

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΙV-ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΙΧΜΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2011-2012
9ο ΕΞΑΜΗΝΟ
ΔΙΑΛΕΞΗ

[ΖΩΗ]_ΜΙΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΠΑΠΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ Δ.



Περιεχόμενα

Μερος Α

1. Εισαγωγή- υπόθεση εργασίας – στόχοι
2. Επαναπροσδιορίζοντας τον τρόπο μελέτης της φύσης – αλλαγή στο επιστημονικό παράδειγμα
3. Ζωή – μια συστημική προσέγγιση
4. Περιγραφή των έμβιων συστημάτων
5. Έμβια συστήματα – μορφή – μερικά συμπεράσματα

Μέρος Β

6. Hylozoic Series – The Hylozoic Ground Project
7. Protocells – Η (συνθετική) ζωή της αρχιτεκτονικής
8. Διερευνώντας την έννοια του σχεδιασμού – ο σχεδιασμός «ζωντανής» αρχιτεκτονικής – μερικά συμπεράσματα
9. Μαλακό , κυκλικό, ζωντανό
10. «Ιδανική μορφή» ή «ατελείς παραλλαγές» - Η μηχανή της εξέλιξης
11. GENR-8
12. Επίλογος - Γενικά συμπεράσματα
13. Βιβλιογραφία
14. Παράρτημα



ΜΕΡΟΣ Α'

1. Εισαγωγή- υπόθεση εργασίας – στόχοι

Η φύση αποτελούσε ανέκαθεν πηγή έμπνευσης για τη δημιουργική δραστηριότητα του ανθρώπου. Διαισθητικά ακόμα, πριν καν η επιστήμη μπορέσει να μελετήσει με ορθολογισμό τη φύση, η έλξη αυτή προς το φυσικό ωραίο ώθησε τις τέχνες προς την αναζήτηση των κανόνων αυτών που μπορούσαν να δημιουργήσουν ένα τέτοιο θαυμαστό κόσμο. Στην ιστορία του ανθρώπου η κάθε δημιουργική δραστηριότητα είτε αυτή ονομάζεται τέχνη, τεχνολογία, αρχιτεκτονική ή ότι άλλο, έχει κατά βάση τον ίδιο παρονομαστή και υπόκειται στο ίδιο σύνολο κανόνων αρχών και περιορισμών: στοιχείων που σαν σύνολο αποτελούν τη φυσική πραγματικότητα. Με την ανάπτυξη της επιστήμης η αναζήτηση της αλήθειας στα πλαίσια της ανώτερης των επιστημών, της φυσικής, αποτέλεσε πρωταρχικό στόχο των κοινωνιών (ή τουλάχιστον του κομματιού εκείνου των κοινωνιών που μπορεί να αντιληφθεί τη σημασία μιας τέτοιας αναζήτησης). Η αλήθεια για την λειτουργία του κόσμου είναι κρίσιμη για την πορεία της ανθρωπότητας. Η αλήθεια αυτή είναι η κατάληξη της επιστημονικής έρευνας και η αρχή της τεχνολογικής δημιουργίας. Η σχέση αυτή είναι και η κινητήριος δύναμη του πολιτισμού μας.

Υπόθεση εργασίας

Σχετικά με το δομημένο χώρο μας, οι κανόνες δεν διαφοροποιούνται από όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω. Εδώ η φυσική αλήθεια αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για την σωστή έκβαση της συνεχιζόμενης διανοητικής και ταυτόχρονα παραγωγικής σκέψης που λέγεται αρχιτεκτονική. Η αρχιτεκτονική είναι εκ των πραγμάτων τμήμα της φυσικής πραγματικότητας και αυτό πρέπει να θεωρηθεί ως αξίωμα. Παρατηρείται όμως μια σοβαρή ασυνέπεια μεταξύ της σύγχρονης αρχιτεκτονικής σκέψης και πρακτικής και της φυσικής λειτουργίας. Ο δομημένος χώρος λειτουργεί απομονωμένος από το σύνολο της φύσης, αδρανής και παρασιτικός ως προς το σύνολο ενώ θα έπρεπε να συμμετέχει σε αυτό. Το πρόβλημα που δημιουργεί αυτή την ασυνέπεια εντοπίζεται μάλλον σε μια λάθος ερμηνεία του φυσικού που οδήγησε σε λάθος συμπεράσματα και πρακτικές. Εδώ για ακόμη μια φορά οι φυσικές μορφές λειτουργούν ως βιβλίο θεωρίας και πρακτικής, ανοικτό προς μια εκ νέου, ορθότερη ερμηνεία της αλήθειας και ως πηγή έμπνευσης για τους αρχιτέκτονες αλλά και για όλους τους μηχανικούς.

Ένα μεγάλο τμήμα των φυσικών μορφών είναι έμβιοι οργανισμοί. Δημιουργούνται δηλαδή μέσα από το φαινόμενο της ζωής. Αυτοί οι έμβιοι οργανισμοί σαν σύνολο έχουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την αρχιτεκτονική έρευνα γιατί είναι κατασκευές με πολύ καλή απόδοση τόσο σε μορφολογικά αιτήματα αλλά κυρίως σε λειτουργικά. Είναι υψηλής απόδοσης και συνεχώς βελτιούμενες αρχιτεκτονικές επιλύσεις προβλημάτων αφού η ύπαρξή τους είναι μια χωρική διευθέτηση υλικού με βάση λειτουργική απαίτηση. Το φαινόμενο της ζωής λοιπόν είναι μια διαδικασία σχεδιασμού και παραγωγής, είναι μια συνθετική διαδικασία η οποία μπορεί να μας διδάξει τον τρόπο δημιουργίας μιας τέτοιας λειτουργικής, με κάθε έννοια, αρχιτεκτονικής.

"All existing forms of life constitute an enormous wealth of experience from which we can draw."

(Wolf Hilbertz, 1970)

Στόχοι της εργασίας

Στόχος αυτής της εργασίας είναι να προσεγγίσει στοιχεία της «αρχιτεκτονικής» των έμβιων συστημάτων και να εντοπίσει το πεδίο εκείνο της σκέψης που μπορεί να ερμηνεύσει τη συνθετική διαδικασία της ζωής στη δημιουργία του έμβιου κόσμου. (μέρος Α')

Στη συνέχεια θα γίνει μια απόπειρα διερεύνησης των δυνατοτήτων εφαρμογής της μεθόδου σχεδιασμού των ζωντανών οργανισμών στο σχεδιασμό του δομημένου χώρου, μέσα από την ανάλυση αρχιτεκτονικών εργαλείων, παραδειγμάτων ή πειραμάτων που κινούνται σε αυτό το πεδίο της αρχιτεκτονικής έρευνας. (μέρος Β')

Τελικά σκοπός είναι να προσδιοριστεί τί ακριβώς σημαίνει για την αρχιτεκτονική που σχεδιάζουμε, το ενδεχόμενο υιοθέτησης αυτών των αρχών που διέπουν τα έμβια συστήματα.

2. Επαναπροσδιορίζοντας τον τρόπο μελέτης της φύσης – αλλαγή στο επιστημονικό παράδειγμα.

Το επιστημονικό παράδειγμα, δηλαδή η μεθοδολογία της επιστήμης μεταβάλλεται καθώς η ίδια η επιστήμη εξελίσσεται. (Μ.Καρύδα) «Από την αρχαιότητα έως τα τέλη του 15ου μΧ. αι. η προ-επιστημονική περίοδος χαρακτηρίζεται από ένα μείγμα φιλοσοφίας, θεολογίας και παρατήρησης του κόσμου. Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη ο φυσικός κόσμος διατάσσεται σύμφωνα με το κριτήριο της μεγαλύτερης δυνατής προσέγγισης προς τον υπέρτατο σκοπό, το Θεό. Από τον 16ο αι. μ. διατυπώνονται φυσικοί νόμοι που στηρίζονται στις αρχές της Μηχανικής (Μηχανοκρατία - αιτιοκρατία). Με αφετηρία την Κοσμολογία, και τους νόμους του Νεύτωνα, η εικόνα του φυσικού κόσμου αντιστοιχεί σε αυτή μιας μηχανής και η περιγραφή του γίνεται σε μαθηματική γλώσσα. Η ανάλυση δε του φυσικού κόσμου , γίνεται με την αναγωγική μέθοδο: Η μέθοδος αυτή μας λέει ότι εάν διαμοιράσουμε το αντικείμενο που εξετάζουμε σε μικρότερα, και άρα απλούστερα κομμάτια, και αναλύσουμε τα κομμάτια αυτά, τότε αθροίζοντας τις ερμηνείες μπορούμε να κατανοήσουμε το αρχικό αντικείμενο. Για να μελετήσουμε την πραγματικότητα πρέπει να αφήσουμε εκτός πεδίου μελέτης τις λεπτομέρειες και να απομονώσουμε το αντικείμενο που μελετάμε. Τελικά πρέπει να δεχθούμε την πιο απλή από τις εξηγήσεις που εξηγούν πλήρως μία θεωρία. Για να διασφαλιστεί η αντικειμενικότητα της επιστήμης απαιτείται κάθε παρατήρηση και κάθε πείραμα να μπορεί να επαναληφθεί (με τον ίδιο ακριβώς τρόπο) από οποιονδήποτε επιστήμονα, με τα ίδια αποτελέσματα. Τέλος, η επιστήμη διατυπώνει τις θέσεις της με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να διαψευστούν αν είναι εσφαλμένες.»

Στην προσπάθειά μας να μελετήσουμε τους έμβιους οργανισμούς θα αντιληφθούμε ότι η αναγωγική μέθοδος αδυνατεί να μας δώσει ασφαλή συμπεράσματα. Αυτό συμβαίνει γιατί η λογική πίσω από την ανάλυση στα θεμελιώδη δεν είναι εφαρμόσιμη σε φαινόμενα που στηρίζονται στην πολυπλοκότητα που η ίδια αυτή λογική θέλει να αναιρέσει. Δεν μπορεί να αντιμετωπίσει την οργανωμένη συμπλοκότητα πολύπλοκων δομών, δεν μπορεί να εξηγήσει τη συμπεριφορά έμβιων οργανισμών που έχουν κάποιου είδους ευφυΐα και λειτουργούν με πρόθεση, δεν μπορεί να εξηγήσει επαρκώς φαινόμενα της φύσης όπως είναι οι καιρικές συνθήκες κτλ. Ακριβώς αυτή η ανεπάρκεια της αναγωγικής μεθόδου να αντιμετωπίσει τα φαινόμενα αυτά οδήγησε στην αναθεώρηση του τρόπου σκέψης γύρω από το πώς γίνεται η μελέτη τους : η επιστήμη έπαψε να τα τεμαχίζει ανατομικά ως μεμονωμένα φαινόμενα αλλά τα μελετά ως συστήματα.

Το σύστημα ως έννοια δεν έχει οριστεί επακριβώς σε μια κοινώς αποδεκτή διατύπωση. Στις διάφορες μελέτες που έγιναν σχετικά με τη θεωρία συστημάτων διατυπώθηκαν διάφοροι ορισμοί που συνολικά δίνουν μια αρκετά σαφή περιγραφή του συστήματος:

“A set of elements standing in inter-relations” (Bertalanffy)

“A set of objects together with relationships between the objects and between their attributes” (Hall and Fagen)

“Anything that consists of parts connected together” (Beer, 1959)

“A set of interconnected elements functioning as a whole” (Blauberg et al)

Η θεωρία περί συστημάτων απέκτησε μαθηματική μορφή και φυσικό νόημα αρχικά με την εφαρμογή της στη μελέτη σύνθετων βιολογικών φαινομένων όπου η ανεπάρκεια της αναγωγικής μεθόδου ήταν πολύ έντονη και στη συνέχεια εφαρμόστηκε για να εξηγήσει κοινωνικά και άλλα φαινόμενα. Εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1950 ως Cybernetics και στη συνέχεια ονομάστηκε θεωρία συστημάτων (Systems' theory) εξελίχθηκε και εφαρμόστηκε σε πολλούς τομείς της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογίας. Η σημασία της έγκειται στο γεγονός ότι προσπαθεί

να χρησιμοποιήσει τις ίδιες ερμηνευτικές αρχές σε τομείς που η κλασική επιστήμη θεωρεί διακριτές ενότητες .

Παράλληλα με την αμφισβήτηση της αναγωγικής μεθόδου, αξίζει να αναφέρουμε μια άλλη ανακάλυψη στα μαθηματικά, την θεωρία της μη πληρότητας του Γκέντελ, η οποία θεωρώ ότι μπορεί να βοηθήσει στον τρόπο με τον οποίο πρέπει να αντιμετωπίσουμε τη μελέτη της φύσης. Ο Γκέντελ προσπαθώντας να αποδείξει την πληρότητα των θεωριών των Ράσελ και Ουάιτχεντ, διαβάζοντας την *Principia Mathematica*, φτάνει στο τελείως αντίθετο αποτέλεσμα και διατυπώνει με απόλυτα μαθηματικό τρόπο μια νέα θεωρία που σχεδόν προκάλεσε κατάθλιψη στον επιστημονικό κόσμο. Ο Γκέντελ απέδειξε ότι: « Κάθε σύστημα αξιωμάτων περιλαμβάνει προτάσεις τις οποίες δεν μπορούμε να διερευνήσουμε αν είναι αληθείς ή ψευδείς, με τα μέσα που μας δίνει το ίδιο το σύστημα. Με άλλα λόγια, για να μπορέσουμε να αποδείξουμε τις αξιωματικές αυτές προτάσεις πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα άλλο σύστημα αξιωμάτων ακόμα πιο ευρύ, που να περιέχει το προηγούμενο. Έτσι όμως, μένουμε και πάλι με την αδυναμία μας να αποδείξουμε το ευρύτερο αυτό σύστημα, και χρειαζόμαστε κάτι ακόμα ευρύτερο».

Τελικά φαίνεται ότι η γνώση μας για το κάθε τι πάντα θα απαιτεί περισσότερα στοιχεία, που αναγκαστικά θα μας δίνονται μόνο απ' έξω από το υπό μελέτη σύστημα. Με αυτό το θεώρημα, ο Γκέντελ έθεσε τέλος στην αναζήτηση της βεβαιότητας στα μαθηματικά, αποδεικνύοντας ότι δεν υπάρχει βεβαιότητα και δεν μπορεί να υπάρξει, όπως ακριβώς είχε κάνει ο Χάιζενμπεργκ στην φυσική. Μέσω της θεωρίας της μη πληρότητας θεμελιωνόταν και μαθηματικά το επιχείρημα ότι η περιγραφή ενός φυσικού φαινομένου σε απομόνωση δεν μπορεί να είναι ποτέ πλήρης και πάντα θα πρέπει να ερμηνεύεται σε συσχέτιση με κάτι ευρύτερο.

Μέχρι τώρα έγινε αναφορά σε δύο θεωρίες, την θεωρία συστημάτων και την θεωρία της μη πληρότητας, οι οποίες ως μαθηματικές θεωρίες έχουν ένα πλήρως ορισμένο αντικείμενο και αποδεικνύονται με ένα συγκεκριμένο αδιαμφισβήτητο τρόπο. Θα μπορούσε να ισχυριστεί κάποιος λοιπόν, ότι η «εκλαϊκευμένη» ερμηνεία τους και η μεταφορά των εννοιών σε αντικείμενα που δεν εντάσσονται στο αυστηρό περιεχόμενο της κάθε θεωρίας και μόνο, θα κατέληγε σε ένα ατεκμηρίωτο αυθαίρετο λόγο. Εν μέρει αυτό είναι αλήθεια : η μεταφορική χρήση των θεωριών αυτών σε αντικείμενα που οι θεωρίες δεν εξετάζουν ενδεχομένως να οδηγήσει σε ανακρίβειες μιλώντας με αυστηρά μαθηματικούς όρους. Ωστόσο αν δεχτούμε ότι η κάθε μαθηματική ή φυσική θεωρία είναι μια καλή προσέγγιση της αλήθειας, τότε μπορούμε να ισχυριστούμε ότι κάθε μαθηματική ή φυσική θεωρία μπορεί να διαβαστεί και μεταφορικά. Αυτή η μεταφορική (αυθαίρετη ή στρεβλωτική σε κάποιο βαθμό) ερμηνεία των σημαντικών θεωριών οδηγούσε πάντα την φιλοσοφική σκέψη και την κοινή καθημερινή αντίληψη σχετικά με τα διάφορα αντικείμενα που απασχολούν τον άνθρωπο. Η όποια επίκληση σε τέτοιες μαθηματικές ή φυσικές αλήθειες είναι παραγωγική μόνο αν συνοδεύεται από την παραδοχή της κατάχρησης, με σκοπό την προσέγγιση μιας αδιαμφισβήτητης αλήθειας.

μερικές διευκρινίσεις

Η εργασία αυτή περιστρέφεται γύρω από το φαινόμενο της ζωής · εδώ πρέπει να διευκρινιστεί ότι με τον όρο «ζωή» περιγράφεται το σύνολο των διαδικασιών που συμβαίνουν ώστε να ονομάζεται κάτι ζωντανό . Δεν έχει νόημα να αντιμετωπίσουμε τη ζωή με την πλήρη γκάμα ερμηνειών που δέχεται μέσα από τον πολιτισμό τη θρησκεία ή την προσωπική ή φιλοσοφική άποψη. Δεν επιχειρείται σε καμιά περίπτωση η «απλοποίηση» του συνθετότερου ίσως φαινομένου στη φύση μέσα από μια αποκλειστικά «συστημική» προσέγγιση . Γίνεται αυτή η -μονοδιάστατη θα έλεγε κανείς- αντιμετώπιση του φαινομένου της ζωής, γιατί μας ενδιαφέρει η κατασκευή καθεαυτή των ζωντανών συστημάτων και όχι η νοηματοδότηση και ο συμβολισμός της. Είναι σημαντικό δηλαδή να περιγραφεί ο έμβιος οργανισμός που είναι ο φορέας των διαδικασιών της ζωής, ως το

δίκτυο υλοποίησης των διαδικασιών αυτών.

Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι μια προσπάθεια πλήρους και λεπτομερούς περιγραφής των ζωντανών συστημάτων είναι προφανώς ανέφικτη σε αυτή την εργασία. Η ζωή εκφράζεται με πληθώρα τρόπων και από τον απλούστερο ζωντανό οργανισμό μέχρι τις σύνθετες μορφές των θηλαστικών και τα φαινόμενα που αφορούν τους πληθυσμούς ζώων, υπάρχει μια διαφοροποίηση και ποικιλότητα που είναι δύσκολα διαχειρίσιμες ακόμη και από τους εξειδικευμένους επιστήμονες. Η δυσκολία στη λεπτομερή περιγραφή των βιολογικών οργανισμών έγκειται επίσης στην έλλειψη εξειδικευμένης γνώσης από μέρους μου, γνώσης που αφορά άλλα επιστημονικά πεδία, η οποία είναι ανέφικτο στα πλαίσια αυτής της εργασίας να κατακτηθεί παρά μόνο επιδερμικά.

Εν τέλει, είναι δυνατόν να αντιληφθούμε πλήρως τη λειτουργία της φύσης ή τουλάχιστον τη λειτουργία του δικού μας ανθρώπινου συστήματος; Κοιτάζοντας ξανά το θεώρημα του Γκέντελ, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι μάλλον δεν θα γίνουμε ποτέ κατανοητοί από τον εαυτό μας, δεδομένου ότι το εργαλείο της νόησης μας, ο εγκέφαλος μας, είναι κι αυτό ένα κλειστό σύστημα. « Όπως δεν μπορούμε να δούμε τα πρόσωπά μας με τα μάτια μας, δεν μπορούμε να καθρεπτίσουμε πλήρως τις διανοητικές μας δομές στον ίδιο μας τον εγκέφαλο». Επίσης, δεν μπορούμε ποτέ να είμαστε βέβαιοι πως στην προσπάθεια αυτό-ερμηνείας μας ή ερμηνείας του φυσικού συστήματος στο οποίο ανήκουμε, δεν έχουμε παραφρονήσει. «Ο παράφρων ερμηνεύει τον κόσμο, μέσω της (παραδόξως) συνεπούς λογικής του. Πώς μπορούμε να αποφανθούμε εάν η λογική μας είναι παράδοξη ή όχι, δεδομένου ότι έχουμε μόνο τη λογική μας για να το κρίνουμε;». Για να μην καταλήξει η σκέψη αυτή σε μια λάθος ερμηνεία μιας πολύ δύσκολης θεωρίας, ίσως ακατανόητης για τους περισσότερους από εμάς, και ειδικά για όσους δεν έχουν μια βαθειά γνώση των μαθηματικών, ας κρατήσουμε αυτόν τον προβληματισμό σε αυτό το σημείο. Το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε είναι να δεχτούμε την ανθρώπινη λογική ως αξιωματικά μη παράδοξη.

3. Ζωή – μια συστημική προσέγγιση

Τί είναι ζωντανό και τί μη ζωντανό;

Αυτό το ερώτημα, αν και απλό στη διατύπωση, παρουσιάζει μεγάλες δυσκολίες στην απάντησή του και απασχόλησε έντονα επιστήμονες από διάφορα ερευνητικά πεδία. Ο Alan Turing με το γνωστό Tuning Test χρησιμοποίησε το κριτήριο της ευφυΐας για να καθορίσει αν αυτό που έχει ο χρήστης απέναντί του είναι ένας πραγματικός (ζωντανός) άνθρωπος ή μια μηχανή με σκοπό να πιστοποιήσει την επίτευξη τεχνητής νοημοσύνης. Πράγματι η ευφυΐα είναι ένα χαρακτηριστικό που συναντάται στους ζωντανούς οργανισμούς, ωστόσο το φαινόμενο της ύπαρξης ζωής και μόνο δεν προϋποθέτει κατ' ανάγκην ευφυΐα.

Το αισθητήριο του ανθρώπου είναι ένα αξιόπιστο όργανο με το οποίο μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός ζώντος και μη. Όμως αυτό το εργαλείο (η αίσθηση) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε αυτά τα αντικείμενα του φυσικού κόσμου που ερχόμαστε σε επαφή και μπορούν να ερεθίσουν τις αισθήσεις μας. Με άλλα λόγια, παρατηρώντας το πιο κάτω διάγραμμα, είναι πολύ εύκολο για τον άνθρωπο να αναγνωρίσει ότι μια ζέβρα είναι ζωντανός οργανισμός ενώ ένας κρύσταλλος χλωριούχου νατρίου δεν είναι. Τα κριτήρια όμως είναι καθαρά διαισθητικά, χωρίς να έχουν αποκρυσταλλωθεί πλήρως οι ακριβείς προϋποθέσεις που οδηγούν σε ένα τέτοιο διαχωρισμό. Η διαισθηση αυτή μπορεί να είναι αξιόπιστη όταν έχουμε να εντοπίσουμε τη ζωή σε περιπτώσεις της καθημερινότητας με τις οποίες έχουμε κάποια επαφή, όπως είναι για παράδειγμα οι άνθρωποι που είναι γύρω μας, τα ζώα με τα οποία ερχόμαστε σε επαφή, τα φυτά του κήπου μας κτλ. Πλησιάζοντας όμως σε όλο και μικρότερες κλίμακες και προς τις όλο και απλούστερες μορφές ζωής, λίγο πριν φτάσουμε στην απουσία ζωής ή ίσως πάνω στο όριο αυτό, υπάρχει μια γκρι ζώνη, μια ενδιάμεση κατάσταση που εμφανίζει μερικά χαρακτηριστικά και διαφορετικές ποσότητες και ποιότητες αυτού που ονομάζουμε ζωή. Σε αυτή την περιοχή τα ανθρώπινα αισθητήρια δεν μπορούν να λειτουργήσουν κυρίως λόγω διαφοράς στην κλίμακα. Ωστόσο σε αυτά τα μεγέθη υπάρχει ένα ενδιαφέρον γιατί μπορούμε να δούμε στην πιο απλή μορφή τους, βασικές ιδιότητες της ζωής. Εδώ, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τη βιολογία και τα μαθηματικά για να μπορέσουμε να προσεγγίσουμε αυτά τα χαρακτηριστικά και τις διαδικασίες που οι αισθήσεις μας αδυνατούν να διακρίνουν.

Καταρχήν, για να ονομασθεί κάτι ζωντανό, απαιτείται ένα σώμα, δηλαδή μια υλική χωρική οργάνωση ώστε να υπάρχει μια χωρική διάκριση μεταξύ του οργανισμού και του περιβάλλοντος μεταξύ του «εγώ» και του «κόσμου» (για αυτή τη σχέση θα γίνει αναφορά στη συνέχεια). Έπειτα, χρειάζεται το σώμα αυτό να έχει ένα μεταβολισμό, δηλαδή την ικανότητα να αντλεί πόρους από το περιβάλλον και να τους μετατρέπει σε δομικές μονάδες του σώματός του ώστε να μπορεί να αυτο-δημιουργείται και να συντηρείται. Τα δύο αυτά στοιχεία μπορούν να δώσουν την ικανότητα κίνησης και αναπαραγωγής του εαυτού του. Μέσα από την αναπαραγωγή λειτουργεί ένας μηχανισμός μεταφοράς πληροφορίας (κληρονομικότητα), η οποία περιέχει, σε μορφή γενετικού κώδικα, ολόκληρο το κατασκευαστικό σχέδιο του κάθε απογόνου. Ο κώδικας αυτός ή το γονιδίωμα όπως ονομάζεται στη βιολογία είναι μια χρονοκάψουλα πληροφορίας η οποία προδιαγράφει το κάθε ένα από τα επόμενα άτομα του είδους. Οι αρχικές συνθήκες οι οποίες πυροδότησαν την έναρξη των πιο πάνω, δεν είναι ακόμη γνωστές. (R.Armstrong) "Υπάρχουν δύο αποδεκτά μοντέλα για την ιστορία της ζωής: Το πρώτο μοντέλο (information-first theory) υποστηρίζει ότι όλα ξεκίνησαν με την εμφάνιση ενός πρωταρχικού οργανωτικού μορίου το οποίο μπορούσε να διευθύνει γύρω του συστήματα που υποστήριζαν τη ζωή. Το δεύτερο μοντέλο (metabolism-first theory) υποστηρίζει ότι πολύπλοκες χημικές διαδικασίες δημιούργησαν αυτοδιατηρήσιμες αντιδράσεις που οδήγησαν στην εμφάνιση ζωντανών συστημάτων."

Η αλήθεια δεν βρίσκεται κατ' ανάγκην σε ένα από τα δύο μοντέλα – στην ιστορία της εξέλιξης

της ζωής, μάλλον και τα δύο μοντέλα οδήγησαν στην αβιογένεση, σε διαφορετικούς χρόνους και σε διαφορετικό βαθμό . Ωστόσο ακόμα και αν εικάζουμε για τις αρχές της ζωής στον κόσμο , μπορούμε να έχουμε μια καλή εικόνα για διαδικασίες που συμβαίνουν σήμερα στους ζωντανούς οργανισμούς, οι οποίες και τους δίνουν τα χαρακτηριστικά εκείνα που μας ενδιαφέρουν.

Η αναζήτηση γύρω από το τι είναι η ζωή συνεχίζεται, αφού το ερώτημα αυτό περιμένει ακόμα να απαντηθεί. Οι H. Maturana και F.J. Varela εισηγήθηκαν το 1971 ένα ενδιαφέρον θεωρητικό μοντέλο με σκοπό να απαντηθεί το ερώτημα ποιά είναι η βασική λειτουργία της ζωής. Το μοντέλο αυτό ονομάστηκε «αυτοποιοητικό σύστημα» ή «αυτοποιοητική μηχανή» και είναι μια προσπάθεια περιγραφής της ικανής και αναγκαίας συνθήκης για να ορίζεται κάτι ως ζωντανό. Σύμφωνα με τον F.J.Varela (Varela 1991) «η περιγραφή αυτής της διαδικασίας ... πρέπει να είναι επαρκώς γενική (universal) ώστε να μας επιτρέπει να αναγνωρίζουμε τα ζωντανά συστήματα σαν τάξη (class) χωρίς να υποχρεωνόμαστε να τα συσχετίσουμε με τα υλικά μέρη τους .Την ίδια στιγμή , δεν πρέπει να είναι υπερβολικά αφαιρετική , αντίθετα πρέπει να είναι αρκετά σαφής ώστε να μας επιτρέπει να εντοπίζουμε τέτοιες δυναμικές μορφές στο περιβάλλον μας στη Γη , ενδεχομένως σε άλλα πλανητικά συστήματα αλλά και τις δυναμικές μορφές που ίσως δημιουργηθούν τεχνητά από τον άνθρωπο.»

(Varela) «Μια αυτοποιοητική μηχανή είναι οργανωμένη (ενιαία ολότητα) ως ένα δίκτυο λειτουργιών παραγωγής (μετασχηματισμού και καταστροφής) των στοιχείων που παράγουν στοιχεία τα οποία:

- μέσω της αλληλεπίδρασης και των μετασχηματισμών συνεχώς αναγεννούν και δημιουργούν το δίκτυο των λειτουργιών που τα παράγει, και
- καθιστούν τη μηχανή ως συμπαγή ολότητα στο χώρο όπου τα στοιχεία υπάρχουν, ορίζοντας τον τοπολογικό χώρο της υλοποίησης του δικτύου αυτού»

Η μηχανή ως θεωρητικό εργαλείο είναι μια αρκετά αμφιλεγόμενη έννοια. Το σύμπαν, για παράδειγμα, μερικούς αιώνες πριν αντιστοιχούσε σε μια μηχανή της οποίας αρκούσε μόνο να αποσυναρμολογήσεις τα κομμάτια για να καταλάβεις τη λειτουργία της με μια σχεδόν ανατομική λογική. Αυτή η ερμηνευτική προσέγγιση της μηχανής είναι αποτέλεσμα της αναγωγικής σκέψης. Η θεωρία συστημάτων την οποία φαίνεται να ασπάζονται οι Maturana και Varela έχει μια διαφορετική άποψη: η ουσία της μηχανής είναι τα μέρη της μηχανής συνοδευόμενα από τις μεταξύ τους σχέσεις.

Η θεωρία συστημάτων ουσιαστικά διχάζει την ύπαρξη της μηχανής σε δύο άρρηκτα συνδεδεμένα και αλληλοεξαρτώμενα επίπεδα: το ένα είναι καθαρά το επίπεδο της υλικής υπόστασης του αντικειμένου και το δεύτερο είναι το επίπεδο της συσχέτισης των κομματιών αυτών , το "hyper-text" όπως το ονομάζει ο Pierre Levy. Η αφηρημένη μηχανή (abstract machine) όπως διατυπώθηκε από τον Felix Guattari, που θέλει να περιγράψει το τέχνημα με όρους συστήματος φαίνεται να αποκτά μια πιο βιολογική ανα-διατύπωση από τους Maturana και Varela με την περιγραφή του αυτοποιοητικού συστήματος. Η αφηρημένη μηχανή είναι λοιπόν μια απο-υλοποιημένη τεχνολογική ύπαρξη¹ είναι ένα αφηρημένο διάγραμμα. Το αφηρημένο διάγραμμα περιέχει πληροφορία που αφορά τόσο την περιγραφή του σώματος (τα μέρη) της μηχανής όσο και πληροφορία που αφορά την αλληλεπίδραση τους. Εξετάζοντας του έμβιους οργανισμούς αυτή η έννοια του αφηρημένου διαγράμματος είναι πολύ εύκολα διακριτή : κανείς δεν μπορεί να ισχυριστεί ότι ένας άνθρωπος ορίζεται ως μια συλλογή ατόμων άνθρακα υδρογόνου οξυγόνου και άλλων χημικών στοιχείων, ούτε ότι είναι μια κατασκευή που αποτελείται από 4 άκρα ένα κορμό και ένα κεφάλι. Και μόνο διαισθητικά, μια τέτοια περιγραφή μας φαίνεται τουλάχιστον αφελής- και είναι. Υποψιάζεται κανείς ότι για να περιγράψει με πιο ακριβή τρόπο τον άνθρωπο (ή οποιοδήποτε άλλο ζωντανό οργανισμό) θα πρέπει να αναφερθεί σε έννοιες που προκύπτουν από τη συσχέτιση αυτών των

1 Pierre Levy : "trying to break down the ontological iron curtain between being and things"

μερών, θα πρέπει να περιγράψει το αφηρημένο διάγραμμα του.

Ο ορισμός του αυτοποιητικού συστήματος (εκ προθέσεως) είναι αρκετά αφαιρετικός και απλοποιητικός ως προς τη συνθετότητα των οργανισμών που περιγράφει. Όταν όμως ξεφύγουμε από την περιγραφή της αφηρημένης έννοιας και παρατηρήσουμε την φυσική της έκφραση, θα καταλάβουμε ότι το αυτοποιητικό σύστημα είναι αρκετά πολύπλοκο κατά περιπτώσεις, και τα στοιχεία που το αποτελούν είναι και αυτά κάποια πολύπλοκα υπο-συστήματα.

Ένα πολύπλοκο βιολογικό σύστημα λοιπόν, είναι (ενιαίο) σύνολο που συντάσσεται από ένα αριθμό χαρακτηριστικών υποσυστημάτων. Τα υποσυστήματα αυτά ορίζονται το κάθε ένα και πάλι ως σύνολο χαρακτηριστικών υποσυστημάτων κοκ. Ο βαθμός πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει το αρχικό (πολύπλοκο) σύστημα δείχνει ακριβώς την πολλαπλότητα των επιπέδων των διαφόρων υποσυστημάτων που το αποτελούν. Σε όλα τα επίπεδα οριζοντίως τα υποσυστήματα βρίσκονται σε διαρκή αλληλεπίδραση η οποία έχει ως αποτέλεσμα την ανάδυση ιδιοτήτων οι οποίες εμφανίζονται σε ανώτερα επίπεδα οργάνωσης. Κατακόρυφα, τα διάφορα επίπεδα οργάνωσης συστημάτων σχετίζονται μέσω των ιδιοτήτων που προκύπτουν οριζοντίως. Αυτό δε σημαίνει ότι ο κόσμος στον οποίο ζούμε και αποτελούμε μέρος του, είναι μια ομοιογενής ισότροπη «σουπτα» συστημάτων. Σε αυτό το μοντέλο υπάρχει, και μάλιστα έντονα, η έννοια της διάκρισης και της ταυτότητας των αντικειμένων ακόμα και ιδωμένων ως μερών ενός ευρύτερου συστήματος που αποτελεί το σύμπαν. Η διαφοροποίηση των διαφόρων διακριτών ενοτήτων επιτυγχάνεται μέσω της διαφοράς έντασης και τύπου των συσχετίσεων που παρατηρούνται μεταξύ των συστημάτων που συγκροτούν ένα όλον. Οι συσχετίσεις μεταξύ των μερών που αποτελούν το σύνολο, που έστω ότι είναι ένα αυτοποιητικό σύστημα, είναι πολύ έντονες ώστε το σύστημα να γίνεται αντιληπτό ως ενιαίο. Ωστόσο οι σχέσεις μεταξύ του αυτοποιητικού συστήματος και άλλων συστημάτων που βρίσκονται στην ίδια περιοχή δεν παύουν να υπάρχουν αλλά είναι άλλου τύπου συσχετίσεις.

Η συσχέτιση των υποσυστημάτων ή στοιχείων ενός συστήματος παράγει μια επιπλέον κατάσταση, παράγει πληροφορία. Αυτό ουσιαστικά περιγράφεται από την αρχή της αυτοοργάνωσης. «Σύμφωνα με την αρχή αυτή ένα σύνολο στοιχείων μπορεί να συντονίζεται και να αυτο-οργανώνεται παράγοντας μια τάξη – δομή και να αναπτύσσει πολλαπλά είδη συσχετίσεων και συντονισμών. Επίσης, ένα επίπεδο αυτοοργάνωσης δεν μπορεί να αναχθεί σε ένα χαμηλότερο επίπεδο το οποίο περιέχει. Δηλαδή εάν ένα σύστημα σ_i που περιέχει τα υποσυστήματα $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N$ υπόκειται σε συντονισμό και συσχετίσεις των μερών του, τότε η αυτοοργάνωση των στοιχείων σ_i δεν εξηγείται από λειτουργίες αυτοοργάνωσης στο κατώτερο επίπεδο που λαμβάνουν χώρα σε κάθε υποσύστημα σ_i . Σύμφωνα με τα ανωτέρω κάθε σύστημα σ που περιέχει ως μέρη του τα υποσυστήματα $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N$ εκτός από τα υποσυστήματα περιέχει και ένα σχέδιο που καθορίζει τις αλληλεπιδράσεις των υποσυστημάτων του. Το σχέδιο αυτό μολονότι καθορίζει τις αλληλεπιδράσεις και τους συντονισμούς των υποσυστημάτων μέσα στο αρχικό σύστημα σ , δεν απορρέει από τα υποσυστήματα $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N$ αλλά αποτελεί το επιπλέον το οποίο εισάγεται με την λειτουργία αυτοοργάνωσης των υποσυστημάτων μέσα στο αρχικό σύστημα σ . Βάση αυτών συμπεραίνουμε ότι το σύστημα σ δεν είναι απλώς το άθροισμα των μερών του καθώς και ότι τα υποσυστήματα που είναι μέρη του αρχικού αποτελούν άλλη πραγματικότητα μέσα στο σύστημα και διαφορετική πραγματικότητα όταν είναι απομονωμένα εκτός του συστήματος.

το «Εγώ» και ο «κόσμος»

Οι συσχετίσεις μεταξύ των συστημάτων κατασκευάζουν ιδιότητες πέραν των ποσοτικών χαρακτηριστικών των συστημάτων. Ας πάρουμε για παράδειγμα ένα απλούστατο αυτοποιητικό σύστημα: ένα βακτήριο. Το Βακτήριο αυτό έστω ότι ζει σε ένα περιβάλλον διαλύματος σακχαρόζης. Για τον παρατηρητή το διάλυμα σακχαρόζης είναι απλά ένα διάλυμα. Για το βακτήριο όμως έχει ένα

άλλο νόημα: είναι η τροφή του. Υπάρχει μια σχέση μεταξύ του βακτηρίου και του διαλύματος που δίνει νόημα στο διάλυμα ως τροφή -αυτή η σχέση είναι ο μεταβολισμός . Το διάλυμα σακχαρόζης λοιπόν δεν είναι απλά ένα περιβάλλον με την αντικειμενική έννοια αλλά ανήκει στον «κόσμο» του βακτηρίου- είναι σημαντικό γιατί βρίσκεται σε συσχέτιση με αυτόν και η συσχέτιση αυτή είναι αρκετά ισχυρή ώστε να του δίνει ένα σημαντικό νόημα. Η σακχαρόζη είναι το στοιχείο με το οποίο ο οργανισμός του βακτηρίου κτίζει το σώμα του και οποιαδήποτε διακύμανση σε αυτή τη διαδικασία

<http://capturedbycarrie.com/blog/tag/baby-as-art/>



© baby as art | carrie sandoval

προσβάλλει την ύπαρξη του βακτηρίου ως αυτοποιοητικού οργανισμού. Μέσα από προκλήσεις-διαταραχές του αυτοποιοητικού του χαρακτήρα, το σύστημα επαναπροσδιορίζεται με αποτέλεσμα να αποκτά συνείδηση της ύπαρξής του, αλλά και μέσα από αυτές τις διαταραχές αποκτούν νόημα και τα συστήματα με τα οποία έρχεται σε συσχέτιση. Η συνέργεια μεταξύ των συστημάτων είναι η αιτία δημιουργίας βασικών εννοιών στη ζωή των οργανισμών όπως της επίγνωσης της ύπαρξης, της ταυτότητας και του κόσμου (ως συμβολικής προβολής του περιβάλλοντος στην αντίληψη του οργανισμού)

4. Περιγραφή των έμβιων συστημάτων

Η όποια μοντελοποίηση στοχεύει στην περιγραφή των έμβιων οργανισμών ως αυτοποιοητικών μηχανών, θα πρέπει να είναι μια μοντελοποίηση συστήματος αφού το ίδιο το αφηρημένο διάγραμμα και μόνο, περιγράφει (Blauberg et al,) «ένα σύνολο διασυνδεδεμένων στοιχείων που λειτουργούν σαν ένα όλον» και άρα περιγράφει ένα σύστημα. Μάλιστα, το αυτοποιοητικό σύστημα μεταβάλλει την κατάστασή του στο χρόνο αφού σύμφωνα με τον ορισμό του, συντηρεί διαδικασίες «μετασχηματισμού και καταστροφής». Λόγω της μεταβολής του στο χρόνο το αυτοποιοητικό σύστημα είναι ένα δυναμικό σύστημα.

Προσπαθώντας κανείς να περιγράψει τις αρχές των έμβιων συστημάτων, θα μπορούσε να μοντελοποιήσει με μαθηματικό τρόπο και με σχετικά μεγάλη ακρίβεια συγκεκριμένες διαδικασίες που τα χαρακτηρίζουν. Αυτό θα οδηγούσε σε συγκεκριμένα και ακριβή συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο σχηματισμού των ζωντανών μορφών κατά περίπτωση. Μια δεύτερη αντιμετώπιση, σε εναρμόνιση με τη λογική που προτείνουν οι Varela και Maturana σχετικά με τα αυτοποιοητικά συστήματα, θα ήταν η λιγότερο συγκεκριμένη αλλά πιο συνολική περιγραφή των έμβιων συστημάτων σαν τάξη (class) συστημάτων.

Η ανάλυση αυτής της εργασίας θα ακολουθήσει τη δεύτερη προσέγγιση: τα έμβια συστήματα στο σύνολό τους έχουν κάποια βασικά χαρακτηριστικά και τα οποία η εργασία αυτή προσπαθεί να εντοπίσει. Αυτά τα χαρακτηριστικά θα προσδιοριστούν μέσα από μια περιγραφή των ιδιοτήτων της τάξης των συστημάτων στην οποία ανήκουν οι έμβιοι οργανισμοί, δηλαδή των μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων. Η περιγραφή είναι γενική και ποιοτική γιατί έτσι μπορούν να παρουσιαστούν έννοιες σχετικά με τα έμβια συστήματα, σε ένα επίπεδο αφαίρεσης που τις καθιστά ικανές να εφαρμοστούν σαν θεωρητικές αρχές ενδεχομένως και στη διαδικασία του σχεδιασμού, πριν γίνουν πολύ συγκεκριμένες ώστε να αφορούν μόνο τους ζωντανούς οργανισμούς. Ας μη ξεχνάμε ότι ο βαθύτερος στόχος μιας τέτοιας ανάλυσης είναι η εφαρμογή στην μέθοδο του σχεδιασμού.

Γενικά ένα φυσικό δυναμικό σύστημα σ , περιγράφεται από ένα σύνολο μεταβλητών που αντιστοιχούν σε φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Οι μεταβλητές μπορεί να είναι συνεχή ή διακριτά μεγέθη. Σε κάθε περίπτωση τα φυσικά μεγέθη είναι συναρτήσεις του χρόνου και επομένως το σ είναι δυναμικό σύστημα. Τα επιμέρους χαρακτηριστικά ή υποσυστήματα (μεταβλητές) του σ αλληλεπιδρούν μεταξύ τους έτσι ώστε να καθορίζουν ανά πάσα χρονική στιγμή την κατάσταση του συνόλου. Οι μεταβλητές αυτές μπορούν να είναι πεπερασμένου πλήθους (συνεχείς ή διακριτές) ή άπειρου πλήθους.

Το σύνολο των επαρκών φυσικών μεταβλητών που περιγράφουν ένα δυναμικό σύστημα σ αποτελούν τον καταστατικό ή φασικό χώρο του σ . Ο καταστατικός χώρος είναι λοιπόν ένας χώρος που περιγράφεται από τόσες διαστάσεις όσες είναι και οι μεταβλητές του συστήματος. Το πλήθος των επαρκών ανεξάρτητων φυσικών μεταβλητών του, αποτελεί τους βαθμούς ελευθερίας του συστήματος. Ένας καταστατικός χώρος n -βαθμών ελευθερίας περιγράφεται από n άξονες (ένα για κάθε μεταβλητή του συστήματος) οι οποίοι είναι κάθετοι μεταξύ τους.

Η κατάσταση του συστήματος περιγράφεται αναλογικά από τις διαφορικές εξισώσεις ή τις εξισώσεις διαφορών του. Γραφικά η κατάσταση του συστήματος μπορεί να περιγραφεί από ένα καταστατικό διάνυσμα $X(t)$ του οποίου οι προβολές σε κάθε άξονα του η-διάστατου φασικού χώρου, ορίζουν τις αντίστοιχες τιμές των μεταβλητών που αντιστοιχούν σε κάθε άξονα.

Το καταστατικό διάνυσμα, εφόσον είναι συνάρτηση του χρόνου, περιγράφει ένα δυναμικό σύστημα. Οι διαδοχικές θέσεις του διανύσματος μέσα στο φασικό χώρο, που αντιστοιχούν σε διαδοχικές καταστάσεις του συστήματος, ορίζουν μια καμπύλη γραμμή που ονομάζεται τροχιά δυναμικής. Στο ενδεχόμενο που το σύστημα περιγράφεται από εξισώσεις διαφορών, δηλαδή ο χρόνος παίρνει διακριτές τιμές, τότε δεν έχουμε μια συνεχή καμπύλη τροχιά αλλά ένα σύνολο σημείων που περιγράφουν την κατάσταση του συστήματος.

Η μεταβολή της κατάστασης του συστήματος δίνεται από την χρονική παράγωγο της εξίσωσης του καταστατικού διανύσματος. Αυτή ονομάζεται ταχύτητα ροής του συστήματος και είναι διάνυσμα, εφαπτόμενο στην τροχιά δυναμικής του συστήματος. Αν η ταχύτητα ροής είναι μηδέν τότε το σύστημα έχει λύσεις στα σημεία ισορροπίας του.

Γενικά ένα ανοικτό σύστημα (Γεώργιος Παύλος) «περιγράφεται από την δυναμική της εσωτερικής του κατάστασης $X(t)$ ενώ δέχεται μία επίδραση $U(t)$ από το περιβάλλον. Η επίδραση u του περιβάλλοντος μπορεί να οφείλεται σε εξωτερικές δυνάμεις ή σε ροή ύλης-ενέργειας από το περιβάλλον. Η έξοδος $Y(t)$ μπορεί να αντιστοιχεί αντίστοιχα σε ροή ύλης-ενέργειας ή να αντιστοιχεί σε κάποιο παρατηρούμενο αποτέλεσμα επί του συστήματος.

Η μαθηματική μοντελοποίηση ενός ανοικτού συστήματος δίδεται από τις σχέσεις:

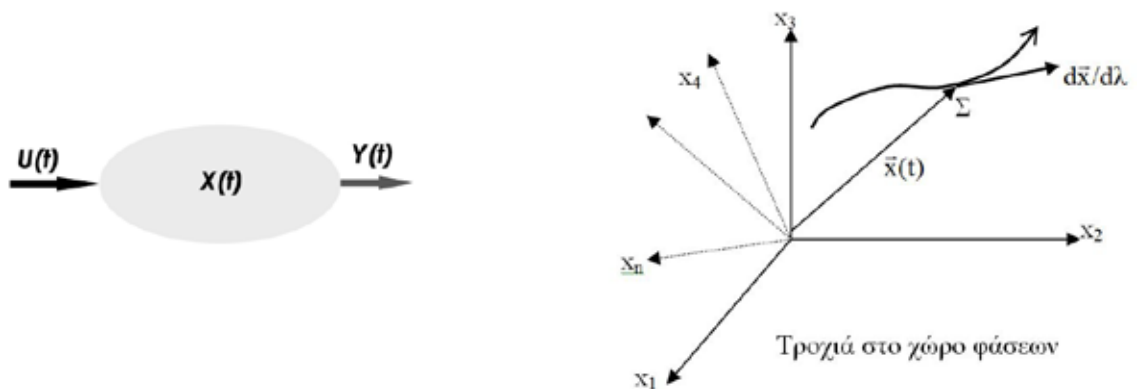
$$dx/dt = F(X,U,\lambda)$$

$$Y = f(X,U,\lambda)$$

Εάν ο χρόνος θεωρηθεί διακριτός τότε η μοντελοποίηση του πολύπλοκου συστήματος παίρνει την μορφή:

$$X_{n+1} = F(X_n, U_n, \lambda)$$

$$Y_{n+1} = f(X_n, U_n, \lambda)$$



όπου $t_1, t_2, \dots, t_n = n\Delta t$ οι χρόνοι παρατήρησης»

Πολλές φορές καταφεύγουμε σε στοχαστική επίλυση των συστημάτων είτε γιατί είναι αδύνατο να διαχειριστούμε τις διαφορικές εξισώσεις (λόγω πολλών βαθμών ελευθερίας ή χασοτικής αστάθειας) ή απλά επειδή δεν υπάρχουν εξ' αρχής τέτοιες εξισώσεις, όπως συμβαίνει σε περιπτώσεις κβαντικών φαινομένων λόγω αρχής της αβεβαιότητας. Σε αυτή την περίπτωση το δυναμικό σύστημα περιγράφεται από μια τυχαία μεταβλητή $X(t)$ ή από ένα σύνολο τυχαίων μεταβλητών

Μη γραμμικότητα

Οι περισσότερες διαδικασίες και φαινόμενα στα έμβια συστήματα χαρακτηρίζονται από μη γραμμική συμπεριφορά. Μη γραμμικότητα γενικά έχουμε όταν σε μια συνάρτηση δεν ικανοποιείται η σχέση $f(A+B) = f(A) + f(B)$. Πρακτικά αυτό συμβαίνει σε συναρτήσεις όπου ο εκθέτης των μεταβλητών είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Η μη γραμμικότητα ποιοτικά μπορεί να ερμηνευτεί ως η ανισότητα μεταξύ εισόδου και εξόδου μιας διαδικασίας. Ή αλλιώς ότι το άθροισμα των αποτελεσμάτων είναι κάτι περισσότερο ή κάτι λιγότερο από τις αιτίες που τα προκάλεσαν. Αμέσως μπορεί κανείς να αντιληφθεί γιατί τα έμβια συστήματα χαρακτηρίζονται από μη γραμμική συμπεριφορά αν αναλογιστεί βασικά χαρακτηριστικά τους, όπως αυτό της αυτοοργάνωσης.

Σε ένα μη γραμμικό σύστημα n εξισώσεων με n αγνώστους έχουμε πολλαπλές και ίσως διαφορετικού τύπου λύσεις (π.χ. πραγματικές και μιγαδικές) ενώ σε ένα γραμμικό σύστημα n αγνώστων και n εξισώσεων θα είχαμε μια μόνο λύση που θα είναι σίγουρα πραγματική. Ένα γραμμικό σύστημα αν είναι ευσταθές τότε μετά από όποια διαταραχή θα επανέλθει σε ισορροπία ενώ αν είναι ασταθές θα πάψει να υπάρχει. Αυτό δε συμβαίνει με τα μη γραμμικά συστήματα: αυτά έχουν περισσότερα από 1 σημεία ισορροπίας και ενδεχομένως περισσότερες από 1 πιθανές δυναμικές τροχιές. Λόγω αυτού αν μια διαταραχή είναι αρκετά ασθενής θα επιτρέψει στο σύστημα να επανέλθει στην αρχική του τροχιά, αν όμως η διαταραχή είναι πολύ μεγάλη τότε μπορεί να το «ρίξει» σε μια άλλη δυναμική τροχιά και εκεί να συνεχίσει με διαφορετικό βέβαια τρόπο την εξέλιξή του. Η μη γραμμικότητα είναι υπεύθυνη για φαινόμενα όπως είναι η μετάλλαξη και η εξέλιξη των ειδών αφού αυτά οφείλονται σε διαταραχές της αρχικής κατάστασης που σε ένα γραμμικό σύστημα θα ήταν αιτίες καταστροφής του συστήματος. Αποτέλεσμα της μη γραμμικότητας είναι και η παραγωγή μορφών που περιγράφονται από γεωμετρία κλασματικών διαστάσεων όπως είναι τα μορφοκλάσματα. Αν θέλουμε να περιγράψουμε τη μορφή στο φυσικό κόσμο, η μη γραμμικότητα θα μας επέβαλλε ενδεχομένως να πάψουμε να τον περιγράψουμε μέσω της γνωστής μας γεωμετρίας του R^3

Δυναμική Ισορροπία συστήματος

Η μελέτη των συστημάτων αυτών στοχεύει στην περιγραφή της δυναμικής τους, δηλαδή της εξέλιξης του συστήματος με δεδομένες κάποιες αρχικές συνθήκες. Η δυναμική αυτή περιγράφεται ως η τάση του συστήματος να κινείται προς κάποιες σταθερές περιοχές ισορροπίας. Για να ξέρουμε λοιπόν προς τα πού θα κινηθεί το σύστημα με δεδομένες κάποιες αρχικές συνθήκες, πρέπει να ξέρουμε πού το σύστημα αυτό ισορροπεί.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα δυναμικά συστήματα περιγράφονται από διαφορικές εξισώσεις ή από εξισώσεις διαφορών. Ας εξετάσουμε ένα απλό μη γραμμικό δυναμικό σύστημα όπου ένα σωματίδιο κινείται σε συνεχείς διαδοχικές θέσεις X πάνω σε μια γραμμή σε χρόνο t με ταχύτητα X' . Η διαφορική εξίσωση $X' = f(X)$ είναι το διανυσματικό πεδίο πάνω στη γραμμή κίνησης ή η ταχύτητα ροής του συστήματος όπως την έχουμε ονομάσει προηγουμένως: δείχνει το διάνυσμα της ταχύτητας του σωματιδίου σε κάθε θέση X . Τώρα ας φανταστούμε ένα υποτιθέμενο υγρό που θα το ονομάσουμε φασιτικό υγρό, να ρέει κατά μήκος του άξονα θέσης x . Η ροή του είναι προς τα δεξιά

όταν $X' > 0$ και προς τα αριστερά αν $X' < 0$. Τα σημεία όπου $X' = 0$ και δεν έχουμε ροή, ονομάζονται σταθερά σημεία (fixed points) και διακρίνονται σε ελκυστές (attractors) και απωθητές (repellers) .

