

# ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

## Ερευνητική Εργασία

Επιμέλεια:

Ανδρεδάκης Σπύρος,  
Πεσβάντη Βιργινία

Επιβλέπων:

Κ.Α. Ουγγρίνης

Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών  
ΧΑΝΙΑ 2020

## *Ευχαριστίες*

*Η παρούσα ερευνητική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της απόκτησης του διπλώματος στη σχολή αρχιτεκτόνων μηχανικών του πολυτεχνείου Κρήτης. Αισθανόμαστε λοιπόν την υποχρέωση να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στους ανθρώπους μας οι οποίοι έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας αλλά και το σύνολο των σπουδών μας. Ευχαριστούμε τον αγαπητό μας επιβλέποντα κ. **Κωνσταντίνο - Αλκέτα Ουγγρίνη** για την κατανόηση, τη συμβολή και την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μας.*

*Σας ευχαριστούμε όλους για την **υπομονή** και την **επιμονή** σας..*



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα ερευνητική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό να συγκεντρώσει, κατηγοριοποιήσει και ενημερώσει τον αναγνώστη για τα έξυπνα υλικά ώστε να διευκολύνει και να επηρεάσει δυναμικά την αρχιτεκτονική σύνθεση. Η νέα αυτή δυναμική δύναται να μεταβάλλεται και να εξελίσσεται με το χρόνο δίνοντας έτσι βελτιωμένα αποτελέσματα.

Στη νέα αυτή προσέγγιση της αρχιτεκτονικής, τα έξυπνα υλικά αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον και συνδιαμορφώνονται. Ο χώρος πλέον απελευθερώνεται από τις τρεις διαστάσεις δίνοντας νέες προεκτάσεις στην κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών και αναμένεται να επηρεάσει τον τρόπο σχεδιασμού των κατασκευών από τον εκάστοτε αρχιτέκτονα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή .....	5
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b> .....	7
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	7
1.1. Ιστορική Αναδρομή .....	7
1.2 Η σχέση αρχιτεκτονικής και δομικών υλικών .....	10
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b> .....	14
ΕΞΥΠΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	14
2.1 Ορισμός .....	14
2.2 Τα πρώτα έξυπνα υλικά .....	16
2.3 Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά των έξυπνων υλικών... ..	19
2.4 Ιδιότητες των έξυπνων υλικών.....	22
2.5 Κατηγορίες έξυπνων υλικών .....	25
2.5.1 Έξυπνα υλικά τύπου I (μεταβολής ιδιότητας) .....	29
2.5.2 Έξυπνα υλικά τύπου II (μεταβολής ενέργειας).....	39
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b> .....	45
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	45
ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ .....	45
3.1 Εισαγωγή .....	45
3.2 Νανοτεχνολογία .....	47
3.3 Ενέργεια .....	54
3.4 Φωτισμός .....	61
3.5 Επιφάνειες.....	66

3.6 Κλίμα .....	70
3.7 Πληροφορίες .....	78
3.8 Δυνατότητες ενσωμάτωσης έξυπνων υλικών σε υφιστάμενες κατασκευές.....	84
3.9 Παραδείγματα ενσωμάτωσης έξυπνων υλικών σε υφιστάμενες και νέες κατασκευές.....	92
3.10 Στον Ελλαδικό χώρο .....	104
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b> .....	108
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	108
4.1 Συμπεράσματα .....	108
4.2 Προοπτικές .....	111
<b>ΠΗΓΕΣ</b> .....	117
Ελληνική βιβλιογραφία .....	117
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία .....	118
Διαδύκτιο .....	120



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια στο καθημερινό μας λεξιλόγιο έχουν προστεθεί νέες λέξεις όπως smart phones (έξυπνα τηλέφωνα), smart home (έξυπνο σπίτι) και smart materials (έξυπνα υλικά). Στην παρούσα εργασία θα αναφερθούμε στα έξυπνα υλικά ως δομικά στοιχεία ή ως στοιχεία που εντάσσονται σε ένα τεχνικό έργο. Δεν θα εστιάσουμε στην χημική σύσταση και χημικές ιδιότητες, νανοτεχνολογία και άλλες εξειδικευμένες γνώσεις που αποτελούν αντικείμενο άλλου επιστημονικού κλάδου.

Δύο φορείς που έδωσαν μεγάλη ώθηση (επιστημονική και οικονομική) για την ανακάλυψη και εξέλιξη των έξυπνων υλικών είναι η NASA (National Aeronautics and Space Administration) δηλαδή η Εθνική Υπηρεσία Αεροναυπηγικής και Διαστήματος των Η.Π.Α. καθώς και οι Αμερικανικές ένοπλες δυνάμεις (US Armed Forces). Το πρώτο εμπορικό «έξυπνο υλικό» παρουσιάστηκε το 1992 και ήταν πέδιλα για σκι, τα οποία μπορούσαν να προσαρμόζουν το σχήμα τους ανάλογα με το βάρος του χρήστη και τις συνθήκες της πίστας του χιονιού.

