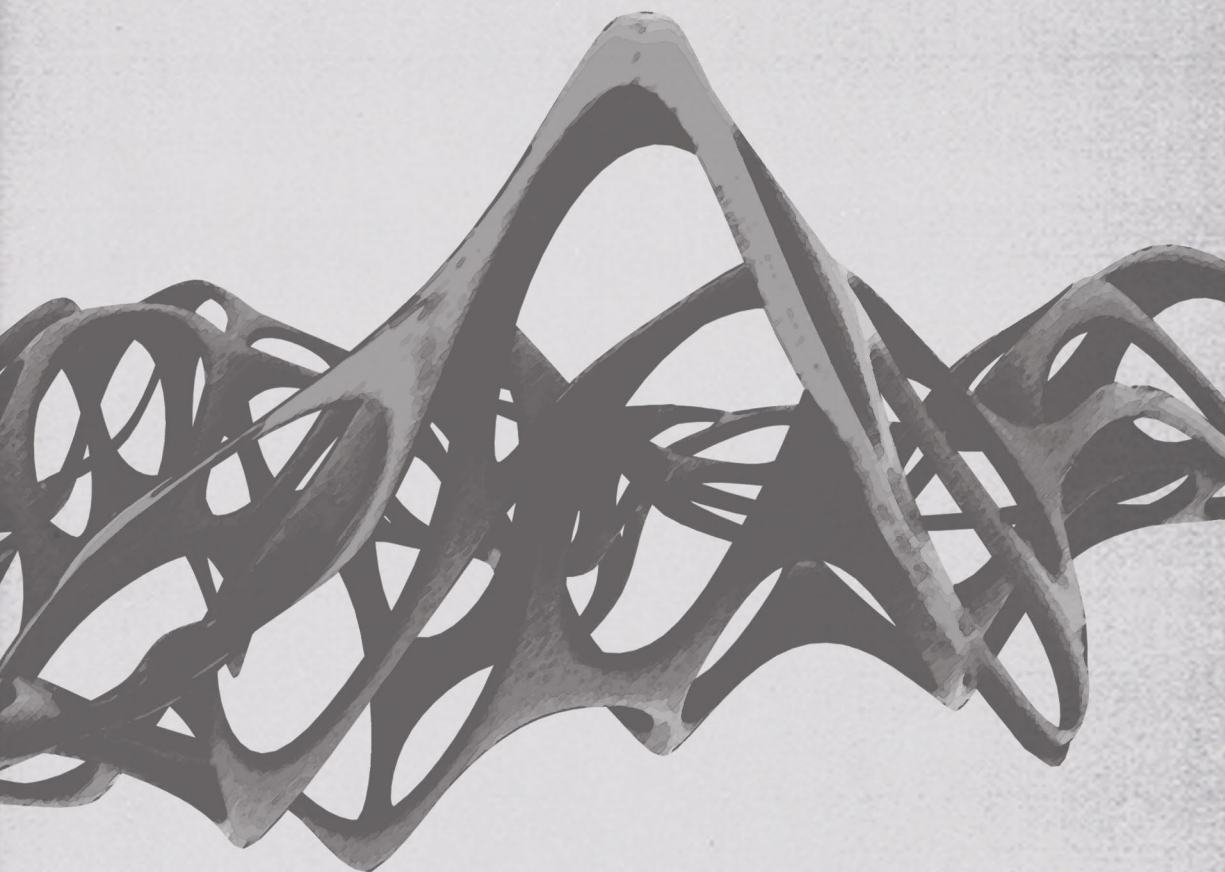


# Computational Design | Έξυπνα Υλικά

η παράλληλη προσέγγιση



Γεσθημανή Ρουμπάνη | Καλλιρρόη Ταρουδάκη



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο | Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

# Computational Design | Έξυπνα Υλικά

η παράλληλη προσέγγιση

## διάλεξη 9ου εξαμήνου

### Σπουδάστριες

Γεσθημανή Ρουμπάνη  
Καλλιρρόη Ταρουδάκη

### Επιβλ. καθηγητής

Δ. Παπαλεξόπουλος

### Σύμβουλος

Α. Σταυρίδου

Αθήνα, Ιούνιος 2013







Το έργο με τίτλο “Computational design | Έξυπνα Υλικά : Η Παράλληλη Προσέγγιση” από τους δημιουργούς Ρουμπάνη Γεσθημανή, Ταρουδάκη Καλλιρρόη διατίθεται με την άδεια Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 3.0 Μη εισαγόμενο.

*“Architecture should speak of its time and place,  
but yearn for timelessness.”*

*Frank Gehry*





Ευχαριστούμε

τους καθηγητές μας,  
Δημήτρη Παπαλεξόπουλο και  
Αθηνά Σταυρίδου  
για την καθοδήγησή τους,

τις οικογένειες, τους φίλους  
μας και όσους μας εμπνέουν  
να ονειρευόμαστε για το  
μέλλον μας και το μέλλον της  
αρχιτεκτονικής

## 00 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>01 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	11
<b>02 COMPUTATIONAL DESIGN</b>	
02.1 form follows function?	17
02.2 η παράμετρος	20
02.3 κατηγορίες computational design	22
02.4 Frank Gehry και CATIA	28
02.4.1 δοκιμή και επιτυχία	32
02.5 τι προσφέρει	33
02.5.1 δυναμικότητα	34
02.5.2 προσέγγιση της υλικότητας	35
02.5.3 γεφυρώνοντας το χάσμα	36
02.5.4 μαζική εξατομίκευση	37
<b>03 ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ</b>	
03.1 υλικά και αρχιτεκτονική	47
03.2 ορισμός	51
03.3 το πρώτο έξυπνο υλικό	54
03.4 έξυπνα υλικά στην αρχιτεκτονική	55
03.5 βασικά χαρακτηριστικά	58
03.6 τύποι	60
03.7 το πέρασμα στη μικροκλίμακα	65

## **04 ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΜΗΣ**

04.1 μεταβολή - διάδραση	73
04.1.1 SMAAD	77
04.2 λοιπές γέφυρες σύνδεσης	79
04.2.1 κατασκευή	79
04.2.2 κλίμακα	84
04.2.3 φύση	87
04.2.4 εξοικονόμηση / ενεργειακή απόδοση	91

## **05 ΘΕΩΡΙΑ Vs ΠΡΑΞΗ**

05.1 μηχανικά και μη μέσα	100
05.1.1 L' Institut du Monde Arabe	100
05.1.2 ShapeShift	105
05.1.3 Phototropia	110
05.2 Touch, Dexia Tower	113
05.3 SmartWrap Pavilion	116

## **06 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ++**

06.1 the manual	125
06.2 ο αρχιτέκτονας στο κέντρο	129
06.3 κίνδυνοι	132

## **07 ΕΠΙΛΟΓΟΣ** 139

πηγές	144
-------	-----

01

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ







Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διάλεξης αποτελούν το computational design (υπολογιστικός σχεδιασμός) και τα έξυπνα υλικά. Στόχος είναι ένας νέος τρόπος προσέγγισης της συνθετικής διαδικασίας μέσω του συνδυασμού τους, για μια καθολική αρχιτεκτονική που θα έχει ως βασικό χαρακτηριστικό της την ελεγχόμενη μεταβολή αλλά και τη διαδραστικότητα μεταξύ κτηρίου και χρήστη, καθώς και κτηρίου και περιβάλλοντος.

Αφορμή για την επιλογή του θέματος στάθηκε το ειδικό μάθημα οικοδομικής του 9ου εξαμήνου, με διδάσκοντα τον κύριο Δ. Παπαλεξόπουλο, που πραγματεύεται το computational design και ειδικότερα τον παραμετρικό σχεδιασμό. Κατά τη διάρκεια των διαλέξεων του μαθήματος, έγινε και μια εισαγωγή των σπουδαστών στα έξυπνα υλικά, ως ξεχωριστή ενότητα. Με μια σύντομη έρευνα προκύπτει πως αυτά αποτελούν δύο εντελώς διαφορετικούς κλάδους επιστημών, που αναπτύχθηκαν ο καθένας για άλλους λόγους. Το εύρος και οι δυνατότητες χρήσης τους στην αρχιτεκτονική διαφέρουν, ενώ η χρήση του ενός δεν προϋποθέτει το άλλο. Οι απτές περιπτώσεις όπου συνδυάζονται είναι ελάχιστες, παρά τα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν και τα δύο.

Όλα αυτά μας ώθησαν σε μια διαδικασία αναζήτησης για το τί κρυβόταν πίσω από το καθένα ξεχωριστά και τον εντοπισμό των κοινών στοιχείων που επέτρεπαν στα έξυπνα υλικά να εντάσσονται έστω και εισαγωγικά σε μια σειρά μαθημάτων πάνω στο computational design. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η σύνδεσή τους αφορά περισσότερο το στοιχείο της μεταβολής, και είναι τελικά κρίσιμο να ενισχυθεί. Ο συλλογισμός αυτός οδήγησε και στην επιλογή του θέματος, που προσπαθεί να αιτιολογήσει τη θέση μας αυτή.

Ο τίτλος μας αναφέρεται στον παράλληλο τρόπο με τον οποίο προσεγγίζονται οι δύο επιστήμες ώστε να καταλήξουν σε μια συγχωνευμένη επεξεργασία. Η διάλεξη ξεκινά με την εισαγωγή του αναγνώστη αρχικά στο computational design και έπειτα στα έξυπνα υλικά, εξηγώντας τι είναι και τι προσφέρει το καθένα, αναλύοντας βασικά χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια, επεξηγείται το γιατί θεωρούμε απαραίτητη την από κοινού προσέγγισή τους, σε μια εποχή της οποίας ηγούνται οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι ανάγκες του ανθρώπου παίζουν κυρίαρχο ρόλο. Ταυτόχρονα, παρουσιάζονται κοινά στοιχεία που τις χαρακτηρίζουν, και ενισχύουν το εγχείρημα της σύνδεσής τους. Έχοντας έλλειψη εφαρμογών μεγάλης κλίμακας του οράματος αυτού, παρατίθενται παραδείγματα που εκφράζουν σχετικά αποσπασματικά αλλά όσο το δυνατόν καλύτερα τι χαρακτηρίζει μια τέτοιου είδους αρχιτεκτονική. Ακολουθεί ενδεικτικό προτεινόμενο σχεδιάγραμμα του τρόπου με τον οποίο θα μπορούσε να εργαστεί ο αρχιτέκτονας για να πετύχει αυτό που παρουσιάζεται στη διάλεξη, καθώς και περιγραφή των νέων απαιτήσεων που προκύπτουν από το σύνθετο ρόλο που καλείται να αναλάβει. Συμπερασματικά, εντοπίζονται πιθανοί κίνδυνοι μιας τέτοιου είδους προσέγγισης στο σχεδιασμό, με γνώμονα τη διαφορά της θεωρίας από την πράξη.

Το αν τελικά πιστεύει κανείς πως ένας από κοινού σχεδιασμός είναι εφικτός και κυρίως προσοδοφόρος είναι κάτι που θα εξαρτηθεί από το κατά πόσο κρίνει ότι έχει ανάγκη η αρχιτεκτονική να προχωρήσει προς μια τέτοια κατεύθυνση, το πώς αντιλαμβάνεται και αξιολογεί τα στοιχεία που παρουσιάζονται και το αν τελικά οι κίνδυνοι καθίστανται πιο επίφοβοι από τα οφέλη.



~~02~~

# COMPUTATIONAL DESIGN



02.1 form follows function?

02.2 η παράμετρος

02.3 κατηγορίες

02.4 Frank Gehry και CATIA

02.4.1 δοκιμή και επιτυχία

02.5 τι προσφέρει

02.5.1 δυναμικότητα

02.5.2 προσέγγιση της υλικότητας

02.5.3 γεφυρώνοντας το χάσμα

02.5.4 μαζική εξατομίκευση

## 02.1 form follows function?

Η αρχιτεκτονική, ιδιαίτερα από το μοντέρνο και μετά, χαρακτηρίζεται ως επιστήμη ανθρωποκεντρική<sup>1</sup>, αφού απευθύνεται στην εξυπηρέτηση και ικανοποίηση του χρήστη. Ήταν σαφές την περίοδο του μοντέρνου πως οι αρχιτέκτονες αντιμετώπιζαν το χρήστη ως ενιαίο σύνολο, εστιάζοντας στην εξυπηρέτηση των αντικειμενικών αναγκών του και έχοντας ως πρόταγμα τη φράση του Louis H. Sullivan, “form follows function”<sup>2</sup> (η μορφή ακολουθεί τη λειτουργία). Από την ίδρυση του Bauhaus (1926) μέχρι και σήμερα, οι στόχοι και τα ζητούμενα του μοντέρνου έχουν φαινομενικά απαντηθεί. Και λέμε “φαινομενικά”, γιατί η “διαλεκτική αντίθεση”<sup>3</sup> του ότι η μορφή πρέπει να ακολουθεί τη λειτουργία, είχε εντοπιστεί από πολύ νωρίς<sup>4</sup>, οπότε δεν είναι και τόσο ορθή η θεώρηση πως έχει βρεθεί λύση για κάτι που είναι εξ’ ορισμού ανορθόδοξο. Πώς είναι δυνατόν η μορφή να ακολουθεί τη λειτουργία, όταν αυτή εξαρτάται από πολλούς μεταβαλλόμενους παράγοντες, με κύριο τις προσωπικές επιδιώξεις του ατόμου, κάτι που δηλαδή συναντά άπειρες διαφοροποιήσεις εντός του συνόλου; Οι εκπρόσωποι και υποστηρικτές του μοντέρνου σίγουρα επικεντρώθηκαν αποτελεσματικά σε αυτό που αποκαλούμε “αντικειμενική” ανάγκη και είναι προφανές στις κατασκευές τους.

<sup>1</sup> Αντωνία Ν. Κονδύλη, *Design υπό Στέγη: διάλεξη για τη σχολή του Bauhaus*, Στέγη Γραμμάτων και Τεχνών, Αθήνα, 10 Ιανουαρίου 2012, πηγή: <http://www.designmag.gr/dys-bauhaus/4317>

<sup>2</sup> Στο άρθρο του 1896 με τίτλο “*The tall office building artistically considered*”, γράφει, μεταξύ άλλων: “Είναι ο νόμος που διαπερνά όλα τα πράγματα, οργανικά και ανόργανα, όλα τα φυσικά και μεταφυσικά πράγματα, όλα τα ανθρώπινα και υπερανθρώπινα πράγματα, όλες τις αληθείς εκδηλώσεις της κεφαλής, της καρδιάς, της ψυχής, ότι η ζωή αναγνωρίζεται στην έκφρασή της, ότι η μορφή πάντα ακολουθεί τη λειτουργία. Αυτός είναι ο νόμος.” (μετάφραση: Ιωάννης Βενέρης, *Πληροφορική και Αρχιτεκτονική: Εννοιες και Τεχνολογίες*, εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2011, σελ. 164)

<sup>3</sup> Michael Meredith, *From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture*, co-editors: Aranda-Iasch, Mutsuro Sasaki, October 15, 2008, σελ. 164)

<sup>4</sup> Frederick J. Kiesler, *On Correalism and Biotechnique: A Definition and Test of a New Approach to Building Design*, 1939

Με την αναγνώριση του λογικού κενού που εντοπίζεται στην αντιμετώπιση των χρηστών ως ενιαίο σύνολο εμφανίζεται μια νέα πρόκληση: αυτή της κάλυψης των επιθυμιών. Ο Antonino Saggio, αναφερόμενος στο μοντέρνο, κάνει χρήση του όρου “Existenzminimum”<sup>5</sup> (ελάχιστη ύπαρξη). Είναι φυσικό επακόλουθο ο μόνος τρόπος για την υπέρβαση αυτού του “minimum” να έγκειται στην εξατομίκευση από τον ίδιο το χρήστη. Οι απαιτήσεις του αυξάνονται αναλογικά με το ρυθμό ικανοποίησής τους και των νέων δυνατοτήτων που του προσφέρονται. Με τη νέα αυτή κατεύθυνση επανέρχεται στη προσκήνιο η επικοινωνία του χώρου με το χρήστη, καθώς και ο συμβολικός και αφηγηματικός χαρακτήρας της αρχιτεκτονικής, στοιχεία που παραλείπονταν από το μοντέρνο κίνημα. Σύμφωνα με τον Saggio, “Το πρωιμότερο σημάδι της διαδικασίας της εκ νέου εισαγωγής νοήματος και συμβόλου σε μια γλώσσα που προέρχεται από το μοντέρνο κίνημα, εμφανίστηκε στο project του Jørn Utzon για την όπερα του Σίδνεϋ το 1956, αλλά η διαδικασία συγκέντρωσε δύναμη μόνο πιο πρόσφατα.”. Λέγοντας “πρόσφατα”, αναφέρεται στην αναβίωση της επικοινωνίας της αρχιτεκτονικής με το κοινό, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα το μουσείο Guggenheim του Μπιλμπάο (1997) του Frank Gehry.

Έχουμε φτάσει σε ένα στάδιο, όπου η κάλυψη των αναγκών του σήμερα δεν επαρκεί, ακριβώς λόγω του εφήμερου χαρακτήρα τους. Η μεταβλητότητα της ίδιας της ζωής μέσα στο χρόνο είναι αυτή που οδηγεί στη μεταβλητότητα των επιθυμιών, επιζητώντας αντίστοιχα αντικείμενα ικανά να μεταβάλλονται για να τις ικανοποιήσουν. Εισάγεται έτσι η έννοια του χρόνου ως 4η διάσταση<sup>6</sup>, αφού η αρχιτεκτονική καλείται να προβλέψει και να καλύψει και τις μελλοντικές ανάγκες και επιθυμίες των χρηστών, οι οποίες παρέχουν στον αρχιτέκτονα διαφορετικές παραμέτρους για το σχεδιασμό.

<sup>5</sup> Antonino Saggio, *New Subjectivity: architecture between Communication and Information*, 2001

<sup>6</sup> Jim Loy, *Time: the Fourth Dimension*, 1999, πηγή <http://www.jimloy.com/physics/4d.htm>



“Από τη στιγμή που κριτήριο της ζωής αποτελεί η ενεργητικοποίηση (activization) συμπεραίνουμε πως ένας άνθρωπος μη ενεργός είναι νεκρός. Αναλογικά συμπεραίνουμε πως επειδή ένα αντικείμενο δεν εκφράζεται με ορατή δραστηριότητα, είναι κι αυτό νεκρό.”

*Frederick Kiesler<sup>7</sup>*

<sup>7</sup> Frederick J. Kiesler, *On Correalism and Biotechnique: A Definition and Test of a New Approach to Building Design*, 1939



## 02.2 η παράμετρος

Για τα μαθηματικά, ο όρος “παράμετρος” μπορεί να εκφράζει<sup>8</sup>:

A. μια σταθερά ή μεταβλητή, σε μια συνάρτηση που καθορίζει τη συγκεκριμένη μορφή της συνάρτησης, αλλά όχι τη γενική φύση της, όπως π.χ. στην  $f(x)=ax$ , όπου το  $a$  καθορίζει μόνο την κλίση της γραμμής που περιγράφει η  $f(x)$

B. μία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές σε ένα σύνολο παραμετρικών εξισώσεων

Η εισαγωγή της παραμέτρου στο σχεδιασμό ήταν απαραίτητη, από τη στιγμή που οι σχεδιαστές δε σκέφτονται με νούμερα, αλλά σκέφτονται με σχέσεις. Όμως τα τυπικά προγράμματα CAD δεν αποθηκεύουν σχέσεις, αποθηκεύουν αριθμούς. Αριθμούς που αλλάζουν ανεξαρτήτως των σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων. Τα παραμετροποιημένα μοντέλα CAD, από την άλλη, “παγιδεύουν” σταθερούς κανόνες πίσω από την εξελισσόμενη μορφή, μειώνοντας τα χιλιάδες αντικείμενα σε ελάχιστες παραμέτρους που περιγράφουν τις μεταξύ τους σχέσεις. Ως αποτέλεσμα της περιγραφής χιλιάδων διαφορετικών κομματιών με λίγες μόλις παραμέτρους έχουμε ένα νέο είδος “παραμετρικής τυποποίησης”: η μοναδικότητα εκφράζεται με μεταβλητές<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Σύμφωνα με το διαδικτυακό λεξικό <http://www.dictionary.reference.co> (μετάφραση: Μιχαήλ Σάββας)

<sup>9</sup> Michael Meredith, *From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture*, co-editors: Aranda-Iasch, Mutsuro Sasaki, publication date October 15, 2008, ACTAR, Barcelona, σελ. 162

Ο Patrik Schumacher, σε μια προσπάθεια επεξήγησης της διαφοράς του Μοντέρνου με την καινούργια λογική, αναφέρει: “ο Μοντερνισμός είναι βασισμένος στην τυποποίηση και την επανάληψη, ενώ ο Παραμετρισμός (Parametricism) παράγει συνεχή ποικιλία. [...] Το σημείο κλειδί είναι πως ο Παραμετρισμός απαιτεί οποιοδήποτε στοιχείο ή υποσύστημα που εισέρχεται στην εξελισσόμενη σύνθεση να εμπλέκεται με σχέσεις εντατικές και προσαρμοστικές με ό,τι υπάρχει ήδη εκεί. Τίποτα δε μένει αγνό. Τα πάντα είναι ανταποκρινόμενα. Η πυκνότητα ορατών εσωτερικών και εξωτερικών σχέσεων είναι ένα βασικό κριτήριο μια επιτυχημένης Παραμετρικής (Parametricist) σύνθεσης.”<sup>10</sup>.

Με οδηγούς τον ψηφιακό σχεδιασμό, την αυτοματοποίηση της κατασκευής και την ανάγκη για χρήση παραμέτρων στην αρχιτεκτονική, γεννήθηκε το υβρίδιο της ψηφιακής και παραμετρικής τεχνολογίας των προγραμμάτων CAD (Computer Aided Design - σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή) /CAM (Computer Aided Manufacturing - κατασκευή με τη βοήθεια υπολογιστή)<sup>11</sup>. Η απαιτούμενη μεταβλητότητα για την εισαγωγή της 4ης διάστασης επιτυγχάνεται μέσω αυτών των προγραμμάτων και της σχεδιαστικής διαδικασίας που ονομάζουμε computational design.

<sup>10</sup> Συνέντευξη του Patrik Schumacher, WA (World Architecture), Parametric Design issue, Beijing 2009, πηγή: [http://www.patrikschumacher.com/Texts/Interview\\_WA\\_May%2009\\_english.htm](http://www.patrikschumacher.com/Texts/Interview_WA_May%2009_english.htm)

<sup>11</sup> Bob Sheil, *Design Through Making: an Introduction*, Design Through Making, Architectural Design (AD), Vol75/No4, July/August 2005, editor: Helen Castle, Wiley, London, σελ. 7

## 02.3 κατηγορίες computational design

Αυτό που στα αγγλικά αποκαλείται “computational design”, σε μια προσπάθεια μετάφρασης στα ελληνικά θα λεγόταν “υπολογιστικός σχεδιασμός”. Επειδή όμως η λέξη “υπολογιστικός” δεν καλύπτει ικανοποιητικά το ευρύ εννοιολογικό φάσμα του όρου, στα πλαίσια αυτής της διάλεξης θα χρησιμοποιείται η αγγλική εκδοχή.

Σύμφωνα με τον William Mitchell, το computational design μπορεί να οριστεί ως η επεξεργασία των χαρακτηριστικών ενός σχήματος, ώστε να εξαχθούν οι απαραίτητες πληροφορίες για τη δημιουργία του<sup>12</sup>. Η διαδικασία του σχεδιασμού παίρνει διάφορες μορφές ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται, αλλά συνήθως περιλαμβάνει μεταμορφώσεις (μοναδιαίες λειτουργίες) και συνδυασμούς (δυναμικές λειτουργίες) σχημάτων σε σχέδια δύο διαστάσεων ή γεωμετρικά μοντέλα τριών διαστάσεων.

Πρόκειται για ένα είδος σύγχρονου ψηφιακού σχεδιασμού που αφορά τη μετατροπή των σχεδιαστικών κανόνων σε διαδικασίες και, αφού μιλάμε για το περιβάλλον του υπολογιστή, έχει συγκεκριμένα δεδομένα ως αποτελέσματα εισόδου (input) και εξόδου (output). Αφορά την αρχή της εφαρμογής υπολογιστικών προσεγγίσεων σε σχεδιαστικά προβλήματα, είτε αυτά έχουν να κάνουν με την παρουσίαση, είτε την ανάλυση ή την αισθητική έκφραση του σχεδιαστή<sup>13</sup>. Ωθείται από δυνάμεις που καθιστούν το σχεδιασμό δυνατό και απαραίτητο εξ' αρχής: την εκτίμηση των αναγκών, την αξιολόγηση των δυνατοτήτων, την αξιολόγηση των μέσων που ενσαρκώνουν τα ανθρώπινα χαρακτηριστικά. Η αξιολόγηση λαμβάνει τη μορφή ψηφιακών δεδομένων, ιδίως σύνθετων βάσεων δεδομένων<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> William J. Mitchell, *The Electronic Design Studio*, MIT Press, Cambridge MA, 1990 (μετάφραση: Σαράτσης Ε., Τζώρτζης Α.)

<sup>13</sup> Σύμφωνα με τον ορισμό του Marius Watz στην ιστοσελίδα του <http://www.generatorx.no/category/computational-design/>

<sup>14</sup> Prof. Dr. Mihai Nadin, *Computational Design: Design in the Age of a Knowledge Society*, περιοδικό Form diskurs, τεύχος 2ο, Ιανουάριος 1997, σελ. 40-70





*“Η κυρίαρχη χρήση των υπολογιστών στην Αρχιτεκτονική σήμερα, είναι αυτή της “μηχανογράφησης” (computerization): οντότητες ή διαδικασίες που είναι ήδη αποτυπωμένες στον νου του σχεδιαστή, εισάγονται, παραλλάσσονται και αποθηκεύονται σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Αντίθετα το computation, ως “ψηφιακό σχεδιαστικό εργαλείο (computer-based design tool)” έχει περιορισμένη χρήση. Το πρόβλημα που γεννιέται είναι ότι οι σχεδιαστές δεν εκμεταλλεύονται την εξελιγμένη επεξεργαστική ισχύ του υπολογιστή.”*

*Κώστας Τερζίδης<sup>15</sup>*

Η computational αρχιτεκτονική καλύπτει ένα ευρύ πεδίο της αρχιτεκτονικής πρακτικής, από δομές που βασίζονται σε σχηματικές γραμματικές, μέχρι την ανάλυση των δεδομένων των χώρων και τη ροή της κυκλοφορίας<sup>16</sup>.

Οι μέθοδοι computational design διακρίνονται από ποικίλες ομοιότητες, αφού έχουν εξελιχθεί βάσει κοινών χαρακτηριστικών. Προσπαθώντας να ορίσουμε κάποιες κατηγορίες, καταλήγουμε στα παρακάτω είδη: αλγοριθμικός σχεδιασμός, εξελικτικός σχεδιασμός, γενεσιουργός σχεδιασμός και παραμετρικός σχεδιασμός. Όλες οι κατηγορίες μοιράζονται τη λογική περιγραφής δικτυώμενων σχέσεων ενός συστήματος, και τα παραγόμενα από αυτές αποτελέσματα είναι μορφολογικά παρόμοια.

<sup>15</sup> Kostas Terzidis, *Expressive Form*, Abington, Spon Press, 2003

<sup>16</sup> Σύμφωνα με τον ορισμό του Marius Watz στην ιστοσελίδα του <http://www.generatorx.no/category/computational-architecture/>

## Αλγοριθμικός σχεδιασμός [Algorithmic Design]

Πρόκειται για μέθοδο παραγωγής πρωτοτύπων ή πολύπλοκων δομών με τη χρήση αλγορίθμου. Σύμφωνα με τον Κώστα Τερζίδη, “ένας αλγόριθμος είναι μια υπολογιστική (computational) διαδικασία για την αντιμετώπιση ενός προβλήματος εντός ενός πεπερασμένου αριθμού βημάτων. Περιλαμβάνει την αφαίρεση, την επαγωγή, τη γενίκευση και τη δομημένη λογική. Είναι η συστηματική εξαγωγή λογικών αρχών και η ανάπτυξη ενός γενικού σχεδίου λύσης.”<sup>17</sup>. Οι αλγοριθμικές σχέσεις περιγράφουν αλληλουχίες ενεργειών και μπορούν να είναι εξαιρετικά πολύπλοκες. Οι παράμετροι εμφανίζονται ως μεταβλητές μέσα στον αλγόριθμο. Σκόπιμες και μη αλλοιώσεις του αρχικού αλγορίθμου, καθώς και παρανόηση ως προς τις προθέσεις του δημιουργού, μπορούν να οδηγήσουν σε εντελώς διαφορετικά, ακόμα και πιο δημιουργικά αποτελέσματα. Αυτός ο τρόπος σχεδιασμού είναι άμεσα συσχετισμένος με τη χρήση γλωσσών προγραμματισμού, όπως η FORTRAN και η ALGOL.

## Εξελικτικός σχεδιασμός [Evolutionary Design]

Ονομάζεται αλλιώς και συνεχής σχεδιασμός. Δεν προσδιορίζει εντελώς το σύστημα σχεδιασμού πριν τη δημιουργία του μοντέλου, αντίθετα μεταλλάσσει συνεχώς το σύστημα καθώς αυτό εξελίσσεται. Προέκυψε ως είδος ακραίου προγραμματισμού (Extreme Programming- XP) και η ανάπτυξή του είναι κατά πολύ βασισμένη σε πρακτικές δοκιμές<sup>18</sup>. Συχνά αντιμετωπίζεται και ως εργαλείο βελτιστοποίησης του σχεδιασμού, χωρίς αυτό να σημαίνει πως δε μπορεί να είναι από μόνη της μια δημιουργική διαδικασία σχεδιασμού<sup>19</sup>.

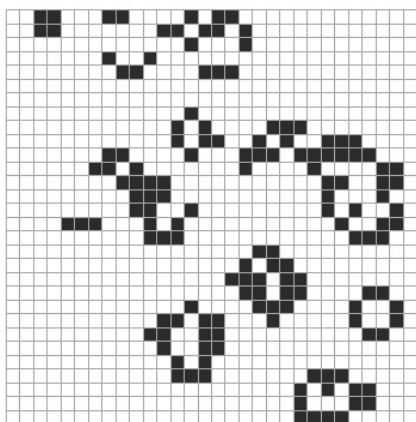
<sup>17</sup> Kostas Terzidis, *Expressive form: a Conceptual Approach to Computational Design*, Spon Press, New York/ UK, 2003, σελ. 6

<sup>18</sup> Martin Fowler, *Is Design Dead?*, XP 2000 Conference, original article: July 2000, significant revisions: February 2001/May2004, πηγή: <http://martinfowler.com/articles/designDead.html>

<sup>19</sup> Μάριος Τσιλιάκος, 2013, <http://digitalsubstance.wordpress.com>

## Γενεσιουργός σχεδιασμός [Generative Design]

Σε αυτόν μας ενδιαφέρει περισσότερο η διαδικασία δημιουργίας των κανόνων που θα διέπουν τη μορφή, παρά το τελικό αποτέλεσμα. Με αυτό εννοούμε πως δεν υπάρχει επίγνωση του τελικού αποτελέσματος, ούτε υπό τη μορφή αρχικής πρόβλεψης. Εφαρμόζοντας τους κανόνες που επιλέγουμε τοπικά, προκύπτει μια συνολική συμπεριφορά του συστήματος. Ο C. Soddu ορίζει τον γενεσιουργό σχεδιασμό ως “μια μορφογενετική διαδικασία που χρησιμοποιεί αλγορίθμους δομημένους ως μη ευθύγραμμα συστήματα για άπειρα μοναδικά και μη επαναλήψιμα συστήματα που εκτελούνται από έναν κώδικα ιδεών, όπως στη φύση.”<sup>20</sup>. Δίνει τη δυνατότητα παράθεσης πολλαπλών λύσεων ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη εξ’ αυτών. Αντλεί αρχές από την εξελικτική βιολογία και, όντας μια λογική σύνθεση ενός δυναμικά πολύπλοκου συστήματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για τη διδασκαλία αρχιτεκτονικής σύνθεσης ως μια προσέγγιση που προσανατολίζεται στην υποκειμενικότητα<sup>21</sup>. Γενεσιουργά μπορούν να χαρακτηριστούν συστήματα που σχετίζονται με Τεχνητή Νοημοσύνη (A.I. – Artificial Intelligence) ή Τεχνητή Ζωή (A.L. – Artificial Life)<sup>22</sup>.



Το “Game of Life” (Παιχνίδι της Ζωής) εφευρέθηκε από τον μαθηματικό John Conway το 1970 και δεν έχει παίκτης, νικητές και χαμένους. Πρόκειται για ένα παράδειγμα “αυτόματου κυψελοειδούς”, το οποίο είναι οποιοδήποτε σύστημα στο οποίο εφαρμόζονται οι κανόνες για τα κύτταρα και τα γειτονικά αυτών σε έναν κανονικό κάρναβο. Οι κανόνες είναι αυτοί που αποφασίζουν το τι θα συμβεί από τη στιγμή που τα αρχικά “κομμάτια” τοποθετηθούν στη θέση εκκίνησης.<sup>23</sup>

<sup>20</sup> C. Soddu, 1992, πηγή: <http://www.soddu.it>

<sup>21</sup> Maya Kagawa / Marcello Pinzero, *Generative Design: Teaching Approach*, Generative Design Lab, Politecnico di Milano University, Italy

<sup>22</sup> Μάριος Τσιλιάκος, 2013, <http://digitalsubstance.wordpress.com>

<sup>23</sup> Paul Callahan, *What is the game of life?*, math.com, επίσημη ιστοσελίδα <http://www.math.com/>





Τα όρια μεταξύ των παραπάνω κατηγοριών δεν είναι απολύτως διακριτά και ένας επιπλέον λόγος για τη σύγχυσή τους είναι ο συνεχής συνδυασμός τους. Αυτό που διαφέρει είναι ο τρόπος εισαγωγής και επεξεργασίας των δεδομένων στην κάθε περίπτωση, οπότε και ο τρόπος που προκύπτει το τελικό μοντέλο. Για να μην αποκλειστεί καμία από τις δυνατότητες που προσφέρονται, στη διάλεξη αυτή θα χρησιμοποιείται ο γενικός όρος computational design.

## 02.4 Frank Gehry και CATIA

Η επανάσταση στα λογισμικά ήρθε το 1989<sup>26</sup> με τις επίμονες αναζητήσεις της εταιρείας του αρχιτέκτονα Frank Gehry και των συνεργατών του.

Ο Frank Gehry από νωρίς εγκατέλειψε τις επιρροές του μοντέρνου<sup>27</sup> που είχε αποκτήσει μέσα από τις αρχιτεκτονικές του σπουδές και έτεινε να σχεδιάζει εντελώς διαφορετικές μορφές, εμπνευσμένες από έργα καλλιτεχνών. Τα σκίτσα του αναπαριστούσαν περισσότερο ελεύθερες μορφές που ξεπηδούν από το έδαφος κι εκεί ακριβώς εντοπιζόταν η δυσκολία της μετάφρασης αυτών των σκίτσων σε κτήρια από τον κατασκευαστή.

Η αρχιτεκτονική πάντα ένιωθε την ανάγκη να χαρακτηρίζεται από μια ευανάγνωστη στατική ασφάλεια η οποία αποκλείει πολύπλοκες μορφές που δε μπορούν να περιγραφούν με το συμβατικό λεξιλόγιο πλάκα - δοκάρι - υποσύλωμα. Η ύπαρξη και αναγνώριση αυτών από το χρήστη είναι μέρος της λεγόμενης “αλήθειας της κατασκευής”, πολλές φορές ζητούμενο από τον αρχιτέκτονα ώστε να κάνει το χώρο ευκολότερα αναγνώσιμο και οικείο.

<sup>26</sup> Δημήτρης Παπαλεξόπουλος για το μάθημα *Ψηφιακός Σχεδιασμός της Υλικότητας*, 2η παρουσίαση, σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ΕΜΠ, 2013

<sup>27</sup> Jackie Craven, Frank Gehry, *Deconstructivist architect*, άρθρο από <http://architecture.about.com/od/greatarchitects/p/gehry.htm>

Το 1988, ο Frank Gehry, όντας ήδη διάσημος αρχιτέκτονας, επιλέχθηκε να σχεδιάσει το Walt Disney Concert Hall, στο Los Angeles της Νότιας California, φανερώνοντας όμως τα τελικά του σχέδια όχι νωρίτερα από το 1991<sup>28</sup>.

