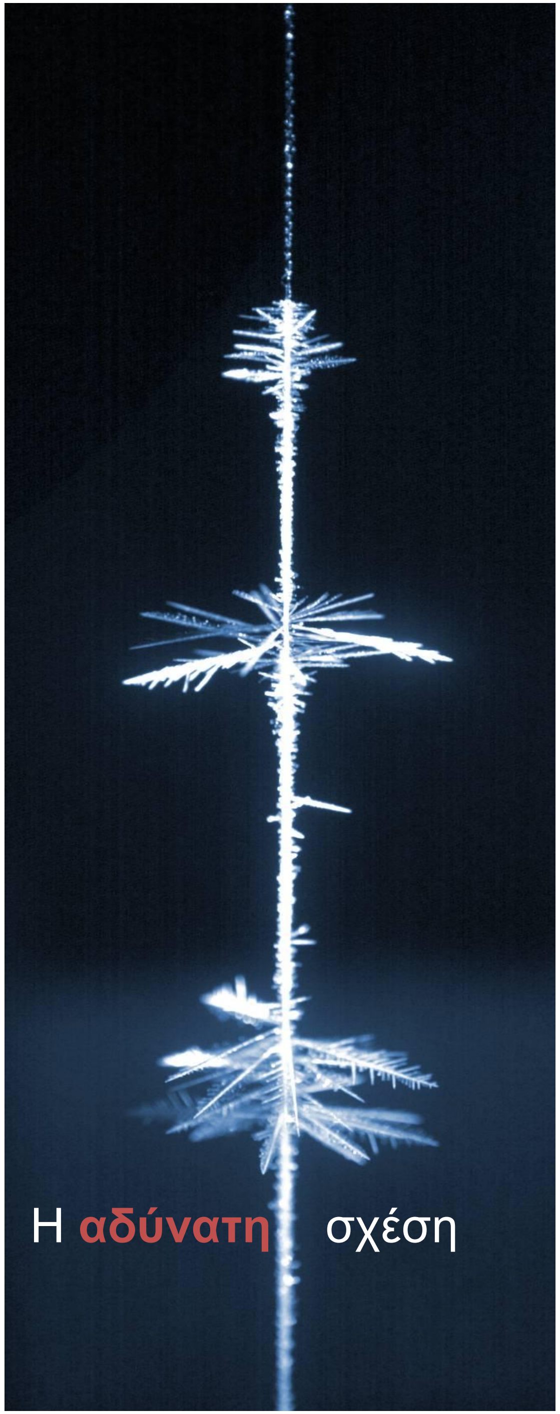
Κατερίνα Βαρταλά
ΕΜΠ, Αρχιτεκτόνων Μηχ/κών
Επίβλεψη : Δ.Παπαλεξόπουλος

Περίοδος: Φεβρουάριος 2014

ΔΙΑΛΕΞΗ

ΣΕ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΘΕΑΣΗ:



Η **αδύνατη** σχέση **μαθηματικών και αρχιτεκτονικής**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή

Μπορεί να απαριθμήσει κανείς πολλά επιχειρήματα υπέρ του ότι η ταυτόχρονη μελέτη των δύο πεδίων, μαθηματικών και αρχιτεκτονικής, είναι δύσκολη.

Καταρχήν, το επιχείρημα της έκτασης: τα μαθηματικά αποτελούν πεδίο επιστημονικής δραστηριότητας τόσο αχανές, που από μόνο του είναι πολλαπλάσια μεγαλύτερο από όλη τη γνώση των υπολοίπων επιστημών μαζί [1]. Συνέπεια αυτού, είναι ότι προ πολλού έχει χαθεί η καθολική εποπτεία ολόκληρου του πεδίου και για τους ίδιους τους μαθηματικούς, οι οποίοι εξειδικεύονται ανάλογα με την κλίση τους και τα ειδικά προβλήματα που ερευνούν. Ακόμα όμως κι αν αποφασίσουμε να μελετήσουμε μόνο τη γεωμετρία, ως τον προφανή κοινό τόπο με τη αρχιτεκτονική, σύντομα αντιμετωπίζουμε προβλήματα στους παραλληλισμούς με τομείς όπως οι μη ευκλείδειες γεωμετρίες, η προβολική, η διαφορική , ή η αλγεβραϊκή γεωμετρία, η τοπολογία, και οι πολλαπλές ειδικές περιπτώσεις με τα διαπλεκόμενα μεταξύ τους παρακλάδια.
Έπειτα, είναι το επιχείρημα της χωρο-χρονικής ασυμφωνίας: Η σύγχρονη εποχή στα μαθηματικά ξεκίνησε τον 17ο αιώνα [2], και η μεγάλη έκρηξη στο πεδίο της γεωμετρίας συνέβη κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα [3]. Την ίδια περίοδο στην αρχιτεκτονική η προσπάθεια επικεντρωνόταν στο ξεκαθάρισμα των αρχαίων αρχιτεκτονικών ρυθμών και στη δημιουργική αναδιαρρύθμιση των μελών τους στα κτήρια [4]. Τα νέα μαθηματικά, δεν συμμετείχαν ιδιαίτερα στο σύμπαν του αρχιτέκτονα, με ορισμένες εξαιρέσεις, όπως στα έργα των μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Παρισιού, ή σε ειδικές συνεργασίες όπως αυτή των Wren-Hooke για τον καθεδρικό του Αγ. Παύλου, ή ακόμα, στην παράδοση από τον Eiffel στον Gaudí.
Μετά, είναι το πλατωνικό-ιδεαλιστικό επιχείρημα: εάν μόλις ένα ελάχιστο τμήμα των μαθηματικών αφορά στις διεργασίες του πραγματικού κόσμου, με την κατεξοχήν δραστηριότητα των μαθηματικών να λαμβάνει χώρα σε έναν κόσμο αφηρημένων δομών και κανόνων [5], είναι αντίθετα, το σύνολο του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού που έχει να κάνει με την μορφοποίηση αυτής ακριβώς της πραγματικότητας, συμπεριλαμβανομένων ακόμα και των κατά καιρούς αναδυόμενων "ουτοπικών" προσπαθειών [6].
Υπάρχει ακόμα το επιχείρημα της διαφοράς σε μέθοδο, σκοπό και αποτελέσματα. Από την κλασική διαδικασία της απόδειξης μέχρι τον γράψιμο κώδικα στον υπολογιστή, τα μαθηματικά έχουν να επιδείξουν μια τεράστια γκάμα σε τεχνικές που οδήγησαν σε αληθινά αριστουργήματα της αφηρημένης σκέψης. Όμως, πυλώνες αυτής της σκέψης, όπως η σημασία της μαθηματικής αυστηρότητας, οι λεπτεπίλεπτες διαφοροποιήσεις στον συμβολισμό, δηλαδή την συμπιεσμένη και αυστηρά ορισμένη

πληροφορία, ακόμα και το ατόπημα της λογικής ασυνέπειας, δεν παίζουν κανένα ρόλο στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό.
Τέλος, υπάρχει το επιχείρημα της έλλειψης κοινού τόπου ακόμα και σε θέματα βασικής ορολογίας. Μοτίβα, δομές, σχήματα, μετρικές ιδιότητες, διαστάσεις, επιφάνειες, συμμετρία, σημαίνουν εντελώς διαφορετικά πράγματα στα δύο πεδία.

Για το θέμα μας λοιπόν μια κλασικού τύπου διαλεκτική προσέγγιση, ή ακόμα μια μετα-δομική παράλληλη ανάγνωση, δεν είναι δύσκολη.
Είναι αδύνατη.

(ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΣ-ΟΔΗΓΟΣ)

Πώς λοιπόν μπορεί να γίνει η διερεύνηση αυτής της σχέσης? Θα χρειαστώ κάποιο θεωρητικό σχήμα για να οργανώσω το υλικό μου. Αποφεύγω μεθόδους όπως η τοπική ή επιμέρους σύγκριση, με αντιπαράθεση ή αντιστοίχιση παραδειγμάτων και εξαγωγή γενικοτήτων. Ή αντίθετα, παίρνοντας τον γενικότατο ή ολικό ορισμό των μαθηματικών ως επιστήμη των μοτίβων (patterns)[7], και ψάχνοντας για δομικές ομοιότητες με την αρχιτεκτονική σε ένα επίπεδο αναγκαστικά αφηρημένο. Αυτό που θα επιχειρήσω είναι να δω τη συσχέτιση μαθηματικών και αρχιτεκτονικής μέσω της έννοιας της *παράλλαξης,* ενός φαινομένου που προέρχεται από την αστρονομία και έχει επεξεργαστεί περαιτέρω από τη φιλοσοφία [8]. Η εργασία αυτή είναι εν μέρει εργασία παρουσίασης, και εν μέρει κριτικής, καθώς έχουμε πια πολλά υλοποιημένα παραδείγματα στην αρχιτεκτονική και την τέχνη, που *ισχυρίζονται* στενή σχέση ή αναφορά στον κόσμο των μαθηματικών, καθώς και μια ξεκάθαρη εικόνα των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για να πάρουν αυτά μορφή, ώστε να μπορούμε να συγκροτήσουμε το αντικείμενο της διερεύνησης αυτής. Σκοπός της εργασίας είναι να από-μυθοποιηθεί, να ξεκαθαρίσει η συσχέτιση των δύο πεδίων και να προσδιοριστεί ο βαθμός στον οποίο είναι δόκιμη μια προσέγγιση, που σε καμία περίπτωση δεν φιλοδοξεί να είναι διεπιστημονική. Με αφορμή αυτά, θα επαναδιατυπωθούν κάποιες σκέψεις σε σχέση με καίρια ζητήματα που αφορούν στην μορφή και στο πώς παράγεται η αρχιτεκτονική σήμερα.

ΜΕΘΟΔΟΣ

ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

TOPIC SENTENCE

§1. ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ

Ή

Η αρχιτεκτονική ως αναπαράσταση-εικονογράφηση

Ας ξεκινήσω προτείνοντας την εξής νοητική εικόνα: την μεταβολή του τοπίου όταν τρέχουμε με το αυτοκίνητο, όπου τα αντικείμενα κοντά μας φαίνεται να κινούνται με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτά σε ένα μεσαίο βάθος, πόσο μάλλον σε σχέση με αυτά που βρίσκονται κοντά στον ορίζοντα, τα οποία φαίνεται να μην κινούνται καθόλου.
Παράλλαξη, *στην αστρονομία, είναι η φαινόμενη μεταβολή της θέσης ενός αντικειμένου, εξαιτίας της κίνησης ενός άλλου, ή του παρατηρητή* [9]. Ήταν από παλιά μια πειραματική μέθοδος εξαγωγής συμπερασμάτων εκεί όπου το πείραμα ήταν αδύνατο. Αντιστρέφοντας το παραπάνω νοητικό σχήμα, ήταν δυνατόν να κάνει ο αστρονόμος της Αναγέννησης παρατηρήσεις για τη θέση των ουρανίων σωμάτων και να εικάσει τη μορφή του ηλιακού συστήματος έχοντας στη διάθεσή του μόνο ένα υποτυπώδες τηλεσκόπιο. Με την παράλλαξη επίσης, ο αστρονόμος Arthur Eddington, ένας από τους πρώτους εκλαϊκευτές του έργου του Einstein, παρατηρώντας την έκλειψη ηλίου της 29 Μαΐου του 1919, έδωσε την πρώτη επιβεβαίωση για την ορθότητα της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας [10]. Με μετρήσεις της αστρονομικής παράλλαξης δουλεύει ακόμη και ο μηχανισμός των Αντικυθήρων, αυτό το αστρονομικό υπολογιστικό μηχάνημα, που προσδιόριζε το χρόνο με βάση τις κινήσεις του ήλιου, της σελήνης και τις μεταξύ τους σχέσεις, δηλαδή τις ευθυγραμμίσεις, τις εκλείψεις και τις κινήσεις άλλων γνωστών για την εποχή εκείνη πλανητών. Πώς? Μετρώντας τις σχετικές θέσεις, δηλαδή τις ταχύτητες των ουρανίων σωμάτων, ήταν δυνατόν να καθοριστεί η γεωμετρία τους, να προβλεφτεί η θέση τους, άρα και να μετρηθεί ο χρόνος. Ουσιαστικά, η παράλλαξη είναι η μέθοδος που επέτρεψε στην αστρονομία να βγει έξω από το ηλιακό μας σύστημα[11].