Η σχέση αρχιτεκτονικής και τεχνολογίας δομικών υλικών έχει διέλθει από διάφορα στάδια στο διάβα της εξελικτική πορείας του ανθρώπου και κανείς δεν μπορεί να μαντέψει ή να προβλέψει ή να διαβλέψει πως θα εξελιχθεί αυτή η σχέση μέσα από την υβριδική προσέγγιση και το συνδυασμό της πληροφορίας και της ύλης δηλαδή του δομικού στοιχείου. Τα έξυπνα υλικά αποτελούν σίγουρα ένα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα της νέας διεπιστημονικής τεχνολογίας που προκύπτει από τον συνδυασμό γνώσεων σε διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους. Γιατί όπως έλεγε και ο Αριστοτέλης «το

Όλον είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των μερών του». Πως θα εξελιχθεί αυτή η σχέση είναι ενδιαφέρον να παρακολουθήσουμε τα επόμενα χρόνια.

Στις μέρες μας, τεχνολογικά, έχουμε φτάσει σ' ένα σημείο που μέσω της χρήσης των κατάλληλων αισθητήρων και έξυπνων υλικών, να μπορούμε να παρακολουθούμε online τη ζωή και την κίνηση ενός μεγάλου τεχνικού έργου, όπως π.χ. μιας γέφυρας. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές, η υγρασία, οι μικρο-μετατοπίσεις και μικρο-υποχωρήσεις λόγω σεισμών, πλευρικών ανέμων και ταλαντώσεων καταγράφονται σε βάση δεδομένων για την έκδοση χρήσιμων συμπερασμάτων για την εν γένει συμπεριφορά, λειτουργικότητα και αντοχή του τεχνικού έργου. Το έργο υποδομής αντιμετωπίζεται ως «ζωντανός οργανισμός» που πρέπει συνέχεια να παρακολουθείται, να συντηρείται όποτε και όπου χρειάζεται και αν χρειαστεί να δεχθεί μεγάλης κλίμακας συντήρηση ή αντικατάσταση μελών ή άλλων δομικών στοιχείων.

Έντονος προβληματισμός υπάρχει στους κόλπους του τεχνικού κόσμου για τις δυνατότητες ένταξης και αξιοποίησης των έξυπνων υλικών στη μεγάλη κλίμακα της αρχιτεκτονικής, ενώ αυτά καθ' αυτά τα έξυπνα υλικά αναφέρονται σε επίπεδο νανοτεχνολογίας. Είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα σχέση που πρέπει να δούμε στο μέλλον πως θα εξελιχθεί και που θα καταλήξει. Σίγουρα η ενδεικνυόμενη προσέγγιση στην εφαρμογή και χρήση των έξυπνων υλικών στην αρχιτεκτονική πρέπει να είναι η ολιστική προσέγγιση σε ότι αφορά τα έξυπνα υλικά, εστιάζοντας όμως στις νέες δυνατότητες που μας παρέχουν και που μπορούν να μας παρέχουν στο μέλλον σε συνδυασμό με την κάλυψη των αναγκών και απαιτήσεων για φιλικότερα προς το περιβάλλον κτίρια και έργα υποδομής.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

### 1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Τα δομικά υλικά καθώς και η διαδικασία παραγωγής τους, έχουν μια τόσο σημαντική καθώς και προφανή επίδραση στην εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού, τέτοια που υποχρέωσαν τους ιστορικούς να χαρακτηρίζουν ιστορικές περιόδους ανάλογα με την εξέλιξη των υλικών. Έτσι έχουν διαχωρίσει την Λίθινη εποχή, την εποχή του Χαλκού και την εποχή του Σιδήρου.<sup>1</sup>

Η σχέση αρχιτεκτονικής και δομικών υλικών πάντα υπήρξε μια σχέση αλληλεπίδρασης. Η εξέλιξη των δομικών υλικών άνοιγε νέους δρόμους στην αρχιτεκτονική καθώς και η αρχιτεκτονική απαιτούσε νέα βελτιωμένα υλικά για να μπορέσει να πραγματοποιήσει τις νέες σχεδιαστικές και αρχιτεκτονικές ιδέες και αντιλήψεις.

---

<sup>1</sup> Gandhi M.V. & Thompson B.S. (1992). *"Smart Materials & structures"*. Σελ 3



Η βιομηχανική επανάσταση οδήγησε σε τυποποιημένα και πιστοποιημένα δομικά υλικά με συγκεκριμένα φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά. Το γεγονός αυτό ώθησε και την αρχιτεκτονική στη δημιουργία του μοντέλου του σκελετού δηλαδή του φέροντος οργανισμού του κτηρίου και στα στοιχεία πλήρωσης του εξωτερικού περιβλήματος του κτηρίου.

Τον 20<sup>ο</sup> αιώνα με την εξέλιξη της τεχνολογίας νέα τεχνολογικά δομικά υλικά ήταν διαθέσιμα προς χρήση των αρχιτεκτόνων. Ο αρχιτέκτονας μπορούσε να επιλέξει τις επιθυμητές ιδιότητες και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει το δομικό υλικό και επέλεγε από μια γκάμα υλικών που μπορούσαν να του τις εξασφαλίσουν και δεν περιορίζεται από τις συγκεκριμένες διαστάσεις και προδιαγραφές που παρήγαγε η βιομηχανία δομικών υλικών.<sup>2</sup>