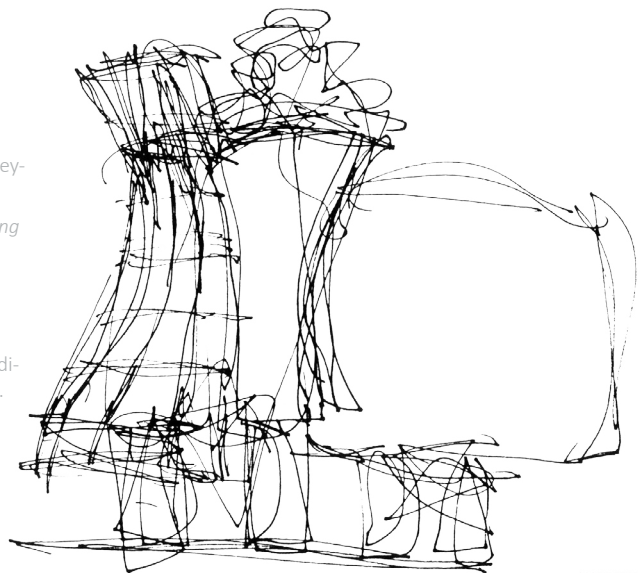
Παρόλο που το 1989 βραβεύτηκε με το βραβείο αρχιτεκτονικής Pritzker<sup>29</sup>, οι συνθετικές του ιδέες πάντα ξεπερνούσαν τις ικανότητες της κατασκευαστικής βιομηχανίας, όπως αναφέραμε παραπάνω. Εντοπίζοντας πως το πρόβλημά του βρισκόταν στα περιορισμένα σχεδιαστικά εργαλεία που είχαν για χρόνια οι αρχιτέκτονες, εισήγαγε στο γραφείο του μετά από παρότρυνση του συνεργάτη του Jim Glymph, τη χρήση του προγράμματος CATIA.

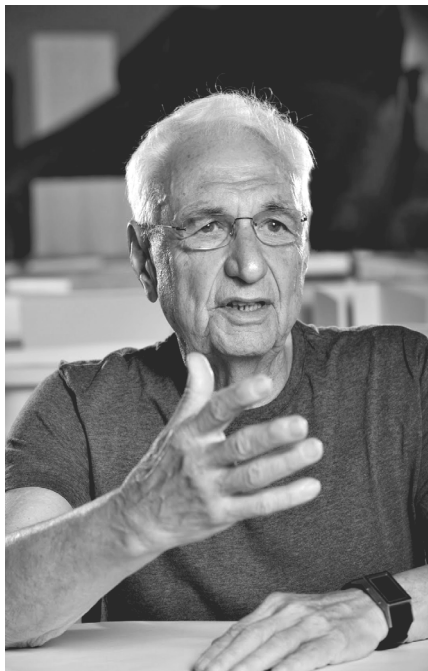
“Προσπαθούσα να φτιάξω μια διπλά καμπυλωτή γραμμή σε ένα κτήριο και δεν ήξερα πώς να το διαβιβάσω στον εργολήπτη. Ο Jim Glymph μόλις είχε μπει στην εταιρεία και τον ρώτησα αν υπήρχε κάποιος τρόπος να μετατρέψεις περίπλοκα σχήματα σε κτήρια”, δηλώνει ο ίδιος<sup>30</sup> όταν ερωτείται για το πώς κατέφυγε στην καινοτόμα λύση του. Βασικό του ζητούμενο ήταν συν τοις άλλοις να μπορούν να κατασκευαστούν όλες αυτές οι περίπλοκες μορφές όντας οικονομικά εφικτές, με τους περιορισμούς δηλαδή αληθινών προϋπολογισμών και project.

<sup>28</sup> Άρθρο *About Walk Disney Concert Hall*, πηγή: <http://www.laphil.com/philpedia/about-walt-disney-concert-hall>

<sup>29</sup> Nancy B. Solomon, AIA, *Architecture: Celebrating the Past, Designing the Future*, Visual Reference Publications Inc., first published in the US, 2008, σελ. 171

<sup>30</sup> Martyn Day, *Architect Frank Gehry Finds CAD a Boon to Art and Bussiness*, πηγή: [http://www.caddigest.com/subjects/aec/select/022304\\_day\\_gehry.htm](http://www.caddigest.com/subjects/aec/select/022304_day_gehry.htm), February 23, 2004





“Αυτή η τεχνολογία μου παρέχει έναν τρόπο να έρθω πιο κοντά στην κατασκευή. Στο παρελθόν, παρεμβάλλονταν πολλά επίπεδα μεταξύ του αρχικού μου σχεδίου και του τελικού μου κτηρίου και η αίσθηση του σχεδίου μπορούσε να χαθεί πριν να φτάσει στον κατασκευαστή. Ένιωθα σα να μιλούσα άλλη γλώσσα και τώρα, ξαφνικά, ο κατασκευαστής με καταλαβαίνει. Σε αυτήν την περίπτωση, ο υπολογιστής δεν είναι απάνθρωπος, είναι διερμηνέας.”

Frank Gehry<sup>31</sup>

Η “επανάσταση” λοιπόν, όχι μόνο για το γραφείο του Gehry, αλλά και ευρύτερα για τους αρχιτέκτονες - σχεδιαστές, ήρθε υπό τη μορφή του CATIA, ενός υψηλής ισχύος λογισμικού της εταιρείας Dassault Systemes<sup>32</sup>, το οποίο είχε αναπτυχθεί για τη Γαλλική βιομηχανία αεροδιαστημικής τη δεκαετία του 1950 και έδινε τη δυνατότητα αναπαράστασης καμπύλων, καμπύλων επιφανειών και επιφανειών από πολύπλοκες γεωμετρίες γενικότερα. Έως τότε χρησιμοποιούνταν από μηχανικούς για το σχεδιασμό και την επίλυση πολύπλοκων συστημάτων, όπως για πλοία και αεροσκάφη<sup>33</sup>. Γι’ αυτό το λόγο είναι δόκιμη η σύγκριση ενός αεροσκάφους και ενός κτηρίου την οποία κάνει ο Dennis Sheldon<sup>34</sup> των Gehry Technologies.

<sup>31</sup> Επίσημη ιστοσελίδα Frank O. Gehry and Associates, Inc., <http://www.dte.co.uk/case-studies/frank-o-gehry-associates-inc.php>

<sup>32</sup> Επίσημη ιστοσελίδα Dassault Systemes, <http://www.3ds.com/products/catia/welcome>

<sup>33</sup> Branko Kolarevic, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, εκδ. Spon, London, UK, σελ. 31

<sup>34</sup> Falconer Online Article, *Vision and Reality*, Issue 25, 2004

Και τα δύο αποτελούνται σχεδόν από τον ίδιο αριθμό κομματιών. Βέβαια, στην περίπτωση ενός φτερού αεροσκάφους, απαιτείται για την κατασκευή του εκπληκτική ακρίβεια και είναι μια πολύ δύσκολη διαδικασία, όμως στην περίπτωση μια διαρθρωτικής νεύρωσης ενός κτηρίου, απαιτείται πολύ λιγότερη πληροφορία. Άλλη μια μεγάλη και βασική διαφορά, είναι πως τα κτήρια είναι σχεδόν πάντα μοναδικά, ενώ τα αεροσκάφη δημιουργούνται με σκοπό την κατασκευή πολλών αντιγράφων, κάτι το οποίο δυσκολεύει τον αρχιτέκτονα, αφού οι πληροφορίες για το σχεδιασμό κάθε project είναι κάθε φορά διαφορετικές. Αυτός είναι και ο λόγος που ενώ η κατασκευή του αεροσκάφους είναι δυσκολότερη σε επίπεδο ακρίβειας και λεπτομέρειας και ο αρχιτέκτονας δε χρειάζεται να φτάσει σε τέτοιο βάθος χρήσης του προγράμματος, η μοναδικότητα του κάθε κτηρίου καθιστά αδύνατο τον εξορθολογισμό της διαδικασίας κατασκευής του παραμετρικά.

Η Dassault Systemes, αφού το CATIA μπήκε δυναμικά και στη βιομηχανία της αρχιτεκτονικής, καθιέρωσε το λογισμικό στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό υπό το όνομα “CATIA Systems Architecture Design”. Μια σύντομη περιγραφή του προγράμματος αναφέρει πως επιτρέπει τη μοντελοποίηση λειτουργικής αρχιτεκτονικής και τη λογική της διάσπαση στα στοιχεία που την απαρτίζουν, εξασφαλίζοντας πως οι αρχικές απαιτήσεις του συστήματος απαντώνται καθ’ όλο τον κύκλο ανάπτυξης του προϊόντος.

Πλέον πολλά γνωστά αρχιτεκτονικά γραφεία έχουν αναπτύξει τα δικά τους λογισμικά βασισμένα σε αυτή τη σχεδιαστική λογική και τις δυνατότητες των BIM<sup>35</sup> προγραμμάτων, που συμπεριλαμβάνονταν και στον τρόπο εργασίας του Frank Gehry. Για παράδειγμα, το 2002, το γραφείο Gehry Partners ίδρυσε την εταιρεία “Gehry Technologies”, για τη δημιουργία του λογισμικού “Digital Project”.

<sup>35</sup> Από την ιστοσελίδα του ICD (Institute for Computational Design – <http://www.icd.uni-stuttgart.de>) προκύπτει πως το BIM (Building Information Modeling- Πληροφορικό Ομοίωμα Κτηρίου) είναι μια μέθοδος συγκέντρωσης πληροφοριών και απόκτησης γνώσεων για ένα κτηριακό έργο καθ’ όλη τη διάρκεια ζωής του. Προορίζεται να διευκολύνει την ανταλλαγή των πληροφοριών αυτών μεταξύ των μετεχόντων στο έργο. Χαρακτηριστικά ο Ιωάννης Βενέρης στο βιβλίο του “Πληροφορική και Αρχιτεκτονική: Έννοιες και Τεχνολογίες” αναφέρει πως ο BIM “επιτρέπει το συντονισμένο σχεδιασμό όλων των ομάδων μελετητών”. Συχνά αντιμετωπίζεται ως εργαλείο για την καταμέτρηση και προσμέτρηση όλων των στοιχείων που εισάγονται στο μοντέλο, σύμφωνα όμως με τον Brad Hardin (2009), το BIM δεν είναι απλώς ένα εργαλείο αλλά μια διαδικασία και λογισμικό. (μετάφραση: Γ. Αναγνωστόπουλος)

### 02.4.1 Δοκιμή κι επιτυχία

Η πρώτη δοκιμασία μεγάλης κλίμακας για το λογισμικό, ήρθε με το Walt Disney Hall, που αναφέρθηκε προηγουμένως, το οποίο ολοκληρώθηκε μετά από μεγάλη αναμονή το 2003. Μέσα σε αυτό το διάστημα, περατώθηκαν με τον ίδιο τρόπο και άλλα γνωστά έργα του Gehry, όπως το Fish Sculpture (Barcelona, 1992), το μουσείο Guggenheim Bilbao (Bilbao, 1997), το Experience Music Project (Seattle, 2000). Το Guggenheim για πολλούς αποτελεί το κτήριο που σηματοδοτεί την αλλαγή σελίδας για την αρχιτεκτονική σε αυτή τη νέα εποχή, καθώς οι κριτικές γι' αυτό ήρθαν άμεσα με την ανέγερσή του. Το κύριο ζήτημα επαίνου ή κριτικής, αφορούσε το λεγόμενο “Bilbao effect”, δηλαδή την αναγέννηση του ενδιαφέροντος του κοινού για την αρχιτεκτονική, σε συνδυασμό με μια τάση των “ελίτ” πελατών να προσλαμβάνουν διάσημους αρχιτέκτονες για το σχεδιασμό των κατοικιών τους, ικανούς να προκαλέσουν το απαιτούμενο επίπεδο θαυμασμού, ή αλλιώς “wow factor”<sup>36</sup>.



<sup>36</sup> Nancy B. Solomon, AIA, *Architecture Celebrating the Past, Designing the Future*, Visual Reference Publications Inc., first published in the US, 2008, σελ. 171

Σε πολύπλοκα συστήματα στα οποία μπορούν να συμβούν πολλές δράσεις ταυτόχρονα, είναι φυσικό να προκύπτουν μη αναμενόμενες αποτυχίες. Και, μπορεί η χρήση πολλαπλών ετερογενών περιβαλλόντων σχεδιασμού να μοιάζει απαραίτητη για την εκτέλεση μεμονωμένων υποσυστημάτων που υπακούν σε διαφορετικές αρχές, αλλά είναι ακατάλληλη στην περίπτωση σύνθετων συστημάτων που υπακούν σε όλες αυτές τις διαφορετικές αρχές συνολικά. Με λίγα λόγια, ο σχεδιασμός των πολύπλοκων συστημάτων απαιτεί την εγκατάλειψη του γραμμικού τρόπου παραγωγής, διαδικασία συνηθισμένη μεταξύ αρχιτέκτονα - στατικού - λοιπών μηχανικών - κατασκευαστή.

## **02.5 τι προσφέρει**

Το computational design έχει προ πολλού ξεπεράσει τη δοκιμαστική του περίοδο, αποδεικνύοντας πως είναι εφικτό να εφαρμοστεί αποτελεσματικά. Κερδίζει συνεχώς έδαφος, χωρίς αυτό να σημαίνει πως απορρίπτεται η πιο παραδοσιακή αρχιτεκτονική. Το προβάδισμά του σε σχέση με τα παραδοσιακά σχεδιαστικά εργαλεία ή τα προγράμματα CAD είναι επακόλουθο τόσο στοιχείων που εκφράζονται από τον ίδιο τον ορισμό του, όπως η παράμετρος, όσο και από χαρακτηριστικά τα οποία αντιλαμβάνεται κανείς καλύτερα βιωματικά κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού.

### 02.5.1 Δυναμικότητα

Η δυναμική του εντοπίζεται στην παραγωγή δικτύων παραμέτρων και σχέσεων χωρίς αποκλεισμούς. Η χρήση είναι μια αφηγηματική δομή, παράγει μια αφήγηση βάσει της οποίας σχηματίζονται αποφάσεις καθοριστικές γι' αυτή τη μεταβλητή αρχιτεκτονική. Μιλάμε για μια κατασκευή αφηγήσεων χρήσης (τα γνωστά “σενάρια”) που προσδίδει μια οργανικότητα στη μορφή. Οι αφηγήσεις αυτές, είναι μια σύνθεση πολλαπλών αφηγήσεων αρχιτεκτονικής, τυπολογίας, απόδοσης, υλικών, σχετικής συμμετοχής/ παραγωγής εντός ορίων και όχι αυτόνομη αναγνωσιμότητα των εσωτερικών σχέσεων του χώρου. Η χρήση άλλωστε είναι αυτή που καθιστά τη μορφή ως κάτι περισσότερο από ένα απομονωμένο φυσικό ή αισθητικό αντικείμενο: παρέχει στο αρχιτεκτονικό έργο εκφάνσεις και υπονοούμενα που μπορούν να αντηχούν έξω από ένα εσωτερικευμένο πεδίο σημασιοδότησης.

Οι παραμετροποιημένες κατασκευές έχουν τη δυνατότητα να γίνουν πιο περιεκτικές, πιο προσαρμόσιμες και λιγότερο απολυταρχικές. Επιτρέπουν τη δημιουργία ενός νέου μοντέλου, που δε στηρίζεται στην επίμονη αντίληψη του μοντέρνου σχετικά με τη μορφή - λειτουργία, αλλά είναι πιο ευπροσάρμοστο, χωρίς αποκλεισμούς και κατ' επέκταση πιο σχετικό και προσαρμόσιμο κοινωνικά<sup>37</sup>. Στην ουσία αμφισβητούνται οι αρχές του μοντερνισμού, που ήταν αυτές που αρχικά ενέπνευσαν την ψηφιακή σχεδίαση.

<sup>37</sup> Bob Sheil, *Design Through Making: an Introduction*, Design Through Making, Architectural Design (AD), Vol75/No4, July/August 2005, editor: Helen Castle, εκδ. Wiley, London, σελ.9



## 02.5.2 προσέγγιση της υλικότητας

*“Να σκεφτούμε τις απαρχές, την καταγωγή, της μορφής... όχι ως κάτι που επιβάλλεται σε μια αδρανή ύλη, όχι ως μια, ιεραρχικά προερχόμενη από τα πάνω, εντολή μιας γραμμής παραγωγής, αλλά ως κάτι που εμπεριέχεται στα ίδια τα υλικά, μια μορφή που θα διεγείρει αυτά τα υλικά, καθώς τους επιτρέπουμε να έχουν λόγο στις κατασκευές που δημιουργούμε.”*

*Manuel de Landa<sup>38</sup>*

Με την εισαγωγή στη νέα εποχή σχεδιασμού δίνεται μια νέα δυναμική στα υλικά και στο πώς αυτά χρησιμοποιούνται. Η ύλη έχει πολλαπλές πιθανές μορφές, που μόνο υπό τους όρους παραμέτρων μπορούν να ξεταστούν, και έχει εξαιρετική διαφορά και σημασία όταν αντί για μέσο έκφρασης του σχεδίου αποτελεί την κινητήριό δύναμή του. Το σχέδιο καλείται να εκφράσει την υλικότητα, μέσω μορφών εμπνευσμένων από τις δυνατότητες που προσφέρουν τα υλικά. Αυτές οι δυνατότητες πλέον μπορούν να εκφραστούν ως παράμετροι αρχιτεκτονικής σύνθεσης, δίνοντας νέα διάσταση στη φύση του χρησιμοποιούμενου υλικού.

Αυτός ο νέος στρακτουραλισμός<sup>39</sup>, ορίζει την πολιτική στροφή που μας οδηγεί προς μια καινούργια πρακτική των υλικών, ανοιχτή στον οικολογικό δυναμισμό. Πρόκειται για έναν αρχιτεκτονικό σχεδιασμό που υποκινείται a priori από έννοιες δομικές και υλικές και του οποίου η δόμηση είναι γενεσιουργός βάση του σχεδιασμού. Σήμερα, πολύ λίγοι καταφέρνουν τη δημιουργία δομών που πληρούν τις απλές απαιτήσεις για την επίτευξη του στόχου “Triple Zero”<sup>40</sup> (μηδενική κατανάλωση ενέργειας, μηδενικές εκπομπές ρύπων - όχι μόνο του CO<sub>2</sub> - και μηδενική δημιουργία αποβλήτων).

<sup>38</sup> Manuel de Landa, *Material Complexity, Digital Tectonics*, Academy Press, 2004 (μετάφραση Δ. Παπαλεξόπουλος)

<sup>39</sup> Riva Oxman / Robert Oxman, *Introduction*, *The New structuralism*, Architectural Design (AD), Vol80/No4, July/August 2010, guest-edited by Rivka Oxman and Robert Oxman, εκδ. Wiley, London, σελ. 23

<sup>40</sup> Werner Sobek, *Radical Sources of Design Engineering*, *The New structuralism*, Architectural Design (AD), Vol80/No4, July/August 2010, guest-edited by Rivka Oxman and Robert Oxman, εκδ. Wiley, London, σελ. 33

### 02.5.3 γεφυρώνοντας το χάσμα

Καταλυτική είναι η συμβολή του computational design στη γεφύρωση του κενού μεταξύ σχεδιασμού και κατασκευής, που έχει πλέον σχεδόν επιτευχθεί, με τρόπο μη αναστρέψιμο<sup>41</sup>. Από τον 15ο έως τον 21ο αιώνα, ο αρχιτέκτονας έφτιαχνε σχέδια, μακέτες και κείμενα για να περιγράψει κτήρια που δεν κατασκεύαζε ο ίδιος. Σήμερα μαρτυρούμε την ύπαρξη ενός εικονικού εργοταξίου με βασικότερο μέλος τον αρχιτέκτονα, ο οποίος αναπόφευκτα εκτός από κύριος των σχεδιαστικών αποφάσεων, γίνεται και κύριος του κτηρίου συνολικά και καλείται να πάρει ήδη από τη διαδικασία του σχεδιασμού αποφάσεις που αφορούν υλικά, συνδεσμολογία, επίλυση κατασκευής. Αυτή τη φορά, ό,τι σχεδιάζει ο αρχιτέκτονας στο 3d περιβάλλον του υπολογιστή, μπορεί ακριβώς έτσι να κατασκευαστεί, με όλα τα στοιχεία που το απαρτίζουν.

Όπως παρατήρησε ο William Mitchell, οι αρχιτέκτονες σχεδίαζαν αυτά που μπορούσαν να χτίσουν και έχτιζαν αυτά που μπορούσαν να σχεδιάσουν<sup>42</sup>. Η αμοιβαία αυτή σχέση αναπαράστασης και κατασκευής παραμένει και στην ψηφιακή εποχή, με τη διαφορά ότι τα computational λογισμικά σε συνδυασμό με τα CNC(Computer Numerical Control) μηχανήματα για την κατασκευή των πολύπλοκων γεωμετριών ήρθαν να προστεθούν στις δυνατότητες του αρχιτέκτονα, ο οποίος σχεδιάζει εντός των ορίων των νέων αυτών μηχανημάτων. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η μεγαλύτερη και άμεση εμπλοκή του σχεδιαστή στην κατασκευή. Η έρευνα για την κατασκευή ενός παραμετροποιημένου μοντέλου μπορεί να τον ωθήσει ως την τελευταία λεπτομέρεια μελέτης κάποιου στιγμιότυπου της διαδικασίας μεταβολής του σχεδίου, ένα “παραπροϊόν”<sup>43</sup> της ίδιας της έρευνας.

<sup>41</sup> Bob Sheil, *Design Through Making: an Introduction*, Design Through Making, Architectural Design (AD), Vol75/No4, July/August 2005, editor: Helen Castle, εκδ. Wiley, London, σελ. 7

<sup>42</sup> William J. Mitchell, 2001

<sup>43</sup> John Thornton, *Fabrication Research*, Design Through Making, Architectural Design (AD), Vol75/No4, July/August 2005, editor: Helen Castle, εκδ. Wiley, London, σελ. 103

#### 02.5.4 μαζική εξατομίκευση (mass customization<sup>44</sup>)

Το Φορντιανό μοντέλο γραμμικής παραγωγής είχε ως αποτέλεσμα στην κατασκευή την επικράτηση της τυποποίησης, η οποία απαιτούσε απλές γεωμετρίες για την επίτευξη χαμηλότερου κόστους, την προκατασκευή και την επί τόπου εγκατάσταση. Οι κατασκευαστές σχεδόν πάντα έφτιαχναν ολόκληρες παρτίδες ή σειρές προϊόντων. Σήμερα έχει πλέον ξεπεραστεί η εικόνα της μαζικής παραγωγής του 20ού αιώνα και το σημείο κλειδί για την κατασκευή δεν είναι αν το αντικείμενο θα είναι κάποιο από τα πρότυπα αντικείμενα ή όχι, αλλά αν μπορεί ή δε μπορεί να κατασκευαστεί σε προσιτή τιμή, και πολύ περισσότερο αν έχεις τη γνώση και την τεχνολογία να το κατασκευάσεις μόνος σου. Η ψηφιακά καθοδηγούμενη κατασκευή επιτρέπει την παραγωγή μοναδικών και σύνθετων στοιχείων χωρίς να είναι υψηλό το κόστος. Με άλλα λόγια, η ποικιλία δε συμβιβάζεται πια για χάρη της αποδοτικότητας και της οικονομίας.

<sup>44</sup> ο όρος χρησιμοποιείται και αναλύεται όπως χρησιμοποιείται και από τον Fabian Scheurer, *Materialising Complexity*, The New structuralism, Architectural Design (AD), Vol80/No4, July/August 2010, guest-edited by Rivka Oxman and Robert Oxman, εκδ. Wiley, London, σελ. 91

Η παραμετροποίηση και εξατομίκευση στην παραγωγή είναι εξίσου αναπτυσσόμενη και σε άλλους κλάδους. Για παράδειγμα, η Motorola επιτρέπει την πλήρη εξατομίκευση των βομβητών που προσφέρει, στην ίδια τιμή, καθιστώντας δυνατούς περισσότερους από 29 εκατομμύρια διαφορετικούς συνδυασμούς, ενώ η Panasonic στην Ιαπωνία, κατασκευάζει ποδήλατα αποκλειστικά για τις διαστάσεις του πελάτη και με τις επιπλέον επιλογές που προσφέρει, οι δυνατοί συνδυασμοί φτάνουν τα 11 εκατομμύρια. Αντίστοιχα η εταιρεία Levi's, υπόσχεται τζιν φτιαγμένα αποκλειστικά για τους πελάτες της, με λίγα μόλις περισσότερα χρήματα, απλά σκανάροντας με το ειδικό μηχάνημα το σώμα του πελάτη για να πάρει τις ακριβείς μετρήσεις. Ο κόσμος της μόδας τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται εξαιρετικά γοητευμένος από τις δυνατότητες του computational design, τόσο στην κατασκευή εξατομικευμένων κοσμημάτων, όσο και ρούχων. Δεν πάει πολύς καιρός από την εβδομάδα μόδας του Παρισιού για το φθινόπωρο 2013, όπου έκαναν την εμφάνισή τους στην πασαρέλα παραμετρικά σχεδιασμένα και κατασκευασμένα φόρεματα<sup>45</sup>.



<sup>45</sup> Sam Byford, *3D-printed dresses make it onto Paris Fashion Week catwalk*, <http://www.theverge.com/2013/1/22/3905674/paris-fashion-week-runway-has-3d-printed-dresses>, January 22, 2013. Πρόκειται για τη σχεδιάστρια μόδας Iris Van Herpen. Τα 3d-printed φορέματά της είχαν καταφέρει να μπουν στη λίστα του περιοδικού Times “top inventions of 2011”, ενώ παρόμοια έχουν φορεθεί από πρόσωπα της showbiz όπως η Björk και η Dita Von Teese.

Το design lab “Do The Mutation” αποφάσισε να αναβαθμίσει τις παραδοσιακές Βενετσιάνικες μάσκες, προσαρμόζοντάς τες στο πρόσωπο του κάθε πελάτη με ειδικές μετρήσεις μέσω υπολογιστή. Με τη βοήθεια του Kinect και του 3d printing, παραμετροποιείται, σχεδιάζεται και κατασκευάζεται ένα μοναδικό κομμάτι<sup>46</sup>.

```

kqjh
+ isochrome threshold
+ isochroma threshold
+ move X
+
+ move Y
+
+ move Z
+ toggle image mode
h toggle button
h isochrom curves
a generate mask/surface
e export set
i imports set
h imports curves
a exports and image
n select all / deselect all
B/FACE: export curves
ENTER: apply curves
Z: save mask(s)
Z: undo
x: delete selection
select control points
add control points to selection
select curve
add curve to selection

```

CAMERA MODE  
threshold: 0.70  
total curves: 1.054  
selected curves: 0



```

kqjh
+ isochrome threshold
+ isochroma threshold
+ move X
+
+ move Y
+
+ move Z
+ toggle image mode
h toggle button
h isochrom curves
a generate mask/surface
e export set
i imports set
h imports curves
a exports and image
n select all / deselect all
B/FACE: export curves
ENTER: apply curves
Z: save mask(s)
Z: undo
x: delete selection
select control points
add control points to selection
select curve
add curve to selection

```

CAMERA MODE  
threshold: 0.70  
total curves: 1.311  
selected curves: 0

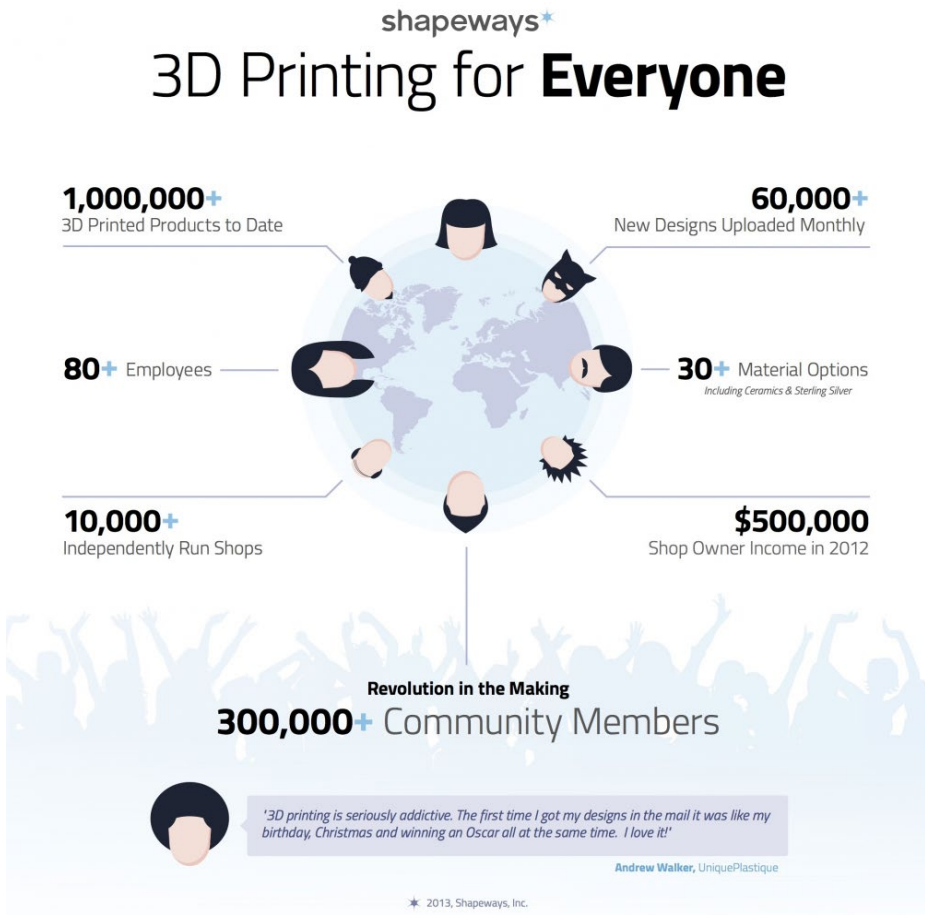


<sup>46</sup> “Do The Mutation” design lab, επίσημη ιστοσελίδα <http://www.dothemutation.wordpress.com/>

Αναγνωρίζοντας την καθιέρωση των ψηφιακών κατασκευών, υπάρχουν ήδη online εταιρείες που εξυπηρετούν τις ανάγκες ατόμων - μονάδων για την κατασκευή εξατομικευμένων αντικειμένων. Μπορεί κάποιος που δεν έχει σχέση με αρχιτεκτονική ή design να μην είναι σε θέση να παράξει το δικό του μοντέλο έτοιμο για κατασκευή, αλλά καλείται να διαλέξει ανάμεσα σε πολλά ήδη ψηφιοποιημένα μοντέλα σχεδιαστών, συχνά με τη δυνατότητα εξατομίκευσης χαρακτηριστικών τους. Αυτή η δυνατότητα ανοίγει νέους ορίζοντες, δίνοντας την ευκαιρία δημιουργίας προϊόντων χωρίς την εύρεση χρηματοδότη και καταργώντας τις γραμμές μαζικής παραγωγής, της οποίας το όφελος διαφαίνεται μόνο μέσω της παραγωγής μεγάλης ποσότητας.



Η shapeways είναι μια πολύ γνωστή online εταιρεία που επιτρέπει την πραγματοποίηση ενός 3d σχεδίου σε φυσικό μοντέλο. Εκτός από την επιλογή να στείλεις κάποιον προσωπικό σχέδιο για 3d εκτύπωση, υπάρχουν ήδη εκτυπωμένα προϊόντα ταξινομημένα σε κατηγορίες. Σε μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί βάσει computational design, δίνεται πολλές φορές η δυνατότητα στον επίδοξο πελάτη να επιλέξει επιμέρους χαρακτηριστικά – παραμέτρους, όπως αυτός επιθυμεί<sup>47</sup>.



<sup>47</sup> βίντεο *Will 3d printing change the world?* | *Off books* | *Pbs*, <http://www.youtube.com/watch?v=X5AZ-zOw7FWA>

Ανακεφαλαιώνοντας, τα σημεία - κλειδιά του computational design τα οποία θα μας απασχολήσουν και περισσότερο στη συνέχεια, είναι η λογική εισαγωγής παραμέτρων, η επιθυμία του χρήστη που εισάγει την 4η διάσταση και η μεταβλητότητα μέσα στο χρόνο. Κύριο ζητούμενο θεωρούμε και τη διαδραστικότητα με το χρήστη, ώστε να επιτευχθεί η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εξατομίκευση από μέρους του αλλά και, εί δυνατόν, προσαρμοστικότητα της αρχιτεκτονικής στις ανάγκες του. Το υπολογιστικό περιβάλλον είναι σε θέση να μεταβάλλει το παραμετροποιημένο μοντέλο ανάλογα με τα ζητούμενα, όμως αυτή η μεταβλητότητα θα πρέπει να εισαχθεί πιο αποτελεσματικά στην ίδια την κατασκευή. Θα μπορούσε λοιπόν να συνδυαστεί ο καθολικός χαρακτήρας του computational design με την άμεση ανταπόκριση και διαδραστικότητα μιας επιστήμης όπως αυτή των έξυπνων υλικών;





~~03~~

# ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ



03.1 υλικά και αρχιτεκτονική

03.2 ορισμός

03.3 το πρώτο έξυπνο υλικό

03.4 έξυπνα υλικά στην αρχιτεκτονική

03.5 βασικά χαρακτηριστικά

03.6 τύποι

03.7 το πέρασμα στη μικροκλίμακα

### 03.1 υλικά και αρχιτεκτονική

Τα υλικά ήταν ανέκαθεν άμεσα συνδεδεμένα με την αρχιτεκτονική, αφού αποτελούν σημαντικό κομμάτι τόσο της διαδικασίας του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού όσο και του τελικού αποτελέσματος. Η σχέση αυτή ήταν αρκετά απλή μέχρι τη Βιομηχανική Επανάσταση, όπου τα υλικά επιλέγονταν είτε λόγω της διαθεσιμότητας στην εκάστοτε περιοχή και της χρησιμότητας (ανάλογα με τις ιδιότητες τους), είτε για την εμφάνιση και τα διακοσμητικά τους χαρακτηριστικά. Για πολλούς αιώνες, ο αρχιτέκτονας έπρεπε να δεχτεί και να δουλέψει με τις ιδιότητες ενός πρότυπου υλικού, όπως το ξύλο ή η πέτρα, σχεδιάζοντας έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στους περιορισμούς που του έβαζε<sup>1</sup>. Στην ουσία, η γνώση αποκτιόταν μέσω της παρατήρησης, του πειραματισμού και της εμπειρίας και γι' αυτό οι μεγάλοι οικοδόμοι ήταν εκείνοι που είχαν κατακτήσει τις γνώσεις και τις δεξιότητες που ήταν απαραίτητες για να δουλεύουν με τα διαθέσιμα υλικά, συχνά μέσα από καταστροφικές δοκιμές και λάθη.

Η ιστορία της σύγχρονης αρχιτεκτονικής μπορεί σχεδόν να προβληθεί μέσα από το φακό της ιστορίας της αρχιτεκτονικής των υλικών. Ξεκινώντας από τον 19ο αιώνα, με τη γενίκευση του χάλυβα, που είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση κτηρίων μακράς διάρκειας ζωής και μορφών με μεγάλα ύψη, τα υλικά μεταπηδούν από τον προ-σύγχρονο ρόλο τους (όπου είναι υποδεέστερα σε σχέση με τις αρχιτεκτονικές ανάγκες), σε ένα μέσο για την επέκταση της λειτουργικής απόδοσης και την κάλυψη νέων αναγκών<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Mohammad Javad Sadeghi / Payam Masudifar / Foad Faizi, *The Function of Smart Material's behavior in architecture*, 2011 International Conference on Intelligent Building and Management, Singapore, 2011

<sup>2</sup> Michelle Addington and Daniel Schodek, *Smart Materials and New Technologies*, Architectural Press, 2005, σελ. 2-3

Στην περίοδο του μοντέρνου, η κατανόηση του κτηρίου και ο σχεδιασμός της μορφής του συνδέθηκε με τις έννοιες του σκελετού και της πλήρωσης, προσανατολίζοντας την κατασκευή σε υλικά τα οποία θα μπορούσαν να ανταποκριθούν μέσω των ιδιοτήτων τους στις εκφραστικές απαιτήσεις αυτής της σύλληψης. Ο αρχιτέκτονας καλούνταν να συνθέσει τα δομικά υλικά που του προσέφερε η βιομηχανία έτσι ώστε να εξασφαλίσει τις συνθετικές αρχές και τους περιορισμούς του κτηρίου. Αυτή η ταξινόμηση των υλικών σε φέροντα και υλικά πλήρωσης διαμόρφωσε ένα συγκεκριμένο ύφος και η επιλογή του εκάστοτε υλικού, ως τυποποιημένο προϊόν της βιομηχανικής παραγωγής, στην κατάλληλη θέση, θεωρούνταν ότι μπορεί να αποδώσει αξίες όπως η καθαρότητα, η εντιμότητα και η ειλικρίνεια, που αποτελούσαν θεμελιώδεις συνθετικές αρχές. Η ανάδειξη της φύσης και της υφής των υλικών καθώς και η μαρτυρία των κατασκευαστικών μεθόδων ήταν κυρίαρχη στο μοντέρνο κίνημα: από τους ξυλότυπους του Le Corbusier και τις συνδέσεις των δομικών υλικών του Carlo Scarpa<sup>3</sup>, ως τα επιτηδευμένα εμφανή σημάδια της σβούρας στην πέτρα και τις οπές των καρφιών στις πόρτες Jørn Utzon<sup>4</sup>.