Ένα σημείο λέγεται ελκυστής όταν η ροή κατευθύνεται προς το σημείο αυτό . Ο ελκυστής είναι ένα ευσταθές σταθερό σημείο ενώ ο απωθητής είναι ασταθές σημείο. Για την αρχική δυναμική εξίσωση τα σημεία αυτά αποτελούν τις λύσεις ισορροπίας του συστήματος. Ευσταθή ισορροπία έχουμε όταν το σημείο ισορροπίας X^* είναι ευσταθές δηλαδή όταν έχουμε ελκυστή. Ασταθή ισορροπία έχουμε όταν το σημείο X^* είναι απωθητής. Υπάρχει και μια υβριδική κατάσταση ισορροπίας που ονομάζεται ημι-ευσταθής όπου το σταθερό σημείο ισορροπίας συμπεριφέρεται ως ελκυστής από τη μια πλευρά και ως απωθητής από την άλλη.

Οι μορφές στο φυσικό κόσμο προκύπτουν από συστήματα που εμφανίζουν αυξημένη πολυπλοκότητα και οι ελκυστές τέτοιων συστημάτων δεν έχουν την απλή μορφή του σημειακού ελκυστή αλλά μπορούν να πάρουν και άλλες πιο σύνθετες μορφές (για παράδειγμα ο ελκυστής Lorenz). Επειδή το ζήτημα του ελκυστή είναι κρίσιμο, χρειαζόμαστε ένα ορισμό που μπορεί να περιλάβει όλες τις πιθανές μορφές που μπορεί να πάρει. Αν και δεν υπάρχει ακόμα μια επίσημα αποδεκτή περιγραφή , θα μπορούσαμε να πούμε ότι

ένας ελκυστής (Steven H. Strogatz, 1994) «είναι μια περιοχή E στο φασικό χώρο όπου :

- οποιαδήποτε δυναμική τροχιά ξεκινά μέσα σε αυτή την περιοχή παραμένει σε αυτήν
- έλκει όλες τις δυναμικές τροχιές που ξεκινούν αρκετά κοντά σε αυτήν. Τα αρχικά σημεία των τροχιών που έλκονται ανήκουν σε μια περιοχή του φασικού χώρου που λέγεται λεκάνη έλξης (basin of attraction)
- Η E είναι το ελάχιστο σύνολο του φασικού χώρου με τις πιο πάνω ιδιότητες»

διακλάδωση

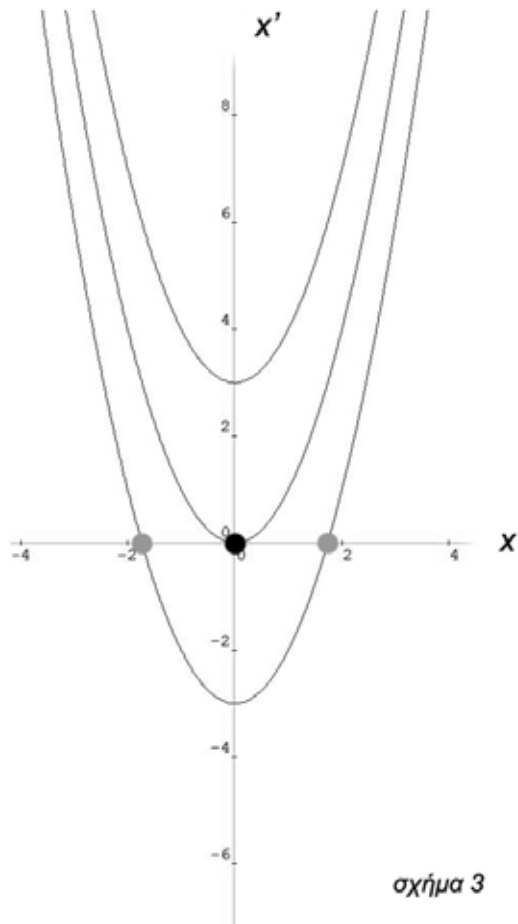
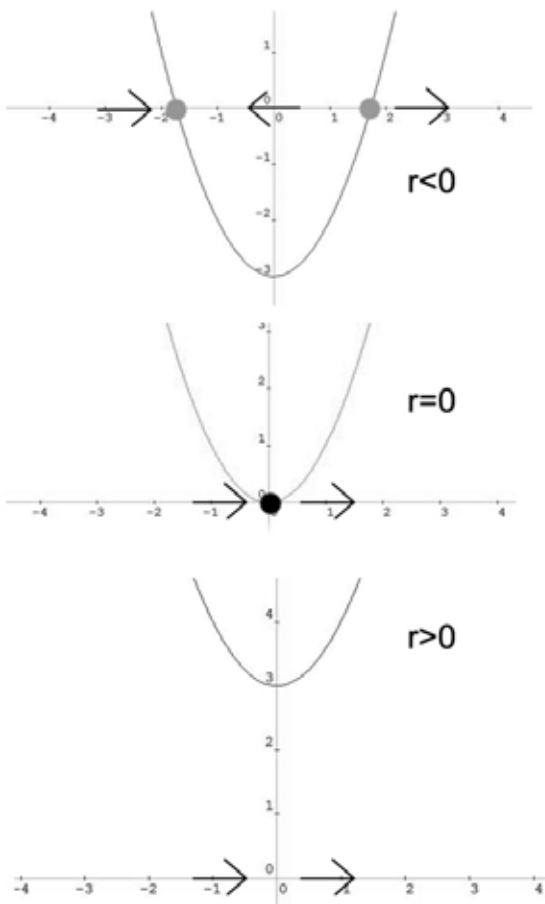
Η δυναμική των συστημάτων εξαρτάται από τις παραμέτρους που την καθορίζουν. Η μεταβολή αυτών των παραμέτρων μπορεί να δημιουργήσει ή να καταστρέψει σταθερά σημεία ή να προκαλέσει μεταβολές στην ευστάθειά τους. Τέτοιες ποιοτικές μεταβολές στη δυναμική του συστήματος ονομάζονται διακλαδώσεις (bifurcations) και οι τιμές των μεταβλητών που τις προκαλούν ονομάζονται σημεία διακλάδωσης.

Ας δούμε ένα απλό παράδειγμα διακλάδωσης (Steven H. Strogatz, 1994) : Εξετάζοντας την διαφορική εξίσωση

$$X' = r + X^2$$

όπου η r είναι παράμετρος που μπορεί να πάρει θετικές ή αρνητικές τιμές ή μηδέν. Καθώς το r πλησιάζει το μηδέν από κάτω προς τα πάνω, η παράσταση της καμπύλης $X' = f(X)$ μετατοπίζεται προς τα πάνω και τα δύο σταθερά σημεία συγκλίνουν το ένα προς το άλλο. Για την τιμή $r=0$ τα δύο σημεία συνενώνονται σε ένα σταθερό σημείο το X^* οποίο είναι ημι-ευσταθές (semi-stable) . Το X^* είναι πολύ ευαίσθητο και μόλις το $r > 0$ το σημείο αυτό εξαφανίζεται και το σύστημα δεν έχει πια ισορροπία. Εδώ λέμε ότι το σημείο διακλάδωσης είναι το $r=0$ αφού για τιμές $r < 0$ και $r > 0$ τα διανυσματικά πεδία έχουν ποιοτικές διαφορές.

Γενικεύοντας τον ορισμό της διακλάδωσης ώστε να συμπεριλαμβάνει όλα τα (συνθετότερα) είδη που προκύπτουν από πιο πολύπλοκα συστήματα , θα λέγαμε ότι (Steven H. Strogatz, 1994) “μια διακλάδωση συμβαίνει όταν το πορτραίτο φάσης του συστήματος αλλάζει την τοπολογική δομή του καθώς μεταβάλλεται μια παράμετρος”.



$x' = f(x)$ για διαφορετικές τιμές του r . Παρατηρούμε αριστερά ότι καθώς το r μεταβάλλεται τα διανυσματικά πεδία πάνω στον άξονα x παρουσιάζουν ποιοτικές διαφορές

Η προηγούμενη μορφή διαφορικής εξίσωσης περιγράφει μια συμμετρική κατάσταση. Στη φύση όμως η συμμετρία δεν εμφανίζεται με απόλυτο τρόπο αλλά προσεγγίζεται μόνο. Στις μορφές λοιπόν που παρατηρούμε αλλά και γενικότερα στα φυσικά/βιολογικά φαινόμενα που εξετάζουμε εμφανίζονται πάντα «ατέλειες» στη συμμετρία τους.

Είναι σκόπιμο να περιγράψουμε ένα σύστημα που περιέχει μέσα του την έννοια της «ατέλειας». (Steven H. Strogatz, 1994) Θα εισάγουμε λοιπόν σε ένα συμμετρικό σύστημα, μια μεταβλητή παράμετρο h και έτσι θα πάψει να είναι συμμετρικό. Έχουμε λοιπόν το σύστημα που περιγράφεται από την

$$x' = h + rx - x^3$$

Αν προσπαθήσουμε να μελετήσουμε τη δυναμική του. Θα βρούμε τα σταθερά σημεία του συστήματος για $r \leq 0$ και για $r > 0$ με γραφική επίλυση των συναρτήσεων

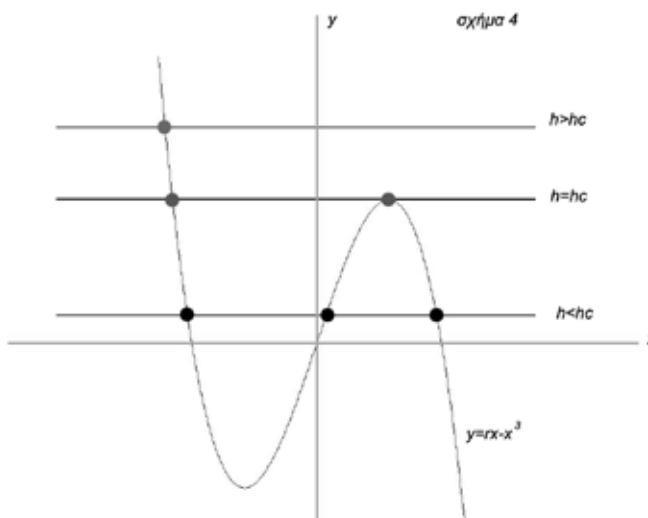
$$y = rx - x^3,$$

$$y = -h$$

Θα παρατηρήσουμε ότι στην περίπτωση που $r > 0$ όταν το h κυμαίνεται στο διάστημα μεταξύ του ελάχιστου και του μέγιστου της καμπύλης έχουμε 3 σταθερά σημεία ενώ όταν το h κινείται εκτός αυτής της περιοχής έχουμε μόνο ένα.

Για να μπορέσουμε να έχουμε πλήρη εικόνα της συμπεριφοράς του συστήματος καθώς μεταβάλλονται οι παράμετροι του φτιάχνουμε το διάγραμμα σταθερότητας $h=f(r)$ καθώς και τα διαγράμματα $x=f(r)$ με σταθερό h

Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να δούμε τις σχέσεις μεταξύ δύο παραμέτρων κρατώντας την τρίτη σταθερή. Για μια συνολικότερη εικόνα της κατάστασης στον παραμετρικό χώρο, κατασκευάζουμε την επιφάνεια καταστροφών (cusp catastrophe surface) που είναι μια επιφάνεια στο χώρο των (h, r, x) . Οι προβολές αυτής της επιφάνειας στο κάθε επίπεδο του χώρου θα δώσει τα προηγούμενα διαγράμματα. Η μορφή της δίνει με πολύ εποπτικό τρόπο την έννοια της διακλάδωσης αλλά και την κατάσταση σταθερότητας του συστήματος για τις διάφορες τιμές των μεταβλητών του. Αν οι παράμετροι του συστήματος κινηθούν στην περιοχή που παρατηρείται η αναδίπλωση της επιφάνειας αυτό σημαίνει μια διαταραχή της ισορροπίας του συστήματος επειδή το σύστημα θα πέσει με ασυνεχή τρόπο από το ψηλό σημείο της επιφάνειας στο κάτω μέρος της



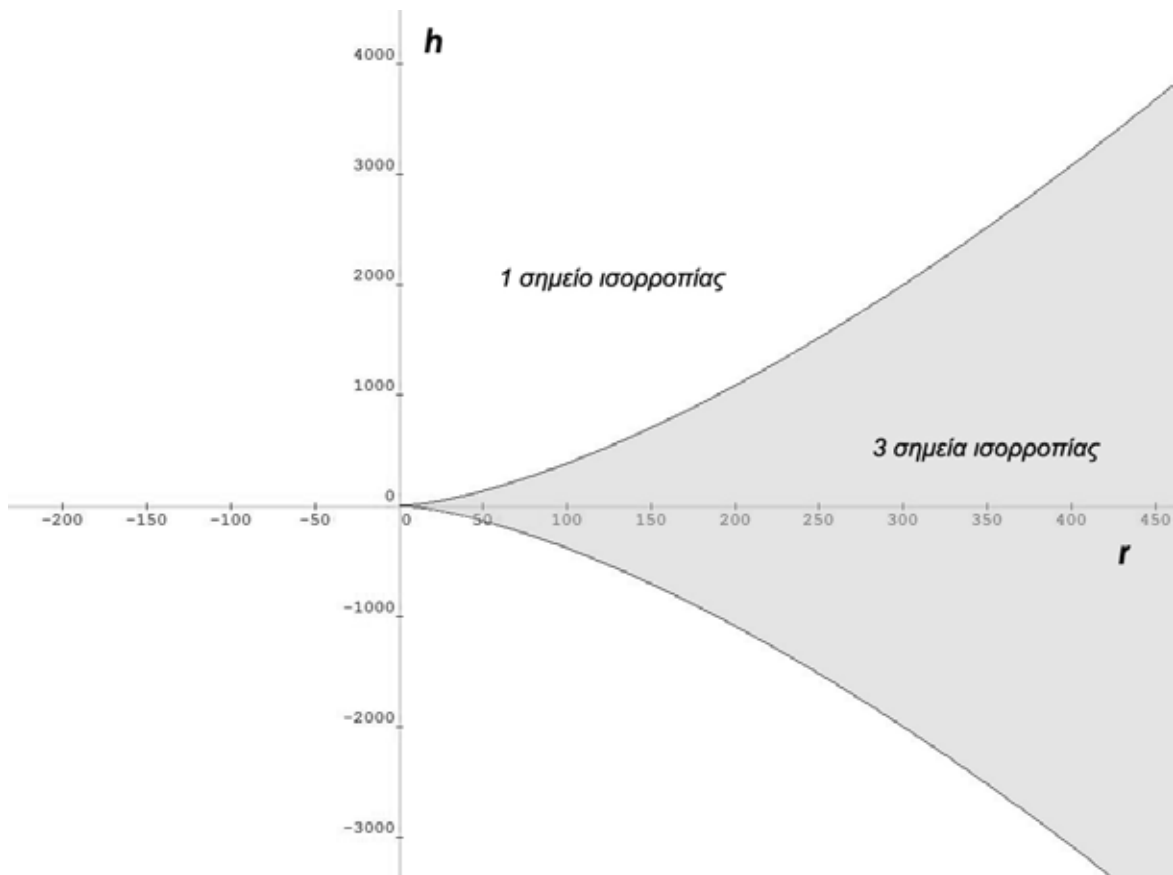
γραφική επίλυση των συναρτήσεων $y = rx - x^3$, $y = -h$

Η διακλάδωση θα συμβεί όταν η $y_1 = -h$ τέμνει την $y_2 = rx - x^3$ στα σημεία καμπής, όπου $|h| = hc$. Στο σημείο εκείνο η παράγωγος της $y_2 = rx - x^3$ μηδενίζεται. είναι λοιπόν $y_2' = 0$ και $x_{max} = \sqrt[3]{r/3}$.

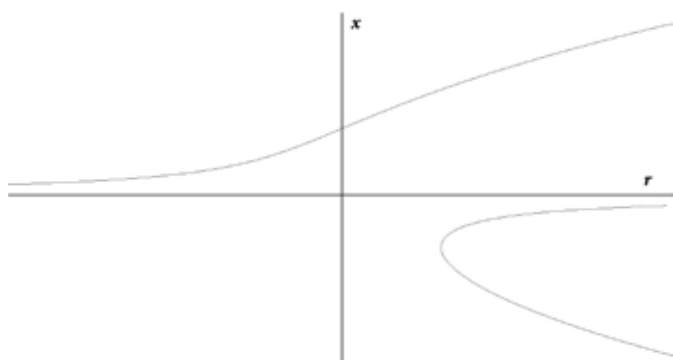
Η $y_2 = rx - x^3$ τότε γίνεται $y_2 = rx_{max} - x_{max}^3$
 $y_2 = (2r/3) \cdot \sqrt[3]{r/3}$

άρα εξισώνοντας κατά μέλη τις $y_1 = -h$ και $y_2 = (2r/3) \cdot \sqrt[3]{r/3}$, έχουμε

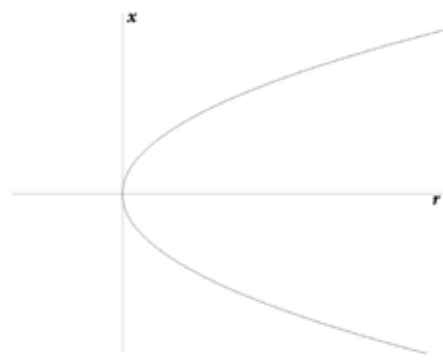
$h_c(r) = \pm (2r/3) \cdot \sqrt[3]{r/3}$, που είναι το διάγραμμα σταθερότητας του συστήματος



διάγραμμα σταθερότητας $h=f(r)$

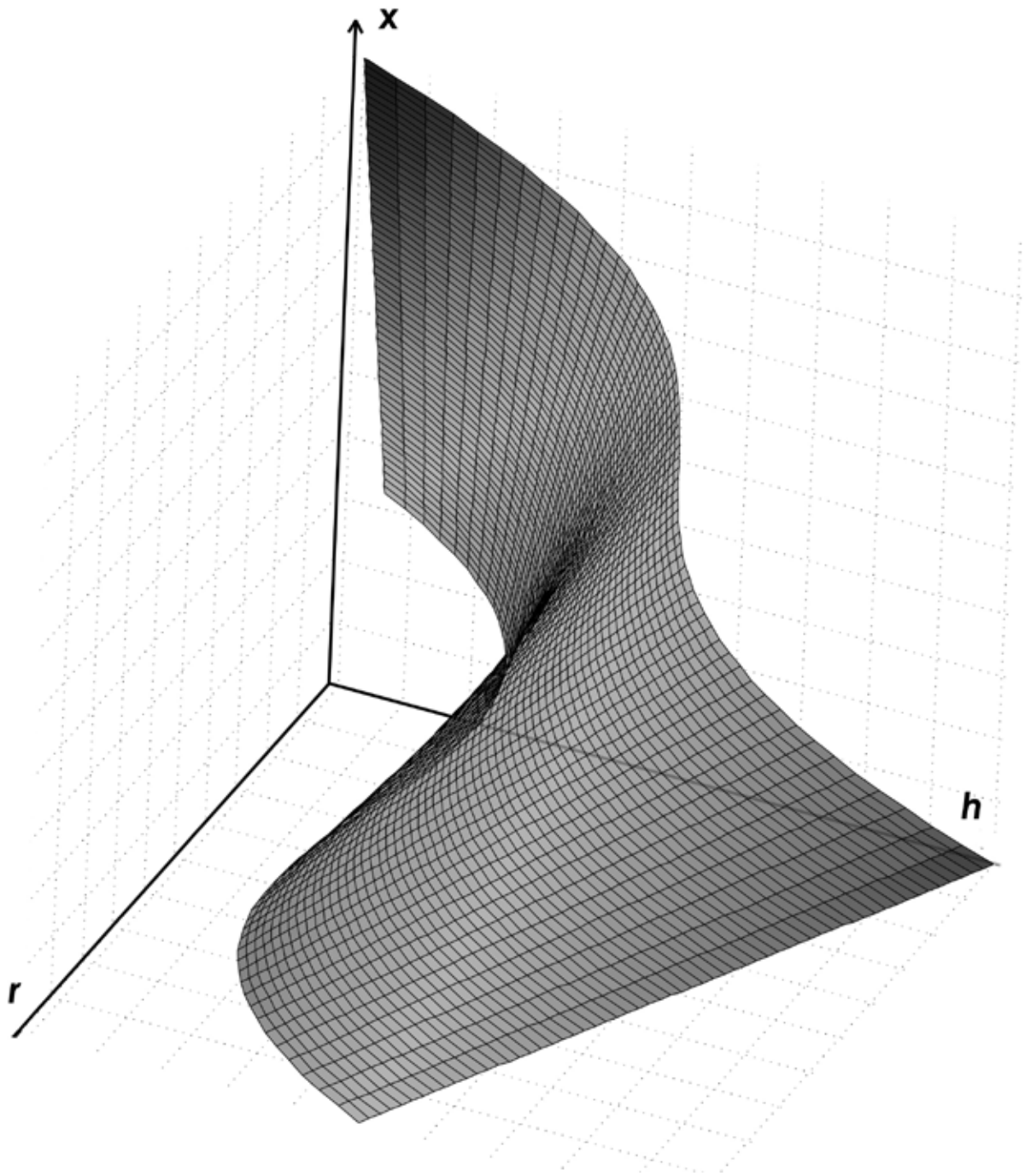


$x^* = f(r), h=0$



$x^* = f(r), h \neq 0$

διαγράμματα διακλάδωσης



cusp catastrophe surface: η κατάσταση του συστήματος στο χώρο των παραμέτρων του. Η αναδίπλωση της επιφάνειας συμβαίνει όταν παρατηρείται η διακλάδωση.





Η μορφή ως τοπολογία- το μοτίβο

Ποιά μπορεί να είναι η φυσική σημασία των πιο πάνω μαθηματικών εννοιών; Ποιό μπορεί να είναι το αποτέλεσμα της διακλάδωσης και της δυναμικής του συστήματος και πώς αυτά εκφράζονται στους έμβιους οργανισμούς; Το επόμενο παράδειγμα θα απαντήσει σε αυτά τα ερωτήματα.

Θα εξετάσουμε τον τρόπο «σχεδιασμού» των μοτίβων στη γούνα διάφορων ζώων όπως η ζέβρα, η τίγρης και η καμηλοπάρδαλη. Εξετάζεται συγκεκριμένα μια διαδικασία παραγωγής μοτίβου γιατί αυτή η διαδικασία μπορεί να συσχετιστεί πιο άμεσα με μια λογική σχεδιασμού. Στο μοτίβο, η επανάληψη, η εναλλαγή στοιχείων, ο ρυθμός, η παραλλαγή είναι έννοιες που έχουν μια έντονη αρχιτεκτονική χροιά, ιδωμένες όμως μέσα από τα μάτια της φυσικής συνθετικής μεθόδου.

Η δημιουργία των μοτίβων αυτών πιθανότατα οφείλεται σε μια βιο-χημική διαδικασία που ονομάζεται μηχανισμός διάχυσης (diffusion-reaction mechanism). Ο μηχανισμός αυτός οφείλεται στη λειτουργία ενός γονιδίου g που είναι υπεύθυνο για την παραγωγή μελανίνης στο δέρμα και το οποίο ενεργοποιείται από μια χημική ουσία S . Όταν δηλαδή η ουσία S ξεπεράσει κάποια συγκέντρωση τότε το γονίδιο g αρχίζει να παράγει μελανίνη. Η διαδικασία προσομοιάζεται με ένα μοντέλο που προτάθηκε από τους Lewis Slack & Wolpert το οποίο θέλει να περιγράψει τη δημιουργία αυστηρών ορίων σε μια περιοχή ιστού (οι παραδοχές και η εξίσωση [1] που παρατίθεται είναι μέρος δημοσίευσης του Saunders P.T., στη βιβλιογραφία αρ. 12). Το όριο αυτό είναι για παράδειγμα η εναλλαγή του άσπρου μαύρου στο παράδειγμα των λωρίδων της ζέβρας ή γενικά το όριο μεταξύ των δύο ή περισσότερων περιοχών ενός μοτίβου. Γενικά λοιπόν το μοντέλο αυτό μπορεί να περιγράψει οποιαδήποτε κατάσταση χαρακτηρίζεται από μια απότομη ασυνέχεια- όριο στη μετάβαση από μια κατάσταση σε μια άλλη. (Αν και δεν έχει αποδειχθεί πειραματικά η υπόθεση που αναφέρθηκε προηγουμένως για τον τρόπο που γίνεται η διαδικασία κάτω από την επιδερμίδα του ζώου, το μοντέλο φαίνεται να περιγράφει ικανοποιητικά το μεγαλύτερο εύρος περιπτώσεων που εμφανίζουν κάποια μοτίβα στο δέρμα ή στη γούνα τους.)

Το μοντέλο μεταβολής της δράσης του g δίνεται από τη χρονική παράγωγο

$$g' = K_1 S - K_4 g + [K_2 g^2 / (K_3 + g^2)] \quad [1]$$

(έστω ότι $K_1 = K_2 = K_3 = 1$ και $K_4 = 0.4$.)

Ας εξετάσουμε σταδιακά τι θα συμβεί αν η συγκέντρωση του ενεργοποιητή S του γονιδίου g που είναι υπεύθυνο για να χρωματίσει μια νεαρή ζέβρα, αρχίζει να αυξάνεται:

Υποθέτουμε ότι η αρχική δράση του χημικού ενεργοποιητή S είναι μηδέν: $S=0$ επομένως και το γονίδιο $g=0$ και $g'=0$, δηλαδή παραμένει ανενεργό.

Το σύστημα ισορροπεί όταν $g'=0$. Τα σημεία ισορροπίας θα βρεθούν εύκολα αν λύσουμε την εξίσωση $g'=0$

$$K_1 S - K_4 g + [K_2 g^2 / (K_3 + g^2)] = 0$$

$$S + Sg^2 + g^2 - 0.4(1 + g^2)g = 0$$

$$5S + 5Sg^2 + 5g^2 - 2g - 2g^3 = 0$$

$$2g^3 - 5g^2 (S+1) + 2g - 5S = 0 \quad [2]$$

Το σύστημα έχει 3 ρίζες, δηλαδή 3 σημεία ισορροπίας. Για να καθορίσουμε τη φύση των ριζών της εξίσωσης που αποτελούν και τα σημεία ισορροπίας μπορούμε να εξετάσουμε την

ποσότητα : $\Delta = 18abcd - 4b^3d^2c^2 - 4ac^3 - 27a^2d^2$, με $a=2$, $b=-(S+1)$, $c=2$, $d=-5S$.

Αν είναι $\Delta > 0$ τότε η [2] έχει 3 πραγματικές λύσεις. Αν $\Delta = 0$ τότε η [2] έχει μια διπλή ρίζα και όλες οι ρίζες είναι πραγματικές ενώ αν $\Delta < 0$ τότε η [2] έχει μόνο 1 πραγματική λύση. Παρατηρούμε ότι η τιμή της Δ εξαρτάται από την τιμή του S . Αυτό είναι αναμενόμενο αφού ο S ως ουσία-ενεργοποιητής του γονιδίου g δε θα μπορούσε να μην συμμετέχει στην αυξομοίωση της τιμής του g . Η σχέση $\Delta = f(S)$ για το διάστημα $(0,1)$ θα παρασταθεί πιο κάτω :

In[25]= $F = 18 * a * b * c * d - 4 * b^3 * d^2 + b^2 * c^2 - 4 * a * c^3 - 27 * a^2 * d^2$

Out[25]= $-64 - 2700 x^2 + 1800 x (1 + x) + 100 (1 + x)^2 - 2500 x (1 + x)^3$

In[26]= **Solve[F = 0, x]**

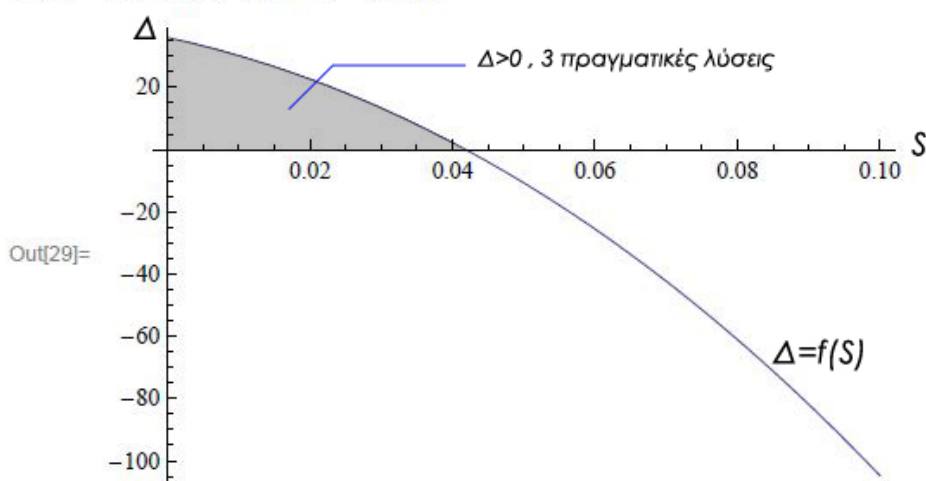
$$\text{Out[26]= } \left\{ \left\{ x \rightarrow -\frac{3}{4} - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{11}{300} + \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} + \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)^{1/3}} - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{11}{150} - \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} - \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)^{1/3}} - 281 / \left(100 \sqrt{\left(\frac{11}{300} + \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} + \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)^{1/3}} \right) \right\}, \left\{ x \rightarrow -\frac{3}{4} - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{11}{300} + \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} + \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)^{1/3}} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{11}{150} - \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} - \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)^{1/3}} - 281 / \left(100 \sqrt{\left(\frac{11}{300} + \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} + \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)^{1/3}} \right) \right\}, \left\{ x \rightarrow -\frac{3}{4} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{11}{300} + \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} + \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)^{1/3}} - \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{11}{150} - \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} - \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)^{1/3}} + 281 / \left(100 \sqrt{\left(\frac{11}{300} + \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} + \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)^{1/3}} \right) \right\} \right\}$$

$$\left\{ x \rightarrow -\frac{3}{4} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{11}{300} + \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} + \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)} + \right.$$

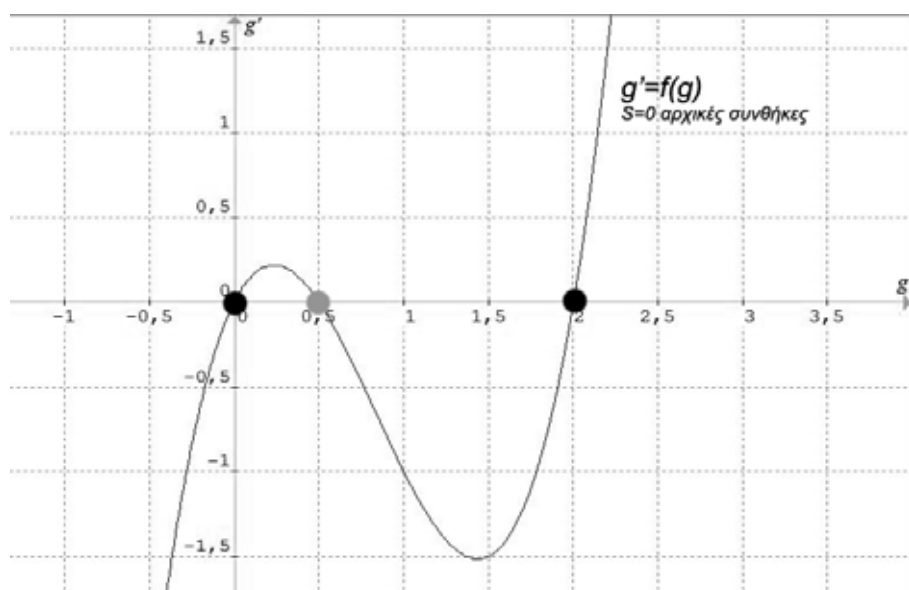
$$\left. \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{11}{150} - \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} - \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} + \right.} \right.$$

$$\left. \left. \left. 281 / \left(100 \sqrt{\left(\frac{11}{300} + \frac{\left(\frac{13741140625}{2} - \frac{98203125\sqrt{1257}}{2} \right)^{1/3}}{1875} + \frac{1}{75} \left(\frac{1}{2} (879433 + 6285\sqrt{1257}) \right)^{1/3} \right)} \right) \right) \right) \right\}$$

In[29]:= Plot[F, {x, 0, 0.1}]



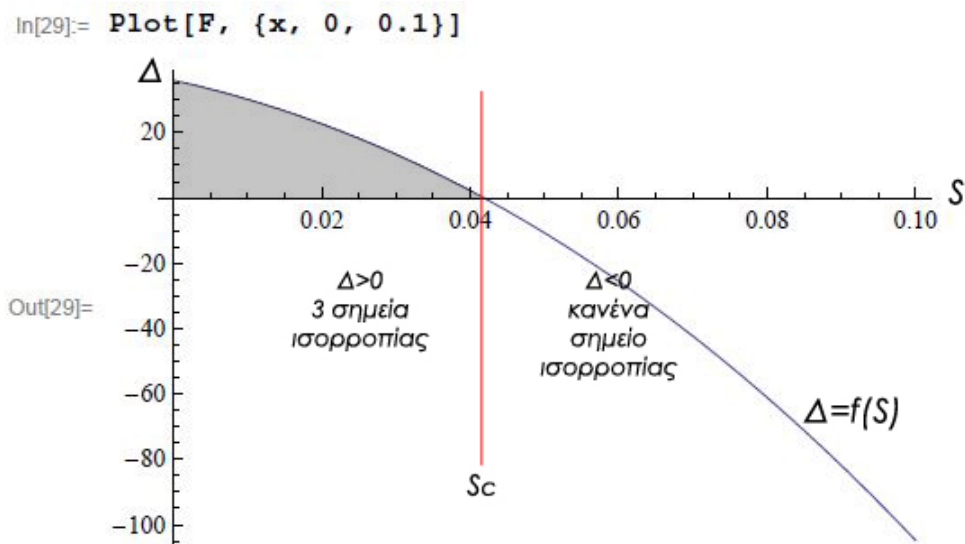
Το σύστημα λοιπόν για τις αρχικές συνθήκες ($S=0$) ισορροπεί γύρω από 3 πιθανά πραγματικά σημεία ισορροπίας, 2 ευσταθή σημεία $g_1^*=0$ και $g_2^*=2$ και ένα ασταθές στη μέση τους $g_3^*=0.5$ όπως φαίνεται πιο κάτω, στην γραφική παράσταση $g'=f(g)$



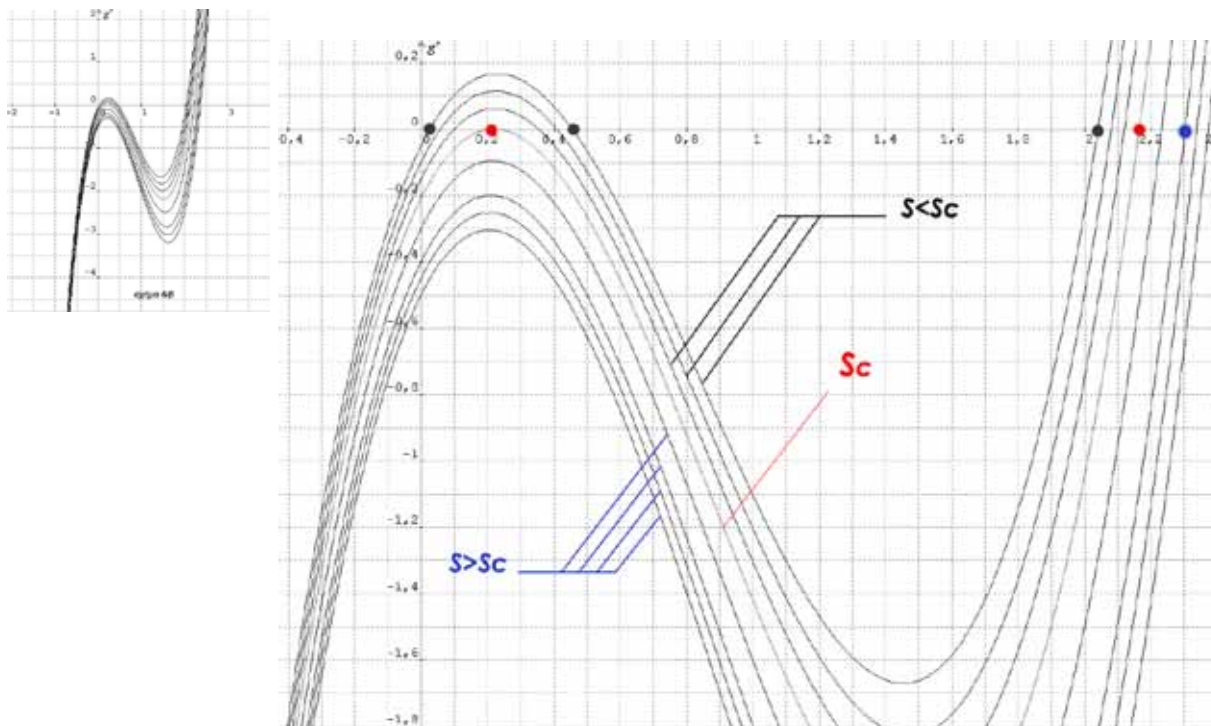
$g' = f(g)$ για τιμές του $S < S_c$, κοντά στις αρχικές συνθήκες. Το σύστημα εμφανίζει 3 σημεία ισορροπίας.

Η διαδικασία δημιουργίας του μοτίβου στη ζέβρα αρχίζει με την σταδιακή αργή αύξηση του ενεργοποιητή S . Με αργές και μικρές συνεχείς αυξήσεις του S λοιπόν παρατηρούμε μικρές και συνεχείς αυξήσεις του g , ενώ το σύστημα συνεχίζει να έχει 2 ευσταθή σημεία ισορροπίας και ένα ασταθές στη μέση. Μόλις όμως το S πάρει μια κρίσιμη τιμή η οποία βρίσκεται κοντά στο $S_c=0.0418$ τότε μια πολύ σημαντική αλλαγή συμβαίνει: το σύστημα μένει με ένα μόνο σημείο ισορροπίας, αλλάζει η δυναμική του, δηλαδή σημειώνεται μια διακλάδωση.

Με μια μικρή μεταβολή του S που ξεπέρασε την κρίσιμη τιμή, η δράση του γονιδίου g αυξήθηκε δραματικά και θα παρατηρήσουμε μια μορφολογική ασυνέχεια σαν αποτέλεσμα της δράσης αυτής: ο οργανισμός θα αρχίσει να εκκρίνει μεγάλες ποσότητες μελανίνης, μαύρου



$\Delta=f(S)$ στο διάστημα $(0,1)$ - με κόκκινο σηματοδοτείται το όριο στο οποίο συμβαίνει η διακλάδωση, όπου $S=S_c$



$g' = f(g)$ για διάφορες τιμές του S . Κατά περίπτωση σημειώνονται τα σημεία ισορροπίας του συστήματος



<http://onebigphoto.com/tag/zebra/>



χρώματος για να βάψει τη λωρίδα της ζέβρας! Το σημείο όπου παρατηρείται η διακλάδωση είναι για τη μορφή ένα αυστηρό όριο που ορίζει τις επιφάνειες του μοτίβου. Η γεωμετρία του μοτίβου είναι προφανώς παραμετρική.

Όλα τα μοτίβα έχουν ως χαρακτηριστικό αυτή την αυστηρή γραμμή ως όριο από μια περιοχή σε άλλη. Η ίδια εξίσωση, που μόλις αναλύσαμε μπορεί να εξηγήσει τον σχηματισμό των περισσότερων μοτίβων που μπορούμε να συναντήσουμε στο δέρμα στη γούνα ή στα φτερά διαφόρων ζώων στη φύση. Η ειδοποιός διαφορά που μεταβάλλει την γεωμετρία του κάθε μοτίβου είναι καθαρά η γεωμετρία του σώματος στο οποίο θα εφαρμοστεί. Το μοτίβο δηλαδή μεταβάλλεται ανάλογα με το αν η γονιδιακή διαδικασία που το παράγει θα αρχίσει στην αρχή της εμβρυακής ανάπτυξης ή σε προχωρημένο στάδιο, όπου το σώμα του ζώου είναι μεγαλύτερο και πιο καθορισμένο. Το παράδειγμα αυτό μας αποκαλύπτει κάτι που ίσως δεν περιμέναμε να παρατηρήσουμε: ότι η τελική μορφή του μοτίβου είναι και θέμα χρόνου

Ανάδυση, ανάπτυξη και Εξέλιξη

Από το πιο πάνω παράδειγμα μπορούμε να κάνουμε μια βασική διαπίστωση: η μορφή στα έμβια συστήματα αναδύεται μέσα από διαδικασίες του οργανισμού. Αυτή η έννοια, της ανάδυσης θέλει να δείξει ότι η μορφή είναι το αποτέλεσμα διαδικασιών του οργανισμού που απορρέουν στην ευρύτερή του λειτουργία και που δεν έχουν απαραίτητα στόχο την παραγωγή μορφής· η μορφή δεν σχεδιάζεται ως τοπολογία ή ως γεωμετρία από το σύστημα αλλά είναι μια προβολή λειτουργιών του συστήματος στην υλική του μορφή. Στην πιο πάνω διαδικασία (diffusion-reaction mechanism) το μοτίβο της ζέβρας είναι αποτέλεσμα της δράσης γονιδίων που ρυθμίζουν τα επίπεδα μελανίνης στο δέρμα του ζώου. Η διαδικασία παραγωγής μελανίνης αν και τελικά παράγει το μοτίβο, είναι πρωτίστως σχετιζόμενη με ευρύτερα συστήματα λειτουργίας του οργανισμού. Το δίπολο γονιδιακή δράση και περιβαλλοντική διαταραχή είναι η γενεσιουργός αιτία της γεωμετρίας της μορφής και όχι μια ανεξάρτητη σχεδιαστική πρόθεση

Η μορφή αναδύεται στα πλαίσια αυτού του δίπολου και μέσα από δύο έντονα συνδεδεμένες διαδικασίες που συμβαίνουν όμως σε πολύ διαφορετικές ταχύτητες και που διαφέρουν στο χρόνο εφαρμογής τους. Η πρώτη διαδικασία είναι η (γρήγορη) ανάπτυξη του ατόμου από ένα κύτταρο σε ενήλικη μορφή και η δεύτερη διαδικασία είναι η (αργή) εξέλιξη των διαφόρων τάξεων μορφών μέσα από το πέρασμα γενεών στο χρόνο. Και οι δύο διαδικασίες είναι αποτελέσματα της δράσης του γονιδιώματος. Σύμφωνα με τον νόμο της εξέλιξης όπως έχει διατυπωθεί από τον Δαρβίνο, ο πλουραλισμός των μορφών που παρατηρείται σήμερα στον κόσμο είναι αποτέλεσμα των διαφοροποιήσεων που συμβαίνουν στην ανάπτυξη της κάθε μορφής και στην φυσική επιλογή που κρίνει κατά πόσο η κάθε διαφοροποίηση είναι κατάλληλη για να παραμείνει σαν χαρακτηριστικό πλέον στις επόμενες γενιές μορφών και όχι σαν ιδιαιτερότητα ενός ατόμου. Αυτές οι διαφοροποιήσεις στη μορφή είναι το αποτέλεσμα μιας τυχαίας μεταβολής στο γονιδίωμα που λέγεται μετάλλαξη.

Το γονιδίωμα λοιπόν είναι όλη η πληροφορία που χρειάζεται το σύστημα του αυτοποιητικού οργανισμού για να συντάξει τα μέρη του, είναι το υλικό αλλά και ο κώδικας ενσωματωμένος σαν ιδιότητα στο υλικό αυτό. Μια ομάδα γονιδίων που ονομάζονται «ομοιωτικά» είναι υπεύθυνη για την διεύθυνση των διαδικασιών ενεργοποίησης των διαφόρων γονιδίων που αντιστοιχούν στην εμφάνιση των χαρακτηριστικών. Παράλληλα με την δράση των γονιδίων υπάρχει και η δράση των δυνάμεων του περιβάλλοντος. Με την επίδραση αυτών των δύο συνιστωσών παράγεται το τελικό αποτέλεσμα, το αυτοποιητικό σύστημα και η αντίστοιχέ του μορφή. Εδώ μπορούμε να ανακαλέσουμε το μαθηματικό μοντέλο του δυναμικού συστήματος για να διαπιστώσουμε πλήρη αντιστοιχία της διαδικασίας.

Η γενετική πληροφορία περνά από το άτομο στον απόγονο μέσα από το DNA. Το DNA έχει την δυνατότητα να αντιγράφεται και να μεταγράφεται. «λάθη» στη διαδικασία της αντιγραφής του, ονομάζονται μεταλλάξεις και αυτές έχουν αντίστοιχη επίδραση στην μορφή. Συνήθως αυτά τα «λάθη» δεν ευνοούνται από την φυσική επιλογή και τα άτομα αυτά απορρίπτονται, επομένως τα ιδιαίτερα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά δεν επανεμφανίζονται μέσα στο χρόνο. Μερικές φορές όμως μια μετάλλαξη που είναι πολύ ισχυρή παραμένει και συνεχίζει να εμφανίζεται στους απογόνους του είδους, επομένως το μορφολογικό χαρακτηριστικό που προκαλεί είναι πλέον μέρος της μορφής του είδους. Αυτό το (δραματικά απλοποιημένο) φαινόμενο είναι η εξέλιξη.

Δεν είναι εύκολο να παρατηρηθεί εξέλιξη (λόγω μετάλλαξης) επειδή η διαδικασία της ανάπτυξης είναι μια πολύ σταθερή διαδικασία. Η σταθερότητα της ανάπτυξης του οργανισμού, δεν είναι μια απλή μορφή ευσταθούς ισορροπίας: δεν είναι η ισορροπία που έχει για παράδειγμα ένα εκκρεμές το οποίο μετά από μια ταλάντωση θα επιστρέψει στην αρχική του θέση. Αν η ανάπτυξη ενός εμβρύου δεχθεί ικανές διαταραχές, το έμβρυο δεν θα επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση αλλά σε μια θέση πολύ κοντά στην αρχική και θα συνεχίσει έπειτα να αναπτύσσεται. Τελικά θα καταλήξει σε μια ενήλικη μορφή που είναι πάνω κάτω η ίδια (αλλά όχι εντελώς ίδια) με την κατάσταση στην οποία θα κατέληγε αν δεν δεχόταν την διαταραχή. Αυτό το φαινόμενο της επαναφοράς στο σημείο (ή στην περιοχή κοντά στο σημείο) ισορροπίας στη βιολογία ονομάζεται ομοιόσταση. Το πρόβλημα με αυτό τον ορισμό είναι ότι αντιμετωπίζει ως σταθερό το ίδιο το έμβρυο κάτι που δεν ισχύει στην πραγματικότητα. Όπως ισχυρίστηκε ο C.H Waddington, αυτό που παραμένει σταθερό στη διαδικασία της ανάπτυξης είναι το μονοπάτι της εξέλιξης. Τελικά, η ευστάθεια που χαρακτηρίζει τα ζωντανά συστήματα δεν εντοπίζεται γύρω από ένα μόνο σημείο ισορροπίας αλλά είναι μια πιο δυναμική μορφή ευστάθειας που δίνει στους ζωντανούς οργανισμούς και στην διαδικασία της εξέλιξης τους σημαντικές ιδιότητες που περιγράφονται στην επιγενετική θεωρία του Waddington.

Ο C.H Waddington στη θεωρία αυτή, εισάγει ένα νέο ορισμό, την ομοιόρυση για να περιγράψει ακριβώς την σταθερότητα όχι του εμβρύου, αλλά της διαδικασίας της εξέλιξης και για να τονίσει την δυναμική μορφή αυτής της ευσταθούς ισορροπίας. Επανερχόμενοι λοιπόν στο μοντέλο του μη γραμμικού δυναμικού συστήματος η ομοιόρυση είναι η τάση επαναφοράς του συστήματος στην τροχιά δυναμικής εξέλιξης του. Στο ενδεχόμενο που η διαταραχή είναι πολύ μεγάλη τότε η ομοιόρυση δεν είναι αρκετή για να το επαναφέρει στην ίδια κατάσταση και τότε ή το έμβρυο απορρίπτεται ή συνεχίζει με μια πολύ διαφορετική μορφή πια – παθαίνει δηλαδή μετάλλαξη. Μπορούμε να παρατηρήσουμε εδώ ότι τόσο το φαινόμενο της ομοιόρυσης όσο και της μετάλλαξης είναι αποτελέσματα του μη γραμμικού χαρακτήρα του συστήματος. Η ίδια η τροχιά δυναμικής εξέλιξης της μορφής του οργανισμού για τον Waddington είναι η χρειοδός του. Ο Waddington εισάγει επίσης την έννοια της διοχέτευσης για να περιγράψει ότι η διαδικασία της εξέλιξης μπορεί να πάρει συγκεκριμένες τελικές καταστάσεις και όχι ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων.

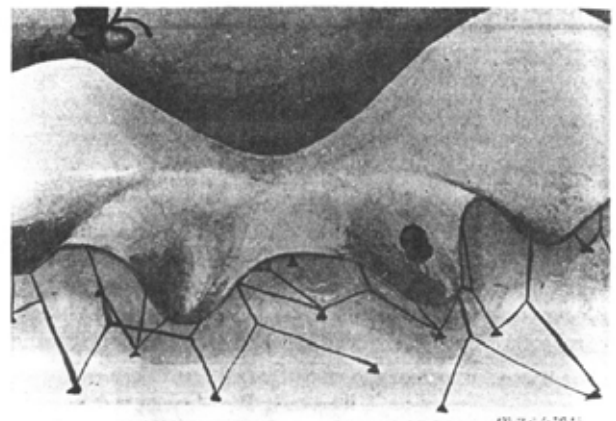
Ο Waddington επινόησε αυτό το σύνολο εννοιών για να εξηγήσει την επιγενετική εξέλιξη των οργανισμών, η οποία δεν δικαιολογείται άμεσα από την δράση του γενετικού κώδικα όπως υποστήριζε η θεωρία του Δαρβίνου. (Παπαλεξόπουλος, 2007 σ.39-40) «οι εξελικτικές πιθανότητες που κληρονομούνταν στο μεταβολισμό του γονιμοποιημένου ωαρίου μπορούσαν να περιγραφούν από ένα τοπίο δυνατοτήτων, όπου η εξέλιξη ακολουθούσε σταθερά μονοπάτια της χαμηλότερης ενέργειας, αυτό το οποίο σήμερα θα περιγράφαμε ως τους ελκυστές του δυναμικού συστήματος του μεταβολισμού». Η φύση πάντα κατευθύνεται προς τις καταστάσεις χαμηλότερης ενέργειας επειδή είναι πιο ευσταθείς ισορροπίες και άρα βρίσκονται κοντά σε ελκυστές του όποιου συστήματος.