Κάθε νέα εποχή έφερνε μαζί της και την απαίτηση για συνεχόμενη αναζήτηση, για ακόμα καλύτερα δομικά υλικά. Η αναζήτηση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη στις μέρες μας. Η πρόσφατη εποχή των συνθετικών υλικών χαρακτηρίζεται από την ανθρώπινη απαίτηση για νέα σύνθετα υλικά με πολύ ανεπτυγμένα και εξειδικευμένα χαρακτηριστικά και συμπεριφορές, με σκοπό και στόχο την εξερεύνηση του *τελευταίου ορίου του διαστήματος*.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Ρουμπάνη Γεσθημανή, Ταρουδάκη Καλλιρόη. (2013). «*Computational Design / Έξυπνα Υλικά. Η παράλληλη προσέγγιση*». Σελ 47

<sup>3</sup> Gandhi M.V. & Thompson B.S. (1992). “*Smart Materials & structures*”. Σελ 3

Στην αυγή του 21<sup>ου</sup> αιώνα προβάλλει η εποχή των έξυπνων υλικών. Είναι δεδομένη η τεχνολογική εξέλιξη σε πολλούς διαφορετικούς τεχνικούς και επιστημονικούς τομείς. Το καταλυτικό στοιχείο στην νέα εποχή είναι ο συνδυασμός των γνώσεων και των τεχνολογικών επιτευγμάτων για την κατασκευή νέων έξυπνων υλικών. Συνδυάζοντας γνώσεις και εμπειρίες από διαφορετικές επιστήμες όπως τεχνολογία αντοχής υλικών, **βιοτεχνολογία**, **βιομηχανική** (η ανάπτυξη σύνθετων συστημάτων με την χρήση πληροφοριών που λαμβάνονται από βιολογικά συστήματα), **νανοτεχνολογία**, **μοριακή ηλεκτρονική**, **νευρολογικά δίκτυα** (ηλεκτρονική προσομοίωση της νευρολογικής σύνδεσης του ανθρωπίνου εγκεφάλου) και **τεχνητή νοημοσύνη**. Όλες αυτές οι τεχνολογίες θα παρέχουν το ρόλο του εγκεφάλου, του νευρικού συστήματος και του μυϊκού συστήματος σε μια νέα γενιά από εξελιγμένα υλικά και ολοκληρωμένες λειτουργικές δομές και συστήματα. Αυτό το άλμα στην τεχνολογία υλικών θα δημιουργήσει νέους επαναστατικούς δρόμους για την κατασκευή έξυπνων υλικών που θα απέχει δραματικά από την επανάσταση που δημιούργησε η ανακάλυψη και χρήση του ηλεκτρονικού επεξεργαστή (electronic chip) στην καθημερινότητα μας.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Ρουμπάνη Γεσθημανή, Ταρουδάκη Καλλιρόη. (2013). «Computational Design / Έξυπνα Υλικά. Η παράλληλη προσέγγιση». Σελ 47

## 1.2 Η ΣΧΕΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η σχέση της αρχιτεκτονικής και των δομικών υλικών θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως δυναμική και αμφίδρομη, μέσα στο διάβα της ιστορίας και της ανθρώπινης εξέλιξης. Τα δομικά υλικά που έχει ο αρχιτέκτονας στα «χέρια» του για να συνθέσει και να χρησιμοποιήσει του παρέχουν κάποιες δυνατότητες (capabilities) για να μπορέσει να εμφανίσει το τελικό τεχνικό αποτέλεσμα που έχει στο μυαλό του ο δημιουργός-αρχιτέκτονας. Αντίστοιχα, η σύνθετη αρχιτεκτονική σκέψη ανοίγει νέους δρόμους και δημιουργεί νέες απαιτήσεις (requirements) που πρέπει η τεχνολογία δομικών υλικών να εκπληρώσει, παράγοντας νέα υλικά.

Στα πρώτα στάδια της αρχιτεκτονικής αυτή η σχέση ήταν μονοσήμαντη και σχετικά απλή. Ο αρχιτέκτονας επέλεγε τα δομικά υλικά με κριτήρια όπως η διαθεσιμότητα των δομικών υλικών στην περιοχή κατασκευής του έργου. Ένα άλλο κριτήριο ήταν οι φυσικές ιδιότητες του υλικού και κατά πόσον με τα μέσα που διέθεταν μπορούσαν να το επεξεργαστούν και να το καταστήσουν χρήσιμο και επωφελές για το έργο. Τέλος, η μορφή και η εμφάνιση ενός υλικού το καθιστούσε κατάλληλο για διακοσμητική χρήση.<sup>5</sup> Για πάρα πολλά χρόνια η πέτρα και το ξύλο αποτελούσαν τα κύρια δομικά υλικά. Οι δυνατότητες επεξεργασίας τους, ήταν περιορισμένες και ο αρχιτέκτονας της εποχής έπρεπε να λάβει

---

<sup>5</sup> *Ibid*



ως δεδομένες τις ιδιότητες αυτών των υλικών με μακροσκοπική θεώρηση χωρίς να έχει τις δυνατότητες υπολογισμού των ακριβών φυσικών και τεχνικών χαρακτηριστικών αυτών των υλικών. Ουσιαστικά, ο αρχιτέκτονας ήταν ο ειδικός εμπειροτέχνης που μέσα από έργα, πειραματισμούς στο πεδίο, λάθη, σφάλματα και καταστροφές, μάθαινε και εξελίσσονταν οι γνώσεις του επάνω στη χρήση, στους περιορισμούς και στις δυνατότητες αυτών των πρότυπων υλικών που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν.

