

ΤΙΤΛΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: **ΒΙΟΜΙΜΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΙΟΕΜΠΝΕΥΣΗ
ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: **ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΟΥΡΝΙΑΤΗΣ**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΟΠΗ:

Ν. ΚΟΥΡΝΙΑΤΗΣ

(υπογραφή)

Σ. ΓΙΑΝΝΟΥΔΗΣ



(υπογραφή)

Ν. ΧΙΩΤΙΝΗΣ



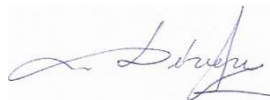
(υπογραφή)

Η κάτωθι υπογεγραμμένη **Χριστίνα Δίκου** του **Δημητρίου** με Αριθμό Μητρώου **SSD18004** Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια του **Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής**, της **Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών**, του **Τμήματος Εσωτερικής Αρχιτεκτονικής**, του **Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Αρχιτεκτονική Εσωτερικών Χώρων: Αειφορικός και Κοινωνικός Σχεδιασμός»**, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών και λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Χριστίνα Δίκου



(υπογραφή)

ΠΑΔΑ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

ΤΜΗΜΑ: ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ: ΑΕΙΦΟΡΙΚΟΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΒΙΟΜΙΜΙΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΙΟΕΜΠΝΕΥΣΗ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**



Εικόνα 1. Η πρόσοψη του Esplanade Theatre στη Σιγκαπούρη. Κατασκευαστική: Singapore Arts Center Co. Αρχιτέκτονες: DP Architects (DPA) της Σιγκαπούρης και Michael Wilford & Partners (MWP) με έδρα το Λονδίνο. <https://www.technologydesigner.com/2019/12/18/biomimicry-design-inspiration-from-nature/>, ανακτήθηκε 10/4/2021.

ΔΙΚΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ

A.M.:SSD18004

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΚΟΥΡΝΙΑΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η διπλωματική είναι μια προσπάθεια σύνδεσης μεταξύ της βιολογικής έμπνευσης (βίο-έμπνευσης) και των «έξυπνων» υλικών και των τεχνολογιών τους, για τη δημιουργία καινοτόμων υλικών και συστημάτων, μέσω αναλυτικής έρευνας. Ξεκινάει με την ιστορική ανασκόπηση και προσέγγιση της βίο-μίμησης και της βίο-έμπνευσης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους διασαφηνίζοντας τους όρους και συνεχίζει με την εξερεύνηση της ταξινόμησης διαφορετικών τύπων έξυπνων υλικών, συζητώντας τα χαρακτηριστικά τους και τη δυνατότητά τους να μιμούνται λειτουργίες βιολογικών οργανισμών. Στη συνέχεια, μελετάται, η αφαιρετική διαδικασία προσέγγισης από βιολογικά συστήματα και η μεταφορά στον Αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Κατόπιν, διερευνάται η σύνδεσή τους με τα σχετιζόμενα έξυπνα υλικά και τεχνολογίες. Τέλος, παρουσιάζονται πέντε μελέτες περίπτωσης βίο-έμπνευσης μαζί με την αρχιτεκτονική τους εφαρμογή, ολοκληρώνοντας με μια συγκριτική ανάλυση για να αξιολογηθεί η εφαρμογή μιας τέτοιας προσέγγισης στην τρέχουσα και μελλοντική αρχιτεκτονική και το σχεδιασμό.

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής δεν είναι να φανεί πως μπορούμε να αντιγράψουμε την αισθητική της φύσης, αλλά πως μπορούμε να δημιουργήσουμε μία συστηματική μεταφορά γνώσης μεταξύ βιολογίας και τεχνολογίας. Στοχεύει να μάθουμε από τις αρχές της βιολογίας και να ενσωματώσουμε αυτές τις γνώσεις στην ανάπτυξη βίο-έμπνευσμένων δομών, προκειμένου να κατανοήσουμε τη σημασία και τον αντίκτυπο, που μπορεί να έχει η εφαρμογή της βίο-έμπνευσης στην Αρχιτεκτονική σχετικά με τη συζήτηση για το ενεργειακό. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο τα «έξυπνα» υλικά και οι τεχνολογίες τους εμπλέκονται σε αυτή τη διπλωματική, αναδεικνύοντας τη διαθεματικότητα του ερευνητικού πεδίου της βίο-μίμησης και βίο-έμπνευσης. Τα «έξυπνα» υλικά, ορίζονται ως δια-δραστικά υλικά. Οι ιδιότητές τους μπορούν να αλλάζουν με την έκθεση σε ερεθίσματα, όπως ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, πίεση, υγρασία και θερμοκρασία.

Λέξεις κλειδιά: Βίο-μίμηση, βίο-έμπνευση, βίο-μιμητικό κέλυφος, «έξυπνα» υλικά - τεχνολογίες, παθητικά συστήματα, βιωσιμότητα.

ABSTRACT

This dissertation is an attempt to connect biological inspiration with "smart" materials and their technologies, to create innovative material and systems, through analytical research. It begins with the historical review and approach of biomimicry and bio-inspiration in different periods clarifying the terms and continues with the exploration of the classification of different types of intelligent materials, discussing their characteristics and their ability to mimic the functions of biological organisms. Then, the abstract approach process from biological systems and the transfer to Architectural design are studied. Afterwards, their connection with the related smart technologies is investigated. Finally, five bio-inspiration case studies are presented along with their architectural application, concluding with a comparative analysis to evaluate the application of such an approach to current and future architecture and design.

The purpose of this dissertation is not to show how we can copy the aesthetics of nature, but how we can create a systematic transfer of knowledge between biology and technology. It aims to learn from the principles of biology and to incorporate this knowledge into the development of bio-inspired structures. However, our goal is not only to discuss bio-inspiration in general, but to understand the importance and impact that the application of bio-inspiration can have on architecture in relation to the energy debate. This is the reason why "smart" materials and their technologies are involved in this dissertation, highlighting the interdisciplinarity of the research field of biomimicry and bio-inspiration. "Smart" materials are defined as interactive materials. Their properties can change with exposure to stimuli such as electric and magnetic fields, pressure, humidity and temperature.

Keywords: Biomimicry, bio-inspiration, biomimetic envelop, "smart" materials - technologies, passive systems, sustainability.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Διανύοντας το δεύτερο εξάμηνο σπουδών, με αφορμή το μάθημα «καινοτόμα υλικά και πρακτικές στον σχεδιασμό», ο προβληματισμός που γεννήθηκε μέσα μου, ήταν, πώς τα έξυπνα υλικά και οι προηγμένες τεχνολογίες θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στις κτιριακές κατασκευές, προκειμένου να δημιουργηθούν κτίρια που να προσαρμόζονται στις συνθήκες του περιβάλλοντος, αφήνοντας το ελάχιστο ενεργειακό αποτύπωμα. Στη συνέχεια, με αφορμή το μάθημα «Δημιουργικός σχεδιασμός αντικειμένων - Θεωρία στρατηγικής δημιουργικότητας», διαπίστωσα ότι κατά τις τελευταίες δεκαετίες τόσο στις Η.Π.Α. και στην Ασία, όσο και σε προηγμένες χώρες της Ευρώπης, έχουν γίνει τέτοιες κατασκευές, από Αρχιτέκτονες που άντλησαν την έμπνευσή τους από τη θεωρία της βίο-μίμησης και βίο-έμπνευσης.

Κατόπιν, η σχεδιαστική μου παιδεία, με ώθησε να ερευνήσω τρόπους με τους οποίους θα μπορούσε να αποτελέσει η θεωρία αυτή έναυσμα για βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, μέσα από την ανάλυση τέτοιων δομών με την αφαιρετική διαδικασία προσέγγισης και τη σύνθεση εκ νέου των αξιών που εμπεριέχουν. Κατά αυτόν τον τρόπο άρχισα να σκέφτομαι τη χρήση των έξυπνων υλικών ως εργαλείο για τη δημιουργία καινοτόμων συστημάτων μέσα από το πρίσμα του επιστημονικού πεδίου της βίο-μίμησης και της βίο-έμπνευσης, με στόχο την ενεργειακή βελτιστοποίηση των κατασκευών μεγαλύτερης και μικρότερης κλίμακας.

Σε αυτή τη διαδρομή αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου που μου έδωσαν τα ερεθίσματα για αυτή τη διπλωματική και ιδιαίτερος τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νικόλαο Κουρνιατή, που με παρακίνησε να διερευνήσω το επιστημονικό πεδίο της βίο-μίμησης και βίο-έμπνευσης και με καθοδήγησε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της ερευνητικής μου μελέτης. Μέσα από τη διαδικασία αυτή ένωσα έστω και για λίγο «πολίτης του κόσμου» και ενισχύθηκε η επιθυμία μου να δω τη χώρα μου να χρηματοδοτείται για παρόμοιες ερευνητικές μελέτες και κατασκευές.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ	7
ΛΙΣΤΑ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ	11
ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ	11
ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΟΡΩΝ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.1 Ορισμός του προβλήματος	16
1.2 Ερευνητικά ερωτήματα:	18
1.3 Στόχοι της έρευνας	19
1.4 Μεθοδολογία	19
1.5 Σκοπός της διπλωματικής.....	20
1.6 Δομή διπλωματικής εργασίας.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΙΜΗΣΗΣ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	22
2.1. Εισαγωγή	22
2.2. Ορισμός της βίο-μίμησης - αποσαφήνιση των όρων.....	22
2.3 Μέθοδοι διαφορετικών βίο-μιμητικών αναζητήσεων.	24
2.4 Ιστορική ανασκόπηση της βίο-μίμησης	28
2.5 Προσέγγιση της βίο-μίμησης σε διαφορετικές περιόδους.....	33
2.5.1 Βίο-φιλικός σχεδιασμός	33
2.5.2 Βιομορφικές εξελίξεις- Μεταφορά της οργανικής μορφολογίας.....	34
2.5.2.1 Περίοδος Art Nouveau-Secession.....	34
2.5.2.2 Περίοδος Art Nouveau - Sagrada Familia	35
2.5.2.3 Βιομηχανικός σχεδιασμός.....	38
2.5.3. Σύγχρονη εποχή.....	40
2.5.3.1 Τεχνικές εξελίξεις με φυσική εμφάνιση.....	40
2.5.3.2 Τεχνικές εξελίξεις παράλληλα με τη βιολογία στην Αρχιτεκτονική	41
2.5.3.3 Τεχνικές εξελίξεις με τη βοήθεια του παραμετρικού σχεδιασμού	43
2.5.3.4 Τεχνικές εξελίξεις παράλληλα με τη βιολογία στο βιομηχανικό Design ..	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: «ΕΞΥΠΝΑ» ΥΛΙΚΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΟ DESIGN – Αναλογία ανάμεσα στην κατασκευή και τα βιολογικά συστήματα.	57

A ΜΕΡΟΣ.....	58
3.1. Εισαγωγή	58
3.2. Ταξινόμηση των έξυπνων υλικών	59
3.2.1 Ικανότητα αλλαγής ιδιοτήτων	60
3.2.1.1 Παράδειγμα ηλεκτροχρωμικού υλικού.....	61
3.2.1.2 Παράδειγμα θερμοχρωμικού υλικού.....	62
3.2.2 Ικανότητα ανταλλαγής ενέργειας	63
3.2.2.1 Παράδειγμα: Ήλεκτρο-φωταυγή υλικά (επιφάνειες εκπομπής φωτός)....	63
3.2.3. Μέγεθος – θέση	64
3.2.3.1 Παράδειγμα: Υλικά μεταβαλλόμενης φάσης ή αλλαγής φάσης (Phase change Materials - PCMs).....	66
3.2.4 Αντιστρεψιμότητα, κατεύθυνση	67
3.2.4.1 Παράδειγμα: πιεζοηλεκτρικά υλικά (ενεργειακά δάπεδα)	68
3.3. Τα πεδία εφαρμογών των έξυπνων υλικών και των τεχνολογιών τους στις κατασκευές αναφορικά με την εξοικονόμηση ενέργειας.....	68
3.3.1 Το κέλυφος του κτιρίου.....	69
3.3.2 Το δομικό σύστημα	69
3.3.3 HVAC (heating, ventilation and air conditioning). Θέρμανση, εξαερισμός, κλιματισμός και συστήματα φωτισμού.	70
3.4. Προτεινόμενο σύστημα ταξινόμησης των έξυπνων υλικών σχετιζόμενων με τις σύγχρονες τεχνολογίες.....	70
3.5. Αναλογία, ανάμεσα στα έξυπνα υλικά και τις τεχνολογίες τους και τα βιολογικά συστήματα.....	72
3.5.1 Έμπνευση από την βιολογική αυτό-θεραπεία –	72
Κράματα μνήμης σχήματος.....	72
3.5.1.1 Παράδειγμα υλικού με ιδιότητες αυτό-θεραπείας.	75
3.5.1.2 Φωτο-καταλυτικά προϊόντα για μείωση τοπικής ρύπανσης	77
Βίο-δυναμικό σκυρόδεμα	77
3.5.2 Έμπνευση από τη βιολογική λειτουργία των ματιών των σκώρων –	80
Φωτο-χρωμικά υλικά	80
3.5.3. Έμπνευση από τη βιολογική λειτουργία σωματικού λίπους - Πιεζοηλεκτρικά υλικά.....	81
3.5.4. Έμπνευση από τη βιολογική λειτουργία εφίδρωσης-.....	83
Θερμοηλεκτρικά υλικά.....	83
B ΜΕΡΟΣ.....	84
3.6 Αφαιρετική διαδικασία προσέγγισης από βιολογικά συστήματα.....	84
3.7 Έμπνευση από βιολογικά συστήματα	85

3.7.1	Στοιχεία αυτοκαθαρισμού (φύλλο λωτού, φτερό πάπιας, κίνηση των ματιών των κουνουπιών από αριστερά προς τα δεξιά)	85
3.7.1.1	Παράδειγμα: Έμπνευση από τα φύλλα του λωτού. Υπερυδροφοβικές νανοεπιστρώσεις.....	86
3.7.2	Μηχανικές ιδιότητες (πόδια της σαύρας Γκέκο, βεντούζες χταποδιών και αναδευτήρας νερού)	87
3.7.2.1	Παράδειγμα: Έμπνευση από τα πόδια της σαύρας gecko, που βοηθούν το ρομπότ "Sticky-bot" να αναρριχηθεί.	87
3.7.3	Δομικό χρώμα (φτερό παγωνιού, φτερά πεταλούδας, σκαθάρι, κοχύλια).....	89
3.7.3.1	Έμπνευση από το δομικό χρώμα: Οι ίνες Bioinspired αλλάζουν.....	89
	χρώμα όταν τεντώνονται	89
3.7.3	Οπτικά χαρακτηριστικά (σύνθετα μάτια σκώρου, φτερά τζιτζικιού, σφουγγάρι)	92
3.7.4.1	Παράδειγμα: Έμπνευση από το μάτι του σκώρου	93
3.8.	Βίο- έμπνευση - Μεταφορά στην κατασκευή	95
3.8.1	Έμπνευση από το ανθρώπινο δέρμα.....	95
3.8.2	Έμπνευση από το δέρμα της ακρίδας	97
3.8.3	Έμπνευση από τον ανθρώπινο ιδρώτα	98
3.8.4	Έμπνευση από το σωματικό λίπος	101
3.8.5	Έμπνευση από τον μηχανισμό ανάπτυξης των φυτών	103
3.8.6	Έμπνευση από τους τερμίτες	104
3.9	Έξυπνες τεχνολογίες και εφαρμογές τους	108
3.9.1.	Χρωμογενετική (Έξυπνα τζάμια)	109
3.9.2	Κινητικές προσόψεις	111
3.9.3	Μεμβράνη αλουμινίου από ETFE (αιθυλένιο τετραφθοροαιθυλένιο).....	113
3.9.4	Ψύξη μέσω εξάτμισης	114
3.9.5	Θερμοδιμεταλλικό δέρμα - Αρχιτεκτονική της αναπνοής.....	118
3.10	Σύνδεση μεταξύ φυσικών λειτουργιών και σχετιζόμενων έξυπνων υλικών και τεχνολογιών.....	123
3.10	Συμπεράσματα	125
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: CASE STUDIES.....		126
4.1	Εισαγωγή	126
4.2	Μελέτες περίπτωσης.....	127
4.2.1	Hydro-Skin (Υδρο-δέρμα) - Meteor sensitive Pavilion.....	127
4.2.2	Η Ομοιοστατική πρόσοψη - Σύστημα αυτόματης σκίασης κτιρίων.....	132
4.2.3	Ηλεκτρονική επιδερμίδα E-skin (Electronical skin)	135
4.2.4	Flectofin	139

4.2.5 Το Παράθυρο αναπνοής: Βιωσιμότητα στο εσωτερικό περιβάλλον	144
4.3 Συγκριτική ανάλυση μελετών περίπτωσης και συμπεράσματα	150
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	154
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	158
ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	158
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	169

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΜΕ ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1. Η πρόσοψη του Esplanade Theatre στη Σιγκαπούρη	0
Εικόνα 2 : Προσέγγιση βιομίμησης.....	23
Εικόνα 3: Η προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω«bottom-up».....	25
Εικόνα 4: Η προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω «top – down».....	25
Εικόνα 5: Το βιονικό αυτοκίνητο της Mercedes-Benz, που μιμείται το «boxfish»	27
Εικόνα 6: Η γέφυρα σιδηροδρόμων στο Forth	29
Εικόνα 7: Spicules σφουγγαριού	29
Εικόνα 8: Το σπίτι στον καταρράκτη	33
Εικόνα 9 : Λεπτομέρεια του θόλου Secession	34
Εικόνα 13 : Εσωτερικό του ναού Σαγράδα Φαμίλια.....	35
Εικόνα 14 : Κολώνες διακλάδωσης του ναού	36
Εικόνα 15: Επικλινείς κολώνες της πρόσοψης του πάθους.....	37
Εικόνα 16: Σχήματα στήλης κόμβου δέντρου	37
Εικόνα 17 : Μωσαϊκά δάπεδα.....	38
Εικόνα 10 : Φωτιστικό - δέντρο.....	39
Εικόνα 11 : Φωτιστικό - Πικραλίδα	39
Εικόνα 12: Φωτιστικό - Αγκινάρα.....	40
Εικόνα 18 : Νότια όψη του Εθνικού Σταδίου του Πεκίνο στην Κίνα.....	40
Εικόνα 19. Κολώνες στη Σαγράδα Φαμίλια του Γκαουντί	43
Εικόνα 20. ICD/ITKE Research Pavillion 2010, Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης	44
Εικόνα 21. Προσομοίωση μοντέλου δομικής ανάλυσης, ICD/ITKE Research Pavillion 2010, Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης	46
Εικόνα 22: ICD/ITKE Ερευνητικό περίπτερο 2014, Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης	47
Εικόνα 23: Πολυλειτουργική κτηριακή μεμβράνη	50
Εικόνα 24 : βιονικός πολυέλαιος, https://www.julianmelchiorri.com/Bionic-Chandelier , ...	51
Εικόνα 25: Μονάδα φύλλου, https://www.julianmelchiorri.com/Bionic-Chandelier , ανακτήθηκε 11/3/2021	52

Εικόνα 26: Η βιβλιοθήκη του Αμερικανικού κολεγίου Century στη Μινεσότα	53
Εικόνα 26: Η βιβλιοθήκη του αμερικανικού κολεγίου Century στη Μινεσότα	61
Εικόνα 27. Η καρτέλα «θερμότητας».....	62
Εικόνα 28 : Ήλεκτρο-φωταυγές ύφασμα “Morphing Dress” του Hussein Chalayan	64
Εικόνα 30: Παράδειγμα ενεργειακά αποδοτικού παραθύρου, ηλιακού τοίχου, συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης με χρήση Υ.Α.Φ., γυψοσανίδα με ενσωματωμένο Υ.Α.Φ	66
Εικόνα 29: Δάπεδο από πιεζοηλεκτρικά πλακίδια με ενσωματωμένες φωτο-διόδους.....	68
Εικόνα 31: Διάγραμμα για εφέ κραμάτων μνήμης σχήματος.....	73
Εικόνα 32: Βίο-σκυρόδεμα, αυτό-θεραπευόμενο σκυρόδεμα.....	75
Εικόνα 33: Φωτοκαταλυτική οξείδωση.....	77
Εικόνα 34: Εγκατάσταση βιοδυναμικών τσιμεντένιων πάνελ στο ιταλικό περίπτερο στο Μιλάνο	78
Εικόνα 35: Εγκατάσταση βιοδυναμικών τσιμεντένιων πάνελ στο ιταλικό περίπτερο στο Μιλάνο	79
Εικόνα 36: Φωτοχρωμικό εφέ.....	80
Εικόνα 39. Υπερευαίσθητος μηχανικός αισθητήρας με βάση ρωγμές εμπνευσμένος από... το αισθητηριακό σύστημα της αράχνης, (Kang,D.,2014:223)	81
Εικόνες 37,38: πιεζοηλεκτρική τεχνολογία σε σκάλα, λεπτομέρεια	83
Εικόνα 40: Βιολογικά χαρακτηριστικά και φωτογραφίες αντίστοιχων δομών σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Lienhard, J.,2009).....	85
Εικόνα 41: Απεικόνιση μιας επιφάνειας φύλλων λωτού στον υπολογιστή	86
Εικόνα 42: Βιολογικά χαρακτηριστικά και φωτογραφίες αντίστοιχων δομών σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Lienhard, J., 2009).....	87
Εικόνα 43: Αναρρίχηση ρομπότ «Sticky – bot».....	87
Εικόνα 44: Βιολογικά χαρακτηριστικά και φωτογραφίες αντίστοιχων δομών σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Lienhard, J., 2009).....	89
Εικόνα 45: Βιο εμπνευσμένες ίνες που αλλάζουν χρώμα	89
Εικόνα 46: Υπερυδροφοβικές επιφάνειες	90
Εικόνα 47: Υλικό που αλλάζει χρώμα ανάλογα με τις ανάγκες	92
Εικόνα 48: Βιολογικά χαρακτηριστικά και φωτογραφίες αντίστοιχων δομών σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Lienhard, J., 2009).....	92
Εικόνα 49: Σκίτσο εγκάρσιας τομής μεμβράνης του προτεινόμενου φωτοβολταϊκού κυττάρου, που απορροφά τις ακτίνες του ήλιου από όλες τις κατευθύνσεις Πηγή: (Gilder και Clements-Croome, 2010).....	94
Εικόνα 50 : Παράγωγή έμπνευση - η δομή των ματιών του σκώρου, μικροσκοπική όψη μιας	94

σηματικής μεμβράνης με εμποτισμούς στην εξωτερική της επιφάνεια. Πηγή: (Clements-Croome,2013).....	94
Εικόνα 51: Κτίριο «Sand crawler» στη Σιγκαπούρη	96
Εικόνα 52: Κτίριο «Sand crawler» στη Σιγκαπούρη	97
Εικόνα 53: memoori, Smart building research.....	98
Εικόνα 54:Το ICSF εγκαταστάθηκε στο χώρο της προτεινόμενης επέκτασης	99
Εικόνα 55: ICSF, πρωτότυπη λειτουργία στο CASE studio, N.Y.....	100
Εικόνα 56 : Ηλιακή σκαλιστή πρόσοψη στο Jeanne Gangs High Line Tower	100
Εικόνα 57: Παράδειγμα έμπνευσης σωματικού λίπους	102
Εικόνα 58: Ευαισθητοποιημένα Ηλιακά Κύτταρα με βαφή.....	104
Εικόνες 59,60: Η φωλιά του είδους τερμιτών <i>Arpicotermes gurgulifex</i>	104
Εικόνα 61: (Mick Pearce 1996) Το κέντρο Eastgate με ροζ χρώμα	106
Εικόνες 62,63: Σχέδιο φυσικού αερισμού του Eastgate Center	107
Εικόνες 64,65: Εναλλάξιμο κράνος μοτοσυκλέτας κατασκευασμένο από την ChromoGenics	109
Εικόνα 66: Νότιος προσανατολισμός ενός τμήματος του ηλεκτροχρωμικού	110
γυαλιού E-Control 8 x 17 m κατασκευασμένο από τη Flabeg και εγκατεστημένο.....	110
Εικόνα 67 : Το περίπτερο «One Ocean» για το EXPO 2012 στη Νότια Κορέα.....	111
Εικόνα 68: Το περίπτερο «One ocean».....	111
Εικόνα 69: Μembrάνη αλουμινίου από ETFE.....	113
Εικόνα 70: Έξυπνο κέλυφος αποτελούμενο από ηλιακά ενεργοποιημένες αποχρώσεις ελασματοποιημένων ETFE που αναπτύχθηκαν για το κτίριο Media-TIC στη Βαρκελώνη ...	114
Εικόνα 71: Αξονομετρικό του υδρο-κεραμικού σε έκρηξη, Ινστιτούτο προηγμένης Αρχιτεκτονικής της Καταλονίας.....	115
Εικόνα 72: Υδρο-κεραμικό έργο της IAAC	116
Εικόνα 73: Ενδοσυνδεδεμένα αρθρωτά τούβλα	117
Εικόνα 74: Εφαρμογή θερμοδιμεταλλικού δέρματος σε κτίριο	118
Εικόνα 75: Θερμοδιμεταλλικό δέρμα - εφαρμογή	119
Εικόνα 76: Ευέλικτη επιδερμίδα	120
Εικόνα 77: Θερμοδιμεταλλικό δέρμα – εφαρμογές	121
Εικόνα 78: Διαχωριστικό από θερμοδιμεταλλικό δέρμα.....	122
Εικόνα 79 Menges A. HygroSkin: Meteorosensitive Pavilion	127
Εικόνα 80. Menges A. HygroSkin: Meteorosensitive Pavilion	129
Εικόνα 81. Η αρθρωτή κατασκευή του περιπτέρου, σε αξονομετρική προβολή.....	130
Εικόνα 82. Yeadon D. Homeostatic facade system	132
Εικόνα 83. Κοραλλιογενής ύφαλος	133

Εικόνα 84: Ελαστομερείς κορδέλες τυλιγμένες πάνω από έναν ευέλικτο πυρήνα πολυμερούς.....	133
Εικόνα 85. Εσωτερική πλευρά του κτιρίου, αριστερά πλήρως ανοιχτή, δεξιά πλήρως κλειστή	134
Εικόνα 86: Ηλεκτρονική επιδερμίδα	135
Εικόνα 87: Διαδραστικό πρωτότυπο eSkin	137
Εικόνα 88. Διαδραστικό Πρωτότυπο eSkin	138
Εικόνα 89. Μια αναλυτική προβολή δείχνει τη διασύνδεση μήτρας κυττάρων του e-Skin και του προσαρμοστικού συγκροτήματος τοίχου	138
Εικόνα 90 . Προσομοίωση της κινητικής δομής σε πεπερασμένα στοιχεία που δείχνει επακόλουθη παραμόρφωση του στοιχείου λόγω κάμψης στη ραχοκοκαλιά και το αντίστοιχο υπολειπόμενο στρες	139
Εικόνα 91. πρωτότυπο του συστήματος σκίασης Flectofin R, σε κλίμακα 1:1 που παράχθηκε με τον βιομηχανικό εταίρο του έργου Clauss Markisen (CM)	139
Εικόνα 92 . Ελαστική παραμόρφωση στο λουλούδι <i>Strelitzia reginae</i>	140
Εικόνα 93 . Αφαίρεση της αρχής παραμόρφωσης στο λουλούδι <i>Strelitzia reginae</i> , που πραγματοποιήθηκε με ένα απλό φυσικό μοντέλο	140
Εικόνες 94. Κινηματική πρόσοψη του θεματικού περιπτέρου EXPO 2012 στο Yeosu, Νότια Κορέα.....	142
Εικόνα 95. Transsolar. One Ocean – Pavilion EXPO 2012, Yeosu, South Korea	143
Εικόνα 96. Ενότητα σχεδίων που δείχνουν την υπάρχουσα ιδέα σχεδιασμού κλίματος για το περίπτερο	144
Εικόνες 97,98: Πρόσοψη της ανθρώπινης μύτης	145
Εικόνα 99. Η δομή του «παραθύρου αναπνοής»	147
Εικόνα 100. Όψη του μεταλλικού πλαισίου του παραθύρου αναπνοής, με κάκτους ψύξης στις θήκες.....	148
Εικόνα 101. Εξάτμιση-ψύξη και φιλτράρισμα ατμοσφαιρικού αέρα	149
Εικόνα 102. Οριζόντια δίοδος φωτός.....	149
Εικόνα 103. Η ένταση της θερμότητας και του φωτός πριν και μετά τη χρήση του «παραθύρου αναπνοής»	150

ΛΙΣΤΑ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1. Παρουσίαση της εξέλιξης της έννοιας της βιο-μίμησης σε διαφορετικές περιόδους (Δίκου, Χ., 2021)	54
Πίνακας 2. Τα χαρακτηριστικά των υλικών με την ικανότητα να αλλάζουν ιδιότητες	60
Πίνακας 3. Τα χαρακτηριστικά των υλικών ανταλλαγής ενέργειας	63
Πίνακας 4. Τα χαρακτηριστικά των υλικών αντιστρεψιμότητας ενέργειας	67
Πίνακας 5. Σχέση μεταξύ «έξυπνων» υλικών και τεχνολογιών	71
Πίνακας 6. Διάφορες χρήσιμες διασταυρώσεις από τη Φύση	124
Πίνακας 7. Ανάλυση μελετών περίπτωσης	151

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ

(CaCO ₃) ανθρακικό ασβέστιο
(CaNO ₃) ανθρακικό νάτριο
CAD Computer aided design
CAM Computer aided manufacturing
ChLCs Cholesteric liquid crystals υγροί κρύσταλλοι
ETFE Ethylene Tetrafluoroethylene
FSMA (ferromagnetic shape memory alloys)
(FSMAs) Σιδηρομαγνητικά κράματα μνήμης σχήματος
GFRP (Glass fiber reinforced plastic) Πλαστικό ενισχυμένο με ίνες γυαλιού
HVAC Heating, ventilation and air conditioning
IAAC Institute for advanced architecture of Catalonia
ICSF Integrated Concentrating Solar Façade
ITKE Institute of Building Structures and Structural Design
LED Light Emitting Diodes
MSM (Magnetic Shape Memory) Μαγνητικά Υλικά Μνήμης Σχήματος
MSMAS (μαγνητικά κράματα μνήμης σχήματος)
NANO Δηλώνει συντελεστή 0,000000001. Συχνά συναντάται στην επιστήμη και στην ηλεκτρονική για πρόθεμα μονάδων χρόνου και μήκους
NaNO ₃ νιτρικό νάτριο
Ni-Mn-Ga κράμα μνήμης σχήματος μονού κρυστάλλου

Nitinol (NiTi) κράμα Νικελίου-Τιτανίου

NO_x μονοξείδιο του αζώτου

(OLED) οργανικές δίοδοι εκπομπής φωτός

PCMs (Phase Change Materials) υλικά αλλαγής φάσης (Υ.Α.Φ.)

PCM glazing Υαλοπίνακες με υλικά αλλαγής φάσης

PDLCs Phase dispersed liquid crystals υγροί κρύσταλλοι διασκορπισμένης φάσης

PZT πιεζοηλεκτρικά υλικά

SCM (shape change material)

SEM (ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης) τύπος μικροσκοπίου ηλεκτρονίων που παράγει εικόνες ενός δείγματος με σάρωση της επιφάνειας με μια εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων

SMA (shape memory alloys)

SMMS (Shape Memory Materials)

SMP υλικά (shape memory polymers)

SMPS πολυμερή μνήμης σχήματος

SPDs Suspended particle devices Συσκευές αιωρούμενων σωματιδίων

SRMS (stimulus-responsive materials)

Terfenol-D κράμα του τύπου $Tb_x Dy_{1-x} Fe_2$, ονομάστηκε από το τερβίδιο και το σίδηρο.

TiO₂ Διοξείδιο του τιτανίου

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (Αγγλικά: Association of German Engineers).

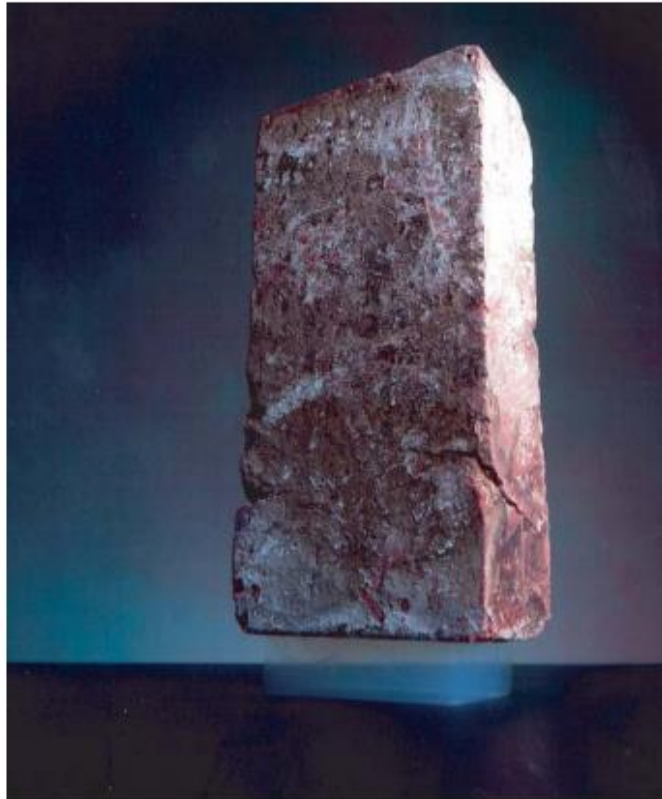
UV Ultraviolet υπεριώδης ακτινοβολία

VO₂ Διοξείδιο Βαναδίου

VOC Πτητικές οργανικές ενώσεις (Π.Ο.Ε.)

ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΟΡΩΝ

ΑΕΡΟΓΕΛΗ

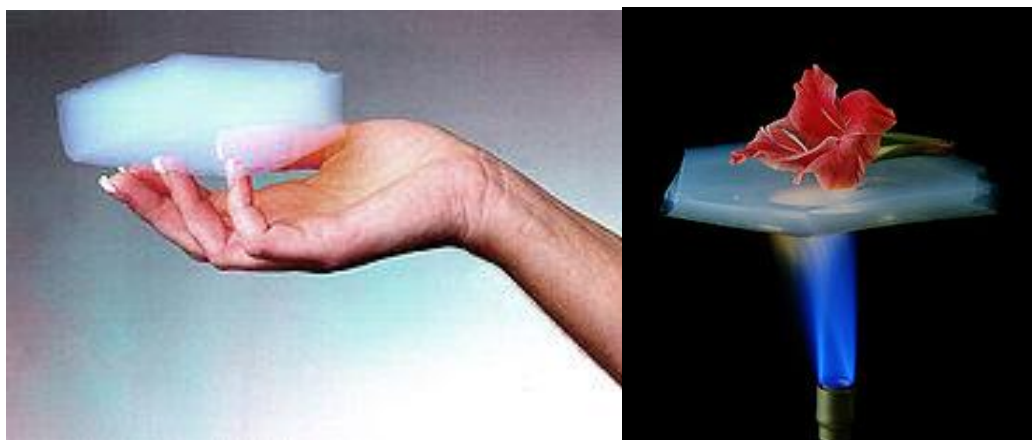


Η αερογέλη έχει πυκνότητα τρεις φορές μεγαλύτερη του αέρα, αλλά μπορεί να υποστηρίξει σημαντικά βάρη και είναι ένας υπέροχος μονωτής. Η αερογέλη ανακαλύφθηκε το 1931 αλλά εξερευνήθηκε μετά το 1970 (NASA).

Όπως αναφέρει ο Addington (2004), η δημιουργία σύνθετων προσόψεων στις αρχιτεκτονικές κατασκευές, οδήγησε στην αναζήτηση ενός «υπέρ-υλικού» που μπορεί να συνδυάσει τις πολλές διαφορετικές λειτουργίες που απαιτούνται από αυτές τις κατασκευές.

Η αερογέλη (Aerogel), έχει αναδειχθεί ως ένα από τα νέα ονειρικά υλικά για αρχιτέκτονες: μονώνει καλά (χαμηλή θερμική αγωγιμότητα) αλλά εξακολουθεί να μεταδίδει φως, είναι εξαιρετικά ελαφρύ αλλά μπορεί να διατηρήσει το σχήμα του. Πολλοί εθνικοί ενεργειακοί οργανισμοί βασίζονται στην αερογέλη ως σημαντικό υλικό για τις μελλοντικές στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια, παρά το απαγορευτικό κόστος, τη μικρο-δομική ευθραυστότητα και τον προβληματισμό της

υψηλής μονωτικής της αξίας, η οποία αποτελεί πλεονέκτημα μόνο για μία εποχή του έτους ενώ μπορεί να είναι αρκετά επιβλαβής σε άλλες εποχές.



(Αριστερά) Ένα μπλοκ αερογέλης στο χέρι.

(Δεξιά) Ένα λουλούδι βρίσκεται σε ένα κομμάτι αερογέλης που αναρτάται πάνω από μια φλόγα από έναν [καυστήρα Bunsen](https://en.wikipedia.org/wiki/Bunsen). Η Airgel έχει εξαιρετικές μονωτικές ιδιότητες και το λουλούδι προστατεύεται από τη φλόγα. <https://en.wikipedia.org/wiki/Aerogel>

ΥΔΡΟΓΕΛΗ

Η υδρογέλη είναι ένα δίκτυο διασταυρωμένων πολυμερών αλυσίδων που είναι υδρόφιλες, μερικές φορές βρίσκονται ως κολλοειδές πήκτωμα στο οποίο το νερό είναι το μέσο διασποράς. Ένα τρισδιάστατο στερεό προκύπτει από τις υδρόφιλες πολυμερείς αλυσίδες που συγκρατούνται μεταξύ τους με διασταυρούμενους δεσμούς.



Υδρογέλη, Wikipedia

<https://www.google.com/search?q=hydrogel&oq=HYDROGEL&aqs=chrome.0.69i59j0i67j0l3j0i20i263l2j0l3.9624j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

VOC Πτητικές οργανικές ενώσεις (Π.Ο.Ε.)

Οποιαδήποτε ένωση άνθρακα, εξαιρουμένου του μονοξειδίου του άνθρακα, του διοξειδίου του άνθρακα, του ανθρακικού οξέος, των μεταλλικών καρβιδίων ή ανθρακικών και του ανθρακικού αμμωνίου, η οποία συμμετέχει σε ατμοσφαιρικές φωτοχημικές αντιδράσεις. Οι ΠΟΕ περιλαμβάνουν μια ποικιλία χημικών ουσιών, μερικές από τις οποίες μπορεί να έχουν βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Οι συγκεντρώσεις πολλών ΠΟΕ είναι σταθερά υψηλότερες σε εσωτερικούς χώρους (έως και δέκα φορές υψηλότερες) από ό, τι σε εξωτερικούς χώρους. Αναπνοή VOCs μπορεί να ερεθίσει τα μάτια, τη μύτη και το λαιμό, μπορεί να προκαλέσει δυσκολία στην αναπνοή και ναυτία, και μπορεί να βλάψει το κεντρικό νευρικό σύστημα, καθώς και άλλα όργανα. Ορισμένες ΠΟΕ μπορεί να προκαλέσουν καρκίνο.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure)

(Αγγλικά: Association of German Engineers). Οργανισμός με περισσότερους από 150.000 μηχανικούς και φυσικούς επιστήμονες. Περισσότεροι από 12.000 επίτιμοι ειδικοί επεξεργάζονται τα τελευταία ευρήματα κάθε χρόνο για να προωθήσουν την τοποθεσία της τεχνολογίας. Ιδρύθηκε το 1856, το VDI είναι σήμερα ο μεγαλύτερος σύλλογος μηχανικών στη Δυτική Ευρώπη. Ο ρόλος του VDI στη Γερμανία είναι συγκρίσιμος με εκείνον της Αμερικανικής Εταιρείας Πολιτικών Μηχανικών (ASCE) στις Ηνωμένες Πολιτείες ή του Engineers Australia (EA) στην Αυστραλία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τον Pawlyn, M., 2011, στο σύγγραμμά του η βίο-μιμητική στην Αρχιτεκτονική, «η βίο-μιμητική είναι η προσομοίωση στρατηγικών που θεωρούνται στον ζωντανό κόσμο ως βάση για το σχεδιασμό και την καινοτομία, και έχει δυνατότητες να συμβάλει στη δημιουργία πιο βιώσιμης αρχιτεκτονικής και αστικού περιβάλλοντος. Είναι η προσομοίωση ενός οργανισμού, μιας συμπεριφοράς του οργανισμού ή ενός ολόκληρου οικοσυστήματος, ως προς τη μορφή, το υλικό του, τη μέθοδο κατασκευής, τις στρατηγικές διεργασίας ή τη λειτουργία του».

Η μίμηση ζωντανών οργανισμών ή οικοσυστημάτων περιλαμβάνει μια διαδικασία μετάφρασης σε λύσεις που να είναι κατάλληλες για το ανθρώπινο πλαίσιο. Η διερεύνηση του ανθρώπινου σώματος αλλά και των έμβιων όντων οδήγησε στο σχεδιασμό μοντέλων που δημιουργούν νέους τρόπους να σκεφτόμαστε θέματα προσαρμογής, αλλαγής και απόδοσης στην αρχιτεκτονική. Παράλληλα, τα υλικά Smart και Nano μπορούν να λειτουργήσουν όπως τα ζωντανά συστήματα, προσομοιώνοντας το ανθρώπινο δέρμα, τους μυς του σώματος, τη χλωροφύλλη ενός φύλλου και την αυτό-αναγέννηση.

1.1 Ορισμός του προβλήματος

Παραφράζοντας τον Γάλλο μαθηματικό και φιλόσοφο, Descartes, με τη ρήση του «σκέφτομαι άρα υπάρχω», ο βιολόγος ερευνητής Julian Francis Vincent Vincent, έγραψε εύστοχα: «Σαπίζω, επομένως υπήρξα, άρα και θα υπάρχω» (Vincent, JFV., 2014:11).

Αυτό σημαίνει ότι, τα βιολογικά υλικά κατασκευάζονται από ό,τι υπάρχει. Κατά αυτόν τον τρόπο, όχι μόνο οι πόροι είναι φτηνοί, αλλά και τα υλικά μπορούν να επιστραφούν στο έδαφος από το οποίο ελήφθησαν, όπως ακριβώς είμαστε φτιαγμένοι κι εμείς. Έτσι, οι οργανισμοί που ζουν με βιώσιμο τρόπο, βασίζονται σε πληροφορίες και δομικό σύστημα που καθοδηγεί την επιλογή των υλικών και τον τρόπο που χρησιμοποιούνται. Σε μοριακό επίπεδο μεταφοράς πληροφοριών, ο γενετικός κώδικας είναι η κληρονομική σοφία επιβίωσης και προσαρμογής

εκατομμυρίων γενεών. Η σοφία του, φτιάχνει δομές από το περιβάλλον χρησιμοποιώντας τους λιγότερους πόρους. Τα βιολογικά υλικά είναι ελαφριά και ανθεκτικά. Έτσι, «ενώ ο κανόνας με το οποίο ο Άνθρωπος εφαρμόζει την τεχνολογία είναι : τα υλικά είναι φθηνά, ο σχεδιασμός είναι ακριβός, οι οργανισμοί λειτουργούν σύμφωνα με τον αντίστροφο κανόνα: τα υλικά είναι ακριβά, ο σχεδιασμός είναι οικονομικός» (Vincent , JFV., 2014).

Στις μέρες μας, ο κόσμος αντιμετωπίζει δύο σοβαρά προβλήματα: το ενεργειακό πρόβλημα και την εξάντληση των φυσικών πόρων. Οι τρέχουσες λύσεις για τη διαχείριση των περιβαλλοντικών αλλαγών έχουν προκαλέσει μεγάλη σπατάλη ενέργειας για τη θέρμανση, την ψύξη, τον αερισμό και τον φωτισμό των κτιρίων μας. Ο κατασκευαστικός τομέας σύμφωνα με τους Parker, A.R. και Lawrence, C.R., στο περιοδικό «nature», είναι υπεύθυνος για το 25-33% των εκπομπών μαύρου άνθρακα (αιθάλη), ενώ χρησιμοποιεί το 23% της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας και το 30% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας (Parker, A.R., Lawrence, C.R., 2001).

Παραδοσιακά, το κέλυφος του κτιρίου θεωρήθηκε ως θερμικό φράγμα που πρέπει να είναι μονωμένο για να αποτρέπει την απώλεια θερμότητας ή να σκιάζεται για τον έλεγχο του ηλιακού κέρδους. Αυτή η προσέγγιση περιορίζει αποτελεσματικότερες λύσεις, στις οποίες το κέλυφος του κτιρίου δεν θεωρείται εμπόδιο αλλά μέσο. Αποτελεί διαπίστωση των ερευνητών ότι, οι συμβατικές λύσεις για κελύφη δεν έχουν σχεδιαστεί για βέλτιστη προσαρμογή σε κλιματικές αλλαγές. Σε αντίθεση όμως με τα κτίριά μας, τα οποία παραμένουν αδρανή, τα ζωντανά αντικείμενα ανταποκρίνονται στο περιβάλλον και είναι σε θέση να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες.

Συνεπώς, γίνεται όλο και πιο ξεκάθαρο ότι πρέπει να γίνει μια αλλαγή στην προσέγγιση αυτού του ενεργειακού προβλήματος. Αν μπορούσαμε σύμφωνα με τα λεγόμενα του βιολόγου ερευνητή Vincent, JFV., να ενσωματώσουμε αυτή τη διαφορετική στάση απέναντι στην τεχνολογία αλλάζοντας τον τρόπο που κάνουμε τα πράγματα, μπορεί να βρεθούμε σε ένα δρόμο προς την επιβίωση για μια καλύτερη ζωή. Αλλά για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, πρέπει να εμβαθύνουμε στην κατανόησή μας για το πώς λειτουργούν τα βιολογικά συστήματα. Με τη μελέτη της

φύσης και τη μεταφορά των αρχών της στον σχεδιασμό, μπορούμε να δημιουργήσουμε οικοσυστήματα που να είναι αυτοσυντηρούμενα. Αν αυτή η γνώση αναπτυχθεί θα οδηγήσει τον κόσμο μας σε ένα βιώσιμο οικοσύστημα, το οποίο μπορεί να είναι πολύ συναρπαστικό για τις μελλοντικές γενιές.

Την τελευταία δεκαετία, μία πλειάδα ερευνητών, έχει ενσωματώσει την βιο-έμπνευση και τις έξυπνες τεχνολογίες στο σύγχρονο βιώσιμο σχεδιασμό, όπως ο Achim Menges, Αρχιτέκτονας και διευθυντής του Ινστιτούτου σχεδιασμού Υπολογιστών στο πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης, η Jenny E. Sabin από το πανεπιστήμιο Cornell , ο Julian Leinhart, ο Derek Clement-Croome, πρόεδρος της ομάδας έξυπνων κτιρίων για το «Chartered Institution of Building Services Engineers» με ερευνητική δουλειά στην ανάπτυξη έξυπνων υλικών και Αρχιτεκτονικών κατασκευών εμπνευσμένων από τη φύση, η Doris Kin Sung , από το πανεπιστήμιο Κολούμπια της Νέας Υόρκης ο Simon Schleicher, από το πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης, ο Marco Casini ερευνητής στο Πανεπιστήμιο Sapienza στη Ρώμη, μηχανικός περιβάλλοντος και διακεκριμένος ακαδημαϊκός στον τομέα των έξυπνων κτιρίων, η Doaa Ismail Attia, λέκτορας εσωτερικής Αρχιτεκτονικής του τομέα εφαρμοσμένων τεχνών του πανεπιστημίου Benha, ο Julian Francis Vincent Vincent, καθηγητής Βιομηχανικής και Διευθυντής του Κέντρου Βιομηχανικής και Φυσικών Τεχνολογιών στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών στο Πανεπιστήμιο Heriot-Watt και πολλοί άλλοι, εξάγοντας εντυπωσιακά αποτελέσματα.

1.2 Ερευνητικά ερωτήματα:

1. Είναι δυνατόν να δημιουργηθούν καινοτόμες σχεδιαστικές ιδέες για την κατασκευή του κτιριακού περιβάλλοντος που να ρυθμίζουν περιβαλλοντικές πτυχές, βάσει στρατηγικών προσαρμογής από βιολογικά συστήματα;
2. Μπορούν τα «έξυπνα» υλικά και οι τεχνολογίες τους μέσω της μίμησης βιολογικών λειτουργιών να συνδράμουν προς την κατεύθυνση της ενεργειακής βελτιστοποίησης των σύγχρονων και των μελλοντικών κατασκευών;

1.3 Στόχοι της έρευνας

Οι στόχοι, για τους οποίους πραγματοποιείται η έρευνα σε αυτή τη διπλωματική εργασία, είναι:

- να αναζητήσουμε στρατηγικές δημιουργικού σχεδιασμού μέσω των οποίων γίνεται η μεταφορά προτύπων από τη φύση, έτσι ώστε η οποιαδήποτε κατασκευή μικρής ή και μεγαλύτερης κλίμακας να συμπεριφέρεται σαν ζωντανός οργανισμός και όχι μόνο να μοιάζει.
- να κατανοήσουμε τη συνάφεια μεταξύ των βίο-μιμητικών εξελίξεων στην αρχιτεκτονική, τη μηχανική και το design και της δυναμικής που εμπεριέχεται στις εξελίξεις αυτές για τη δημιουργία κατασκευών με μειωμένο αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον.
- να καταστήσουμε σαφές ότι η ανάπτυξη τέτοιων ερευνητικών γραμμών, τέμνει πολύ-επιστημονικές μεθοδολογίες που υπερβαίνουν το αρχιτεκτονικό έργο και το «design» και περιλαμβάνουν κλάδους όπως η επιστήμη των υλικών, η χημεία, η νάνο-τεχνολογία, η βιολογία και οι Η/Υ.
- να ενθαρρύνουμε τη λειτουργική ανάλυση «έξυπνων»-διαδραστικών δομικών υλικών, που θα επέτρεπαν στο κτιριακό περίβλημα να συμπεριφέρεται όπως το δέρμα ζωντανών οργανισμών.

1.4 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σε αυτή τη διπλωματική είναι η διερεύνηση του προβλήματος μέσα από αναλυτική βιβλιογραφική έρευνα και άλλα τεκμήρια καθώς και η συγκριτική ανάλυση διαφόρων μελετών περίπτωσης προκειμένου να αξιολογηθεί η εφαρμογή μιας τέτοιας προσέγγισης στον σύγχρονο και μελλοντικό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και το design.

1.5 Σκοπός της διπλωματικής

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής αφορά στην ανάδειξη των καινοτόμων ιδεών και κατασκευών μέσα από το επιστημονικό πεδίο της βίο-έμπνευσης. Αφενός λοιπόν εμπλέκεται ο χώρος των ιδεών, δια μέσου ιδεών που διαμορφώνουν καινούργιες στρατηγικές στο σχεδιασμό και αφετέρου η μεταφορά στην κατασκευή μέσα από τη χρήση «έξυπνων» - διαδραστικών υλικών. Τέλος, η διατύπωση μίας συνθετικής σκέψης για το σήμερα και τις μελλοντικές κατασκευές αναφορικά με τη συμβολή αυτών των καινοτομιών στο ενεργειακό πρόβλημα.

1.6 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Το περιεχόμενο της παρούσης μελέτης περιλαμβάνει πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται η παρουσίαση των στόχων, της μεθοδολογίας και της δομής της διπλωματικής εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο, ορίζεται η έννοια της βίο-μίμησης και γίνεται εκτενής ιστορική ανασκόπηση. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται προηγμένα «έξυπνα» υλικά στην αρχιτεκτονική και το design, καθώς και η αναλογία μεταξύ της κατασκευής και των βιολογικών συστημάτων. Πιο αναλυτικά, στο πρώτο μέρος του 3ου κεφαλαίου, γίνεται μια επιλογή διαφορετικών τύπων έξυπνων υλικών, συζητούνται τα χαρακτηριστικά τους και τα πεδία εφαρμογών τους στις κατασκευές και παρουσιάζεται μία ταξινόμηση αυτών, σε σχέση με τις σύγχρονες τεχνολογίες. Στη συνέχεια, γίνεται ένας παραλληλισμός ανάμεσα σε κάποια έξυπνα υλικά και σε βιολογικά συστήματα, δείχνοντας τη δυνατότητα αυτών των υλικών-τεχνολογιών να μιμούνται φυσικές λειτουργίες. Στο δεύτερο μέρος του τρίτου κεφαλαίου, γίνεται μία αναφορά της αφαιρετικής διαδικασίας προσέγγισης από βιολογικά συστήματα. Στη συνέχεια συζητείται μια ομάδα παραδειγμάτων βίο-έμπνευσης, δείχνοντας τη μεταφορά του λειτουργικού συστήματος αυτών στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Σε αυτό το πλαίσιο, οι μελέτες παρουσιάζονται σε έναν πίνακα, συνοψίζοντας ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της φύσης που σχετίζονται με τον ανθρωπογενή κόσμο και συνδέουν εφαρμογές μέσω διαδικασιών και λειτουργιών που εμφανίζονται στη φύση. Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρατίθενται πέντε μελέτες περίπτωσης και γίνεται

συγκριτική ανάλυση. Τέλος στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρατίθενται τα συμπεράσματα της έρευνας.

Η συνοπτική παρουσίαση των κεφαλαίων είναι η εξής:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η έννοια της βίο-μίμησης, ιστορική ανασκόπηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

«Έξυπνα» υλικά στην Αρχιτεκτονική και το design.

Αναλογία ανάμεσα στην κατασκευή και τα βιολογικά συστήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μελέτες περίπτωσης.

Συγκριτική ανάλυση μελετών περίπτωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΙΜΗΣΗΣ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια της ζωής του, ο άνθρωπος πάντα παρατηρούσε τη φύση και εκεί αναζητούσε λύσεις στα προβλήματά του. Ο άνθρωπος έχει παρατηρήσει ότι η βιοποικιλότητα και οι υπηρεσίες του οικοσυστήματος είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της ζωής στη γη και ότι οι φυσικοί οργανισμοί αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον εδώ και εκατομμύρια χρόνια και σχεδιάζουν πολύ αποδοτικά βιολογικά συστήματα προκειμένου να προσαρμοστούν στις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα προσπαθήσουμε να αποσαφηνίσουμε ορισμένους χρήσιμους ορισμούς, σχετικά με την έρευνα που αφορά στη βίο-μίμηση και τη βίο-έμπνευση, τη φιλοσοφία και τις αρχές της, καθώς και να κάνουμε μία ιστορική ανασκόπηση και προσέγγιση της βίο-μίμησης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

2.2. Ορισμός της βίο-μίμησης - αποσαφήνιση των όρων

Η λέξη βίο-μίμηση προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις βίος, δηλαδή ζωή, και μίμηση. Ο όρος βίο-μιμητισμός διαδόθηκε από τη βιολόγο Janine Benyus στο βιβλίο της «Βιομίμηση: Καινοτομία που εμπνέεται από τη φύση», το 1997 και ορίζει τη βιομίμηση ως *«μία νέα επιστήμη που μελετά τα μοντέλα της φύσης και στη συνέχεια μιμείται ή εμπνέεται από αυτά τα σχέδια και τις διαδικασίες για την επίλυση ανθρώπινων προβλημάτων»*. Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Biomimicry, του οποίου είναι πρόεδρος, *«η Βίο-μίμηση, είναι μια προσέγγιση στην καινοτομία, που αναζητά βιώσιμες λύσεις για τις ανθρώπινες προκλήσεις, μιμούμενη τα δοκιμασμένα πρότυπα και τις στρατηγικές της φύσης. Ο στόχος είναι να δημιουργηθούν προϊόντα, διαδικασίες και νέοι τρόποι διαβίωσης, που να είναι βιώσιμοι σε βάθος χρόνου»*.

Ωστόσο, η λέξη βίο-μίμηση, είναι μια λέξη όσον αφορά στην ετυμολογία της, παραπλανητική. Η βίο-μιμητική δεν αφορά μόνο το αντίγραφο ενός βιολογικού

μοντέλου αλλά αντιθέτως τονίζει την καινοτόμο δυναμική που αναδύεται από μία δημιουργική διαδικασία που μεταφέρει ιδέες σε πολλούς τομείς. Για την καλύτερη κατανόηση αυτού του πνεύματος, χρησιμοποιείται συχνά η λέξη βίο-μίμηση σε συνδυασμό με εναλλακτικές λέξεις όπως «βίο-έμπνευση». Σε άλλες γλώσσες που συχνά συνδυάζουν τη λέξη βιολογία με τη λέξη τεχνολογία, όπως για παράδειγμα το γαλλικό «Bionique» ή το γερμανικό «Bionik», η διεπιστημονική ατζέντα της βιο-μιμητικής γίνεται ακόμη πιο ξεκάθαρη.

Έτσι, η βίο-μίμηση, είναι η επιστήμη που μελετά τη φύση και αντλεί έμπνευση από τα μοντέλα και τις μεθόδους της για την επίλυση προβλημάτων που δημιουργούνται από τον άνθρωπο. Αυτή η προσέγγιση δεν είναι νέα, αλλά μόλις πρόσφατα οι ερευνητές έχουν εμβαθύνει στο ζήτημα της βίο-μίμησης (Ford, A. 2019).

Πράγματι, η βίο-μίμηση είναι η συνειδητή προσομοίωση της ιδιοφυΐας της φύσης. Είναι μία διεπιστημονική προσέγγιση που ενώνει δύο συχνά αποσυνδεδεμένους κόσμους: τη φύση και την τεχνολογία, τη βιολογία και την καινοτομία, τη ζωή και τον σχεδιασμό (Εικ.2). Η βίο-μίμηση, στοχεύει να φέρει τη σοφία της ζωής στο σχεδιασμό, ώστε να έχουμε λύσεις οι οποίες να δημιουργούν συνθήκες που να ευνοούν τη ζωή. Η βίο-μίμηση, είναι ένας τρόπος εξεύρεσης βιώσιμων λύσεων, συνταγών και οίκο-συστημικών στρατηγικών.



Εικόνα 2 : Προσέγγιση βιομίμησης.

<https://cutt.ly/ajgXVvf>, ανακτήθηκε 5/12/2020

Biomimetisme Design Lens, un guide visual Française, (2017), Biomimicry 3.8.