Το πεδίο δυνατοτήτων που αναφέρθηκε πιο πάνω στη θεωρία του Waddington ονομάζεται επιγενετικό τοπίο. Το επιγενετικό τοπίο αντιπροσωπεύει μια τάξη δυναμικών συστημάτων που μοιράζονται ένα σύνολο σημαντικών ιδιοτήτων οι οποίες συναντώνται και στα βιολογικά συστήματα

της ανάπτυξης και εξέλιξης. (Τα δύο αυτά φαινόμενα αντιμετωπίζονται μαζί σε αυτή την περίπτωση αν και αφορούν άλλες κλίμακες μεγεθών όπως ήδη αναφέραμε. Ωστόσο λόγω της έντονης αλληλεξάρτησής τους, τα φαινόμενα αυτά εμφανίζουν τις ίδιες αρχές). Το επιγενετικό τοπίο είναι ουσιαστικά ο χώρος δυνατοτήτων (ή φασικός χώρος) του συστήματος όπου περιέχονται όλες οι πιθανές τροχιές εξέλιξης της μορφής μια από τις οποίες θα αποτελέσει την χρειοδό του κάθε ατόμου.

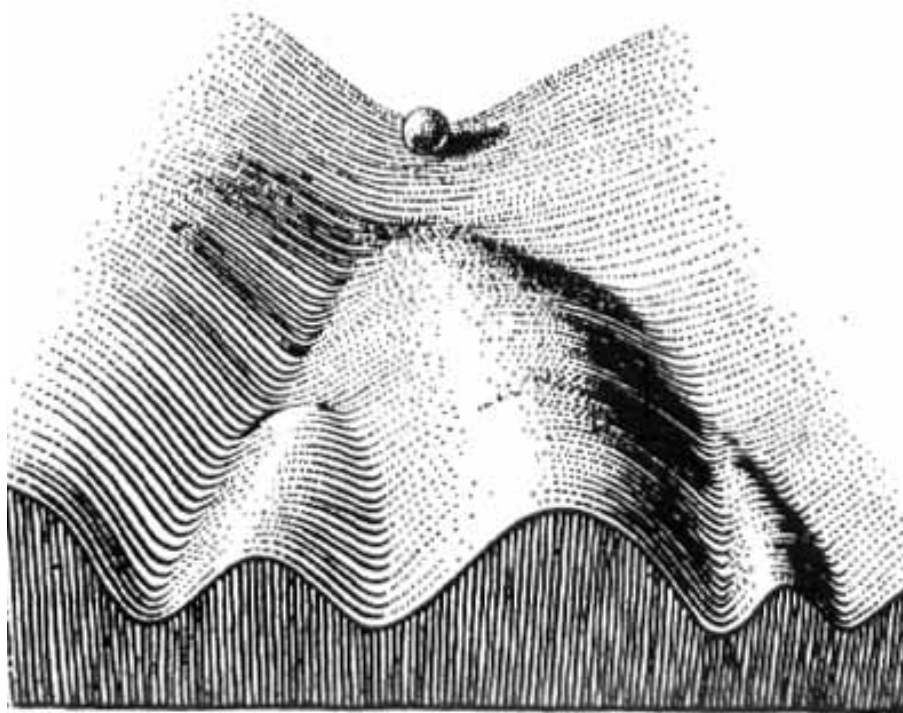
Ο Waddington μιλώντας για επιγενετικό τοπίο, ουσιαστικά χρησιμοποίησε ένα τοπιογραφικό ανάλογο για να περιγράψει τη διαδικασία της εξέλιξης. Αυτό το ανάλογο είναι μια κατασκευή στον R^3 δηλαδή στον ευκλείδειο χώρο (ενώ θα έπρεπε να περιγράφεται από πολύ περισσότερους άξονες επέλεξε να χρησιμοποιήσει τους τρεις άξονες του ευκλείδειου χώρου που δίνουν την δυνατότητα απεικόνισης, με την προϋπόθεση ότι στη συνέχεια τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν θα ανάγονται σε ένα R^n χώρο, όπου n είναι όλες οι παράμετροι που καθορίζουν την εξέλιξη του οργανισμού). Το επιγενετικό τοπίο λοιπόν είναι μια τοπογραφία, ένα ορεινό ανάγλυφο με λόφους (όπου και αρχίζει η διαδικασία) και πεδιάδες. Οι πλαγιές των ορεινών όγκων που υπάρχουν στο τοπίο είναι απότομες και αρκετά βαθιές και αντιπροσωπεύουν τα πιθανά μονοπάτια της εξέλιξης. Είναι δηλαδή οι πιθανές χρειοδοί της εξέλιξης της μορφής. Η τοπογραφία αυτή αποτελείται από μια επιφάνεια της οποίας το σχήμα καθορίζεται από μια περίπλοκη κατασκευή συμπλεκόμενων σχοινιών που βρίσκεται από κάτω. Τα σχοινιά αυτά που αντιπροσωπεύουν τα γονίδια ανάλογα με το πόσο τεντωμένα είναι και ανάλογα με ποιά άλλα γειτονικά σχοινιά συμπλέκονται, καθορίζουν αν το τμήμα επιφάνειας που βρίσκεται από πάνω τους θα είναι κοίλο, κυρτό ή επίπεδο και πόσο. Η πορεία της ανάπτυξης μιας μορφής σε αυτό το γεωμετρικό ανάλογο αντιστοιχεί σε μια μπάλα η οποία ξεκινά από την ορεινή περιοχή του ανάγλυφου και κατεβαίνει προς την πεδιάδα. Το μονοπάτι που η μπάλα αυτή διανύει είναι η χρειοδός της εξέλιξης. Η περιβαλλοντική επίδραση σε αυτή τη διαδικασία εμφανίζεται αν για κάποιο λόγο η μπάλα αυτή καθώς κυλά μέσα σε μια από τις χαράδρες του τοπίου, ενοχληθεί. Τότε αν η ενόχληση είναι μικρή, η μπάλα θα αναπηδήσει λίγο και θα βρεθεί σε μια θέση λίγο πιο κάτω, αλλά θα παραμείνει στη χαράδρα της χρειοδού της και θα συνεχίσει προς το τέλος και τότε το σύστημα θα εμφανίσει ομοιόρυση. Εδώ ας σημειώσουμε ότι οι χαράδρες του τοπίου είναι αρκετά απότομες και βαθιές. Στο ενδεχόμενο όμως που η ενόχληση είναι τόσο μεγάλη που η μπάλα αναπηδώντας θα εκτραπεί εντελώς από τη χαράδρα της τότε, ή θα βγει τελείως εκτός πεδίου και άρα θα σταματήσει να αναπτύσσεται (δηλαδή θα πεθάνει) ή θα βρεθεί σε μια άλλη χαράδρα όπου και θα συνεχίσει να αναπτύσσεται με πολύ διαφορετικό τρόπο βέβαια προς την πεδιάδα. Στην δεύτερη περίπτωση αυτό που θα προκύψει είναι ένα νέο, τελείως διαφορετικό άτομο.

Το επιγενετικό τοπίο με την πολύπλοκη κατασκευή από τεντωμένα σχοινιά που ορίζουν το ανάγλυφο. Τα σχοινιά συμβολίζουν τη δράση των γονιδίων



Το επιγενετικό τοπίο δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια οπτικοποίηση ενός μη γραμμικού δυναμικού συστήματος, όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενη παράγραφο. Το δυναμικό σύστημα της εξέλιξης των έμβιων μορφών έχει σημεία ισορροπίας τα οποία είναι είτε ελκυστές (attractors) ή απωθητές (repellers) δηλαδή έλκουν ή απωθούν αντίστοιχα τις τροχιές δυναμικής και αυτό ερμηνεύεται στο τοπίο ως χαράδρες, κοιλάδες ή πλαγιές της τοπιογραφίας. Οι χαράδρες- κοιλάδες του επιγενετικού τοπίου, λόγω βαρύτητας, είναι οι περιοχές ευσταθούς ισορροπίας δηλαδή οι περιοχές του φασικού χώρου όπου υπάρχουν οι ελκυστές του συστήματος. Αντίθετα οι πλαγιές και κορυφές του τοπίου είναι οι περιοχές όπου υπάρχουν τα σημεία ασταθούς ισορροπίας δηλαδή οι απωθητές του συστήματος. Η μεταφορική απεικόνιση της εξέλιξης του συστήματος μπορεί να συμπυκνωθεί στον αντίστοιχο πίνακα:

Επιγενετικό τοπίο	Φασικός χώρος
Κοιλάδα - χαράδρα χαμηλό επίπεδο δυναμικής ενέργειας λόγω θέσης (βαρύτητας)	Ελκυστής ευσταθές σημείο ισορροπίας με χαμηλή ενεργειακή στάθμη
Κορυφή λόφου Ψηλή τιμή δυναμικής ενέργειας λόγω θέσης (βαρύτητα) της μπάλας	Απωθητής Ασταθές σημείο ισορροπίας Ψηλή ενεργειακή στάθμη
Μονοπάτι διέλευσης της μπάλας - χρειοδός	Τροχιά δυναμικής του συστήματος



σχεδιαστική αναπαράσταση του επιγενετικού τοπίου
http://www.metafysica.nl/ontology/general_ontology_29c.html

Ας σταθούμε όμως λίγο στην έννοια της χρειοδού και συγκεκριμένα στο τί συνεπάγεται σχετικά με την ανάπτυξη της μορφής. Η χρειοδός είναι λοιπόν ένα τοπογραφικό χαρακτηριστικό του επιγενετικού τοπίου, είναι δηλαδή το κρίσιμο μονοπάτι που ακολούθησε η μορφή στην πορεία της ανάπτυξης και της εξέλιξης της. Η σημασία αυτής της έννοιας, η οποία απορρέει μέσα από τον ορισμό του επιγενετικού τοπίου έγκειται στο ότι μπορεί να εκφράσει με τον πλέον δυναμικό τρόπο τις διαδικασίες μορφογένεσης αλλά και να καθορίσει βασικούς παράγοντες αυτής της δυναμικής. Ένα από τους παράγοντες αυτούς είναι ο γενετικός κώδικας. Ο κώδικας όμως δεν παράγει μορφές, αλλά περιορίζεται στο να δίνει τις τάσεις ανάπτυξης της μορφής. Οι τάσεις αυτές καθορίζουν σε ένα μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη και μπορούν να διαβαστούν στη μορφή την ίδια. Μπορούμε να φανταστούμε την χρειοδό πιο εποπτικά ως ένα αυλάκι που διοχετεύει το νερό. Η μάζα νερού που ρέει, παίρνει τη μορφή που της δίνει το αυλάκι- ωστόσο το αυλάκι δεν αντιστοιχεί στην μορφή αυτή. Η χρειοδός λοιπόν δεν είναι μορφή αλλά ένα χαρακτηριστικό της εξέλιξης της μορφής που διαβάζεται με τρόπο διαισθητικό στην κάθε μορφή. Επομένως μέσω της χρειοδού μπορούμε να αναγνωρίσουμε την ομοιότητα σε διαφορετικές μορφές που τελικά τις χαρακτηρίζουμε ως συγγενείς. Η χρειοδός περιγράφει δηλαδή όχι συγκεκριμένες μορφές αλλά οικογένειες μορφών και εκφράζεται με τον ίδιο τρόπο σε κάθε μια από τις μορφές.

Ο Goethe, μελετώντας τα γερμανικά δάση, προσπαθούσε να εντοπίσει το *Urpflanze* δηλαδή το «πρωταρχικό φυτό». Η αναζήτησή του φυσικά δεν είχε στόχο να εντοπίσει ένα πραγματικό φυτό κάπου στα δάση αυτά, αλλά αναζητούσε το «χρειοδικό» σχήμα μέσα από το οποίο θα μπορούσε να περιγραφεί η πληθώρα των φυτών που συναντούσε. Στο βιβλίο του Goethe "The Metamorphosis of Plants", η χρειοδός περιγράφεται τόσο ως το αφηρημένο διάγραμμα όσο και ως αλγόριθμος. Βλέποντας την χρειοδό, είναι σαν να βλέπεις μέσα στο φασικό χώρο του δυναμικού συστήματος που περιγράφει τις μορφές. Η χρειοδός δεν είναι μια στατική έννοια, αλλά μια χρονική μεταβλητή: είναι το σύνολο διαδοχικών στο χρόνο, τομών που περιγράφουν την ανάπτυξη της μορφής. Περιγράφει δηλαδή τις παραμέτρους που θα διαμορφώσουν μια μορφή, που είναι συγκεκριμένες αλλά όχι ποσοτικά καθορισμένες. Επομένως, διακυμάνσεις στις τιμές των παραμέτρων δεν συνεπάγονται μεταβολή του αφηρημένου διαγράμματος ή της χρειοδού της μορφής, απλά αποτελούν παραλλαγές της. Για παράδειγμα το χαμόγελο κάποιου ανθρώπου μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο αλλά δεν εγκαταλείπει την χρειοδική του μορφή, ώστε να συνεχίζει να είναι αναγνωρίσιμο ως το ίδιο χαμόγελο, παρά τις αλλοιώσεις του χρόνου.

5. Τα έμβια συστήματα - η μορφή - μερικά συμπεράσματα

Η έννοια της χρειοδού, όπως και η λογική ολόκληρης της επιγενετικής θεωρίας εμφανίζουν μια ξεκάθαρη συνέπεια με την μαθηματική ερμηνεία των δυναμικών συστημάτων που αναφέρθηκε προηγουμένως. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι περιγράφουν με άλλα μέσα την ίδια πραγματικότητα-εξάλλου ο ίδιος ο Waddington χρησιμοποίησε μαθηματικές εξισώσεις για να περιγράψει επαρκώς τις σκέψεις του που αφορούσαν την βιολογία. Συνοπτικά, μέσα από την ανάλυση που προηγήθηκε θα μπορούσαμε να διαπιστώσουμε τα πιο κάτω :

- Η μορφή αναδύεται μέσα από διαδικασίες και αλληλεπιδράσεις σε επίπεδο κώδικα - γονιδίων αλλά και σε επίπεδο περιβάλλοντος. Η ανάδυση είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα που εμφανίζουν τα πολύπλοκα συστήματα και είναι άμεσο επακόλουθο της αρχής της αυτοοργάνωσης. Η μορφή λοιπόν δεν προκύπτει μέσα από άμεσο σχεδιασμό της γεωμετρίας της, αλλά είναι αποτέλεσμα των εσωτερικών διαδικασιών που συμβαίνουν στο σύστημα και των εξωτερικών δράσεων που εμφανίζονται ως διαταραχές.

- καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από παραμέτρους του συστήματος.

- Η μορφή δεν είναι σταθερή , η μέθοδος που την παράγει όμως (δηλαδή το αφηρημένο της διάγραμμα) είναι . Ακόμα, ο γεωμετρικός χώρος αυτής της μορφής δεν είναι χώρος ακέραιων διαστάσεων αλλά κλασματικών διαστάσεων, ως αποτέλεσμα της μη γραμμικότητας των συστημάτων που τις παράγουν .

- όλες οι μορφές ανήκουν σε οικογένειες-τάξεις μορφών κάθε μια από τις οποίες μπορεί να περιγραφεί από ένα κοινό αφηρημένο διάγραμμα ιδιοτήτων. Η οικογένεια μορφών έχει τα ίδια χρειοδικά χαρακτηριστικά.

- Η μορφή είναι συνάρτηση του χρόνου, και το σύνολο των χαρακτηριστικών χρονικών τομών της περιγράφεται από τη χρειοδό της.

- η αιτιολόγηση της μορφής προκύπτει από τη λειτουργία του οργανισμού με απόλυτο τρόπο. Η σχέση λειτουργίας - μορφής είναι μια σχέση cause-effect. Η μορφή στους έμβιους οργανισμούς είναι απόλυτα λειτουργική και αναφέροντας τον όρο «μορφή» γίνεται ταυτόχρονα αναφορά στο σύνολο του οργανισμού.

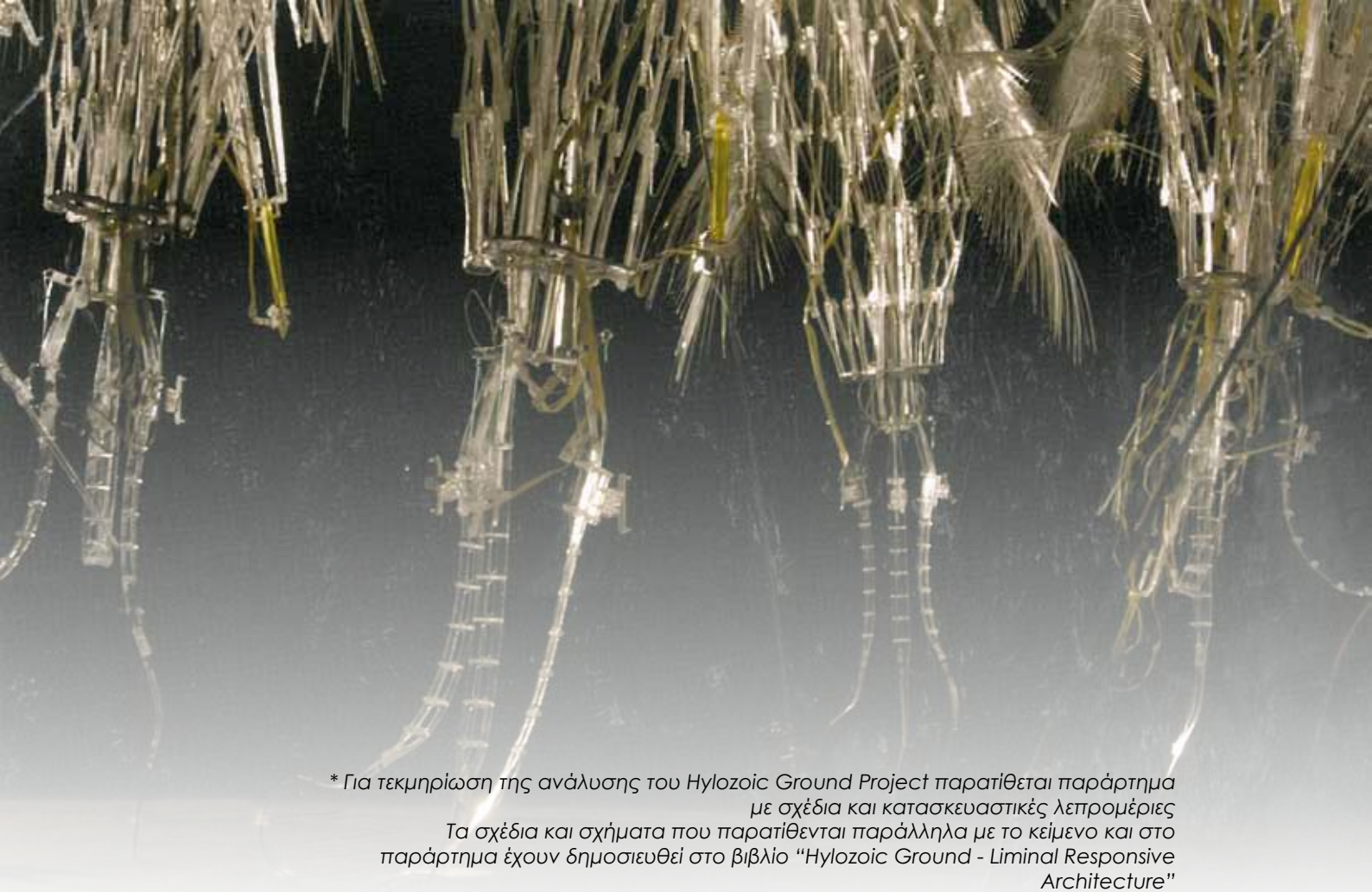




ΜΕΡΟΣ Β'

Έχοντας εξετάσει κάποιες βασικές θεωρητικές αρχές που διέπουν τα έμβια συστήματα, στη συνέχεια θα παρουσιαστούν εφαρμογές στην αρχιτεκτονική οι οποίες προσπαθούν να ενσωματώσουν τις αρχές αυτές στο σχεδιασμό. Η επιλογή των παραδειγμάτων έγινε με στόχο να παρουσιαστούν οι διαφορετικές προσεγγίσεις που απαντούν σε κάποιους πειραματικούς προβληματισμούς της σύγχρονης αρχιτεκτονικής γύρω από το ζήτημα της ζωής :

1. Μπορούμε να κατασκευάσουμε «ζωντανά» κτίρια και περιβάλλοντα; Και αν ναι, είναι σε θέση μια τέτοια πρόταση να απαντήσει στα σύγχρονα προβλήματα βιωσιμότητας που αντιμετωπίζει ο δομημένος χώρος;
2. Αναζητώντας την συνέργεια του δομημένου με το φυσικό περιβάλλον μέσω μιας ζωντανής συνεχούς σχέσης των δύο, μήπως πρέπει η βάση της αρχιτεκτονικής σκέψης να μετατοπιστεί σε μια πολύ μικρότερη κλίμακα σχεδιασμού; Μπορεί η χημεία να είναι η βάση αυτής της αρχιτεκτονικής συνθετικής διαδικασίας ;
3. Ο κώδικας που παράγει μορφές στο φυσικό κόσμο είναι ικανός να παράγει και αρχιτεκτονικές μορφές; Είναι οι βιολογικοί αλγόριθμοι αρχιτεκτονικά εργαλεία;



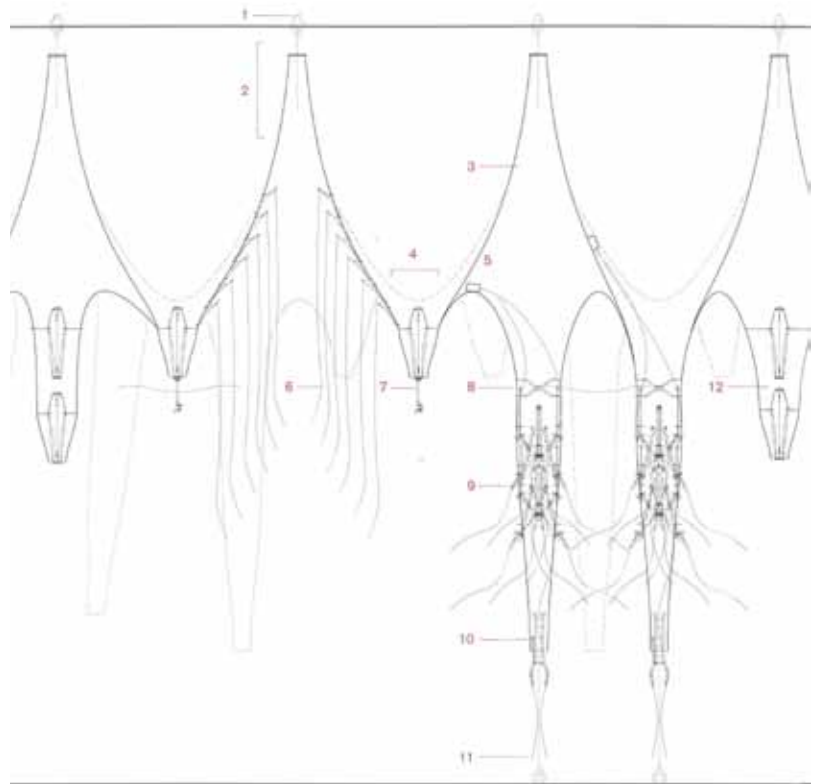
** Για τεκμηρίωση της ανάλυσης του Hylozoic Ground Project παρατίθεται παράρτημα με σχέδια και κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Τα σχέδια και σχήματα που παρατίθενται παράλληλα με το κείμενο και στο παράρτημα έχουν δημοσιευθεί στο βιβλίο "Hylozoic Ground - Liminal Responsive Architecture"*

6. Hylozoic Series - The Hylozoic ground project *

Το Hylozoic ground project είναι ένα μεγάλης κλίμακας διαδραστικό περιβάλλον. Αποτελείται από μια εύκαμπτη δικτυωτή κατασκευή στην οποία αναρτώνται τμήματα που υποστηρίζουν διαδραστικές σχέσεις, δυναμική ροή ύλης και τεχνολογίες που θέλουν να δώσουν χαρακτηριστικά ζωής στην κατασκευή. Η πρόταση αυτή θέλει να διαπραγματευτεί και να θέσει εκ νέου τα όρια περιβάλλοντος – κτιρίου – τεχνολογίας- ανθρώπινης δραστηριότητας με στόχο να θέσει σε νέες βάσεις τη σύγχρονη αρχιτεκτονική: η αρχιτεκτονική αυτή σύμφωνα με το Hylozoic Ground πρέπει να αποκτήσει μια ζωντανή σχέση με τον χρήστη μέσω μιας κοινής γλώσσας επικοινωνίας, μιας κοινής βάσης που είναι η ίδια η ζωή και οι λειτουργίες της.

Το Hylozoic Ground διερευνά με όρους αρχιτεκτονικής το ζήτημα του ζωντανού - μπορεί η αρχιτεκτονική να είναι ζωντανή; Η εγκατάσταση αυτή ήταν η Καναδική συμμετοχή στην 12η Διεθνή Έκθεση Αρχιτεκτονικής της Biennale di Venezia του 2011 και αποτελεί μέρος μιας σειράς τέτοιων κατασκευών, που ονομάζεται Hylozoic Series, σχεδιασμένες από μια ομάδα καλλιτεχνών, αρχιτεκτόνων και επιστημόνων με επικεφαλής τον αρχιτέκτονα Philip Beesley.

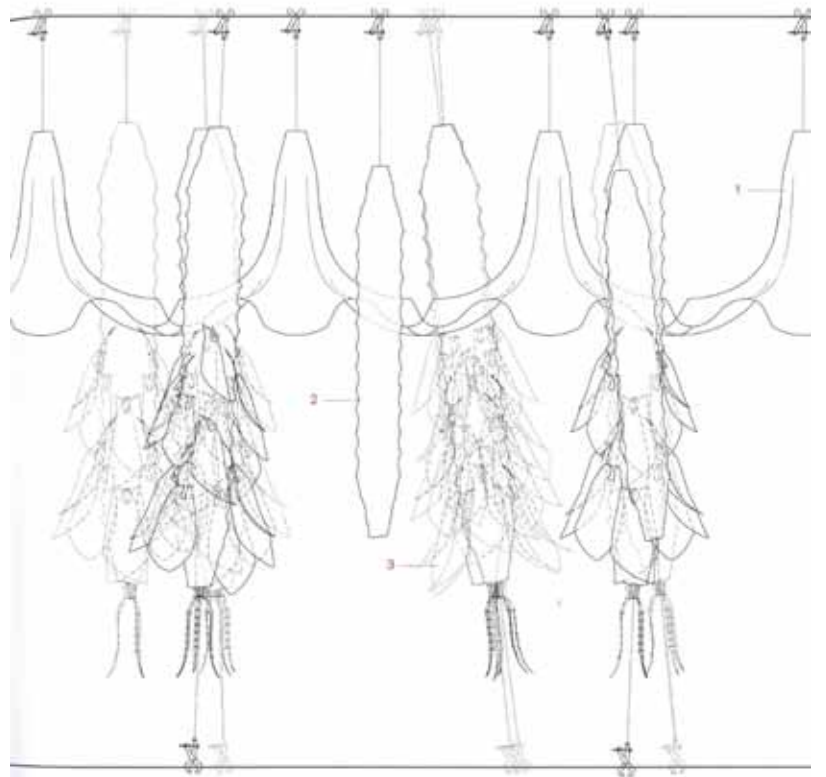
Για να γίνει κατανοητή η συνθετική αρχή του Hylozoic Ground πρέπει το έργο να αντιμετωπιστεί όχι ως μια αυτόνομη εγκατάσταση αλλά ως ένα στιγμιότυπο μιας συνεχούς εξελικτικής διαδικασίας που έδωσε μια οικογένεια μορφών-κατασκευών, την Hylozoic Series. Πρόκειται λοιπόν για μια σειρά από «στιγμιότυπα» ένα από τα οποία είναι το αναλυόμενο, επομένως και τα γενικά συνθετικά χαρακτηριστικά αφορούν ολόκληρο το σχεδιασμό της σειράς.



τομή κατασκευής
(1η γενιά της σειράς)

hylozoic section—first generation

- 1 Lily canopy attachment point 2 Lily cap skeleton to attachment point 3 Lily canopy element
- 4 Mesh bed assembly 5 Airflow microprocessor 6 Actuated infuser 7 Singlewing sensor mount
- 8 Column stabilizer assembly 9 Breathing pore spins 10 Generation base assembly 11 Claw foot attachment point



hylozoic section—second generation

- 1 Dissected lily canopy isolated from column mesh elements 2 Fine chevron column
- 3 Isolated breathing column: disoriented human mesh canopy

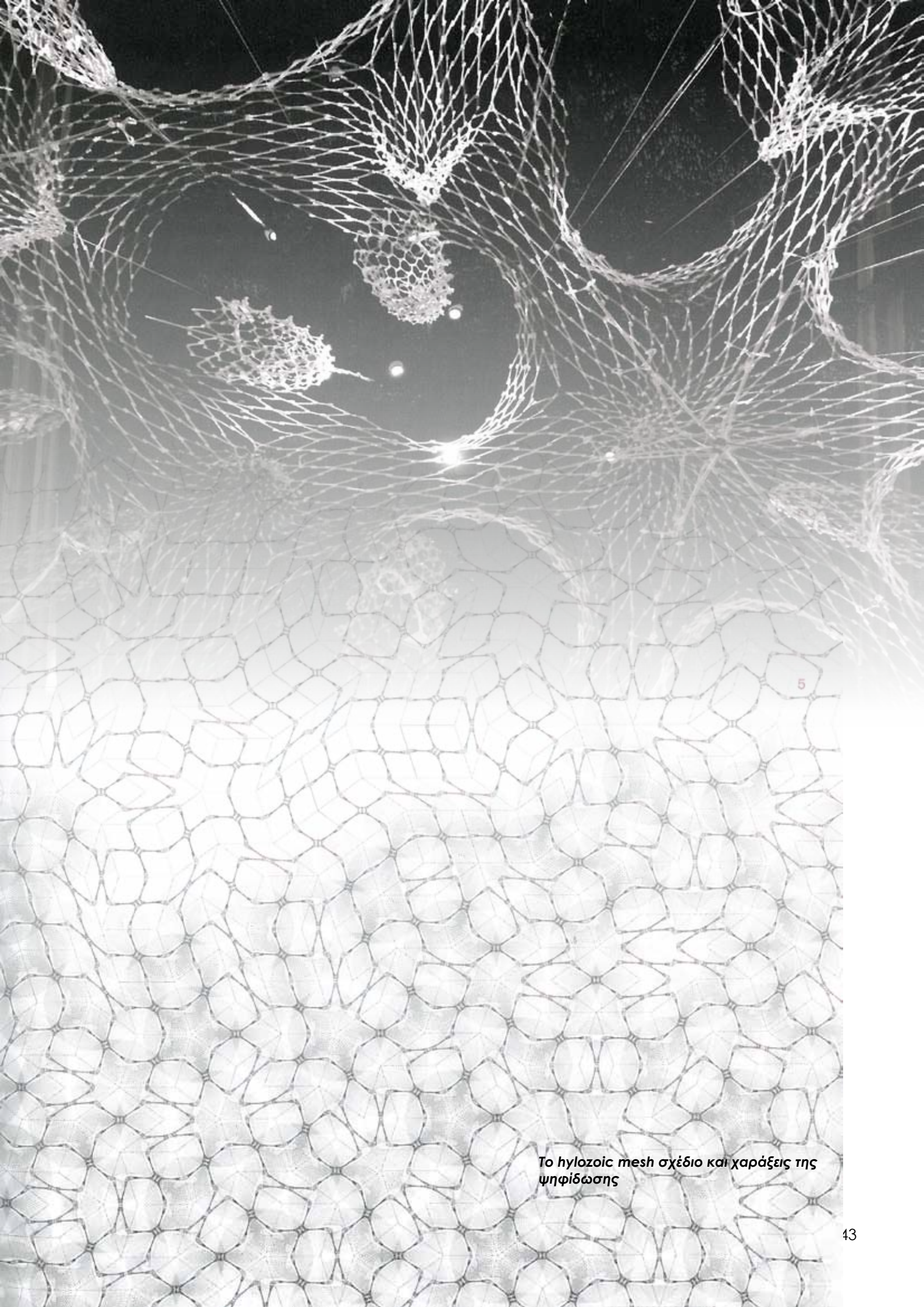
τομή κατασκευής
(2η γενιά της σειράς)

Η κατασκευή των εγκαταστάσεων της *Hylzoic Series* προκύπτει από μια αλληλεπίθεση στρωμάτων (layers) το κάθε ένα από τα οποία έχει συγκεκριμένη διακριτή λειτουργία, όπως θα μπορούσαμε να διακρίνουμε τα διάφορα εσωτερικά όργανα σε ένα ζώο ή συστήματα σε ένα φυτό. Όλα επικοινωνούν μεταξύ τους και συνεργάζονται ώστε να προκύψει η συμπεριφορά του συνόλου. Στην περιγραφή λοιπόν του έργου πρέπει να κινηθεί κανείς σε δύο άξονες: (α) στα μέρη που το απαρτίζουν και τα χαρακτηριστικά τους και (β) στην πληροφορία αλληλεπίδρασης που είναι ουσιαστικά ο φορέας αυτοοργάνωσης του συστήματος.

hylzoic mesh – η γεωμετρία του σώματος

Όλα τα συστήματα που απαρτίζουν το έργο είναι αναρτημένα στο γεωμετρικό θεμέλιο του, το “υλοζωικό πλέγμα (*hylzoic mesh*)”. Το πλέγμα αυτό είναι το σώμα που θα φιλοξενήσει όλες τις λειτουργίες της κατασκευής και που θα ορίσει γεωμετρικά τη μορφή της. Αποτελείται από πολλά μικρά αλληλοσυνδεδεμένα εξαρτήματα μορφής V (*chevron shared components*). Τα εξαρτήματα αυτά συνδέονται με τρόπο ώστε να προκύπτει μια πτυχωτή επιφάνεια υπό μορφή διαγώνιας εσχάρας (*diagrid*). Η θολωτή αυτή επιφάνεια λειτουργεί συνθετικά ως κέλυφος επιστέγασης και ορισμού της μορφής και αποτελεί τον φέροντα οργανισμό των υπολοίπων τμημάτων του συστήματος. Σε διάφορα σημεία η επιφάνεια αυτή δημιουργεί οπές από όπου διέρχονται κατακόρυφα κυλινδρικά στοιχεία συναρμολογούμενα και αυτά από τα ίδια εξαρτήματα μορφής V.

Η επιφάνεια του *hylzoic mesh* παράγεται μέσω μιας ημι-περιοδικής (*quasiperiodic*) ψηφίδωσης μοτίβου ψαροκόκαλου. Ψηφίδωση (*tiling*) είναι η κάλυψη μιας επιφάνειας με την επανάληψη ενός γεωμετρικού σχήματος σε κάποιο μοτίβο, χωρίς επικαλύψεις μεταξύ των ψηφίδων και χωρίς να αφήνονται κενά επιφάνειας. «Ημι-περιοδική» ψηφίδωση (*quasiperiodic tiling*) χαρακτηρίζεται η ψηφίδωση επιφάνειας που εμφανίζει τοπική περιοδικότητα σε κάποιους μετασχηματισμούς. Μπορούμε δηλαδή να περιστρέψουμε ή να κυλίσουμε πεπερασμένο πλήθος ψηφίδων της επιφάνειας ώστε να υπάρχει τέλεια επικάλυψη της επιφάνειας χωρίς επικάλυψη των ψηφίδων και χωρίς να περιστραφεί ή να κυλίσει το σύνολο της ψηφίδωσης. Πάνω στις χαράξεις αυτής της γεωμετρικής ψηφίδωσης μοτίβου ψαροκόκαλου συναρμολογούνται τα στοιχειώδη οικοδομικά τμήματα (*chevron shared components*) δημιουργώντας την εσχάρα. Διαδοχικές μεταβολές στο μέγεθος των δομικών τμημάτων V που συναρμολογούνται σε μια σειρά και άλλες παραμορφώσεις ή αναδιατάξεις στις μονάδες αυτές, εξέλιξαν την τοπολογία των μορφών του *Hylzoic Series*. Στις πρώτες αναζητήσεις της *Hylzoic Series* υιοθετήθηκαν τοπολογίες που εφήβρε ο φυσικός Roger Penrose που αποτελούνται από ρομβοειδείς ψηφίδες (*prototiles*) των οποίων η συναρμολόγηση δίνει τοπικά κάποιες συμμετρίες και επανάληψη τα οποία χάνονται σε πιο μεγάλη κλίμακα. Στη συνέχεια στο μοντέλο του Penrose εισήχθησαν εξαγώνικες ψηφίδες που επέτρεψαν στο πλέγμα να επεκταθεί με διαφορετικό τρόπο και απεριόριστα σε όλες τις διευθύνσεις. Σε κάθε περίπτωση όλες οι διατάξεις προκύπτουν από την συναρμολόγηση του ίδιου στοιχειώδους δομικού τμήματος και ενδεχομένως κάποιων παραλλαγών του, που ανήκουν όμως στην ίδια τοπολογία. Η συναρμολόγηση αυτή σχηματίζει διατάξεις στο πλεγματοδές κέλυφος του *Hylzoic Ground project* που προσομοιάζουν σε μορφές κρίνων και θόλων.

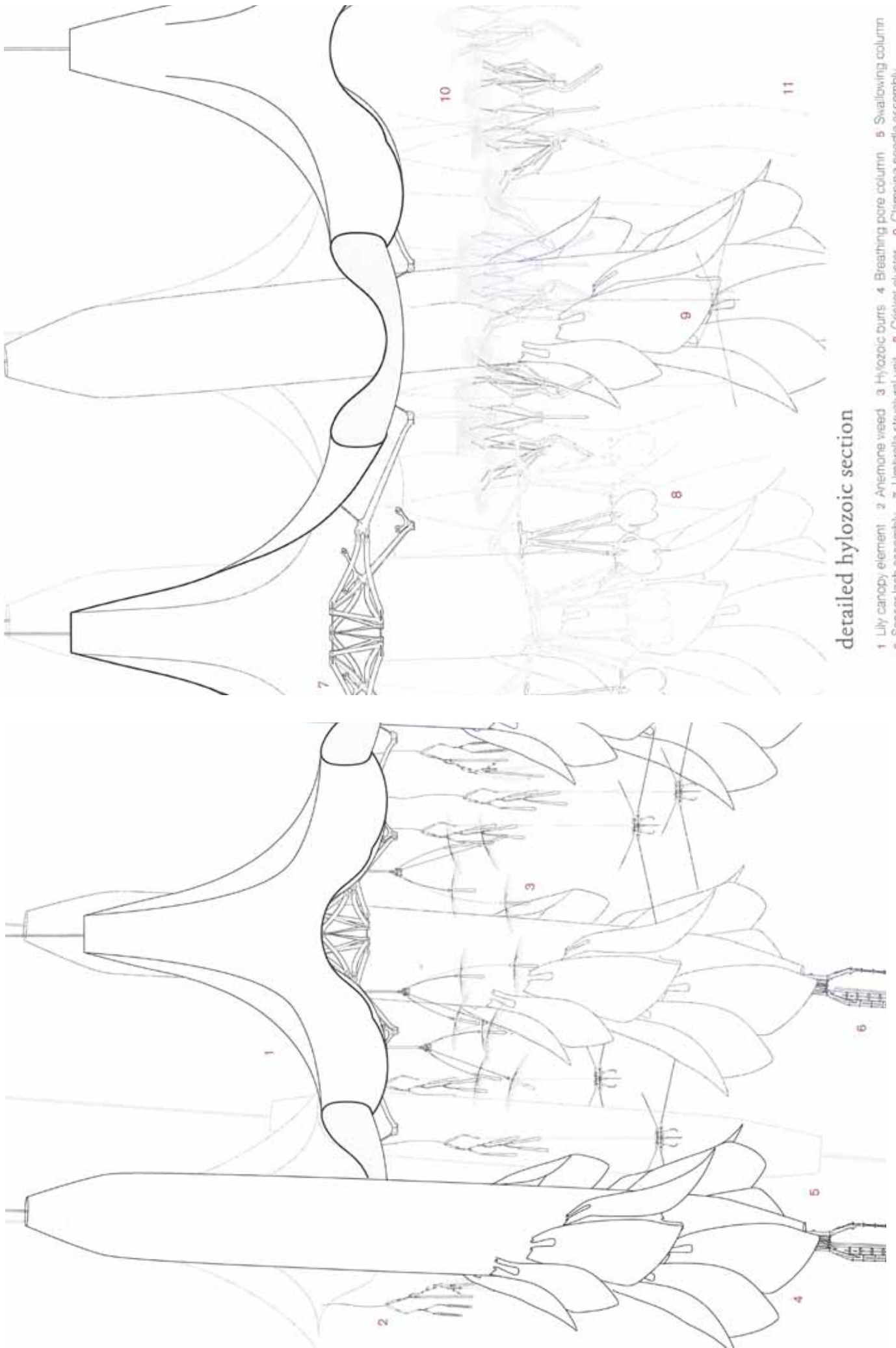


Το hylozoic mesh σχέδιο και χαράξεις της ψηφίδωσης

Η κατασκευή προσφέρει μια χωρική εμπειρία αισθήσεων στον επισκέπτη μέσα από διαδραστικές διαδικασίες που παραπέμπουν σε λειτουργίες ζωντανών οργανισμών. Η μηχανική λειτουργία της κατασκευής στηρίζεται στην οργανωμένη και σχεδιασμένη κίνηση των μελών της που βρίσκονται ανηρτημένα στο υλοζωικό πλέγμα και στο αποτέλεσμα που έχουν αυτές οι κινήσεις στο περιβάλλον με το οποίο έρχεται σε επαφή ο επισκέπτης. Οι κινήσεις αυτές μεταχειρίζονται τον αέρα και την υγρασία του περιβάλλοντος και συνδυασμένες με το χημικό δίκτυο, υλοποιούν διαδικασίες που θα μπορούσαν να φιλοξενήσουν την ύπαρξη ζωής, ίσως όχι με την στενή ερμηνεία που της δίνουμε από την εμπειρία μας, αλλά μιας άλλης μορφής τεχνητή ζωή. Τέτοιες διαδικασίες είναι η αναπνοή, ο μεταβολισμός και η κίνηση.

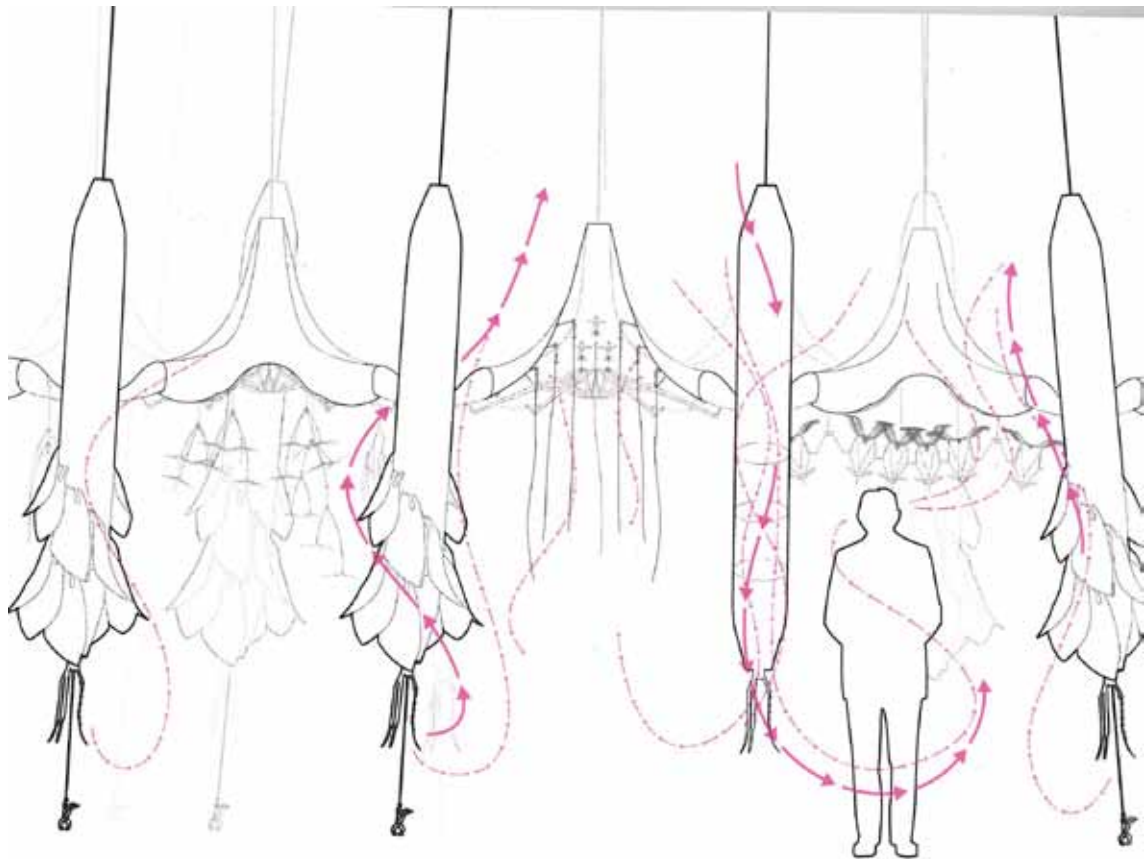
Ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω, συναντά κανείς το «επίπεδο της χλωρίδας (weed layer)» ακριβώς κάτω από το υλοζωικό πλέγμα. Είναι ένα σύνολο από πολυμερή ελάσματα φυτικής μορφής και από δοχεία που μοιάζουν με αδένες και κύστες. Τα δοχεία αυτά περιέχουν χημικές ουσίες όπως υδροσκοπικά άλατα, άλμη, διάλυμα σόγιας και proto-cells. Αυτά τα υλικά αντιδρούν μεταξύ τους και προσομοιάζουν βασικές μεταβολικές αντιδράσεις που θα μπορούσαν να επιτρέψουν την ανάδυση φαινομένων της ζωής. Ο μεταβολισμός όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελεί μια από τις βασικές προϋποθέσεις για την ύπαρξη ζωής και σε αυτό αποσκοπεί το Hylozoic Ground project: στο να δημιουργήσει ένα τεχνητά ζωντανό περιβάλλον, μια «συνθετική οικολογία» η οποία είναι ζωντανή η ίδια και μπορεί να φιλοξενήσει άλλες μορφές ζωής. Το επίπεδο αυτό των χημικών αντιδραστηρίων αποτελεί το κομμάτι «ζωντανής ύλης» που κατοικεί στον υπόλοιπο αδρανή ιστό της κατασκευής. Στη συνέχεια, κάτω από το επίπεδο χλωρίδας υπάρχει το «επίπεδο φιλτραρίσματος (filter layer)». Το επίπεδο αυτό αποτελείται από διατάξεις συνθετικών φύλλων που με την κίνησή τους λειτουργούν σαν αντλίες, σπρώχνοντας τον αέρα προς τα κάτω. Στην ίδια περιοχή βρίσκεται το «cricket layer» και αμέσως πιο κάτω οι κατακόρυφες διατάξεις αναπνοής και κατάποσης .

Ο κύκλος της αναπνοής αρχίζει όταν η κατασκευή «νιώσει» τον επισκέπτη να πλησιάζει . τότε τα μαστίγια των απολήξεων των κατακόρυφων διατάξεων αναπνοής (breathing columns) ενεργοποιούνται στέλνοντας ένα κύμα αέρα και υγρασίας προς τα πάνω. Το κύμα αυτό συναντά τους αναπνευστικούς πόρους (breathing pores) που είναι διατάξεις με μηχανισμό κίνησης και που βρίσκονται προσαρτημένες στις κατακόρυφες διατάξεις αναπνοής . Ο κυματισμός αέρα συνεχίζει την ανοδική του πορεία και συναντά, λίγο πριν το πλέγμα στήριξης, πυκνές αποικίες από πλαστικές διάφανες ίνες (whiskers) που περιστρέφονται αργά στέλνοντας τον αέρα τελικά, σε μια σπειροειδή πορεία προς τα κάτω. Παράλληλα με τον κύκλο της αναπνοής λειτουργούν και οι κατακόρυφες διατάξεις κατάποσης (swallowing columns). Οι διατάξεις αυτές είναι κατακόρυφα κυλινδρικά στοιχεία που έχουν στην εσωτερική πλευρά τους μηχανισμούς οι οποίοι λειτουργούν σε σειρά ώστε ολόκληρο το τμήμα να συστέλλεται.

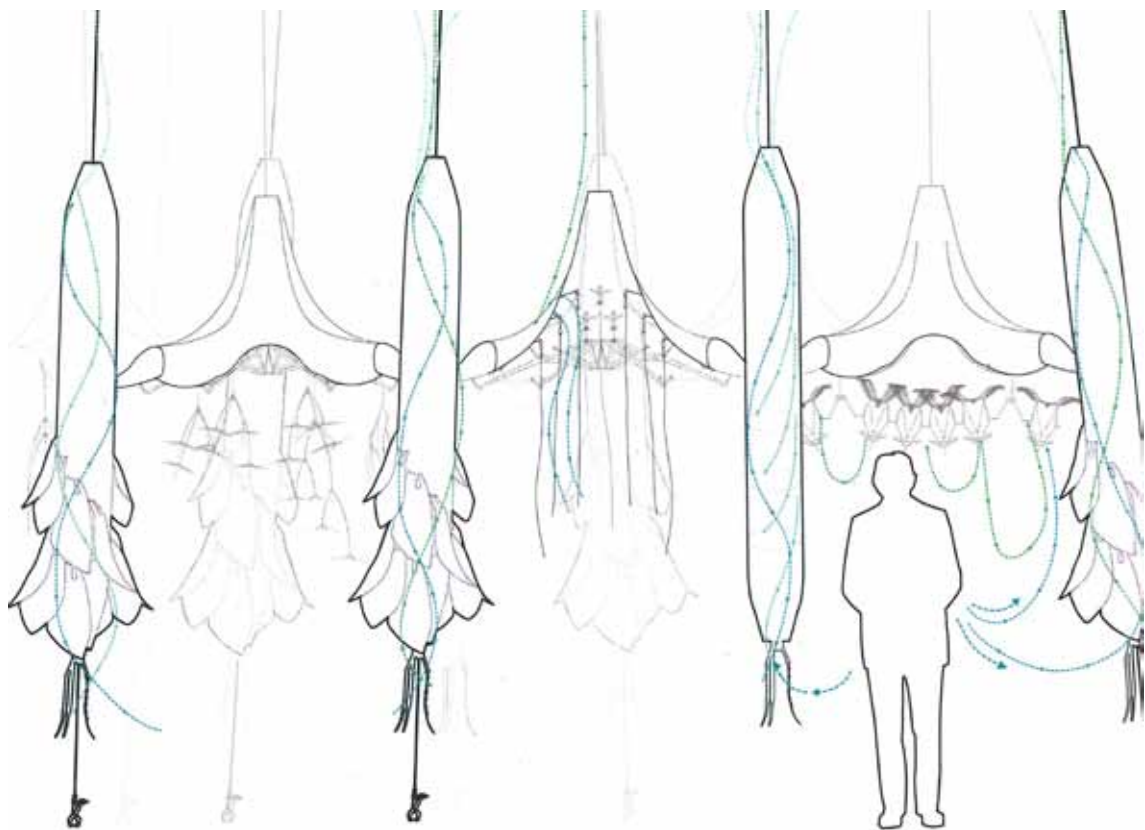


detailed hylozoic section

- 1 Lily canopy element
- 2 Arhemone weed
- 3 Hylozoic burs
- 4 Breathing pore column
- 5 Swallowing column
- 6 Sensor lash assembly
- 7 Umbrella structural unit
- 8 Cricket cluster
- 9 Clamping needle assembly
- 10 Filter cluster
- 11 Whisker assembly



σχηματικό διάγραμμα του κύκλου της αναπνοής



σχηματική αναπαράσταση σχεδιασμένων κινήσεων των μελών της κατασκευής, που πυροδοτούνται από την παρουσία του επισκέπτη

Το Hylozoic Ground θέλει να είναι μια τεχνητώς ζωντανή οικολογία – για να είναι ζωντανή όμως πρέπει να πληροί τις προϋποθέσεις της αυτοποιητικής μηχανής. Ο σχεδιασμός των μερών και μόνο, δεν είναι αρκετός για να ικανοποιήσει τις προδιαγραφές του αυτοποιητικού χαρακτήρα γιατί δεν μπορεί να διασφαλίσει την αυτοοργάνωση της, δηλαδή την ύπαρξη ενός δικτύου αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μερών της κατασκευής αλλά και μεταξύ των μερών και του περιβάλλοντος ευρύτερου συστήματος (το οποίο περιέχει και τον επισκέπτη-χρήστη). Αυτή την επιπλέον πληροφορία αλληλεπίδρασης υλοποιεί ο σχεδιασμός ενός συστήματος διάδρασης και ενός δικτύου χημικών αντιδραστηρίων. Το δεύτερο υλοποιεί και την δεύτερη συνθήκη του αυτοποιητικού συστήματος, την παραγωγή στοιχείων που το αποτελούν.