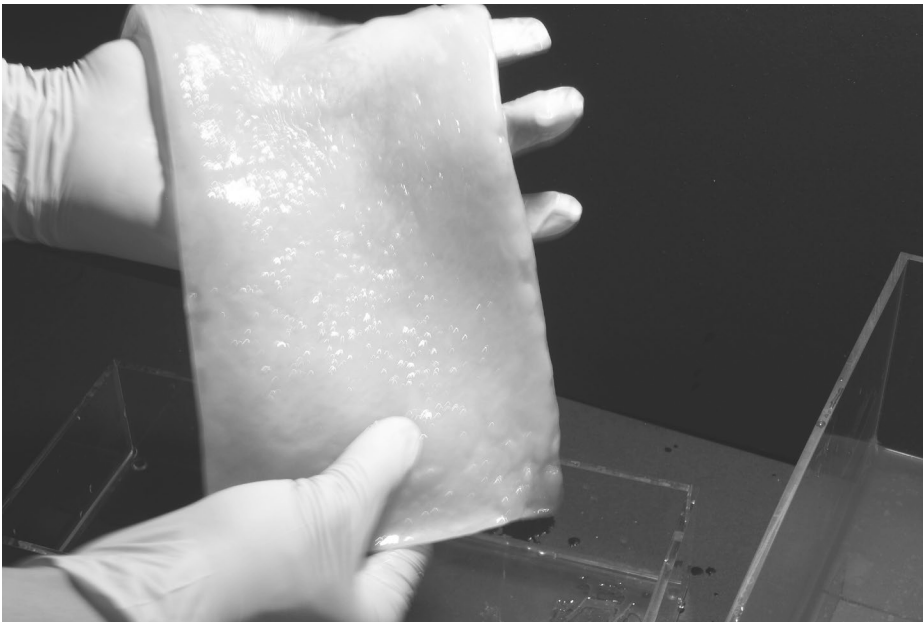
Μετά το Μοντέρνο, ο τρόπος αντίληψης και διαχείρισης της υλικότητας στην αρχιτεκτονική αλλάζει, αντανακλώνοντας έναν συνολικό μετασχηματισμό στον τρόπο κατανόησής της. Παράλληλα, αρχίζει να ενσωματώνεται στη σχεδιαστική διαδικασία η ίδια η δημιουργία του υλικού, έτσι ώστε να αποτελέσει αδιάσπαστο κομμάτι της. Το υλικό γεννιέται μαζί με τη μορφή και έτσι τόσο η διαδικασία παραγωγής του όσο και η κατασκευαστική διαδικασία αποτελούν μέρος του συνθετικού προβλήματος<sup>5</sup>.

<sup>3</sup> ο Carlo Scarpa (1906-1978) ήταν Ιταλός αρχιτέκτονας. Οι μορφές, οι γεωμετρικές χαράξεις, τα υλικά και οι κατασκευαστικές τεχνικές, είναι μερικά από τα στοιχεία που του έδωσαν τον τίτλο του "αρχιτέκτονα της λεπτομέρειας" (πηγή: <http://architect.architecture.sk/carlo-scarpa-architect/carlo-scarpa-architect.php>)

<sup>4</sup> ο Jørn Utzon (1918-2008) ήταν Δανέζος αρχιτέκτονας. Είχε μια σκανδιναβική αίσθηση ανησυχίας για τη φύση η οποία, στο σχεδιασμό του, έδινε έμφαση στη σύνθεση της μορφής, του υλικού και της λειτουργίας για κοινωνικές αξίες. (πηγή: <http://jornutzon.sydneyoperahouse.com/biography.htm>)

<sup>5</sup> Μαρία Βογιατζάκη, *Η μετα-φυσική του τεχνητού στη σύλληψη της υλικότητας*, (από το περιοδικό του Σ.Α.Θ.-τεύχος 9), Αύγουστος 2009, πηγή: [www.greekarchitects.gr](http://www.greekarchitects.gr)

Κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα οι αρχιτέκτονες ήρθαν αντιμέτωποι με τα τεχνολογικά υλικά, που παράγονται μέσα από νέες ψηφιακές τεχνολογίες παραγωγής. Έτσι, αντί να περιορίζονται σε συγκεκριμένα υλικά που παράγονταν από τη βιομηχανία, με ορισμένες διαστάσεις και προδιαγραφές, η νέα προσέγγιση καθιστούσε δυνατό να προσδιορίζονται κατά το σχεδιασμό τα επιθυμητά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες και να διερευνάται εξ αρχής το υλικό που θα μπορέσει καλύτερα να τα εξασφαλίσει.



Μέχρι και σήμερα, βέβαια, οι αρχιτέκτονες συχνά αντιμετωπίζουν τα υλικά ως μέρος μιας σχεδιαστικής παλέτας, από την οποία τα επιλέγουν και τα χρησιμοποιούν στο έργο τους. Γι αυτό και το σύστημα ταξινόμησης των υλικών από τους ίδιους πρόκειται στην ουσία για μια λίστα υλικών, και εξηγεί περισσότερο το “τι είναι ένα υλικό και πού χρησιμοποιείται”. Με τον τρόπο αυτό αφαιρείται η ευθύνη της απόφασης από τον αρχιτέκτονα, και έτσι πρόκειται περισσότερο για τυποποίηση παρά για μια ενημερωμένη επιλογή. Το αποτέλεσμα, λοιπόν, είναι πληροφορία και όχι γνώση.

Τα έξυπνα υλικά έρχονται να αποτελέσουν μια πολύ σημαντική προσθήκη στη σχεδιαστική αυτή παλέτα του αρχιτέκτονα, δίνοντας του ακόμα περισσότερες και νέες δυνατότητες. Ωστόσο, δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται απλώς σαν επιπλέον “χρώματα”, αφού στην ουσία αποτελούν ένα ανοικτό σύστημα σχεδίασης και παραγωγής υλικών, το οποίο πληροί τις προϋποθέσεις να αντεπεξέλθει στα σημαντικά προβλήματα και στις απαιτήσεις που θα τεθούν εν καιρώ. Συχνά τα έξυπνα υλικά θεωρούνται ως μια λογική επέκταση της τροχιάς στην ανάπτυξη των υλικών προς πιο εξειδικευμένες αποδόσεις. Τα συμβατικά υλικά βελτιώνονται και δέχονται επανενισχύσεις, προκειμένου να αποδώσουν καλύτερα ή και να παρουσιάσουν νέα ζητούμενα χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια, η λογική βελτίωσης οδηγεί στην ανάπτυξη νέων υλικών. Η σύνθεση ως διαδικασία παραγωγής ισοδυναμεί με το συνδυασμό υλικών, προκειμένου να παραχθεί ένα νέο σύνθετο, το οποίο και αναδεικνύει νέες ποιότητες, λειτουργώντας ως μέσο πειραματισμού και έρευνας νέων, απρόσμενων αποτελεσμάτων. Αυτή η δημιουργική και συνθετική ροή συμπαρασύρει την πληροφορία, σημαντική παράμετρο της εποχής μας. Τα υλικά αποκτούν ευφυΐα, τα έξυπνα υλικά φέρουν και διαχειρίζονται πληροφορία και η διαδραστικότητά τους είναι γεγονός. Τα έξυπνα υλικά, επομένως, ενσαρκώνουν το πρόβλημα της σχέσης μεταξύ πληροφορίας και ύλης, αποτελώντας ένα υβριδικό προϊόν της επιστήμης της πληροφορίας και της επιστήμης των υλικών, χαρακτηριστικό παράδειγμα της νέας διεπιστημονικής τεχνολογίας<sup>6</sup>. Έχουμε να κάνουμε με ένα προϊόν το οποίο αναδύεται μέσα από μια συνθετική προσέγγιση που προϋποθέτει τη συνάντηση ειδικών από διάφορους επιστημονικούς κλάδους, οι οποίοι ενώνουν τις γνώσεις και τις ικανότητες τους. Σύμφωνα με τις επιστημονικές κοινότητες τέτοια υλικά υπάρχουν και στην αρχιτεκτονική, μπορούν να συμπλακούν μεταξύ τους, και ήδη εφαρμόζονται σε ποικίλα περιβάλλοντα<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Bernadette Bensaude-Vincent, *Eloge du mixte / Eulogy to mix, material matters / Techniques & architecture*, 05/2000

<sup>7</sup> Γιάννης Ορφανός, *Η δυναμικοποίηση των υλικών*, διάλεξη, σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ, 2003



## 03.2 ορισμός

Μιλώντας, όμως, για ευφυή υλικά, ας δούμε τι ακριβώς εννοούμε με τον όρο αυτό. Σύμφωνα με την Encyclopedia of Chemical Technology, ως “έξυπνα υλικά” περιγράφονται “τα αντικείμενα που ανιχνεύουν περιβαλλοντικά γεγονότα, επεξεργάζονται τις αισθητηριακές πληροφορίες και κατόπιν ενεργούν επί του περιβάλλοντος τους”<sup>8</sup>. Τα υλικά αυτά, δηλαδή, μπορούν να τροποποιήσουν τη συμπεριφορά τους με δεδομένο και ελεγχόμενο τρόπο (αλλάζοντας για παράδειγμα το σχήμα, τη δυσκαμψία, τη θέση, τη φυσική συχνότητα ή άλλα μηχανικά χαρακτηριστικά τους), ανταποκρινόμενα σε κάποιο ερέθισμα που δέχονται από το περιβάλλον τους, όπως μια μεταβολή της θερμοκρασίας ή κάποιο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Οι ιδιότητές τους είναι ευμετάβλητες και ως εκ τούτου ανταποκρίνονται στις παροδικές ανάγκες.

Τα υλικά αυτά περιλαμβάνουν στενά ενσωματωμένους αισθητήρες και ενεργοποιητές, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο κύκλωμα ελέγχου. Με τους αισθητήρες αντιλαμβάνονται τις αλλαγές στο εξωτερικό περιβάλλον (π.χ. επιβαλλόμενη τάση ή αλλαγή θερμοκρασίας) ή στη δομή τους (π.χ. ανάπτυξη ατελειών ή μεταβολή της κρυσταλλικής δομής) και με τους ενεργοποιητές ανταποκρίνονται σε αυτές, αλλάζοντας κάποια ιδιότητά τους προς ορισμένη κατεύθυνση. Το κύκλωμα ελέγχου είναι αυτό που προσδίδει τη νοημοσύνη για να ερμηνεύονται τα δεδομένα που λαμβάνονται από τη συστοιχία αισθητήρων. Το σύστημα αισθητήρας - κύκλωμα ελέγχου - ενεργοποιητής, παρομοιάζεται από τον Robert Newnham, καθηγητή των Solid State Sciences στο Pennsylvania State University, με το σύστημα νεύρα - εγκέφαλος - μύες, του ανθρώπινου σώματος<sup>9</sup>.

<sup>8</sup>Kroschwitz, J., *Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley & Sons, New York, 1992

<sup>9</sup>Franklin Hoke, *What is a smart material?*, April 1992, πηγή: <http://research.dh.umu.se>



Ένα κοινό παράδειγμα της αναστρέψιμης αντίδρασης των έξυπνων υλικών είναι η επικάλυψη στους φακούς των γυαλιών οράσεως που αντιδρά με το επίπεδο της υπεριώδους ακτινοβολίας που δέχεται, μετατρέποντας τα σε γυαλιά ηλίου, όταν κάποιος βρίσκεται σε εξωτερικό περιβάλλον και ξανά σε συνηθισμένα γυαλιά όταν επιστρέψει σε εσωτερικό χώρο. Αυτή η επίστρωση είναι κατασκευασμένη από ένα έξυπνο υλικό το οποίο ανήκει στην κατηγορία των φωτοχρωμικών, που θα αναφέρουμε παρακάτω.<sup>10</sup>

<sup>10</sup>πηγή: <http://www.allaboutvision.com/lenses/photochromic.htm>

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητη μια διευκρίνιση του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι λέξεις “έξυπνο” και “υλικό” στον όρο, γιατί μπορεί να είναι κάπως παραπλανητικός. Η “έξυπνάδα” υπονοεί μια γνωστή ή συνειδητή απόκριση, με τις σχετικές ιδιότητες της εγρήγορσης και της ταχύτητας και αναφέρεται στην ανταπόκριση του υλικού σε κάποιες συνθήκες, όπως εξηγεί ο Robert Newnham, θέτοντάς το στην κατηγορία της αντανακλαστικής αντίδρασης<sup>11</sup>.

Με τον όρο “υλικό” αναφερόμαστε είτε σε μια ομοιογενή ουσία (όπως για παράδειγμα τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά) ή ένα σύνθετο σύστημα, συχνά από στρώσεις υλικών<sup>12</sup>. Κι αυτό γιατί πολλές φορές οι βασικοί τύποι έξυπνων υλικών δε χρησιμοποιούνται μόνοι τους αλλά σε συνδυασμό με άλλα υλικά, για να δημιουργήσουν συσκευές, εξαρτήματα ή/και συστήματα που εξυπηρετούν πιο σύνθετες λειτουργίες. Αυτές είναι οι λεγόμενες “έξυπνες δομές” (smart structures) ή “έξυπνα συστήματα” (smart systems). Μια έξυπνη δομή είναι ικανή να ανταποκρίνεται στο περιβάλλον της τροποποιώντας, για παράδειγμα, την ακαμψία, το χρώμα, το σχήμα, τη θερμική αγωγιμότητα ή τη θέση της, ανάλογα με τις εξωγενείς παραμέτρους<sup>13</sup>. Μια τέτοια δομή θα μπορούσε να είναι μια πτέρυγα αεροσκάφους η οποία μεταβάλλει συνεχώς το προφίλ της κατά τη διάρκεια της πτήσης για να δώσει το βέλτιστο σχήμα για τις συνθήκες λειτουργίας κατά την εκάστοτε χρονική στιγμή.

Η έρευνα για τα έξυπνα υλικά χωρίζεται σε δύο “στρατόπεδα”. Η Ευρώπη και οι ΗΠΑ προσπαθούν να εισαγάγουν νέες ιδιότητες και λειτουργίες σε υπάρχοντα υλικά, μιλάμε δηλαδή για την ομάδα των “δομών” (structures), ενώ παράλληλα η Ιαπωνία, ασχολείται με την πρωτοποριακή ανάπτυξη έξυπνων υλικών από το μηδέν (ομάδα των υλικών)<sup>14</sup>.

<sup>11</sup> Franklin Hoke, *What is a smart material?*, April 1992, πηγή: <http://research.dh.umu.se>

<sup>12</sup> ό. π.

<sup>13</sup> Dr Diane Talbot, *Smart Materials*, resource for the Institute of Materials, Minerals and Mining Schools Affiliate Scheme, 2003, σελ. 1

<sup>14</sup> Andy Coghlan, *Smart ways to treat materials*, New Scientist magazine, vol 135 issue 1828, 4/07/1992, σελ. 27, πηγή: <http://research.dh.umu.se>

### 03.3 το πρώτο έξυπνο υλικό

Το πρώτο “έξυπνο υλικό” εμφανίστηκε στο εμπόριο το 1992, και συγκεκριμένα στον τομέα των σκι χιονιού<sup>15</sup>. Το πρώτο αυτό “έξυπνο” σκι σχεδιάστηκε με πιεζοηλεκτρικά κεραμικά: υλικά που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και το αντίστροφο. Κάθε σκι περιείχε μια μονάδα διαβροχής, που περιλάμβανε μια κάρτα από πιεζοηλεκτρικό κεραμικό με ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου, τοποθετημένο ακριβώς εκεί που τείνουν να εμφανίζονται οι δονήσεις, δηλαδή μπροστά από τις δέστρες που αγκυρώνουν τα πόδια του σκιέρ. Όταν τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά ανίχνευαν δονήσεις, ηλεκτρικά σήματα αποστέλλονταν στο κύκλωμα ελέγχου, το οποίο με τη σειρά του έστελνε παλμούς της ηλεκτρικής ενέργειας εντός του πιεζοηλεκτρικού υλικού για να αλλάξει την ακαμψία του και τις δονήσεις από την υγρασία. Με άλλα λόγια, το κεραμικό υλικό δρούσε ως ένας μηχανικός ενεργοποιητής, κινούμενος αντίθετα από τους κραδασμούς και εξουδετερώνοντάς τους, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό στον σκιέρ μια ομαλότερη βόλτα<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> Michelle Addington and Daniel Schodek, *Smart Materials and New Technologies*, Architectural Press, 2005, σελ. 1

<sup>16</sup> Dr Diane Talbot, *Smart Materials*, resource for the Institute of Materials, Minerals and Mining Schools Affiliate Scheme, 2003, σελ. 7

### 03.4 Έξυπνα υλικά στην αρχιτεκτονική

Από τότε τα έξυπνα υλικά εφαρμόζονται σε διάφορους τομείς και αποτελούν την απάντηση για τις τεχνολογικές ανάγκες του 21ου αιώνα. Φυσικά, η εμφάνιση τους αποτέλεσε πρόκληση και για τον τομέα της αρχιτεκτονικής, και η χρήση τους μπορεί να βοηθήσει τους αρχιτέκτονες να φέρουν νέες λύσεις σε χρόνια προβλήματα αλλά και να αναπτύξουν νέες κτηριακές λειτουργίες και μορφές. Αυτό που τα έχει καταστήσει τόσο σημαντικά για τον τομέα αυτό είναι η ικανότητα τους να ανταποκρίνονται σε πολλαπλές καταστάσεις αντί να είναι φτιαγμένα για μια και μοναδική κατάσταση. Και αυτό γιατί τα κτήρια πάντα έρχονται αντιμέτωπα με τις μεταβαλλόμενες συνθήκες και καλούνται να είναι σε θέση να διαχειριστούν όλες τις πιθανές αυτές καταστάσεις. Σήμερα γίνονται προσπάθειες από τους αρχιτέκτονες να προσαρμόσουν τη χρήση των έξυπνων υλικών στα έργα τους, παράλληλα με τα συμβατικά δομικά υλικά. Βέβαια, σε αντίθεση με τα συμβατικά, που είναι στατικά, με την έννοια ότι προορίζονται να αντέχουν τις δυνάμεις που δέχονται τα κτήρια, τα έξυπνα υλικά είναι δυναμικά, αφού συμπεριφέρονται “αντιδρώντας” στα ενεργειακά πεδία. Τα συνήθη μέσα αναπαράστασης στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, λοιπόν, που ευνοούν τα στατικά υλικά δεν είναι ικανά να αναπαραστήσουν το ίδιο ικανοποιητικά και τα έξυπνα υλικά. Η κάτοψη, η τομή και η όψη, σχέδια ορθογραφικής αποτύπωσης, σταθεροποιούν σε τόπο και σε θέαση τα φυσικά στοιχεία ενός κτηρίου, αφού συνήθως οι αρχιτέκτονες σχεδιάζουν με την πρόθεση να δημιουργήσουν μια εικόνα ή πολλαπλές διαδοχικές εικόνες. Με ένα έξυπνο υλικό, ωστόσο, θα πρέπει να επικεντρωθούμε στο τι θέλουμε να κάνει, και όχι στο πώς θέλουμε να φαίνεται<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Michelle Addington and Daniel Schodek, *Smart Materials and New Technologies*, Architectural Press, 2005, σελ. 4

Τα πράγματα βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, βέβαια, και για κανένα έξυπνο υλικό δεν υπάρχει η σιγουριά ότι μπορεί να τύχει ευρείας εφαρμογής. Όμως είναι γεγονός πως όροι όπως η διαδραστικότητα και ο μετασχηματισμός έχουν ήδη γίνει μέρη του λεξιλογίου των αρχιτεκτόνων<sup>18</sup>. Σύμφωνα με τους Mohammad Javad Sadeghi, Payam Masudifar και Foad Faizi, “αν και βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, η χρήση των έξυπνων υλικών στην αρχιτεκτονική μπορεί επιπλέον να μειώσει δραματικά το κόστος σε ενέργεια και υλικά των κτηρίων, δίνοντας τη δυνατότητα να σχεδιαστούν περιβάλλοντα που ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες του χρήστη και να παρέχουν καλύτερες συνθήκες στο χώρο”<sup>19</sup>.

Τα έξυπνα υλικά “κερδίζουν” ως προς τα συμβατικά, λόγω της έμφυτης “ενεργής” συμπεριφοράς τους. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους αρχιτέκτονες για διάφορους σκοπούς, από την πρόβλεψη αστοχιών του ίδιου του υλικού μέχρι και τη διάδραση με το χρήστη.

Εκμεταλλούμενοι τις ιδιότητες των έξυπνων υλικών μπορούν να σχεδιαστούν κατασκευές που να αξιοποιούνται στα λειτουργικά και δομικά τους όρια χωρίς τον κίνδυνο να τα ξεπεράσουν, ενώ ταυτόχρονα να έχουν τη δυνατότητα να αντιδράσουν σε επικίνδυνες για αυτά συνθήκες, όπως υπερβολικές δονήσεις, ή να αυτοεπιδιορθωθούν. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα πολυμερή που αποθεραπεύονται (Self-curing polymers), τα οποία είναι υλικά αλλαγής φάσης που εμπεριέχουν κάψουλες πολυμερούς υλικού σε διαφορετική κατάσταση και τα οποία αλλάζουν όταν το υλικό πληγώνεται.

<sup>18</sup> Michelle Addington and Daniel Schodek, *Smart Materials and New Technologies*, Architectural Press, 2005, σελ. 4

<sup>19</sup> Mohammad Javad Sadeghi / Payam Masudifar / Foad Faizi, *The Function of Smart Material's behavior in architecture*, 2011 International Conference on Intelligent Building and Management, Singapore, 2011

Στη διάλεξη αυτή, όμως, δεν επικεντρωνόμαστε σε τέτοιου είδους υλικά. Μας ενδιαφέρουν αυτά που έχουν στόχο την ικανοποίηση του χρήστη, είτε άμεσα (αλληλεπίδραση κτηρίου - ατόμου) είτε έμμεσα (αλληλεπίδραση κτηρίου - περιβάλλοντος, που και πάλι έχει ως στόχο την εξυπηρέτηση του χρήστη, με την παροχή ευνοϊκότερων συνθηκών). Με το στοιχείο της μεταβλητότητας να βρίσκεται στο προσκήνιο της αρχιτεκτονικής διαδικασίας σήμερα, γίνεται επιτακτική η ανάγκη να δημιουργούνται κτήρια ροϊκά, που να ανταποκρίνονται στις επικρατούσες συνθήκες και να μεταβάλλονται, εξυπηρετώντας έτσι καλύτερα τους σκοπούς τους. Μας αφορούν περισσότερο υλικά που οδηγούν σε μια μεταβαλλόμενη και διαδραστική αρχιτεκτονική, τα οποία είναι σχεδιασμένα για να ανταποκρίνονται με ορατή δραστηριότητα στα ερεθίσματα που προκαλεί είτε το περιβάλλον είτε ο χρήστης, με σκοπό την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση του τελευταίου.

### 03.5 βασικά χαρακτηριστικά

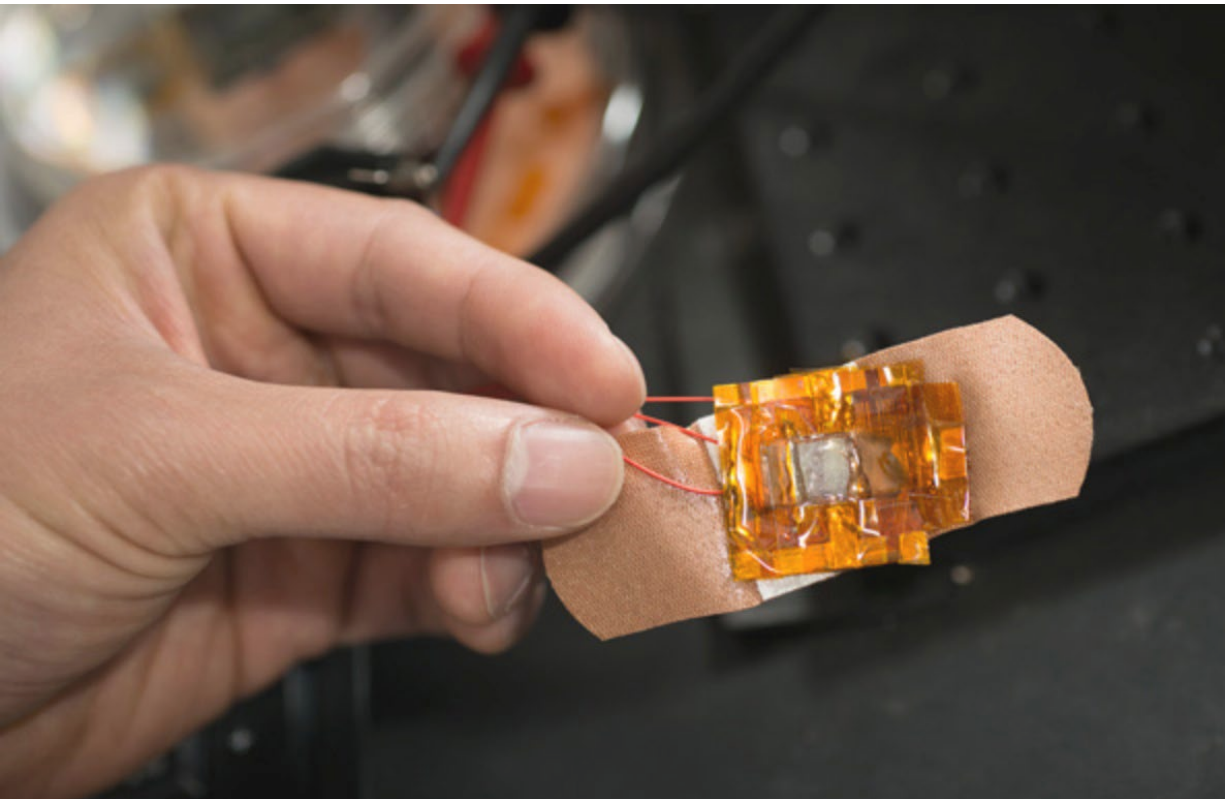
Ας δούμε, όμως, ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των έξυπνων υλικών που τα καθιστούν τόσο σημαντικά ώστε να δώσουν ώθηση στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό<sup>20</sup>:

1. **αμεσότητα** ανταποκρίνονται στον πραγματικό χρόνο
2. **παροδικότητα** ανταποκρίνονται σε περισσότερες από μία περιβαλλοντικές καταστάσεις
3. **αυτό-ενεργοποίηση** η “έξυπνάδα” είναι εγγενής στο υλικό και όχι εξωτερική
4. **επιλεκτικότητα** η ανταπόκρισή τους είναι διακριτή και προβλέψιμη
5. **ευθύτητα** η ανταπόκριση είναι τοπική σε ένα ενεργοποιημένο γεγονός

<sup>20</sup> σύμφωνα με τους Michelle Addington and Daniel Schodek, *Smart Materials and New Technologies*, Architectural Press, 2005, σελ. 10



Αυτές οι λειτουργίες προσδίδονται στα υλικά με τη μορφή μικροσκοπικών λογισμικών συστημάτων, όμοια ως προς τις αρχές τους με τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στη ρομποτική. Σε μοριακό επίπεδο, το υλικό αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του και εξελίσσεται εντός και εκτός εργαστηρίου. Μάλιστα, το περιβάλλον δεν επηρεάζει απλά το υλικό αλλά με έναν έμμεσο τρόπο το μετατρέπει. Η μετάδοση πληροφορίας διασυνδέει περιβάλλον και ύλη, οδηγώντας σε έναν επαναπροσδιορισμό της τελευταίας. Ο επαναπροσδιορισμός αυτός ως διαδικασία δεν είναι μονοσήμαντος, αλλά αποτελεί ένα συνεχές και διαρκώς μεταβαλλόμενο σύστημα, το οποίο μας απελευθερώνει από την παραδοσιακή μέθοδο θεώρησης των χαρακτηριστικών του υλικού ως πέρασμα από την αρχική ιδέα, στη δημιουργία και στην κατασκευή. Ο κεντρικός χαρακτήρας ενός τέτοιου συστήματος μεταφέρεται μοιραία στην κλίμακα του βιώσιμου χώρου, στην κλίμακα της αρχιτεκτονικής.



## 03.6 τύποι

Τα έξυπνα υλικά μπορούν να χωριστούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Μια συνήθης κατηγοριοποίησή τους, σύμφωνα με τους Michelle Addington και Daniel Schodek<sup>21</sup>, γίνεται ανάλογα με το μηχανισμό με τον οποίο εφαρμόζεται σε αυτά η “έξυπνάδα”. Με βάση το κριτήριο αυτό, έχουμε δύο τύπους. Στον τύπο 1, ο μηχανισμός επηρεάζει την εσωτερική ενέργεια του υλικού, αλλάζοντας είτε τη μοριακή δομή ή τη μικροδομή του και τα αποτελέσματα της εισόδου οδηγούν σε μεταβολή μιας ιδιότητας του υλικού. Στον τύπο 2, ο μηχανισμός αλλάζει την ενεργειακή κατάσταση του υλικού, αλλά δεν μεταβάλλει το ίδιο το υλικό, δηλαδή το αποτέλεσμα της εισόδου είναι μια ανταλλαγή της ενέργειας από τη μια μορφή στην άλλη.

Ένας απλός τρόπος διαχωρισμού μεταξύ των δύο μηχανισμών είναι ότι για τον τύπο αλλαγής ιδιότητας (Τύπος I), το υλικό απορροφά την ενέργεια εισόδου και υφίσταται μια μεταβολή, ενώ για τον τύπο ανταλλαγής ενέργειας (Τύπος II), το υλικό παραμένει η ίδιο, αλλά η ενέργεια υφίσταται μια αλλαγή.

Μια τρίτη κατηγορία, που στην ουσία εντάσσεται στον τύπο II, αναφέρεται σε υλικά ανταλλαγής ενέργειας, που όμως η ανταλλαγή είναι αμφίδρομη (για παράδειγμα τα πιεζοηλεκτρικά, πυροηλεκτρικά, ή θερμοηλεκτρικά υλικά).

Στα πλαίσια της μεταβολής και της διαδραστικότητας που μας ενδιαφέρει, θα μπορούσαμε να επιχειρήσουμε μια ακόμα κατηγοριοποίηση των έξυπνων υλικών<sup>22</sup>, με βάση τη φαινομενολογική τους συμπεριφορά, και τον τρόπο που εκδηλώνεται ορατά η απόκρισή τους, δηλαδή το αποτέλεσμα της εισαγόμενης σε αυτά ενέργειας. Ακολουθούν οι κατηγορίες.

<sup>21</sup> Michelle Addington and Daniel Schodek, *Smart Materials and New Technologies*, Architectural Press, 2005, σελ. 14

<sup>22</sup> με τη βοήθεια του πίνακα 4.1, Michelle Addington and Daniel Schodek, *Smart Materials and New Technologies*, Architectural Press, 2005, σελ. 82

## υλικά αλλαγής χρώματος

**θερμοχρωμικά [thermochromics]** - Υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν προκύπτουν συγκεκριμένες θερμοκρασιακές μεταβολές.

**φωτοχρωμικά [photochromics]** - Υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν εκτίθενται σε φως ή όταν αλλάζουν οι συνθήκες φωτισμού.

**μηχανοχρωμικά [mechromics]** - Υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν υποβάλλονται σε μηχανικές εντάσεις ή/και παραμορφώσεις.

**χημοχρωμικά [chemochromics]** - Υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν εκτίθενται σε συγκεκριμένες χημικές ουσίες ή περιβάλλοντα.

**ηλεκτροχρωμικά [electrochromics]** - Υλικά που αλλάζουν χρώμα όταν εκτίθενται σε ηλεκτρική τάση.

**υγροί κρύσταλλοι [liquid crystals]** - Υλικά που αλλάζουν χρώμα ή διαφάνεια όταν εκτίθενται σε ηλεκτρική τάση οπότε και αλλάζει η κατευθυντικότητα των μορίων τους. Ως συνέπεια αυτού, αλλάζει η οπτική διαπερατότητα ή/και τα χρώματα του ηλιακού φάσματος που αντανακλούν.

Παράδειγμα φωτοχρωμικού έξυπνου υλικού αποτελεί το φωτοχρωμικό τζάμι. Ανάλογα με τον βαθμό ακτινοβολίας που δέχεται, ρυθμίζει το χρώμα του με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργείται η καλύτερη ανεκτή σκίαση, άρα και η καλύτερη δυνατή εσωτερική θερμοκρασία. Αντίστοιχα το ηλεκτροχρωμικό τζάμι, μέσω μιας παροχής ηλεκτρικού ρεύματος ρυθμίζει τη διαπερατότητά του έτσι ώστε να περνά στο εσωτερικό η κατάλληλη ηλιακή ακτινοβολία, άρα να δημιουργείται η κατάλληλη θερμική άνεση στο εσωτερικό του δωματίου<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> Ρίτσα Μασούρα, *Τα έξυπνα κτίρια που αλλάζουν τη ζωή μας*, Νοέμβριος 2001, πηγή: <http://news.kathimerini.gr/>

## υλικά αλλαγής φάσης

**ηλεκτρορεολογικά [electrorheological]** - Υλικά που αλλάζουν την πυκνότητα τους δραστικά όταν βρίσκονται σε περιβάλλον ηλεκτρικής τάσης. Η αλλαγή είναι τόσο έντονη που σχεδόν μετατρέπονται σε στερεό.

**μαγνητορεολογικά [magnetorheological]** - Υλικά που αλλάζουν την πυκνότητα τους δραστικά μετά την εφαρμογή ενός μαγνητικού πεδίου.

**κράματα μνήμης σχήματος [shape memory alloys]** - Πρόκειται κυρίως για κράματα τιτανίου - νικελίου τα οποία έχουν την ιδιότητα να μεταμορφώνονται σε συγκεκριμένες προγραμματισμένες μορφές όταν βρεθούν σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας ή ηλεκτρικής τάσης. Σήμερα εξελίσσονται και πολυμερή με δυνατότητες μνήμης.

Τα κράματα με μνήμη σχήματος βρίσκουν πολλές εφαρμογές στον τομέα της ένδυσης. Το χρυσό πουκάμισο μπορεί να αλλάξει από πρωινό σε βραδινό ένδυμα, σε λίγα μόλις λεπτά. Στο πουκάμισο έχουν προστεθεί νήματα Nitilon μνήμης σχήματος, τα οποία ζαρώνουν με τη θερμότητα που παρέχεται από ένα πιστολάκι μαλλιών. Το ασημί πουκάμισο χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία για να σηκώνει αυτόματα τα μανίκια του όταν έξω έχει ζέστη, αλλά η επιπλέον καινοτομία του είναι ότι είναι ραμμένο εξ' ολοκλήρου από νήματα μνήμης σχήματος, δεν έχουν προστεθεί, δηλαδή, μετά την ύφανση<sup>24</sup>.



<sup>24</sup> πηγή: <http://www.newclothmarketonline.com/oricalco-shape-memory-fabric/2/>

## φωτιζόμενα υλικά

**ηλεκτροφωτιζόμενα [electroluminescents]** - Υλικά που είτε βασίζονται σε ημιαγωγούς (semiconductors) είτε σε ατέλειες των φωσφορικών στοιχείων και παράγουν ένα ήπιο φως όταν διαπερνώνται από ρεύμα χαμηλής τάσης.

**δίοδοι εκπομπής φωτός [Light-emitting diodes - LED]** - Πρόκειται για ημιαγωγούς ηλεκτροφωτιζόμενους αλλά με πολλές εφαρμογές και πολλές δυνατότητες.

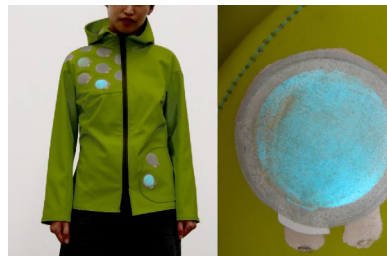
**φωτοφωτιζόμενα [photoluminescents]** - Υλικά που απορροφούν το φως και το εκπέμπουν αργότερα με ηπιότερο τρόπο.

**χημοφωτιζόμενα [chemoluminescents]** - Υλικά που μετατρέπουν σε φως την ενέργεια χημικών αντιδράσεων.

**θερμοφωτιζόμενα [thermoluminescents]** - Υλικά που μετατρέπουν το πλεόνασμα ενέργειας από θερμότητα σε φως.

**φωτοβολταικά [photovoltaic]** - Υλικά που μετατρέπουν την ενέργεια που δέχονται από το φως (κυρίως ηλιακό) σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Το συγκεκριμένο ρούχο ονομάζεται “puddle-jumper” και είναι ένα αδιάβροχο μπουφάν που λάμπει στη βροχή. Στο μπροστινό μέρος έχουν τοποθετηθεί με μεταξοτυπία ηλεκτροφωτιζόμενες λάμπες, οι οποίες συνδέονται σε εσωτερικούς ηλεκτρονικούς και αγωγίμους αισθητήρες νερού στο πίσω και αριστερό μανίκι. Όταν το νερό “χτυπήσει” έναν από τους αισθητήρες, η αντίστοιχη λάμπα ανάβει, δημιουργώντας ένα μοτίβο φωτισμού που τρεμοπαίζει και αντικατοπτρίζει το ρυθμό των βροχοπτώσεων<sup>25</sup>.



<sup>25</sup> πηγή: <http://www.interactivearchitecture.org/smart-materials-1-definition.html>

## υλικά αμφίδρομης ανταλλαγής ενέργειας

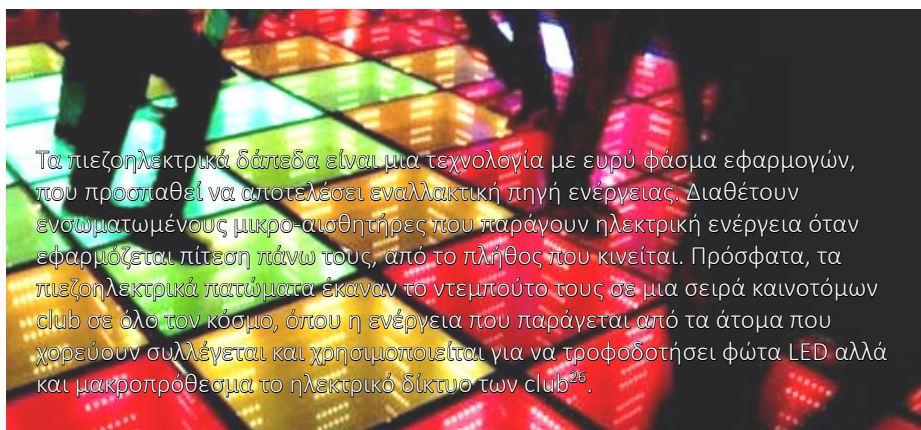
**πιεζοηλεκτρικά [piezoelectric]** - Υλικά που μετατρέπουν την ενέργεια από μηχανικές παραμορφώσεις σε ηλεκτρική τάση και αμφίδρομα με την παρουσία ηλεκτρικής τάσης παρουσιάζουν μηχανικές παραμορφώσεις που συνήθως δίνουν κινητική δύναμη.