Η βιομηχανική επανάσταση τον 19<sup>ο</sup> αιώνα με την παραγωγή διαφόρων μορφών χάλυβα σε βιομηχανικό επίπεδο, με τυποποιημένες ιδιότητες και σχετικά χαμηλό κόστος, έδωσε τη δυνατότητα στην αρχιτεκτονική να διαμορφώσει νέους ορίζοντες.<sup>6</sup> Εμφανίστηκαν κτίρια με μεγάλα ανοίγματα, με μεγάλη διάρκεια ζωής και μπόρεσε να γίνει εκμετάλλευση της τρίτης διάστασης, καθ' ύψος. Έτσι ο χάλυβας ωθεί, θα μπορούσαμε να πούμε την αρχιτεκτονική σκέψη σε νέες διαστάσεις, που με τα προηγούμενα υλικά δεν ήταν δυνατόν να υλοποιηθούν. Τα νέα υλικά δημιουργούν νέες προοπτικές και δίνουν λύσεις σε σχεδιαστικά και κατασκευαστικά προβλήματα, καλύπτοντας τις νέες ανάγκες του ανθρώπου. Έτσι έπαψε η μονοσήμαντη σχέση υλικού και αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και έγινε η σχέση αμφίδρομη και δυναμική. Μπορεί να χαρακτηριστεί επίσης και πιο δημιουργική.

---

<sup>6</sup> Addington M. and Schodek D. (2005). *“Smart Materials and New Technologies – For architecture and design professions”*. Σελ 2-3

Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, εμφανίζεται μια διαφορετική προσέγγιση στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και συγκεκριμένα στην υλικότητα. Το κέλυφος των κτηρίων αποκτά χαρακτήρα και οντότητα και αλληλεπιδρά με τον χρήστη. Έτσι ο χώρος είναι ζωντανός», μεταβάλλεται και αλληλεπιδρά με τον άνθρωπο.<sup>7</sup>

Στις μέρες μας (21<sup>ος</sup> αιώνας) και με την βοήθεια και την εξέλιξη της τεχνολογίας, ο αρχιτέκτονας θα προσδιορίζει τις επιθυμητές ιδιότητες και τεχνικά χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει το υλικό, έτσι ώστε η βιομηχανία να το παράξει, για να μπορέσει να στηρίξει και να υλοποιήσει το αρχιτεκτονικό του δημιουργήμα.

Στο μέλλον τα έξυπνα οικοδομικά υλικά θα διαμορφώσουν τις κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη μιας νέας φιλοσοφίας στην αρχιτεκτονική μας σκέψη και θεώρηση. Νέες κατασκευαστικές μέθοδοι θα προκύψουν και νέες σχεδιαστικές αντιλήψεις θα εμφανιστούν. Η σχέση έξυπνων υλικών και αρχιτεκτονικής θα είναι δυναμική και τα δομικά στοιχεία θα συμπεριφέρονται **και θα αντιμετωπίζονται ως ενεργειακά πεδία.**<sup>8</sup> Ήδη από το 1990 όπως προαναφέραμε η αρχιτεκτονική σκέψη έχει μεταπηδήσει στην λογική της μεταβλητότητας του περιβάλλοντος και της διαδραστικότητας

---

<sup>7</sup> Σταυρίδου Αθηνά (2009). «Αναδυόμενες ιδιότητες- έξυπνα υλικά». Σελ 3

<sup>8</sup> Αρνέλλου Ζωή-Δάφνη, Μπέρκη Αικατερίνη, Σαραντινούδη Παναγιώτα. (2012) "Smart Materials". Σελ vii

με το χρήστη του έργου<sup>9</sup>. Αυτή η αντίληψη θα εξελιχθεί και η σύγχρονη αρχιτεκτονική θα επιβάλλει τα κτίρια να είναι «ζωντανά» και να προσαρμόζονται στα εξωτερικά ερεθίσματα και τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και όχι να προσπαθούν να «προστατέψουν» τον κάτοικο και χρήστη του έργου από τις δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος κάτι που έκανε εξαρχής ο άνθρωπος αναζητώντας προστασία μέσα σε μια σπηλιά.

---

---

<sup>9</sup> Addington M. and Schodek D. (2005). *“Smart Materials and New Technologies – For architecture and design professions”*. Σελ 4

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΕΞΥΠΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

#### 2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Τα «έξυπνα υλικά» και ειδικότερα ο αγγλικός όρος «smart materials» όπως συναντάται στην διεθνή βιβλιογραφία, είναι ένας σχετικά **πρόσφατος ορισμός**, ο οποίος προσπαθεί να συμπεριλάβει ένα **πλήθος εννοιών και ιδιοτήτων** που προέρχονται από τον συνδυασμό αυτών των δύο λέξεων. Επίσης, **η έννοια** των λέξεων καθώς και ο προσδιόδμενος ορισμός **διαφοροποιείται ανάλογα με τον τεχνολογικό τομέα** στον οποίο αναφέρεται. Τέλος, επειδή οι τεχνολογικές εξελίξεις είναι ραγδαίες, κανείς δεν μπορεί να προβλέψει και να προδικάσει, ποιες άλλες ανακαλύψεις θα επιτύχει ο άνθρωπος και τι άλλες ιδιότητες θα αποδοθούν στα «έξυπνα υλικά» στο μέλλον.