(Πώς βλέπουμε την παράλλαξη: Στην εικόνα, ο ήλιος βρίσκεται πάνω από το φανοστάτη, ενώ στην αντανάκλαση φαίνεται να είναι πίσω από αυτό. Η αντανάκλαση είναι η *οιωνεί εικόνα* του ηλίου και του φανοστάτη. Η θέση της βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού, δίνοντας άλλη θέση στο φανάρι, το οποίο φαίνεται μετατοπισμένο σε σχέση με τον ήλιο [12]. Αυτό ακριβώς είναι η παράλλαξη. Η πραγματική σχέση δεν φαίνεται ούτε στην απευθείας θέαση, ούτε στην οιωνεί αντανάκλαση. Την σχέση αυτή μπορούμε μόνο να την εικάσουμε από την ταυτόχρονη θέαση των δύο εικόνων και να την επιβεβαιώσουμε με περαιτέρω δεδομένα.)

Παρομοίως, τα μαθηματικά, ή μάλλον το γράψιμο κώδικα, είναι που επέτρεψε στην αρχιτεκτονική να βγει έξω από το interface των προγραμμάτων σχεδιασμού, και να αρχίσει να εξερευνά τις μορφογενετικές δυνατότητες του μέσου[13]. Πώς λοιπόν το γεγονός αυτό μεταμορφώνει εκ νέου τη σχέση αρχιτεκτονικής και μαθηματικών?

Τα παραδείγματα που θα εξεταστούν αμέσως, βρίσκονται σε ευθεία χωρική, αν και διαφορική ή μεταβαλλόμενη, σχέση μεταξύ των δύο πεδίων.

1

1. Συμμετρία

+

Κάλυψη χώρου

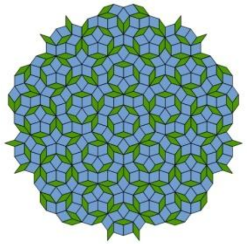
Εάν υπάρχει κάτι που διασκεδάζει τους επαγγελματίες μαθηματικούς, είναι να βρίσκουν εφαρμογή ή έκφραση των προβλημάτων που μελετούν κατ' ιδίαν, έξω, στον πραγματικό κόσμο. Να βρίσκουν μπροστά τους, αππό, αυτόν τον σχεδόν μυστικιστικό κώδικα αριθμών και σχημάτων που συνδέει τα πάντα με τα πάντα. Από τις κυψέλες των μελισσών μέχρι τις σαπουνόφουσκες, από τη διάταξη των ατόμων στους κρυστάλλους του αλατιού, μέχρι τα έργα τέχνης, αρχαία και σύγχρονα. Αναζητούν τον κώδικα που θα μας δώσει την ακριβέστερη δυνατή περιγραφή του κόσμου[14]. Οι αρχιτέκτονες από την άλλη, φιλοδοξούν κι αυτοί να συνεισφέρουν σ' αυτό το τεράστιο αρχείο ιδεών και σχημάτων.

Το πρόβλημα της κυψέλης των μελισσών επιλύθηκε μαθηματικά πολύ πρόσφατα. Η κυψέλη, ένα θαύμα της μηχανικής της φύσης, καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της αποικίας, σε στέγη, αποθήκευση τροφής και το μεγάλωμα των μωρών τους. Το δομικό συστατικό της, το κερί, παράγεται εξαιρετικά δύσκολα. Για να παράξει ένα κιλό, μια μέλισσα πρέπει να καταναλώσει τόση ενέργεια όση για να πετάξει γύρω από τη Γη 25 φορές. Αποτέλεσμα αυτής της εντατικής εργασίας είναι η κηρήθρα, με κάθε εξαγωνικό κελί απολύτως ίσο με το διπλανό του, όλα σε τέλεια συστοιχία, με τους τοίχους τους να συναντώνται πάντα υπό γωνία 120 μοιρών. Κάθε μέλισσα, σε κάθε γωνιά του κόσμου, ξέρει να φτιάχνει αυτά τα σχήματα. Γιατί όμως σ'αυτό το μέγεθος και γιατί εξάγωνα?

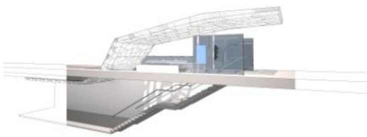
Είμαστε ήδη στο μαθηματικό πεδίο της κάλυψης χώρου και της συμμετρίας. Δηλαδή την υποδιαίρεση επιφάνειας ή χώρου αφήνοντας όσο το δυνατόν λιγότερα κενά ανάμεσά τους, ή καθόλου, ad infinitum. Και με συμμετρία, εννοούμε την επανάληψη ενός μοτίβου με κατοπτρική, περιστροφική κτλ. συμμετρίες, σε μία ή περισσότερες κλίμακες. Η λύση του προβλήματος της κηρήθρας είναι ότι οι μέλισσες, αφ’ ενός δίνουν στο κελί το μέγεθός του, χρησιμοποιώντας το σώμα τους ως διαβήτη για να ορίσουν τη διάμετρο του περιγεγραμμένου κύκλου και αφ’ ετέρου, χρησιμοποιούν τα εξάγωνα γιατί είναι το σχήμα αυτό που τους εξασφαλίζει την μικρότερη δυνατή κατανάλωση κεριού[16].

Στο κτίριο του Μουσείου Soumaya, του 2011, στην Πόλη του Μεξικό, ο αρχιτέκτονας Fernando Romano, επιλέγει εξάγωνα για την πλήρη κάλυψη της εξωτερικής επιφάνειας του κτηρίου. Αυξάνει όμως το βαθμό πολυπλοκότητας του προβλήματος, χρησιμοποιώντας καμπύλες μη κανονικές επιφάνειες. Τα εξάγωνα που προκύπτουν είναι μη κανονικά και ανόμοια μεταξύ τους[17]. Πριν την ψηφιακή τεχνολογία, τέτοιες αρχιτεκτονικές επιλογές φάνταζαν, επιτηδευμένες, παράλογες και αναίτιες.

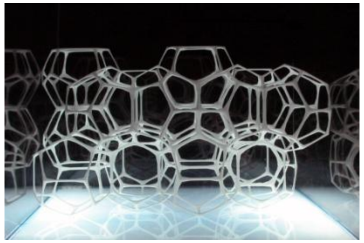
Στα μαθηματικά η γενίκευση του προβλήματος αφορά στην εξακρίβωση της βέλτιστης τοποθέτησης ομοίων πραγμάτων σε στοίβες ή την μελέτη της δομής της ύλης σε μοριακή ή ατομική κλίμακα. Αντίθετα στην αρχιτεκτονική, το πρόβλημα παίρνει πιο περιορισμένη μορφή, δηλαδή της υποδιαίρεσης του χώρου χωρίς να μένει τίποτα σε αχρηστία, και με όσο το δυνατόν μικρότερη χρήση υλικών. Τα νέα μαθηματικά που χρησιμοποιούνται είναι η κάλυψη επιφανειών με απεριοδικά μοτίβα, όπως αυτά που ανακάλυψαν οι Roger Penrose και Robert Ammann, ή το χωρικό μοντέλο των Weaire και Phelan, μοτίβα που αποτελούν ήδη κλισέ στην «εργαλειοθήκη» των αρχιτεκτόνων.



Στο διαγωνισμό για τις εισόδους του μετρό για την πόλη του San Sebastian στη χώρα των Βάσκων, το νορβηγικό γραφείο Snøhetta, προτείνει ένα στέγαστρο που μιμείται τις κυψέλες των μελισσών σε δομή, χάρη όμως στις δυνατότητες που δίνει ο παραμετρικός σχεδιασμός, μπορεί να προσαρμοστεί κατά περίπτωση. Έτσι ενώ οι τρεις είσοδοι έχουν τις ίδιες αρχές σχεδιασμού, καθεμία είναι διαφορετική ως προς την όψη, το σχήμα και την κλίμακα. Χρησιμοποιήθηκε εδώ η τεχνική του διαγράμματος



Voronoi, κοινός τόπος σε πολλές αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις του προβλήματος αυτού.



Αυξάνοντας τη θεώρησή μας κατά έναν ακόμα βαθμό πολυπλοκότητας, βλέπουμε το Ολυμπιακό Κολυμβητήριο του Πεκίνου, Watercube, σχεδιασμένο από το τότε αυστραλιανό αρχιτεκτονικό γραφείο PTW, τώρα πια LAVA Architects, σε συνεργασία με το γραφείο του Ove Arup. Πρόκειται για project που βασίζεται στην μαθηματική σύλληψη του packing, ή της διάταξης τρισδιάστατων μοτίβων στο χώρο. Είναι βασικά, ένα κουτί από φούσκες[18]. Είναι το κατεξοχήν κτήριο που παρουσιάζει το μαθηματικό μοντέλο των Weaire-Phelan από το 1993. Το μοντέλο αυτό ήταν μία από τις λύσεις στο πρόβλημα της αναζήτησης της διάταξης κάλυψης χώρου από κυψελίδες όμοιας μορφής, όμοιου όγκου, ώστε να προκύπτει χώρος με ελάχιστη επιφάνεια. Στην πορεία του σχεδιασμού η αντικατάσταση του γυαλιού ως υλικού κάλυψης από την αιθυλο-τετρα-φλουορο-αιθυλένη, για εξοικονόμηση ενέργειας για την θέρμανση της πισίνας, και η ελαφρότητα της κατασκευής, κάνουν αυτό το κτήριο μια από τις πιο πετυχημένες εκδοχές της κατηγορίας προβλημάτων που είδαμε ως εδώ.