**πυροηλεκτρικά [pyroelectric]** - Πρόκειται για ηλεκτρονικές μορφές αντλιών θερμότητας που μετατρέπουν την ηλεκτρική τάση σε κρύα/θερμή επιφάνεια. Χρησιμοποιούνται ευρέως στην κατασκευή προσωπικών υπολογιστών για την ψύξη των επεξεργαστών.

**θερμοηλεκτρικά [thermoelectric]** - Όμοια με τα πυροηλεκτρικά.

**ηλεκτροπεριοριστικά [electrorestrictive]** - Υλικά στα οποία η εφαρμογή ενός ρεύματος μεταβάλλει την ενδοατομική απόσταση μέσω πόλωσης, με αποτέλεσμα την αλλαγή της ενέργειας του μορίου.

**μαγνητοπεριοριστικά [magnetorestrictive]** - Υλικά στα οποία η εφαρμογή ενός μαγνητικού πεδίου μεταβάλλει την ενδοατομική απόσταση μέσω πόλωσης, με αποτέλεσμα την αλλαγή της ενέργειας του μορίου.



Τα πιεζοηλεκτρικά δάπεδα είναι μια τεχνολογία με ευρύ φάσμα εφαρμογών, που προσταθεί να αποτελέσει εναλλακτική πηγή ενέργειας. Διαθέτουν ενσωματωμένους μικρο-αισθητήρες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια όταν εφαρμόζεται πίεση πάνω τους, από το πλήθος που κινείται. Πρόσφατα, τα πιεζοηλεκτρικά πατώματα έκαναν το ντεμπούτο τους σε μια σειρά καινοτόμων club σε όλο τον κόσμο, όπου η ενέργεια που παράγεται από τα άτομα που χορεύουν συλλέγεται και χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει φώτα LED αλλά και μακροπρόθεσμα το ηλεκτρικό δίκτυο των club<sup>25</sup>.

<sup>26</sup> πηγή: <http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/house-music-energy-crisis1.htm>

### 03.7 το πέρασμα στη μικροκλίμακα

Η σημερινή τεχνολογική επανάσταση, λοιπόν, γίνεται στο “πολύ μικρό”. Η έρευνα αιχμής ασχολείται με τις μοριακές ιδιότητες των υλικών, δηλαδή έχει περάσει στη μικροκλίμακα, από την διάγνωση της σεισμικής συμπεριφοράς, την αναχαίτιση υλικών καταστροφών, την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων παραδοσιακών υλικών έως την διάδραση με τον χρήστη για την δημιουργία μεταβαλλόμενων - ευφυών περιβαλλόντων διαβίωσης με την χρήση των έξυπνων υλικών<sup>27</sup>.

Οι αρχιτέκτονες καλούνται πλέον να σκεφτούν στη μικρή κλίμακα και όχι σε μεγάλη, τι χρειάζεται το σώμα και όχι τι χρειάζεται το κτήριο. Μόνο το ανθρώπινο σώμα έχει ανάγκη τη διαχείριση του θερμικού περιβάλλοντος και μόνο τότε θα μειωθεί η ενέργεια και η υλική επένδυση των μεγάλων συστημάτων, ενώ συγχρόνως θα μπορούν να παραχθούν και εξασφαλιστούν καλύτερες συνθήκες για τους χρήστες. Όταν αυτά τα συστήματα ανακαλύφθηκαν δεν υπήρχε ούτε η τεχνολογία αλλά ούτε και η γνώση για τη στροφή προς τις ανθρώπινες ανάγκες με κανέναν άλλο τρόπο εκτός από τα μεγάλα έμμεσα συστήματα που παρέχουν ομοιογενείς συνθήκες. Τα έξυπνα υλικά δίνουν τώρα τη δυνατότητα να σχεδιαστούν άμεσα και διακριτά περιβάλλοντα για το σώμα, χωρίς όμως να υπάρχει ακόμα οδηγός για την εφαρμογή τους σε αυτό τον σημαντικό τομέα.

*“Η αρχιτεκτονική, ως επιδερμίδα, πρέπει να είναι ευλύγιστη και ευέλικτη όπως το “δέρμα” μας και να είναι ικανή να ανταλλάσσει πληροφορίες με τον εξωτερικό κόσμο. Η αρχιτεκτονική ντυμένη σε μια τέτοια μεμβράνη, θα έπρεπε να αποκαλείται ένα ενδιάμεσο κοστούμι.”*

*Toyo Ito<sup>28</sup>*

<sup>27</sup> Αθηνά Σταυρίδου, *Αναδυόμενες ιδιότητες - έξυπνα υλικά*, 26-11-2009

<sup>28</sup> Derrick de Kerckhove, *The Architecture of Intelligence*, Birkhauser, Basel-Boston-Berlin, 2001, σελ. 65

Με το πέρασμα αυτό στη μικροκλίμακα και στις ανάγκες του ανθρώπινου σώματος, και με την υιοθέτηση όρων όπως η διαδραστικότητα, άλλαξε άλλο ένα σημαντικό στοιχείο για τον σχεδιασμό: ο τρόπος που αντιλαμβανόμαστε το κτήριο σε σχέση με τα περιβάλλοντα με τα οποία αλληλεπιδρά. Έως τώρα το κτήριο φάνταζε σαν το όριο ανάμεσα σε ένα εσωτερικό και σε ένα εξωτερικό περιβάλλον. Αυτό οδήγησε στο σχεδιασμό πολύπλοκων συστημάτων υψηλής τεχνολογίας κυρίως για τις όψεις, τα δάπεδα και τις οροφές που διαχειρίζονται και περιφρουρούν με σταθερότητα κάθε είδους διαφορά/μεταβολή των συνθηκών ανάμεσα στο έξω και το μέσα, εξασφαλίζοντας ένα ενιαίο και ισότροπο εσωτερικό περιβάλλον. Οι φυσικοί, όμως, δεν αντιλαμβάνονται το όριο ως κάτι στατικό που ξεχωρίζει δύο περιβάλλοντα, αλλά ως δράση. Τα περιβάλλοντα θεωρούνται ως ενεργειακά πεδία και τα όρια ανάμεσά τους ως ενεργές ζώνες μεσολάβησης, τόποι των αλλαγών. Έτσι “η εικόνα του κτηριακού ορίου ως την οριοθέτηση ανάμεσα σε δύο διαφορετικά περιβάλλοντα - ένα ομοιογενές εσωτερικό και ένα περιρρέον εξωτερικό - μπορεί ενδεχομένως να αντικατασταθεί από την ιδέα των πολλαπλών ενεργειακών περιβαλλόντων ροϊκά αλληλεπιδρώντας με το κινούμενο σώμα”<sup>29</sup>. Αντί να προσπαθούμε να συλλάβουμε το τελικό αποτέλεσμα, πρέπει να φανταζόμαστε τις μετασχηματιζόμενες δράσεις και αλληλεπιδράσεις. Αυτό που άλλοτε ήταν ένας μπλε τοίχος τώρα μπορεί να προσομοιωθεί με ένα δίκτυο από μικροσκοπικά σημεία που αλλάζουν χρώμα ανταποκρινόμενα τόσο στη θέση του θεατή όσο και στη θέση του ήλιου.

Τα υλικά, λοιπόν, σήμερα δεν περιορίζονται στις δύο διαστάσεις, δεν αποτελούν μόνο επιφάνειες που καλύπτουν το κτήριο. Είναι τριών διαστάσεων, καταλαμβάνουν χώρο. Είναι τεσσάρων διαστάσεων, εξελίσσονται στο χρόνο. Είναι ακόμα και πέντε διαστάσεων καθώς μεταφέρουν ή μεταδίδουν πληροφορία<sup>30</sup>. Η πληροφορία επηρεάζει την κατασκευή και αντίστροφα, και τα υλικά παίζουν το ρόλο του κόμβου διασύνδεσης ανάμεσα στον φυσικό και τον ψηφιακό κόσμο.

<sup>29</sup> Αθηνά Σταυρίδου, *Αναδυόμενες ιδιότητες- έξυπνα υλικά*, 26 Νοεμβρίου 2009

<sup>30</sup> ό. π.

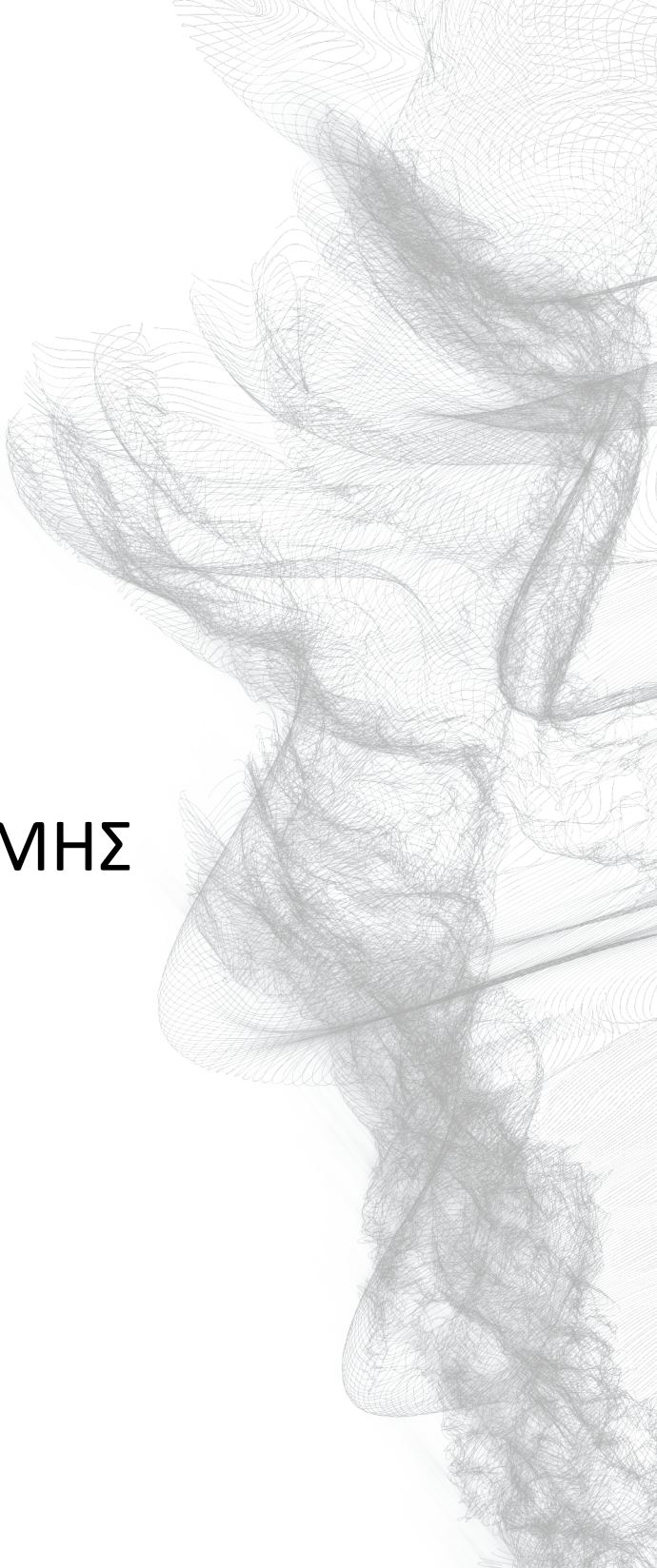


Στα πλαίσια της διάλεξης αυτής, αναφερόμενοι στα έξυπνα υλικά από εδώ και στο εξής θα εννοούμε αυτά που πληρούν τους όρους που εξηγήθηκαν προηγουμένως, δηλαδή τα “διαδραστικά” υλικά, που επηρεάζονται από περιβάλλον ή/και χρήστη, και που στην ουσία αποτελούν παραμετροποιημένες οντότητες των οποίων τη μεταβολή καλείται να πατραλάβει κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα.



04

# ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΜΗΣ



## 04.1 μεταβολή - διάδραση

### 04.1.1 SMAAD

## 04.2 λοιπές γέφυρες σύνδεσης

### 04.2.1 κατασκευή

### 04.2.2 κλίμακα

### 04.2.3 φύση

### 04.2.4 εξοικονόμηση / ενεργειακή απόδοση

Σε μια εποχή με ζητούμενο την κατάκτηση της 4ης διάστασης, θεωρούμε ότι η μεταβολή και η διάδραση είναι τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά που πρέπει να διέπουν την αρχιτεκτονική και στα οποία πρέπει να στοχεύει ο σχεδιασμός.

Η μεταβολή αυτή έχουμε δει να επιτυγχάνεται με τη χρήση μηχανικών μέσων, τα οποία όταν εμφανίστηκαν ήταν ένας καινοτόμος τρόπος εισαγωγής της στην πραγματική κατασκευή. Με τον καιρό, όμως, διαπιστώθηκαν αρκετά μειονεκτήματα των μέσων αυτών (όπως περιγράφεται στα παραδείγματα παρακάτω), τα οποία έπρεπε να αντιμετωπιστούν. Τα έξυπνα υλικά έρχονται να πάρουν τη θέση τέτοιων συστημάτων, προσφέροντας βελτιστοποιημένα αποτελέσματα. Ο λόγος είναι ότι η μεταβολή είναι εγγενής σε αυτά, δηλαδή την ενσωματώνουν στη δομή τους. Στην ουσία, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα έξυπνα υλικά είναι η μεταβολή.

Όμως, η δυναμικότητα αυτή που τα χαρακτηρίζει δεν μπορεί να εκφραστεί στο χαρτί, πράγμα που καθιστά απαραίτητο ένα εξειδικευμένο σχεδιαστικό εργαλείο για τη μελέτη τους. Ένα τέτοιο σχεδιαστικό εργαλείο είναι το computational design, που εμφανίστηκε μεν για λόγους αναπαράστασης περίπλοκων μορφών, ταυτόχρονα όμως υποδεικνύει έναν τρόπο μελέτης και εφαρμογής της αλλαγής μέσα στο χρόνο. Από τη στιγμή που προσφέρει τη δυνατότητα αναπαράστασης και επεξεργασίας της 4ης διάστασης, θεωρούμε πως η σύνδεσή του με τα έξυπνα υλικά είναι ιδανική για την αρχιτεκτονική που επιδιώκουμε.

Έχοντας τη δυνατότητα σχεδιασμού υπό όρους παραμέτρων, μπορούμε να μεταφράσουμε τις ιδιότητες των έξυπνων υλικών σε δικτυώμενες σχέσεις. Με αυτόν τον τρόπο επιδιώκουμε η παραμετροποίηση να αφορά προσομοίωση / αναπαράσταση της φυσικής μεταβολής.

Υπάρχουν προσθήκες για προγράμματα (add on), όπως πχ το firefly για το grasshopper, σε συνδυασμό με την πλατφόρμα arduino, τα οποία επιτρέπουν το πέρασμα της μεταβολής στην πραγματική κατασκευή. Όμως, αφορούν περισσότερο τον υπολογιστή και το πώς αυτός μπορεί να αλληλεπιδράσει με το φυσικό κόσμο και να χειρίζεται ψηφιακά και αναλογικά δεδομένα που του παρέχονται. Δεν πραγματοποιούνται φυσικές μεταβολές, όπως στην περίπτωση των έξυπνων υλικών.

Πιστεύουμε ότι το υλικό πρέπει να έχει κυρίαρχο ρόλο από την αρχή στη μελέτη και κατ' επέκταση στο σχεδιασμό και την κατασκευή του τελικού αποτελέσματος. Όπως ένα κτήριο προσεγγίζεται σε διάφορες κλίμακες, σε ένα τέτοιο εύρος θα πρέπει να κυμαίνεται και η μεταβολή, γι' αυτό πρέπει να χαρακτηρίζει και τα υλικά.

Σήμερα γίνονται διαρκώς προσπάθειες συνδυασμού των δύο κλάδων αλλά μόνο ως επιμέρους εφαρμογές ή τμήματα κτηρίου. Μια επιτυχημένη σύνδεση, μεγαλύτερης κλίμακας, θεωρούμε πως είναι εφικτή, ειδικά αν αναλογιστούμε τα κοινά χαρακτηριστικά που εντοπίζονται μεταξύ τους.

Ακολουθεί η περαιτέρω επεξήγηση, τόσο του στοιχείου της μεταβολής - διάδρασης, όσο και των λοιπών κοινών χαρακτηριστικών, που φανερώνουν ότι μια ταυτόχρονη προσέγγιση των δύο κλάδων και ένας ενοποιημένος σχεδιασμός μπορεί να είναι καταλυτικής σημασίας για την αρχιτεκτονική.

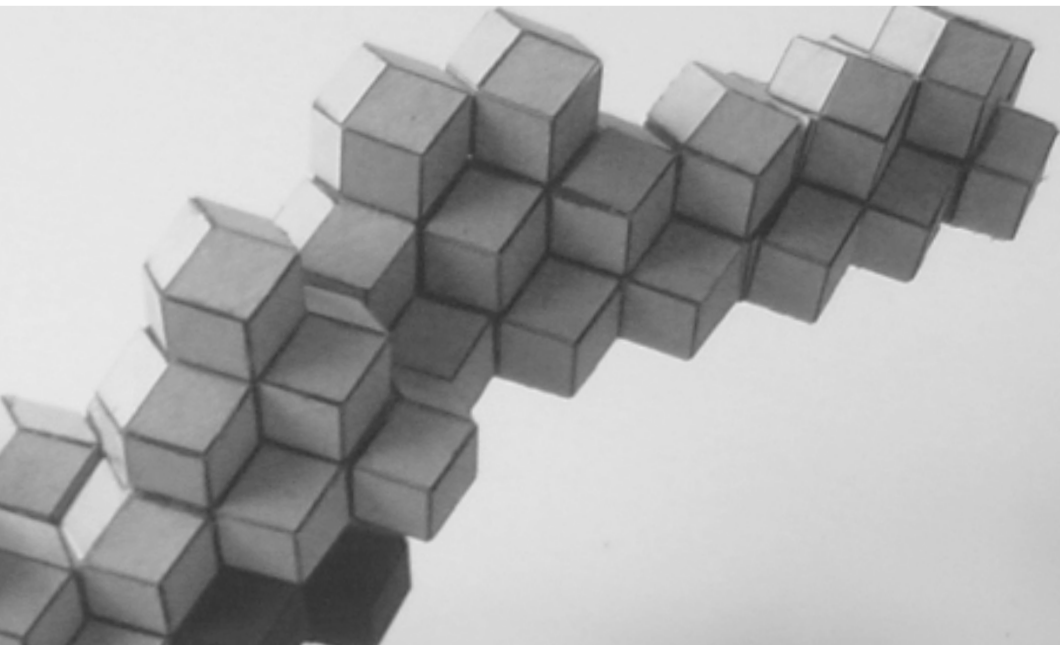


## 04.1 μεταβολή - διάδραση

Μια αρχιτεκτονική που μπορεί να παραλάβει τα στοιχεία της μεταβολής και της διάδρασης μέσα στο χρόνο στο ίδιο της το σώμα, είναι πιο κοντά στο χρήστη και τις ανάγκες του.

Ο ορισμός της παραμέτρου που αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό του computational design είναι απόλυτα συνδεδεμένος με τη μεταβλητότητα. Η περιγραφή μιας σχέσης μέσω παραμέτρων, επιτρέπει τη μεταβολή της με θεωρητικά άπειρους τρόπους, μοιάζοντας με μια μαθηματική εξίσωση στην οποία οι αριθμοί που θα δώσουμε στις μεταβλητές, θα παράξουν το αποτέλεσμα της  $f(x)$ , στην περίπτωση μας το παραμετροποιημένο μοντέλο. Βασική διαφορά είναι πως στα μαθηματικά, η μεταβλητή συχνά αναφέρεται σε άγνωστες τιμές. Αντίθετα στον προγραμματισμό, οπότε και όταν μιλάμε με όρους ψηφιακής σχεδίασης, η μεταβλητή είναι σαν ένα “δοχείο” που έχει δημιουργηθεί από το χρήστη και συγκρατεί πληροφορίες οι οποίες ενδέχεται να αλλάξουν κατά τη διάρκεια λειτουργίας ενός προγράμματος<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> *Introduction to Rhinoscript*, πηγή: <http://code.algorithmicdesign.net/Introduction-to-Rhinoscript>





Η έννοια της μεταβολής με τα νέα ψηφιακά εργαλεία εντάσσεται εύκολα στις μορφές που σχεδιάζονται. Σε πραγματικό όμως χρόνο, δεν είναι εξίσου απλό να προσεγγιστεί. Στο περιβάλλον του υπολογιστή, σε προγράμματα όπως το Grasshopper 3d όπου δημιουργείται ο εικονικός αλγόριθμος, δίνεται η δυνατότητα διερεύνησης των πολλαπλών αποτελεσμάτων που προσφέρει η εισαγωγή διαφορετικών αριθμητικών δεδομένων από τις παραμέτρους. Χρώματα, ανοίγματα, καμπυλώσεις, κυρτώσεις, άπειρες μοναδικές μορφές που μπορεί να αποκτήσει το μοντέλο. Οι πολύπλοκες γεωμετρίες που σχεδιάζονται ή οι ροϊκές μορφές μαρτυρούν ότι αυτό το μοντέλο εκφράζεται με συγκεκριμένο τρόπο και παρήχθη από δεδομένα κρίσιμα για το σχεδιασμό. Τελικά όμως στα υλοποιημένα έργα παρατηρούμε πως, με εξαίρεση τμήματα που μπορεί να κινούνται με τη βοήθεια μηχανικών μέσων, ή πρόβλεψη για αφαίρεση/πρόσθεση/ανακατάταξη κομματιών, ναι μεν οι μορφές που προκύπτουν εκφράζουν και παραπέμπουν στη μεταβλητότητα, αλλά δε μεταβάλλονται από μόνες τους. Ενώ, δηλαδή, στο περιβάλλον του υπολογιστή μπορούν να είναι αναρίθμητες, το αποτέλεσμα σε ένα κτήριο αποτελεί επί της ουσίας ένα πάγωμα της διαδικασίας μεταβολής στο στιγμιότυπο που αντιπροσωπεύει/εκφράζει/εξυπηρετεί καλύτερα αρχιτέκτονα και χρήστη.

Μέχρι πρόσφατα, το computational design και ο σχεδιασμός διάδρασης ήταν δύο διαφορετικές κατευθύνσεις. Το κενό αυτό γεφυρώθηκε, μεν, με προγράμματα - προσθήκες που ενισχύουν τα υπάρχοντα, και πάλι όμως η ποιότητα του αποτελέσματος δεν είναι εφάμιλλη με αυτήν που μπορεί να προκύψει από τη χρήση έξυπνων υλικών με ενταγμένη στο σώμα τους τη μεταβολή.





Τα έξυπνα υλικά μεταβάλλονται σε τέτοιο βαθμό που συμπεριφέρονται σα ζωντανοί οργανισμοί, αν θεωρήσει κανείς “ζωντανό” ό,τι είναι ενεργό<sup>2</sup>, με την έννοια ότι αντιδρούν, αλλάζουν, μιμούνται, κινούνται, και όλα αυτά σε πραγματικό χρόνο. Η απεικόνιση και ο έλεγχος των μεταβολών αυτών κατά το σχεδιασμό επιτυγχάνεται με την είσοδο του υλικού στο περιβάλλον του υπολογιστή και τον εξ’ ολοκλήρου σχεδιασμό του. Όταν απευθυνόμαστε σε τέτοιου είδους “data driven” (καθοδηγούμενα από δεδομένα) υλικά, έχουμε το πλεονέκτημα ελεγχόμενων μεταβολών, που μπορούν να προβλεφθούν σε ένα βαθμό από σχεδιαστικά προγράμματα και στοχεύουν στη διάδραση με το χρήστη (διαδραστικά περιβάλλοντα) ή στην εξασφάλιση καλύτερων συνθηκών με οικονομικότερο τρόπο. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές τους μπορούν να αντιμετωπιστούν ως παράμετροι κι έτσι να αναπαρασταθεί και να μελετηθεί πλήρως η κατασκευή τους από το υπολογιστικό περιβάλλον, είτε μιλάμε για τη χρήση ενός υπάρχοντος έξυπνου υλικού, είτε για τη δημιουργία κάποιου νέου, με ιδιότητες που επιθυμεί ο αρχιτέκτονας.

Εντάσσοντας computational design και έξυπνα υλικά σε μια μελέτη με ενιαίο χαρακτήρα, κερδίζουμε ταυτόχρονα τον έλεγχο της μεταβολής στο περιβάλλον του υπολογιστή, μέσω των computational τεχνολογιών και τη μεταβολή στο ίδιο το κτήριο, μέσω των υλικών. Μια τέτοιου είδους προσέγγιση επιτρέπει την εδραίωση της μεταβολής και την επίτευξη της επιθυμητής διάδρασης του κτηρίου τόσο με το χρήστη, όσο και με το περιβάλλον, στο μέγιστο βαθμό.

Όμως το ζητούμενο, είναι κάτι περισσότερο από το πέρασμα μέρους της μεταβολής του computational design από τον υπολογιστή στην πράξη. Η μεταβολή και η διάδραση σε ένα κτήριο, για να θεωρηθούν επιτυχημένες, θα πρέπει να ελέγχονται και να ορίζονται σύμφωνα με τα ζητούμενα που θέτει ο σχεδιαστής.

<sup>2</sup> Frederick J. Kiesler, *On Correalism and Biotechnology: A Definition and Test of a New Approach to Building Design*, 1939

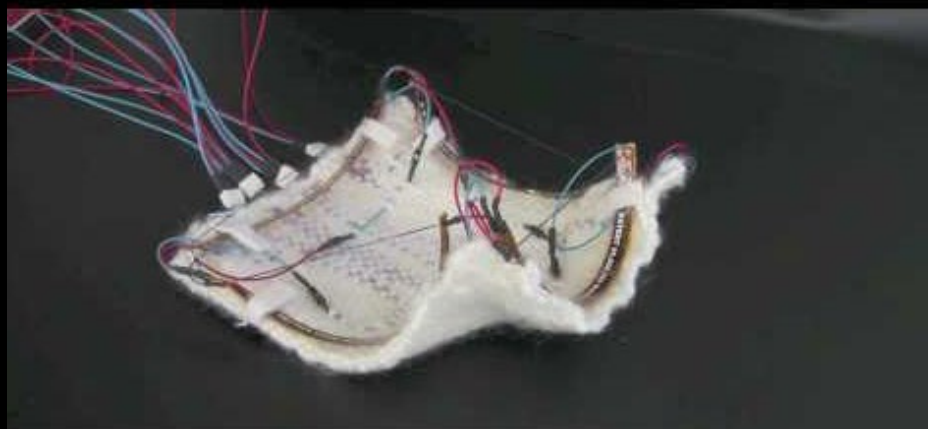
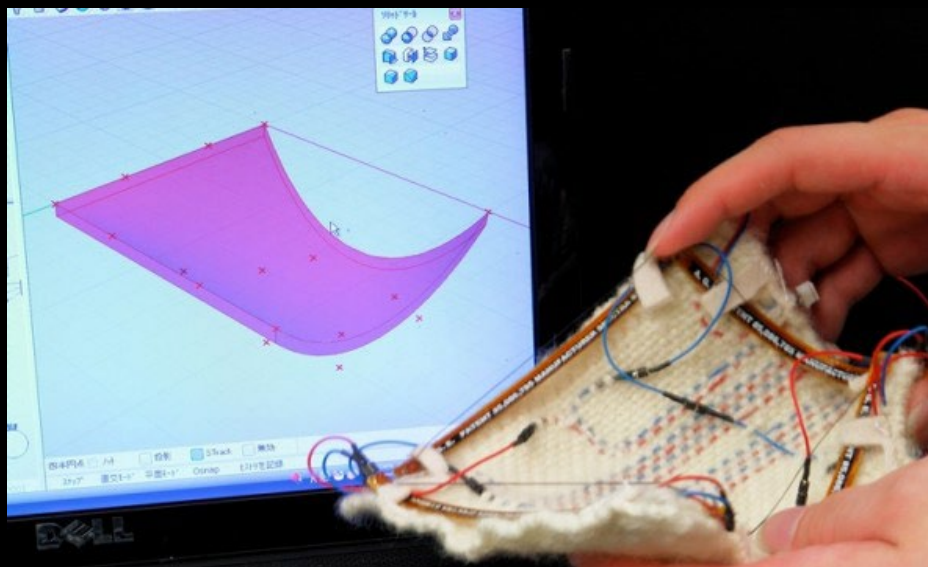
Πώς όμως αυτό ενισχύει τη θέση για συνδυασμό των δύο επιστημών; Ιδιαίτερα από τη στιγμή που ακόμα και για τη μετέπειτα ένταξη των έξυπνων υλικών σε κάποιο κτήριο χρησιμοποιούνται υπολογιστικά προγράμματα για τον έλεγχο της συμπεριφοράς τους. Σε περιπτώσεις διάδρασης με το περιβάλλον, όταν μιλάμε δηλαδή για συνθήκες μη ελεγχόμενες, η εκ των υστέρων μελέτη έξυπνων υλικών δε μπορεί να επεκτείνει τον έλεγχο στο επίπεδο που επιθυμείται ακριβώς, αφού θα πρέπει να προσαρμοστεί στις υπάρχουσες και δεδομένες συνθήκες της κατασκευής και στις περιβαλλοντικές συνθήκες του συγκεκριμένου σημείου στο οποίο θα γίνει η εφαρμογή. Ακόμα όμως και στην περίπτωση της διάδρασης με το χρήστη, ο ίδιος να μην αποφασίζει σε ποιο βαθμό θα επηρεάσει το υλικό, αλλά από μεριάς αρχιτέκτονα τίθεται το ζήτημα του επιπέδου που θέλουμε να φτάνει η διάδραση, άρα και η μεταβολή του υλικού. Μπορεί τα υλικά να έχουν τα δικά τους όρια δράσης, αλλά η εφαρμογή τους σε δεδομένες συνθήκες που καθορίζουν και τη συνολική μορφολογία και συμπεριφορά τους, καθορίζει και εκ νέου όρια δράσης εντός αυτών που υπάρχουν εξ' ορισμού, στα οποία δεν έχουμε τη δυνατότητα να επέμβουμε, όσο το ίδιο το κτήριο δε δύναται να αλλάξει. Έτσι σε αυτές τις περιπτώσεις θα λέγαμε πως ο υπολογιστής μας βοηθά περισσότερο στο να προβλέψουμε τη συμπεριφορά του υλικού, να ανακαλύψουμε ποια είναι τα όρια αυτά που τίθενται από τα μορφολογικά δεδομένα του κτηρίου και να μελετήσουμε τις πιθανές περιπτώσεις μεταβολής στην προκειμένη κατασκευή. Η διερεύνηση της αρχιτεκτονικής μορφής και του έξυπνου υλικού από την αρχή του σχεδιασμού, αντιθέτως, δίνει τη δυνατότητα να θέσουμε εμείς τα όρια δράσης και διάδρασης που επιθυμούμε σε συνάρτηση τόσο με το υλικό, όσο και με την αρχιτεκτονική μορφή.

Μια τέτοια συνεργασία, καθιστά το computational design ως κάτι πολύ περισσότερο από εργαλείο σχεδιασμού. Γίνεται το μέσο που οδηγεί τα έξυπνα υλικά σε μια αναβάθμιση του ρόλου τους και επεκτείνει τις ελευθερίες του αρχιτέκτονα όσον αφορά το χειρισμό τους. Κατ' επέκταση γίνεται ευκολότερη η εφαρμογή τους, δημιουργώντας συνθήκες ευνοϊκές για τη διεύρυνση αυτής και την καθίδρυση μιας καθολικής προσέγγισης, που θα καθιστά ένα κτήριο όχι απλά μεταβαλλόμενο, όχι απλά διαδραστικό, αλλά “ζωντανό”.

### 04.1.1 SMAAD<sup>3</sup>

Μια εφαρμογή που πειραματίζεται με τον από κοινού έλεγχο της μεταβολής στον υπολογιστή και στο πρότυπο μοντέλο, προσπαθώντας να συνδυάσει τη χρήση έξυπνων υλικών και υπολογιστικών συστημάτων είναι η “Smart Material Aided Architectural Design” ή “Shape Memory Alloy Aided Architectural Design” (SMAAD). Μια SMAAD επιφάνεια είναι μια συσκευή εισόδου/εξόδου κατασκευασμένη από ύφασμα, που χρησιμοποιεί ινώδη κράματα μνήμης σχήματος (shape memory alloys - SMA). Αυτό το ύφασμα λειτουργεί ως ένα έξυπνο υλικό, του οποίου το σχήμα οι σχεδιαστές μπορούν εύκολα να τροποποιήσουν με χειροκίνητο τρόπο. Καθώς ο εύκαμπτος αισθητήρας ανιχνεύει το σχήμα του υφάσματος και ο ενεργοποιητής λειτουργεί για να το διατηρήσει, ο σχεδιαστής μπορεί να διαμορφώσει το σχήμα του υφάσματος, σα να μοντελοποιεί αυτόματα μια επιφάνεια ελεύθερης μορφής. Το σχήμα της επιφάνειας αποστέλλεται σε ένα 3d CAD πρόγραμμα μέσω ενός μικροελεγκτή και έτσι μπορεί να δημιουργηθεί στον υπολογιστή μια ελεύθερης μορφής επιφάνεια. Τα ψηφιακά δεδομένα μπορούν να τροποποιηθούν με τον ίδιο τρόπο όπως τροποποιείται και το σχήμα της συσκευής υφάσματος. Η λειτουργία στην αντίθετη κατεύθυνση είναι επίσης δυνατή: εάν, δηλαδή, τα ψηφιακά δεδομένα τροποποιηθούν στο 3d CAD πρόγραμμα, η εντολή αποστέλλεται στη συσκευή υφάσματος και το σχήμα του μεταβάλλεται για να ακολουθήσει τα ψηφιακά δεδομένα. Η SMAAD απελευθερώνει τους αρχιτέκτονες και τους σχεδιαστές από τις περίπλοκες λειτουργίες του GUI (Graphical User Interface - Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη) και του οπτικού προγραμματισμού και επιτρέπει τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων μέσω της χειροκίνητης λειτουργίας φυσικών μοντέλων.

<sup>3</sup> Francesco Cingolani, *Smart Material Aided Architectural Design*, June 2011, πηγή: <http://complexity.com/software/smart-material-aided-architectural-design>



## 04.2      **λοιπές γέφυρες σύνδεσης**

### 04.2.1    **κατασκευή**

Η κατασκευή αποτελεί εξίσου σημαντικό κομμάτι με τον σχεδιασμό, ιδιαίτερα από τη στιγμή που ο αρχιτέκτονας άρχισε να αναλαμβάνει κυρίαρχο ρόλο σε αυτή. Αυτό ξεκίνησε με την εμφάνιση της “ψηφιακής κατασκευής” (fabrication), που αφορά τη δημιουργία ενός αντικειμένου από ακατέργαστα ή ελαφρώς κατεργασμένα υλικά, αντί για τη σύνθεσή του από συναρμολογούμενα έτοιμα κομμάτια<sup>4</sup>. Το “ψηφιακή” αναφέρεται στα μέσα που χρησιμοποιούνται, ενώ το “κατασκευή” στην άμεση πραγματοποίηση του φυσικού μοντέλου, όπως προκύπτει από τη μελέτη στο περιβάλλον του υπολογιστή.

Τόσο στο computational design όσο και στα έξυπνα υλικά, ο τρόπος κατασκευής απαιτεί ιδιαίτερη μελέτη και αφοσίωση, αφού μπορεί ο ίδιος να αποτελεί παράμετρο του σχεδιασμού. Η διευκόλυνση που παρέχουν οι νέες τεχνολογίες για τη χρήση σύνθετων γεωμετριών στην αρχιτεκτονική δεν αρκεί από μόνη της, καθώς απαιτείται από τη μεριά του σχεδιαστή μεγάλη έρευνα, κατανόηση συμπεριφοράς των υλικών και φαντασία για την πλήρη πρόβλεψη της κατασκευής, έτσι ώστε να γίνει πραγματικότητα το εκάστοτε παραμετροποιημένο μοντέλο.

