



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
“ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ”

Διπλωματική εργασία με τίτλο:

**“ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΙΜΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΟΥ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ”**

ΓΕΡΟΛΗΜΟΣ ΝΙΚΗΤΑΣ

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Μποφυλάτος Σπυρίδων

Τριμελή Επιτροπή Εξέτασης

Δρ. Μποφυλάτος Σ. - Δρ. Παπακωστόπουλος Β. - Δρ. Ρηγοπούλου Ε.

Αθήνα 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ
UNIVERSITY OF THE
AEGEAN



Integrated
Product
Design &
Innovation

**UNIVERSITY OF THE AEGEAN
DEPARTMENT OF PRODUCT & SYSTEMS DESIGN
ENGINEERING
POSTGRADUATE PROGRAMME
“INTEGRATED PRODUCT DESIGN & INNOVATION”**

Master’s thesis with title:

“CRITICAL REVIEW OF BIOMIMICRY IN THE FIELD OF DESIGN”

GEROLIMOS NIKITAS

Supervisor: Professor Phd. Bofilatos Spyridon

Three-Member Examination Committee

Professor Phd. Bofilatos S. – Professor Phd. Papakostopoulos V. - Professor Phd.
Rigopoulou I.

Athens 2022

***“Προσπαθήστε όταν θα αφήσετε αυτόν τον κόσμο να
τον αφήσετε λίγο καλύτερο, απ’ ότι τον βρήκατε...”***

Λόρδος Robert Baden Powell,

Ιδρυτής της παγκόσμιας προσκοπικής κίνησης

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει με όλες μου τις δυνάμεις να το προσδιορίσω σαφώς μέσα από την καλή χρήση αναφορών ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία.

Περίληψη

Η βιομίμηση είναι μία διεπιστημονική προσέγγιση που μελετά την σχεδίαση και την παραγωγή υλικών, δομών και συστημάτων που διαμορφώνονται βάσει βιολογικών οντοτήτων και διαδικασιών, ενώ βελτιώνονται σύμφωνα με τη θεωρία της εξέλιξης ώστε να επιλύσουν ανθρώπινα προβλήματα. Στη διπλωματική εργασία θα αναπτυχθούν τα παρακάτω θέματα. Αρχικά, η ιστορική αναδρομή, καθώς ο άνθρωπος εμπνέεται από τη φύση εδώ και χιλιάδες χρόνια. Η σύνδεση με την σχεδίαση, τον ρόλο αυτής και του σχεδιαστή στην διαδικασία της βιομίμησης. Θα αποδομηθούν έννοιες, ενώ δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη θεμελίωση όλης της φιλοσοφίας της βιομίμησης, σε αρχές και διαστάσεις. Οι παραπάνω αρχές σχετίζονται με τις διαδικασίες της φύσης και τις τάσεις των οργανισμών, όπως για παράδειγμα την αρχή ελάχιστης αντίστασης, που ενέπνευσε τον Ταοϊσμό, και την τάση των οργανισμών προς τη συνεργασία για την επιβίωση. Οι απόψεις του Πλάτωνα και του Αριστοτέλη είναι πάντα επίκαιρες, καθώς μέχρι σήμερα υπάρχουν υποστηρικτές και επικριτές της ηθικής της βιομίμησης. Η φύση ως μοντέλο, η φύση ως μέτρο και η φύση ως καθοδηγητής είναι οι τρεις διαφορετικές διαστάσεις που η βιομίμηση αντιλαμβάνεται τη φύση. Σε επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούν τα σχεδιαστικά εργαλεία τα οποία διαθέτει μέχρι τώρα η βιομίμηση, όπως το BioTRIZ, το Life's Principles, καθώς και το biomimicry design spiral, το οποίο αναπτύχθηκε ως μέθοδος σχεδιαστικής διαδικασίας. Η κριτική ανασκόπηση σε μελέτες περίπτωσης από πανεπιστήμια, οργανισμούς και ιδιωτικές επιχειρήσεις, για το πώς η έμπνευση απ' τη φύση μπορεί να λύσει πολλά θέματα που αντιμετωπίζει το ανθρώπινο είδος, ή να αντιμετωπίσει αειφόρα κάποια θέματα τα οποία λύνονται με περιβαλλοντική επιβάρυνση. Τέλος, θα προταθεί ένα εργαλείο διαλογής σχεδιαστικών ιδεών σύμφωνα με τις αρχές της βιομίμησης.

Summary

The biomimicry is an interdisciplinary approach that studies the design and materials' production, structures and systems that are formed based on biological entities and processes, while are getting improved according to the theory of evolution in order to solve human problems. The following topics will be developed in the master's thesis. At first, the historical retrospection, as man has been inspired by nature for thousands of years. The combination with the design, the roll of this and the designer in the process of biomimicry. Concepts will be deconstructed, while particular attention is paid to the foundation of the whole philosophy of biomimicry, in principles and dimensions. The above principles are related to the processes of nature and the tendencies of organisms, such as the principle of minimum resistance, which inspired Taoism, and the tendency of organisms towards the synergy for survival. Plato's views and Aristotle's are always relevant, as to this day there are supporters and critics of the ethics of bio imitation. Nature as a model, nature as a measure and nature as a mentor are the three different dimensions that biomimicry perceives nature. In a later chapter we will mention the design tools that biomimicry already has so far, such as BioTRIZ, Life's Principles, as well as the biomimicry design spiral, which was developed as a method of design process. The critical review in case studies by universities, organizations and private companies, of how inspiration from nature can solve many issues faced by the human species, or to deal sustainably with some issues that are solved by environmental charge. Finally, a tool for sorting design ideas according to the principles of bio imitation will be proposed.

Ευχαριστήριο Σημείωμα

Ολοκληρώνοντας την διπλωματική μου εργασία για το μεταπτυχιακό πρόγραμμα «ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ», θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν να κατακτήσω άλλον έναν στόχο μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που ήταν πυλώνας στο έργο μου και με στήριξε ψυχολογικά και όχι μόνο κατά τη διάρκεια του προγράμματος, ενώ γνωρίζω πως θα συνεχίσει να με στηρίζει και στα επόμενα βήματά μου.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου, που με τις συμβουλές τους, τις διορθώσεις τους και την δική τους υποστήριξη καταφέρνω να κλείσω άλλο ένα κεφάλαιο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Μποφυλάτο Σπυρίδων, για την καθοδήγηση, την επίλυση αποριών, την κατανόηση, την υποστήριξη, αλλά και για το γεγονός πως μέσα απ' το μάθημά του μαζί με τον Δρ. Ατζουλάτο, με ενέπνευσαν να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα μελέτης.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Ευχαριστήριο Σημείωμα.....	5
Εισαγωγή.....	8
Κεφάλαιο 1 - Ιστορική Αναδρομή.....	10
Κεφάλαιο 2 - Η Φιλοσοφία Της Βιομίμησης	12
2.1. Εισαγωγή κεφαλαίου 2.....	12
2.2. Θεμελιώδεις αρχές της βιομίμησης.....	12
2.3. Υποκείμενες Αρχές Βιομίμησης	15
2.4. Αβίαστη Δράση – Wu Wei.....	16
2.5. Η βιομίμηση ως εργαλείο.....	16
2.5.1. Η φύση ως μοντέλο.....	17
2.5.2. Η φύση ως μέτρο	17
2.5.3. Η φύση ως καθοδηγητής.....	18
2.6. Βιοσυνέργεια	18
2.7. Βιομίμηση και βιοέμπνευση.....	18
2.8. Η φύση ως “Φύσις”	19
2.9. Βιολογικό Design	20
2.10. Ηθική	21
2.11. Λειτουργία Αποδοχής (Let It Be)	21
2.12 Πλάτωνας και Αριστοτέλης.....	22
2.13. Η αειφορία της βιομίμησης	22
Κεφάλαιο 3 - Τα Εργαλεία της Βιομίμησης.....	23
3.1. Εισαγωγή κεφαλαίου 3.....	23
3.2. Τα μοντέλα καθοδήγησης	24
3.3. Τα επίπεδα της βιομίμησης.....	25
3.4. BioTRIZ	25
3.5. Life’s Principles	27
3.6. Biomimicry Design Spiral.....	29
Κεφάλαιο 4 - Παραδείγματα Βιομίμησης.....	30
4.1. Εισαγωγή κεφαλαίου 4.....	30
4.2. Άντληση έμπνευσης απ’ τη φύση	30
Κεφάλαιο 5 - Τυπολογία.....	40
5.1. Εισαγωγή κεφαλαίου 5.....	40
5.2. Διπλό Διαμάντι.....	40
5.3. Βιομιμητικός Πίνακας Σύγκρισης Ιδεών	41

5.3.1 Στάδια Ανάπτυξης Εργαλείου	43
5.4. Βιομημητική σχεδιαστική διαδικασία.....	46
5.5. Παράδειγμα Βιομημητικού Πίνακα Σύγκρισης Ιδεών.....	47
Συμπεράσματα	49
Βιβλιογραφικές Αναφορές	52
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	52
Ελληνική βιβλιογραφία.....	54
Διαδικτυακές αναφορές.....	55

Εισαγωγή

Η γη δημιουργήθηκε πριν από περίπου 4.6 δισεκατομμύρια χρόνια, ενώ ανέπτυξε τις πρώτες μορφές ζωής κοντά στα 3.8 δισεκατομμύρια χρόνια πριν. Πολλές φορές η ίδια η φύση αντιγράφει τον εαυτό της, πολλά ζώα και φυτά χρησιμοποιούν τεχνικές μίμησης για την επιβίωσή τους. Σύμφωνα με τους Benson (1975), Gilbert (1980), Shapiro (1981), William & Gilbert (1981), έχει παρατηρηθεί μύωση της ωτοκόκκας πεταλούδων σε φυτά όπου μιμούνται τα αυγά τους, ένα εξαιρετικό παράδειγμα αποτελεί το φυτό *Passiflora* της οικογένειας *Passifloraceae*, ενώ με παρόμοιο τρόπο αμύνονται και άλλα φυτά που στα φύλλα ή στον βλαστό τους αναπτύσσουν τέτοιους χρωματισμούς ώστε να φαίνονται είτε προσβεβλημένα από κάποιο παράσιτο, είτε από κάποιο άλλο έντομο. Ένα τέτοιο φυτό είναι και το *Xanthium Strumarium* γνωστό και ως αγριομελιτζανιά, όπου στο μίσχο του έχει μαύρες κηλίδες που μοιάζουν με μυρμήγκια, άλλα φυτά που εμφανίζουν συχνά τέτοια φαινόμενα είναι τα όσπρια. Παρόμοιες περιπτώσεις μπορούν να εντοπιστούν και στο ζωικό βασίλειο, οι δηλητηριώδεις ευρωπαϊκές οχιές έχουν χαρακτηριστικό τρίγωνο κεφάλι, όπως η κοινή οχιά (*Vipera Ammodytes*), έτσι αρκετά μη δηλητηριώδη φίδια ισοπεδώνουν το κεφάλι τους ώστε να μοιάζουν με οχιά όταν ενοχλούνται, φίδια σαν κι αυτά συναντάμε στην υποοικογένεια *Natricidae*.



Εικόνα 1 Φύλλο από το φυτό *Passiflora* (*Passifloraceae*), από Lawrence Gilbert.



Εικόνα 2 Μίσχος του φυτού *Xanthium Strumarium*, από University of Massachusetts Amherst.



Εικόνα 3 Αριστερά. Κοινή οχιά (*Vipera Ammodytes*), ανακτήθηκε από Lukáš Blažej, 2006.



Εικόνα 4 Δεξιά. Μη δηλητηριώδες φίδι, *Viperine Snake* (*Natrix Maura*), ανακτήθηκε από Matthieu Berroneau, 2012.

Η φύση εξελίσσεται εδώ και χρόνια, κάθε οργανισμός και οικοσύστημα προσπαθεί για την επιβίωση του, έτσι δημιουργεί νέους μηχανισμούς που θα τον βοηθήσουν σε αυτή τη διαδικασία. Ο άνθρωπος είναι μέρος της φύσης, αλλά απ' την πρώτη βιομηχανική

επανάσταση έχει αρχίσει να απομακρύνεται απ' αυτήν. Σήμερα το ανθρώπινο είδος έχει καταφέρει με την κακή διαχείριση πόρων και ενέργειας, να βρίσκεται στο χείλος του γκρεμού και μαζί του σπρώχνει πολλά είδη φυτών και ζώων. Ευτυχώς τα τελευταία χρόνια είναι πολλοί εκείνοι που έχουν αρχίσει να ευαισθητοποιούνται και να αναζητούν περισσότερους αιεφόρους τρόπους ζωής, απ' τον τρόπο παραγωγής της τροφής τους μέχρι την μετακίνησή τους κλπ. Οι βιομηχανικοί σχεδιαστές, οι σχεδιαστές προϊόντων και οι σχεδιαστές συστημάτων, έχουν τις ικανότητες, τη δυνατότητα και την ηθική υποχρέωση να συμμετάσχουν στην αιεφόρο επανάσταση που λαμβάνει χώρα. Ένας απ' αυτούς τους τρόπους είναι και η βιομίμηση, καθώς η βιομίμηση δεν αποτελεί μονάχα έναν νέο τομέα της επιστήμης, αλλά και τρόπο ζωής.

Η βιομίμηση είναι μία εναλλακτική λύση, είναι συνώνυμη λέξη, σημαίνει μίμηση της ζωής καθώς αποτελείται από τις λέξεις βίος (= ζωή) και μίμηση. Συγκεκριμένα, η σχετικά νέα αυτή επιστήμη μελετά τη μίμηση της φύσης για την επίλυση ανθρωπίνων προβλημάτων. Η βιομίμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση διαφόρων τεχνικών και κοινωνικών προβλημάτων ανεξαρτήτου δυσκολίας, αυτό συμβαίνει διότι εξελίσσεται από την απομίμηση βιολογικών φορμών, διαδικασιών και οικοσυστημάτων τα οποία ήδη έχουν καταφέρει να επιβιώσουν με τις τεχνικές και τους μηχανισμούς τους. Συνεπώς, η βιομίμηση δεν είναι μόδα, δεν αφορά μόνο την εξωτερική εμφάνιση, θα μπορούσε η τελική λύση να μοιάζει με δέντρο ή κάποιο ζώο, αλλά δεν υπάρχει λόγος. Τέλος, το θέμα που πρέπει να αντιμετωπιστεί δεν είναι το μέγεθος της ανθρώπινης κατανάλωσης, σε αυτήν την περίπτωση ούτε η μείωση της βιομηχανικής παραγωγής είναι η λύση. Η λύση είναι στην επανασχεδίαση της παραγωγής έτσι ώστε να μην εξαντλεί τη φύση. Οι William McDonough και Michael Braungart (2002), επισημαίνουν πως, το σύνολο των μυρμηγκιών στον πλανήτη είναι μεγαλύτερο από των ανθρώπων, χωρίς όμως να ρυπαίνουν ή να προκαλούν οικολογική υποβάθμιση. Αντίθετα ανατροφοδοτούν με θρεπτικά συστατικά το οικοσύστημα. Είναι εφικτό να επιτευχθούν παρόμοια αποτελέσματα από το ανθρώπινο είδος, μέσω της σχεδίασης.

Στόχος της διπλωματικής είναι η κριτική ανασκόπηση της βιομίμησης στην σχεδίαση και η πρόταση τυπολογίας, συγκεκριμένα ενός εργαλείου που θα επιτρέπει στον σχεδιαστή να αξιολογεί τις ιδέες του κατά τη διάρκεια της σχεδιαστικής διαδικασίας. Για να γίνει κατανοητό το εργαλείο, θα πρέπει να έχει γίνει απόλυτα σαφές τι είναι η βιομίμηση, πως έχει επηρεάσει τον άνθρωπο κατά τη διάρκεια της ύπαρξής του και πως τον επηρεάζει μέχρι και σήμερα.

Για την ικανοποίηση των στόχων, θα γίνει αρχικά μία ανασκόπηση στο παρελθόν, για το πώς ο άνθρωπος σχεδίαζε και δημιουργούσε μιμούμενος την φύση. Στη συνέχεια θα πρέπει να επεξηγηθούν οι έννοιες και οι αρχές που θεμελιώνουν την φιλοσοφία της βιομίμησης, τις αντιδράσεις ως προς την ηθική της καθώς και τη σύνδεσή της με την αιεφορία και τη βιολογική σχεδίαση. Η εργασία σχετίζεται με τη βιομίμηση στην σχεδίαση, οπότε στη συνέχεια θα παρουσιαστούν εργαλεία τα οποία έχουν αναπτυχθεί για τη βοήθεια και την καθοδήγηση των σχεδιαστών ως προς την ανάπτυξη βέλτιστων βιομιμητικών λύσεων. Θα αναφερθούν σύγχρονα παραδείγματα της βιομίμησης, διότι δεν αναφέρεται σε έναν ουτοπικό κόσμο. Τέλος, αφού έχει γίνει κατανοητό τι είναι η βιομίμηση, πως καθορίζεται ένα βιομιμητικό σχέδιο και τι πρέπει να προσέχει ο σχεδιαστής κατά τη σχεδιαστική διαδικασία. Θα αναπτυχθεί ένα σχέδιο ως πρόταση για την καλύτερη αξιολόγηση των ιδεών πριν φτάσουν να εξελιχθούν σε τελικό προϊόν.

Κεφάλαιο 1 - Ιστορική Αναδρομή

Μπορεί σαν έννοια η βιομίμηση να εκφράστηκε πρώτη φορά τον προηγούμενο αιώνα, παρ' όλα αυτά ο άνθρωπος μιμείται τη φύση από την προϊστορική εποχή. Μάλιστα ο προϊστορικός άνθρωπος παρατήρησε πως οι μεγάλοι θηρευτές της φύσης έχουν στην κατοχή τους ένα βιολογικό “οπλοστάσιο” από αιχμηρά νύχια, δόντια ή κέρατα που τους επέτρεπαν να πιάσουν ευκολότερα τη λεία τους, έτσι κι εκείνος έφτιαχνε όπλα για το κυνήγι και την προστασία του από τα αρπακτικά και τα σαρκοφάγα ζώα, καθώς επίσης αφού παρατήρησαν την αποτελεσματικότητα που έχουν στο κυνήγι, μιμήθηκαν την τεχνική τους, ανέπτυξαν δηλαδή την ικανότητα τους στο να



Εικόνα 5 Αχελαιϊκή χειρολαβή, βρέθηκε στο Swakscombe και φυλάσσεται στο Βρετανικό μουσείο, ανακτήθηκε από History.com.



Εικόνα 6 Ναός στην πόλη Luxor της Αιγύπτου, οι κολόνες είναι εμπνευσμένες απ' το φυτό πάπυρος (Cyperus Papyrus), ανακτήθηκε από wikipedia.

κρύβονται και να περιμένουν μέχρι να έρθει η κατάλληλη στιγμή να επιτεθούν. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι εμπνεύστηκαν απ' τους φοίνικες, τους πάπυρους και τους λωτούς και έχτισαν με βάση τις μορφές, τα σχήματα και τις αναλογίες τους. Ο ναός της πόλης Luxor, στον οποίο γίνονταν ανασκαφές απ' το 1884 μέχρι και το 1960, υπολογίζεται πως χτίστηκε κατά τον 14^ο αιώνα π.Χ., οι

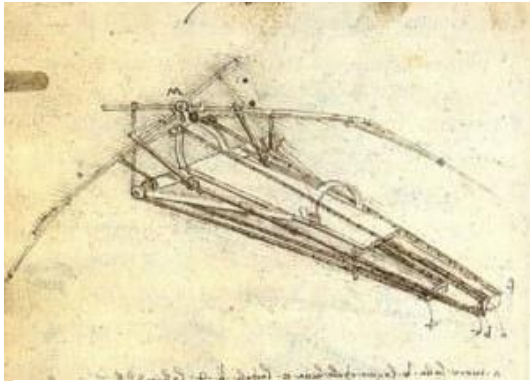


Εικόνα 7 Άκανθοι (Acanthus Spinosus), ανακτήθηκε από species.wikimedia.org.

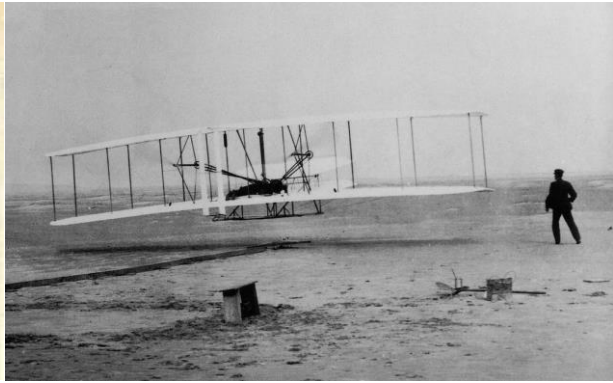
κολόνες του ναού είναι εμπνευσμένες απ' το φυτό πάπυρος (Cyperus Papyrus). Σύμφωνα με τον Ρωμαίο συγγραφέα, μηχανικό και αρχιτέκτονα Μάρκο Βιτρούβιο Πολλίωνα, ο Καλλίμαχος, γλύπτης της αρχαίας Ελλάδας που έζησε τον 5ο αιώνα π.Χ., εμπνεύστηκε από ένα καλάθι που γύρω του είχαν φυτρώσει άκανθοι (Acanthus Spinosus) και δημιούργησε το Κορινθιακό κυανόκρανο, που χαρακτηρίζεται απ' τους περίτεχνα σμιλευμένους άκανθους. Περίπου το 1490 ο Leonardo da Vinci (1452 – 1519) αφού είχε μελετήσει τον τρόπο που τα πουλιά χρησιμοποιούν τα φτερά τους για να πετάξουν, σχεδίασε την ιπτάμενη μηχανή, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως δεν αντέγραψε απλά την ανατομία των πουλιών, αλλά συμπεριέλαβε και παραμέτρους όπως το βάρος του ανθρώπου καθώς επίσης και τις λειτουργικές του ικανότητες για να δημιουργήσει τους μοχλούς και τα πετάλια που χρειαζόνταν για τη χρήση της μηχανής. Παρ' όλο που τελικά δεν κατάφερε να πετάξει, έδωσε το έναυσμα στους αδερφούς Wright όπου παρατηρώντας κι εκείνοι τα πουλιά, ανέπτυξαν τη θεωρία της



Εικόνα 8 Κορινθιακό Κυανόκρανο από το Ασκληπιείο της Επιδαύρου, ανακτήθηκε από greek-language.gr.



Εικόνα 9 Η υπτάμενη μηχανή του Leonardo da Vinci, ανακτήθηκε από leonardodavinci.net.



Εικόνα 10 Πρώτη ελεγχόμενη πτήση απ' τους αδερφούς Wright, Δεκέμβριος 1903, ανακτήθηκε από spacecenter.org.

στρέβλωσης φτερών, με αποτέλεσμα στις 17 Δεκεμβρίου του 1903 να καταφέρουν να πραγματοποιήσουν την πρώτη ελεγχόμενη πτήση.

Ύστερα από μια βόλτα με τον σκύλο του, ο Ελβετός George de Mestral παρατήρησε στα ρούχα του ένα φυτό, το άρκτιο (*Arctium Lappa*) γνωστό και ως κολλιτσίδα, είναι ένα φυτό της οικογένειας Asteraceae, όπου μπορεί να αγκυλώνει με τα μικρά αγκάθια του. Αυτό το φυτό έδωσε στον Ελβετό μηχανικό την ιδέα να δημιουργήσει το Velcro.



Εικόνα 11 Φυτό *Arctium Lappa*, ανακτήθηκε από [Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Arctium).



Εικόνα 12 Dr. Otto Herbert Schmitt, 1913-1998, ανακτήθηκε από theremin.us.

Στη συνέχεια ο Otto Schmitt χρησιμοποιεί τον όρο «βιομιμητικές» το 1957 στην προσπάθειά του να αποδώσει την εξέλιξη μίας ιδέας απ' τη βιολογική, στην τεχνολογική της υπόσταση, ενώ το 1974 προστέθηκε στο λεξικό Websters και ορίζεται ως, η μελέτη του σχηματισμού, της δομής ή της λειτουργίας βιολογικά παραγόμενων ουσιών και υλικών (όπως ένζυμα ή μετάξι) και βιολογικών μηχανισμών και διεργασιών (όπως η φωτοσύνθεση) με σκοπό τη σύνθεση παρόμοιων προϊόντων με τεχνητούς μηχανισμούς που μιμούνται τους φυσικούς. Ο μηχανικός και ψυχίατρος Jack Steele, το 1960 ανέπτυξε τον όρο βιονική για να περιγράψει την επιστήμη των συστημάτων που κάποια λειτουργία τους έχει αντιγραφεί από τη φύση, ενώ στη συνέχεια σαν έννοια πήρε άλλη διάσταση καθώς συνδέθηκε με ταινίες επιστημονικής φαντασίας και πλέον χρησιμοποιείται για να περιγράψει τεχνητά μέρη του σώματος που λειτουργούν ηλεκτρονικά.