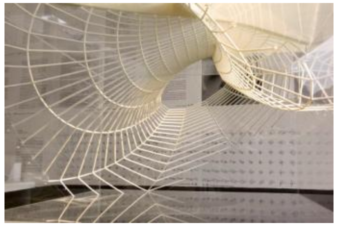
2

2. Προβολική Γεωμετρία

Η προβολική γεωμετρία είναι ένα πεδίο που διερευνήθηκε μαθηματικά κυρίως κατά τον 19^{ο} αιώνα. Αφορά στη μελέτη των γεωμετρικών ιδιοτήτων αντικειμένων που παραμένουν αμετάβλητες υπό προβολικούς μετασχηματισμούς[19]. Ή, αλλιώς διατυπωμένα, τη διατήρηση των γεωμετρικών ιδιοτήτων καθώς ένα σχήμα απεικονίζεται, με προβολή ή άλλο τρόπο, πάνω σε ένα άλλο σχήμα[20]. Στα μαθηματικά το πεδίο αυτό δεν έχει πια ενδιαφέρον, καθώς θεωρείται ότι τα βασικά προβλήματά του έχουν επιλυθεί εντελώς. Για την αρχιτεκτονική όμως εξακολουθεί να αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο.

Ο Ολλανδός γραφίστας Maurits Cornelis Escher, φίλος του μαθηματικού Roger Penrose, και δουλεύοντας συχνά σε συνεργασία μαζί του, είναι γνωστός κυρίως εξαιτίας της εικονογράφησης αδύνατων καταστάσεων. Έχει δουλέψει όμως πάνω στην απεικόνιση πολλών μαθηματικών προβλημάτων, όπως αυτή η εικόνα που διερευνά τις συμμετρίες σε μοντέλο του Poincaré βάσει των αρχών της προβολικής γεωμετρίας [21].

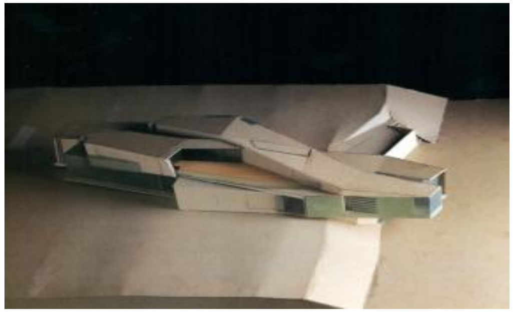
Ο Βρετανός καλλιτέχνης, John Pickering, σε συνεργασία με τον αρχιτέκτονα και καθηγητή της AA, George Legendre, του γραφείου IJP, έχοντας αφιερώσει δεκαετίες εργασίας, έχει παράξει σειρά εξαιρετικά πολύπλοκων γλυπτών που βασίζονται στις αρχές αυτές. Για παράδειγμα, στο έργο *Projective sculpture* του 2009, διερευνάται η διαδικασία δύο αλληλεπιθέμενων κυλίνδρων σε αντιστροφή (inversion) ως προς το ίδιο κέντρο. Βλέπουμε εδώ μια μορφή η οποία είναι εγκιβωτισμένη σε ένα διάφανο κουτί το οποίο περιορίζει τις άπειρες κυκλοειδείς επιφάνειες που παράγονται από αυτήν ακριβώς τη διαδικασία [22].



Άλλα παραδείγματα μπορεί να μην είναι τόσο πολύπλοκα όσο τα έργα του Pickering, είναι όμως πιο εστιασμένα. Στην κατηγορία που μελετάμε εδώ, μπορούν να περιληφθούν τα διάφορα projects που κάνουν εφαρμογή των μεθόδων της *οπτικής αναμόρφωσης.* Ένα από αυτά είναι το ReALIze, σχεδιασμένο και υλοποιημένο από το γραφείο Oyler +Wu στην Καλιφόρνια. Πρόκειται για μια μικρή καλλιτεχνική εγκατάσταση- φόρο τιμής στην σημασία και την προσωπικότητα του Αμερικανού πυγμάχου Muhammad Ali. Αποτελείται από περίπου 1300 σάκους πυγμαχίας διατεταγμένους στο χώρο κατά τέτοιον τρόπο, ώστε ειδωμένοι από ένα συγκεκριμένο σημείο να σχηματίζουν το πορτραίτο του [23].

3

Αν και ο Leibnitz, ήδη από το 1679, στο «Characteristica Geometrica» είχε αντιπαραθέσει τις μορφικές από τις ποσοτικές σχέσεις στην γεωμετρία και είχε εντοπίσει την ανάγκη για μια «γεωμετρική ανάλυση που να εκφράζει τον τόπο, με ρόλο ανάλογο αυτού που επιτελεί η άλγεβρα για το μέγεθος, η τοπολογία γεννήθηκε επίσημα το 1735, όταν ο Euler, το διάστημα που εργαζόταν στην Αγία Πετρούπολη καταπιάστηκε με το πρόβλημα των γεφυρών του Königsberg. Στη συνέχεια, οι κατηγοριοποιήσεις στο πεδίο αυτό έγιναν από τον Riemann, με τους κόμβους, τις επιφάνειες, και τα πολύπτυχα πολλαπλών διαστάσεων να είναι στο επίκεντρο των προβλημάτων του. Τέλος, ο Henri Poincaré, πατέρας της μοντέρνας τοπολογίας, καθόρισε το πεδίο αυτό των μαθηματικών, και τον τρόπο με τον οποίο δουλεύεται έως σήμερα [24]. Ονόμασε το νέο πεδίο analysis situ, ή τοπολογία, και το όρισε ως τη μελέτη των ιδιοτήτων γεωμετρικών αντικειμένων, που διατηρούνται παρά το ότι τα αντικείμενα αυτά υφίστανται μετασχηματισμούς τέτοιους, ώστε να χάνουν όλα τα μετρικά και προβολικά χαρακτηριστικά τους [25.]



Το κακό με την τοπολογία στην αρχιτεκτονική ξεκίνησε το 1993-1998 με το Möbius House των UN Studio. Και ακολούθησε επιδημία κατοικιών, γεφυρών, διαμετακομιστικών κόμβων, λιμανιών, εκκλησιών, επίπλων, κτλ. σε όλα τα μήκη και πλάτη της Γης, που προσπαθούσαν να δώσουν υλική έκφραση σε μια κατηγορία προβλημάτων μάλλον αφηρημένη. Ήταν όμως, το 1935, στην Triennale του Μιλάνο που για πρώτη φορά αυτός ο τομέας των μαθηματικών έκανε την εμφάνισή του στην τέχνη. Με το έργο του, Endless Ribbon, ο Ελβετός Max Bill, μαθητής του Bauhaus Dessau, νόμιζε πως είχε ανακαλύψει κάτι εντελώς νέο, παίζοντας με ένα κομμάτι χαρτί, όπως ακριβώς είχε κάνει ο August Ferdinand Möbius 70 χρόνια νωρίτερα.

Τοπολογικά αντικείμενα όπως η ταινία του Möbius, ή η φιάλη του Klein, ασκούν γοητεία στους αρχιτέκτονες επειδή σ’ αυτά δεν υπάρχει ο διαχωρισμός εσωτερικού και εξωτερικού, ή επειδή η μορφή τους διαπερνά τον εαυτό της, μοιάζουν λοιπόν να σπάνε τα παραδοσιακά όρια μέσα στα οποία οι αρχιτέκτονες εργάζονται. Ωστόσο, ο Ben van Berkel των UN Studio, έχει επίγνωση του ότι οι τοπολογικές επιφάνειες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αρχιτεκτονική με τον αυστηρό τρόπο των μαθηματικών, και λέει ότι στην περίπτωσή του μάλλον αποτελούν αφηρημένα διαγράμματα, 3-διάστατα μοντέλα που του επιτρέπουν να ενσωματώσει διαφορετικές ποιότητες χώρου και χρόνου στην αρχιτεκτονική [26].

Κοντύτερα στην πραγματική υφή της εργασίας πάνω στην τοπολογία βρίσκεται ο Peter Eisenman. Όπως, για παράδειγμα, στον διαγωνισμό για μια εκκλησία στη Ρώμη, *Church of the Year 2000*, του 1996. Η εννοιολογική του αναφορά ήταν η μεταβατική κατάσταση των υγρών κρυστάλλων. Οι μορφές του κτηρίου προέκυψαν χρησιμοποιώντας διαγράμματα μετασχηματισμού που προσομοιάζουν σε διαφορετικές φάσεις της μοριακής δομής των κρυστάλλων αυτών [27].

Δεν θα επεκταθώ άλλο εδώ. Πάρα πολλά παραδείγματα είναι γνωστά, καθ' όλη τη διάρκεια των τελευταίων 20 χρόνων. Αναφέρθηκα στα πρώιμα αυτά έργα, γιατί ακριβώς η δυσκολία στην τεχνική που υπήρχε τότε, δείχνει καθαρότερα τη μέθοδο εργασίας.

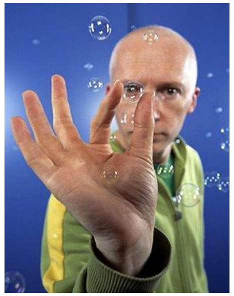
Το κοινό που έχουν τα παραδείγματα που είδαμε ως εδώ, σε ότι αφορά τη σχέση μαθηματικών και αρχιτεκτονικής είναι ότι βρίσκονται σε άμεση, απ' ευθείας συσχέτιση. Οι μορφές τους αντλούν έμπνευση από τα μαθηματικά, αλλά η αρχιτεκτονική τους επιτελεί μάλλον ρόλο εικονογράφησης του μαθηματικού θέματος, χωρίς μεγαλύτερο εννοιολογικό βάθος. Το γεγονός αυτό, εικάζω, έχει να κάνει με τον παλαιό διαχωρισμό του αρχιτέκτονα από τον μηχανικό. Μαζί με την ελευθερία που έδωσε στον αρχιτέκτονα η απαλλαγή από την υποχρέωση της γνώσης της μηχανικής, ήρθε και η αποξένωση από το τεχνικό κομμάτι της κατασκευής και κυρίως από τα μαθηματικά. Συνέπεια αυτού είναι ο περαιτέρω διαχωρισμός της μορφής από το περιεχόμενο στο έργο του, ή ο μεταμοντέρνος διαχωρισμός του σημαίνοντος από το σημαινόμενο. Η πολλαπλή αναπαραγωγή έργων αρχιτεκτονικής βάσει μορφής, ανεξαρτήτως προγράμματος, θέσης ή κλίμακας, δηλαδή η αντιγραφή του ενός από το άλλο, με ελάχιστες παραλλαγές, είναι το καλύτερο πειστήριο γι' αυτό. Το σημαίνον παραμένει σταθερό, το σημαινόμενο αλλάζει.

§2. ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΘΕΑΣΗ

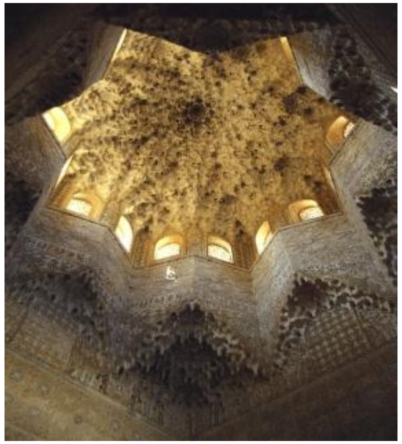
ή Η αντιστροφή του βλέμματος

Ο διαχωρισμός σημαίνοντος- σημαινόμενου βρίσκεται στην καρδιά των αναζητήσεων του Picasso της δεκαετίας του 1910. Στα collages του της περιόδου του αναλυτικού κυβισμού όχι μόνο υφίσταται ο διαχωρισμός αυτός, αλλά τα στοιχεία του πίνακα, αποσπασμένα, αυτόνομα, «κυκλοφορούν» πλέον ελεύθερα στην επιφάνειά του, σημαίνοντας πότε το ένα, πότε το άλλο πράγμα. Για παράδειγμα στον πίνακα *Μπουκάλι Vieux Marc, Ποτήρι και Εφημερίδα* του 1913, το κομμάτι ταπετσαρίας αντιπροσωπεύει ταυτόχρονα την επιφάνεια του τοίχου, του τραπεζιού και την αντανάκλαση στο ποτήρι του κρασιού [28]. Ο χώρος αναπαρίσταται μέσω της συνεχώς εναλλασσόμενης σχέσης μορφής-φόντου. Αυτό θα είναι το νοητικό σχήμα που θα μας εισάγει στην δεύτερη ενότητα της εργασίας, αυτή της Παραλλακτικής Θέασης.