<sup>4</sup>Σύμφωνα με τον ορισμό της ιστοσελίδας <http://www.businessdictionary.com/definition/fabrication.html>

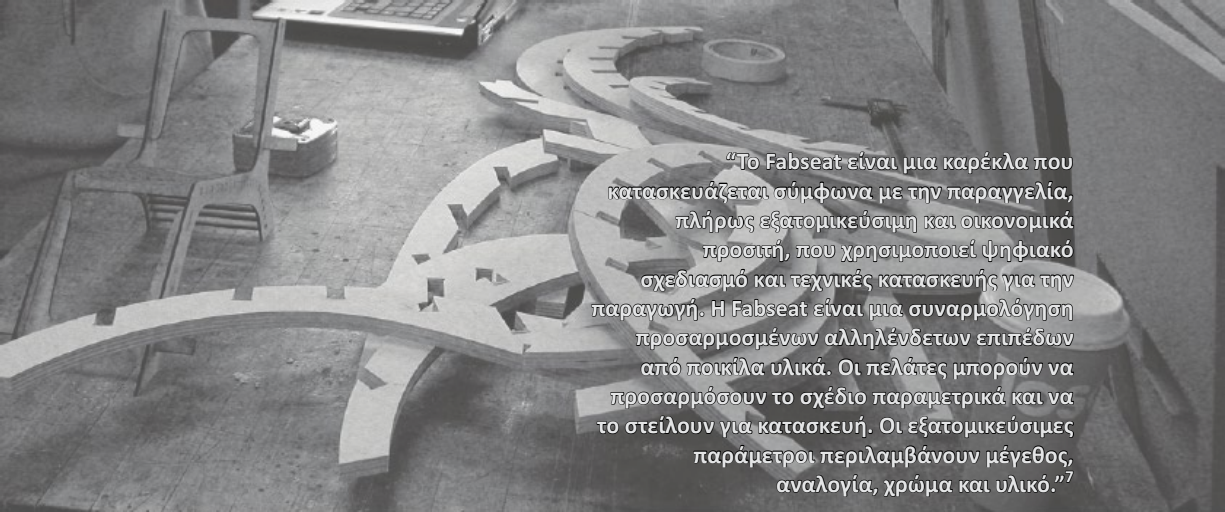
Στο computational design, η ψηφιακή κατασκευή, εκτός από απλά υλικά προϋποθέτει συχνά και τη χρήση απλών μέσων για τη σύνδεση των κομματιών μεταξύ τους. Με αυτό το σκεπτικό, έχουν βρεθεί αρκετοί ευφάνταστοι και πλέον δημοφιλείς τρόποι για την πραγμάτωση παραμετρικών μοντέλων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το “waffling”<sup>5</sup> του Greg Lynn, το οποίο κάνει δυνατή τη συνδεσμολογία χωρίς τεχνητά μέσα: το ένα κομμάτι παραλαμβάνει το άλλο. Φυσικά αυτό δε σημαίνει ότι δε χρησιμοποιείται επιπλέον ενίσχυση σε μεγαλύτερης κλίμακας κατασκευές, αλλά όταν μιλάμε για την ψηφιακή κατασκευή ενός πρότυπου μοντέλου, άρα σε κλίμακα κατασκευάσιμη στο εργαστήριο, το μεγαλύτερο μέρος της συνδεσμολογίας επιτυγχάνεται από τα ίδια τα κομμάτια. Έχοντας ο αρχιτέκτονας τη δυνατότητα να φτιάξει μόνος του το μοντέλο και να καταλάβει πώς λειτουργεί, θα κατανοήσει καλύτερα και τις αστοχίες του ή τις δυσκολίες που εξακολουθούν να υπάρχουν στην πραγματοποίησή του.

Ο Δημήτρης Παπανικολάου, σε διάλεξή του<sup>6</sup>, εξήγησε ότι παρά την έρευνα που πραγματοποιήθηκε για το Fabseat, υπήρξε μια παράλειψη που όριζε τη συναρμολόγηση μεταξύ κομματιών, τα οποία συνδέονταν μεταξύ τους με τρόπο μη παράλληλο που τελικά οδήγησε σε αδυναμία ολοκλήρωσης της κατασκευής.

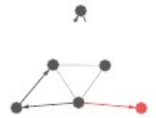
<sup>5</sup> Lisa Iwamoto, *Introduction: Digital Fabrications, Architectural and Material Techniques*, Princeton Architectural Press, New York

<sup>6</sup> Δημήτρης Παπανικολάου, *Έξυπνες Πόλεις, Κίνηση και Συντονισμένη συμπεριφορά*, διάλεξη, ΕΜΠ, Ιανουάριος 2013, πηγή: <http://www.t12online.com>

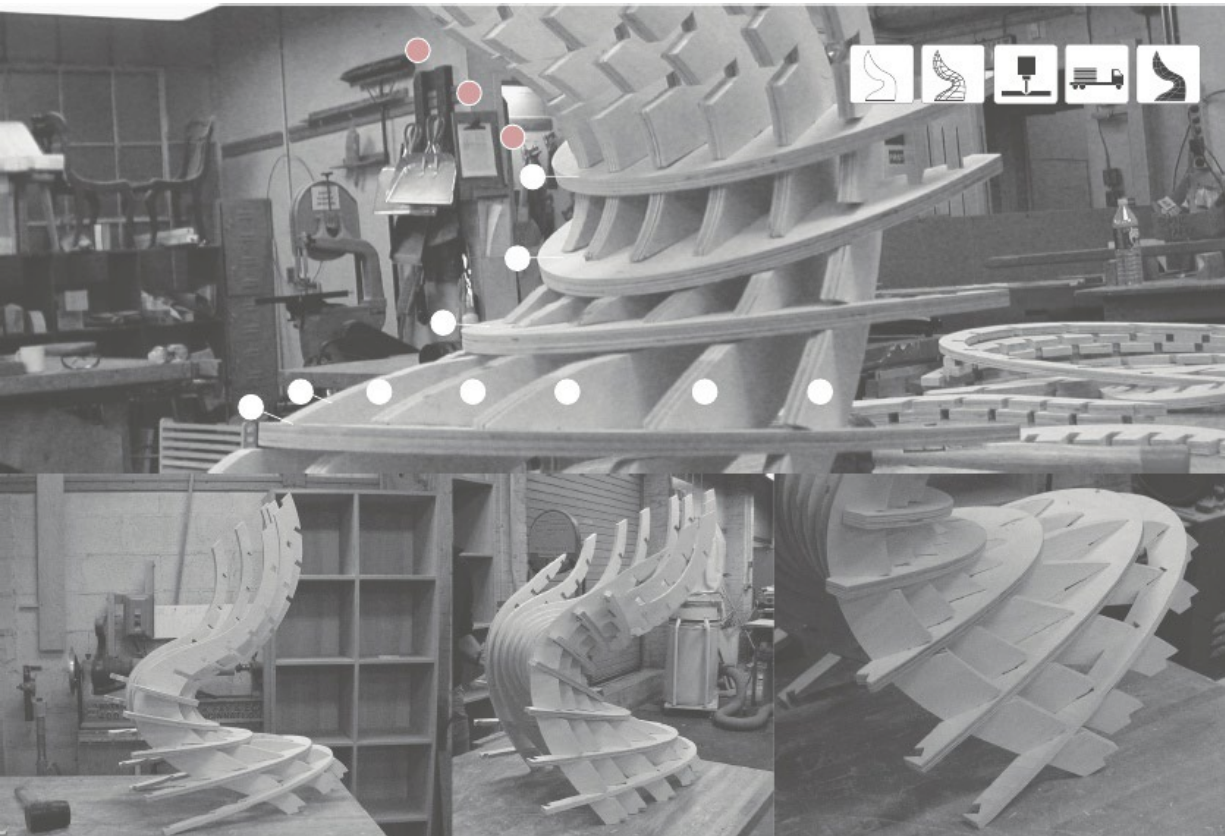




“Το Fabseat είναι μια καρέκλα που κατασκευάζεται σύμφωνα με την παραγγελία, πλήρως εξατομικεύσιμη και οικονομικά προσιτή, που χρησιμοποιεί ψηφιακό σχεδιασμό και τεχνικές κατασκευής για την παραγωγή. Η Fabseat είναι μια συναρμολόγηση προσαρμοσμένων αλληλένδετων επιπέδων από ποικίλα υλικά. Οι πελάτες μπορούν να προσαρμόσουν το σχέδιο παραμετρικά και να το στείλουν για κατασκευή. Οι εξατομικεύσιμες παράμετροι περιλαμβάνουν μέγεθος, αναλογία, χρώμα και υλικό.”<sup>7</sup>



<sup>7</sup>Fabseat, Architecture Department, MIT, Fall 2006, Research team: Dimitris Papanikolaou (design), Joshua Lobel (fabrication), Magdalini Pantazi (critic), Advisor: Prof. Lawrence Sass, Prof. Terry Knight, πηγή: <http://dimitris-papanikolaou.com/design.html#fabseat>



Αυτή η διαδικασία αναζήτησης του μοναδικού, κάθε φορά, τρόπου κατασκευής, αποτέλεσε παράγοντα για την εμφάνιση της μαζικής εξατομίκευσης (mass customization) σε επίπεδο αρχιτεκτονικής. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση των έξυπνων υλικών. Τα συμβατικά υλικά δεν είχαν ποτέ ιδιαίτερα προβλήματα ένταξης στις συμβατικές κατασκευές, για τον απλό λόγο ότι ο τρόπος εφαρμογής τους είναι συγκεκριμένος και είναι ελάχιστες οι περιπτώσεις στις οποίες χρειάζεται κάποιος πρωτοποριακός τρόπος εγκατάστασής τους, ή είναι πολύ συγκεκριμένοι οι λόγοι για τους οποίους δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν (π.χ. περιβαλλοντικοί παράγοντες). Λόγω των πολύπλοκων τεχνολογικά μικροσυστημάτων τους, προκύπτει μια ιδιαιτερότητα στην εφαρμογή τους ώστε να προσαρμοστούν αποτελεσματικά αυτά τα συστήματα στην κάθε περίπτωση. Επιπλέον, όπως ένα έξυπνο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικό σκοπό σε ένα παιχνίδι απ' ότι στην ιατρική, έτσι και στην αρχιτεκτονική μπορεί να έχει πολλαπλούς τρόπους χρήσης ανά περίπτωση, άρα και διαφορετικό τρόπο εγκατάστασης και εφαρμογής, σύμφωνα πάντα με τις ανάγκες και τα ζητούμενα. Η μέγιστη εξατομίκευση λοιπόν είναι γεγονός θέλοντας και μη, σε όποια από τις δύο επιστήμες κι αν αναφερθεί κανείς, ως απόρροια του διαφορετικού τρόπου σχεδιασμού και υλοποίησης κάθε φορά.

Για να γίνει ακόμα πιο κατανοητός ο λόγος που τα έξυπνα υλικά απαιτούν ιδιαίτερη μελέτη εφαρμογής, θα πρέπει να γίνει ένα ζουμ σε αυτά και τον τρόπο κατασκευής τους όχι ως μέρος κτηρίου αλλά ως υλικά, ως οντότητες. Από αυτό το ζουμ μπορεί κανείς να κατανοήσει πως, όταν μεγεθυνθούν αρκετά ώστε να τα αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι, τείνουν να μοιάζουν περισσότερο τα ίδια ως παραμετροποιημένες κατασκευές, παρά ως υλικά. Η λέξη “υλικό” είναι στο μυαλό μας κάτι ενιαίο, έχει συνολική υπόσταση, αντίθετα η κατασκευή είναι ένα σύνολο από πολλαπλά κομμάτια που συλλειτουργούν για τη δημιουργία του όλου. Η δυνατότητα όμως που δίνεται για τον έλεγχο της μικροκλίμακας μας επιτρέπει να χειριστούμε τμήματα τέτοιου μεγέθους όπως θα χειριζόμασταν τα κομμάτια μιας κανονικής κατασκευής. Υπό αυτές τις συνθήκες μπορούμε και πάλι να μιλήσουμε με όρους συνδεσμολογίας, καθορισμού παραμέτρων, σχεδιασμού, μορφολογίας και φυσικά συνολικής συμπεριφοράς, ανταπόκρισης και αποτελέσματος όπως ακριβώς και με τα παραμετροποιημένα μοντέλα, καταλήγοντας στην ίδια λογική με τον computational σχεδιασμό, αλλά σε εντελώς διαφορετική κλίμακα.



Η έρευνα και η κατανόηση της λειτουργίας των υλικών στο σχεδιασμό, η ικανότητα να σχεδιάζεις με το υλικό, καθώς και οι τεχνικές χειρισμού των αναπαραστάσεων των υλικών δομών μέσω της ψηφιακής κατασκευής, έχει γίνει μία από τις πιο σύγχρονες περιοχές έρευνας<sup>8</sup>. Και όταν εντοπίζονται τόσα κοινά στη δομή και την κατασκευή των αντικειμένων των δύο επιστημών που μελετάμε, που τις κάνουν συχνά να συμπίπτουν στους όρους σχεδιασμού και περιγραφής τους, έστω και σε διαφορετική κλίμακα, εντείνεται ακόμα περισσότερο το ερώτημα γιατί δεν εξελίσσεται ένα κοινό πεδίο έρευνας που να ενοποιεί αυτές τις δύο επιστήμες για την περαιτέρω και ταυτόχρονη διερεύνησή τους. Ίσως το κοντινότερο πεδίο έρευνας να είναι αυτό των διαδραστικών περιβαλλόντων, αλλά αυτό αφορά πολύ περισσότερο τις υπολογιστικές επιστήμες και τη διάδραση με το χρήστη ή μεμονωμένες εγκαταστάσεις, και όχι την εξ' ολοκλήρου μελέτη από τον αρχιτέκτονα με άξονα κίνησης τον computational σχεδιασμό και την εδραίωση των έξυπνων υλικών.

<sup>8</sup> Riva Oxman / Robert Oxman, *Introduction, Architectural Design (AD), The New structuralism*, Vol80/No4, July/August 2010, guest-edited by Rivka Oxman and Robert Oxman, Wiley, London, σελ. 20

## 04.2.2 κλίμακα

Μένοντας λίγο περισσότερο στην έννοια της κλίμακας, ας εξετάσουμε το λόγο που οι διαφορετικές κλίμακες σε επίπεδο σχεδιασμού, αλλά ακόμα περισσότερο κατασκευής, αποτελούν ταυτόχρονα φράγμα και τρόπο σύνδεσης μεταξύ των δύο επιστημών για μια καθολική αρχιτεκτονική, ανάλογα πάντα με τον τρόπο που προσεγγίζεται το θέμα.

Αν προσπαθούσε κανείς να περιγράψει το επίπεδο της λεπτομέρειας στην οποία φτάνει η μελέτη του αρχιτέκτονα στις computational διαδικασίες, θα έλεγε “μέχρι και τη βίδα”, κάτι που είναι απόλυτα κυριολεκτικό. Η μελέτη, βέβαια, ξεκινάει από πολύ μεγαλύτερη κλίμακα, από το όλο του κτηρίου ή πολλές φορές και από την ίδια την πόλη ή το γύρω περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο καλύπτεται ένα μεγάλο εύρος κλιμάκων, από πολεοδομική μέχρι κατασκευαστική, σε ένα μόλις αρχείο στον υπολογιστή.

Οι ίδιες οι ανάγκες που επιχειρείται να καλυφθούν χαρακτηρίζονται από διαφορετικές κλίμακες και γι’ αυτό το κτήριο θα πρέπει να ανταποκρίνεται σε όλες. Για παράδειγμα, κατά το σχεδιασμό ενός ψηλού οικοδομήματος, μπορεί να χρειάζεται να αλλάξουμε την καμπύλη του εξωτερικού του περιβλήματος για να αντιδρά καλύτερα στα κύματα του αέρα. Αυτό είναι κάτι το οποίο σαν αλλαγή θα επηρεάσει το συνολικό όγκο και θα περαστεί και στα κατώτερα ιεραρχικά κομμάτια της κατασκευής. Αλλάζοντας κλίμακα, μπορεί σε ένα μόλις δωμάτιο του ίδιου κτηρίου, να επιθυμούμε τη σύνδεση μεταξύ των πλακών, όπου η μεταξύ τους απόσταση είναι μικρότερη ή ίση των 2 μέτρων, ώστε να αποφύγουμε πολύ μικρούς σε ύψος χώρους. Κάτι τέτοιο, θα επηρέαζε το μοντέλο μας από την κλίμακα του δωματίου και κάτω. Με αυτόν τον τρόπο αντιλαμβανόμαστε πως οι αλλαγές επέρχονται σαν “domino” και αλληλοεπηρεάζουν τις διαφορετικές κλίμακες, συνήθως από τη μεγαλύτερη στη μικρότερη, εκτός κι αν μιλάμε για διαρθρωτικές αλλαγές.

Οι αλλαγές που υφίστανται τα έξυπνα υλικά αφορούν κι αυτές τη μικροκλίμακα, τη μοριακή τους δομή, κάποια αλλαγή ή μεταφορά ενέργειας. Η αλλαγή γίνεται στο “πολύ μικρό”, παρ’ όλο που τα έξυπνα υλικά προσπαθούν να ενταχθούν σε κάτι “πολύ μεγάλο”, όπως είναι ένα κτήριο. Γι’ αυτό και η εφαρμογή τους από τους αρχιτέκτονες δεν είναι κάτι εύκολο. Ενώ μελετητές από άλλους επιστημονικούς κλάδους έχουν συνηθίσει να δουλεύουν στη μικροκλίμακα (π.χ. χημικοί, βιολόγοι κτλ), οι αρχιτέκτονες δούλευαν πάντα σε μεγαλύτερη. Για να μπορέσουν, λοιπόν, να “ενστερνιστούν” τα χαρακτηριστικά των έξυπνων υλικών, να δουλέψουν με αυτά και να διευρύνουν τις δυνατότητες εφαρμογής τους, ώστε να εξυπηρετήσουν καταλληλότερα το χρήστη με τη χρήση ή και δημιουργία νέων υλικών, προηγείται ένα μακρύ ταξίδι έρευνας και σκληρής δουλειάς. Για παράδειγμα, οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες, συναντούν πολλές διαφορετικές χρήσεις σε μηχανολογία, αεροναυπηγική, ιατρική, όμως απαιτείται σκέψη για το πώς θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και στην αρχιτεκτονική (π.χ. να εγκατασταθούν σε κάποιο πάτωμα ώστε όταν κάποιος περπατάει πάνω να παράγεται φως από την ενέργεια που δημιουργείται από την πίεση με το πάτημα του ανθρώπου). Γι’ αυτό βλέπουμε ότι προς το παρόν δεν υπάρχουν πολλά παραδείγματα εφαρμογής των έξυπνων υλικών στην αρχιτεκτονική, τουλάχιστον όσον αφορά την ολότητα ενός κτηρίου και όχι επιμέρους τμήματα/προσθήκες, και επομένως δεν έχει αποδειχθεί αν μπορούν να είναι το μέλλον της.

Δεν υπονοούμε πως από το computational design λείπει η μικροκλίμακα και από τα έξυπνα υλικά η πιο μεγάλη. Οι κλάδοι από μόνοι τους είναι αρκετά πλήρεις και αρκούν για την ολοκλήρωση project για συγκεκριμένες εφαρμογές. Όμως αυτή η διαφορά - αρχιτεκτονικής και μη - κλίμακας είναι που μας οδηγεί και στη διαφορά καθολικότητας και εφαρμοσιμότητας.

Σε μια προτεινόμενη συνεργασία για λόγους μέγιστης μεταβλητότητας και κοινού λεξιλογίου κατασκευής, έρχεται να προστεθεί η ιδιότητα των παραμετροποιημένων μοντέλων να περιλαμβάνουν όλες τις αναγκαίες κλίμακες. Γι' αυτό την παραμετροποίηση στα υλικά θα πρέπει να την παραλάβει η παραμετροποίηση στο σχεδιασμό, για να της δώσει το περιθώριο απείρων τρόπων εφαρμογής και ταυτόχρονα να την εντάξει σε μια ευρύτερη κλίμακα, όχι από μόνη της, αλλά ως συσσωμάτωμα με το παραγόμενο μοντέλο. Η computational τεχνολογία, δηλαδή, κρίνεται απαραίτητη για να παραλάβει την αδυναμία ευρείας εφαρμογής των έξυπνων υλικών.



### 04.2.3 φύση

Ο τρόπος που ανιχνεύεται η συμβολή της φύσης σε καθεμία από τις επιστήμες θα μπορούσαμε να πούμε πως είναι τόσο κοινού, όσο και συμπληρωματικού χαρακτήρα.

Στο computational design, η σχέση με τη φύση αφορά περισσότερο τα μορφολογικά χαρακτηριστικά. Βλέπουμε παραμετροποιημένα κτήρια με βιομορφικές, νατουραλιστικές και ροϊκές μορφές, που παραπέμπουν πολύ σε βιολογία, κυτταρικές δομές και ιστούς. Άλλωστε βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα του βιολογικού κόσμου είναι η ικανότητά του να δημιουργεί πολύπλοκες δομές οργανικών ή ανόργανων πολυλειτουργικών σύνθετων<sup>9</sup>. Από το μετάξι στον ιστό μιας αράχνης, μέχρι τους σχηματισμούς στο καβούκι μιας χελώνας, οι μορφές της φύσης γοητεύουν. Οι επιλογές της έχουν παράξει αρκετά εντυπωσιακά παραδείγματα, με εξαιρετικές ιδιότητες που είναι ακόμα απαράμιλλες από οτιδήποτε σχεδόν έχει κατασκευάσει ο άνθρωπος<sup>10</sup>. Γι' αυτό το λόγο δεν είναι έκπληξη το γεγονός ότι οι μηχανικοί ολοένα και περισσότερο στρέφονται στις μορφές που ο πλανήτης έχει εδώ και 3.8 δισεκατομμύρια χρόνια<sup>11</sup>.

Από τη στιγμή που οι γεωμετρικές φύσης και παραμετροποιημένων μοντέλων μοιάζουν μορφολογικά, δε μπορούν παρά να μοιάζουν και στον τρόπο περιγραφής τους. Ας πάρουμε ως παράδειγμα τα φύλλα ενός δέντρου, που ενώ έχουν όλα ίδιο σχήμα και ίδια χαρακτηριστικά, είναι μεταξύ τους μοναδικά. Μόνο οι αναλογίες τους, δηλαδή οι σχέσεις που τα διέπουν, είναι κοινές. Κι αυτό γιατί είναι μορφώματα διαφόρων παραμέτρων/παραγόντων που τις καθορίζουν κατά τη δημιουργία τους. Όπως και τα μοντέλα από τα computational προγράμματα. Όταν λοιπόν οι γεωμετρικές φύσης και ψηφιακών κατασκευών περιγράφονται με τον ίδιο τρόπο, καταλαβαίνουμε γιατί είναι τόσο έντονη η παρουσία της πρώτης στις δεύτερες.

<sup>9</sup> Για παράδειγμα όστρακα, μαργαριτάρια, κοράλλια, οστά, δόντια, ξύλο, μετάξι, κέρατο, κολλαγόνο και μυϊκές ίνες

<sup>10</sup> Neri Oxman, *Structuring Materiality: design fabrication of heterogeneous materials*, Architectural Design (AD), The New structuralism, Vol80/No4, July/August 2010, guest-edited by Rivka Oxman and Robert Oxman, εκδ. Wiley, London, σελ. 80

<sup>11</sup> Biomimicry 3.8, πηγή: <http://biomimicry.net/about/biomimicry38/>

Ο λόγος που αποκαλέσαμε τη σχέση της φύσης με το computational design και τα έξυπνα υλικά εν μέρει συμπληρωματική, είναι γιατί στη μία περίπτωση η φύση ήρθε να προστεθεί ως έμπνευση και οδηγός με τους γεωμετρικούς κανόνες της, ενώ στην άλλη, η τεχνολογία ήρθε να προστεθεί στα φυσικά στοιχεία που είναι τα υλικά, τα οποία είτε προέρχονται απευθείας από αυτή, είτε προκύπτουν ως συνδυασμός διαφόρων συστατικών με τη βοήθεια του ανθρώπου και φυσικών/χημικών διεργασιών. Όταν σε αυτά προστίθεται η σύγχρονη τεχνολογία προκύπτουν τα έξυπνα υλικά.

Και σε αυτά όμως, η φύση αποτελεί πηγή έμπνευσης, όχι τόσο όσον αφορά μορφολογικά χαρακτηριστικά, αλλά κυρίως μιμούμενα στοιχεία συμπεριφοράς ζωντανών οργανισμών. Στο τεύχος του “Soft-Tech”, τα υλικά περιγράφονται ως οργανισμοί που εξελίσσονται (growing organisms), και η πρακτική του σχεδιασμού τους είναι κατανοητή ως η μηχανική των μοριακών ουσιών τους, όπως στο σχεδιασμό ενός ζωντανού ιστού<sup>12</sup>. Βλέπουμε, δηλαδή, το όραμα για υλικά που πλάθονται για να δημιουργήσουν την τελική μορφή και δεν είναι απόλυτα και “στατικά”, δεν επιλέγονται από έναν κατάλογο με βάση κάποιο χαρακτηριστικό, αλλά επηρεάζονται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, δημιουργούν ζωτικούς χώρους που μεταβάλλονται, όπως συμβαίνει και στην ίδια τη φύση.

Σε σύγκριση με τη φύση, βέβαια, οι ανθρώπινες στρατηγικές για τα υλικά ακόμα και σήμερα φαίνεται να είναι πολύ λιγότερο αποτελεσματικές και κυρίως σπάταλες. Η επιδερμίδα των κτηρίων είναι ένα μεγάλο παράδειγμα των χειρισμών της βιομηχανικής περιόδου. Χάλυβας και γυαλί, έχουν σημαντικά διαφορετικές διαρθρωτικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες που σχετίζονται με διαφορετικές απαιτήσεις επιδόσεων. Η ποικιλομορφία σε αυτά είναι κάτι που επιτυγχάνεται περισσότερο μέσω της συνδεσμολογίας των επιμέρους κομματιών, παρά ως αποτέλεσμα μεταβολής παραγόντων, και είναι συνήθως μαζικής παραγωγής, δεν είναι προσαρμοσμένες κατασκευές.

<sup>12</sup> EcoRedux, *Design Remedies for an Ailing Planet*, Architectural Design (AD)/vol80/No6, November/ December 2010, guest-edited by Lydia Kallipoliti, Wiley, 2010, σελ. 37



Παράδειγμα αποτελεί μια εφαρμογή από το MIT Media Lab με το όνομα CNSILK. Σύμφωνα με τη Neri Oxman, υπεύθυνη για τη δημιουργία του ομάδα Mediated Matter “Το CNSILK εξερευνά τις σχεδιαστικές και κατασκευαστικές δυνατότητες των μεταξένιων ινών - εμπνευσμένων από τα κουκούλια των μεταξοσκωλήκων - για τη δόμηση πλεκτών περιβαλλόντων. Εξερευνά μια πρωτότυπη προσέγγιση στο σχεδιασμό και την κατασκευή βασισμένων στο μετάξι επιδερμίδων κτηρίου, ελέγχοντας τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες που έχουν οι χωρικές δομές στις μικροδομές τους, χρησιμοποιώντας πολυαξονική ψηφιακή κατασκευή. Η μέθοδος προσφέρει κατασκευή χωρίς συναρμολόγηση ώστε οι ιδιότητες των υλικών να ποικίλουν τοπικά για να καλύψουν δομικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις. Αυτή η προσέγγιση έρχεται σε αντιδιαστολή με λειτουργικές συναρμολογήσεις και κινητικά ενεργοποιούμενων όψεων, οι οποίες προϋποθέτουν ένα μεγάλο ποσό ενέργειας για να λειτουργήσουν και διατηρούνται με καθολικό έλεγχο. Τέτοιου είδους αρχιτεκτονικές υλικών μπορούν ταυτόχρονα να συγκρατήσουν το φορτίο της κατασκευής, να αλλάξουν τη διαφάνειά τους ώστε να ελέγχουν τα επίπεδα φωτός εντός ενός χωρικού τμήματος (κτήριο ή όχημα) και να ανοίγουν και να κλείνουν ενσωματωμένους πόρους για τον εξαερισμό ενός χώρου.”<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Neri Oxman, Ομάδα Mediated Matter, CNSILK, MIT Media Lab, πηγή: <http://www.media.mit.edu/research/groups/mediated-matter>



Όσον αφορά τη δόμηση, τα υλικά παραδοσιακά θεωρούνταν χαρακτηριστικό της μορφής, αλλά όχι ο δημιουργός της. Αν και δίνουν σε μεγάλο βαθμό το χαρακτήρα και την αίσθηση ενός κτηρίου, συνήθως μελετούνταν μετά το σχεδιασμό της μορφής, για να τη συμπληρώσουν και να την ολοκληρώσουν, συχνά με κριτήριο τα μορφολογικά και διακοσμητικά τους χαρακτηριστικά, χωρίς να παίζουν κυρίαρχο ρόλο στο σχεδιασμό. Στη φύση φαίνεται πως η ιεραρχική δομή “μορφή - δομή - υλικό” είναι αντιστραμμένη από κάτω προς τα πάνω<sup>14</sup>. Μπορεί η ικανότητα της φύσης να υιοθετηθεί στο σχεδιασμό του τεχνητού;

Η διαδρομή δεν είναι καθόλου απλή, ιδιαίτερα σε εξελιγμένης τεχνολογίας αποτελέσματα, όπως είναι τα έξυπνα υλικά, που απέχουν αρκετά από τα φυσικά υλικά παρόλο που ανήκουν στην ίδια ευρύτερη οικογένεια.

Ένας διευρυμένος σχεδιασμός με την έντονη παρουσία της φύσης θα έδινε τη δυνατότητα περαιτέρω διερεύνησης των δυνατοτήτων που προσφέρει, καθώς η σχέση της με την αρχιτεκτονική είναι ολόκληρο πεδίο έρευνας. Η αναφορά στη φύση ως πηγή έμπνευσης δεν έχει όρια κι αν είχε, πάλι ο άνθρωπος δε θα ήταν κοντά σε αυτά. Αποτελεί αντικείμενο μελέτης για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της κατασκευής σε διάφορες κλίμακες και η συνδυαστική αναζήτηση στη γκάμα κλιμάκων που προσφέρεται μέσω της πρότασης που περιγράφουμε θα επιτρέψει τη βαθύτερη διείσδυση και αναζήτηση στο μεγαλύτερο και άρτια εκτελούμενο σύστημα που υπήρξε και θα υπάρξει ποτέ.

*"Στις εφευρέσεις της (φύσης), τίποτα δε λείπει και τίποτα δεν είναι περιττό."*

*Leonardo Da Vinci*<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Neri Oxman, *Structuring Materiality: design fabrication of heterogeneous materials*, The New structuralism, Architectural Design (AD), Vol80/No4, July/August 2010, guest-edited by Rivka Oxman and Robert Oxman, Wiley, London, σελ. 80-81

<sup>15</sup> πηγή: <http://www.spaceandmotion.com/philosophy-leonardo-da-vinci-art-science-quotes.htm>



#### 04.2.4 εξοικονόμηση / ενεργειακή απόδοση

Μετά την αναφορά στη φύση δε μπορεί κανείς παρά να αναρωτηθεί τί γίνεται όσον αφορά την αξιοποίηση των πόρων που χαρίζονται απλόχερα από αυτήν. Άλλωστε, ένα από τα μέγιστα θέματα της εποχής αποτελεί το ενεργειακό αδιέξοδο και οι τρόποι αντιμετώπισής του, ενώ παράλληλα η οικονομία και εξοικονόμηση πόρων κάθε είδους, ενεργειακών, υλικών, χρονικών, έχουν αποκτήσει δυναμικά έδαφος σε πολλούς τομείς.

Τα computational προγράμματα περιλαμβάνουν στις δυνατότητές τους την άμεση και απόλυτη καταμέτρηση των επιμέρους στοιχείων, άρα και τη δυνατότητα ακριβέστερου προϋπολογισμού για το project. Η ακρίβεια αυτή που χαρακτηρίζει τα παραμετροποιημένα μοντέλα έχει το πλεονέκτημα αποφυγής τυχόν αστοχίας συνδέσεων μεταξύ κομματιών, μειώνοντας τέτοιου είδους κόστη που συναντούνται στο εργοτάξιο στο ελάχιστο. Ο Frank Gehry, μέσω μιας συνέντευξής του για τη χρήση του CATIA<sup>16</sup>, αριθμεί ο ίδιος τα τέτοιας φύσης πλεονεκτήματα, ένα βασικό εκ των οποίων είναι και η εξοικονόμηση χρόνου. Ακόμα και τυχόν αλλαγές στο κτηριολογικό πρόγραμμα δεν αποτελούν πλέον εμπόδιο για τον αρχιτέκτονα, αφού μπορεί να θέσει ως παράμετρο τα ίδια τα τετραγωνικά μέτρα που επιθυμεί και το μοντέλο του να προσαρμοστεί σε αυτά διατηρώντας πάντα τις σχέσεις που το χαρακτηρίζουν. Ακόμα, η ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου συχνά αποτελεί ζητούμενο βάσει του οποίου εισάγονται παράμετροι στο σχεδιασμό. Από τα μεγαλύτερα παραδείγματα είναι τα έργα του Foster<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Βίντεο, *Frank Gehry uses CATIA for his Architecture Creations*, πηγή: <http://www.youtube.com/watch?v=UEn53Wr6380>

<sup>17</sup> Ο Phillip Inman, έγραψε για το έργο των Foster & Partners “Gherkin” των Swiss Re headquarters το 2007 στην εφημερίδα *Guardian* “Η Swiss Re είτε πως είναι περήφανη για το Gherkin, που έχει πολλά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά. Θα εξασφαλίσει ένα κέρδος ύψους £250 εκατομμυρίων στη συμφωνία”, πηγή: <http://www.fosterandpartners.com/projects/swiss-re-headquarters-30-st-mary-axe>

Η εξοικονόμηση αποτελεί κυρίαρχο στοιχείο και της λογικής των έξυπνων υλικών. Γενικότερα στις μέρες μας έννοιες όπως η ενεργειακή πολιτική, η βιωσιμότητα και η οικονομία έχουν γίνει μέρος κάθε είδους σχεδιασμού. Τα αποθέματα πρώτων υλών εξαντλούνται ραγδαία, ενώ το υφιστάμενο κτηριακό περιβάλλον καταναλώνει το 1/3 της παγκόσμιας ενέργειας και παράγει το 1/3 του παγκόσμιου εκλυόμενου διοξειδίου του άνθρακα<sup>18</sup>. Τα υλικά, λοιπόν, που χρησιμοποιούνται σε ένα κτήριο καλούνται να ανταπεξέλθουν σε αυτές τις δύσκολες συνθήκες και να συμβάλλουν στην καλύτερη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας και υλικών. Τα έξυπνα υλικά το καταφέρνουν αυτό σε μεγάλο βαθμό. Τα περισσότερα έχουν μικρό ίδιο βάρος, επομένως δίνουν τη δυνατότητα κάλυψης πολύ μεγάλων επιφανειών με πολύ λιγότερη ποσότητα, συμβάλλοντας έτσι στην εξοικονόμηση υλικού. Επιπλέον, είναι στη φύση τους να ανταποκρίνονται στα ερεθίσματα που δέχονται από το περιβάλλον τους, αξιοποιώντας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την ενέργεια που δέχονται από αυτό.

<sup>18</sup> *Buildings and their Impact on the Environment: A Statistic Summary*, revised April 22, 2009, πηγή: Buildings Energy Databook, 2006, US Department of Energy and Annual Energy Review 2007, DOE/EIA-0384 (2007), Energy Information Administration, US Department of Energy, June 2008



Η λογική της ενεργειακής απόδοσης ήταν πάντα στο προσκήνιο. Με αυτό σχετίζεται και το πώς αντιλαμβάνεται κανείς ένα κτήριο, κάτι που τελευταία έχει αλλάξει. Σύμφωνα με άρθρο από το περιοδικό “Architectural Design”<sup>19</sup>, το κτήριο γινόταν παλιότερα αντιληπτό ως ένας “φάκελος”, μια “συσκευή διαμεσολάβησης” μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ως τέτοιος “φάκελος” συμπίπτει με το “όριο”, το οποίο στη συνέχεια ταυτίζεται με τη “διαμεσολάβηση”. Σε αυτή την εικόνα, το ανθρώπινο σώμα δεν είναι παρά μια παθητική συνιστώσα, ένα δευτερεύον στοιχείο του οποίου οι ανταλλαγές ενέργειας καθορίζονται εξ’ ολοκλήρου από τον φάκελο αυτόν που το περικλείει. Αυτή η υποταγή του σώματος στην οικοδόμηση αντανακλά έναν διαφορετικό χαρακτηρισμό του κτηρίου, στον οποίο λειτουργεί ως “δοχείο” του περιβάλλοντος του ανθρώπου και ως “φράγμα” με το περιβάλλον της φύσης. Η ανάπτυξη των περιβαλλοντικών τεχνολογιών, ιδίως των συστημάτων HVAC (θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός) στα τέλη του 19ου και αρχές του 20ου αιώνα ήταν άμεσα συνδεδεμένη με την παροχή άνεσης, ενώ ταυτόχρονα απελευθέρωνε το κτήριο από το ρόλο του ως διαμεσολαβητή του περιβάλλοντος. Οι αρχιτέκτονες των αρχών του 20ου αιώνα, όπως ο Le Corbusier και ο Frank Lloyd Wright, ερμήνευσαν αυτή την περιβαλλοντική αποσύνδεση του φακέλου ως τη μετατροπή του από ένα όριο ανταλλαγής σε όριο της ασυνέχειας. Τα κτήρια “υψηλής απόδοσης” αναδείχθηκαν ως μια τυπολογική λύση σε αυτή τη μεταβλητότητα, με μεγάλο μέρος της προσοχής τους να στρέφεται στην τεχνολογική αναβάθμιση του κελύφους του κτηρίου. Σχεδιασμένο για να απορροφήσει πολλές από τις λειτουργίες των συστημάτων HVAC, το κέλυφος - φάκελος έγινε το στοιχείο κατατεθέν αυτού του τύπου. Ο φάκελος αυτός είναι γνωστός με πολλούς όρους - πολυδύναμος τοίχος, ευφυής πρόσοψη, υψηλής απόδοσης κέλυφος- που ουσιαστικά παραπέμπει σε έναν συμπυκνωμένο φάκελο που “στεγάζει” πολλές μηχανικές και ηλεκτρικές λειτουργίες, από τις οποίες οι πιο περίτεχνες κατασκευές είναι υψηλής μηχανικής, από τους φωτοαισθητήρες μέχρι τους “έξυπνους” υαλοπίνακες. Φαίνεται σίγουρα σαν να πρόκειται για μια επιστροφή στην ιδέα του φακέλου ως περιβαλλοντικό μεσολαβητή.