Το 1982 χρησιμοποιήθηκαν ευρέως για πρώτη φορά γενικά τροποποιημένα βακτήρια που παράγουν ινσουλίνη, την ίδια χρονιά εμφανίστηκε επίσης και ο ορισμός, βιομίμηση, ενώ το 1997 έγινε ευρέως γνωστή από την Janine Benyus με την έκδοση του βιβλίου της, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Στο βιβλίο γίνεται επεξήγηση και ανάλυση της νέας αυτής επιστήμης, καθώς γίνεται και η αναφορά των 3 διαστάσεων της βιομίμησης, η φύση ως μοντέλο, η φύση ως μέτρο και η φύση ως καθοδηγητής. Έκτοτε το βιβλίο επανακυκλοφόρησε το 2002, ενώ έχουν υπάρξει αρκετά βιβλία, άρθρα και μελέτες για την βιομίμηση, όπως και πολλές εφαρμογές, ήδη η βιομίμηση έχει εισχωρήσει με επιτυχία στους τομείς της αρχιτεκτονικής, της κλωστοϋφαντουργίας, της μηχανολογίας, της φαρμακευτικής κ.α.



Εικόνα 13 Janine Benyus, Co-founder, The Biomimicry Institute, ανακτήθηκε από asknature.org.

Η φύση συνεχώς εξελίσσεται και συνεχώς προσαρμόζεται στα νέα δεδομένα τα οποία μπορούν να υπάρξουν. Κάθε μορφή ζωής αναπτύσσει τους δικούς της μηχανισμούς επιβίωσης, για να βρει τροφή και νερό, για να αμυνθεί, για να επιτεθεί, για να ζευγαρώσει κλπ. Ο άνθρωπος με τη σειρά του έφτιαξε ρούχα για το κρύο, έφτιαξε όπλα και εργαλεία καθώς δεν είχε κάποιο παρόμοιο φυσικό μηχανισμό, στη συνέχεια κατέκτησε τη θάλασσα και τον ουρανό και όλα αυτά εμπνευσμένος απ' τους μηχανισμούς των ζώων. Η φύση είναι σίγουρα η επιτομή της σχεδίασης, το ανθρώπινο είδος ως μέρος της, κατάφερε να επιβιώσει, να δημιουργήσει, να εξελιχθεί και να μεγαλοουργήσει μιμούμενος άλλους μηχανισμούς της. Η απομάκρυνση του ανθρώπου απ' τη φύση τον οδήγησε σε ένα αβέβαιο μέλλον, σε ένα μέλλον με την πιθανή εξαφάνισή του. Σήμερα η επιστροφή στη φύση είναι αναγκαιότητα και όχι επιλογή, η βιομίμηση είναι μία φιλοσοφία ζωής που αν την ενστερνιστεί η ανθρωπότητα μπορεί να αυξήσει τελικά τις πιθανότητες για επιβίωση.

Κεφάλαιο 2 - Η Φιλοσοφία Της Βιομίμησης

2.1. Εισαγωγή κεφαλαίου 2

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν φιλοσοφικές έννοιες για να γίνει περισσότερο κατανοητό το θέμα της βιομίμησης. Η δομή του κεφαλαίου ξεκινάει με τις θεμελιώδεις αρχές που αναπτύχθηκαν απ' την J. Benyus, ενώ συνεχίζει με αρχές και διαστάσεις που διατυπώθηκαν στη συνέχεια. Την αποσαφήνιση κάποιων όρων που συχνά συγχέονται, όπως και τις αντίθετες απόψεις που αμφισβητούν την ηθική της βιομίμησης. Σκοπός του κεφαλαίου είναι να εισάγει τον αναγνώστη στην φιλοσοφία της βιομίμησης, να κατανοήσει τις έννοιες που θα συναντήσει στην παρακάτω εργασία, έτσι ώστε στο τέλος να είναι σε θέση να υποστηρίξει τη θέση της βιομίμησης ή να την απορρίψει.

2.2. Θεμελιώδεις αρχές της βιομίμησης

Φυσικός Καπιταλισμός είναι η παραγωγική χρήση, η επανεπένδυση στο φυσικό κεφάλαιο και η οικονομία στους φυσικούς πόρους. Οι τέσσερις αρχές του φυσικού κεφαλαίου είναι:

- 1) ο επαναστατικός τρόπος παραγωγής πόρων, η μείωση των ορυκτών και των μη ανανεώσιμων αγαθών,
- 2) η βιομίμηση, με την οποία μετατρέπονται σε αξία τα λήμματα και τα απόβλητα και επιστρέφονται στη φύση χωρίς να προκαλούν ζημιά στο οικοσύστημα, επίσης δίνει τη δυνατότητα να σταματήσουν οι αέναες εξορύξεις και κατασκευές,
- 3) λύσεις οικονομίας, όσο λιγότεροι πόροι καταναλώνονται για την παροχή μιας υπηρεσίας τόσο μεγαλύτερο το κέρδος για τον παραγωγό αλλά και για τον χρήστη,
- 4) επανεπένδυση στη φύση, αποκατάσταση και ενίσχυση του φυσικού περιβάλλοντος, δυναμώνοντας τα οικοσυστήματα για περισσότερη παραγωγή αγαθών.

Το ανθρώπινο είδος καταναλώνει μη αειφόρα και αλόγιστα, πόρους και ενέργεια, ο στόχος της βιομίμησης είναι να μηδενίσει τα απόβλητα και να προάγει την εκμετάλλευση ανανεώσιμων πόρων όπως ακριβώς κάνει και η φύση εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια, η βιομίμηση λοιπόν καλείται να μιμηθεί τις στρατηγικές του μεγαλύτερου και πιο έμπειρου σχεδιαστή, της φύσης.

Σύμφωνα με την Freya Mathews (2011) η βιομίμηση έχει πολλές ασάφειες και είναι φιλοσοφικά υποανάπτυκτη, έτσι ξεκινάει από το κίνημα του περιβαλλοντισμού, ένα κίνημα ηθικό και πολιτικό που φροντίζει για την προστασία και τη βελτίωση του φυσικού περιβάλλοντος και έχει τις ρίζες του στη Διατήρηση της φύσης (κίνημα του 20^{ου} αιώνα) και στη Προστασία της φύσης (κίνημα 19^{ου} – 20^{ου} αιώνας), οι πρώτοι προσπάθησαν να διαφυλάξουν τοπία, δηλαδή μεγάλες εκτάσεις, πεδιάδες, δάση κλπ ενώ το δεύτερο κίνημα προσπάθησε να διαφυλάξει και να διατηρήσει τους φυσικούς πόρους. Ο περιβαλλοντισμός όμως διασπάστηκε σε δύο κατηγορίες ιδεών, στους Βιοκεντρικούς και στους Ανθρωποκεντρικούς. Οι Βιοκεντρικοί θεωρούν πως το οικοσύστημα είναι τόσο σημαντικό όσο και ο άνθρωπος, ενώ οι Ανθρωποκεντρικοί υποστηρίζουν πως ο άνθρωπος έχει μεγαλύτερη σημασία. Για να αποφευχθεί ένας δυστικός ορισμός όπου σύμφωνα με αυτόν, “η φύση ορίζεται ως εκείνη που έρχεται σε αντίθεση με την ανθρωπότητα”, χρειάζεται μία αντίληψη της φύσης.

Σύμφωνα με τους φιλόσοφους, ο ανθρώπινος εαυτός είναι ο οικολογικός εαυτός. Το οικοσύστημα είναι η απόλυτη ηθική κοινότητα του οικολογικού εαυτού και ο οικοκεντρισμός είναι ο κατάλληλος ηθικός προσανατολισμός. Ο οικολογικός εαυτός είναι ένας φυσικός εαυτός στην άκρη του διαχωρισμού πολιτισμού και φύσης.

Οι Βιοκεντρικοί υποστήριζαν την προσαρμογή της παραγωγής (τεχνουργήματα) και της οργάνωσης όλων των συστημάτων (γεωργία, δασοκομία, εξόρυξη, κατασκευή, αρχιτεκτονική και πολεοδομία) σε ένα πιο φιλικό πλαίσιο προς τη φύση. Ο υλικός μας πολιτισμός πρέπει να βασιστεί στις σχεδιαστικές αρχές, στη μορφή των φυσικών έμβιων και άβιων όντων και συστημάτων που εξελίχθηκαν. Αυτή η φιλοσοφία σχεδίασης είναι η βιομίμηση ή βιολογική σχεδίαση. Το τεχνουργήματα θα έπρεπε να δημιουργείται φυσικά, και να εκφράζεται σαν κάτι χειροποίητο όπως ο ιστός της αράχνης ή το μέλι της μέλισσας. Η ανθρωπότητα δεν πρέπει απλώς να μειώσει την κατανάλωση και τον πληθυσμό αλλά γενικά να υιοθετήσει μία προσέγγιση της λογικής «Μην ενοχλείτε την φύση».

Σύμφωνα με την Benyus εννέα αρχές μπορούν να αναγνωριστούν ως υποκείμενα σχέδια της φύσης. Υποστηρίζει πως η φύση:

- 1) Στρέφεται προς το ηλιακό φως
- 2) Χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται
- 3) Ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία
- 4) Ανακυκλώνει τα πάντα
- 5) Ανταμείβει τη συνεργασία
- 6) Διαθέτει ποικιλομορφία
- 7) Απαιτεί τοπική εξειδίκευση
- 8) Συγκρατεί τις υπερβολές
- 9) Αξιοποιεί τη δύναμη των ορίων

Πιο αναλυτικά:

- **Η φύση στρέφεται προς το ηλιακό φως:** Χρησιμοποιεί δηλαδή την ανανεώσιμη ενέργεια του ήλιου για τροφοδοσία, όπως τα φύλλα που λαμβάνουν τις ακτίνες του ήλιου για να πραγματοποιήσουν φωτοσύνθεση.
- **Η φύση χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται:** Στη φύση η υπερβολική χρήση της ενέργειας ισούται είτε με θάνατο, είτε με αποτυχία αναπαραγωγής, οι οργανισμοί αποφεύγουν την υπερβολική κατανάλωση αυτής και χρησιμοποιούν τα απόβλητά τους ως τροφή για άλλους οργανισμούς. Όπως ένα δέντρο ρίχνει τα φύλλα του για να εξοικονομήσει ενέργεια για τον χειμώνα, ενώ εκείνα με τη σειρά τους μετατρέπονται σε θρεπτικά στοιχεία που θα τροφοδοτήσουν και πάλι το δέντρο αλλά και άλλους οργανισμούς.
- **Η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία:** Για να εξοικονομήσει πόρους και ενέργεια, η φύση βρίσκει άλλους τρόπους για να πραγματοποιήσει μία λειτουργία, χρησιμοποιεί τη μορφή προς όφελός της, όπως για παράδειγμα τα φτερά των πουλιών.
- **Η φύση ανακυκλώνει τα πάντα:** Λειτουργεί σε κλειστούς βρόχους με αποτέλεσμα να μην έχει απόβλητα. Όπως για παράδειγμα τα φύλλα των δέντρων που όταν πέφτουν λειτουργούν ως λίπασμα.
- **Η φύση ανταμείβει τη συνεργασία:** Στη φύση πολλοί οργανισμοί συνεργάζονται για την επιβίωσή τους με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούν την ενέργεια που ξοδεύουν. Η αμοιβαιότητα υπάρχει σε όλη τη φύση και οι λόγοι που συμβαίνει διαφέρουν από ζώο σε ζώο ή από φυτό σε φυτό, μπορούν να είναι για λόγους εκμετάλλευσης, ή συνύπαρξης, μπορεί επίσης, να συμβαίνει και υπό συνθήκες απειλής. Ένα απ' τα παραδείγματα αμοιβαιότητας είναι και ο καλλωπισμός μεταξύ των πρωτευόντων.
- **Η φύση διαθέτει ποικιλομορφία:** Κατά την εξέλιξή τους τα οικοσυστήματα, ανέπτυξαν διαφορετικές ανάγκες, κάθε οργανισμός χρειάζεται διαφορετικούς πόρους ή στοιχεία για να επιβιώσει, ενώ κάθε οργανισμός παράγει και διαφορετικούς πόρους.
- **Η φύση απαιτεί τοπική εξειδίκευση:** Οι καλλιέργειες με ενδημικά φυτά και η κτηνοτροφία ενδημικών ζώων, βοηθάει τα τοπικά οικοσυστήματα χωρίς να τα ρημάζει.
- **Η φύση συγκρατεί τις υπερβολές:** Τα οικοσυστήματα φτάνουν σε μη ισορροπημένες καταστάσεις, η φύση είναι έτσι δομημένη για να τα περιορίζει και να τα επαναφέρει στα επιτρεπτά επίπεδα. Όπως ένα φυσικό φαινόμενο

πυρκαγιάς, που βοηθά το δάσος στην αναγέννηση του και το επαναφέρει σε κατάσταση ισορροπίας.

- **Η φύση αξιοποιεί τη δύναμη των ορίων:** Αξιοποιεί τη δύναμη των ορίων ώστε να «τοποθετεί» τους κατάλληλους οργανισμούς στα οικοσυστήματα, καθώς αντιλαμβάνεται τα όρια ενός συστήματος, τα επίπεδα υγρασίας, τη θερμοκρασία, το υψόμετρο, το έδαφος κλπ, στους οργανισμούς, όπως τα φυτά που ανάλογα το υψόμετρο ή την περιοχή απαντώνται άλλα είδη.

Για να ζήσουμε στα οικολογικά πλαίσια της φύσης και της βιωσιμότητας, θα πρέπει να επανασχεδιάσουμε τον σύγχρονο κόσμο με τις παραπάνω αρχές. (J. Benyus, 2002). Δεν αρκεί τα ίδια τα προϊόντα να σχεδιάζονται απ' τη φύση. Οι υποδομές και οι διαδικασίες παραγωγής πρέπει επίσης να ακολουθούν ένα φυσικό σχέδιο. Ο Lovins (2010) αναφέρεται σε αυτήν την επανασχεδίαση της βιομηχανίας ως την επερχόμενη βιομηχανική επανάσταση. Προσδιορίζουμε τη φύση ως προς τις στρατηγικές σχεδίασης στοχευμένων φυτών, ζώων και των συστημάτων τους. Οι εννέα αρχές που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι πολύ γενικές και δεν βοηθούν τον σχεδιαστή να τις χρησιμοποιήσει ώστε να εντάξει τις στρατηγικές στην σχεδίασή του. Θεωρητικοί της βιομίμησης προτείνουν τις υποκείμενες αρχές που θα αναλυθούν παρακάτω.

2.3. Υποκείμενες Αρχές Βιομίμησης

1) Αρχή της συνοχής

Υποστηρίζεται, πως για να επιβιώσει και να επιμηκύνει την ύπαρξή του, κάθε ζωντανός οργανισμός ή σύστημα ενεργεί κατά βούληση ή με κάποιου είδους παρόρμησης. Τον 17^ο αιώνα ο Benedict de Spinoza, χρησιμοποίησε τον όρο **conatus** ως την επιθυμία με την οποία τα πάντα προσπαθούν να διατηρήσουν την ύπαρξή τους, δηλαδή την αυτοποίηση.

2) Αρχή ελάχιστης αντίστασης

Ένας οργανισμός τείνει να αποφεύγει τα εμπόδια που συναντά απ' το να τα αντιμετωπίσει. Στις περιπτώσεις που ένα άτομο στοχεύει να συγκρουστεί για ερωτικούς ή κυριαρχικούς λόγους, τότε δεν θα παραμερίσει αλλά θα συνεχίσει να προσπαθεί να τηρήσει την αρχή της ελάχιστης αντίστασης, δηλαδή την ελάχιστη δαπάνη ενέργειας. Κάποιοι οργανισμοί στην προσπάθειά τους να δαπανήσουν λιγότερη ενέργεια, εμπλέκουν την επιβίωσή τους με συγγενικούς στόχους, ώστε να γίνουν κομμάτι τους και να εκτελούν τις απαραίτητες διαδικασίες συντήρησής τους αντί γι' αυτούς, σαν παράσιτα.

Υπάρχει και η περίπτωση της λειτουργίας «επιβολής και ελέγχου» που χρησιμοποιεί ένας οργανισμός για να βγει έξω απ' τη φύση και να απομακρυνθεί απ' την αρχή της ελάχιστης αντίστασης, όπως ο άνθρωπος. Ως δυισμός αναφέρεται η διαίρεση μίας ολότητας σε δύο μέρη, σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, αρκετοί οργανισμοί ανάμεσά τους και ο άνθρωπος έχουν την ικανότητα της αυτοεπίγνωσης ή το Γνώθι σαυτόν, όπου επιτρέπει στο άτομο να στρέφει την προσοχή του στις εσωτερικές του καταστάσεις. Δίνοντάς του μια μερική ελευθερία, χωρίς να διαχωρίζεται τελείως απ' τη φύση. Η ελευθερία αυτή ορίζεται ως ικανότητα επιλογής.

Το ανθρώπινο είδος κατανόησε από νωρίς την αρχή ελάχιστης αντίστασης, έτσι οι κοινωνίες ή τα λίγα ισχυρά άτομα αυτών, εκμεταλλεύονται την ενέργεια των άλλων και για τη συντήρησή τους ενσωματώνονται όπως τα παράσιτα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, εξαιτίας αυτής της αρχής, κάποιοι πολιτισμοί χτίστηκαν από σκλάβους, ενώ με αυτήν την επιβλητικότητα υπήρξαν και συνέπειες, όπως η αυτοεξάντληση. Για τους ίδιους λόγους ο άνθρωπος αντικαθιστά κάποιες λειτουργίες του, για παράδειγμα την εξόρυξη ορυκτών πόρων όπου τους χρησιμοποιεί για την παραγωγή ενέργειας, κάτι που έχει ως συνέπεια την εξάντληση του περιβάλλοντος. Αυτή η επιβλητικότητα που συμβαίνει σε μεγάλο βαθμό στις κοινωνίες μας, εξαντλεί τα συστήματα. Σε αυτήν την περίπτωση ο άνθρωπος πρέπει να στραφεί και πάλι στην αρχή της ελάχιστης αντίστασης χωρίς την επιβολή για τη συντήρηση λίγων, καθώς μία απ' τις αρχές της J. Benyus είναι πως «η φύση χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται», (J. Benyus, 2002 σελ. 7).

2.4. Αβίαστη Δράση – Wu Wei

Η Freya Mathews στην δημοσίευσή της Towards a Deeper Philosophy Of Biomimicry, αναφέρεται στον όρο Wu Wei, που μεταφράζεται ως αδράνεια ή αβίαστη δράση. Στην Κίνα λόγω της εξάντλησης αποθεμάτων ενέργειας, ακολούθησαν τον Ταοϊσμό όπου μεταφράζεται ως «η θρησκεία του DAO» ή «η σχολή του DAO», ενώ Dao (ή Tao) σημαίνει δρόμος. Ο Ταοϊσμός συναντάτε και ως φιλοσοφία, τρόπο ζωής, αλλά και ως θρησκεία. Ως φιλοσοφικός όρος δίνει έμφαση σε έννοιες όπως το Wu Wei, το κενό, η απόσπαση κλπ. Σύμφωνα με τα κείμενα του Daodejing και του Zhuangzi, ο δρόμος είναι τρόπος ροής. Το Wu Wei διακρίνεται ανάμεσα σε παθητικό και εποικοδομητικό, σε ένα περιβαλλοντικό πλαίσιο η διάκρισή τους θα μπορούσε να αποδοθεί ως:

- Με το παθητικό Wu Wei κάποιος μπορεί να τραφεί απλά συλλέγοντας τροφή απ' τα άγρια δάση.
- Με το εποικοδομητικό Wu Wei για να τραφεί κάποιος θα μπορούσε να ασχοληθεί με την κηπουρική, αλλά σύμφωνα με τις βιολογικές αρχές, δηλαδή τις φυσικές διαδικασίες γονιμοποίησης, βλάστησης, έλεγχο παρασίτων, ελαχιστοποιώντας έτσι την ανθρώπινη παρέμβαση, (παράδειγμα, με τις αρχές της αεικαλλιέργειας, permaculture).

Όσο εποικοδομητική κι αν είναι η φιλοσοφία του Wu Wei, μπορεί και πάλι να μην γίνει εφικτή η επίτευξη του στόχου για απόλυτη βιωσιμότητα. Το σύστημα για να έχει συνοχή είναι απαραίτητο όχι μόνο να μη βλάπτει τίποτα κατά τη δράση του, αλλά να προσφέρει ταυτόχρονα. Αν δεν ισχύσει το παραπάνω τότε το σύστημα δεν θα επιβιώσει.

2.5. Η βιομίμηση ως εργαλείο

Η συμμετοχή των σχεδιαστών στη βιομίμηση είναι απαραίτητη, παρ' όλα αυτά εξίσου σημαντικό ρόλο παίζουν και οι βιολόγοι καθώς η συμβολή τους είναι αναγκαία στη βιομιμητική σχεδιαστική διαδικασία, λόγω του επιστημονικού τους υπόβαθρου. Λανθασμένα υπάρχει η άποψη πως ο σκοπός της βιομίμησης είναι να δημιουργεί αντίγραφα των μορφών, των διαδικασιών και του οικοσυστήματος, ενώ στην πραγματικότητα, η βιομίμηση αντλεί αρχές σχεδίασης απ' τη βιολογία ώστε να τα

χρησιμοποιήσει ως πηγή έμπνευσης. Η επίτευξη μιας βιομιμητικής λύσης δεν είναι δυνατή αν χαθεί η αναλογία μεταξύ λειτουργικότητας φυσικού μοντέλου και τεχνικού σχεδίου, εξάλλου μία λύση που αποδόθηκε με τη βιομιμητική μέθοδο θα πρέπει να μπορεί να αποδείξει τη μεταφορά λειτουργικών ή οργανωτικών αρχών από τη βιολογία. Για να καταστεί μετρήσιμη μια λύση ως προς το πόσο πληροί τις προϋποθέσεις για να είναι βιομιμητική, η Janine Benyus (2002) ανέφερε διαστάσεις και αρχές που βοηθούν στην αξιολόγησή της. Οι διαστάσεις αυτές είναι η αντιμετώπιση της φύσης ως μοντέλο, η αντιμετώπιση της φύσης ως μέτρο και η αντιμετώπιση της φύσης ως καθοδηγητής. Ο Henry Dicks το 2016 στο *The philosophy of Biomimicry*, έθεσε ως ποιητική αρχή της βιομίμησης, την διάσταση «η φύση ως μοντέλο», ως ηθική αρχή της βιομίμησης, την «φύση ως μέτρο» και τέλος ως επιστημολογική αρχή βιομίμησης την «φύση ως καθοδηγητή». Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η βιομίμηση δεν στοχεύει στην εργαλειοποίηση της φύσης, δεν εξημερώνει οργανισμούς για την επίτευξη της επιθυμητής λειτουργίας. Παρατηρείται πως στα πρώτα τους βήματα, οι αρχάριοι βιομιμητές αντιγράφουν έναν οργανισμό ως προς αυτό που κάνει, ενώ όσο εξελίσσονται κατανοούν πως πρέπει να αξιοποιούν τις σχεδιαστικές αρχές που περιλαμβάνει ο οργανισμός.

2.5.1. Η φύση ως μοντέλο

Η βιομίμηση ως επιστήμη παρατηρεί και μελετά τα μοντέλα της φύσης και προσομοιώνει τις φόρμες, τις διαδικασίες, τα συστήματα και τις στρατηγικές ώστε με αειφόρο τρόπο να καλύψει τις ανθρώπινες ανάγκες. Ο Henry Dicks (2016) όπως αναφέρθηκε, αποκαλεί τη συγκεκριμένη αρχή της βιομίμησης, ποιητική, διότι στόχος είναι η άντληση έμπνευσης από τη φύση (Αναγωγή). Σύμφωνα με κάποιες απόψεις, η βιομίμηση πραγματεύεται κυρίως το αισθητικό κομμάτι, δηλαδή την αντιγραφή της εξωτερικής μορφής του φυσικού, ακυρώνοντας το λειτουργικό πλαίσιο. Θεωρητικά σύμφωνα με τις αρχές, θα μπορούσε να ευσταθεί, αλλά το αποτέλεσμα εν τέλη δεν θα ήταν προϊόν βιομίμησης. Αντίστοιχα το ίδιο θα ίσχυε αν κάποια άποψη υποστήριζε πως η βιομίμηση πραγματεύεται μόνο το λειτουργικό και αδιαφορεί για το αισθητικό, εξάλλου η λειτουργία δεν πρέπει να αποκόπτεται από ένα ολόκληρο σύστημα λειτουργιών στο οποίο ανήκει. Έτσι ο H. Dicks (2016) κατέληξε στο ότι η βιομίμηση μιμείται τον τρόπο ανάδειξης της φύσης. (Αυτοποίηση).