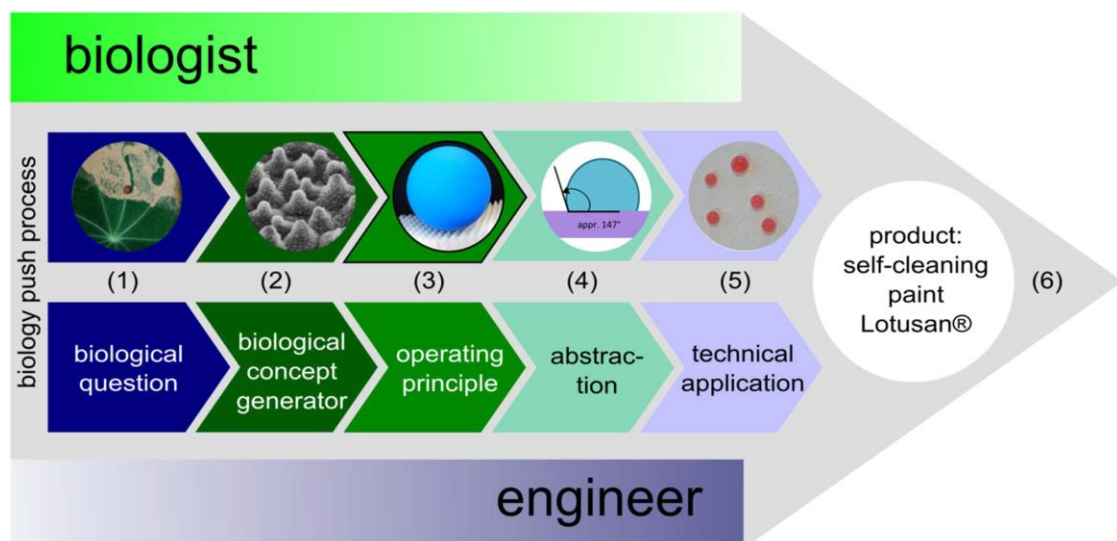
Το 2012, οι ειδικοί δημοσίευσαν το VDI-Guideline 6220 σχετικά με την έννοια και τη στρατηγική της βίο-μιμητικής και τις διαφορές μεταξύ βίο-μιμητικής και συμβατικών μεθόδων και παρείχαν τον ακόλουθο ορισμό: «Η βίο-μιμητική συνδυάζει τους κλάδους της βιολογίας και της τεχνολογίας με στόχο την επίλυση τεχνικών προβλημάτων μέσω της αφαίρεσης, της μεταφοράς και εφαρμογής των γνώσεων που αποκτήθηκαν από βιολογικά μοντέλα. Τα βιολογικά μοντέλα με την έννοια αυτού του ορισμού είναι βιολογικές διεργασίες, υλικά, δομές, λειτουργίες, οργανισμοί, και αρχές επιτυχίας καθώς και η διαδικασία της ίδιας της εξέλιξης» (VDI Guideline 6220, 2012: 8, cited in Schleicher, S.,2016: 66).

Αυτός ο ορισμός θα μπορούσε να ισχύει επίσης και για τη «βιοτεχνολογία», επομένως πρέπει να ολοκληρωθεί με τη διαπίστωση ότι, στη βίο-μιμητική, οι ζωντανοί οργανισμοί εμπλέκονται αποκλειστικά έμμεσα (δηλαδή ως γεννήτορες της ιδέας) στην παραγωγή βίο-μιμητικών προϊόντων και στην ανάπτυξη της βίο-μιμητικής μηχανικής διαδικασίας.

Video: «Τί είναι η βίο-μιμητική; » <https://youtu.be/FBUpnG1G4yQ>

2.3 Μέθοδοι διαφορετικών βίο-μιμητικών αναζητήσεων.

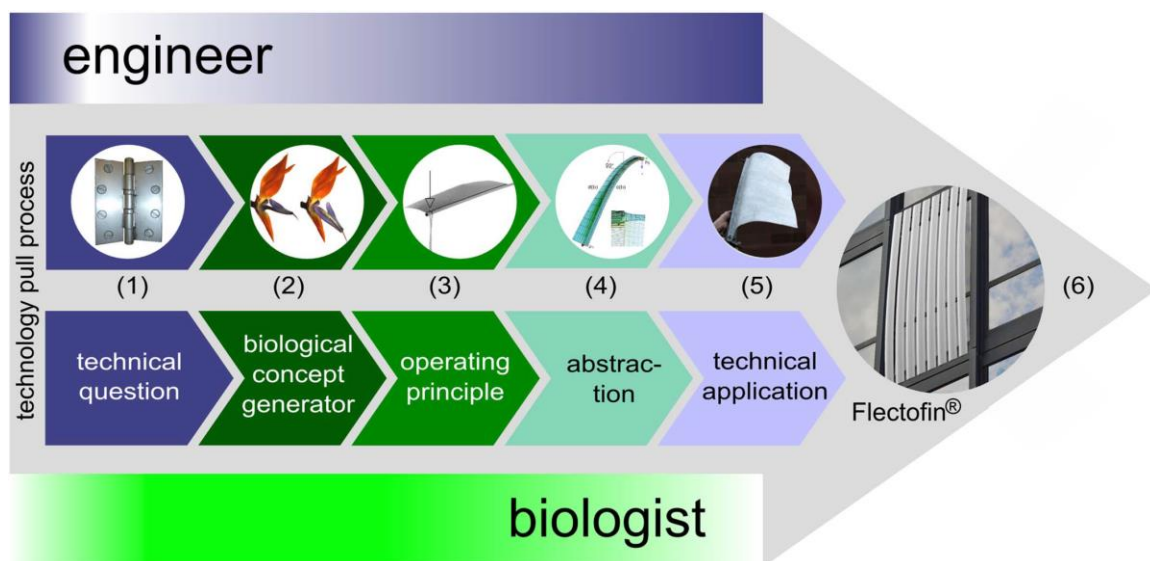
Δύο βίο-μιμητικές προσεγγίσεις είναι καθιερωμένες, που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το σημείο εκκίνησης για ανάπτυξη: η εκκίνηση με ένα ερώτημα από τη βιολογία, που συνιστά προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω, «bottom-up».



Εικόνα 3: Η προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω «bottom-up» ,(βιολογική διαδικασία έλξης) του αυτοκαθαριζόμενου χρώματος Lotusan®. (1) Ποια είναι η βάση των αυτοκαθαριζόμενων επιπτώσεων των επιφανειών των φυτών γενικά και των φύλλων λωτού (*Nelumbo nucifera*) ειδικότερα; (2) SEM εικόνα που δείχνει μια μικρο- και νανοτραχεία επιφάνεια φυτού (Η φωτογραφία είναι προσφορά του C. Neinhuis, TUDresden). (3) η αρχή λειτουργίας είναι η ελάχιστη περιοχή επαφής μεταξύ σωματιδίων ρύπων και της επιφάνειας με βάση μια ιεραρχικά μικρο- και νανοδομημένη και υδατοαπωθητική επιφάνεια σε συνδυασμό με σταγονίδια νερού (4) οι επιφάνειες λωτού δείχνουν γωνίες επαφής περίπου 147 °. (5) τεχνικές εφαρμογές με αυτή την αρχή λειτουργίας φέρουν το εμπορικό σήμα Lotus-Effect®. (6) το αυτοκαθαριζόμενο χρώμα πρόσοψης Lotusan® κυκλοφορεί στην αγορά από το 1999. (Poppinga, S., et al, 2012, cited in Speck, O. et al, 2017).

Αυτή η προσέγγιση έχει ως έναυσμα την έρευνα του βιολόγου. Καθώς ξεκινά από το βιολογικό πρότυπο, θεωρείται ότι μπορεί να υποστηρίξει πολύ περισσότερες εφαρμογές. Ωστόσο, από την ανάλυση της βιολογικής λειτουργίας ως τη βιομηχανική παραγωγή του προϊόντος, έχουμε μια σειρά διαδικασιών που διαρκεί από τρία έως επτά χρόνια (Ραΐτσου, Π.,2020:39).

Αντίθετα, η «top – down» λογική, ξεκινά από την αναζήτηση του μηχανικού για βελτιστοποίηση του προϊόντος και για επίλυση ενός συγκεκριμένου ζητήματος.



Εικόνα 4: Η προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω «top – down» (τεχνολογική διαδικασία έλξης) του αυτοπροσαρμοζόμενου συστήματος σκίασης προσόψεων Flectofin® (1) Είναι δυνατόν να δημιουργηθεί κινηματική συστημάτων με δυνατότητα ανάπτυξης χωρίς αρμούς για αρχιτεκτονικούς σκοπούς; (2) το βιολογικό μοντέλο ήταν η ελαστική παραμόρφωση του λουλουδιού «πουλί του παραδείσου» (3) η λειτουργική αρχή είναι μια πλευρική στρέψη λυγισμού (4) η κινηματική δομή προσομοιώνεται με μοντελοποίηση πεπερασμένων στοιχείων. (5) οι τεχνικές εφαρμογές αποτελούνται από ένα ή δύο ελάσματα και έναν σκελετό (6) κλειστή κατάσταση των Flectofin® lamellae. (Poppinga, S., et al, 2012, cited in Speck, O. et al, 2017).

Καθώς η έρευνα γίνεται πιο στοχευμένα, διαρκεί λιγότερο, σε ένα εύρος από έξι έως δεκαοκτώ μήνες. Δεν θεωρείται, όμως, ότι μπορεί να απαντήσει σε περισσότερες τεχνικές εφαρμογές από αυτή πάνω στην οποία γίνεται η έρευνα. Η διευρυμένη «top down» προσέγγιση, προσθέτει σε αυτό κύκλους επανάληψης των διαδικασιών με σκοπό την ολοκληρωμένη ανάλυση των βιολογικών παραδειγμάτων και την εύρεση του βέλτιστου δυνατού προτύπου, πράγμα που την καθιστά πιο χρονοβόρα από την απλή «top- down» λογική -από ένα έως πέντε έτη- και εξίσου περιοριστική στις εφαρμογές που μπορεί να λάβει (Ραΐτσου, Π.,2020:39).

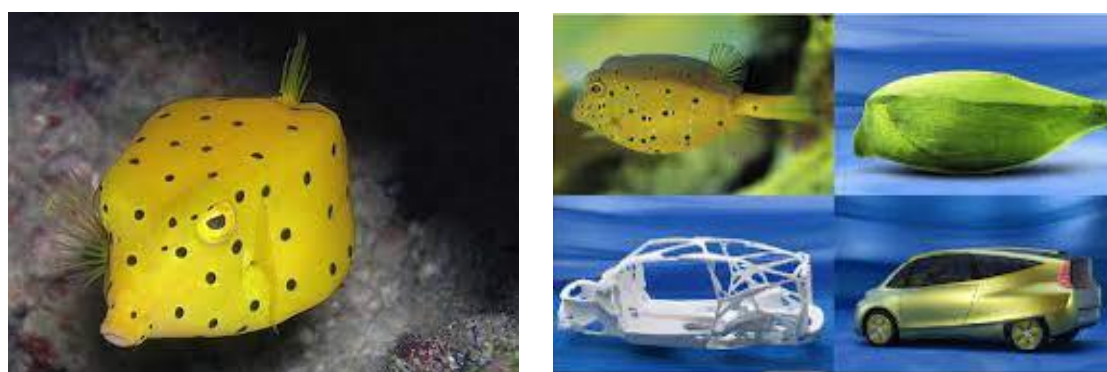
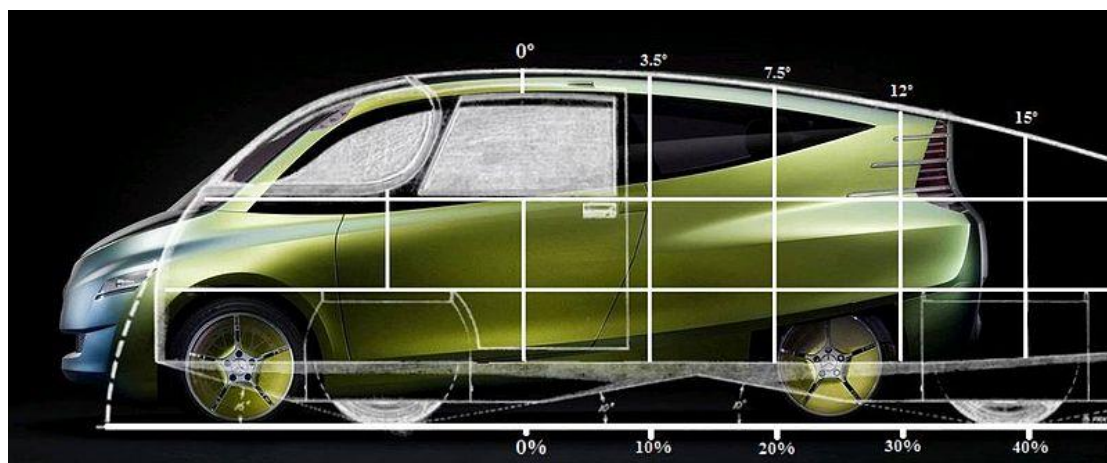
Και οι δύο προσεγγίσεις οδηγούν σε μία «βιομιμητική ανάπτυξη», δηλαδή μια τεχνική εφαρμογή που αναπτύσσεται με βάση τη μεταφορά γνώσεων (λειτουργικές αρχές, διαδικασίες κατασκευής) που αποκτήθηκαν από έναν ή περισσότερους βιολογικούς γεννήτορες της ιδέας (VDI Guideline 6220, 2012, cited in Speck, O. et all, 2017).

Κατά την εφαρμογή των λειτουργικών αρχών και διαδικασιών κατασκευής που βρίσκονται μέσω βιολογικών λύσεων σε τεχνικές δημιουργίες (βίο-μιμητική), προκύπτουν νέα ευρήματα που, με τη σειρά τους, συμβάλλουν σε μια βαθύτερη εικόνα της λειτουργίας των βιολογικών γεννητόρων της ιδέας (αντίστροφη βίο-μιμητική). Αυτό απαιτεί επανεξέταση των βιολογικών δειγμάτων ώστε να επιτευχθεί μια συνεχής βελτίωση των τεχνικών μοντέλων των μηχανικών. Οι «βίο-μιμητικοί αλγόριθμοι» χαρακτηρίζονται από βιολογική εξέλιξη και διαδικασίες που είναι διαθέσιμες ως εξελικτικοί αλγόριθμοι και πλήρης μαθηματικοί σχηματισμοί για τη βελτιστοποίηση των τεχνικών προϊόντων και μηχανικών διεργασιών (VDI Guideline 6220, 2012).

Επιπλέον, τα εργαλεία βελτιστοποίησης της βίο-μιμητικής μέσω υπολογιστών, όπως βελτιστοποίηση μέσω υπολογιστή (CAO) που προέρχεται από τους κανόνες ανάπτυξης των δέντρων και η επιλογή «soft kill option» (SKO) τροποποιεί το σχήμα και την τοπολογία των συστατικών και ομογενοποιεί τις πιέσεις στην επιφάνεια του εξαρτήματος (VDI Guideline 6224/2, 2012).

Η επόμενη εφαρμογή αυτών των αλγορίθμων βελτιστοποίησης από το βασίλειο των φυτών και το βασίλειο των ζώων είναι ένας μοναδικός συνδυασμός που δεν υπάρχει

καν στη ζωή. Το εργαλείο βίο-μιμητικής σχεδίασης ELiSE 3D βασίζεται στο σχεδιασμό του κελύφους ή του σκελετού των θαλάσσιων οργανισμών για να βελτιώσει ελαφριές κατασκευές μεγάλης κλίμακας (VDI Guideline 6224/3, 2016). Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα των βίο-μιμητικών αλγορίθμων οδηγεί σε πολλά «βίο-μιμητικά βελτιστοποιημένα προϊόντα. Διάσημα παραδείγματα είναι το SKO- βελτιστοποιημένο πλαίσιο του βιονικού αυτοκινήτου της Mercedes-Benz και η CAO- βελτιστοποιημένη ορθοπεδική βίδα που μπορεί να αντέξει 5 εκατομμύρια κύκλους φόρτισης σε αντίθεση με τη μη βελτιστοποιημένη, που σπάει μετά από 220.000 κύκλους φόρτισης (VDI Guideline 6220, 2012).



Εικόνα 5: Το βιονικό αυτοκίνητο της Mercedes-Benz, που μιμείται το «boxfish» (Hwang, J., et al, 2015),

DOI: 10.2147/IJN.S83642, ανακτήθηκε στις 11/5/2021.

Πέρα όμως από τον όρο «βίο-μιμητική», συναντάμε συχνά και τον όρο «βιονική». Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται συχνά ως συνώνυμο της βίο-μιμητικής όσον αφορά την εκμάθηση από τη βιολογία για τη δημιουργία τεχνικών καινοτομιών. Ο όρος έχει

εξειδικευμένη χρήση στην ιατρική ή τη ρομποτική με προέλευση από την ηλεκτρονική. Ισχυρά παραδείγματα για τη διαφορετική χρήση της λέξης «βιονική» αποτελεί το δίκτυο «Η διεθνής κοινωνία της βιονικής μηχανικής» και το «Περιοδικό βιονικής μηχανικής», που βρίσκονται και τα δύο στην Κίνα. Αντίθετα, στην Αρχιτεκτονική ορολογία, υπάρχει το διεθνές δίκτυο «BIOKON», καθώς και το «Δίκτυο διαγωνισμών βίο-μιμητικής», το οποίο εδρεύει στη Γερμανία.

«Τα τελευταία χρόνια, η βίο-εμπνευσμένη και η βίο-μιμητική έρευνα έχει αυξηθεί πολύ και κατά συνέπεια, περιοδικά όπως το Bioinspiration & Biomimetics των Asakura, T., και Miller, T., (2014), σειρές βιβλίων όπως Συστήματα εμπνευσμένα από τη βιολογία και το Βίο-μιμητική: Καινοτομία με βάση τη φύση, του Cohen, Y., (2012), είναι εξαιρετικά χρήσιμα» (Speck, O., et all,2017:9).

2.4 Ιστορική ανασκόπηση της βίο-μίμησης

Ένα από τα πρώτα παραδείγματα της βίο-μιμητικής, είναι η μελέτη της πτήσης των πουλιών από τον Abbas ibn Fernas (810-887) και στη συνέχεια από τον Leonardo da Vinci (1452-1519), η οποία οδήγησε στην κατασκευή του πρώτου αεροπλάνου των αδελφών Ράιτ, το 1903.

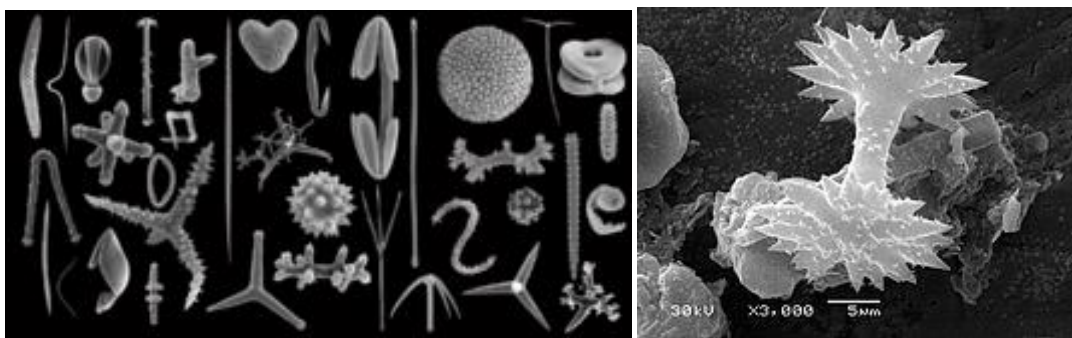
Το σύγγραμμα του Thompson «On Growth and Form» (1945), θεωρείται ότι είναι από τα πρώτα που αντιμετωπίζουν τους ζωντανούς οργανισμούς ως πρότυπα για μηχανικές λύσεις. Ο Thompson ήταν ο πρώτος που αναφέρθηκε στη μηχανική και τη γεωδαιτική των σκελετών σε απλούς οργανισμούς. Συγκεκριμένα, αναφέρεται στη μηχανική των οστών, συγκρίνοντας την αντοχή των οστών, με υλικά όπως ο χάλυβας και ο χυτοσίδηρος. Απεικονίζει την «κυτταρική» δομή του μηριαίου οστού με λεπτές δοκίδες που σχηματίζουν ένα διάγραμμα γραμμών πίεσης στη δομή και συγκρίνει το μηρό με έναν γερανό οικοδόμησης. Ομοίως συγκρίνει τη ραχοκοκαλιά ενός τετράποδου ή ενός δεινόσαυρου με τη δομή της γέφυρας του σιδηροδρομικού σταθμού Forth.



Εικόνα 6: Η γέφυρα σιδηροδρόμων στο Forth

Ο Thompson συνέκρινε τη σπονδυλική στήλη ενός δεινοσαύρου με τη γέφυρα σιδηροδρόμων στο Forth, https://en.m.wikipedia.org/wiki/Forth_Railway_Bridge, ανακτήθηκε 5/12/2020.

Ο Thompson, εφαρμόζει τη χρήση της γεωδαιτικής γραμμής, «της μικρότερης απόστασης μεταξύ δύο σημείων στην επιφάνεια ενός στερεού», στη σπειροειδή πάχυνση των τοιχωμάτων των φυτικών κυττάρων και σε άλλες περιπτώσεις. Σχετικά με τα οστά, τα «Spicules» και τους «Spicular» σκελετούς, ο Thompson θεωρεί ότι οι σκελετικές δομές των οστών και των σπόγγων, περιέχουν γεωμετρικά σχήματα. Σημειώνει ότι αυτές οι δομές σχηματίζονται έξω από τα ζωντανά κύτταρα, συμπεραίνοντας ότι εμπλέκονται οι φυσικές δυνάμεις.



Εικόνα 7: Spicules σφουγγαριού (Sem, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης)

https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Demospongiae_spicule_diversity.png, ανακτήθηκε 5/12/2020.

Η έρευνά του Thompson, έδειξε ότι οι απολήξεις ορισμένων σφουγγαριών βαθέων υδάτων έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τις οπτικές ίνες. Εκτός του ότι είναι σε

θέση να παγιδεύουν και να μεταφέρουν φως, έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι του εμπορικού καλωδίου οπτικών ινών. Είναι ισχυρότερα, και σχηματίζουν τα δικά τους στοιχεία στήριξης. Επιπλέον, αυτά τα «spicules» έχουν ενσωματωμένους φακούς στα άκρα τους που εστιάζουν το φως σε σκοτεινές συνθήκες. Έχει θεωρηθεί ότι αυτή η ικανότητα μπορεί να λειτουργήσει ως πηγή φωτός για τα φύκια ή ως ελκυστικό στοιχείο για τις γαρίδες (Walker, M.,2008).

Πρόσφατη έρευνα επιβεβαιώνει τις εμπειρικές παρατηρήσεις του Thompson για τη βιολογική μορφή, που έδειξε ότι τα σχήματα των κυττάρων υπαγορεύονται από τρισδιάστατους σκελετούς που αντικατοπτρίζουν μεγάλα αρχιτεκτονικά διαστήματα. Νέες εξελίξεις σε υλικά συμβατά με τη φυσιολογία και μικροσκοπικές μέθοδοι κατασκευής παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των τσιπ των υπολογιστών, έχουν συμβάλει στην περαιτέρω ανάπτυξη αυτής της ελαφριάς δομής. Τα αναλυτικά εργαλεία που υποστηρίζουν την οπτικοποίηση στο χώρο και το χρόνο έχουν οδηγήσει στη μαγνητική τομογραφία (MRI) και την τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (μια απεικόνιση με διαδοχικές τομές, γνωστή ως PET), που επιτρέπουν την ανάλυση μορίων και κυττάρων σε ζωντανούς οργανισμούς.

Ο δρόμος της εξελικτικής ανάπτυξης περιλαμβάνει μοριακές ανταλλαγές που μπορούν να ανιχνευθούν με αυτά τα εργαλεία. Αυτή η ικανότητα ανίχνευσης επιτρέπει τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων παράλληλα με παρατηρήσεις χωρικής και χημικής δυναμικής. Η προσαρμογή στο περιβάλλον μέσω των στενών δεσμών φυσικών μορφών και λειτουργιών περιγράφεται με μαθηματική ακρίβεια. Η μοριακή βιολογία υποβάλλει κρίσιμες ερωτήσεις σχετικά με το σχήμα και τη δομή στην κλίμακα ατόμων, κυττάρων και οργανισμών (Beesley and Bonnemaison, 2008:7).

Μετά τη δημοσίευση του έργου του Thompson το 1945, η έννοια της βίο-μίμησης γεννήθηκε με τον Otto Herbert Schmitt στη δεκαετία του 1950 στη διδακτορική του έρευνα η οποία ήταν μια προσπάθεια παραγωγής μιας συσκευής που μιμούταν τη δράση του νευρικού συστήματος. Συνέχισε να επικεντρώνεται σε συσκευές που μιμούνται φυσικά συστήματα και μέχρι το 1957 είχε αντιληφθεί τη διαφορά ως προς

την τυπική έννοια της βιοφυσικής, μια έννοια που θα την ονόμαζε βίο-μίμηση. Ωστόσο, ο Schmitt χρησιμοποίησε τον όρο το 1969, όταν εμφανίστηκε στον τίτλο ενός άρθρου που παρουσίασε στο Τρίτο Διεθνές Συνέδριο Βιοφυσικής στη Βοστώνη, ενώ ο όρος εμφανίστηκε για πρώτη φορά στο λεξικό του Webster το 1974 (Vincent, JFV., et all, 2006: 478).

Ο Bruno Zevi, στο σύγγραμμά του «προς μία οργανική Αρχιτεκτονική»(1950), υποστήριξε ότι το οργανικό ιδεώδες ήταν ένα σημαντικό θέμα στην αρχιτεκτονική θεωρία του εικοστού αιώνα, ενώ πιο πρόσφατες δημοσιεύσεις εντόπισαν την επιρροή της οργανικής σκέψης στον μοντερνισμό, συμπεριλαμβανομένης του Colin Porteous «Η νέα Εκο-Αρχιτεκτονική: εναλλακτικές λύσεις από το Σύγχρονο Κίνημα»(Porteous, C., 2001) και της Sarah Menin και Flora Samuel «Φύση και χώρος: Aalto και Le Corbusier» (Menin and Samuel, 2002).

Σύμφωνα με τον Daniel Wahl, εμπειρογνώμονα στο σχεδιασμό με έμπνευση από τη φύση *«κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970, άρχισε να διερευνάται πώς η οικολογία και η βιολογία, θα μπορούσαν να προσφέρουν πιο βιώσιμες λύσεις για την ικανοποίηση των θεμελιωδών ανθρώπινων αναγκών »* (Wahl, DC., 2006).

Αυτή η έρευνα κατέληξε σε εννέα αρχές βιολογικού σχεδιασμού και αντικατοπτρίζει την ολιστική, προσέγγιση συστημάτων διαβίωσης, η οποία εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1980, 1990 και 2000 (Todd, J. & Todd, NJ., 1993).

Ο Fritjof Capra, ένας εξέχων φυσικός και ιδρυτής του «Center for Ecoliteracy», (CEL), κέντρο οικολογικής εκπαίδευσης, που αποτελεί έναν μη κερδοσκοπικό οργανισμό αφιερωμένο στην εκπαίδευση για βιώσιμη ζωή στην Καλιφόρνια, μετέτρεψε αργότερα αυτές τις αρχές οικολογίας σε *«γλώσσα της φύσης»* (1994) οι οποίες προκάλεσαν μια αντίληψη μετατόπισης *«της σχέσης μεταξύ οικολογικών και ανθρώπινων κοινοτήτων»* (DeKay, M., 2011).

Ταυτόχρονα, η Janine Benyus, απόφοιτος του Πανεπιστημίου Rutgers με σπουδές στη διαχείριση φυσικών πόρων και αγγλικής λογοτεχνίας και γραφής, σύμβουλος καινοτομίας και συγγραφέας, διέδωσε τον όρο «biomimicry», το 1997 στο βιβλίο της, *«Biomimicry: Innovation Inspired by Nature»* (Βίο-μιμητική: Καινοτομία εμπνευσμένη από τη φύση). Η Janine Benyus αναφέρει ότι στη βίο-μιμητική, βλέπουμε τη φύση

ως μοντέλο, μέτρο και μέντορα, δηλαδή χρησιμοποιούμε μοντέλα από τη φύση ως έμπνευση για να δημιουργήσουμε σχέδια που επιδιώκουν να λύσουν τα ανθρώπινα προβλήματα. Χρησιμοποίησε οικολογικά πρότυπα ως αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των καινοτομιών και ως μέθοδο επαναπροσδιορισμού του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι σχετίζονται με τη φύση. Έτσι, η βίο-μιμητική δεν μιμείται ή εμπνέεται απλώς από τη φύση, αλλά χρησιμοποιεί και ένα οικολογικό πρότυπο για να αξιολογήσουμε την καταλληλότητα μιας καινοτομίας και *«εισάγει μια εποχή βασισμένη όχι σε αυτό που εμείς μπορούμε να εκμεταλλευτούμε από τον φυσικό κόσμο, αλλά σε ό, τι μπορούμε να μάθουμε από αυτόν»* (Benyus, J., 1997).

Το 1998, η Janine Benyus και η Dayna Baumeister ίδρυσαν το Biomimicry Guild, το οποίο μετατράπηκε σε Ινστιτούτο Βίο-μιμητικής το 2010. Το Ινστιτούτο Βίο-μιμητικής, είναι ένα μη κερδοσκοπικό ινστιτούτο για την ενσωμάτωση της βίο-μιμητικής στην επίσημη εκπαίδευση και στην άτυπη εκπαίδευση, όπως σε χώρους μουσείων. Το 2008, το ινστιτούτο δημιούργησε το AskNature.org, έναν βραβευμένο ιστότοπο που επιδιώκει να εμπνεύσει σχεδιαστές, αρχιτέκτονες, και επιχειρηματίες σχετικά με την σχεδιαστική πρόκληση βίο-εμπνευσμένων προϊόντων.

Το Ινστιτούτο εντοπίζει μια επιτυχημένη μίμησης της φύσης μέσω προσομοίωσης φυσικών μορφών, διαδικασιών, και συστημάτων, καθώς και προσέγγισης μέσω εμπορικών σημάτων Ethos, Emulate, (Re) Connect (The Biomimicry Institute, 2010). Σήμερα, η βίο-μιμητική καλύπτει διάφορους τομείς των ανθρώπινων συστημάτων με μεγάλη έμφαση στη βιωσιμότητα, που προωθεί το Ινστιτούτο Βίο-μιμητικής 3.8. (Louguina, A., et all, 2014).

2.5 Προσέγγιση της βίο-μίμησης σε διαφορετικές περιόδους

(Από τον βίο-φιλικό σχεδιασμό στη βίο-έμπνευση)

2.5.1 Βίο-φιλικός σχεδιασμός

Περίοδος της Αρχιτεκτονικής του Μεσοπολέμου-Το σπίτι στον καταρράκτη



Εικόνα 8: Το σπίτι στον καταρράκτη, Πενσυλβάνια (F. L. Wright 1936-1938) <https://shorturl.me/jgrBYgG>, ανακτήθηκε 2/2/2021

Μέσα στην πλειάδα της Αρχιτεκτονικής έμπνευσης από τη φύση που είναι ορατή στα κτίρια που κυμαίνονται από την Αιγυπτιακή και την Ελληνορωμαϊκή αρχιτεκτονική έως και τη σύγχρονη εποχή, σκόπιμο είναι να αναφερθούμε στο έργο του Frank Lloyd Wright, αρχιτέκτονα της εποχής του μεσοπολέμου, ο οποίος στόχευε στην ισορροπία ανθρώπου και φύσης, δημιουργώντας κτίρια που ενσωματώνονται στο τοπίο. Το «Falling water house» εκφράζει το ιδανικό του Wright για μια οργανική αρχιτεκτονική προσαρμοσμένη στους ρυθμούς του φυσικού κόσμου. Η έμπνευση για το σχεδιασμό και τη θέση του κτιρίου απορρέει από την τέχνη του τοπίου και την αρχιτεκτονική της Ιαπωνίας. Ο σχεδιασμός ήταν για τον Wright, μια δύναμη της φύσης, μια έκρηξη της φυσικής ενέργειας και ζωτικότητας.

Με την έννοια που προσδιορίσαμε τον όρο της βίο-μίμησης, θα λέγαμε ότι το κτίριο αυτό εντάσσεται στον βίο-φιλικό και όχι στον βίο-εμπνευσμένο σχεδιασμό. Στην αρχιτεκτονική, ο βίο-φιλικός σχεδιασμός είναι μια βιώσιμη στρατηγική σχεδιασμού που ενσωματώνει την επανασύνδεση των ανθρώπων με το φυσικό περιβάλλον. Μπορεί να θεωρηθεί ως απαραίτητο συμπλήρωμα της πράσινης αρχιτεκτονικής, η οποία μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του δομημένου περιβάλλοντος, αλλά δεν αντιμετωπίζει την ανθρώπινη επανασύνδεση με τον φυσικό κόσμο. Οι Carperna και Serafini, (2015), καθορίζουν τον βίο-φιλικό σχεδιασμό ως εκείνο το είδος αρχιτεκτονικής, η οποία είναι σε θέση να παρέχει την έμφυτη ανάγκη μας για τη σύνδεση με τη ζωή και τις ζωτικές διαδικασίες. Σύμφωνα με τους Carperna και Serafini (2015), η βίο-φιλική αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα στοιχεία: α) τη φυσιολατρική διάσταση, β) την πληρότητα της τοποθεσίας, δηλαδή τη βασική δομή του τόπου και γ) τη «γεωμετρική συνοχή», δηλαδή ο φυσικός χώρος πρέπει να έχει γεωμετρική διαμόρφωση ικανή να εξυψώσει τις συνδέσεις της ανθρώπινης διάστασης και των κατασκευασμένων και φυσικών περιβαλλόντων (Δίκου, Χ., 2020:11).

2.5.2 Βιομορφικές εξελίξεις- Μεταφορά της οργανικής μορφολογίας

2.5.2.1 Περίοδος Art Nouveau-Secession



Εικόνα 9 : Λεπτομέρεια του θόλου Secession (αριστερά) <https://www.visitingvienna.com/footsteps/secession/>

(δεξιά) <https://www.secession.at/en/building-typology-symbolism/> ανακτήθηκε στις 25/2/2021.

Τα «βίο-μορφικά» σχήματα και μοτίβα στην αρχιτεκτονική και το σχεδιασμό, είναι αποτέλεσμα της συνειδητής μεταφοράς μιας οργανικής μορφολογίας βιολογικού μοντέλου. Φυσικές μορφές και δομές (π.χ. λουλούδια, φυτά, καμπύλες γραμμές) χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα από καλλιτέχνες της Art Nouveau. Πολύ γνωστά αρχιτεκτονικά παραδείγματα είναι το κτίριο Secession της Βιέννης με το θόλο του που αποτελείται από χρυσά φύλλα δάφνης.

Επίσης, το Crystal Palace (1850), μια κατασκευή από χυτοσίδηρο χτισμένο από τον Joseph Paxton που είναι εμπνευσμένο από τα ραβδωτά φύλλα των νούφαρων (Speck, O.,et all, p.9).

2.5.2.2 Περίοδος Art Nouveau - Sagrada Familia



Εικόνα 13 : Εσωτερικό του ναού Σαγράδα Φαμίλια (1882-1936), <http://www.sagradafamilia.org/en/>, ανακτήθηκε στις 5/2/2021

Σκόπιμο είναι να αναφερθούμε πιο εκτεταμένα στον Αντόνιο Γκαουντί, έναν από τους αρχιτέκτονες της εποχής της Art Nouveau που εκτός από τη χρήση του νατουραλιστικού σχεδιασμού, εξερεύνησε δομικές μορφές από τη φύση, εισάγοντας τη βίο-έμπνευση.

Η Sagrada Família, αποτελεί πρόδρομο του σύγχρονου επιστημονικού πεδίου της βίο-έμπνευσης. Για τον Γκαουντί, η έμπνευση από τη φύση βοήθησε στην επίλυση διαφόρων προβλημάτων της δομικής μηχανικής.



Εικόνα 14 : Κολώνες διακλάδωσης του ναού, <http://www.sagradafamilia.org/en/>,

ανακτήθηκε στις 5/2/2021

Το πιο αξιοσημείωτο παράδειγμα βίο-μιμητικής αρχιτεκτονικής στη Sagrada Família είναι οι διακλαδισμένες κολώνες του σηκού (κύριος, κεντρικός χώρος μιας εκκλησίας). Ο σχεδιασμός μιμείται τη φυσική κατανομή του βάρους των δέντρων, επιτρέποντας σε κάθε κολώνα να φέρει μεγαλύτερο φορτίο από μια παραδοσιακή. Τα κλαδιά μεταφέρουν πλευρικά φορτία στους κίονες, παραλείποντας την ανάγκη για εξωτερικά στηρίγματα (αντηρίδες) ενός τυπικού γοθικού καθεδρικού ναού. Τα κλαδιά επιδιώκουν την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ των τμημάτων της δομής, ελαχιστοποιώντας τη μεταφορά της οριζόντιας ώθησης. Η κλίση των κλαδιών καθορίζεται από τις πλευρικές ωθήσεις και τις μεταφέρει όσο το δυνατόν κατακόρυφα. Αυτός ο σχεδιασμός ισορροπίας ελαχιστοποιεί τα πλευρικά φορτία αυξάνοντας το κατακόρυφο φορτίο (Yarnall, Baptista, Savshuk, 2010).



Εικόνα 15: Επικλινείς κολώνες της πρόσοψης του πάθους,
<http://www.sagradafamilia.org/en/>, ανακτήθηκε στις 5/2/2021

Για τις επικλινείς κολώνες της πρόσοψης του Πάθους, ο Γκαουντί άντλησε και πάλι έμπνευση από τα δέντρα. Η βάση αυτών των στηλών έχει παρόμοια ανάπτυξη με τις ρίζες στη βάση ενός κορμού δέντρου, μεταφέροντας το φορτίο πιο αποτελεσματικά στο έδαφος. Επίσης, τα στοιχεία στη διασταύρωση του κορμού της κολώνας και των κλαδιών μιμούνται κόμβους δέντρων και χρησιμεύουν ως ξεχωριστό περίβλημα για φωτισμό.



Εικόνα 16: Σχήματα στήλης κόμβου δέντρου,
<http://www.sagradafamilia.org/en/>, ανακτήθηκε στις 5/2/2021

Η χρήση φυσικών δομικών μορφών από τον Γκαουντί σε ολόκληρο τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό της Sagrada Familia, εκτός από την εξυπηρέτηση ενός αισθητικού σκοπού, μειώνει και την απαίτηση υλικών για την κατασκευή. Οι δομές που μεταφέρουν φορτία πιο αποτελεσματικά απαιτούν λιγότερο υλικό. Ο Γκαουντί έδειξε τι είναι δυνατό όταν οι άκαμπτες, ευθείες γραμμές αντικαθίστανται από τα κυρτά, οργανικά μοντέλα της φύσης (Huerta, S., 2006).

Τέλος, έμπνευση από το φυτικό διάκοσμο αποτελούν και αρκετά μωσαϊκά δάπεδα του Αρχιτέκτονα στη Βαρκελώνη (Math & Art of Escher, 2012).



Εικόνα 17 : Μωσαϊκά δάπεδα, http://mathstat.slu.edu/escher/index.php/The_Geometry_of_Antoni_Gaudi,

ανακτήθηκε 8/3/2021.

2.5.2.3 Βιομηχανικός σχεδιασμός

Τα τελευταία χρόνια, πολλοί σχεδιαστές έχουν δημιουργήσει φωτιστικά που μεταφέρουν τη μορφολογία βιολογικών αρχέτυπων όπως ένα δέντρο (Werner-aisslinger light tree, 2007), μια αγκινάρα (Poul Henningsen, PH Artichoke lamp από το 1958) ή μια πικραλίδα (Richard Hutton, Dandelion , 2004) (Sachs, A., 2007).



Εικόνα 10 : Φωτιστικό - δέντρο, <https://news.infurma.es/lighting-2/tree-series-lamps-werner-aisslinger-designs-for-b-lux/4993>, ανακτήθηκε στις 25/2/2021



Εικόνα 11 : Φωτιστικό - Πικραλίδα, <https://cheerhuzz.com/blogs/news/the-moooi-dandelion-pendant-designed-by-richard-hutton-l45>, ανακτήθηκε στις 25/2/2021



Εικόνα 12: Φωτιστικό - Αγκινάρα, <https://www.louispoulsen.com/en/catalog/professional/decorative-lighting/pendants/ph-artichoke?v=90145-5741112061-01&t=data&t=spareparts>, ανακτήθηκε στις 25/2/2021

2.5.3. Σύγχρονη εποχή

2.5.3.1 Τεχνικές εξελίξεις με φυσική εμφάνιση.



Εικόνα 18 : Νότια όψη του Εθνικού Σταδίου του Πεκίνο στην Κίνα, (μοντέλο της φωλιάς του πουλιού), shorturl.at/jsBY6 , ανακτήθηκε 25/2/2021

Η «φυσική εμφάνιση» ενός τεχνικού προϊόντος είναι το αποτέλεσμα μιας εξελιγμένης διαδικασίας σχεδιασμού που δίνει στο προϊόν μία αισθητικά ελκυστική εμφάνιση. Περιστασιακά, η φυσική εμφάνιση είναι τόσο πειστική που, στη συνέχεια, ένα βιολογικό αρχέτυπο διαβάζεται σε αυτό το προϊόν. Ένα καλό παράδειγμα είναι το Εθνικό Στάδιο του Πεκίνο στην Κίνα, επίσης γνωστό ως φωλιά πουλιού (VDI 6226, 2015) εξαιτίας του χαλύβδινου σκελετού που συνθέτει την πρόσοψη.

2.5.3.2 Τεχνικές εξελίξεις παράλληλα με τη βιολογία στην Αρχιτεκτονική

Ένα ιδιαίτερο φαινόμενο είναι το «τεχνικό προϊόν που αναπτύχθηκε παράλληλα» που χαρακτηρίζεται από μια μηχανική ανάπτυξη με μια ειδική λειτουργία που εξελίχθηκε παράλληλα με τη βιολογία στην πορεία της εξέλιξης. Τόσο στη βιολογία όσο και στην τεχνολογία, μια ποικιλία λειτουργικών αρχών μπορεί να οδηγήσουν σε μια ειδική λειτουργία. Με άλλα λόγια, το να έχουν την ίδια λειτουργία δεν σημαίνει απαραίτητα ότι οι λύσεις έχουν την ίδια λειτουργική αρχή. Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα αυτού είναι τα αυτοκαθαριζόμενα πλακάκια οροφής «Erlus Lotusan», που σχετίζονται με το «Lotus-Effect» λόγω του εμπορικού σήματος που έχει παρόμοιο όνομα. Σε αντίθεση με τις βίο-μιμητικές εξελίξεις με το «Lotus-Effect», τα πλακίδια δεν έχουν βιολογικό πρότυπο και διαθέτουν μια εντελώς διαφορετική αρχή λειτουργίας με φωτοκαταλυτικά ενεργές επιφάνειες σκυροδέματος που καταστρέφουν τα σωματίδια των ρύπων (Vilcinskis, A., 2011).

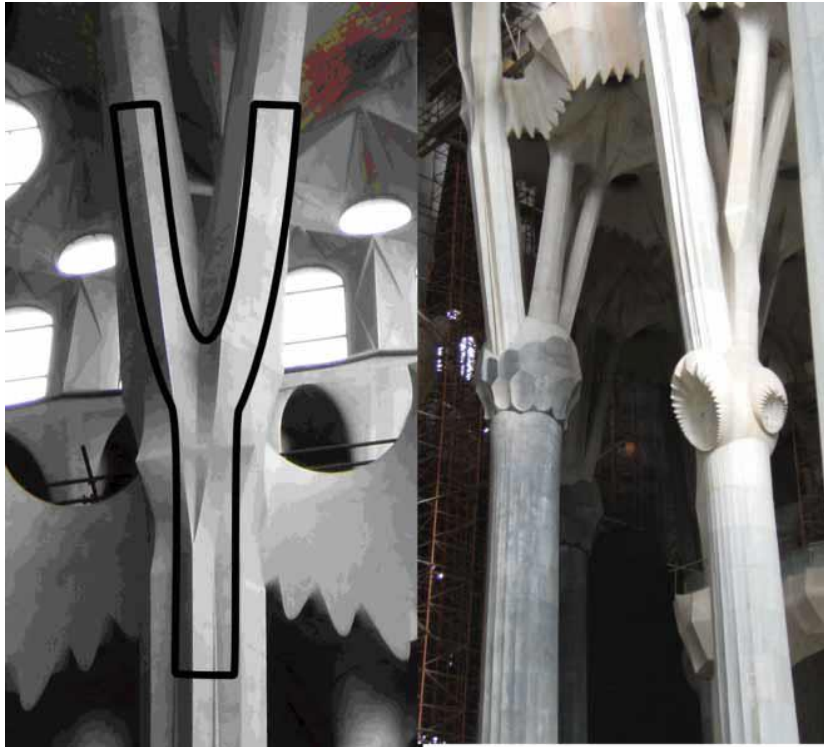
Εάν η τεχνική και η βιολογική λύση έχουν την ίδια λειτουργία και την ίδια βασική αρχή χειρισμού, είναι συχνά παρόμοιες οπτικά. Εντυπωσιακά παραδείγματα για αυτό είναι οι βεντούζες. Τα πρώτα τεχνικά συστήματα σόναρ αρχικά αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα από το σύστημα ηχητικού εντοπισμού των ζώων. Σήμερα, τα βίο-σόναρ θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως έμπνευση για ειδικές εφαρμογές τεχνικών συστημάτων σόναρ (Speck, O., et all, 2017:9).

Σύμφωνα με τους Sanchez, C., et all στο άρθρο τους «ο βίο-μιμητισμός και η βίο-έμπνευση ως εργαλεία για το σχεδιασμό καινοτόμων υλικών και συστημάτων», τα υλικά βίο-μιμητικής προσέγγισης είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες επιστημονικές και τεχνολογικές προκλήσεις των επόμενων ετών. *«Υλικά και συστήματα βιολογικής έμπνευσης, νανοϋλικά, τρισδιάστατα σύνθετα υλικά συμβατά με οικολογικές απαιτήσεις, θα πρέπει να ενσωματωθούν στις προηγμένες τεχνολογίες. Πολύ-λειτουργικά υλικά με ιδιότητες (όπως προσρόφηση, ανίχνευση, βίο-αισθητοποίηση, πολύ-θεραπεία) εμφανίζονται στο εγγύς μέλλον. Μια αυξανόμενη ανάγκη για τα υλικά που εμπνέονται από τη βιολογία υπάρχουν ήδη ως λύσεις. Τα υλικά που βρίσκονται στη φύση συνδυάζουν πολλές εμπνευσμένες*

ιδιότητες, όπως εκλεπτυσμός, μικρογραφία, ιεραρχικές οργανώσεις, υβριδισμός, αντίσταση και προσαρμοστικότητα. Όμως, η αποσαφήνιση των βασικών συστατικών και των αρχών δόμησης που επιλέγονται από την εξέλιξη για την πρόταση πιο αξιόπιστων, αποτελεσματικών και περιβαλλοντολογικών υλικών απαιτεί μια διεπιστημονική προσέγγιση» (Sanchez, C., et all, 2005).

Στη σύγχρονη εποχή οι επιστημονικές εξελίξεις σε συνδυασμό με τα προγράμματα παραμετρικής σχεδίασης, έχουν οδηγήσει σε μία προσέγγιση της βίο-μίμησης που έχει πρωταρχικό στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας σε συνδυασμό με το προσιτό οικονομικό κόστος. Ο John Frazer, συγγραφέας του «Μία επαναστατική Αρχιτεκτονική», είναι βασικός πρωτοπόρος στην ψηφιοποίηση των μορφολογικών μετασχηματισμών, ενώ οι έρευνες των Fuller, Anne Tyng και Louis Kahn για γεωμετρικούς μετασχηματισμούς συνεχίζεται στο έργο αρχιτεκτόνων όπως ο Greg Lynn (Frazer, J., 1995).

Εξαιτίας αυτών των εξελίξεων, το έργο του Antonio Gaudi στο οποίο προαναφερθήκαμε στην ενότητα 2.4.2, εξετάζεται στις μέρες μας κάτω από άλλη ματιά. Ο Julian Francis Vincent Vincent του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, στο άρθρο του «Biomimetics in architectural design» που δημοσιεύτηκε στο Intelligent Buildings International, το 2014, σε μια σύντομη ανασκόπηση των πτυχών της βιολογίας που σχετίζονται με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, εξετάζει έναν αριθμό βιολογικών οργανισμών, παρέχοντας ιδέες σχεδιασμού για τη βελτίωση των δομών των δέντρων στη Σαγράδα Φαμίλια και άλλες κατασκευές. Επαναπροσεγγίζει το έργο του Gaudi, δείχνοντας ότι στην κρύπτη της Sagrada Familia ο αρχιτέκτονας, καθιερώνοντας τις γραμμές ώθησης που απαιτούνται για την υποστήριξη της δομής και καθορίζοντας την τοποθέτηση του υλικού που απαιτείται σε κάθε περίπτωση, παρήγαγε δομές που μοιάζουν με δέντρο χωρίς όμως να υπάρχει εκείνη την εποχή η γνώση σχετικά με την επιστήμη της μηχανικής του κατάγματος.



Εικόνα 19. Κολώνες στη Σαγράδα Φαμίλια του Γκαουντί.

Αριστερά: μια κολώνα με το περίγραμμα ενός δέντρου διαιρεμένου σε δύο διακλαδώσεις. Σημειώστε τη διαφορά στο σχήμα της εσωτερικής γωνίας. Δεξιά: οι κολώνες είναι η λύση του Γκαουντί στις αναπόφευκτες συγκεντρώσεις πίεσης που θα προκαλέσουν οι αιχμηρές γωνίες του σχεδιασμού του.

Συγκεκριμένα αναφέρει: «*Η επιστήμη της μηχανικής του κατάγματος δεν ήταν γνωστή τότε στον Γκαουντί, αν και θα μπορούσε να είχε ακολουθήσει τις προτεινόμενες καμπύλες παρατηρώντας ένα διχαλωτό δέντρο (Εικόνα 10, αριστερά). Είναι πιθανό ότι οι πειραματικές του μέθοδοι τον προειδοποίησαν για ένα πρόβλημα ρωγμής σε αυτά τα σημεία διακλάδωσης και ότι προσπάθησε να τα λύσει με την προσθήκη μεγάλων εξογκωμάτων για να ενισχύσει αυτές τις περιοχές (Εικόνα 10, δεξιά). Σήμερα θεωρούνται αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και όχι δομικά σφάλματα!*»

«*Δυστυχώς, φαινόταν να αγνοεί τη σημασία των καμπυλών στις αρθρώσεις, που δημιουργεί η φύση έτσι ώστε να μην υπάρχουν περιοχές που θα μπορούσε να ξεκινήσει μια ρωγή*» (Mattheck, C., 1998, cited in Vincent, JF., 2014).

2.5.3.3 Τεχνικές εξελίξεις με τη βοήθεια του παραμετρικού σχεδιασμού

Στη σύγχρονη εποχή η παραμετρική σχεδίαση έδωσε τη δυνατότητα στον σχεδιαστή, να δημιουργήσει το μοντέλο σχεδίασης ενσωματώνοντας τα συμπεριφορικά

χαρακτηριστικά του υλικού κατασκευής σε παραμετρικές αρχές. Παράδειγμα αποτελεί το Ερευνητικό περίπτερο του 2010 από το ICD και το ITKE .



Εικόνα 20. ICD/ITKE Research Pavillion 2010, Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης, 2010,
<http://www.achimmenges.net/?p=4443>, ανακτήθηκε στις 16/2/2021

Συγκεκριμένα, το 2010, το Ινστιτούτο Υπολογιστικού Σχεδιασμού (ICD) και το Ινστιτούτο Δομικών Κατασκευών και Δομικών Σχεδίων (ITKE) σχεδίασαν και δημιούργησαν ένα προσωρινό ερευνητικό περίπτερο του οποίου η καινοτόμος δομή καταδεικνύει τις τελευταίες εξελίξεις στον υπολογιστικό σχεδιασμό, την προσομοίωση και τις διαδικασίες παραγωγής στην αρχιτεκτονική. Το αποτέλεσμα είναι μια δομή ενεργής κάμψης κατασκευασμένη εξ ολοκλήρου από εξαιρετικά λεπτές, ελαστικά λυγισμένες ταινίες κόντρα πλακέ.

Υλικό υπολογισμού.

Οποιαδήποτε κατασκευή υλικού μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα ενός συστήματος εσωτερικών και εξωτερικών πιέσεων και περιορισμών. Η φυσική του μορφή καθορίζεται από αυτές τις πιέσεις. Ωστόσο, στην Αρχιτεκτονική, οι διαδικασίες ψηφιακού σχεδιασμού σπάνια μπορούν να αντανakλούν αυτές τις περίπλοκες σχέσεις. Ενώ στη φυσική μορφή του, το υλικό συνδέεται αδιαχώριστα με

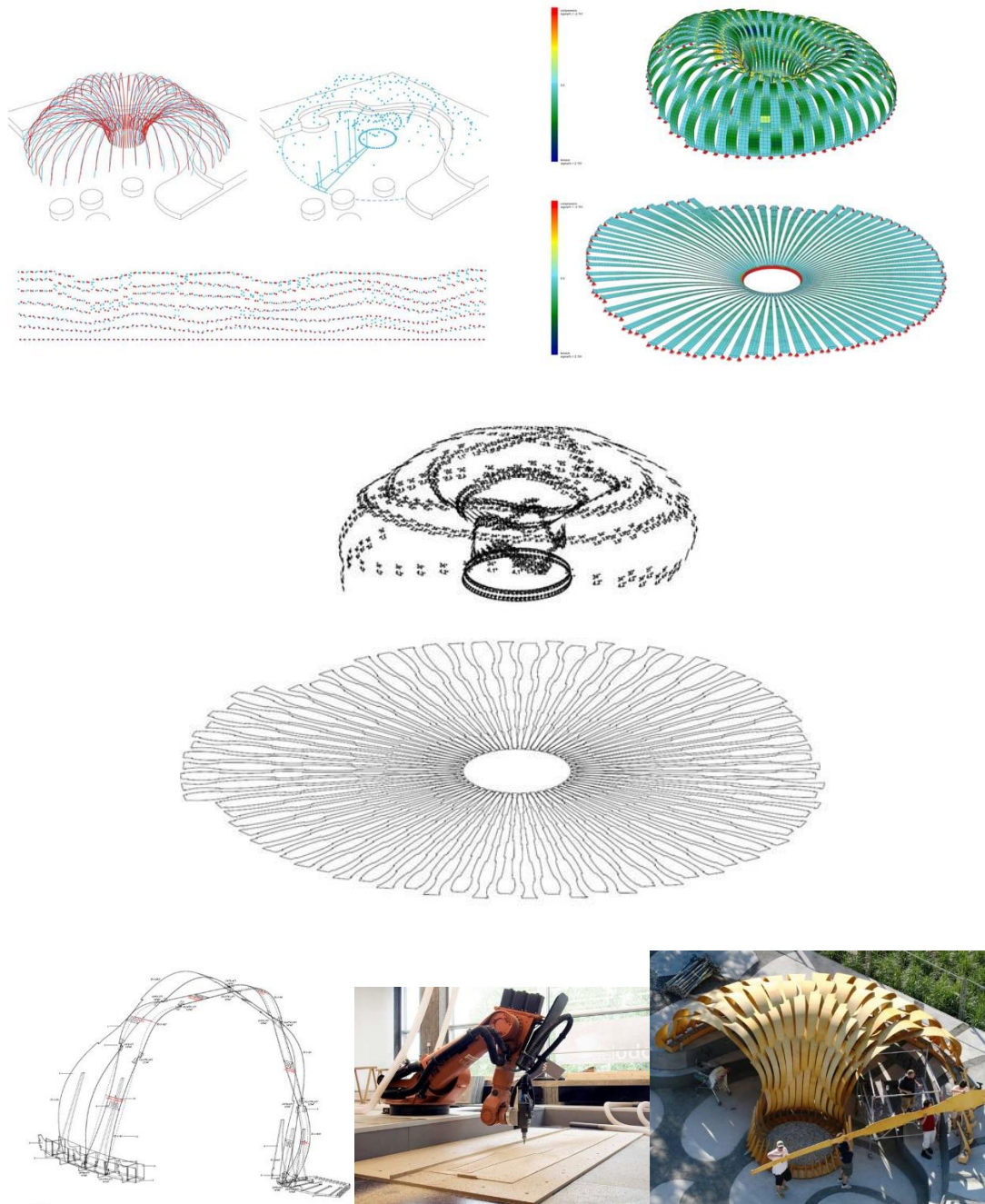
τις εξωτερικές δυνάμεις, στις εικονικές διεργασίες της υπολογιστικής μορφής, η δύναμη αντιμετωπίζεται συνήθως ως ξεχωριστή οντότητα, καθώς χωρίζεται σε διαδικασίες δημιουργίας γεωμετρικών μορφών και επακόλουθης προσομοίωσης με βάση συγκεκριμένες ιδιότητες υλικού.

Το ερευνητικό περίπτερο καταδεικνύει μια εναλλακτική προσέγγιση στον υπολογιστικό σχεδιασμό: εδώ, **η υπολογιστική παραγωγή της φόρμας κατευθύνεται και ενημερώνεται άμεσα από τη φυσική συμπεριφορά και τα υλικά χαρακτηριστικά**. Η δομή βασίζεται εξ ολοκλήρου στην ελαστική συμπεριφορά κάμψης των ταινιών κόντρα πλακέ σημόδας. Οι λωρίδες κατασκευάζονται ρομποτικά ως επίπεδα στοιχεία και στη συνέχεια συνδέονται έτσι ώστε οι ελαστικά λυγισμένες και τεντωμένες περιοχές να εναλλάσσονται κατά το μήκος. Η δύναμη που αποθηκεύεται τοπικά σε κάθε λυγισμένη περιοχή της λωρίδας και διατηρείται από την αντίστοιχη τεντωμένη περιοχή της γειτονικής λωρίδας, αυξάνει σημαντικά τη δομική ικανότητα του συστήματος.