Παραλλακτική θέαση, *είναι η συνεχώς μεταβαλλόμενη προοπτική μεταξύ δύο σημείων, ουράνιων σωμάτων ή επιστημονικών πεδίων, μεταξύ των οποίων κάθε σύνθεση, συσχέτιση ή διαμεσολάβηση είναι αδύνατη* [29]. Τι μπορεί να είναι αυτή η συνεχώς μεταβαλλόμενη προοπτική, ή η ταυτόχρονη θέαση, από διαφορετικά σημεία, για μας, εδώ? Δεν μπορεί να είναι παρά η αντιστροφή του βλέμματος, από την επιστήμη στην τέχνη και πάλι πίσω. Συναφή ερωτήματα που ανακύπτουν είναι: Ποιες συνέπειες έχει το άνοιγμα των αρχιτεκτονικών πρακτικών προς πεδία μέχρι πρότινος απομακρυσμένα από τις παραδοσιακά συγγενείς προς την αρχιτεκτονική επιστήμες, είναι πετυχημένα τα αποτελέσματα, τι κριτήρια μπορούν να τεθούν για να προσδιοριστεί κάτι τέτοιο, και πώς βλέπουν την προσέγγιση αυτή οι άνθρωποι που δουλεύουν στα πεδία αυτά? Εμείς θα περιοριστούμε και πάλι στους μαθηματικούς.



Μέγαρο Μουσικής Αθηνών, Μάρτιος του 2010. Ο Βρετανός μαθηματικός του πανεπιστημίου της Οξφόρδης Marcus du Sautoy παραδίδει διάλεξη για τον Évariste Galois, τα είδη της μαθηματικής συμμετρίας και το πώς παράγονται και μελετώνται τα συμμετρικά αντικείμενα σε χώρους πολλών διαστάσεων. Στην παρουσίασή του αναφέρει κάποια αρχιτεκτονικά παραδείγματα: το μαυριτανικό παλάτι της Alhambra, αρχαίους ιαπωνικούς ναούς κ.α. Η μεγάλη αίθουσα του Μεγάρου Μουσικής είναι γεμάτη και το κοινό, υποθέτω, εξειδικευμένο. Στο τέλος της παρουσίασης, από το κοινό απευθύνονται δύο ενδιαφέρουσες, αν και κάπως άκομψα τοποθετημένες ερωτήσεις. Η πρώτη αφού εξήρε ως αφετηρία για μαθηματική σκέψη την αρχιτεκτονική, αφορούσε στο αν έχουμε επιπλέον παραδείγματα *από την σύγχρονη αρχιτεκτονική* που να μας βοηθούν να προβάλουμε τον τόσο πλούσιο κόσμο των μαθηματικών στον πραγματικό κόσμο, ή ακόμα, εμπνεόμενοι από αυτά, να ανακαλύπτουμε νέα πράγματα στα μαθηματικά. Η δεύτερη ερώτηση ήταν πιο προκλητική: *εάν αυτά δεν υπάρχουν*, τότε τι ακριβώς κάνουν οι αρχιτέκτονες σήμερα? Ο καθηγητής δεν είχε να δώσει κάποια συγκεκριμένη απάντηση, πέρα από το ότι γνωρίζει ότι η Zaha Hadid είχε σπουδάσει μαθηματικά στο Λίβανο πριν κάνει αρχιτεκτονική, και ότι είναι σίγουρος ότι υπάρχουν κρυμμένες δομές και μάλιστα, διάφορα είδη συμμετριών, στα κατά τα άλλα εξαιρετικά πολύπλοκα σχέδια που παράγονται σήμερα. Το μικρό αυτό ανέκδοτο είναι ίσως καλή ένδειξη για το ότι οι μαθηματικοί δεν γνωρίζουν σχεδόν τίποτα για την μεγάλη ανανέωση στο σχεδιασμό τα τελευταία χρόνια, και ίσως γι' αυτό δεν έχει υπάρξει από την πλευρά τους κάποια κριτική πάνω στο έργο των αρχιτεκτόνων.



Παρ'όλ'αυτά, στο τμήμα αυτό της εργασίας, θα αποπειραθώ να εικάσω την αντίδραση του μαθηματικού νου σε κάποια παραδείγματα που εκφράζουν αυτήν ακριβώς την ανανεωμένη προσέγγιση του σχεδιασμού και των μαθηματικών κατά τα τελευταία 15-20 χρόνια. Θα επιχειρηθεί η αναζήτηση των κρυμμένων αυτών δομών, και θα εξεταστεί το πώς τίθεται εκ νέου το πρόβλημα του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού λοξοκοιτώντας αυτή τη φορά, από τη μεριά των μαθηματικών.

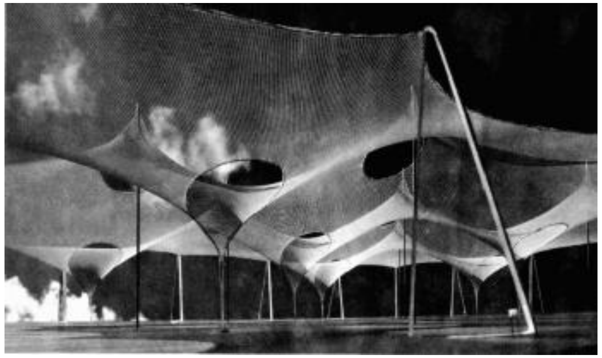
4

Μπορούμε να καταλάβουμε πολλά για τον υλικό κόσμο, μελετώντας ένα από τα πιο λεπτεπίλεπτα συστατικά του. Τα φιλμ του σαπουνιού είναι λεπτότερα κι από τα μήκη κύματος του φωτός. Είναι περίπου 20,000 φορές λεπτότερα από το πάχος μιας ανθρώπινης τρίχας. Ίσως είναι το λεπτότερο αντικείμενο που αντιλαμβανόμαστε με γυμνό μάτι. Τα διαφορετικά χρώματα σε μια σαπουνόφουσκα δηλώνουν τα διάφορα πάχη των τοιχωμάτων του φιλμ του σαπουνιού. Κοιτάζοντας λοιπόν μια σαπουνόφουσκα, είναι σαν να βλέπουμε έναν ανάγλυφο χάρτη της επιφάνειάς της. Όπως όλα τα πράγματα στη φύση, οι φούσκες προσπαθούν να διατηρούνται σε ισορροπία, δηλαδή σε κατάσταση ελάχιστης ενέργειας. Μια μοναδική φούσκα είναι λοιπόν, πάντοτε μια σφαίρα, δηλαδή, μια ενιαία επιφάνεια, χωρίς γωνίες, απείρως συμμετρική. Από όλα τα πιθανά σχήματα που θα μπορούσε να είναι μια σαπουνόφουσκα, η σφαίρα είναι το σχήμα με τη μικρότερη επιφάνεια, πράγμα που την καθιστά την πιο αποδοτική μορφή. Γι' αυτό και βλέπουμε σφαίρες παντού γύρω μας. Οι σταγόνες της βροχής είναι σφαιρικές, γιατί το σχήμα αυτό ελαχιστοποιεί τις επιφανειακές τάσεις που κρατάνε τα μόρια της κάθε σταγόνας ενωμένα.

Οι σαπουνόφουσκες δεν είναι όμως πάντα σφαιρικές. Μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε για να δημιουργήσουμε άλλες μορφές. Όταν για παράδειγμα ενώνουμε δύο φούσκες, αυτές μοιράζονται μια πλευρά, ή επιφανειακή χορδή, της κάθε σφαίρας, για να εξοικονομήσουν και οι δύο ενέργεια. Όσο προσθέτουμε κι άλλες, η γεωμετρία αλλάζει, η πιο αποδοτική μορφή μεταβάλλεται συνεχώς. Ενώνοντας 4 σφαίρες, στο κέντρο της δομής δημιουργείται ένα τετράεδρο, του οποίου οι έδρες είναι τμήματα σφαιρών. Αποκαλύπτεται έτσι ένας από τους βασικούς κανόνες της φύσης, αυτός της επιδίωξης της ελάχιστης επιφάνειας και της ελάχιστης ενέργειας. Η δε συμπεριφορά της σαπουνόφουσκας, μπορεί να προβλεφτεί. Έχει και εξίσωση.

Τα στέγαστρα του Ολυμπιακού Σταδίου του Μονάχου είναι τόσο λεπτεπίλεπτα που φαίνεται να μην έχουν φτιαχτεί από άνθρωπο, σαν να είναι ιστός αράχνης, έτοιμος να διαλυθεί με το παραμικρό φύσημα του αέρα. Κάθε άλλο. Η δομή τους είναι βασισμένη στην απόλυτη ισορροπία μεταξύ της αρχιτεκτονικής μορφής και των επιφανειακών τάσεων της κατασκευής.

Το 1972, στην προ-ψηφιακή εποχή ήταν πολύ δύσκολο να χτιστούν κατασκευές όπως αυτή. Η κατανομή των δυνάμεων στην επιφάνεια αυτού του στεγάστρου είναι απίστευτα πολύπλοκη. Είναι αδύνατο να υπολογιστεί και να διαστασιολογηθεί μια τέτοια κατασκευή με το χέρι. Ο μηχανικός Frei Otto αντιλήφθηκε αυτό ακριβώς, ότι *δεν χρειάζεται να κάνει* αυτούς τους υπολογισμούς στο χέρι. Στράφηκε λοιπόν στους κανόνες της φύσης, και έκανε μικρά μοντέλα με σύρματα και σπάγγο, τα οποία βουτούσε σε σαπουνόνερο, και καθώς τραβούσε το όλο σύστημα προς διαφορετικές κατευθύνσεις, προέκυπταν αυτές οι νέες μορφές στη μεμβράνη του φιλμ του σαπουνιού, έχοντας όλες τις ιδιότητες που είδαμε προηγουμένως. Οι επιφανειακές τάσεις είναι που καθοδηγούσαν το σχοινί στα πιο σταθερά και οικονομικά, από άποψη ενέργειας, σχήματα. Ο Otto στη συνέχεια τα αντέγραφε σε μικρά μοντέλα, τα οποία ήταν τα προπλάσματα για την τελική κατασκευή.



Η συνέχεια είναι γνωστή. Ίδρυσε στην Στουτγκάρδη το Ινστιτούτο για Ελαφρές Κατασκευές το 1964, μαζί με τον Günter Behnisch. Είναι ακόμα ενεργός στα 88 του.