2.5.2. Η φύση ως μέτρο

Η βιομίμηση έχοντας ένα οικολογικό πρότυπο συγκρίνει κατά πόσο είναι αειφόρα μία καινοτομία. Συγκριτικά με άλλα πεδία όπως η βιοσχεδίαση, η βιοέμπνευση και η βιονική, παρουσιάζει δύο επιπλέον αρχές, τη φύση ως μέτρο και την φύση ως καθοδηγητή. Για την κατανόηση αυτής της διαδικασίας θα πρέπει να γίνει αναφορά σε 2 απ' τις 9 αρχές της J. Benyus.

- 1) Η φύση συγκρατεί τις υπερβολές
- 2) Η φύση αξιοποιεί τη δύναμη των ορίων

Η πρώτη αρχή αφορά το γεγονός πως τα φυσικά όντα έχουν όρια, αλλά οι οργανισμοί φροντίζουν να μη τα ξεπερνάνε πολλές φορές. (Σε πολλά πράγματα που ξεπερνάμε τα όρια όπως η μόλυνση, μπορούμε να τα μειώσουμε σε βιώσιμο επίπεδο). Η δεύτερη

αρχή δεν αφορά τον περιορισμό της ελευθερίας, αλλά πηγές δημιουργικότητας και δημιουργία διαφορετικών τύπων ελευθερίας.

2.5.3. Η φύση ως καθοδηγητής

Μία οπτική της φύσης ως προς το τι μπορούμε να μάθουμε απ' αυτήν και όχι μόνο πώς να χρησιμοποιείται για εξόρυξη και εκμετάλλευση, (J. Benyus, 2002). Ενώ υπάρχει η άποψη πως ο άνθρωπος είναι η πηγή της σοφίας και της γνώσης, θα ήταν μία ευσυνείδητη προσπάθεια να δινόταν αυτός ο ρόλος στη φύση, έτσι ώστε να είναι εκείνη η πηγή που μεταφέρει γνώση και σοφία στον άνθρωπο. Εξάλλου μετά από 3.8 δισεκατομμύρια χρόνια εξέλιξης, η φύση δεν αποτελεί μόνο μια τεράστια βιβλιοθήκη ιδεών αλλά ύστερα από τόσες δοκιμές γνωρίζει πλέον τι “δουλεύει” και τι όχι. Στη δημοσίευση της Shivi Pathak (2019), με τίτλο Biomimicry: (Innovation Inspired by Nature), εστιάζει στις 5 απ' τις 9 αρχές της J. Benyus για την συγκεκριμένη διάσταση, καθώς αναφέρει και δύο μοντέλα καθοδήγησης εύρεσης σχεδιαστικών λύσεων τα οποία θα συναντήσουμε παρακάτω.

Αρχές Βιομίμησης

A) Η φύση χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται

B) Η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία

Γ) Η φύση ανακυκλώνει τα πάντα

Δ) Η φύση διαθέτει ποικιλομορφία

E) Η φύση απαιτεί τοπική εξειδίκευση

2.6. Βιοσυνέργεια

Κάθε στοιχείο ταυτόχρονα με την δική του επιθυμία επιδιώκει και την επιθυμία των άλλων. Ως συνέργεια η F. Mathews (2011), αποκαλεί την διαδικασία όπου δύο μέρη ενώνουν τις συναναστροφές τους με σκοπό την δημιουργία ενός νέου άκρου που συνυπολογίζει και διευρύνει τις αντίστοιχες συναρτήσεις κάθε μέρους, δηλαδή είναι μία αναδρομική συνάρτηση. Σύμφωνα με το παραπάνω, κάθε στοιχείο εκμεταλλεύεται τις δυνάμεις της ενέργειας απ' το περιβάλλον για να επιτύχει συγγενικά άκρα. Συνοψίζοντας τις μέχρι τώρα θεωρίες, η βιομίμηση λαμβάνει τα παραπάνω άκρα, απ' την καταναλωτική κοινωνία, ενώ αναζητά λύσεις στη φύση. Αυτό δεν επαρκεί, καθώς η φύση προσφέρει έναν τρόπο αναδρομής και όχι έτοιμα προϊόντα προς εκμετάλλευση. Η συνέργεια της βιομίμησης, ορίζεται ως βιοσυνέργεια, και αναλύεται ως μία παραγωγική συνέργεια με οικοσυστήματα. Το σύστημα βιοσυνέργειας στρέφεται στα οικοσυστήματα για την επίτευξη των στόχων του χωρίς να τα ζημιώνει. Αν λοιπόν ο στόχος ήταν η παροχή ενέργειας, ένας πολιτισμός βιοσυνέργειας θα στρεφόταν σε συστήματα βιοενέργειας που εντοπίζει στην βιόσφαιρα, αντί να τα αλλάξει με δικά του συστήματα. Το παραπάνω παράδειγμα περιγράφει ουσιαστικά την ηλιακή οικονομία που αναφέρει η J. Benyus.

2.7. Βιομίμηση και βιοέμπνευση

Αρκετοί είναι εκείνοι που προτιμούν τον όρο βιοέμπνευση διότι δίνει περισσότερες ευκαιρίες για καινοτομία και δημιουργικότητα, ενώ όπως λέει ο Peter Forbes η

βιομίμηση είναι η “σκλαβωμένη αντιγραφή της φύσης” (P. Forbes, 2005). Επίσης υπάρχει η άποψη πως αν επικρατήσει η βιομίμηση τότε στο τέλος θα καταλήξουμε σε έναν κόσμο γεμάτο αντιγραφές της φύσης, με ρομποτικές μέλισσες και τεχνητά δέντρα, όταν θα έχουν εξαφανιστεί τα πραγματικά. Με αυτήν την άποψη η βιομίμηση είναι σύμμαχος της «αδύναμης βιωσιμότητας», την άποψη ότι η ανάπτυξη είναι βιώσιμη, με την προϋπόθεση πως αποφεύγεται η μείωση του κεφαλαίου φυσικού ή τεχνητού. Θεωρητικά η βιομίμηση θα μπορούσε να δημιουργήσει έναν εξ ολοκλήρου τεχνητό κόσμο. Το φυσικό θα μπορούσε να αντικατασταθεί, με την ενσωμάτωση των κοινωνικολειτουργικών συστημάτων και των οικολογικών. Λόγω των μηχανισμών αυτορρύθμισης του πλανήτη, τα οικολογικά θα απορρίπτονταν, με αποτέλεσμα την επικράτεια των τεχνητών βιομιμητικών συστημάτων. Σε απάντηση αυτής της άποψης, οι βιολογικοί σχεδιαστές αναφέρουν πως, ο στόχος της σχεδίασης θα πρέπει να αφορά την ενσωμάτωση της φύσης και όχι την αντιγραφή της, (Myers 2014).

2.8. Η φύση ως “Φύσις”

Η αρχαία ελληνική λέξη φύσις βγαίνει απ’ το ρήμα φύω και έχει τη σημασία της φυσικής κατάστασης, της εμφάνισης, της γέννησης, έτσι ως φύση στα νέα ελληνικά προσδιορίζεται, ο φυσικός κόσμος ή ένα μέρος του πλανήτη Γη στο οποίο δεν έχει παρέμβει ο άνθρωπος. Η F. Mathews (2011), προσθέτει στις διαστάσεις, έναν τέταρτο τομέα έρευνας και ένα βαθύτερο ερώτημα, “*Τι είναι η φύση;*”. Δεν υπάρχει η δυνατότητα για την πλήρη κατανόηση της φύσης, γι’ αυτόν τον λόγο η μίμηση της φύσης απαιτεί τροπικότητα. Η F. Mathews (2011), λαμβάνοντας υπόψιν την έμφυτη τάση ενός όντος για ύπαρξη (Conatus), θεωρεί πως οι ζωντανοί οργανισμοί και άλλα συστήματα όπως οι δίνες, είναι αυτοπραγματοποιούμενοι. Σύμφωνα με τους H. Maturana (1928-2021) και F. Varela (1946-2001) ένα αυτοποιητικό ον θα πρέπει να πληροί δύο βασικές προϋποθέσεις.

- 1) Πρέπει τα μέρη του συστήματος ή του όντος, να παράγουν το ένα το άλλο, αυτό συμβαίνει με αυτοκαταλυτικές αντιδράσεις, όπου το ένα μέρος ενεργοποιεί τα μέρη του άλλου.
- 2) Παραγωγή ενός μέρους, όπου θέτει τον ζωντανό οργανισμό ως ενότητα. Ταυτόχρονα το παραπάνω μέρος του οργανισμού θα πρέπει να βοηθά στην παραγωγή και των υπόλοιπων επιμέρους μελών του όντος.

Συνοψίζοντας τις παραπάνω ιδιότητες, ένα αυτοπαραγωγικό σύστημα πρέπει όχι μόνο να μπορεί να δημιουργεί τον εαυτό του, αλλά και τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται. Στην περίπτωση των ουράνιων σωμάτων είναι τα ατομικά στοιχεία, τα ζωτικά όργανα στην περίπτωση των έμβιων όντων, ενώ σε επίπεδο οικοσυστήματος το αυτοπαραγωγικό αυτό σύστημα θα μπορούσε να αφορά τη δημιουργία/εξέλιξη ενός νέου είδους. Στην βιομίμηση είναι αδύνατο να ακολουθηθούν οι νόμοι της κλασικής μηχανικής και της θερμοδυναμικής ισορροπίας, διότι για την επιστήμη της φυσικής, ό,τι συμβαίνει, συμβαίνει επειδή η φύση το επιτρέπει. Αποδεχόμενοι λοιπόν το παραπάνω δεν θα ήταν εφικτό να «αφεθεί η φύση ήσυχη». Στην παραπάνω πρόταση φαίνεται πως η βιομίμηση απορρίπτει τους νόμους της φυσικής, ενώ ουσιαστικά σημαίνει πως ενισχύεται από νόμους, αρχές και στρατηγικές αυτοπαραγωγικών υπάρξεων. Παρ’ όλα αυτά οι έρευνες στη μη ισορροπημένη θερμοδυναμική έχουν ως αποτέλεσμα τη μελέτη της φύσης ως Φυσική με έναν πιο δημιουργικό και παραγωγικό τρόπο.

2.9. Βιολογικό Design

Η ημερήσια ποσότητα των αγαθών που εξορύσσεται, καλλιεργείται, ή συλλέγεται στις Η.Π.Α., έχοντας υπόψιν πως η αναφορά εστιάζει μόνο στο βρώμικο νερό που επιστρέφεται και όχι στο καθαρό, υπολογίζεται κατά μέσο όρο 20 φορές το βάρος του ατόμου. Περίπου το 93% της ποσότητας καταναλώνεται στις εξορύξεις, το 7% περιλαμβάνεται στα προϊόντα. Το 0.85% αυτών των προϊόντων είναι μιας χρήσης και απορρίπτονται μετά από μία εφαρμογή του προϊόντος ή και καμία. Τελικά μόνο το 1% παραμένει μέσα σε προϊόντα πολλαπλών χρήσεων. Από τα παραπάνω προϊόντα μόνο το 0.02% παράγει αξία, είτε ως μέσω της ανακύκλωσης, είτε μέσω της επαναχρησιμοποίησης. Περίπου το 99.98% της ροής αγαθών στις Η.Π.Α είναι καθαρά απόβλητα. Η κακή σχεδίαση σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους, δημιουργεί πρακτικές που ξεπερνούν τα καθιερωμένα επιχειρηματικά πρότυπα.

Για υψηλότερη οικολογική απόδοση, θα πρέπει να ενσωματώνεται η σχεδίαση με τα βιολογικά συστήματα, (W. Myers, 2012). Ο διάσημος Ελβετός αρχιτέκτονας Charles-Édouard Jeanneret-Gris γνωστός και ως Le Corbusier (1887-1965) είχε αναφέρει μεταξύ άλλων τη σημαντικότητα της βιολογίας για τον κλάδο της αρχιτεκτονικής. Αρχικά η φύση είναι σχεδιασμένη με οργανικές μορφές και μπορούμε να συναντήσουμε άπειρες γεωμετρίες και σχήματα. Η εξέλιξη του design μέσω της αιεφορίας και η χρήση ανακυκλώσιμων υλικών, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των σχεδιαστικών ελαττωμάτων, επίσης είναι ανθεκτικά, προσαρμόσιμα και πολυλειτουργικά. Στην αρχιτεκτονική από τον 20^ο αιώνα εμπνέονται μορφές και υλικά απ' τη φύση, δημιουργώντας έτσι νέα υλικά, φυσικά όσο περισσότερο οι σχεδιαστές συμπεριλαμβάνουν το περιβάλλον στη σχεδιαστική τους διαδικασία, τόσο πιο ασφαλή και βιολογικά κτίσματα θα υπάρξουν στο μέλλον. Εξάλλου είναι ηθικό καθήκον του σχεδιαστή να εξασφαλίζει πως οι λύσεις του φέρνουν εις πέρας το επιθυμητό αποτέλεσμα και είναι χρήσιμες, παρά πως φέρνουν εις πέρας το αποτέλεσμα με ό,τι επιβλαβή συνέπειες μπορεί να επιφέρει. Σύμφωνα με τον Victor Margolin (1998) όταν στοχεύουμε στη βιολογία το σύστημα απομακρύνεται απ' το ανθρωποκεντρικό μοντέλο και λαμβάνει υπόψη τους κύκλους ζωής των προϊόντων και τους περιορισμούς της γης. Στην βιομημητική παραγωγή τα απόβλητα μετατρέπονται σε αξία, ενώ κατά τη μελέτη της σχεδίασης, λαμβάνεται υπόψιν να μην παράγουν αξία όσα υλικά επιστρέφουν τελικά στη φύση, για να μην είναι επιζήμια.

Για την αξιολόγηση του βιολογικού design πρέπει να γίνουν τα παρακάτω

- Απόσταξη
- Μετάφραση
- Εξερεύνηση
- Προσομοίωση

Η βιομίμηση μπορεί να είναι βιώσιμη. Στις περιπτώσεις των ηλιακών συλλεκτών και των ανεμογεννητριών, ενώ θεωρητικά έχουν εμπνευστεί απ' τη φύση, κατασκευάζονται με μη βιώσιμο τρόπο, γίνεται εξόρυξη μη ανανεώσιμων πηγών καθώς και απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής, στην περίπτωση των ανεμογεννητριών, ακόμα και κατά την τοποθέτηση και χρήση τους, πλήττουν τα τοπικά οικοσυστήματα, μέσω ηχορύπανσης, οπτικές παρεμβολές και σημαντικά δυσάρεστες επιπτώσεις στην άγρια ζωή. Ενώ η φωτοσύνθεση καθίσταται βιώσιμη διότι συμπεριλαμβάνεται σε αυτοποιητικούς οργανισμούς και οικοσυστήματα.

2.10. Ηθική

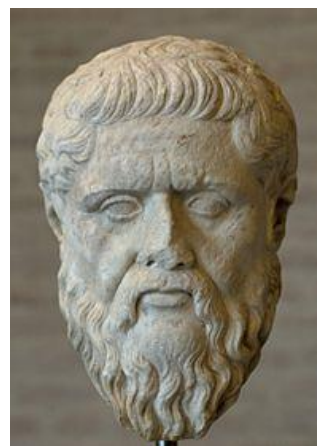
Οι θεωρητικοί της βιομίμησης χωρίζονται σε δύο απόψεις, εκείνους που θεωρούν πως η βιομίμηση είναι το μέσο για να διασωθούν τα φυσικά συστήματα και εκείνους που θεωρούν πως η βιομίμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για την αντικατάσταση αυτών των συστημάτων, με νέα, τεχνητά. Αν και οι δύο απόψεις θεωρούνται βιομιμητικές, η πρώτη άποψη είναι ηθική προς το περιβάλλον, τα οικοσυστήματα και τον ίδιο τον άνθρωπο καθώς είναι μέρος της φύσης, ενώ η δεύτερη άποψη είναι άκρως ανθρωποκεντρική. Επιπλέον αυτά τα συστήματα, είτε υποστηρίζονται απ' την πρώτη άποψη είτε απ' την δεύτερη, είναι συστήματα που δημιουργούνται από ανθρώπους, τα συστήματα αυτά θα επιτρέψουν μία εξωγενή τελεολογία, όποτε αφού η φύση ορίζεται από όρους όπως το Wu Wei δεν θα ήταν εφικτή η πλήρης αντικατάστασή της από τεχνητά, σχεδιασμένα συστήματα. Η βιομίμηση πρέπει να ξεκινά απ' τη φύση, πρέπει να είναι κατανοητή η ηθική σημασία της βιομίμησης. Ο H. Dicks (2016), επιχειρηματολογεί έναντι της άποψης πως, «η βιομίμηση είναι η σκλαβωμένη αντιγραφή της φύσης, με αποτέλεσμα την πιθανή μελλοντική αντικατάσταση της ίδιας της φύσης από μια τεχνητή, δημιουργώντας έτσι τη λογική πλάνη πως από το «είναι» θα οδηγηθεί στο «πρέπει». Ενώ τελικά η μίμηση που δεν περιλαμβάνει τον άνθρωπο, παραβλέπει την ανθρώπινη φύση». Ο Dicks αναπτύσσει ένα φιλοσοφικό παράδειγμα που αποκαλεί “φωτισμένο νατουραλισμό”, το οποίο παροτρύνει την οπτική της φύσης ως Φύσις, την Φύσις ως αποκάλυψη (φανέρωση) και την αποκάλυψη ως ξέφωτο. Για τον άνθρωπο αυτή η αποκάλυψη της φύσης μπορεί να γίνει η αρχή ώστε να αντιληφθεί τη φύση ως μοντέλο, ως μέτρο και ως καθοδηγητή.

2.11. Λειτουργία Αποδοχής (Let It Be)

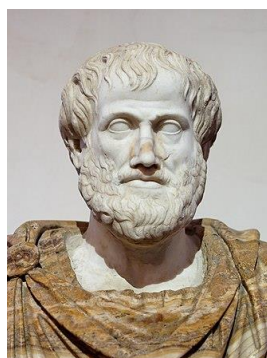
Τα προϊόντα πρέπει είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε αυτά και τα υποπροϊόντα της παραγωγικής τους διαδικασίας, να μπορέσουν να επιστρέψουν στο οικοσύστημα ως βιολογικό θρεπτικό συστατικό, είτε να ανακυκλωθούν στη βιομηχανία, ως πόρος για επιπλέον παραγωγή. Το πρόβλημα είναι ότι τα προϊόντα δεν σχεδιάζονται με σκοπό να συμβάλλουν, (W. McDonough & M. Braungart, 2002). Για παράδειγμα κατά τη μελέτη ενός προϊόντος, ο σχεδιαστής δεν πρέπει να σκεφτεί μόνο τι θέλει ο πελάτης, αλλά και τι θα προκαλέσει αυτό το προϊόν κατά την παραγωγή του, κατά τη χρήση του, κατά την απόρριψη του κλπ. Στο Temps et Recit (1983) ο Paul Ricoeur, συγκρίνει τις αντιλήψεις του Πλάτωνα και του Αριστοτέλη για την μίμηση.

2.12 Πλάτωνας και Αριστοτέλης

Ο Πλάτωνας αναφέρει τον μιμητή ως κάποιον που αντιγράφει τις δράσεις των ανθρώπων, συγκεκριμένα εστιάζει στους ποιητές και τους ζωγράφους, καθώς και οι δύο δημιουργούν αντίγραφα της πραγματικότητας. Αναφέρεται μάλιστα στον πραγματικό τεχνίτη που φτιάχνει κρεβάτια, το τελικό αντικείμενο μπορείς να το χρησιμοποιήσεις και να δεις όλες του τις διαστάσεις, ενώ ο ζωγράφος όσο ρεαλιστικά χρώματα και να προσθέσει, όσο καλά και να ζωγραφίσει ένα κρεβάτι, στο τέλος θα λείπει η ουσία του. Για τον ίδιο λόγο θεωρεί πως οι ποιητές δεν θα μπορούσαν να ζουν στην ιδανική πολιτεία, καθώς δεν αντιγράφουν απλά την πραγματικότητα, αλλά δημιουργούν νέα πραγματικότητα με τη φαντασία τους. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα για έναν μεγάλο



Εικόνα 14 Προτομή Πλάτωνα, 427-347 π.Χ., ανακτήθηκε από wikipedia.



Εικόνα 15 Προτομή Αριστοτέλη, 382-322 π.Χ., ανακτήθηκε από wikipedia.

τεχνίτη που ακούγεται πως μπορεί να φτιάξει τα πάντα, να φτιάξει βουνά, Θεούς, αντικείμενα, ανθρώπους κλπ. χρησιμοποιώντας τον καθρέφτη, καθώς με την αντανάκλαση μπορείς να δημιουργήσεις όλες τις εικόνες, αυτόν τον τεχνίτη τον συγκρίνει και πάλι με τον ζωγράφο που τελικά δεν έχει άποψη και γνώση των πραγμάτων που μιμείται. Ο Αριστοτέλης απ' την άλλη στο έργο του, Περί ποιητικής, αναφέρει πως η μίμηση στον άνθρωπο είναι έμφυτη, θεωρεί μάλιστα πως είναι το πιο μιμητικό πλάσμα στον κόσμο, διότι τις αρχικές του κιόλας γνώσεις τις λαμβάνει μέσω της μίμησης. Χαρακτηρίζει ως μιμητές, τους ποιητές της τραγωδίας και της κωμωδίας, τους ποιητές διθυράμβων και τους τεχνίτες της αυλητικής και της κιθαριστικής, αλλά θεωρεί πως μιμούνται με διαφορετικούς τρόπους, καθώς παίζουν ρόλο τα μέσα με τα οποία μιμούνται, τα πράγματα τα οποία μιμούνται, αλλά και τον τρόπο που μιμούνται. Στην μία περίπτωση λοιπόν ο Πλάτωνας, κατακρίνει τους μιμητές διότι δημιουργούν ανεπιτυχή αντίγραφα χωρίς ουσία και μένουν εκτός της ιδανικής πολιτείας του, ενώ ο Αριστοτέλης θεωρεί πως η μίμηση είναι κάτι έμφυτο και γίνεται χρήση της με διάφορους τρόπους στην τέχνη για την ψυχαγωγία των ανθρώπων.

2.13. Η αειφορία της βιομίμησης

Το ερώτημα είναι, αν η βιομίμηση είναι όντως αειφόρα, για να απαντηθεί αυτό θα πρέπει να αναλυθεί τι ακριβώς σημαίνει αειφορία. Ο όρος βιωσιμότητα ή αειφορία χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τη δασοκομία, ως έννοια περιέγραφε, την ορθή συγκομιδή δέντρων ώστε να μη ξεπερνά αυτά που μπορεί να παραγάγει το δάσος. Ενώ από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα υπήρχαν επιστήμονες που επισήμαναν την ανάγκη για αντικατάσταση των πρώτων υλών, την ανησυχία για την εξάντληση των τροφίμων και των ορυκτών, δεν έγινε τίποτα μέχρι το 1987 όπου εκδόθηκε το βιβλίο Our Common Future, ή αλλιώς η έκθεση Brundtland από τα Ηνωμένα Έθνη, ενώ το όνομα της έκθεσης δόθηκε λόγω της τότε πρωθυπουργού της Νορβηγίας που την συνέταξε, Gro Harlem Brundtland. Η έκθεση αναφέρει τον συμβιβασμό μεταξύ περιβάλλον και

ανάπτυξης. Ενώ ως βιωσιμότητα θεωρείται η ικανοποίηση των αναγκών του παρόντος, χωρίς να προκληθεί αδυναμία κάλυψης των αναγκών για τις μελλοντικές γενιές. Μετά απ' αυτήν την έκθεση, η βιωσιμότητα απέκτησε δύο έννοιες, κατά τη μία έννοια η βιωσιμότητα είναι η ισορροπία και η αρμονία της κοινωνικής, της οικονομικής και της περιβαλλοντικής διάστασης, αυτές οι διαστάσεις εμπνεύστηκαν από το πλαίσιο που όρισε ο John Elkington το 1994, Triple Bottom Line. Η κοινωνική βιωσιμότητα επιτυγχάνεται με την συμμετοχή των πολιτών, με την ευγένεια, την αγάπη, τους θεσμούς, την ειλικρίνεια. Ενώ ως ηθικό κεφάλαιο απαιτεί την ποιοτική ανάπτυξη για την μείωση της φτώχειας, τα ίσα φυλετικά, πολιτικά, θρησκευτικά κλπ. δικαιώματα. Η οικονομική βιωσιμότητα, αφορά την κατανάλωση που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μία χρονική περίοδο, έτσι ώστε στο τέλος αυτής της περιόδου να μην έχει διαταραχθεί το κεφάλαιο, δηλαδή να επιτευχθεί διατήρηση κεφαλαίου. Περιβαλλοντική βιωσιμότητα, είναι η προστασία των μη ανανεώσιμων πηγών και πρώτων υλών, η διασφάλιση της μη υπέρβασης των αποβλήτων, έτσι ώστε να επιτευχθεί η βελτίωση της ευημερίας.