Προκειμένου να αποφευχθούν τοπικά σημεία συμπυκνωμένων ροπών κάμψης, οι θέσεις των σημείων σύνδεσης μεταξύ λωρίδων πρέπει να αλλάξουν κατά μήκος της δομής, με αποτέλεσμα 80 διαφορετικά μοτίβα ταινιών κατασκευασμένα από περισσότερα από 500 γεωμετρικά μοναδικά μέρη. Ο συνδυασμός τόσο της αποθηκευμένης ενέργειας που προκύπτει από την ελαστική κάμψη κατά τη διαδικασία κατασκευής όσο και από τη μορφολογική διαφοροποίηση των θέσεων των αρμών επιτρέπει ένα πολύ ελαφρύ σύστημα. Ολόκληρη η κατασκευή, με διάμετρο μεγαλύτερη από δώδεκα μέτρα, μπορεί να κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας μόνο φύλλα κόντρα πλακέ σημόδας, πάχους 6,5 χιλιοστών.

Το υπολογιστικό μοντέλο σχεδίασης βασίζεται στην ενσωμάτωση των σχετικών συμπεριφορικών χαρακτηριστικών των υλικών σε παραμετρικές αρχές. Αυτές οι παραμετρικές εξαρτήσεις καθορίστηκαν μέσω ενός μεγάλου αριθμού φυσικών πειραμάτων που εστιάζουν στη μέτρηση των παραμορφώσεων των ελαστικά λυγισμένων λεπτών ταινιών κόντρα πλακέ. Με βάση 6400 γραμμές κώδικα, μια ολοκληρωμένη υπολογιστική διαδικασία αντλεί όλες τις σχετικές γεωμετρικές πληροφορίες και εξάγει άμεσα τα δεδομένα που απαιτούνται τόσο για το μοντέλο δομικής ανάλυσης όσο και για την κατασκευή με βιομηχανικό ρομπότ 6 αξόνων.

Το μοντέλο δομικής ανάλυσης βασίζεται σε προσομοίωση FEM (finite element modeling simulation). Προκειμένου να προσομοιωθεί η περίπλοκη ισορροπία της τοπικά αποθηκευμένης ενέργειας που προκύπτει από την κάμψη κάθε στοιχείου, το μοντέλο πρέπει να ξεκινήσει με την επίπεδη κατανομή των 80 λωρίδων, ακολουθούμενη από προσομοίωση της ελαστικής κάμψης και της επακόλουθης σύνδεσης των ταινιών.

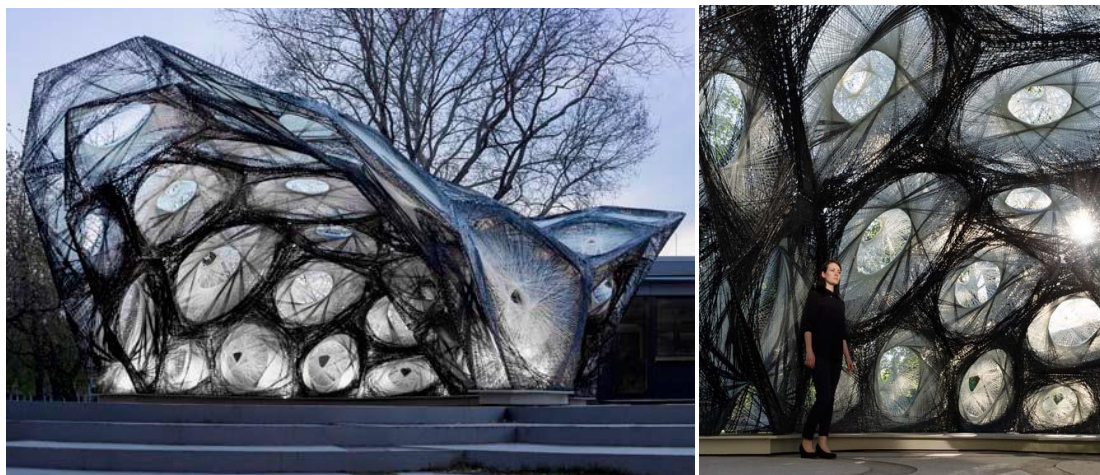


Εικόνα 21. Προσομοίωση μοντέλου δομικής ανάλυσης, ICD/ITKE Research Pavillion 2010, Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης, 2010, <http://www.achimmenges.net/?p=4443>, ανακτήθηκε στις 16/2/2021

Οι λεπτομερείς δομικοί υπολογισμοί, οι οποίοι βασίζονται σε μια συγκεκριμένη μοντελοποιημένη τοπολογία πλέγματος που αντικατοπτρίζει τα μοναδικά χαρακτηριστικά του ενσωματωμένου πρωτοτύπου, επιτρέπει επίσης την κατανόηση των εσωτερικών τάσεων που συμβαίνουν λόγω της κάμψης του υλικού σε σχέση με εξωτερικές δυνάμεις όπως τα φορτία του ανέμου και του χιονιού, μια πολύ ξεχωριστή πτυχή του υπολογισμού των ελαφρών δομών. Συγκρίνοντας τη γενετική υπολογιστική διαδικασία σχεδιασμού με την προσομοίωση FEM και την ακριβή μέτρηση της γεωμετρίας από το υλικό που υπολογίστηκε επί τόπου αποδείχθηκε ότι η προτεινόμενη ολοκλήρωση του σχεδιασμού υπολογισμού και υλοποίησης μπορούσε να είναι εφικτή πρόταση (ICD/ITKE, 2010).

Βιονικό περίπτερο έρευνας

Ο Achim Menges και οι μαθητές του στο Ινστιτούτο Υπολογιστικού Σχεδιασμού (ICD) στο Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης μαζί με το Ινστιτούτο Οικοδομικών Κατασκευών και Διαρθρωτικού Σχεδιασμού (ITKE) κατασκεύασαν το 2014 ένα βίο-εμπνευσμένο περίπτερο έρευνας, ένα από τα πολλά σε μια σειρά από περίπτερα έρευνας. Σχεδιασμένο, κατασκευασμένο από μαθητές και ερευνητές εντός μιας διεπιστημονικής ομάδας βιολόγων, αρχιτεκτόνων και μηχανικών, το επίκεντρο αυτού του έργου είναι κατά τη βίο-μιμητική του έρευνα, σύνθετα κελύφη φυσικών ινών.



Εικόνα 22: ICD/ITKE Ερευνητικό περίπτερο 2014, Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης

(αριστερά) Το Ινστιτούτο Υπολογιστικού Σχεδιασμού (ICD) στο Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης λειτουργεί σε μεγαλύτερη κλίμακα μέσω της ρητής εξερεύνησης φυσικών συστημάτων για νέες δομές. Το ICD και το Ινστιτούτο Κατασκευές κτιρίων και δομικός Σχεδιασμός (ITKE) του Πανεπιστημίου της Στουτγκάρδης έχουν κατασκευάσει άλλο ένα βιονικό περίπτερο έρευνας, ένα από τα πολλά σε μια σειρά από ερευνητικά περίπτερα. © Πανεπιστήμιο ICD / ITKE Στουτγκάρδη, (δεξιά) Τριάντα έξι μοναδικά στοιχεία δημιουργήθηκαν για το ελαφρύ περίπτερο. © ICD / ITKE Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης.

Το elytron, ένα προστατευτικό κέλυφος φτερών του ιπτάμενου σκαθαριού electron, αποδείχθηκε το κατάλληλο βιονικό μοντέλο για τη δημιουργία μίας πρωτοποριακής ελαφριάς κατασκευής σύνθετων ινών. Οι ερευνητές μέσω ανάλυσης σαρώσεων μοριακού επιταχυντή (SEM), παρατήρησαν ότι τόσο το εξωτερικό όσο και το εσωτερικό επίπεδο του κελύφους των φτερών του σκαθαριού είναι συνεχόμενο κι αυτό προσδίδει στη δομή υψηλή αποδοτικότητα. Εισάγοντας αυτή την αρχή στο σχεδιασμό, συντέθηκε μία δομή κελύφους και ανακατανεμήθηκε μέσω ρομποτικής κατασκευής, η οποία περιλάμβανε έξι άξονες ρομπότ για παραγωγή διπλού καμπύλου γυαλιού και πολυμερή ενισχυμένα με ίνες άνθρακα μέσω μιας διαδικασίας περιέλιξης, ώστε οι ίνες άνθρακα και γυαλιού να είναι συνεχόμενες. Μέσω αυτής της διαδικασίας, τριάντα έξι συνθετικά στοιχεία δημιουργήθηκαν για το ελαφρύ περίπτερο που διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους σε μέγεθος, γεωμετρία και στην τοποθέτηση των ινών, και είναι ο λόγος που το αποτέλεσμα έχει υψηλή απόδοση, ανθεκτικότητα και πολύ ελαφρά κατασκευαστικά στοιχεία. Η διάμετρός φτάνει τα 2,6 μέτρα και ζυγίζει μόνο 24,1 κιλά, ενώ ολόκληρη η κατασκευή 593 κιλά. Ένα από τα βασικότερα προβλήματα της χρήσης των ινών άνθρακα σαν συνθετικό υλικό στην κατασκευή είναι ότι απαιτείται να υπάρχει ένα καλούπι. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν να δώσουν μορφή στον εαυτό τους αλλά χρειάζονται μια μηχανή για να τους δώσει σχήμα. Και προκειμένου το project να είναι επωφελές, έπρεπε να χρησιμοποιηθεί για όλα μόνο ένα καλούπι. Προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των καλουπιών, η λύση ήταν ένα εύκολο ικρίωμα όπου θα επέτρεπε στις ίνες να βρουν μόνες τους το σχήμα μέσω της αλληλεπίδρασης στην διαδικασία κατασκευής. «*To Spider ρομπότ αφήνει τις ίνες πάνω στο ικρίωμα και ενώ εκείνο περιστρέφεται γύρω του προκύπτει η μορφή. Είναι ένας διαφορετικός τρόπος να δουλεύεις με αυτά τα υλικά και το αποτέλεσμα που προκύπτει δεν είναι μια επιφανειακή αλλά μία χωρική δομή*» (Menges, A., 2015:58).

Ενώ οι μη γραμμικές έννοιες εφαρμόζονται ευρέως στην ανάλυση και τον σχεδιασμό, δεν είχαν μεταφραστεί στο υλικό πεδίο της κατασκευής, έως πρόσφατα. Η έρευνα ICD / ITKE Pavilion στη Στουτγκάρδη το 2014 παρουσιάζει πιθανές διαδρομές σχεδιασμού και τεχνικές μέσω ενός διευρυμένου ορισμού της αρχιτεκτονικής με τη βοήθεια του παραμετρικού σχεδιασμού. Εδώ δημιουργείται ο προβληματισμός του

πώς θα μπορούσαν αυτές οι εξελίξεις να επηρεάσουν την πρακτική των υλικών στην αρχιτεκτονική τη μηχανική και το design σε οικονομικό, τεχνολογικό και πολιτιστικό επίπεδο. Το ICD / ITKE προωθεί τον σχεδιασμό και την παραγωγή μη γραμμικών συστημάτων μέσα από σύνθετες γεωμετρίες, με διεπιστημονικές ομάδες αποτελούμενες από αρχιτέκτονες, μηχανικούς, επιστήμονες και κατασκευαστές και δραστηριοποιείται στον ακαδημαϊκό χώρο, την πρακτική και τη βιομηχανία. Πρωταρχική ώθηση των έργων είναι η εξέλιξη της ψηφιακής πολυπλοκότητας στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Παράλληλα, αυτή η προσέγγιση στοχεύει στην έρευνα και κατασκευή υλικών και στην οικονομική και οικολογική παραγωγή σύνθετης δομημένης μορφής και προσαρμοστικής αρχιτεκτονικής.

Αναπνευστική μεμβράνη (ομάδα BIOMS)

Το έργο της ομάδας BIOMS, με διευθύνοντα τον Maria-Paz Gutierrez στο UC Berkeley, εμπνέεται από τα δέρματα της φύσης. Όπως δηλώνει ο Gutierrez, «**Η αυτό-ενεργή ύλη είναι η νέα παθητική αρχιτεκτονική**». Αξιοποιώντας την κλωστοϋφαντουργία ως ένα σημαντικό αρχιτεκτονικό στοιχείο, η BIOMS πολυλειτουργική μεμβράνη διαθέτει ένα ενσωματωμένο σύστημα αισθητήρα και ενεργοποιητή που δεν έχει σχεδιαστεί μόνο για να ανταποκρίνεται μέσω αυτού που ο Gutierrez αποκαλεί «συνεργατική βελτιστοποίηση θερμότητας, φως και μεταφοράς υγρασίας» αλλά είναι επίσης ένα σύστημα κλειστού βρόχου. Είναι σημαντικό ότι αυτό το σύστημα δεν απαιτεί είσοδο ενέργειας μέσω μηχανικών ενεργοποιητών και αισθητήρων. Όπως αναφέρει η ομάδα BIOMS, «εάν οι ροές ενέργειας και υλικού βελτιστοποιούνται συνεργατικά μέσω ενός υλικού που έχει προγραμματιστεί με αυτορρύθμιση, το περίβλημα γίνεται, όπως στη φύση, ένα πολυλειτουργικό δέρμα» (Sabin, J., 2016:67). Μέσα από μια σειρά πόρων και οπών, η αναπνευστική μεμβράνη επιτυγχάνει πολλαπλές λειτουργίες μέσω μηδενικής εισαγωγής ενέργειας. Υπό αυτήν την έννοια, το ίδιο το υλικό ενεργοποιείται και ανταποκρίνεται σε πολλαπλά ερεθίσματα ενώ βελτιστοποιείται για ιδανικές συνθήκες.



Εικόνα 23: Πολυλειτουργική κτηριακή μεμβράνη

(αριστερά) Πολυλειτουργική κτηριακή μεμβράνη: Αυτό-ενεργά κύτταρα, M. P. Gutierrez (διευθυντής / επικεφαλής του BIOMS) με τον L. P. Lee (διευθυντής BioPoets), UC Μπέρκλεϊ, Ομάδα BIOMS (Charles Irby, Katia Sobolski, Pablo Hernandez, David Campbell, Peter Suen) B. Kim (ομάδα BioPoets). © BIOMS UC Μπέρκλεϊ.

(Δεξιά) Σε αντίθεση με πολλά υπάρχοντα προσαρμοστικά συγκροτήματα κτιρίων και πρωτοτύπων που επικοινωνούν από ένα κεντρικό σύστημα ηλεκτρισμού, η αναπνευστική μεμβράνη BIOMS λειτουργεί με μηδενική είσοδο ενέργειας για αυτορρύθμιση και βελτιστοποίηση για θερμότητα, φως και υγρασία. © BIOMS UC Μπέρκλεϊ. <https://bit.ly/3u45tYz> (ανακτήθηκε στις 16/2/2021).

Η ομάδα BIOMS εικάζει ότι η αναπνευστική της μεμβράνη, που κατασκευάζεται ψηφιακά μέσω της ενσωμάτωσης του πολυμερισμού με 3-D εκτύπωση, θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε νέες κατασκευές όπως σε μικρά αναπτυσσόμενα περιβλήματα έκτακτης ανάγκης ή σε δημόσιους χώρους τροπικών ζωνών, όπως αγορές και σχολεία. Τέλος, η Gutierrez και η BIOMS ομάδα της, εκφράζουν τη σημασία της έρευνάς τους στο πλαίσιο της κρίσης. Αντί να επικεντρωθεί σε μεμονωμένες λύσεις για συνθήκες κρίσης, όπως στις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, η ομάδα αυτή ενδιαφέρεται περισσότερο για το πώς η ερευνητική της μεθοδολογία και προσέγγιση «θα συμβάλλει σε μια αλλαγή του τρόπου προσέγγισης των ανθρώπινων και φυσικών πόρων σε συνθήκες κρίσης, και των μετασχηματισμών που συνεπάγεται αυτό από τη σχεδιαστική ιδέα έως το παραγωγικό πλαίσιο, από το νάνο ή το μικρο, στην κλίμακα του κτιρίου» (Sabin, J., 2016:68).

2.5.3.4 Τεχνικές εξελίξεις παράλληλα με τη βιολογία στο βιομηχανικό Design

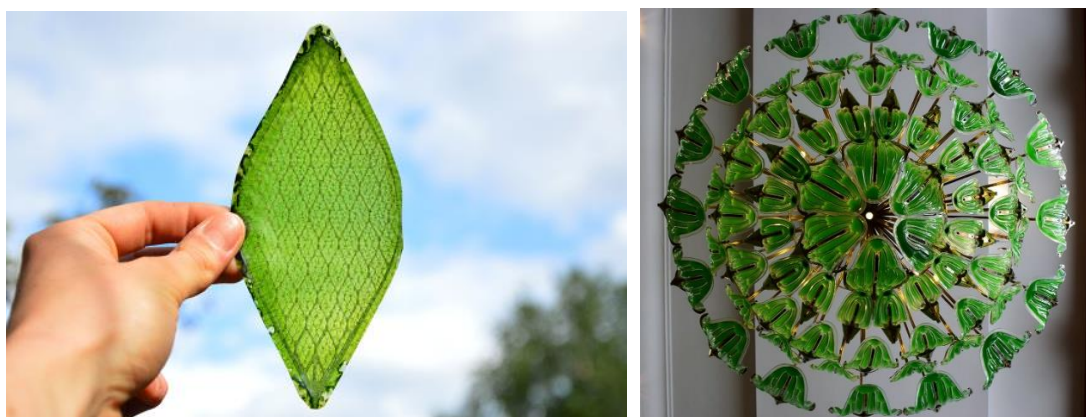
Φωτιστικό (βιονικός πολυέλαιος 2017)



Εικόνα 24 : βιονικός πολυέλαιος, <https://www.julianmelchiorri.com/Bionic-Chandelier> ,
ανακτήθηκε 11/3/2021

Σχεδιάστηκε από τον Julian Melchiorri, Βρετανό-Ιταλό ερευνητή βιομηχανικού σχεδιασμού και βιομηχανικής τεχνολογίας. Η έμπνευση προέκυψε από την έρευνα του Julian για τη δημιουργία τεχνολογίας «τεχνητών φύλλων», αξιοποιώντας τη φυσική ισχύ της φωτοσύνθεσης, για να μετατρέψει το CO₂ σε οξυγόνο. Αυτός είναι ο πρώτος σχεδιασμός που χρησιμοποιεί την καινοτόμο τεχνολογία, με την προοπτική να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον σε όλα τα είδη κτηρίων και αντικειμένων, συντελώντας στο να έχουμε καθαρότερο αέρα. Ο πολυέλαιος καθαρίζει τον αέρα σε εσωτερικούς χώρους μέσω της φωτοσύνθεσης που πραγματοποιείται από ζωντανούς φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς εγκλεισμένους σε φύλλα. Το «Bionic Chandelier» είναι το πρώτο ζωντανό αντικείμενο που αναπτύσσεται συνεχώς, ενώ εκτελεί βιολογικές λειτουργίες. Το φως του πολυελαίου φωτίζει τον χώρο, αλλά επίσης διεγείρει τη φωτοσύνθεση που πραγματοποιείται από μικροσκοπικά φυτά. Αυτοί οι ζωντανοί μικροοργανισμοί τρέφονται με διοξείδιο του άνθρακα, ενώ

απελευθερώνουν οξυγόνο στο δωμάτιο. Η βιολογική διαδικασία που πραγματοποιείται από τον πολυέλαιο, δημιουργεί και διερευνά μια νέα συμβιωτική σχέση μεταξύ αντικειμένου και ανθρώπων. Τα άλλα απόβλητα ανταλλάσσονται συνεχώς και γίνονται ο ένας στον άλλο ζωογόνοι πόροι επιτρέποντας τις αντίστοιχες μεταβολικές διαδικασίες τους. Αυτή η ανταλλαγή υπενθυμίζει πώς λειτουργούν τα βίο-σφαιρικά συστήματα, όπου τα απόβλητα τελικά δεν υπάρχουν, αλλά είναι ένας πολύτιμος πόρος για άλλα στοιχεία του συστήματος. Το Exhale είναι μέρος της διάσημης συλλογής V&A.



Εικόνα 25: Μονάδα φύλλου, <https://www.julianmelchiorri.com/Bionic-Chandelier> , ανακτήθηκε 11/3/2021

Ο σχεδιασμός ακολουθεί την προσέγγιση της βίο-μίμησης του Julian για τη «διαμόρφωση μέσω της λειτουργίας», ενώ εμπνέεται από τη φύση και τις συλλογές Art-Nouveau και Islamic Art του V&A. Η μεταλλική κατασκευή είναι εξ ολοκλήρου χειροποίητη. Κάθε δομή διαθέτει μια μονάδα φύλλου 3 διαφορετικών μεγεθών που επαναλαμβάνεται 70 φορές σε ακτινική συστοιχία παρόμοια με τον τρόπο που η φύση διαμορφώνει φυτά και κοχύλια.

Το «Bionic Chandelier» συνδέεται με μια συσκευή μονάδας υποστήριξης ζωής, που αναπτύχθηκε από τους μηχανικούς της Arborea, η οποία τρέφει και διατηρεί ζωντανή την κουλτούρα των μικροοργανισμών. Αυτό το εξαιρετικά λειτουργικό και οικολογικό φωτιστικό δείχνει το μέλλον του σχεδιασμού, με ενσωματωμένα χαρακτηριστικά που συμβάλλουν σε ένα καθαρότερο, πιο πράσινο περιβάλλον (Melchiori, J., 2017).

(Exoskin: Το προγραμματιζόμενο υλικό, 2016)



Εικόνα 26: Η βιβλιοθήκη του Αμερικανικού κολεγίου Century στη Μινεσότα.

<https://www.designindaba.com/articles/creative-work/exoskin-programmable-material>

ανακτήθηκε στις 12/2/2021

Ερευνητές στο Massachusetts Institutes of Technology (MIT) δημιούργησαν προγραμματιζόμενα υλικά που ζωντανεύουν διάφορα στάσιμα αντικείμενα, δίνοντάς τους κίνηση (Matroos, J.,2016).

Το Exoskin, παρέχει έναν τρόπο ενσωμάτωσης πλήθους στατικών, άκαμπτων υλικών, σε ενεργοποιήσιμες, ελαστικές μεμβράνες, επιτρέποντας στα νέα ημι-άκαμπτα σύνθετα, να αισθάνονται, να αντιδρούν και να υπολογίζουν. Η μεταβαλλόμενη υφή μπορεί να εισάγει ρευστότητα και ικανότητα αίσθησης σε μια ποικιλία προϊόντων. Ενσωματώνοντας μαλακά υλικά με πιο στατικά υλικά, οι ερευνητές Basheer Tome και Hiroshi Ishii μπόρεσαν να διασπάσουν το χάσμα μεταξύ άκαμπτων και μαλακών υλικών, ζωντανών και άψυχων. Η ομάδα χρησιμοποίησε το «Exowheel», ένα τιμόνι αυτοκινήτου, ως απτό παράδειγμα των σχεδιαστικών εφαρμογών. Με την ενσωμάτωση του Exoskin, το Exowheel μπορεί να μεταμορφώσει την επιφάνειά του δυναμικά για να δημιουργήσει μια προσαρμοσμένη λαβή για κάθε μεμονωμένο χρήστη. Είναι επίσης ικανό να προσαρμόσει το κράτημα κατά τη διάρκεια της οδήγησης, καθώς το αυτοκίνητο κινείται από την κυκλοφοριακή συμφόρηση της πόλης σε πιο δύσκολους αγροτικούς δρόμους (Basheer, T., Ishii, H., 2015).

Παρακάτω, ακολουθεί ένας πίνακας που παρουσιάζει την έννοια της βίο-μίμησης σε διαφορετικές περιόδους.

Πίνακας 1. Παρουσίαση της εξέλιξης της έννοιας της βίο-μίμησης σε διαφορετικές περιόδους (Δίκου, Χ., 2021)

ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΙΜΗΣΗΣ		
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΣΟΠΟΛΕΜΟΥ		Ενσωμάτωση του κτιρίου στο τοπίο (βίο-φιλία)
ART NAUVEAU		Μεταφορά οργανικής μορφολογίας.
ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ		Τεχνική εξέλιξη του κτιριακού κελύφους, με εμφάνιση που θυμίζει μορφή από τη φύση.
		Δημιουργία κτιριακής δομής (π.χ. αναπνευστική μεμβράνη) που να συμπεριφέρεται σαν οργανισμός προσαρμοζόμενος στο περιβάλλον του, ανταποκρινόμενος σε μεταβαλλόμενα εξωτερικά ερεθίσματα.

Είναι γεγονός ότι στα περισσότερα από τα προηγούμενα παραδείγματα η έμπνευση από τη φύση παραμένει σε ένα φορμαλιστικό επίπεδο. Η μεταλλική κατεργασία π.χ. που είναι χαρακτηριστική στο κτίριο της Art Nauveau, μιμείται την αισθητική της φύσης αλλά δεν εμπεριέχει καμία λειτουργική ή δομική απόδοση. Το ίδιο ισχύει για τις περισσότερες από τις πρόσφατες αρχιτεκτονικές τάσεις όπως ο βίο-μορφισμός, όπου η Αρχιτεκτονική, εμπνέεται από τα έμβια όντα, τις αναλογίες και τη μορφή τους.

«Αναφορικά με τις τεχνικές εξελίξεις με φυσική εμφάνιση, όπως το Εθνικό Στάδιο του Πεκίνο στην Κίνα (φωλιά του πουλιού), η φυσική εμφάνιση ενός τεχνικού προϊόντος δεν είναι ο δηλωμένος στόχος στη διαδικασία της ανάπτυξης, αλλά μπορεί να είναι το αποτέλεσμα ενός εκλεπτυσμένου σχεδιασμού που δίνει επίσης στο προϊόν αισθητικά ελκυστική εμφάνιση» (VDI 6226, 2015). «Περιστασιακά, η φυσική εμφάνιση είναι τόσο πειστική που, στη συνέχεια, ένα βιολογικό αρχέτυπο διαβάζεται σε αυτό και το προϊόν αποκτά την ονομασία του, όπως το Εθνικό Στάδιο στην Κίνα, που θυμίζει τη φωλιά του πουλιού, λόγω του χάλυβα που συνθέτει την πρόσοψη. Ειδικά στην Κίνα, η φωλιά του πουλιού συνδέεται με θετικά συναισθήματα, κυρίως επειδή αποτελεί ένα εξαιρετικά ακριβό και σπάνιο «γκουρμέ» (Lubow, A., 2006:11).

Αντίθετα, η σημερινή επιστημονική μέθοδος βιολογικής έρευνας, με τις τεχνολογικές μεθόδους προσομοίωσης και κατασκευής μαζί με τη διαθεσιμότητα υλικών υψηλών επιδόσεων, καθιστούν για πρώτη φορά δυνατή, μια πραγματική μεταφορά γνώσης. Η μορφογένεση και ο παραμετρικός σχεδιασμός εισάγεται ως μία σχεδιαστική βίο-μιμητική διαδικασία. Στις περιπτώσεις παραμετρικού σχεδιασμού είναι πολύ πιθανό ότι εκτός από την έμπνευση, μεταφέρονται επίσης, αρχές, μορφολογία και αλγόριθμοι (O'Rourke, and Seepersad, 2015). Έτσι, οι βίο-εμπνευσμένες λύσεις έρχονται μαζί με την συνεισφορά στην αειφόρο ανάπτυξη με χαμηλότερα επίπεδα κινδύνου, ανοχή σφαλμάτων, περιβαλλοντική συμβατότητα, ενέργεια και αποδοτικότητα υλικών.

Γενικότερα, οι βίο-εμπνευσμένες δομές έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση σε σχέση με τις συμβατικές δομές στην αλληλοεπίδραση με το περιβάλλον και τη ρύθμιση των ενεργειακών ροών σε ένα κτίριο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι δομές αυτές γίνονται ένα φυσικό σύστημα, που από μόνο του, είναι ικανό να παράγει ενέργεια, και να τη διανείμει σε ένα κτίριο. Σύμφωνα με τους ερευνητές, η έμπνευση

από τις βίο-μιμητικές εξελίξεις αποτελεί βασική κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη εφαρμογών με χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα. Αυτή η προοπτική παρουσιάζει μια άποψη για το ρόλο της βίο-μίμησης και της βίο-έμπνευσης αναφορικά με την ικανοποίηση των απαιτήσεων για ενέργεια και αειφορία. Σύμφωνα με την Mazzoleni, στην εισαγωγή του βιβλίου της «Η αρχιτεκτονική ακολουθεί τη φύση», *«Ο βίο-μιμητικός σχεδιασμός είναι ένας τρόπος για να αρχίσουμε να εναρμονίζουμε τεχνητές κατασκευές με το φυσικό περιβάλλον»* (Mazzoleni, I., 2013).

Η πρόθεση αυτής της διπλωματικής όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο δεν είναι μόνο να συζητήσουμε γενικά για τη βίο-έμπνευση, αλλά να κατανοήσουμε τη σημασία και τον αντίκτυπο, που μπορεί να έχει η εφαρμογή της βίο-έμπνευσης στην αρχιτεκτονική σχετικά με τη συζήτηση για το ενεργειακό. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο τα «έξυπνα» υλικά και οι τεχνολογίες τους θα εμπλακούν σε αυτή τη διπλωματική. Συνεπώς, το τρίτο κεφάλαιο που ακολουθεί, θα επικεντρωθεί στο επιστημονικό πεδίο της βίο-έμπνευσης, στο βαθμό που εμπλέκεται με διαδραστικά «έξυπνα» υλικά και τεχνολογίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: «ΕΞΥΠΝΑ» ΥΛΙΚΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΟ DESIGN –

Αναλογία ανάμεσα στην κατασκευή και τα βιολογικά συστήματα.

A ΜΕΡΟΣ

Στο πρώτο μέρος αυτού του κεφαλαίου, θα γίνει μία επιλογή διαφορετικών τύπων έξυπνων υλικών, θα συζητηθούν τα χαρακτηριστικά τους και τα πεδία εφαρμογών τους στις κατασκευές και θα γίνει μία ταξινόμηση αυτών, σε σχέση με τις σύγχρονες τεχνολογίες.

Στη συνέχεια, θα γίνει ένας παραλληλισμός ανάμεσα σε κάποια έξυπνα υλικά-τεχνολογίες και σε βιολογικά συστήματα, δείχνοντας τη δυνατότητα αυτών των υλικών-τεχνολογιών να μιμούνται φυσικές λειτουργίες.

B ΜΕΡΟΣ

Στο δεύτερο μέρος αυτού του κεφαλαίου, θα γίνει μία αναφορά της αφαιρετικής διαδικασίας προσέγγισης από βιολογικά συστήματα.

Επιπλέον, θα συζητηθεί μια ομάδα παραδειγμάτων βίο-έμπνευσης, δείχνοντας τη μεταφορά του λειτουργικού συστήματος αυτών στο “design” και τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Σε αυτό το πλαίσιο, οι μελέτες θα παρουσιαστούν σε έναν πίνακα, συνοψίζοντας ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της φύσης που σχετίζονται με τον ανθρωπογενή κόσμο και συνδέουν αρχιτεκτονικές εφαρμογές με διαδικασίες και λειτουργίες που εμφανίζονται στη φύση.

A ΜΕΡΟΣ

3.1. Εισαγωγή

Είναι γεγονός ότι στον 21 αιώνα, η χρήση έξυπνων υλικών στον αρχιτεκτονικό τομέα ανοίγει ορίζοντες για εξοικονόμηση ενέργειας μέσω του προσαρμοστικού περιβλήματος του κτιρίου και επιτρέπει στους αρχιτέκτονες και τους σχεδιαστές να παρέχουν καλύτερες περιβαλλοντικές συνθήκες στους ανθρώπους.

Εντός των επιστημονικών κλάδων, ο όρος «έξυπνος» χρησιμοποιείται συχνότερα σε σχέση με υλικά και επιφάνειες. Οι έξυπνες επιφάνειες και τα υλικά δείχνουν ιδιότητες που μπορούν να αλλάξουν και έτσι ανταποκρίνονται στις παροδικές ανάγκες (Fox & Yeh, 1999 cited in Romano et al, 2018). Επιπλέον, μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο σε ευφυή, προσαρμοστικά και ανταποκρινόμενα περιβλήματα λόγω αυτών των εγγενών ιδιοτήτων. Παραδείγματα έξυπνων υλικών που χρησιμοποιούνται σε δομικά περιβλήματα υψηλής απόδοσης περιλαμβάνουν: αερογέλη- το συνθετικό ημιδιαφανές υλικό χαμηλής πυκνότητας που χρησιμοποιείται σε υαλοπίνακες, υλικά που αλλάζουν φάση όπως κερί με μικροκάψουλα, ένυδρα άλατα, θερμοχρωμικά φιλμ πολυμερούς και ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά σε κτίρια (Velikon & Thüß, 2013). Τα έξυπνα συστήματα του κτιριακού περιβλήματος είναι σε θέση να τροποποιήσουν τα φυσικά-γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, ώστε να συμμορφώνεται με τις αλλαγές του περιβάλλοντος.

Τα έξυπνα υλικά αναγνωρίζονται ως αντικείμενα που μπορούν να λαμβάνουν, να μεταδίδουν ή να επεξεργάζονται ένα ερέθισμα, να αντιλαμβάνονται τις περιβαλλοντικές συνθήκες και στη συνέχεια να αντιδρούν με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται. Τα πέντε πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που διακρίνουν τα έξυπνα υλικά από τα παραδοσιακά στον τομέα της αρχιτεκτονικής είναι: 1. Η αμεσότητα, ώστε να ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο. 2. Η μεταβατικότητα, ώστε να ανταποκρίνονται σε περισσότερες από μία περιβαλλοντικές καταστάσεις. 3. Η αυτό-ενεργοποίηση, (η νοημοσύνη είναι εσωτερική και όχι έξω από το υλικό). 4. Η

επιλεκτικότητα, (η απόκρισή τους είναι διακριτή και προβλέψιμη). 5. Το στιγμιαίο , (η απόκριση είναι τοπική στο συμβάν που τα ενεργοποιεί) (Addington, M., Schodek, D., 2004:10). Τα έξυπνα υλικά έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν χρήσιμα εφέ όπως: αλλαγή στην κατανομή των τάσεων, αλλαγή χρώματος, μεταβολή του όγκου και μεταβολή στον δείκτη διάθλασης. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά είναι σημαντικά για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, καθώς τα κτίρια αντιμετωπίζουν πάντα μεταβλητές συνθήκες.

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι:

- **να γνωστοποιήσει** τα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά των έξυπνων υλικών, μέσω της παρουσίασης, της ταξινόμησής τους και της επεξήγησης κάποιων επιμέρους εφαρμογών τους ανά κατηγορία,
- **να παρουσιάσει** την αναλογία μεταξύ των κτιριακών αναγκών και των βιολογικών συστημάτων, μελετώντας μια επιλογή διαφορετικών τύπων έξυπνων υλικών, ακολουθούμενη από μεθόδους αφαίρεσης από βιολογικά συστήματα. Συνεπώς, παραδείγματα έμπνευσης από τη φύση θα συζητηθούν και θα αξιολογηθούν περαιτέρω.

3.2. Ταξινόμηση των έξυπνων υλικών

Σύμφωνα με τον Addington M., ενώ τα τυπικά δομικά υλικά είναι στατικά όσον αφορά το ότι προορίζονται να αντέξουν τις μηχανικές καταπονήσεις, **τα έξυπνα υλικά είναι δυναμικά, λόγω του ότι ανταποκρίνονται στα ενεργειακά πεδία που διαμορφώνονται από το περιβάλλον** (Addington, M., Schodek, D., 2004: 4)

Τα έξυπνα υλικά διαφοροποιούνται από τα παραδοσιακά υλικά σε σχέση με τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά :

- Την ικανότητα αλλαγής ιδιοτήτων,
- Την ικανότητα ανταλλαγής ενέργειας,
- Το διακριτό τους μέγεθος και τη θέση και
- Την αντιστρεψιμότητα των ιδιοτήτων τους.

Οι μηχανικοί, οι αρχιτέκτονες και οι σχεδιαστές, μπορούν να επωφεληθούν από αυτά τα χαρακτηριστικά, βελτιστοποιώντας τις ιδιότητες των υλικών ή τη συμπεριφορά τους, ώστε αυτά να προσαρμόζονται στις συνθήκες του περιβάλλοντος (Addington, M., Schodek, D., 2004: 29).

3.2.1 Ικανότητα αλλαγής ιδιοτήτων

Η ικανότητα αλλαγής ιδιοτήτων επιτρέπει σε αυτά τα υλικά να αντιδρούν σε αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η αλλαγή σε μια ή περισσότερες ιδιότητες (χημικές, θερμικές, μηχανικές, μαγνητικές, οπτικές ή ηλεκτρικές), δημιουργείται ως απόκριση σε αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον ή με άμεση είσοδο ενέργειας (Schwartz. M., 2002).

Στη συνέχεια, ακολουθεί ένας πίνακας με τα χαρακτηριστικά των υλικών που έχουν την ικανότητα να αλλάζουν ιδιότητες.

Είδος έξυπνου υλικού	Συνθήκη	Αποτέλεσμα
Θερμο-χρωμικά	Διαφορά θερμοκρασίας	Αλλαγή χρώματος
Φωτο-χρωμικά	Ακτινοβολία(φως)	Αλλαγή χρώματος
Μηχανο-χρωμικά	Παραμόρφωση	Αλλαγή χρώματος
Χημειο-χρωμικά	Χημική συγκέντρωση	Αλλαγή χρώματος
Ήλεκτρο-χρωμικά	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού	Αλλαγή χρώματος
Υγρών κρυστάλλων	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού	Αλλαγή χρώματος
Αιωρούμενο σωματίδιο	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού	Αλλαγή χρώματος
Ηλεκτρο-ρεολογικά	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού	Ακαμψία/αλλαγή ιξώδους
Μαγνητο-ρεολογικά	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού	Ακαμψία/αλλαγή ιξώδους

Πίνακας 2. Τα χαρακτηριστικά των υλικών με την ικανότητα να αλλάζουν ιδιότητες.

3.2.1.1 Παράδειγμα ηλεκτροχρωμικού υλικού

(Τα «έξυπνα» παράθυρα)

Μία από τις σημαντικότερες αναδυόμενες τεχνολογίες για την ενεργειακή εξοικονόμηση των κτιρίων είναι τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα που σκουραίνουν ή γίνονται διάφανα, ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 26: Η βιβλιοθήκη του αμερικανικού κολεγίου Century στη Μινεσότα. Πηγή:

<https://www.pemptousia.gr/2012/02/29250/> και <https://www.energia.gr/article/37368/tehnologia-ta-exypna-parathyra>,

ανακτήθηκε 30/12/2020

Παράδειγμα αποτελεί η βιβλιοθήκη του αμερικανικού κολεγίου Century στη Μινεσότα, όπου οι «έξυπνοι» υαλοπίνακες με τους οποίους έχει εξοπλιστεί, ρυθμίζουν απολύτως το ποσοστό του φωτός και της ακτινοβολίας του ήλιου που θα περάσει στο εσωτερικό της. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το χειμώνα οι υαλοπίνακες παραμένουν διαφανείς, ώστε οι ηλιακές ακτίνες να θερμαίνουν τον εσωτερικό χώρο, ενώ το καλοκαίρι, με το πάτημα ενός κουμπιού, τα παράθυρα αποκτούν ένα σκούρο μπλε χρώμα, μπλοκάροντας έως και το 96,5% του φωτός που πέφτει επάνω τους, αλλά και τη θερμότητα που αυτό μεταφέρει. Χάρη στους συγκεκριμένους υαλοπίνακες, η βιβλιοθήκη συγκαταλέγεται στα οικήματα με την καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται ότι το κτίριο εξοικονομεί το 20% του ρεύματος που θα χρειαζόταν για την ψύξη ή τη θέρμανσή του αν διέθετε συμβατικά παράθυρα. Επίσης, αυτή η ευχέρεια ρύθμισης του ηλιακού φωτός βοηθά στο να χρησιμοποιούνται οι λαμπτήρες όσο το δυνατόν λιγότερο, συνεπώς εκτιμάται πως η βιβλιοθήκη καταναλώνει έως και 60% λιγότερο ρεύμα για τον τεχνητό φωτισμό της. Η τεχνολογία αυτή των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων, των «έξυπνων» δηλαδή

παραθύρων που μετατρέπονται από σκουρόχρωμα σε διαφανή και το αντίθετο βρίσκει εφαρμογές και στον βιομηχανικό σχεδιασμό, συγκεκριμένα σε κράνη, στα οποία ο μοτοσικλετιστής μπορεί να σκουραίνει το προστατευτικό κάλυμμα όταν τον «τυφλώνει» ο ήλιος, καθώς και σε ηλιοροφές αυτοκινήτων.

Οι υαλοπίνακες αυτοί, αλλάζουν οπτικές ιδιότητες μέσω ορισμένων χημικών ουσιών «οξειδία», οι οποίες παίρνουν ένα σκούρο μπλε χρώμα όταν σε αυτές προστεθούν ιόντα λιθίου. Έτσι, κάθε υαλοπίνακας περιέχει ένα διαφανές στρώμα από τέτοια οξείδια και μια «αποθήκη ιόντων λιθίου, ώστε, όταν ηλεκτροδοτηθεί από μια εξωτερική μπαταρία, τα ιόντα να εισχωρήσουν στο διαφανές στρώμα και να το χρωματίσουν. Αλλάζοντας τη φορά του ρεύματος, το λίθιο επιστρέφει στην «αποθήκη» του και το τζάμι γίνεται ξανά διαφανές. Ταυτόχρονα, η μπαταρία καταναλώνει ρεύμα μόνο όταν το παράθυρο αλλάζει οπτικές ιδιότητες, και μάλιστα πολύ λιγότερο από αυτό που χρειάζεται για να λειτουργήσει ένας λαμπτήρας εξοικονόμησης ενέργειας (Δεληγιάννης, 2010).

3.2.1.2 Παράδειγμα θερμοχρωμικού υλικού



Εικόνα 27. Η καρέκλα «θερμότητας» που χρησιμοποιεί θερμοχρωμικό χρώμα για να παρέχει ένα δείκτη για το πού και το πότε το σώμα ξεκουράστηκε στην επιφάνεια. (Ευγενική προσφορά του Juergen Mayer). (Addington, M., Schodek, D., 2004: 29).

3.2.2 Ικανότητα ανταλλαγής ενέργειας

Πολλές εφαρμογές στην αρχιτεκτονική και τον σχεδιασμό μπορούν να επωφεληθούν από υλικά με την ικανότητα ανταλλαγής ενέργειας, μέσω της λήψης ενέργειας, που εξ αιτίας του θερμοδυναμικού νόμου, μετασχηματίζεται σε μια άλλη μορφή ενέργειας, βάσει των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η ενεργειακή αποτελεσματικότητα έξυπνων υλικών όπως είναι τα θερμοηλεκτρικά και τα φωτοβολταϊκά, είναι πολύ υψηλή.

Ακολουθεί πίνακας με τα χαρακτηριστικά των υλικών ανταλλαγής ενέργειας.

Είδος έξυπνου υλικού	Συνθήκη	Αποτέλεσμα
Ήλεκτρο-φωταυγές	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού	Φως
Φωτο-φωταυγές	Ακτινοβολία	Φως
Χημείο-φωταυγές	Χημική συγκέντρωση	Φως
Θέρμο-φωταυγές	Διαφορά θερμοκρασίας	Φως
Δίοδοι εκπομπής φωτός	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού	Φως
Φωτοβολταϊκά	Ακτινοβολία(φως)	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού

Πίνακας 3. Τα χαρακτηριστικά των υλικών ανταλλαγής ενέργειας.

3.2.2.1 Παράδειγμα: Ήλεκτρο-φωταυγή υλικά (επιφάνειες εκπομπής φωτός)

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα ήλεκτρο-φωταυγή φιλμ. Πρόκειται για πολύ λεπτά εύκαμπτα φιλμ, πάχους μέχρι 1 mm, τα οποία εκπέμπουν φως όταν τα διαπεράσει ηλεκτρικό ρεύμα. Το φως που παράγουν είναι λευκό ή έγχρωμο, χαμηλής έντασης και δεν ανακλάται. Στα κτίρια βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές, όπως σε φωτιστικά νυκτός ή κινδύνου, σε συστήματα οδήγησης για προσανατολισμό, σε διακοσμητικές εξωτερικές ή εσωτερικές επιφάνειες αλλά και σε εκθεσιακούς χώρους, ως επιφάνειες προβολής. Στην ίδια κατηγορία φωτεινών επιφανειών ανήκουν και οι

οργανικές δίοδοι εκπομπής φωτός (OLED). Κατασκευάζονται από ημιαγωγίμο, οργανικό στρώμα πολυμερών και προβλέπεται να αποτελέσουν την πιο σημαντική τεχνολογία φωτός του μέλλοντος. Αποτελούν το ιδανικό συμπλήρωμα των σημειακών πηγών φωτός, φωτοδιόδων στον τομέα του φωτισμού. Οι τελευταίες έρευνες δείχνουν ότι σύντομα θα είναι εφικτή η κατασκευή οργανικών φωτοδιόδων, που, όταν σβήνουν, θα αφήνουν μια εντελώς διάφανη επιφάνεια.



Εικόνα 28 : Ήλεκτρο-φωταυγές ύφασμα “Morphing Dress” του Hussein Chalayan, shorturl.at/zKMO7, ανακτήθηκε 31/12/2020

3.2.3. Μέγεθος – θέση

Το διακριτό μέγεθος των έξυπνων υλικών, τους επιτρέπει να αποδίδουν στην πιο αποτελεσματική θέση. Το ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των υλικών αλλαγής φάσης που είναι η απορρόφηση ενέργειας, έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας στο περιβάλλον, σύμφωνα με την κατεύθυνση της αλλαγής φάσης. Τα κράματα μνήμης σχήματος που έχουν αμφίδρομη φύση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόδοση διαφόρων αποτελεσμάτων.

Σε ένα κράμα που έχει μνήμη σχήματος προκύπτει μια στερεά κατάσταση μεταβολής φάσης – μια μοριακή αναδιάταξη – που είναι εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία και είναι αναστρέψιμη. Για παράδειγμα, το υλικό μπορεί να πάρει το σχήμα του μέσα σε έναν σχεδιασμό σε υψηλή θερμοκρασία, και να απωλέσει σε δραματικό βαθμό τη μορφή του ενώ βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία και στη συνέχεια να επιστρέψει στο αρχικό του σχήμα με την εφαρμογή της όποιας θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης αυτής που εκπέμπεται μέσω του ηλεκτρικού ρεύματος.

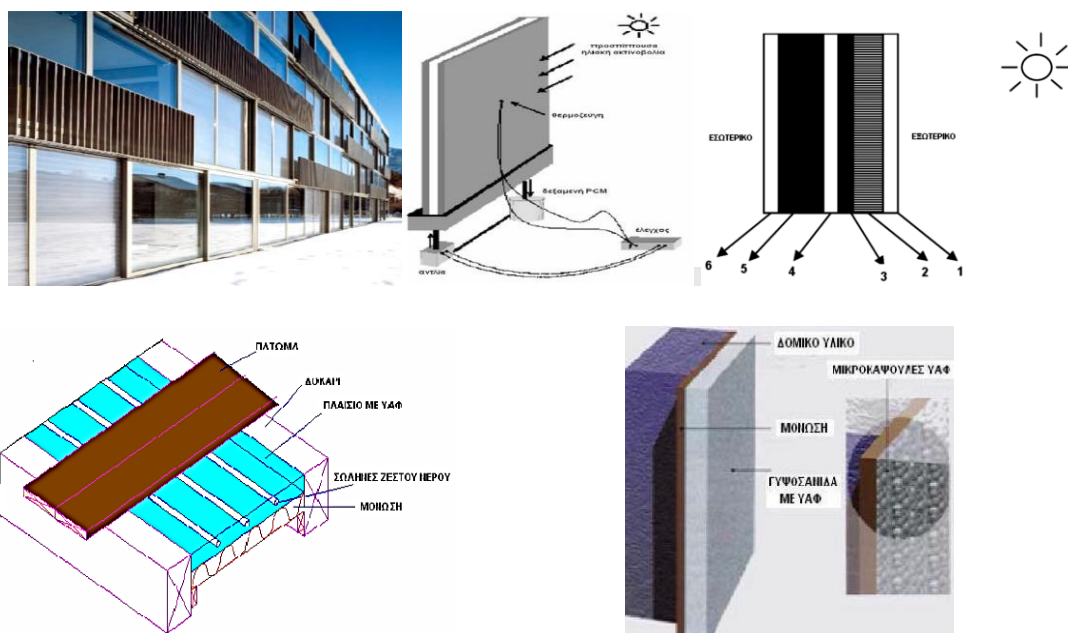
Κατά την επίδραση της μνήμης σχήματος που σχετίζεται με το μηχανολογικό περιβάλλον, ή την υπερ-ελαστικότητα, το υλικό μπορεί να υποστεί μια ελαστική παραμόρφωση (που προκαλείται από εξωτερική πηγή) που μπορεί να είναι τόσο υψηλή όσο είκοσι φορές ή και παραπάνω της ελαστικής διάτασης του κανονικού σιδήρου. Έτσι τα υπέρ-ελαστικά υλικά παρουσιάζουν απίστευτες ικανότητες παραμόρφωσης και παρόλα αυτά επιστρέφουν στο αρχικό τους σχήμα.

Τα Μαγνητικά Υλικά Μνήμης Σχήματος ή Magnetic Shape Memory (MSM) είναι μεταλλικά κράματα μονού κρυστάλλου, τα οποία μετατρέπουν ηλεκτρική ισχύ (μαγνητικό πεδίο) σε μηχανική ισχύ και αντίστροφα. Αναπτύχθηκαν κυρίως για εφαρμογές ενεργοποιητών και αισθητήρων, και αναμένεται στο μέλλον να αντικαταστήσουν ολόκληρα μηχανικά μέρη και παραδοσιακές τεχνολογίες. Τα υλικά MSM συνδυάζουν τις μεγάλες και περίπλοκες αλλαγές σχήματος των κραμάτων με χαρακτηριστικά μνήμης σχήματος με την ταχύτατη και ακριβή απόκριση που δίνει ο μαγνητικός έλεγχος. Κάνουν δυνατή την απευθείας δημιουργία κίνησης και δύναμης σε μία μηχανή χωρίς τη χρήση κινητήρων και άλλων στοιχείων μηχανών. Οι αλλαγές σχήματος στα MSM υλικά μπορούν να σχετίζονται με έκταση ή επιμήκυνση, κάμψη, στρέψη κλπ. Εξ αιτίας των μοναδικών ιδιοτήτων των MSM υλικών, οι ηλεκτρομηχανικές συσκευές και μηχανές γίνονται απλούστερες, μικρότερες και περισσότερο αξιόπιστες αφού ένα μόνο στοιχείο υλοποιημένο από MSM υλικό μπορεί να αντικαταστήσει ολόκληρο μμηχανισμό.

Ένα νέος τύπος MSM υλικού αναπτύχθηκε από τη Φινλανδική εταιρεία AdaptaMat. Πρόκειται για νέα κράματα μονού κρυστάλλου (single crystalline), π.χ. Ni-Mn-Ga. Αυτά τα νέα υλικά χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση ηλεκτρομηχανικών ενεργοποιητών και αισθητήρων. Το σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των νέων υλικών σε σχέση με τα παλαιότερα είναι ότι αναπτύσσουν παραμορφώσεις μέχρι 6%, δηλαδή 50 φορές περισσότερο από τα καλύτερα σημερινά υλικά ενεργοποιητών. (Για παράδειγμα το Terfenol-D παράγει παραμορφώσεις μέχρι 0,12% ενώ τα πιεζοκεραμικά χαμηλότερες). Το φαινόμενο πραγματοποιείται και αντίστροφα, δηλαδή μηχανικές φορτίσεις ενός MSM υλικού προκαλούν αλλαγές στο μαγνητικό πεδίο του περιβάλλοντος. Το φαινόμενο αυτό είναι τεχνολογικά αξιοποιήσιμο σε εφαρμογές αισθητήρων (Δημητρόπουλος, Δ.,2014).

3.2.3.1 Παράδειγμα: Υλικά μεταβαλλόμενης φάσης ή αλλαγής φάσης (Phase change Materials - PCMs). Υαλοπίνακες με υλικά αλλαγής φάσης (PCM glazing)

Τα τελευταία χρόνια σημειώθηκε μεγάλο ενδιαφέρον για τα υλικά αλλαγής φάσης (Phase Change Materials-PCMs) με σκοπό τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε κτίρια μέσω της θερμικής ρύθμισης του κτιριακού κελύφους. Τα υλικά αλλαγής φάσης μεταβαίνουν από στερεή σε υγρή φάση καθώς απορροφούν ενέργεια από μία πηγή θερμότητας. Όταν η θερμοκρασία μειώνεται, επιστρέφουν από την υγρή στη στερεή τους φάση, εκλύοντας ταυτόχρονα τη θερμότητα που είχαν αποθηκεύσει προηγουμένως. Αυτή η χαρακτηριστική ιδιότητα των υλικών αλλαγής φάσης επιτρέπει την εφαρμογή τους σε παράθυρα με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Μεταξύ των διάφορων τύπων υλικών αλλαγής φάσης, η παραφίνη είναι πιο διαδεδομένη λόγω του χαμηλού της κόστους.



Εικόνα 30: Παράδειγμα ενεργειακά αποδοτικού παραθύρου, ηλιακού τοίχου, συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης με χρήση Υ.Α.Φ., γυψοσανίδα με ενσωματωμένο Υ.Α.Φ

https://econ3.gr/files/mags/Econ3_Mag_Issue_12.pdf, ανακτήθηκε 2/1/2021

Πρόκειται για υλικά που κατασκευάζονται συνήθως από παραφίνες, αποθηκεύουν ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και την αποδίδουν κατά τις βραδινές ώρες, μειώνοντας τις θερμοκρασιακές αυξομειώσεις στο εσωτερικό ενός κτιρίου. Η

μεγάλη θέρμο-αποθηκευτική ικανότητα των υλικών αλλαγής φάσης οφείλεται στα επιπλέον ποσά θερμότητας, που απορροφώνται ή αποδίδονται κατά τη μετατροπή τους από τη στερεά στην υγρή φάση ή αντίστροφα (λανθάνουσα θερμότητα). Ένα δομικό στοιχείο που αποτελείται από στρώμα υλικού αλλαγής φάσης πάχους 2 cm, παρουσιάζει αντίστοιχη συμπεριφορά με τοίχο από σκυρόδεμα πάχους 18 cm. Τα παραπάνω παθητικά υλικά αλλαγής φάσης διαφοροποιούνται από τα ενεργητικά, στα οποία η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια διοχετεύεται αμέσως σε άλλο μέσο π.χ. νερό (Παπαμανώλης, Ν., 2010: 118-124).

3.2.4 Αντιστρεψιμότητα, κατεύθυνση

Τα υλικά ανταλλαγής ενέργειας μπορούν να έχουν ιδιότητες αντιστρεψιμότητας. Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των υλικών αλλαγής φάσης που είναι η απορρόφηση ενέργειας, έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας στο περιβάλλον, σύμφωνα με την κατεύθυνση της αλλαγής φάσης. Τα κράματα μνήμης σχήματος που έχουν αμφίδρομη φύση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόδοση διαφόρων αποτελεσμάτων.

Ακολουθεί πίνακας με τα χαρακτηριστικά των υλικών αντιστρεψιμότητας ενέργειας (Schwartz, M., 2002).

Τύπος έξυπνου υλικού	Συνθήκη	Αποτέλεσμα
Πιεζοηλεκτρικά	Παραμόρφωση	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού
Πύρρο-ηλεκτρικά	Διαφορά θερμοκρασίας	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού
Θέρμο-ηλεκτρικά	Διαφορά θερμοκρασίας	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού
Ήλεκτρο-περιοριστικά	Διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού	Παραμόρφωση
Μαγνητο-περιοριστικά	Μαγνητικό πεδίο	Παραμόρφωση

Πίνακας 4. Τα χαρακτηριστικά των υλικών αντιστρεψιμότητας ενέργειας

3.2.4.1 Παράδειγμα: πιεζοηλεκτρικά υλικά (ενεργειακά δάπεδα)

Ηλεκτρική ενέργεια παράγεται και μέσω πίεσης. Η αρχή λειτουργίας των πιεζοηλεκτρικών στοιχείων τους βασίζεται στη μετατροπή της μηχανικής τάσης, που ασκείται στην επιφάνειά τους, σε ηλεκτρική ενέργεια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα πιεζοηλεκτρικού υλικού είναι τα ενεργειακά δάπεδα.



Εικόνα 29: Δάπεδο από πιεζοηλεκτρικά πλακίδια με ενσωματωμένες φωτο-διόδους. Η ενέργεια που παράγεται από την κίνηση μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό, (shorturl.at/zKMO7,σελ.79), ανακτήθηκε 2/1/2021

3.3. Τα πεδία εφαρμογών των έξυπνων υλικών και των τεχνολογιών τους στις κατασκευές αναφορικά με την εξοικονόμηση ενέργειας.

Για αιώνες, οι αρχιτέκτονες αναγκάστηκαν να ακολουθήσουν τις τυπικές ιδιότητες των υλικών όπως συνέβαινε με το ξύλο και την πέτρα, όπου τα σχέδια περιορίζονταν από τις ιδιότητες αυτών των υλικών. Αντίθετα, τον 20ο αιώνα, τα έξυπνα υλικά με τα ειδικά χαρακτηριστικά της μηχανικής υψηλής απόδοσης, είναι δυνατόν να παρέχουν μοναδικότητα καθώς και ιδιότητες μεταμόρφωσης. Οι εξελίξεις στη σχεδίαση με

υποβοήθηση υπολογιστών που είναι κοινώς γνωστές ως CAD (computer aided design) και CAM (computer aided manufacturing), επέτρεψαν την αποτελεσματική διοχέτευση υλικών όπως το αλουμίνιο και το τιτάνιο ως δομικά κελύφη, εισάγοντας ένα ευρύ φάσμα μορφών στις προσόψεις των κτιρίων (Addington, M., Schodek, D., 2004:3). Τα έξυπνα υλικά χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά, στα κάτωθι:

3.3.1 Το κέλυφος του κτιρίου

Λόγω του σημαντικότερου χαρακτηριστικού των έξυπνων υλικών που είναι η **αλλαγή ιδιοτήτων**, οι προσόψεις και τα κτιριακά κελύφη με έξυπνα υλικά και τεχνολογίες είναι ευρέως διαδεδομένες στον τομέα της αρχιτεκτονικής. Τα συστήματα αυτά, είναι απαραίτητα για την κάλυψη του μεγάλου εύρους των εξωτερικών περιβαλλοντικών αλλαγών, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών που επηρεάζουν τη μεταφορά θερμότητας και τη μετάδοση ακτινοβολίας του ήλιου μέσω του κτιριακού κελύφους. Επιπλέον, η ανάπτυξη τεχνολογιών βοηθά τους μηχανικούς, τους αρχιτέκτονες και τους σχεδιαστές που εμπνέονται από τη βίο-μιμητική, να αναδημιουργήσουν σύνθετες δομές που υπάρχουν στη φύση, χρησιμοποιώντας καινοτόμες μεθόδους κατασκευής και υλικά, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας (Marvaldi, R., 2016:17). Το κέλυφος του κτιρίου πλέον κατασκευάζεται, όχι με τις παραδοσιακές αδρανείς επιφάνειες αλλά με μια ζωντανή επένδυση, η οποία σε πολλές περιπτώσεις περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών που βασίζονται στη συμπεριφορά των οργανισμών που βρίσκονται στη φύση. Το ισχυρό σημείο αυτής της προσέγγισης είναι ο εντοπισμός και η αξιολόγηση των πολλαπλών ωφελειών οι οποίες σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση των βίο-μιμητικών λύσεων.