Άλλο ένα εντυπωσιακό, αν και λιγότερο κομψό, παράδειγμα εφαρμογής της μηχανικής ελαχίστων επιφανειών στην προ-ψηφιακή εποχή είναι η γέφυρα του Basento κοντά στην πόλη Potenza της νότιας Ιταλίας, σχεδιασμένη από τον μηχανικό Sergio Musmeci, και υλοποιημένη στο διάστημα (1967-1974)

Η χρυσή εποχή των ελαχίστων επιφανειών ήταν κατά τον 19^{ο} αιώνα, με συνεισφορές από σπουδαίους μαθηματικούς, όπως ο Riemann ή ο Lagrange. Η σύγχρονη μαθηματική προσέγγιση έχει να κάνει περισσότερο με την εικονογράφησή τους, μέσω τρισδιάστατων ψηφιακών απεικονίσεων. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι το Γυροειδές, οι επιφάνειες Scherk, και η επιφάνεια Costa, από το 1982, που έγινε διάσημη ως αντιπαράδειγμα ενός βασικού θεωρήματος του πεδίου, αφού έδειξε ότι ήταν δυνατόν να παραχθούν επιφάνειες με διαφορετικές περιστροφικές συμμετρίες.

Αυτήν ακριβώς την επιφάνεια έχει εντάξει το αυστραλιανό αρχιτεκτονικό γραφείο Minifie Nixon, στο κεντρικό στοιχείο του Κέντρου Υγείας Άγριας Φύσης, λίγο έξω από την Μελβούρνη. Για να δημιουργηθεί το αρχιτεκτονικό αυτό στοιχείο, η μορφή πρώτα σχεδιάστηκε ψηφιακά, στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε ελαστικό ύφασμα, το οποίο κόπηκε με CNC, και τέλος σταθεροποιήθηκε στις ραφές. Οι αρχιτέκτονες, γνωστοί για την συχνή χρήση μαθηματικών μοντέλων στα σχέδιά τους, αντιλαμβάνονται τη διαδικασία αυτή ως μια ακόμα άσκηση στην εύρεση μορφής (form-finding), με χρήση νέων τεχνολογιών.

5

5.Θεωρία Χάους

Γνωρίζουμε ότι σμήνη πουλιών κατά τη διαδικασία της αποδήμησης κινούνται σε μοτίβα. Από τους μαθηματικούς το πιο μελετημένο από αυτά τα είδη είναι το ψαρόνι. Η περιοχή δράσης του είναι μεταξύ Σκανδιναβίας και Νότιας Ευρώπης. Κατά την αποδήμηση τους αυτά τα πουλιά, κινούνται όλα μαζί, σε συγχρονισμό, δημιουργώντας μορφές σε διαρκή μετασχηματισμό. Και ξαφνικά, όλα μαζί, σταματούν και αναχωρούν για το μεγάλο ταξίδι τους. Ο παράξενος χαοτικός χορός τους, σκεπάζει τον ουρανό, δίνοντάς του το μεταφυσικό σχεδόν όνομα, «μαύρος ήλιος» [30]. Ένα σμήνος από τα πουλιά αυτά μπορεί να περιλαμβάνει έως εκατομμύρια μέλη. Πώς μπορεί κάθε πουλί να προβλέψει τις κινήσεις χιλιάδων άλλων?

Το 1986, ο μαθηματικός Craig Reynolds μπόρεσε να συγκροτήσει το μαθηματικό μοντέλο και να απεικονίσει τη συμπεριφορά αυτή στον υπολογιστή [31]. Το μοντέλο βασίζεται στην εφαρμογή τριών απλών κανόνων για κάθε ένα από τα μέλη του σμήνους. Πρώτον, να κινείται στην ίδια κατεύθυνση με αυτή των γειτόνων του, δεύτερον, να παραμένει σε εγγύτητα με τους γείτονες του, και τρίτον, να αποφεύγει τη σύγκρουση με αυτούς. Μπορούμε να βάλουμε και εξωτερικούς παράγοντες στην εξίσωση, όπως ρεύματα αέρα ή την προσέγγιση κάποιου εχθρού, αλλάζοντας το σχήμα του κοπαδιού, χωρίς όμως να αλλάζει η συμπεριφορά των μελών μέσα στο σμήνος.

Πρόσφατες μελέτες [32] έχουν δείξει ότι το κάθε πουλί μεταβάλλει τη θέση του σε σχέση με τα 6 ή 7 μέλη του σμήνους σε άμεση γειτνίαση με αυτό, ανεξαρτήτως της απόστασης που τα χωρίζει. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους βασίζονται λοιπόν μάλλον σε τοπολογικούς, παρά μετρικούς κανόνες.

Ένα τέτοιο μαθηματικό μοντέλο, το λεγόμενο κυψελικό ή κυτταρικό αυτόματο, έθεσαν σε εφαρμογή στο γραφείο Minifie Nixon, κατά το σχεδιασμό της εξωτερικής επιφάνειας του Κέντρου Υγείας Άγριας Φύσης, στο οποίο αναφερθήκαμε προηγουμένως μιλώντας για την επιφάνεια Costa. Έχει όμως χρησιμοποιηθεί και ως μορφογενετικό εργαλείο, όπως για παράδειγμα στη συμμετοχή ενός Andrea Debilio, σε διαγωνισμό το 2011, όπου η μορφή ενός ουρανοξύστη με κτιριολογικό πρόγραμμα κατοικίας προκύπτει παίρνοντας ως κυψέλη το κάθε διαμέρισμα και εφαρμόζοντας δύο-τρεις απλούς κανόνες για τον ορισμό της διάταξής τους[33].

Παρόμοιες συμπεριφορές επιδεικνύουν και άλλα είδη ζώων. Από τα μυρμήγκια μέχρι τα ψάρια, ή τις νυχτερίδες. Το επόμενο λογικό ερώτημα είναι λοιπόν, μπορεί και η συμπεριφορά των ανθρώπων να εξηγηθεί με ένα απλό μαθηματικό μοντέλο όπως αυτό της κίνησης του σμήνους πουλιών? Μελέτες [34] έχουν δείξει ότι και οι κινήσεις ανθρώπων όταν βρίσκονται συγκεντρωμένοι σε πλήθη εμφανίζουν μοτίβα που βασίζονται σε απλούς διαισθητικούς κανόνες. Γνωρίζουμε ότι αυτά τα μοντέλα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού συγκοινωνιακών έργων και διαμετακομιστικών κόμβων, ή απλά κτιρίων που βασίζονται στην πρόβλεψη των ροών κίνησης.

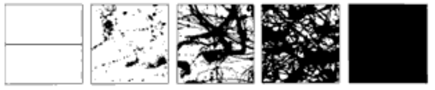
6

Ως χαοτική, ορίζεται η συμπεριφορά ενός συστήματος που ενώ κυβερνάται από μια σχέση αιτίας και αποτελέσματος, είναι τόσο απρόβλεπτη που μοιάζει να είναι τυχαία. Ένα δέντρο αναπτύσσει τα κλαδιά του με σκοπό τη δημιουργία της μέγιστης δυνατής επιφάνειας. Η διαδικασία αποτελείται από δύο κανόνες σε συνεχή επανάληψη: ανάπτυξη- διαίρεση, ανάπτυξη- διαίρεση, και ούτω καθεξής. Το δέντρο παρουσιάζει έτσι τον ίδιο βαθμό πολυπλοκότητας είτε το παρατηρούμε στο σύνολό του, είτε εστιάζουμε σε ένα μόνο μέρος του. Το δέντρο είναι fractal.

Εάν ένας κυκλώνας είναι ένα χαοτικό σύστημα, τότε τα συντρίμμια που αφήνει στο πέρασμά του είναι το fractal μοτίβο του. Τα fractals μπορεί να φαίνονται τυχαία σε πρώτη όψη, αλλά ξέρουμε καλά ότι κάθε ένα από αυτά είναι φτιαγμένο από ένα μοναδικό γεωμετρικό μοτίβο επαναλαμβανόμενο χιλιάδες φορές, και σε διαφορετικές μεγεθύνσεις ή κλίμακες. Μπορούμε να πούμε ότι είναι τα ορατά υπολείμματα χαοτικών συστημάτων, τα οποία ακολουθούν εσωτερικούς κανόνες οργάνωσης, που όμως είναι τόσο ευαίσθητα σε απειροστές αλλαγές ώστε η μακροπρόθεσμη συμπεριφορά τους να είναι δύσκολο να προβλεφθεί. [35]

Τα fractals – δηλαδή κάποια από αυτά, επειδή πολλά υπάρχουν μόνο στη μαθηματική θεωρία – έχουν διάφορους βαθμούς πολυπλοκότητας (ή όπως λέμε, fractal διάσταση, **D**), και ταξινομούνται από το 0 έως το 3. Μια ευθεία γραμμή, ή ο επίπεδος ορίζοντας, βρίσκονται στη βάση αυτής της κλίμακας, ενώ πυκνά διαπλεκόμενες γραμμές όπως τα κλαδιά των δέντρων βρίσκονται ψηλότερα. Συγκεκριμένα, μονοδιάστατα fractals (όπως μια διακεκομμένη γραμμή) τυπικά βρίσκονται μεταξύ 0,1 και 0,9. Δισδιάστατα fractals (όπως η σκιά που ρίχνει ένα σύννεφο στο έδαφος) μεταξύ 1,1 και 1,9. Τρισδιάστατα fractals (όπως το σχήμα ενός βουνού) μπορούν να έχουν βαθμό από 2,1 μέχρι 2,9. Τα περισσότερα αντικείμενα στη φύση, αναλυόμενα σε δύο διαστάσεις, δίνουν τιμές μεταξύ 1,2 και 1,6.

Ο φυσικός και ιστορικός της τέχνης Richard Taylor [36] το 1999, έβγαλε υψηλής ευκρίνειας φωτογραφίες από τη ζωγραφική του Jackson Pollock των χρόνων 1943-1952, τις σκάναρε και τις χώρισε με κάνναβο σε τετράγωνα. Στη συνέχεια ανέλυσε στον υπολογιστή περισσότερα από 5 εκατομμύρια μοτίβα σε διαφορετικές



μεγεθύνσεις, από ολόκληρη την επιφάνεια του πίνακα μέχρι επιφάνειες του ενός τετραγωνικού εκατοστού. Η fractal διάσταση των πρώιμων πινάκων βρέθηκε να είναι κοντά στις τιμές που υπάρχουν στη φύση. (Θυμόμαστε τη διάσημη φράση του Pollock «Εγώ είμαι η φύση».) Όσο όμως εξελισσόταν η τεχνική του Pollock, τόσο αύξανε και η πολυπλοκότητα των μοτίβων, άρα και η fractal διάσταση τους. Παραδείγματος χάριν, ο πίνακας *Blue Poles*, που δημιουργήθηκε σε μια περίοδο 6 μηνών, έχει την υψηλότερη D από τους πίνακες που μελέτησε ο Taylor, D= 1.72. Μπορούμε να πούμε ότι ο Pollock διαισθητικά δοκίμαζε τα όρια του ανθρώπινου ματιού, δηλαδή το τί μας ευχαριστεί αισθητικά. Το καταπληκτικό είναι, ότι το βιβλίο του Mandelbrot, "*Fractals: Form, Chance and Dimension"* δημοσιεύτηκε 30 χρόνια αργότερα.