Το επίθετο «έξυπνο» υποδηλώνει ότι το υλικό δεν παραμένει στατικό, αλλά έχει την ιδιαιτερότητα της μεταβολής των ιδιοτήτων του όταν δεχθεί το κατάλληλο ερέθισμα. Δηλαδή, όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο καθηγητής του πανεπιστημίου της Πενσυλβάνιας (Pennsylvania State University) Robert Newnham «Θα το κατέτασσα στην κατηγορία της

αντανακλαστικής αντίδρασης».<sup>10</sup> Με την έννοια «υλικό» δεν αναφερόμαστε σε ένα συμπαγές και ομοιογενές υλικό αλλά συχνά αναφερόμαστε σε ένα σύνθετο σύστημα (smart systems) ή σε μια σύνθετη δομή (smart structure) που αποτελείται από διαφορετικές στρώσεις υλικών<sup>11</sup> τα οποία συνεργάζονται για να μπορέσουν να εκτελέσουν σύνθετες διαδικασίες.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τα «έξυπνα δομικά υλικά», δηλαδή με τα «έξυπνα υλικά» που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς και να ενταχθούν στο δομικό σύστημα ενός κτηρίου ή ενός έργου υποδομής. Γι' αυτό το λόγο ο ορισμός των έξυπνων υλικών που θα χρησιμοποιήσουμε είναι από την Encyclopedia of Chemical Technology και αφορά την τεχνολογία των υλικών και τα έξυπνα υλικά ορίζονται ως «**τα αντικείμενα τα οποία ανιχνεύουν περιβαλλοντικά γεγονότα, επεξεργάζονται τις αισθητηριακές πληροφορίες και κατόπιν τούτου ενεργούν επί του περιβάλλοντος τους**».<sup>12</sup>

Η ιδιαιτερότητα αυτών των υλικών είναι ότι μπορούν μόνα τους και εφόσον δεχθούν το κατάλληλο ερέθισμα από το εξωτερικό τους περιβάλλον όπως μεταβολή της θερμοκρασίας,

---

<sup>10</sup> <https://www.the-scientist.com/research/smart-materials-research-expands-beyond-defense-arena-60137>

<sup>11</sup> *Ibid*

<sup>12</sup> Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Volume 22, 5<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons, New York. 2004

της εντατικής τους κατάστασης, του ηλεκτρικού φορτίου ή του μαγνητικού τους πεδίου, να μεταβάλλουν κάποιο χαρακτηριστικό τους όπως σχήμα, χρώμα, δυσκαμψία ή άλλα μηχανικά τους χαρακτηριστικά, με συγκεκριμένο και αρχικά προκαθορισμένο τρόπο και αυτές οι μεταβολές να είναι παροδικές και όχι μόνιμες και όταν πάψει να υφίσταται το αρχικό ερέθισμα να δύνανται να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση.

## 2.2 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ

Τα πρώτα έξυπνα υλικά αναπτύχθηκαν από τη NASA (National Aeronautics and Space Administration) δηλαδή την Εθνική Υπηρεσία Αεροναυπηγικής και Διαστήματος των Η.Π.Α. για ερευνητικούς σκοπούς καθώς και από τις Αμερικανικές ένοπλες δυνάμεις (US Armed Forces). Χαρακτηριστική είναι η δημοσιοποιημένη μελέτη «Smart Materials for Army Structures»<sup>13</sup> του Απριλίου 1992 και εκτιμάται ότι ο αμερικανικός στρατός ασχολούνταν σε ερευνητικό επίπεδο με τα έξυπνα υλικά αρκετά χρόνια πιο πριν.

---

<sup>13</sup> S. Ramamurthy, M. V. Gandhi, B. S. Thompson, «Smart materials for army structures», U.S. ARMY Materials Technology Laboratory, April 1992

Το πρώτο εμπορικό «έξυπνο υλικό» παρουσιάστηκε το 1992 και ήταν πέδιλα για σκι<sup>14</sup>. Η καινοτομία αυτών των πέδινων σκι ήταν ότι ενσωμάτωσαν **πιεζοηλεκτρικά κεραμικά**. Τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά είναι υλικά που έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια και το αντίστροφο. Το πρόβλημα που αντιμετώπιζαν οι σκιέρ ήταν οι δονήσεις και οι ταλαντώσεις που αναπτύσσονταν στις μπροστινές άκρες των πέδινων, μπροστά από τις δέστρες δηλαδή τα σημεία που πακτώνονται τα πόδια του σκιέρ. Όταν τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά στοιχεία ανίχνευαν την δημιουργία δονήσεων, έστελναν ηλεκτρικά σήματα στο κύκλωμα ελέγχου και αυτό με την σειρά του δια μέσω διαβίβασης ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργούσε αύξηση της **ακαμψίας του υλικού** με απτό αποτέλεσμα την μείωση του εύρους των ταλαντώσεων και των δονήσεων. Συμπερασματικά το «έξυπνο πιεζοηλεκτρικό κεραμικό» λειτουργούσε ως αισθητήρας των δονήσεων και ως ενεργοποιητής για την αλλαγή της συμπεριφοράς του υλικού με στόχο τον περιορισμό των δονήσεων, προσφέροντας έτσι στον σκιέρ μια πιο ασφαλή και ομαλή κίνηση στο χιόνι<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> Addington M. and Schodek D. (2005). "Smart Materials and New Technologies – For architecture and design professions". Σελ 1

<sup>15</sup> Dr Diane Talbot, Smart Materials, resource for the Institute of Materials, Minerals and Mining Schools Affiliate Scheme, 2003. Σελ 7

Το αεροτζέλ (aerogel) είναι από τα πρώτα «έξυπνα υλικά». Ανακαλύφθηκε το 1931 αλλά έγινε ευρέως γνωστό την δεκαετία του 1970<sup>16</sup>. Παρουσιάζει ορισμένα εξαιρετικά χαρακτηριστικά όπως είναι πολύ ελαφρύ υλικό (έχει πυκνότητα τριπλάσια από την πυκνότητα του αέρα), είναι εξαιρετικά μονωτικό υλικό, επιτρέπει την διάδοση του φωτός και μπορεί να διατηρήσει το σχήμα του.