3.3.2 Το δομικό σύστημα

Περιβαλλοντικά φαινόμενα, όπως σεισμοί και ανεμοστρόβιλοι, μπορεί να παράγουν δυναμική φόρτιση στο δομικό σύστημα του κτιρίου. Τα **υλικά ανταλλαγής ενέργειας**, προτείνουν αποτελεσματικές λύσεις εφαρμογής σε δομικά συστήματα.

3.3.3 HVAC (heating, ventilation and air conditioning). Θέρμανση, εξαερισμός, κλιματισμός και συστήματα φωτισμού.

Το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται σε οικοδομικά περιβαλλοντικά συστήματα όπως, συστήματα HVAC. Ο πρωταρχικός σκοπός των αναφερόμενων συστημάτων είναι να δημιουργήσουν μία συνθήκη για το εσωτερικό περιβάλλον, μέσω του καθορισμού ενός συγκεκριμένου επιπέδου φωτισμού ή της βελτιστοποίησης της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. **Η κατηγορία υλικών ανταλλαγής ενέργειας** έχει αποτελεσματική εφαρμογή για πηγές τροφοδοσίας ενέργειας και για συστήματα διοχέτευσης φωτισμού. Οι πιο σημαντικές χρήσεις έξυπνων υλικών στα δομικά συστήματα είναι ως αισθητήρες και ενεργοποιητές για τον έλεγχο περιβαλλοντικών συστημάτων (Addington, M., Schodek, D., 2004: 125).

3.4. Προτεινόμενο σύστημα ταξινόμησης των έξυπνων υλικών σχετιζόμενων με τις σύγχρονες τεχνολογίες.

Παρόλο που τα έξυπνα υλικά μπορούν να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά υλικά σε διάφορες εφαρμογές, τα έξυπνα υλικά χαρακτηρίζονται από την ενεργή συμπεριφορά τους, επομένως, μπορούν να εφαρμοστούν και ως τεχνολογίες. Για παράδειγμα, το ήλεκτρο-χρωμικό γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράθυρο, ως σύστημα ελέγχου φωτισμού ή ως αυτοματοποιημένο σύστημα σκίασης. Σε αυτό το πλαίσιο, το προϊόν μπορεί να εμπίπτει σε διάφορες κατηγορίες, δίνοντας στα έξυπνα υλικά έναν πολυδιάστατο χαρακτήρα.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει ένα προτεινόμενο πλαίσιο στο οποίο τα έξυπνα υλικά θέτουν μια σχέση μεταξύ υλικών και τεχνολογιών (Schwartz, M., 2002).

Κατηγορία	Βασικά χαρ/κά των υλικών	Βασική συμπεριφορά συστήματος
<p>Έξυπνα υλικά Υλικά ανταλλαγής ιδιοτήτων και υλικά ανταλλαγής ενέργειας</p>	<p>Οι ιδιότητες έχουν σχεδιαστεί για να ανταποκρίνονται σε εξωτερικά ερεθίσματα</p>	<p>Τα έξυπνα υλικά έχουν ενεργή ανταπόκριση σε εξωτερικά ερεθίσματα και μπορούν να χρησιμεύσουν ως ενεργοποιητές και αισθητήρες</p>
<p>Έξυπνα εξαρτήματα Έξυπνες συναρμολογήσεις, πολυδύναμοι τοίχοι</p>	<p>Έχουν σχεδιαστεί συμπεριφορές που ανταποκρίνονται έξυπνα σε διάφορες εξωτερικές συνθήκες ή ερεθίσματα σε διακριτές θέσεις.</p>	<p>Σύνθετες συμπεριφορές μπορούν να σχεδιαστούν για να ανταποκρίνονται άμεσα και έξυπνα σε πολυτροπικές απαιτήσεις.</p>
<p>Έξυπνα περιβάλλοντα</p>	<p>Τα περιβάλλοντα αυτά έχουν διαδραστικές συμπεριφορές και αποτελούνται από έξυπνα υλικά και συστήματα απόκρισης.</p>	<p>Τα έξυπνα περιβάλλοντα αποτελούνται από σύνθετα συγκροτήματα που συχνά συνδυάζουν παραδοσιακά υλικά με έξυπνα υλικά και εξαρτήματα, των οποίων τα δια-δραστικά χαρακτηριστικά είναι ενεργοποιημένα μέσω ενός υπολογιστή.</p>

Πίνακας 5. Σχέση μεταξύ «έξυπνων» υλικών και τεχνολογιών

3.5. Αναλογία, ανάμεσα στα έξυπνα υλικά και τις τεχνολογίες τους και τα βιολογικά συστήματα.

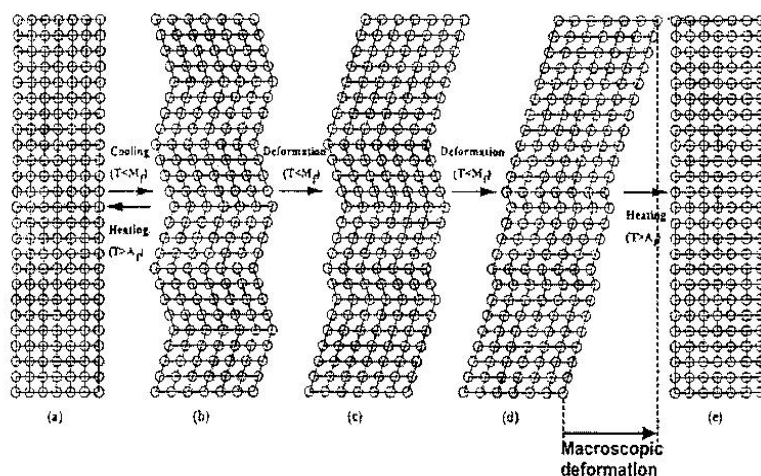
Πολλά νέα υλικά βασίζονται στην έμπνευση από τη φύση, συμπεριλαμβανομένων των βίο-ανόργανων υλικών που είναι κοινώς γνωστά ως βίο-μεταλλικά στοιχεία, βίο-νάνο-υλικά (βίο-νάνο-σωματίδια), δομικά υλικά πολλαπλών κλιμάκων, έξυπνα βιο-υλικά και υβριδικά οργανικά ή ανόργανα υλικά εμφυτεύματος που είναι γνωστά ως σύνθετα «bonelike».

Τα βίο-εμπνευσμένα έξυπνα υλικά, έχουν μοναδικές ιδιότητες, γι' αυτό και προσελκύουν όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον των μηχανικών και των σχεδιαστών, όπως συμβαίνει με τα βίο-μιμητικά πτερύγια, τα ενεργά κινούμενα πολυμερή και διάφορους αισθητήρες. Επιπλέον, η πλειονότητα των έξυπνων υλικών διαθέτει δυναμικές επιφάνειες οι οποίες μεταμορφώνουν τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες εξαιτίας των περιβαλλοντικών παραγόντων. Υπάρχουν σημαντικές δημιουργίες στη φύση, όπως η ιδιότητα της αυτόκαθαριζόμενης επιφάνειας των φύλλων του λωτού, ο μηχανισμός προσκόλλησης της σαύρας «Γκέκο», και πολλά άλλα φυσικά φαινόμενα που σχετίζονται με τις μικρό-και νάνο-δομές σε φυσικές επιφάνειες. Ωστόσο, η παραγωγή τέτοιων πολύπλοκων λειτουργικών χαρακτηριστικών σε υλικά εμπνευσμένα από τη βιολογία, εξαρτάται από καλά οργανωμένες δομές πολλαπλών κλιμάκων.

3.5.1 Έμπνευση από την βιολογική αυτό-θεραπεία – Κράματα μνήμης σχήματος

Η μίμηση της βιολογικής αυτό-θεραπείας - επιδιόρθωσης μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας συστήματα που έχουν σχεδιαστεί από τη μηχανική των κραμάτων μνήμης σχήματος για δομικό και επιφανειακό έλεγχο ολοκλήρωσης και επούλωσης. Χάρη στα διάφορα υλικά με μνήμη σχήματος, μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα υλικό και να το προγραμματίσουμε ώστε να εκτελεί μια προκαθορισμένη ακολουθία ενεργειών, όπως ακριβώς και στα μηχανήματα, αλλά με μεγαλύτερη ευφυΐα και ευελιξία, με την έννοια ότι το υλικό μπορεί να αισθανθεί και στη συνέχεια να

αντιδράσει, ακόμη και σε μοριακό επίπεδο. Τα υλικά αυτά έχουν ξεδιπλώσει ένα συναρπαστικό πεδίο για μεγάλη ποικιλία μηχανολογικών εφαρμογών. Εξαιτίας του αυξημένου ενδιαφέροντος για τα ευφυή υλικά και τις ευφυής δομές, τα υλικά με μνήμη σχήματος αποτελούν θέμα εκτεταμένης έρευνας και νέα SMA (shape memory alloys), FSMA (ferromagnetic shape memory alloys) και SMP υλικά (shape memory polymers) και εφαρμογές μελετώνται καθημερινά. Τα υλικά με μνήμη σχήματος βρίσκουν ήδη ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε πολλές βιομηχανίες. Επικρατούσα έρευνα υποστηρίζει την ευρέως διαδεδομένη άποψη ότι τα υλικά αυτά θα γίνουν ακόμη πιο κοινά στο μέλλον, καθώς επίσης θα παρέχουν κάποια από την απαραίτητη τεχνολογία πίσω από φουτουριστικά «concepts», όπως οι πολυμορφικές κατασκευές και τα νάνο-ρομπότ.



Εικόνα 31: Διάγραμμα για εφέ κραμάτων μνήμης σχήματος, nemetres.lis.upatras.gr,

Ανακτήθηκε 9/1/2021

Η συμπεριφορά μνήμης σχήματος παρατηρήθηκε για πρώτη φορά σε ένα δείγμα καδμίου-χρυσού από τους Chang και Read το 1932. Αυτός ο μετασχηματισμός του σχήματος αργότερα παρατηρήθηκε στον ορείχαλκο το 1938, καθώς επίσης και σε μια δοκό από χρυσό-κάδμιο το 1951. Το 1962 ένα πλήρες φαινόμενο μνήμης σχήματος παρατηρήθηκε σε μια σειρά από κράματα νικελίου-τιτανίου από τους Buehler, Gilfrich και Wiley. Αυτό το κράμα μνήμης σχήματος (SMA), καλείται τώρα Nitinol (NiTi) και είναι το πιο γνωστό (Αναστασοπούλου, Ι.,κ.α. 2015:76).

Αυτό το κράμα όχι μόνο επιδεικνύει εξαιρετικά χαρακτηριστικά μνήμης σχήματος, αλλά μπορεί επίσης να έχει μεταβλητή θερμοκρασία μετασχηματισμού αλλάζοντας

τη χημεία ή η σύνθεσή του. Υπήρξε συνεχής έρευνα αφιερωμένη στην εξεύρεση νέων κραμάτων που παρουσιάζουν το φαινόμενο μνήμης σχήματος, όπως ο χαλκός, ο ψευδάργυρος και το αλουμίνιο σε συνδυασμό με μικρότερες ποσότητες νικελίου και τιτανίου.

Πολλές εφαρμογές των μετάλλων μνήμης σχήματος περιλαμβάνουν μορφοποίηση πτερύγων (wing morphing), διακόπτες κυκλωμάτων, αποσβεστήρες πυρός, συστήματα αυτόματης εξαέρωσης, πίνακες ελέγχου θυρών, και άλλα. Κράματα με μνήμη σχήματος χρησιμοποιούνται επίσης για την επισκευή των σπασμένων οστών. Μια άλλη κατηγορία υλικών με μνήμη σχήματος (SMMS) είναι τα πολυμερή μνήμης σχήματος (SMPS), τα οποία μπορούν να ενεργοποιούνται με τη θερμότητα, τα μαγνητικά πεδία και ακόμη και το φως. Τα SMPS είναι διαθέσιμα στην αγορά πάνω από 20 χρόνια και διατηρούν ένα προσωρινό σχήμα μετά την προ-παραμόρφωση σε υψηλή θερμοκρασία και την επακόλουθη ψύξη. Όταν ξαναθερμαίνονται, το αρχικό σχήμα μπορεί να ανακτηθεί. Διαθέτουν την ικανότητα να ανακτήσουν μεγάλες παραμορφώσεις, της τάξης του 50-400% με την εφαρμογή θερμότητας. Σιδηρομαγνητικά (FSMAs) ή μαγνητικά κράματα μνήμης σχήματος (MSMAS) έχουν επίσης γίνει το θέμα μιας εκτεταμένης ερευνητικής προσπάθειας από την ανακάλυψη (το 1990) των μεγάλων τάσεων που προκαλούνται από μαγνητικά πεδία σε κράματα περιεκτικότητας μέχρι και 8-10% σε νικέλιο-μαγγάνιο-γάλλιο (Ni-Mn-Ga). Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, λόγω του ότι η μαγνητική απόκριση τείνει να είναι ταχύτερη και πιο αποτελεσματική από την απόκριση στη θερμοκρασία των SMA. Τα σιδηρομαγνητικά υλικά και τα πολυμερή με μνήμη σχήματος ανακαλύφθηκαν πιο πρόσφατα και βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο εμπορευματοποίησης αλλά παραμένουν σε συνεχή έρευνα. Τα υλικά που έχουν την ιδιότητα να ανταποκρίνονται σε ερεθίσματα ονομάζονται στην αγγλική ορολογία «stimulus-responsive materials» (SRMS). Ανάμεσά τους, μια ομάδα SRM υλικών είναι ικανή να αλλάζει το σχήμα της παρουσία του σωστού ερεθίσματος, αλλάζοντας τις φυσικές ή χημικές ιδιότητές τους. Αυτά που αλλάζουν τις φυσικές τους ιδιότητες μπορούν μεταξύ άλλων να μεταβάλλουν το σχήμα τους. Αν η αλλαγή του σχήματος είναι αυθόρμητη και άμεση παρουσία της σωστής διέγερσης, το υλικό ονομάζεται «υλικό αλλαγής σχήματος» ή στην αγγλική ορολογία «shape change material» (SCM).

Δυο τυπικά παραδείγματα SCM υλικών είναι τα πολυμερή που ενεργοποιούνται με ηλεκτρισμό (EAP) και τα πιεζοηλεκτρικά υλικά (όπως PZT-piezoelectric materials). Από την άλλη, όταν η αλλαγή του σχήματος είναι προσωρινή, τότε μιλάμε για Shape Memory Materials (SMMS). Σε αυτά, το προσωρινό τους σχήμα μπορεί πρακτικά να κρατηθεί για πάντα, εκτός και αν η σωστή διέγερση εφαρμοστεί ώστε να ενεργοποιήσει την ανάκτηση του σχήματος. Τα SMMS με τη σειρά τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, οι οποίες ανάλογα με τις ιδιότητές τους επιλύουν διαφορετικά προβλήματα και έχουν διαφορετικές εφαρμογές. Είναι σαφές ότι, οποιοδήποτε υλικό κάτω από ελαστική παραμόρφωση μπορεί να ονομάζεται αποκρινόμενο στην τάση, (stress-responsive- SCM) (Αρκουδάκη, Σ., 2015:42).

3.5.1.1 Παράδειγμα υλικού με ιδιότητες αυτό-θεραπείας.

Βίο-σκυρόδεμα



Εικόνα 32: Βίο-σκυρόδεμα, αυτό-θεραπευόμενο σκυρόδεμα

(H. Jonkers) Ανακτήθηκε 10/1/2021

Το κύριο ελάττωμα στο σπλισμένο σκυρόδεμα είναι ότι ρηγματώνεται με το χρόνο και όταν η υγρασία φτάσει στις μεταλλικές ράβδους αρχίζει να σκουριάζει και να τις φθείρει μέχρι η δομή να καταρρεύσει. Μια ομάδα ερευνητών του Πανεπιστημίου του Ντελφτ ανέπτυξε το βίο-σκυρόδεμα, **εμπνευσμένο από τη φύση**. Με την προσθήκη απλών μικροοργανισμών στο παραδοσιακό μείγμα, έκανε το τσιμέντο περισσότερο

ανθεκτικό. Τα βακτήρια στο μείγμα δημιουργούν μια ασβεστολιθική ουσία ικανή να γεμίσει τις ασυνέχειες στο υλικό και να οδηγήσει στη μείωση και την εξάλειψη των ρωγμών με οικολογικό τρόπο αποτρέποντας την επαφή του νερού με τις ενισχύσεις. Ο καθηγητής Hendrik Jonkers περιέγραψε τις δυσκολίες που αντιμετώπισε η ομάδα ερευνητών του στην ανάπτυξη της ανάμιξης βακτηρίων με σκυρόδεμα, ως εξής:

«Εφεύραμε το Bioconcrete, το τσιμέντο που θεραπεύεται με βακτήρια, αλλά χρειαζόμαστε βακτήρια ικανά να επιβιώσουν στο σκληρό περιβάλλον του τσιμέντου, ένα υλικό πολύ ξηρό παρόμοιο με τους βράχους» (Jonkers, H., 2015).

Μια άλλη δυσκολία, ήταν πώς οι μικροοργανισμοί που επιλέχθηκαν για το αλκαλικό περιβάλλον της μάζας του σκυροδέματος έπρεπε να τρέφονται προκειμένου να επιβιώσουν όσο καιρό χρειάζεται για να γεμίσουν τις ρωγμές. Μετά από μια σειρά πειραμάτων, επιλέχθηκε το γαλακτικό ασβέστιο, το οποίο προστίθεται στο μείγμα σε βιοπλαστικές κάψουλες που περιέχουν τα βακτήρια. Μόλις σχηματιστούν οι ρωγμές, το νερό διαλύει τις κάψουλες και απελευθερώνει την αύξηση των βακτηρίων τροφοδοτώντας το γαλακτικό ασβέστιο που υπάρχει στο μείγμα και έτσι αρχίζουν να παράγουν ασβεστίτη ή κρυστάλλους ασβεστόλιθου που επιδιορθώνουν τη ρωγμή (Delft University of Technology, 2015).

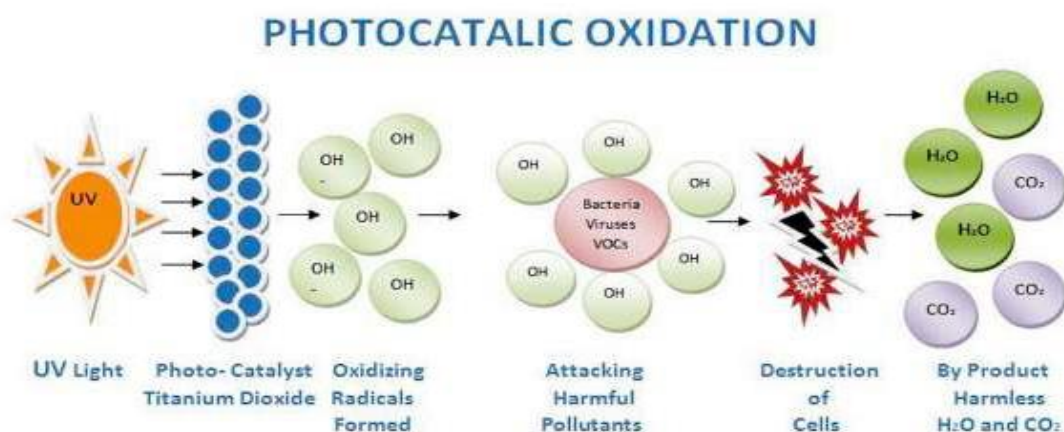
Αυτό-επιδιόρθωση σε δοκό

Πειραματική διαδικασία που πραγματοποίησαν οι Sun et al.(2012), δείχνει ότι χρησιμοποιώντας ένα εξωτερικό NiTi SMA σύρμα (διαμέτρου 1mm, το οποίο έχει σταθεροποιηθεί στη βάση της δοκού με τη βοήθεια δύο μηχανικών στοιχείων), είναι δυνατόν να επιτευχθεί όχι μόνο ανάκτηση του αρχικού σχήματος αλλά και πλήρη επιδιόρθωση της ρωγμής στη δοκό (σύνθετο σιλικόνης-νάνο-αργίλου), ενώ αυτή φέρει ακόμα εξωτερικό φορτίο. Η αυτό- επιδιόρθωση ενεργοποιείται όταν το NiTi SMA, το οποίο έχει προηγουμένως παραμορφωθεί με επιμήκυνση κατά 4% θερμανθεί στους 55^o κελσίου. Ανακτώντας το αρχικό του σχήμα, το SMA επαναφέρει τη δοκό στην αρχική της θέση ενώ η ρωγμή είναι σχεδόν αόρατη. Το σύρμα αυτό μπορεί στη συνέχεια να αφαιρεθεί και να χρησιμοποιηθεί σε άλλες κατασκευές. Η συγκεκριμένη προσέγγιση μπορεί να προσφέρει μία εύκολη και οικονομική εναλλακτική λύση για επί τόπου επιδιόρθωση ρωγμών (Song, G., et all, 2006:1268).

3.5.1.2 Φωτο-καταλυτικά προϊόντα για μείωση τοπικής ρύπανσης

Βίο-δυναμικό σκυρόδεμα

Η ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου, μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ανάγκης για παραγωγή ενέργειας και χαμηλότερες σχετικές εκπομπές, υποστηρίζοντας παράλληλα την οικονομική ανάπτυξη. Στην πραγματικότητα, τα φωτοκαταλυτικά προϊόντα συνιστούν μια σύγχρονη καινοτομία και παίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση της ρύπανσης, χάρη στην τεχνολογία τους, που τους επιτρέπει να χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις, ως πλακάκια, ως σκυρόδεμα, ως βαφές και ως επενδύσεις δαπέδου.



Εικόνα 33: Φωτοκαταλυτική οξείδωση, Πηγή: Di Salvo, S., 2017: 33)

Τα φωτοκαταλυτικά υλικά όπως το βίο-δυναμικό σκυρόδεμα, προσελκύουν μεγάλο ενδιαφέρον σε όλη την Ευρώπη, ειδικά όταν εφαρμόζονται σε παραδοσιακές επιφάνειες, εξαιτίας του ότι αυτό-καθαρίζονται, απορροφούν πολλούς ρύπους και παίζουν αντιβακτηριακό ρόλο στις επιφάνειες στις οποίες βρίσκονται. Εφαρμόζονται σε πολυλειτουργικά στοιχεία με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας.

Συγκεκριμένα, η παρουσία διοξειδίου του τιτανίου (TiO_2) μέσω ενός φωτοκαταλύτη, επιταχύνει τη διαδικασία οξείδωσης, βοηθώντας τους ρύπους να αποσυντεθούν σε υδατοδιαλυτά ανόργανα άλατα, συνδυάζοντας το αντιρρυπαντικό αποτέλεσμα με αντιβακτηριακή δράση.

Video, https://youtu.be/fSAfq9PVz_U, ανακτήθηκε 3/2/2021

Συγκεκριμένα, το μονοξείδιο του αζώτου (NO), τα σωματίδια (PM_{10}) ή οι ενώσεις VOC (πτητικές οργανικές ενώσεις), μετατρέπονται σε αβλαβείς ουσίες, τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον, όπως νιτρικό νάτριο (NaNO_3), ανθρακικό νάτριο (CANO_3) ή ανθρακικό ασβέστιο (CACO_3).

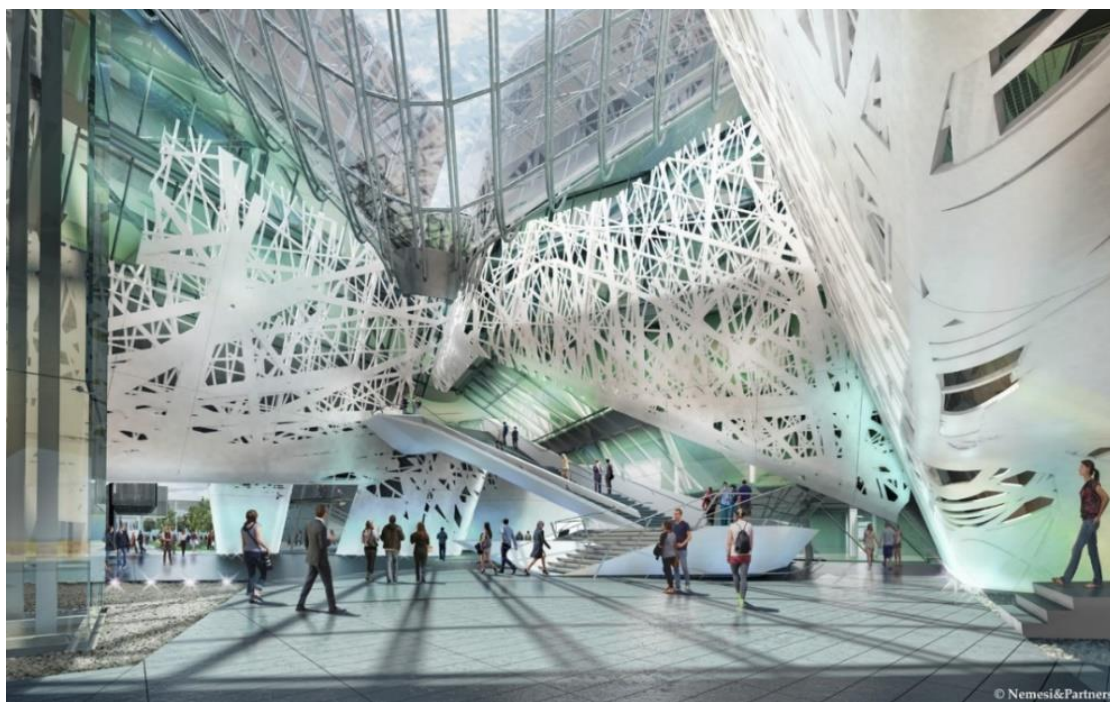
Η επιφάνεια του σκυροδέματος είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη για τη διαδικασία φωτοκατάλυσης, δεδομένου ότι το πορώδες βοηθά στη μεγιστοποίηση των επιδράσεων της φωτοκαταλυτικής αντίδρασης, ευνοώντας την απορρόφηση τοξικών στοιχείων.

Εφαρμογή στην Αρχιτεκτονική

Στην Ιταλία, το βίο-δυναμικό σκυρόδεμα, χρησιμοποιήθηκε για την εξωτερική επικάλυψη του περιπτέρου στην Εxpo 2015 στο Μιλάνο.



Εικόνα 34: Εγκατάσταση βιοδυναμικών τσιμεντένιων πάνελ στο ιταλικό περίπτερο στο Μιλάνο (Expo 2015)



Εικόνα 35: Εγκατάσταση βιοδυναμικών τσιμεντένιων πάνελ στο ιταλικό περίπτερο στο Μιλάνο (Expo 2015)

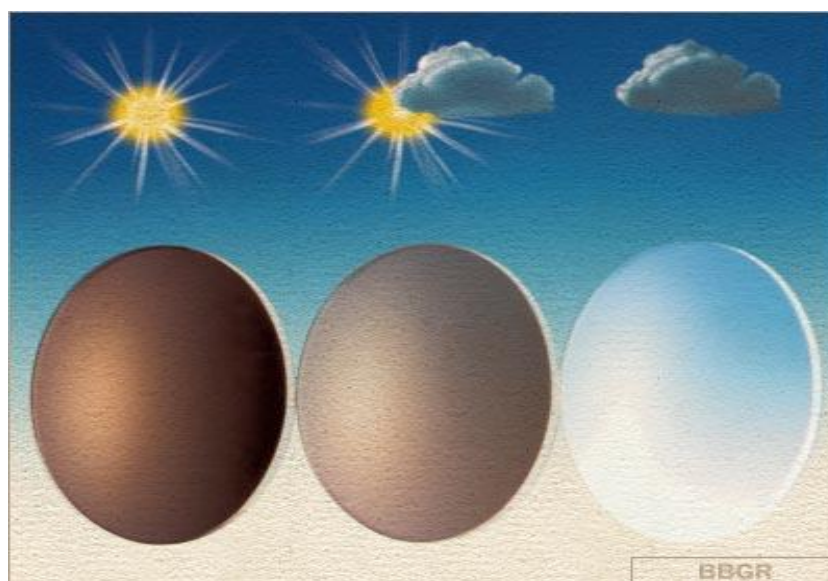
Το φωτοκαταλυτικό δραστικό συστατικό που υπάρχει στο σκυρόδεμα, επιτρέπει τη δέσμευση ορισμένων ρύπων του αέρα, μετατρέποντάς τα σε αδρανή άλατα και έτσι βοηθά στην απελευθέρωση της ατμόσφαιρας από το νέφος. Το κονίαμα αποτελείται κατά 80% από ανακυκλωμένα αδρανή που δίνουν μια στιλπνότητα μεγαλύτερη από τα παραδοσιακά λευκά τσιμέντα, ενώ η δυναμική του καθορίζεται από ειδική φόρμουλα, εύκολα κατεργαζόμενη, με αποτέλεσμα πολύπλοκα σχήματα. Το βιοδυναμικό σκυρόδεμα είναι ικανό να διεισδύσει στα κενά διαστήματα, εξασφαλίζοντας μια εξαιρετικά ποιοτική επιφάνεια.

Η χρήση αυτού του τσιμέντου μπορεί να επιτρέψει στην αντιβακτηριακή του ιδιότητα τη χρήση σε εσωτερικούς χώρους, όπως καντίνες, ξενοδοχεία, εστιατόρια, νοσοκομεία και ειδικά περιβάλλοντα με ελεγχόμενη βιολογική μόλυνση (Di Salvo, S., 2017: 89-94).

3.5.2 Έμπνευση από τη βιολογική λειτουργία των ματιών των σκώρων – Φωτοχρωμικά υλικά

Η έμπνευση από τη βιολογική λειτουργία των ματιών των σκώρων (δεν ανακλά το φως αλλά το απορροφά εξ ολοκλήρου), βρίσκεται στην κορυφή αποτελεσματικών εφαρμογών όσον αφορά το σχεδιασμό καλύτερων επιχρισμάτων ηλιακών πλαισίων και αντί-ανακλαστικών επιφανειών.

Τα φωτοχρωματικά υλικά έχουν την ιδιότητα να απορροφούν ακτινοβολούμενη ενέργεια που φέρνει μια αναστρέψιμη αλλαγή σε δύο διαφορετικές ενεργειακές καταστάσεις. Επιπλέον, τα φωτοχρωματικά υλικά έχουν ένα μοναδικό χαρακτηριστικό να απορροφούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από την υπεριώδη περιοχή προκειμένου να προκύψει μια ενδογενής αλλαγή συμπεριφοράς. Λόγω της εξάρτησης από την προσπίπτουσα ενέργεια, το υλικό ανακλά μέσω συγκεκριμένων τμημάτων του ορατού φάσματος.



Εικόνα 36: Φωτοχρωμικό εφέ

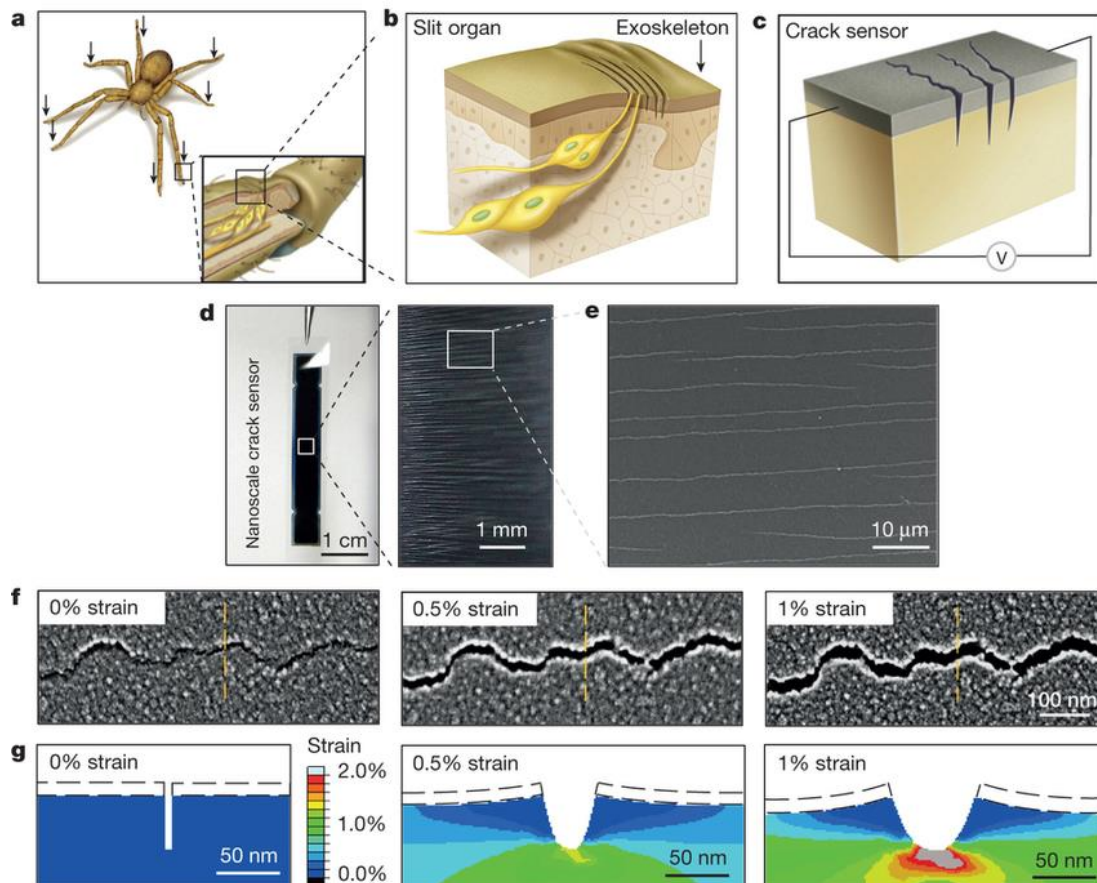
<https://chrome-effect.ru/el/cvety/fiziko-mehanicheskie-harakteristiki-stekla-tipy-steklopaketov/>, ανακτήθηκε 9/1/2021

Το υλικό στην απενεργοποιημένη μορφή του φαίνεται χωρίς χρώμα. Όταν εκτίθεται σε φωτόνια με συγκεκριμένο μήκος κύματος ενώ ταυτόχρονα η μοριακή του δομή μετατρέπεται σε διεγερμένη κατάσταση, ενεργοποιείται για να αντανακλά στο ορατό φάσμα σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Ωστόσο, το υλικό θα ανακτήσει την αρχική του

κατάσταση όταν η υπεριώδης πηγή (UV) θα έχει αφαιρεθεί. Παρομοίως, ένα τυπικό φωτοχρωμικό φιλμ είναι ουσιαστικά άχρωμο και διαφανές πριν εκτεθεί στο ηλιακό φως. Ωστόσο, η έντασή του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατεύθυνση της έκθεσης (Addington, M., 2005)

Τα φωτοχρωμικά υλικά χρησιμοποιούνται στον τομέα της Αρχιτεκτονικής, σε προσόψεις ή στην κατασκευή παραθύρων.

3.5.3. Έμπνευση από τη βιολογική λειτουργία σωματικού λίπους - Πιεζοηλεκτρικά υλικά

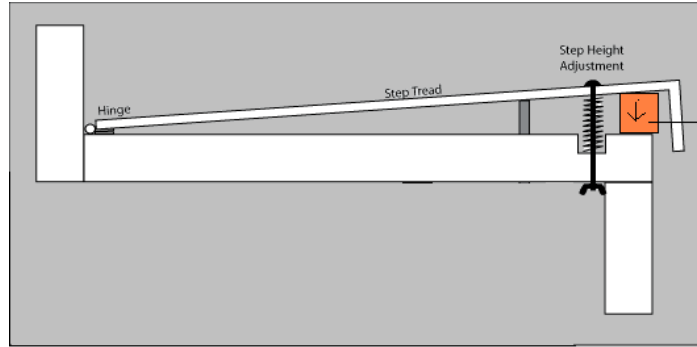


Εικόνα 39. Υπερευαίσθητος μηχανικός αισθητήρας με βάση ρωγμές εμπνευσμένος από το αισθητηριακό σύστημα της αράχνης, (Kang,D.,2014:223)

Ως έμπνευση από τη βιολογική λειτουργία σωματικού λίπους, οι πιεζοηλεκτρικές τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες για το σύστημα μηχανισμού όσον αφορά τον έλεγχο της απώλειας θερμότητας. Ορισμένα είδη αραχνών και σκορπιών είναι σε θέση να εντοπίσουν και να συλλάβουν το θήραμα, μέσω της δυνατότητάς τους να παρακολουθούν τα κύματα των δονήσεων του υποστρώματος. Ως έμπνευση από αυτήν τη φυσική λειτουργία, οι πιεζοηλεκτρικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της παραμόρφωσης του στρες, των ρωγμών και της παρακολούθησης κραδασμών σε δομικά συστήματα.

Η λέξη «πιεζοηλεκτρικό» προήλθε από την Ελληνική λέξη «πιέζω» και αποτελεί ανακάλυψη των Jacques και Pierre Curie το 1880. Το πιεζοηλεκτρικό αποτέλεσμα είναι η ικανότητα ορισμένων υλικών να παράγουν ηλεκτρικό φορτίο ως αντίδραση στην εφαρμοζόμενη μηχανική πίεση.

Η θεμελιώδης αρχή πίσω από το φαινόμενο της πιεζοηλεκτρικής ενέργειας είναι απλή. Έχει βρεθεί ότι ορισμένα ηλεκτρομαγνητικά υλικά παράγουν ηλεκτρικό πεδίο μέσω της εφαρμογής μηχανικής καταπόνησης. Παράδειγμα αποτελεί μια σκάλα ή ένα δάπεδο που έχει εξοπλιστεί με αυτή την προηγμένη τεχνολογία για να αξιοποιηθεί η πίεση που δημιουργείται από τα βήματα και να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, η σκάλα ή το πάτωμα θα είχαν ορισμένους αισθητήρες που θα χρησιμοποιούσαν την πίεση που τους ασκήθηκε από τα βήματα και θα μετέτρεπαν την πίεση σε ηλεκτρική ενέργεια, συμπεριλαμβανομένων πιεζοηλεκτρικών υλικών όπως κρύσταλλα ή κεραμικά. Ωστόσο, τα πιεζοηλεκτρικά υλικά μετατρέπουν το μηχανικό στρες σε ηλεκτρικά φορτία και το αποθηκεύουν, ενώ η ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας χρησιμοποιείται για μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αντίστοιχα. Επιπλέον, η πιεζοηλεκτρική τεχνολογία έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλους τομείς, όπως σε πεζοδρόμους, διαδρόμους αεροδρομίων και άλλα.



Εικόνες 37,38: πιεζοηλεκτρική τεχνολογία σε σκάλα,
λεπτομέρεια,

https://www.ripublication.com/aeec/014_pp%20%20%20%20%20747-754.pdf,

ανακτήθηκε 9/1/2021

Δεδομένου ότι οι πιεζοηλεκτρικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται συνήθως ως αισθητήρες και ενεργοποιητές, μπορούν να επινοηθούν αποτελεσματικά σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες που δημιουργούν συστήματα για να μιμούνται φυσικές λειτουργίες.

3.5.4. Έμπνευση από τη βιολογική λειτουργία εφίδρωσης- Θερμοηλεκτρικά υλικά

Η απομίμηση της βιολογικής λειτουργίας εφίδρωσης μπορεί να εφαρμοστεί μέσω τοίχων χρησιμοποιώντας θερμοηλεκτρικές τεχνολογίες με υλικά αλλαγής φάσης, όπου το θερμοηλεκτρικό υλικό χρησιμοποιείται ως ενεργοποιητής και τα υλικά αλλαγής φάσης ενεργούν ως ενεργειακά αποθέματα, αποτρέποντας την υπερθέρμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας και βοηθούν στη μείωση του κόστους θέρμανσης κατά τις νυχτερινές ώρες. Το θερμοηλεκτρικό αποτέλεσμα είναι η μετατροπή μιας θερμικής διαφοράς σε ρεύμα και αντιστρόφως.

B ΜΕΡΟΣ

Στο δεύτερο μέρος αυτού του κεφαλαίου, όπως προαναφέρθηκε, θα γίνει μία αναφορά της αφαιρετικής διαδικασίας προσέγγισης από βιολογικά συστήματα.

Επιπλέον, θα συζητηθεί μια ομάδα παραδειγμάτων βίο-έμπνευσης, δείχνοντας τη μεταφορά του λειτουργικού συστήματος αυτών στο “design” και τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Σε αυτό το πλαίσιο, οι μελέτες θα παρουσιαστούν σε έναν πίνακα, συνοψίζοντας ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της φύσης που σχετίζονται με τον ανθρωπογενή κόσμο και συνδέουν εφαρμογές μέσω διαδικασιών και λειτουργιών που εμφανίζονται στη φύση.

3.6 Αφαιρετική διαδικασία προσέγγισης από βιολογικά συστήματα

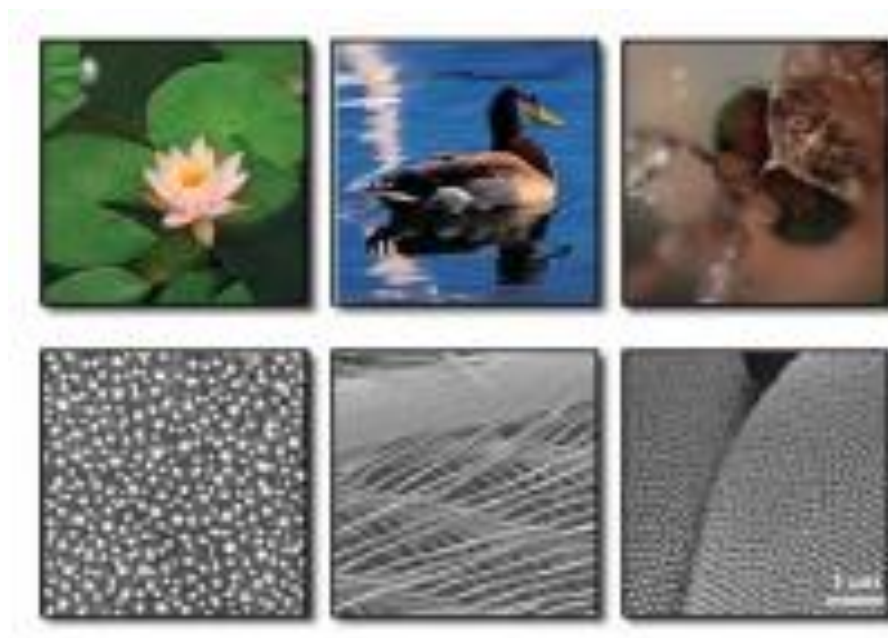
Η παρατήρηση και η μελέτη της φύσης που με εντατικό τρόπο γίνεται την τελευταία δεκαετία, έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι προκειμένου οι διάφοροι οργανισμοί να παραμείνουν ζωντανοί υπό συγκεκριμένες οριακές συνθήκες, έχουν δημιουργηθεί τα πιο βελτιστοποιημένα συστήματα. Οι πιο ανεπτυγμένες και πολύπλοκες απαντήσεις βρίσκονται συχνά σε οργανισμούς που ανέπτυξαν δομές υπό συνθήκες υψηλής πίεσης, π.χ. μηχανισμοί επικοινωνίας. Επομένως, πρέπει να εντοπίσουμε ένα σύνολο παραδειγμάτων από τη φύση με δυνατότητες μετάφρασης σε τεχνικές εφαρμογές, που να οδηγούν σε αποδοτικές λύσεις κόστους, ενέργειας και υλικών.

Η αφαίρεση σε πρώτο στάδιο, μπορεί να γίνει με την παρουσίαση ενός φυσικού μοντέλου. Η αφαίρεση σε δεύτερο στάδιο, με την ανάλυση του δομικού συστήματος. Η ολοκλήρωση του τρίτου επιπέδου αφαίρεσης περιλαμβάνει μία λεπτομερή διερεύνηση του συστήματος (Lienhard, 2009).

3.7 Έμπνευση από βιολογικά συστήματα

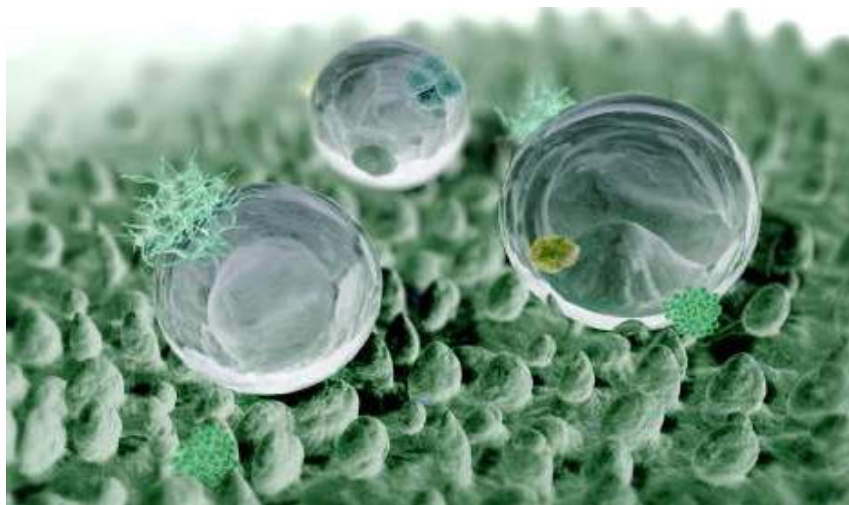
Σύμφωνα με πρόσφατες επιστημονικές μελέτες, το πρώτο βήμα για να μάθουμε από τη φύση είναι η επιλογή μοναδικών χαρακτηριστικών από βιολογικά συστήματα και η χρησιμοποίησή τους ως έμπνευση. Έχει βρεθεί ότι τα βιολογικά συστήματα είναι από τα πιο σύνθετα υβριδικά υλικά που ανταποκρίνονται στα εξωτερικά ερεθίσματα, όπως για παράδειγμα, η όραση, η μυρωδιά, η ακοή, ο ήχος, και το φως. Από την άλλη πλευρά, τα αναφερόμενα συστήματα βιολογικής απόκρισης είναι αρκετά περίπλοκα για να τα μιμηθούμε άμεσα. Όμως, τα τελευταία χρόνια, κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά έχουν κερδίσει την προσοχή μας στη βιολογία που είναι λιγότερο περίπλοκο να τα μιμηθούμε. Στη φύση υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες βιολογικών χαρακτηριστικών που έχουν οδηγήσει σε βίο-έμπνευση.

3.7.1 Στοιχεία αυτοκαθαρισμού (φύλλο λωτού, φτερό πάπιας, κίνηση των ματιών των κουνουπιών από αριστερά προς τα δεξιά)



Εικόνα 40: Βιολογικά χαρακτηριστικά και φωτογραφίες αντίστοιχων δομών σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Lienhard, J.,2009).

3.7.1.1 Παράδειγμα: Έμπνευση από τα φύλλα του λωτού. Υπερυδροφοβικές νανοεπιστρώσεις.

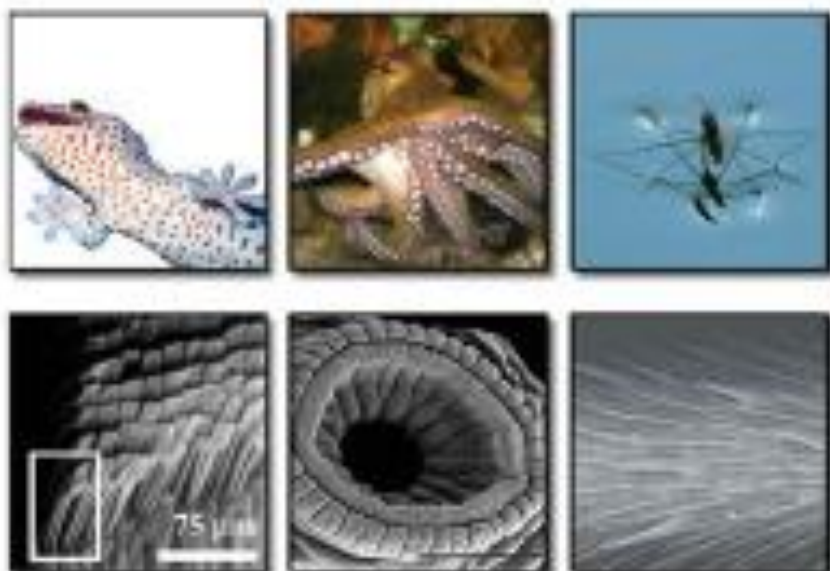


Εικόνα 41: Απεικόνιση μιας επιφάνειας φύλλων λωτού στον υπολογιστή
(Marmur, A., 2004:3517, cited in Di Salvo, S., 2018:35)

Τα νανοδομικά υλικά έχουν μελετηθεί για την κατασκευή επιστρώσεων σε προσόψεις. Η υπερυδροφοβική ικανότητα του φύλλου του λωτού, που λαμβάνεται μέσω ιεραρχικής οργάνωσης της επιφάνειας, κοινώς γνωστή ως το φαινόμενο του λωτού, μειώνει τη συντήρηση ενός προϊόντος με την παράταση της ωφέλιμης ζωής του, χάρη στις εγγενείς δυνατότητες αυτοκαθαρισμού και αντιρρυπαντικού (Marmur, A., 2004: 3517-3519 cited in Di Salvo, S., 2018:35).

Στην πραγματικότητα, χάρη στη συγκεκριμένη γεωμετρία της επιφάνειας των φύλλων και σε ένα λεπτό κάλυμμα στρώματος κεριού, η βροχή απλώνει τη βρωμιά που συσσωρεύεται πάνω τους. Μέσω μερικών πειραμάτων αποδείχθηκε ότι οι νανοεπικαλύψεις μπορούν να ρυθμιστούν αλλάζοντας την περιεκτικότητα ελαϊκού οξέος στο αρχικό νανο-σύνθετο. Παρατηρήθηκε ότι οι πρόσφατα κατασκευασμένες υπερυδροφοβικές επικαλύψεις δείχνουν μία μηχανική ανθεκτικότητα (Wang, Z., et all, 2017: 52-57).

3.7.2 Μηχανικές ιδιότητες (πόδια της σαύρας Γκέκο, βεντούζες χταποδιών και αναδευτήρας νερού)



Εικόνα 42: Βιολογικά χαρακτηριστικά και φωτογραφίες αντίστοιχων δομών σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Lienhard, J., 2009)

3.7.2.1 Παράδειγμα: Έμπνευση από τα πόδια της σαύρας gecko, που βοηθούν το ρομπότ "Sticky-bot" να αναρριχηθεί.



Εικόνα 43: Αναρρίχηση ρομπότ «Sticky – bot» Πηγή 1: <https://phys.org/news/2012-03-gecko-insights-stronger-adhesives.html>

Πηγή 2: [science daily](https://www.sciencedaily.com/), ανακτήθηκε, 30/1/2021

Ο Mark Cutkosky, επικεφαλής σχεδιαστής του Stickybot, καθηγητής μηχανολογίας και διευθυντής του Κέντρου Σχεδιασμού Έρευνας, σχεδίασε ένα ρομπότ που κατάφερε να κατακτήσει λείες επιφάνειες, συγκεκριμένα γυαλί και μέταλλο. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των μορίων των τριχοειδών του Γκέκο και του τοίχου συνιστά μία μοριακή έλξη που ονομάζεται «δύναμη van der Waals». Μία σαύρα Γκέκο μπορεί να κρεμαστεί και να στηρίξει ολόκληρο το βάρος της με το ένα δάχτυλο τοποθετώντας το στο γυαλί και στη συνέχεια τραβώντας το πίσω. Η μονόδρομη αυτή κατεύθυνση είναι σημαντική για την αναρρίχηση, διότι απαιτεί μικρή προσπάθεια για να κολλήσει ένα πόδι ρομπότ.

Μετά από αυτή τη σημαντική ανακάλυψη, ο Cutkosky και η ομάδα του άρχισαν να διερευνούν τη δημιουργία τεχνητών υλικών για ρομπότ που να δημιουργούν το ίδιο αποτέλεσμα. Ήρθαν σε επαφή με ένα νέο υλικό που μοιάζει με καουτσούκ με μικροσκοπικές πολυμερείς τρίχες. Οι σχεδιαστές τοποθέτησαν ένα στρώμα κόλλας στα τέσσερα πόδια του Stickybot και καθώς το ρομπότ κινείται σταθερά στον τοίχο και κολλάει με ευκολία τα πόδια του στην επιφάνεια, μοιάζει με μηχανική σαύρα.

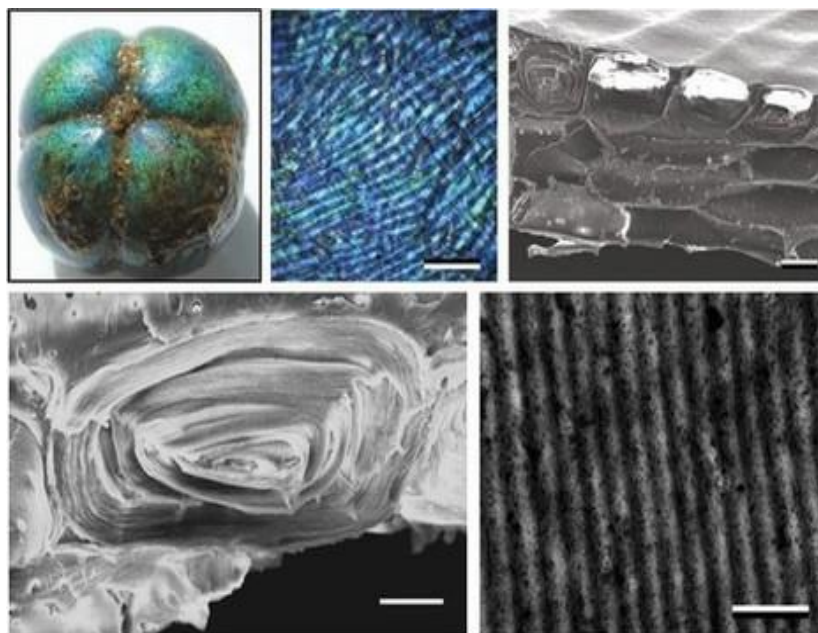
Οι νεότερες εκδόσεις του συγκολλητικού υλικού που αναπτύχθηκαν το 2009, έχουν ένα σύστημα δύο στρωμάτων, τα τριχοειδή είναι ακόμη μικρότερα από αυτά της πρώτης έκδοσης και πέντε φορές λεπτότερα από τα ανθρώπινα μαλλιά. Αυτές οι εκδόσεις υποστηρίζουν υψηλότερα φορτία και επιτρέπουν στο Stickybot να ανέβει σε επιφάνειες όπως, ξύλινη επένδυση, βαμμένο μέταλλο και γυαλί. Το υλικό είναι ανθεκτικό και επαναχρησιμοποιήσιμο και δεν αφήνει υπολείμματα ή ζημιές. Τα ρομπότ που σκαρφαλώνουν σε κάθετους τοίχους θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα για την πρόσβαση σε επικίνδυνα ή δύσκολα προσβάσιμα μέρη. Το νέο έργο της ομάδας περιλαμβάνει αναζήτηση δημιουργίας υλικού για τους ανθρώπους. Μια τεχνολογία που ονομάζεται Z-Man, η οποία θα επέτρεπε στους ανθρώπους να ανέβουν με κόλλα gecko, βρίσκεται σε εξέλιξη (Blackman, C., 2010).

3.7.3 Δομικό χρώμα (φτερό παγωνιού, φτερά πεταλούδας, σκαθάρι, κοχύλια)



Εικόνα 44: Βιολογικά χαρακτηριστικά και φωτογραφίες αντίστοιχων δομών σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Lienhard, J., 2009)

3.7.3.1 Έμπνευση από το δομικό χρώμα: Οι ίνες Bioinspired αλλάζουν χρώμα όταν τεντώνονται



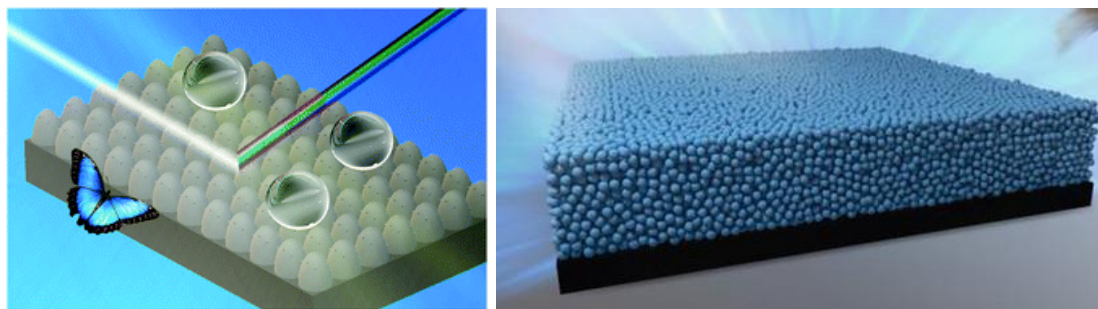
Εικόνα 45: Βιο εμπνευσμένες ίνες που αλλάζουν χρώμα. <http://sco.lt/56EvHF>, ανακτήθηκε

30/1/2021

Μια ομάδα επιστημόνων υλικών από το Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ, εφεύρε μια ίνα που αλλάζει χρώμα όταν τεντώνεται. Εμπνευσμένοι από τη φύση, οι ερευνητές εντόπισαν και αναπαρήγαγαν τα μοναδικά δομικά στοιχεία που δημιουργούν το φωτεινό ιριδίζον μπλε χρώμα ενός άνθους τροπικού φυτού.