Δύο πρόσφατες έρευνες [37] στο πεδίο της *αντιληπτικής ψυχολογίας,* επιβεβαιώνουν ότι οι άνθρωποι δείχνουν προτίμηση σε fractal εικόνες, είτε βρίσκονται στη φύση, είτε έχουν παραχθεί από ανθρώπινο χέρι ή μέσω υπολογιστή, με τιμές μεταξύ 1,3 και 1,5. Ο δε Taylor είναι τόσο σίγουρος για τη μέθοδό του, που ισχυρίζεται ότι μπορεί να χρονολογήσει οποιονδήποτε πίνακα του Pollock, ανά έτος, αναλύοντας την fractal διάστασή του. Έχει μάλιστα δημιουργήσει ένα μηχανισμό που παράγει εικόνες παρόμοιες με αυτές του Jackson Pollock. Ο μηχανισμός αυτός βασίζεται στην αρχή του απλού εκκρεμούς το οποίο ενεργοποιούν ηλεκτρομαγνητικά σήματα, κάνοντάς το να παρουσιάζει χαοτική συμπεριφορά. Τον ονομάζει Pollockizer.

Αντίθετα με τον Pollock, που διαισθάνθηκε τα fractals και κατάφερε να απεικονίσει τη μορφή τους μόνος του και με θαυμαστή ακρίβεια, ένας σχεδιαστής της Boeing, το 1980, χρησιμοποιώντας το βιβλίο του Mandelbrot, κατέληξε σε κάτι εξίσου σημαντικό. Θέλοντας να σχεδιάσει ψηφιακά ένα τρισδιάστατο αληθοφανές τοπίο για μια διαφήμιση της εταιρίας, την εποχή που ακόμη και κάτι απλό όπως ο ψηφιακός σχεδιασμός ενός κυλίνδρου αποτελούσε επίτευγμα, σκέφτηκε να δημιουργήσει έναν αλγόριθμο, που θα υποδιαιρούσε ένα αρχικό σχέδιο κατ' επανάληψη, μέχρι να προκύψει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αφού κατάφερε αυτό, ο σχεδιαστής Loren Carpenter, άφησε τη δουλειά του στη Boeing και αποτέλεσε έναν από τους ιδρυτές της Pixar. Η επανάσταση που αυτό έφερε στα οπτικά εφέ στον κινηματογράφο και τα τρισδιάστατα κινούμενα σχέδια είναι γνωστή. Για την ταινία Brave της Pixar, του 2014, χρειάστηκαν 2 χρόνια για να αναπτυχθεί το λογισμικό που θα επιτρέπει στις μπούκλες της ηρωίδας να κινούνται μία μία, χαοτικά και ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Στην αρχιτεκτονική ο πρώτος, όπως πάντα, που δοκίμασε να εντάξει τα fractals στη διαδικασία σχεδιασμού ήταν ο Peter Eisenman στη δεκαετία του 1980 με το Biocenter για το πανεπιστήμιο της Φρανκφούρτης [38]. Το δε Μουσείο Λούβρου Abu Dhabi του Jean Nouvel (2007-2012) είναι το πιο πρόσφατο παράδειγμα που χρησιμοποιεί τα fractals ως κεντρικό στοιχείο στον σχεδιασμό.

Το μουσειακό συγκρότημα καλύπτεται από έναν μεγάλο, χαμηλού ύψους θόλο, ο οποίος καλύπτει το σύνολο του και το ενοποιεί , δίνοντας στο μουσείο το απαραίτητο για την έρημο εύκρατο μικροκλίμα. Η μορφή αυτού του θόλου ακολουθεί την ισλαμική παράδοση του παραπετάσματος, αλλά είναι διαμορφωμένο βάσει των δύο fractal κανόνων της αυτό-ομοιότητας (self-similarity) και της επανάληψης.

Τα όρια της διαδικασίας αυτής δοκιμάζει ένα μικρό αντικείμενο σε μάθημα του ETH της Ζυρίχης. Πρόκειται για ένα project με τίτλο *Endlessly subdivided column* για το μάθημα *Numerical Sculpture 1* και *2*, υπό τον Michael Hansmeyer [39]. Αφετηρία αποτέλεσε ένας δωρικός κίονας, ο οποίος με ατέρμονες υποδιαιρέσεις και χαοτικά μοντέλα κατέληξε σε 4 διαφορετικές μορφές. Το ενδιαφέρον στο project αυτό βρίσκεται περισσότερο στη φάση της υλοποίησης. Ως υλικό επιλέχθηκε το γκρίζο χαρτόνι, κομμένο με laser, το οποίο και έθεσε τους περιορισμούς. Όπως γνωρίζουμε και από άλλα σχέδια [40], δεν αρκεί να τροφοδοτούμε τις μηχανές με ένα σχέδιο. Η διαδικασία δεν είναι ούτε απλή, ούτε ομαλή. Ο σχεδιαστής εξακολουθεί να παίρνει σημαντικές αποφάσεις κατά τη διάρκεια της παραγωγής του έργου, αποφάσεις που καθορίζουν την τελική του μορφή. Ο καλλιτέχνης πρέπει να αποφασίσει πού, πώς και κυρίως πότε σταματά να δουλεύει το έργο του.

Από το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα και πέρα, έχει συμβεί μια περίεργη αντιστροφή ρόλων. Εάν παλαιότερα, οι εικαστικές τέχνες ασχολούνταν με τον κόσμο των φαινομένων και την αισθητική, ήταν η επιστήμη που αναζητούσε την αλήθεια. Με την έλευση του μοντερνισμού όμως αυτό φαίνεται να έχει ανατραπεί. Τα απόλυτα συστήματα σκέψης έχουν δεν υπάρχουν πια. Η επιστήμη, βρίσκει πια περισσότερη αλήθεια στα φαινόμενα, ενώ η τέχνη, βυθίζεται στο πραγματικό. Η αρχιτεκτονική δεν πατάει με σιγουριά σε κανένα από τα δύο πεδία. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάτι από όλα αυτά για να αξιολογήσουμε το αρχιτεκτονικό έργο, αν ναι, με ποια κριτήρια, και κυρίως, πώς αυτό μπορεί να μας βοηθήσει στην παραγωγή έργου?

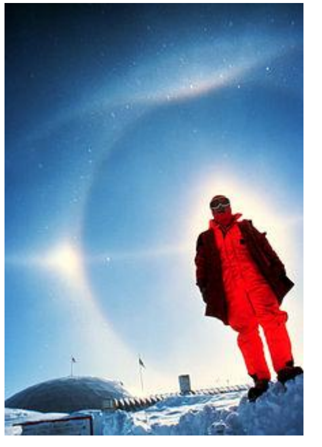
Πράγμα που μας φέρνει στο τρίτο μέρος της εργασίας. Η παράλλαξη ως φαινόμενη μετατόπιση της θέσης ενός αντικειμένου (δηλαδή αλλαγή της θέσης του ως προς κάποιο φόντο ή υπόβαθρο) εξαιτίας της μεταβολής της θέσης του παρατηρητή, δίνει μια νέα γραμμή θέασης. Η φιλοσοφική προσθήκη σ' αυτό τον ορισμό είναι ότι η παρατηρούμενη διαφορά, δεν είναι απλά «υποκειμενική», επειδή έχουμε να κάνουμε με το ίδιο αντικείμενο παρατήρησης, ιδωμένο από δύο διαφορετικά σημεία θέασης. Υποκείμενο και αντικείμενο συνδέονται στενά, με τρόπο ώστε μια «επιστημολογική» αλλαγή στον σημείο όρασης του υποκειμένου πάντα να αντανακλά μια «οντολογική» αλλαγή στο ίδιο το αντικείμενο [41].

§3. ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΧΑΣΜΑ

Ή

Καλλιτεχνική Υπεραξία

Το παραλλακτικό χάσμα που προκύπτει, δεν είναι απλά μια υπόθεση αλλαγής προοπτικής. Παραλλακτικό χάσμα είναι *η αντιπαράθεση δύο στενά συνδεδεμένων προοπτικών μεταξύ των οποίων κάθε ουδέτερος κοινός τόπος είναι αδύνατος.* Στην ουσία, είναι το σοκ που προκαλεί ένα βραχυκύκλωμα, ιδωμένο, εννοείται, από την οπτική γωνία που έχει να κάνει με τη διατάραξη της ομαλής λειτουργίας ενός κυκλώματος, και μάς κάνει να δούμε το θέμα μας *απο-κεντρωμένο*, φέρνει στο φως τις μη ορατές, αποκηρυγμένες ή μη συνειδητές προϋποθέσεις και τις συνέπειές του. Το θέμα γίνεται πολύ πιο ενδιαφέρον, όταν παρατηρούμε ότι το χάσμα είναι εγγεγραμμένο στο ίδιο το αντικείμενο θέασης. Το χάσμα μεταξύ των δύο προοπτικών ανοίγει χώρο για μία τρίτη, επιπλέον προοπτική. Πώς βλέπουμε το παραλλακτικό χάσμα στην αρχιτεκτονική και πώς μπορούμε να το επιτύχουμε? Θα μπορούσε να αποτελέσει κριτήριο αξιολόγησης ενός αρχιτεκτονικού ή καλλιτεχνικού έργου? Ας υποθέσουμε, πως ναι, και ας το ονομάσουμε *καλλιτεχνικό πλεόνασμα* ή *καλλιτεχνική υπεραξία.*



7

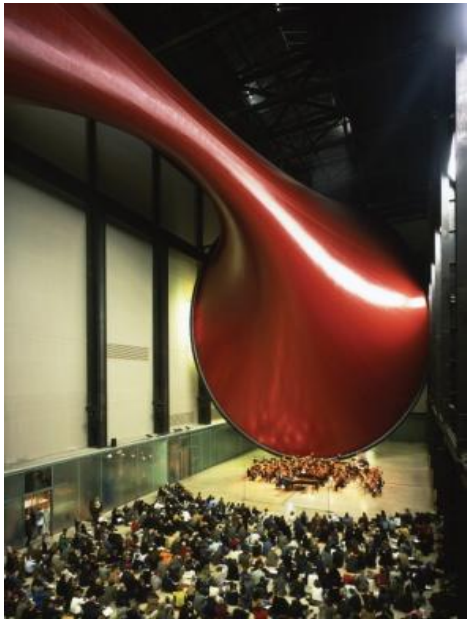
Ας πάρουμε την περίπτωση Gehry. Ο φιλόσοφος Fred Jameson [42], διαβάζει τα πρώιμα έργα του ως προσπάθειες να συνδέσει την παράδοση με την αποξενωμένη νεωτερικότητα. Η κατοικία του Gehry του 1978 στην Santa Monica, όταν την αγόρασε δεν ήταν παρά μια παλιά συντηρητική ξύλινη κατασκευή στα πρότυπα των αμερικάνικων αχυρώνων της δεκαετίας του 1930. Ο αρχιτέκτονας πήρε αυτό το κτίριο, το τύλιξε με στρώματα λαμαρίνας και κοτετσόσυρμα, άνοιξε τους τοίχους (με τον τρόπο που το έκανε εκείνη τη δεκαετία ο καλλιτέχνης και φίλος του, Robert Rauschenberg) αποκαλύπτοντας το εσωτερικό τους, και σφήνωσε γυάλινους κύβους μεγάλους όσο δωμάτια στη δομή του. Το αποτέλεσμα ήταν ένα κτήριο-υβρίδιο. Το παραλλακτικό χάσμα εδώ το βλέπουμε σ' αυτή την αλληλεπίθεση των δύο πραγματικοτήτων, της αποστεωμένης νοσταλγικής παράδοσης και των υλικών της αμερικάνικης ερημικής ενδοχώρας της μεσαίας τάξης, και είναι αυτό που προσέδωσε καλλιτεχνικό νόημα και ένταση στη χειρονομία του αρχιτέκτονα. Το κτήριο αυτό αποτέλεσε το πιο σημαντικό ίσως παράδειγμα κατοικίας στην Αμερική για το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, και ξεκίνησε το κίνημα της αποδόμησης στην αρχιτεκτονική.