Κατά τη δεύτερη έννοια, η βιωσιμότητα διακρίνεται μεταξύ «ασθενής» και «ισχυρής» βιωσιμότητας. Ως «ασθενής» βιωσιμότητα χαρακτηρίζεται, το απόθεμα πλούτου, περιβαλλοντικών και ανθρωπογενών περιουσιακών στοιχείων που θα κληρονομήσει η διαδοχική γενιά, δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο απ' αυτό που κληρονόμησε η προηγούμενη, αυτά τα περιουσιακά στοιχεία μπορούν να αφορούν πόρους όπως τα ορυκτά, όπου αν «αδειάσει» μια πηγή, υπάρχει δυνατότητα εξόρυξης από άλλη. Ως «ισχυρή» βιωσιμότητα χαρακτηρίζεται, το απόθεμα πλούτου, περιβαλλοντικών περιουσιακών στοιχείων που θα κληρονομήσει η διαδοχική γενιά, δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο απ' αυτό που κληρονόμησε η προηγούμενη, σε αυτήν την περίπτωση τα περιουσιακά στοιχεία αφορούν περιπτώσεις που αν εκλείψει κάτι δεν υπάρχει δυνατότητα επαναφοράς, όπως ένα είδος ζώου.

“Εάν η βιωσιμότητα είναι κάτι περισσότερο από ένα σύνθημα έκφρασης συναισθήματος, πρέπει να αντιστοιχεί σε διαταγή διατήρησης της παραγωγικής ικανότητας για το αόριστο μέλλον”, (R. Solow, 1993 σελ. 163). Η αειφορία αφορά τους φυσικούς πόρους και την ποιότητα του περιβάλλοντος. Οι πόροι εκτός από φυσικοί διακρίνονται σε ανθρωπογενείς (κεφάλαιο), σε ανανεώσιμους και σε μη ανανεώσιμους. Η μεγαλύτερη σχεδιαστική πρόκληση είναι η δημιουργία ενός βιώσιμου πολιτισμού, (D.C. Wahl, 2006).

Κατά την εννοιολογική σημασία της βιωσιμότητας, η βιομίμηση πληροί της προϋποθέσεις έτσι ώστε να θεωρηθεί μια αειφόρος φιλοσοφία. Η μίμηση μορφών, διαδικασιών και συστημάτων της φύσης που για εκατομμύρια χρόνια κληροδοτεί τους πόρους από γενιά σε γενιά, ενώ οι 9 θεμελιώδεις αρχές μπορούν να αξιοποιηθούν με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθούν και οι 3 βιωσιμότητες, κοινωνική οικονομική και περιβαλλοντική.

Κεφάλαιο 3 - Τα Εργαλεία της Βιομίμησης

3.1. Εισαγωγή κεφαλαίου 3

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα εργαλεία βιομίμησης που έχουν αναπτυχθεί για τη διευκόλυνση των σχεδιαστών. Περιγραφικά βήματα που πρέπει να ακολουθήσει

κάποιος στη σχεδιαστική διαδικασία, είτε ξεκινώντας απ' το σχεδιαστικό πρόβλημα για να φτάσει στη λύση, είτε ξεκινώντας απ' τη βιολογική έρευνα για να καταλήξει στη σχεδιαστική λύση. Τη διαδικασία χρήσης εργαλείων αλλά και το μοντέλο σχεδιαστικής διαδικασίας που αποδίδει αποτελέσματα στον βιομημητικό σχεδιαστή. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η γνωριμία με τα εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί μέχρι στιγμής από τους επιστήμονες ώστε επιτυγχάνουν το αποτέλεσμα που θέλουν.

3.2. Τα μοντέλα καθοδήγησης

Είναι μοντέλα που βοηθούν τον σχεδιαστή να κατευθυνθεί, ακολουθώντας τα βήματα από το 1 ως το 6. Υπάρχουν περιπτώσεις που ο σχεδιαστής αναζητά λύση για ένα θέμα, αλλά υπάρχουν και οι περιπτώσεις που ο σχεδιαστής μπορεί να εμπνευστεί από κάτι και να αναζητήσει τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να το αξιοποιήσει. Παρακάτω ακολουθούν τα δύο μοντέλα.

- Έχοντας καθορίσει την ανθρώπινη ανάγκη και γνωρίζοντας ποιο θέμα χρήζει επίλυση.

1) Καθορισμός σχεδιαστικού προβλήματος

Ο σχεδιαστής εντοπίζει το θέμα που χρειάζεται επίλυση.

2) Αναζήτηση για ανάλογα βιολογικά θέματα

Έρευνα στη φύση, μέσω βιβλιογραφίας, μελετών ή και προσωπικής παρατήρησης, για ανάλογα θέματα που έχει επιλύσει η φύση.

3) Επιλογή κατάλληλων αρχών

Μέσα από το σύνολο των αρχών ο σχεδιαστής πρέπει να κατανοήσει ποιες αρχές έχει αξιοποιήσει η φύση για την εξέλιξη του βιολογικού ευρήματος και πηγής έμπνευσης.

4) Αφαίρεση, αποσύνδεση από βιολογικό μοντέλο

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, σκοπός δεν είναι η αντιγραφή της φύσης, αλλά η αποδόμησή της ώστε να αξιοποιηθεί κατάλληλα η λειτουργία που είναι απαραίτητη.

5) Τεστ, ανάλυση, feedback

Πειράματα, δοκιμή και έλεγχος για το αν λειτουργεί ορθά.

6) Σχεδιαστική λύση

Τελικό προϊόν.

- Εντοπισμός κάποιου βιολογικού χαρακτηριστικού ή λειτουργίας και άντληση έμπνευσης απ' αυτό. Σε αυτό το μοντέλο η ακολουθία πραγματοποιείται ανάποδα καθώς εντοπίζεται πρώτα η βιολογική έρευνα.

1) Βιολογική έρευνα

Εντοπισμός οργανισμού ή συστήματος και άντληση έμπνευσης από αυτό.

2) Βιομηχανική, λειτουργική μορφολογία και ανατομία

Κατανόηση της λειτουργίας του οργανισμού μέσα στη φύση.

3) Κατανόηση αρχών

Κατανόηση για το ποιες αρχές αναπτύχθηκε να πληροί αυτός ο οργανισμός.

4) Αφαίρεση, αποσύνδεση από βιολογικό μοντέλο

Όπως ήδη αναφέρθηκε, σκοπός δεν είναι η αντιγραφή της φύσης.

5) Τεχνική εφαρμογή

Εύρεση του τρόπου αξιοποίησης του ευρήματος σε τεχνικό επίπεδο.

6) Σχεδιαστική λύση

Τελικό προϊόν.

3.3. Τα επίπεδα της βιομίμησης

Τα επίπεδα της βιομίμησης είναι απαραίτητα για να υπάρξουν σχεδιαστικές λύσεις.

- **Organism Level (Επίπεδο Οργανισμού)**

Σε αυτό το επίπεδο η μίμηση αφορά έναν συγκεκριμένο οργανισμό ή μέρος αυτού.

- **Behavior Level (Επίπεδο Συμπεριφοράς)**

Η μίμηση της συμπεριφοράς του οργανισμού. Κατανόηση του πώς συμπεριφέρεται ο οργανισμός ή πως σχετίζεται με το ευρύτερο πλαίσιο του οικοσυστήματος στο οποίο ανήκει.

- **Ecosystem Level (Επίπεδο Οικοσυστήματος)**

Αφορά τη μίμηση όλου του οικοσυστήματος επίσης λαμβάνουμε υπ' όψη τη δυσκολία του επιπέδου, καθώς είναι πολύ δύσκολη η μίμηση της λειτουργίας στην οποία επικεντρώνεται. Σε αυτό το επίπεδο η μίμηση αφορά τη φυσική διαδικασία και τον κύκλο του ευρύτερου περιβάλλοντος. Οι καλές συνθήκες που επικρατούν στη βίοςφαιρα επηρεάζουν τις συνθήκες στις οποίες αναπτύσσεται ένας οργανισμός, έτσι το ορθότερο αποτέλεσμα βιομίμησης σε επίπεδο οικοσυστήματος προϋποθέτει την αρμονία μεταξύ σχεδίου και βίοςφαιρας.

Για κάθε επίπεδο πρέπει να απαντώνται 5 ερωτήσεις, οι οποίες είναι:

- 1) Πως μοιάζει; (Φόρμα)
- 2) Από τι είναι φτιαγμένο; (Υλικό)
- 3) Ποια είναι η ικανότητά του; (Λειτουργία)
- 4) Πώς φτιάχνεται; (Κατασκευή)
- 5) Πώς δουλεύει; (Διαδικασία)

3.4. BioTRIZ

Το 1946 ο Σοβιετικός Genrich Altshuffer για την αντιμετώπιση μηχανικών προβλημάτων δημιούργησε ένα εργαλείο το οποίο ονόμασε TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving). Το TRIZ είναι ένας πίνακας όπου οι διασταυρώσεις συμβολίζουν μηχανικές αντισταθμίσεις, ουσιαστικά είναι ένα ολοκληρωμένο θεωρητικό σύστημα για την επίλυση προβλημάτων. Το δυσκολότερο. Τα τελευταία χρόνια οι ερευνητές αναλύοντας 2500 αντισταθμίσεις συμπλήρωσαν έναν πίνακα με βιολογικές αρχές αντί μηχανικές και χρησιμοποιώντας την ιδέα του G. Altshuffer δημιουργήθηκε το BioTRIZ. Στο άρθρο Bio – TRIZ Database for Sustainable Lifestyle Technology transfer from nature to engineering, που δημοσίευσαν ερευνητές απ' τα πανεπιστήμια της Οσάκα, του Ναγκασάκι και της Νιυγκάτα, αναλύεται η δημιουργία ενός τέτοιου πίνακα σύμφωνα με τις προαπαιτούμενες μηχανικές προσεγγίσεις, αλλά και τη

φυσιοδική προσέγγιση. Η πρώτη προσέγγιση, αφορά τον προσανατολισμό στο πρόβλημα, στην περίπτωση του BioTRIZ συγκεκριμένα οι αντισταθμίσεις θα πρέπει να επιλύουν τεχνικές αντιφάσεις. Η δεύτερη προσέγγιση αφορά τον προσανατολισμό στην λειτουργία. Ενώ η τρίτη προσέγγιση είναι ο προσανατολισμός στον τρόπο ζωής. Μια φυσιοδική οπτική θα κάνει πιο κατανοητό τον βιώσιμο τρόπο ζωής, για αυτήν την οπτική χρήσιμη είναι επίσης και η αναζήτηση λέξεων – κλειδιών που σχετίζονται με τη βιολογία.

Operation fields that should be improved	Operation fields that cause problems					
	Substance	Structure	Time	Space	Energy/Field	Information/Regulation
Substance	13, 31, 15, 17, 20, 40	1, 2, 3, 15, 24, 26	15, 19, 27, 29, 30	15, 31, 1, 5, 13	3, 6, 9, 25, 31, 35	3, 25, 26
Structure	1, 10, 15, 19	1, 15, 19, 24, 34	1, 2, 4	10	1, 2, 4	1, 3, 4, 15, 19, 24, 25, 35
Time	1, 3, 15, 20, 25, 38	1, 2, 3, 4, 6, 15, 17, 19	2, 3, 11, 20, 26	1, 2, 3, 4, 7, 38	3, 9, 15, 20, 22, 25	1, 2, 3, 10, 19, 23
Space	3, 14, 15, 25	2, 3, 4, 5, 10, 15, 19	1, 19, 29	4, 5, 14, 17, 36	1, 3, 4, 15, 19	3, 15, 21, 24
Energy/Field	1, 3, 13, 14, 17, 25, 31	1, 3, 5, 6, 25, 35, 36, 40	3, 10, 23, 25, 35	1, 3, 4, 15, 25	3, 5, 9, 22, 25, 32, 37	1, 3, 4, 15, 16, 25
Information/Regulation	1, 6, 22	1, 3, 6, 18, 22, 24, 32, 34, 40	2, 3, 9, 17, 22	3, 20, 22, 25, 33	1, 3, 6, 22, 32	3, 10, 16, 23, 25

Εικόνα 16 Παράδειγμα πίνακα BioTRIZ, N.R. Bogatyrev, O.A. Bogatyreva, 2009

3.5. Life's Principles



Εικόνα 17 Life's Principles, ανακτήθηκε από Biomimicry 3.8, 2013

Το Life's Principles είναι ένα εργαλείο που αναπτύχθηκε για να μπορεί να αξιολογήσει τη βιωσιμότητα ενός βιομημητικού σχεδίου σε επίπεδο οικοσυστήματος. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αυτό το επίπεδο έχει αυξημένο βαθμό δυσκολίας, διότι ακόμα κι αν προσομοιωθεί η φόρμα και η διαδικασία, δεν είναι σίγουρο το αποτέλεσμα και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Στο εργαλείο περιγράφονται 6 κύριες αρχές και 20 υπο-αρχές. Στις περιπτώσεις που το εργαλείο χρησιμεύει ως πρότυπο τότε εύκολα μπορεί να εντοπιστεί σε ποια αρχή είναι πιο μη βιώσιμο το σχέδιο.

Αυτές οι αρχές και οι υπο-αρχές τους είναι οι εξής:

Εξελιγμένο ώστε να επιβιώνει

- Αναπαραγωγή στρατηγικών που δουλεύουν
- Προσαρμογή στις αναπάντεχες αλλαγές
- Πληροφορίες ανασχηματισμού

Προσαρμόζεται στις αλλαγές των συνθηκών

- Αδιαφορούν για τη διαφορετικότητα

- Διατήρηση ακεραιότητας μέσω αυτό-ανανέωσης
- Ενσωμάτωση ανθεκτικότητας μέσω πλεονασμού, παραλλαγών και αποκέντρωσης.

Συντονισμός και ανταπόκριση σε τοπικό επίπεδο

- Αξιοποίηση κυκλικών διαδικασιών
- Χρήση άμεσων διαθέσιμων υλικών και ενέργειας
- Χρήση βρόχων ανάδρασης
- Καλλιεργούνται σχέσεις συνεργασίας

Ενσωμάτωση της εξέλιξης με την ανάπτυξη

- Αυτό-οργάνωση
- Χτίσε από κάτω προς τα πάνω
- Συνδυασμός αρθρώσεων και ένθετων εξαρτημάτων

Αποδοτική ως προς τους πόρους (Υλικά & Ενέργεια)

- Χρήση λιγότερης ενέργειας
- Χρήση πολυλειτουργικής σχεδίασης
- Ανακύκλωση όλων των υλικών
- Ταίριαξε τη φόρμα στη λειτουργία

Χρήση χημείας φιλική προς την έμβια ζωή

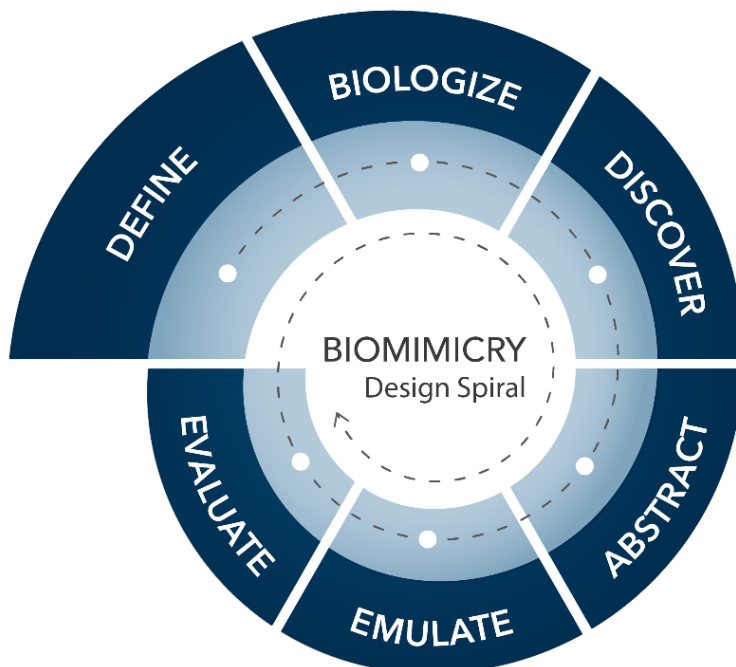
- Διάσπαση προϊόντων σε καλοήθη υλικά
- Επιλεκτική οικοδόμηση με ένα υποσύνολο στοιχείων
- Αξιοποίηση του νερού στη χημεία

Η συνεχή ευημερία ενός οργανισμού εξαρτάται απ' τις καλές συνθήκες υγείας που επικρατούν στη βιόσφαιρα. Το υψηλότερο επίπεδο βιομίμησης είναι αυτό που μιμείται το οικοσύστημα, επειδή απαιτεί την επιβεβαίωση πως η σχεδίαση ταιριάζει απρόσκοπτα μέσα στη βιόσφαιρα. Ο σχεδιαστής δεν έχει την ικανότητα να ελέγξει τον σκοπό και τη χρήση αλλά μπορεί να εξασφαλίσει ότι οι λύσεις που αναπτύσσονται κάνουν «ό,τι είναι δυνατό και χρήσιμο» παρά «ό,τι είναι δυνατό αλλά επιβλαβές». Σύμφωνα με τους Maturana και Varela (1980). Ο τελεολογικός μηχανισμός ή η λειτουργία οριοθετείται απ' τον επιστήμονα ή τον σχεδιαστή. Παράδειγμα, Ο στόχος της φωτοσύνθεσης είναι να μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε χημική, με αποτέλεσμα να τη διαχωρίζει απ' την αυτοποιητική της ενότητα.

Στο Biomimetics: strategies for product design inspired by nature – a mission to the Netherlands and Germany, που δημοσιεύτηκε τον Ιανουάριο του 2007, αναφέρονται παραδείγματα τα οποία θα μπορούσε να ακολουθήσει ο σχεδιαστής για να έχει ένα βιομιμητικό αποτέλεσμα.

- Μείωση των συνδυασμών υλικών, όταν ένα υλικό είναι αυτούσιο χωρίς άλλα υλικά πάνω του, γίνεται πιο εύκολη η διαδικασία ανακύκλωσής του. Παράδειγμα μία ξύλινη επιφάνεια χωρίς ρητίνες.
- Χρήση λίγων υλικών.
- Παρατήρηση και μελέτη της γενικής δομής οργανωμένων συστημάτων (μακροδομή) της φύσης. Παράδειγμα, τα πλοκάμια των καλαμαριών.
- Μελέτη σχεδίασης ως προς την αλληλεπίδραση ανθρώπου – μηχανής, κατόπιν παρατήρησης της συμπεριφοράς των ζώων.

3.6. Biomimicry Design Spiral



Εικόνα 18 Biomimicry Design Spiral, BIOMIMICRY TOOLBOX, από Biomimicry Institute, 2017.

Το σπιδάλ είναι ένα εργαλείο με διαδοχικά βήματα, ξεκινώντας απ' τον εντοπισμό του προβλήματος και καταλήγοντας στην τελική λύση. Ο λόγος που το εργαλείο είναι σπιδάλ, σχετίζεται με το γεγονός πως όσο πραγματοποιείται η έρευνα και εντοπίζονται νέα δεδομένα ή δημιουργούνται νέες ιδέες, είναι εφικτή η επιστροφή σε κάποιο προηγούμενο βήμα. Τα βήματα που ακολουθεί το σπιδάλ είναι τα εξής:

- **Αναγνώριση:** Σε αυτό το βήμα ο σχεδιαστής καλείται να σκεφτεί τι θέλει να κάνει το προϊόν του και όχι το τελικό προϊόν. Το ερώτημα σε αυτό το βήμα είναι. Ποια θα είναι η χρήση του προϊόντος;
Ο λόγος που γίνεται αυτό, είναι για να μην περιορίσει ο σχεδιαστής τη σκέψη του και προσπαθήσει να αποδώσει τη φόρμα του προϊόντος πριν κατανοήσει πλήρως τι είναι αυτό που τελικά χρειάζεται.
- **Ορισμός:** Εδώ ο σχεδιαστής θα πρέπει να ορίσει διάφορες παραμέτρους, το κόστος των υλικών, αν θα πρέπει να αντέχει σε συγκεκριμένες δυνάμεις, ή σε τι συνθήκες θα λειτουργεί το προϊόν κλπ.
- **Βιολογισμός:** Αφού ο σχεδιαστής ορίσει τις παραμέτρους, θα πρέπει να αναρωτηθεί, πως θα αντιμετώπιζε αυτήν την παράμετρο η φύση. Είναι σημαντικό σε αυτό το βήμα κάθε παράμετρος να ερμηνευτεί βιολογικά.
- **Εξερεύνηση:** Αφού γίνουν οι παραπάνω ερωτήσεις, σε αυτό το βήμα ο σχεδιαστής θα πρέπει να βρει τις απαντήσεις απ' τη φύση, θα πρέπει να αναζητήσει απαντήσεις απ' την βιβλιογραφία, από ειδικούς και κυρίως

βιολόγους, ενώ θα ήταν πολύ σημαντική η προσωπική παρατήρηση της φύσης. Σκοπός είναι να μάθει πως λειτουργεί η φύση για κάθε μία απ' τις ερωτήσεις που έχουν τεθεί.

- **Αποδόμηση:** Τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί απ' το προηγούμενο βήμα, θα πρέπει να αποδομηθούν, να διαχωριστεί η φόρμα απ' τη λειτουργία. Το βασικό είναι η ανάλυση της ενδιαφερόμενης λειτουργίας χωρίς αναφορά στον οργανισμό.
- **Μίμηση:** Σε αυτό το βήμα γίνεται ο καταγισμός και η συγκέντρωση ιδεών, η ανάπτυξη των προκαταρκτικών σχεδίων, ένταξη λειτουργιών απ' το βήμα της αποδόμησης μέσα στις ιδέες. Στο συγκεκριμένο βήμα, είναι απαραίτητη και η επικοινωνία με επιστήμονες του κλάδου της βιολογίας.
- **Αξιολόγηση:** Αξιολόγηση της ιδέας για το πόσο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον είναι, βελτίωση ιδέας.

Κεφάλαιο 4 - Παραδείγματα Βιομίμησης

4.1. Εισαγωγή κεφαλαίου 4

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν παραδείγματα βιομίμησης, τα παραδείγματα αυτά αφορούν μελέτες που έχουν ήδη ξεκινήσει από πανεπιστήμια ή οργανισμούς, ενώ θα αναφερθούν και παραδείγματα από υλοποιημένες βιομιμητικές λύσεις. Αστακοί και σφουγγάρια με εξαιρετικά ανθεκτικούς σκελετούς, αλγόριθμοι βασισμένοι στις ιδιαιτερότητες των ζώων, μίμηση της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης κ.α. Σκοπός του κεφαλαίου είναι αρχικά να αποδείξει πως όλα όσα αναφέρονται στα προηγούμενα κεφάλαια μπορούν όντως να γίνουν πράξη, ενώ είναι σημαντικό να γίνει η σύνδεση των παραδειγμάτων με τις θεμελιώδεις αρχές που πληρούν.