Δομικά χρώματα και υπερυδροφοβικότητα

Τα δομικά χρώματα και η υπερυδροφοβικότητα παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών τους. Επιπλέον, τα υλικά που διαθέτουν δομικά χρώματα και υπερυδροφοβικότητα ταυτόχρονα, είναι ζωτικής σημασίας για πολλές πρακτικές εφαρμογές. Ο συνδυασμός δομικών χρωμάτων και υπερυδροφοβικότητας, μπορεί να οδηγήσει σε υλικά για χρήση διαφόρων εφαρμογών, όπως σε αισθητήρες, ανιχνευτές, και ενεργοποιητές υγρασίας, ελέγχοντας τις επιφάνειες για απώθηση ή απορρόφηση υγρών. Όσον αφορά την υπερδιαπερατότητα και τα δομικά χρώματα, η υφή της επιφάνειας και η χημική της σύνθεση είναι δύο παράγοντες για την κατασκευή υλικών με υπερυδροφοβικά δομικά χρώματα (Wang, Z., 2017).



Εικόνα 46: Υπερυδροφοβικές επιφάνειες Πηγή: www.photonicsviews.com, ανακτήθηκε 12/3/2021

Τα φωτεινά χρώματα στον φυσικό κόσμο προκύπτουν συχνά από μικροσκοπικές δομές σε φτερά, ή φτερά που αλλάζουν τον τρόπο συμπεριφοράς του φωτός όταν ανακλάται. Αυτό το δομικό χρώμα είναι υπεύθυνο για τις έντονες αποχρώσεις των πουλιών και των πεταλούδων. Αρχικά, αξιοποιώντας αυτό το εφέ, θα μπορούσαμε να κατασκευάσουμε νέα υλικά για εφαρμογές, όπως ηλιακά κύτταρα. Εμπνευσμένο από το βαθύ μπλε χρώμα ενός γηγενούς πουλιού της Βόρειας Αμερικής, οι Stellar's

jay, μια ομάδα στο Πανεπιστήμιο της Ναγκόγια αναπαρήγαγαν το χρώμα στο εργαστήριό τους, δημιουργώντας έναν νέο τύπο τεχνητής χρωστικής. Σύμφωνα με τον Yukikazu Takeoka, *«Τα φτερά του Stellar's jay αποτελούν ένα εξαιρετικό παράδειγμα δομικού χρώματος ανεξάρτητο από την οπτική γωνία. Αυτό το χρώμα ενισχύεται από σκούρα υλικά, τα οποία στην περίπτωση αυτή μπορούν να αποδοθούν σε σωματίδια μαύρης μελανίνης στα φτερά»* (Takeoka, Y., et al, 2013). Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα δομικά χρώματα φαίνεται να αλλάζουν όταν προβάλλονται από διαφορετικές οπτικές γωνίες, όπως για παράδειγμα, στον τρόπο με τον οποίο φαίνεται να αλλάζουν τα χρώματα στην κάτω πλευρά ενός CD όταν ο δίσκος προβάλλεται από διαφορετική γωνία. Η διαφορά στο γαλάζιο της ομάδας «Stellar's jay» είναι ότι οι δομές, που παρεμβαίνουν στο φως, βρίσκονται πάνω από μαύρα σωματίδια που μπορούν να απορροφήσουν ένα μέρος αυτού του φωτός. Αυτό σημαίνει ότι από όλες τις γωνίες, το χρώμα του «Jay Stellar» δεν αλλάζει. Σύμφωνα με τον Yukikazu Takeoka, *«η ομάδα χρησιμοποίησε μια προσέγγιση στρώμα-προς-στρώμα, για να δημιουργήσει φιλμ λεπτών σωματιδίων που αναδημιούργησαν τη μικροσκοπική υφή που μοιάζει με σφουγγάρι και μαύρα σωματίδια στήριξης των φτερών του πουλιού»*. Για να μιμηθούν τα φτερά, οι ερευνητές κάλυψαν μικροσκοπικά σωματίδια μαύρου πυρήνα με στρώματα ακόμη μικρότερων διαφανών σωματιδίων, για να φτιάξουν σωματίδια τύπου «βατόμουρου». Το μέγεθος του πυρήνα και το πάχος των στρωμάτων ελέγχουν το χρώμα και τον κορεσμό των χρωστικών που προκύπτουν. Σύμφωνα με τον Takeoka: *«Είναι σημαντικό ότι το χρώμα αυτών των σωματιδίων δεν άλλαξε με τη γωνία θέασης. Η δουλειά μας αντιπροσωπεύει έναν πολύ πιο αποτελεσματικό τρόπο για να σχεδιάσουμε με τεχνητό τρόπο, δομικά χρώματα. Έχουμε ακόμη πολλά να μάθουμε από τα βιολογικά συστήματα, αλλά αν μπορούμε να κατανοήσουμε και να εφαρμόσουμε με επιτυχία αυτά τα φαινόμενα, μια ολόκληρη σειρά νέων μετά-υλικών θα είναι προσβάσιμη για όλα τα είδη προηγμένων εφαρμογών όπου οι αλληλεπιδράσεις με το φως είναι σημαντικές»* (Iwata, M., 2017).

Υλικό που αλλάζει το χρώμα του ανάλογα με τις ανάγκες όπως ο χαμαιλέον.



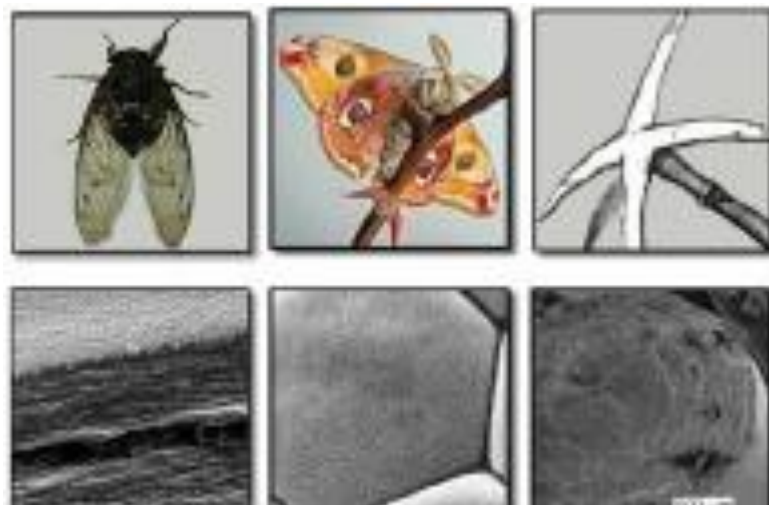
Εικόνα 47: Υλικό που αλλάζει χρώμα ανάλογα με τις ανάγκες

<https://www.nature.com/articles/ncomms7368>,

ανακτήθηκε 12/3/ 2021, Video: <https://youtu.be/YIRiCwHIUd8>

Οι ερευνητές στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας στο Μπέρκλεϋ, ανέπτυξαν ένα εξαιρετικά λεπτό υλικό που μπορεί να αλλάξει χρώμα ανακλώντας το φως στο επίπεδο νανοκλίμακας. Το υλικό αυτό που το ονόμασαν «το δέρμα του χαμαιλέοντα», αλλάζει χρώμα όταν κάμπτεται ή όταν ασκείται μια μικρή δύναμη επάνω στην επιφάνειά του (Choi, DS., et all, 2020).

3.7.3 Οπτικά χαρακτηριστικά (σύνθετα μάτια σκώρου, φτερά τζιτζικιού, σφουγγάρι)



Εικόνα 48: Βιολογικά χαρακτηριστικά και φωτογραφίες αντίστοιχων δομών σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Lienhard, J., 2009)

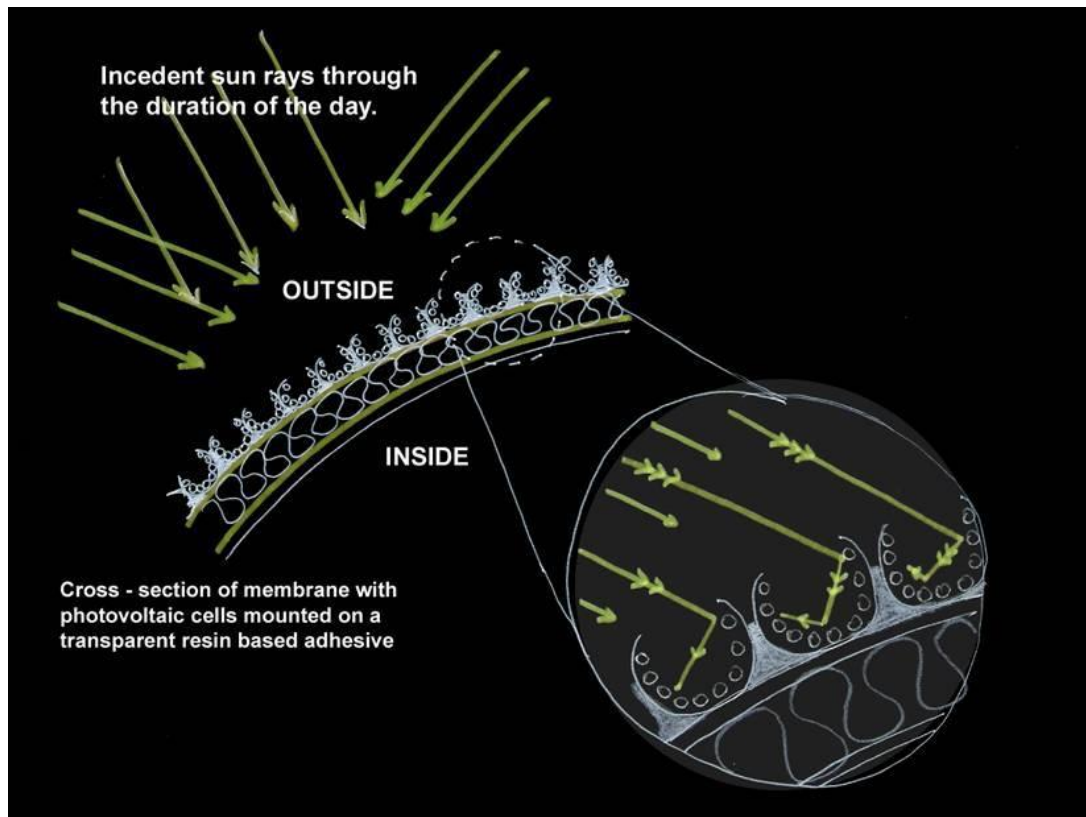
3.7.4.1 Παράδειγμα: Έμπνευση από το μάτι του σκώρου

Οι ερευνητές διερεύνησαν την αξιοσημείωτη λειτουργία του ματιού του σκώρου καθώς βρήκαν ότι δεν ανακλά το φως, αλλά το απορροφά εξ ολοκλήρου. Αυτή η λειτουργία βοηθά τον σκώρο να μεγιστοποιήσει την συλλογή του φωτός για να βλέπει στο σκοτάδι. Με έμπνευση από αυτό το αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό του ματιού του σκώρου, οι μηχανικοί έχουν μιμηθεί τη μικροσκοπική δομή του για να σχεδιάσουν αποτελεσματικά ανακλαστικές επιφάνειες που έχουν υψηλή απόδοση με χαμηλό κόστος κατασκευής, όπως ηλιακά πάνελ και πολλά άλλα προϊόντα. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Derek J. Clements- Croome, (2013) έχει βρεθεί ότι οι επιστήμονες χρησιμοποιούν την ίδια αρχή για να σχεδιάσουν ένα λεπτό φιλμ που αιχμαλωτίζει την ενέργεια από ακτίνες X . Το σχηματικό διάγραμμα στην εικόνα 49, δείχνει τον τρόπο λειτουργίας του. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα χρησιμοποιούνται με μεμβράνη για την απορρόφηση όλων των προσπιπτουσών ακτίνων που προέρχονται από το φως του ήλιου, ανεξάρτητα από οποιαδήποτε κατεύθυνση και χρόνο και χωρίς ανάγκη αυτόματης ή χειροκίνητης παράκαμψης.

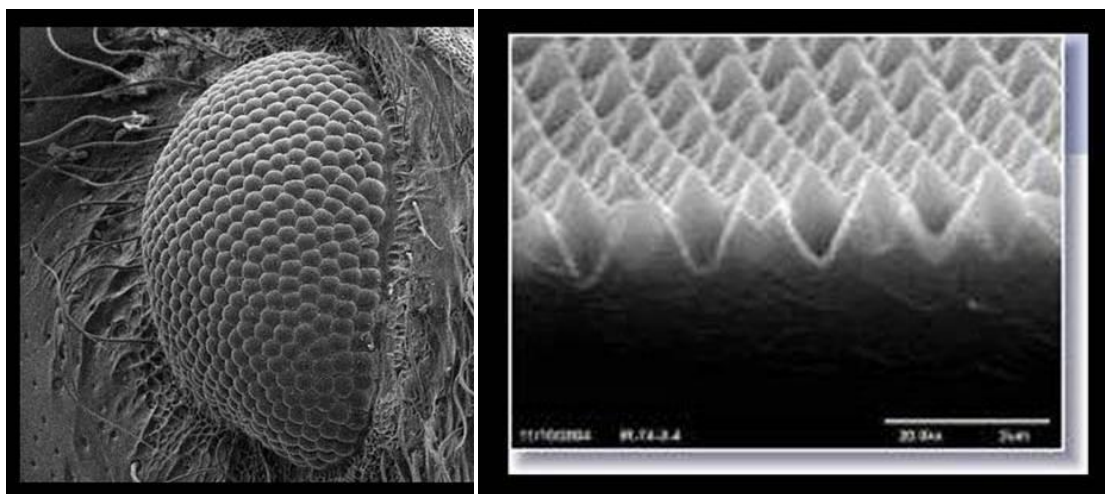
Το παρακάτω σχήμα δείχνει το μοτίβο των εισερχόμενων ακτίνων στο μάτι του σκώρου και πώς ανακλάται μέσα στο κελί. Το αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό των ματιών του σκώρου ενσωματώνεται για το σχεδιασμό των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Η απορρόφηση του φωτός συνεχίζεται όλο το χρόνο σε διαφορετικές συνθήκες και εδώ οφείλεται η πιθανή διαφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, το μοτίβο που δημιουργείται μεταξύ της διαφανούς μεμβράνης και των φωτοβολταϊκών κυττάρων αναπτύσσει ένα οπτικό φαινόμενο γυαλιού.

Η τεράστια χρήση της μεμβράνης ηλεκτροφωταύγειας που αντλεί την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μέσω αποθηκευμένης ενέργειας των φωτοβολταϊκών κυττάρων επιτρέπει τη λάμψη του συνόλου της μεμβράνης κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ομοίως, το εσωτερικό σκέλος περιέχει μία ηλεκτροχρωμική μεμβράνη. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσω φωτοβολταϊκών κυττάρων, φορτίζει το ηλεκτροχρωμικό φιλμ σκιάζοντας την εσωτερική δομή με υπεριώδη ακτινοβολία από το φως του ήλιου.

Επομένως, η πρόσοψη έχει μηδενική κατανάλωση ενέργειας, ενώ το εξωτερικό του κτιρίου είναι φωτεινό (Clements-Croome, DJ., 2013).



Εικόνα 49: Σκίτσο εγκάρσιας τομής μεμβράνης του προτεινόμενου φωτοβολταϊκού κυττάρου, που απορροφά τις ακτίνες του ήλιου από όλες τις κατευθύνσεις Πηγή: (Gilder και Clements-Croome, 2010).



Εικόνα 50 : Παράγωγη έμπνευση - η δομή των ματιών του σκώρου, μικροσκοπική όψη μιας σχηματικής μεμβράνης με εμποτισμούς στην εξωτερική της επιφάνεια. Πηγή: (Clements-Croome,2013)

3.8. Βίο- έμπνευση - Μεταφορά στην κατασκευή

Πώς μπορεί η αρχιτεκτονική να ανταποκρίνεται σε θέματα βιωσιμότητας όπου τα κτίρια θα συμπεριφέρονται στα κατασκευασμένα περιβάλλοντα όπως οι ζωντανοί οργανισμοί στο φυσικό περιβάλλον;

Προκειμένου να απαντηθεί αυτό το ερώτημα οι επιστήμονες έχουν στραφεί τα τελευταία χρόνια στη διερεύνηση του ανθρώπινου σώματος, αλλά και των έμβιων όντων για σχεδιασμό μοντέλων που να δημιουργούν νέους τρόπους να σκεφτόμαστε θέματα προσαρμογής, αλλαγής και απόδοσης στην αρχιτεκτονική.

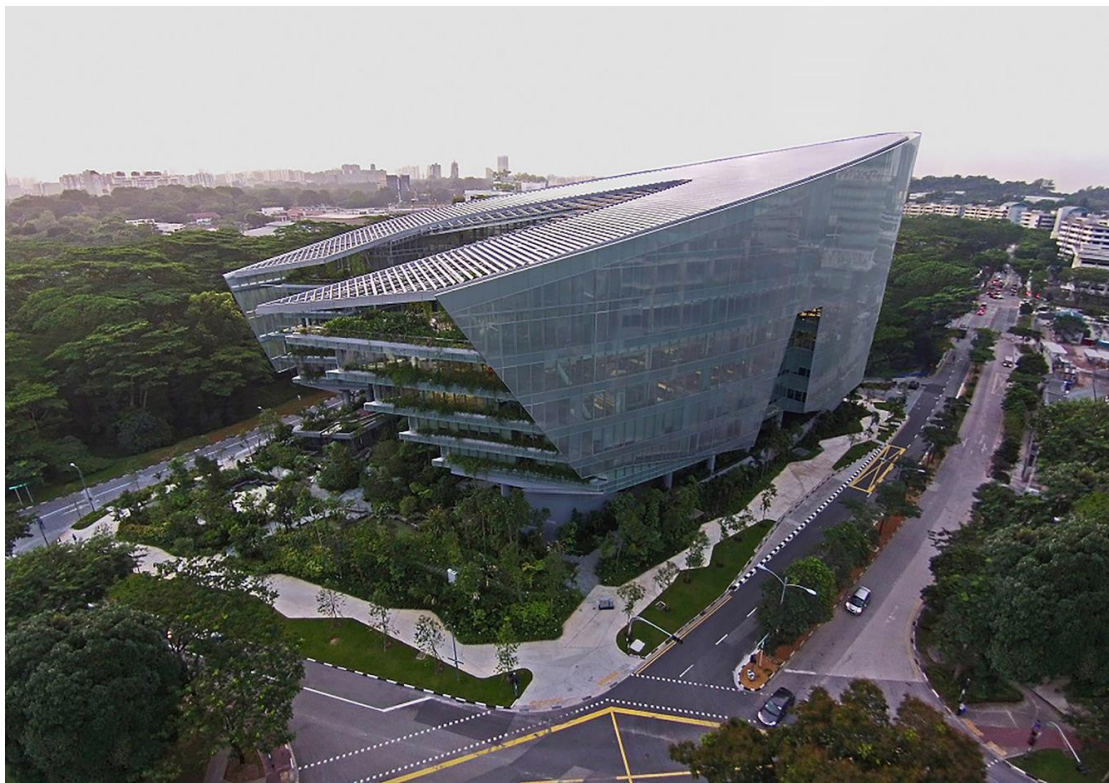
3.8.1 Έμπνευση από το ανθρώπινο δέρμα

Οι δερματικοί ιστοί χαρακτηρίζονται από ειδικές ιδιότητες απορρόφησης που τους καθιστούν ικανούς για προσαρμογή προκειμένου να προστατεύσουν τον άνθρωπο από επιβλαβείς περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως είναι η ισχυρή ακτινοβολία του ήλιου που έχει υπεριώδεις ακτίνες, αλλά και φυσικές και χημικές πληγές από εισβολές εξαιτίας μικροοργανισμών. Το χρώμα του ανθρώπινου δέρματος έχει προσδιοριστεί μέσω διαφόρων παραγόντων όπως η συγκέντρωση του αίματος, η ποσότητα της χρωστικής της μελανίνης, η χημική του δομή, η καροτίνη, η οξυγονωμένη και η από-οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη και πολλές άλλες χημικές ουσίες (Bersha, KS., 2010 cited in Reyes, M.V.,2015).

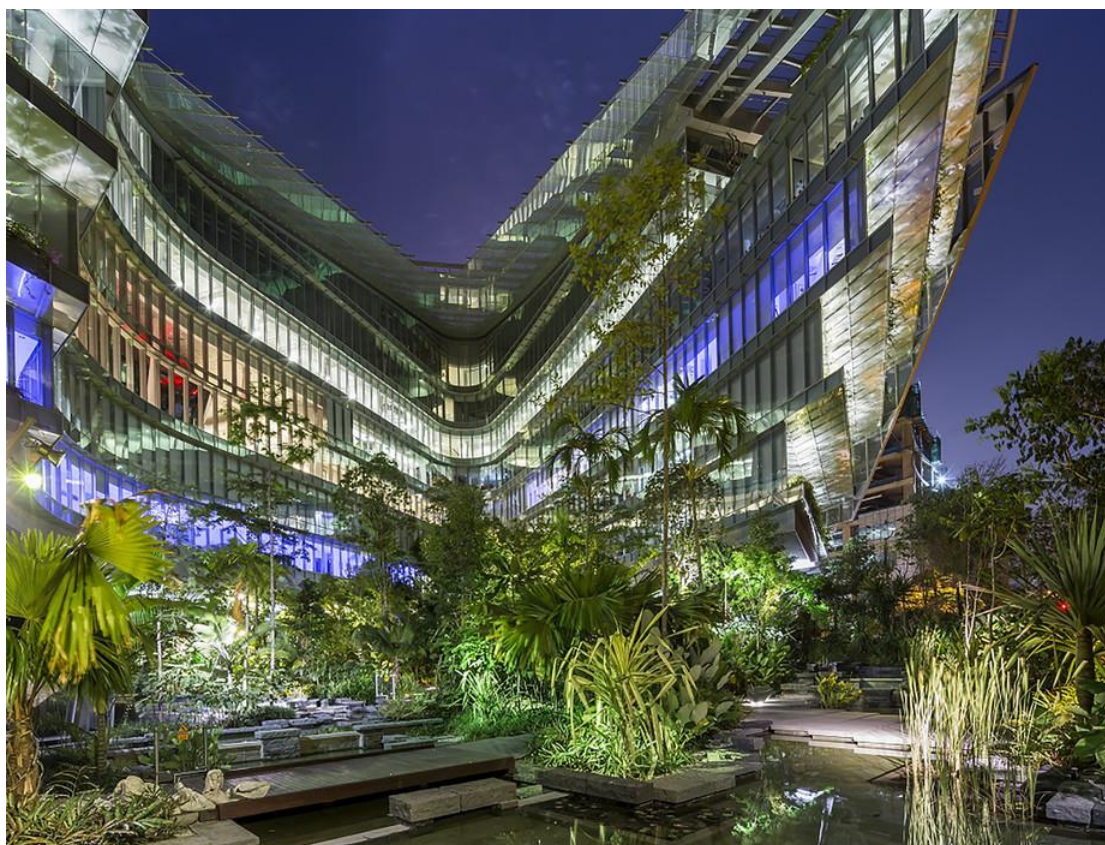
Μια έμπνευση που προέρχεται από το ανθρώπινο δέρμα (φασματική απορροφητικότητα του δέρματος) μπορεί να εφαρμοστεί για τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω υλικού επένδυσης των εξωτερικών κελυφών των κτιρίων.

Τα ενσωματωμένα έξυπνα υλικά σε αυτό το σύστημα περιλαμβάνουν φωτοχρωμικά υλικά, ηλεκτροχρωματικά υλικά, πάνελ υγρών κρυστάλλων και πάνελ αιωρούμενων σωματιδίων. Ωστόσο, εφαρμόζοντας αυτές τις τεχνολογίες, το γυαλί μετατρέπεται σε προστατευτικό περίβλημα που βοηθά στην προστασία των ανθρώπων που κατοικούν στο κτίριο, από πυρκαγιά, θόρυβο, θερμότητα και επίσης από βρωμιά και σκόνη

μέσω του ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης έχει αυτοκαθαριζόμενα χαρακτηριστικά και συμπεριφέρεται ως θερμικός μονωτής. Όλα τα προστατευτικά κελύφη από γυαλί που χρησιμοποιούνται για επενδύσεις προσόψεων χρησιμοποιούνται επίσης για πετάσματα, κιγκλιδώματα, πόρτες, παράθυρα και φεγγίτες. Το κτίριο «Sand crawler» στη Σιγκαπούρη, σχεδιασμένο από τον Andrew Bromberg, είναι επενδυμένο με μια υπερσύγχρονη γυάλινη πρόσοψη πολλαπλών στρωμάτων που επιτρέπει στο φυσικό φως να διεισδύσει στο εσωτερικό του περιορίζοντας την αύξηση της ηλιακής θερμότητας.



Εικόνα 51: Κτίριο «Sand crawler» στη Σιγκαπούρη, κατασκευή εμπνευσμένη από το ανθρώπινο δέρμα .
<https://www.archdaily.com/534778/sandcrawler-andrew-bromberg-of-aedas>, ανακτήθηκε 3/2/2021

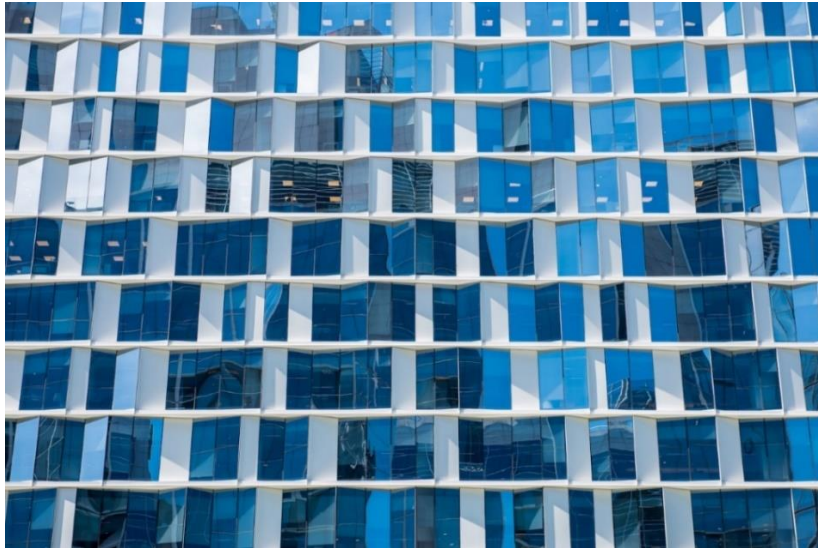


Εικόνα 52: Κτίριο «Sand crawler» στη Σιγκαπούρη, κατασκευή εμπνευσμένη από το ανθρώπινο δέρμα .
<https://www.archdaily.com/534778/sandcrawler-andrew-bromberg-of-aedas>, ανακτήθηκε 3/2/2021

3.8.2 Έμπνευση από το δέρμα της ακρίδας

Σύμφωνα με την Sung, D.,(2014), η έμπνευση για τη χρήση θερμικών διμετάλλων σε κτίρια, δημιουργήθηκε από το αναπνευστικό σύστημα μιας ακρίδας. *«Οι ακρίδες έχουν ένα διαφορετικό είδος αναπνευστικού συστήματος. Αναπνέουν από μικρές τρύπες στις πλευρές τους που ονομάζονται σπιράλ και φέρνουν τον αέρα ο οποίος κινείται μέσω του συστήματός τους για να τις δροσίσει. Έτσι σε αυτό το έργο, εξετάσαμε πώς μπορούμε να φέρουμε αέρα μέσα από τρύπες στις πλευρές ενός κτιρίου στην Αρχιτεκτονική»* (Δημόσια ομιλία TED).

Κατά αυτόν τον τρόπο κατασκευάζονται παράθυρα με μέταλλα, τα οποία κυρτώνουν όταν θερμαίνονται, αλλιώς γνωστά ως θερμοδιμετρικά. Πρόκειται για σύνθετα κράματα όπου γίνεται σύντηξη δύο τύπων μετάλλων. Το ένα υλικό διαστέλλεται με ταχύτερο ρυθμό από το άλλο όταν θερμαίνεται. Καθώς το πρώτο υλικό διαστέλλεται,



Εικόνα 53: memoori, Smart building research, 2016. Smart building systems don't always have to be digital.

Διαθέσιμο στο: <https://memoori.com/smart-building-systems-dont-always-digital/> ανακτήθηκε 14/3/2021.

συγκρατείται στη θέση του από το πιο αργά διαστελλόμενο υλικό και αρχίζει να κυρτώνεται.

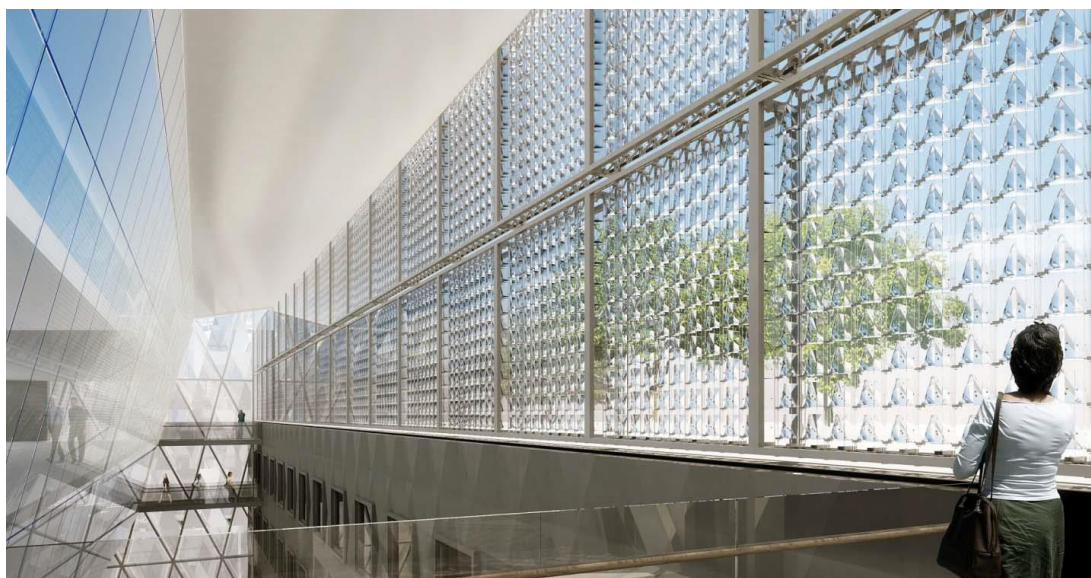
3.8.3 Έμπνευση από τον ανθρώπινο ιδρώτα

Μετά από έρευνες, διαπιστώθηκε ότι η θερμορύθμιση είναι μία από τις σημαντικές διαδικασίες που επιτρέπουν στο ανθρώπινο σώμα να ρυθμίζει τη θερμοκρασία του εσωτερικού του πυρήνα. Μέσω υποδοχέων θερμοκρασίας, το ανθρώπινο σώμα ανιχνεύει τις αλλαγές θερμοκρασίας που σημειώνονται στο εξωτερικό περιβάλλον. Επιπλέον, οι υποδοχείς θερμοκρασίας μεταφέρουν αυτά τα πληροφοριακά σήματα στο κέντρο επεξεργασίας που υπάρχει στον εγκέφαλο, γνωστό ως υποθάλαμος. Είναι ενδιαφέρον ότι ο υποθάλαμος προκαλεί αλλαγές αυτόματα στους τελεστές, συμπεριλαμβανομένων των μυών και των αδένων του ιδρώτα, προκειμένου να ρυθμιστεί η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος έως τους 37 ° C. Σε περίπτωση που το ανθρώπινο σώμα είναι πολύ κρύο ή πολύ ζεστό, οι νευρικοί παλμοί αποστέλλονται στο δέρμα από το κέντρο επεξεργασίας, που οδηγεί είτε στη μεγιστοποίηση, είτε στην ελαχιστοποίηση της ποσότητας απώλειας θερμότητας, από την επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος.

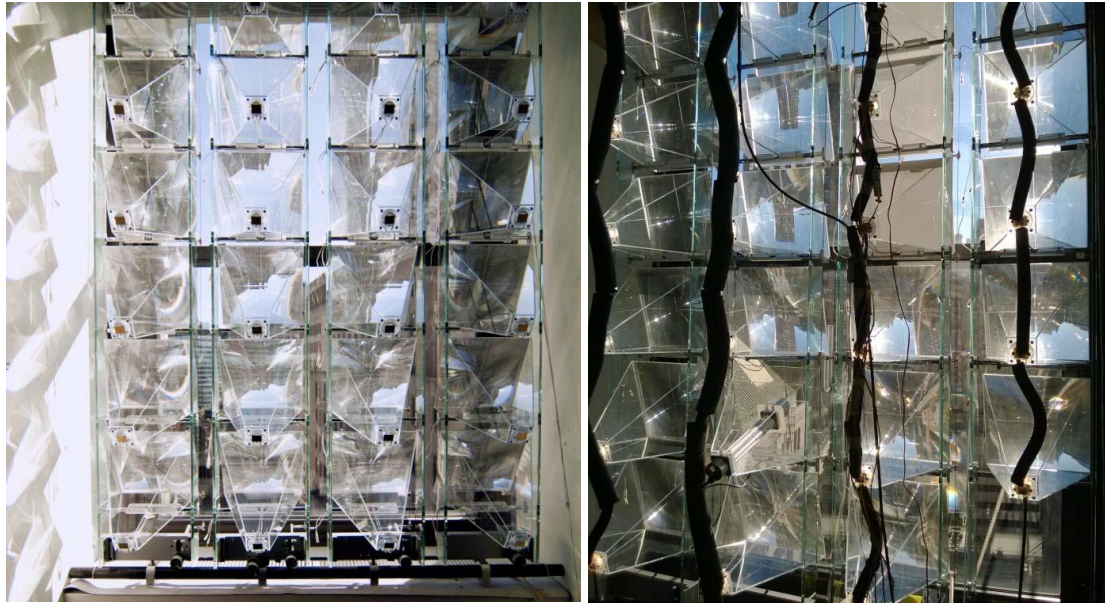
Σύμφωνα με διάφορες έρευνες, έχει παρατηρηθεί ότι οι τρίχες που στέκονται πάνω στο ανθρώπινο δέρμα παγιδεύουν τη μέγιστη θερμότητα ενώ από την άλλη πλευρά,

οι τρίχες που είναι επίπεδες στο δέρμα, παγιδεύουν λιγότερη θερμότητα. Επιπλέον, πολύ μικροί μύες που υπάρχουν στο δέρμα τραβούν τις τρίχες γρήγορα για να μειώσουν την απώλεια θερμότητας και να τις ισιώσουν ώστε να μεγιστοποιηθεί η απώλεια θερμότητας. Ωστόσο, εάν το ανθρώπινο σώμα είναι πολύ ζεστό, τότε οι αδένες που υπάρχουν στο δέρμα εκκρίνουν τον ιδρώτα στην επιφάνεια του σώματος, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η απώλεια θερμότητας μέσω εξάτμισης, έτσι ώστε το σώμα να δροσιστεί.

Η απομίμηση της εφίδρωσης μπορεί να εφαρμοστεί μέσω τοιχωμάτων με τριχοειδή μηχανισμό χρησιμοποιώντας **υλικά αλλαγής φάσης και θερμοηλεκτρικά υλικά**. Τα υλικά αλλαγής φάσης είναι ικανά να αποθηκεύουν τη ζεστασιά του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την απελευθερώνουν τη νύχτα. Αυτό βοηθά στην πρόληψη της υπερθέρμανσης κατά τη διάρκεια της ημέρας και συμβάλλει στη μείωση του κόστους θέρμανσης κατά τις βραδινές ώρες. Επιπλέον, ο μηχανισμός παρακολούθησης για την απόκριση στη θέση του ήλιου προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η έκθεση στο φως, γίνεται μέσω της ενσωματωμένης συμπυκνωμένης ηλιακής πρόσοψης (ICSF). Επιπλέον, για τα συστήματα ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου, το ICSF χρησιμοποιείται επίσης για την απορρόφηση θερμικής ενέργειας. Οι κινητικοί υποδοχείς, μεγιστοποιούν και εστιάζουν στο εισερχόμενο φως με βάση τα φωτοβολταϊκά κύτταρα (Skidmore, O., et all, 2009).



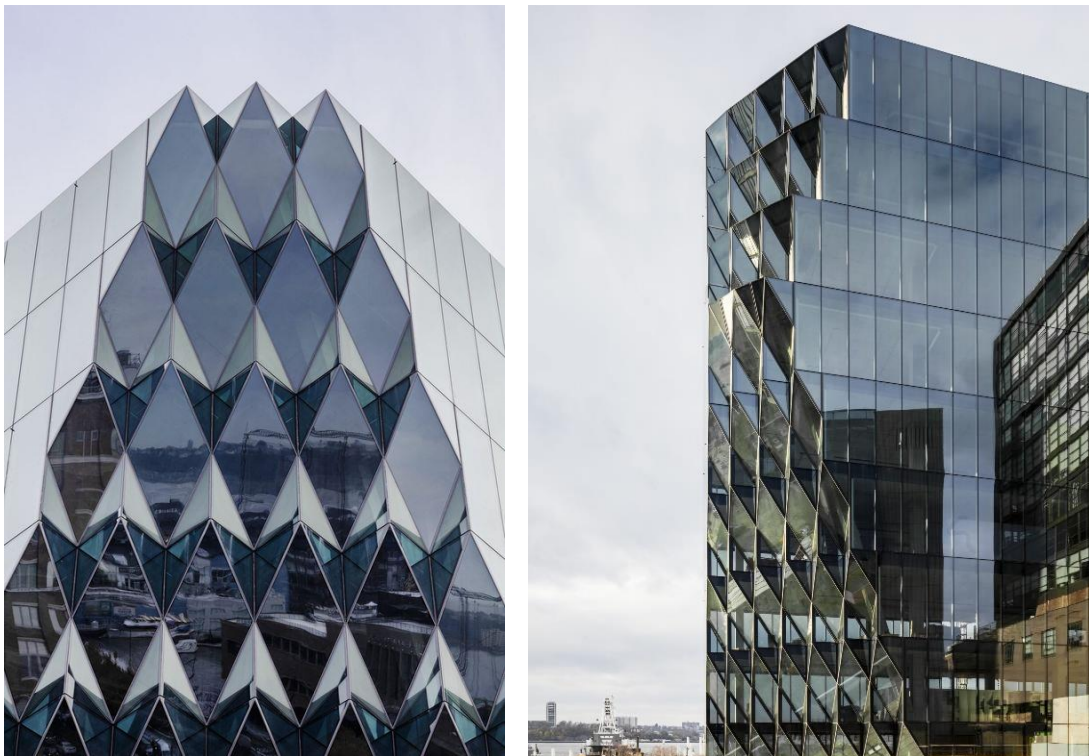
Εικόνα 54:Το ICSF εγκαταστάθηκε στο χώρο της προτεινόμενης επέκτασης (render), N.Y.



Εικόνα 55: ICSF, πρωτότυπη λειτουργία στο CASE studio, N.Y.

Technical Report, (2017). *Intelligent Facades for High Performance Green Buildings*. Πηγή: OSTI.GOV Office of Scientific and Technical Information), p.46. Διαθέσιμο στο:

<https://www.osti.gov/servlets/purl/1355903>, ανακτήθηκε 14/3/2021



Εικόνα 56 : Ηλιακή σκαλιστή πρόσοψη στο Jeanne Gangs High Line Tower, Διαθέσιμο στο:

<https://gr.pinterest.com/pin/428123508329149848/>, ανακτήθηκε 14/3/2021

3.8.4 Έμπνευση από το σωματικό λίπος

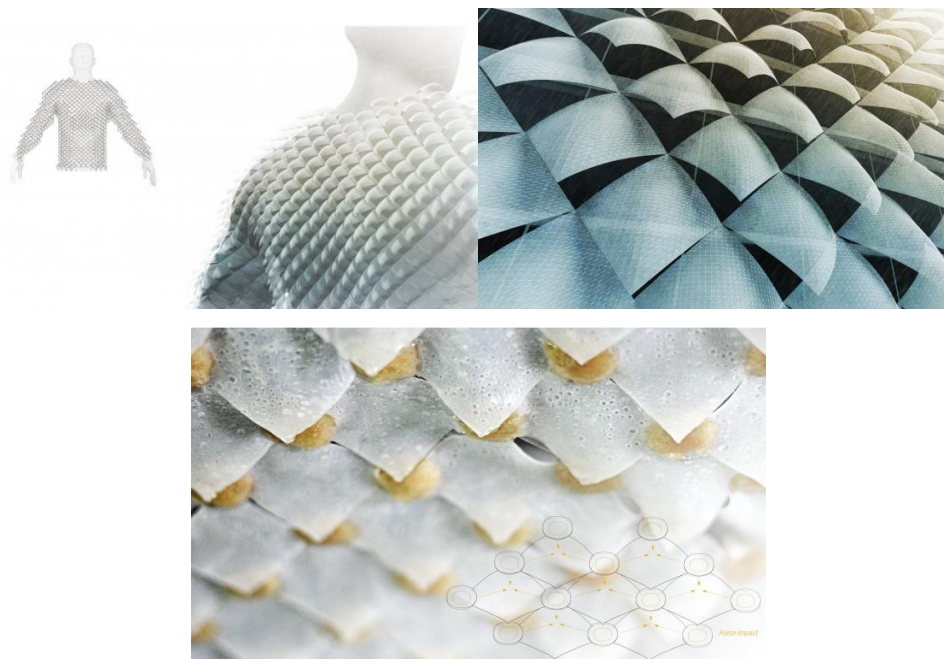
Η έμπνευση από τον ρόλο του σωματικού λίπους στον έλεγχο της απώλειας θερμότητας από λειτουργικές περιοχές του ανθρώπινου σώματος, μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας υλικά περιβλήματος με ειδική θερμική αγωγιμότητα. Επιπλέον, ένας ηλεκτρικός διακόπτης και παθητικά ερεθίσματα όπως η ένταση του φωτός και η θερμοκρασία, δύναται να προκαλέσουν μεταβολή στις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων της πρόσοψης. Επιπλέον, τα υλικά αλλαγής φάσης χρησιμοποιούνται σημαντικά για τις δεξαμενές ενέργειας. Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά χρησιμοποιούνται για μηχανισμό κλεισίματος μέσω αισθητήρων. Ομοίως και τα θερμοτροπικά συστήματα, όπως υδρογέλες, θερμοπλαστικές μεμβράνες και μίγματα πολυμερών, χρησιμοποιούνται για χύτευση ρητινών (Nasr,2017:24).

Οι σύγχρονες αρχιτεκτονικές τάσεις των προσόψεων με υαλοπίνακες αντιστοιχούν στην ανθρώπινη επιθυμία του μέγιστου φωτός της ημέρας και της διαφάνειας μέσα στο δομημένο περιβάλλον. Ωστόσο, τέτοιες μεγάλες επιφάνειες υαλοπινάκων συνοδεύονται από μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας με σημαντικό αντίκτυπο στην εσωτερική θερμοκρασία ενός κτιρίου. Ιδιαίτερα σε περιοχές με τροπικές κλιματολογικές συνθήκες, η πιθανότητα υπερθέρμανσης ενισχύεται από τη συχνή έλλειψη εξαερισμού λόγω συνεχόμενης υψηλής υγρασίας του περιβάλλοντος. Τα συστήματα αερισμού και κλιματισμού υψηλής κατανάλωσης ενέργειας απαιτούνται συχνά για να παρέχουν ένα ευχάριστο εσωτερικό κλίμα.

Σκοπός είναι, μία πρόσοψη να μπορεί να λειτουργήσει ως ένα αυτορρυθμιζόμενο σύστημα που να ανταποκρίνεται σε όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η Luisa Roth από το ινστιτούτο προηγμένης αρχιτεκτονικής της Καταλονίας έχει αναπτύξει ένα σύνθετο σύστημα ευαίσθητο στην υγρασία με τίτλο «Υδρο-μεμβράνη». Αυτό το ερευνητικό έργο προβλέπει στρατηγικές βίο-μιμητικού αερισμού και ψύξης που ανταποκρίνονται σε κλιματολογικές και εποχιακές περιβαλλοντικές παραμέτρους. Το «Hydromembrane» είναι ένα σύνθετο σύστημα ευαίσθητο στην υγρασία, το οποίο μπορεί να εισαχθεί σε διαφορετικές πιθανές εφαρμογές, σε μακρο- ή μικρο-κλίμακα. Οι μεμβράνες αποτελούνται από έξι στρώματα και ενοποιούν τρία υλικά με διαφορετικά φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά. Η Υδρομεμβράνη αντιδρά στην

είσοδο της υγρασίας και αποκρίνεται με παραμορφώσεις ως έξοδος εκκινητή. Ένα δευτερεύον αποτέλεσμα ψύξης εμφανίζεται λόγω της ιδιότητας του Hydromorph στην απορρόφηση και εξάτμιση του νερού.

Ο στόχος αυτής της έρευνας ήταν να αναπτυχθεί ένα παθητικό σύνθετο υλικό που ωφελείται από το Hydromorph ως ενεργοποιητής απομνημόνευσης σχήματος. Το Hydromembrane είναι εξαιρετικά προσαρμόσιμο όσον αφορά το σχήμα, λόγω της ευελιξίας και της λεπτότητάς του. Μπορεί να εφαρμοστεί ως δεύτερο κέλυφος σε υπάρχοντα κτίρια ή ως έξυπνο ύφασμα. Η μεμβράνη παρουσιάζει μνήμη πλήρους σχήματος χωρίς καμία απώλεια. Το σύστημα λειτουργεί εντελώς **παθητικά** σε αντίθεση με τα συνηθισμένα συστήματα εξαερισμού και ψύξης που καταναλώνουν πολύ ενέργεια. Επιπλέον, το Hydromorph είναι μόνιμα ανθεκτικό με συνέπεια να μειώνει το κόστος συντήρησης μακροπρόθεσμα. Αυτή η πρόταση προτείνει δυναμισμό και προσαρμοστικότητα μέσω του μετασχηματισμού και της αλλαγής σχήματος, που πυροδοτήθηκε από την κύρια ιδιότητα του Hydromorph να επεκτείνει τον όγκο του. Το Hydromembrane λειτουργεί ως αυτορρυθμιζόμενο σύνθετο σύστημα που εξισορροπεί αποτελεσματικά το εσωτερικό κλίμα για να ικανοποιήσει τα ανθρώπινα κριτήρια άνεσης σχετικά με την υγρασία, τη θερμοκρασία και την κίνηση του αέρα (Roth,L., 2015).



Εικόνα 57: Παράδειγμα έμπνευσης σωματικού λίπους.

Roth, L., 2015. ΥΔΡΟΜΕΜΒΡΑΝΕΣ ένα υδρο-ενεργό ύφασμα για παθητική ψύξη. Διαθέσιμο στο:

<http://www.iaacblog.com/programs/hydromembrane/>, ανακτήθηκε:11-12-2020

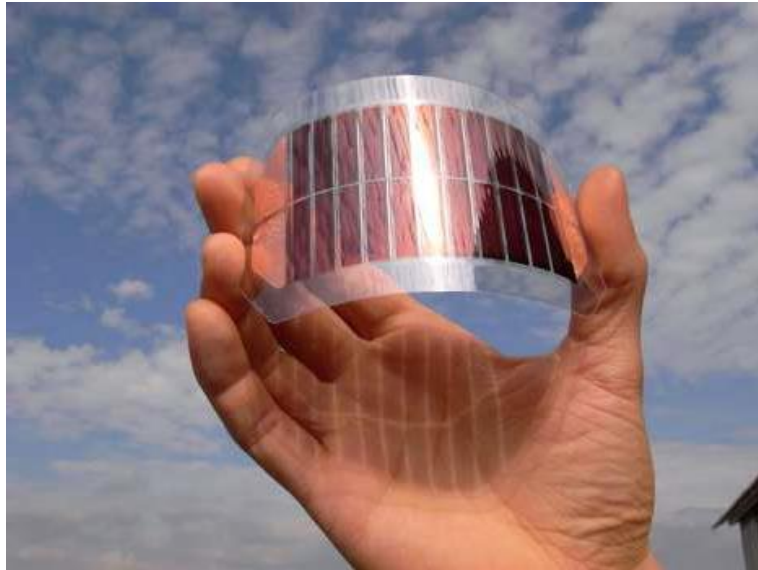
3.8.5 Έμπνευση από τον μηχανισμό ανάπτυξης των φυτών

Η φύση έχει δημιουργήσει τους ζωντανούς οργανισμούς έτσι ώστε να αλληλοεπιδρούν και να συσχετίζονται με το περιβάλλον τους. Το ίδιο ισχύει και για τα φυτά. Η ανάπτυξη και η διάρκεια ζωής των φυτών επηρεάζονται έντονα από παράγοντες όπως: άνεμος, νερό, ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα και φως. Οι ερευνητές έχουν παρατηρήσει ότι τα φυτά αντιλαμβάνονται όλους αυτούς τους παράγοντες και τους χρησιμοποιούν για ανάπτυξη, φυσιολογική και λειτουργική απόκριση.

Είναι ενδιαφέρον ότι οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι τα φύλλα κατά τη διάρκεια της ημέρας έχουν οριζόντιο προσανατολισμό, ενώ εμφανίζονται λιγότερο ή περισσότερο κάθετα κατά τη διάρκεια της νύχτας λόγω της κίνησης του μεγεθυμένου τμήματος των φύλλων. Η κίνηση των φύλλων, αυξάνει τη φωτοσυνθετική επιφάνεια κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ μειώνει την απώλεια νερού μέσω διαπνοής κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η ικανότητα των φυτών να απορρίπτουν το φως ως πηγή ενέργειας και να το επαναχρησιμοποιούν κάθε φορά που το χρειάζονται είναι απaráμιλλη (Tucci, F., 2017).

Η φύση στις στρατηγικές και τις μεθόδους της χρήσης του ηλιακού φωτός για να το μετατρέψει σε ενέργεια έχει φτάσει σε μια απίστευτη τελειότητα, που ακόμα δεν είναι συγκρίσιμη με τις τρέχουσες τεχνικές σύλληψης και μετατροπής της ηλιακής ενέργειας. Αυτές οι στρατηγικές και οι μέθοδοι πρέπει να ληφθούν ως βασική αναφορά. *«Παρακολουθούμε μια σειρά πειραμάτων που έχουν ακόμα πολλά βήματα, αλλά που έχουν εντοπίσει ορισμένες διαδρομές, όπως αυτές των βιοφωτοβολταικών και ευαίσθητοποιημένων ηλιακών κυττάρων με βαφή: καινοτόμα ηλιακά κύτταρα, μπορούν να ενσωματωθούν στην πρόσοψη ενός κτιρίου προκειμένου να παράγει και να χρησιμοποιεί ανανεώσιμη ενέργεια την ίδια στιγμή»* (Hug, H., et al, 2014).

Μια έμπνευση που προέρχεται από το μηχανισμό των φυτών μπορεί να εφαρμοστεί για τη βελτιστοποίηση της θερμοκρασίας και την ποιότητα του αερισμού των κτιρίων.

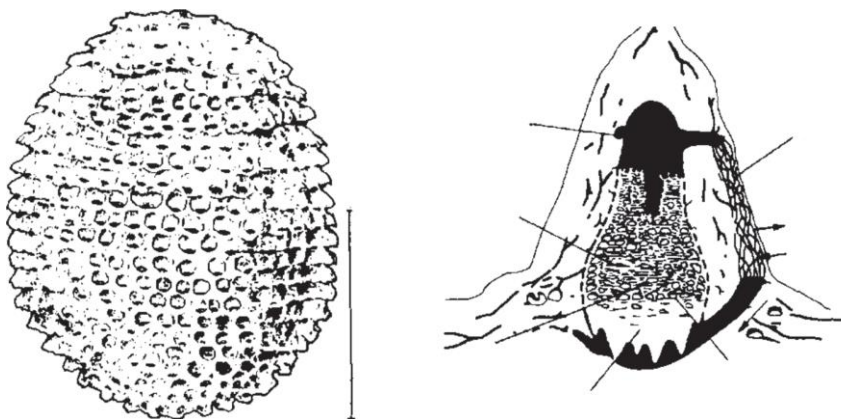


Εικόνα 58: Ευαισθητοποιημένα Ηλιακά Κύτταρα με βαφή.

Πηγή: (Hug, H.,2014, αναφέρεται στον Di Salvo, S., 2018: 33)

3.8.6 Έμπνευση από τους τερμίτες

Σε αυτήν την εποχή που η βιωσιμότητα είναι τόσο σημαντική, ο φυσικός αερισμός των κτιρίων συνιστά εξοικονόμηση ενέργειας και οι τερμίτες το αποδεικνύουν. Τα βιβλία του von Frisch (1975), Gould και Gould (2007), Hansell (2007) και Hersey (1999) περιλαμβάνουν λεπτομερές περιγραφές (Clements-Croome, DJ., 2013).



Εικόνες 59,60: Η φωλιά του είδους τερμιτών *Aricotermes gurgulifex*

(αριστερά) Η φωλιά του είδους τερμιτών *Aricotermes gurgulifex*. Η φωλιά, ύψους περίπου 20 cm, βρίσκεται κάτω από το έδαφος και περιβάλλεται από εναέριο χώρο. Η επιφάνεια έχει σχισμές εξαερισμού, καθεμία περιτριγυρισμένη από ένα υπερυψωμένο δαχτυλίδι (Von Frisch, 1975) (δεξιά): εγκάρσια τομή της φωλιάς των *Macrotermes bellicosus* από την Ακτή του Ελεφαντοστό, Αφρική (Von Frisch, 1975)

Οι λόγοι για τους οποίους είναι απαραίτητος ο αερισμός ενός χώρου είναι:

- Το οξυγόνο, γιατί απαιτείται για τις διαδικασίες ζωής,
- ο αέρας που δρα ως διαλυτικό - η απαιτούμενη ποσότητα αέρα εξαρτάται από το αποδεκτό επίπεδο ρύπων,
- ο αερισμός γιατί προωθεί και κατευθύνει την κίνηση του αέρα μέσω του χώρου και ελέγχει τη μόλυνση από τον αέρα.

Η φωλιά του είδους τερμιτών *Aricotermes gurgulifex* φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Ενσωματωμένη στο χώμα αλλά ντυμένη με έναν μανδύα αέρα, η φωλιά είναι κατασκευασμένη από τα περιττώματα του τερμίτη, τα οποία της προσδίδουν μόνωση. Το εξωτερικό της τοίχωμα έχει μοτίβο διαμόρφωσης ανυψωμένων δαχτυλιδιών που περιβάλλουν με ακρίβεια μια σειρά σχισμών εξαερισμού. Αυτές οι σχισμές συνδέουν το εξωτερικό με τους εσωτερικούς χώρους (Von Frisch, 1975).

Ένα άλλο παράδειγμα του αυτόματου αερισμού σε μια κατοικία τερμιτών φαίνεται στην εικόνα 60. Τα «*Macrotermes bellicosus*» μπορούν να φτάσουν σε ύψος 3 ή 4 m και να περιέχουν περισσότερα από 2 εκατομμύρια τερμίτες. Ο αέρας στο θάλαμο θερμαίνεται με διαδικασίες ζύμωσης από τους ίδιους τους τερμίτες. Ο θερμός αέρας ανεβαίνει και εισέρχεται στο σύστημα αγωγών στις κορυφογραμμές, τα τοιχώματα των οποίων είναι πορώδη και έτσι επιτρέπουν στο διοξείδιο του άνθρακα να διαφύγει και να εισέλθει οξυγόνο στην κατοικία. Ο ψυχρότερος αέρας ρέει προς τα κάτω και αντικαθιστά τον αυξανόμενο θερμότερο αέρα. Οι τερμίτες δείχνουν ποικιλία στον τρόπο κατασκευής της φωλιάς τους σε διαφορετικές περιοχές (Von Frisch, 1975).

Η κορυφή του αναχώματος αποτελείται από μια κεντρική καμινάδα που περιβάλλεται από ένα περίπλοκο δίκτυο σηράγγων και διαδρόμων. Ο αέρας ταξιδεύει μέσα από τους πορώδεις τοίχους σε μια σειρά μικρών σηράγγων μέχρι να φτάσει στην κεντρική καμινάδα και να απελευθερωθεί. Όταν ο καθαρός αέρας αναμιγνύεται με αυτόν τον ζεστό αέρα, ψύχεται και βυθίζεται στη φωλιά. Σε αυτό το σύστημα εξαερισμού, ο αέρας κυκλοφορεί συνεχώς και διασφαλίζει ότι το οξυγόνο φτάνει στις κάτω περιοχές του αναχώματος προστατεύοντας τη φωλιά από υπερθέρμανση.

Παθητικός κλιματισμός

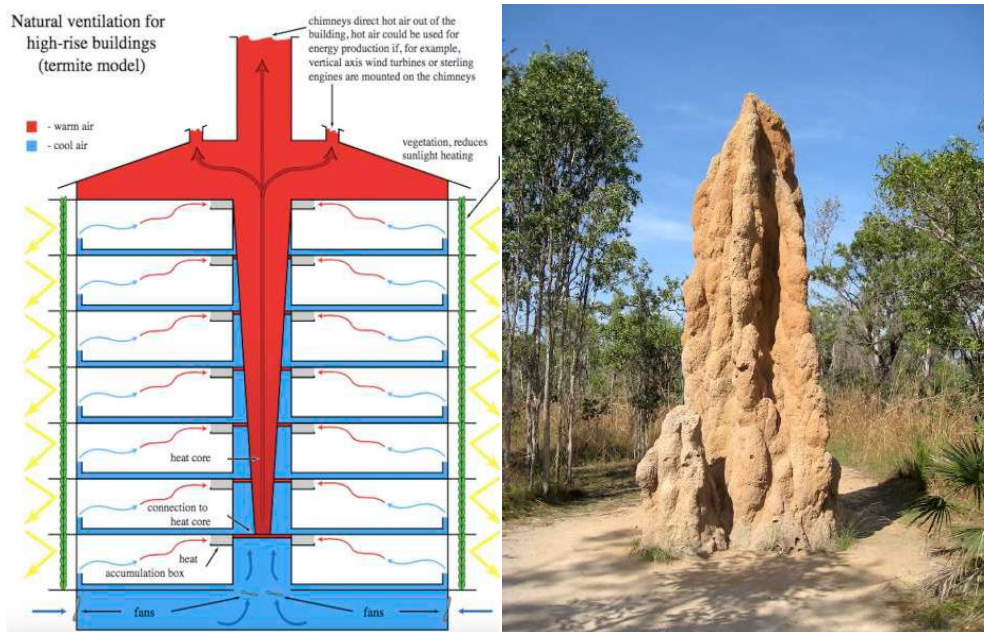
Ένα σύμβολο των αρχών της βίο-μιμητικής, αποτελεί το Κέντρο Eastgate στο Χαράρε της Ζιμπάμπουε, το οποίο σχεδιάστηκε από τον αρχιτέκτονα Mike Pearce και τους συνεργάτες του και λειτούργησε το 1996. Περιλαμβάνει γραφεία και εμπορικό κέντρο.