αυτοοργάνωση - οι αισθήσεις

Η αλληλεπίδραση των στοιχείων μεταξύ τους και με το περιβάλλον υλοποιείται μέσα από ένα μηχανισμό αντίδρασης-διάδρασης σε περιβαλλοντικά ερεθίσματα και σε εσωτερικές καταστάσεις. Η διάδραση συμβαίνει μεταξύ του επισκέπτη και της κατασκευής και είναι μια ιδιότητα κατανεμημένη σε όλο το γεωμετρικό χώρο του σώματος της κατασκευής. Υλοποιείται με μια κατανομή αισθητήρων που ενώνονται με πίνακες Arduino. Οι διάσπαρτες συσκευές Arduino επικοινωνούν μεταξύ τους όντας συνδεδεμένες με μια κεντρική μονάδα διεύθυνσης (full-duplex differential multi-drop bus controller). Μέσω αυτής της κεντρικής μονάδας διεύθυνσης υλοποιείται ένα δίκτυο αισθήσεων - αντιδράσεων το οποίο λειτουργεί σε 3 επίπεδα:

1ο επίπεδο αντίδρασης : Η κάθε κίνηση του επισκέπτη μέσω του αισθητήρα σημειώνεται ως μεταβολή στον τοπικό πίνακα Arduino και αυτόματα ενεργοποιείται μια συσκευή αντίδρασης που ενεργοποιεί το σώμα της κατασκευής το οποίο και αντιδρά ανάλογα (ενεργοποιεί ένα μηχανικό σύστημα τενόντων που δημιουργούν συστολές στα ευλύγιστα μέλη).

2ο επίπεδο αντίδρασης : Παράλληλα με την πρώτη διαδικασία και με μια μικρή χρονοκαθυστέρηση ενεργοποιούνται στην περιβάλλουσα γειτονική περιοχή αντίστοιχες αλυσιδωτές αντιδράσεις μικρότερης έντασης. Η ύπαρξη του δικτύου επιτρέπει την ευαισθησία μιας ευρύτερης περιοχής – γειτονιάς σε ένα σημειακό ερέθισμα.

3ο επίπεδο αντίδρασης : Πρόκειται για την συνολική αντίδραση, την παράμετρο της νόησης του συστήματος. Ο bus controller δεχόμενος τα δεδομένα από τα τοπικά διάσπαρτα Arduino ρυθμίζει, ως συλλογική πια «ευφυΐα», τις γενικές παραμέτρους του συστήματος. Για παράδειγμα αν οι επισκέπτες είναι λίγοι και επομένως οι πυροδοτήσεις αντιδράσεων είναι περιορισμένες, η συλλογική ευφυΐα σε αυτή την περίπτωση αυξάνει την ευαισθησία των επί μέρους τμημάτων, ώστε να παράγεται ενδιαφέρουσα συμπεριφορά.

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι ο κεντρικός έλεγχος δεν δίνει εντολές, αλλά διαχειρίζεται ένα σύνολο περιφερειακών εντολών. Αναλαμβάνει το συντονισμό ενός δικτύου που είναι πλήρως αποκεντρωμένο και προκαλεί αναδυόμενες συμπεριφορές μέσω μιας bottom-up διαδικασίας σε πλήρη εναρμόνιση με τις προδιαγραφές που θέτει ο ορισμός του αυτοποιητικού συστήματος και σε αντιστοιχία με τα φαινόμενα που αναδύονται μέσω των λειτουργιών της ζωής στους βιολογικούς οργανισμούς.

Το σύστημα του Hylozoic Ground προσομοιάζεται απόλυτα από το μαθηματικό σχήμα του δυναμικού συστήματος. Αρκεί να φανταστούμε τον επισκέπτη ως μια εξωτερική διαταραχή $U(t)$ που εφαρμόζεται σε ένα ανοικτό προς το περιβάλλον σύστημα, το οποίο μεταβάλλει με τον τρόπο αυτό την κατάσταση του $X(t)$. Παράλληλα όπως όλα τα βιολογικά συστήματα, είναι ένα

κλειστό σύστημα ως προς τις παραμέτρους που καθορίζουν την αυτοποιητική του λειτουργία: ο κεντρικός έλεγχος δημιουργεί μια βασικής μορφής, τεχνητή νοημοσύνη στο σύστημα, ως υλοποίηση ενός αποκεντρωμένου συστήματος αισθήσεων-αντιδράσεων, που διασφαλίζει την συνοχή και την συνέργεια των υποσυστημάτων αυτών. Βέβαια η αυτοποιητική λειτουργία της κατασκευής διασφαλίζεται σε ένα εξίσου μεγάλο βαθμό από ένα «έξυπνο» ζωντανό δίκτυο χημικών αντιδραστηρίων.

Χημεία

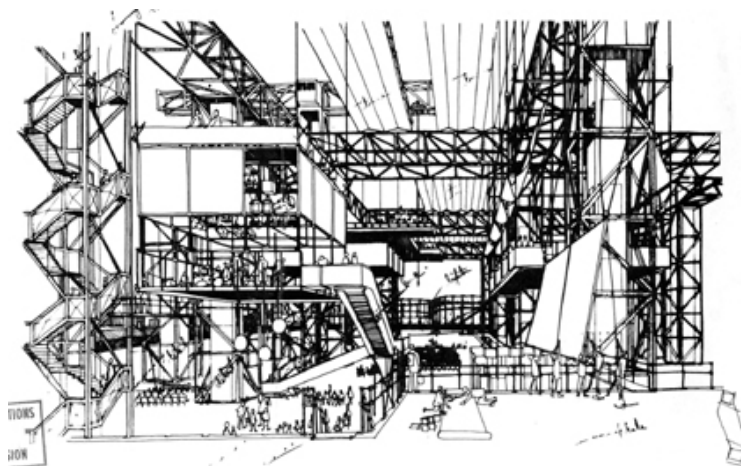
Το Hylozoic Ground είναι ένα περιβάλλον που όχι μόνο μπορεί να κινείται μέσω των μηχανικών αυτοματισμών του, αλλά μπορεί και να μεταλλάσσεται με την πάροδο του χρόνου αναδημιουργώντας τον εαυτό του. Αυτή είναι και μια από τις βασικές απαιτήσεις του σχεδιασμού ώστε η κατασκευή να θεωρείται αυτοποιητική. Η μετάλλαξη αυτή προκύπτει μέσα από τις «ζωντανές» χημικές τεχνολογίες που περιέχονται μέσα στον ιστό του. Οι τεχνολογίες αυτές ανήκουν στη σφαίρα της χημείας και συνδεόμενες με τα μηχανικά κομμάτια του συστήματος δημιουργούν, σύμφωνα με την R. Armstrong, μια «συνθετική οικολογία» που διέρχεται μέσα από μια δυναμική εξέλιξη. Το Hylozoic Ground λοιπόν αποτελείται από ένα σύνολο μηχανικά αποκρίσιμων αλλά αδρανών (σε επίπεδο υλικού) μελών και από ένα σύνολο χημικά ενεργών «συνθετικά ζωντανών» στοιχείων που ονομάζονται protocells και chells. Η πληροφορία λοιπόν που συνιστά την αυτοοργάνωση του συστήματος πέραν του προγραμματισμού του μηχανικού συστήματος μέσω των πινάκων Arduino, βρίσκεται και στον χημικό προγραμματισμό των protocells και chells.

Πριν όμως περιγραφεί η συγκεκριμένη λειτουργία της χημείας στο Hylozoic Ground, έχει ενδιαφέρον να παρεμβληθεί μια πιο λεπτομερής αναφορά στην τεχνολογία των protocells, που δεν είναι απλά ένα εργαλείο αλλά ανοίγει μια νέα προοπτική στην αρχιτεκτονική δημιουργία, διευρύνοντας την έννοια του σχεδιασμού και θέτοντας τον προβληματισμό σε ένα άλλο επίπεδο: μήπως η καινοτομία στην αρχιτεκτονική θα προκύψει σε ένα εργαστήριο χημείας και όχι σε ένα σχεδιαστήριο ;

7. *protocells* - Η (συνθετική) ζωή της αρχιτεκτονικής

Η όποια απόπειρα για υλοποίηση μιας «ζωντανής» αρχιτεκτονικής καταλήγει μοιραία στο σημείο που ο μηχανικός πρέπει να ασχοληθεί με τον τρόπο που η φύση δημιουργεί τη ζωή. Η φύση όμως διαθέτει ένα πολύ διαφορετικό αρχιτεκτονικό λεξιλόγιο από αυτό που διαθέτει ο μηχανικός. «Κτίζει» μέσα από διεργασίες και αντιδράσεις που πραγματοποιούνται σε επίπεδο ατόμων και μορίων και οι κανόνες σχεδιασμού είναι οι φυσικοί νόμοι της χημείας. Ο αρχιτέκτονας καταλαβαίνει ότι δεν μπορεί να σχεδιάσει αυτό που θα ονόμαζε «ζωντανή» αρχιτεκτονική αν δεν σχεδιάσει με αυτούς τους όρους. Κάπως έτσι γεννήθηκε μεταξύ άλλων, η ιδέα της τεχνολογίας των *protocells*.

Ο αντίλογος στο πιο πάνω επιχείρημα θα ήταν ότι μπορεί να προσομοιωθεί η «ζωή» μέσα από μηχανικούς αυτοματισμούς που πλησιάζουν πιο πολύ στον τρόπο σκέψης-σχεδιασμού του μηχανικού παρά να μπει κανείς στην πολύπλοκη ενδεχομένως άγνωστη περιοχή της χημείας. Κάτι τέτοιο επιχείρησε το 1964 ο Cedric Price με τον Joan Littlewood που σχεδίασαν το Fun Palace, ένα κτίριο που βρισκόταν σε μια συνεχή συναρμολόγηση – αποσυναρμολόγηση με σκοπό να πετύχει με απόλυτο τρόπο την έννοια της προσαρμοστικότητας. Δεν γινόταν φυσικά, λόγος για «ζωή» στο κτίριο, ωστόσο το αίτημα της προσαρμοστικότητας ήταν η βασική παράμετρος σχεδιασμού του έργου. Η μηχανική επίλυση της προσαρμοστικότητας, όμως, αποδείχτηκε πολύ δυσκίνητη και μη βιώσιμη αφού αποτελείται από ένα ανεξέλεγκτα μεγάλο αριθμό αρθρώσεων, κινητών μελών και συνδέσμων και επίσης για να επιτευχθεί κίνηση των μερών αυτών απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας. Αντιθέτως μέσα από μια χημική προσέγγιση της προσαρμοστικότητας η όλη διαδικασία γίνεται σε επίπεδο μορίων και μέσω της ιδιότητας της ανάδυσης εκδηλώνονται οι διάφορες καταστάσεις στη μακροκλίμακα ως μια συντονισμένη και συνολική κίνηση. Από ενεργειακής απόψεως ειδικότερα, η χημική μηχανή είναι μακράν αποδοτικότερη από την αντίστοιχη μηχανή συναρμολογούμενων στοιχείων.



Cedric Price, Fun Palace, section, circa 1964. Cedric Price Archives, Canadian Centre for Architecture, Montreal.

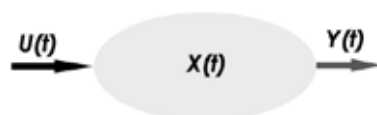
Η τεχνολογία των *protocells* λοιπόν, δουλεύει πάνω σε μια ριζοσπαστική σχεδόν φανταστική αλλά απόλυτα υλοποιήσιμη υπόθεση εργασίας: ότι η χημεία μπορεί να γίνει η βάση του τρόπου σκέψης των αρχιτεκτόνων, ότι δηλαδή οι παρωχημένοι και αναποτελεσματικοί (κρινόμενοι εκ του αποτελέσματος) τρόποι με τους οποίους συνθέτουμε πρέπει να αντικατασταθούν από μια ορθότερη προσέγγιση που έχει τις βάσεις της στο στέρεο έδαφος της επιστήμης της φυσικής και της χημείας.

Τα *protocells* είναι (R. Armstrong 2010) «το αποτέλεσμα ερευνητικών προγραμμάτων που έχουν στόχο την δημιουργία μιας χημικής κατασκευής με ιδιότητες που μοιάζουν με εκείνες των ζωντανών οργανισμών, υπό μορφή ενός συστήματος τεχνητών κυττάρων που μπορούν να αυτο-συντηρούνται, να αυτο-αναπαράγονται και δυνητικά να μπορούν να εξελιχθούν». Δεν είναι μια συγκεκριμένη χημική κατασκευή αλλά ένα σύνολο κατασκευών που διέπονται από τη ίδια φιλοσοφία: δεν λειτουργούν όπως τα φυσικά βιολογικά κύτταρα, μέσω βιολογικών διαδικασιών, αλλά οδηγούνται από πρωταρχικές οργανωτικές δομές που είναι ο νόμος της φυσικής και της χημείας. Η κατασκευή των *protocells* είναι μια χημική διαδικασία κατά την οποία έρχονται σε επαφή φυσικά και τεχνητά μόρια (χημικοί σχηματισμοί ατόμων) των οποίων οι φυσικο-χημικές ιδιότητες οδηγούν στη δημιουργία κατασκευών ανώτερης τάξης. Τα συστήματα των *protocells* είναι απλά συστήματα χημικών που παρουσιάζουν συμπεριφορές που έχουν χαρακτηριστικά ζωής, ωστόσο δεν είναι ζωντανά κύτταρα και δεν περιέχουν DNA.

Ο μηχανισμός δράσης τους είναι αρκετά πολύπλοκος και δεν περιγράφεται με ευκολία. Σε γενικές γραμμές όμως αυτό που συμβαίνει είναι ότι υπάρχουν δύο χημικά διαλύματα που έρχονται σε επαφή αλλά δεν αναμιγνύονται, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ημιπερατό όριο στην επιφάνεια επαφής. Αυτά τα δύο διαλύματα είναι ένα υδατικό και ένα ελαιώδες μέσο. Το ελαιώδες μέσο αποτελείται από μεγάλες αλυσίδες ατόμων άνθρακα οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς και δημιουργούν την ελαιώδη στιβάδα. Η στιβάδα αυτή λόγω των πολλών ανθράκων είναι έντονα συνεκτική και το νερό δεν μπορεί να τη διασπάσει έτσι σχηματίζονται στιβάδες στο δοχείο οι οποίες διαχωρίζονται από μια επιφάνεια επαφής, ένα όριο. Στην περιοχή του ορίου εκείνου τα χημικά στοιχεία που υπάρχουν στο δοχείο πραγματοποιούν αντιδράσεις μεταξύ τους και δημιουργούν πολύπλοκες κατασκευές που παίρνουν την αδρανή ύλη και την κατανέμουν διαφορετικά στο χώρο.

Τα *protocells* είναι ένα σύνολο τεχνητών κυττάρων που συνιστούν ένα σύστημα. Επομένως περιγράφονται από όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που αναλύθηκαν στο α' μέρος της εργασίας, σχετικά με τα δυναμικά συστήματα. Μπορεί λοιπόν κανείς να καταλάβει σε ένα αφαιρετικό βαθμό, ακόμα και χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις χημείας, τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς τους.

Χαρακτηρίζονται λοιπόν από μια μορφή αυτοοργάνωσης, έχουν κάποιο μεταβολισμό που τους επιτρέπει, δεδομένης της περιβαλλοντικής διαταραχής $U(t)$ να καταναλώνουν ή να παράγουν έργο και να έχουν με τον τρόπο αυτό επίδραση $Y(t)$ στο περιβάλλον όπου και αναδύονται σε μεγαλύτερα μεγέθη πια συνολικές ιδιότητες. Ενώ όμως, για παράδειγμα, είναι εύκολα αντιληπτή η ανάδυση της μορφής σε ζώα μέσα από την εφαρμογή του γενετικού κώδικα, μοιάζει δυσκολότερο να καταλάβει κανείς την έννοια της ανάδυσης των ιδιοτήτων σε ένα χημικό σύστημα. Πράγματι είναι πιο δύσκολο γιατί πολλές φορές οι ιδιότητες αυτές δεν είναι ευδιάκριτες στο μάτι ενός μη ειδικού, είναι όμως προφανείς ιδιότητες όταν η επίδρασή τους εκδηλώνεται σε ανώτερης τάξης επίπεδα αυτοοργάνωσης, που είναι πλέον χαρακτηριστικά του μακρόκοσμου και άρα χαρακτηριστικά του υλικού.



Η ιδέα για μια «χημική αρχιτεκτονική» φαίνεται να κερδίζει έδαφος, αν και ακόμα βρίσκεται σε καθαρά πειραματικό στάδιο και το ενδεχόμενο λειτουργικής εφαρμογής της ανήκει σε ένα αρκετά μακρινό μέλλον - μάλλον, η λογική πίσω από αυτό τον σχεδιασμό, φαίνεται να προκαλεί το ενδιαφέρον και λιγότερο το ίδιο το αίτημα της εφαρμογής της. Το τεύχος του Architectural Design Μαρτίου/Απριλίου 2011 είχε τίτλο "Protocell Architecture" και ήταν εξολοκλήρου αφιερωμένο στο ζήτημα της νέας αυτής τεχνολογίας. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η τεχνολογία αυτή εκκολάπτει μια νέα αρχιτεκτονική της οποίας τα χαρακτηριστικά περιγράφονται αναλυτικά στο περιοδικό, μέσα από ένα σχεδόν πολεμικό μανιφέστο.

Η χημική αρχιτεκτονική του Hylozoic Ground

Στο Hylozoic Ground η τεχνολογία των protocells είναι ένα βασικό κομμάτι της σύνθεσης, και εκεί συμβαίνουν τρεις ταυτόχρονες διαδικασίες σε τρία σύνολα protocells κάθε ένα από τα οποία αποτελεί διαφορετικό είδος και εκτελεί διαφορετική αρχιτεκτονική λειτουργία.

Incubators - εκκολαπτήρια

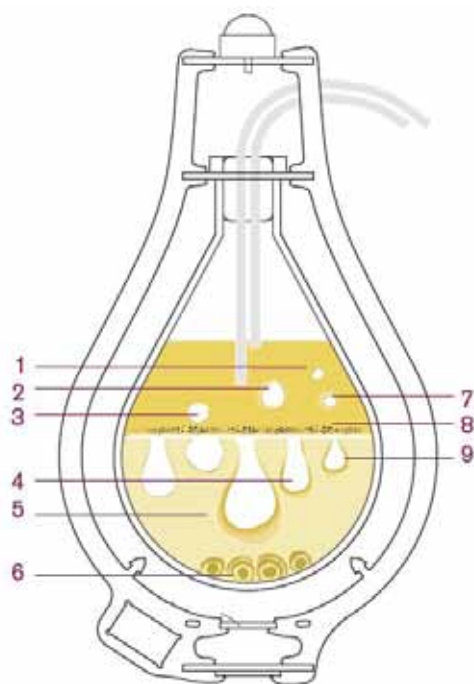
Βρίσκονται στο «επίπεδο φιλτραρίσματος (filter layer)» και λειτουργούν σαν ένα σύστημα ιστών. Τα εκκολαπτικά (incubator) protocells παράγονται από τη διάταξη που φαίνεται στο σχήμα.

Στη φιάλη υπάρχουν ενυδατωμένα μεταλλικά άλατα χαλκού και σιδήρου που ταξιδεύουν στα δύο ελαιώδη μέσα (διαιθυλ-φένυλ-φθαλικός εστέρας και ελαιόλαδο) και έρχονται σε επαφή με τα protocells στο όριο διαχωρισμού των δύο ελαιωδών συστατικών. Αποτέλεσμα αυτής της αντίδρασης είναι η δημιουργία σύμπλοκων ιζημάτων σιδήρου και χαλκού, που κατά τον σχηματισμό τους, επηρεάζουν και συναγωνίζονται το ένα το άλλο. Στη συνέχεια τα ιζήματα αυτά κρυσταλλοποιούνται και μετατρέπονται από οργανικά σε ανόργανα .

Μέσα στο διάλυμα συμβαίνει μια διαδικασία παρόμοια με το φαινόμενο σχηματισμού δακτυλίων Liesegang, ένα σύνθετο φυσικοχημικό φαινόμενο που δημιουργεί γεωμετρικά στρωματοποιημένα ομόκεντρης διάταξης κυκλικά ιζήματα, όπως αυτά που υπάρχουν σε βραχώδεις ασβεστολιθικούς σχηματισμούς

μέσα στο αντιδραστήριο:

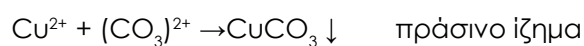
1. θειικός χαλκός $CuSO_4$
2. Ferrofluid διάλυμα
3. αραιό διάλυμα $NaOH$
4. κρύσταλλοι μαγνητίτη
5. διαιθυλ-φένυλ-φθαλικός εστέρας
6. σύμπλεγμα διαφόρων ιζηματοποιημένων μεταλλικών ιόντων
7. χλωριούχο ασβέστιο $Ca(Cl)_2$
8. ελαιόλαδο
9. protocell



Liesegang ring-like reactions.

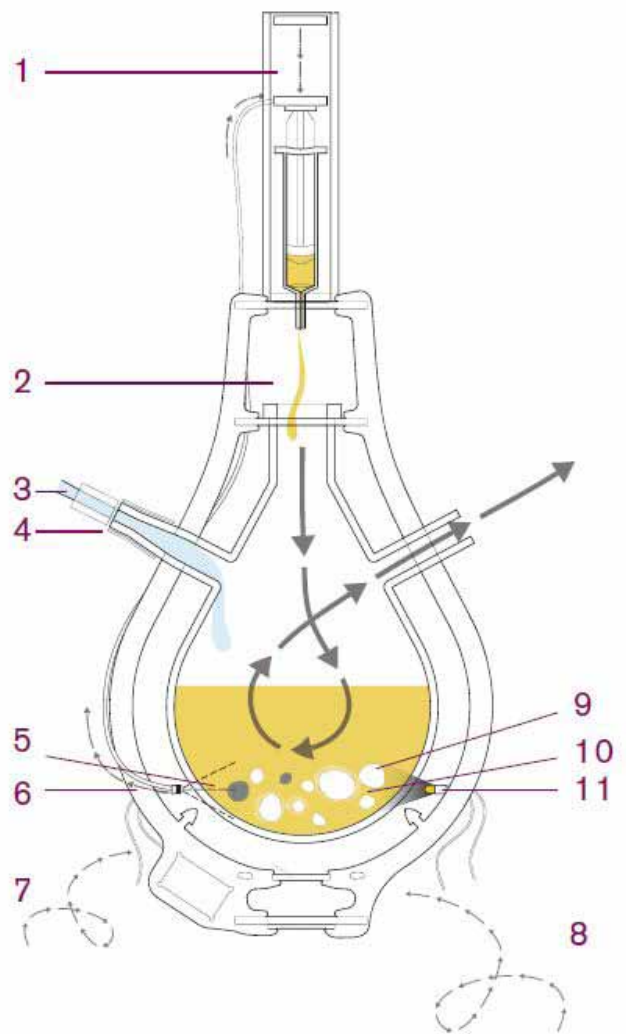
Οι διατάξεις αυτές είναι το ανάλογο των οργάνων για ένα σώμα: είναι αυτόνομες διατάξεις ιστού που εκτελούν μια συγκεκριμένη λειτουργία. Το όργανο αυτό λοιπόν είναι υπεύθυνο για την ρύθμιση του άνθρακα στο σώμα του Hylozoic Ground . Τα protocells που συγκροτούν αυτά τα όργανα σχηματίζονται από σταγόνες λαδιού που ρίχνονται μέσα σε νερό και είναι σχεδιασμένα να δεσμεύουν τον άνθρακα που βρίσκεται υπό μορφή διοξειδίου του άνθρακα σε αέρια μορφή CO₂ στον ατμοσφαιρικό αέρα του Hylozoic Ground όπου παράγεται από την αναπνοή των επισκεπτών, ή διαλυμένο στο νερό της Βενετίας μαζί με μεταλλικά ιόντα Ασβεστίου Ca²⁺ και Μαγνησίου Mg²⁺ τα οποία διοχετεύονται στο αντιδραστήριο αφού πρώτα το νερό περάσει από ένα φίλτρο (3,4 στην πειραματική διάταξη). Τα μόρια που αποτελούν τις σταγόνες, κινούνται εσωτερικά στη σταγόνα σύμφωνα με το φαινόμενο Gibbs-Μαγανηονί με αποτέλεσμα η ίδια η σταγόνα να αποκτά εσωτερική δυναμική συμπεριφορά. Καθώς λοιπόν τα χημικά που περιέχονται στο protocell φτάνουν στην επιφάνεια της σταγόνας, έρχονται σε επαφή με το H₂CO₃ του υδατικού διαλύματος και παράγουν ένα αδιάλυτο ανθρακικό άλας που κατακάθεται ως ίζημα υπό μορφή κρυστάλλου στην εξωτερική επιφάνεια του protocell.

Ανάλογα με τα μεταλλικά ιόντα που υπάρχουν στο διάλυμα μπορούν να παραχθούν και διαφορετικά ανθρακικά άλατα. Στο Hylozoic Ground project χρησιμοποιούνται ιόντα Βαρίου Ba²⁺ Μαγνησίου Mg²⁺ και Ασβεστίου Ca²⁺ τα οποία δίνουν λευκά ανθρακικά άλατα ενώ τα ιόντα χαλκού Cu²⁺ που εισάγονται στο δοχείο δίνουν με αντίδραση με το ενυδατωμένο CO₂ ένα πράσινο ίζημα.



Με την συνεχή παραγωγή και εναπόθεση ιζήματος στην επιφάνεια του protocell, αυτό σταδιακά αδρανοποιείται μετατρέπόμενο σε «μαργαριτάρι» (pearls/μαργαριτάρια - για αυτό και το σύστημα αυτό ονομάζεται protopearl flask). Καθώς αδρανοποιούνται τα protocells με τον τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως, μεταβάλλεται και η διαμπερότητα του διαλύματος. Η μεταβολή αυτή ανιχνεύεται από ένα αισθητήρα (πομπό - δέκτη) (6, 11 στην πειραματική διάταξη) ο οποίος ενημερώνει το σύστημα ώστε να διαθέσει περισσότερα ενεργά protocells για να συνεχίσει να συμβαίνει η παραγωγή.

Το σύστημα των protopearl flasks είναι, σε αντίθεση με τα εκκολαπτήρια (incubators), ένα ανοικτό σύστημα στον αέρα του περιβάλλοντος της κατασκευής και στο ευρύτερο περιβάλλον της Βενετίας μέσω του νερού της. Συνδέεται δηλαδή τόσο με τον χρήστη όσο και με το ευρύτερο περιβάλλον της Βενετίας για να μπορεί να λειτουργήσει.



μέσα στο αντιδραστήριο:

1. σύριγγα εισαγωγής *protocells*

2. αέρας : άζωτο, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα

3. νερό από τα κανάλια της Βενετίας

4. σύστημα φιλτραρίσματος

5. ιόντα χαλκού , μεταλικά ιόντα διαλυμένα σε νερό της Βενετίας

6. αισθητήρας- δέκτης

7. δονητής

8. υπερχείλιση

9. Ba^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}

10. *Protopearls*

11. Πομπός αισθητήρα

Το σύστημα αυτό δεν περιλαμβάνεται στην εγκατάσταση του Hylozoic Ground project που παρουσιάστηκε στη Biennale το 2011, αλλά πρόκειται να ενσωματωθεί στην επόμενη εξέλιξη του, και αυτό στο filter layer. Οι μεμβράνες αυτές αποτελούνται από κύτταρα traube (η ονοματολογία προέκυψε από το όνομα του Moritz Traube ο οποίος μελέτησε αυτή την τεχνολογία το 1874)

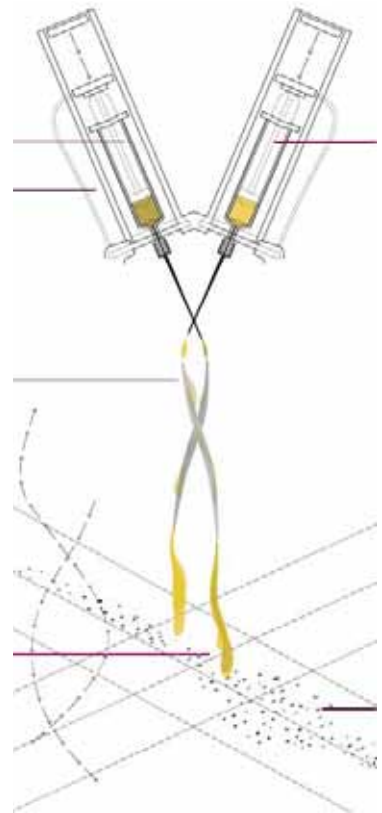
Το κύτταρο traube λοιπόν είναι (R. Armstrong) «ένα τεχνητό ανόργανο μοντέλο κυττάρου που αποτελείται από μια ημιπερατή μεμβράνη που περιβάλλει μια φυσαλίδα και που επιτρέπει στο νερό να εισέλθει αλλά όχι να εξέλθει από αυτήν». Η έκδοση του κυττάρου traube στο Hylozoic Ground είναι πιο πολύπλοκη ώστε να του επιτρέπει να αναπτύσσεται γρηγορότερα και σε μεγαλύτερη έκταση.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια μεμβράνη που μοιάζει με θαλάσσιο φύκι. Η συνεχής παροχή των συστατικών της αντίδρασης σχηματισμού της μεμβράνης με τις σύριγγες (1,7 στην πειραματική διάταξη) δημιουργούν επάλληλες στρώσεις αλάτων στην μεμβράνη που γίνεται παχύτερη και πιο σκληρή. Οι μεμβράνες αυτές μπορούν να εγκαταλείψουν την διάταξη δημιουργίας τους και να περιπλανηθούν ακολουθώντας την σχεδιασμένη κίνηση του αέρα μέσα στο έδαφος του Hylozoic Ground.

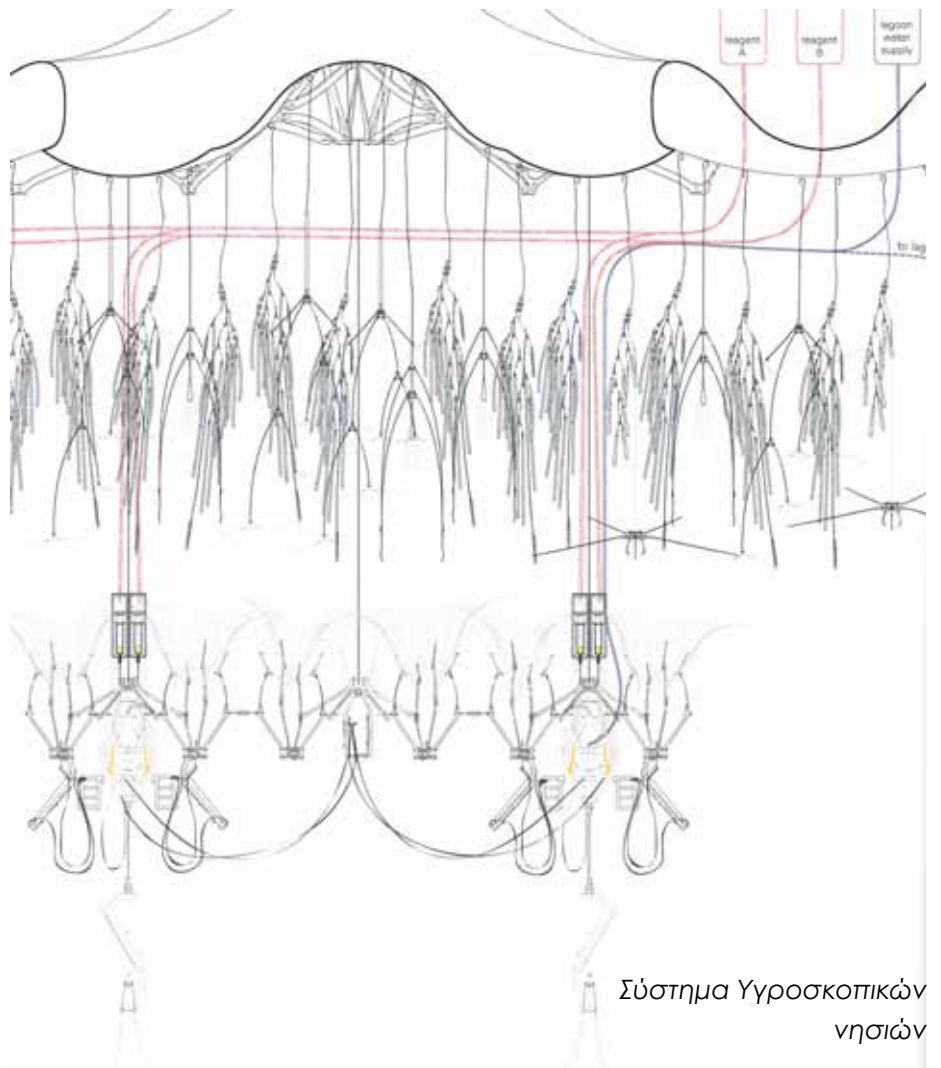
Υγροσκοπικά νησιά

Πέραν των «ζωντανών» χημικών διεργασιών που συμβαίνουν στην κατασκευή μέσω των συστημάτων protocells, υπάρχει και μια ακόμα χημική λειτουργία που συμβαίνει στο weed layer. Εκεί υπάρχουν αντιδραστήρια με ανόργανες χημικές ουσίες που είναι υγροσκοπικές, δηλαδή έχουν την ιδιότητα να δεσμεύουν την ατμοσφαιρική υγρασία και την αποθηκεύουν στο σώμα τους. Η διαδικασία αυτή στη συνέχεια λειτουργεί ως παροχή νερού στα υπόλοιπα χημικά συστήματα και επίσης διαλύει αρωματικές ουσίες που αρωματίζουν τον χώρο και προσελκύουν τον επισκέπτη ο οποίος θα δώσει τα ερεθίσματα για την ενεργοποίηση των συστημάτων της κατασκευής, μηχανικών και χημικών.

Η συνθετική-αρχιτεκτονική λειτουργία των protocells μπορεί να μην είναι απόλυτα εμφανής στο παράδειγμα που περιγράφηκε πιο πάνω. Πράγματι δεν μοιάζουν να δουλεύουν για κάποιο αντικειμενικό, λειτουργικό σκοπό στην κατασκευή. Ο λόγος είναι γιατί η τεχνολογία αυτή βρίσκεται ακόμη σε πολύ αρχικά στάδια και δεν είναι σε θέση να παράγει πραγματική αρχιτεκτονική. Ας μην ξεχνάμε ότι το Hylozoic Ground είναι ένα κτίριο-μανιφέστο χωρίς σημαντικές λειτουργικές απαιτήσεις που μοναδικό σκοπό έχει να πειραματιστεί και να πυροδοτήσει τη συζήτηση γύρω από το θέμα μιας ζωντανής προσαρμοστικής αρχιτεκτονικής. Μπορούμε όμως ακόμα και με την



Traube
Membranes



Σύστημα Υγροσκοπικών
νησίων

υποτυπώδη συμβολική σχεδόν χημική παραγωγή «αρχιτεκτονικής» στις φιάλες του Hylozoic Ground να καταλάβουμε τις βασικές αρχές «σύνθεσης» που προτείνουν, και να φανταστούμε ενδεχομένως τη συνέχεια.

The Venice Project

Μια πιθανή εφαρμογή που συζητήθηκε αρκετά, είναι μια πολεοδομικής κλίμακας παρέμβαση στην ιστορική πόλη της Βενετίας όπου και εκτίθεται στα πλαίσια της Biennale η εγκατάσταση του Hylozoic Ground. Η παρέμβαση αυτή έχει ως στόχο την συνέχιση της κατασκευής της πόλης μέσα και πάνω στο νερό: Προτείνεται η κατασκευή protocells που όταν ελευθερωθούν στα νερά της πόλης και έχοντας αρνητικό φωτοτροπισμό θα κινηθούν κάτω από τον κτισμένο ιστό της πόλης με σκοπό να επισκευάσουν τα θεμέλιά της. Τα protocells λοιπόν θα επικαθίσουν στα ξύλινα ταλαιπωρημένα θεμέλια της Βενετίας και μέσω μιας διαδικασίας ιζηματοποίησης κάποιων συστατικών που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό θα απολιθώσουν τα θεμέλια δημιουργώντας ένα τεχνητό ύφαλο. Ο ύφαλος αυτός θα συνεχιστεί προς τα πάνω, βγαίνοντας στην επιφάνεια των καναλιών ώστε να δημιουργήσει δημόσιο χώρο για τη Βενετία συμπληρώνοντας μια «συνθετική οικολογία» που ξεκίνησε από την ίδια την δημιουργία της πόλης η οποία εφάρμοσε αιώνες πριν, το σύστημα πασσάλων για δημιουργία του χώρου της.



εικόνα της Βενετίας πάνω και κάτω από το νερό, με τα protocells να κινούνται προς τα ξύλινα θεμέλια της πόλης



μια καλλιτεχνική απεικόνιση της μελλοντικής όψης της Βενετίας, με τον τεχνητό ύφαλο να δημιουργεί δημόσιο χώρο, συνεχίζοντας την συνθετική οικολογία της πόλης
<http://dprbcn.wordpress.com/2011/12/16/metabolic-venice/>

8. Διευρύνοντας την έννοια του σχεδιασμού - ο σχεδιασμός «ζωντανής» αρχιτεκτονικής

η χημεία ως μέσο σχεδιασμού

Η τεχνολογία των protocells είναι μια τεχνολογία που, αν και είναι δύσκολο να το αντιληφθεί κανείς εκ πρώτης όψεως, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την έννοια του σχεδιασμού:

- Εκμεταλλεύεται τους περιβαλλοντικούς πόρους, τους οποίους και επεξεργάζεται κατάλληλα, μετατοπίζοντας το υλικό στο χρόνο και στο χώρο, προσπαθώντας να αποφύγει την εντροπία
- Οι ιδιότητες των μικροκατασκευών που προκύπτουν από τη δράση των protocells συντονίζονται μέσω της συλλογικής διάδρασης και προκαλούν ιδιότητες υλικών πια σε μια μεγαλύτερη κλίμακα- ιδιότητες που είναι απόλυτα αρχιτεκτονικές.
- Ιδρύουν ένα νέο είδος σχεδιασμένου χώρου που μεταβάλλεται στο χρόνο όχι μόνο κατά τη διαδικασία σχεδιασμού αλλά και μετά την υλοποίησή του (μετα-χώρος/metaspaces). Ο αρχιτεκτονικός χώρος πλέον εγκαταλείπει την στατικότητα και γίνεται και αυτός ένα δυναμικό σύστημα εφόσον είναι κατασκευασμένος από υλικά τα οποία έχουν την δυνατότητα, μέσω του χημικού τους προγραμματισμού, να αλλάζουν τη δομή τους, να αυτο-διορθώνονται, να μεταβάλλουν τις μηχανικές τους ιδιότητες και να παράγουν ενέργεια.
- Προϋπόθεση για τον σχεδιασμό μετα-χώρων είναι μια σημαντική μεταβολή στην οικοδομική του κτιρίου. Για να είναι δυνατή η ανάδυση ιδιοτήτων μέσα από τον χημικό προγραμματισμό πρέπει η δομική μονάδα του κτιρίου να κατέβει σε κλίμακα. Το τούβλο πρέπει να αντικατασταθεί από το συνθετικό κύτταρο.
- Πιο συγκεκριμένα ο σχεδιασμός συμπυκνώνεται στον χημικό προγραμματισμό μιας αρχικής ομάδας χημικών «σπόρων» οι οποίοι εξελίσσονται και δημιουργούν την αρχιτεκτονική μέσα από μια διαδικασία ανάπτυξης που μοιάζει με αυτήν ενός εμβρύου στην μήτρα, μόνο που εδώ δεν είναι μια βιολογική διαδικασία ανάπτυξης αλλά μια διαδικασία χημικών αυτοματισμών-αντιδράσεων που πραγματοποιούνται ακολουθώντας τους νόμους της χημείας. Ένα παράδειγμα τέτοιας «αυτο-αναπτυσσόμενης» αρχιτεκτονικής μελετάται από την ερευνητική ομάδα Cronin Group του Πανεπιστημίου της Γλασκώβης. Η ομάδα αυτή πειραματίζεται με κρυστάλλους ανόργανων αλάτων που δημιουργούν σωληνοειδείς σχηματισμούς μήκους αρκετών χιλιάδων μικρών του μέτρου και διαμέτρου περίπου 10 μικρών. Η αρχιτεκτονική αυτών των σωληνών είναι σε μεγάλο βαθμό «σχεδιασμένη». Βέβαια δεν μπορούμε να μιλάμε για πραγματική «αρχιτεκτονική» με την έννοια του κτιρίου, γιατί απλούστατα η κλίμακα της κατασκευής είναι τόσο μικρή που δεν μπορεί να γίνει καν αισθητή η παρουσία μιας τέτοιας κατασκευής από τον άνθρωπο. Το ίδιο «λειτουργικό» πρόβλημα αντιμετωπίζει αντίστοιχα και ο χημικός σχεδιασμός του Hylozoic Ground. Ωστόσο, τα πειράματα αυτά μπορούν να είναι μια ένδειξη σχετικά με τα μονοπάτια που μπορεί να πάρει η αρχιτεκτονική έρευνα.

Η περιγραφή του Hylozoic Ground project περιέχει όρους που ακούγονται ξένοι σε μια συμβατική αρχιτεκτονική περιγραφή κτιρίου και μάλλον θα ήταν πιο δόκιμοι στην περιγραφή βιολογικών και χημικών συστημάτων. Οι όροι αυτοί χρησιμοποιούνται από τους δημιουργούς του έργου για να τονισθεί η προτεινόμενη στροφή της αρχιτεκτονικής δημιουργίας σε μια «ζωντανή» κατάσταση παρά σε μια αδρανή άκαμπτη σύνθεση. Η χρήση ορισμών όπως είναι η πέψη και η αναπνοή εντείνουν την εντύπωση της ζωής που θέλουν να δώσουν στο αρχιτεκτονικό έργο ενώ η χρήση χημείας και μάλιστα σε σημαντικό βαθμό εισηγείται μια στροφή του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού σε ένα χημικό επίπεδο.

Πράγματι, η κατασκευή φαίνεται να πληροί τις προϋποθέσεις για να ονομάζεται ζωντανή

και υποχρεώνει το χρήστη να την αντιμετωπίσει ως τέτοια: έχει ένα μάλλον ελκυστικό μυστηριώδες σώμα (διαφορετικό ως μορφή και ως υλικότητα από ένα συμβατικό κτίριο), ένα μεταβολισμό, του οποίου μάλιστα καταλύτης είναι ο ίδιος ο άνθρωπος-επισκέπτης και φαίνεται να έχει την δυνατότητα (ή μάλλον υπόσχεται) να αναπαράγει τον εαυτό του μέσω του χημικού δικτύου που διατρέχει το σώμα. Μπαίνοντας στο περιβάλλον του Hylozoic Ground, ο επισκέπτης δεν νιώθει ότι μπήκε σε ένα κτίριο, αλλά ότι εισχώρησε στα ενδότερα ενός τεχνητού αλλά ζωντανού σώματος, ότι εισέβαλε σε ένα δυναμικό περιβάλλον το οποίο φαίνεται να έχει πρωτοβουλία και προθέσεις. Ο επισκέπτης ζει σε μια περίεργη κατάσταση αφού βρίσκεται σε ένα κτίριο που σύμφωνα με τη λογική του δεν μπορεί να είναι ζωντανό κι όμως το νιώθει ως ζωντανό. Η λογική παλεύει να ξεκαθαρίσει τι πραγματικά συμβαίνει, αφού τα όρια ζωής – μη ζωής έχουν πάψει να είναι σαφή και η αναζήτηση της αλήθειας φτάνει σε ένα αδιέξοδο που το προκαλούν οι αισθήσεις. Η λογική δεν μπορεί να δεχθεί ότι η αδρανής ύλη μπορεί να υπάρξει ποτέ ζωντανή, όμως οι αισθήσεις έχουν την αντίθετη άποψη. Και πάλι έρχεται ο Γκέντελ στο μυαλό, που μας θυμίζει ότι η λογική έχει ένα όριο. Από την άλλη είναι ασαφές πού μπορεί να εμφανιστεί η παράνοια σε αυτή την περίπτωση: στο να αρνηθούμε κάτι που βλέπουμε και νιώθουμε ή στο να δεχτούμε κάτι που η λογική μας κρίνει αναληθές;

Το Hylozoic Ground project προσπαθεί να καταρρίψει την συνήθη αντιμετώπιση του κτιρίου ως εργαλείου που το μεταχειρίζεται ο χρήστης κατά βούληση. Αντίθετα προσπαθεί να ιδρύσει μια άλλου είδους σχέση, μια δυναμική αλληλεπίδραση μέσα από την οποία μπορεί να επανακαθοριστούν οι σχέσεις μας με το δομημένο περιβάλλον: προτείνει την αμφίδρομη διάδραση κτιρίου ανθρώπου. Η σχέση που δημιουργεί ο χρήστης-επισκέπτης με το κτίριο είναι παρόμοιας φύσης με τη σχέση που αναπτύσσει ένα βακτήριο με το διάλυμα σακχαρώζης στο οποίο βρίσκεται. Το κτίριο δεν μπορεί να «ζήσει» χωρίς τον άνθρωπο αφού ο άνθρωπος αποτελεί τον καταλύτη που πυροδοτεί τη ζωή σε αυτό και νοηματοδοτεί την ύπαρξή του. Ο άνθρωπος από την άλλη, δεν είναι πια ο χρήστης ενός αντικειμένου αλλά μετατρέπεται σε ένα λειτουργικό κομμάτι του αντικειμένου αυτού, συμμετέχει ως μέρος του αντικειμένου αυτού στη διαδικασία της ζωής. Η σχέση που νοηματοδοτεί την αρχιτεκτονική αλλάζει από μονόδρομη σχέση χρήστη-αντικειμένου σε μια αμφίδρομη πια σχέση ζωντανών συστημάτων τα οποία ιδωμένα σε ένα ευρύτερο σύνολο, αποτελούν συνέχεια και λειτουργικό τμήμα της φυσικής πραγματικότητας.

Εδώ βέβαια τίθεται ένα κρίσιμο ερώτημα ως προς τις προθέσεις του σχεδιασμού, κατά πόσο είναι επιθυμητό και σε ποιο βαθμό ένα κτίριο αυτονομείται. Το Hylozoic Ground προτείνει, ως μια έκφραση αρχιτεκτονικής πρωτοπορίας, μια πολύ ακραία δήλωση που ωστόσο δεν θα πρέπει να δημιουργεί στη φαντασία μας κτίρια που κινούνται και πόλεις-κτήνη τις οποίες θα προσπαθούμε να δαμάσουμε (αν και ως προς το δεύτερο η σημερινή πραγματικότητα δεν βρίσκεται πολύ μακριά αν το «κτήνος» εννοηθεί με μια μεταφορική έννοια). Αν θέλει να πει κάτι η αρχιτεκτονική αυτή πρόταση, είναι ότι η αδράνεια της κατασκευής είναι το μη φυσικό και όχι η ζωντανία της. Ένα δέντρο, μια αδι-αμφισβήτητα ολοζώντανη φυσική κατασκευή, δεν έβλαψε ποτέ ούτε άνθρωπο ούτε και το περιβάλλον. Γιατί λοιπόν να ισχυριστεί κανείς ότι ένα ζωντανό κτίριο του οποίου μάλιστα η συμπεριφορά θα ελεγχθεί στο σχεδιασμό, θα μπορούσε να βλάψει; Είναι προφανές πως ο σχεδιασμός δεν έπαψε να υπάρχει, αντίθετα ενισχύεται ακόμα πιο πολύ και διευρύνεται ως έννοια. Το Hylozoic Ground προτείνει ένα νέο τρόπο σχεδιασμού και μια νέα αναγεννημένη αρχιτεκτονική που θα σχεδιάζεται σε άλλες πια βάσεις- στις βάσεις που η ίδια η φύση σχεδιάζει και που έτσι και αλλιώς χαρακτηρίζουν το ευρύτερό μας σπίτι, το ευρύτερό μας σώμα.

Η συνθετική διαδικασία που παρήγαγε την κατασκευή αυτή, δεν σχεδίασε την κατασκευή την ίδια αλλά την χρειοδότης. Σχεδίασε το αφηρημένο διάγραμμα των μερών και των λειτουργιών το οποίο παρήγαγε το Hylozoic Ground project ενώ προηγουμένως είχε δώσει άλλες «συγγενείς» κατασκευές. Η κατασκευή λοιπόν προτείνει ένα σχεδιασμό που θα περιγράφει πλήρως τις παραμέτρους που θα ορίζουν τις αρχιτεκτονικές ποιότητες και το είδος των σχέσεων που ενδεχομένως θα αναπτυχθούν

μεταξύ των παραμέτρων αυτών. Είναι δηλαδή ως προς την μεθοδολογία του ένας -κλασικός πια – παραμετρικός σχεδιασμός. Τέλος ο σχεδιασμός ορίζει ένα επιπλέον στοιχείο που θα οργανώνει το δίκτυο των αλληλεπιδράσεων των μερών και θα μπορεί να κινεί τη διαδικασία παραγωγής του εαυτού του . Το τελευταίο αυτό στοιχείο είναι σε κάθε περίπτωση, μορφή πληροφορίας και άρα κώδικας που είτε συντάσσεται σε περιβάλλον Η.Υ. ή προγραμματίζεται χημικά. Η μορφολογική υλοποίηση του, αφηρημένου κατά κάποιο τρόπο αλλά απόλυτα καθορισμένου, σχεδιασμού δεν σχεδιάζεται αλλά αναδύεται μέσα από τις ίδιες διαδικασίες από τις οποίες αναδύονται και οι μορφές στον έμβιο κόσμο.