4.2. Άντληση έμπνευσης απ' τη φύση

Το κάλεσμα της φάλαινας

Το δεύτερο μεγαλύτερο κητώδες στον κόσμο, η πτεροφάλαινα (*Balaenoptera Physalus*), η οποία μπορεί να φτάσει και τα 25 μέτρα σε μήκος, έχει ένα απ' τα δυνατότερα καλέσματα της θάλασσας ζωής, συγκεκριμένα το κάλεσμά της μπορεί να φτάσει ως και 189 dB (desibel) με κύρια συχνότητα τα 20 Hz (Hertz), ενώ διαρκεί για 1 δευτερόλεπτο και επαναλαμβάνεται κάθε 7 – 40 δευτερόλεπτα. Η μορφή του κύματος που παράγει η φωνή της είναι ημιτονοειδή, ενώ ανακλάται και διαθλάται στον φλοιό της γης και μεταδίδεται μέσα σε αυτόν σαν σεισμικό κύμα. Οι ερευνητές κατάφεραν με αυτόν τον τρόπο να μελετήσουν τα ιζήματα και τον πυθμένα που είχαν ορίσει. Ρίχνοντας ηχητικά κύματα απ' την επιφάνεια προς τον πυθμένα, μπορούν να σαρώσουν το ανάγλυφο υπολογίζοντας τον χρόνο που κάνει το κύμα για να επιστρέψει. Εκτελώντας τα πειράματά τους κατέληξαν

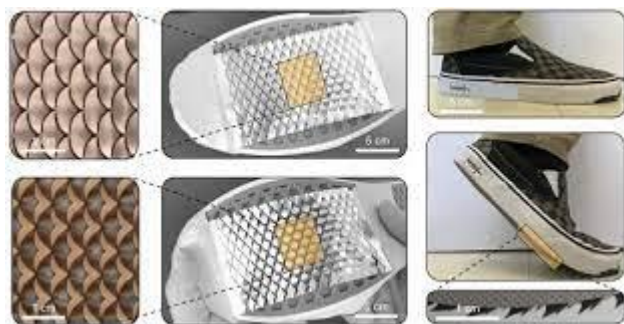


Εικόνα 19 Πτεροφάλαινα (*Balaenoptera Physalus*), ανακτήθηκε από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CE%B1>

πως τα ηχητικά κύματα του ζώου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση του πυθμένα, ενώ ήδη κατάφεραν να πραγματοποιήσουν την απεικόνιση μιας περιοχής που όρισαν.

Σχόλιο: Θεωρώ πως αυτό το παράδειγμα πληροί την βιομιμητική αρχή, η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία. Η μορφή του παραγόμενου κύματος είναι σημαντική για τις λειτουργίες ανάκλασης και διάθλασης.

Αντιολισθητικές σόλες παπουτσιών



Εικόνα 20 Ανοξειδωτη επιφάνεια με μορφολογία kirigami και τις ακίδες που συμπληρώνουν την αντιολισθητική σόλα, ενώ δεξιά, εστιάζει στην κίνηση του ποδιού όπου επιτρέπουν την εξαγωγή ακίδων. Ανακτήθηκε από Sahab Babae, Simo Rajovic, Ahmad Rafsanjani, Yichao Shi, Katia Bertoldi, & Giovanni Traverso.

Αρκετοί άνθρωποι και κυρίως μεγάλης ηλικίας, χάνουν τη ζωή τους από πτώσεις, ή τραυματίζονται σοβαρά, ενώ δεν είναι σπάνιο φαινόμενο τα ατυχήματα να συμβαίνουν και σε εργασιακούς χώρους, λόγω ολισθηρών δαπέδων. Μία ομάδα ερευνητών μελέτησαν τα νύχια των ζώων όπως των βοοειδών (Bovidae) και των γατόπαρδων (Acinonyx Jubatus) κλπ., συγκεκριμένα, τα νύχια των βοοειδών έχουν αντίθετες

κατευθύνσεις για καλύτερο κράτημα και μεγαλύτερη σταθερότητα, ενώ η έλλειψη ειδικής θήκης στα πόδια του γατόπαρδου αφήνουν εκτεθειμένα τα νύχια του ζώου, τα οποία έρχονται πάντα σε επαφή με το έδαφος, αυτό αυξάνει την τριβή και την πρόσφυση του αιλουροειδούς, Οι επιστήμονες μελέτησαν επίσης τον τρόπο κίνησης των φιδιών, έτσι εμπνεύστηκαν τις αντιολισθητικές σόλες. Τα παραπάνω συνδυάστηκαν με το kirigami, όπου αποτελεί ιαπωνική τέχνη με κόψιμο χαρτιού. Ο συνδυασμός των παραπάνω είχε ως αποτέλεσμα μία σόλα παπουτσιού όπου κατά τον βηματισμό, κάμπτεται έτσι ώστε οι ακίδες να εκτείνονται προς τα έξω. Το υλικό της σόλας είναι από ανοξειδωτο ατσάλι πάχους 0,051nm, ενώ η επιφάνεια της πλάκας του kirigami είναι 11,7cm και περιλαμβάνει στο σύνολο 160 ακίδες. Το παπούτσι ολοκλήρωσε με επιτυχία και την μελέτη πεπερασμένων στοιχείων όπως και το τεστ τριβής.

Σχόλιο: Το παραπάνω παράδειγμα πληροί την βιομιμητική αρχή, η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία, διότι αξιοποιείται η κίνηση που ήδη πραγματοποιείται από το πόδι για την λειτουργία του προϊόντος. Επίσης για τον παραπάνω λόγο, πληροί και την αρχή, η φύση χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται.

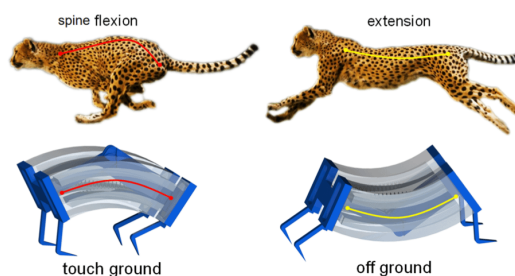
Ταχύτερα Μαλακά Ρομπότ

Η μαλακή ρομποτική αποτελεί τη δημιουργία ρομπότ με εύκαμπτα και μαλακά μέρη, τα ρομπότ αυτά αδυνατούν να επιτύχουν κινήσεις με μεγάλη ταχύτητα, καθώς απαιτεί τάχιση απόκριση, δύναμη, ακριβείς κινήσεις και συσσώρευση ενέργειας. Συνήθως αυτά τα ρομπότ μπορούν να κινηθούν με ταχύτητες $0,002 - 0,8$ BL/S (μήκος σώματος / δευτερόλεπτο). Οι ερευνητές εμπνεύστηκαν απ' τον γατόπαρδο (*Acinonyx Jubatus*) όπου μπορεί να κινηθεί καλπάζοντας με μέγιστη ταχύτητα ως και 29 m/s (μέτρα / δευτερόλεπτο). Ο καλπασμός είναι ο πιο ενεργειακά αποδοτικός τρόπος μετακίνησης. Οι γατόπαρδοι λόγω της καμπύλωσης στην πλάτη έχουν αυτήν την δυνατότητα του καλπασμού. Αυτήν την ιδιαιτερότητα εντόπισαν οι ερευνητές και μελετώντας την κάμψη του σώματος του ζώου, κατάφεραν να ενισχύσουν την ταχύτητα των μαλακών ρομπότ, συγκεκριμένα αύξησαν 20 φορές τον χρόνο απόδοσης, ενώ η άσκηση δύναμης που μπορούσαν να ασκήσουν πολλαπλασιάστηκε επί του 3.

Σχόλιο: Σε αυτό το παράδειγμα πληρείται η αρχή, η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία, διότι η ανατομία του σώματος έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των παραπάνω λειτουργιών και ικανοτήτων.

BigDog

Ένας μεγάλος οικονομικός υποστηρικτής της βιομίμησης η DARPA (Υπηρεσία Έρευνας Προηγμένων Αμυντικών Προγραμμάτων) θεωρεί πως αν γίνουν κατανοητές οι βιολογικές στρατηγικές θα μπορούν να δημιουργήσουν νέες αμυντικές δυνατότητες. Το γραφείο Defense Sciences Office (DSO) της DARPA εντοπίζει και συμμετάσχει σε έρευνες υψηλού κινδύνου σε ένα μεγάλο φάσμα επιστημονικών κλάδων. Μία απ' αυτές τις έρευνες σχετίζεται με την κατανόηση και μίμηση των μοναδικών κινήσεων, οπτικών και ακουστικών αισθητήριων δυνατοτήτων των ζώων. Έτσι η DSO χρηματοδότησε το πρόγραμμα BigDog, ένα τετράποδο ρομπότ που κινείται με ταχύτητα σε δύσβατα μέρη μεταφέροντας φορτία ενώ μιμείται την τετραπλή άρθρωση των θηλαστικών με στοιχεία που απορροφούν κραδασμούς και ανακυκλώνουν ενέργεια. Φυσικά αυτές οι τεχνολογίες μπορούν ανάλογα τον χρήστη να μετατραπούν είτε σε εργαλεία, είτε σε όπλα.



Εικόνα 21 Το μαλακό ρομπότ προσομοιώνει την καμπτική κίνηση που πραγματοποιεί ο γατόπαρδος κατά τον καλπασμό. Ανακτήθηκε από <https://www.unite.ai/fastest-soft-robots-to-date-developed-by-researchers/>.



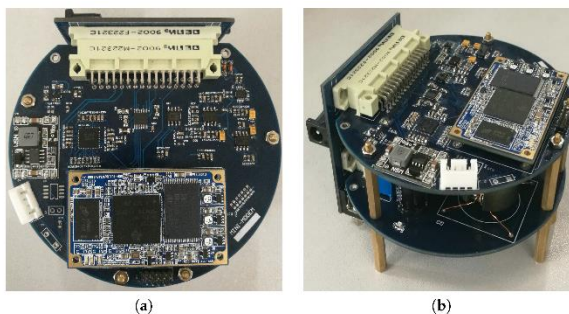
Εικόνα 22 Πρόγραμμα BigDog, DARPA. Ανακτήθηκε από <https://www.darpa.mil/program/legged-squad-support-system>.

Σχόλιο: Σε αυτό το παράδειγμα πληρείται η αρχή, η φύση χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται, καθώς η ενέργεια ανακυκλώνεται συνέχεια κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του ρομπότ. Επίσης πληροί και την αρχή, η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία, διότι έχει αρθρώσεις έτσι ώστε να μπορεί να έχει πρόσβαση και σε δύσβατα σημεία.

Υποβρύχια επικοινωνία

Μια ομάδα ερευνητών εμπνεύστηκε μια υποβρύχια συσκευή επικοινωνίας με φορητά μόντεμ και η έμπνευση προήλθε από τον τρόπο επικοινωνίας των δελφινιών. Αφού επέλεξαν τα δείγματα των ήχων τα αποθήκευσαν σε κάρτα SD, σε συνδυασμό με τους βιονικούς αλγόριθμους που ανέπτυξαν, κατάφεραν να έχουν έναν τρόπο επικοινωνίας με ασφαλής και κρυπτογραφημένη επικοινωνία. Το σήμα θα πρέπει να μην εντοπίζεται και να μην είναι εφικτή η αναχαίτισή του, ενώ κατασκεύασαν το μόντεμ έτσι ώστε να είναι φορητό και χαμηλής ισχύος.

Σχόλιο: Σε αυτό το παράδειγμα γίνεται η χρήση της βιομιμητικής αρχής, η φύση χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται, λόγω της ανάπτυξης του μόντεμ ώστε να είναι χαμηλής ισχύος.



Εικόνα 23 Φορητό μόντεμ χαμηλής ισχύος. Ανακτήθηκε από Gang Qiao, Yunjiang Zhao, Songzuo Liu & Muhammad Bilal.

Ανεμιστήρας οροφής Sycamore

Το 2002 οι βιομηχανικοί σχεδιαστές Danny Gasser και Michael Hort, κατάφεραν να δημιουργήσουν έναν πολύ αποτελεσματικό ανεμιστήρα μονής λεπίδας. Η οργανική χυτή μονή λεπίδα που λειτουργεί σχεδόν αθόρυβα, περιστρέφεται με ταχύτητες 80-160 rpm, ενώ οι ανεμιστήρες με περισσότερα πτερύγια κατά την ίδια παραγωγή δροσερού αέρα περιστρέφονται με ταχύτητες 80-220 rpm.



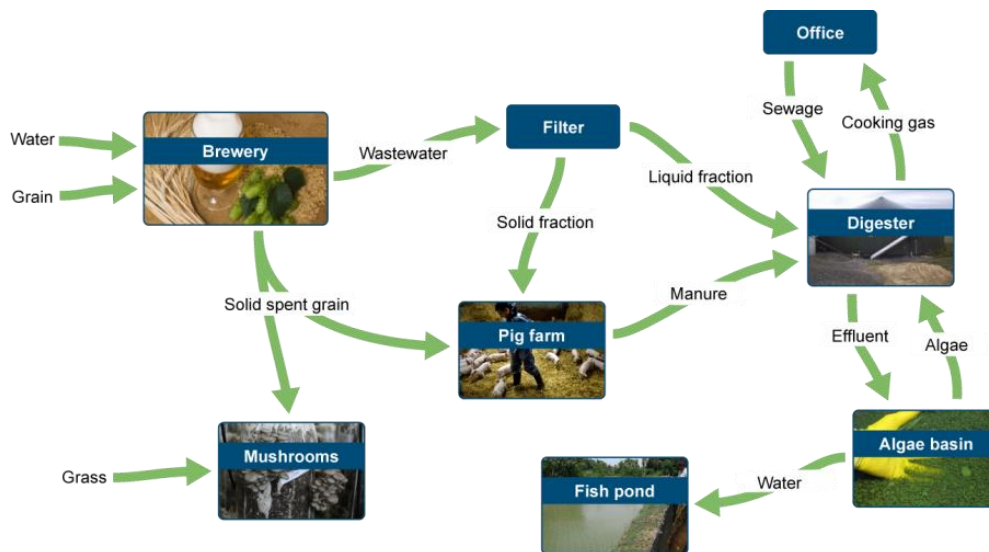
Εικόνα 24 Ανεμιστήρας μονής λεπίδας, εμπνευσμένος απ' τον καρπό του αμερικάνικου πλάτανου. Ανακτήθηκε από <https://www.sycamorefan.com/>.

Η πηγή έμπνευσης για την λεπίδα, προήλθε από τον καρπό του αμερικάνικου πλάτανου (*Platanus Occidentalis*), όπου κατά τη πτώση του από το δέντρο, λόγω του σχήματος του, περιστρέφεται και διανύει μεγάλες αποστάσεις πριν συναντήσει το έδαφος.

Σχόλιο: Σε αυτό το παράδειγμα γίνεται η χρήση των βιομιμητικών αρχών, η φύση χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται και η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία. Δίνοντας αυτό το σχήμα στην λεπίδα, γίνεται πιο λειτουργική και καταναλώνοντας την ίδια ενέργεια μπορεί να παραγάγει περισσότερο αέρα.

Ζυθοποιεία ZERI

Στην Τσουμέμπ (Tsumeb), μία κωμόπολη της περιοχής Οσικότο στην βόρεια Ναμίμπια, εδρεύει μία ζυθοποιεία όπου έχει σχεδιάσει με τέτοιο τρόπο την παραγωγή της ώστε να έχει μηδενικές εκπομπές ρύπων. Συνήθως οι ζυθοποιείες, λειτουργούν με 3 εισροές: νερό, λυκίσκο, κριθάρι και 4 εκροές: Μπύρα, λύματα, διοξειδίου του άνθρακα, υπολείμματα. Κανονικά τα δημητριακά που υπολείπονται πηγαίνουν στο (ΧΥΤΑ) χωματερής υγειονομικής ταφής απορριμμάτων ή χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές βοοειδών χαμηλής ποιότητας, βέβαια στη δεύτερη προκαλούν δυσπεψία στα ζώα με αποτέλεσμα τις υψηλές εκροές μεθανίου. Στην Ναμίμπια τα δημητριακά σε συνδυασμό με άλλες ίνες όπως το άχυρο ρυζιού χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια μανιταριών. Στη συνέχεια κι αυτό το υπόλειμμα μετατρέπεται από άπεπτη κυτταρίνη σε πρωτεΐνη που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια γαιοσκωλήκων όπου στη συνέχεια γίνονται τροφή για κοτόπουλα. Τα λύματα που είναι αλκαλικά και κανονικά πρέπει να υποβληθούν σε χημική επεξεργασία, χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια σπιρουλίνας. Το υπόλοιπο νερό καταλήγει σε λίμνες όπου εκτρέφονται ψάρια. Τα ψάρια εκτρέφονται με βιομιμητικές μεθόδους, ενώ τρώνε μανιτάρια, γαιοσκώληκες, απορρίμματα κοτόπουλων και επιπλέον η κοπριά του κοτόπουλου αφού χωνευτεί και παράγει μεθάνιο όπου χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση της ζυθοποιίας ή πουλιέται.

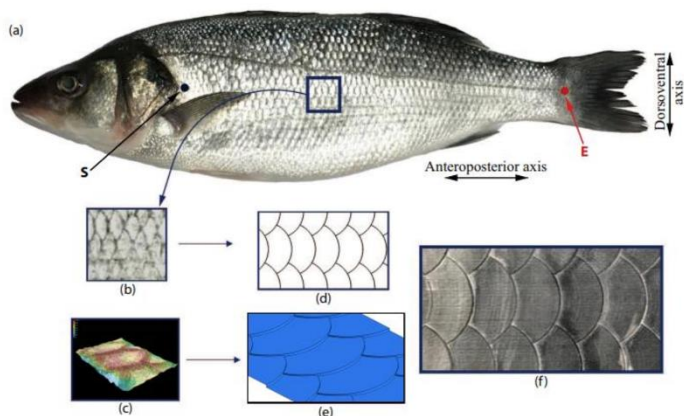


Εικόνα 25 Διάγραμμα εκμετάλλευσης πόρων κατά την παραγωγή της μπύρας ZERI. Ανακτήθηκε από <https://www.cyclifier.org/project/tunweni-beer-brewery/>.

Σχόλιο: Το παραπάνω παράδειγμα πληροί τις εξής βιομιμητικές αρχές, η φύση στρέφεται προς τον ήλιο, η φύση χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται, η φύση ανακυκλώνει τα πάντα και η φύση απαιτεί τοπική εξειδίκευση. Το παράδειγμα αφορά ένα σύστημα που λειτουργεί με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε κλειστό βρόχο, χρησιμοποιεί την ενέργεια που χρειάζεται και αξιοποιεί την τοπική εξειδίκευση για να την παραγάγει.

Βιομιμητική επιφάνεια

Μελετώντας τις λεπτές, δαντελωτές, κυκλοειδή φολίδες των Οστεϊχθύων (Osteichthyes) και μιμούμενοι συγκεκριμένα την επιφάνεια του ευρωπαϊκού λαβρακιού (*Dicentrarchus Labrax*), οι ερευνητές, σχεδίασαν μία επιφάνεια με τις ίδιες ιδιαιτερότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η επιφάνεια μελετήθηκε σε υπολογιστική ρευστοδυναμική (Computational Fluid Dynamics, CFD) και κατέληξαν στο



Εικόνα 26 Λαβράκι (*Dicentrarchus Labrax*), b) εικόνα απ' τα λέπια, c) τοπογραφική απεικόνιση με ψηφιακό μικροσκόπιο, d),e) σχεδιασμός σε συστήματα CAD, κάτοψη και ισομετρική απεικόνιση, f) φωτογραφία του εκτυπωμένου μοντέλου σε τεχνολογία 3D printing. Ανακτήθηκε από Muthukumar Muthuramalingam, Dominik K. Puckert, Ulrich Rist & Christoph Breucker.

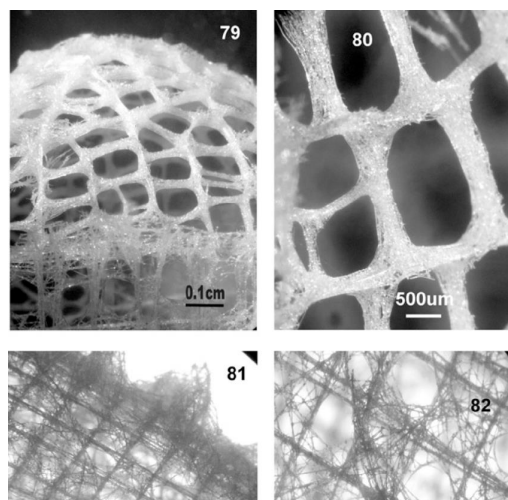
συμπέρασμα πως οι ραβδώσεις και τα κυκλοειδή στοιχεία, δημιουργούν καθυστέρηση μετάβασης, αυτό έχει συνέπειες στην αντίσταση τριβής του δέρματος, με αποτέλεσμα τη μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται. Η επιφάνεια αυτή σε συνδυασμό με επιστρώσεις λιπαντικών μπορεί να δημιουργήσει πλήθος εφαρμογών όπως επιφάνειες που καθαρίζονται αυτόματα και είναι ανθεκτικές στην φθορά. Ενώ δίνονται προοπτικές για την εύκολη συλλογή νερού κλπ.

Σχόλιο: Στο παραπάνω παράδειγμα παρατηρούνται οι εξής βιομιμητικές αρχές. Η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία και η φύση χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται. Ένα ακόμα παράδειγμα απ' τη λίστα που αξιοποιεί την ανατομία ενός ζώου για να μειώσει την ενέργεια που παράγεται και καταναλώνεται.

Πλέγμα υψηλής μηχανικής αντοχής

Το καλάθι λουλουδιών της Αφροδίτης (*Euplectella Aspergillum*), είναι ένα γυάλινο σφουγγάρι που συναντάται στον Ειρηνικό Ωκεανό και ο σκελετός του αποτελείται από πυρίτιο. Το υλικό κατασκευής του, του προσδίδει υψηλές μηχανικές και οπτικές αντοχές, κυρίως μεγάλη αντίσταση σε λυγισμό. Εκτός απ' το υλικό του, αυτό που προκαλεί ενδιαφέρον είναι οι διαγώνιες ενισχύσεις που έχει δημιουργήσει ο σκελετός του. Ερευνητές που μιμήθηκαν την δομή, κατέληξαν πως το ασυνήθιστο σχήμα του με τα τετράγωνα πλέγματα και τις διπλές διαγώνιους, φέρει υψηλότερες μηχανικές αποδόσεις συγκριτικά με υπάρχουσες κατασκευές.

Σχόλιο: Η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία είναι η αρχή που πληρείται σε αυτό

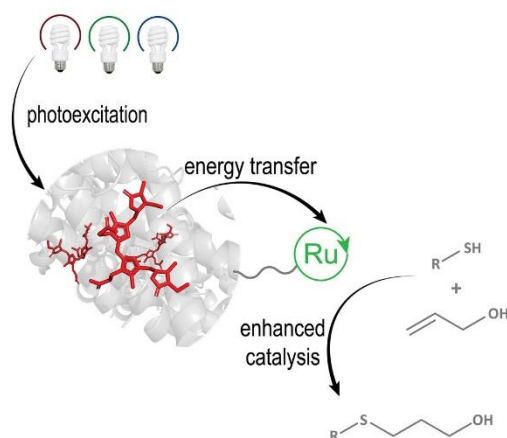


Εικόνα 27 Ο σκελετός του σφουγγαριού *Euplectella Aspergillum*. Σε μεγεθύνσεις, 0,1cm, 500um, 200um, 100um, αντίστοιχα. Ανακτήθηκε από https://www.researchgate.net/publication/255574562_Mineral_skeletogenesis_in_sponges/figures?lo=1.

το παράδειγμα, διότι για να αποδώσει η κατασκευή το απαιτούμενο, αξιοποιεί τη φόρμα του σφουγγαριού.

Βιοϋβριδικός φωτοκαταλύτης

Οι φοιτητές του MIT μιμήθηκαν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός φωτοκαταλύτη. Σκοπός του, να απορροφά το φως με τη χρήση μίας υδατοδιαλυτής πρωτεΐνης της R-φυκοερυθρίνη (RPE), όπου εντοπίζεται στα Ροδοφύκη (Red Algae) ή Ροδόφυτα (Rhodophytes), (η πρωτεΐνη χρησιμοποιείται απ' το φυτό κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης, ως συλλέκτης φωτός). Η παραπάνω διαδικασία μεταφέρεται εντός ενός μεταλλικού καταλύτη με αποτέλεσμα την πρόκληση χημικών αντιδράσεων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή φαρμάκων, την μετατροπή απορριμμάτων σε βιοκαύσιμα κλπ. Ο φωτοκαταλύτης παρουσιάζει χαμηλή ακτινοβολία και επαναχρησιμοποιείται εύκολα.