Εικόνα 61: (Mick Pearce 1996) Το κέντρο Eastgate με ροζ χρώμα, με τις ξεχωριστές καμινάδες του.

Ο σχεδιασμός εμπνεύστηκε από τα αυτό-ψυχόμενα αναχώματα των τερμιτών της Αφρικής και υιοθετεί φυσικό αερισμό με παθητική ψύξη, για επίτευξη θερμικής άνεσης όλο το χρόνο. Το κέντρο είναι σφραγισμένο για την πρόληψη της ηχορύπανσης. Το κτίριο διαθέτει τζάμια που φιλτράρουν το φως, ρυθμιζόμενες περσίδες και βαθιές προεξοχές για σκίαση παραθύρων και τοίχων από τον άμεσο ηλιασμό το καλοκαίρι, ενώ χρησιμοποιεί τον χειμερινό ήλιο χαμηλότερης γωνίας, ώστε τα κέρδη θερμότητας να βελτιστοποιούνται. Παρέχει εξοικονόμηση ενοικίου 20% σε σύγκριση με τους ενοικιαστές των γύρω κτιρίων λόγω μειωμένου κόστους συντήρησης (Kellert, S.R., et al, 2008).

Το Eastgate Complex είναι το πρώτο κτίριο που χρησιμοποίησε παθητικό κλιματισμό. Χάρη στην παθητική ψύξη, η θερμότητα αποθηκεύεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και απελευθερώνεται τη νύχτα καθώς μειώνεται η θερμοκρασία.



Εικόνες 62,63: Σχέδιο φυσικού αερισμού του Eastgate Center (Mick Pearce 1996) και ανάχωμα τερμιτών (Di Salvo, S., 2018)

Στην αρχή της ημέρας το κτίριο είναι δροσερό. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο ήλιος θερμαίνει την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου και η θερμότητα αυτή απορροφάται από το κέλυφος του κτιρίου, το οποίο έχει υψηλή θερμική χωρητικότητα. Με αυτόν τον τρόπο η εσωτερική θερμοκρασία αυξάνεται. Το βράδυ η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει. Ο ζεστός εσωτερικός αέρας απελευθερώνεται μέσω των καμινάδων, με τη βοήθεια των ανεμιστήρων. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει επειδή ο ζεστός αέρας είναι λιγότερο πυκνός και έτσι τείνει να ανεβαίνει, αφήνοντας όμως ένα κενό και επιτρέποντας στον καθαρό αέρα πιο πυκνή πρόσβαση από το κάτω μέρος της κατασκευής (εικ. 62). Τη νύχτα αυτή η διαδικασία συνεχίζεται. Ο κρύος αέρας ρέει από τις κοιλότητες μέσα στα δάπεδα, μέχρι το κτίριο να φτάσει στην ιδανική θερμοκρασία, για να ξαναρχίσει η ίδια διαδικασία την επόμενη μέρα (Di Salvo, S., 2018:32). Το συγκρότημα αποτελείται από δύο κτίρια που βρίσκονται δίπλα-δίπλα, τα οποία χωρίζονται από έναν ανοιχτό χώρο που καλύπτεται από γυαλί και είναι ανοιχτός στα τοπικά αεράκια. Το σύστημα ψύξης κοστίζει το ένα δέκατο ενός συμβατικού συστήματος και χρησιμοποιεί 35% λιγότερη ενέργεια από άλλα κτίρια παρόμοια με το Harare. Η αναπαραγωγή των σχεδίων που δημιουργήθηκαν από τις φωλιές των τερμιτών, όχι μόνο παρέχουν μια υγιή λύση ελέγχου του κλίματος, αλλά και τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο για να λειτουργούν οι άνθρωποι.

3.9 Έξυπνες τεχνολογίες και εφαρμογές τους

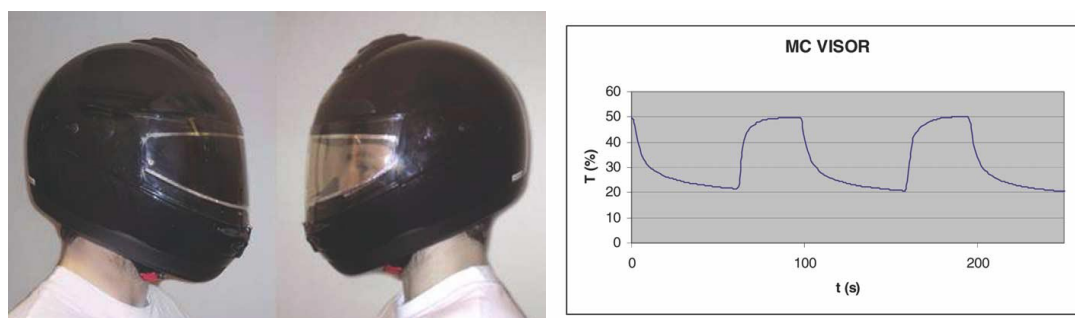
Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιαστεί μία επιλογή τεχνολογιών και εφαρμογών τους, σχετικά με τα έξυπνα υλικά.

Σύμφωνα με τους ερευνητές Daveiga, J. και Ferreira, P., «τα πεδία των έξυπνων υλικών και των νανο-υλικών έχουν τεράστιο αντίκτυπό στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων. Διακρίνοντας τα έξυπνα υλικά από τα νανο-υλικά, τα έξυπνα υλικά εκτελούν λειτουργίες ανίχνευσης και ενεργοποίησης, ενώ πολλά υλικά Nano έχουν δυνατότητα αυτό-συναρμολόγησης. Γενικά, τα υλικά Smart και Nano μπορούν να λειτουργήσουν όπως τα ζωντανά συστήματα, προσομοιώνοντας το ανθρώπινο δέρμα, τους μυς του σώματος, τη χλωροφύλλη ενός φύλλου και την αυτό-αναγέννηση. Αναγνωρίζοντας ότι ο παραδοσιακός διαχωρισμός μεταξύ επιστήμης υλικών και Αρχιτεκτονικής είναι ξεπερασμένος, σκοπός μας είναι να δείξουμε πώς αυτά τα δύο πεδία συνδέονται εγγενώς, ενώ αναπτύσσονται ολοένα και πιο συμβιωτικά καθώς προχωράμε στο μέλλον» (Daveiga, Ferreira, 2005, cited).

Εξαιτίας αυτών των εξελίξεων, σχεδιαστές και αρχιτέκτονες ενδιαφέρονται να γνωρίσουν τις προηγμένες λύσεις και τις τεχνικές πολυπλοκότητες που εμφανίζονται στην κατασκευή και είναι πρόθυμοι να εντοπίσουν τις καινούριες τεχνολογίες για την εφαρμογή σχεδιαστικών λύσεων που αναδύονται από την έμπνευση των φυσικών συστημάτων.

3.9.1. Χρωμογενετική (Έξυπνα τζάμια)

Οι έξυπνοι υαλοπίνακες είναι μια εφαρμογή έξυπνων υλικών που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για προσομοίωση της φυσικής λειτουργίας του ανθρώπινου δέρματος με προσαρμογή στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυτή η τεχνολογία είναι χρήσιμη για διαφανείς οθόνες, καθρέφτες, τζάμια και πολλές άλλες εφαρμογές. Συσκευές αιωρούμενων σωματιδίων (SPD) που ονομάζονται επίσης ηλεκτροφορητικά μέσα, οι ηλεκτροχρωμικές τεχνολογίες, οι υγροί κρύσταλλοι (ChLCs) και οι διασκορπισμένης φάσης υγροί κρύσταλλοι (PDLC), είναι τα περισσότερα κοινά παραδείγματα ηλεκτρικών τεχνολογιών. Επιπλέον, τα πιο κοινά χρωμογόνα αποτελέσματα είναι ο θερμοχρωμισμός και ο φωτοχρωμισμός. Τα θερμοχρωμικά είναι εκείνα τα υλικά που αλλάζουν το χρώμα τους λόγω αλλαγής θερμοκρασίας και είναι κυρίως μεταβατικά μεταλλικά οξειδία όπως: VO_2 . Τα φωτοχρωμικά υλικά είναι εκείνα τα υλικά που αλλάζουν το χρώμα τους στην έκθεση του υπεριώδους ηλιακού φωτός. Τα θερμοτροπικά πολυμερή είναι μια άλλη κατηγορία χρωμογόνων υλικών. Αυτά τα υλικά αλλάζουν οπτικά στην κατάσταση σκίασης ενώ αυξάνεται η θερμοκρασία. Ωστόσο, για αυτό δεν απαιτείται εξωτερική ισχύς. Τα περισσότερα από τα υλικά είναι μίγματα πολυμερών ή υδρογέλες και παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία φυσικής αλλαγής στη θέρμανση. Επιπλέον, υπάρχουν υβριδικά υλικά φωτοηλεκτροχρωμικά που βασίζονται σε νανοϋλικό ευαισθητοποιημένο με βαφή.



Εικόνες 64,65: Εναλλάξιμο κράνος μοτοσυκλέτας κατασκευασμένο από την ChromoGenics.

Εμφανίζονται (αριστερά) είναι δύο χρωματισμοί του γείσου. Τα φάσματα (δεξιά) δείχνουν την αλλαγή στις ορατές ιδιότητες με εφαρμοσμένη τάση 1,6V (Πηγή: Granqvist, C., ChromoGenics.)

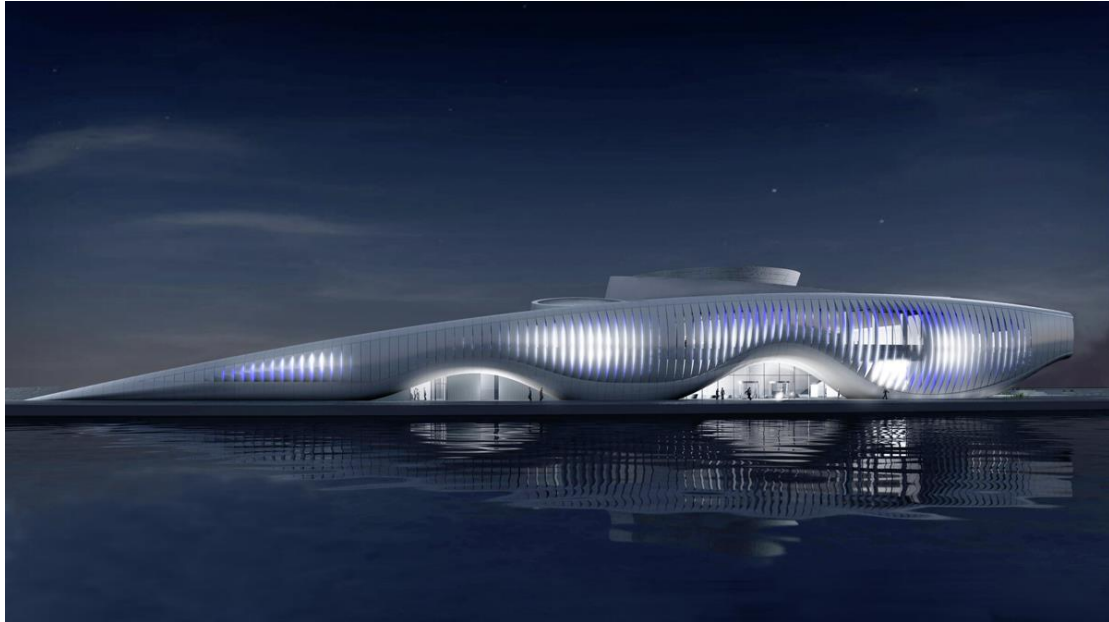


**Εικόνα 66: Νότιος προσανατολισμός ενός τμήματος του ηλεκτροχρωμικού
γυαλιού E-Control 8 x 17 m κατασκευασμένο από τη Flabeg και εγκατεστημένο
στο Stadtparkasse Dresden am Altmarkt. Το αριστερό τμήμα του παραθύρου
είναι χρωματισμένο. (Πηγή: Wittkopf, H., Flabeg.)**

Τα εφέ φωτισμού, θέρμανσης και ψύξης αποτελούν ένα εκτεταμένο κόστος σε ένα κτίριο. Τα χρωμογόνα υλικά είναι ενεργειακά αποδοτικά προϊόντα και καθιστούν την κτιριακή δομή ενεργειακά αποδοτική, μειώνοντας το κόστος φωτισμού και HVAC. Επομένως, η κατανάλωση ενέργειας και το μέγιστο φορτίο ψύξης μειώνονται σημαντικά. Η εξοικονόμηση συστημάτων HVAC πραγματοποιείται με βάση το ετήσιο λειτουργικό κόστος. Επιπρόσθετα λειτουργεί με τη βασική συμβολή της πιστοποίησης LED με χρήση χρωμογόνων υλικών (Lampert, C.M., 2004).

3.9.2 Κινητικές προσόψεις

Ο κύριος στόχος του κτιρίου «One Ocean» για το EXPO 2012 στη Νότια Κορέα, ήταν η προστασία των κατοίκων από περιβαλλοντικούς παράγοντες.



Εικόνα 67 : Το περίπτερο «One Ocean» για το EXPO 2012 στη Νότια Κορέα

<https://www.archdaily.com/208700/in-progress-one-ocean-soma> , ανακτήθηκε στις 9/2/2021



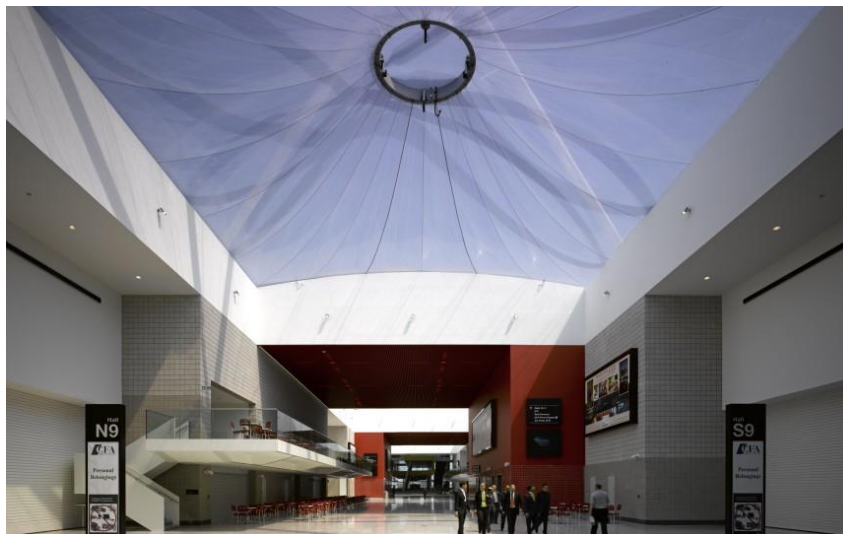
Εικόνα 68: Το περίπτερο «One ocean» https://www.archdaily.com/208700/in-progress-one-ocean-soma/soma_exy_day_entrance, ανακτήθηκε στις 9/2/2021

Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση έξυπνων υλικών που καθιστούν δυναμικές τις προσόψεις, ώστε να προσαρμόζονται στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο σχεδιασμός της κινητικής πρόσοψης βασίζεται στα οφέλη που προσφέρουν τα έξυπνα υλικά και οι τεχνολογίες. Οι κινητικές προσόψεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο για διάφορες εννοιολογικές εμπνεύσεις από τη φύση, όπως η κίνηση των φυτών σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία. Το περίπτερο «One Ocean» για το EXPO 2012 στη Νότια Κορέα είναι ένα από τα σύγχρονα παραδείγματα κινητικής πρόσοψης.

Η βίο-μιμητική προσέγγιση της κινητικής πρόσοψης προσπαθεί να συνδέσει το κτίριο με το περιβάλλον του. Η πρόσοψη έχει συνολικό μήκος 140 μέτρα και έχει μεταβλητό ύψος μεταξύ 3 και 13 μέτρων. 108 κινητικά ελάσματα συνθέτουν την επιφάνεια και στηρίζονται στα άνω και κάτω άκρα της πρόσοψης. Τα ελάσματα αποτελούνται από πολυμερή, ενισχυμένα με ίνες γυαλιού, που τους δίνουν υψηλή αντοχή εφελκυσμού, χαμηλή ακαμψία και επιτρέπουν μεγάλες αναστρέψιμες ελαστικές παραμορφώσεις.

Η κινητική πρόσοψη αναπτύχθηκε με τους Knippers Helbig Engineers. Ο στόχος ήταν να δημιουργηθεί ένα απρόσκοπτα ενσωματωμένο και συνεχές κέλυφος. Επιλέχθηκε μια βίο-μιμητική προσέγγιση για να επιτευχθεί η επιθυμητή ομαλή κίνηση. Τα ελάσματα ελέγχουν τις συνθήκες φωτισμού στο χώρο. Όσο μεγαλύτερη είναι η λεπίδα, τόσο πιο δραματική είναι η επίδρασή της στο χώρο. Η κίνηση αυτών των στοιχείων ζωντανεύει την πρόσοψη σε όλο το κτίριο. Η πρόσοψη προσθέτει μια «ατμοσφαιρική κίνηση» και δημιουργεί μια «διάθεση» που σχετίζεται με το περίπτερο. Προκειμένου να μειωθεί η χρήση ενέργειας, το κτίριο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αερίζεται φυσικά. Οι ενδιάμεσοι χώροι προσανατολίζονται προς την επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου. Στους μεγάλους εκθεσιακούς χώρους, ο αέρας διοχετεύεται μέσω του δαπέδου. Τα κινητικά ελάσματα ελέγχουν την ηλιακή είσοδο και λειτουργούν με ηλιακούς συλλέκτες που βρίσκονται στην οροφή (Vinnitskaya, I., 2012).

3.9.3 Μembrάνη αλουμινίου από ETFE (αιθυλένιο τετραφθοροαιθυλένιο)



Εικόνα 69: Μembrάνη αλουμινίου από ETFE

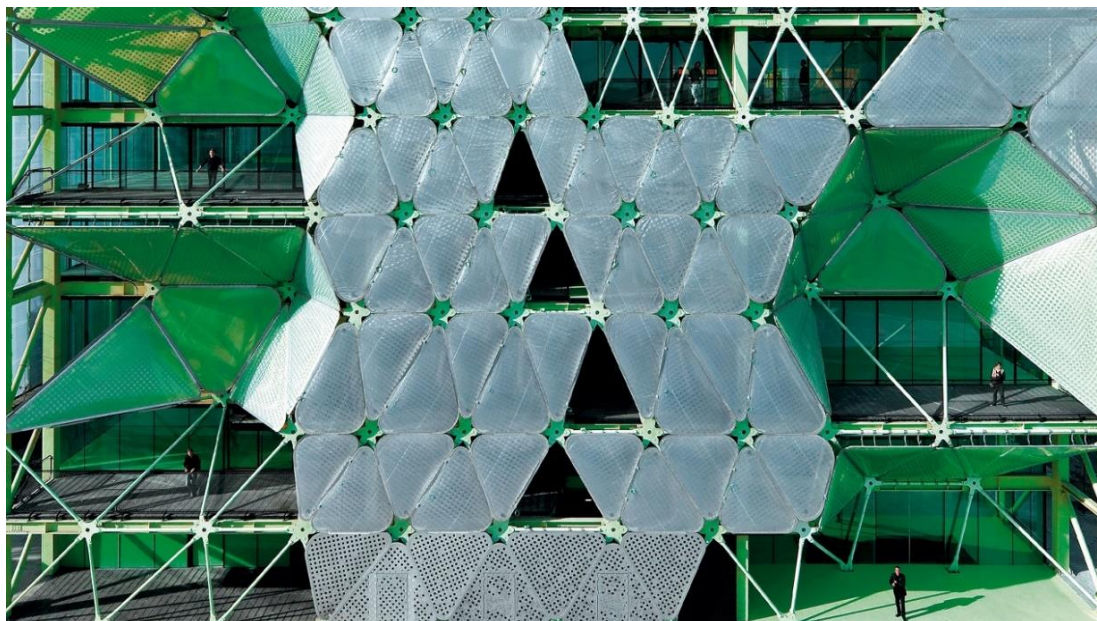
<http://www.architen.com/articles/etfe-foil-a-guide-to-design/>, ανακτήθηκε 9/2/2021

Το αιθυλένιο τετραφθοροαιθυλένιο (ETFE), είναι ένα πολύ διαφανές φύλλο, ανθεκτικό και πολύ ελαφρύ σε σύγκριση με τις γυάλινες κατασκευές. Επιπλέον, αυτό το υλικό χρησιμοποιείται για να ενσωματώσει στις μεγάλες κατασκευές τόσο τους παραδοσιακούς φεγγίτες, όσο και τις προσόψεις των κτιρίων.

Το φύλλο ETFE είναι κωδικοποιημένο με ένα ευρύ φάσμα επεξεργασιών ακτινοβολίας προκειμένου να μειωθεί το επίπεδο των υπέρυθρων ακτινών και της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) που μεταδίδονται μέσω της μεμβράνης του κτιριακού κελύφους. Όταν προστίθενται επιπλέον στρώματα φύλλου ETFE ελέγχεται το ηλιακό κέρδος και η μετάδοση του φωτός. Επιπλέον, έχει γίνει δυνατόν να σχεδιάσουμε ή να κατασκευάσουμε το κέλυφος του κτιρίου έτσι ώστε να είναι προσαρμόσιμο στους περιβαλλοντικούς παράγοντες (Wilson, A., 2013).

Ένα παράδειγμα εγκατάστασης έξυπνου κελύφους σε δομή κτιρίου αποτελεί το κτίριο Media-TIC. Κατασκευάστηκε το 2011 στη Βαρκελώνη και σχεδιάστηκε από τους Vector Foil Tec Ltd και cloud9 Architect, ειδικούς σε κελύφη κτιρίων. Η επένδυση του συστήματος, έχει κατασκευαστεί από πολυμερές ETFE με ενσωματωμένα πτερύγια ελασμάτων. Οι αναπνευστικοί μηχανισμοί των ελασμάτων των πτερυγίων

ενεργοποιούνται αυτόματα μέσω αισθητήρων φωτός, που προωθούν μια ενεργή απόκριση στην εμφάνιση της ηλιακής ενέργειας (Trubiano, F., 2013).



Εικόνα 70: Έξυπνο κέλυφος αποτελούμενο από ηλιακά ενεργοποιημένες αποχρώσεις ελασματοποιημένων ETFE που αναπτύχθηκαν για το κτίριο Media-TIC στη Βαρκελώνη, Cloud 9 Architects, 2011, πηγή: <https://arquitecturaviva.com/works/media-tic-building>, ανακτήθηκε στις 9/2/2021

3.9.4 Ψύξη μέσω εξάτμισης

Τα συστήματα εξάτμισης προσώπων είναι κατασκευασμένα από υλικά ικανά να συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες νερού και να τις αντικαθιστούν με ατμό, αφαιρώντας τη θερμότητα από το κέλυφος και συνεπώς να ψύχουν τους εσωτερικούς χώρους.

Υδροκεραμικά συστήματα

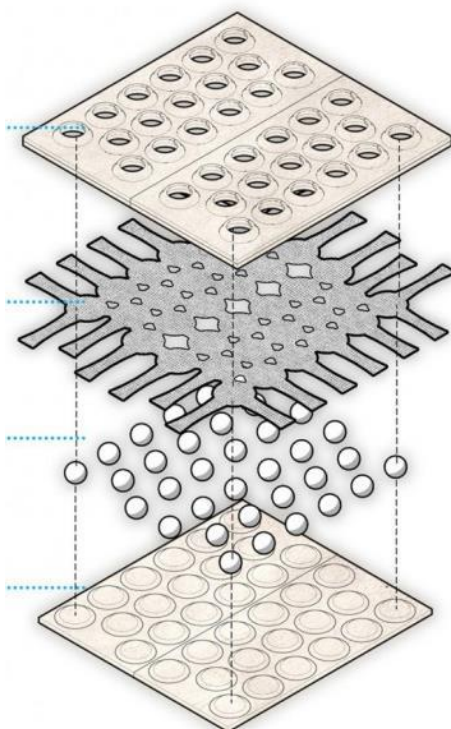
Φοιτητές από το στούντιο Digital Matter Intelligent (DMIC) στο IAAC της Βαρκελώνης σχεδίασαν το υδρο- κεραμικό, ένα αρχιτεκτονικό στοιχείο με σφαίρες υδρογέλης, υλικό που απορροφά νερό, περισσότερο από πεντακόσιες φορές του βάρους του. Συνήθως κατασκευάζεται από αδιάλυτα πολυμερή υδροξυλ-αιθυλ-ακρυλικού ακρυλαμιδίου, ή οξείδιο πολυαιθυλενίου.

(Video: <https://www.youtube.com/watch?v=LncMVXrA-iw>).

Με σάντουιτς σφαιριδίων υδρογέλης μεταξύ δύο αναπνεύσιμων κεραμικών στρωμάτων και ενός υδρόφιλου υφάσματος, επιτυγχάνεται μια μεγάλη επιφάνεια εξάτμισης σε επαφή τόσο με το εσωτερικό όσο και με το εξωτερικό, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί σε τοίχους και σε στέγες.

Η ομάδα «στόχευε στον επαναπροσδιορισμό και την ενσωμάτωση της «νοημοσύνης» στο δομημένο περιβάλλον με τη χρήση αποκριτικών υλικών, δημιουργώντας ένα **παθητικό σύστημα** που ανταποκρίνεται σε αλλαγές στο περιβάλλον του.

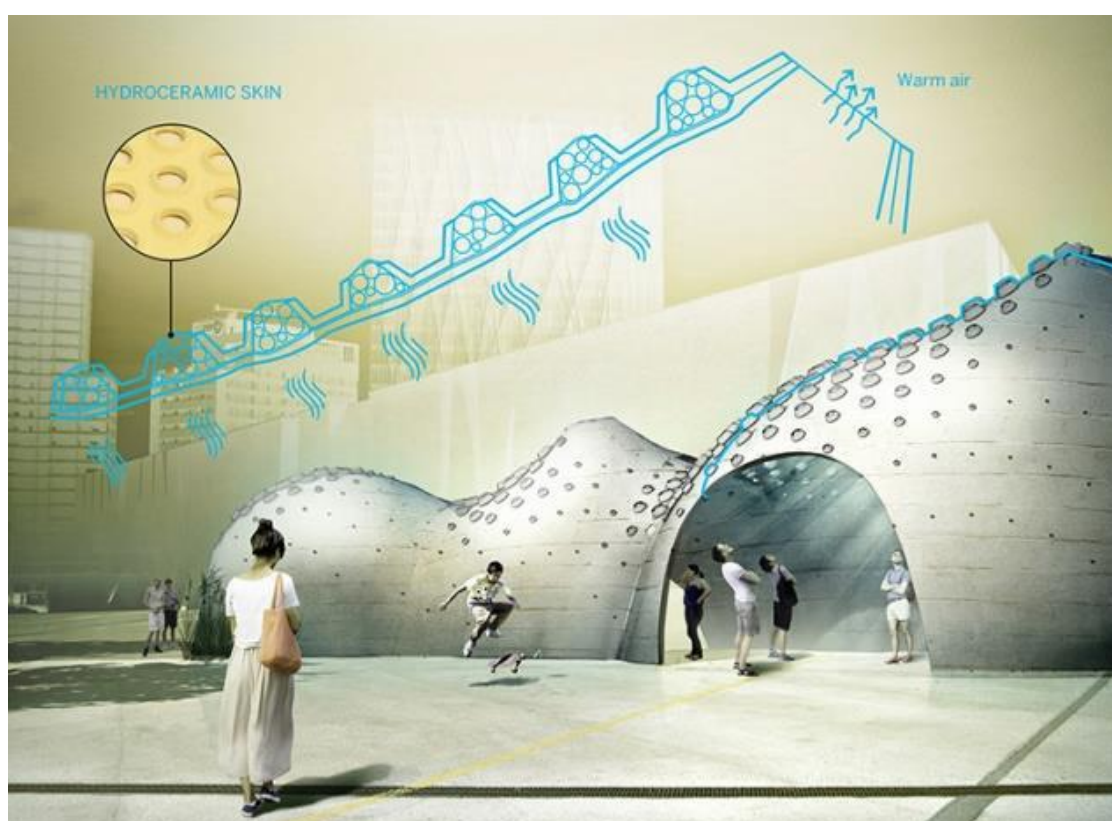
Το υδροκεραμικό λειτουργεί λόγω της επίδρασης ψύξης που παρέχεται από την εξάτμιση του νερού. Με την απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων νερού, τα σφαιρίδια υδρογέλης που απλώνονται σε όλο το σύνθετο υλικό εκθέτουν μια μεγάλη επιφάνεια για να συμβεί εξάτμιση, γεγονός που μειώνει τη θερμοκρασία και αυξάνει την υγρασία στον αέρα του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια ανταποκρίνεται το υλικό, επομένως, το φαινόμενο ψύξης είναι μεγαλύτερο όταν το περιβάλλον είναι ζεστό, ενώ όταν το περιβάλλον είναι δροσερό, η εξάτμιση είναι περιορισμένη.



Εικόνα 71: Αξονομετρικό του υδρο-κεραμικού σε έκρηξη, Ινστιτούτο προηγμένης Αρχιτεκτονικής της Καταλονίας

<https://www.archdaily.com/590348/iaac-students-develop-a-passive-cooling-system-from-hydrogel-and-ceramic>, ανάκτηση 5/2/2021

Μέσα από τις δοκιμές, οι μαθητές διαπίστωσαν ότι το καλύτερο υλικό για να συνοδεύσει την υδρογέλη ήταν ο πηλός, ο οποίος αποδόθηκε πιο αποτελεσματικά από το ακρυλικό και το αλουμίνιο χάρη στην πορώδη φύση του, που βοηθά την εξάτμιση στα σφαιρίδια της υδρογέλης. Δοκιμασμένο σε θερμοκρασίες μεταξύ 35-40 βαθμών Κελσίου, το υλικό παρήγαγε μείωση θερμοκρασίας 6,4 βαθμούς μετά από 20 λεπτά, με αύξηση της υγρασίας 15,5 τοις εκατό. Το συμπέρασμα ήταν ότι αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση κατά 28% της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τον κλιματισμό (Stott, R., 2015).



Εικόνα 72: Υδρο-κεραμικό έργο της IAAC, (Ινστιτούτο Προηγμένης Αρχιτεκτονικής της Καταλονίας).

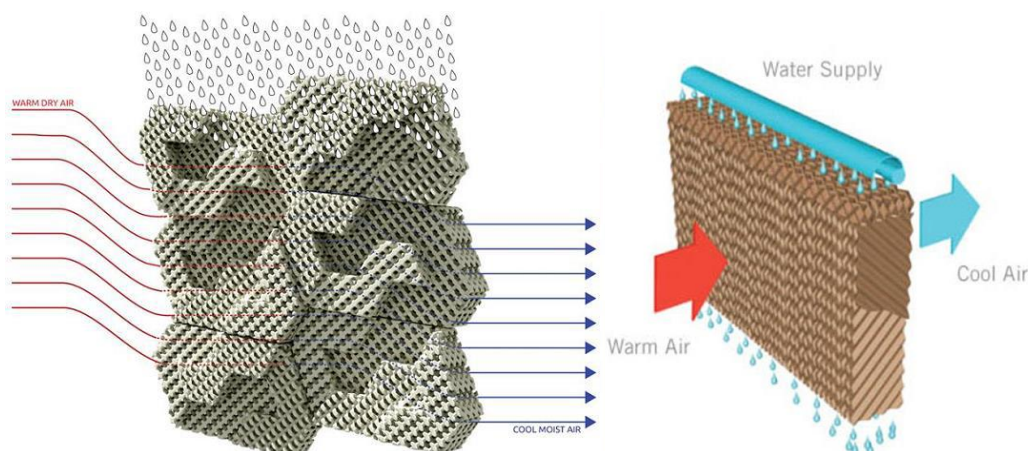
https://www.researchgate.net/publication/261862341_Digital_Materiality_an_experiment_with_smart_concret

e, ανάκτηση 5/2/2021

Ψυκτικά τούβλα

Τα ψυκτικά τούβλα είναι αλληλοσυνδεόμενα αρθρωτά μπλοκ που σχεδιάστηκαν από τους Virginia San Fratello και Ronald Rael, της The Emerging Objects Corporation. Χρησιμοποιούν τη στρατηγική της ψύξης μέσω εξάτμισης, η οποία εφαρμόστηκε σε ζεστά κλίματα προκειμένου να ψυχθούν παθητικά τα κτίρια. Η ψύξη μέσω εξάτμισης, περιλαμβάνει την προσθήκη υδρατμών στον αέρα, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα. Για χιλιετίες, πορώδη κεραμικά δοχεία χρησιμοποιήθηκαν σε ερημικά περιβάλλοντα για να ψύξουν νερό με εξάτμιση μέσω των τοιχωμάτων τους. Οι τοιχογραφίες ήδη από το 2500 π.Χ. δείχνουν τους σκλάβους να ψεκάζουν κεραμικά αγγεία γεμάτα με νερό για να αυξήσουν το αποτέλεσμα της ψύξης μέσω εξάτμισης.

Το δροσερό σύστημα τοιχοποιίας μιμείται την επίδραση κεραμικών δοχείων με νερό. Αρθρωτά και αλληλοσυνδεόμενα, τα τούβλα δημιουργούν έναν ισχυρό δεσμό όταν τοποθετούνται σε κονίαμα και απορροφούν νερό στους μικρό-πόρους τους όπως ένα σφουγγάρι. Καθώς ο αέρας διέρχεται από τη δομή πλέγματος του τούβλου, το νερό που συγκρατείται στους μικρό-πόρους εξατμίζεται, φέρνοντας κρύο αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον και μειώνοντας τη θερμοκρασία μέσω της διαδικασίας της ψύξης μέσω εξάτμισης. Επιπλέον, τα σχήματα στα τούβλα δημιουργούν σκιασμένες επιφάνειες στον τοίχο, βοηθώντας να διατηρηθεί η επιφάνεια δροσερή και προστατευμένη από τον ήλιο (Data Clay, 2015).



Εικόνα 73: Ενδοσυνδεόμενα αρθρωτά τούβλα

πηγή: <https://materialdistrict.com/article/the-cool-brick/>, ανακτήθηκε στις 5/2/2021.

Ψύξη με εξάτμιση TiO_2

Η ψύξη μέσω εξάτμισης, μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί ψεκάζοντας ένα συνεχές στρώμα νερού στις επιφάνειες του κτιρίου προκειμένου να ψυχθούν αφαιρώντας τη θερμότητα μέσω της εξάτμισής της. Μια πρόσφατη καινοτόμος μέθοδος, εκμεταλλεύεται έναν φωτοκαταλύτη TiO_2 , ο οποίος όταν ακτινοβολείται από τον ήλιο προκαλεί την επιφάνεια να γίνει εξαιρετικά υδρόφιλη ώστε να δημιουργηθεί υδρομεμβράνη. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να προστατευθεί ολόκληρο το κτίριο με μικρή ποσότητα νερού, δεδομένου ότι το στρώμα νερού έχει πάχος μόλις 0,1 mm. Οι δοκιμές σε μια ηλιόλουστη καλοκαιρινή μέρα, έδειξαν μείωση της θερμοκρασίας περίπου 15 °C σε υαλοπίνακα παραθύρου και 40-50 °C σε επιφάνειες επενδυμένες με μαύρα πλακάκια, αποτέλεσμα ελπιδοφόρο που θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό ή και αποφυγή της ανάγκης του (Di Salvo,S., 2018:33).

3.9.5 Θερμοδιμεταλλικό δέρμα - Αρχιτεκτονική της αναπνοής



Εικόνα 74: Εφαρμογή θερμοδιμεταλλικού δέρματος σε κτίριο

Πηγή: Casini, M., 2016. *Smart Buildings*: Duxford, UK.: Woodhead Publishing.

Τα θερμοδιμεταλλικά δημιουργήθηκαν με σύντηξη δύο λεπτών φύλλων μετάλλου με διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής. Το έξυπνο θέρμο-διμεταλλικό αυτό-αεριζόμενο κέλυφος που επινοήθηκε από το DO | SU Studio Αρχιτεκτονικής, είναι σε θέση να ανοίξει τους πόρους του για να επιτρέψει τον εξαερισμό όταν εκτίθεται σε θερμότητα και υπεριώδεις ακτίνες. Τα θερμικά διμεταλλικά παράθυρα αντιδρούν με διαστολή και συστολή σε διαφορετικούς ρυθμούς, δημιουργώντας εντάσεις ικανές να κάμπτουν την επιφάνεια και τελικά να μεταβάλλουν τη διαμόρφωση του κελύφους του κτιρίου (Casini, M., 2016:349).



Εικόνα 75: Θερμοδιμεταλλικό δέρμα - εφαρμογή https://www.archdaily.com/505016/when-biology-inspires-architecture-an-interview-with-doris-kim-sung?ad_medium=gallery, ανακτήθηκε στις 8/2/2021

Η Doris Kim Sung, αρχιτέκτονας και αναπληρώτρια καθηγήτρια στην Αρχιτεκτονική σχολή του πανεπιστημίου της Νότιας Καλιφόρνιας, επινόησε το θερμικό διμεταλλικό κράμα, ένα κράμα κατασκευασμένο από μαγγάνιο και νικέλιο με επίστρωση, το οποίο αντιδρά αυτόματα στις αλλαγές θερμοκρασίας, αέρα και ακτινοβολίας. Τα μέταλλα σε αυτό το κράμα, (το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως για πηνία μέσα σε θερμοστάτες), μετασχηματίζονται με διαφορετικούς ρυθμούς ανάλογα με τη θερμοκρασία. Από 21 βαθμούς Κελσίου και πάνω, ένα από τα μέταλλα αρχίζει να

συστέλλεται ή να διαστέλλεται καθώς οι θερμοκρασίες αυξάνονται. Στην ουσία η θερμική αγωγιμότητα θέτει το μέταλλο σε κίνηση με "παθητικό" τρόπο χωρίς κατανάλωση ενέργειας.

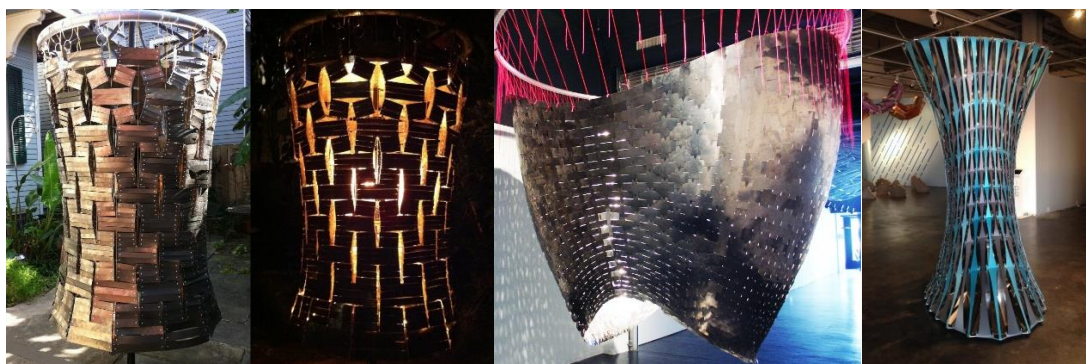
Σύμφωνα με την Doris Kim Sung, η αρχιτεκτονική πρέπει να προσαρμόζεται στις ανθρώπινες ανάγκες και όχι το αντίστροφο. Το 2012 η Sung D. δημιούργησε μια εγκατάσταση στην Πινακοθήκη Υλικών και Εφαρμογών στο Silver Lake της Καλιφόρνια. Το εξωτερικό αυτής της δομής, που ονομάστηκε "bloom", αποτελείται από 14.000 κομμάτια θερμικών διμετάλλων 15 και 30 εκατοστών, προκειμένου να δείξει πώς τα θερμά διμεταλλικά μπορούν να λειτουργήσουν τόσο ως σκίαστρο όσο και ως εξαερισμός.



Εικόνα 76: Ευέλικτη επιδερμίδα. Η εγκατάσταση "Bloom" κοντά στο Λος Άντζελες το 2012 έδειξε πώς τα θερμοδιμεταλλικά θα μπορούσαν να ανταποκριθούν στη θερμότητα, στη σκιά ή στον αερισμό ενός κτιρίου. Διαθέσιμο στο:

https://www.builderonline.com/products/exterior/responsive-metal-alloy-may-revolutionize-passive-systems_o, ανακτήθηκε στις 8/2/2021

Η Sung D. ως βιολόγος, έχει συγκρίνει το ανθρώπινο δέρμα με το θερμικό διμεταλλικό δέρμα. Όπως έχει πει χαρακτηριστικά η ερευνήτρια: «Το δέρμα είναι η πρώτη γραμμή άμυνας για το σώμα. Δροσίζει με εφίδρωση, θερμαίνει με διόγκωση των πόρων, αντιστέκεται στον ήλιο δημιουργώντας μελανίνη, προστατεύει από τη βρωμιά, το νερό και πολλά άλλα. Εάν λειτουργεί καλά, η καρδιά και οι πνεύμονες δεν χρειάζεται να δουλεύουν τόσο σκληρά. Τα δομικά δέρματα μπορούν να λειτουργήσουν με τον ίδιο τρόπο και να αποτρέψουν το μηχανικό σύστημα (AC ή θέρμανση) από την υπερβολική λειτουργία και την κατανάλωση τεράστιων ποσοτήτων περιττής ενέργειας. Με «έξυπνα» υλικά όπως θερμοδιμεταλλικά, τα δομικά κελύφη μπορούν πλέον να σκιάζονται, να αερίζονται και να προσαρμόζονται αυτόματα στις αλλαγές θερμοκρασίας του περιβάλλοντος» (Sung, D., 2014).



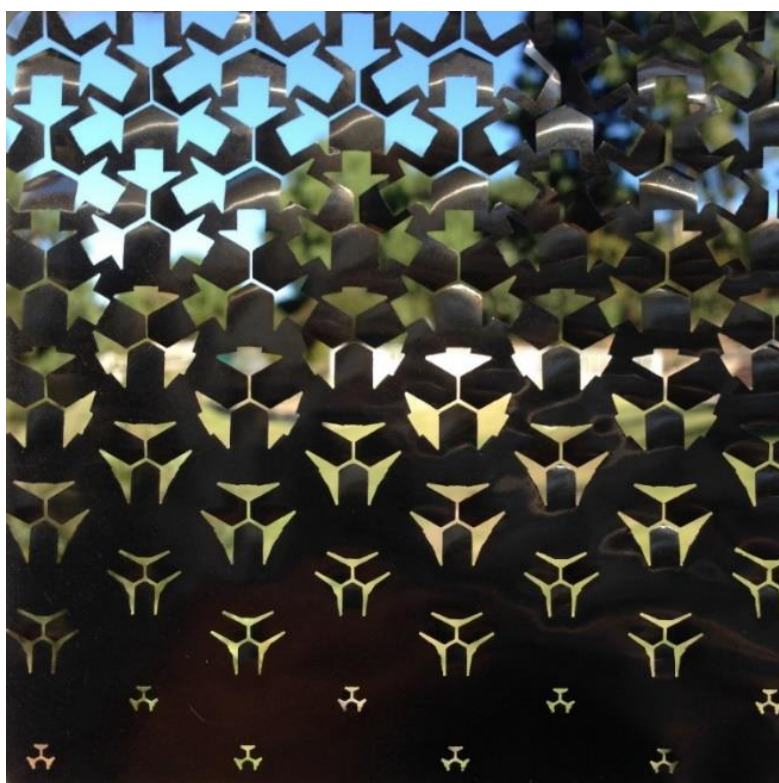
Εικόνα 77: Θερμοδιμεταλλικό δέρμα – εφαρμογές https://www.archdaily.com/505016/when-biology-inspires-architecture-an-interview-with-doris-kim-sung?ad_medium=gallery, ανακτήθηκε στις 8/2/2021

Τα θερμικά διμεταλλικά έχουν τη μοναδική ικανότητα να λειτουργούν χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα, μία τεχνολογία που αποτελεί μια βιώσιμη αντικατάσταση ορισμένων οικοδομικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (Galloway, A., 2014).

Τώρα η αρχιτεκτονική τα χρησιμοποιεί ως υλικό πρόσοψης, για να επιτρέπει στον αέρα να διέρχεται από έναν τοίχο όταν η εσωτερική ή εξωτερική θερμοκρασία ανεβαίνει πάρα πολύ. Συνεπώς, καθώς ο ζεστός ήλιος αρχίζει να κάνει ένα δωμάτιο αφόρητο, αυτοί οι «έξυπνοι τοίχοι» επιτρέπουν στον καθαρό αέρα να περάσει μέσω πορωδών επιφανειών. Όσο πιο φωτεινός είναι ο ήλιος, τόσο περισσότερο διαστέλλονται τα μεταλλικά στοιχεία αφήνοντας τον κρύο αέρα να περάσει στο

εσωτερικό. Το ειδικό λογισμικό διαμορφώνει κάθε πάνελ για να μεγιστοποιήσει το αποτέλεσμα ψύξης, ακόμη και για πολύ καμπύλες επιφάνειες.

Η Sung έχει σχεδιάσει ένα θέρμο-διμεταλλικό σκίαστρο, ένα πλαίσιο παραθύρου με ένα εσωτερικό στρώμα από θέρμο-διμεταλλικά, και τοίχους με αεραγωγούς από θέρμο-διμεταλλικά. Όταν η κατασκευή θερμαίνεται, συρρικνώνεται! Το κύριο χαρακτηριστικό των έργων της είναι ότι δεν απαιτεί χειριστήρια ή διακόπτες και καταναλώνει μηδενική ενέργεια (Galloway, A., 2014).



Εικόνα 78: Διαχωριστικό από θερμοδιμεταλλικό δέρμα <http://yonah.org/channel/doris-sung-art-architecture>,

ανακτήθηκε στις 8/2/2021

Τα θερμικά διμεταλλικά ελάσματα, όπως προαναφέρθηκε, έχουν τη μοναδική ικανότητα να λειτουργούν χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η τεχνολογία είναι μια βιώσιμη αντικατάσταση ορισμένων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κύριος σκοπός είναι να βρεθούν λύσεις που δεν απαιτούν ενέργεια και κανέναν έλεγχο. Σύμφωνα με την ερευνήτρια: «Τα «έξυπνα» υλικά και τα υλικά νανοκλίμακας

θα φέρουν τις μεγαλύτερες αλλαγές στα δομικά υλικά. Θα αλλάξουν δραματικά την αντίληψή μας για τα κτίρια. Δεν θα περιμένουμε πλέον να σφραγίζονται οι τοίχοι, τα δάπεδα να είναι σκληρά και τα κτίρια στατικά. Τα κτίρια θα μοιάζουν περισσότερο με οργανισμούς, με τους οποίους θα μπορούμε να συσχετιζόμαστε» (Mustafina, D., 2017).

3.10 Σύνδεση μεταξύ φυσικών λειτουργιών και σχετιζόμενων έξυπνων υλικών και τεχνολογιών.

Η βίο-μιμητική επιστήμη προσφέρει ευκαιρίες να σκεφτούμε αρχιτεκτονικές στρατηγικές που να οδηγούν σε βιώσιμες εξελίξεις. Ο παρακάτω πίνακας, συνοψίζει ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της φύσης που σχετίζονται με τον ανθρωπογενή κόσμο και συνδέουν εφαρμογές μέσω διαδικασιών και λειτουργιών που εμφανίζονται στη φύση.

Βιολογική έμπνευση	Οικοδομικές ανάγκες	Απαιτούμενα χαρακτηριστικά	Σχετιζόμενα έξυπνα υλικά και τεχνολογίες	
			Συμφυή έξυπνα υλικά	Ενεργά μηχανικά συστήματα
Δέρμα	Έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω υλικού περιτυλίγματος	Φασματική απορροφητικότητα/ μεταδοτικότητα του δέρματος	Φωτοχρωμικά υλικά	Συγχώνευση δύο ή περισσότερων από αυτές τις τεχνολογίες για ένα πολύπλευρο σύστημα ανταλλαγής ενέργειας, πχ φωτοβολταϊκά κύτταρα τοποθετημένα πάνω σε φωτοχρωμικό φιλμ
Ιδρώτας	Έλεγχος της εσωτερικής παραγωγής θερμότητας	Ψύξη με εξάτμιση	Γήινα και κλασικά αρχιτεκτονικά υλικά, όπως υγρό πηλό και κοπριά	Ένας μηχανισμός εφίδρωσης μέσω τοίχων μέσω ενός τριχαιδούς μηχανισμού που αποτελείται από: Υλικά αλλαγής φάσης Θερμοηλεκτρικά υλικά
Σωματικό λίπος	Έλεγχος της απώλειας θερμότητας από βασικούς περιοχές (περιοχή ανθρώπινης λειτουργίας)	Θερμική αγωγιμότητα από υλικό περιτυλίγματος	Υλικά αλλαγής φάσης χρησιμοποιούμενα ως ενεργειακές δεξαμενές	Θερμοτροπικά και πιεζοηλεκτικά υλικά χρησιμοποιούμενα σε αισθητήρες για μηχανισμούς κλεισίματος
Μάτι του σκύρου	Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω υλικού περιτυλίγματος	Πολύ απορροφητικό υλικό για μεγιστοποίηση της προστίπτωσης ακτινοβολίας του ήλιου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	Φωτοβολταϊκά κύτταρα Φωτοχρωμικά υλικά Ηλεκτροχρωμικά υλικά	Συγχώνευση δύο ή περισσότερων από αυτές τις τεχνολογίες για ένα πολύπλευρο σύστημα ανταλλαγής ενέργειας, πχ φωτοβολταϊκά κύτταρα τοποθετημένα πάνω σε φωτοχρωμικό φιλμ
Τερμίτες	Φυσικός αερισμός	Εξατμιστική ψύξη μέσω πορωδών μεμβρανών	Χωμάτινα αρκίτεκτονικά υλικά όπως πηλός και κοπριά	Ελαχιστοποίηση μηχανισμού εφίδρωσης μέσω τοίχων μέσω ενός τριχαιδούς μηχανισμού που αποτελείται από: Υλικά αλλαγής φάσης Θερμοηλεκτρικά υλικά Νανοσωλήνες με μηχανισμό κλεισίματος
Αράχνες και σκορπιοί	Παρακολούθηση των πολιτιστικών συστημάτων	Παρακολούθηση πίεσης και παραμόρφωσης Παρακολούθηση ρωγμών Παρακολούθηση και έλεγχος δόνησης	Καλώδια οπτικών ινών Πιεζοηλεκτικά υλικά	Συστήματα επινοημένα από την εφαρμογή: Ηλεκτροθεραπευτικά υλικά Μαγνητο-ρεολογικά υλικά Κράματα σχήματος μνήμης
Αυτό-θεράπεια / επιδιόρθωση	Παρακολούθηση της υγείας των προσώπων	Έλεγχος και αποκατάσταση της ακεραιότητας της δομής και της επιφάνειας	Καλώδια οπτικών ινών Πιεζοηλεκτικά υλικά (αυτοθεραπεία σε πολυμερή σύνθετα με ρητίνη ινών)	Συστήματα επινοημένα από την κατασκευή κραμάτων σχήματος μνήμης

Πίνακας 6. Διάφορες χρήσιμες διασταυρώσεις από τη Φύση. Επιλογή παραδειγμάτων από: (Clements, et all, 2013:37-39).

3.10 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, τα έξυπνα υλικά και οι τεχνολογίες τους, μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στις οικοδομικές ανάγκες, δημιουργώντας έξυπνες προσαρμοστικές όψεις και αρχιτεκτονικά κελύφη λόγω αυτών των εγγενών ιδιοτήτων. Το περιβαλλοντικό ζήτημα και η ανάγκη για ενεργειακή επάρκεια στην οποία συμμετέχει ο κατασκευαστικός τομέας, θέτει τους ερευνητές και τους σχεδιαστές μπροστά σε μια επιστημονική και σχεδιαστική πρόκληση στην οποία είναι απαραίτητο να συμβάλουν, προκειμένου να βρεθούν διαφορετικοί τρόποι μελέτης και πειραματισμού με νέα υλικά και εποικοδομητικές πρακτικές, που κυμαίνονται από τη σχεδίαση έως την εφαρμογή. Η ανάπτυξη τεχνολογιών βοηθά τους αρχιτέκτονες του «βίο-μιμητικού ρεύματος», να αναδημιουργήσουν σύνθετες κατασκευές που βρίσκονται στη φύση, χρησιμοποιώντας καινοτόμες κατασκευαστικές μεθόδους και υλικά.

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάστηκαν ορισμένες υπάρχουσες στρατηγικές βίο-μιμητικού σχεδιασμού που έχουν εφαρμοστεί για προσομοίωση της φύσης **με στόχο την κατανόηση της συμβολής των βίο-μιμητικών υλικών στην κουλτούρα του σχεδιασμού.**

Οι μελέτες που παρουσιάστηκαν δείχνουν την ποικιλία πιθανών εφαρμογών φυσικών φαινομένων στην αρχιτεκτονική με στόχο την παροχή εργαλείων φιλικών προς τον χρήστη που μπορούν να διευκολύνουν στην εμβάθυνση πληροφοριών, ανοίγοντας νέες προοπτικές για νέες τεχνικές λύσεις και δείχνοντας τη δυνατότητα προσαρμογής των κατασκευών σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες.

Στο κεφάλαιο 4 που ακολουθεί, πέντε μελέτες περίπτωσης που βασίζονται στη χρήση έξυπνων υλικών και τεχνολογιών στην Αρχιτεκτονική ως εφαρμογή της βίο-έμπνευσης θα επανεξεταστούν, με στόχο να διεξαχθούν συμπεράσματα από τη μεταξύ τους συγκριτική ανάλυση για τις τρέχουσες και τις μελλοντικές κατασκευές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: CASE STUDIES

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, ορισμένες μελέτες που βασίζονται στη χρήση έξυπνων υλικών και τεχνολογιών στην Αρχιτεκτονική ως εφαρμογή της βίο-έμπνευσης θα επανεξεταστούν, με στόχο να διεξαχθούν συμπεράσματα από τη μεταξύ τους συγκριτική ανάλυση. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν πέντε μελέτες περίπτωσης για τη βίο-έμπνευση μαζί με την αρχιτεκτονική τους εφαρμογή και θα συγκριθούν σύμφωνα με κάποια κριτήρια. Οι μελέτες που έχουν επιλεγεί, είναι οι κάτωθι:

- 1) Υδρο-δέρμα
- 2) Ομοιοστατικό σύστημα
- 3) Ηλεκτρονικό-δέρμα
- 4) Flectofin «Εκθεσιακό θεματικό περίπτερο»
- 5) Παράθυρο αναπνοής.

Τα κριτήρια συγκριτικής ανάλυσης, είναι τα κάτωθι:

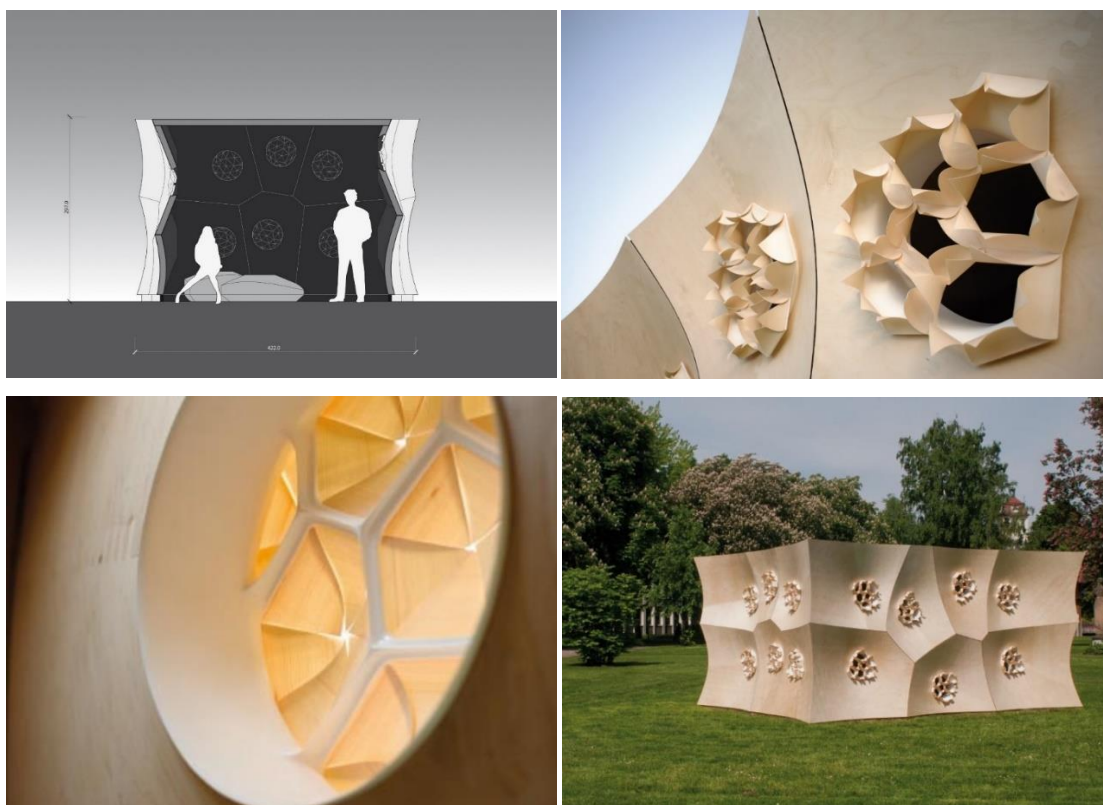
- 1) Μοντέλο βίο-έμπνευσης
- 2) Έξυπνα υλικά και τεχνολογίες
- 3) Μηχανισμός εισαγωγής ερεθισμάτων και μηχανισμός ενεργοποίησης
- 4) Σύστημα προσαρμογής
- 5) Είδη εξοικονόμησης ενέργειας
- 6) Αρχιτεκτονική εφαρμογή

Στη συνέχεια, η συγκριτική ανάλυση θα χρησιμοποιηθεί ως βάση για την εξαγωγή των συμπερασμάτων, εστιάζοντας στους περιορισμούς σχετικά με τη δυνατότητα εφαρμογής αυτών των μελετών και την αποτελεσματικότητα της συζήτησης για το ενεργειακό πρόβλημα.