**Εικόνα 1 :** Aerogel

(Πηγή : <http://www.aerogel.org/?p=3>)

---

<sup>16</sup> Addington M. and Schodek D. (2005). *"Smart Materials and New Technologies – For architecture and design professions"*. Σελ 7



## 2.3 ΤΑ ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά<sup>17</sup> που παρουσιάζουν τα έξυπνα υλικά και τα καθιστούν ξεχωριστά από τα συμβατικά υλικά είναι τα παρακάτω:

### ✓ **Αμεσότητα**

Είναι η ικανότητα που διαθέτουν τα έξυπνα υλικά να αντιδρούν σε άμεσο και πραγματικό χρόνο στα ερεθίσματα που δέχονται

### ✓ **Επιλεκτικότητα**

Είναι η ικανότητα που διαθέτουν τα υλικά να αποκρίνονται κατά ένα προβλέψιμο και προγραμματισμένο τρόπο στα ερεθίσματα που δέχονται.

---

<sup>17</sup> Ibid Σελ 79

✓ **Παροδικότητα**

Τα έξυπνα υλικά δύνανται να ανταποκρίνονται σε περισσότερες από μια εξωτερικές περιβαλλοντικές μεταβολές και σε ποικίλης μορφής εξωτερικά ερεθίσματα και διαφοροποίηση συνθηκών

✓ **Αυτό-ενεργοποίηση**

Η αυτό- ενεργοποίηση είναι μια ιδιότητα η οποία είναι εγγενής στα έξυπνα υλικά και αφορά την εκ των προτέρων προγραμματισμένη και συγκεκριμένη αντίδραση του υλικού σε ένα συγκεκριμένο εξωτερικό ερέθισμα.

✓ **Ευθύτητα**

Αναφέρεται στην ιδιότητα της τοπικής, συγκεκριμένης και περιορισμένης ανταπόκρισης του υλικού σε δεδομένο ερέθισμα.

✓ **Προσαρμοστικότητα**

Αφορά την ιδιότητα των έξυπνων υλικών να προσαρμόζονται αλλάζοντας την εσωτερική τους δομή και κατάσταση με αποτέλεσμα να επιδιορθώνονται είτε αντιδρώντας σε εξωτερικές συνθήκες, είτε με την πάροδο ικανού χρονικού διαστήματος.

Για να γίνει πιο άμεσα αντιληπτό το τεχνολογικό άλμα που συντελείται από τα συμβατικά δομικά υλικά στα έξυπνα υλικά, είναι ενδιαφέρον να εστιάσουμε και να παρατηρήσουμε τις διαφορές που υπάρχουν και διαφοροποιούν τα έξυπνα από τα συμβατικά υλικά<sup>18</sup>. Εκτός από τις προφανείς διαφορές μεταξύ των δύο τύπων υλικών που αναφέρονται στην χημική τους σύσταση, δομή, ιδιότητες, τρόπο λειτουργίας κ.α. υπάρχουν και άλλες διαφορές, όπως:

<b>ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ</b>	<b>ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ</b>
Δεδομένη και μονοσήμαντη χρήση μόνο για το σκοπό για τον οποίο παρήχθησαν	Μεγάλη γκάμα δυνατοτήτων και εφαρμογών
Μακροσκοπικό επίπεδο και κλίμακα.	Νανοκλίμακα, νανοτεχνολογία.
Δισδιάστατα υλικά, διαμορφώνουν επιφάνειες	Τρεις, τέσσερις ή και πέντε διαστάσεις.
<b>Στατικά</b> , όριο που διαφοροποιεί εσωτερικό - εξωτερικό χώρο.	<b>Δυναμικά και διαδραστικά</b> , αντίδραση σε εξωτερικά ερεθίσματα-εσωτερικές μεταβολές.
Ικανοποιούν βασικές ανάγκες του χρήστη.	Ανταποκρίνονται σε εκλεπτυσμένες ανάγκες και επιθυμίες του χρήστη.
Συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και αντοχή- μόνιμη φθορά.	Βιωσιμότητα, αναπροσαρμογή της δομικής σύστασης – αυτοεπιιδίρθωση.
Δυσκολία στη μεταξύ τους συνεργασία.	Συνδυάζονται και δημιουργούν έξυπνα συστήματα.

<sup>18</sup> Σταυρίδου Αθηνά (2009). «Αναδυόμενες ιδιότητες- έξυπνα υλικά»

## 2.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα έξυπνα υλικά, από την φιλοσοφία σχεδιασμού τους και από την κατασκευή τους, διαθέτουν εσωτερικές και εξωτερικές ιδιότητες, που τα χαρακτηρίζουν και τα κάνουν μοναδικά. Λόγω της δυναμικότητας του χαρακτήρα των έξυπνων υλικών, υπάρχει μια αμφίδρομη σχέση μεταξύ των εσωτερικών και των εξωτερικών ιδιοτήτων. Οι μεν επηρεάζουν και εξαρτώνται από τις δε και το αντίστροφο.