9. «Μαλακό», «κυκλικό» και «ζωντανό»

Το Hylozoic Ground είναι μια αρχιτεκτονική πρωτοπορία, μια κατασκευή-μανιφέστο. Ωστόσο, το θεωρητικό της υπόβαθρο δεν είναι κάτι καινούριο. Από το 1975 ο Nicholas Negroponte, ιδρυτής του Media Lab του MIT, με την ομάδα Architecture Machine Group εκδίδουν το βιβλίο "Soft Architecture Machines" όπου εκφράζονται οι πρώτες ιδέες για μια αρχιτεκτονική προσέγγιση, αν όχι ζωντανή, τουλάχιστον διαδραστική. Ο Negroponte περιγράφει την αρχιτεκτονική αυτή ως «μαλακή (soft)» γιατί μπορεί να αλλάζει μορφή και να αναδιοργανώνεται στο χώρο και στο χρόνο. Το μέσο για την επίτευξη του «μαλακού» χαρακτηριστικού είναι τόσο ένας πληροφοριακός προγραμματισμός (η ύπαρξη κώδικα) όσο και ένας χημικός προγραμματισμός (η ύπαρξη έξυπνου υλικού). Επίσης η αρχιτεκτονική αυτή είναι «κυκλική (cyclic)» με την έννοια ότι βρίσκεται σε ένα συνεχή κύκλο δημιουργίας και καταστροφής των στοιχείων που την αποτελούν. Μπορούμε να διακρίνουμε εύκολα ότι πίσω από την περιγραφή της αρχιτεκτονικής αυτής, διαφαίνεται ο ορισμός του αυτοποιητικού συστήματος. Εξάλλου το βιβλίο "Soft Architecture Machines" εκδίδεται την ίδια

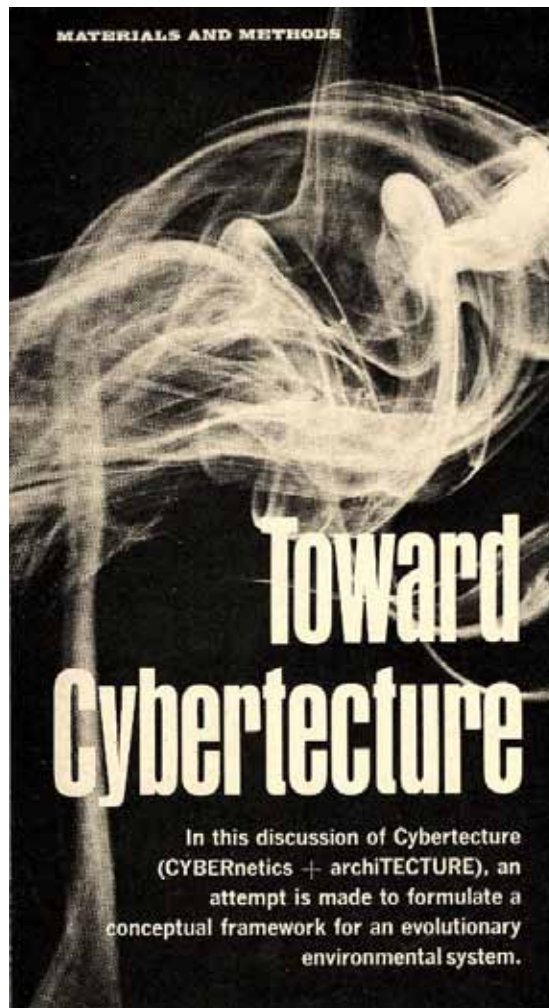
*"Soft Architecture Machines" 1975
Nicholas Negroponte*



<http://www.amazon.com/Soft-Architecture-Machines-Nicholas-Negroponte/dp/0262140187>

περίπου περίοδο που οι Maturana και Varela μιλούν και γράφουν για το αυτοποιητικό σύστημα. Και τα δύο χαρακτηριστικά που αναφέρει η Architecture Machine Group μοιάζουν να ξεφεύγουν από τον συμβατικό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και να κινούνται σε μονοπάτια που ανήκουν μάλλον στη χημεία. Τόσο το «μαλακό» όσο και το «κυκλικό» χαρακτηριστικό είναι έννοιες χημικής χροιάς: το μεν πρώτο αναφέρεται σε τροποποίηση-μετάλλαξη του υλικού, το δε δεύτερο αναφέρεται σε χημική αντίδραση σύνθεσης και αποσύνθεσης του υλικού.

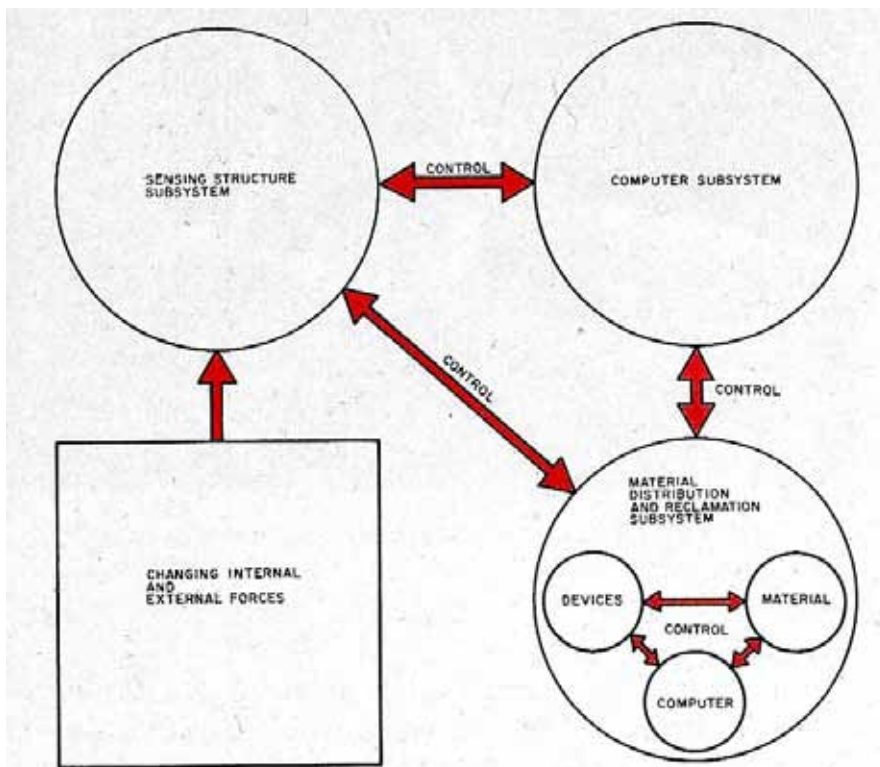
Στο ίδιο θεωρητικό υπόβαθρο κινείται και ένας άλλος αρχιτέκτονας, ο Wolf Hilbertz ο οποίος προτείνει ένα τρόπο αντιμετώπισης της αρχιτεκτονικής πολύ κοντά στο σκεπτικό του Negroponte αλλά και κοντά στις αρχές σχεδιασμού του έμβιου κόσμου. Ο Wolf Hilbertz ονομάζει την νέα αρχιτεκτονική που προτείνει "cybertecture". Το όνομα cybertecture προκύπτει από την ένωση των λέξεων **cybernetics** και **archiitecture** και ουσιαστικά προτείνει μια αρχιτεκτονική που σχεδιάζει όχι μόνο τα στοιχεία αλλά και τις επιδράσεις που έχει η συσχέτιση των στοιχείων αυτών. Προφανώς η δουλειά του Hilbertz είναι έντονα επηρεασμένη από την κυβερνητική (cybernetics) που όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτέλεσε την πρώτη μορφή της θεωρίας των συστημάτων. Ο Hilbertz αναγνωρίζει ότι στους ζωντανούς οργανισμούς κρύβεται ενσωματωμένη συσσώρευση γνώσης αφού οι οργανισμοί αυτοί έχουν τελειοποιηθεί μέσα από μια μακρά διαδικασία εξέλιξης. Αυτό που η cybertecture θέλει να επιτύχει, είναι την εφαρμογή ενός αρχιτεκτονικού συστήματος που θα εκμεταλλευθεί αυτή την δεξαμενή γνώσης.



http://www.wolfhilbertz.com/downloads/1970/hilbertz_t_cybertecture_1970.pdf

Ο Hilbertz παρατηρεί ότι το χαρακτηριστικό στοιχείο της ζωής είναι η ικανότητα των ζωντανών οργανισμών να καταναίμουν την ύλη μέσα από πολύπλοκες διαδικασίες. Σε αυτή την παρατήρηση εντοπίζεται μια έντονα αρχιτεκτονική χροιά: ο τρόπος κατανομής της ύλης είναι ταυτόχρονα δημιουργία χώρου και άρα υπόβαθρου υποδοχής χρήσεων. Οι ζωντανοί οργανισμοί είναι εν γένει «αρχιτέκτονες» του εαυτού τους αλλά και του περιβάλλοντος. Και η αρχιτεκτονική τους ικανότητα ως κληρονομικό «χάρισμα» (το χάρισμα αυτό είναι το DNA) με την πάροδο του χρόνου βελτιώνεται μέσα από την διαδικασία της εξέλιξης.

Η cybertecture προσπάθησε να υλοποιήσει με όρους αρχιτεκτονικής, την ιδιότητα της κατανομής της ύλης μέσα από οργανικές διαδικασίες. Η κατασκευή αυτή δίνει ένα από τα πιο ξεκάθαρα μοντέλα «ζωντανής αρχιτεκτονικής» και στηρίζεται σε τρία αλληλοσχετιζόμενα μέρη: α) σε ένα εγκέφαλο ηλεκτρονικού υπολογιστή που είναι το συντονιστικό κέντρο των υποσυστημάτων β) σε ένα υποσύστημα κατανομής και επανάκτησης (distribution and reclamation subsystem) του υλικού που λειτουργεί ως ο μεταβολικός μηχανισμός και σε ένα υποσύστημα αισθητήριων οργάνων (sensing subsystem). Το μοντέλο προτείνει μια διαδικασία παραγωγής του εαυτού του μέσα από χημικές διεργασίες που έχουν ως αποτέλεσμα την κατανομή υλικού στο χώρο. Οι αισθητήρες ανιχνεύουν τις λειτουργικές ανάγκες της κατασκευής και ενημερώνουν τον εγκέφαλο, ο οποίος συνεχώς μεταβάλλει και προσαρμόζει την κατανομή ύλης στο μοντέλο ώστε να ικανοποιηθούν οι ανάγκες αυτές. Η Cybertecture προτείνει μια «υλική οικολογία» (material ecology) που είναι κοντά στην φυσική πραγματικότητα και που σίγουρα αποτέλεσε βάση για την διαμόρφωση της ιδέας της «συνθετικής οικολογίας» που προτείνει η Hylozoic Series αλλά και το Venice project . Μάλλον είναι κάτι παραπάνω από βάση για την διαμόρφωση των σύγχρονων αυτών προτάσεων- μπορούμε να ισχυριστούμε ότι είναι άλλες παρεμφερείς υλοποιήσεις της ίδιας σκέψης, χρησιμοποιώντας μάλιστα και τα ίδια εργαλεία για την υλοποίηση αυτή.

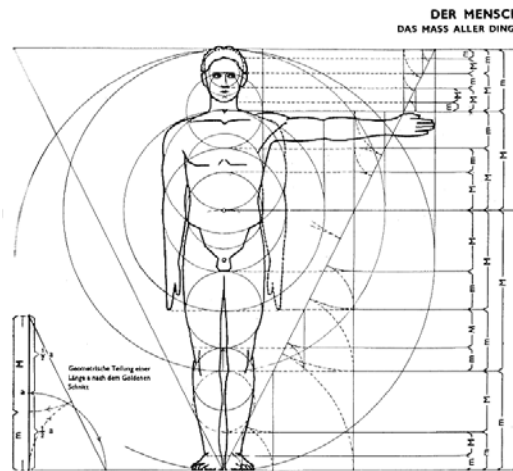


διάγραμμα δομής της Cybertecture

http://www.wolfhilbertz.com/downloads/1970/hilbertz_t_cybertecture_1970.pdf

10. «Ιδανική μορφή» ή «ατελείς παραλλαγές» - Η μηχανή της εξέλιξης

Η Cybertecture και γενικά παρόμοιες ιδέες που χαρακτηρίζονταν από μια μη γραμμική, «χωρο-χρονική» και όχι στατική αντίληψη της αρχιτεκτονικής, βρίσκουν αντίθετες τις αντιλήψεις και θεωρίες που από τις αρχές του 20ού αιώνα επικρατούσαν στην αρχιτεκτονική σκέψη. Το μοντέρνο έχοντας τις βάσεις του σε φιλοσοφικά κινήματα όπως ο λογικός θετικισμός, βρισκόταν μάλλον στην αντίπερα όχθη αυτών που η κατά Hilbertz «ζωντανή» αρχιτεκτονική πρεσβεύει. Η χρήση του όρου «μοντέρνο» εδώ είναι μια γενίκευση, αφού το μοντέρνο δεν είχε ιστορικά ένα μόνο πρόσωπο και μια φωνή, αλλά εκφράστηκε με πολλούς τρόπους που ήταν πολλές φορές αντιθετικοί μεταξύ τους. Εδώ ο όρος μοντέρνο χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει την αντίληψη εκείνη που σχεδίαζε για ένα «ιδανικό μέσο άνθρωπο» ο οποίος είχε τις ίδιες ανάγκες σε όλα τα μήκη και πλάτη του πλανήτη. Η γενίκευση αυτή δεν είναι ιδιαίτερα προβληματική σε αυτή την περίπτωση, αφού όσες παρεκκλίσεις και αν εμφάνισε εσωτερικά το μοντέρνο, ποτέ δεν έφτασε στην άλλη άκρη για να συναντήσει της ιδέες του Negroponte και του Hilbertz. Η λογική του μοντέρνου παρήγαγε κτίρια με «τέλεια», ιδανικά χαρακτηριστικά και αναλογίες. Όμως, ο ιδανικός μέσος δεν υπάρχει στη φύση – δεν θα συναντήσει ποτέ κανείς τον άνθρωπο που σχεδίασε ο Ernst Neufert στο γνωστό σε όλους μας εγχειρίδιό του “Bauentwurfslehre”.



ο “μέσος άνθρωπος”
(από το εγχειρίδιο
αρχιτεκτονικής σύνθεσης
του E. Neufert)

Η ζωή λειτουργεί πολύ μακριά από τη λογική της «ιδανικής μορφής». Αυτό έγινε γνωστό στην επιστήμη της βιολογίας μέσα από τη δουλειά επιστημόνων όπως ο Δαρβίνος, ο Mendel και ο Waddington. Αυτοί ανέτρεψαν την ιδέα ότι οι πληθυσμοί των ζώων αλλά και το ανθρώπινο είδος είναι μάλλον ατελείς ενσαρκώσεις μιας «ιδανικής μορφής», υποστηρίζοντας ότι η ιδανική μορφή δεν είναι τίποτα άλλο από ένα απομεινάρι αρχαίων φιλοσοφιών (Αριστοτέλης) που δεν μπορεί να έχει θέση στη σύγχρονη επιστήμη. Αντίθετα υποστηρίζουν το άκρως αντίθετο : μόνο οι παραλλαγές είναι πραγματικές ενώ η «ιδανική μορφή» είναι απλά μια σκιά. Εξάλλου η ίδια η διαμόρφωση των χαρακτηριστικών που η ιδεώδης μορφή θα έπαιρνε είναι αποτέλεσμα της εξέλιξης, μιας διαδικασίας που στηρίζεται στην παραλλαγή. Η ιδανική μορφή είναι εξορισμού στατική και άρα μη εξελίξιμη.

«Η ζωή είναι μια αυτό-ρυθμιζόμενη διαδικασία. Όλα τα ζωντανά συστήματα τείνουν να προσαρμόζονται σε ένα σύνολο συγκεκριμένων στόχων της εξέλιξης, οι οποίοι (στόχοι) είναι αποτέλεσμα εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων επιλογής. Οργανωτικές δομές και μηχανισμοί που δημιουργούνται μέσω της εξέλιξης, καθιστούν την ίδια τη διαδικασία της εξέλιξης εφικτή. Αυτές (οι δομές και οι μηχανισμοί της εξέλιξης) δουλεύουν και συνεχώς βελτιώνονται εδώ και έξι ή επτά εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Επομένως όλες οι μορφές ζωής αποτελούν ένα τεράστιο πλούτο εμπειρίας από τον οποίο μπορούμε να αντλήσουμε. Αν εξετάσουμε και συνειδητά ενσωματώσουμε στην τεχνολογία μας τις αρχές και τους μηχανισμούς της εξελικτικής διαδικασίας, θα ανακαλύψουμε .. περιβάλλοντα με νέες δυνατότητες που δεν είχαν ποτέ άλλοτε» Wolf Hilbertz 1970, σ98)»

Πράγματι η εξελικτική διαδικασία αποτελεί μια διαδικασία παραγωγής και βελτιστοποίησης της ζωντανής μορφής. Ανάγοντας την βιολογική σημασία της διαδικασίας σε μια πιο αφαιρετική μορφή, μπορούμε να πούμε ότι: ο όποιος συνδυασμός αυθόρμητης παραλλαγής (spontaneous variation) και πιέσεων επιλογής σε ένα σύστημα που έχει κάποια χαρακτηριστικά καταλήγει σε ένα είδος “μηχανής αναζήτησης”. Αυτή η μηχανή εξερευνά ένα χώρο δυνατοτήτων και καταλήγει μετά από επάλληλες επαναλήψεις της διαδικασίας σε «καλούς» συνδυασμούς χαρακτηριστικών. Για ένα σύστημα ο αόριστος χαρακτηρισμός «καλός» σημαίνει μια επίλυση πολύ πιο σταθερή ή πιο κοντά στην ισορροπία του συστήματος. Η «εξελικτική μηχανή αναζήτησης» δίνει εν ολίγοις σταθερές λύσεις σε προβλήματα που θέτει το περιβάλλον.

Η μηχανή που περιγράφηκε πιο πάνω δεν είναι ένα άγνωστο σχήμα στους επιστήμονες αφού αποτελεί συχνή μέθοδο επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης. Η χρησιμότητα αυτής της μεθόδου ωστόσο δεν μένει μόνο στο επίπεδο της αριθμητικής βελτιστοποίησης- είναι κατά βάση μια δημιουργική μέθοδος. Μπορεί λοιπόν μια τέτοια μηχανή αναζήτησης να αποτελέσει σχεδιαστική μέθοδο και εργαλείο; Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ένα εργαλείο που επιχειρεί την παραγωγή αρχιτεκτονικής μορφής μέσω μιας διαδικασίας που εμπλέκει την έννοια της βιολογικής εξέλιξης.

11. GENR-8

Στην παράγραφο 4 περιγράφηκε η λογική πίσω από τις διαδικασίες της ανάπτυξης και της εξέλιξης, μέσα από την οπτική της θεωρίας του Waddington. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 10, η ίδια η εξελικτική διαδικασία αποτελεί μια μηχανή αναζήτησης «λύσεων» η οποία εν γένει έχει ένα δημιουργικό χαρακτήρα. Το εργαλείο που θα αναλυθεί στη συνέχεια, είναι μια προσπάθεια εφαρμογής αυτής της λογικής στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Το Genr8 είναι ένα plug-in στο πρόγραμμα τρισδιάστατης σχεδίασης Maya γραμμένο σε C++ ενώ η επικοινωνία με το Maya γίνεται μέσω τμήματος του plug-in που είναι γραμμένο σε MEL (Maya embedded scripting language). Είναι αποτέλεσμα έρευνας της ομάδας Emergent Design Group του MIT, η οποία αποτελείται από αρχιτέκτονες της Σχολής Αρχιτεκτόνων και επιστήμονες της πληροφορικής από το Artificial Intelligence Lab του MIT. Η εφαρμογή αυτή πραγματεύεται τις σχεδιαστικές δυνατότητες και των δύο διαδικασιών που μελετήθηκαν στην παράγραφο 4, τόσο της ανάπτυξης όσο και της εξέλιξης της μορφής.

Το Genr8 είναι ένα εργαλείο τρισδιάστατης μοντελοποίησης επιφανειών που σχεδιάστηκε με στόχο να εξερευνήσει τις δυνατότητες που δίνουν οι εφαρμογές της βιολογίας στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Συγκεκριμένα εφαρμόζει, με κάποιες προσαρμογές, ένα βιολογικό εξελικτικό αλγόριθμο (Evolutionary Algorithm) που ονομάζεται Grammatical Evolution που προτάθηκε από τους Ryan και O'Neill. Ο τρόπος που παράγονται οι επιφάνειες στο Genr8 είναι αντίστοιχος με συγκεκριμένες διαδικασίες της βιολογικής ανάπτυξης και εξέλιξης. Η λειτουργία του προγράμματος είναι όμοια με τη λειτουργία της μεταγραφής και αντιγραφής του DNA στα κύτταρα και τελικά με τον σχηματισμό κυτταρικών δομών. Σε γενικές γραμμές ο σχεδιασμός του προγράμματος ακολουθεί τον τρόπο «σχεδιασμού» των βιολογικών κυττάρων, έχοντας σαν μοντέλο ανάπτυξης τα map L-systems.

L-systems, map L-systems, Hemberg Extended map L-systems (HEMLS)

Τα L-systems είναι κάποια μοντέλα αλγορίθμων που προτάθηκαν από τον βιολόγο Arisfid Lyndermayer το 1989 για την περιγραφή της ανάπτυξης φυτών. Τα map L-systems έχουν την ίδια λογική με τα απλά L-systems και προτάθηκαν ως προσομοίωση κυτταρικής ανάπτυξης στα φυτά. Είναι βασικά μια μέθοδος παραγωγής γραφημάτων με κύκλους, τα οποία με μια κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να προσομοιώσουν κυτταρικές δομές. Η διαφορά τους είναι ότι ενώ τα L-systems είναι δενδρικές δομές, τα map L-systems παράγουν επιφανειακές κατασκευές (κλειστά σχήματα) αφού έχουν την δυνατότητα να συνενώνουν κλάδους και να δημιουργούν βρόγχους. Για την πε-

ρίπτωση του Gen8, τα map L-systems τροποποιήθηκαν με κάποιες προσθήκες στο αρχικό μοντέλο για να εκφράσουν επιφανειακές δομές στον τρισδιάστατο χώρο, αφού χωρίς την τροποποίηση αυτή, οι κατασκευές που προκύπτουν ανήκουν στο επίπεδο. Το νέο σύστημα που προκύπτει και που χρησιμοποιείται από το Gen8 ονομάζεται HEMLS (Hemberg Extended Map L-systems).

Lyndermayer System- ορισμός

Ορίζονται τα σύνολα

V : αλφάβητο (alphabet)

V^* : το σύνολο όλων των λέξεων που μπορούν να σχηματιστούν από τα στοιχεία του V

V^+ : το σύνολο όλων των μη κενών (non empty) λέξεων που μπορούν να σχηματιστούν από τα στοιχεία του V

Ένα αλφαριθμητικό (string) χωρίς συμφραζόμενα (context free) του συστήματος Lyndermayer είναι μια διατεταγμένη τριάδα $G = \{ V, \omega, P \}$

Όπου : V είναι το αλφάβητο ,

ω είναι μια μη κενή (non empty) λέξη που ονομάζεται «αξίωμα»,

με $\omega \in V^+$

και $P \subset V \times V^*$ ένα πεπερασμένο σύνολο παραγωγών (productions) – μια παραγωγή ορίζεται ως η μετατροπή $a \rightarrow \chi$, όπου το a προηγείται της μετατροπής και το χ ακολουθεί, έτσι ώστε για κάθε $a \in V$, $\exists \chi \in V^*$ ώστε $a \rightarrow \chi$.

Το L-system θεωρείται ντετερμινιστικό μόνο αν για κάθε $a \in V$ υπάρχει ακριβώς ένα $\chi \in V^*$ έτσι ώστε $a \rightarrow \chi$.

Έστω $\mu = a_1, a_2, \dots, a_m$ μια τυχαία λέξη του V . Η λέξη $\nu = \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_m$ παράγεται από την μ

(και γράφουμε $\mu \Rightarrow \nu$) μόνο αν $a_i \rightarrow \chi_i, i = 1, 2, \dots, m$.

Μια λέξη ν και μήκους n παράγεται από το G εάν υπάρχει μια ακολουθία λέξεων $\mu_0, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ τέτοια ώστε $\mu_0 = \omega$, $\mu_n = \nu$ και $\mu_0 \Rightarrow \mu_1 \Rightarrow \mu_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow \mu_n$

Αν για παράδειγμα έχουμε το $V : \{ a, b, c, d \}$ με $P : \{ a \rightarrow bc, b \rightarrow bc, c \rightarrow ab \}$ και $\omega = b$ τότε το μοντέλο ανάπτυξης θα εξελισσόταν ως εξής :

b

bc

bab

$bcabc$

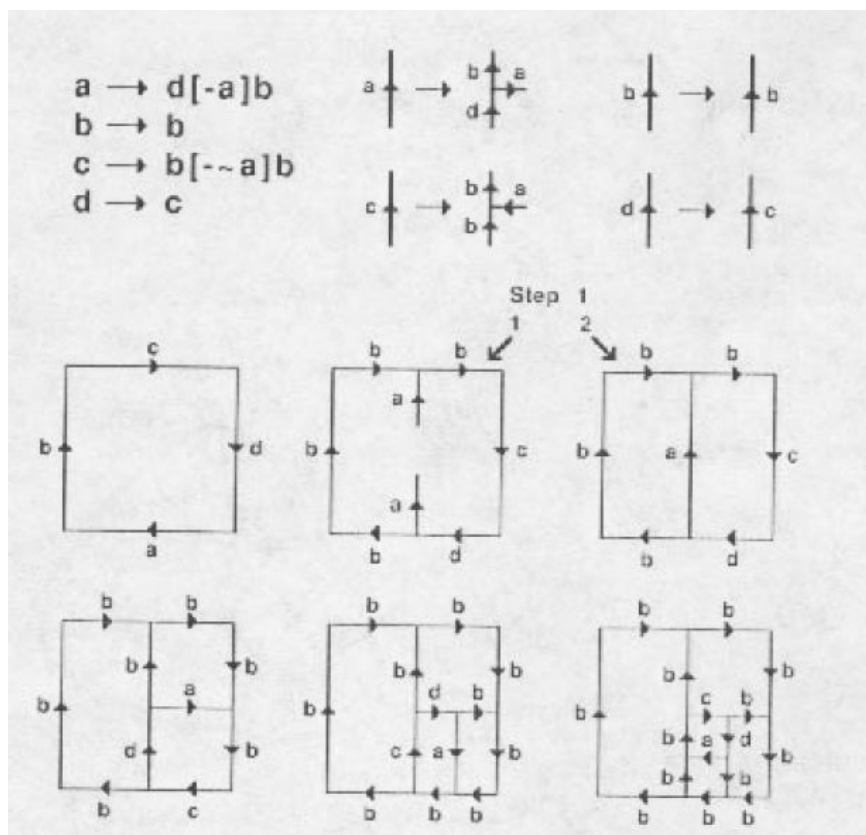
$bababab$

$bcabcabcabc$

.....

Ένα σύστημα Lyndermayer μπορεί να σχεδιαστεί μέσα από ένα σύνολο εντολών μετακίνησης του κέρσορα (σημείου) στις 3 διαστάσεις (x,y,z) εφαρμόζοντας απλές εντολές μετακίνησης ή στροφής. Κάθε εντολή αντιστοιχεί σε ένα σύμβολο του κώδικα. Το αποτέλεσμα θα είναι πάντα μια δενδροειδής κατασκευή. Τα a,b,c και d αντιστοιχούν σε κάποιες γραμμικές κατασκευές που είναι τα «κλαδιά» του δέντρου και έτσι η πιο πάνω ακολουθία παραγόμενων λέξεων περιγράφει τα διαδοχικά στάδια της ανάπτυξης του δέντρου.

Επειδή όμως το πρόγραμμα θέλει να κατασκευάσει επιφάνεια και όχι μια δενδροειδή κατασκευή χρησιμοποιεί μια άλλη μορφή του ίδιου συστήματος, την Hemberg Extended map L-systems (HEMLS) που είναι μια μορφή map L-systems στον τρισδιάστατο χώρο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί το map L-systems μπορεί να σχηματίζει κλειστούς βρόγχους και έτσι να ξεφεύγει από την δενδροειδή γεωμετρία των απλών L-systems. Η συνένωση αυτή γίνεται με την εισαγωγή ενός κανόνα συνένωσης κλάδων όπου αυτό είναι εφικτό. Η δυνατότητα αυτή καθορίζεται από μια σταθερά c που ονομάζεται tolerance (ανοχή). Δύο κλάδοι a_1 και a_2 μπορούν να συνενωθούν μόνο αν το εσωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων της διεύθυνσης των κλάδων είναι μικρότερο του c. Δηλαδή πρέπει $|a_1| \cdot |a_2| \cos\theta < c$ με θ η περιεχόμενη γωνία των a_1 και a_2 . Η συνένωση των κλάδων είναι ζήτημα της διεύθυνσης τους (της γωνίας θ) και της σταθεράς c που καθορίζει ο χρήστης. Η συνένωση αυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους (σύγχρονα, αφού κάνει πρώτα όλες τις μετατροπές ή ασύγχρονα, μετά από κάθε μετατροπή ξεχωριστά) Πιο κάτω φαίνεται ένα απλό map L-system και τέτοιες συνενώσεις.



ένα απλό παράδειγμα map L-systems όπως παρουσιάζεται στο Thesis document του Genr8. Οι κανόνες παραγωγής (productions) φαίνονται στην πάνω σειρά. Στις επόμενες 2 σειρές φαίνονται οι διαδοχικές εφαρμογές των κανόνων παραγωγής αρχίζοντας από ένα "seed" (το σχήμα στη μεσαία σειρά και αριστερά)

Για να αυξηθεί ο βαθμός πολυπλοκότητας των παραγόμενων λύσεων έτσι ώστε να προκύψουν ενδιαφέρουσες λύσεις μέσω ανάδυσης κατασκευάζεται ένα αλφαριθμητικό με ευαισθησία στα συμφραζόμενα (context sensitive string) το οποίο παράγεται από στοχαστικούς κανόνες παραγωγής (stochastic production rules).

Ένα L-system με ευαισθησία στα συμφραζόμενα (context sensitive L-system) έχει τη μορφή (k,l) -system όπου τα k και l είναι οι αριθμοί λέξεων αριστερά και δεξιά του γράμματος a που θα δώσει μια παραγωγή. Αυτό σημαίνει ότι το $a \rightarrow \chi$ μόνο αν έπεται των k γραμμάτων και προηγείται των l γραμμάτων. Ειδικά στο Gen8 το σύστημα με ευαισθησία στα συμφραζόμενα έχει ως εξής:

Σύμβολο (Symbol)	Συμφραζόμενο (context)
a	Χωρίς συμφραζόμενα (context free)
b<a	Με ευαισθησία στα συμφραζόμενα από αριστερά (left-side context sensitive)
a>b	Με ευαισθησία στα συμφραζόμενα από δεξιά (right-side context sensitive)
b<a>c	με ευαισθησία στα συμφραζόμενα από δεξιά και από αριστερά (Left and right context sensitive)

Οι στοχαστικοί κανόνες εισάγονται με την μορφή πιθανότητας $\pi(p)$ σε υποψήφιες παραγωγές ή με βάση άλλα κριτήρια όπως για παράδειγμα ο αύξων αριθμός της κάθε παραγωγής. Στο thesis document του M. Hemberg δίνεται ένα παράδειγμα απλού στοχαστικού L-system με ευαισθησία στα συμφραζόμενα που παρατίθεται στη συνέχεια:

Τρόπος λειτουργίας του αλγόριθμου- αντιστοιχία με τη βιολογική διεργασία

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί ένα γενετικό αλγόριθμο (EA) που ονομάζεται Grammatical Evolution EA που στηρίζεται στην BNF αναπαράσταση του μοντέλου ανάπτυξης HEMLS. Γενικά ο γενετικός αλγόριθμος σαν φιλοσοφία, είναι ένας κώδικας που προσπαθεί να προσεγγίσει την βέλτιστη/επιθυμητή λύση σε ένα πρόβλημα με την αντίστοιχη διαδικασία: από τυχαίες τιμές εισόδου που βρίσκονται στο πεδίο ορισμού και που κάθε μια αντιστοιχεί σε ένα γονιδίωμα², ο αλγόριθμος δίνει αντίστοιχα κάποιες τιμές εξόδου που απαντούν στο πρόβλημα, άλλες με καλύτερο και άλλες με χειρότερο τρόπο (σε σχέση με αυτό που καθορίστηκε από τον χρήστη ως επιθυμητή λύση). Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν μια γενεά λύσεων και κάθε ένα από αυτά χαρακτηρίζεται από ένα βαθμό καταλληλότητας (fitness) ως προς το αρχικό πρόβλημα. Ο αλγόριθμος κρατά τα πιο καλά αποτελέσματα, δηλαδή αυτά με τις πιο ψηλές τιμές καταλληλότητας (fitness values) και τα υποβάλλει σε διασταύρωση και μετάλλαξη. Τα γονιδιώματα που προκύπτουν από την διαδικασία αυτή αποτελούν τη νέα γενεά εισόδου του αλγορίθμου η οποία θα δώσει τη νέα γενεά εξόδου η οποία στο σύνολο της θα αποτελείται από πιο βελτιωμένες λύσεις. Θεωρητικά μια συνεχής επανάληψη της διαδικασίας θα δίνει όλο και πιο «καλές» λύσεις (με αυξημένο fitness value) που βελτιστοποιούν την επίλυση του προβλήματος. Στο Gen8 η τιμή εισόδου είναι ένα δυαδικό αλφαριθμητικό (binary string) δηλαδή μια σειρά από bits 0,1 που μέσα από δύο φάσεις αντιστοίχισης (mapping) θα δώσει ως τελική λύση εξόδου μια επιφάνεια στο interface του Maya.

Το πρόγραμμα λοιπόν πραγματοποιεί δύο διαδικασίες αντιστοίχισης (mapping) δεδομένων. Ξεκινά από ένα δυαδικό αλφαριθμητικό (binary string) που είτε ορίζεται τυχαία ή παράγεται από μια καμπύλη που θα σχεδιάσει ο χρήστης στο Maya. Στη συνέχεια το Gen8

² Το γονιδίωμα αυτό είναι μια ακολουθία αριθμών, για παράδειγμα ένα integer string, που με κάποιο τρόπο καθορίζει πώς θα εξελιχθεί η λύση του προβλήματος.

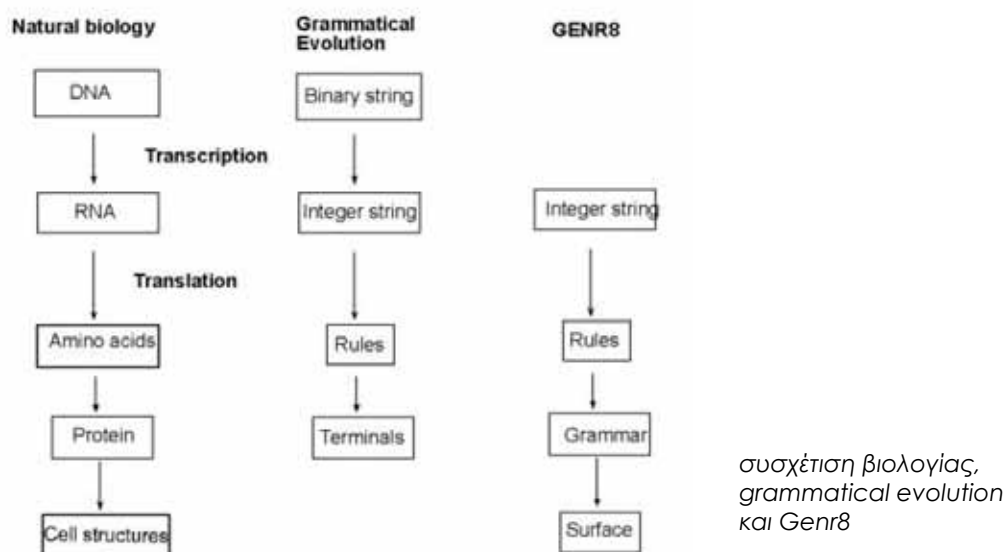
αντιστοιχεί το binary string σε δεκαδικό αλφαριθμητικό (integer string) το οποίο αποτελεί και το γονιδίωμα (genome). Ο κώδικας του Genr8 χρησιμοποιεί το γονιδίωμα αυτό μέσω της BNF Backus-Naur Form για να καθορίσει τους κανόνες με τους οποίους το πιο πάνω μοντέλο ανάπτυξης HEMLS θα παράγει τις γραμματικές (grammars) που μετά θα γίνουν επιφάνειες.

αντιστοίχιση 1 (mapping 1)	binary string → integer string
αντιστοίχιση 2 (mapping 2)	δεκαδικό αλφαριθμητικό (integer string) γονιδίωμα → (grammar→) επιφάνεια φαινότυπος

Η BNF Backus-Naur Form είναι μια βασική τεχνική σημειογραφίας της σύνταξης μιας γλώσσας. Είναι δηλαδή οι κανόνες με τους οποίους συντάσσεται η όποια γραμματική προκύπτει από κώδικα. Στο Genr8 ο ρόλος της BNF είναι να καθορίζει τις προδιαγραφές που πρέπει να έχει η κατασκευή των HEMLS ώστε να είναι αποδεκτή ως γραμματική. Είναι κρίσιμος ο ρόλος της BNF γιατί καθορίζει το πεδίο των πιθανών λύσεων που θα δώσει το πρόγραμμα. Καθορίζει τον φασικό χώρο του προβλήματος, ορίζοντας τα απαραίτητα συντακτικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει μια HEMLS- επιφάνεια που παράγεται ώστε να ανήκει στο σύνολο των αποδεκτών επιφανειών. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται το τεράστιο πεδίο πιθανών λύσεων που μπορούν να δημιουργήσουν τα HEMLS και ο χρήστης μπορεί να πάρει ενδιαφέρουσες λύσεις πολύ πιο εύκολα. Το Genr8 χρησιμοποιεί 4 BNFs (symmetric, reversible, probabilistic και default) κάθε μια από τις οποίες δίνει διαφορετικά σύμπαντα επιφανειών.

Η BNF λοιπόν αν και χρησιμοποιείται ως μηχανισμός ελέγχου, συνδυασμένη με την λειτουργία του μοντέλου ανάπτυξης HEMLS, «παράγει» τη γραμματική που θα δώσει τον φαινότυπο δηλαδή την επιφάνεια. Μια γραμματική περιγράφεται ως μια τετράδα συνόλων {N, T, S, P} όπου το N είναι το σύνολο των μη τερματικών στοιχείων (non terminals), T το σύνολο των τερματικών στοιχείων (terminals), S το αρχικό στοιχείο (start symbol), και P το σύνολο των κανόνων παραγωγής (production rules) που αντιστοιχούν τα στοιχεία του N σε στοιχεία του T.

Οι διαδικασίες αντιστοίχισης όπως και η ίδια η φιλοσοφία του γενετικού αλγόριθμου είναι εμπνευσμένες από βιολογικές διαδικασίες παραγωγής «λύσεων» που στην περίπτωση της βιολογίας είναι οι ζωντανοί οργανισμοί. Οι δημιουργοί του προγράμματος παρουσιάζουν την αντιστοίχιση αυτή στο πιο κάτω διάγραμμα στο thesis document



Στη συνέχεια θα γίνει μια παράλληλη παρουσίαση των δυο διαδικασιών (βιολογικής λειτουργίας και κώδικα) για να γίνει πιο συγκεκριμένη η συσχέτιση της δημιουργικής διαδικασίας της ζωής και της σχεδιαστικής διαδικασίας του Genr8 .

(Η εργασία στο κομμάτι αυτό αποτελείται από 2 τμήματα που θα διαβάζονται παράλληλα: στην σελίδα αριστερά θα εξελίσσεται η βιολογική λειτουργία κατασκευής του οργανισμού και στην δεξιά σελίδα θα παρουσιάζεται η λειτουργία του κώδικα)

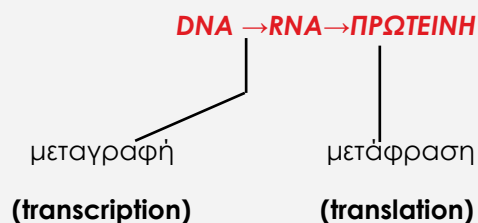
Βιολογική διεργασία

Μεταγραφή του **DNA** και μετάφραση με σκοπό την παραγωγή πρωτεϊνών και στη συνέχεια κυτταρικών δομών

Επειδή το DNA είναι διαφορετικής γενετικής χημικής φύσης από τις πρωτεΐνες που κωδικοποιεί, περιγράφεται ως «πληροφορία»: Οι αλληλουχία βάσεων του δεν έχει άμεση αξία για τον σχηματισμό της επιφάνειας αλλά έμμεση, με την έννοια ότι εμπεριέχει την πληροφορία για το σχηματισμό των κυτταρικών δομών χωρίς το ίδιο το DNA ως έχει, να τις συνθέτει: (Ε. Αλεξανδρή- Χατζηαντωνίου, 2004, σ. 209) «με δεδομένη την αλληλουχία βάσεων του DNA μπορούμε εξορισμού να βρούμε ποιες πρωτεΐνες κωδικοποιεί αν ξέρουμε πώς προκύπτει η αμινοξική αλληλουχία της πρωτεΐνης από την αλληλουχία των βάσεων του γονιδίου: η σχέση αυτή αποτελεί τον γενετικό κώδικα»

Γενετικός κώδικας: σχέση (τριπλέτες βάσεων του DNA $\leftarrow \rightarrow$ αμινοξέα)

Η διαδικασία σύνθεσης των πρωτεϊνών ακολουθεί την πιο κάτω πορεία:



1. Μεταγραφή (transcription)

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στον πυρήνα του κυτάρου όπου το DNA μεταγράφεται σε mRNA. Στο χρωμόσωμα του DNA υπάρχουν πολλά γονίδια τα οποία μεταγράφονται σε διαφορετικούς χρόνους και συχνότητες. Κάθε γονίδιο αποτελείται από τριπλέτες βάσεων από 4 βάσεις:

A	Αδενίνη
G	Γουανίνη
C	Κυτοσίνη
T	Θυμίνη

Κατά τη διαδικασία μεταγραφής ένα ένζυμο, η RNA-πολυμεράση ξετυλίγει τη διπλή έλικα του DNA και αντιστοιχεί τις 4 βάσεις του DNA σε 4 βάσεις του RNA με τον εξής μετασχηματισμό:

A αδενίνη → **U** ουρακίλη

G γουανίνη → **C** κυτοσίνη

C κυτοσίνη → **G** γουανίνη

T θυμίνη → **A** αδενίνη

Η διαδικασία κατασκευής της επιφάνειας στο Gen8 ακολουθεί την πιο κάτω πορεία:

1η αντιστοίχιση (1st mapping)

ΔΥΑΔΙΚΟ ΑΛΦΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ (**BINARY STRING**) → ΔΕΚΑΔΙΚΟ ΑΛΦΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ (**INTEGER STRING**) → ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ (**GRAMMAR**)

2η αντιστοίχιση (2nd mapping)

(θα αναλυθεί το παράδειγμα που αναφέρεται στο Appendix A1 και B του thesis document του Martin Hemberg)

1. Ορισμός της Backus -Naur Form

Η διαδικασία αυτή ορίζει την BNF που θα χρησιμοποιηθεί για την 2η αντιστοίχιση (mapping) του κώδικα. Στο Gen8 υπάρχουν προς επιλογή 4 BNF, εδώ παρουσιάζεται το προεπιλεγμένο (default)

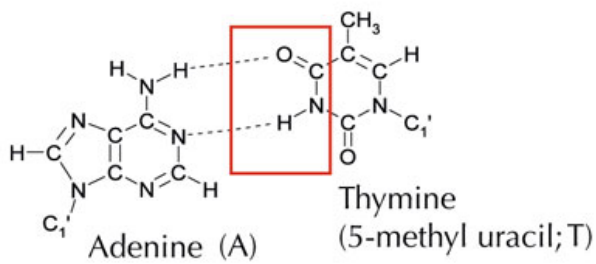
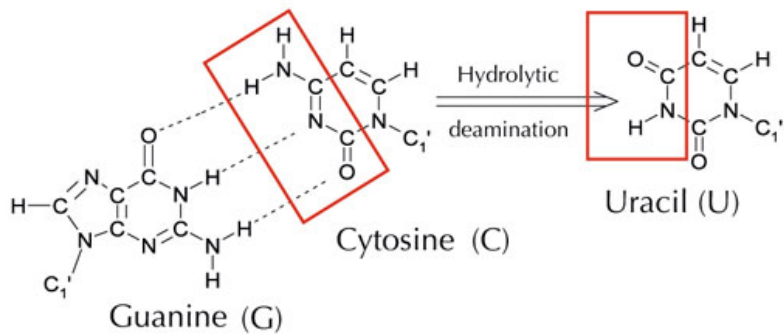
```
N = { L-System, Axiom, RewriteRule, Predecessor, Successor,  
      Modifier, AngleValue, BranchAngleValue }
```

```
T = { +, -, &, ^, \, /, ~, [, ], <, >, ->, Edge, Angle, Sync, EdgeX,  
      BranchAngle }
```

```
S = { <L-System> }
```

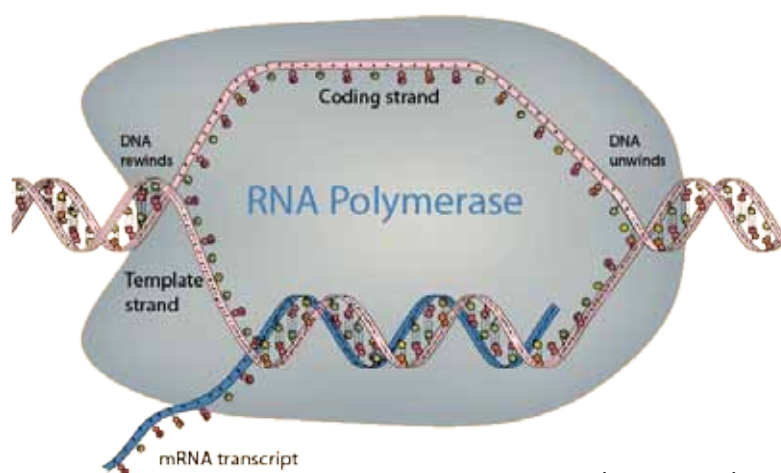
```
P = {
```

```
<L-System> ::= <Axiom> <RewriteRule> { <RewriteRule> } Angle
```



οι βάσεις του DNA και RNA

<http://www.scienceinschool.org/2011/issue18/uracil/greek>



σχηματική αναπαράσταση της μεταγραφής

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/organic/transcription.html>

Με τη μεταγραφή δημιουργείται το mRNA που είναι ουσιαστικά ο κανόνας- μοτίβο παραγωγής των αλυσίδων αμινοξέων

AngleValue [Sync] BranchAngle BranchAngleValue

<Axiom> ::= <Edge> [~] + <Edge> [~] + <Edge>
{ [~] + <Edge> }

<RewriteRule> ::= <Predecessor> -> <Successor>

<Successor> ::= { <Modifier> } <Edge>

<Predecessor> ::= <Edge> { <Edge> } |
<Edge> '<'' <Edge> |
<Edge> '>'' <Edge> |
<Edge> '<'' <Edge> '>'' <Edge>

<Modifier> ::= { <Edge> } |
+ <Modifier> - |
- <Modifier> + |
& <Modifier> ^ |
^ <Modifier> & |
\ <Modifier> / |
/ <Modifier> \ |
~ <Modifier> |
<Edge> '[' '[' '[' + <EdgeX> '[']] - <EdgeX> '[']]
<Edge>
<Edge> '[' '[' '[' + + <EdgeX> '[']] - - <EdgeX>
 '[']] <Edge>

<AngleValue> ::= 30 | 45

<BranchAngleValue> ::= 15 | 30 | 45 | 60 | 75 }

Εδώ ορίστηκε η BNF που αποτελεί τον ελεγχτικό μηχανισμό της παραγωγής HEMLS . Η BNF είναι ο κανόνας που θα καθορίσει τα χαρακτηριστικά της γραμματικής

2. Μετάφραση

Είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα μόριο mRNA δίνει μια πρωτεϊνική αλυσίδα.

Ένα γραμμικό μόριο mRNA έχει 500 βάσεις οι οποίες είναι οργανωμένες σε τριπλές (τριάδες βάσεων), όπως είναι εξάλλου και οι βάσεις του DNA. Κάθε τριπλέτα βάσεων μέσα από τη διαδικασία της μετάφρασης δίνει ένα αμινοξύ με την εξής διαδικασία:

Όλα τα mRNA αρχίζουν με την τριπλέτα AUG που ονομάζεται κωδικόνιο έναρξης. Την AUG ακολουθεί ένας αριθμός τριπλετών και η ακολουθία αυτή τελειώνει σε 3 τριπλές βάσεων που ονομάζονται κωδικόνια λήξης, τα οποία τερματίζουν τη διαδικασία απελευθερώνοντας την παραγόμενη αλυσίδα αμινοξέων. Η παραγωγή της αλυσίδας αμινοξέων ξεκινά όταν το ριβόσωμα, ένα οργανίδιο το οποίο αποτελείται από ριβοσωμικό RNA και πρωτεΐνες προσκολλάται στην αρχική τριπλέτα AUG του mRNA. Τότε μια δομή, το tRNA (μεταφορικό RNA που βρίσκεται στο κυτταρόπλασμα) που έχει ως χαρακτηριστική του τριπλέτα την AUG, προσεγγίζει και εφαρμόζει στην υποδοχή του ριβοσώματος που βρίσκεται εκείνη τη στιγμή στην AUG. Το tRNA μεταφέρει 1 αμινοξύ το οποίο και παραλαμβάνει το ριβόσωμα. Στη συνέχεια το ριβόσωμα μετακινείται στην δεύτερη τριπλέτα του mRNA και ένα δεύτερο tRNA που αναγνωρίζει την τριπλέτα ως χαρακτηριστική του, προσεγγίζει το ριβόσωμα και δίνει το δικό του αμινοξύ ενώ παράλληλα έχει ελευθερωθεί το πρώτο tRNA. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το ριβόσωμα να σαρώσει ολόκληρη την αλυσίδα βάσεων του mRNA και να μαζέψει από όλα τα tRNA τα αμινοξέα, σε μια αλυσίδα η οποία θα δώσει την πρωτεΐνη και αργότερα τις κυτταρικές δομές.

Γενετικός εκφυλισμός

Στο mRNA υπάρχουν πολλά είδη τριπλετών αλλά μόνο 20 είδη αμινοξέων. Το tRNA λοιπόν προσκολλάται σε τριπλές που δεν είναι ίδιες αλλά αντιστοιχούν στο ίδιο αμινοξύ. Η αντιστοιχία αυτή του ίδιου αμινοξέος σε διαφορετικές τριπλές βάσεων, ονομάζεται γενετικός εκφυλισμός.

2. Mapping 2 - Αντιστοίχιση 2

Είναι η διαδικασία κατά την οποία η BNF μέσω HEMLS κατασκευάζει μια γραμματική .

We start with a genome, an array of integers:

212, 187, 632, 832, 800, 122, 517, 338, 197, 39, 878, 185, 954, 863,
660, 276, 909, 321, 545, 240, 670, 231, 292, 158, 494, 999, 658, 844,
316, 710, 362, 27, 194, 144, 171, 243, 260, 414, 337, 790, 309, 344,
456, 30, 134, 13, 774, 162, 911, 222

This array is going to be used to expand the L-system grammar by choosing appropriate production rules. We start out with the start symbol, S and use the production rules for the default BNF (Appendix A.1). <L-System> has only one production rule, so the gene, 212, is irrelevant as the non-terminal is expanded to

```
<Axiom> <RewriteRule> { <RewriteRule> }
```

Next the <Axiom> is expanded, again there is only one rule, so we get the same result regardless of the gene:

```
<Edge> "+" <Edge> "+" <Edge> { "+" <Edge> }  
<RewriteRule> { <RewriteRule> }
```

In fact there is a special end-symbol which allows GENR8 to keep track of where the rules end, but we do not have to worry about that now. For the edges we must determine what type they are going to have. $Type = (number-of-types+1) \text{ Mod } gene$. Thus we have a decreasing probability of introducing new types. From the beginning there are two types, so we have $632 \text{ Mod } 3 = 2$.

```
Edge2 + <Edge> "+" <Edge> { "+" <Edge> }  
<RewriteRule> { <RewriteRule> }
```

We have two more edges and the genes are 832 and 800 which gives us $832 \text{ Mod } 4 = 0$ and $800 \text{ Mod } 4 = 0$.