Εικόνα 28 Η διαδικασία της απορρόφησης φωτός από τον καταλύτη και η δημιουργία χημικών αντιδράσεων. Ανακτήθηκε από Gabriela S. Schlau-Cohen, Paul T. Cesana, Beryl X. Li, Samuel G. Shepard, Stephen I. Ting, Stephanie M. Hart, Courtney M. Olson, Jesus I. Martinez Alvarado, Minjung Son, Talia J. Steiman, Felix N. Castellano, Abigail G. Doyle, David W.C. MacMillan.

Σχόλιο: Στο παράδειγμα συναντάμε την βιομιμητική αρχή, η φύση στρέφεται προς τον ήλιο, λόγω της αξιοποίησης της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

Κατευθυνόμενο Ενδοσκόπιο



Εικόνα 29 Κατευθυνόμενο ενδοσκόπιο, εμπνευσμένο απ' τα πλοκάμια καλαμαριού. Ανακτήθηκε από Ewout A. Arkenbout.

Εμπνεόμενοι απ' τα πλοκάμια του καλαμαριού οι Paul Breedveld, Esther M. Blom, Jules S. Scheltes και Johanna E.I. Verheij απ' το τμήμα βιομηχανικής μηχανικής του Ολλανδικού Πανεπιστημίου Delft, εφηύραν το ενδοσκόπιο όπου προσομοιώνει πλοκάμια καλαμαριού με σπειροειδή ελατήρια, σωλήνες κλπ. Συγκριτικά με άλλα ενδοσκόπια, αυτή η νέα βιομιμητική ανακάλυψη μπορεί να παραχθεί σε μαζική παραγωγή με αρκετά χαμηλό κόστος, ενώ μετά από πολλές βελτιώσεις, το ενδοσκόπιο δίνει πολύ καλές οπτικές αναλύσεις και έχει μειωθεί η διάμετρος τόσο όπου φτάνει και τα 5mm.

Σχόλιο: Στο παραπάνω παράδειγμα αξιοποιείται μία βιομιμητική αρχή, η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία. Για να μπορεί το ενδοσκόπιο να αποκτά το σχήμα που απαιτεί πρέπει και η δομή του να είναι κατάλληλη.

Η κάμερα της NASA

Ο σκόρος είναι ένα έντομο που ανήκει στην οικογένεια των λεπιδόπτερων (Lepidoptera). Το μάτι του περιέχει μία λεπτή σειρά κωνικών προεξοχών που μειώνουν την αντανάκλαση, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απορροφούν πολύ φως. Μιμούμενοι το μάτι του εντόμου, η NASA δημιούργησε μία κάμερα που μπορεί να φωτογραφίσει αστρονομικά αντικείμενα με μεγάλη ευαισθησία (μέτρηση απόδοσης σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού). Η κάμερα μπορεί να μετρήσει και το πολωμένο φως από την εκπομπή σκόνης στον γαλαξία και πλέον βρίσκεται τοποθετημένη στο αερομεταφερόμενο παρατηρητήριο SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy). Με την παραπάνω ανακάλυψη, στο μέλλον ίσως γίνει εφικτή η μελέτη άστρων και πλανητών κατά τα πρώιμα στάδιά τους.

Σχόλιο: Στο παράδειγμα της κάμερας, παρατηρούνται δύο βιομιμητικές αρχές, εκείνη της αξιοποίησης της δύναμης των ορίων και εκείνη της φόρμας που ταιριάζει στη λειτουργία. Η κάμερα σχεδιάστηκε κατάλληλα έτσι ώστε να προσαρμοστεί στο περιβάλλον που θα φιλοξενηθεί, ενώ για ακόμα μία φορά παρατηρούμε την έντονη χρήση της δεύτερης αρχής που αναφέρθηκε.



Εικόνα 30 Η νέα κάμερα με υψηλή ευαισθησία που δημιούργησε η NASA. Ανακτήθηκε από <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/moth-eye-inspires-critical-component-on-sofia-s-newest-instrument>.

Δομές Bouligand

Η σύνδεση μεταξύ δύο επιφανειών σκυροδέματος, μίας παλιάς και μίας νέας, φέρει τριβές και προσφύσεις. Οι δομές Bouligand είναι στρωματοποιημένες και περιστρεφόμενες δομές που μπορεί κανείς να εντοπίσει στη φύση. Αυτό για παράδειγμα συμβαίνει στον αμερικάνικο αστακό (Homarus Armericanus), του οποίου το κέλυφος έχει ελικοειδές, περιστρεφόμενη διάταξη, όπου βοηθά το ζώο να προστατεύεται και να αμύνεται από θηρευτές καθώς η διάταξη αυτή προσφέρει ανθεκτικότητα στο ράγισμα και κάνει το κέλυφος ισχυρό και εύκαμπτο. Η δομή αυτή αποτελείται από ίνες χιτίνης και πρωτεΐνης, όπου διαχέονται σε επίπεδα. Κάθε μία απ' αυτές τις ίνες έχει διάμετρο περίπου 2-5 nm και μήκος 300nm. Οι ερευνητές εκτύπωσαν σκυρόδεμα με τρισδιάστατη τεχνολογία, σύμφωνα με τις διατάξεις του κελύφους του ζώου, όπου και κατέληξαν στο συμπέρασμα, πως τα ελικοειδή σχέδια σε σχέση με τα κάθετα προς το μήκος μοτίβα έχουν αύξηση σε αντοχές θλίψης κατά 26.5 %.



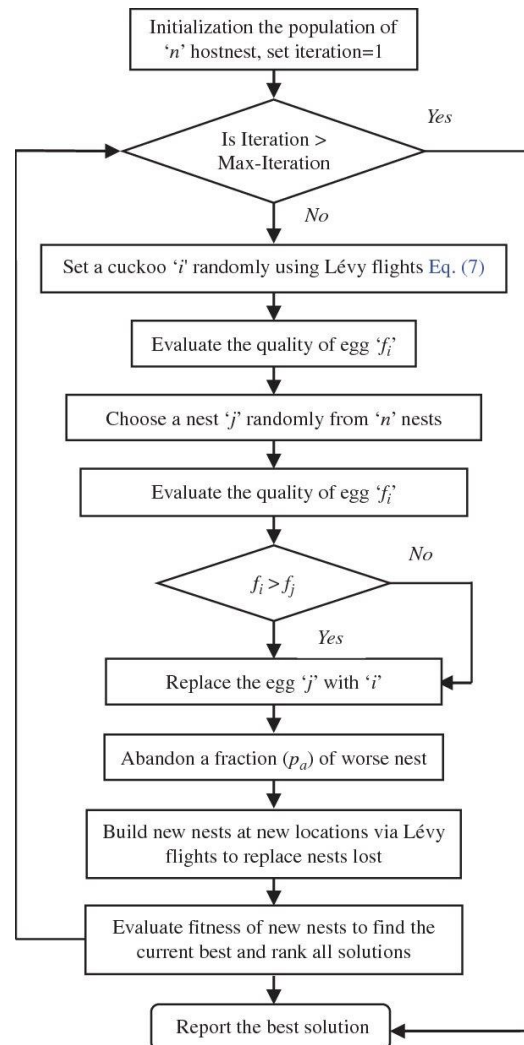
Εικόνα 31 Τρισδιάστατη εκτύπωση δομής Bouligand με σκυρόδεμα, εμπνευσμένο απ' το κέλυφος του αμερικάνικου αστακού. Ανακτήθηκε από <https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/lobster-shells-inspire-stronger-3d-printed-concrete>.

Σχόλιο: Στο παράδειγμα είναι εμφανή η αρχή της φύσης, να ταιριάζει η φόρμα στη λειτουργία.

Κράματα υψηλής εντροπίας

Ο κούκος (Cuculus Canorus) είναι ένα πτηνό το οποίο παρασιτεί εις βάρος των άλλων πτηνών, καθώς όταν ο θηλυκός κούκος είναι έτοιμος να γεννήσει τα αυγά του, πηγαίνει σε φωλιές άλλων πτηνών και τ' αφήνει εκεί. Οι ανυποψίαστες μητέρες εκκολάπτουν τα αυγά των κούκων χωρίς να το γνωρίζουν, μαζί με τα δικά τους. Όταν οι νεοσσοί εκκολαφθούν συνεχίζουν να παρασιτούν εκμεταλλευόμενοι τους πόρους της φωλιάς, όπως για παράδειγμα την τροφή που φέρνει το θηλυκό πτηνό για να ταΐσει τους νεοσσούς καθώς δεν μπορούν να πετάξουν. Τα κράματα υψηλής εντροπίας είναι κράματα με πολύ καλές ιδιότητες σε αντοχή σε θραύση, στη διάβρωση και στην οξειδωση, ενώ αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες, πιέσεις κλπ. Για να μπορέσουν οι επιστήμονες να δημιουργήσουν γρήγορα μοντέλα για τον εντοπισμό των κατάλληλων κραμάτων, εμπνεύστηκαν τον αλγόριθμο Cuckoo Search (CS), ο οποίος εντοπίζει τα «αυγά» που βρίσκονται μέσα σε «φωλιές». Κάθε ένα απ' αυτά τα «αυγά» αντιπροσωπεύει έναν διαφορετικό συνδυασμό κραμάτων και με τη βοήθεια του υπολογιστή, διεξάγεται έλεγχος μέχρι να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός. Ο παραπάνω αλγόριθμος συνδυάζεται με τον αλγόριθμο Monte Carlo και την μαθηματική διαδικασία Lévy Flight. Οι ερευνητές, κατάφεραν με την παραπάνω μέθοδο να δημιουργήσουν 4 φορές γρηγορότερα μοντέλα, απ' τις υπάρχουσες μεθόδους εντοπισμού βέλτιστων κραμάτων υψηλής εντροπίας.

Σχόλιο: Στο παράδειγμα φαίνεται να πληρούνται οι αρχές, η φύση διαθέτει ποικιλομορφία και η φύση ανταμείβει τη συνεργασία. Καθώς μεγαλώνουν οι απαιτήσεις για γρήγορα αποτελέσματα, ενώ ταυτόχρονα αυξάνονται οι βιβλιοθήκες με την ανάπτυξη νέων υλικών, ο αλγόριθμος έπρεπε να προσαρμοστεί κατάλληλα στον χώρο. Ταυτόχρονα για να μπορέσει να λειτουργήσει στο βέλτιστο, απαιτούνταν η συνεργασία με άλλον έναν αλγόριθμο και ένα μαθηματικό αξίωμα.

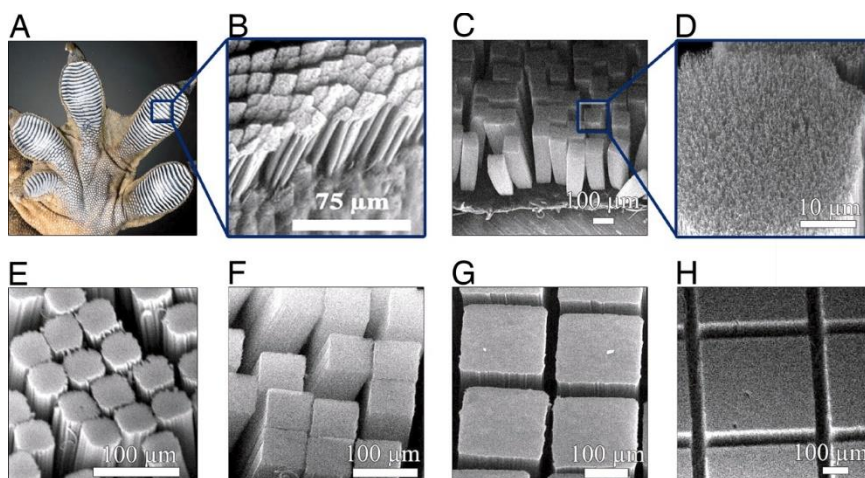


Εικόνα 32 Διάγραμμα ροής Cuckoo Search (CS). Ανακτήθηκε από Ashish Kumar Bhandari.

Νανοσωλήνες άνθρακα

Εμπνευσμένοι απ' τα μοτίβα που εντοπίζονται στα πόδια της σαύρας gecko, αναπτύχθηκε μια ταινία από νανοσωλήνες άνθρακα, μιμούμενοι τα παραπάνω μοτίβα. Η ταινία κολλάει σε διάφορα είδη επιφάνειας, ενώ αντέχει διατμητική τάση, 4 φορές μεγαλύτερη απ' αυτήν που αντέχει το ερπετό, δηλαδή 36 N/cm^2 (Newton/ τετραγωνικά εκατοστά). Για την αναφερόμενη διατμητική πρόσφυση, πολύ σημαντικό ρόλο παίζουν τα μοτίβα που εντοπίζονται στη μικροδομή, οι μικρές ακίδες και οι σπάτουλες. Η στεγνή αγωγίμη κόλλα της ταινίας είναι κατάλληλη για διαστημική τεχνολογία, ρομποτική κλπ.

Σχόλιο: Στο παράδειγμα αυτό, η αρχή, ότι η φύση ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία, είναι ξεκάθαρη, διότι αξιοποιούνται οι δομές των ποδιών της σαύρας για την επίτευξη της λειτουργίας που είναι η πρόσφυση.

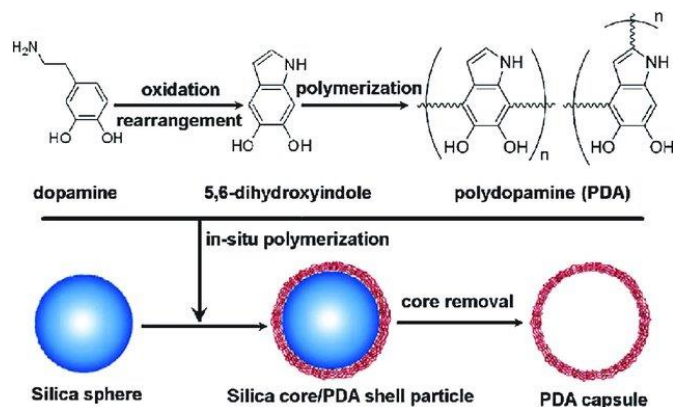


Εικόνα 33 Α) Φωτογραφία του ποδιού της σαύρας gecko, Β) σε μεγέθυνση $76 \mu\text{m}$ οι ακίδες και οι σπάτουλες στα πόδια του gecko. Γ) σε μεγέθυνση $100 \mu\text{m}$, Δ) σε μεγέθυνση $10 \mu\text{m}$. Στις υπόλοιπες εικόνες γίνεται μεγέθυνση των τεχνητών ακίδων της βιομιμητικής ταινίας. Ε) σε μεγέθυνση $100 \mu\text{m}$, F) σε μεγέθυνση $100 \mu\text{m}$, Γ) σε μεγέθυνση $100 \mu\text{m}$, Η) σε μεγέθυνση $100 \mu\text{m}$. Ανάκτηση από Liehui Ge, Sunny Sethi, Lijie Ci, Pulickel M. Ajayan & Ali Dhinojwala.

Επικαλύψεις PDA

Οι πρωτεΐνες που εκχέουν τα μύδια κατά την προσκόλλησή τους σε διάφορες επιφάνειες, τους επιτρέπουν να αντέχουν στις διατμητικές τάσεις που δημιουργούνται στον βυθό. Για την αντοχή αυτή ευθύνεται ο συνδυασμός της κατεχόλης (αρωματική οργανική ένωση) και των αμίνων (αζωτούχες οργανικές ενώσεις). Σύμφωνα με τα παραπάνω, δημιουργήθηκε το βιοπολυμερές υλικό πολυντοπαμίνη (PDA). Έχει πλήθος ιατρικών εφαρμογών όπως, δημιουργία καψουλών PDA με δοξορουβικίνη για ενδοκυτταρική χορήγηση για την καταπολέμηση του καρκίνου, καθώς είναι πολύ πιο αποτελεσματική θεραπεία από την προ υπάρχουσα. Επίσης είναι εφικτή η χρήση σε βιο-ιατρικές εφαρμογές, ενώ έχει αντιμικροβιακή δράση και η επικάλυψη του σε επιφάνειες φαίνεται να είναι αποτελεσματική απέναντι σε μικρόβια και ιούς.

Σχόλιο: Παραπάνω διακρίνεται η αρχή, ότι η φύση διαθέτει ποικιλομορφία, διότι οι ερευνητές προσάρμοσαν μία λειτουργία σε ένα νέο «οικοσύστημα».



Εικόνα 34 Συναρμολόγηση της πολυντοπαμίνης (PDA) σε κάψουλα PDA. Ανάκτηση από Weijun Tong.

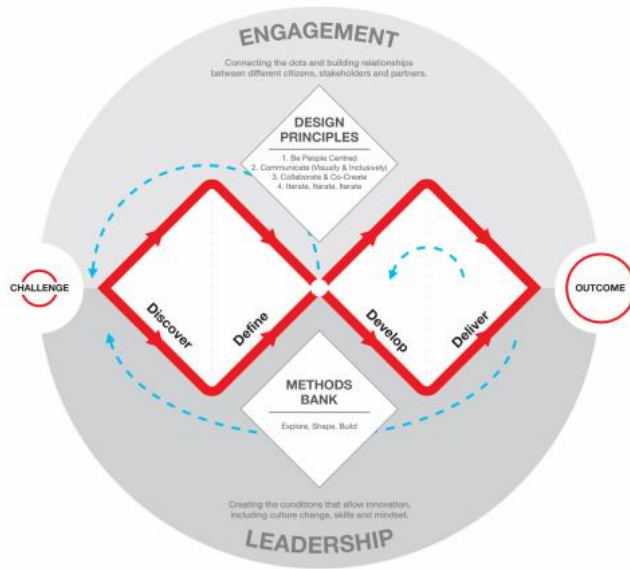
Κεφάλαιο 5 - Τυπολογία

5.1. Εισαγωγή κεφαλαίου 5

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια είναι ξεκάθαρο πως οι δύο παράγοντες που παίζουν κύριο ρόλο σε μία βιομιμητική λύση, είναι τα οικοσυστήματα ή μέρη αυτών και η λύση σε κάποιο ανθρώπινο πρόβλημα. Για να γίνει η μεταφορά από το ένα σημείο στο άλλο, χρειάζεται ένα μέσο, το μέσο αυτό είναι το design. Άρα αυτό που πραγματευόμαστε είναι τα οικοσυστήματα και οι σχεδιαστικές/τεχνολογικές λύσεις. Για να μπορέσει ένας σχεδιαστής να κάνει αυτή τη μετάφραση μέσω της σχεδιαστικής διαδικασίας χρησιμοποιεί εργαλεία, ένα εξ' αυτών είναι το μοντέλο του διπλού διαμαντιού. Έτσι στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει μια προσπάθεια δημιουργίας ενός ελεγκτικού εργαλείου προστιθέμενο μέσα στο μοντέλο του διπλού διαμαντιού ώστε ο σχεδιαστής να μπορεί να αξιολογήσει την ιδέα του στα πρώιμα στάδια της για να ανταποκρίνεται σε μια λύση ανάγκης ή λύση προβλήματος ακολουθώντας ένα βιομιμητικό μοντέλο.

5.2. Διπλό Διαμάντι

Το διπλό διαμάντι είναι ένα μοντέλο σχεδιαστικής διαδικασίας όπου δημιουργήθηκε το 2005 από το Συμβούλιο Σχεδίασης (Design Council), μία υπηρεσία που ιδρύθηκε το 1944 για την βελτίωση των προϊόντων στην βρετανική βιομηχανία. Το μοντέλο αυτό περιγράφει τις αποκλίσεις και τις συγκλίσεις μεταξύ των σταδίων της σχεδιαστικής διαδικασίας, ουσιαστικά το διπλό διαμάντι χωρίζεται σε 4 φάσεις, την ανακάλυψη (*Discover*), τον ορισμό (*Define*), την ανάπτυξη (*Develop*) και την παράδοση (*Deliver*), λόγω αυτών των 4 φάσεων το μοντέλο συναντάται και ως 4D.



© Design Council 2019

Εικόνα 35 Απεικόνιση του μοντέλου double diamond, αναπτύχθηκε το 2005 απ' το Design Council στην Αγγλία. Ανακτήθηκε από <https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/what-framework-innovation-design-councils-evolved-double-diamond>.

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται πως λειτουργεί το μοντέλο και πως καθοδηγεί τον σχεδιαστή ώστε να μπορέσει να οδηγηθεί απ' την ανακάλυψη του προβλήματος/ανάγκης μέχρι και την τελική λύση. Η φάση της ανακάλυψης βρίσκεται στην πρώτη απόκλιση του γραφήματος, εκεί ξεκινά η μελέτη και η αναζήτηση δεδομένων, ενώ στην πρώτη σύγκλιση βρίσκεται η φάση του ορισμού, όπου ο σχεδιαστής ορίζει παραμέτρους σχεδίασης, καθώς γνωρίζει σε ένα ποσοστό τι πρέπει να περιλαμβάνει το προϊόν. Στη συνέχεια υπάρχει η δεύτερη απόκλιση με την φάση της ανάπτυξης, όπου πραγματοποιείται η δημιουργία πλήθος ιδεών, που θα εξελιχθούν σε προκαταρκτικά σχέδια και στην δεύτερη σύγκλιση του γραφήματος βρίσκεται η φάση της παράδοσης, όπου είναι και το τέλος της διαδικασίας, το σημείο δηλαδή που καταλήγει στο τελικό προϊόν και την τελική λύση του αρχικού προβλήματος.

5.3. Βιομιμητικός Πίνακας Σύγκρισης Ιδεών

Ένας σχεδιαστής που ενδιαφέρεται να δημιουργήσει μία βιομιμητική σχεδιαστική λύση θα ακολουθήσει το παραπάνω μοντέλο ως εξής:

Φάση Ανακάλυψης: Εντοπισμός προβλήματος/ανάγκης, έρευνα και αναζήτηση δεδομένων στο φυσικό περιβάλλον, με σκοπό την αναζήτηση λύσεων που έχουν ήδη δοθεί απ' τη φύση.

Φάση Ορισμού: Εδώ ο σχεδιαστής θα πρέπει να αποδομήσει τις πιθανές λύσεις που βρήκε στο φυσικό περιβάλλον, καθώς όπως έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, ο σκοπός της βιομίμησης δεν είναι η αντιγραφή της φύσης αλλά η έμπνευση και η ανάπτυξη της αντίληψης του πως το κάνει η φύση, ώστε να προσεγγιστεί και να δημιουργηθεί με βιώσιμα μέσα και υλικά. Ταυτόχρονα με την αποδόμηση θα πρέπει να ορίσει και τις παραμέτρους που θα πρέπει να τηρεί η σχεδιαστική λύση.

Φάση Ανάπτυξης: Στην φάση αυτή δεν αλλάζουν πολλά καθώς σκοπός της φάσης είναι ο καταϊγισμός ιδεών ώστε να προκύψουν τα προκαταρκτικά σχέδια. Επίσης θα πρέπει να μελετηθούν τα υλικά ώστε να ναι βιώσιμα για το περιβάλλον, εφόσον θα επιστρέψουν σε αυτό να μην το πλήξουν, ενώ παρόμοια μελέτη πρέπει να γίνει και για τον τρόπο παραγωγής του κάθε προκαταρκτικού σχεδίου.

Φάση Παράδοσης: Ενώ σε αυτήν την φάση πραγματοποιείται ο καθορισμός της τελικής σχεδιαστικής λύσης.

Σε κάθε ένα από τα παραπάνω στάδια, ξοδεύονται πόροι, είτε αυτοί οι πόροι μεταφράζονται σε χρόνο, είτε σε υλικά κλπ. Σύμφωνα με την αρχή της ελάχιστης αντίστασης και την αρχή της χρήσης μόνο της απαιτούμενης ενέργειας, θα πρέπει να μειωθούν οι πιθανότητες άσκοπης σπατάλης πόρων. Βασίζόμενος στις αρχές της βιομίμησης προτείνω την ένταξη ενός πίνακα σύγκρισης ιδεών. Ο πίνακας αυτός εντάσσεται στην φάση της Ανάπτυξης, ενώ θα πρέπει να μεσολαβεί μεταξύ του καταϊγισμού ιδεών και της δημιουργίας προκαταρκτικών σχεδίων. Για να είναι ένα προϊόν βιομιμητικό θα πρέπει και όλες οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν να είναι βιομιμητικές, έτσι κάθε προκαταρκτικό σχέδιο τείνει να είναι απαιτητικό από πλευράς μελέτης και έρευνας, άρα πριν φτάσει κάποιος στο σημείο αυτό θα πρέπει να έχει αξιολογήσει καλύτερα τις ιδέες του ως προς την βιομιμητική ορθότητα. Ο βιομιμητικός πίνακας σύγκρισης ιδεών (*Biomimetic Board of Ideas' Comparison*) μπορεί να λειτουργήσει ως ένα εργαλείο για την μείωση των περιττών πόρων αλλά και την βοήθεια προς τον σχεδιαστή για την γρηγορότερη επιλογή ιδεών.