Οι εσωτερικές ιδιότητες αναφέρονται σε επίπεδο μικροκλίμακας και νανοκλίμακας και εξαρτώνται από την χημική σύσταση του υλικού και την εσωτερική μοριακή δομή του. Οι εσωτερικές ιδιότητες των έξυπνων υλικών μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κατηγορίες: **μηχανικές, θερμικές, ηλεκτρικές, χημικές και οπτικές.**<sup>19</sup> Όλες αυτές οι εμφανιζόμενες εσωτερικές ιδιότητες είναι αποτέλεσμα της ενεργειακής αντίδρασης του έξυπνου υλικού στα αντίστοιχα εξωτερικά ενεργειακά ερεθίσματα και διεγέρσεις που δέχεται. Αναφέρουμε επιγραμματικά κάποιες από τις εσωτερικές ιδιότητες όπως η **σκληρότητα, η πυκνότητα, η αγωγιμότητα, η ειδική θερμότητα, η διαλυτότητα, η διαύγεια** κλπ.

Οι εξωτερικές ιδιότητες αναφέρονται σε μακροσκοπικό επίπεδο, γίνονται αντιληπτές από τον άνθρωπο και αφορούν κυρίως την αλληλεπίδραση των έξυπνων υλικών με την μεταβολή

---

<sup>19</sup> Addington M. and Schodek D. (2005). *“Smart Materials and New Technologies – For architecture and design professions”*. Σελ 39

των συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος. Τέτοιες ιδιότητες είναι το χρώμα, το σχήμα, η υφή κλπ.

Τα έξυπνα υλικά, παρόλη τη μεγάλη ποικιλία τους, την διαφορετική κατηγορία που ανήκουν, τη διαφορά στη δομή και το αντικείμενο εφαρμογής τους, παρουσιάζουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε θεμελιώδεις ιδιότητες<sup>20</sup> που διαθέτουν σχεδόν όλα τα έξυπνα υλικά. Αυτές είναι:

- Υπάρχει δυνατότητα να μεταβάλλουν μια ή περισσότερες ιδιότητες τους, ως αποτέλεσμα της αντίδρασης τους στις μεταβαλλόμενες εξωτερικές συνθήκες. Η ιδιότητα που μπορεί να μεταβάλλουν τα έξυπνα υλικά είναι μηχανική, θερμική, ηλεκτρική, χημική ή οπτική. Τα υλικά που παρουσιάζουν αυτή την ιδιότητα βρίσκουν και τις μεγαλύτερες εφαρμογές στην αρχιτεκτονική. Τέτοια υλικά είναι τα θερμοχρωμικά, τα φωτοχρωμικά, τα ηλεκτροχρωμικά κλπ.
- Εμφανίζουν τη δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας. Η ιδιότητα αυτή αφορά την ικανότητα πρόσληψης ενέργειας από το έξυπνο υλικό σε μια συγκεκριμένη μορφή και την μεταβολή της σε άλλη μορφή πιο χρήσιμη και παραγωγική. Η όλη λειτουργία βασίζεται στο πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα. Τέτοια υλικά είναι τα **φωτοβολταϊκά, τα πιεζοηλεκτρικά, τα θερμοηλεκτρικά** κλπ.

---

<sup>20</sup> Καλογερόπουλος Θεόδωρος (2010) «Εφαρμογές έξυπνων υλικών». Σελ 9

- Μικρή κλίμακα μεγέθους. Τα έξυπνα υλικά λόγω της μικροκλίμακας σχεδιασμού τους και της νανοτεχνολογίας την οποία εμπεριέχουν έχουν μικρές διαστάσεις και έτσι μπορούν να τοποθετηθούν ακριβώς στις κατάλληλες θέσεις που απαιτούνται για να είναι αποτελεσματικά και παραγωγικά.

- Υπάρχει η δυνατότητα αντιστρεψιμότητας και δι-κατευθυντήριας γραμμής. Η αντιστρεψιμότητα είναι η δυνατότητα αντιστροφής του ρόλου της εισροής (ερέθισμα) και της παραγωγής ενέργειας (αντίδραση, αποτέλεσμα). Αυτή η ιδιότητα εμφανίζεται κυρίως σε έξυπνα υλικά των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην διοχέτευση ηλεκτρικού φορτίου. Η δι-κατευθυντήρια γραμμή αναφέρεται στα έξυπνα υλικά που διαθέτουν την ιδιότητα αλλαγής διπλής κατεύθυνσης. Αναλυτικότερα, αυτά τα έξυπνα υλικά μπορούν να ενεργοποιήσουν δύο διαφορετικές δράσεις και να παράγουν δύο διαφορετικά αποτελέσματα όταν δέχονται το κατάλληλο εξωτερικό ερέθισμα. Το γεγονός αυτό παρατηρείται στα υλικά που αλλάζουν φάση απορροφώντας ή απελευθερώνοντας ενέργεια με ταυτόχρονη αλλαγή των συνθηκών των εξωτερικού περιβάλλοντός τους.