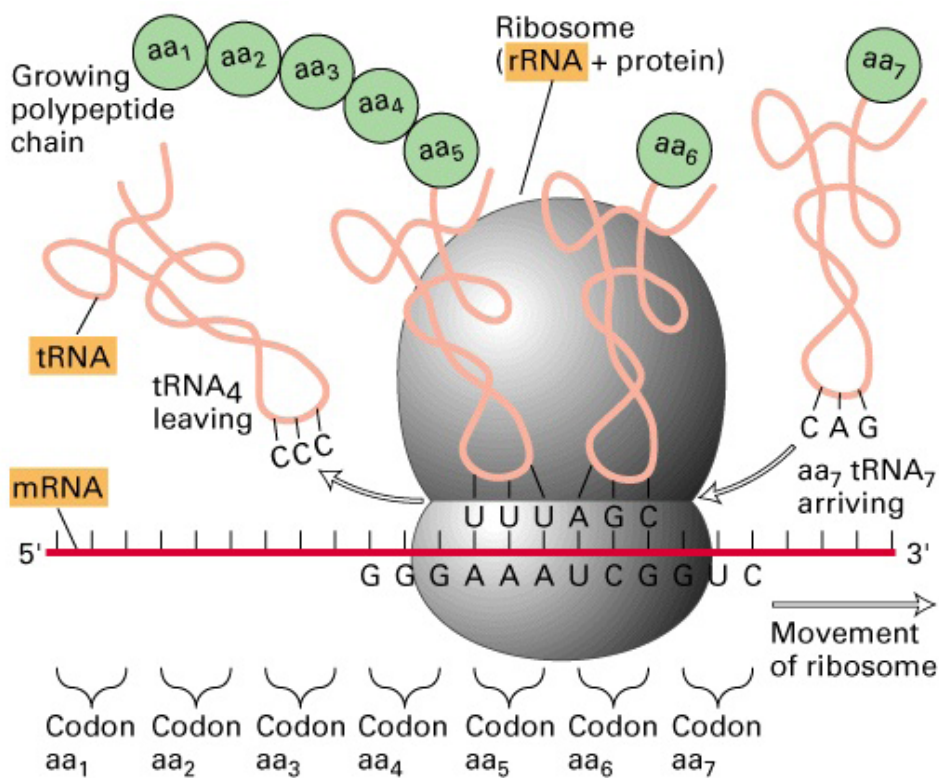
```
Edge2 + Edge0 + Edge0 { "+" <Edge> }  
<RewriteRule> { <RewriteRule> }
```

The next symbol, , tells us that we are going to have 0 or more of whatever is between the brackets. We determine the exact amount in a way that is similar to what we did with the edge types. To see if we are going to have another <Edge>, we test for $(gene \text{ Mod } (occurrences + X)) > occurrences$ we add another <Edge>. Occurrences starts at 0 and is increased each time we add a new Edge. X is an integer ≥ 2 that can be used to adjust the probabilities, in our example, X is 2. We have $122 \text{ Mod } 2 = 0$, which means that there will be no more symbols for the seed.

*type =
geneMod(number of
types +1)*

**εκφυλισμός του
κώδικα**

αν από ένα production rule έχω 3 πιθανά αποτελέσματα , το γονίδιο 45 και 897 θα έχουν το ίδιο αποτέλεσμα αντιστοίχισης αφού $42 \text{ Mod } 3 = 897 \text{ Mod } 3 = 0$



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/organic/transcription.html>

σχηματική αναπαράσταση της μετάφρασης

Next we let the 517 expand the <RewriteRule>.

```
Edge2 + Edge0 + Edge0
<Predecessor> -> <Successor>
{ <RewriteRule> }
```

For the <Predecessor> we have four different production rules, and the gene is $338 \text{ Mod } 4 = 2$ which means that we should take the third production rule.

```
Edge2 + Edge0 + Edge0
<Edge> ">" <Edge> -> <Successor>
{ <RewriteRule> }
```

For the predecessors we do not want to introduce new edge types (this could lead to dead rules) so instead of `number-of-types+1` we use `number-of-types`, which gives us $197 \text{ Mod } 3 = 2$ and $39 \text{ Mod } 3 = 0$.

```
Edge2 + Edge0 + Edge0
Edge2 > Edge0 -> <Successor>
{ <RewriteRule> }
```

In the next step, 878 is used to expand the <Successor>

```
Edge2 + Edge0 + Edge0
Edge2 > Edge0 -> <Modifier> <Edge>
{ <RewriteRule> }
```

The next gene, $185 \text{ Mod } 9 = 5$ gives us the next expansion.

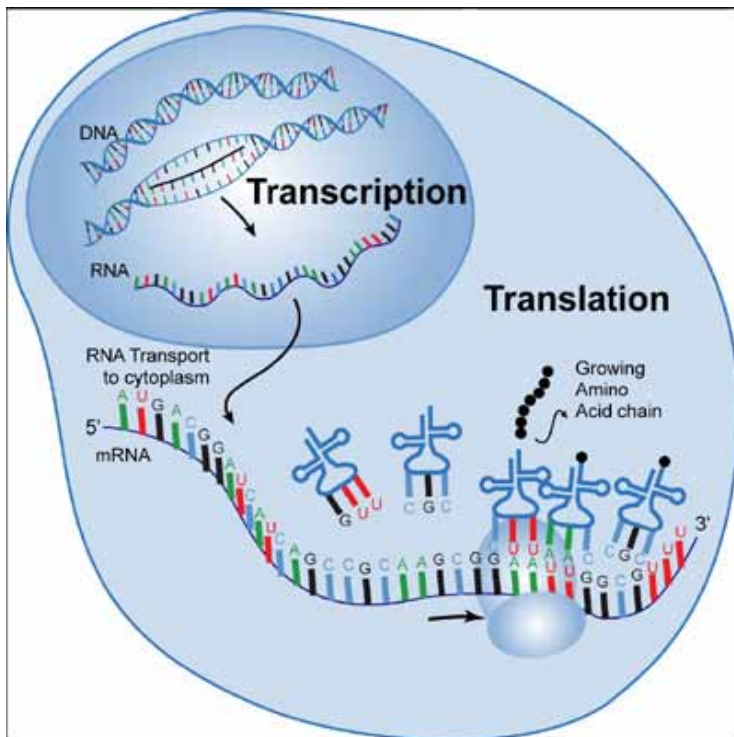
```
Edge2 + Edge0 + Edge0
Edge2 > Edge0 -> "^" <Modifier> "&" <Edge>
{ <RewriteRule> }
```

Once again we expand a <Modifier> with $954 \text{ Mod } 9 = 0$.

```
Edge2 + Edge0 + Edge0
Edge2 > Edge0 -> "^" { <Edge> } "&" <Edge>
{ <RewriteRule> }
```

Now we have the brackets again and the next gene (again $X=2$), $863 \text{ Mod } 2$ tells us that we should have an Edge. The next gene $660 \text{ Mod } 4 = 0$ sets the type. We test to see if we should have another Edge, but $276 \text{ Mod } 3 = 0$ means that we should stop adding edges.

```
Edge2 + Edge0 + Edge0
Edge2 > Edge0 -> ^ Edge0 & <Edge>
{ <RewriteRule> }
```

http://www.tokresource.org/tok_classes/biobiobio/biomenu/transcription_translation/index.htm

σχηματική αναπαράσταση ολόκληρης της διαδικασίας (μεταγραφή και μετάφραση)

Going on we expand the <Edge> with $909 \text{ Mod } 4 = 1$. Next we test if we are going to add more <RewriteRule> ($X=5$), with the gene $321 \text{ Mod } 5 = 1$, continuing, we have $545 \text{ Mod } 5 = 0$, which means that we should only add one more <RewriteRule>.

```
Edge2 + Edge0 + Edge0
Edge2 > Edge0 -> ^ Edge0 & Edge1
<RewriteRule>
```

It is left as an exercise for the reader to verify that the <RewriteRule> is expanded to.

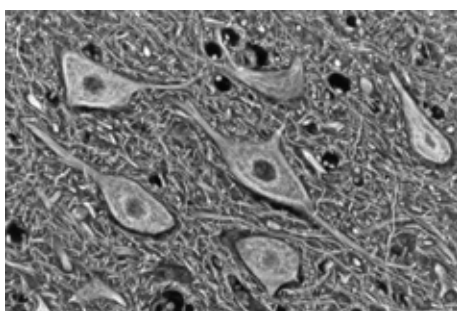
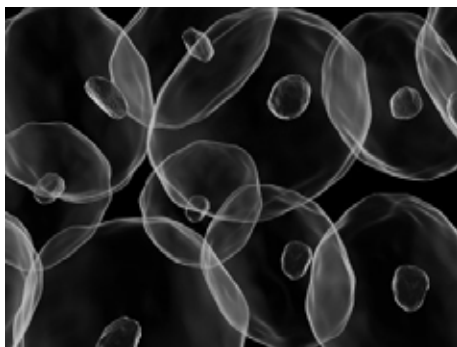
```
Edge2 + Edge0 + Edge0
Edge2 > Edge0 -> ^ Edge0 & Edge1
Edge0 > Edge1 -> [ [ + + Edge0 ] - - Edge0 ] Edge0
```

Now we see that we do not have any productions for Edge1, which means that it is a 'dead' Edge, once we create something with type one, there will be no interesting developments for that segment. To get around this problem, there is a repair mechanism that makes sure that there is at least one production rule for each segment (although the context sensitivity may make the production rules useless anyway). Analyzing the above set of rewrite rules, we see that we need to add a production rule where Edge1 is the predecessor. During the repair phase, we are not allowed to increase the number of edge types. After a few expansions we get:

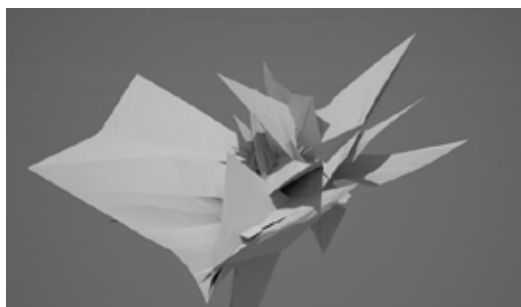
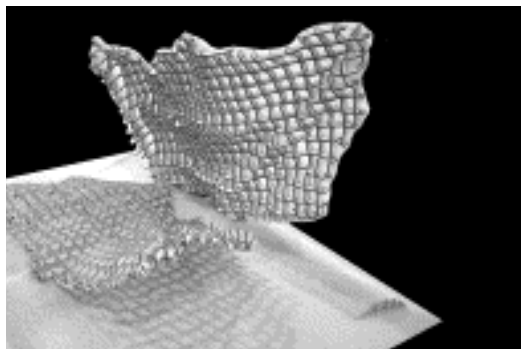
```
Edge2 + Edge0 + Edge0
Edge2 > Edge0 -> ^ Edge0 & Edge1
Edge0 > Edge1 -> [ [ + + Edge0 ] - Edge2 ] Edge0
Edge1 -> Edge0
```

Finally, we are going to set the value for the parameters, using the genome. First we set the angle to $((\text{gene Mod } 3)+1) \cdot 15$, giving us $((337 \text{ Mod } 3)+1) \cdot 15 = 30$. Then we find out if we are going to have synchronous growth by testing $790 \text{ Mod } 2 = 0$ (which means that we are going to have asynchronous growth). The BranchAngle is determined by $((\text{gene Mod } 5)+1) \cdot 15$, in our case 75. We are now finished and after having used 41 genes, we have grammar that we can use to generate a scaffold.

```
Edge2 + Edge0 + Edge0
Edge2 > Edge0 -> ^ Edge0 & Edge1
Edge0 > Edge1 -> [ [ + + Edge0 ] - Edge2 ] Edge0
Edge1 -> Edge0
Angle 30
BranchAngle 75
```



κυτταρικές δομές



επιφάνειες που παράγονται στο
Gen8

Σχολιασμός – αντιστοίχιση των διαδικασιών

1. Συσχετίσεις διαδικασιών

<i>DNA</i> → <i>RNA</i>	Δυαδικό αλφαριθμητικό → δεκαδικό αλφαριθμητικό (γονιδίωμα)
<i>RNA</i> → αλυσίδα αμινοξέων	Δεκαδικό αλφαριθμητικό γονιδίωμα → γραμματική
Αλυσίδες αμινοξέων → κυτταρικές δομές	γραμματική → επιφάνεια στο <i>interface</i> του <i>Μαγα</i>

2. Συσχετίσεις στοιχείων

βιολογία	Κώδικας	Λειτουργία
<i>DNA</i> Κωδικοποιημένη πληροφορία	αλφαριθμητικό -- <i>Binary</i> ή <i>interger string</i>	Η πληροφορία- το γονιδίωμα Περιέχει όλα τα απαραίτητα δεδομένα που θα καθορίσουν τη διαδικασία αλλά και τη φύση του αποτελέσματος.
<i>mRNA</i> είναι ουσιαστικά το πρότυπο, ο κανόνας, που θα προδιαγράψει την εξέλιξη της διαδικασίας. Ελέγχει πώς το ριβόσωμα σε συνεργασία με το μεταφορικό <i>tRNA</i> θα σχηματίσουν την αλυσίδα αμινοξέων.	<i>Backus-Naur Form</i> Είναι το πρότυπο, ο κανόνας που θα προδιαγράψει την εξέλιξη της διαδικασίας παραγωγής της γραμματικής από τα <i>HEMLS</i> . Ελέγχει την κατασκευαστική διαδικασία των <i>HEMLS</i> , ώστε να προκύψει η επιθυμητή γραμματική	 Ο κανόνας, Οι προδιαγραφές του παραγόμενου αποτελέσματος
<i>tRNA</i> και ριβόσωμα είναι τα στοιχεία που είναι υπεύθυνα για την κατασκευή της αλυσίδας αμινοξέων, ακολουθώντας το πρότυπο του <i>mRNA</i>	<i>HEMLS (Hemberg Extended map L-systems)</i> Είναι το μέρος του κώδικα που θα κατασκευάσει τη γραμματική υπό τον έλεγχο και στα πρότυπα της <i>BNF</i>	Οι «κατασκευαστές»
Αλυσίδα αμινοξέων	Γραμματική	Το παραγόμενο αποτέλεσμα Η κατασκευή

Τόσο κατά τη βιολογική διαδικασία της παραγωγής των πρωτεϊνικών δομών όσο και κατά την «οιονεί βιολογική» διαδικασία παραγωγής της επιφάνειας στο Gen8, η περιβαλλοντική επίδραση είναι μια παράμετρος του συστήματος. Και οι δύο διαδικασίες ως ανοικτά συστήματα είναι δεκτικά στην περιβαλλοντική διαταραχή, το αποτέλεσμα της οποίας θα δώσει διαφοροποίηση στο παραγόμενο άτομο.

Ειδικά στο Gen8 η περιβαλλοντική επίδραση που δεν είναι τίποτα περισσότερο από το εικονικό περιβάλλον που ο χρήστης ορίζει, είναι ιδιαίτερα επιθυμητή. Αυτό, γιατί σκοπός του προγράμματος δεν είναι μια αυτόνομη διαδικασία παραγωγής γραμματικής αλλά ένα εργαλείο σχεδίασης. Ο χρήστης πρέπει από τη μια να μπορεί να επωφεληθεί από τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής του βιολογικού αλγόριθμου αλλά πρέπει από την άλλη να διατηρεί τον έλεγχο της διαδικασίας ώστε αυτή να εμπίπτει στα πλαίσια του σχεδιασμού. Η ισορροπία αυτών των δύο αιτημάτων λύθηκε από τους σχεδιαστές του προγράμματος με την εισαγωγή της περιβαλλοντικών δυνάμεων ή «δυνάμεων τροπισμού» που ο χρήστης ορίζει στην επιφάνεια εργασίας του Maya. Ο χρήστης δεν έχει ποσοτικό έλεγχο της επίδρασης αυτών των δυνάμεων στην επιφάνεια, ωστόσο αναπτύσσει μια διαισθητική εικόνα του αποτελέσματος τους. Πάλι πρέπει να αναφερθεί κανείς στην έννοια του αφηρημένου διαγράμματος και της abstract machine: η λογική του σχεδιασμού δυναμικών μορφών που παράγονται μέσα από «οιονεί ζωντανές» διαδικασίες είναι μια διαγραμματική λογική ποιοτικών σχέσεων και λιγότερο ποσοτικών.

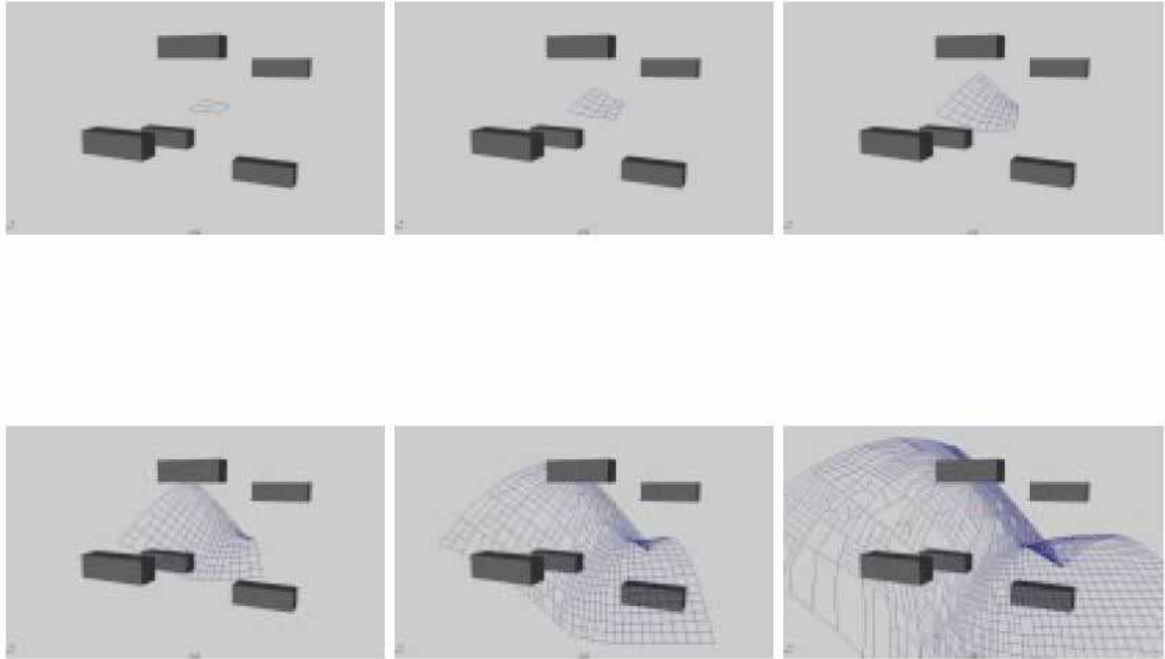
Ο χρήστης καθορίζει τις δυνάμεις τροπισμού τοποθετώντας κάποια αντικείμενα στο χώρο ανάπτυξης της επιφάνειας. Τα αντικείμενα αυτά που αντιστοιχούν σε δυνάμεις τροπισμού είναι, μεταξύ άλλων, attractors (ελκυστές), repellers (απωθητές) και gravity (βαρύτητα). Τα πρώτα δύο ασκούν μια δύναμη (ελκτική ή απωστική) στα στοιχειώδη τμήματα της επιφάνειας, μετακινώντας τα κατά $f=c \cdot d^e/m$ με c, e σταθερές του attractor ή repeller, m η μάζα του επιφανειακού τμήματος και d η απόσταση του attractor ή repeller από το στοιχειώδες τμήμα επιφάνειας. Η δύναμη που ασκείται από ένα attractor ή repeller είναι τόσο μεγάλη όσο πιο κοντά βρίσκεται αυτός στην επιφάνεια. Εδώ εισάγεται η διαίσθηση του χρήστη: ο attractor ή repeller τοποθετείται σαν μπαταρία «κοντά» ή «μακριά» από την επιφάνεια. Ο χρήστης μπορεί να φανταστεί περίπου τι παραμόρφωση θα προκύψει και άρα τι σχήμα θα πάρει. Ουσιαστικά ο χρήστης ορίζει το μονοπάτι εξέλιξης της μορφής, τη χρεοδότηση. Φτιάχνει ένα πεδίο δυνάμεων που λειτουργεί σαν αυλάκι μέσα στο οποίο θα τρέξει το νερό.

Αυτή η λογική σχεδιασμού, ακολουθώντας τη λογική σχεδιασμού της φύσης, δε σχεδιάζει τη μορφή ως γεωμετρία αλλά, σύμφωνα με τον Waddington, σχεδιάζει τις χαράδρες του τοπίου μέσα στο οποίο η μπάλα της ανάπτυξης αλλά και της εξέλιξης των μορφών θα κυλήσει. Εδώ μπορεί να γίνει μια άμεση συσχέτιση του τοπιογραφικού ανάλογου που εισηγείται η επιγενετική θεωρία του Waddington με το τοπίο ανάπτυξης της μορφής στο Gen8:

- Πρόκειται για «οιονεί τοπία», δηλαδή μη υλοποιημένα τοπία, αλλά τοπία δυνατοτήτων και χαρακτηριστικών.
- Και τα δύο τοπιογραφικά ανάλογα περιγράφονται από ένα γεωμετρικό χώρο στον οποίο κατανέμεται ένα πεδίο δυνάμεων: στο επιγενετικό τοπίο ο γεωμετρικός χώρος είναι ένα τοπιακό ανάγλυφο στο οποίο δρα η βαρύτητα, και τα σημεία του οποίου λόγω διαφοράς μεταξύ τους θέσης (χαράδρες, λόφοι, πεδιάδες) έχουν διαφορετική δυναμική ενέργεια. Η μπάλα κυλά από τις περιοχές με την υψηλή δυναμική ενέργεια στις περιοχές με χαμηλότερη. Αντίστοιχα το Gen8 δουλεύει στο interface του Maya. Το εικονικό τοπίο αυτό, ανήκει στον R^3 χωρίς συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά

και μέσα σε αυτό ο χρήστης τοποθετεί σημεία εφαρμογής δυνάμεων (attractors ή repellers) ή κατανέμει ομοιόμορφα μια δύναμη βαρύτητας. Αυτά δημιουργούν ένα πεδίο δυνάμεων που επιδρά στην ανάπτυξη της επιφάνειας.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η περιβαλλοντική επίδραση τόσο στη βιολογική διαδικασία που περιγράφηκε όσο και στον αλγόριθμο, εντοπίζεται στο ίδιο σημείο.



ανάπτυξη μιας επιφάνειας σε περιβάλλον με 5 repellers

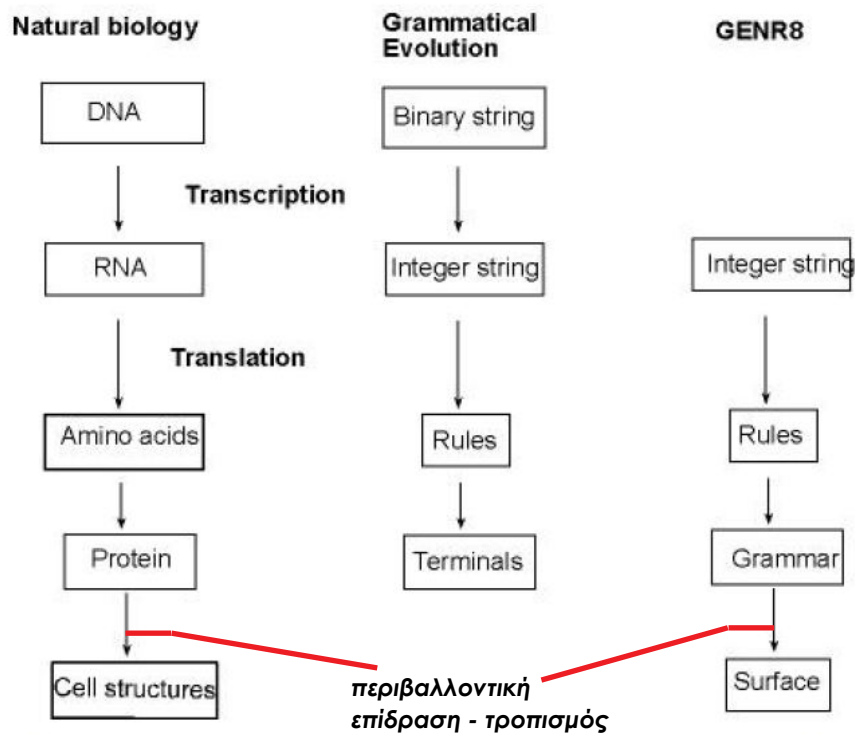
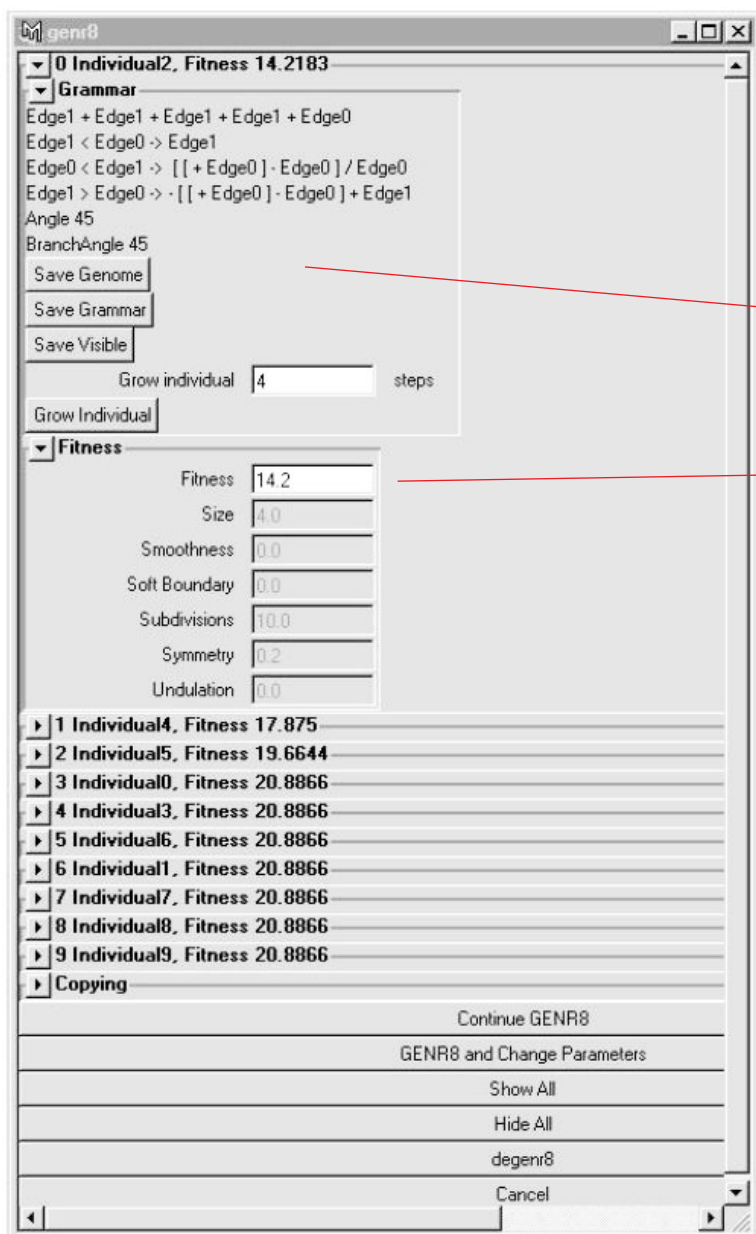


Figure 3-1: A comparison between biology, grammatical evolution and GENR8.

Πέραν της μεθόδου ανάπτυξης της επιφάνειας, που έχει περιγραφεί εκτενώς πιο πάνω και που βρίσκει πλήρη αντιστοιχία στην βιολογική διαδικασία ανάπτυξης κυτταρικών δομών, το Genr8, όπως έχει ήδη αναφερθεί χρησιμοποιεί ένα εξελικτικό αλγόριθμο για να βελτιστοποιήσει την επίλυση. Κατασκευάζεται λοιπόν μια σειρά από επιφάνειες οι οποίες βαθμολογούνται από τον χρήστη ανάλογα με το πόσο «καλές» είναι. Το κριτήριο αυτό (fitness) είναι αρκετά υποκειμενικό και για αυτό δεν επιδέχεται καμιά μαθηματική μοντελοποίηση, αλλά αφήνεται στην σκέψη του σχεδιαστή για να το ποσοτικοποιήσει και πάλι χρησιμοποιώντας τη διαίσθησή του και μια αφαιρετική εικόνα που έχει στο μυαλό του ως ζητούμενο. Αυτό το βήμα είναι ιδιαίτερος κρίσιμος για τη διαδικασία του σχεδιασμού αφού είναι το κλειδί για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος. Το πρόγραμμα αφού έχει κρατήσει τις επιφάνειες με τις καλύτερες βαθμολογίες ανασύρει το δεκαδικό αλφαριθμητικό που τις παρήγαγε, δηλαδή το γονιδίωμα τους. Στη συνέχεια παίρνει τα «καλά» γονιδιώματα και τα υποβάλλει σε διασταύρωση και μετάλλαξη, και τρέχει ξανά τη διαδικασία κατασκευής νέας γενεάς επιφανειών με τον ίδιο τρόπο που δημιουργήθηκαν οι παλιές, αλλά με (θεωρητικά) βελτιωμένο γονότυπο. Αναμένεται να προκύψουν επιφάνειες με πιο καλά για τον χρήστη χαρακτηριστικά.



καρτέλα ελέγχου της εξέλιξης των επιφανειών. Διακρίνονται ανοικτές οι υποκαρτέλες:

- **Grammar**
όπου περιγράφεται με κώδικα η παραγόμενη γραμματική και
- **Fitness**
όπου υπάρχει το χωρίο που περιμένει να εισαχθεί η τιμή από τον χρήστη

12. Επίλογος - Γενικά Συμπεράσματα

Η εφαρμογή των αρχών σχεδιασμού των ζωντανών οργανισμών, όπως αυτές έχουν περιγραφεί σε αυτή την εργασία, προτείνουν τη συγκρότηση μιας διαφορετικής αρχιτεκτονικής σκέψης. Η αρχιτεκτονική αυτή δημιουργεί ένα νέο είδος μετα-χώρου¹ στα πρότυπα της έννοιας του ζωντανού, ο οποίος για να υλοποιηθεί προϋποθέτει κάποιες μεταβολές στη συνθετική διαδικασία, θεωρία και εφαρμογή του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Η τελευταία αυτή παράγραφος θα προσπαθήσει να εντοπίσει αυτές τις μεταβολές, αποσαφηνίζοντας πρώτα τη φύση του μετα-χώρου.

1. Η φύση του μετα-χώρου

Ο μετα-χώρος οφείλει να εναρμονίζεται με την έννοια του αυτοποιητικού συστήματος. Τα χαρακτηριστικά του έχουν περιγραφεί ήδη, διάσπαρτα στο κύριο σώμα της εργασίας, μέσα από τα παραδείγματα και θέματα που παρουσιάστηκαν. Συγκεντρωτικά και συνοπτικά για τον μετα-χώρο ισχύουν τα πιο κάτω:

- Είναι μια χωρική οντότητα που αναδύεται μέσα από διαδικασίες του πολύπλοκου, μη γραμμικού δυναμικού συστήματος που τον παράγει. Η χωρική αυτή οντότητα μπορεί να υπάρξει σε όλες τις κλίμακες (από το επίπεδο του μεμονωμένου κτιρίου μέχρι το επίπεδο πόλης).
- Η μορφή του δεν σχεδιάζεται αλλά αναδύεται μέσα από ένα από κάτω προς τα πάνω (bottom up), προσανατολισμένο στη διαδικασία (process oriented) σχεδιασμό του συστήματος. Προκύπτει δηλαδή έμμεσα από το σχεδιασμό των βασικών δομικών στοιχείων του συστήματος και από τους κανόνες αλληλεπίδρασης των στοιχείων αυτών.

Δεν είναι μορφικά συγκεκριμένος λόγω της ύπαρξης μη γραμμικότητας στην σχέση σχεδιασμού-υλοποίησης. Ωστόσο είναι απόλυτα καθορισμένος ως προς τις ιδιότητές του: αυτό που παραμένει σταθερό στο μετα-χώρο δεν είναι η μορφή του αλλά ο κανόνας παραγωγής του. Και σε αυτή την περίπτωση το σχέδιο του χώρου είναι απόλυτα καθορισμένο, αν και πρόκειται για άλλης λογικής και περιεχομένου σχέδιο από αυτό που σήμερα χρησιμοποιούμε στο σχεδιασμό.

Το περιεχόμενο του σχεδιασμού είναι σε πρώτο και κύριο στάδιο ανεικονικό. Προφανώς, το αποτέλεσμα του είναι τελικά ένα φυσικό αντικείμενο με γεωμετρική και υλική υπόσταση, ωστόσο το αντικείμενο αυτό δεν σχεδιάστηκε κατευθείαν ως τέτοιο, αλλά προέκυψε ως συνέπεια σχεδιασμού ενός ανεικονικού χώρου.

Σημείωση: Η βιομορφική αρχιτεκτονική που απασχολεί τον αρχιτεκτονικό προβληματισμό, είναι μάλλον άσχετη με τη λογική του σχεδιασμού της φύσης. Μπορεί το βιομορφικό αποτέλεσμα να μοιάζει με κάτι βγαλμένο από τη σχεδιαστική λογική της βιολογίας, ωστόσο δεν μπορεί να συμβαίνει κάτι τέτοιο: πέραν της επιδερμικής αισθητικής ομοιότητας και ίσως κάποιας αντιστοιχίας στη μηχανική συμπεριφορά λόγω αντιγραφής της γεωμετρίας της βιολογικής μορφής, δεν μπορεί να γίνει καμιά άλλη σοβαρή αντιστοιχισή των δύο. Όπως έχει ήδη τονισθεί, η μορφολογική αυτή αντιμετώπιση δεν έχει καμιά σχέση με τη συστημική λειτουργία του έμβιου οργανισμού. Η διαφορά των δύο αρχιτεκτονικών μεθόδων

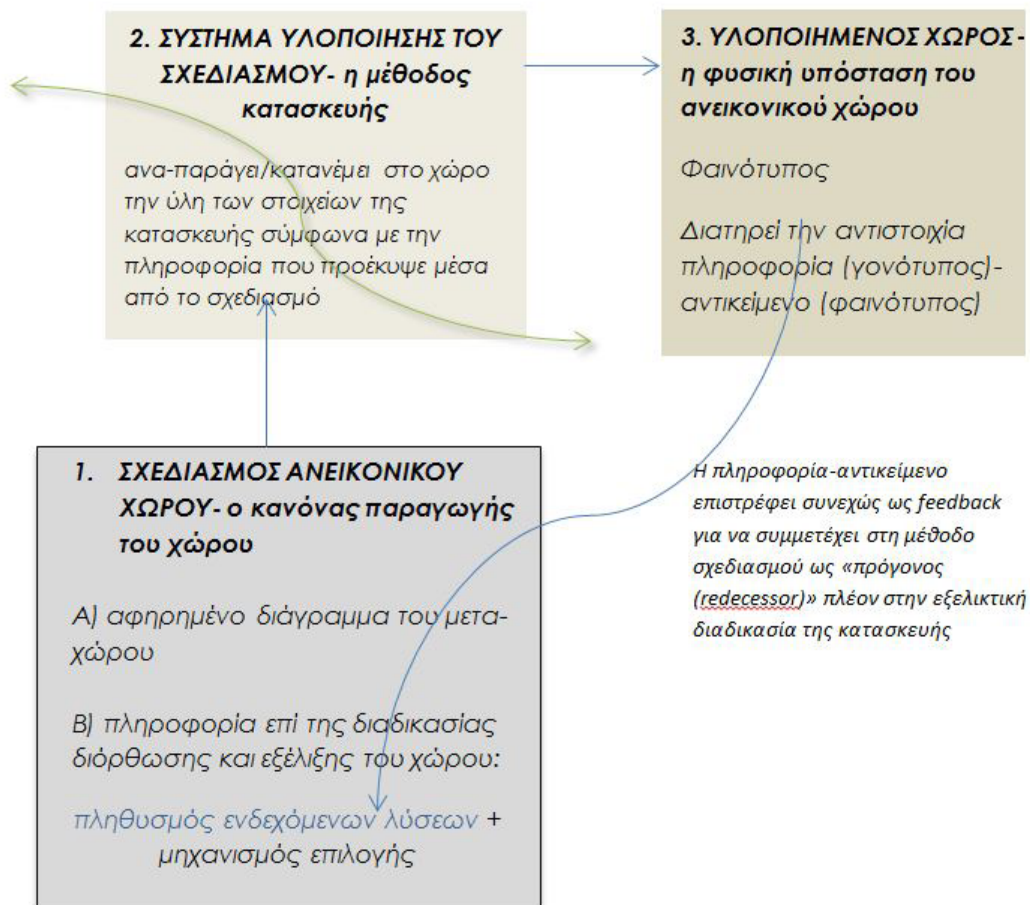
¹ Ο όρος «μετα-χώρος» δεν περιέχει καμία μεταφυσική έννοια απλά χρησιμοποιείται για να διαφοροποιήσει τον αρχιτεκτονικό χώρο που γνωρίζουμε όλοι μας και που αποτελεί το δομημένο περιβάλλον, από τον προτεινόμενο χώρο της αρχιτεκτονικής που βασίζεται στις αρχές σχεδιασμού των έμβιων συστημάτων.

είναι διαφορά σε βασικές θεμελιώδεις αρχές. Στο σχεδιασμό των έμβιων συστημάτων η «μοντέρνα» αρχή "FORM FOLLOWS FUNCTION" αποκτά κυριολεκτική σημασία και ίσως την πιο απόλυτη και γνήσια εφαρμογή της.

- Είναι δυναμικός παραμετρικός χώρος, δηλαδή χώρος του οποίου οι παράμετροι μεταβάλλονται στο χρόνο, κατά τον σχεδιασμό, την κατασκευή, την υλοποίηση και κατά τη λειτουργία του. Δεν χάνει λοιπόν την ικανότητα μεταβλητότητάς του μετά την υλοποίηση (όπως ενδεχομένως να συμβαίνει με τον παραμετρικό σχεδιασμό) και η μεταβλητότητά του προκύπτει χωρίς κεντρικό έλεγχο, αλλά αυθόρμητα, μέσα από το ίδιο το σύστημα που τον παράγει. Ο χώρος ωστόσο δεν αυτενεργεί ούτε αυτονομείται: τόσο οι παράμετροι που τον ορίζουν όσο και η συμπεριφορά του στο χρόνο, δηλαδή τα όρια στα οποία η αυθόρμητη ανάδυση μεταβολών των παραμέτρων του κυμαίνεται, είναι αντικείμενα που καθορίζονται από τον σχεδιαστή και αυτά αποτελούν το πιο βασικό και κρίσιμο κομμάτι του σχεδιασμού. Ο σχεδιαστής δεν ορίζει συγκεκριμένες τιμές, αλλά περιοχές τιμών και φυσικά δέχεται εκ των προτέρων και υπολογίζει στον σχεδιασμό τα αποτελέσματα της μη γραμμικότητας.
- Η χρονική μεταβολή της μορφής του είναι αποτέλεσμα ποσοτικής διακύμανσης των παραμέτρων που το χαρακτηρίζουν, αλλά και των εξωτερικών δράσεων του περιβάλλοντος σε αυτό. Η συμπεριφορά της μορφής του είναι δηλαδή ζήτημα της δυναμικής του συστήματος του οποίου ο χώρος αποτελεί υλοποίηση. Ο χώρος αυτός είναι, τόσο κατά τον σχεδιασμό όσο και μετά την υλοποίησή του, παραμετρικός, δεδομένου ότι μετά την υλοποίηση διατηρείται η ευελιξία της ποσοτικής διακύμανσης των παραμέτρων του.
- Η εμπλοκή του χρόνου ως παραμέτρου σχεδιασμού (διαρκούς σχεδιασμού) επιτρέπει την υλοποίηση του αυτοποιοητικού χαρακτήρα της κατασκευής αλλά και την έννοια της εξέλιξης. Ο μετα-χώρος αποτελείται από «στοιχεία που παράγουν στοιχεία» όπως προδιαγράφει ο ορισμός του αυτοποιοητικού συστήματος, έχει την δυνατότητα δηλαδή να ανα-παράγει τον εαυτό του κατά τη λειτουργία του. Η ανα-παραγωγή αυτή έχει τόσο την έννοια της διόρθωσης του υλικού που τον αποτελεί όσο και την έννοια της εξέλιξης. Αναπαραγοντας συνεχώς πιθανές καταστάσεις του και έχοντας ένα μηχανισμό επιλογής εκπληρώνεται στο σχήμα της «εξελικτικής μηχανής αναζήτησης λύσεων» που χρησιμοποιεί η φύση για την βελτίωση των ειδών. Η δυνατότητα αναπαραγωγής των στοιχείων που τον αποτελούν αποτελεί αναγκαία συνθήκη για την υλοποίηση του μετα-χώρου ως αυτοποιοητικού συστήματος.

2. Μεταβολές στη συνθετική σκέψη

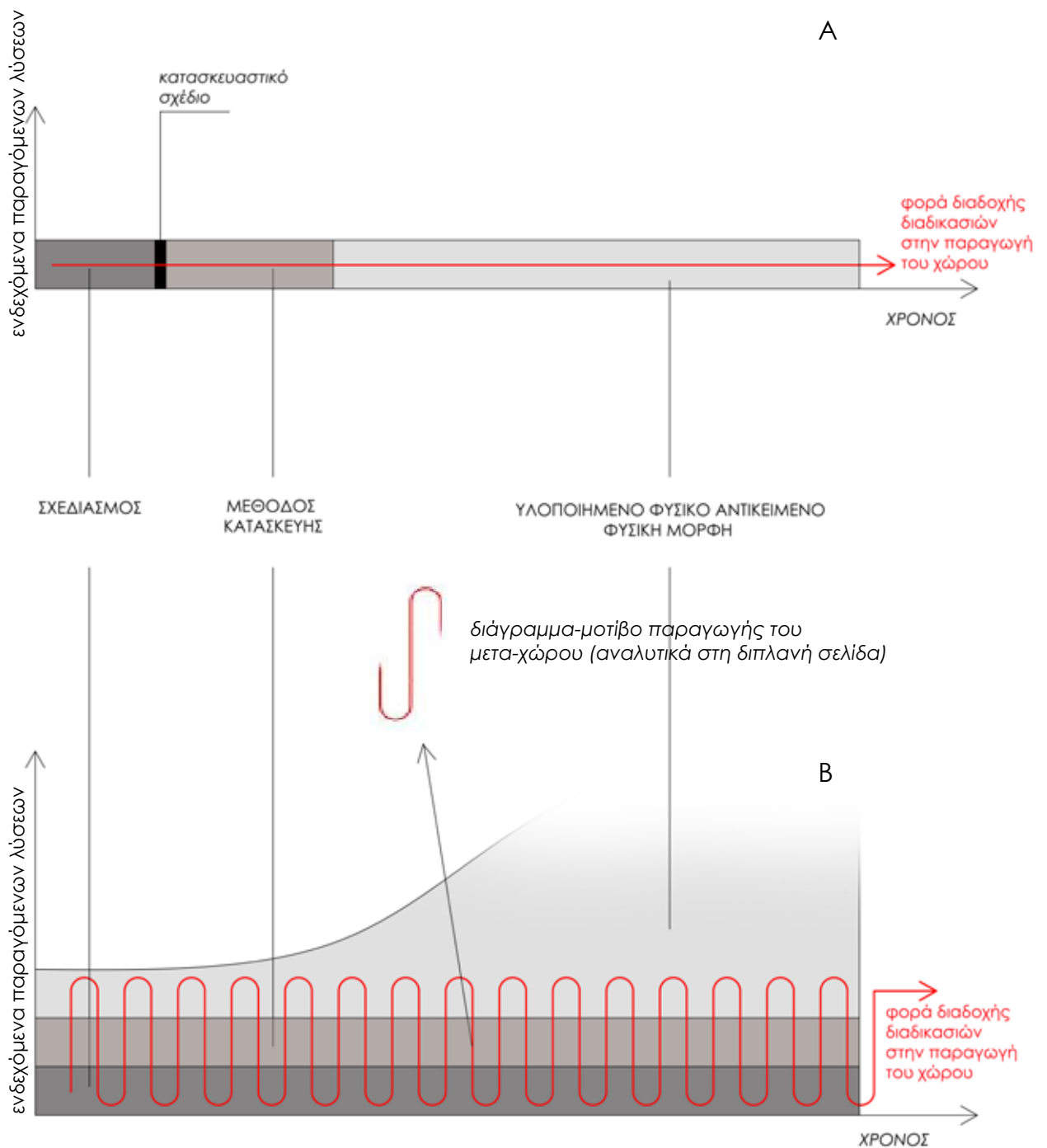
Το σχηματικό διάγραμμα- μοτίβο της παραγωγής του μετα-χώρου είναι το ακόλουθο.



A. Το χωρο-χρονικό συνεχές σχεδιασμός-κατασκευή-λειτουργία

Μπορεί κανείς να αντιληφθεί αμέσως την μεγάλη διαφορά στην αντιμετώπιση ολόκληρης της διαδικασίας σχεδιασμού ανάμεσα στην τρέχουσα σύγχρονη μέθοδο παραγωγής αρχιτεκτονικής και στη μέθοδο παραγωγής του μετα-χώρου:

- i. Στην πρώτη περίπτωση οι διαδικασίες [σχεδιασμός – κατασκευή – λειτουργία] αποτελούν διακριτά, διαδοχικά, μη επικαλυπτόμενα στο χρόνο σύνολα ενεργειών, που παρατάσσονται σε ευθύγραμμη διάταξη με συγκεκριμένη χρονική διάρκεια και με μια γραμμική σχέση συνεπαγωγής (ο σχεδιασμός δίνει μια συγκεκριμένη κατασκευή και η κατασκευή δίνει μια συγκεκριμένη χρήση). Σε αυτό το σχήμα μάλιστα το κατασκευαστικό σχέδιο αποτελεί το σημείο τομής μεταξύ σχεδιασμού και κατασκευής.
- ii. Στη δεύτερη περίπτωση οι διαδικασίες [σχεδιασμός – κατασκευή – λειτουργία] αποτελούν μη διακριτά, επικαλυπτόμενα στο χρόνο σύνολα ενεργειών που τρέχουν παράλληλα στο χρόνο και η σχέση συνεπαγωγής είναι μια κυκλική σχέση συνεχούς επανάληψης του μοτίβου [σχεδιασμός – κατασκευή – λειτουργία], η οποία μάλιστα είναι μη γραμμική: ο σχεδιασμός μπορεί να δώσει περισσότερα από ένα πιθανά αποτελέσματα, και όσο ο μετα-χώρος υπάρχει στο χρόνο, η δεξαμενή πιθανών αποτελεσμάτων της κατασκευής διευρύνεται. Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν η δημιουργία του μετα-χώρου γίνεται με ένα συνεχές σχεδιασμού – κατασκευής – λειτουργίας το οποίο είναι επαναλαμβανόμενο και αναδραστικό (recursive). Το «κατασκευαστικό σχέδιο» εδώ δεν έχει τη συνήθη μορφή αλλά είναι η καταγραφή των δυνάμεων που δρουν στο χώρο.



A: διάγραμμα τρέχουσας διαδικασίας σχεδιασμού -κατασκευής. Οι φάσεις είναι χρονικά διακριτές και το αποτέλεσμα συγκεκριμένο.

B: διάγραμμα διαδικασίας σχεδιασμού -κατασκευής του μετα-χώρου. Οι φάσεις υπάρχουν παράλληλα και είναι μη διακριτές. Η διαδικασία ανακυκλώνεται συνεχώς και με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται ο αριθμός των πιθανών συνθετικών λύσεων που παράγονται σχηματίζοντας μια οικογένεια λύσεων με την ίδια “χρησιδο”

B. Η αναζήτηση ανεικονικών χώρων

Αυτή η μεταβολή από τον εικονικό στον ανεικονικό σχεδιασμό είναι η απαραίτητη προϋπόθεση για το σχεδιασμό όχι μορφών, αλλά συστημάτων, δηλαδή σχέσεων όπως είναι το αφηρημένο διάγραμμα του μετα-χώρου. Το κυριότερο πρόβλημα στο σχεδιασμό του μετα-χώρου είναι το ερώτημα πώς συλλαμβάνεται με αρχιτεκτονικούς όρους και πώς κατασκευάζεται ο χώρος αυτός, αφού μέχρι τώρα η αντίληψή μας περί (αρχιτεκτονικού) χώρου ήταν καθαρά εικονική.

Στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό κάθε σχεδιαστική πρόταση από το επίπεδο της ιδέας μέχρι την υλοποίησή της, εκφράζεται με τη χρήση εικόνας είτε αυτή είναι ένα σκίτσο στα πολύ αρχικά στάδια, είτε ένα κατασκευαστικό σχέδιο στο τέλος της μελέτης εφαρμογής. Η αρχιτεκτονική σκέψη και τα εργαλεία έκφρασής της είναι απόλυτα συνδεδεμένα με την εικόνα του φυσικού αποτελέσματος: το σχήμα «λειτουργεί» στη συνθετική διαδικασία με όρους μορφής. Η σχέση του αρχιτέκτονα με τη γεωμετρία είναι αντίστοιχη με τη σχέση του με μια φωτογραφία: μπορεί να διακρίνει σχέσεις μεγέθη αισθητική και αναλογίες στην εικόνα, αλλά δεν μπορεί (ή βρίσκει μη παραγωγική τη διαδικασία) να κατανοήσει το πλήρες εννοιολογικό περιεχόμενο της γεωμετρικής μορφής. Ο λόγος που το μαθηματικό εννοιολογικό υπόβαθρο της γεωμετρίας δεν απασχόλησε ιδιαίτερα την αρχιτεκτονική σκέψη είναι απλά το γεγονός ότι μέχρι σήμερα το αφηρημένο επίπεδο αυτής της ανάλυσης δεν βρίσκει εύκολα πεδίο εφαρμογής. Δεν υπήρξε λοιπόν έντονα ο προβληματισμός πώς θα μπορούσε μια μαθηματική έννοια να αφορά τους αρχιτέκτονες.

Ο μετα-χώρος όμως, είναι ακριβώς η υλοποίηση μιας τέτοιας έννοιας. Είναι εννοιολογικός χώρος που θα αποκτήσει φυσική έκφραση. Το ζητούμενο λοιπόν είναι να βρούμε εκείνο το νοητικό εργαλείο που θα επιτρέψει την αναζήτηση και σχεδιασμό ανεικονικών χώρων, μαθηματικών πια εννοιών, που θα έχουν ωστόσο μια άμεση αντιστοιχία σε μια φυσική πραγματικότητα. Η γεωμετρία παραμένει ένα πολύ καλό νοητικό εργαλείο για αυτό το σκοπό γιατί παρέχει ήδη μια εικονική αντιστοιχία πρόθεσης και φυσικής υλοποίησης μέσα από το σύνηθες κατασκευαστικό σχέδιο, αλλά περιέχει όπως κάθε μαθηματική κατασκευή, ένα εννοιολογικό περιεχόμενο το οποίο μπορεί να παρέχει στο σχεδιαστή την σημειωτική και τον τρόπο μελέτης, περιγραφής και σχεδιασμού του ανεικονικού μετα-χώρου. Είναι προφανές ότι μιλώντας για ανεικονικούς χώρους, αναγκαστικά κανείς θα καταφύγει στα μαθηματικά, γιατί μόνο με αυτό τον τρόπο μπορεί να διαχειριστεί τέτοιες κατασκευές. Σύμφωνα με τον Piaget υπάρχουν δύο τρόποι αντίληψης της μαθηματικής έννοιας: ο σχηματικός τρόπος (figurative) που μας επιτρέπει να δούμε τα πράγματα στατικά και ένας λειτουργικός (operative) που σχετίζεται με νοητικούς μετασχηματισμούς. Η Sfard αργότερα (1991) διατυπώνει πιο συμπληρωμένα την άποψη αυτή λέγοντας ότι (Κολέζα) «οι μαθηματικές έννοιες μπορούν να προσεγγιστούν δομικά και λειτουργικά. Η δομική προσέγγιση έγκειται σε μια σφαιρική αντίληψη της έννοιας σε αντίθεση με τη λειτουργική που συνεπάγεται την ερμηνεία της έννοιας ως διαδικασία, "ως μια δυναμική μάλλον παρά ως μια ενεργή οντότητα η οποία αρχίζει να υπάρχει όταν οι συνθήκες το επιβάλλουν σε μια ακολουθία δράσεων"». Συνήθως στην αντίληψη των μαθηματικών εννοιών η λειτουργική αντίληψη προηγείται της δομικής. Στην περίπτωση όμως της γεωμετρίας συμβαίνει κατ' εξαίρεση το αντίθετο. (Κολέζα) «Η δομική αντίληψη μιας γεωμετρικής έννοιας είναι το πρώτο στάδιο μιας διαδικασίας που – περνώντας από μια εξαιρετικά σύνθετη φάση οπτικοποίησης – καταλήγει στη λειτουργική αντίληψη της έννοιας»

Η λειτουργική αντίληψη της γεωμετρίας είναι απαραίτητη στην περίπτωση της εφαρμογής των αρχών των ζωντανών συστημάτων, γιατί μπορεί ανεικονικά να περιγράψει τη γεωμετρική μορφή και τις βαθύτερες ιδιότητές της με σημειωτικό τρόπο και επομένως είναι πιο κοντά στην ανεικονική διαχείριση της «πληροφορίας» με στόχο το σχεδιασμό της κατασκευής.