<sup>19</sup> Michelle Addington, *Contingent Behaviours, Energies: New Material Boundaries*, Architectural Design (AD)/vol79/No3, May/June 2009, guest-edited by Sean Lally, εκδ. Wiley, 2009, σελ. 13-16

Η πρόθεση είναι να σπάσουν τα σύνορα μεταξύ του εντός και του εκτός, σε μια προσπάθεια να ξεπεραστεί η υπερβολικά μηχανική γραμμή που οριοθετεί το εσωτερικό/εξωτερικό χάσμα, αλλά ταυτόχρονα να φανεί αν μπορεί αυτή η γραμμή να καταργηθεί εντελώς. Με τα έξυπνα υλικά να αποτελούν συστατικό κομμάτι του κτηρίου, και με τη δυνατότητά τους να ανταποκρίνονται άμεσα και αναστρέψιμα στα ερεθίσματα που δέχονται και να αλληλεπιδρούν με το γύρω περιβάλλον, οι νόμοι της μεταφοράς θερμότητας (αγωγή, συναγωγή, ακτινοβολία) μπορούν να εκδηλώνονται μέσα από το όριο του κτηρίου. Στην ουσία με τον τρόπο αυτό το όριο δεν είναι πλέον ένα φράγμα, αλλά μια ζώνη εντός της οποίας λαμβάνουν χώρα ανταλλαγές ενέργειας. Τα έξυπνα υλικά, λοιπόν, συμβάλλουν στην αξιοποίηση με το μέγιστο τρόπο της ενέργειας που δέχονται τα κτήρια, έτσι ώστε να βοηθούν στην αντιμετώπιση του ενεργειακού αδιεξόδου, προσφέροντας παράλληλα ευνοϊκότερες συνθήκες ζωής στους χρήστες.

Η μονομερής προσέγγιση των δύο επιστημών θεωρούμε πως ισούται με σπατάλη δυνατοτήτων άρα και απόκλιση από το μέγιστο κέρδος (χρόνου, χρήματος, ενέργειας). Σε μια προσπάθεια να επιστρέψουμε σε ένα πιο βιώσιμο σχεδιασμό, για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, έχουμε την ανάγκη εξάντλησης των διεξόδων που μας παρέχονται προς αυτήν την κατεύθυνση.

Από τη στιγμή που είναι εφικτή μια διεπιστημονική συνεργασία, τα οφέλη έξυπνων υλικών και computational τεχνολογιών θα πρέπει να προκύπτουν από μία και μόνο συνθετική διαδικασία που θα καθιστά δυνατή την εφαρμογή και των δύο.



~~05~~

# ΘΕΩΡΙΑ Vs ΠΡΑΞΗ



## 05.1 μηχανικά και μη μέσα

### 05.1.1 L' Institut du Monde Arabe

### 05.1.2 ShapeShift

### 05.1.3 Phototropia

## 05.2 Touch, Dexia Tower

## 05.3 SmartWrap Pavilion



Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα έξυπνα υλικά βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο και γι' αυτό δεν έχουν ευρεία εφαρμογή στον τομέα της αρχιτεκτονικής. Όταν πρόκειται να ενσωματωθούν οι νέες αυτές τεχνολογίες σε ένα κτήριο, συνήθως περιορίζονται σε επιμέρους, μικρότερα τμήματά του, ως επικαλύψεις ή προσθήκες, αν και έχουν ήδη διεισδύσει σε μερικές από τις πιο απλές κτηριακές τεχνολογίες. Η πλέον ορατή εφαρμογή έξυπνων υλικών σε κτήρια βρίσκεται στις περιοχές των παραθύρων και των συστημάτων όψεων.

Ακολουθούν παραδείγματα εφαρμογών που παραπέμπουν σε χρήση υπολογιστικών συστημάτων και “έξυπνάδας” και εκφράζουν ως ένα βαθμό το σκεπτικό του computational σχεδιασμού. Προχωράμε σταδιακά από μια όψη κτηρίου κινούμενη με μηχανικά μέσα, σε μικροεφαρμογές έξυπνων υλικών που επίσης προορίζονται για τον έλεγχο αερισμού και φωτοσκίασης, αλλά χωρίς μηχανικά μέσα. Συνεχίζουμε σε μια μεγαλύτερη τεχνολογική εφαρμογή κτηρίου που εκφράζει μέγιστη μεταβλητότητα και καταλήγουμε στο πιο κοντινό παράδειγμα συνδυασμού έξυπνων υλικών και ψηφιακής σχεδίασης που απαντάται σε ένα περίπτερο (pavilion) και συγκεντρώνει πολλά από τα κοινά χαρακτηριστικά των δύο επιστημών. Στόχος είναι η αναγνώριση της νέας διάστασης που αποκτά η αρχιτεκτονική στηριζόμενη στη μεταβλητότητα και τη διάδραση με περιβάλλον και χρήστη, καθιστώντας πιο σαφές πως ένα εξελιγμένο όραμα σαν αυτό που περιγράφουμε θα άλλαζε πολλά από τα γνωστά δεδομένα σχεδιασμού, κατασκευής και βιωμάτων.

## 05.1 μηχανικά και μη μέσα

### 05.1.1 L' Institut du Monde Arabe<sup>1</sup>

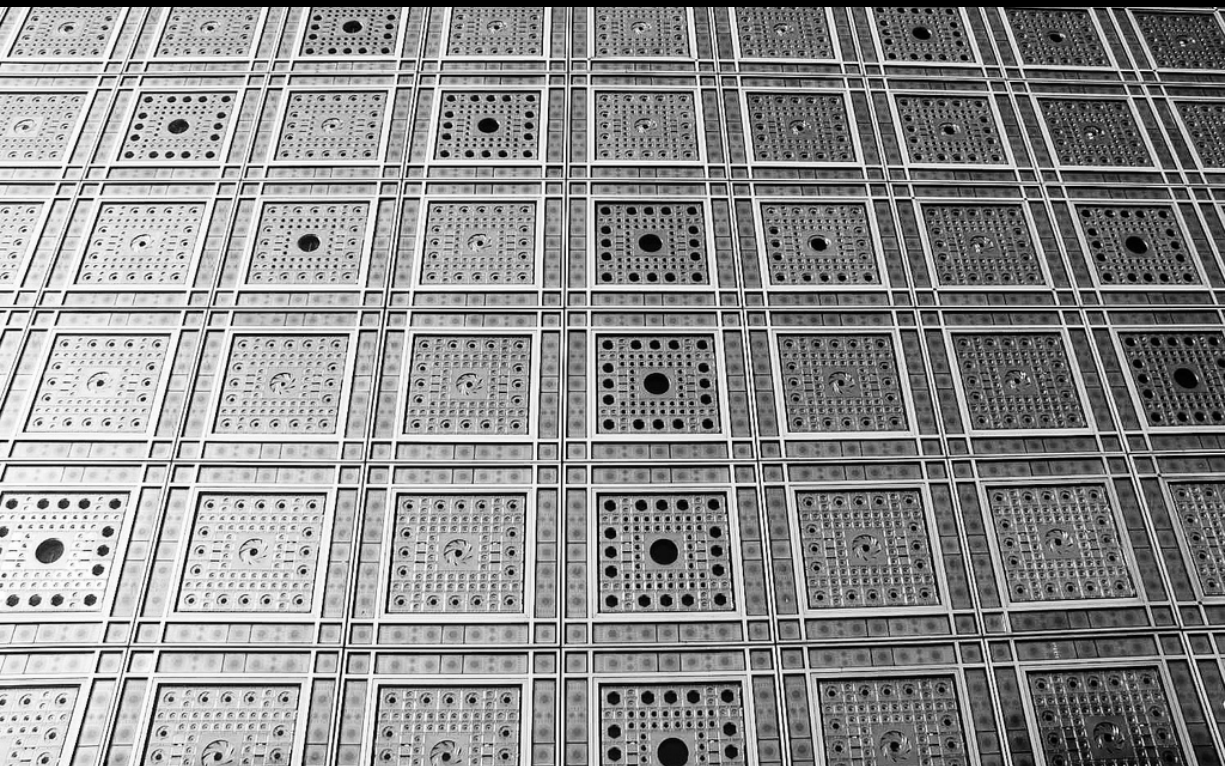
*Architect: Jean Nouvel, Paris, 1987*

Το “Institut du Monde Arabe” (Ινστιτούτο του Αραβικού Κόσμου), είναι ένα πολιτιστικό κέντρο στη Γαλλία, που σκοπό έχει να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον αραβικό κόσμο. Το διαγωνισμό για το σχεδιασμό του κτηρίου κέρδισε ο Jean Nouvel, γνωστός για την ιδιαίτερη προσοχή που δίνει στις λεπτομέρειες των προσώψεων του.

Σε αυτό το κτήριο ο Jean Nouvel έχει αναπτύξει ένα καινοτόμο και διαδραστικό σύστημα όψης στον τοίχο του κτηρίου με νότιο προσανατολισμό, το οποίο ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες - και συγκεκριμένα στην κατάσταση του εξωτερικού φωτός - επιτρέποντας έτσι και στο εσωτερικό του κτηρίου να προσαρμοστεί στο περιβάλλον του. Η έμπνευση προήλθε από τα παραδοσιακά κιγκλιδώματα που είχαν χρησιμοποιηθεί για αιώνες στη Μέση Ανατολή για να προστατεύουν τους επιβάτες από τον ήλιο και να διασφαλίζουν την ιδιωτικότητα.

Με μια πρώτη ματιά, τα παράθυρα φαίνονται να είναι πολύ παρόμοια με αυτά που εντοπίζονται στην παριζιάνικη αρχιτεκτονική, αλλά επίσης λειτουργούν ως “μεταλλικά μάτια” που διαστέλλονται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τις συνθήκες φωτισμού του εξωτερικού περιβάλλοντος: διαστέλλονται για να επιτρέψουν στο φως της ημέρας να εισέλθει στο μουσείο, ή συστέλλονται για να μειώσουν την έκθεση στον ήλιο.

<sup>1</sup>πληροφορίες από: <http://www.jeannouvel.com/english/> και AD Classics: Institut du Monde Arabe / Jean Nouvel, by Tim Winstanley, October 2011, πηγή: <http://www.archdaily.com>

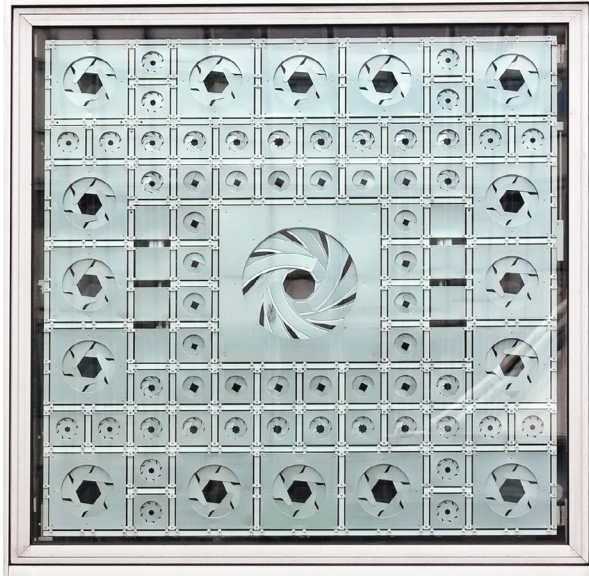


Στην ουσία πρόκειται για μια πρωτότυπη οφθαλμική συσκευή, κατασκευασμένη από γυαλί και ασάλι, που αποτελείται από πολλά (περί τα 30.000) και ποικιλοτρόπως διαστασιοποιημένα μεταλλικά φωτοευαίσθητα διαφράγματα, τοποθετημένα σε διάτρητα μεταλλικά σύνορα. Αυτά τα διαφράγματα λειτουργούν όπως ο φακός της φωτογραφικής μηχανής για τον έλεγχο διείσδυσης του ήλιου στο εσωτερικό. Κατά τη διάρκεια των διαφόρων φάσεων του φακού σχηματίζεται ένα μεταβαλλόμενο γεωμετρικό μοτίβο. Τετράγωνα, κύκλοι, και οκταγωνικά σχήματα παράγονται σε μια ρευστή κίνηση καθώς διαμορφώνεται το φως. Οι αλλαγές στις ίριδες είναι περισσότερο εμφανείς μέσα στο κτήριο, όπου αποκαλύπτονται με ένα δραματικό τρόπο, ενώ εξωτερικά μπορεί να παρατηρηθεί ένα λεπτό μοτίβο πυκνώσεων και αραιώσεων. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι σαν μια διάτρητη οθόνη.

Αν και αυτές οι οφθαλμικές συσκευές δημιουργούν μια απίστευτη αισθητική, έχουν μεγάλη λειτουργική σημασία και από τη σκοπιά του περιβαλλοντικού ελέγχου. Το ηλιακό όφελος εύκολα μετριάζεται, κλείνοντας ή μειώνοντας τα μεγέθη των ανοιγμάτων.

Η μοναδική χρήση φωτοευαίσθητων μηχανικών συσκευών υψηλής τεχνολογίας κατέστησε το κτήριο αυτό διάσημο το 1987. Στην ουσία πρόκειται για εφαρμογή κινητικής αρχιτεκτονικής με μηχανικά μέσα, αφού δεν περιλαμβάνει υλικά που ενσωματώνουν στη δομή τους κινητικές ιδιότητες. Έτσι, δεν εξασφαλίζεται η εξισορρόπηση ενεργειακού κέρδους και κόστους συντήρησης των μηχανικών συστημάτων. Γι' αυτό, αν και σήμερα εξακολουθεί να είναι ευρέως γνωστό και δεν έχει χάσει τη φουτουριστική του εντύπωση, το σύστημα πρόσοψης δε λειτουργεί σε μόνιμη βάση.





*“Στο Ινστιτούτο Αραβικού Κόσμου, άρχισα επίσης να εξετάζω το ζήτημα του φωτός. Το θέμα του φωτός που αντανακλάται στον νότιο τοίχο, ο οποίος αποτελείται εξ ολοκλήρου από διαφράγματα που θυμίζουν κάμερες, και επανεμφανίζεται στο στοίβαγμα της σκάλας, το θόλωμα των περιγραμμάτων, οι μεγάλες επιβολές, στις αντηχήσεις και τις αντανακλάσεις και τις σκιές.”*

*Jean Nouvel<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> πηγή: <http://www.jeannouvel.com/english/>

Είναι λοιπόν δυνατή μια μεταβαλλόμενη αρχιτεκτονική υποστηριζόμενη από μηχανικά μέσα, το κόστος όμως λειτουργίας της είναι μάλλον μεγαλύτερο. Την κατάσταση αυτή καλούνται πλέον να αντισταθμίσουν τα έξυπνα υλικά, τα οποία μπορούν να ανταποκριθούν αποτελεσματικότερα σε τέτοιες συνθήκες. Ακολουθούν δύο πειραματικές εφαρμογές έξυπνων υλικών που προορίζονται να παίξουν το ρόλο της όψης και του στεγάστρου αντίστοιχα. Αν και δεν πρόκειται για εφαρμογές που έχουν επεκταθεί στην κτηριακή κλίμακα, συνδέονται άμεσα με τη λογική ενός ενοποιημένου σχεδιασμού που επιδιώκουμε και υπερισχύουν έναντι λύσεων υποστηριζόμενων από μηχανικά μέσα.

### 05.1.2 ShapeShift<sup>3</sup>

by ETHZ & EMPA, 2010

Το ShapeShift είναι ένα πείραμα που διερευνά την πιθανή εφαρμογή του ηλεκτροενεργού πολυμερούς (EAP - electroactive polymer) σε μια αρχιτεκτονική κλίμακα. Ως μια συνεργασία μεταξύ του Computer Aided Architectural Design (στο ETHZ) και του Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA), γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ των προηγμένων τεχνικών στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό/κατασκευή και την επιστήμη των υλικών, ενώ παράλληλα προωθεί την ακαδημαϊκή έρευνα για εφαρμογές στον πραγματικό κόσμο.

Η αρχική ιδέα αφορούσε την ανάπτυξη ενός αυτόματου συστήματος εξαερισμού και φωτοσκιασμού το οποίο θα μπορούσε να ενταχθεί στην επιδερμίδα ενός κτηρίου, λειτουργώντας ως πιθανός αντικαταστάτης των συμβατικών κτηριακών επιδερμίδων. Οραματιζόμενο την ιδέα μιας φουτουριστικής, μαλακής και εύκαμπτης αρχιτεκτονικής, προτίθεται να παράξει μια μοναδική χωρική εμπειρία και να αλλάξει τον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε γενικά το χτισμένο περιβάλλον, προσφέροντας παράλληλα αισθητικές ποιότητες.

<sup>3</sup> πληροφορίες από: επίσημη δήλωση της ομάδας (πηγή: [http://dl.dropboxusercontent.com/u/1325890/shapeshift\\_booklet.pdf](http://dl.dropboxusercontent.com/u/1325890/shapeshift_booklet.pdf)) και <http://caad-eap.blogspot.gr/>

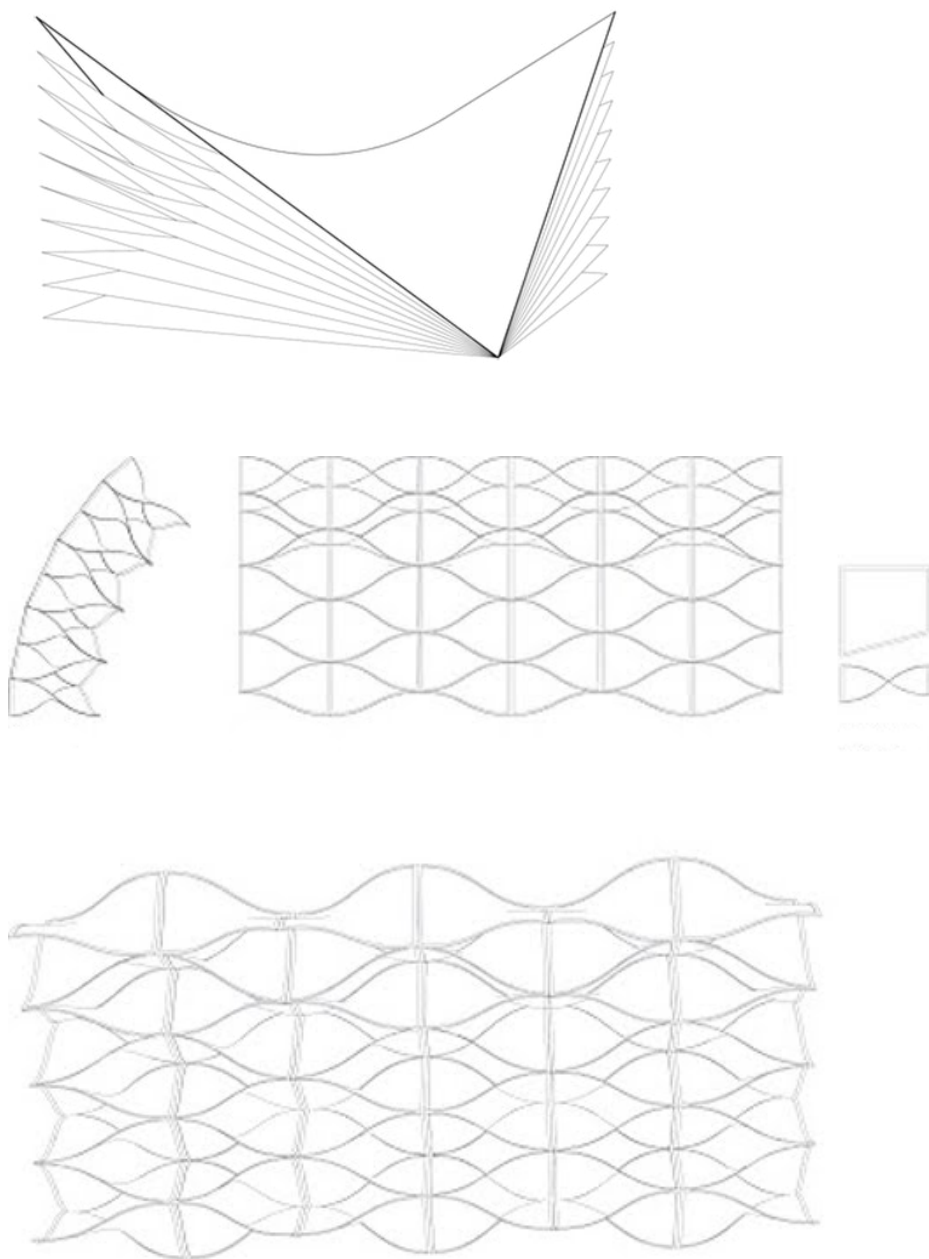
Το σύστημα λειτουργεί κάνοντας μια οργανική κίνηση που αποτελείται από πολυαξονικές ελαστικές παραμορφώσεις συγκεκριμένου σημείου διαρροής. Η δυνατότητα οφείλεται στο ίδιο το υλικό, που είναι εξαιρετικά ελαφρύ και εύκαμπτο κι έχει την ικανότητα να αλλάζει σχήμα χωρίς την ανάγκη μηχανικών ενεργοποιητών. Μπορεί να μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται μέσω καλωδίων συνδεδεμένων σε αυτό σε μηχανική δύναμη. Αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα ελαστικής ταινίας ακρυλικού, τοποθετημένο μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Μόλις τάση της κλίμακας πολλών κιλοβόλτ εφαρμόζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων, το πολυμερές αλλάζει το σχήμα του με την ταυτόχρονη συντέλεση δύο αντιδράσεων. Πρώτον, λόγω της έλξης των αντίθετων φορτίων, η ταινία συμπιέζεται και το πάχος μειώνεται (μέχρι και 380%). Δεύτερον, οι δυνάμεις απώθησης μεταξύ ίδιων φορτίων και στα δύο ηλεκτρόδια, οδηγεί σε μια γραμμική διαστολή του φιλμ. Δηλαδή όταν δεν παρέχεται ρεύμα τα στοιχεία έχουν μεγαλύτερο πάχος και μικρότερη επιφάνεια ενώ όταν παρέχεται αυτά ανοίγουν και λεπταίνουν καλύπτοντας περισσότερη επιφάνεια. Επιστρέφουν στην αρχική θέση με την διακοπή του.

Έρευνα σε διάφορα παραμετρικά μοντέλα με τη βοήθεια ψηφιακών τεχνολογιών σχεδίασης (Rhino, Grasshopper) παρήγαγε τις δυο διαφορετικές γεωμετρίες που δοκιμάστηκαν. Και οι δύο βασίζονται στην στρεβλή παραμόρφωση του τετραγώνου.

Η κατασκευή χρησιμοποιεί δυναμικά συστήματα στήριξης που κάμπτονται μαζί με το υλικό. Δεν υπάρχει, δηλαδή, ανάγκη για στατικές δομές, αλλά τα ίδια τα μεμονωμένα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους για να παράγουν αυτοφερόμενες μορφές. Το ηλεκτροενεργό πολυμερές έχει τοποθετηθεί σε εύκαμπτα πλαίσια τα οποία περικλείουν την ηλεκτροενεργή επιφάνεια. Τα πλαίσια αυτά έχουν μεγάλο βαθμό ευκαμψίας ώστε να μην αποτρέπουν την κίνηση του πολυμερούς αλλά παράλληλα να μπορούν να το στηρίξουν. Οι δυναμικές δομές, λοιπόν, επιτυγχάνουν τη μορφή τους από τη σχέση των προ-εντεταμένων EAP και των ευέλικτων πλαισίων. Παράγεται έτσι ένα πολύπλοκο σύστημα αλληλοεξαρτώμενο από τα μέλη του, όπου κάθε στοιχείο έχει άμεση επιρροή στη μορφή και την κίνηση των γειτονικών του, και επομένως, και στη δομή σαν σύνολο.







Η κατασκευή του ηλεκτροενεργού πολυμερούς έγινε στο RapLab (rapid architectural prototyping laboratory) του ΕΤΗ. Τα πλαίσια στήριξης έχουν κοπεί με μηχανήματα laser και αποτελούνται από ακρυλικό πάχους 1,5 χιλιοστού. Για τη μεταφορά της υψηλής τάσης ρεύματος στην επιφάνεια, μαύρη σκόνη άνθρακα έχει απλωθεί και στις δύο πλευρές του κεντρικού διηλεκτρικού φιλμ. Για να αυξηθεί η διάρκεια ζωής των δυναμικών στοιχείων, επικαλύπτονται στην συνέχεια με ένα λεπτό στρώμα σιλικόνης, που τα μονώνει και τα προστατεύει. Επιπλέον, η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από μετασχηματιστές υψηλής τάσης, που αυξάνουν την αναγκαία - για τη λειτουργία του πειράματος και την εκτέλεση της κίνησης - τάση των 5 V σε 5.000 V.

Η εφαρμογή αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα. Η εύκαμπτη σύσταση, το μικρό βάρος, η ομαλή, γρήγορη και αθόρυβη κίνησή του καθώς και η ελάχιστη ενέργεια που καταναλώνει, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα δημιουργίας πληθώρας πολύπλοκων γεωμετριών και τη μείωση του κόστους μεταφοράς, και την αυξημένη ευκολία κατασκευής, καθιστούν στον τομέα της αρχιτεκτονικής μια τέτοια μέθοδο ελαφριάς κατασκευής και ευέλικτης επιδερμίδας κτηρίου, μεγάλης σημασίας.

### 05.1.3 Phototropia<sup>4</sup>

by ETHZ & EMPA, 2012

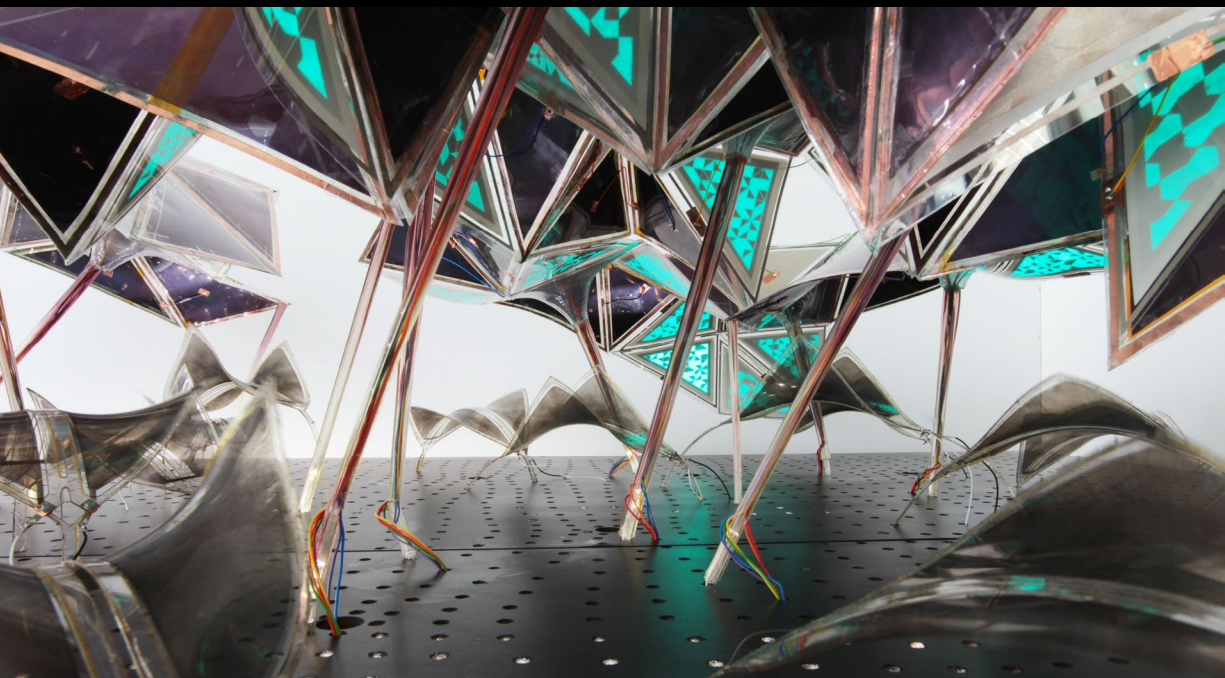
Το Phototropia είναι η συνέχεια του πειράματος του ShapeShift, δύο χρόνια μετά, και δεν αποτελεί μια πρόταση όψης αλλά προτείνει ένα συνολικό μοντέλο για την αξιοποίηση των υλικών.

Συγχωνεύει αυτοδημιούργητα ηλεκτροενεργά πολυμερή, ηλεκτροφωτοβόλες οθόνες, φιλικά προς το περιβάλλον πλαστικά και ευαισθητοποιημένες μέσω βαφής ηλιακές κυψέλες, σε μια αυτόνομη μονάδα που παράγει όλη την απαιτούμενη της ενέργεια από το φως του ήλιου και ανταποκρίνεται στην παρουσία των χρηστών μέσω κινητών και φωτιζόμενων στοιχείων. Η δομή αναπνέει και παραμορφώνεται.

Η εφαρμογή στοχεύει στη δημιουργία μιας πειραματικής μορφής που ενώ είναι εύκολα διασπώμενη λόγω των υλικών κατασκευής της, μπορεί ταυτόχρονα να είναι αυτόνομη και να αυτοσυντηρείται, απαντώντας στη σύγχρονη εποχή της παγκοσμιοποίησης και της ψηφιοποίησης. Επιθυμεί να πειραματιστεί με τα χειροποίητα έξυπνα υλικά, αφήνοντας πίσω τα μηχανικά κινητικά συστήματα, δίνοντας το έναυσμα για μια δυναμική, ευέλικτη και ευμετάβλητη αρχιτεκτονική. Ο συνολικός χρόνος κατασκευής είναι τέσσερις εβδομάδες, εκ των οποίων οι τρεις για τον πειραματισμό και την κατασκευή των υλικών.

<sup>4</sup> Πληροφορίες από: επίσημη δήλωση της ομάδας (πηγή: <http://issuu.com/responsivedesign/docs/phototropia>) και <http://www.caad.arch.ethz.ch/blog/phototropia>





Η διάδραση ενεργοποιείται με την ανθρώπινη παρουσία και εκφράζεται με το φωτισμό και την κίνηση. Το μοντέλο αναπαριστά μια κατασκευή σαν στέγαστρο που έχει δυο τελικές θέσεις, μια κλειστή και μια ανοικτή. Η πτυχωτή επιφάνεια που δημιουργείται αποτελείται από τη συρραφή δυο διαφορετικών ειδών τριγώνων. Το πρώτο είναι ηλεκτροφωτοβόλες οθόνες οι οποίες παράγουν το φωτισμό, με προσανατολισμό της “ωφέλιμης” επιφάνειας προς τα κάτω και είναι τα κομμάτια που κρύβονται όταν η γεωμετρία κλείνει, ενώ το δεύτερο είναι ευαισθητοποιημένες μέσω βαφής ηλιακές κυψέλες οι οποίες απορροφούν την ηλιακή ενέργεια αποθηκεύοντάς τη σε μπαταρίες στη βάση, με στόχο όλο το μοντέλο να τροφοδοτείται από αυτές. Τα πανέλα αυτά αποτελούν την πάνω επιφάνεια του στεγαστρου ακόμα και όταν η γεωμετρία είναι κλειστή.

Όταν οι αισθητήρες απόστασης αντιληφθούν κίνηση τα μεν αυξομειώνουν το φωτισμό τους, τα δε δημιουργούν ένα κινούμενο τοπίο, πραγματοποιώντας ανάλογα με την απόσταση του θεατή μια ελάχιστη κίνηση που μοιάζει να έχει το ρυθμό αναπνοής.

Όλο το σύστημα στηρίζεται σε διαφορετικών διαστάσεων καθ' ύψος χυτές κολόνες από βιοπλαστικό που στο εσωτερικό τους φιλοξενούν την απαραίτητη, για τη μεταφορά της ενέργειας στις μπαταρίες, καλωδίωση. Η παραγόμενη ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες κάτω από την πλατφόρμα και στη συνέχεια διανέμεται μέσω μικροεπεξεργαστών στα αντίστοιχα στοιχεία.

## 05.2 Touch, Dexia Tower<sup>5</sup>

*Architects: LAB[au], Brussels, 2006*

Το επόμενο παράδειγμα είναι κτηριακό και αφορά τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών σε ένα κτήριο, συγκεκριμένα στο Dexia Tower στις Βρυξέλλες, προκειμένου να επιτευχθεί η διάδραση μεταξύ κτηρίου και χρήστη.

Το Touch πρόκειται για μια εφαρμογή που έγινε το 2006, από το Βελγικό εργαστήριο ψηφιακής σχεδίασης και τέχνης, LAB[au], Laboratory for Architecture and Urbanism, στα πλαίσια της προσπάθειας να γίνει ο πύργος ένα σημαντικό αστικό ορόσημο, μέσω καλλιτεχνικών project που εκφράζουν με αφηρημένο τρόπο τη σχέση ανάμεσα στην τέχνη, την αρχιτεκτονική και την πόλη.

Ο πύργος Dexia είναι ένα κτήριο 145 μέτρων, που περιλαμβάνει συνολικά 6.000 παράθυρα, πίσω από κάθε ένα από τα οποία υπάρχει ένα φωτιστικό που αποτελείται κατά μέσο όρο από 12 λαμπτήρες. Κάθε λαμπτήρας περιλαμβάνει τρία LED - ένα πράσινο, ένα κόκκινο και ένα μπλε - που μπορούν να συνδυαστούν σε μια πλήρη χρωματική παλέτα.

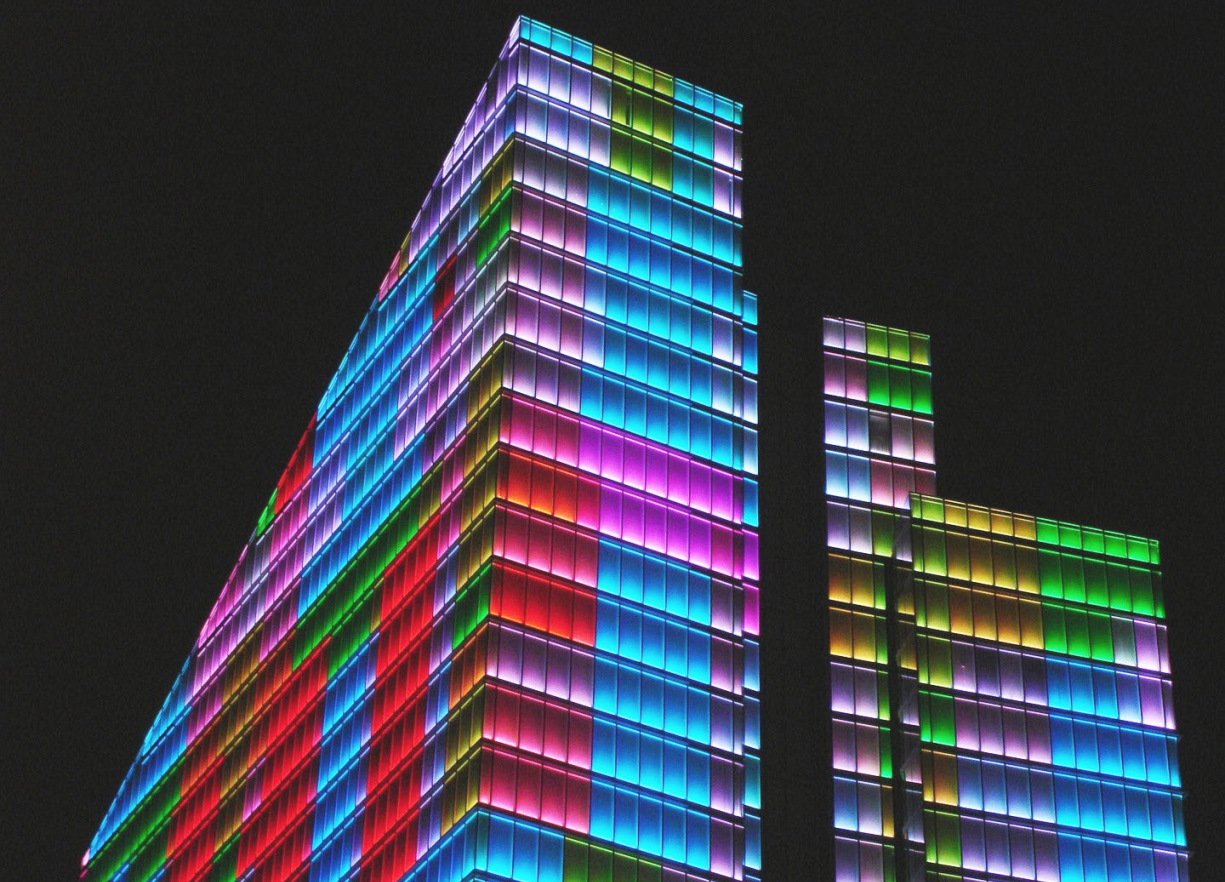
Το σύστημα ελέγχεται από έναν κεντρικό υπολογιστή. Το αποτέλεσμα εγγράφεται σε ένα πρόγραμμα που πρέπει να μεταφραστεί από τον υπολογιστή για το φωτισμό του κτηρίου. Τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω ενός γρήγορου δικτύου σε τρία κέντρα διανομής που απλώνονται στους διάφορους ορόφους του πύργου, τα οποία κέντρα μεταφράζουν τα δεδομένα για ομάδες των περίπου 100 παραθύρων. Αυτά τα δεδομένα διανέμονται με τη σειρά τους στους 100 footlights της κάθε ομάδας, που λαμβάνουν τα ατομικά τους στοιχεία μέσω ενός μικρού ενσωματωμένου υπολογιστή. Καθορίζουν, στη συνέχεια, το ποσοστό του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε που απαιτείται για να ληφθεί το επιθυμητό χρώμα για το εκάστοτε παράθυρο. Ο Dexia Tower είναι εξοπλισμένος με ένα εξαιρετικά αποτελεσματικό σύστημα φωτισμού LED, εξοικονόμησης ενέργειας (διόδους ηλεκτροφωταύγειας).