4.2 Μελέτες περίπτωσης

4.2.1 Hydro-Skin (Υδρο-δέρμα) - Meteor sensitive Pavilion (Περίπτερο, με ευαίσθητο κέλυφος στις καιρικές μεταβολές το οποίο προσαρμόζεται στην υγρασία του περιβάλλοντος. Αρχιτέκτονας: Achim Menges).

Η κλιματική απόκριση, αποτελεί στην αρχιτεκτονική, μία τεχνική λειτουργία που ενεργοποιείται από μηχανικές και ηλεκτρονικές συσκευές ανίχνευσης, ενεργοποίησης και ρύθμισης. Σε αντίθεση, η φύση προτείνει μία θεμελιωδώς διαφορετική στρατηγική, δεδομένου ότι σε διάφορα βιολογικά συστήματα, η ικανότητα απόκρισης είναι ριζωμένη στο ίδιο το υλικό. Η δημιουργία του «Hydro-Skin», ενός περιπτέρου που δημιουργήθηκε από τον αρχιτέκτονα Achim Menges, με κέλυφος προσαρμοζόμενο στην υγρασία του περιβάλλοντος, χρησιμοποιεί παρόμοιες στρατηγικές σχεδιασμού, δηλαδή φυσικού προγραμματισμού ενός συστήματος απόκρισης υλικών που δεν απαιτεί μηχανικούς και ηλεκτρονικούς ελέγχους. Εδώ το υλικό υπηρετεί τη μορφή σε συνδυασμό με το περιβάλλον.



Εικόνα 79 Menges A. HygroSkin: Meteorosensitive Pavilion. (ανακτήθηκε 12/12/2020)

<https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/hygroskin-meteorosensitive-pavilion/>

Το έργο διερευνά τη σχέση μεταξύ ενός αρχετυπικού αρχιτεκτονικού όγκου, του κουτιού και ενός κυματιστού δέρματος που ενσωματώνει ένα σύμπλεγμα από περίπλοκα, κλιματικά ευαίσθητα ανοίγματα και στηρίζεται στην ελαστική συμπεριφορά λεπτών φύλλων κόντρα πλακέ. Η εγγενής ικανότητα του υλικού να σχηματίζει κωνικές επιφάνειες, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ρομποτικές διεργασίες για την κατασκευή 28 γεωμετρικά μοναδικών εξαρτημάτων που στεγάζουν 1100 ανοίγματα που αποκρίνονται στην υγρασία. Τα ανοίγματα ανταποκρίνονται σε μεταβολές σχετικής υγρασίας που κυμαίνονται από 30% έως 90%, που αναλογεί με το εύρος της υγρασίας από έναν έντονα ηλιόλουστο έως έναν βροχερό καιρό σε ένα μέτριο κλίμα. Σε άμεση ανατροφοδότηση με το τοπικό μικρό-κλίμα, το περίπτερο προσαρμόζει συνεχώς τον βαθμό ανοίγματος των φολίδων του, διαμορφώνοντας τη μετάδοση του φωτός και την οπτική διαπερατότητα του κελύφους. Αυτή η συνδιαλλαγή οδηγεί σε συνεχείς διακυμάνσεις του περιβλήματος, του φωτισμού και του εσωτερικού χώρου. Η αντίληψη της ευαίσθητης και συνεχώς μεταβαλλόμενης περιβαλλοντικής δυναμικής, εντείνεται μέσω της σιωπηλής κίνησης του μετέωρο-ευαίσθητου αρχιτεκτονικού κελύφους. Η μεταβαλλόμενη επιφάνεια ενσωματώνει την ικανότητα αίσθησης, ενεργοποίησης και αντίδρασης, μέσα στο ίδιο το υλικό. **Η μόνη παράμετρος που επηρεάζει τη συμπεριφορά του είναι το ίδιο το κλίμα κι αυτός είναι ο λόγος που αφήνει στο περιβάλλον μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα.**

Μοντέλο βίο-έμπνευσης: Ανταπόκριση κουκουναριών στην υγρασία του περιβάλλοντος.

Η φύση έχει αναπτύξει μια μεγάλη ποικιλία δυναμικών συστημάτων που αλληλοεπιδρούν με τις κλιματολογικές συνθήκες. Για τον τομέα της αρχιτεκτονικής, ένας ιδιαίτερα ενδιαφέρων μηχανισμός είναι η κίνηση που βασίζεται στην υγρασία που μπορεί να παρατηρηθεί σε κώνους ερυθρελάτης, η οποία πραγματοποιείται μέσω παθητικής ανταπόκρισης στις μεταβολές της υγρασίας του περιβάλλοντος. Εδώ, η ικανότητα απόκρισης είναι εγγενής της υγροσκοπικής συμπεριφοράς του υλικού και των δικών του ανισοτροπικών χαρακτηριστικών -η ανισοτροπία υποδηλώνει την διαφορετική κατεύθυνση των χαρακτηριστικών ενός υλικού, στην προκειμένη περίπτωση των ινών του ξύλου-. Η υγροσκοπικότητα αναφέρεται στην

ικανότητα μιας ουσίας να απορροφά υγρασία από την ατμόσφαιρα όταν είναι στεγνή και να αποδίδει υγρασία σε αυτή όταν είναι υγρή, διατηρώντας έτσι την περιεκτικότητά της σε υγρασία σε ισορροπία με τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.

Με αυτόν τον τρόπο, η κίνηση των κώνων ερυθρελάτης βασίζεται στην εγγενή ικανότητα του υλικού να αλληλοεπιδρά με το εξωτερικό περιβάλλον και δείχνει πώς ένας δομημένος ιστός μπορεί να ανταποκριθεί παθητικά σε περιβαλλοντικά ερεθίσματα. Το άνοιγμα του κώνου όταν στεγνώνει και το κλείσιμο όταν βρέχεται, ενεργοποιείται από τη διττή δομή του υλικού. Το εξωτερικό στρώμα, που αποτελείται από παράλληλα, μακριά και πυκνά τοιχώματα, αντιδρά υγροσκοπικά στην αύξηση ή μείωση της σχετικής υγρασίας με τη διαστολή ή τη συστολή, ενώ το εσωτερικό στρώμα παραμένει σχετικά σταθερό. Η προκύπτουσα διαστατική αλλαγή των στρωμάτων μεταφράζεται σε αλλαγή σχήματος της κλίμακας, προκαλώντας το άνοιγμα ή το κλείσιμο της κλίμακας του κώνου (Correa, D. et al, 2013 :34-35).



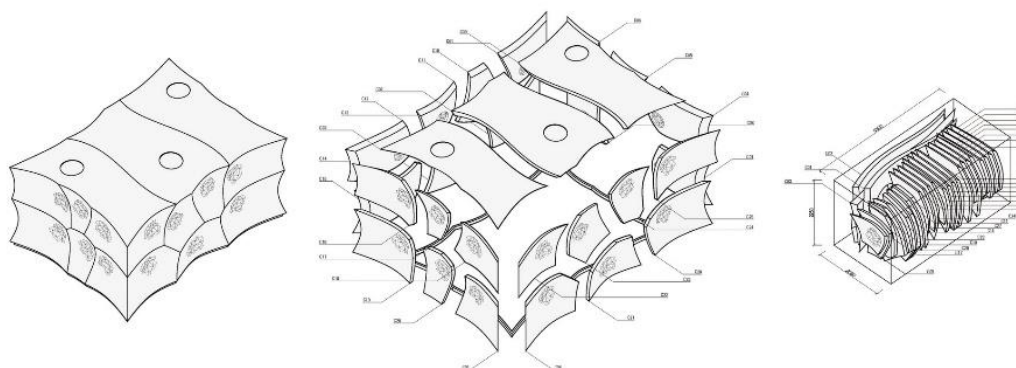
Εικόνα 80. Menges A. HygroSkin: Meteorosensitive Pavilion. (ανακτήθηκε 12/12/2020)

<https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/hygroskin-meteorosensitive-pavilion/>

Έξυπνα υλικά και Τεχνολογίες: Σύνθετα ξύλα που ανταποκρίνονται στην υγρασία με συμπεριφορά μνήμης σχήματος (Barozzi, M. et al, 2016: 280).

Επιστημονική ανάπτυξη

Αυτό το έργο διερευνά τις βιομιμητικές αρχές που προσφέρει ο κώνος ερυθρελάτης για την ανάπτυξη αρχιτεκτονικών συστημάτων που ανταποκρίνονται στο κλίμα και δεν απαιτούν αισθητηριακό εξοπλισμό, λειτουργίες κινητήρα ή ακόμη και λειτουργική εισροή ενέργειας. Η έρευνα επιτρέπει τη χρήση του ξύλου, ενός από τα παλαιότερα και πιο συνηθισμένα δομικά υλικά, ως φυσικό σύνθετο που ανταποκρίνεται στο κλίμα. Η εκμετάλλευση της ανισοτροπικής διαστατικής συμπεριφοράς του ξύλου, οδήγησε στην ανάπτυξη ενός σύνθετου στοιχείου από καπλαμά, που ανταποκρίνεται στην υγρασία και βασίζεται σε απλό καπλαμά σφενδάμου. Κατά τη διαδικασία της προσρόφησης και της εκρόφησης της υγρασίας που προκαλείται από την υγρασία του περιβάλλοντος, αλλάζει η απόσταση μεταξύ των μικροϊνών στον ιστό των κυττάρων του ξύλου, με αποτέλεσμα μία σημαντική ανισοτροπική αλλαγή στη διάσταση. Μέσω μιας ακριβούς μορφολογικής άρθρωσης, αυτή η διαστατική αλλαγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προκαλέσει την αλλαγή σχήματος ενός ανταποκρινόμενου στοιχείου. Το ανεπτυγμένο υλικό μπορεί να προγραμματιστεί φυσικά για τον υπολογισμό διαφορετικών σχημάτων ως απάντηση στις αλλαγές της σχετικής υγρασίας. Σε αυτό το έργο τα στοιχεία αλλάζουν από ανοιχτά σε κλειστά μέσα σε λίγα λεπτά, δεδομένης της ταχείας αύξησης της σχετικής υγρασίας. Το σύνθετο στοιχείο καπλαμά οργανώνει την ικανότητα απόκρισης του υλικού σε ένα εκπληκτικά απλό στοιχείο που είναι ταυτόχρονα ενσωματωμένος αισθητήρας, κινητήρας χωρίς ενέργεια και στοιχείο ρύθμισης.



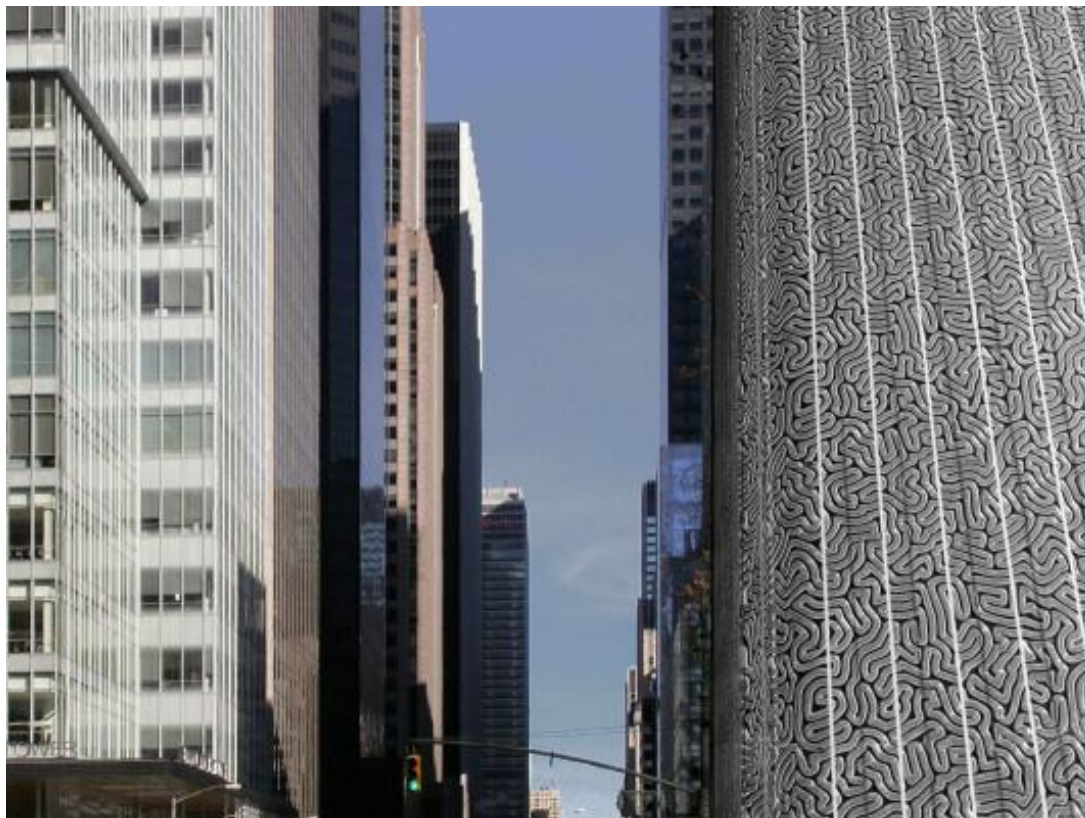
Εικόνα 81. Η αρθρωτή κατασκευή του περιπτέρου, σε αξονομετρική προβολή.

<https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/hygroskin-meteorosensitive-pavilion/> (ανακτήθηκε 12/12/2020).

Για την κατασκευή αυτού του περιπτέρου, αναπτύχθηκε μια υπολογιστική διαδικασία σχεδιασμού με βάση την ελαστική συμπεριφορά των λεπτών επίπεδων φύλλων κόντρα πλακέ και τη σχετική ικανότητα του υλικού να σχηματίζει κωνικές επιφάνειες. Η υπολογιστική διαδικασία ενσωματώνει την ικανότητα του υλικού να προσαρμόζεται στη μορφή εξαιτίας της ελαστικής διαδικασίας της κάμψης, την υπολογιστική λεπτομέρεια όλων των αρμών και τη δημιουργία του απαιτούμενου κώδικα μηχανικής για την κατασκευή με ένα βιομηχανικό ρομπότ 7 αξόνων. Κάθε συστατικό αποτελείται από ένα δέρμα με δύο στρώσεις, το οποίο αρχικά μορφώνεται σε κωνικές επιφάνειες και εν συνεχεία συνδέεται για την παραγωγή ενός πάνελ σάντουιτς με συμπίεση κενού. Ο τελικός ορισμός της φόρμας στα αρθρωτά πάνελ, σε ακριβή επίπεδα ανοχής, επιτυγχάνεται μέσω ρομποτικής περικοπής. Η δομική ικανότητα των ελαστικά λυγισμένων επιφανειών του δέρματος επιτρέπει ένα ελαφρύ, αλλά στιβαρό σύστημα, κατασκευασμένο από πολύ λεπτά εξαρτήματα κόντρα πλακέ. Η ακρίβεια της διαδικασίας αυτό-σχηματισμού επαληθεύτηκε με ολοκληρωμένες σαρώσεις λέιζερ της δομής. Αποκάλυψαν μια μέση απόκλιση μικρότερη από 0,5 mm μεταξύ του υπολογιζόμενου σχεδιαστικού μοντέλου και της πραγματικής φυσικής γεωμετρίας όπου το υλικό υπολογίστηκε σε πραγματικό μέγεθος.

Συνεπώς, η εστίαση της υπολογιστικής διαδικασίας σχεδιασμού στη συμπεριφορά του υλικού και όχι στο γεωμετρικό σχήμα, επιτρέπει την εκδήλωση ικανοποιητικών ικανοτήτων του υλικού, επιβεβαιώνοντας την αειφορική διάσταση της κατασκευής, μέσω της βίο-έμπνευσης (Correa, D.et all,2013 :37-39).

4.2.2 Η Ομοιοστατική πρόσοψη - Σύστημα αυτόματης σκίασης κτιρίων (Decker Yeadon).



Εικόνα 82. Yeadon D. Homeostatic facade system. <https://asknature.org/idea/homeostatic-facade-system/> Ανακτήθηκε 12/12/2020

Η εταιρεία τεχνολόγων αρχιτεκτονικών υλικών Decker Yeadon σχεδίασε ένα γυάλινο σύστημα πρόσοψης διπλού κελύφους για μεγάλα κτίρια που ανοίγει και κλείνει ως απόκριση στην εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου και ονομάζεται σύστημα ομοιοστατικής πρόσοψης. Τα έξυπνα υλικά ρυθμίζουν το κλίμα του κτιρίου, ομοίως με τους οργανισμούς που διατηρούν τη θερμοκρασία του σώματός τους μέσω της ομοιόστασης. Η πρόσοψη μοιάζει με παράθυρο με περιστρεφόμενες γραμμές. Αυτές είναι κορδέλες ελαστομερούς τυλιγμένες πάνω σε εύκαμπτο πυρήνα πολυμερούς. Μια ασημένια επίστρωση στο ελαστομερές κατανέμει ένα ηλεκτρικό φορτίο σε όλη την επιφάνειά του προκαλώντας την παραμόρφωση. Όταν το φως του ήλιου θερμαίνει το εσωτερικό του κτιρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας, το ελαστομερές διαστέλλεται, δημιουργώντας σκιά μέσα στο κτίριο. Όταν το εσωτερικό ψύχεται, το ελαστομερές συστέλλεται επιτρέποντας να διεισδύσει στο εσωτερικό του κτιρίου περισσότερο φως (Di Salvo,S.,2018:38-39).

Μοντέλο βιομίμησης: ομοίωση βιολογικών οργανισμών.

Για το σύστημα ομοιοστατικής πρόσοψης η Decker Yeadon εμπνεύστηκε από το σύστημα ομοίωσης που είναι εγγενές σε ζωντανούς οργανισμούς και το σχήμα των κοραλλιογενών εγκεφάλων. Ο ενεργοποιητής του συστήματος, είναι παρόμοιος με τη λειτουργία των μυών. Η ομοίωση στους οργανισμούς τους επιτρέπει να ρυθμίζουν τις εσωτερικές τους συνθήκες, όπως η θερμοκρασία. Η πρόσοψη της Decker Yeadon ρυθμίζει το κλίμα ενός κτιρίου ανιχνεύοντας τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτό καθιστά το κτίριο προσαρμόσιμο στις τοπικές συνθήκες χρησιμοποιώντας τοπικά διαθέσιμα υλικά και ενέργεια.



Εικόνα 83. Κοραλλιογενής ύφαλος, https://en.wikipedia.org/wiki/Brain_coral, 12/12/2020

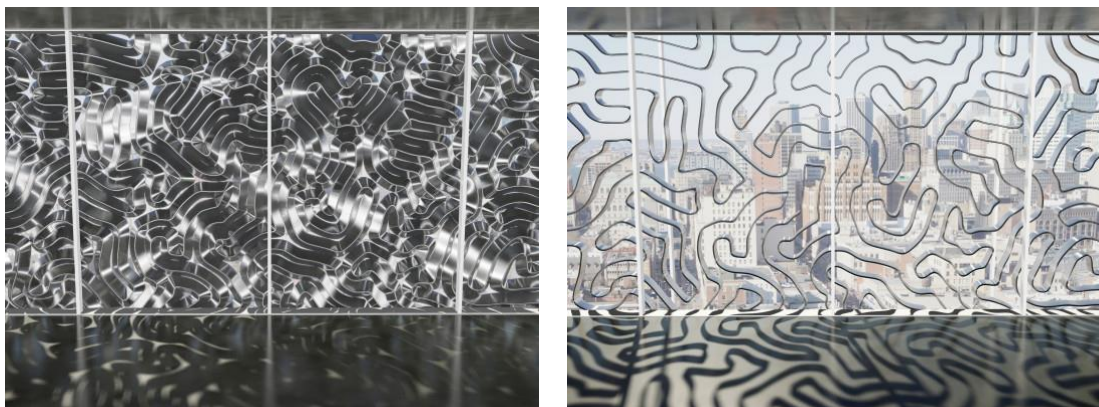
Υλικά – τεχνολογίες

Ελαστομερές κορδέλες τυλιγμένες πάνω από έναν ευέλικτο πυρήνα πολυμερούς.



Εικόνα 84: Ελαστομερείς κορδέλες τυλιγμένες πάνω από έναν ευέλικτο πυρήνα πολυμερούς
<https://materialdistrict.com/article/homeostatic-facade-system/> Ανακτήθηκε 12/12/2020

Ένα αυτορυθμιζόμενο σύστημα προσόψεων, προσαρμόζεται αυτόματα ώστε να ταιριάζει σε μεταβαλλόμενα εξωτερικά περιβάλλοντα, σε σχέση με το φως του ήλιου και τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Το σύστημα Ομοιοστατικής Πρόσοψης της Decker Yeadon λειτουργεί βάσει φυσικών αρχών για να διατηρεί υπό έλεγχο τις εσωτερικές συνθήκες. Το σύστημα περιλαμβάνει μια κορδέλα, μέσα στην κοιλότητα μιας πρόσοψης από γυαλί διπλού δέρματος. Η κορδέλα είναι κατασκευασμένη από διηλεκτρικά ελαστομερή -πολυμερή υλικά που μπορούν να πολωθούν εφαρμόζοντας ηλεκτρικό ρεύμα-. Αυτά τα υλικά είναι επίσης εύκαμπτα και καταναλώνουν πολύ μικρή ισχύ. Και οι δύο πλευρές του διηλεκτρικού υλικού είναι επικαλυμμένες με ηλεκτρόδια αργύρου. Αυτό το ασημί στρώμα αντανακλά το φως και επίσης κατανέμει το ηλεκτρικό φορτίο σε όλο το υλικό, προκαλώντας την παραμόρφωση. Αυτό βοηθά την πρόσοψη να ρυθμίζει τη θερμοκρασία μέσα στο κτίριο. Καθώς οι περιβαλλοντικές συνθήκες αλλάζουν, το φορτίο στο στρώμα αργύρου προκαλεί κίνηση χρησιμοποιώντας έναν ευαίσθητο ενεργοποιητή. Ένας τεχνητός μυς δημιουργείται τυλίγοντας το διηλεκτρικό υλικό πάνω από έναν εύκαμπτο πολυμερή πυρήνα. Το αυξημένο φορτίο προκαλεί διαστολή του ελαστομερούς, κάνοντας τον πυρήνα να καμφθεί και τραβώντας το υλικό του ελαστομερούς προς τη μία πλευρά. Αυτό με τη σειρά του προκαλεί την κάμψη της κορδέλας. Το αποτέλεσμα είναι ότι η πρόσοψη κλείνει, με την αδιαφανή κατασκευή να αποκλείει το φως. Ο σχεδιασμός των αρχιτεκτόνων ενσωματώνει κορδέλες του διηλεκτρικού υλικού σε όλη την πρόσοψη. Καθώς η ηλεκτρική ενέργεια περνά πάνω από την επιφάνεια, ανοίγει και κλείνει για να ελέγξει την αύξηση της ηλιακής θερμότητας μέσω της πρόσοψης. Το τεράστιο πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι είναι ρυθμιζόμενο με ακρίβεια και προσδίδει ειδικό ηλιακό έλεγχο σε μια πρόσοψη.



Εικόνα 85. Εσωτερική πλευρά του κτιρίου, αριστερά πλήρως ανοιχτή, δεξιά πλήρως κλειστή.

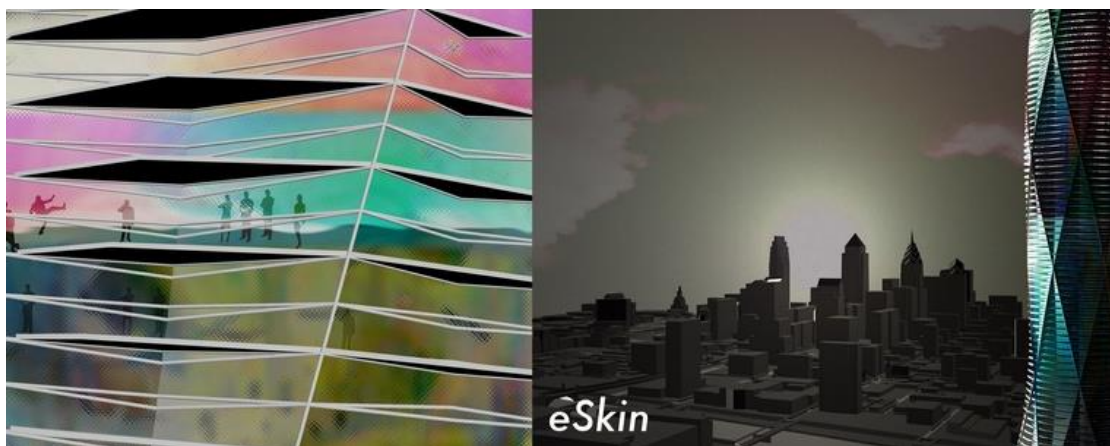
<https://materialdistrict.com/article/homeostatic-facade-system/>, Ανακτήθηκε,12/12/2020.

(Πολυμερή υλικά: τα θερμοπλαστικά ελαστομερή, ή TPEs, είναι ένα εξαιρετικό βασικό αρχικό υλικό, που συνδυάζει τις ιδιότητες ενός θερμοπλαστικού με αυτές του καουτσούκ. Οι σκληρές ιδιότητες «soft-touch» των TPE μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τη φιλικότητα προς το χρήστη και την άνετη εμφάνιση ενός προϊόντος. Τα βασικά οφέλη των TPEs για ελαστομερείς εφαρμογές περιλαμβάνουν: Μαλακή, ευέλικτη αίσθηση, εξαιρετική ελαστικότητα, Latex και χωρίς PVC, προσκόλληση σε μια μεγάλη γκάμα πλαστικών σταθερή χρωματικότητα, ανακυκλώσιμο).

4.2.3 Ηλεκτρονική επιδερμίδα E-skin (Electronical skin)

Προσαρμοσμένο, δομικό κέλυφος (Αρχιτεκτονική ομάδα: Jenny E. Sabin, Andrew Lucia, Simin Wang, Giffen Ott Πανεπιστήμιο Cornell)

Η έρευνα σχετικά με την ικανότητα των κτιρίων να αισθάνονται τις περιβαλλοντικές συνθήκες και να προσαρμόζονται σε αυτές, οδήγησε μία διεπιστημονική ομάδα βιολόγων, αρχιτεκτόνων και μηχανικών στην προσπάθεια να δημιουργήσουν δομικά κελύφη. Η ομάδα αυτή μελέτησε την αρχιτεκτονική των ανθρώπινων κυττάρων και μετέφρασε αυτά τα ευρήματα σε αλγόριθμους για τη δημιουργία μοτίβων, προσαρμοστικών υλικών. Αυτά τα υλικά συνδέονται με αισθητήρες και μηχανισμούς ανάδρασης. Ο απώτερος στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα δομικό κέλυφος που να μπορεί να προσαρμοστεί στις περιβαλλοντικές συνθήκες προκειμένου να γίνει ενεργειακά πιο αποδοτικό και πιο αποτελεσματικό για τους χρήστες.



Εικόνα 86: Ηλεκτρονική επιδερμίδα <https://asknature.org/idea/eskin/>, Ανακτήθηκε 13/12/2020

Το e-skin αποτελεί τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη αισθητήρων, μετατροπέων και υλικών απόκρισης. Το έργο E-Skin ασχολείται με τη συμπεριφορά των ανθρώπινων

κυττάρων ως σημείο εκκίνησης για ολόκληρο το έργο. Το E-skin αποτελείται από μία σειρά χαμηλού κόστους ανταπόκρισης μετατροπών και αισθητήρων, που προορίζεται να είναι γενικά ομοιογενές, αλλά ικανό να προσαρμοστεί στις παραλλαγές των τοπικών χωροχρονικών συνθηκών. Οι απαιτήσεις λειτουργίας και ενέργειας μειώνονται έτσι για ένα κτίριο που έχει σχεδιαστεί με αυτόν τον τρόπο. Το e-skin μετατρέπει αποτελεσματικά ολόκληρο το κτίριο σε ένα σύστημα ικανό να προσαρμοστεί στις άμεσες αλλαγές. Έτσι, τα κτίρια με ηλεκτρονική επιδερμίδα μπορούν να ενισχύουν σημαντικά όχι μόνο την άμεση αναδιαμορφωτική απόδοση, αλλά να επιτρέπουν επίσης τη συνεχή προσαρμογή.

Μοντέλο βιοέμπνευσης

Η ιδέα για ένα ευέλικτο και προσαρμόσιμο κτίριο έχει ξεκάθαρη προέλευση από τα βιολογικά χαρακτηριστικά που βρίσκονται σε όλες τις μορφές ζωής. Τα ανθρώπινα κύτταρα με τα προσαρμοστικά και ευέλικτα χαρακτηριστικά τους χρησιμεύουν ως πραγματικό μοντέλο για τους ερευνητές, προκειμένου να αναπτυχθούν υλικά και αισθητήρες που είναι απαραίτητα για την παραγωγή προσαρμοστικών κτιριακών δομών.

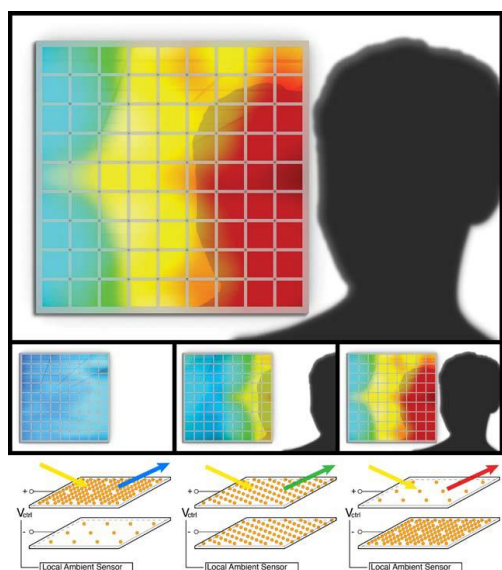
Βιολόγοι έχουν μελετήσει την κινητικότητα στα καρκινικά κύτταρα και έχουν εντοπίσει τα προσαρμοστικά χαρακτηριστικά των επιθηλιακών κυττάρων. Οι επιστήμονες υπολογιστών έχουν μοντελοποιήσει σε πραγματικό χρόνο αυτές τις προσαρμοστικές αλλαγές με την ανάπτυξη εξελιγμένων αλγορίθμων. Τέλος, οι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν με αυτόν τον τρόπο θα επιτρέψουν την κατασκευή τρισδιάστατων υλικών εξοπλισμένων με μηχανισμούς ανάδρασης και αποτελεσματικούς μορφο-τροποποιητές. Ο απώτερος στόχος είναι η βελτιωμένη και μέγιστη απόδοση στο μηδενικό ενεργειακό αποτύπωμα του κτιρίου.

Σύμφωνα με την Jenny E. Sabin, *«Μας ενδιαφέρει να ερευνήσουμε το ανθρώπινο σώμα για μοντέλα σχεδιασμού που δημιουργούν νέους τρόπους σκέψης για θέματα προσαρμογής, αλλαγής και απόδοσης στην αρχιτεκτονική. Το έργο e-Skin ξεκινά με αυτές τις θεμελιώδεις ερωτήσεις και τα εφαρμόζει στον σχεδιασμό και τη μηχανική*

απόκρισης υλικών και αισθητήρων. Το έργο που παρουσιάζεται εδώ είναι ένα υποσύνολο της διαρκούς διεπιστημονικής έρευνας που καλύπτει τους τομείς της βιολογίας των κυττάρων, της επιστήμης υλικών, της ηλεκτρολογίας, της μηχανικής και της αρχιτεκτονικής. Ο στόχος του e-Skin είναι να διερευνήσει την ουσία από νάνο σε μακροσκοπικές κλίμακες, με βάση την κατανόηση της δυναμικής των συμπεριφορών των ανθρώπινων κυττάρων»(Sabin, J., 2015:63).

Έξυπνα υλικά και τεχνολογίες.

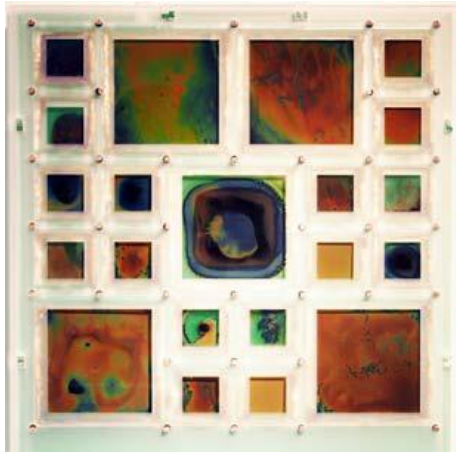
Υλικά με τρισδιάστατα σχέδια με ενσωματωμένους αισθητήρες και χειριστήρια ανάδρασης (Ομάδα Επιστήμης Υλικών: Shu Yang, Dengteng Ge, Yu Xia, Elaine Lee, Jie Li, Su Yeon Lee, Πανεπιστήμιο της Πενσυλβανίας).



Απόδοση πρωτότυπου υλικού e-Skin επιδεικνύοντας αλληλεπίδραση χρήστη ως ενεργή είσοδο με επακόλουθο μετασχηματισμό του υλικού υποστρώματος. Σχηματικό διάγραμμα διασύνδεσης σχεδιασμού κυκλώματος με νανο-κολλοειδείς λύσεις σωματιδίων μέσω ελέγχου τάσης. Μεμονωμένοι κόμβοι ανίχνευσης αλληλεπιδρούν με το υλικό σε τοπικά υποστρώματα με έλεγχο τάσης μέσω της αίσθησης των αλλαγών στο φως του περιβάλλοντος.

Εικόνα 87: Διαδραστικό πρωτότυπο eSkin

<https://static1.squarespace.com/static/5d94c1f17e53db44ee34b9a3/t/5d9515d1728b771672b8c7eb/1570051539230/Transformative+Research+Practice.pdf> (Ανακτήθηκε: 14/12/2020).



Πρωτότυπο συστατικό υλικό από γυαλί με τοπικούς κόμβους ανίχνευσης που επηρεάζουν τα γυάλινα κελιά, αξιοποιώντας την αλληλεπίδραση χρήστη-αντικειμένου ως ενεργή είσοδο, με επακόλουθο, τον μετασχηματισμό του υλικού υποστρώματος.

Εικόνα 88. Διαδραστικό Πρωτότυπο eSkin - «Archilab 2013: Naturaliser l'architecture» Les Turbulences - FRAC Center, Ορλεάνη, Γαλλία. <https://giffenclarkott.com/eskin>, ανακτήθηκε στις 14/12/2020.

Αρχιτεκτονική εφαρμογή

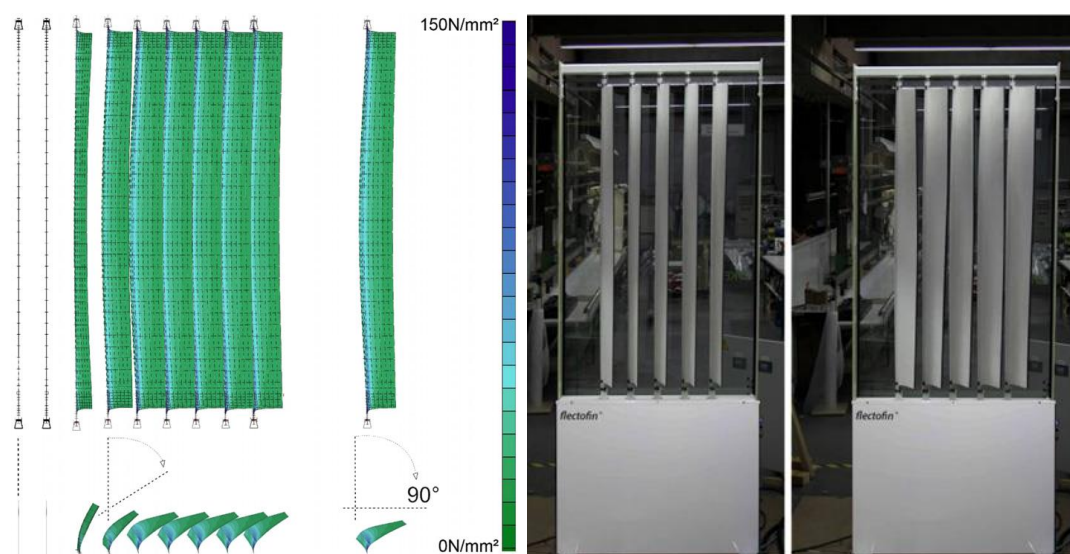
Η μελλοντική εφαρμογή του e-Skin είναι πιθανό να λύσει πολλές αρχιτεκτονικές προκλήσεις όπως η υπάρχουσα αδυναμία αυτόματης τροποποίησης των χαρακτηριστικών του κτιρίου ως αντίδραση στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Η επόμενη φάση είναι ο έλεγχος της απόκρισης της επιφάνειας του κτιρίου. Σύμφωνα με την Jenny E. Sabin σε μερικά χρόνια θα διαθέτουμε προϊόντα e-skin έτοιμα για τη βιομηχανία.(Sabin, J.,2018:313)



Εικόνα 89. Μια αναλυτική προβολή δείχνει τη διασύνδεση μήτρας κυττάρων του e-Skin και του προσαρμοστικού συγκροτήματος τοίχου. <https://giffenclarkott.com/eskin>, ανακτήθηκε στις 28/2/2020 <https://www.sabinlab.com/eskin> Ανακτήθηκε,28/2/2020, Video: <https://youtu.be/LrlgX6ZGTMs?t=54>

4.2.4 Flectofin

Το Flectofin σχεδιάστηκε από μια διεπιστημονική ομάδα που αποτελείται από βιολόγους, αρχιτέκτονες και μηχανικούς με στόχο να αποτελέσει ένα είδος συστήματος περσίδων. Το Flectofin, λειτουργεί χωρίς μεντεσέδες και μπορεί εύκολα να περιστραφεί σε γωνία 90 μοιρών. Το σύστημα επιτυγχάνει αυτήν την ευέλικτη περιστροφή μέσω προσομοίωσης με αλλαγή θερμοκρασίας ή μετατόπιση του υλικού που στηρίζει το έλασμα που προκαλεί την κάμψη από την πίεση των δυνάμεων που παράγονται με τον τρόπο αυτό. Τα πτερύγια Flectofin μπορούν να κινηθούν κατά 90 μοίρες προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, με ακριβή ρύθμιση σε οποιαδήποτε γωνία στην περιοχή από 0 έως 90 (Lienhard, J., et all, 2011:4)

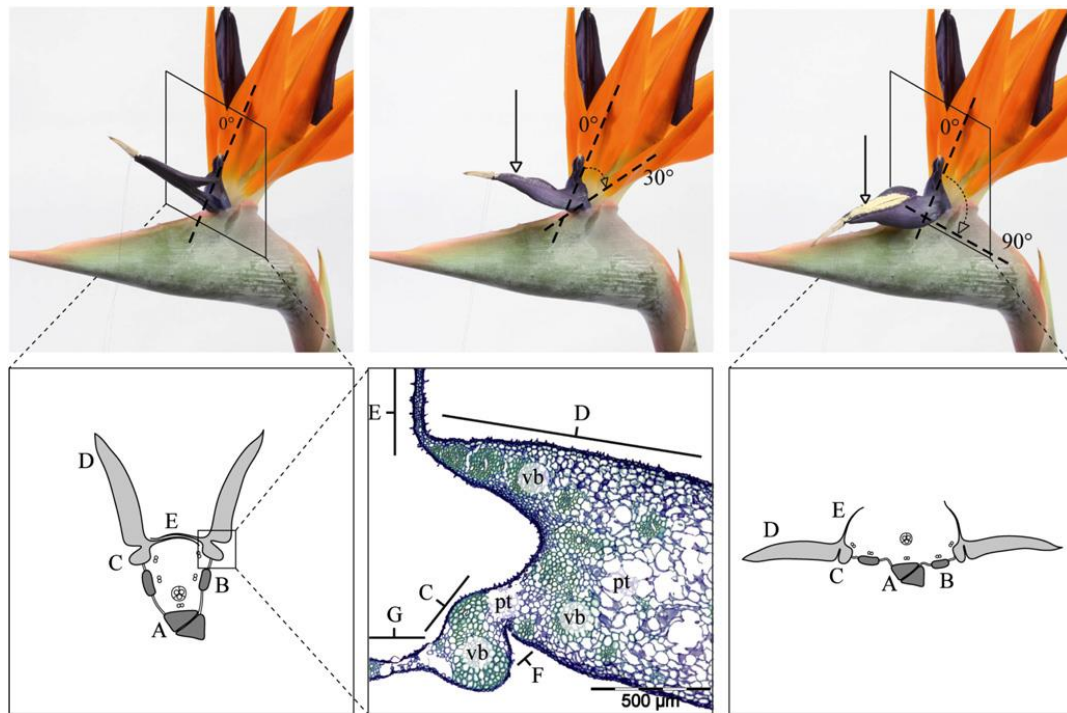


Εικόνα 90 . Προσομοίωση της κινητικής δομής σε πεπερασμένα στοιχεία που δείχνει επακόλουθη παραμόρφωση του στοιχείου λόγω κάμψης στη ραχοκοκαλιά και το αντίστοιχο υπολειπόμενο στρες.

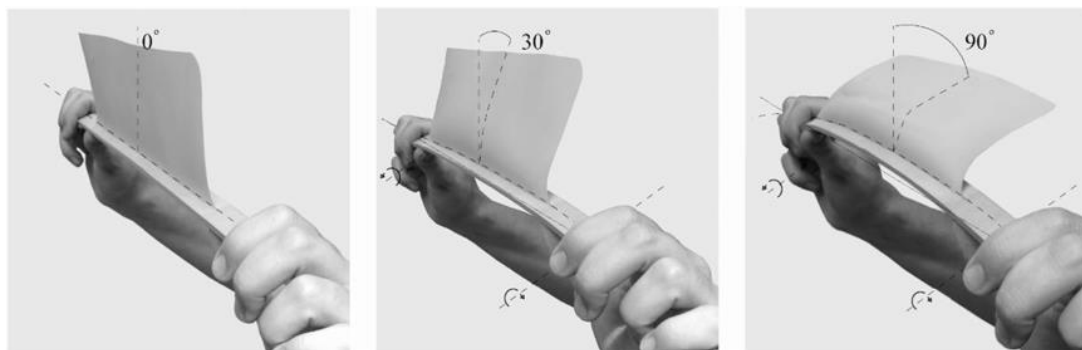
Εικόνα 91. πρωτότυπο του συστήματος σκίασης Flectofin R, σε κλίμακα 1:1 που παράχθηκε με τον βιομηχανικό εταίρο του έργου Clauss Markisen (CM). Κατασκευασμένο από GFRP (ύψος = 2 m, πλάτος = 0,25 m, και πάχος = 2 mm), το κάτω στήριγμα μπορεί να μετακινηθεί κάθετα και έτσι προκαλεί την κάμψη του εκκεντρικά συνδεδεμένου κορμού. GFRP: (Glass Fiber Reinforced Polymer) πολυμερές ενισχυμένο με ίνες γυαλιού

Οι ερευνητές άντλησαν την έμπνευσή τους μελετώντας την κινηματική φυτών που διαθέτουν αξιοσημείωτη ευελιξία και ελαστικότητα και δεν χρειάζονται συνδεσμολογίες. Για να δημιουργήσουν ένα εύκαμπτο δυνατότερο σύστημα, ήταν αρχικά απαραίτητο να απαλλαγούν από όλα τα άκαμπτα εξαρτήματα.

Συγκεκριμένα, διερεύνησαν τον μηχανισμό με τον οποίο γίνεται η επικοινωνία στο φυτό «*strelitzia reginae*». Το φυτό αυτό ως εκ τούτου χρησιμεύει ως το φυσικό μοντέλο στο οποίο βασίζεται ο σχεδιασμός του Flectofin. Στη διάρκεια της επικοινωνίας, η κίνηση του φυτού δημιουργείται από την τροποποίηση ανατομικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών, που του δίνουν την ευελιξία και την ελαστικότητα που το χαρακτηρίζουν.



Εικόνα 92 . Ελαστική παραμόρφωση στο λουλούδι *Strelitzia reginae*. (α) - (γ) Άνθος που ερευνήθηκε. Όταν εφαρμόζεται μηχανική δύναμη (όπως υποδεικνύεται με ένα βέλος στα (β) και (γ)) ανοίγει σαν θήκη. α) και (δ) κλειστή κατάσταση (γ) και (στ) ανοικτή κατάσταση (ε) Τομή όπου (C) και κάτω πτέρυγα (D) vb: αγγειακές δέσμες, pt: παρεγχυματικός ιστός, G: έλασμα.



Εικόνα 93 . Αφαίρεση της αρχής παραμόρφωσης στο λουλούδι *Strelitzia reginae*, που πραγματοποιήθηκε με ένα απλό φυσικό μοντέλο. Κάμψη του οστού της πλάτης προκαλεί το προσκολλημένο έλασμα να αποκλίνει έως 90 μοίρες πλάγια, δηλαδή ξεκίνησε με πλευρική στρέψη λυγισμού. Αριστερά: Κλειστό, έλασμα στις 0 °, Δεξιά: Ανοικτό, έλασμα στις 90° (Lienhard, J., et all, 2011:3).

Η στενή εξέταση των κινηματικών μηχανισμών του φυτού οδήγησε τους ερευνητές να επινοήσουν μεθόδους για να μιμηθούν την κίνηση αυτών των φυτών στην κίνηση του συστήματος περσίδων. Στη σύγχρονη εποχή, έχουν γίνει δημοφιλή τα διαδραστικά συστήματα πρόσοψης με έξυπνο σύστημα περσίδων. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα προσόψεων απαιτούν συντήρηση σε συνεχή βάση καθώς δεν είναι ανεξάρτητα από μηχανικούς μεντεσέδες. Από την άλλη πλευρά, το σύστημα περσίδων του Flectofin είναι κατασκευασμένο από μαλακά υλικά που μπορούν να σχεδιαστούν εύκολα σε εκτυπωτές 3D, χωρίς να χρειάζονται μεντεσέδες για υποστήριξη. Οι αναπτυσσόμενες κατασκευές μπορούν να επεκταθούν και να συρρικνωθούν λόγω των γεωμετρικών, υλικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους, προσφέροντας τη δυνατότητα να δημιουργούν πραγματικά μετασχηματισμένα περιβάλλοντα, οδηγώντας σε μία δυναμική Αρχιτεκτονική (Adrover, E., 2015:134-135).

Μοντέλο βίο-έμπνευσης

Όλα τα φυτά που βρίσκονται στη φύση κινούνται, μετατοπίζονται και λυγίζουν χωρίς υποστήριξη από οποιουδήποτε είδους μεντεσέδες. Διαφορετικά φυτά έχουν διαφορετικό ελαστικό εύρος ανάλογα με την κατασκευή τους, ωστόσο η κίνηση κάθε φυτού είναι αναστρέψιμη. Τα “Sunbirds” τρέφονται με νέκταρ και επικονιάζουν το φυτό “*Strelitzia reginae*”. Το λουλούδι είναι τοποθετημένο περίπου 90 μοίρες στο μίσχο, ενεργώντας ως ένα εξέχον σημείο για την προσγείωση του πουλιού. Το σχήμα και η δομή του λουλουδιού *Strelitzia reginae* είναι τέτοιο που προκαλεί το βάρος του πουλιού, καθώς προσγειώνεται στο προβαλλόμενο τμήμα του λουλουδιού ώστε τα πέταλα που βρίσκονται στο κάτω μέρος να τραβηχτούν προς τα κάτω, εκθέτοντας τους ανθήρες του λουλουδιού. Η γύρη που περιέχεται στον εκτεθειμένο ανθήρα κολλά στα πόδια του πουλιού καθώς τρέφεται με το νέκταρ και έτσι όταν το πουλί προσγειώνεται σε ένα άλλο λουλούδι, στα πέταλά του εναποτίθενται η γύρη που καλύπτει τα πόδια του πουλιού. Ερευνώντας όλη αυτή τη διαδικασία, οι ερευνητές έμαθαν τον μηχανισμό του φυτού που αντέγραψαν στο σχεδιασμό της δομής του συστήματος «Flectofin louver» χωρίς μεντεσέ (Lienhard, J.,2009).

Αρχιτεκτονική εφαρμογή- Θεματικό περίπτερο στο EXPO 2012 στο Yeosu

Το θεματικό περίπτερο στο Expo 2012 στο Yeosu, είναι ένα σύστημα κινητικής πρόσοψης αποτελούμενο από 108 ελασματοποιημένα πολυμερή ενισχυμένα με ίνες γυαλιού (GRFP) που μετακινούνται δημιουργώντας μια ποικιλία σχεδίων. Τα ελάσματα κινούνται από έναν κοχλία, που είναι με τη σειρά του προσαρτημένος σε κινητήρα υψηλής ακρίβειας. Το άνοιγμα και το κλείσιμο του υαλοβάμβακα, πέρα από τη δημιουργία θεαματικών οπτικών εφέ, ελέγχει επίσης τον φωτισμό στον εσωτερικό χώρο, λειτουργώντας ως διαδραστικό παράθυρο. Κάθε έλασμα έχει έναν ειδικό ενεργοποιητή, επιτρέποντας τον ατομικό έλεγχο αυτών των ελασμάτων. Ο συγχρονισμός στην κίνηση των ενεργοποιητών επιτυγχάνεται από έναν κεντρικό υπολογιστή που ελέγχει κάθε ενεργοποιητή μέσω ενός συστήματος διαύλου. Οι ενεργοποιητές παράγουν δυνάμεις συμπίεσης στα άκρα των ελασμάτων, αναγκάζοντάς τους να κάμπτονται με έναν ελαστικό τρόπο παρόμοια με το Flectofin. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η ελαστική ενέργεια του συστήματος αυξάνεται λόγω της παραμόρφωσης των περσίδων καθώς ένα μέρος της ενέργειας ενεργοποίησης μετατρέπεται σε ελαστική ενέργεια και ένα μέρος σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κλεισίματος χρησιμοποιώντας τους κινητήρες που λειτουργούν ως ηλεκτρικές γεννήτριες (Schleicher, S., 2016)

Το άνοιγμα της γωνίας των περσίδων σχετίζεται με το μήκος τους: όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του ελάσματος τόσο μεγαλύτερη είναι η περιοχή που φωτίζεται και το προκύπτουν θεαματικό αποτέλεσμα (Barozzi, M., et all, 2016: 279).



Εικόνες 94. Κινηματική πρόσοψη του θεματικού περιπτέρου EXPO 2012 στο Yeosu, Νότια Κορέα.

Αριστερά: κλειστά λαμέλα, Δεξιά: Ανοιχτά Λαμέλα, Architects: soma-architecture.

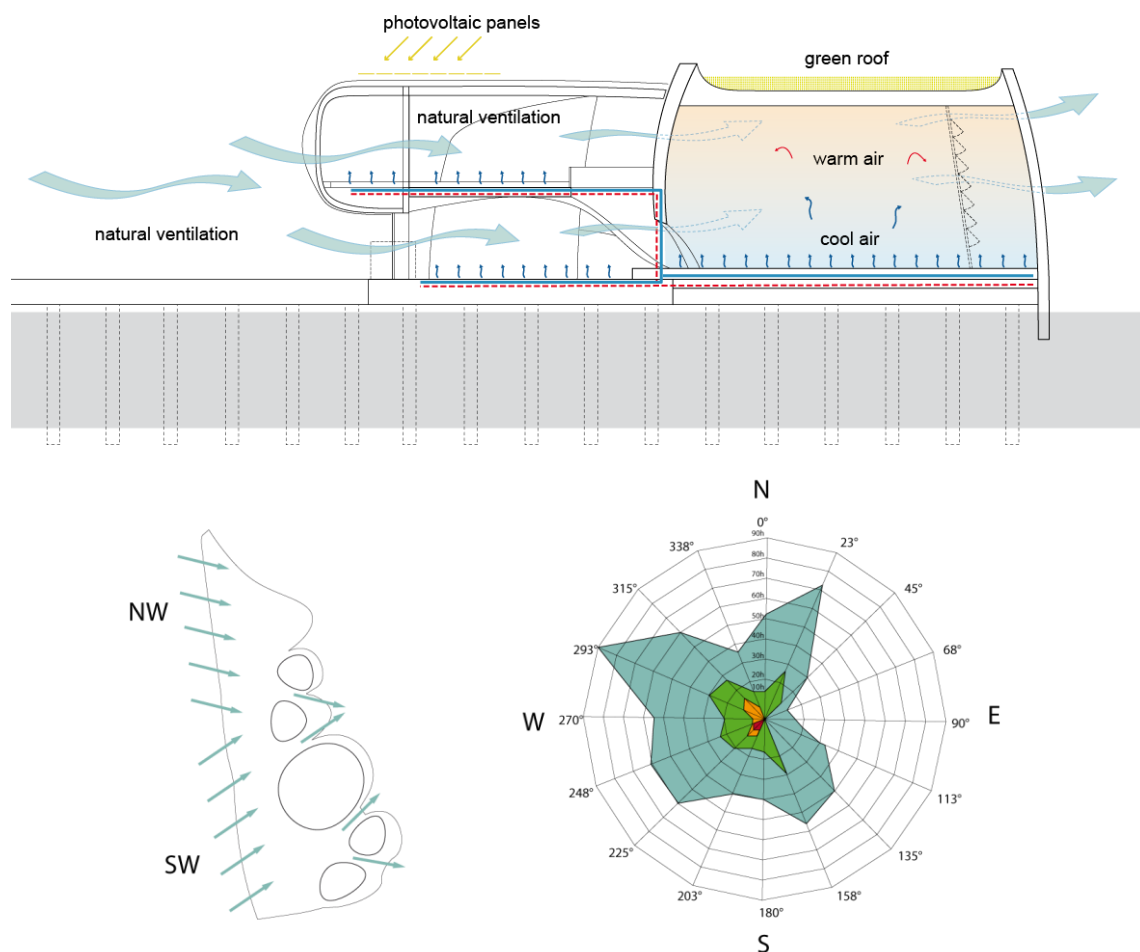
<https://transsolar.com/projects/one-ocean-pavillon-expo-2012> , ανακτήθηκε στις 20/2/2021

Το κλίμα του Yeosu χαρακτηρίζεται από τρεις κύριες εποχές: έναν δροσερό χειμώνα, ένα ζεστό και υγρό καλοκαίρι και μέτριες ενδιάμεσες περιόδους.

Η προσαρμόσιμη κινητική πρόσοψη του κτιρίου βελτιώνει τον φυσικό εξαερισμό συλλαμβάνοντας και οδηγώντας ανέμους μέσα στο κτίριο κατά τη διάρκεια μέτριων και μη υγρών ενδιάμεσων εποχών. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα δάπεδα ψύχονται απευθείας μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας θαλασσινού νερού. Σε υψηλές καλοκαιρινές συνθήκες, η αφύγρανση του ανεφοδιασμού αέρα και η ακτινοβολία ψύξης δαπέδου τροφοδοτούνται από υψηλής απόδοσης συμπυκνωτές ψύξης που συνδέονται με τον εναλλάκτη θερμότητας θαλασσινού νερού. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αυτά τα ψυκτικά συγκροτούνται σε λειτουργία αντλίας θερμότητας και χρησιμοποιούν το θαλασσινό νερό ως πηγή ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας για τα ακτινοβολούμενα δάπεδα και το μηχανικό σύστημα εξαερισμού. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ ενσωματώνονται στην οροφή για την παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού, παρέχοντας περίπου τα δύο τρίτα της ενέργειας που καταναλώνεται από τα δομικά συστήματα κατά τη διάρκεια του έτους (Casini, M., 2016:239).



Εικόνα 95. Transsolar. One Ocean – Pavilion EXPO 2012, Yeosu, South Korea. <https://transsolar.com/projects/one-ocean-pavillon-expo-2012> ,ανακτήθηκε στις 20/2/2021



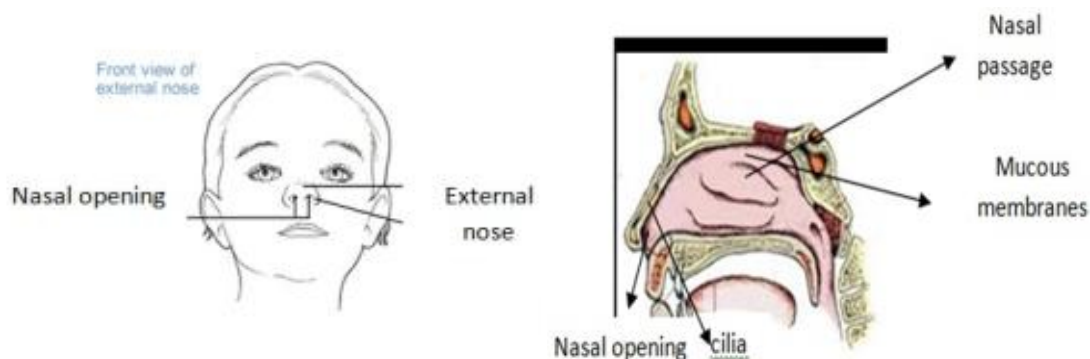
Εικόνα 96. Ενότητα σχεδίων που δείχνουν την υπάρχουσα ιδέα σχεδιασμού κλίματος για το περίπτερο, <https://transsolar.com/projects/one-ocean-pavillon-expo-2012> , ανακτήθηκε στις 20/2/2021

4.2.5 Το Παράθυρο αναπνοής: Βιωσιμότητα στο εσωτερικό περιβάλλον

Το «Παράθυρο αναπνοής», είναι ένα μοντέλο βιώσιμου φυσικού εξαερισμού στην εσωτερική αρχιτεκτονική. Παρέχει καλό φυσικό αερισμό στον εσωτερικό χώρο με ψύξη αέρα, λιγότερο φως και θερμότητα το καλοκαίρι και αρκετό φως το χειμώνα, μέσω της σωστής χρήσης των ανοιγμάτων. Είναι εύκολο να καθαριστεί και προσδίδει στον χρήστη θερμική άνεση και καλή υγεία (Attia, DI.,2015:301).

Το ερευνητικό έργο του "Breathing Window" ακολουθεί τα στάδια της προσέγγισης της βίο-μίμησης μελετώντας τη μορφή, τη δομή, το υλικό, τη διαδικασία και τη λειτουργία για να μάθει πώς μπορεί το φυσικό σύστημα να ξεπεράσει το ίδιο το πρόβλημα σχεδιασμού.