Ο μετα-χώρος, ιδωμένος μέσα από τη λειτουργική αντίληψη της γεωμετρίας, είναι ένας

τοπολογικός χώρος. Ο σχεδιαστής πρέπει να εγκαταλείψει την εικονική αντίληψη που έχει για τη γεωμετρία και να δουλεύει πάνω σε μια γεωμετρική τοπολογία δηλαδή κατανοώντας τις βαθύτερες ιδιότητες των γεωμετρικών εννοιών.

Η μεταβολή αυτή βέβαια χρειάζεται μια αλλαγή στη σημειολογία. Το αρχιτεκτονικό σχέδιο ως σύνολο αμετάβλητων πλήρως καθορισμένων σχημάτων, δεν είναι ικανό να περιγράψει την τοπολογική σκέψη. Αυτό, γιατί δεν είναι δυνατό ένα μέσο αναπαράστασης εικόνας και μάλιστα εικόνας που έχει καθορίσει ποσοτικά τις παραμέτρους της να χρησιμοποιηθεί ως μέσο ανεικονικής αναπαράστασης εννοιών. Το σχέδιο είναι πολύ συγκεκριμένο και άκαμπτο για μια τέτοια χρήση. Το αρχιτεκτονικό σχέδιο λοιπόν αποκτά τη μορφή της μαθηματικής έκφρασης που περιγράφει τοπολογίες ή αντίστοιχα του αλγόριθμου/ κώδικα που τις κατασκευάζει στα πρότυπα των μαθηματικών σχέσεων. Είναι μη εντοπισμένο χρονικά αφού μεταβάλλεται συνεχώς, και περιέχει (αντί γραμμών κύκλων και σημείων) πληροφορία για την κατάσταση του συστήματος. Η πληροφορία αυτή θα μπορούσε για παράδειγμα να είναι ο τρόπος μεταβολής ενός διανυσματικού πεδίου που ασκείται σε τμήματα του χώρου ώστε να τα επανατοποθετεί σε νέες θέσεις, σχεδιάζοντας έτσι τον χώρο.

Γ. Η ενεργοποίηση του αρχιτεκτονικού αντικειμένου:

Ο μετα-χώρος είναι μια κατασκευή που μεταβάλλεται διαρκώς δεχόμενη περιβαλλοντικά ερεθίσματα. Είναι δηλαδή μια ενεργός κατασκευή. Σε αντίθεση, ο δομημένος χώρος που σήμερα σχεδιάζουμε, σε όλες τις κλίμακες, από το επίπεδο της κατοικίας μέχρι τα αστικά σύνολα, είναι ένας όγκος αδρανούς υλικού, με πολύ περιορισμένες δυνατότητες μεταβολής, επειδή ακριβώς ο τρόπος παραγωγής του χώρου μέχρι τώρα δεν απαιτούσε μια τόσο «μαλακή» αρχιτεκτονική όσο είναι ο μετα-χώρος. Η ενεργοποίηση της υλικής υπόστασης της αρχιτεκτονικής είναι μια αναγκαία συνθήκη για την υλοποίηση μιας «ζωντανής» αρχιτεκτονικής. Ο αυτοποιητικός χαρακτήρας καθώς και το συνεχές σχεδιασμού-κατασκευής-λειτουργίας δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν αν το αντικείμενο είναι υλικά αδρανές γιατί η αδράνεια δεν θα επιτρέψει την πραγματοποίηση των διαδικασιών ανάδρασης που περιγράφηκαν προηγουμένως.

Η υλικότητα του χώρου μπορεί να γίνει ενεργή με 2 τρόπους:

- i. Με μηχανικό σύστημα (όπως προτάθηκε για παράδειγμα από τον Hilbertz) κάτι που φαίνεται να είναι δύσχρηστο, περιοριστικό και μάλλον ανεπαρκές για την ενσωμάτωση διαδικασιών όπως η εξέλιξη της κατασκευής
- ii. Μέσω χημικού σχεδιασμού και τεχνολογίας του υλικού .

Ο δεύτερος τρόπος, δηλαδή ο χημικός σχεδιασμός, μοιάζει να είναι ο καταλληλότερος, και μαζί με τον σχεδιασμό του τοπολογικού χώρου, αποτελούν ικανή και αναγκαία συνθήκη για την υλοποίηση του μετα-χώρου.

Οι χημικές αντιδράσεις είναι ουσιαστικά εκ νέου διευθετήσεις υλικού στο χώρο, μέσα από κάποιους φυσικούς νόμους. Αυτή η δραστηριότητα είναι αναμφίβολα μια διαδικασία σχεδιασμού και μάλιστα είναι μια διαδικασία που, λόγω υπαγωγής στους φυσικούς νόμους, αποτελεί σε κάθε περίπτωση την πιο βελτιωμένη (με λιγότερη δαπάνη ενέργειας) και την πιο σταθερή επιλογή ισορροπίας του συστήματος. Η δυναμική των χημικών αντιδράσεων μπορεί να υποστηρίξει το συνεχές σχεδιασμού-κατασκευής-λειτουργίας με τον τρόπο που ορίστηκε στο A-ii . Ο χημικός σχεδιασμός μπορεί να γίνει με δύο βασικούς τρόπους.

- a. σχεδιασμός έξυπνου υλικού που λόγω της σχεδιασμένης του συμπεριφοράς ενσωματώνει σαν φυσικοχημική ιδιότητα το διάγραμμα λειτουργικής δομής του μετα-χώρου. Το υλικό δηλαδή περιέχει τη σχεδιαστική μέθοδο και πληροφορία υπό τη μορφή φυσικοχημικών ιδιοτήτων και πραγματοποιεί την ανακατανομή της ύλης σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή. Η συμπεριφορά του είναι απόλυτα σχεδιασμένη.
- b. Χημικός προγραμματισμός τεχνητών κυττάρων που θα εκτελέσουν κατασκευαστικές διεργασίες (τεχνολογία των protocells) μέσω ανακατανομής της ύλης στο χώρο. Η διαφορά με το (α) είναι ότι εδώ σχεδιάζεται ένα δεύτερο σύστημα που θα δώσει το ζητούμενο, δηλαδή το χώρο. Ο σχεδιασμός είναι περισσότερο έμμεσος, ωστόσο αποτελεσματικός και ελέγξιμος.

Όπως προκύπτει από τα συμπεράσματα, ο σχεδιασμός στα πρότυπα των ζωντανών συστημάτων απαιτεί μια διεύρυνση των γνωστικών πεδίων της εκπαίδευσης του αρχιτέκτονα και μια εντελώς διαφορετική αντιμετώπιση της ίδιας της έννοιας του σχεδιασμού μέσα από μια διεπιστημονική προσέγγιση του αντικειμένου. Ο σχεδιασμός σαν έννοια διευρύνεται και αποκτά μορφές που προκύπτουν από την συνεργασία επιστημονικών πεδίων που παλιά θεωρούνταν διακριτά και μάλλον άσχετα μεταξύ τους. Δεν υποβιβάζεται ο ρόλος του αρχιτέκτονα ούτε περιορίζεται ο έλεγχος του σχεδιασμού: σε καμιά περίπτωση δεν υπονοείται ότι ο μετα-χώρος είναι μια αυτονομημένη οντότητα που προκύπτει μόνη της και υποχρεώνει το σχεδιαστή και το χρήστη να λειτουργήσουν με τις δικές της προθέσεις. Αντίθετα, η συμπεριφορά του μετα-χώρου είναι αποτέλεσμα σχεδιασμού και ελέγχεται πλήρως. Η «ζωντανή» αρχιτεκτονική του μετα-χώρου είναι μια νέα διάσταση στην αρχιτεκτονική σκέψη που κυοφορείται ακόμα, ανεξερεύνητη και πολλά υποσχόμενη.



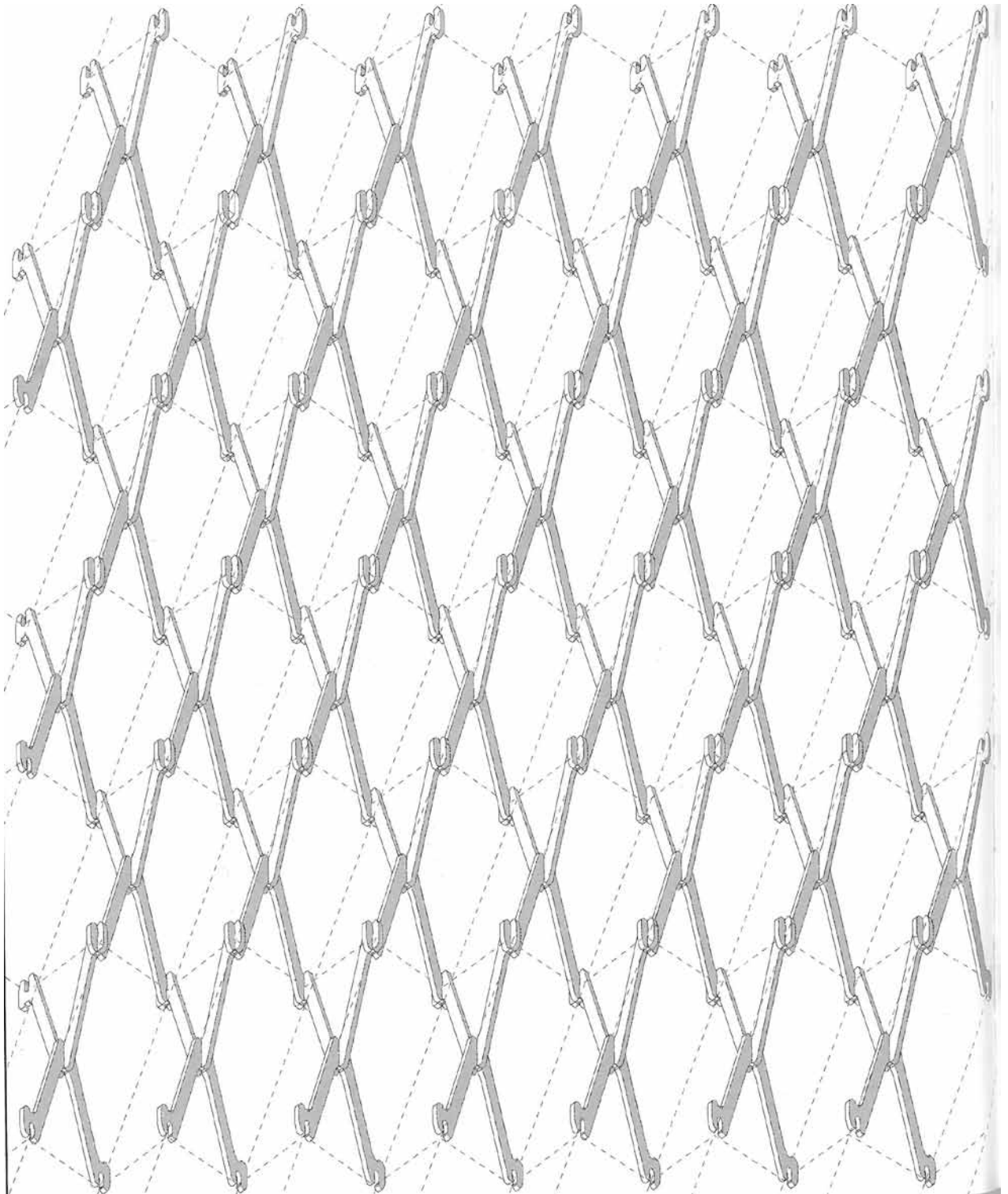
1. Armstrong, R., 2011, *How protocells can make "stuff" much more interesting*,
Architectural Design : Protocell Architecture (March/April 2011), σ. 68-77
2. Beesley, P., 2010, *Hylozoic Ground – Liminal Responsive Architecture*,
China: Riverside Architectural Press
3. Cronin, L., 2011 *Defining New Architectural Design Principles with "Living" Inorganic Materials*,
Architectural Design : Protocell Architecture (March/April 2011), σ. 35-43
4. DeLanda, M., *Deleuze and the Use of Genetic Algorithm in Architecture*, [online]
www.cddc.vt.edu/host/delanda/pages/algorithm.htm
[τελευταία επίσκεψη 20/05/2012]
5. Guattari, F., *On Machines*, [online]
http://www.ntua.gr/archtech/forum/post2006interaction/on_machines.htm
[τελευταία επίσκεψη 03/02/2012]
6. Hanczyc, M., 2011, *Structure and the Synthesis of life*, Architectural Design : Protocell Architecture (March/April 2011), σ. 26-33
7. Hensel, M., Menges, A., Weinstock, M., 2010, *Emergent Technologies and Design-Towards a biological paradigm for architecture*,
New York: Routledge
8. Hemberg, M. 2001, *GENR8 – A Design Tool for Surface Generation*, (thesis document, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science Engineering Physics)
9. Hilbertz, W., *Toward Cybertecture* [online]
<http://www.wolfhilbertz.com/>
[τελευταία επίσκεψη 06/04/2012]
10. Khan, O., 2011, *An Architectural Chemistry*, Architectural Design : Protocell Architecture (March/April 2011), σ. 51-59
11. Kwinter, S., 2008, *What is Life ?*, [Lecture, online]
<http://www.archboston.org/community/showthread.php?t=2168>
[τελευταία επίσκεψη 18/03/2012]

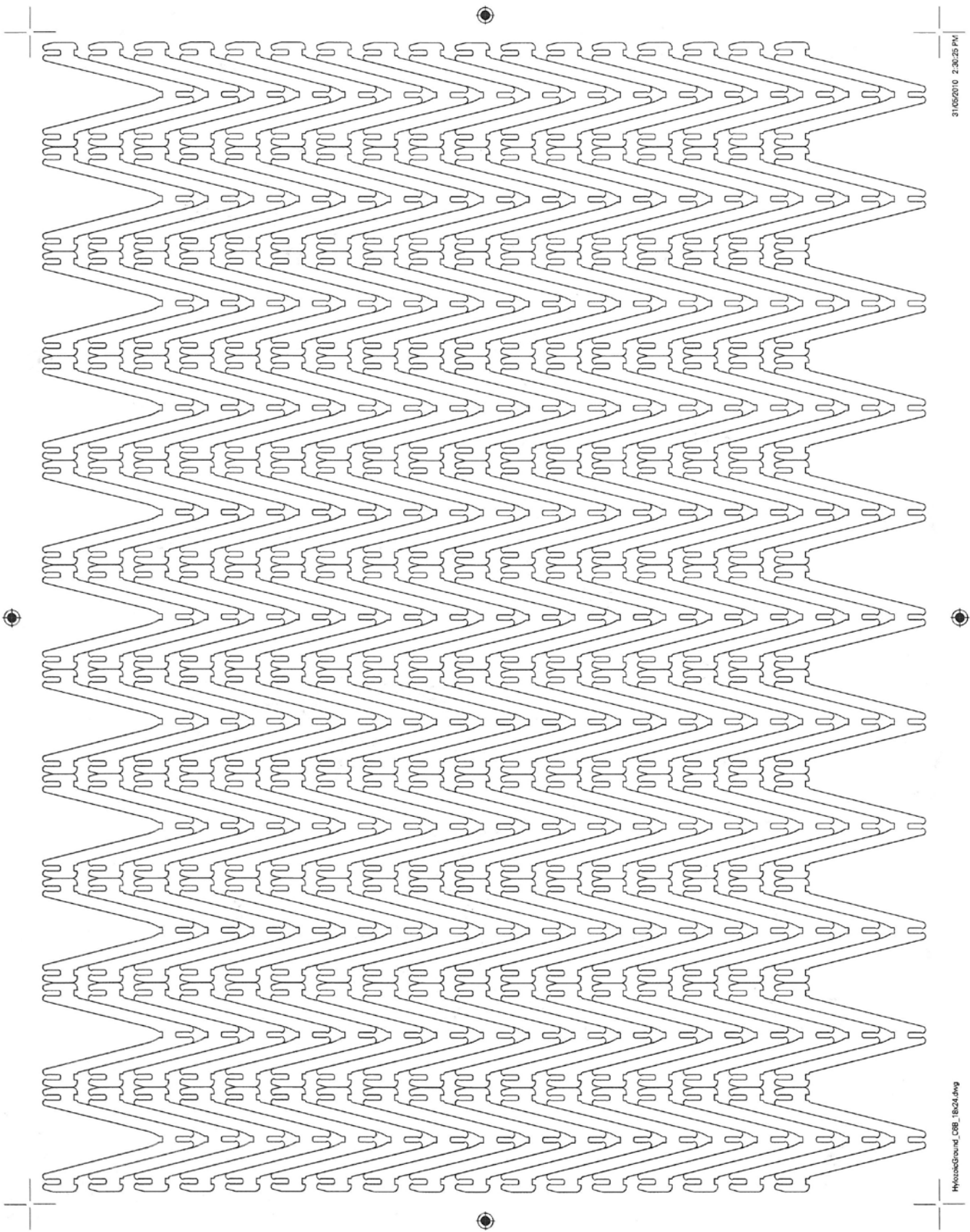
12. Saunders, P.,T., *The Organism as a Dynamical System*,
published in: *Thinking about Biology*, Addison Wesley, Reading, 1993, σ.41-63
13. Slavinsky, D., *Authorship at risk: the role of the architect*,
Architectural Design : Protocell Architecture (March/April 2011), σ. 90-99
14. Spiller, N., Armstrong, R., 2011, *It's a brand new morning*, *Architectural Design : Protocell Architecture* (March/April 2011), σ. 14-25
15. Strogatz, ST. H., 1994, *Nonlinear Dynamics and Chaos*,
USA: Westview press
16. Varela, F. J., *Autopoiesis and a Biology of Intentionality*, [online]
<ftp://ftp.eeng.dcu.ie/pub/alife/bmcm9401/varela.pdf>
[τελευταία επίσκεψη 05/04/2012]
17. Weinstock, M. , 2010, *The Architecture of Emergence -the evolution of form in nature and civilization*,
United Kingdom: Wiley
Boston, Massachusetts: MIT Department of Physical Resource Theory
18. Αλεξανδρή-Χατζηαντωνίου, Ε., 2004, *Βιολογία –Η Μελέτη της Ζωής*, 2^η έκδοση
Αθήνα : Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης
19. Δοξιάδης, Α., 2006, Τα 36 μου χρόνια με τον Κουρτ, *[διάλεξη online]*
<http://thalesandfriends.org/el/2006/11/27/36xronia-kurt-godel/>
[τελευταία επίσκεψη 09/04/2012]
20. Καρύδα, Μ., *Μάθημα: Θεωρία Συστημάτων*,
Πανεπιστήμιο Αιγαίου-Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων
[διάλεξις online]
www.icsd.aegean.gr/website_files/proptyxiako/395358265.ppt
[τελευταία επίσκεψη 17/03/2012]
21. Κολέζα , Ε. *Νοητικές Διεργασίες Ανάπτυξης Γεωμετρικών Εννοιών*[online]
<http://www.math.uoa.gr/me/conf2/papers/koleza.pdf>
[τελευταία επίσκεψη 20/06/2012]

22. Παπαλεξόπουλος, Δ. (επιστημονικός υπεύθυνος), Σταυρίδου, Α., Παπαδόπουλος, Δ., 2007, Εννοιολογικός προσδιορισμός παραμετρικών ιδιοτήτων αρχιτεκτονικών κατασκευαστικών στοιχείων και δομικών υλικών,
Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
23. Δημήτρης Παπαλεξόπουλος, *Η αναπαράσταση του συνεχούς Σχεδιασμός – Κατασκευή – Χρήση*, στο Β. Τροβά, Κ. Μανωλίδης, Γ. Παπακωσταντίνου (επιμ.), *Η αναπαράσταση ως όχημα αρχιτεκτονικής σκέψης*, Βόλος/ Αθήνα: Τμήμα Αρχιτεκτόνων Πανεπιστημίου Θεσσαλίας/Futura, 2006, σ. 95-102
24. Πάυλος, Γ., Μάθημα: Εισαγωγή στη Θεωρία της Πολυπλοκότητας και Πολύπλοκα Συστήματα, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, [online]
http://utopia.duth.gr/~gpanlos/introduction_complexity_theory.pdf
[τελευταία επίσκεψη 13/02/2012]
25. Φραγκούλης ,Ε. Γ., 2005, Μαθήματα βιοχημείας, 2η έκδοση
Αθήνα: Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας

Παράτιθενται κατασκευαστικά σχέδια του Hylzoic Ground Project, συμπληρωματικά του κεφαλαίου 6.

Τα σχέδια έχουν δημοσιευθεί στο βιβλίο *"Hylzoic Ground - Liminal Responsive Architecture"*

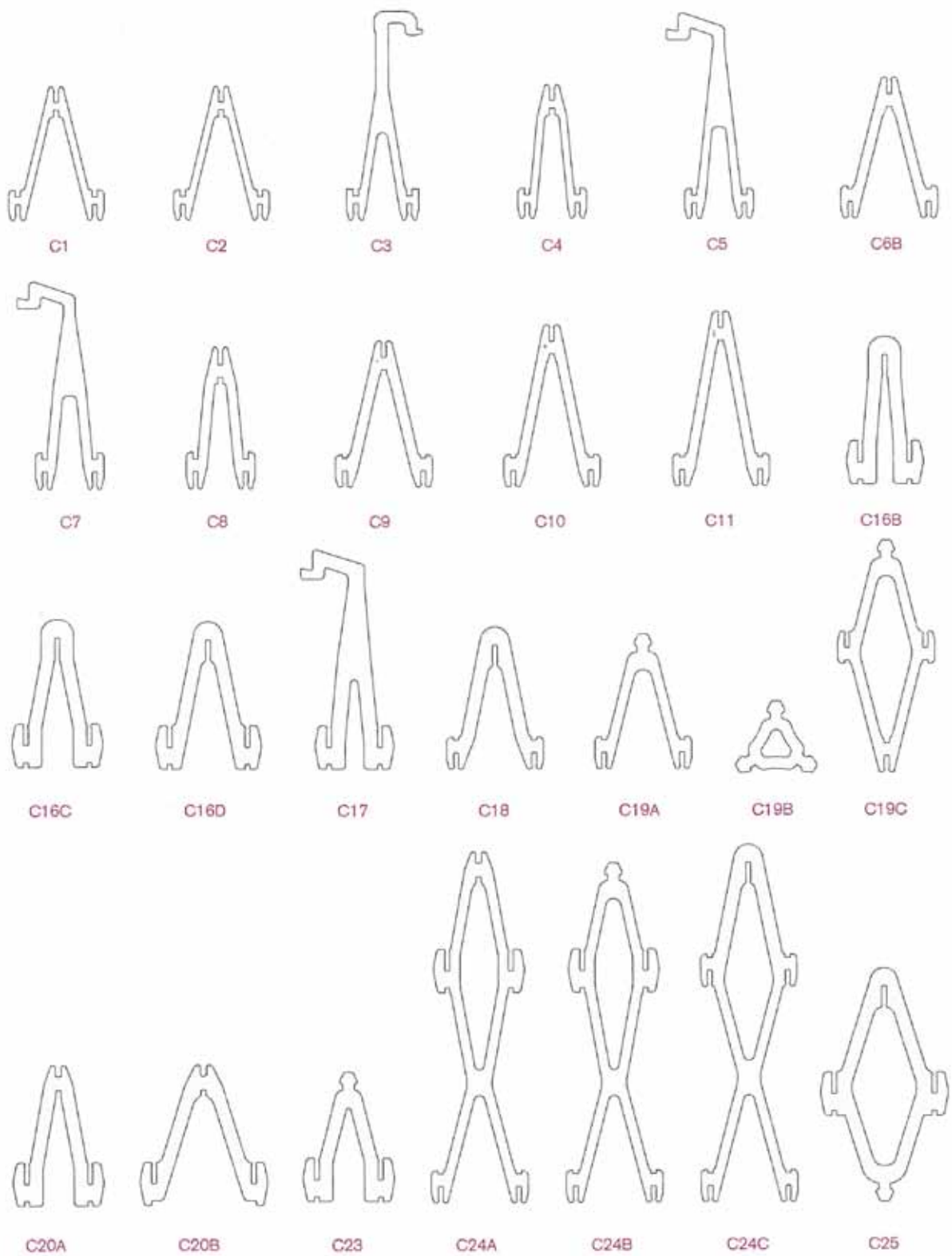




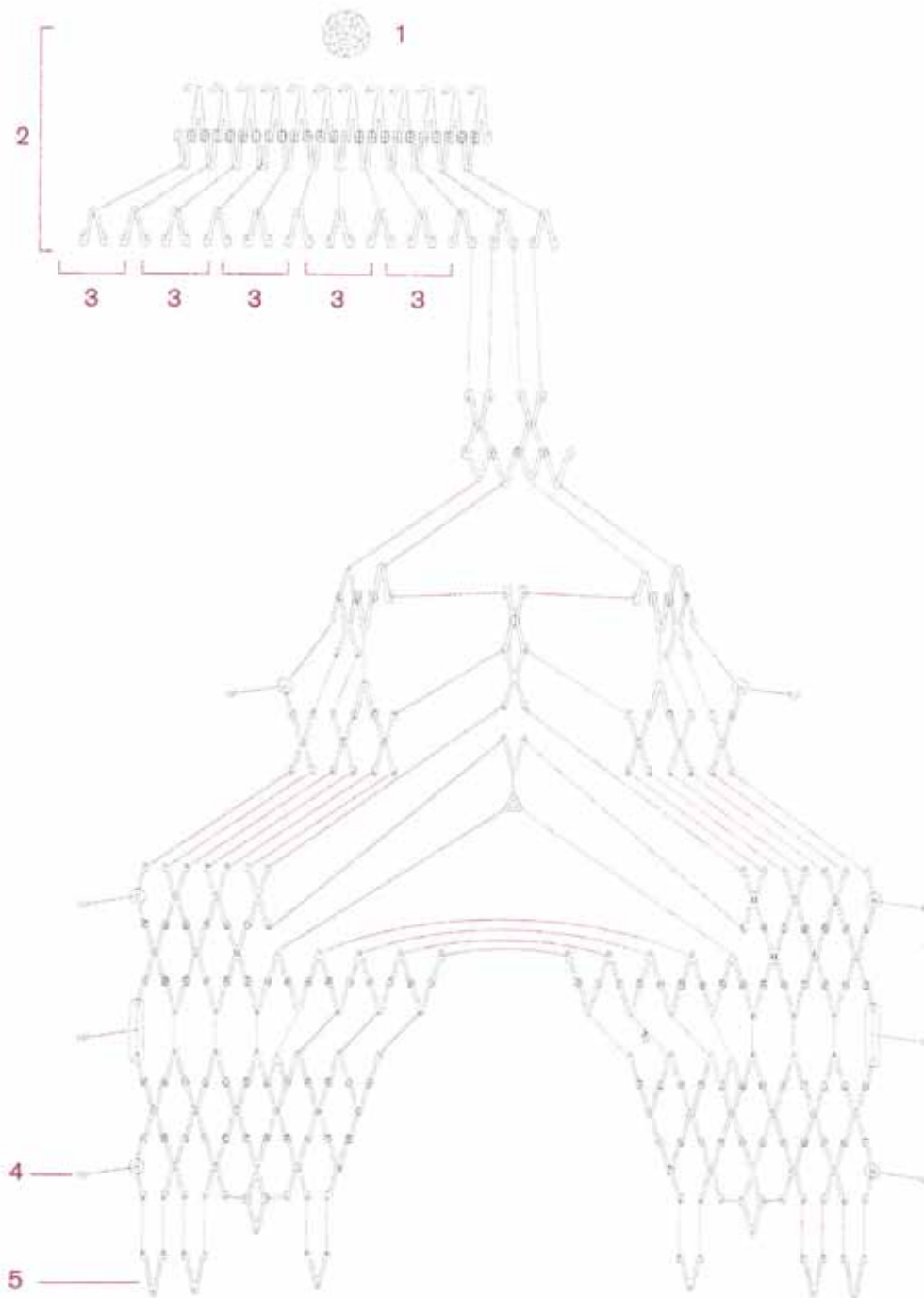
31/05/2010 2:30:25 PM

Myzostground_CBE_1824.dwg

ανάπτυγμα για κοπή των V-shaped components που θα συναρμολογηθούν για να σχηματιστεί το hulozoic mesh



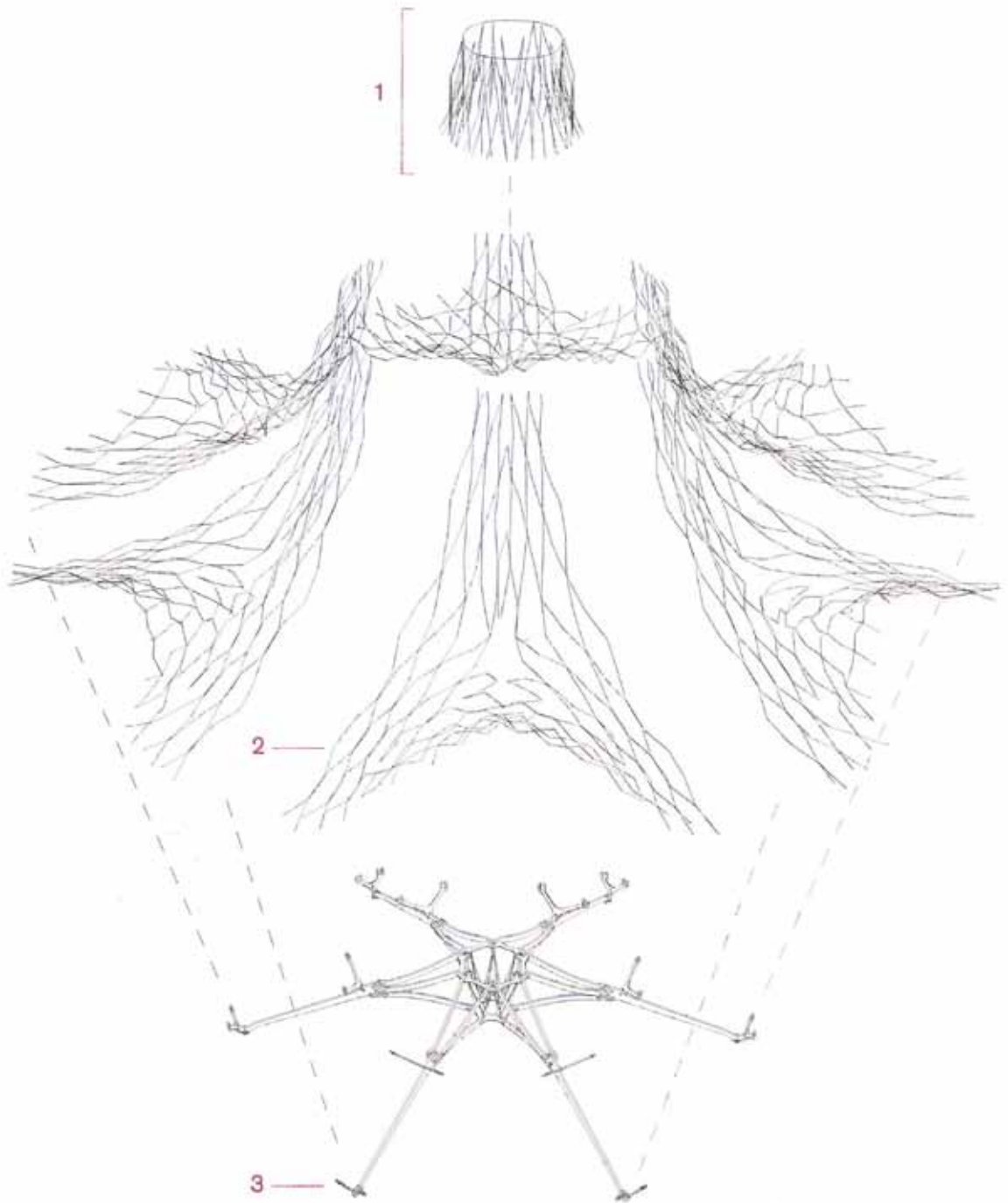
παραλλαγές “μεταλλάξεις” του V-shaped component



petal assembly diagram

- 1 Lily cap hanging plate 2 Lily cap assembly 3 Lily petal attachment point 4 Silicon petal attachment point
5 Adjacent canopy attachment point

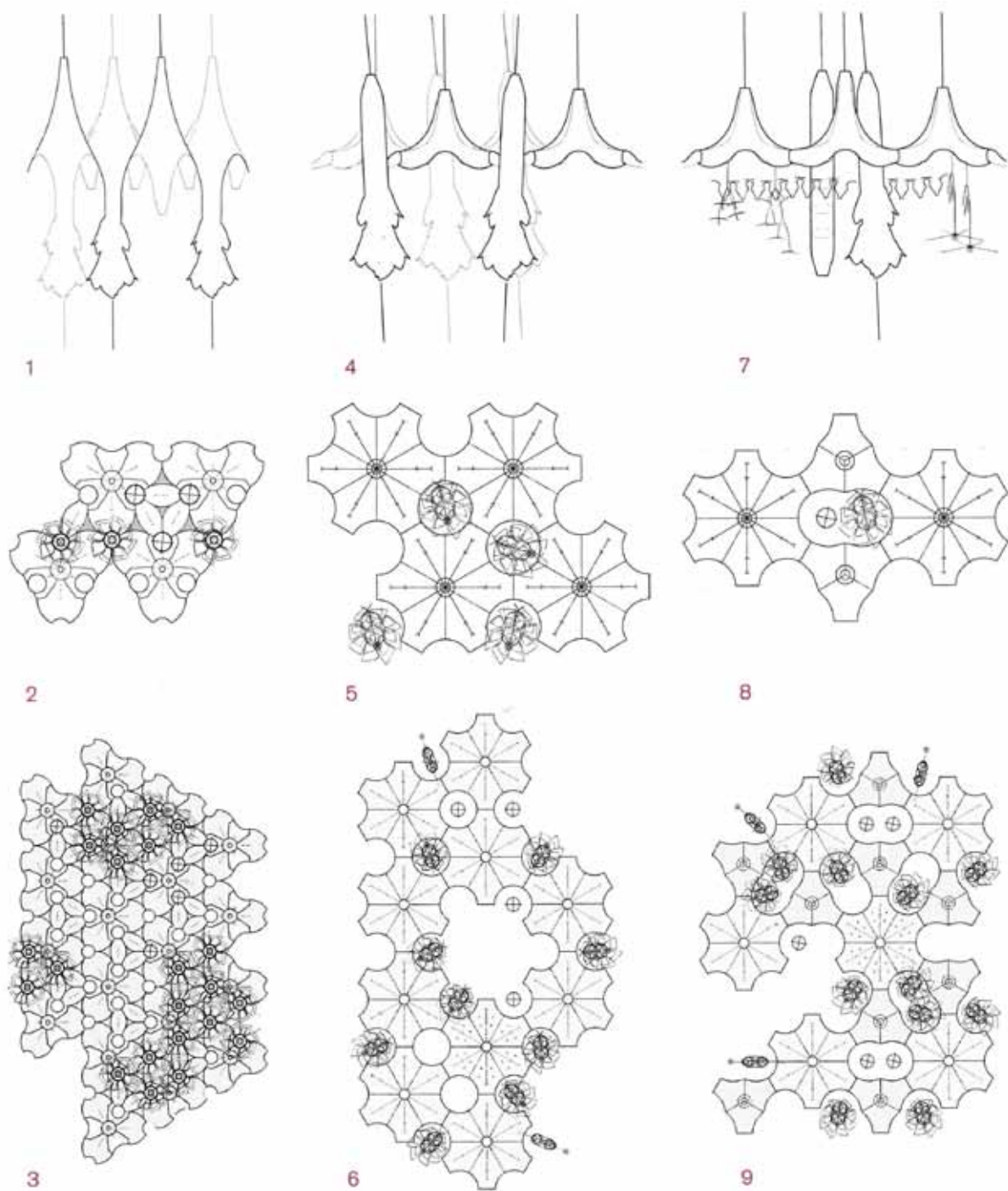
διάγραμμα συναρμολόγησης των τμημάτων για να προκύψει η μορφή “πέταλο” (petal), στη γεωμετρία του hylozoic mesh



lily canopy assembly diagram

1 Lily cap assembly 2 Lily petal (assembled) 3 Lily umbrella assembly

διάγραμμα συναρμολόγησης των τμημάτων για να προκύψει η μορφή "ρόδο" (lily), στη γεωμετρία του hylozoic mesh



hylozoic plan diagrams

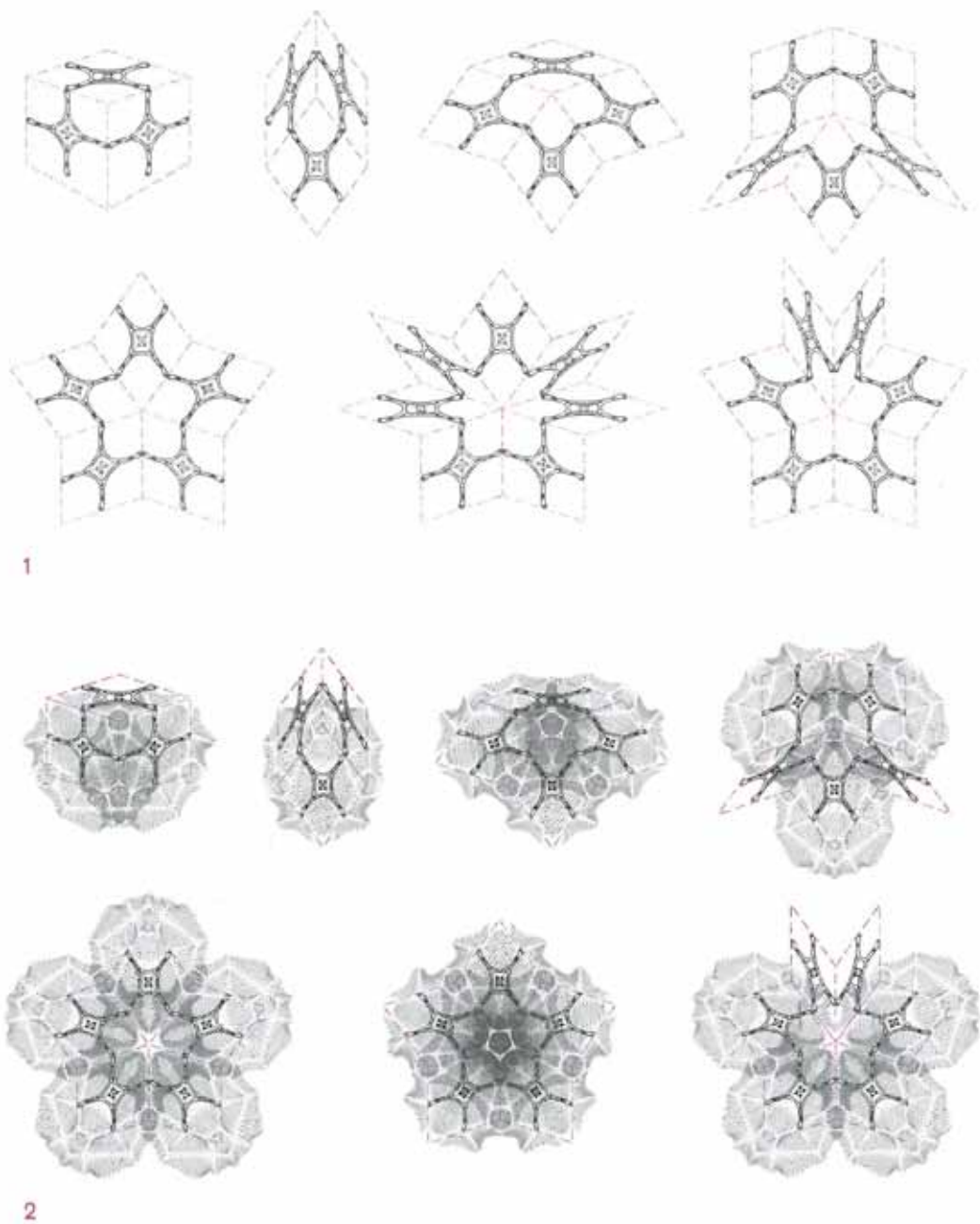
1-3 First generation. Hylozoic Soil, Montreal Museum of Fine Arts, Montreal, 2007

4-6 Second generation. Hylozoic Grove, Museum of the Future, Ars Electronica, Linz, 2008

7-9 Fourth generation, Hylozoic Soil, Biologic Art, SIGGRAPH, New Orleans, Louisiana, 2009

10 Eighth generation, Hylozoic Ground, Canada Pavilion, 12th International Architecture Exhibition, la Biennale di Venezia, Venice, 2010

σχέδια του hylozoic series (διαφορετικές "γενεές")



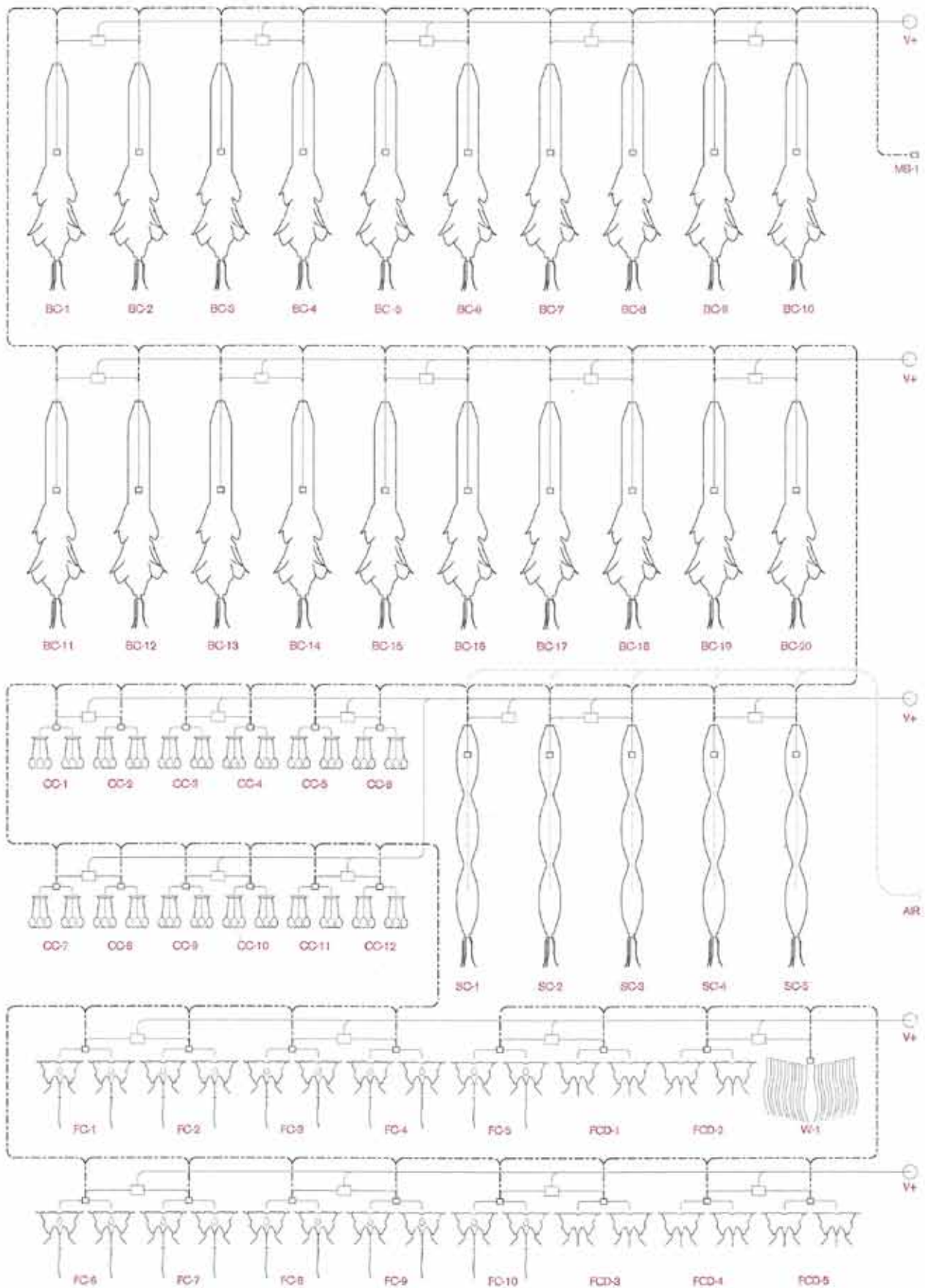
filter layer plan diagrams—first generation

1 Skeleton typical configurations 2 Feather typical configurations 3 Filter layer rhombic assembly pattern
 4 Two way connection rhomb tessellation 5 First generation filter layer plan

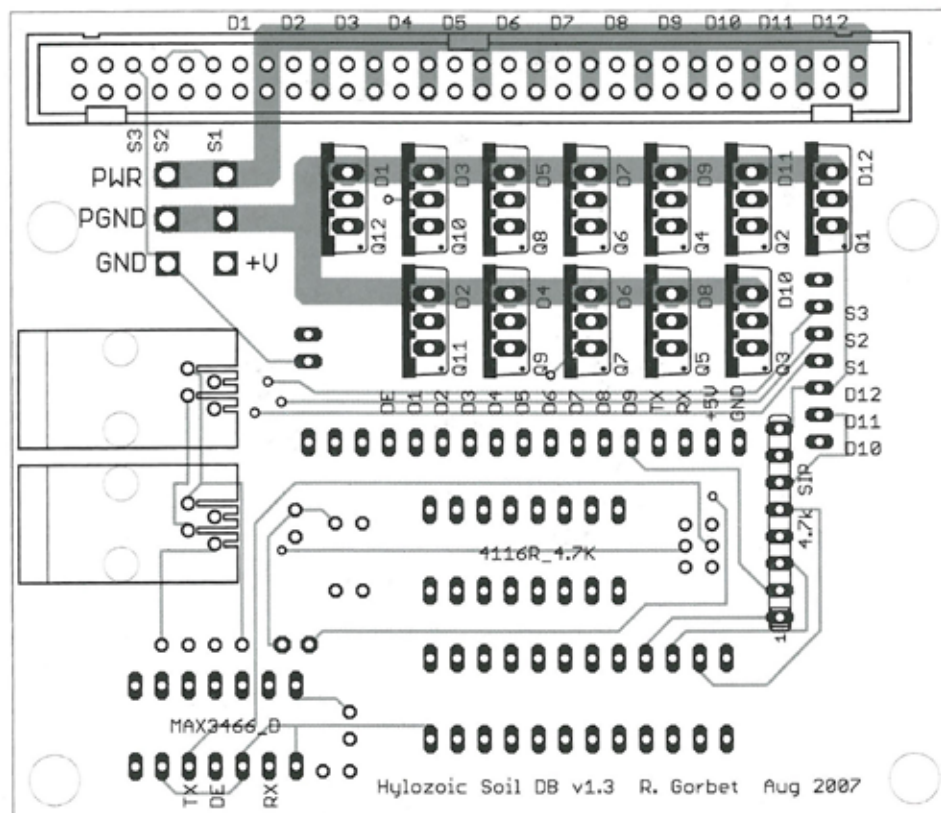
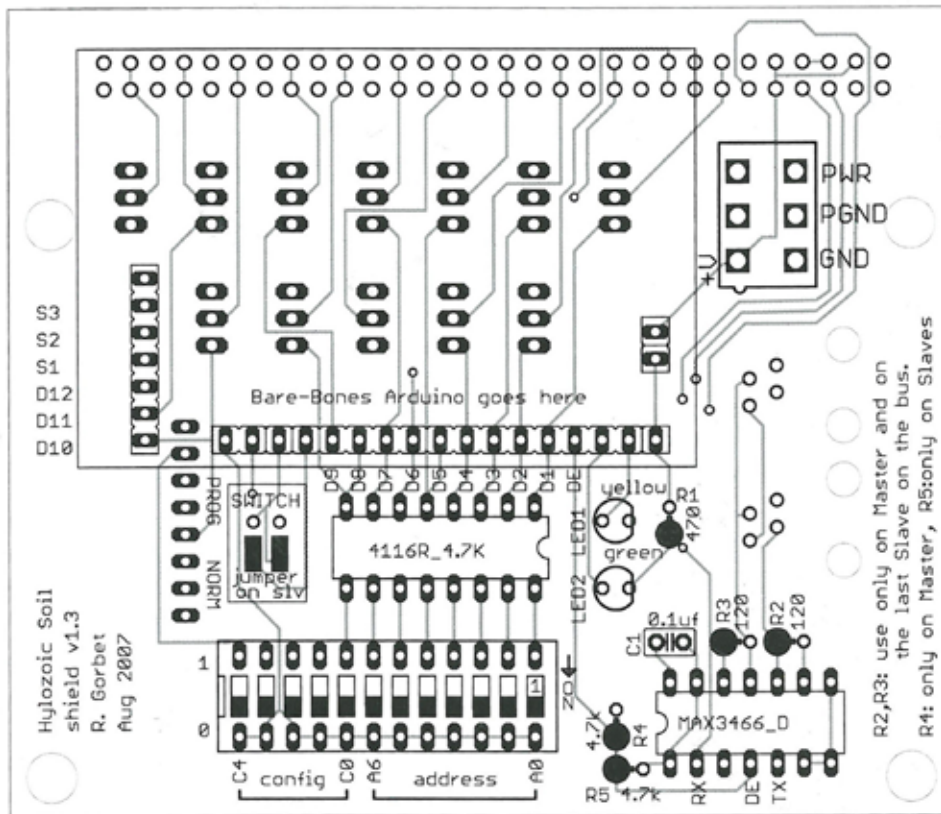
overleaf

6 Eighth generation filter layer plan

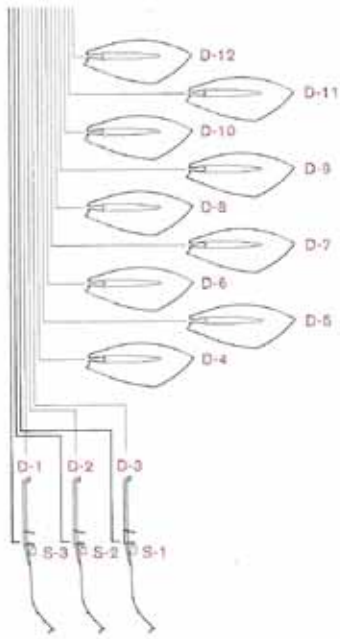
7 Composite floor plan, *Hylozoic Ground*, Canada Pavilion, 12th International Architecture Exhibition, la Biennale di Venezia, Venice



διάγραμμα δικτύωσης κινητών μελών - παρουσιάζονται οι διασυνδέσεις των στοιχείων και το δίκτυο παροχής ενέργειας για την μηχανική κίνηση των μελών

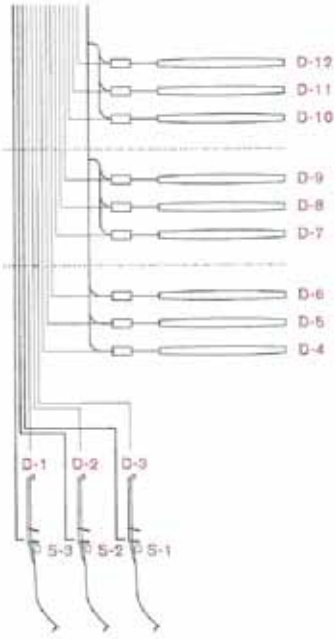


πίνακες ελέγχου των κινήσεων των τμημάτων της κατασκευής daughterboard για το Hylozoic Soil, v1.3, Rob Gorbet 2007