Η δημιουργία του πίνακα βασίζεται στις αρχές της βιομίμησης που έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2. Συγκεκριμένα έγινε η επιλογή 5 αρχών όπου μπορούν να μεταφραστούν και να κατανοηθούν σχεδιαστικά, για να μπορούν να ενταχθούν στο σχέδιο και να αξιολογηθούν.

- 1) **Η φύση, στρέφεται προς το ηλιακό φως:** Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι σημαντικός παράγοντας για τη βιομίμηση, είτε αυτό αφορά την παραγωγή του προϊόντος, είτε αφορά την πηγή ενέργειας του ίδιου του προϊόντος. (Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας).
- 2) **Η φύση, χρησιμοποιεί μόνο την ενέργεια που χρειάζεται:** Μία ιδέα, απ' την μέθοδο που θα χρειαστεί για να παραχθεί σε προϊόν, την χρήση της, μέχρι και την στιγμή που θα απορριφθεί, θα πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να αποφεύγεται η σπατάλη επιπλέον ενέργειας. (Χρήση μόνο απαραίτητης ενέργειας).
- 3) **Η φύση, ταιριάζει τη φόρμα στη λειτουργία:** Αφού οριστούν οι παράμετροι, ο σχεδιαστής γνωρίζει ποιες είναι οι λειτουργίες που θα πρέπει να κάνει το προϊόν, άρα και η μορφή του θα πρέπει να συνδυάζεται με αυτήν την λειτουργία. (Μορφή και λειτουργία).
- 4) **Η φύση, ανακυκλώνει τα πάντα:** Είναι βασικό γενικότερα στην οικολογική σχεδίαση, αλλά και συγκεκριμένα στην βιομίμηση, ένα προϊόν να μην απορρίπτεται μετά απ' την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής του σε κάποια

χωματερή. Η ανακύκλωση όπως ήδη γνωρίζουμε είναι μία λύση για ένα προϊόν που πλέον δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αλλά δεν είναι η βέλτιστη. Καθώς για την ανακύκλωση των επιμέρους κομματιών ενός προϊόντος χρειάζεται επιπλέον παραγωγή ενέργειας. Επίσης η ανακύκλωση είναι στην κρίση του χρήστη, καθώς ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να μην ανακυκλώσει. Η βέλτιστη λύση σε αυτό το ζήτημα, θα πρέπει να αφορά την επιστροφή του προϊόντος στη φύση χωρίς αυτό να δημιουργεί επιβλαβή συνέπειες για το περιβάλλον, να βρίσκεται δηλαδή σε κλειστό βρόχο. (Ανακύκλωση).

- 5) **Η φύση, συγκρατεί τις υπερβολές:** Για την περιγραφή αυτής της αρχής θα χρησιμοποιήσω το παράδειγμα ενός γρήγορου αυτοκινήτου. Μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα αυτοκίνητο που να τρέχει με 500χλμ/ώρα και για οικονομικά συμφέροντα να πουληθεί σε οποιονδήποτε πολίτη μπορεί να διαθέσει το απαραίτητο ποσό, αυτό το όχημα όμως δεν εξυπηρετεί πραγματικά τον σκοπό της μεταφοράς, καθώς σύμφωνα με τους Κανόνες Οδικής Κυκλοφορίας δεν μπορεί να πιάσει τα χιλιόμετρα αυτά σε συμβατικούς δρόμους όπου κινείται καθημερινά, το αποτέλεσμα είναι να έχουν παραχθεί επιπλέον πόροι, να έχει καταναλωθεί επιπλέον ενέργεια για ένα τέτοιο προϊόν, όπου και κατά τη χρήση του είναι περιβαλλοντικά ασύμφορο καθώς καταναλώνει περισσότερη ενέργεια απ' τα υπόλοιπα οχήματα. Αυτό θα μπορούσε να είναι ένα μέτρο σύγκρισης για την συγκεκριμένη αρχή, καθώς η φύση συγκρατεί αυτές τις υπερβολές. (Συγκράτηση υπερβολής).

Καθώς έγινε η περιγραφή και των 5 αρχών που θα προστεθούν στον πίνακα. Θα πρέπει να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο εργαλείο δεν είναι αυστηρά οριοθετημένο. Είναι ένα βοηθητικό εργαλείο για ατομική αξιολόγηση της ιδέας και συμπληρώνεται μόνο με την κρίση του εκάστοτε σχεδιαστή.

5.3.1 Στάδια Ανάπτυξης Εργαλείου

Προκαταρκτικό Εργαλείο 1

Το εργαλείο στο πρώιμο στάδιό του είχε κυκλική μορφή, χωρισμένη σε 5 κομμάτια όσα και οι αρχές που προαναφέρθηκαν. Η σκέψη ως προς την λειτουργία αυτής της εφαρμογής ήταν, να δημιουργηθεί ένας τέτοιος κύκλος για κάθε ιδέα. Κάθε ιδέα θα έμπαινε σε διαδικασία αξιολόγησης και για κάθε αρχή που πληρούσε θα χρωματιζόταν το αντίστοιχο τρίγωνο της αρχής.

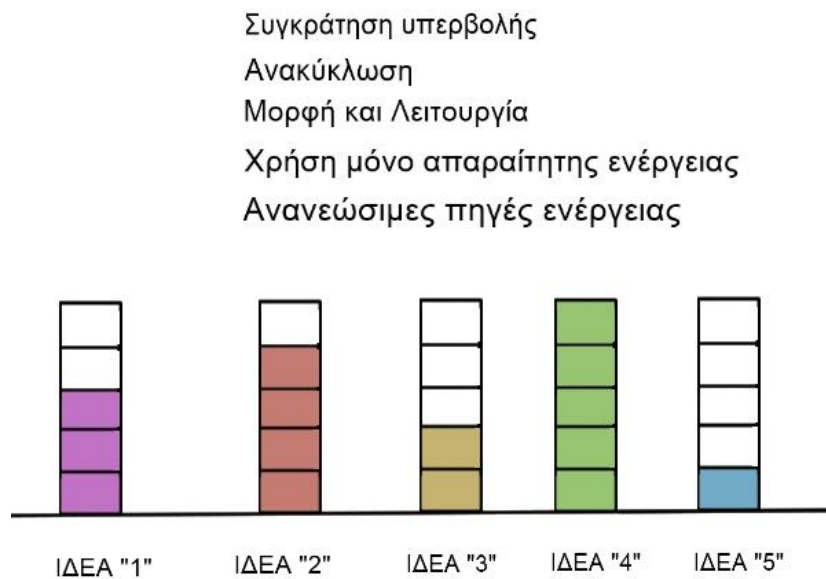


Εικόνα 36 Προσομοίωση του πρώτου προκαταρκτικού εργαλείου.

Στην παραπάνω εικόνα για παράδειγμα, η ιδέα “1” θα ήταν η επικρατέστερη για να αναπτυχθεί σε προκαταρκτικό σχέδιο, καθώς πληροί τις περισσότερες αρχές απ’ τις άλλες ιδέες. Στο στάδιο αυτό οι ιδέες μπορούν να είναι δεκάδες, άρα η συγκεκριμένη δομή εργαλείου θα ήταν ασύμφορη χρονικά, κάτι που διαφωνεί και πάλι με το βιομιμητικό μοντέλο, με την αρχή της ελάχιστης αντίστασης και την χρήση επιπλέον ενέργειας.

Προκαταρκτικό Εργαλείο 2

Η δεύτερη δομή του εργαλείου θύμιζε μία άλλη μορφή γραφήματος και συγκεκριμένα, μορφή στήλης. Σε αυτήν την περίπτωση έπρεπε να σημειωθούν σε ένα σημείο οι αρχές και οριζόντια να σημειωθούν οι ιδέες, ενώ από πάνω τους σχεδιάζονταν στήλες χωρισμένες σε 5 κουτάκια. Στη συνέχεια για κάθε αρχή που πληρούσε μία ιδέα, χρωματιζόταν ένα κουτάκι.



Εικόνα 37 Προσομοίωση του δεύτερου προκαταρκτικού εργαλείου.

Σύμφωνα με το παραπάνω εργαλείο η ιδέα “4” θα ήταν εκείνη που θα επιλεγόταν για να αναπτυχθεί ως προκαταρκτικό σχέδιο, ίσως και η ιδέα “2” αν δεν υπήρχαν καλύτερες. Τα κουτάκια δεν αντιστοιχούσαν σε κάποια συγκεκριμένη αρχή, χρωματίζονταν με τη σειρά. Βέβαια και αυτή ήταν μία διαδικασία που απαιτούσε αρκετό χρόνο σε μεγάλο αριθμό ιδεών, επίσης δεν θα ήταν εύκολο να συγκρατήσει κάποιος ποιες αρχές πληροί η κάθε ιδέα σε περίπτωση που υπήρχαν ορισμένες ισάξιες και ήθελε να τις αξιολογήσει δίνοντας περισσότερη βαρύτητα σε κάποια συγκεκριμένη αρχή.

Προκαταρκτικό Εργαλείο 3

Μετά απ’ την απόρριψη των δύο προηγούμενων εργαλείων, η επόμενη ιδέα ήταν ένα εργαλείο σε δομή πίνακα. Αρχικά για μείωση του χρόνου, αριθμούνται οι ιδέες όπως και στα προηγούμενα εργαλεία ως 1,2,3,4 κλπ. Στη συνέχεια προσθέτουμε στις γραμμές τις 5 αρχές, ενώ στις στήλες τοποθετούμε τις ιδέες ως αριθμούς. Για κάθε ιδέα που πληροί μία αρχή, τοποθετείται ένα X στο αντίστοιχο κουτί.

	ΙΔΕΑ "1"	ΙΔΕΑ "2"	ΙΔΕΑ "3"
Συγκράτηση Υπερβολής	X	X	
Ανακύκλωση	X		X
Μορφή και Λειτουργία	X	X	
Χρήση Απαραίτητης Ενέργειας	X		
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	X		

Εικόνα 38 Προσομοίωση του τρίτου προκαταρκτικού εργαλείου.

Τελικό εργαλείο

Ύστερα και απ’ τις τρεις δοκιμές με τα παραπάνω εργαλεία, η μορφή που επικράτησε είναι εκείνη του πίνακα, καθώς είναι γρηγορότερη και πιο εύχρηστη για μεγάλο αριθμό ιδεών. Για τη συμπλήρωση του πίνακα, θα πρέπει ο σχεδιαστής ή η σχεδιάστρια να αριθμήσει το σύνολο των ιδεών για να γίνει πιο γρήγορη η διαδικασία, στη συνέχεια καταγράφει κάθετα τις 5 αξίες που βασίζονται στις πέντε αρχές που είδαμε παραπάνω. Οριζόντια μπαίνουν με αριθμητική σειρά οι ιδέες. Το επόμενο βήμα, καθορίζεται απ’ την κριτική σκέψη του σχεδιαστή, την εμπειρία και τις γνώσεις του. Το εργαλείο δεν λειτουργεί σε αυστηρά πλαίσια, είναι περισσότερο μία μέθοδος ελαχιστοποίησης του χρόνου και ως προς την επιλογή της καταλληλότερης ιδέας που πρέπει να προκριθεί για να μελετηθεί ως προκαταρκτικό σχέδιο, αλλά και μέθοδος καθοδήγησης για την ορθότερη επιλογή μεταξύ των άλλων. Το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε με μολύβι και τη σχεδίαση του πίνακα στο χαρτί, είτε σε ένα πρόγραμμα λογιστικών φύλλων για να είναι και γρηγορότερος ο υπολογισμός του πλήθους των «X» που έχουν συμπληρωθεί, ώστε να προκύψουν οι επικρατέστερες ιδέες.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα απλό δείγμα του πίνακα για 10 ιδέες.

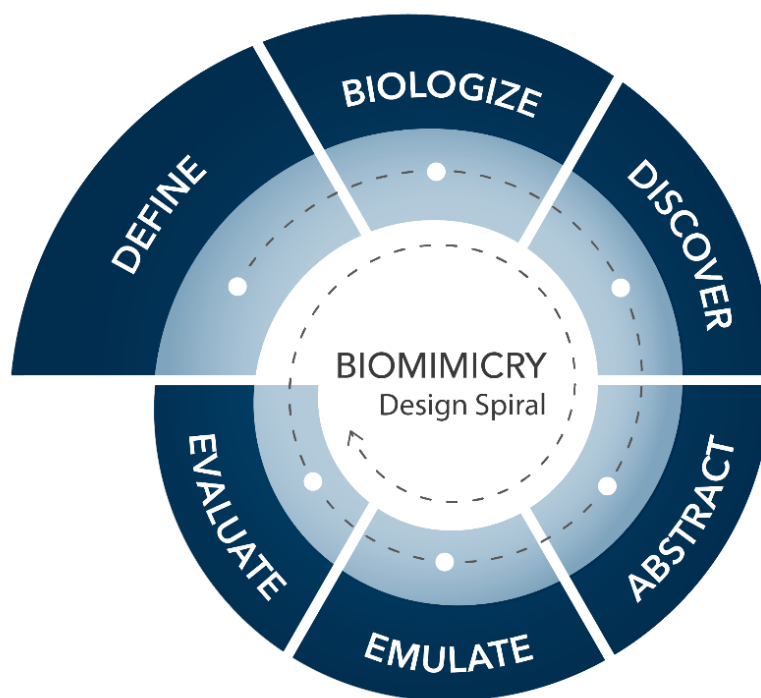
ΑΞΙΑ / ΙΔΕΑ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Συγκράτιση Υπερβολής		X		X	X	X			X	
Ανακύκλωση	X		X	X				X	X	X
Μορφή και Λειτουργία	X		X	X			X		X	X
Χρήση Απαραίτητης Ενέργειας		X	X	X		X				X
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	X			X				X	X	

Εικόνα 39 Προσομοίωση του τελικού βιομιμητικού πίνακα σύγκρισης 10 ιδεών.

5.4. Βιομιμητική σχεδιαστική διαδικασία

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το biomimicry design spiral είναι μία μέθοδος βιομιμητικής σχεδιαστικής διαδικασίας. Λόγω της εξειδίκευσης της διαδικασίας ως προς την βιομίμηση, θα πρέπει το εργαλείο που προτάθηκε παραπάνω να μπορεί να εφαρμοστεί και εδώ. Παρακάτω αναφέρονται και πάλι επιγραμματικά τα βήματα που ακολουθεί η διαδικασία, ενώ γνωρίζοντας ποια είναι τα στάδια και τι καλείται να κάνει ο σχεδιαστής σε καθένα απ' αυτά, καταλήγω πως αυτά τα στάδια στα οποία μπορεί να αξιοποιηθεί ο βιομιμητικός πίνακας σύγκρισης ιδεών είναι τα στάδια της μίμησης και της αξιολόγησης.

- Αναγνώριση
- Ορισμός
- Βιολογισμός
- Εξερεύνηση
- Αποδόμηση
- Μίμηση
- Αξιολόγηση



Εικόνα 40 Biomimicry Design Spiral, BIOMIMICRY TOOLBOX, από Biomimicry Institute, 2017.

Στο στάδιο της μίμησης ο σχεδιαστής καλείται να επιλέξει μέσα από ένα πλήθος ιδεών, ποιες είναι εκείνες για τις οποίες θα αναπτύξει σχέδια και θα κάνει περαιτέρω μελέτη. Σε αυτό το στάδιο, ο πίνακας θα μπορούσε να φανεί αρκετά χρήσιμος ώστε να αποφύγει περιττό χρόνο και μελέτη σε ιδέες που τελικά δεν πληρούσαν τις προϋποθέσεις για να αξιοποιηθούν. Τέλος στο στάδιο της αξιολόγησης, η ιδέα έχει

εξελιχθεί σε σχέδιο και ενώ έχει γίνει όλη η απαραίτητη μελέτη, ο σχεδιαστής καλείται να δοκιμάσει το προϊόν του έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί πως πληροί τους περιορισμούς που είχε θέσει στο στάδιο του **ορισμού**. Είτε είχε παραληφθεί στο στάδιο της μίμησης, είτε χρειάζεται επαλήθευση, ο πίνακας θα μπορούσε να βοηθήσει στο τελευταίο στάδιο, αυτό της αξιολόγησης του προϊόντος, καθώς εκτός απ' τις δοκιμές που θα γίνουν για τους περιορισμούς που τέθηκαν στο προαναφερθέν στάδιο, δύναται να πραγματοποιηθεί και η αξιολόγηση ως προς τις αρχές του πίνακα.

5.5. Παράδειγμα Βιομιμητικού Πίνακα Σύγκρισης Ιδεών

Αξιοποιώντας την βιομιμητική σχεδιαστική διαδικασία και τα στάδια που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, θα δοθεί ένα παράδειγμα της χρήσης του βιομιμητικού πίνακα σύγκρισης ιδεών, δανειζόμενος μία μελέτη απ' τα παραδείγματα του κεφαλαίου 4. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιηθεί η ταινία από νανοσωλήνες άνθρακα. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα δεν θα χρησιμοποιηθούν πραγματικά στοιχεία, πέρα από εκείνα που ήδη αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για να εξηγηθεί όμως ορθότερα το προτεινόμενο εργαλείο θα πρέπει να γίνει μια φανταστική προσομοίωση σύμφωνα με τα στάδια που θα μπορούσε να ακολουθήσει κάποιος, χρησιμοποιώντας το σπιράλ βιομιμητικής σχεδίασης.

Αναγνώριση: Δημιουργία υλικού σύνδεσης επιφανειών.

Ορισμός: Θέτονται οι παρακάτω παράμετροι:

1. Θα πρέπει να συνδέει δύο επιφάνειες
2. Θα πρέπει να αντέχει σε διατμητικές τάσεις
3. Θα πρέπει να είναι ελαφρύ
4. Θα πρέπει να μεταφέρεται εύκολα

Βιολογισμός:

1. Πως η φύση συνδέει δύο επιφάνειες;
2. Πως καταφέρνει η φύση να εξαλείψει μεγάλες διατμητικές τάσεις;
3. Πως επιτυγχάνεται το μικρό βάρος στη φύση;
4. Πως δημιουργεί η φύση πράγματα που μεταφέρονται εύκολα;

Εξερεύνηση:

1. Υπάρχουν πολλά ζώα που μπορούν να περπατήσουν σε κάθετες επιφάνειες, όπως τα αρθρόποδα, τα ερπετά και τα έντομα. Τα ζώα που ανήκουν στις παραπάνω ταξινομικές βαθμίδες, καταφέρνουν να συνδέσουν την επιφάνεια του πέλματός τους με την επιφάνεια στην οποία κινούνται.
2. Με κατάλληλα προσαρμοσμένα πέλματα.
3. Όσο μικρότερη μάζα έχει κάποιος οργανισμός τόσο ελαφρύτερος είναι.
4. Ο κάνθαρος ή σκαθάρι κοπριάς που ανήκει στην οικογένεια των σκαραβαίων (*Scarabaeoidea*), για να μεταφέρει εύκολα την κοπριά, της δίνει σφαιρικό σχήμα καθώς την μετατρέπει σε μπάλα.

Αποδόμηση:

1. Τριγίδια και ακίδες σε πολύ μικρό μέγεθος
2. Μικρή μάζα
3. Κυκλικό – σφαιρικό σχήμα

Μίμηση:

Ιδέα 1: Μεταλλική πλάκα σύνδεσης με μικρές ακίδες για να αγκιστρώνει και στις δύο επιφάνειες.

Ιδέα 2: Καρούλι ταινίας με νανοσωλήνες άνθρακα.

Ιδέα 3: Πλαστικό αυτοκόλλητο μιας χρήσης με μικρές πλαστικές βεντούζες.

Αξιολόγηση:

ΑΞΙΑ / ΙΔΕΑ	1	2	3
Συγκράτιση Υπερβολής		X	
Ανακύκλωση	X	X	X
Μορφή και Λειτουργία		X	
Χρήση Απαραίτητης Ενέργειας			
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας			

Εικόνα 41 Χρήση του βιομημητικού πίνακα σύγκρισης ιδεών για το παράδειγμα της ενότητας 5.5.

Η ιδέα 1, αφορά μία πλάκα η οποία έχει κατασκευαστεί από μέταλλο και έχει μικρές ακίδες πάνω, αρχικά δεν γίνεται χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και καταναλώνεται και υψηλή ενέργεια για την παραγωγή της. Μπορεί να απλοποιηθεί περισσότερο σαν ιδέα, ενώ η μορφή και η λειτουργία δεν ταιριάζουν ιδιαίτερα, παρ' όλα αυτά θα μπορούσε να κατασκευαστεί από αλουμίνιο ώστε να ανακυκλώνεται.

Η ιδέα 2, όπου αφορά ένα καρούλι ταινίας με νανοσωλήνες άνθρακα, συγκρατεί τις υπερβολές, δεν χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ για την παραγωγή του και την εύρεση της πρώτης ύλης σίγουρα θα χρειαστούν μεγάλα ποσοστά ενέργειας. Ανακυκλώνεται και ταιριάζει τη μορφή στη λειτουργία.

Η ιδέα 3, αφορά ένα πλαστικό αυτοκόλλητο μιας χρήσης με μικρές πλαστικές βεντούζες. Μπορεί να παρασκευαστεί από ανακυκλώσιμο πλαστικό αλλά δεν θα πληροί οποιαδήποτε άλλη αξία του πίνακα.

Αποτέλεσμα έχει να συνεχίσει ως τελικό προϊόν η ιδέα 2, σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να γίνει επιπλέον μελέτη ώστε να χρειάζεται λιγότερη ενέργεια ή να βρεθούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για να καλύψουν ένα μέρος ή ολόκληρης της παραγωγής αν είναι εφικτό.

Συμπεράσματα

Απ' την ιστορική αναδρομή της εργασίας μπορούμε να συσχετιστούμε με τα λόγια του Αριστοτέλη, πως ο άνθρωπος είναι το πιο μιμητικό ον. Μιμούμενοι την φύση εξελιχθήκαμε ως είδος, όχι μόνο σε θέματα επιβίωσης, αλλά και πολιτισμικά, καλλιτεχνικά, φιλοσοφικά κλπ. Στην πορεία όμως, το είδος μας με τις επιλογές και τις ενέργειες του έφυγε απ' το στάδιο της μίμησης και πήγε στο στάδιο της εκμετάλλευσής της, καταστρέφοντάς την φύση με μεγάλη επιτυχία. Με την έναρξη της μαζικής παραγωγής προϊόντων, ξεκίνησε η αντίστροφη μέτρηση, διότι έλαβε χώρα η απίστευτη και ανεξέλεγκτη σπατάλη πόρων, η ρύπανση των υδάτων, οι εκπομπές βλαβερών αερίων κλπ.

Σήμερα προσπαθούμε με πρακτικές μπαλώματος να γιατρέψουμε πληγές που ίσως κάποιες να είναι μη αναστρέψιμες. Πρακτικές όπως η ανακύκλωση και η δήθεν στροφή προς την αειφορία από τις μεγάλες επιχειρήσεις δεν εξυπηρετούν στον αγώνα για επιβίωση. Οι εταιρίες και οι κυβερνήσεις υιοθέτησαν την άποψη πως η αλλαγή μόνο του υλικού σε ένα προϊόν μπορεί να φέρει την αειφορία που συζητάμε, παραλείποντας όλους τους παράγοντες που υπάρχουν πίσω από το τελικό παραγόμενο προϊόν που θα φτάσει στα νοικοκυριά. Το υλικό φυσικά είναι σημαντικός παράγοντας, εξίσου σημαντικός παράγοντας όμως είναι η παραγωγή της πρώτης ύλης αν είναι απαραίτητη, ή η εύρεσή της, η μεταφορά της προς το σημείο που θα τροποποιηθεί κατάλληλα, ώστε να συνεχίσει την πορεία της στην εκάστοτε γραμμή παραγωγής. Η πρώτη ύλη μπορεί να προέρχεται από δέντρα, καλλιέργειες, μέχρι και ορυκτούς πόρους κλπ. Οι μεταφορές αυτές έχουν ένα οικολογικό αποτύπωμα, οι κατεργασίες του υλικού επίσης και για κάθε κατεργασία ή επεξεργασία που χρειάζεται μέχρι να ολοκληρωθεί η παραγωγή του τελικού προϊόντος το αποτύπωμα μεγαλώνει. Στη συνέχεια προκύπτουν κι άλλες μεταφορές για τη διανομή των προϊόντων σε όλον τον κόσμο κλπ. Σύμφωνα με την εισαγωγή αυτή κατανοούμε πως δεν πρέπει να υιοθετούνται πρακτικές για τον καθησυχασμό των πολιτών, αλλά ανατροπές, νέα μοντέλα τρόπου ζωής. Στην καθημερινότητά μας όταν αντιμετωπίζουμε ένα θέμα, στρεφόμαστε για απαντήσεις, είτε συνειδητά, είτε ασυνείδητα σε άλλους ανθρώπους με πείρα και γνώση. Στην περίπτωση αυτή που σκοπός είναι να βοηθήσουμε την υπολειπόμενη φύση, θα πρέπει να στραφούμε και πάλι εκεί που υπάρχει η μεγαλύτερη εμπειρία και γνώση, στον αρχαιότερο σύμμαχό μας, την ίδια τη φύση.