Ας επιστρέψουμε όμως στα μαθηματικά. Τον διαγωνισμό για το κτίριο του Συναυλιακού Μεγάρου Walt Disney, ο Gehry τον κέρδισε το 1988. Όμως το κτίριο αποπερατώθηκε μόλις το 2003. Στο ενδιάμεσο, χτίστηκαν άλλα projects του αρχιτέκτονα, τα οποία εξερευνούσαν παρόμοιες δομικές αρχές και τα αποτελέσματά τους ενημέρωναν τα σχέδια κτηρίου αυτού. Η ίδια η 15χρονη πορεία του σχεδιασμού, αποτελεί μια γεωμετρία σε διαρκή μετασχηματισμό. Η δε υλοποίησή του, με τις ελικοειδείς, περίπλοκες καμπύλες επιφάνειες, μια διαρκής εξερεύνηση της γεωμετρίας επιφανειών. Κάθε επιφάνεια έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, τα οποία πρέπει να αντιστοιχηθούν σε μια διαφορετική από αυτή κατασκευαστική γεωμετρία.

Σύμφωνα με τον μαθηματικό τους ορισμό, οι επιφάνειες είναι πεδία ενσωματωμένα (embedded) στον R3. Αυτό που έχει σημασία εδώ είναι η λεγόμενη Γκαουσιανή καμπυλότητα. Μια τρισδιάστατη παραμετρική επιφάνεια μπορεί να ειδωθεί ως υποσύνολο του προϊόντος ενός 2-διάστατου και ενός 3-διαστάτου χώρου [43]. Για να προκύψει λοιπόν από την παραμετρική επιφάνεια η κατασκευαστική δομή, χρειάζεται

7. Γεωμετρία επιφανειών

η γεωμετρία των αναπτυσσόμενων (developable) επιφανειών. Η συνεισφορά του Frank Gehry είναι λοιπόν ότι έλυσε πλήρως αυτό το πρόβλημα. Το Μουσείο Soumaya του Fernando Romero, λόγου χάρη, που παρουσιάστηκε στην αρχή αυτής της διάλεξης, δεν θα μπορούσε να υλοποιηθεί χωρίς την συνεργασία με το γραφείο του Gehry.



Ας δούμε ένα δεύτερο παράδειγμο παραλλακτικού χάσματος, αυτή τη φορά στην κατηγορία των ελαχίστων επιφανειών. Ένα από τα μεγαλύτερα γλυπτά που έχουν κατασκευαστεί ποτέ, σχεδιάστηκε από τον Βρετανό ινδικής καταγωγής, Anish Kapoor σε συνεργασία με τον συντοπίτη του, μηχανικό, Cecil Balmond. Είναι το έργο *Μαρσύας* που εκτέθηκε στην Tate Modern, στο Λονδίνο, το 2003. Πρόκειται για ένα γλυπτό 150 μέτρα μακρύ και περίπου 10 ορόφους ψηλό. Αποτελείται από τρεις ατσάλινους δακτυλίους που ενώνονται με μια ειδικά σχεδιασμένη μεμβράνη PVC. Χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακές τεχνικές form-finding που προσομοιάζουν δυνάμεις που βρίσκονται σε βιολογικές μορφές, όπως οι επιφανειακές τάσεις, ή η υδροστατική πίεση. Ο τίτλος του έργου αναφέρεται στον Μαρσύα, έναν σάτυρο από την ελληνική μυθολογία, τον οποίο έγδαρε ζωντανό ο Απόλλων, μετά από πρόκληση σε αγώνα μουσικής τον οποίο έχασε ο Μαρσύας.

8

8. Υπερβολικά παραβολοειδή

Το 1958 στην EXPO των Βρυξελλών, η ολλανδική εταιρία ηλεκτρονικών Philips, θέλοντας να δημιουργήσει μια μοναδική εμπειρία για τους επισκέπτες της έκθεσης, αποφάσισε να αναθέσει το σχεδιασμό του περιπτέρου της σε μια διεθνή ομάδα αποτελούμενη από έναν αρχιτέκτονα, έναν καλλιτέχνη, κι έναν μουσικό. Την ανάθεση πήρε ο Le Corbusier, ο οποίος ήταν υπεύθυνος για την εσωτερική διάρθρωση του έργου, το εξωτερικό σχεδίασε ο προστατευόμενος αυτού Γιάννης Ξενάκης, και ο συνθέτης Edgar Varese, ανέλαβε τη μουσική. Η κατασκευή είχε την όψη μιας σκηνής με τρεις κορυφές, αποτελούμενη από λεπτότατα κελύφη από σκυρόδεμα σε σχήμα υπερβολικών παραβολοειδών. Το κτίσμα περιλάμβανε επίσης καλωδιωτά δομικά στοιχεία τα οποία συνεισέφεραν στην διαμόρφωση των παραβολοειδών. Ήταν ένα από τα πρώτα ολικά ηλεκτρονικο-χωρικά περιβάλλοντα, και είναι γνωστό ότι αποτέλεσε το τέλος της συνεργασίας των δύο αρχιτεκτόνων.

Μαθηματικά και αρχιτεκτονική εδώ λειτουργούν συμπληρωματικά το ένα ως προς το άλλο. Η αρχιτεκτονική δεν είναι απλά εικονογράφηση κάποιας ασυνήθιστης γεωμετρίας. Η κατασκευή φωτογραφίζεται υπέροχα, καθώς κάθε οπτική γωνία της αποκαλύπτει ενδιαφέρουσες χωρικές σχέσεις. Το ολικό σχήμα επιτελεί έναν ακόμη πιο σύνθετο σκοπό, αυτό ενός χώρου όπου ο ήχος, δηλαδή οι μουσικές συνθέσεις, μεταδίδονται, αντανακλώνται και γεμίζουν την κάθε γωνιά του κτηρίου.

Ας δείξουμε κι ένα παράδειγμα από τη σύγχρονη αρχιτεκτονική παραγωγή, που αναφέρεται σε αυτή την κατηγορία μαθηματικών. Στη πραγματική μανία των χωρών της Νότιας Ασίας για τοπόσημα ανταποκρίθηκε το πορτογαλικό γραφείο OODA σε διαγωνισμό του 2011, προτείνοντας ένα κτήριο που θυμίζει σε πολλά αυτό του Ξενάκη. Εκτός από τις παραβολοειδείς επιφάνειες, το μουσείο είναι διαρθρωμένο ως κύβος μέσα σε κύβο, πιάνοντας ένα επιπλέον αγαπημένο στους καλλιτέχνες θέμα από τα μαθηματικά, τον Υπερ-κύβο.

9

Ένα ακόμα παράδειγμα όπου η αλληλεπίθεση τέχνης και μαθηματικών, έχει ως αποτέλεσμα κάτι περισσότερο από το άθροισμα των μερών του είναι το Μουσείο Τέχνης Kimbell στο Fort Worth του Texas. Αρχιτέκτονας είναι βέβαια ο Louis Kahn. Η μαθηματική διάσταση του έργου έχει να κάνει με τα κλασικά μαθηματικά, συγκεκριμένα το πρόβλημα της βραχυστόχρονης καμπύλης. Είναι αυτή η καμπύλη την οποία διατρέχει ένα σώμα, εδώ το φως από τους φεγγίτες κατά μήκος κάθε τμήματος στέγης, στο βραχύτερο δυνατό χρόνο. Στην ταινία του γιου του αρχιτέκτονα υπάρχει μία σκήνη που κόβει την ανάσα. Καθώς ένα σύννεφο αποκαλύπτει τον ήλιο, το φως πλημμυρίζει τον χώρο του μουσείο με έναν τρόπο συγκλονιστικό.

Τα τελευταία χρόνια με την εντυπωσιακή άνθηση της αμερικανικής τηλεόρασης, έχουμε συνηθίσει να βλέπουμε σπουδαία αρχιτεκτονική στη μικρή οθόνη. Ακόμη και έργα μη υλοποιημένα. Τα έργα αυτά παρουσιάζονται στην οθόνη με την ίδια, ή περισσότερη φροντίδα που δείχνεται για τα ειδικά εφέ. Οι σκηνές εδώ είναι από τη σειρά επιστημονικής φαντασίας Fringe, των J.J.Abrams, Alex Kurtzman και Robert Orci. Απεικονίζουν το ξενοδοχείο Attracion του Antoni Gaudì, έργο που του ανατέθηκε το 1908. Θα ήταν ο πρώτος ουρανοξύστης του Gaudi, στα 360 μέτρα, έργο μάλλον μη πραγματοποιήσιμο για την εποχή. Το project αυτό είχε έρθει πριν από κάποια χρόνια στη δημοσιότητα, ως μια από τις προτάσεις για την αποκατάσταση του Ground Zero. Τα μαθηματικά που περιλαμβάνονται σ'αυτό, όπως σε όλα τα έργα του Gaudi, είναι επιφάνειες εκ περιστροφής, αλυσοειδείς καμπύλες κτλ.

Συμπέρασμα

Παρά την αποξένωση της αρχιτεκτονικής από τα μαθηματικά για αιώνες [44], η επιστροφή τους στο προσκήνιο της πρακτικής των αρχιτεκτόνων ούτε πρόσφατη είναι, ούτε εφήμερη. Με την άνθηση της πληροφορικής, τα δύο πεδία όχι μόνο επανασυνδέθηκαν, αλλά δίνεται η δυνατότητα στην αρχιτεκτονική να εκμεταλλευτεί τόσο τις δυνατότητες της μη-ευκλείδειας γεωμετρίας, όσο και τομείς που δεν είχαν τόσο μεγάλη συνάφεια μαζί της στο παρελθόν, όπως οι αλγόριθμοι και ο λογισμός.

Γιατί λοιπόν η παράλλαξη? Αφ' ενός, βρίσκεται στον συναισθηματικό πυρήνα της εργασίας, αφού μας διευκολύνει στο να παρακάμψουμε *το αδύνατο* του τίτλου. Αφ' ετέρου, η έννοια αυτή μας έδωσε τη δυνατότητα, να δούμε μια άλλου είδους κατάταξη των παραδειγμάτων μας, όχι τόσο κατά κατηγορίες, όσο αξιολογική. Κυρίως όμως, η παράλλαξη, με τις τρεις εκδοχές της, μας διευκολύνει να περιγράψουμε την διαφορική σχέση μαθηματικών και αρχιτεκτονικής, καθώς εκφράζει την νοητική προσέγγιση και ξανά απομάκρυνση των πεδίων της τέχνης και της επιστήμης, από την αντιπαράθεση ως την ταύτισή τους.