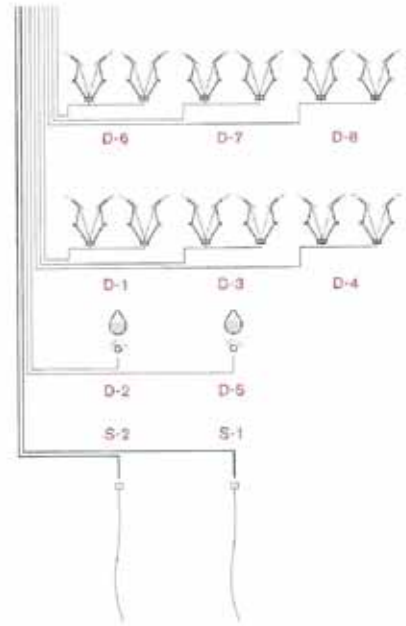
Breathing Column

Output: 9 Breathing Pores,
3 Sensor Lash Actuators
Input: 3 Proximity Sensors



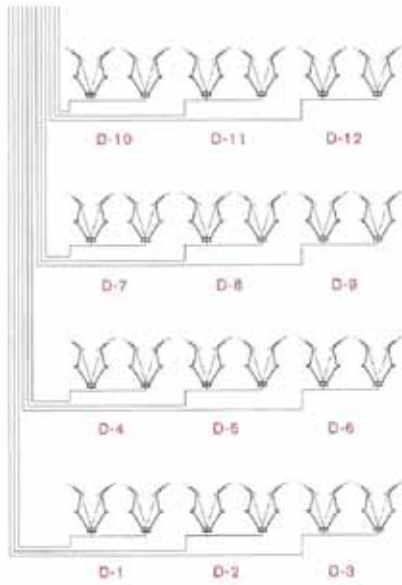
Swallowing Column

Output: 9 SMA Valves (Air Muscles),
3 Sensor Lash Actuators
Input: 3 Proximity Sensors



Filter Cluster

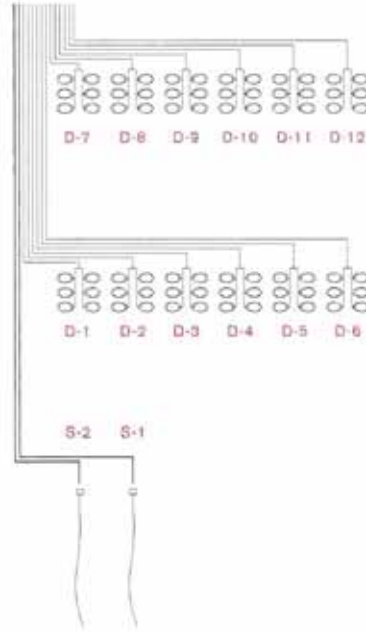
Output: 6 Filter Pairs,
2 Burst LED Triggers (PWM)
Input: 2 Whisker Capacitance Sensors



Filter Cluster Drone

Output: 12 Filter Pairs

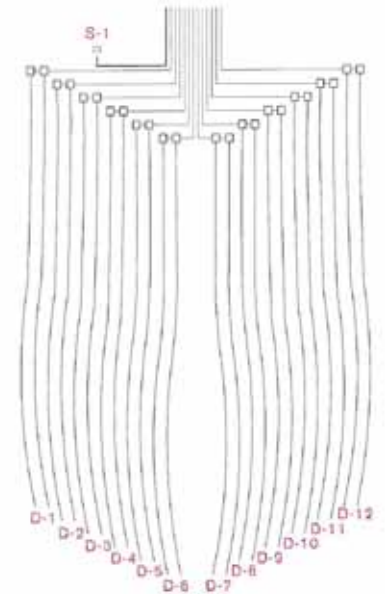
Input: Neighbouring Behavior



Cricket Cluster

Output: 12 Cricket Sets

Input: 2 Whisker Capacitance Sensors

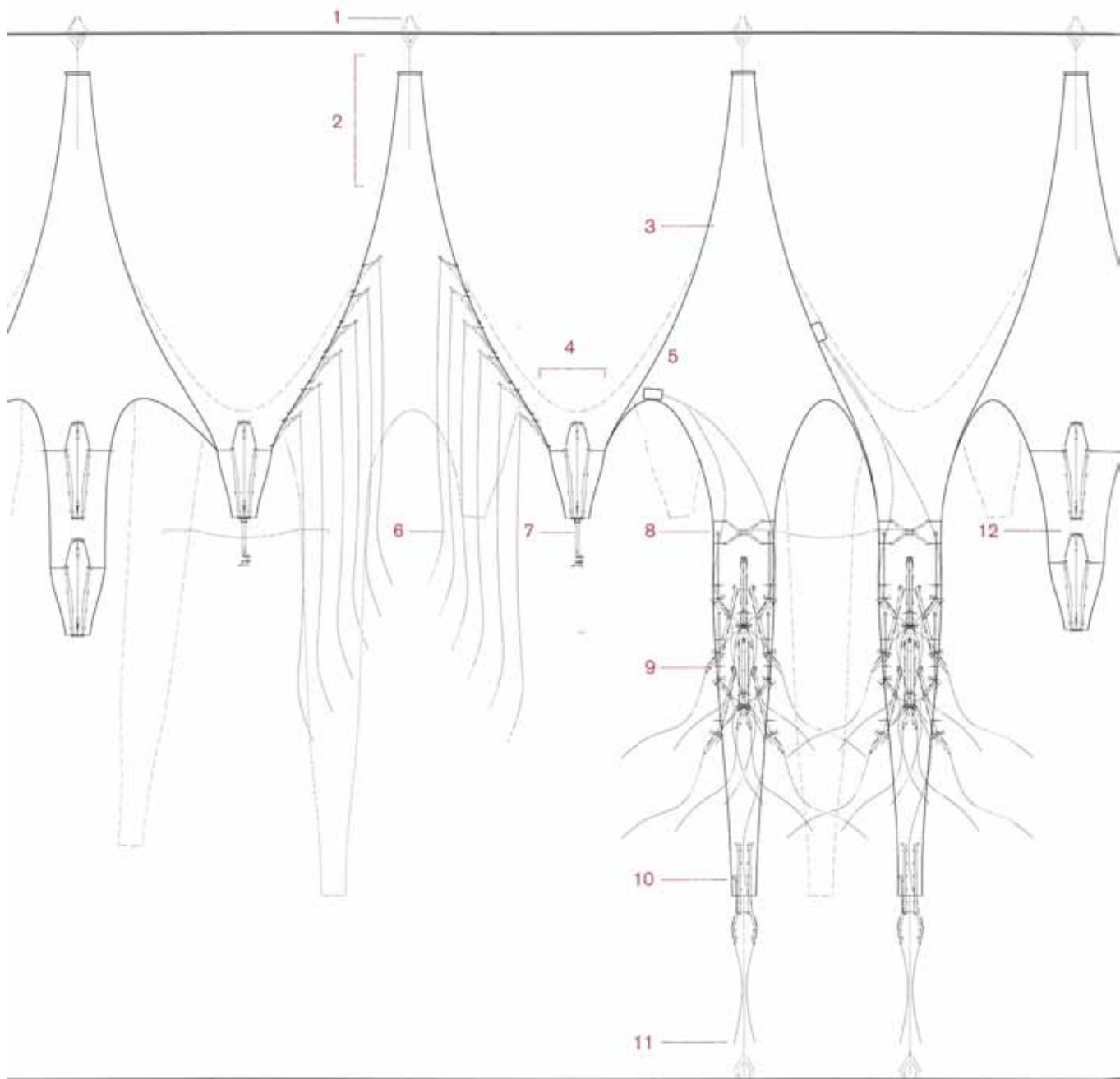


Whisker Cluster

Output: 12 Motor Driven Whisker Pairs

Input: 1 Proximity Sensor

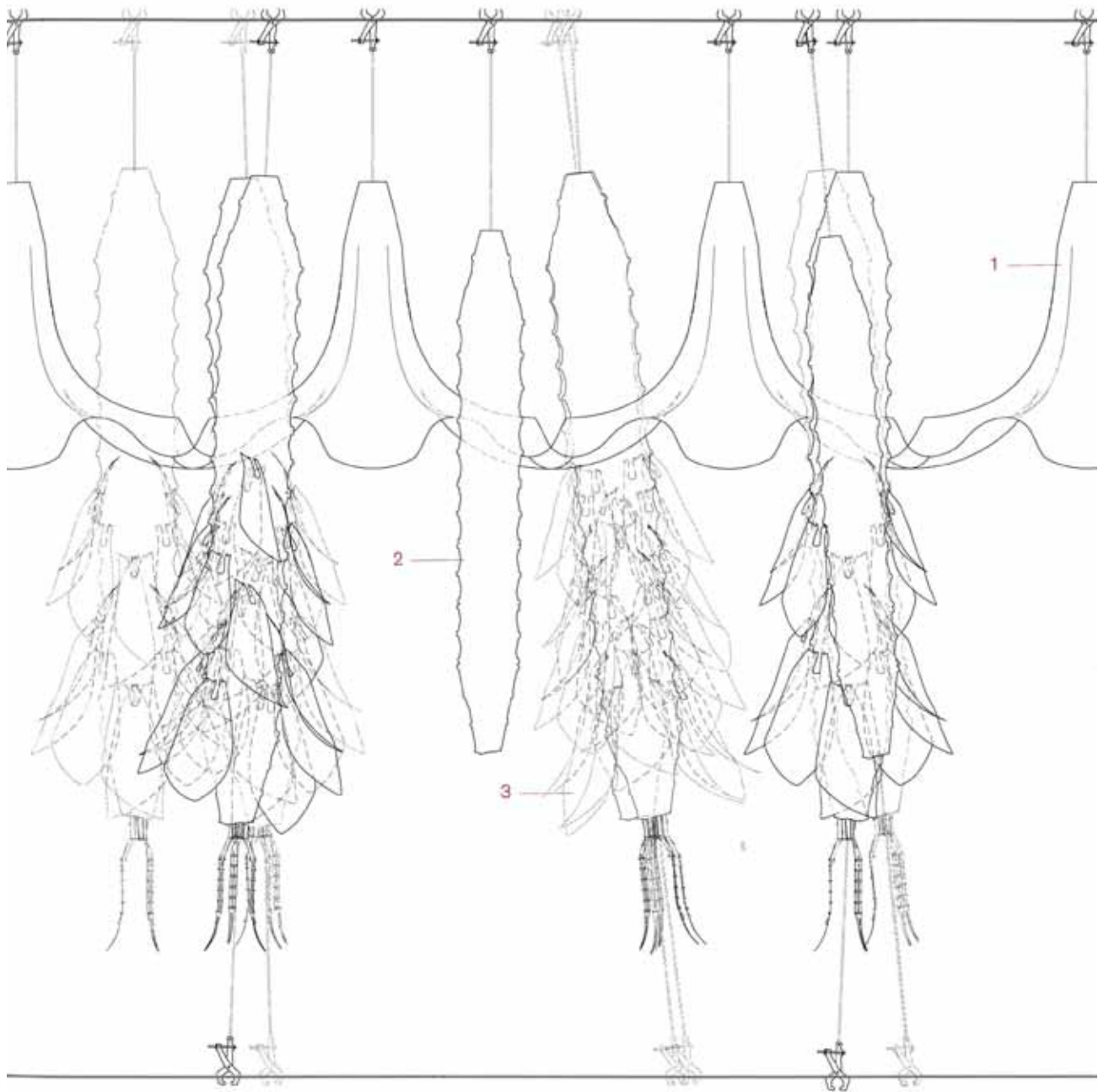
ηλεκτροδότηση και επικοινωνίες μεταξύ κινητών μελών των μηχανισμών σε κάθε μικροεπεξεργαστή Arduino



hylozoic section—first generation

- 1 Lily canopy attachment point 2 Lily cap transition to attachment point 3 Lily canopy element
 4 Mesh tree assembly 5 Arduino microprocessor 6 Actuated whisker 7 Swallowing sensor mount
 8 Column stabilizer assembly 9 Breathing pore spiral 10 Sensor lash base assembly 11 Claw floor attachment point
 12

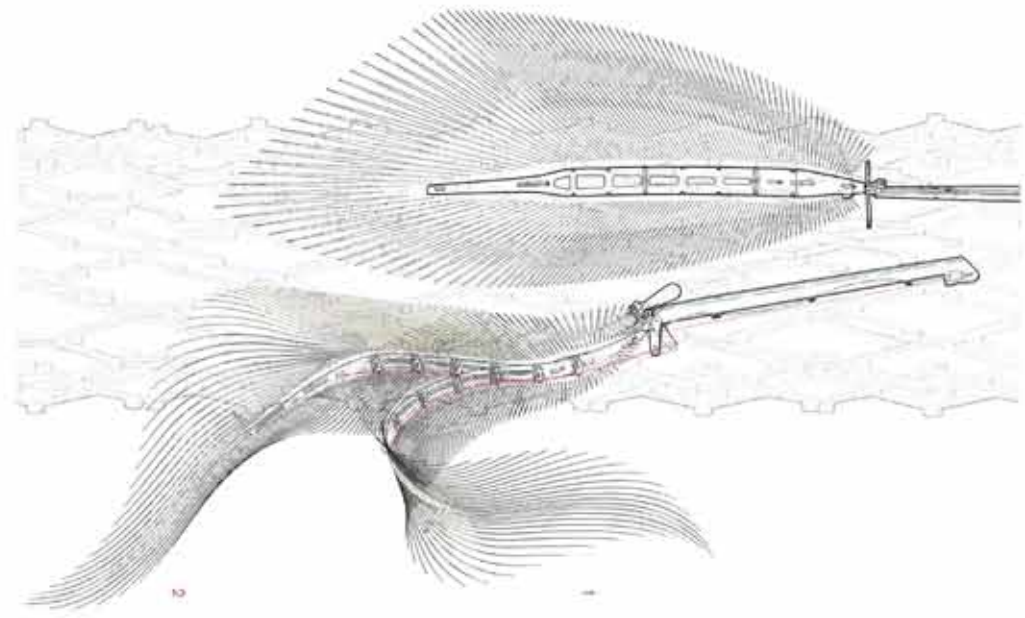
γενική τομή - πρώτη γενιά κατασκευών



hylozoic section—second generation

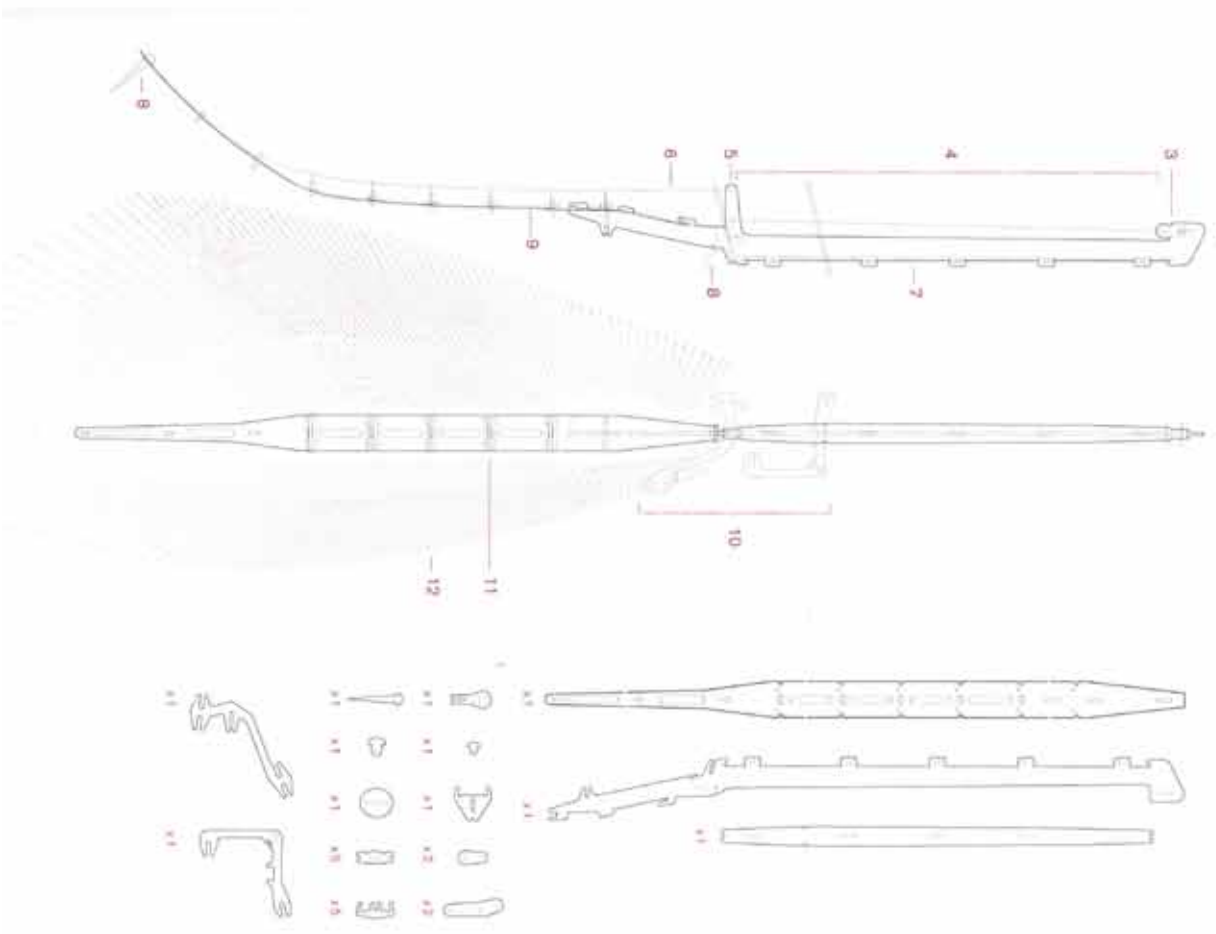
- 1 Discreet lily canopy isolated from column mesh elements
- 2 Nine chevron column
- 3 Isolated breathing column disconnected from main mesh canopy

158 159

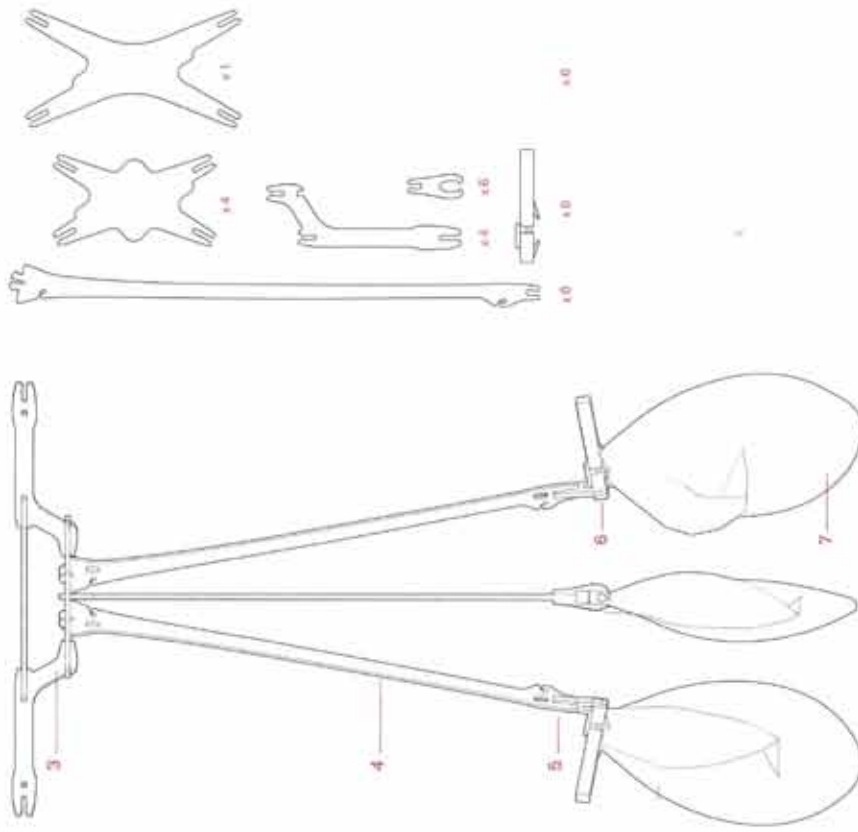
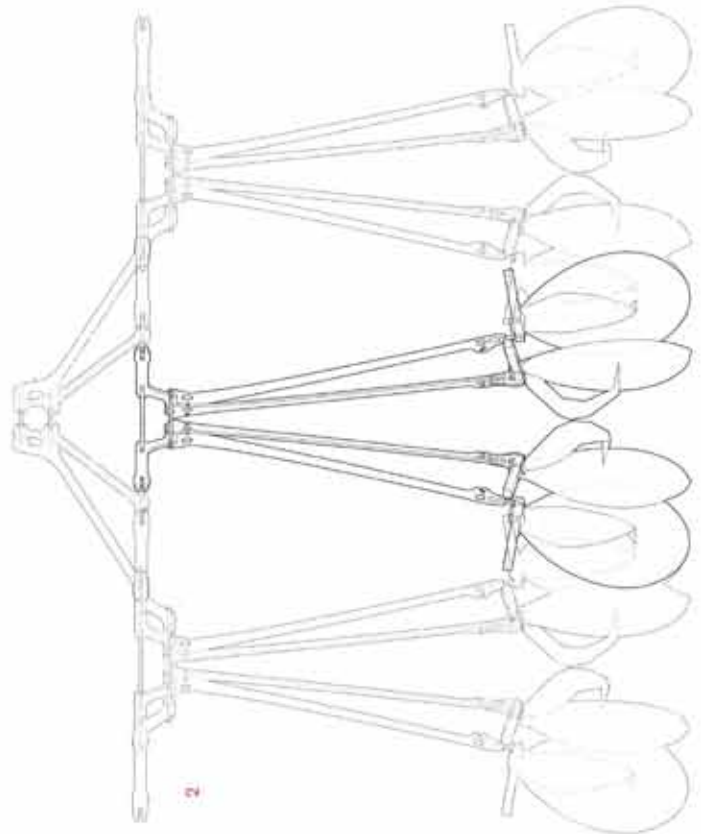
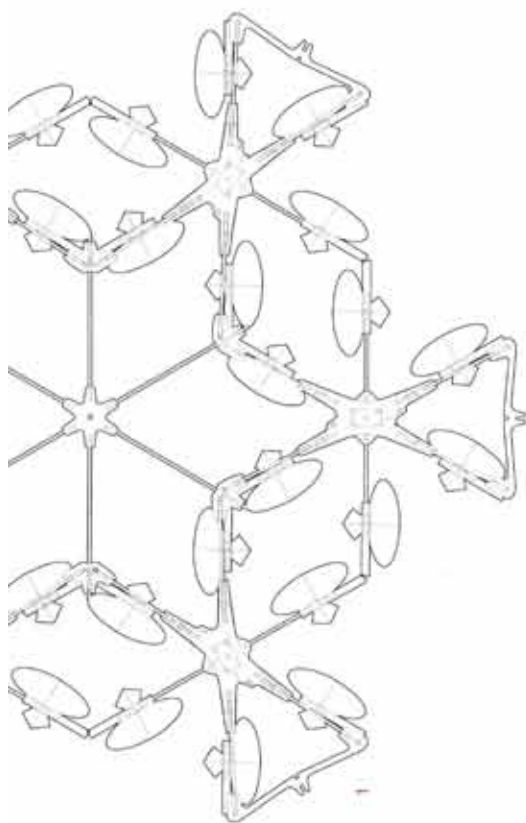


breathing pore assembly diagram

- 1 Breathing pore assembly, actuated position
- 2 Breathing pore assembly, rest position
- 3 Adjustable SMA coil
- 4 SMA
- 5 Level
- 6 Bentonoid tendon
- 7 Strengthening gusset for main spring
- 8 Cantilever clip
- 9 Copolyester tongue
- 10 Spring clip
- 11 Arm and its attachment to mesh
- 12 Tongue drive
- 13 Fastener



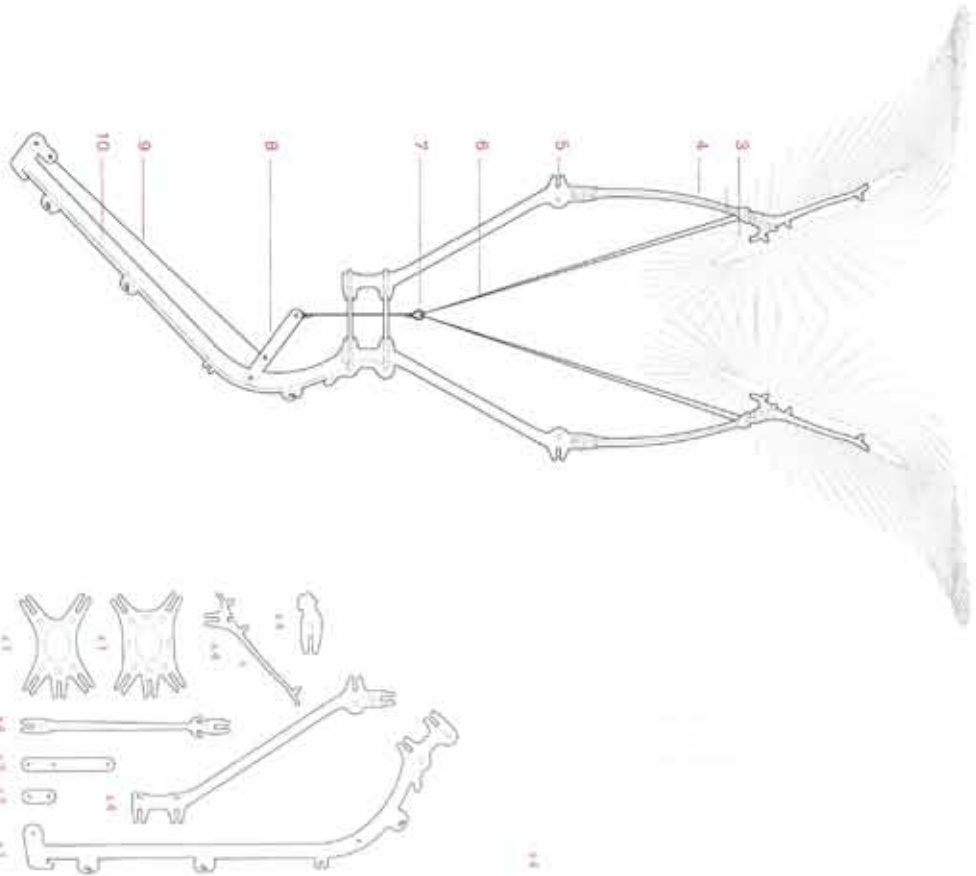
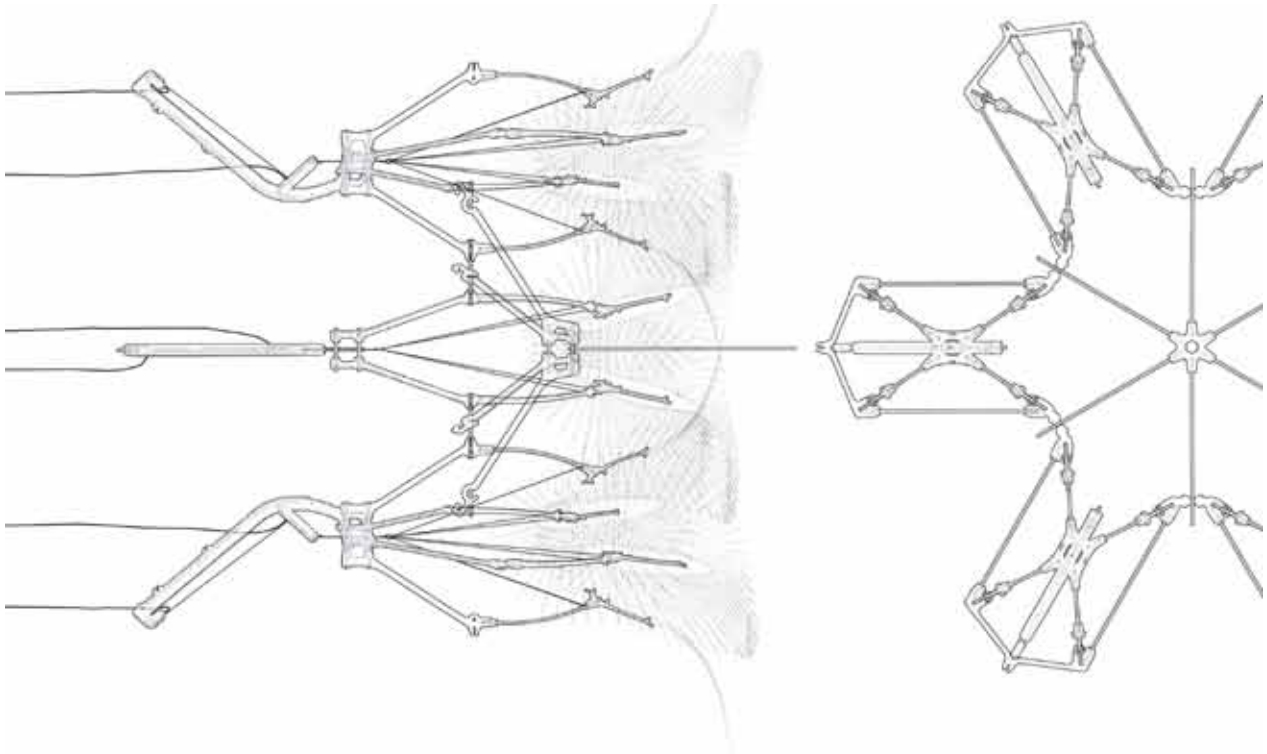
διάγραμμα συναρμολόγησης "αναπνευστικού πόρου" (breathing pore) κινητού μέλους που βρίσκεται στα κατακόρυφα στοιχεία "αναπνοής" (breathing columns)



cricket layer assembly diagram

- 1 Cricket cluster plate
- 2 Cricket cluster elevation
- 3 Cricket frame
- 4 Stack
- 5 Actuator mount
- 6 Shape memory alloy (SMA) actuator
- 7 Cricket resonator

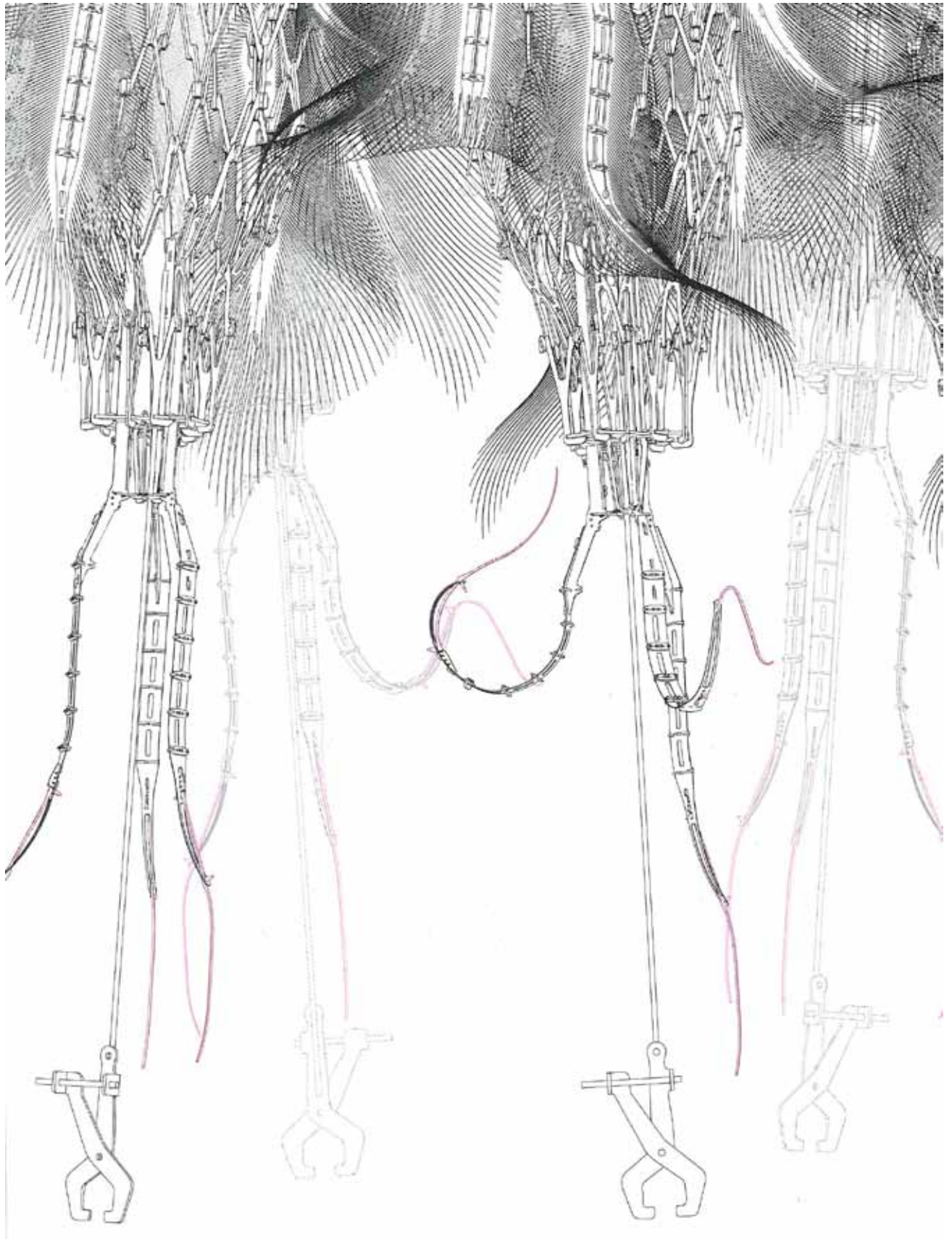
διάγραμμα συναρμολόγησης του cricket layer



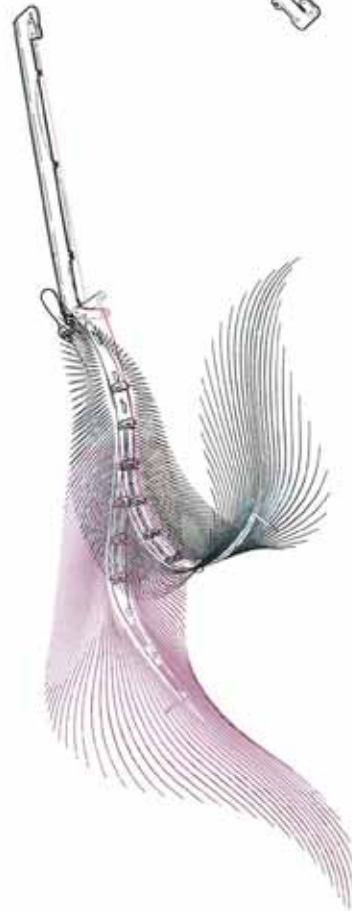
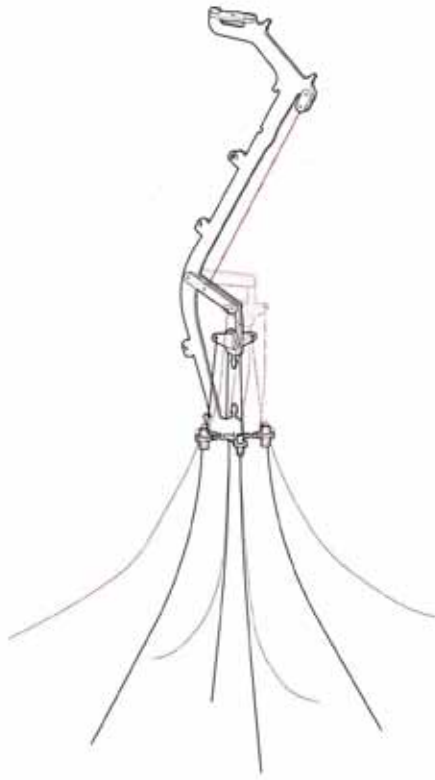
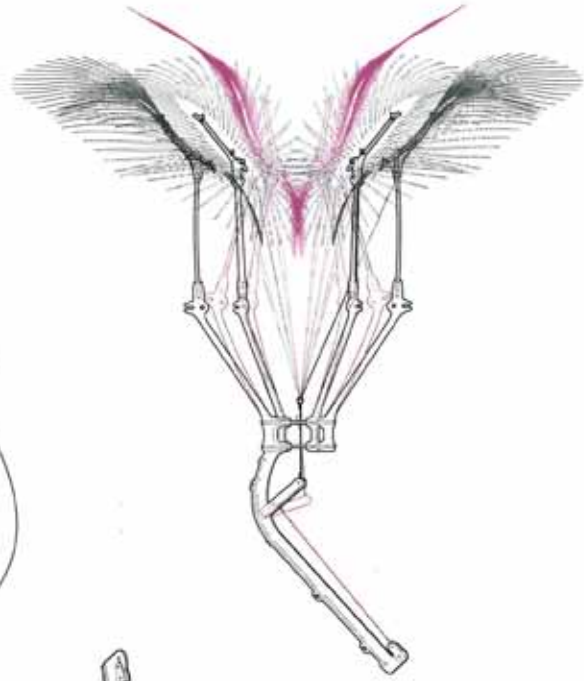
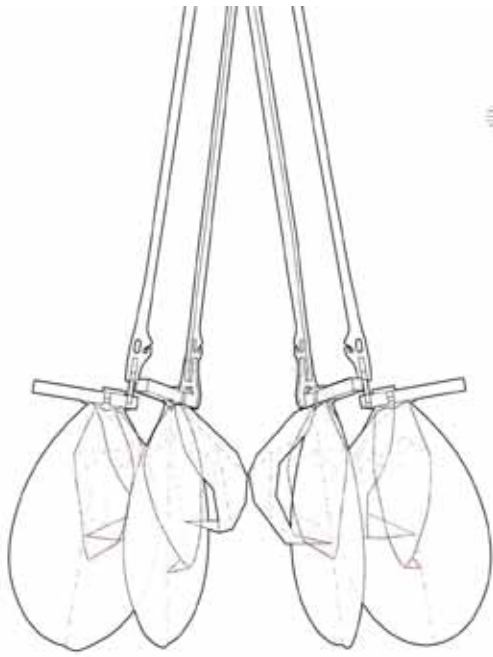
filter layer assembly diagram

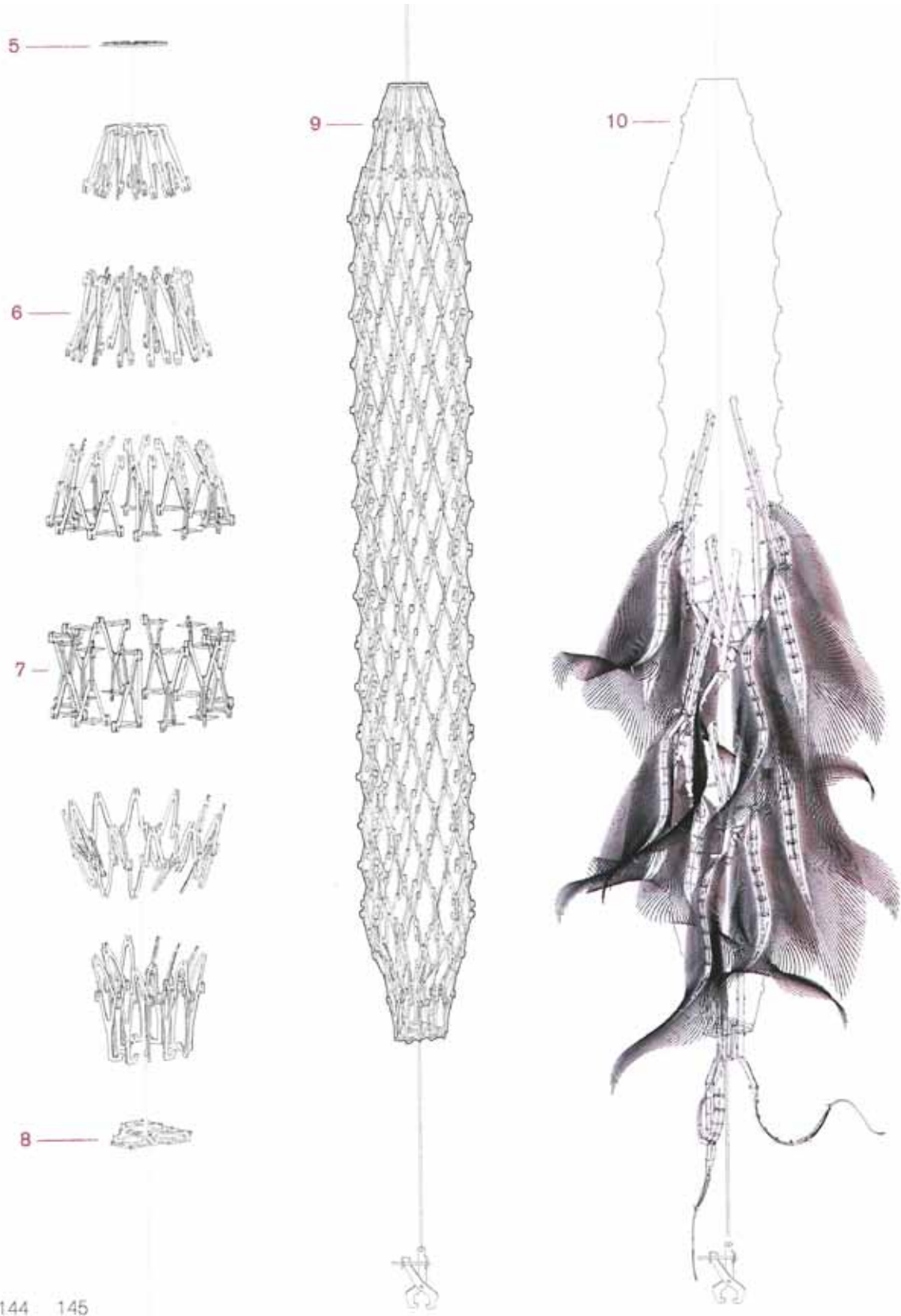
- 1 Filter cluster part
- 2 Filter cluster elevation
- 3 Filter holder
- 4 Load spring
- 5 Connection to adjacent filter
- 6 Tension cable
- 7 Tension hook
- 8 Layer arm
- 9 Shape restrictor
- 10 Slide assembly

169 169



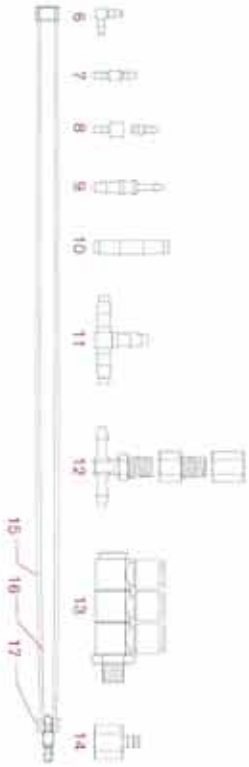
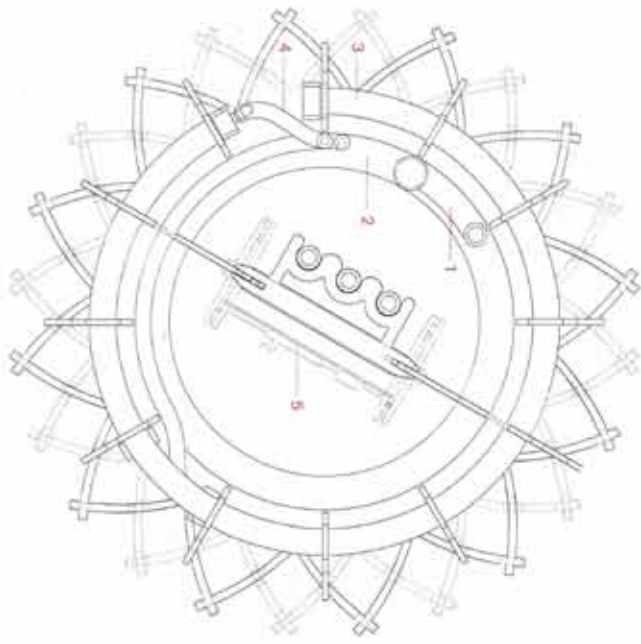
“μαστίγια” οι κάτω απολήξεις των breathing columns



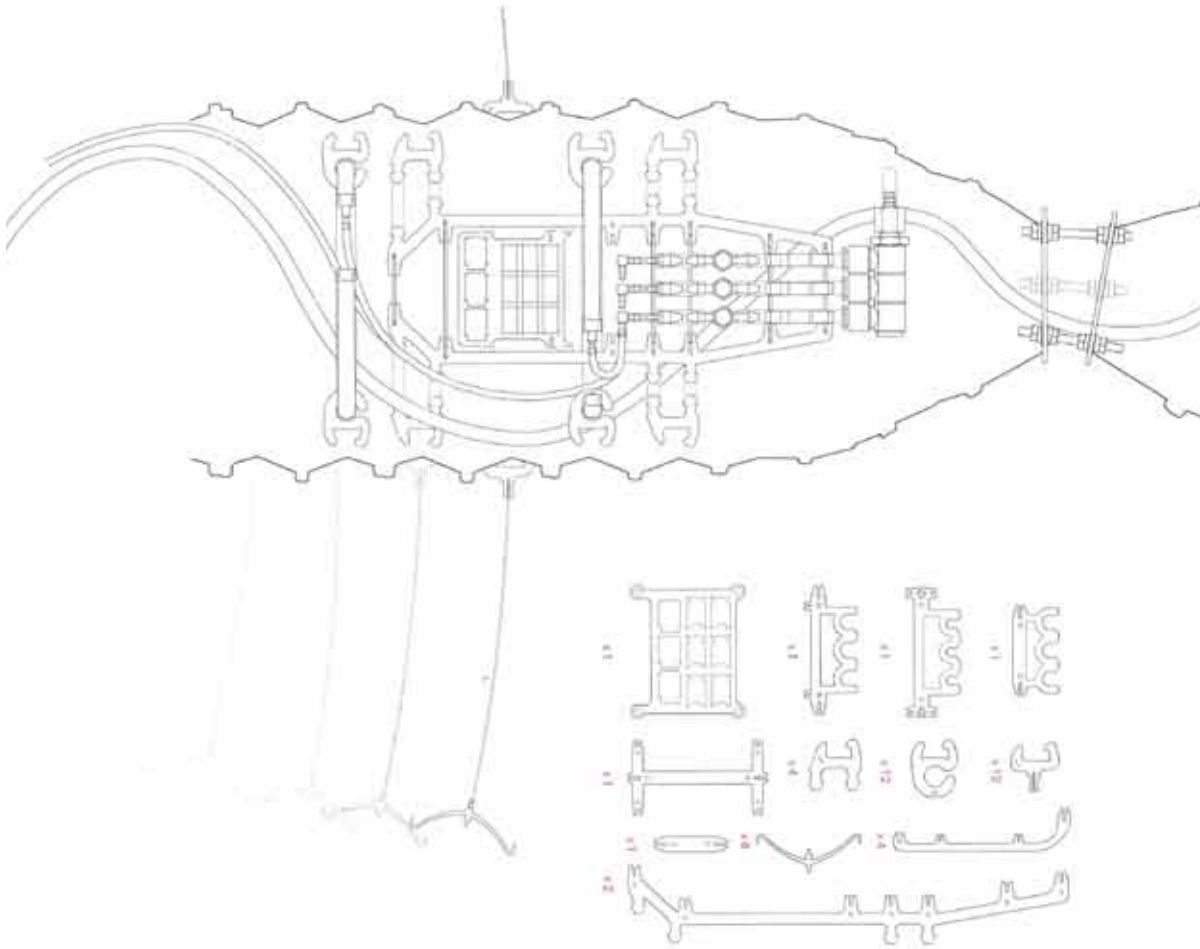


144 145

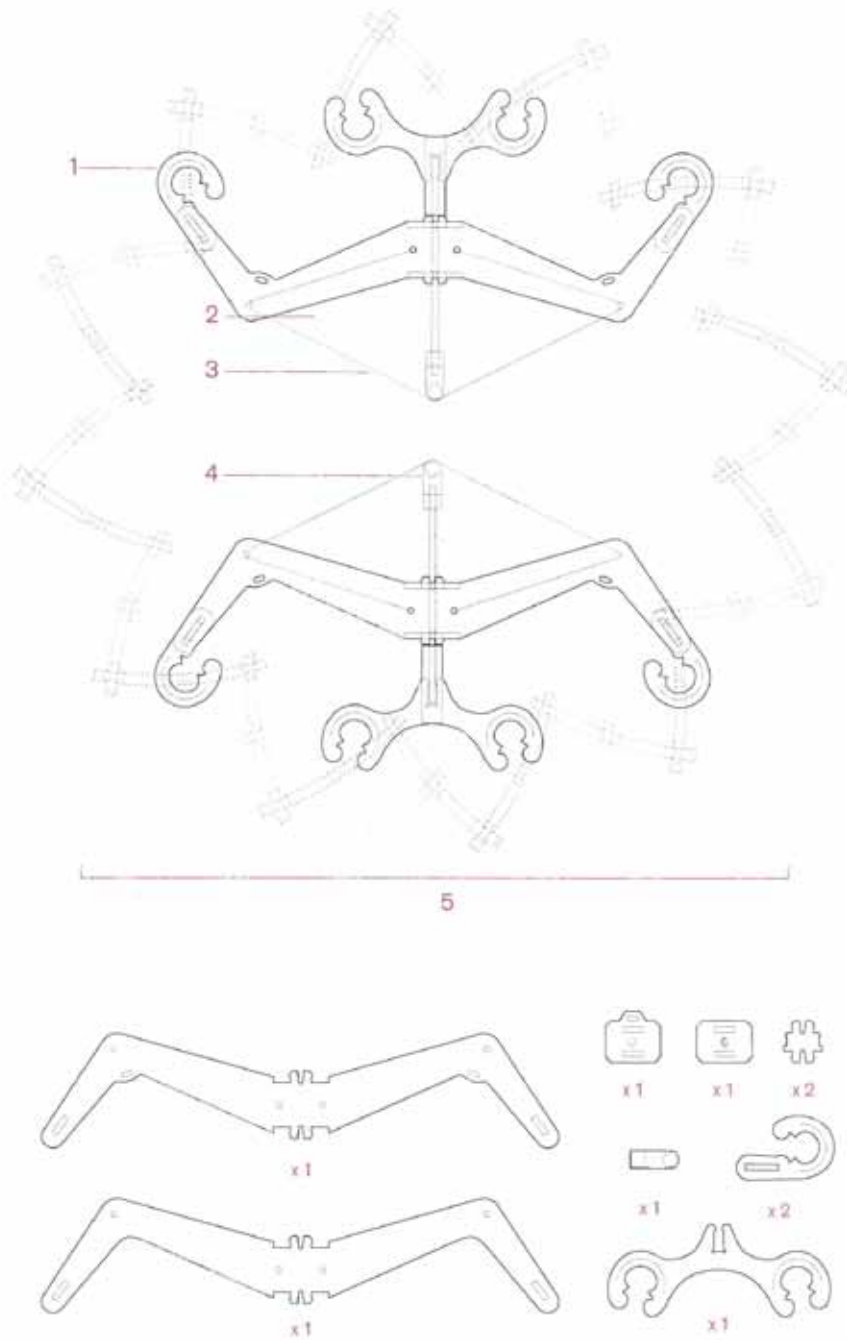
breathing column



- swallowing actuator assembly diagram—third generation
- 1 Motor air supply
 - 2 Motor structural hardware
 - 3 Air restrictor
 - 4 Local air supply
 - 5 Adjustable/tilt-side mount
 - 6 1/8" nut
 - 7 1/8" spacer
 - 8 Distributive coupler
 - 9 1/4" to 1/8" reducer
 - 10 Disk valve
 - 11 3/4" nut
 - 12 Flow restrictor/valve assembly
 - 13 3 way manifold
 - 14 Threaded rod/bolt
 - 15 Shaped polyether/steel sleeve
 - 16 Locking washer
 - 17 Motor hose clamp



διαγράμματα συναρμολόγησης συστήματος κατάποσης



swallowing actuator assembly diagram—second generation

- 1 Column attachment point with integral leaf spring 2 Shape memory alloy (SMA) actuator in contracted state
 3 SMA in rest state 4 ABS plastic 3D printed piston barrel 5 Meshwork column assembly