Οι εμπνευσμένες από τη φύση θεμελιώδεις αρχές της βιομίμησης είναι οι συμβουλές που πρέπει να ακολουθήσουμε για την παραπάνω σχεδίαση. Για να είναι αποτελεσματική η βιομίμηση οι μετατροπές θα πρέπει να ξεκινήσουν από την βάση του πολιτισμού μας, τον πρωτογενή τομέα. Η J. Benyus (2002) στο βιβλίο της ξεκινάει πρώτα με το πώς θα βρούμε βιομιμητικά την τροφή μας και πως θα σχεδιάσουμε ορθότερα την παραγωγή τροφής. Ενώ το δεύτερο βήμα είναι η εύρεση νέων πηγών ενέργειας. Ακολουθώντας τις αρχές και τις διαστάσεις που έχουν τεθεί υπάρχει η δυνατότητα για αειφόρα σχεδίαση σε κάθε τομέα, ενώ μπορούν να λυθούν και τα θέματα που τέθηκαν παραπάνω, απ' την μεταφορά και την κατεργασία της πρώτης ύλης μέχρι και την τελική διανομή. Ο στόχος εξάλλου είναι η μείωση του οικολογικού αποτυπώματος.

Η φιλοσοφία της βιομίμησης δεν συνεπάγεται με την αντικατάσταση της φύσης, αλλά με την αντικατάσταση αντιλήψεων και ιδεών. Η επιλογή του προτεινόμενου εργαλείου,

σχετίζεται με το γεγονός πως παρατηρώ αρκετές “βιομημητικές” λύσεις που δεν πληρούν περισσότερες από μία με δύο βιομημητικές αρχές. Το παραπάνω μας φέρνει πιο κοντά στα λόγια του Πλάτωνα για την έλλειψη της ουσίας στα ζωγραφισμένα τεχνουργήματα, επίσης προκαλούν κοινές συνέπειες με την προσπάθεια για καθησυχασμό που ήδη αναφέρθηκε, διότι τα προϊόντα ονομάζονται βιομημητικά απλά επειδή αντέγραψαν στοιχεία της φύσης. Αυτό μάλιστα δίνει βήμα σε όσους θεωρούν πως η βιομίμηση εργαλειοποιεί την φύση και δημιουργεί αντίγραφα της. Αξιολογώντας το συγκεκριμένο κενό και στην προσπάθειά μου να μειώσω τις παρανοήσεις σχετικά με την βιομημητική λύση και μία οποιαδήποτε άλλη λύση που αντιγράφει την μορφολογία ενός τμήματος της φύσης, π.χ. κάποιο μέλος ενός οργανισμού χωρίς να πληροί οποιαδήποτε άλλη βιομημητική αρχή. Ανέπτυξα τον βιομημητικό πίνακα αξιολόγησης ιδεών, θεώρησα πως έτσι ο σχεδιαστής που άθελά του μπορεί να παρεκκλίνει απ’ τον στόχο θα έχει τη δυνατότητα να επανεξετάσει τις επιλογές του. Ο λόγος όπου το εργαλείο αυτό δεν περιέχει αυστηρούς κανόνες είναι διότι σκοπός του είναι να καλλιεργήσει την κριτική σκέψη σύμφωνα με τις θεμελιώδεις αρχές που έχει θέσει η J. Benyus. Προσθέτοντας τον πίνακα στην σχεδιαστική διαδικασία που ακολουθούμε, επαναδιατυπώνουμε τη σκέψη μας σχετικά με το τελικό προϊόν, τι θέλουμε να πετύχουμε και πως θα επηρεάσουμε το περιβάλλον.

Το εργαλείο αποτελεί ένα σχεδιαστικό ξυπνητήρι βιομίμησης, που υπενθυμίζει πως το αποτέλεσμα θα πρέπει να παραμένει σε κλειστούς βρόχους ώστε να μην επιβαρύνει την φύση κατά την απόρριψή του, να χρησιμοποιεί ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές και μόνο όσο χρειάζεται, ενώ μειώνουμε την απαιτούμενη ανάγκη ταιριάζοντας τη φόρμα με τη λειτουργία, τέλος θα ήταν δόκιμη η αποφυγή της υπερβολής, ιδιαίτερα όταν σχεδιάζουμε ιδέες που δεν μπορούν να αξιοποιηθούν πλήρως και καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια από την απαραίτητη. Ο πίνακας εντάσσεται σε οποιαδήποτε σχεδιαστική διαδικασία επιθυμεί κάποιος σχεδιαστής να ακολουθήσει, ο λόγος που χρησιμοποίησα τα παραπάνω παραδείγματα του διπλού διαμαντιού και του βιομημητικού σπινάλ, είναι λόγω της διαδεδομένης χρήσης του πρώτου, από πολλούς τομείς συμπεριλαμβανομένου και του τομέα της σχεδίασης, ενώ το βιομημητικό σπινάλ είναι μία εξειδικευμένη μέθοδος περί του θέματος που μελετάμε. Με γνώμονα την πληροφορία που θα πρέπει να διαχειριστεί ο σχεδιαστής κατά την αξιολόγηση των ιδεών είτε στο βήμα της Ανάπτυξης αν μιλάμε για το διπλό διαμάντι, είτε στα βήματα της Μίμησης και της Αξιολόγησης αν μιλάμε για το βιομημητικό σπινάλ, ανέπτυξα τον πίνακα στην πιο απλή του μορφή, ώστε η διαδικασία να γίνεται γρήγορα και εύκολα. Όπως αναφέρθηκε ξανά η αξιολόγηση των ιδεών αφορά την κρίση του σχεδιαστή, έτσι εκείνος μπορεί να αποφασίσει αν μία ιδέα πρέπει να πληροί και τις 5 αξίες του πίνακα ή αρκούν και λιγότερες για την ανάπτυξη της βέλτιστης βιομημητικής λύσης. Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να αξιολογήσει ποιες θα είναι οι ελάχιστες αξίες που θα πληροί μία ιδέα. Αν και οι περισσότερες βιομημητικές λύσεις είναι ακόμα προς εξέλιξη και αποτελούν το εναρκτήριο βήμα για την βιομημητική κοινωνία, υπάρχουν και οι εξαιρέσεις. Εξαιρετικό πρότυπο κατά την άποψή μου αποτελεί η ζυθοποιεία ZERI, ο απόλυτα βιομημητικός τρόπος με τον οποίο λειτουργεί, δίνει την ελπίδα πως αν μπορεί να επιτευχθεί με τέτοια επιτυχία σε μία βιομηχανία, τότε μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε μεγαλύτερη κλίμακα, ίσως όχι με ευκολία, αλλά δεν είναι ανέφικτο, ούτε ουτοπικό.

Αν και φιλοσοφικά η βιομίμηση δεν είναι ολοκληρωμένη και έχει κενά που πρέπει να καλυφθούν, μπορεί να αποτελέσει έναν τρόπο αντίληψης του πως βλέπουμε τη ζωή, πως αντιλαμβανόμαστε τη φύση και ποια είναι η θέση μας σε αυτή. Πως μπορούμε να εμπνευστούμε και τι μπορούμε να καταφέρουμε με αυτά. Θεωρώ πως η J. Benyus έβαλε τα θεμέλια για μία ανάλογη ιδανική πολιτεία όπως του Πλάτωνα και συγκεκριμένα, για μια βιομιμητική πολιτεία. Μία πολιτεία, με βιομιμητικές μεθόδους άντλησης πρώτων υλών, βιομιμητικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας, βιομιμητικές μεθόδους παραγωγής προϊόντων και συστημάτων καθώς και βιομιμητικό τρόπο ζωής. Αξίζει να αναφερθεί πως η δημιουργία μίας βιομιμητικής κοινωνίας δεν σημαίνει ταυτόχρονα και επιστροφή στις σπηλιές, ούτε τον σκοταδισμό, σημαίνει ρύθμιση και αλλαγή της σημερινής κοινωνίας με πρότυπο τη φύση.

Οι κοινωνίες θα πρέπει να δρουν σαν οικοσυστήματα, αυτόνομα και ανεξάρτητα, αναπτύσσοντας μεταξύ τους σχέσεις βιοσυνέργειας για την επιβίωσή τους. Οι ανατρεπτικές αλλαγές είναι δύσκολες και χρειάζονται θυσίες, ο πολιτισμός μας έχει φτάσει σε τέτοιο σημείο καμψής που δεν έχει τα περιθώρια πολλών εναλλακτικών. Ο πλανήτης δεν μας χρειάζεται για την επιβίωσή του, εμείς τον χρειαζόμαστε, ο βιομιμητικός τρόπος ζωής, η δημιουργία της βιομιμητικής πολιτείας και η αντίληψη “καν’ το όπως η φύση” (do it like nature), θα παρατείνει τον χρόνο μας πάνω σ’ αυτόν.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ξενόγλωση βιβλιογραφία

- Ashish Kumar Bhandari, Anil Kumar, Girish Kumar Singh, & Vivek Soni (2016). Performance Study of evolutionary algorithm for different wavelet filters for satellite image denoising using sub-band adaptive threshold. Taylor & Francis. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, Volume 28, Issue 1-2 71-95. doi:10.1080/0952813X.2015.1020518.
- Ayomi S. Perera & Marc- Olivier Coppens (2019). Re-designing materials for biomedical applications: from biomimicry to nature – inspired chemical engineering. Royal Society. Philosophical transactions of the Royal Society. Series A, Mathematical, physical and engineering sciences, Volume 377, Issue 2138. doi:10.1098/rsta.2018.0268.
- Biomimicry Design Spiral, Biomimicry Institute (2017). Ανακτήθηκε από: https://toolbox.biomimicry.org/wp-content/uploads/2017/10/Design.Spiral-Diagram_10.17.pdf.
- D.C. Wahl (2006). Bionics Vs. Biomimicry: From Control Of Nature To Sustainable Participation In Nature. Wit Press. Wit Transactions on Ecology and the Environment, Volume 87, 289-298. doi: 10.2495/DN060281.
- DTI Global Watch Mission, (2007). Biomimetics: strategies for product design inspired by nature – a mission to the Netherlands and Germany. University of Huddersfield.
- Emily Kennedy, Daphne Fechey – Lippens, Bor – Kai Hsiung, Peter H. Niewiarowski, & Matthew Kolodziej (2015). Biomimicry: A Path to Sustainable Innovation. MIT Press Direct. Design Issues, Volume 31, Issue 3, 66-73. doi:10.1162/DESI_a_00339.
- Freya Mathews (2011). Towards a Deeper Philosophy of Biomimicry. Sage Journals. Volume 24, Issue 4, 364-387. doi:10.1177/1086026611425689.
- Gabriela S. Schlau-Cohen, Paul T. Cesana, Beryl X. Li, Samuel G. Shepard, Stephen I. Ting, Stephanie M. Hart, Courtney M. Olson, Jesus I. Martinez Alvarado, Minjung Son, Talia J. Steiman, Felix N. Castellano, Abigail G. Doyle, & David W.C. MacMillan (2021). A biohybrid strategy for enabling photoredox catalysis with low-energy light. Cell Press. Chem, Volume 8, Issue 1, 174-185. doi:10.1016/j.chempr.2021.10.010.
- Gang Qiao, Yunjiang Zhao, Songzuo Liu, & Muhammad Bilal (2017). Dolphin Sounds – Inspired Covert Underwater Acoustic Communication and Micro – Modem. MDPI. Sensors, Volume 17, Issue 11, 2447. doi:10.3390/s17112447.
- Guizhong Tian, Bongliang Fan, Xiaoming Feng, & Honggen Zhou (2021). Thriving artificial underwater drag-reduction materials inspired from aquatic animals: progresses and challenges. Royal Society Of Chemistry. RSC Advances, Issue 6. Ανακτήθηκε από: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/ra/d0ra08672j>.
- Henry Dicks (2016). The philosophy of Biomimicry. Springer. Philosophy & Technology 29, 223-243. doi: 10.1007/s13347-015-0210-2.
- Iasef Md Rian, & Mario Sassone (2014). Tree-inspired dendriforms and fractal-like branching structures in architecture: A brief historical overview. Elsevier. Frontiers of Architectural Research, Volume 3, Issue 3, 298-323. doi:10.1016/j.foar.2014.03.006.
- Ingrid de Pauw, Prabhu Kandachar, Elvin Karana, David Peck, & Renee Wever (2010). Nature Inspired Design: Strategies Towards Sustainability. Ανάκτηση από: https://www.researchgate.net/publication/254906399_Nature_inspired_design_Strategies_towards_sustainability.

- Janine M. Benyus (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York City: Harper Perennial.
- Janne K. Valkonen, Ossi Nokelainen, & Johanna Mappes (2011). Antipredatory Function of Head Shape for Vipers and Their Mimics. *PLOS One*. doi: 10.1371/journal.pone.0022272.
- Jianhong Ma, Quan Zhang, Yanling Wang, Tao Luo (2009). Construction of the Dependence Matrix based on the TRIZ Contradiction Matrix in OOD. Springer. *IFIP Advances in Information and Communication Technology* 304, Growth and Development of Computer-Aided Innovation, 219-230.
- Katja Tschimmel (2012). Design Thinking as an effective Toolkit for Innovation. Ανακτήθηκε από: https://www.researchgate.net/publication/236135862_Design_Thinking_as_an_effective_Toolkit_for_Innovation. doi:10.13140/2.1.2570.3361.
- Leslie Eadie, & Tushar K. Ghosh (2011). Biomimicry in textiles: Past, present and potential. An overview. The Royal Society. *Journal of The Royal Society Interface*, Volume 8, Issue 59, 761-775. doi: 10.1098/rsif.2010.0487.
- Liehui Ge, Sunny Sethi, Lijie Gi, Pulickel M. Ajayan, & Ali Dhinojwala (2007). Carbon nanotube – based synthetic gecko tapes. *PNAS*. Volume 104, Issue 26, 10792-10795. doi:10.1073/pnas.0703505104.
- Luong Pham, Guoxing Lu, & Phuong Tran (2020). Influences of Printing Pattern on Mechanical Performance of Three-Dimensional-Printed Fiber-Reinforced Concrete. Mary Ann Liebert, Inc. *3D Printing and Additive Manufacturing*, Volume 00, No. 00. doi:10.1089/3dp.2020.0172.
- Matheus C. Fernandes, Joanna Aizenberg, James C. Weaver, & Katia Bertoldi (2020). Mechanically robust lattices inspired by deep-sea glass sponges. Nature Publishing Group. *Nature Materials*, Volume 20, 237-241. doi:10.1038/s41563-020-0798-1.
- Muthukumar Muthuramalingam, Dominik K. Puckert, Ulrich Rist, & Christoph Breucker (2020). Transition delay using biomimetic fish scale arrays. *Nature Research. Scientific Reports*, Volume 10, article number 14534. doi:10.1038/s41598-020-71434-8.
- N.R. Bogatyrev, & O.A. Bogatyreva (2009). TRIZ Evolution Trends in Biological and Technological Design Strategies. Cranfield University, 19th CIRP Design Conference – Competitive Design, March 30-31, 2009, Cranfield, (pp. 293).
- Paul Hawken, Amory B. Lovins, & L. Hunter Lovins (2010). *Natural Capitalism: The Next Industrial Revolution*. London: Routledge.
- Rahul Singh, Aayush Sharma, Prashant Singh, Ganesh Balasubramanian, & Duane D. Johnson (2021). Accelerating computational modeling and design of high-entropy alloys. Springer Nature. *Nature computational science*, Volume 1, 54-61. doi:10.1038/s43588-020-00006-7.
- Robert Goodland (1995). The Concept of Environmental Sustainability. *Annual Reviews. Annual Review of Ecology and Systematics*, Volume 26, 1-24. doi:10.1146/annurev.es.26.110195.000245.
- Robert Solow (1993). An almost practical step toward sustainability. Elsevier. *Resources Policy*, Volume 19, Issue 3, 162-172. doi:10.1016/0301-4207(93)90001-4.
- R.Saidur, N.A.Rahim, M.R.Islam, & K.H.Solangi (2011). Environmental impact of wind energy. Elsevier. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, Issue 5, 2423-2430. doi:10.1016/j.rser.2011.02.024.
- Sahab Babae, Simo Pajovic, Ahmad Rafsanjani, Yichao Shi, Katia Bertoldi, & Giovanni Traverso (2020). Bioinspired kirigami metasurfaces as assistive shoe grips.

- Springer Nature. Nature biomedical engineering, Volume 4, 778-786. doi:10.1038/s41551-020-0564-3.
- Shivi Pathak (2019). Biomimicry: (Innovation Inspired by Nature). Nextgen Research Publication. International Journal of New Technology and Research, Volume 5, Issue 6, 34-38. doi:10.31871/IJNTR.5.6.17
 - Simcha Lev-Yadun, & Moshe Inbar (2002). Defensive ant, aphid and caterpillar mimicry in plants?. Oxford University Press. Biological Journal of the Linnean Society, Volume 77, Issue 3, 393-398. doi: 10.1046/j.1095-8312.2002.00132.x.
 - Tim Clutton-Brock (2009). Cooperation between non-kin in animal societies. Springer Nature. Nature, Volume 462, 51-57. doi:10.1038/nature08366.
 - Tom Kuhlman, & John Farrington (2010). What is Sustainability?. MDPI, Volume 2, Issue 11, 3436-3448. doi:10.3390/su2113436.
 - Tory Kobayashi, Yuta Isono, Kenichi Arai, Takeshi Yamauchi, & Hideotoshi Kobayashi (2017). Bio –TRIZ database for sustainable lifestyle technology transfer from nature to engineering. International Electronics Symposium on Knowledge Creation and Intelligent Computing (IES-KCIC), Surabaya 26-27 September 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers, (p. 276-280). doi: 10.1109/KCIC.2017.8228599.
 - Václav M. Kuna, & John L. Nábělek (2021). Seismic crustal imaging using fin whale songs. AAAS. Science, Volume 371, Issue 6530, 731-735. doi:10.1126/science.abf3962.
 - Victor Margolin (1998). Design for a Sustainable World. The MIT Press. Design Issues 14, no. 2, 83-92. doi: 10.2307/1511853.
 - Weijun Tong, Song Xiaoxue, & Changyou Gao (2012). ChemInform Abstract: Layer-by-Layer Assembly of Microcapsules and Their Biomedical Applications. Royal Society of Chemistry. Chemical Society Reviews, Volume 41, Issue 18, 6103-6124. doi:10.1039/c2cs35088b.
 - William McDonough, & Michael Braungart (2002). Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. New York City: Macmillan Publishers.
 - William Myers (2012). Bio Design: Nature, Science, Creativity. New York City: Museum of Modern Art.
 - Y.H. Ding, M. Floren. & W. Tan (2016). Mussel-inspired polydopamine for bio-surface functionalization. Elsevier. Biosurface and Biotribology, Volume 2, Issue 4, 121 -136. doi:10.1016/j.bsbt.2016.11.001.
 - Yichao Tang, Yinding Chi, Jiefeng Sun, Tzu-Hao Huang, Omid H. Maghsoudi, Andrew Spence, Jianguo Zhao, Hao Su, & Jie Yin (2020). Leveraging elastic instabilities for amplified performance: Spine-inspired high speed and high-force soft robots. AAAS. Science Advances, Volume 6, Issue 19. doi:10.1126/sciadv.aaz6912.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αριστοτέλης (2008). ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ: ΠΟΙΗΤΙΚΗ (Δ. Δ. Λυπουρλής Μετ.). Θεσσαλονίκη, Ζήτρος (Το πρωτότυπο έργο γράφτηκε περίπου 335-323 π.Χ.).
- Μιχαηλίδης Νικόδημος (2014). Η έννοια της μίμησης και το περιεχόμενό της στο έργο του Πλάτωνα. Ανακτήθηκε από: <https://www.slideshare.net/michailidisnikodimos/ss-35541833>.
- Πλάτων (2004). ΠΛΑΤΩΝ: ΠΟΛΙΤΕΙΑ (Ν.Ι. Γρύπαρης, Μετ.). Κατερίνη: ΜΑΤΙ (Το πρωτότυπο έργο γράφτηκε περίπου το 380 π.Χ.).

Διαδικτυακές αναφορές

- (https://en.wikipedia.org/wiki/Science_and_inventions_of_Leonardo_da_Vinci)
- (https://airandspace.si.edu/collection-objects/1903-wright-flyer/nasm_A19610048000)
- (<https://www.history.com/topics/inventions/wright-brothers>)
- (<http://environment-ecology.com/biomimicry-bioneers/367-what-is-biomimicry.html>)
- (<https://en.wikipedia.org/wiki/Biomimetics>)
- (<https://www.darpa.mil/about-us/offices/dso>)
- (<http://www.zeri.org/ZERI/Beer.html>)
- (<https://en.wikipedia.org/wiki/Taoism>)
- (<https://el.wiktionary.org/wiki/%CF%86%CF%8D%CF%83%CE%B7>)
- (<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%8D%CF%83%CE%B7>)
- (https://www.greek-language.gr/greekLang/ancient_greek/tools/lexicon/lemma.html?id=191)
- (<https://www.designcouncil.org.uk/who-we-are/our-history>)
- (<https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/what-framework-innovation-design-councils-evolved-double-diamond>)
- (<https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-lifes-principles/>)
- (<https://www.umass.edu/>)
- (<https://www.leonardodavinci.net/>)
- (<https://spacecenter.org/a-look-back-at-the-wright-brothers-first-flight/>)
- (http://mediplantepirus.med.uoi.gr/pharmacology/plant_details.php?id=194)
- (https://en.wikipedia.org/wiki/File:Arctium_lappa02.jpg)
- (<https://www.merriam-webster.com/dictionary/biomimetics>)
- (https://theremin.us/Circuit_Library/cd40106be.htm)
- ([https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1%CF%87%CE%BF%CF%82_\(%CE%B3%CE%BB%CF%8D%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%82\)](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1%CF%87%CE%BF%CF%82_(%CE%B3%CE%BB%CF%8D%CF%80%CF%84%CE%B7%CF%82)))
- (https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BD%CE%B8%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CF%81%CF%85%CE%B8%CE%BC%CF%8C%CF%82)
- (https://www.greek-language.gr/digitalResources/ancient_greek/history/art/page_128.html)
- (<https://species.wikimedia.org/wiki/Acanthus>)
- (https://en.wikipedia.org/wiki/Luxor_Temple#/media/File:Flickr_-_schmuela_-_IMG_7322.jpg)
- (<https://www.history.com/news/hunter-gatherer-tools-breakthroughs>)
- (<https://toolbox.biomimicry.org/core-concepts/>)
- (<https://www.sycamorefan.com/features>)
- (<https://www.nature.com/articles/s41598-020-71434-8>)
- (<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/moth-s-eye-inspires-critical-component-on-sofia-s-newest-instrument>)
- (https://www.researchgate.net/publication/348224542_Influences_of_Printing_Pattern_on_Mechanical_Performance_of_Three-Dimensional-Printed_Fiber-Reinforced_Concrete)
- (<https://www.nature.com/natbiomedeng/>)
- (<https://en.wikipedia.org/wiki/Cheetah>)
- (<https://en.wikipedia.org/wiki/Aristotle>)

- (<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BB%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD>)
- (<https://www.unite.ai/fastest-soft-robots-to-date-developed-by-researchers/>)
- (<https://www.darpa.mil/program/legged-squad-support-system>)
- (<https://www.cyclifier.org/project/tunweni-beer-brewery/>)
- (https://www.researchgate.net/publication/255574562_Mineral_skeletogenesis_in_sponges/figures?lo=1)
- (<https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/lobster-shells-inspire-stronger-3d-printed-concrete>)