<sup>5</sup> πηγές: <http://lab-au.com/#/projects/touch/>, Βίντεο: *LAB[au] - Touch (Dexia Tower, Brussels, 2006-07)*  
<http://www.youtube.com/watch?v=fEyKA6Qd2L8>, *Dexia Tower - Brussels, Belgium*  
<http://www.youtube.com/watch?v=k0Uf569EclU>

Το Touch, λοιπόν, έχει ως αφετηρία τον πύργο αυτόν και στοχεύει στο να μεταμορφώσει τη γενική αντίληψη της πρόσοψης ενός κτηρίου σε ένα αστικό φωτεινό έργο τέχνης. Η πρόκληση έγκειται στην εμπλοκή κάθε χρήστη στο στήσιμο ενός αστικού ορόσημου, μέσω της διάδρασης.

Στη βάση του κτηρίου, μια οθόνη αφής είναι τοποθετημένη εκεί που οι άνθρωποι μπορούν ατομικά ή σε ομάδες να αλληλεπιδράσουν με το κτήριο στον πραγματικό χρόνο. Αλλά η διασύνδεση δεν περιορίστηκε μόνο σε μία οθόνη: εξαπλώθηκε στο σχεδιασμό ενός ολόκληρου περιπτέρου, για να αντιμετωπίσει την κλίμακα του αστικού πλαισίου. Το περίπτερο ενσωματώνει τρία μέρη: το πρώτο επιτρέπει στους ανθρώπους να αλληλεπιδρούν σε μια οθόνη αφής, το δεύτερο εμφανίζει άμεσα την αλληλεπίδραση του χρήστη (σχέδιο δάχτυλου) σε μια οθόνη προβολής και το τρίτο πλαισιώνει το όραμα του χρήστη προς τον πύργο. Το περίπτερο έγινε έτσι μια διεπαφή από μόνη της ανάμεσα στην πόλη και τον πύργο. Η αλληλεπίδραση αποτελείται τόσο από στατικά όσο και από δυναμικά δεδομένα εισόδου, και λαμβάνει υπόψη της παραμέτρους όπως το μέγεθος (δάχτυλο, χέρι), η κατεύθυνση (οριζόντια, κάθετα, διαγώνια) και η διάρκεια. Τα δεδομένα εισόδου από το χρήστη καθιερώνουν ένα παιχνίδι από γραφικά στοιχεία, εμπνευσμένα από την αφηρημένη τέχνη, όπως το “elementarism” του Mondrian και το “point and line to plane” του Kandinsky. Αυτές οι γεωμετρικές φιγούρες αντιστοιχούν στο κτήριο ως εξής: σημεία=pixels=παράθυρα, γραμμές και διαγώνιες=επίπεδα και ακμές, επιφάνειες=οι όψεις. Αυτά τα σχήματα προβάλλονται στον πραγματικό χρόνο σε μαύρο και άσπρο, ανάλογα με τις θετικές ή αρνητικές (πάνω/κάτω, αριστερά/δεξιά) οδηγίες των δεδομένων εισόδου. Το project καθιερώνει λοιπόν μια νέα σχέση μεταξύ της αρχιτεκτονικής και του κατοίκου. Χρησιμοποιεί τη διαδραστικότητα όχι ως ένα σύστημα ελέγχου, αλλά μάλλον ως καταλύτη για τη δημιουργία ενός συνδέσμου μεταξύ των πολιτών μεταξύ τους, των πολιτών και του κτηρίου, του κτηρίου και την πόλης.





### 05.3 SmartWrap Pavilion<sup>6</sup>

*Architects: James Timberlake και Stephen Kieran, New York, 2003*

Το SmartWrap Pavilion είναι ένα περίπτερο που σχεδιάστηκε για το Cooper - Hewitt National Design Museum στη Νέα Υόρκη, από τους αρχιτέκτονες James Timberlake και Stephen Kieran, της Kieran Timberlake Associates, το φθινόπωρο του 2003. Χρησιμοποιεί το συνδυασμό νέων υλικών και ψηφιακής σχεδίασης για να δημιουργήσει μια “πρόκληση για τους σχεδιαστές και τους αρχιτέκτονες”.

Το SmartWrap αντιπροσωπεύει έναν νέο τρόπο σκέψης όσον αφορά τα κτηριακά κελύφη και εκτιμάται ότι θα δημιουργήσει νέες δυνατότητες στη βιομηχανική αλλά και στην αποτελεσματική, από πλευράς κόστους, χρήση των ευφυών υλικών στο μέλλον. Πρόκειται για μια πρωτότυπη εναλλακτική λύση για το πώς μια συμβατική πρόσοψη κατασκευάζεται, λειτουργεί και εμφανίζεται. Προτείνει την αντικατάσταση του συμβατικού “ογκώδους” τοίχου πλήρωσης από ένα σύνθετο στοιχείο, της κλίμακας των χιλιοστών, που ενσωματώνει συστήματα και υλικά για τη ρύθμιση των θερμοκρασιακών συνθηκών (κλιματικός έλεγχος), την απορρόφηση, αποθήκευση και επανεκπομπή ενέργειας, το φωτισμό, και την απεικόνιση πληροφοριών σε ένα ενιαίο υπόστρωμα.

Έχει κατασκευαστεί σε δύο επίπεδα, την εξωτερική επιδερμίδα και την εσωτερική δομή, η οποία διαμορφώνει το χώρο.

Το περίπτερο είναι πλακωμένο από αλουμίνιο και η εξωτερική του επιδερμίδα αποτελείται από μια διαφανή, ελαστική μεμβράνη η οποία βασίζεται σε ένα συνδυασμό από πολυεστέρα και πολυαιθυλένιο (PET) και προσφέρει προστασία από τη βροχή και τον άνεμο. Στη μεμβράνη αυτή έχουν ενσωματωθεί διάφορα ευφυή υλικά με τη μέθοδο της κύλισης και εκτύπωσης.

<sup>6</sup>πληροφορίες από: [http://www.kierantimberlake.com/research/smartwrap\\_research\\_1.html](http://www.kierantimberlake.com/research/smartwrap_research_1.html) και <http://www.architectsjournal.co.uk/home/smartwrap/>

## έλεγχος του κλίματος

Για τη ρύθμιση των θερμοκρασιακών συνθηκών, το SmartWrap περιέχει μικροκάψουλες από υλικά αλλαγής φάσης. Οι μικροκάψουλες είναι ενσωματωμένες σε μια πολυμερή ρητίνη και στη συνέχεια εξωθούνται σε ένα φιλμ. Τα υλικά αλλαγής φάσης ενεργούν ως ρυθμιστές θερμότητας με την απορρόφηση, την αποθήκευση, ή την απελευθέρωση θερμότητας, καθώς αλλάζουν κατάσταση. Μπορούν να αποθηκεύσουν πέντε έως δεκατέσσερις φορές περισσότερη θερμότητα ανά όγκο από ότι οι φυσικές αποθήκες λανθάνουσας θερμότητας, όπως το νερό, η τοιχοποιία ή η πέτρα.

## φωτισμός και απεικόνιση πληροφοριών

Για την παροχή εσωτερικού και εξωτερικού φωτισμού και τη δημιουργία ηλεκτρονικών οθονών για την απεικόνιση πληροφοριών, το SmartWrap χρησιμοποιεί την τεχνολογία των οργανικών διόδων εκπομπής φωτός (OLED), οι οποίες είναι λεπτές, εύκαμπτες και αυτοεκπομπής. Αυτή η τεχνολογία βασίζεται σε οργανικά μόρια που εκπέμπουν φως (φωτόνια) όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα OLED είναι κατασκευασμένα είτε σε μορφή πολυμερούς, ή σε μικρά μόρια τα οποία μπορούν να εναποτεθούν πάνω σε γυάλινα και πλαστικά υποστρώματα.

## ενέργεια

Δεδομένου ότι τα κτήρια έχουν μεγάλες επιφάνειες που εκτίθενται στον ήλιο, είναι ιδανικοί ηλιακοί συλλέκτες. Το SmartWrap επιδιώκει την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, διαθέτοντας οργανικά φωτοβολταϊκά κύτταρα (OPV) για τη συλλογή και τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Επίσης, περιλαμβάνει λεπτές ταινίες μπαταριών για την αποθήκευση της παραπάνω ενέργειας, καθώς και αγώγιμα κυκλώματα και λεπτές ταινίες οργανικών τρανζίστορ για την κατανομή του παραγόμενου φορτίου και τον έλεγχο της συνολικής λειτουργίας.

Όσον αφορά το εσωτερικό μέρος, διαθέτει κυρίως θερμομονωτική λειτουργία, η οποία εκπληρώνεται από υλικά με αυξημένες ικανότητες αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Απαρτίζεται από στοιχεία που περικλείουν μια θερμομονωτική στρώση αέρα, όπου έχουν ενσωματωθεί θύλακες που περιέχουν aerogel για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών, και υλικά αλλαγής φάσης για την αποθήκευση της προσλαμβάνουσας θερμότητας υπό λανθάνουσα μορφή. Αυτή η πολυεπίπεδη συνδεσμολογία επιτυγχάνει τη θερμική αντίσταση ενός μονωμένου τοίχου από τσιμεντόλιθους πάχους 40 εκατοστών σε περίπου 1/100 του βάρους του.

Ο παραπάνω τρόπος κατασκευής κτηριακού κελύφους προσφέρει πλούσια ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη. Μέσω της παράταξης τοποθετημένων έντυπων οργανικών φωτοβολταϊκών και οργανικών διόδων εκπομπής φωτός μέσα σε λεπτές στρώσεις πλαστικού, το SmartWrap είναι ελαφρύ, υψηλής ενεργειακής συγκέντρωσης, μαζικά προσαρμόσιμο και βιώσιμο. Τα μέρη που το αποτελούν διαθέτουν πολύ μικρό ίδιο βάρος, γεγονός που συνεπάγεται λιγότερη απαιτούμενη ενέργεια για την τοποθέτησή τους στο κτήριο, σε σχέση με τους υαλοπίνακες. Επίσης, το πάχος της τελικής επιδερμίδας, μόλις 3 χιλιοστά, επιτρέπει την κάλυψη μεγάλων επιφανειών με χρήση ελάχιστης ποσότητας υλικού. Ακόμη, το SmartWrap μπορεί να κατασκευαστεί σε τμήματα στο εργοστάσιο και να αναρτηθεί έπειτα στο σκελετό του κελύφους, κάτι που ελαχιστοποιεί το χρόνο κατασκευής στο εργοτάξιο και συνεπάγεται σημαντική μείωση των δαπανών. Τέλος, τα τμήματα αυτά, μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής τους, μπορούν εύκολα να αποσυναρμολογηθούν και να ανακυκλωθούν.





Το περίπτερο αυτό δίνει επίσης έμφαση στην υλικότητα, οδηγώντας σε μια πιο βιωματική σχέση μεταξύ του ανθρώπου και του χώρου (επιφάνειες, σχήματα, υλικά), εξασφαλίζοντας την ουσιαστικότερη αντίληψή του. Οι επισκέπτες έχουν τη δυνατότητα να περπατήσουν μέσα στην εγκατάσταση και να προσαρμόσουν το δικό τους σχεδιασμό ενός τοίχου SmartWrap. Μιλάμε δηλαδή για μια πολυ-αισθητηριακή αρχιτεκτονική, όπου ο άνθρωπος παίζει κυρίαρχο ρόλο στο κτήριο.

Το περίπτερο σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο μοντέλο του έργου, και όλα τα προφίλ αλουμινίου του πλαισίου είχαν από ένα barcode. Αυτή η κωδικοποίηση όρισε τις διαρθρωτικές και κατασκευαστικές τους ιδιότητες και επέτρεψε τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου κατασκευαστικού συστήματος παραγωγής των υλικών και τη διευκόλυνση της τοποθέτησης των εξαρτημάτων στο χώρο.

Η λογική του SmartWrap φανερώνει μια εξαιρετικά ολοκληρωμένη χρήση της νανοτεχνολογίας, που μπορεί να προσαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων, συνθηκών και κτηριακών τυπολογιών. Είναι εφαρμόσιμο τόσο σε εμπορικά κτήρια όσο και σε κτήρια κατοικιών και ανταποκρίνεται σε μεγάλες αλλά και σε μικρές κλίμακες.

Γίνεται συνδυασμός των νέων υλικών και της ψηφιακής σχεδίασης, που προσφέρει τη δυνατότητα του μετασχηματισμού, παρέχοντας έτσι αρχιτεκτονικά κτηριακά προϊόντα που είναι ειδικά προσαρμοσμένα στις ανάγκες των πελατών και τις απαιτήσεις του χώρου. Αυτή είναι η ουσία της αρχιτεκτονικής της μαζικής εξατομίκευσης ή της εξατομικευμένης παραγωγής.

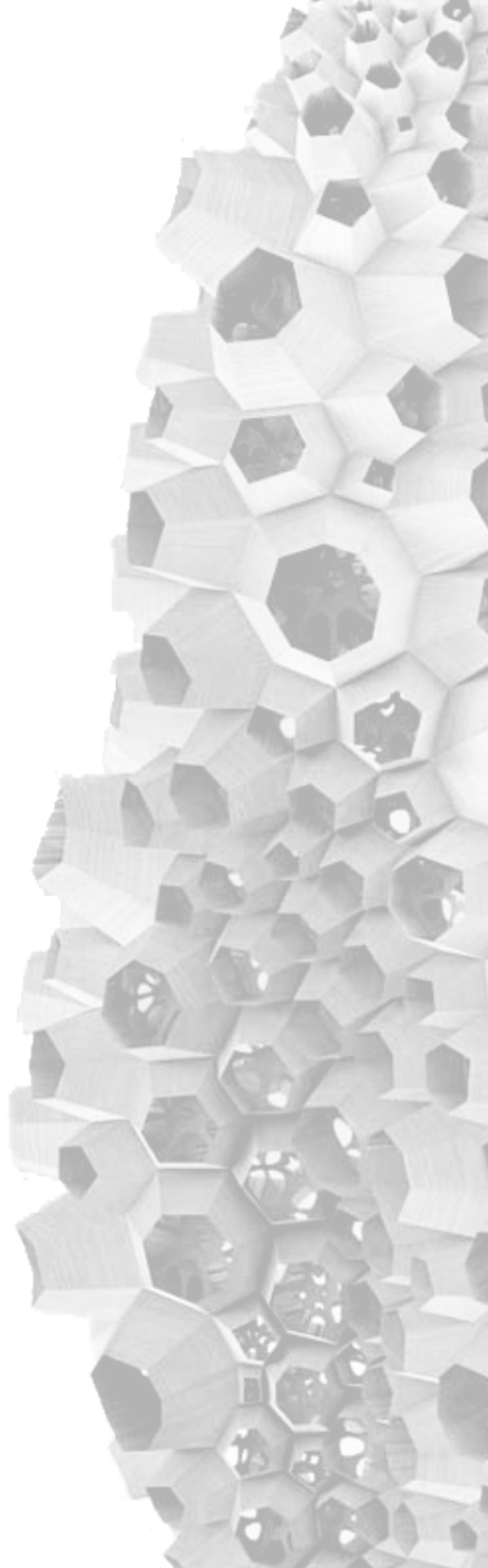
*“Κατά την ανάπτυξη του πρώτου πρωτοτύπου, επιδιώξαμε αναδυόμενα συστήματα συμπεριλαμβανομένων των υλικών αλλαγής φάσης (PCM) για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, οργανικές διόδους εκπομπής φωτός (OLED) για φωτισμό και την απεικόνιση δεδομένων, που λειτουργούν σε συνδυασμό με οργανικά τρανζίστορ λεπτής μεμβράνης και οργανικά φωτοβολταϊκά κύτταρα για να τροφοδοτούν το σύστημα OLED. Εκείνη την εποχή, ορισμένα συστατικά όπως οι τεχνολογίες των OLED και τα υλικά αλλαγής φάσης ήταν μόνο αναδυόμενες, και δεν υπήρχε ανεπτυγμένο σύστημα για τη βιολογική εκτύπωση επάνω σε ένα υπόστρωμα. Για τους σκοπούς της έκθεσης, το 2003, ήταν απαραίτητο για τα συστήματα να είναι προσκολλημένο σε PET.”<sup>7</sup>*

<sup>7</sup> KieranTimberlake architects, πηγή: [http://www.kierantimberlake.com/research/smartwrap\\_research\\_1.html](http://www.kierantimberlake.com/research/smartwrap_research_1.html)

~~06~~



ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ++



06.1 the manual

06.2 ο αρχιτέκτονας στο κέντρο

06.3 κίνδυνοι

## 06.1 the manual (εγχειρίδιο)

Θεωρώντας πως ένας νέος σχεδιασμός σαν αυτόν που περιγράφουμε είναι εφικτός, τότε θα πρέπει να βρεθεί ο τρόπος με τον οποίο θα εκπονεείται αυτή η διαδικασία.

Έπειτα από την κατανόηση των βασικών εννοιών που εξετάζουμε καθώς και τον εντοπισμό του τρόπου με τον οποίο συνδέονται computational design και έξυπνα υλικά, προτείνουμε ενδεικτικά έναν τρόπο εργασίας τον οποίο θα μπορούσε να ακολουθήσει ένας αρχιτέκτονας, χωρίς να χρειαστεί να κάνει ξεχωριστές μελέτες, αλλά εφαρμόζοντας ενιαία προσέγγιση στο σχεδιασμό. Το παρατιθέμενο σχεδιάγραμμα έχει άμεση σχέση με την προσωπική μας σχεδιαστική εμπειρία, γι' αυτό είναι πιο κοντά σε διαδικασίες παραμετρικού - δυναμικού σχεδιασμού και περιβάλλοντα εικονικού αλγορίθμου (virtual algorithm).

Το σημαντικό για την αφομοίωση των έξυπνων υλικών από το computational design, είναι να ληφθούν τα χαρακτηριστικά τους ως παράμετροι ώστε να φαίνεται εξ' αρχής η συμβολή τους στη μεταβλητότητα και τη δυναμικότητα της κατασκευής, και όχι να θεωρούνται ως ένα "extra boost" στο κτήριο με τη μετέπειτα προσθήκη τους. Στην ουσία θα πρέπει να είναι ένα με αυτό, δημιουργώντας μια αίσθηση καθολικότητας και όχι μεμονωμένων χαρακτηριστικών "εξυπνάδας", διάδρασης ή μεταβολής σε πραγματικό χρόνο.

Ο νέος σχεδιασμός που προτείνεται, απεικονίζεται σε σχεδιάγραμμα, υπό τη μορφή διαγράμματος ροής. Σε κάθε κόμβο παρατίθεται μέρος της συνολικής διαδικασίας. Τα βέλη οδηγούν κάθε φορά ένα βήμα παρακάτω, μέχρι την ολοκλήρωση της μελέτης. Στις περιπτώσεις πολλαπλών επιλογών, επιλέγεται η καταλληλότερη για την εκάστοτε περίπτωση. Η διαδρομή ξεκινά από τον καθορισμό των παραμέτρων, οι οποίες έχουν αμφίρροπη σχέση και με τον καθορισμό του επιπέδου διάδρασης. Η μη συνεχής γραμμή, ακολουθείται μόνο σε περίπτωση εντοπισμού σφάλματος, οπότε και πρέπει να επιστρέψουμε σε προηγούμενο επίπεδο.

## Parameters [παράμετροι]

αποφασίζονται οι παράμετροι σχεδιασμού που θα καθορίσουν τις σχέσεις μεταξύ των κομματιών της κατασκευής

## Interaction level [επίπεδο διάδρασης]

μελετάται το βάθος στο οποίο επιθυμούμε να φτάσει η διάδραση

*Για παράδειγμα, στο Touch του Dexia Tower, ο χρήστης δύναται να μεταβάλλει ολόκληρη την όψη του κτηρίου, μέσω των οθονών διάδρασης.*

## No real-time action [δράση σε μη πραγματικό χρόνο]

αφορά τα τμήματα των οποίων οι σχέσεις ναι μεν μεταβάλλονται δυναμικά στον υπολογιστή, αλλά στην κατασκευή θα παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο της διαδικασίας μεταβολής τους

*Ένα τέτοιο τμήμα είναι ο βασικός σκελετός της κατασκευής του SmartWrap Pavilion.*

## Real-time action [δράση σε πραγματικό χρόνο]

αφορά τμήματα τα οποία μεταβάλλονται και στο υλοποιημένο έργο. Εδώ αποφασίζονται τα κατάλληλα έξυπνα υλικά.

*Όπως στην περίπτωση του ηλεκτροενεργού πολυμερούς στην εφαρμογή του ShapeShift.*

## Parts | normal scale [μέρη | κανονική κλίμακα]

σχεδιάζονται και μελετώνται κομμάτια που ανταποκρίνονται στην αρχιτεκτονική κλίμακα

## SM | micro-scale [έξυπνα υλικά | μικροκλίμακα]

σχεδιάζονται και μελετώνται κομμάτια που αφορούν τη μικροκλίμακα.

Αναφέρεται κυρίως στα έξυπνα υλικά.

## Fabrication study [μελέτη κατασκευής]

ερευνάται και αναλύεται ψηφιακά ο τρόπος κατασκευής και διασύνδεσης των κομματιών

*Για παράδειγμα, στο Phototopia, η πτυχωτή επιφάνεια που δημιουργείται αποτελείται από τη συρραφή δυο διαφορετικών ειδών τριγώνων.*

## Freeze! [πάγωμα!]

πάγωμα της διαδικασίας μεταβολής στο επιθυμητό στιγμιότυπο. Αφορά μη μεταβαλλόμενα τμήματα.

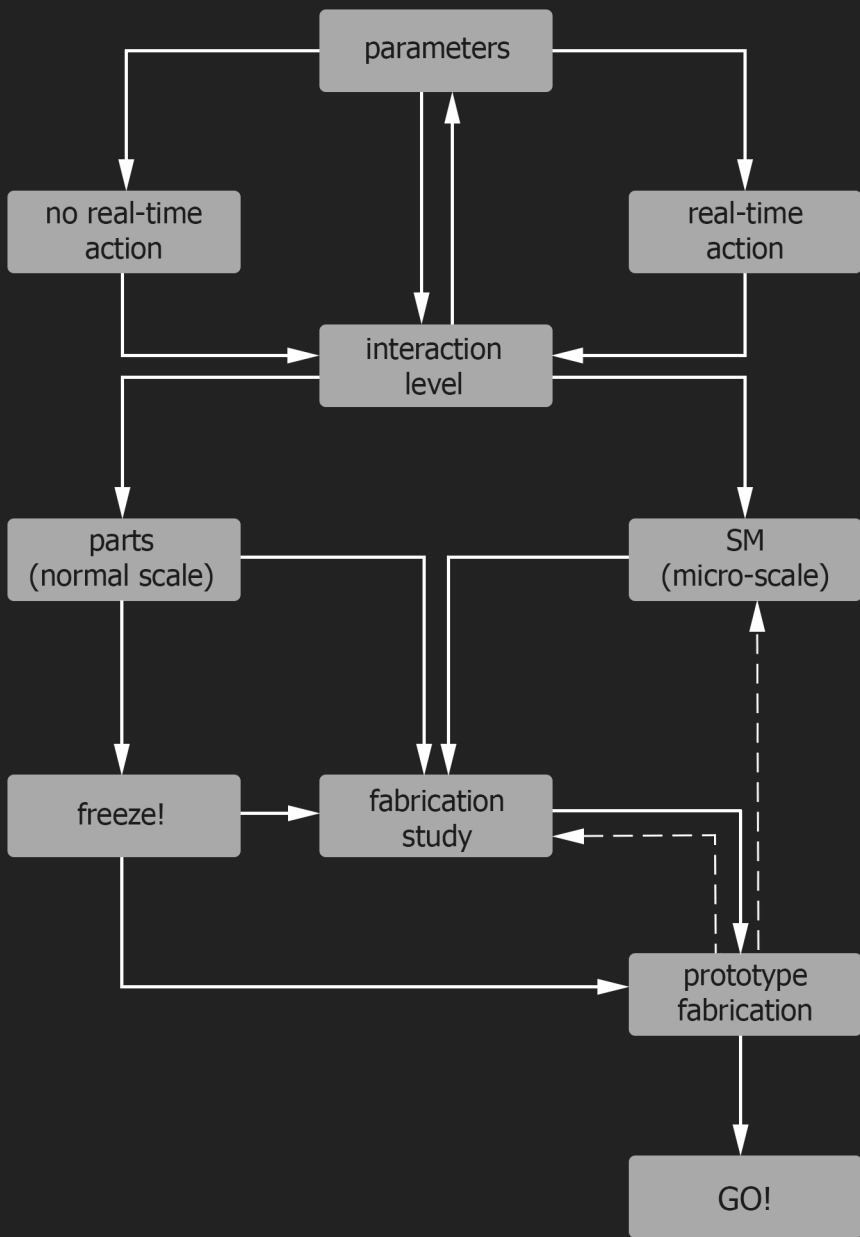
## Prototype fabrication [κατασκευή πρωτοτύπου]

κατασκευάζονται τα κομμάτια του έργου σε κλίμακα εργαστηρίου, αν η κανονική κλίμακα δεν είναι εφικτή. Αποτελεί το κρισιμότερο στάδιο όπου αποφασίζεται αν οι επιλεγμένοι τρόποι κατασκευής και συνδεσμολογίας είναι εφαρμόσιμοι.

*Στην περίπτωση του ShapeShift δοκιμάστηκαν δύο διαφορετικές εκδοχές γεωμετριών και τελικά επιλέχτηκε η καταλληλότερη.*

## GO! [ΠΑΜΕ!]

υλοποίηση του έργου



## 06.2 ο αρχιτέκτονας στο κέντρο

Με το νέο τρόπο σχεδιασμού που προτείνουμε γίνεται φανερό ότι ο ρόλος του αρχιτέκτονα, όπως τον ξέρουμε σήμερα, αναπόφευκτα θα αλλάξει. Εδώ και αιώνες δε βρισκόταν στο κέντρο της αρχιτεκτονικής βιομηχανίας. Η άμεση σύνδεση σχεδιασμού και παραγωγής, του επέτρεψε να σπάσει αυτό το φράγμα και να γίνει και πάλι δυναμικά ο κύριος της κατασκευής από την αρχή μέχρι το τέλος<sup>1</sup>. Εργασίες που γίνονταν μέχρι τώρα σε ετερογενή περιβάλλοντα, συγκεντρώνονται σε ένα μόνο πρόγραμμα που μπορεί απ' ευθείας να γίνει output για μηχάνημα CNC. Άλλωστε, η τότε πρόταση του Jim Glymph για χρήση του CATIA, αυτό το ρίσκο έπαιρνε: ο αρχιτέκτονας θα αναλάμβανε τα πάντα. Και πέτυχε.

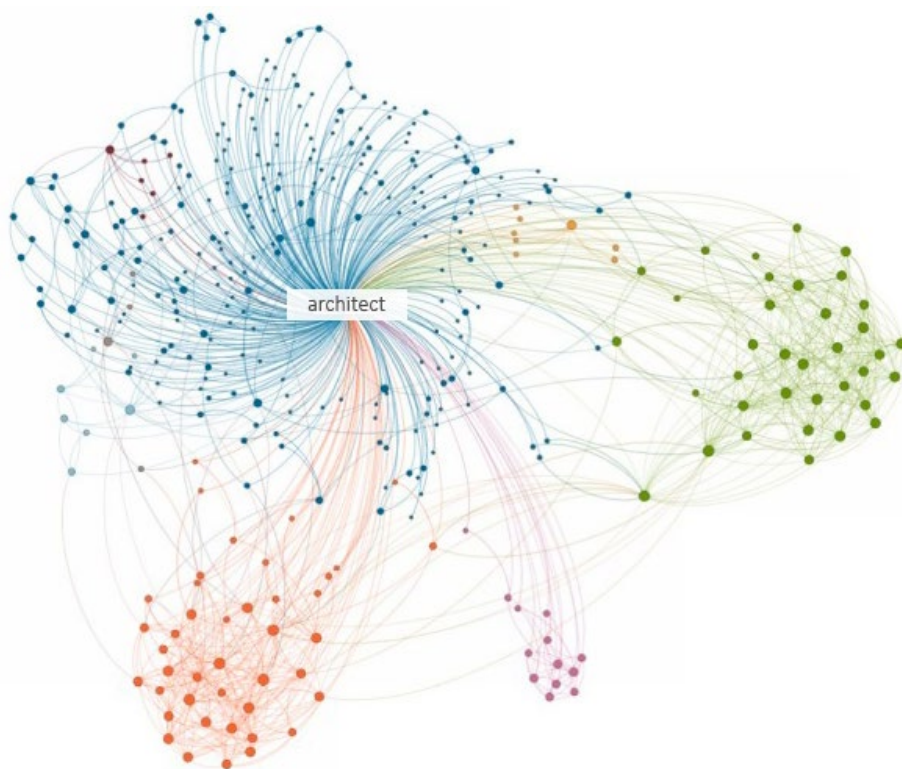
Ο ρόλος του πήγε ένα βήμα παραπέρα και με τη χρήση των έξυπνων υλικών στην κατασκευή των κτηρίων. Πλέον, το να είναι πληροφορημένος για το ποια υλικά κυκλοφορούν και πώς θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, με βάση τη λίστα υλικών που έχουμε αναφέρει, δεν είναι αρκετό. Όπως στην περίπτωση ενός κτηρίου όπου ο αρχιτέκτονας πρέπει να γνωρίζει βασικές στατικές αρχές ή συμπεριφορές υλικών που θα χρησιμοποιήσει, έτσι και για τα έξυπνα υλικά καλείται να διεισδύσει και σε άλλους τομείς που μέχρι τώρα έμοιαζαν φαινομενικά ασύμβατοι με το επάγγελμά του, και να αποκτήσει νέες γνώσεις και ικανότητες.

Με τη συνεργασία computational design και έξυπνων υλικών προκύπτει ένας νέος σχεδιασμός στον οποίο συμβάλλουν πολλές επιστήμες: από την επιστήμη των υπολογιστών μέχρι την επιστήμη των υλικών, που σε βάθος φτάνει μέχρι τη χημεία και τη βιολογία. Ο νέος αρχιτέκτονας, λοιπόν, για να μπορέσει να ανταπεξέλθει στο ρόλο του, θα πρέπει να έχει γνώσεις απ' όλους τους τομείς. Γιατί η διαδικασία του σχεδιασμού πλέον, αντιλαμβάνεται το κτήριο ως μια ολότητα, ένα "συσσωμάτωμα", επομένως για να μπορέσει να "οραματιστεί" και να σχεδιάσει ένα έργο πρέπει να έχει στο μυαλό του από την αρχή το πώς θα συνδυάσει και θα χρησιμοποιήσει τα πάντα.

<sup>1</sup> Bob Sheil, *Design Through Making: an Introduction, Architectural Design (AD), Design Through Making, Vol75/No4, July/August 2005*, editor: Helen Castle, Wiley, London, σελ. 5

Πρόκειται για μια ολόκληρη συνθετική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει λειτουργικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά. Ακόμα κι αν δεν επιδιώκεται η ανακάλυψη νέων υλικών, η εφαρμογή και μόνο υπαρχόντων τεχνολογιών στην αρχιτεκτονική αντιμετωπίζει πολλά συνθετικά ζητήματα και δε μπορεί να γίνεται προσθετικά, μόνο παράλληλα με το σύνολο. Ο ρόλος του αρχιτέκτονα διευρύνεται, καθώς στόχος του είναι ο συνεχής πειραματισμός για την εύρεση καινοτόμων λύσεων.

Σε καμία περίπτωση η εγκατάλειψη της παραδοσιακής διαδικασίας δε σημαίνει πως ο αρχιτέκτονας δεν έχει την ανάγκη των υπόλοιπων μηχανικών και είναι αυτόαρκης, μόνο και μόνο επειδή χρησιμοποιεί αυτόαρκη προγράμματα. Αυτό που συμβαίνει, είναι να απαιτείται μια πιο άμεση συνεργασία όλων των κλάδων πάνω στο project, υπό την ηγεσία του, ο οποίος θα καθορίσει το μορφολογικό κομμάτι και θα προτείνει λύσεις των οποίων τον τρόπο για να υλοποιηθούν θα υποδείξει ο υπεύθυνος μηχανικός.





Αν καθένας από τους δύο κλάδους από μόνος του απαιτεί την αρμονική συνεργασία ενός μεγάλου επιστημονικού κύκλου, τότε ο συνδυασμός τους είναι ακόμα πιο απαιτητικός και καθιστά κρίσιμη και ενισχυμένη τη θέση του αρχιτέκτονα στο κέντρο του κύκλου αυτού. Αυτό σε καμία περίπτωση δεν έχει χαρακτήρα ναρκισσιστικό. Είναι αποτέλεσμα της ιδιότητας του αρχιτέκτονα ως συνδετικός κρίκος, για την επίτευξη ενός εδραιωμένου τρόπου σχεδιασμού. Με τη χρήση ετερογενών περιβαλλόντων σχεδιασμού τα σχέδια επέστρεφαν συνεχώς σε αυτόν, αλλά αφού είχαν τροποποιηθεί από τους υπόλοιπους μηχανικούς και χωρίς συλλογική συνεννόηση, αναγκάζοντάς τον να συμβιβάζεται για τη συνέχιση και την ολοκλήρωση του έργου. Πλέον, είναι αυτός που πρέπει να καθοδηγεί τη συνολική διαδικασία για την ψηφιακή κατασκευή. Μάλιστα, αυτή η διαδικασία μπορεί να οδηγήσει στη συνεχή ανάπτυξη διαφόρων επιστημών για χάρη της αρχιτεκτονικής, καθώς θα γίνονται απαραίτητες αναζητήσεις για περισσότερο αποδοτικά και λειτουργικά αποτελέσματα.

Ο νέος ρόλος του αρχιτέκτονα είναι ιδιαίτερα απαιτητικός, καθώς μπαίνει σε κλάδους που μέχρι τώρα δεν είχαν σχέση με την αρχιτεκτονική, τουλάχιστον όχι άμεση. Ζητούμενη πλέον είναι η γνώση, και όχι απλώς η πληροφόρηση. Τι εννοούμε με αυτό; Ότι με το νέο σχεδιασμό ως κύριος της συνολικής δημιουργίας, ως συντονιστής και “επιθεωρητής” όλων των εργασιών που απαιτούνται για την υλοποίηση του έργου έχει την υποχρέωση να έχει κατανοήσει καλά την κάθε επιμέρους διαδικασία, επομένως και όλες τις επιστήμες που εργάζονται για το σκοπό αυτό. Φυσικά δε θα είναι ένας αρχιτέκτονας - πολυεπιστήμονας, όμως σίγουρα η παιδεία του από εδώ και πέρα θα πρέπει να περιλαμβάνει πεδία όπως τα μαθηματικά και η βιολογία. Εμβαθύνοντας τις γνώσεις του σε όλους τους εμπλεκόμενους τομείς και επιτυγχάνοντας το συνδυασμό τους θα μπορέσει να φέρει την επανάσταση στην εξυπηρέτηση του χρήστη. Όπως ένας μαέστρος, που δε γνωρίζει άπταιστα όλα τα όργανα της ορχήστρας, αλλά για να είναι σε θέση να τη συντονίζει θα πρέπει να ξέρει λίγο απ’ όλα, έτσι και ο αρχιτέκτονας θα είναι ο μαέστρος του σχεδιασμού και της εκπόνησης του έργου - αποτέλεσμα πολλών επιστημών. Τώρα, περισσότερο από ποτέ.