Επίλογος

Με τις νέες τεχνικές που εφαρμόζονται τα τελευταία 15-20 χρόνια, η αρχιτεκτονική βγήκε από το γεωμετρικό interface [45] και μπήκε στο σύμπαν των αλγορίθμων. Μέσα από το υλικό που παρουσιάστηκε εδώ εξετάσαμε με ποιόν τρόπο επεκτάθηκαν οι κατασκευαστικοί, μορφικοί και εννοιολογικοί ορίζοντές της.

Υπολογίζεται ότι σε 50 περίπου χρόνια η υπολογιστική ισχύς των ηλεκτρονικών υπολογιστών θα είναι τόσο μεγάλη ώστε να μπορούμε να αναπαραστήσουμε αλγοριθμικά, σε ένα πρόγραμμα ή μάλλον σε κάτι σαν λειτουργικό σύστημα, ολόκληρο τον κόσμο [46]. Εάν αυτό συμβεί, οι δυνατότητες μοιάζουν απεριόριστες. Η ιστορία δεν θα είναι πια το νοσταλγικό, κριτικό κτλ. βλέμμα προς τα πίσω, αλλά η θεώρηση πολλών ταυτόχρονων δυνατών πραγματικοτήτων. Το μέλλον, με πολλές από τις χαοτικές επιπλοκές του, θα μπορεί *να προβλεφθεί*, πιθανά με μαθηματικά μοντέλα παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στη μετεωρολογία σήμερα. Τα μαθηματικά θα εμπλακούν ακόμα περισσότερο στην καθημερινή πρακτική όλων των επαγγελμάτων. Καινούρια ερωτήματα ανακύπτουν. Αυτός ο καινούριος χώρος που ανοίγεται θα εξακολουθεί να είναι ελεύθερος? Ποιοι θα είναι υπεύθυνοι για τη δομή και τον σχεδιασμό του? Γιατί σε τελική ανάλυση, η αρχιτεκτονική ήταν πάντα μια δραστηριότητα με κατεξοχήν κοινωνικο-πολιτικές διαστάσεις.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ :

1. *Wikipedia.org*, λήμμα “*Mathematics”*, πρόσβαση 14 Οκτωβρίου 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematics>

2. E.T. Bell, *Οι Μαθηματικοί*, τόμος 1, κεφ. για Leibniz, σελ. 190.

3. *Ibid.*, σελ. κεφ. για Euler, σελ. 233.

4. D.Watkin, *History of Western Architecture*, κεφ. για τον κλασικισμό σελ. 369.

5. R.Penrose, *The Road to Reality*, σελ. 18-21.

6. N. Spiller, *Visionary Architecture.*

7. *Wikipedia.org*, λήμμα “*Mathematics”.*

8. S.Žižek, *The Parallax View*, και *Living in the End Times, σελ. 244-278.*

9. *Ibid.*, σελ. […], και *Wikipedia*, λήμμα *Parallax,* πρόσβαση 23 Οκτωβρίου 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/Parallax>

10. *Wikipedia.org*, λήμμα “*Arthur Eddington”,* πρόσβαση 12 Δεκεμβρίου 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/Arthur_Eddington>

11. S.Holl, *Parallax,* σελ.26

12. *Wikipedia*, λήμμα *Parallax*.

13. AD: M.Hensel, A.Menges + M. Weinstock, *Techniques & Technologies in Morphogenetic Design.*

14. BBC, *The Code.*

15. Πρόκειται για την *Εικασία της Κυψέλης*, την οποία απέδειξε ο Thomas Hales το 1999.

16. Hales, T. C. "The Honeycomb Conjecture." 8 Jun 1999. <http://arxiv.org/abs/math.MG/9906042>

17. <http://fr-ee.org/projects/soumaya-museum-mexico-city-mexico>, πρόσβαση 3 Μαρτίου 2014.

18. <http://www.l-a-v-a.net/projects/beijing-watercube>, πρόσβαση 3 Μαρτίου 2014.

19. *Wikipedia.org*, λήμμα “*Projective Geometry”,* πρόσβαση 12 Φεβρουαρίου 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/Projective_geometry>

20. E.T. Bell, *Οι Μαθηματικοί*, τόμος 1, κεφ. για Poncelet, σελ. 337

21. R.Penrose, σελ. 37-42.Επίσης, <http://mathworld.wolfram.com/PoincareHyperbolicDisk.html>

22. AD: *Mathematics of Space*, σελ. 44-48,

23. Minner, Kelly. "reALIze / Oyler Wu Collaborative & Michael Kalish" 10 Mar 2011. Πρόσβαση 19 Ιουνίου 2011. <http://www.archdaily.com/?p=118980>

24. Kantor, Jean-Michel.*A Tale of Bridges: Topology and architecture,* 2005.

25. Emmer, M. *Mathland: From Flatland to Hypersurfaces,* σελ.66.

26. van Berkel, B. + Bos, C.. *UNStudio: Design models, Architecture Urbanism Infrastructure.*

27. Eisenman, P. *Diagram Diaries,* σελ.203.

28. Krauss, Rosalind. *The Picasso Papers,* σελ.65-66.

29. S.Žižek, *The Parallax View,* σελ. 4.

30. BBC Two: *The Code.* Επεισόδιο 3, *Predictions.*

31. *Wikipedia.org*, λήμμα "*Swarm behaviour",* πρόσβαση 10 Μαρτίου 2014. <http://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_behaviour>

32. Ballerini M, Cabibbo N, Candelier R, Cavagna A, Cisbani E, Giardina I, Lecomte V, Orlandi A, Parisi G, Procaccini A, Viale M, Zdravkovic V (2008). *"Interaction ruling animal collective behavior depends on topological rather than metric distance: Evidence from a field study". Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*

33. <http://europaconcorsi.com/projects/175497-Andrea-Debilio-Automatown/images/2734455>

34. <http://icouzin.princeton.edu/ >

35. ʻΑρθρο της Jennifer Ouellette, *Pollock's Fractals*. 2001 <http://discovermagazine.com/2001/nov/featpollock#.Uyk666iSxuJ>

36. Emmer, Michele (editor). *Mathematics and Culture II,* σελ.53-64.

37. University of Oregon, AUS και UK, περιοδ. *Nature*, τ. Μαρτίου 2001

38. Eisenman, P. *Diagram Diaries,* σελ.204.

39. <http://www.caad.arch.ethz.ch/wiki/Events/SubdividedColumn>

40. AD: *Mathematics of Space*, σελ.70-80

41. Žižek, Slavoj. *Living in the End Times,* σελ. 244-248.

42. Jameson, Fredric. *Post-Modernism, or, the Cultural Logic of Late Capitalism*, London: Verso 1991, σελ. 276.

43. Σε συνέντευξη με τον Dennis Shelden, 2009.

44. Picon, Antoine *Architecture and Mathematics: Between Hubris and Restraint,* στο AD: *Mathematics of Space*, σελ.28-35.

45. Legendre, Georges, AD: *Mathematics of Space*, εισαγωγικό σημείωμα.

46. Discovery Science, *Science of the Movies (2009-2010)*

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :

Βασικό corpus:

– Burry, Jane + Mark. *The new Mathematics of Architecture.* London: Thames & Hudson, 2010.

– AD: *Mathematics of Space*, guest edited by George Legendre, Architectural Design, 81:4 (2011), Wiley

– Emmer, Michele (editor). *Mathematics and Culture II.* Berlin: Springer Verlag, 2005.

– Emmer, Michele. *Mathland: From Flatland to Hypersurfaces.* Basel: Birkhäuser, 2004.

Βιβλιογραφία μαθηματικών :

– Penrose, Roger. *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe.* London: Vintage, 2005.

– Bell, E.T. *Οι Μαθηματικοί.* Πανεπ. Εκδ. Κρήτης, 1997 (μτφρ. Από 3η εκδ 1965, αρχική εκδ. 1935)

– Mandelbrot, B.B. *The Fractal Geometry of Nature.* New York: W.H Freeman and Company, 1977.

– Mandelbrot, B.B. *Fractals: Form, Chance and Dimension*. New York: W H Freeman and Co, 1975.

κ.α.

Βιβλιογραφία φιλοσοφίας και τέχνης :

– Žižek, Slavoj. *The Parallax View.* Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2007.

– Žižek, Slavoj. *Living in the End Times.* London: Verso, 2011.

– Krauss, Rosalind. *The Picasso Papers.* Cambridge, Mass: MIT Press, 1999.

– Hofstadter, Douglas. *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid.* New York: Penguin Books, 1980

Βιβλιογραφία αρχιτεκτονικής :

– Adams Kara Taylor. *Design Engineering.* Barcelona: ACTAR, 2008

– Long, Kieran. *Hatch: The New Architectural Generation.* London: Laurence King Publishing, 2008

– Spiller, Neil. *Visionary Architecture: Blueprints of the Modern Imagination*. London: Thames & Hudson, 2006

– Spiller, Neil. *Digital Architecture Now: A Global Survey of Emerging Talent*. London: Thames & Hudson, 2008.

– Διάφοροι, *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture.* Barcelona: ACTAR, 2003.

– van Berkel, Ben + Bos, Caroline. *UNStudio: Design models, Architecture Urbanism Infrastructure.* London: Thames & Hudson, 2007.

– Eisenman, Peter. *Diagram Diaries.* London: Thames and Hudson, 1999.

– Διάφοροι, *Advances in Architectural Geometry 2010,* Wien: Springer, 2010

– Di Cristina, Giuseppa (editor)*. Architecture and Science.* London: Wiley-Academy,2001.

– Holl, Steven. *Parallax*. Basel: Birkhäuser, 2000.

Αρθρογραφία:

AD: – *Mathematics of Space*, guest edited by George Legendre, Architectural Design, 81:4 (2011), Wiley

AD: – *Versatility & Vicissitude: Performance in Morpho-Ecological Design,* g.ed. M.Hensel, A.Menges, Architectural Design, 78:2 (2008), Wiley

AD: – *Techniques & Technologies in Morphogenetic Design,* g.ed. M.H, A.M + M. Weinstock, Architectural Design, 76:2 (2006), Wiley

– Wigner, Eugene. *The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences.* Εκδόθηκε στο *Communications in Pure and Applied Mathematics, vol.13, No1.* New York: John Wiley & Sons, 1960.

– Kantor, Jean-Michel.*A Tale of Bridges: Topology and architecture.* Εκδόθηκε στο *Nexus Network Journal, vol.7, No2.* Wien: Springer. 2005. Βρίσκεται και στην διεύθυνση: <http://www.emis.de/journals/NNJ/Kantor.html>

Τηλεόραση:

– BBC Two: *The Code.* (Σειρά ντοκυμαντέρ πάνω στα μαθηματικά. Παρουσιαστής: Marcus du Sautoy, σκηνοθεσία: Stephen Cooter, Michael Lachmann). Ηνωμ.Βασίλειο, 2011.

– Science Channel: *Science of the Movies.* (Σειρά ντοκυμαντέρ πάνω στην επιστήμη και το πώς εμπλέκεται στην παραγωγή ταινιών στον κινηματογράφο. Παρουσιαστής: Nar Williams). Ηνωμ.Πολιτείες, 2009–2010.