Μοντέλο βίο-έμπνευσης: α) Η μύτη του ανθρώπου



Εικόνες 97,98: Πρόσοψη της ανθρώπινης μύτης

(αριστερά) μπροστινή όψη της ανθρώπινης μύτης, (δεξιά) τομή της ανθρώπινης μύτης

Ανάλυση συστήματος ως προς:

Α) τη φυσιολογία: στην ανθρώπινη μύτη παρατηρούμε την ικανότητα κλιματικής προσαρμογής στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Β) τη δομή: Η ανθρώπινη μύτη αποτελείται από δύο εξωτερικά ανοίγματα, που συνοδεύονται από ρινικές διόδους, οι οποίες συνδέονται με βλεννογόνους, με μικροσκοπικές τριχοφυΐες και με τριχοειδή αγγεία.

Γ) τη λειτουργία: Τα εξωτερικά ανοίγματα της μύτης, επιτρέπουν στον ατμοσφαιρικό αέρα να περάσει από τις ρινικές διόδους οι οποίες με τη σειρά τους έχουν τις ακόλουθες λειτουργίες: 1) Διαμορφώνουν τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα που διέρχεται από έξω προς το αναπνευστικό σύστημα, το οποίο ενυδατώνουν, χρησιμοποιώντας βλεννογόνους που εκκρίνουν κολλώδη ουσία για να κρυώσουν τον ζεστό αέρα το καλοκαίρι και τριχοειδή αγγεία για να ζεστάνουν τον δροσερό αέρα το χειμώνα.

2) Φιλτράρουν τον ατμοσφαιρικό αέρα πριν περάσει περαιτέρω στο αναπνευστικό σύστημα, αποτρέποντας την είσοδο ξένων μικροσωματιδίων δια μέσου των βλεννογόνων (Attia, DI.,2015:297).

Συνοψίζοντας, τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος είναι τα εξής :

- Προσαρμόζεται με φυσικές μεθόδους στο κλίμα.
- Ψύχει τον ζεστό αέρα το καλοκαίρι.
- Θερμαίνει τον κρύο αέρα τον χειμώνα.
- Φιλτράρει τον ατμοσφαιρικό αέρα.

B) Ο κάκτος

Λειτουργικός ρόλος: ο ρόλος των σχισμών και των αγκαθιών που υπάρχουν στο φυτό, είναι να αντανakλούν το άμεσο ηλιακό φως ώστε να παρέχουν σκιά και να προστατεύονται από τον ήλιο, να αφήνουν τον αέρα να περάσει αποτρέποντας σκόνη και ξένα σωματίδια και να απορροφούν το CO₂ από την ατμόσφαιρα.

Ο τρόπος που οι φυσικοί οργανισμοί προσαρμόζονται στο ζεστό περιβάλλον είναι ψύξη με εξάτμιση: οι φυσικοί οργανισμοί δροσίζονται χάνοντας θερμότητα μέσω εξάτμισης.

Γ) Η εξάγωνη κερήθρα μελισσών

Λειτουργικός ρόλος: Ο όγκος είναι αρκετά μεγάλος ώστε να επιτρέπει να περάσει το φως της ημέρας και η ροή του αέρα μέσα απ' αυτή.

Η μορφή δομής δικτυωτού πλέγματος, η οποία αποτελεί ένα σύνολο ομαδοποιημένων ανοιγμάτων που καλύπτουν μία επιφάνεια, παρέχει μια μορφή δομής με υψηλή αντοχή, ελαφριά, ανθεκτική σε εφελκυσμό και θλίψη, επιτρέπει την ευελιξία, έχει εγγενή σταθερότητα και χρησιμοποιεί τα υλικά με φειδώ.

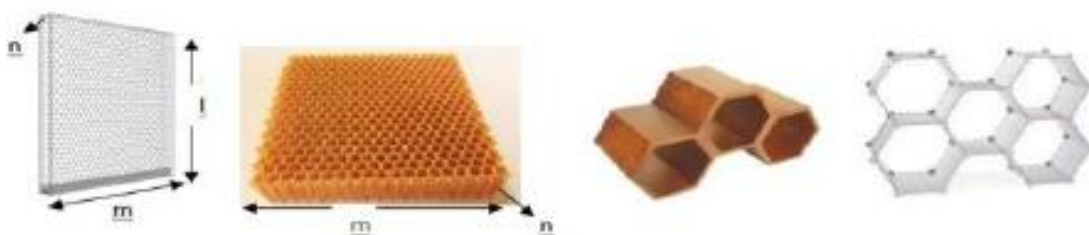
Σχηματίζοντας εξάγωνα έχουμε την πιο οικονομική μέθοδο κατάτμησης του εμβαδού μιας επιφάνειας σε ίσες μονάδες. Η δομή του δικτυωτού πλέγματος σε εξάγωνα, καταλαμβάνει την ελάχιστη έκταση, το ελάχιστο υλικό, και συνιστά περιοχή χωρίς απώλεια υλικού.

Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο «Παράθυρο Αναπνοής» είναι φυσικά υλικά που έχουν τη δυνατότητα, ανανεώσιμης ενέργειας, λιγότερες εκπομπές τοξικών αερίων και ρύπανσης. Η εξαγωνική δομή του πλέγματος του «Παραθύρου αναπνοής» χρησιμοποιεί το ελάχιστο υλικό, την ελάχιστη ενέργεια και το μικρότερο κόστος.

Το νερό που συλλέγεται, από τη διαδικασία ψύξης, επαναχρησιμοποιείται. Οι κάκτοι ψύξης στην εξωτερική πρόσοψη είναι ένα παράδειγμα χρήσης φυσικών υλικών οικολογικού σχεδιασμού στον εσωτερικό χώρο. Το φυσικό υλικό που χρησιμοποιείται στα περάσματα έχει πορώδη χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία ψύξης και φιλτραρίσματος του αέρα.

Αρχιτεκτονική εφαρμογή: «Παράθυρο αναπνοής».



Εικόνα 99. Η δομή του «παραθύρου αναπνοής» (Attia, D.I.,2015:299)

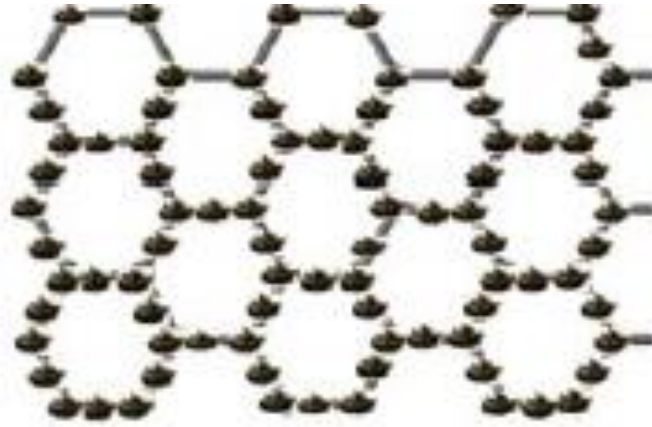
Το παράθυρο αναπνοής, έχει παραλληλόγραμμο σχήμα και προσομοιάζει στη μορφή του δικτυωτού πλέγματος της εξαγωνικής κηρύθρας μελισσών. Έχει δύο κατακόρυφα συμμετρικά εξωτερικά και εσωτερικά εξαγωνικά πλέγματα με οριζόντιες παράλληλες εξαγωνικές διόδους μεταξύ τους, επιτρέποντας στον εξωτερικό ατμοσφαιρικό αέρα να περάσει στο εσωτερικό περιβάλλον. Το εξωτερικό πλαίσιο αποτελείται από τέσσερις ενωμένους σωλήνες που έχουν παραλληλόγραμμο σχήμα, δύο κάθετους σωλήνες δεξιά και αριστερά και δύο οριζόντιους σωλήνες άνω και κάτω με μικρά ανοίγματα στις δύο πλευρές που επικοινωνούν με την εσωτερική εξαγωνική κατασκευή. Οι τέσσερις σωλήνες είναι κατασκευασμένοι από μεταλλικό υλικό που δεν σκουριάζει.

Λειτουργική ανάγκη:

Στον εσωτερικό χώρο, το παράθυρο αναπνοής φιλτράρει τον ατμοσφαιρικό αέρα το καλοκαίρι τον ψύχει και το χειμώνα τον θερμαίνει.

A) Το καλοκαίρι φιλτράρει και ψύχει τον αέρα

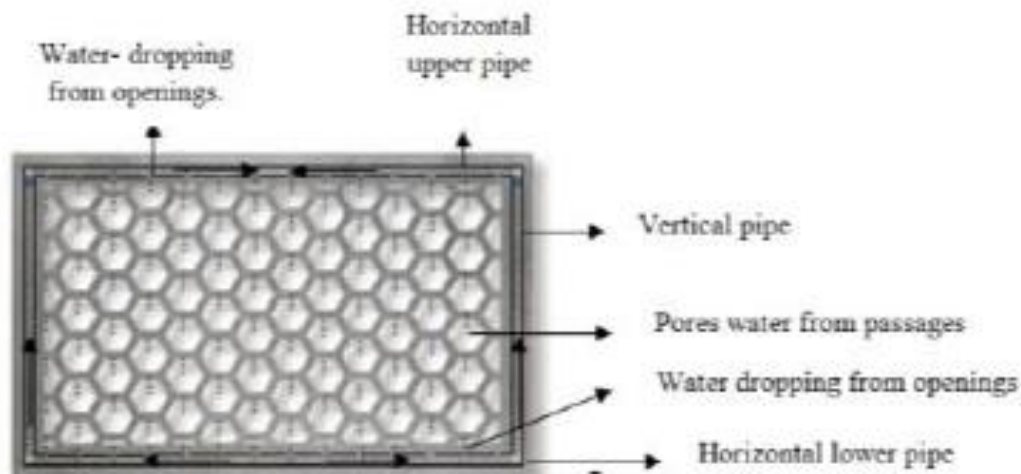
Ένα μεταλλικό πλαίσιο με σχήμα εξαγωνικού πλέγματος, αυξάνει τη σκιά, μειώνει την αύξηση θερμότητας και φιλτράρει τον ατμοσφαιρικό αέρα.



Εικόνα 100. Όψη του μεταλλικού πλαισίου του παραθύρου αναπνοής, με κάκτους ψύξης στις θήκες.

Το πλαίσιο αποτελείται από μεταλλικές θήκες για την καλλιέργεια κάκτων μικρού μεγέθους, που τοποθετούνται σε υγρή τσόχα. Η τσόχα, συγκρατεί σημαντική ποσότητα νερού που επιτρέπει στις ρίζες να παραμένουν πάντα υγρές.

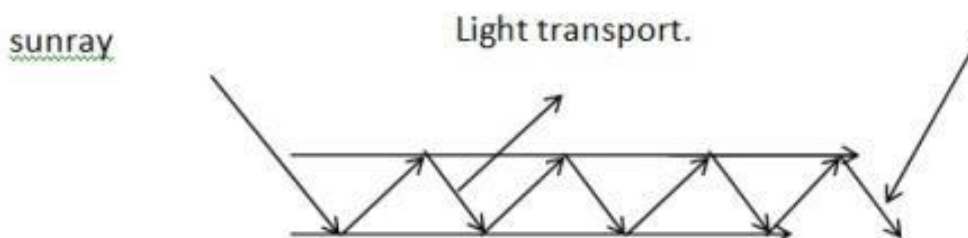
Οι κάκτοι είναι φυτά της ερήμου που χρειάζονται μικρή ποσότητα νερού. Η λειτουργία της ψύξης των κάκτων, περιλαμβάνει αποτροπή της αύξησης της θερμότητας, αύξηση της σκιερής περιοχής γύρω και πάνω από το παράθυρο, διήθηση του ατμοσφαιρικού αέρα από ξένα μικροσωματίδια και αποτροπή εκπομπών τοξικού αερίου CO₂. Τα εξαγωγικά στοιχεία είναι κατασκευασμένα από φυσικό κλωστοϋφαντουργικό υλικό, πηλό ή καλάμια που έχουν πορώδη χαρακτηριστικά για την απορρόφηση υδρατμών από τον ατμοσφαιρικό αέρα και φιλτράρισμα ξένων σωματιδίων. Κατά συνέπεια, ο ατμοσφαιρικός αέρας που περνά στο εσωτερικό περιβάλλον, είναι δροσερός και καθαρός. Το νερό απορροφάται από τα εξαγωγικά περάσματα, όπως πέφτει στους πόρους του υφάσματος, του πηλού ή των καλάμιών από ανώτερα περάσματα σε χαμηλότερα και τέλος μέσω των ανοιγμάτων στον κάτω οριζόντιο σωλήνα, ο οποίος όταν γεμίσει, μετακινεί το νερό προς τα πάνω από τους δύο κάθετους σωλήνες. Το νερό θα χρησιμοποιηθεί ξανά περνώντας από τα ανοίγματα στον άνω οριζόντιο αγωγό προς τα εξαγωγικά περάσματα βοηθώντας έτσι στη διαδικασία ψύξης με εξάτμιση.



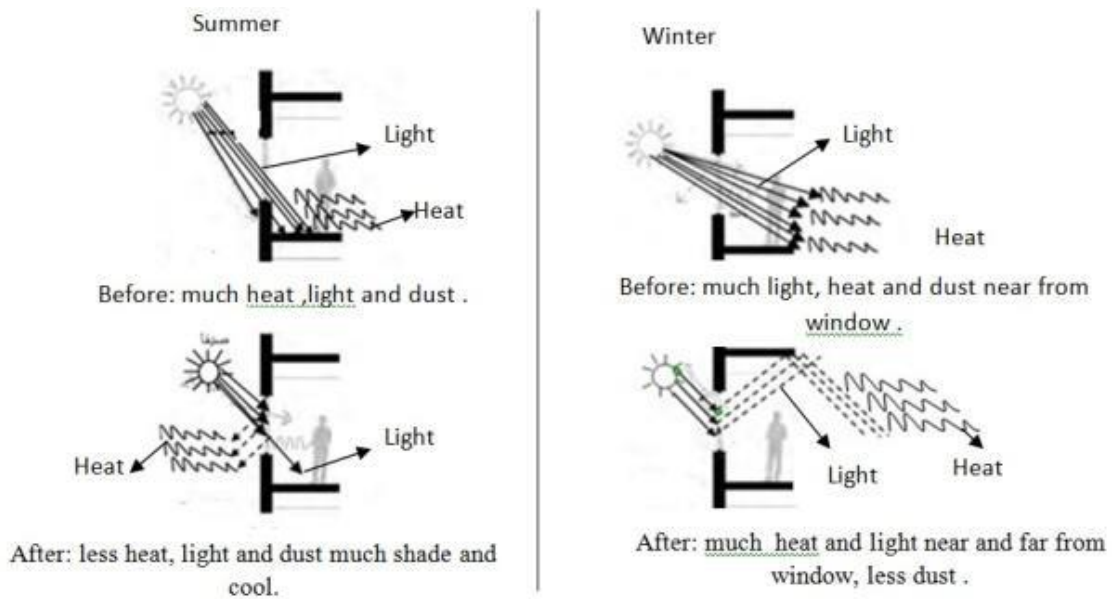
Εικόνα 101. Εξάτμιση-ψύξη και φιλτράρισμα ατμοσφαιρικού αέρα: Το καλοκαίρι οι σταγόνες του νερού κατευθύνονται από τα εξαγωγικά οριζόντια περάσματα στον οριζόντιο σωλήνα που βρίσκεται στην κάτω μεριά στους κάθετους σωλήνες και στη συνέχεια πέφτουν ξανά από τον οριζόντιο άνω σωλήνα.

Β) Τον χειμώνα, θερμαίνει και φιλτράρει τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Τα εξαγωγικά περάσματα είναι κατασκευασμένα από οπτικές ίνες ή οποιοδήποτε άλλο ανακλαστικό υλικό με ελάχιστο βάρος και καλύπτεται από μία κολλώδη διαφανή ουσία. Τα περάσματα αντικατοπτρίζουν τις ακτίνες του ήλιου που έρχονται από το εξωτερικό στο εσωτερικό περιβάλλον και καθαρίζουν τον ατμοσφαιρικό αέρα καθώς τα ξένα μικρά σωματίδια κολλούν στην επιφάνεια των διόδων, έτσι, ώστε να θερμάνουν και να φιλτράρουν τον αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 102. Οριζόντια δίοδος φωτός



Εικόνα 103. Η ένταση της θερμότητας και του φωτός πριν και μετά τη χρήση του «παραθύρου αναπνοής»

4.3 Συγκριτική ανάλυση μελετών περίπτωσης και συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από τις μελέτες περίπτωσης που εξετάστηκαν παραπάνω, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των περισσότερων κτιρίων σε προσαρμοστικά συστήματα, βασίζονται στην ανίχνευση καταστάσεων από το κέλυφος του κτιρίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της προσομοίωσης διαφόρων μοντέλων βίο-έμπνευσης και εφαρμογής έξυπνων υλικών και τεχνολογιών.

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας, ο οποίος αποτελεί μια προσπάθεια σύνοψης των μελετών περίπτωσης, σύγκρισης και ανάλυσης της αποτελεσματικότητας και της δυνατότητας εφαρμογής των μελετημένων συστημάτων, σύμφωνα με τα κριτήρια που τέθηκαν στην εισαγωγή του κεφαλαίου.

Κριτήρια Συγκριτικής Ανάλυσης							
Μελέτες Περίπτωσης	Μοντέλο βιοέμπνευσης	Έξυπνα υλικά - τεχνολογίες	Μηχανισμός εισαγωγής ερεθισμάτων και μηχανισμός ενεργοποίησης	Σύστημα Προσαρμογής	Είδη εξοικονόμησης ενέργειας	Αρχιτεκτονική εφαρμογή	Τόπος έρευνας και χρονολογία
Υδρο – δέρμα	Κουκουνάρια που μεταβάλλονται ανάλογα με τη σχετική υγρασία	Αποκριτική σύνθετη ξυλεία με υγροσκοπικότητα και συμπεριφορά μνήμης σχήματος	Αλλαγή ανάλογα με τη σχετική υγρασία. Εσωτερικός έλεγχος "Παθητικό σύστημα".	Κέλυφος που ανταποκρίνεται στις κλιματικές αλλαγές.	Διατήρηση της περιεκτικότητας σε υγρασία, σε ισορροπία με τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος	Κέλυφος αποκρινόμενο στο κλίμα, του μετεωρο – ευαίσθητου περιπτέρου στη Στουτγκάρδη, 2013	Πανεπιστήμιο Στουτγκάρδης, Γερμανία, 2007
Ομοιοστατικό σύστημα	Λειτουργία ομοιόστασης σε βιολογικά συστήματα	Ταινίες ελαστομερούς τυλιγμένες σε έναν εύκαμπτο πυρήνα πολυμερούς	Εσωτερική θερμοκρασία κτιρίου. Εσωτερικός έλεγχος "Παθητικό σύστημα".	Κέλυφος που ανταποκρίνεται στις κλιματικές αλλαγές.	Ρύθμιση του κλίματος του κτιρίου	Πρωτότυπο στάδιο	Decker Yeaddon Architects, Νέα Υόρκη, ΗΠΑ, 2011
Ηλεκτρονικό δέρμα	Η ευελιξία και η αισθητηριακή προσαρμοστικότητα των ανθρώπινων κυττάρων	Τρισδιάστατα υλικά με ενσωματωμένους αισθητήρες και στοιχεία ελέγχου ανάδρασης "feedback controls"	Ηλιακή ακτινοβολία, μεταφορά θερμότητας. Εσωτερικός έλεγχος, "Παθητικό σύστημα".	Προσαρμοσσιμο κτιριακό κέλυφος σε πραγματικό χρόνο	Βελτιστοποίηση του κτιριακού κελύφους και προσαρμογή του σε αλλαγές του εξωτερικού περιβάλλοντος	Πρωτότυπο στάδιο	Πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια, ΗΠΑ, 2013
Flectofin «Εκθεσιακό θεματικό περίπτερο»	Μηχανισμός επικοινωνίας λουλουδιών "πουλι" του παραδείσου	Συμπεριφορά μνήμης σχήματος	Προγραμματισμένη εισαγωγή από τον χρήστη	Ελαστικό κινητικό σύστημα σκίασης	Έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας	Εσωματωμένο σύστημα κινητικής πρόσωσης στη Νότια Κορέα, 2012	Έρευνα: Πανεπιστήμιο Στουτγκάρδης, Γερμανία, 2011
Το "παράθυρο αναπνοής"	α) Η μύτη του ανθρώπου β) οι κάκτοι γ) η εξάγωνα κερήθρα μελισσών	Ψύξη με εξάτμιση	Ηλιακή ακτινοβολία. Εσωτερικός έλεγχος, "Παθητικό σύστημα".	Κατασκευή που ανταποκρίνεται στο κλίμα	Έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας	Πρωτότυπο στάδιο	Πανεπιστήμιο Βενηα, Αίγυπτος, 2015

Πίνακας 7. Ανάλυση μελετών περίπτωσης (Χ. Δίκου, 2021)

Η παραπάνω ανάλυση δείχνει ότι: η μελέτη περίπτωσης που βασίζεται στην έμπνευση από βιολογικά συστήματα όπως η αισθητηριακή προσαρμοστικότητα των ανθρώπινων κυττάρων, ηλεκτρονικό περίβλημα (e-skin) και η λειτουργία της ομοιόστασης βρίσκονται σε πρωτότυπο στάδιο. Το ίδιο και το παράθυρο αναπνοής, που βασίζεται στην έμπνευση από τη λειτουργία της ανθρώπινης μύτης και του κάκτου, ενώ και η έμπνευση από την κίνηση των φυτών όπως ο μηχανισμός επικονίασης των λουλουδιών «πουλί του παραδείσου» και των κουκουναριών, έχουν ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής στην αρχιτεκτονική και το design.

Ως προς τα είδη εξοικονόμηση ενέργειας, ο έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας και η ρύθμιση της θερμοκρασίας του κτιρίου, κυριαρχούν ως μεθοδολογίες συγκριτικά με την διατήρηση του επιπέδου υγρασίας αναλογικά με τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.

Ως προς τον μηχανισμό εισαγωγής ερεθισμάτων, τα πιο κοινά ερεθίσματα στις αρχιτεκτονικές εφαρμογές είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η αλλαγή της θερμοκρασίας και η σχετική υγρασία. Ως προς τον μηχανισμό ενεργοποίησης, ο εσωτερικός έλεγχος του κτιρίου είναι καθοριστικός, καθώς οι τέσσερις από τις πέντε παρουσιαζόμενες μελέτες περίπτωσης, αποτελούν **παθητικά συστήματα**, που αποκρίνονται αυτόματα και προσαρμόζονται στις γύρω κλιματικές αλλαγές χωρίς είσοδο ενέργειας.

Τα συστήματα που βασίζονται στη συμπεριφορά έξυπνων υλικών, όπως το ομοιοστατικό σύστημα προσόψεων, ανταποκρίνονται σε μεγάλο βαθμό ακόμη και σε μικρές αλλαγές καθώς η απόκριση γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Καθώς το σύστημα δεν χρειάζεται αισθητήρες ή ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει, προσφέρει εξαιρετικά επίπεδα ενεργειακής απόδοσης. Ωστόσο, το μειονέκτημα του συστήματος είναι ότι είναι άκαμπτο και δεν προσφέρει στον χρήστη τα στοιχεία ελέγχου για να αλλάξει χειροκίνητα τις συνθήκες εντός του κτιρίου.

Στις περισσότερες μελέτες περίπτωσης, τα περιβλήματα χαρακτηρίζονται από δυναμική ανισοτροπία που δημιουργεί την ικανότητα να προσφέρει διαφορετικές

λύσεις για τις διαφορετικές εκθέσεις του κτιρίου, όπου μια αλλαγή στη δομή του περιβλήματος ρυθμίζει τις διάφορες περιβαλλοντικές ροές σύμφωνα με τις κλιματολογικές συνθήκες του τόπου, συμπεριλαμβανομένων των εξωτερικών κλιματολογικών και περιβαλλοντικών συνθηκών.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, μία νέα αντίληψη της υλικότητας αναδύεται μέσα από τη σύζευξη της βίο-έμπνευσης και των έξυπνων υλικών, που επιτρέπει στους αρχιτέκτονες να αναπτύξουν νέες μορφές και να εκφράσουν νέες ιδέες του χώρου, ανοίγοντας μια νέα εποχή στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και την κατασκευή. Αρχιτέκτονες και σχεδιαστές είναι ικανοί να επινοήσουν νέες καινοτόμες στρατηγικές κατασκευής, με αιεφορικές διαστάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή τη διπλωματική, τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν εξ αρχής, ήταν αφενός, αν υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας καινοτόμων σχεδιαστικών ιδεών για την κατασκευή του κτιριακού περιβλήματος που να ρυθμίζουν περιβαλλοντικές πτυχές, βάσει στρατηγικών προσαρμογής από βιολογικά συστήματα και αφετέρου, αν τα «έξυπνα» υλικά και οι τεχνολογίες τους, μπορούν να συνδράμουν προς την κατεύθυνση της ενεργειακής βελτιστοποίησης των σύγχρονων και των μελλοντικών κατασκευών, μέσω της μίμησης βιολογικών λειτουργιών.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογική προσέγγιση, η έρευνα έδειξε ότι η μίμηση της φύσης αποτελεί μια αποτελεσματική στρατηγική για το σχεδιασμό καινοτόμων κτιρίων. Η ενσωμάτωση αυτής της βίο-μιμητικής στρατηγικής στη διαδικασία σχεδιασμού δημιουργεί οφέλη τόσο για τους σχεδιαστές όσο και για το φυσικό περιβάλλον, καθώς τα σχέδια που εμπνέονται από τη βιολογία μπορούν να συμβάλουν στη βιωσιμότητα. Μιμούμενοι τη φύση, διάφορες βίο-μιμητικές προσεγγίσεις έχουν παράγει φιλικά προς το περιβάλλον, καινοτόμα, «έξυπνα» υλικά για κτίρια. Αξιοποιώντας αυτά τα υλικά μαζί με συστήματα πληροφορικής και σε ορισμένες περιπτώσεις και μηχανικούς ενεργοποιητές, αυτές οι τεχνολογικές λύσεις είναι σε θέση να μετατρέψουν το περίβλημα του κτιρίου από ένα στατικό στοιχείο σε ένα δυναμικό στοιχείο, ικανό να αλλάξει γρήγορα και αποτελεσματικά το σχήμα του σε σχέση με συγκεκριμένες λειτουργικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις. Το βιώσιμο περίβλημα αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον και ρυθμίζει τις ενεργειακές ροές και σε ορισμένες περιπτώσεις, γίνεται ένα φυσικό σύστημα, από μόνο του, ικανό να παράγει ενέργεια, και να τη διανείμει σε ένα κτίριο.

Μέσα από την πορεία της έρευνας σε αυτή τη διπλωματική, διαπιστώθηκε ότι μία νέα γενιά κτιρίων βρίσκεται σε ανάπτυξη, με εξαιρετικά υψηλές τεχνολογικές πτυχές, οι οποίες είναι βιώσιμες στη συμπεριφορά τους χρησιμοποιώντας τις έξυπνες ιδιότητες των προσαρμοστικών υλικών και τεχνολογιών που έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται και να αντιδρούν στις αλλαγές του περιβάλλοντός τους και να

προσαρμόζονται σε βαθμό τελειότητας. Η πιο κοινή μορφή είναι η σκίαση συστημάτων που μπορούν να είναι περσίδες με δυνατότητα ανοίγματος ή η δυναμική σκίαση. Τα νέα δυναμικά μοντέλα που στηρίζονται στις αρχές της βιομίμησης, σε συνδυασμό με την παρουσία αισθητήρων και έξυπνων υλικών, βοηθούν στη μείωση της ενεργειακής απαίτησης του κτιρίου.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογική προσέγγιση, η έρευνα έδειξε ότι, ο παράγοντας που μας επιτρέπει να εξετάσουμε τη λεγόμενη βίο-εμπνευσμένη σχεδιαστική προσέγγιση σε μια νέα προοπτική, είναι η πρόσφατη ανάπτυξη νέων επιστημονικών γνώσεων και νέων τεχνολογικών εργαλείων, ικανών να αναλύουν, να περιγράφουν και να αναπαράγουν φαινόμενα και διαδικασίες της φύσης με ανεξερεύνητες μέχρι σήμερα πτυχές. Συγκεκριμένα, οι σημαντικές συνεισφορές των νανοεπιστημών και των νανοτεχνολογιών μας επιτρέπουν να κατανοήσουμε την πραγματικότητα και να δημιουργήσουμε προϊόντα σε νανομετρική κλίμακα. Επομένως, είμαστε σε θέση να εμπνευστούμε από τη φύση όχι μόνο όσον αφορά τις μορφολογικές-δομικές πτυχές, αλλά και τις στρατηγικές -οργανωτικές δομές, καθώς και από τα μοντέλα διεργασιών που είναι αποτελεσματικά και βιώσιμα (π.χ. αυτό-συναρμολόγηση, αυτό-επισκευή, ανθεκτικότητα, κ.λπ.).

Η βίο-μιμητική και βίο-εμπνευσμένη προσέγγιση των υλικών είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες προκλήσεις των επόμενων ετών σε επιστημονικό και τεχνολογικό επίπεδο. Τα βίο-εμπνευσμένα διαδραστικά υλικά, εμφανίζονται στο προσκήνιο και αντιπροσωπεύουν έναν διεθνή τομέα έρευνας για αυτόν τον αιώνα. Οι σύγχρονες κατασκευές, επικεντρώνονται στην αύξηση της αποδοτικότητας και στη βελτιστοποίηση των υλικών για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στις κατασκευές, με κύριο υποσύστημα το κέλυφος του κτιρίου, μέσω του οποίου μπορούν να ρυθμιστούν οι εξωτερικές και οι περιβαλλοντικές συνθήκες.

Συνεπώς, η βίο-εμπνευσμένη τεχνολογική πρόοδος που αφορά στο κέλυφος της κτιριακής κατασκευής ή σε στοιχεία του κελύφους, θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει τη μελλοντική εναλλακτική λύση έναντι των συμβατικών κτιρίων, των οποίων η έλλειψη συνδιαλλαγής με το περιβάλλον τους δεν συνιστά τη βέλτιστη λύση

απόδοσης. Οι αναδυόμενες σχεδιαστικές προσεγγίσεις, θα μπορούσαν να μειώσουν την πολυπλοκότητα και το κόστος που σπαταλήθηκε στη θέρμανση, την ψύξη, τον αερισμό ή τον φωτισμό του κτιρίου και κατά συνέπεια, να διαχειριστούν σημαντικές βελτιώσεις στην εξοικονόμηση ενέργειας, δεδομένου ότι σύμφωνα με τους ερευνητές οι ποσότητες ενέργειας για τον έλεγχο της εσωτερικής άνεσης, δηλαδή η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χώρου αποτελεί το 60% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια.

Κατά την πορεία της έρευνας σε αυτή τη διπλωματική, διαπιστώθηκε ότι η ανάπτυξη σε διεπιστημονικά περιβάλλοντα έχει αυξηθεί σημαντικά στη διάρκεια των τελευταίων χρόνων όσον αφορά τη σχέση μεταξύ φυσικών επιστημών (βιολογίας) και τεχνολογίας (σχεδιασμός και μηχανική) και υπάρχει μία θετική στάση απέναντι στην προώθηση του σύγχρονου βιώσιμου σχεδιασμού προς τα έξυπνα υλικά και την ανάπτυξη της βίο-έμπνευσης. Ένας αρχιτέκτονας, σε συνεργασία με βιολόγους, μπορεί να βρει παθητικές τεχνικές που δεν υποβοηθούνται μηχανικά. Έτσι, ο σχεδιαστής λύνει ένα πρόβλημα σχεδιασμού που συνήθως καταναλώνει ενέργεια και φυσικούς πόρους ή συμβάλλει στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου με βίο-μιμητικές παθητικές τεχνικές.

Συνεπώς, η βιολογία δεν αποτελεί πλέον θέμα μόνο για τους βιολόγους, αλλά συνιστά μία νέα έμπνευση για τεχνολογική σκέψη. Η οργάνωση των βιοφυσικών πληροφοριών είναι απαραίτητη για να μπορέσουμε να εφαρμόσουμε σχεδιαστικές λύσεις με έμπνευση από τη φύση και να κατανοήσουμε τη συμβολή των βίο-μιμητικών υλικών στη σχεδιαστική κουλτούρα. Οι επιστήμονες, οι ερευνητές και οι βιολόγοι πρέπει να αυξήσουν τις βάσεις δεδομένων των βίο-εμπνευσμένων καινοτομιών και να τις καταστήσουν όσο το δυνατόν πιο προσιτές σε όσους μπορούν να μεταφέρουν στρατηγικές και να τις εφαρμόσουν στο σχεδιασμό και τις τεχνολογικές λύσεις στα ανθρώπινα προβλήματα, και οι σχεδιαστές πρέπει να μάθουν να ερμηνεύουν τη βάση δεδομένων της φύσης με επιστημονική μέθοδο, με το να αναρωτιούνται: πώς λύνεται αυτό το πρόβλημα στη φύση; Με ποια σκοπιμότητα, με ποια διαδικασία, με ποια στρατηγική;

Όπως δείχνει αυτή η έρευνα, η διεπιστημονική ολοκλήρωση της γνώσης είναι απαραίτητη και θα μπορούσε να αποδειχθεί ως η πιο σημαντική πτυχή της μελλοντικής ανάπτυξης της αρχιτεκτονικής επιστήμης.

Περιορισμοί

Οι περισσότεροι από εμάς ζούμε σε κοινωνίες όπου το χρήμα καθορίζει την οικονομική ανάπτυξη, και αυτό έρχεται σε αντίθεση με την ανάγκη για αειφόρο ανάπτυξη. Στη φύση, οι βασικές ανάγκες είναι οι αξίες, αλλά οι ανθρώπινες αξίες αντιμετωπίζονται με πολύ διαφορετικούς τρόπους, όχι μόνο από διαφορετικούς πολιτισμούς αλλά και από άτομα εντός αυτών των πολιτισμών. Πολύ συχνά οι αξίες θυσιάζονται για βραχυπρόθεσμα οικονομικές αποδόσεις.

Η βίο-μιμητική, μας προσφέρει την ευκαιρία να ξανασκεφτούμε μερικές από τις στρατηγικές μας στην Αρχιτεκτονική και το «design» και πώς εμείς μπορούμε να αντιμετωπίσουμε την αειφόρο ανάπτυξη, αλλά αυτό απαιτεί την ενεργό συμμετοχή του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα. Οι ερευνητές, περιγράφουν πως η βιολογία προσφέρει νέους τρόπους για να συνδυάσουμε τα πλεονεκτήματα των συστημάτων διαβίωσης με τη διαδραστικότητα των «έξυπνων υλικών και των τεχνολογιών τους, με στόχο την παραγωγή παθητικών συστημάτων που θα οδηγήσουν σε μία βιώσιμη Αρχιτεκτονική, όμως αυτό δεν είναι αρκετό. Παράλληλα, χαρακτηριστικά που έχουν σχέση με την αποδοτικότητα των υλικών, τη μείωση των εκπομπών και το κόστος πρέπει να προσδιορίζονται, να μελετώνται συστηματικά και να ενσωματώνονται στη διαδικασία ανάπτυξης καινοτομιών.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Addington, M. and Schodek, D., 2004. *Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions*, Routledge.

Adrover, E., 2015. *Deployable structures, Form + Technique*. London: Laurence king publishing.

Attia, D.I., 2015. Biomimicry in Eco – Sustainable Interior Design: Natural Ventilation Approach, *International Design Journal*, Volume 5, Issue 2, pp 291-303. Διαθέσιμο στο: <https://www.faa-design.com/files/5/14/5-2-daaa.pdf> [Πρόσβαση στις 20/2/2021].

Barozzi, M., Lienhard, J., Zanelli, A., and Monticelli, C., 2016. The sustainability of adaptive envelopes: developments of kinetic Architecture. *Milano, Procedia Engineering*, [e-journal]155: 275-284 DOI: [10.1016/j.proeng.2016.08.029](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.029)

Basheer, T., Ishii, H., 2015. *Exoskin, MIT Media Lab*. [online] Διαθέσιμο στο: <https://tangible.media.mit.edu/project/exoskin/> [Πρόσβαση στις 12/2/2021].

Benyus, J., 1997. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York, USA: William Morrow & Company.

Beesley, P. and Bonnemaïson, S., 2008. *On Growth and form: Organic Architecture and beyond*, Toronto, Halifax: Riverside Architectural Press, Tuns Press.

Biomimetisme Design Lens, un guide visual Française, 2017. *Biomimicry 3.8.*, biomimicry.net. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3oIK9Nb> [Πρόσβαση στις 5/12/02020].

Blackman, C., 2010. Secrets of gecko foot help robot climb, *Science daily*. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3hwcT4h> [Πρόσβαση στις 30/1/2021].

Caperna, A. and Serafini, S., 2015. *Bio urbanism as new epistemological perspective between science, design and nature*, In *Architecture & Sustainability: Critical Perspectives. "Generating sustainability concepts from an architectural perspective"*, (pp.263-269) Publisher: ACCO Uitgeverij.

Casini, M., 2016. *Smart Buildings: Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance*. Duxford, UK.: Woodhead Publishing, p.347-351.

Choi, DS., Choi, JH., Lee, CY., 2020. Structural Colors Based on Amorphous Arrays Comprised Solely of Silica Particles, *applied sciences*, [e-journal] 10,420, doi:10.3390/app10010420

Clements-Croome, DJ., 2013. *Lessons from nature for sustainable architecture*. ICE Publishing.

Clements-Croome, D., 2014. *Intelligent buildings, An introduction*, Routledge.

Correa, D., Krieg, O.D., Menges, A., Reichert, S., and Rinderspacher, K., 2013. Hygroskin: A climate-responsive prototype project based on the elastic and hygroscopic properties of wood, *Materials, Academia, Adaptive Architecture*, (pp.33-42). Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3bxaS3Q> [Πρόσβαση στις 12/12/2020].

Data Clay, 2015. Digital Strategies for Parsing the Earth [online] Διαθέσιμο στο: <http://www.data-clay.org/> [Πρόσβαση στις 5/2/2021].

Daveiga, J., Ferreira, P., 2005. *Smart and Nano Materials in Architecture*. Georgia: Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture.

DeKay, M., 2011. *Integral Sustainable Design: Transformative Perspectives*, Earthscan: London and Washington.

Di Salvo, S., 2017. Tecnologia e misure verdi verso un'architettura resiliente, *Agathon* [e-journal] 1, pp. 89-94. <http://dx.doi.org/10.19229/2464-9309/1142017>

Di Salvo, S., 2018. Advances in Research for Biomimetic Materials, *Advanced Materials Research*, [e-journal] Vol. 1149, pp 28-40, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. doi: [10.4028/www.scientific.net/AMR.1149](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1149).

Di Salvo, S., 2018. Adaptive Materials Research for Architecture, *Advanced Materials Research* Vol. 1149 Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. Διαθέσιμο στο: <http://www.scientific.net> [Πρόσβαση στις 12/12/2020].

Ford, A., 2019. "Biomimicry", a Documentary, Science technology future. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3ycnU0J> [Πρόσβαση στις 5/12/2021] Video: <https://bit.ly/33Nflvh>

Frazer, J., 1995. *An Evolutionary Architecture*, Architectural Association, London.

Galloway, A., 2014. When biology inspires architecture: An interview with Doris Kim Sung, *Arch daily materials*. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/2QrdSHW> [Πρόσβαση στις 8/2/2021]. Video: blob: <https://bit.ly/3uVTzkK>

Gould, J.L., and Gould, C.G., (2007). *Animal Architects*. Basic Books, Oxford, UK.

Hansell, M.H., (2007). *Built by Animals*. Oxford University Press, Oxford, UK.

Hersey, G., (1999). *The Monumental Impulse*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Homeostatic façade system, (2016). Self-shading system for buildings Ιστοσελίδα στο σύνδεσμο: <https://asknature.org/idea/homeostatic-facade-system/> [Πρόσβαση στις 28/2/2020].

Hug, H., Bader, M., mair, P., Glatzel, T., 2014. Bio photovoltaics: Natural Pigments in Dye-Sensitized Solar Cells, *Applied Energy*, 115, (3) pp. 216-225. DOI:[10.1016/j.apenergy.2013.10.055](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.055)

Huerta, S., 2006. Structural design in the work of Gaudi, *Architectural Science Review*, Vol.49(4), pp.324-339. Διαθέσιμο στο: http://oa.upm.es/703/1/Huerta_Art_002.pdf [Πρόσβαση στις 5/2/2021].

Hwang, J., Jeong, Y., Park, JM., Lee, KH., Hong, JW., Choi, J., 2015. Biomimetics: Forecasting the future of science, engineering, and medicine. *International Journal of Nanomedicine* [e-journal] Vol. 10(1) pp. 5701-5713. DOI: [10.2147/IJN.S83642](https://doi.org/10.2147/IJN.S83642).

ICD/ITKE Research Pavilion, 2010. Achimmenges.net, Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3yhnRAE> [Πρόσβαση στις 16/2/2021].

Iwata, M., Teshima, M., Seki, T., Yoshioka, S., and Takeoka, Y., 2017. Bio-Inspired Bright Structurally Colored Colloidal Amorphous Array Enhanced by Controlling Thickness and Black Background, *Advanced Materials.*, [e-journal] 29 (26) DOI: [10.1002/adma.201605050](https://doi.org/10.1002/adma.201605050)

Jonkers, H.M., 2015. Delft University of technology, [online] Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/33TLbGs> [Πρόσβαση στις 10/1/2021]_VIDEO: <https://bit.ly/2RoUOdN>

Jonkers, H., 2015. *European Patent office, Bio-concrete set to revolutionise the building industry: Dutch inventor of self-healing concrete named finalist for European Inventor Award.* [online] Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/2Rgriaf> [Πρόσβαση στις 10/1/2021].

Kang, D., Pikhitsa, Y.V., Choi, Y.W., Lee, C., Shin, S.S., Piao, L., Park, B., Suh, K.Y., Kim, T.K., 2014. Ultrasensitive mechanical crack-based sensor inspired by the spider sensory system, *Nature* [e-journal] vol.516, pp. 222-226. doi:[10.1038/nature14002](https://doi.org/10.1038/nature14002)

Kellert, SR., Heerwagen, JH., and Mador ML., 2008. *Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life*. Wiley, Hoboken, NJ, USA.

Lampert, CM., 2004. Chromogenic smart materials, *Materials today*,7(3): 28-35
DOI: [10.1016 / S1369-7021 \(04\) 00123-3](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(04)00123-3)

Lienhard, J., Poppinga, S., Schleicher, S., Masselter, T., Speck, T., and Knippers, J., 2009. *Abstraction of plant movements for deployable structures in architecture*. In: 6th Plant Biomechanics Conference, Cayenne, November 16–21, 2009.

Lienhard, J., Poppinga, S., Schleicher, S., Masselter, T., Milwich, M., Speck, T., and Knippers, J., 2011. “Flectofin: A hingeless flapping mechanism inspired by nature”, *IOP PUBLISHING, Bioinsp. Biomim.*, 6, 045001 (7pp) [doi:10.1088/1748-3182/6/4/045001](https://doi.org/10.1088/1748-3182/6/4/045001)

Louguina, A., Dawson, J., Hallgrimsson, B., Smart, G., 2014. Biologically informed disciplines: A comparative analysis of bionics, biomimetics, biomimicry, and bio-inspiration among others, *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, [e-journal]9(3)197-205, DOI: [10.2495/DNE-V9-N3-197-205](https://doi.org/10.2495/DNE-V9-N3-197-205). [[Πρόσβαση στις 5/12/2020](#)].

Lubow, A., 2006. The China Syndrome New York Times (11 pp) published: May 21, 2006. Διαθέσιμο στο : <https://nyti.ms/2Ro4hSE> [[Πρόσβαση στις 8/5/2021](#)].

Marvaldi, R., Mocci, S., and Pani, E., 2016. *Ricerche di Architettura*, Gangemi Editore.

Material district, 2014. *Homeostatic façade system*, [online] Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3bwkZpY> [[Πρόσβαση στις: 28/2/2020](#)].

Math and the Art of Escher, 2012. *The Geometry of Antoni Gaudi*. [on line] Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/33Qnwgw> [[Πρόσβαση στις 8/3/2021](#)].

Matroos, J., 2016. *Exoskin: The programmable material* [on line] Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/2QpndQp> [Πρόσβαση στις 12/2/2021].

Mattheck, C., 1998. *Design in Nature, Learning from Trees*. Heidelberg: Springer.

Mazzoleni, I., 2013. *Architecture Follows Nature—Biomimetic Principles for Innovative Design*. [e-book] CRC Press, Taylor & Francis group. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3yg3qnl> [Πρόσβαση στις 8/5/2021].

Melchiori, J., 2017. Διαθέσιμο στο :<https://bit.ly/3bzcYdh>[Πρόσβαση στις 11/3/2021].
VIDEOS: <https://bit.ly/3okY3z4>, <https://bit.ly/3bz9JsH>, <https://bit.ly/3fmnADO>
[Πρόσβαση στις 11/3/2021].

Memoori, Smart building research, 2016. *Smart building systems don't always have to be digital*. [online] Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3v6MCxe> [Πρόσβαση στις: 14/3/2021].

Menin, S., Samuel, F., 2002. *Nature and Space: Aalto and Le Corbusier*, Routledge, 1st edition.

Menges, A., 2015. *Material Synthesis: Fusing the Physical and the Computational*, [e-book] Massachusetts, pp. 56-59. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3uU7MyK> [Πρόσβαση στις 16/2/2021].

Mercedes-Benz bionic concept car-2005, Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3fDFemT>
[Πρόσβαση στις 11/3/2021].

Mustafia, D., 2017. Doris Sung: The Art of Architecture Inspired by Biology [online]. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3eS1aLG> [Πρόσβαση στις 8/2/2021].

Nasr. Y., 2017. Using smart materials to mimic nature in Architecture, Διπλωματική [on line]. Διαθέσιμο στο: shorturl.at/qtEY2 [Πρόσβαση στις 11/12/2020].

O'Rourke, J.M., and Seepersad, C.C., 2015. Toward a methodology for systematically generating energy-and materials-efficient concepts using biological analogies, *Journal of mechanical design* [e-journal] 137(9) <https://doi.org/10.1115/1.4030877>

OSTI.GOV (Office of Scientific and Technical Information), 2017. *Technical Report: Intelligent Facades for High Performance Green Buildings* p.46. Διαθέσιμο στο: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1355903>, [Πρόσβαση στις 14/3/2021].

Parker, A.R., Lawrence, C.R., 2001. Water capture by a desert beetle. *Nature* 414, pp. 33-34. Διαθέσιμο στο: <https://go.nature.com/3fp2QeH> [Πρόσβαση στις 16/2/2021].

Pawlyn, M., 2011. *Biomimicry in Architecture*, Riba Publishing.

Porteous, C., 2001. *The New Eco-Architecture: Alternatives from the modern movement*, Taylor & Francis.

Prasannabalaji, V., Rakesh, R., Sairam S., Mahesh, S., 2013. Staircase Power Generation Using Piezo-Electric Transducers, *Advance in Electronic and Electric Engineering*. ISSN 2231-1297, Volume 3, Number 6, pp. 747-754. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3w3CzcC> [Πρόσβαση στις 9/1/2021].

Reyes, M.V., 2015. *Skin Detection in Hyperspectral Images*. Conference: Proceedings of SPIE: Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultra spectral Imagery XXI, At: Baltimore, MD, Volume: 9472. DOI: [10.1117/12.2179332](https://doi.org/10.1117/12.2179332)

Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D., Mazzucchelli, E.S., 2018. What is an adaptive façade? Analysis of Recent Terms and definitions from an International Perspective, *Journal of façade design and Engineering* [e-journal] 6(3) pp.65-76 DOI:[10.7480/jfde.2018.3.2478](https://doi.org/10.7480/jfde.2018.3.2478)

Roth, L., 2015. HYDROMEMBRANE, Institute for advanced architecture of Catalonia. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3op8dyo> [Πρόσβαση στις 11-12-2020].

VIDEO: <https://bit.ly/3os0uzJ>.

Sabin, J., 2016. Transformative Research Practice Architectural Affordances and Crisis. *Journal of Architectural Education*, V 69, (1) pp.63-71. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3u45tYz> [Πρόσβαση στις 28/2/2021].

Sabin, J., and Jones, P., 2017. *Design research between Architecture and Biology*, Routledge.

Sabin, J., and Lucia, A., 2017. E-skin, Διαθέσιμο στο: <https://asknature.org/idea/eskin/> [Πρόσβαση στις 13/12/ 2020].

Sachs, A., 2007. *Nature Design, From Inspiration to Innovation*, Zürich: Lars Müller Publishers.

Sanchez, C., Arribart, H., Madeleine, M., Guille, G., 2005. Biomimetism and bioinspiration as tools for the design of innovative materials and systems, *Nature Materials* 4 (4): 277-88. [e-journal] DOI: 10.1038 / nmat1339 Πηγή: PubMed.gov

Schleicher, S., 2016. *Bio-inspired compliant mechanisms for Architectural design*, Phd Thesis, Stuttgart: ITKE - Universität Stuttgart Forschungsberichte. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3ygQ7Dt> [Πρόσβαση στις 28/2/2021].

Schwartz. M., 2002. *Encyclopedia of smart materials, Engineering Analysis of smart Material Systems*, New York: John Wiley and Sons.

Schleicher, S., 2016. *Bio-inspired Compliant Mechanisms for Architectural Design*. "PhD Thesis" [Online]. University of Stuttgart. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3eRWAgS> [Πρόσβαση στις 16/2/2021].

Skidmore, O., Merrill, L., 2009. Developing Innovative Solutions to Environmental Challenges, *CASE, Center for Architecture, Science and Ecology*. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3okiZ9m> [Πρόσβαση στις 3/2/2021].

Song G, Ma N, Li H.N. 2006. Applications of Shape Memory Alloys in Civil Structure. *Engineering Structures*, [e-journal] 28 (9), 1266-1274.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.12.010>

Stott, R., 2015. IaaC Students develop a passive cooling system from Hydrogel and ceramic, *Arch Daily*. Διαθέσιμο στο: shorturl.at/lnzW8 [Πρόσβαση στις 5/2/2021].

Speck, O., Speck, D., Horn, R., Gantner, J., and Sedlbauer, KP., 2017. Biomimetic bio-inspired biomorph sustainable? An attempt to classify and clarify biology-derived technical developments, *Bioinspiration & Biomimetics* [e-journal] 12, 011004, IOP Publishing, [doi:10.1088/1748-3190/12/1/011004](https://doi.org/10.1088/1748-3190/12/1/011004)

Sun L, Huang W.M, Ding Z, Zhao Y, Wang C.C, Purnawali H, Tang C. 2012. Stimulus-responsive Shape Memory Materials: A Review. *Materials and design*, [e-journal] 33, 577-640.

[DOI: 10.1016/j.matdes.2011.04.065](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.04.065)

Takeoka, Y., Yoshioka, S., Takano, A., Arai, S., Nueangnoraj, K., Nashiri, H., Teshima, M., Ohtsuka, Y., and Seki, T., 2013. Production of colored pigments with amorphous arrays of black and white colloidal particles. *Angew. Chem.*, [e-journal] 125, 7402–7406. <https://doi.org/10.1002/anie.201301321>

Teyssier, J., Saenko, S., Van der mare, D., and Millinkovitch, C., 2015. Photonic crystal cause active color change in chameleons, *nature communications*, [DOI: 10.1038/ncomms7368](https://doi.org/10.1038/ncomms7368)

The Biomimicry Institute, Innovation inspired by nature: biomimicry and design, 2010. *Biomimicry Resource Handbook: A Seed Bank of Knowledge and Best Practices*, The Biomimicry Institute: Missoula.

Thompson, AW., 1945. *On Growth and Form*, Macmillan edition, New York. [e-book]
Διαθέσιμο στο : <https://bit.ly/3hx7slk> [Πρόσβαση στις 5/12/2021].

Todd, J. & Todd, NJ., 1993. *From Eco-Cities to Living Machines: Principles of Ecological Design*, North Atlantic Books: Berkeley.

Transsolar Academy, Transsolar Enerdiotechnik GmbH, 2021. *One Ocean-Pavilion Expo 2012, Yeosu, Νότια Κορέα*: [online] Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3ykoqv>
[Πρόσβαση στις 20/2/2021].

Trubiano, F., 2013. *Design and Construction of High-performance Homes: Building Envelopes, Renewable energies and integrated practice*, USA and Canada: Routledge.

Trubiano, F., 2013. Performance Based Envelopes: A Theory of Spatialized Skins and the Emergence of the Integrated Design Professional, *Buildings* 2013, 3, 689-712, [doi:10.3390/buildings3040689](https://doi.org/10.3390/buildings3040689).

Tucci, F., 2017. Paradigmi della natura per progettare involucri architettonici, Nature's paradigms for designing architectural envelopes, *Agathon* 2, p. 47-54.
DOI: <https://doi.org/10.19229/2464-9309/262017>

VDI 6220, 2012. *Biomimetics: Conception and Strategy—Differences Between Biomimetics and Conventional Methods/Products* VDI 6220, Berlin: Beuth.

VDI 6226, 2015. *Biomimetics: Architecture, Civil Engineering, Industrial Design, Basic Principles* VDI6226 Berlin: Beuth.

VDI 6224/2, 2012. *Biomimetics: Biomimetic Optimization—Application of Biological Growth Laws for the Structure Mechanical Optimization of Technical Components* VDI 6224 part 2, Berlin: Beuth.

VDI 6226, 2015. *Bionik: Architektur, Ingenieurbau, Industry design —Grundlagen, Biomimetics: Architecture, Civil Engineering, Industrial Design—Basic Principles* VDI 6226, Berlin: Beuth.

Velikov, K., & Thün, G. 2013. Responsive Building Envelopes: Characteristics and evolving paradigms. In: Trubiano, F., *Design and Construction of High-Performance Homes*. pp. 75-92. London and New York: Routledge.

Vilcinskas, A., ed. 2011. *Insect Biotechnology, Biologically- Inspired Systems*, vol 2 Dordrecht, Springer.

Vincent, JFV., Bogatyreva, O., Bogatyrev, N., Bowyer, A., Pahl, A.K., 2006. "Biomimetics: its practice and theory". *Journal of the Royal Society Interface*. [e-journal]3 (9):pp.471–82. [doi:10.1098/rsif.2006.0127](https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127). [PMC 1664643](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1664643/). [PMID 16849244](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16849244/).

Vincent, JFV., 2014. Biomimetics in architectural design, *Intelligent Buildings International*, [e-journal]8(2): pp. 1-12 DOI: [10.1080/17508975.2014.911716](https://doi.org/10.1080/17508975.2014.911716)

Vinnitskaya, I., 2012. In Progress: One Ocean/soma, *Archdaily*. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3yhVTVI> [Πρόσβαση στις 9/2/2021].

Von Frisch, K., 1975. *Animal Architecture*. Hutchinson, London, UK.

Wahl, DC., 2006. Bionics vs. biomimicry: from control of nature to sustainable participation in nature. *Design and Nature III: Comparing Design in Nature with Science and Engineering*, Vol. 87, ed. C.A. Brebbia, WIT Press: Ashurst, UK. Διαθέσιμο στο : shorturl.at/wJNW8 [Πρόσβαση στις 5/12/2020].

Walker, M., 2008. «Nature’s “fiber optics” experts», BBC News/ science & Environment. Διαθέσιμο στο: <https://bbc.in/3ol196a> [Πρόσβαση στις 5/12/2020].

Wang, Z., Chen, X., Gong, Y., Zhang, B., Li, H., 2017. Superhydrophobic nanocoating's prepared by a novel vacuum cold spray process, *Surface and Coatings Technology*, 325, 52-57. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3uVyLKm> [Πρόσβαση στις 30/1/2021].

Wang, Z., and Guo, Z., 2017. Biomimetic super wettable materials with structural colors, journal: *chemical communications*, issue 97. Διαθέσιμο στο: <https://rsc.li/3opB5XG> [Πρόσβαση στις 30/1/2021].

Wilson, A., (2013). ETFE Foil: A guide to design, *Architen Landrell*, Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3w9r7fy> [Πρόσβαση στις 9/2/2021].

Yarnall, K., Baptista, F., Savshuk, K., 2010. Behind the scenes at national geographic: depicting Gaudi's vision, polis. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3fr00Wn> [Πρόσβαση στις 5/12/2020].

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αναστασοπούλου, Ι., Δρίτσα ,Β., Θεοφανίδης, Θ., Υφαντής, Δ., Υφαντής , Κ., 2015. *Βιολικά-Εφαρμογές*. Ακαδημαϊκή εργασία [online]. Αθήνα, ΕΜΠ. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3tRYZvR> [Πρόσβαση στις 9/1/2021].

Αρκουδάκη, Σ., 2015. *Υλικά με μνήμη σχήματος: μελέτη ενεργοποιητών από έξυπνα μαγνητικά υλικά*. Διπλωματική εργασία [online]. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Διαθέσιμο στο : <https://bit.ly/3v6NdPu> [Πρόσβαση στις 9/1/2021]

Δεληγιάννης, Κ., 2010. *Τεχνολογία: Τα «έξυπνα» παράθυρα* [online] Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3fudEsa> [Πρόσβαση στις 30/12/2020].

Δημητρόπουλος, Δ., 2014. *Κράματα μνήμης σχήματος-Ιδιότητες , κατεργασίες και εφαρμογές*. Διπλωματική εργασία [online]. Αθήνα, ΕΜΠ. <https://bit.ly/3hye1oa>

[Πρόσβαση στις 31/12/2020].

Δίκου, Χ., 2020. Η φιλοσοφική διάσταση της βίο-φιλίας. Εργασία ΠΑΔΑ, μεταπτυχιακό τμήματος εσωτερικής αρχιτεκτονικής.

Παιπάη, Α., 2012. Καινοτόμα υλικά και έξυπνες επιφάνειες, *Κτίριο*, [e-journal] τεύχος (2)σελ. 77-82. Διαθέσιμο στο: shorturl.at/zKMO7 [Πρόσβαση στις 31/12/2020].

Παπαμανώλης, Ν., 2010. Εφαρμογές των Υλικών Αλλαγής Φάσης στα Κτίρια. *ECON3*. [online]. Σελ. 118-124. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3bzMpv4> [Πρόσβαση στις 2/1/2021].

Ραϊτσο, Π., 2020. Βιομιμητική Αρχιτεκτονική, *Achim Menges. Βίο-κινητικό κέλυφος, κατασκευαστική μέθοδος*. Διπλωματική [Online]. Κρήτη: Πολυτεχνείο. Διαθέσιμο στο: <https://bit.ly/3w96xMg> [Πρόσβαση στις 6 Μαρτίου 2021].