### 06.3 κίνδυνοι

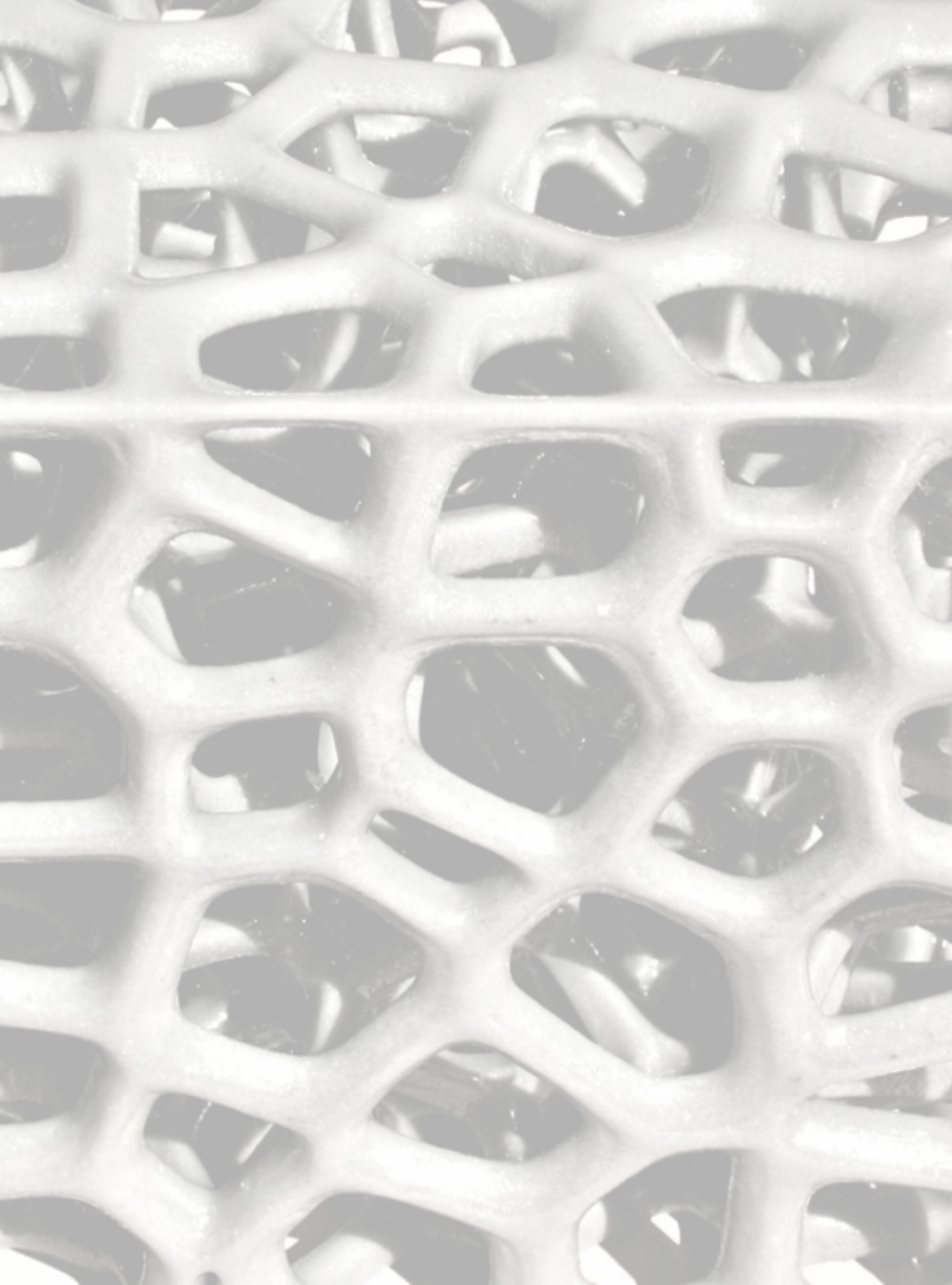
Ο νέος σχεδιασμός που οραματιζόμαστε, σίγουρα φαντάζει ως μια καινοτόμα προσέγγιση. Όπως, όμως, στιδήποτε καινούριο που δεν έχει εφαρμοστεί ευρέως και δεν έχει “ελεγχθεί”, εγκυμονεί αρκετούς κινδύνους, άλλους πιο άμεσους και άλλους βαθύτερα κρυμμένους.

Ξεκινώντας από τα έξυπνα υλικά, που βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο, σε ποιο βαθμό υπάρχουν οι βάσεις για να δεχτούμε μια τέτοια καινοτομία, δεδομένης της αρχιτεκτονικής ταξινόμησης σαν ένα “τυφλοσούρτι” επιλογής υλικών; Και σε ποιο βαθμό είμαστε σίγουροι ότι μπορούν πράγματι να αποτελέσουν το μέλλον της αρχιτεκτονικής; Όταν εμφανίστηκε το πλαστικό ως υλικό, θεωρήθηκε πως θα φέρει την επανάσταση. Παρ’ όλα αυτά, ενώ έκανε τη διαφορά ως φτηνό και ευρείας χρήσης, καταλήξαμε πια να χαρακτηρίζουμε “πλαστικό” ό,τι είναι κακής ποιότητας. Είναι ένα ρίσκο, λοιπόν, το τι κατάληξη μπορούν να έχουν τα έξυπνα υλικά και η ευρεία χρήση τους στις κτηριακές κατασκευές, από τη στιγμή που οι εφαρμογές τους είναι ακόμα θα λέγαμε “διστακτικές”. Θα καταλήξουν να είναι μόνο ένα πείραμα που ίσως και να αποτύχει, ακόμα κι αν σήμερα θεωρούνται προηγμένα, ή μπορούν να συνεισφέρουν σε μια αλλαγή εποχής για την αρχιτεκτονική, όπως έγινε με την ανακάλυψη του σκυροδέματος;

Από την άλλη, πέρα από τη χρήση των υλικών, ο νέος σχεδιασμός βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην τεχνολογία. Γεννιούνται λοιπόν πολλά ερωτήματα και ανησυχίες, καθώς τα τεχνολογικά επιτεύγματα πάντα θεωρούνται δίκικο μαχαίρι. Από τη μία διευκολύνουν σε μέγιστο βαθμό τη ζωή του ατόμου και προσφέρουν απεριόριστες δυνατότητες, από την άλλη μπορεί να αποτελέσουν “πληγή” για τον άνθρωπο. Με τη χρήση της τεχνολογίας ο άνθρωπος “επαναπαύεται”, από τη στιγμή που τα πάντα γίνονται αυτόματα σε ένα μηχάνημα όπως ο υπολογιστής, και ο εγκέφαλος σε ένα βαθμό αδρανεί. Πολλές φορές περιορίζεται η πρωτοβουλία του ατόμου, η εργασία μετατρέπεται σε μηχανική και τυποποιημένη ενέργεια, με αποτέλεσμα την αποξένωσή του από τα προϊόντα της εργασίας του και την απουσία δημιουργικής συμμετοχής. Γι’ αυτό υπάρχει ο κίνδυνος ο αρχιτέκτονας να “επαναπαυτεί” και να ξεφύγει από το ρόλο του ως κεντρικό κομμάτι της δημιουργίας. Πρέπει να παραμείνει ο κύριος της μηχανής και όχι να γίνεται δούλος των επιτευγμάτων του. Η τεχνολογική ανάπτυξη έρχεται να συμπληρώσει τα μέχρι τώρα διαθέσιμα μέσα, ως εξελικτική κατεύθυνση που ανοίγει νέες δυνατότητες και όχι ως κάτι καινοτόμο που θα καταργήσει όλα τα προηγούμενα. Έτσι λοιπόν, στην περίπτωση του σχεδιασμού, τα σκίτσα και η μακέτα θα πρέπει να παραμείνουν βασικά εργαλεία και όχι να σχεδιάζει από μόνος του ο υπολογιστής. Το αποτέλεσμα, δηλαδή, να μην προέρχεται από τυχαία επεξεργασία δεδομένων στο υπολογιστικό περιβάλλον αλλά να είναι αποτέλεσμα έμπνευσης, έρευνας και επεξεργασίας του ίδιου του αρχιτέκτονα, έτσι ώστε η τεχνολογία να λειτουργεί συμπληρωματικά και βοηθητικά και να μην κατακερματίζει τη συνήθη αρχιτεκτονική διαδικασία.

Βασικό είναι, άλλωστε, να μην ξεφύγει ο αρχιτέκτονας από το στόχο του, που είναι η εξυπηρέτηση των αναγκών και επιθυμιών του χρήστη. Με τις άπειρες δυνατότητες που προσφέρονται πλέον, υπάρχει ο κίνδυνος να αποκτήσει η διαδικασία σχεδιασμού έναν χαρακτήρα “έπαρσης” και να μη γίνεται για λόγους εξυπηρέτησης, αλλά για ικανοποίηση προσωπικών φιλοδοξιών. Οι βασικές αρχές της αρχιτεκτονικής και η εξυπηρέτηση του χρήστη πρέπει να μένουν πάντα στο προσκήνιο και το κέντρο κάθε δημιουργίας.

Με το συνδυασμό computational design και έξυπνων υλικών αναδύεται μια θεώρηση του σχεδιασμού, που περιλαμβάνει τα στοιχεία της μεταβλητότητας και της διάδρασης, και που αυξάνει τη δυναμικότητα και το βαθμό τυχειότητας. Σε ποιο βαθμό η διάδραση, που είναι το ζητούμενο, επηρεάζει τα όρια μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού; Μήπως με τη συνεχή ροή και ανταλλαγή δεδομένων μπλέκονται οι δύο αυτοί χώροι; Το βάθος της διάδρασης και της συμμετοχής του ατόμου θα πρέπει να ελέγχεται, ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση του χαρακτήρα κάθε κτηρίου. Μήπως όμως έτσι χαλιναγωγείται η ελευθερία του ατόμου και πρέπει να βρεθεί η χρυσή τομή;



~~07~~

**ΕΠΙΛΟΓΟΣ**







Σε μία εποχή όπου τα δεδομένα συνεχώς αλλάζουν, στα πλαίσια μιας δυναμικής εξέλιξης με απρόβλεπτα χαρακτηριστικά, η αρχιτεκτονική πρέπει να είναι ικανή να συμβαδίζει με αυτούς τους γοργούς ρυθμούς και όχι να αποτελεί κάτι στατικό που ανταποκρίνεται μόνο στην εποχή που δημιουργήθηκε, χωρίς να ενδιαφέρεται για τα επόμενα χρόνια.

Και οι δύο κλάδοι που μελετήθηκαν, σίγουρα προσφέρουν το κάτι παραπάνω στην αρχιτεκτονική.

Το computational design, από τη στιγμή που βρήκε το δρόμο του στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, καταφέρνει να αφομοιώνει καλύτερα από ποτέ τις τεχνολογικές εξελίξεις και στοχεύει σε ένα σχεδιασμό που είναι το παρόν αλλά, ακόμη περισσότερο, το μέλλον.

Παρ' ότι τα πλεονεκτήματά των έξυπνων υλικών είναι γνωστά, ο τρόπος με τον οποίο θα καταφέρουν να προσφέρουν αποτελεσματικά στην αρχιτεκτονική, απαιτεί μεγάλη έρευνα και ενασχόληση. Άλλωστε, η αντιμετώπιση της χρήσης τους ως θεμελιώδη στοιχεία της έννοιας του σχεδιασμού, και όχι μόνο ως τρόπους για τη βελτίωση των υπάρχοντων στοιχείων, δημιουργεί μεγαλύτερες και πιο ελκυστικές προοπτικές.

Αναγνωρίζοντας καθ' όλη την ανάπτυξη της διάλεξής μας πως το computational design με τις δυνατότητές του είναι ο καταλληλότερος τρόπος να αναπτυχθεί και να ελεγχθεί ένα έξυπνο υλικό σε αρχιτεκτονικό περιβάλλον, κρίνουμε ως μεγάλη σπατάλη δυνατοτήτων τη μη συνεργασία και από κοινού διερεύνηση και ανάπτυξη των δύο στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής.

Οι κίνδυνοι σίγουρα θα υπάρχουν, όπως υπάρχουν για οτιδήποτε μη δοκιμασμένο. Με αργά και σταθερά βήματα όμως, μπορούν να γίνουν προσεκτικές προσεγγίσεις στο θέμα ξεκινώντας από μικρότερες κατασκευές (όπως ήδη είδαμε να γίνεται) πριν καταλήξουμε στην εδραίωσή του. Σε επίπεδο σχεδιασμού στον υπολογιστή, μια τέτοιου είδους συνεργασία θα μπορούσε να ξεκινήσει και τώρα. Και, έχοντας την γεωμετρικά προοδύουσα τεχνολογία σύμμαχο, η κατασκευή θα μπορέσει να γίνει πραγματικότητα ευκολότερα. Ιδιαίτερα για προβλήματα όπως το μεγάλο κόστος των έξυπνων υλικών, δεν είναι απαγορευτική η κατασκευή πρωτοτύπων για μελέτη από το σχεδιαστή - κατασκευαστή.

Ο νέος ρόλος που καλείται να αναλάβει ο αρχιτέκτονας εκτός από συναρπαστικός φαντάζει και αρκετά “τρομακτικός”. Ήδη τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί οι απαιτήσεις όσον αφορά γνώσεις πάνω στην τεχνολογία και, έχοντας ως αξίωμα πως τα παραδοσιακά μέσα έκφρασης (σχέδιο, σκίτσο, μακέτα) είναι το θεμέλιο πάνω στο οποίο βασίζονται οι υπόλοιπες δεξιότητές του, μόνο περισσότερα πράγματα έρχονται να προστεθούν στα “πρέπει” των γνώσεων. Γι’ αυτό η διεπιστημονικότητα μπορεί να αποβεί εξαιρετικά επικερδής. Με άξονα την καλή συνεργασία, και τον αρχιτέκτονα ως συντονιστή, ο συνδυασμός των γνώσεων είναι αυτός που θα φέρει τελικά το αποτέλεσμα.

Οι γνώμες για τους ήδη υπάρχοντες νέους τρόπου σχεδιασμού, σύνθεσης και σκέψης, δίστανται. Προσωπικά, στηρίζουμε την ενίσχυση ενός πεδίου έρευνας με στόχο μια μεταβαλλόμενη και διαδραστική αρχιτεκτονική που θα ικανοποιεί στο μέγιστο τις επιθυμίες του ανθρώπου, και θεωρούμε πως είναι κάτι που θα μπορούσε να επιτευχθεί με την ένωση δύο διαφορετικών, αλλά με τόσα κοινά κλάδων: του computational design και των έξυπνων υλικών. Πιστεύουμε πως ρόλος τους δεν είναι να αντικαταστήσουν τους παραδοσιακούς τρόπους σχεδιασμού και κατασκευής, αλλά να τους εξελίσουν και να τους ενισχύσουν. Όπως δε μπορούμε να μιλάμε εκ του ασφαλούς για κάτι που δεν έχει τύχει ευρείας εφαρμογής, έτσι δε μπορούμε να αποκλείσουμε και το γεγονός του να προκύψουν κι άλλα ευχάριστα αλλά προς το παρόν μη προβλέψιμα αποτελέσματα από την προτεινόμενη συνεργασία.

Computational Design, Έξυπνα Υλικά.  
Παράλληλα και τεμνόμενα. Ένα.





## βιβλιογραφία

Michael Meredith, *From Control to Design: Parametric/Algorithmic Architecture*, co-editors: Aranda-Iasch, Mutsuro Sasaki, ACTAR, Barcelona, 2008

Michelle Addington and Daniel Schodek, *Smart Materials and New Technologies*, Architectural Press, Elsevier, 2005

Ιωάννης Βενέρης, *Πληροφορική και Αρχιτεκτονική: Έννοιες και Τεχνολογίες*, εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2011

Lisa Iwamoto, *Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques*, Princeton Architectural Press, New York, 2009

Kostas Terzidis, *Expressive form: a Conceptual Approach to Computational Design*, Spon Press, New York/UK, 2003

Branko Kolarevic, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, Spon Press, London, 2003

William J. Mitchell, *The Electronic Design Studio*, MIT Press, Cambridge MA, 1990

Kroschwitz, J., *Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley & Sons, New York, 1992

Derrick de Kerckhove, *The Architecture of Intelligence*, Birkhauser, Basel-Boston-Berlin, 2001

*The New structuralism*, Architectural Design (AD), Vol80/No4, July/August 2010, guest-edited by Rivka Oxman and Robert Oxman, Wiley, London, 2010

*Design Through Making*, Architectural Design (AD), Vol75/No4, July/August 2005, editor: Helen Castle, Wiley, London, 2005

*EcoRedux: Design Remedies for an Ailing Planet*, Architectural Design (AD)/vol80/No6, November/December 2010, guest-edited by Lydia Kallipoliti, Wiley, London, 2010

*Energies: New Material Boundaries*, Architectural Design (AD)/vol79/No3, May/June 2009, guest-edited by Sean Lally, Wiley, 2009

*Collective Intelligence In Design*, Architectural Design (AD)/vol76/No5, September/October 2006, guest-edited by Christopher Hight and Chris Perry, Wiley, 2006

## άρθρα

Prof. Dr. Mihai Nadin, *Computational Design: Design in the Age of a Knowledge Society*, περιοδικό Form diskurs, τεύχος 2ο, Ιανουάριος 1997

Frederick J. Kiesler, *On Correalism and Biotechnique: A Definition and Test of a New Approach to Building Design*, 1939

Martin Fowler, *Is Design Dead?*, XP 2000 Conference, original article: July 2000, significant revisions: February 2001/May2004

Manuel de Landa, *Material Complexity, Digital Tectonics*, Academy Press, 2004

Jackie Craven, *Frank Gehry: Deconstructivist architect*, πηγή: <http://architecture.about.com/od/greatarchitects/p/gehry.htm>

Antonino Saggio, *New Subjectivity: architecture between Communication and Information*, 2001

*About Walk Disney Concert Hall*, πηγή: <http://www.laphil.com/philpedia/about-walt-disney-concert-hall>

Nancy B. Solomon, AIA, *Architecture: Celebrating the Past, Designing the Future*, Visual Reference Publications Inc., first published in the US, 2008

*Vision and Reality*, Falconer Online Article, Issue 25, 2004, πηγή: [http://customer.dassaultfalcon.com/whatsnew/shared/w\\_falconer\\_article.jsp?DOCNUM=29310&I-DOCNUM=29308](http://customer.dassaultfalcon.com/whatsnew/shared/w_falconer_article.jsp?DOCNUM=29310&I-DOCNUM=29308)

Mohammad Javad Sadeghi / Payam Masudifar / Foad Faizi, *The Function of Smart Material's behavior in architecture*, 2011 International Conference on Intelligent Building and Management, Singapore, 2011

Franklin Hoke, *What is a smart material?*, April 1992, πηγή: <http://research.dh.umu.se>

Jim Loy, *Time, the Fourth Dimension*, 1999, πηγή: <http://www.jimloy.com/physics/4d.htm>

Μαρία Βογιατζάκη, *Η μετα-φυσική του τεχνητού στη σύλληψη της υλικότητας*, περιοδικό του Σ.Α.Θ., τεύχος 9, Αύγουστος 2009, πηγή: [www.greekarchitects.gr](http://www.greekarchitects.gr)

Ρίτσα Μασούρα, *Τα έξυπνα κτίρια που αλλάζουν τη ζωή μας*, Νοέμβριος 2001, πηγή: <http://news.kathimerini.gr/>

Maya Kagawa / Marcello Pinzero, *Generative Design – Teaching Approach*, Generative Design Lab, Politecnico di Milano University, Italy, πηγή: <http://www.generativeart.com/on/cic/2000/ka-pi.htm>

*Buildings and their Impact on the Environment: A Statistic Summary*, revised April 22, 2009, πηγή: Buildings Energy Databook, 2006, US Department of Energy and Annual Energy Review 2007, DOE/EIA-0384 (2007), Energy Information Administration, US Department of Energy, June 2008

Martyn Day, Architect Frank Gehry Finds CAD a Boon to Art and Business, February 23, 2004, πηγή: [http://www.caddigest.com/subjects/aec/select/022304\\_day\\_gehry.htm](http://www.caddigest.com/subjects/aec/select/022304_day_gehry.htm)

## διαλέξεις και διπλωματικές εργασίες

Άννα Μαραγκουδάκη, *Κινητική αρχιτεκτονική χωρίς μηχανικά μέρη*, διάλεξη, σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π., επιβλ. καθ. Δ. Παπαλεξόπουλος, Οκτώβριος 2012

Όλγα Τσικουδή, *Σχεδιασμός Διάδρασης - Κρίσιμα Ζητήματα*, διάλεξη, σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π., επιβλ. καθ. Δ. Παπαλεξόπουλος / Α. Σταυρίδου, Οκτώβριος 2012

Ευαγγελία Μαγνήσαλη, *Προς μια διαδραστική AdaCtive αρχιτεκτονική*, διάλεξη, σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π., επιβλ. καθ. Ν. Μάρδα / Jose Maria Gonzales, Οκτώβριος 2011

Εμμανουήλ Σαράτσης / Αντώνης Τζώρτζης, *Δίκτυα Σχέσεων / Για Ένα Σχεδιασμό 2.0*, διάλεξη, σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π., επιβλ. καθ. Αριάδνη Βοζάνη / Ανδρέας Κούρκουλας, Μάρτιος 2012

Αθηνά Σταυρίδου, *Ο χώρος χωρίς ιδιότητες\_ μια άλλη όψη του δυνητικού χώρου*, διπλωματική εργασία 2000 στο ΔΠΜΣ “Αρχιτεκτονική – Σχεδιασμός του Χώρου”, κατεύθυνση Σχεδιασμός – Χώρος – Πολιτισμός, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π., υπεύθ. διδ. Δ. Παπαλεξόπουλος

Γεώργιος Αναγνωστόπουλος, *Χώρος\_Χρόνος\_Χρήμα: Building Information Management & Revit*, διάλεξη, σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π., επιβλ. καθ. Δ. Παπαλεξόπουλος, Μάρτιος 2012



Γιάννης Ορφανός, *Η δυνητικοποίηση των υλικών*, διάλεξη, σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ, 2003

Θεόδωρος Αθ. Καλογερόπουλος, *Εφαρμογές Έξυπνων Υλικών*, διπλωματική εργασία, τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., τομέας κατεργασιών, επιβλ. καθ. Δημήτριος Μανωλάκος, 2010

## διαδικτυακό υλικό

Δημήτρης Παπαλεξόπουλος / Αθηνά Σταυρίδου, <http://www.ntua.gr/archtech/>

Αθηνά Σταυρίδου, *Αναδυόμενες ιδιότητες – έξυπνα υλικά*, 26/11/2009, παρουσίαση στο μάθημα Αρχιτεκτονική και τεχνολογία, από τον συνολικό σχεδιασμό στην καθολική διαχείριση, ΔΠΜΣ, [www.ntua.gr/archtech](http://www.ntua.gr/archtech)

Συνέντευξη του Patrik Schumacher, WA (World Architecture), Parametric Design issue, Beijing 2009, πηγή: [http://www.patrikschumacher.com/Texts/Interview\\_WA\\_May%2009\\_english.htm](http://www.patrikschumacher.com/Texts/Interview_WA_May%2009_english.htm)

Αντωνία Ν. Κονδύλη, *Design υπό Στέγη: διάλεξη για τη σχολή του Bauhaus*, Στέγη Γραμμάτων και Τεχνών, Αθήνα, 10 Ιανουαρίου 2012, πηγή: <http://www.designmag.gr/dys-bauhaus/4317>

Francesco Cingolani, *Smart Material Aided Architectural Design*, June 2011, πηγή: <http://complexitys.com/software/smart-material-aided-architectural-design>

Tim Winstanley, *AD Classics: Institut du Monde Arabe / Jean Nouvel*, October 2011, πηγή: <http://www.archdaily.com>

*Smart Materials 1 – Definition*, January 2006, πηγή: <http://www.interactivearchitecture.org/smart-materials-1-definition.html>

*ORICALCO : Shape Memory Fabric*, <http://www.newclothmarketonline.com/oricalco-shape-memory-fabric/2/>

Sam Byford, *3D-printed dresses make it onto Paris Fashion Week catwalk*, <http://www.theverge.com/2013/1/22/3905674/paris-fashion-week-runway-has-3d-printed-dresses>, January 22, 2013

*Fabseat*, Architecture Department, MIT, Fall 2006, Research team: Dimitris Papanikolaou (design), Joshua Lobel (fabrication), Magdalini Pantazi (critic), Advisor: Prof. Lawrence Sass, Prof. Terry Knight, πηγή: <http://dimitris-papanikolaou.com/design.html#fabseat>

*Introduction to Rhinoscript*, πηγή: <http://code.algorithmicdesign.net/Introduction-to-Rhinoscript>

Neri Oxman, Ομάδα Mediated Matter, *CNSILK*, MIT Media Lab, πηγή: <http://www.media.mit.edu/research/groups/mediated-matter>

Frank O. Gehry and Associates Inc. (επίσημη ιστοσελίδα), <http://www.dte.co.uk/case-studies/frank-o-gehry-associates-inc.php>

Dessault Systemes (επίσημη ιστοσελίδα), <http://www.3ds.com/products/catia/welcome/>

Atelier Jean Nouvel (επίσημη ιστοσελίδα), <http://www.jeannouvel.com/english/pre-loader.html>

Kieran Timberlake (επίσημη ιστοσελίδα), [http://www.kierantimberlake.com/research/smartwrap\\_research\\_1.html](http://www.kierantimberlake.com/research/smartwrap_research_1.html)

Lab[au] (επίσημη ιστοσελίδα), <http://lab-au.com/#/projects/touch/>

“Do The Mutation” design lab (επίσημη ιστοσελίδα), <http://www.dothemutation.wordpress.com/>

shapeways (επίσημη ιστοσελίδα), <http://www.shapeways.com/>

ICD- Institute for Computational Design (επίσημη ιστοσελίδα), <http://www.icd.uni-stuttgart.de>

Μάριος Τσιλιάκος, Digital [Sub]stance (επίσημη ιστοσελίδα), <http://digitalsubstance.wordpress.com/>

AJ - Architectural Journal (επίσημη ιστοσελίδα), <http://www.architectsjournal.co.uk/home/smartwrap/>

Biomimicry 3.8 (επίσημη ιστοσελίδα), <http://biomimicry.net/about/biomimicry38/>

Generator.x (επίσημη ιστοσελίδα), <http://www.generatorx.no>

All About Vision (επίσημη ιστοσελίδα), <http://www.allaboutvision.com/lenses/photo-chromic.htm>

Celestino Soddu and Enrica Colabella architects (επίσημη ιστοσελίδα), <http://www.soddu.it>

Foster and Partners (επίσημη ιστοσελίδα) <http://www.fosterandpartners.com/>

*Jørn Utzon biography*, πηγή: <http://jornutzon.sydneyoperahouse.com/biography.htm>

*Παραμετρικός Σχεδιασμός 1*, Open e-class, πηγή: <http://www.eclass.tuc.gr/courses/ARCH123/>

*Carlo Scarpa: architect biography*, πηγή: <http://architect.architecture.sk/carlo-scarpa-architect/carlo-scarpa-architect.php>

διαδικτυακό περιοδικό E & T Magazine, volume 7, issue 6, July 2012, πηγή: <http://eandt.theiet.org/>

διαδικτυακό λεξικό <http://www.businessdictionary.com/definition/fabrication.html>

διαδικτυακό λεξικό <http://www.dictionary.reference.com>

## **αρχεία pdf**

Αθηνά Σταυρίδου / Δημήτρης Παπαδόπουλος, *Εννοιολογικός προσδιορισμός παραμετρικών ιδιοτήτων αρχιτεκτονικών κατασκευαστικών στοιχείων και δομικών υλικών*, Επιστημονικός Υπεύθυνος Έργου: Δημήτρης Παπαλεξόπουλος, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών ΕΜΠ, ΠΕΒΕ 2007

Δημήτρης Παπαλεξόπουλος για το μάθημα *Ψηφιακός Σχεδιασμός της Υλικότητας*, 2η παρουσίαση, σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ΕΜΠ, 2013

Dr Diane Talbot, *Smart Materials*, resource for the Institute of Materials, Minerals and Mining Schools Affiliate Scheme, 2003

## βίντεο

*LAB[au] - Touch (Dexia Tower, Brussels, 2006-07)*, <http://www.youtube.com/watch?v=fEyKA6Qd2L8>

*Dexia Tower - Brussels, Belgium*, <http://www.youtube.com/watch?v=k0Uf569EclU>

*SMAAD Surface*, <http://www.youtube.com/watch?v=e-YdJTvesL4&feature>

*Phototropia - a self-sufficient architectural vision*, <http://www.youtube.com/watch?v=lweRDzvS9Fo>

*ShapeShift*, <http://www.youtube.com/watch?v=4XGVMXCxBNA>

*A Quick Guide to Smart & Modern Materials*, <http://www.youtube.com/watch?v=F-grIDibPmJo&feature=endscreen&NR=1>

*SMART materials*, [http://www.youtube.com/watch?v=3Tp6IC\\_SXu0](http://www.youtube.com/watch?v=3Tp6IC_SXu0)

*Frank Gehry uses CATIA for his Architecture Creations*, <http://www.youtube.com/watch?v=UEn53Wr6380>

*Will 3d printing change the world? | Off books | Pbs*, <http://www.youtube.com/watch?v=X5AZzOw7FwA>

## εικόνες

σελ. 12-13, *Making things with code*  
<http://talks.cloudswimmers.com/newline-2012/>

σελ. 15, *soft foam sketch model, Feng Cheng O'Connor*  
<http://wroad.net/wordpress/>

σελ. 19, *installation in Bergen, Zimoun*  
<http://www.needful-things.it/turbulencemaker/2011/8/7/form-always-follows-function.html>

σελ. 23, *Benjamin Samuel Koren, 1:One | Computational Geometry*  
<http://www.caad.arch.ethz.ch/blog/1one-computational-geometry/>

σελ. 26, *Game of Life*, John Conway

<http://manwiththemuckrake.wordpress.com/2010/11/18/john-conways-game-of-life/>

σελ. 29, *sketch of Dancing Building*, Frank Gehry

<http://outnow.ch/Movies/2005/SketchesOfFrankGehry/Bilder/special.fs/05>

σελ. 30, *Frank Gehry*

<http://awdesignlog.blogspot.gr/2010/12/frank-gehry-in-playboy.html>

σελ. 32, *Experience Music Project*, Frank Gehry

<http://www.voyagerx.com/the-worlds-most-interesting-structures-1/>

σελ. 38 (αριστερά), *Dita Von Teese*

<http://pursuitist.com/dita-von-teese-unveils-3d-printed-dress/>

σελ. 38 (δεξιά), *SS12 couture collection*, Iris van Herpen

<http://kidviskous.blogspot.gr/2012/01/iris-van-herpens-fang-soled-shoes-and.html>

σελ. 39, *mask generation*

<http://dothemutation.wordpress.com/2013/01/29/venezia-02-13-la-mutazione/>

σελ. 40, *Petunia*

<http://www.macouno.com/tag/shapeways/>

σελ. 41, *Shapeways*

<http://www.shapeways.com/blog/archives/2029-advancing-the-mission-of-shape-ways-3d-printing-for-everyone.html>

σελ. 43, *Aenao*, Georgia Kotsari, Stavros Kotsirilos & Eirini – Dafni Sapka

<http://code.algorithmicdesign.net/Aenao>

σελ. 45, *smart fluid*, Michigan Institute of Technology

<http://www.docstoc.com/docs/129558739/smart-materials>

σελ. 49, *new natural polymer*

<http://ads5.wordpress.com/2012/02/19/smart-material-research-interface/>

σελ. 52, *PhotoFusion®*, the new self-tinting lenses by ZEISS

<http://www.mivision.com.au/photofusion-by-zeiss-is-here/>

σελ. 57, *Post-Mechanistic Materials*, Manuel Kretzer

<http://www.liquidthings.net/?portfolio=post-mechanistic-materials>

σελ. 59, *paper-thin sensor*, L.A. Cicero/Stanford University  
<http://www.blog.telecomfuturecentre.it/category/smart-materials/>

σελ. 62, *Atoms: Shape Memory Alloy Shirt and Jacket (2010)*  
<http://www.newclothmarketonline.com/oricalco-shape-memory-fabric/2/>

σελ. 63, *Elise Co's Puddle Jumper*  
[http://interactivememory.blogspot.gr/2011\\_02\\_01\\_archive.html](http://interactivememory.blogspot.gr/2011_02_01_archive.html)

σελ. 64, *piezoelectric dancefloor*  
<http://www.ecofriend.com/12-piezoelectric-systems-for-green-environment.html>

σελ. 67, *Slow Furl*, textile view  
<http://nineteen.fibrejournal.org/fcj-130-embedding-response-self-production-as-a-model-for-an-actuated-architecture/>

σελ. 69, *Encoded Matter*  
<http://code.algorithmicdesign.net/Schizo-Metric>

σελ. 72-73, *modular geometries*  
[http://seedmagazine.com/slideshow/interactive\\_architecture/](http://seedmagazine.com/slideshow/interactive_architecture/)

σελ. 74, *Encoded Behaviour*  
<http://www.digitalcrafting.dk/?p=770>

σελ. 78 (πάνω), *SMAAD*  
<http://complexitys.com/software/smart-material-aided-architectural-design/#.UY5YX-bVknIQ>

σελ. 78 (κάτω), *SMAAD*  
<http://metamo.sfc.keio.ac.jp/project/psurface/>

σελ. 81, *Fabseat*, Dimitris Papanikolaou, Joshua Lobel & Magdalini Pantazi  
<http://www.academia.edu/2990797/Portfolio>

σελ. 83, *M-Box*  
<http://www.suckerpunchdaily.com/tag/digital-fabrication/page/3/>

σελ. 86, *LEDscape*, Centro Cultural de Belém in Lisbon  
<http://architecturelinked.com/profiles/blog/list?tag=LED&user=0qhyqd8v0lq94>

σελ. 89, *CNSILK, MIT Media Lab*

<http://www.etechnology.com/2012/04/30/mits-latest-robot-inspired-spiders-instinct-video.html>

σελ. 92, *Scandinavian “movement”*

<http://inhabitat.com/rvw-conscious-design-for-head-and-heart-from-sweden/>

σελ. 94-95, *Space Truss Structure*

<http://wiki.theprovingground.org/usc-arch517-exercise1>

σελ. 97, *column, Michael Hansmeyer*

<http://www.flickr.com/photos/junearch/5471589234/>

σελ. 101 (πάνω), *L’Institut du Monde Arabe, Jean Nouvel*

<http://skwww.wordpress.com/2011/01/25/linstitut-du-monde-arabe/>

σελ. 101 (κάτω), *L’Institut du Monde Arabe, Jean Nouvel*

<http://www.flickrriver.com/photos/ainet/884301453/>

σελ. 103, *L’Institut du Monde Arabe, Jean Nouvel*

[http://pictur.net/gallery/Paris2/Institut\\_du\\_Monde\\_Arabe\\_Moucharabieh](http://pictur.net/gallery/Paris2/Institut_du_Monde_Arabe_Moucharabieh)

σελ. 104, *L’Institut du Monde Arabe, Jean Nouvel*

<http://www.flickrriver.com/photos/laurenmanning/2821960031/>

σελ. 107 (πάνω), *ShapeShift, ETHZ & EMPA*

<http://www.grasshopper3d.com/photo/shapeshift001-6>

σελ. 107 (κάτω), *ShapeShift, ETHZ & EMPA*

<http://www.triangulationblog.com/2010/09/shapeshift.html>

σελ. 108, *ShapeShift, ETHZ & EMPA*

<http://www.triangulationblog.com/2010/09/shapeshift.html>

σελ. 111, *Phototropia, ETHZ & EMPA*

[http://www.caad.arch.ethz.ch/blog/phototropia/img\\_8102-med/](http://www.caad.arch.ethz.ch/blog/phototropia/img_8102-med/)

σελ. 115 (πάνω αριστερά), *Touch, Dexia Tower, LAB[au]*

<http://purlibrary.wordpress.com/2011/09/15/>

σελ. 115 (πάνω δεξιά), *Touch, Dexia Tower, LAb[au]*  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:DexiaTowerLights.jpg>

σελ. 115 (κάτω), *Touch, Dexia Tower, LAb[au]*  
<http://www.fotopedia.com/items/flickr-1466811845>

σελ. 119, *SmartWrap Pavilion, James Timberlake & Stephen Kieran*  
[http://www.kierantimberlake.com/research/smartwrap\\_research\\_7.html](http://www.kierantimberlake.com/research/smartwrap_research_7.html)

σελ. 121, *Phototropia, ETHZ & EMPA*  
[http://miro.romanvlahovic.com/2012/08/11/phototropia\\_/](http://miro.romanvlahovic.com/2012/08/11/phototropia_/)

σελ. 123, *Matsys, Chrysalis III, 2012. © Andrew Kudless*  
<http://www.domusweb.it/en/design/2012/06/14/multiversite.html>

σελ. 130, *LinkedIN Map*  
<http://www.coolinfographics.com/blog/2011/1/28/inmaps-viewing-your-business-network.html>

σελ. 135, *Matsys, SCIN Cube, 2012. © Andrew Kudless (design), Emerging Objects (fabrication)*  
<http://matsysdesign.com/2013/03/04/scin-cube/>

σελ. 137, *spinal network*  
<http://mobilebrainbank.org/2013/01/networks-and-power/>

σελ. 143, *Matsys, SeaCraft Eggs*  
<http://matsysdesign.com/2013/05/18/seacraft-eggs/>

## παρατηρήσεις

Σε όλα τα ξενόγλωσσα κείμενα η μετάφραση έγινε από τις συντάκτριες της εργασίας, εκτός αν αναγράφεται διαφορετικά. Προς αποφυγή μη ορθής διατύπωσης ορολογιών, σημειώνεται και ο αυθεντικός όρος.

Οι εικόνες των οποίων η πηγή δεν παρατίθεται είναι από προσωπικό αρχείο.