- Αναστρεψιμότητα. Υπάρχουν ορισμένα έξυπνα υλικά που έχουν την ιδιότητα της επαναφοράς τους στις αρχικές συνθήκες όταν πάψει να επιδρά το ερέθισμα το οποίο τους προκάλεσε την μεταβολή τους. Συνήθως τα έξυπνα υλικά μεταβάλλουν το σχήμα τους, το χρώμα τους κλπ και μετά την αφαίρεση της αιτίας που προκάλεσε την μεταβολή αυτή, επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση.

## 2.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Αρχικά, με την εμπορική εμφάνιση και χρήση των έξυπνων δομικών υλικών, έγινε προσπάθεια να ενταχθούν και αυτά στα υφιστάμενα πλαίσια κατηγοριοποίησης μαζί με τα συμβατικά υλικά. Λίγο αργότερα, έγινε κατανοητό ότι αυτή η κατηγοριοποίηση δεν ήταν δυνατή και αποστερούσε από τα έξυπνα υλικά αυτό καθ' αυτό το στοιχείο που τα διαφοροποιεί από τα συμβατικά υλικά. Τον ιδιαίτερο χαρακτήρα και ρόλο που μπορούν να διαδραματίσουν.

Όπως έχουμε προαναφέρει, τα έξυπνα υλικά είναι ταυτόχρονα υλικό και τεχνολογία. Προγραμματισμένος αλγόριθμος δυναμικής αντίδρασης σε εξωτερικό ερέθισμα. Είναι έμφυτη η διαδραστική του ικανότητα που του επιτρέπει να μεταβάλλεται και να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον. Επομένως, η μάταιη προσπάθεια ένταξης του στα στερεότυπα πρότυπα των συμβατικών υλικών, υποβιβάζει τα έξυπνα υλικά, παραβλέπει το δυναμικό του χαρακτήρα, ο οποίος είναι και το ιδιαίτερο και χαρακτηριστικό του γνώρισμα.

Γι όλους τους παραπάνω λόγους έχουν αναπτυχθεί ξεχωριστά πρότυπα ταξινόμησης των έξυπνων υλικών, λαμβάνοντας υπόψη διάφορα κριτήρια κάθε φορά. Οι πιο σημαντικές κατηγοριοποιήσεις είναι οι παρακάτω:

## 1. Με κριτήριο το επίπεδο ευφυΐας

Με βάση αυτό το κριτήριο, τα έξυπνα υλικά μπορούν να διαχωριστούν στα **ενεργά** έξυπνα υλικά και στα **παθητικά** έξυπνα υλικά. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των παθητικών έξυπνων υλικών είναι ότι αυτά ανταποκρίνονται κατά έναν προκαθορισμένο και τυποποιημένο τρόπο στα εξωτερικά ερεθίσματα. Παράδειγμα παθητικού έξυπνου υλικού είναι τα κράματα μνήμης σχήματος (Shape Memory Alloy - SMA). Αυτά τα κράματα μπορούν και μεταβάλλουν το σχήμα τους ανταποκρινόμενα στην μεταβολή της θερμοκρασίας τους κατά έναν τρόπο πολύ συγκεκριμένο και προγραμματισμένο από την φάση κατασκευής του κράματος.

Από την άλλη πλευρά, τα ενεργά έξυπνα υλικά διαθέτουν την ιδιαιτερότητα να αναλύουν το εξωτερικό ερέθισμα και να επιλέγουν τον τρόπο της αντίδρασης τους. Παράδειγμα ενεργού έξυπνου υλικού είναι τα πιεζοηλεκτρικά υλικά. Θα μπορούσαμε να πούμε και έναν άλλο ορισμό που διαχωρίζει τα ενεργά από τα παθητικά έξυπνα υλικά. Τα ενεργά υλικά έχουν την δυνατότητα μεταβολής κάποιας από τις ιδιότητες τους με παράλληλη μετατροπή ενέργειας. Τα παθητικά έξυπνα υλικά δεν διαθέτουν αυτή τη δυνατότητα μετατροπής ενέργειας από μια μορφή σε κάποια άλλη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο ως αισθητήρες και όχι και ως ενεργοποιητές.

Σύμφωνα με τον Ιάπωνα καθηγητή **Toshinori Takagi**<sup>21</sup>, πρόεδρο της επιτροπής υλικών τεχνολογίας του ινστιτούτου

---

<sup>21</sup> Takagi Toshinori. (1990) "A Concept of Intelligent Materials".  
Article



επιστημών και τεχνολογίας της κυβέρνησης της Ιαπωνίας, σε άρθρο του που δημοσιεύθηκε τον Απρίλιο του 1990, προσδιορίζει για τα έξυπνα υλικά **τρία επίπεδα ευφυΐας**. Τα εξής:

α. Στο πρώτο επίπεδο περιλαμβάνονται τα έξυπνα υλικά που μπορούν να εκτελούν τρεις βασικές λειτουργίες. Της **αίσθησης**, της **δράσης** και της **επεξεργασίας**. Αυτές οι τρεις λειτουργίες λαμβάνουν χώρα σε συνδυασμό με μεταφορά ενέργειας που υποδηλώνει τη μεταφορά και μεταβίβαση πληροφοριών.

β. Στο δεύτερο επίπεδο κατατάσσονται έξυπνα υλικά που διαθέτουν επιπλέον λειτουργίες όπως αυτή της **αυτό-διάγνωσης** και της **αυτό-διόρθωσης**. Αυτές οι πρόσθετες λειτουργίες εμπεριέχονται στα έξυπνα υλικά με την μορφή του λογισμικού (software) όπως ακριβώς είναι και το λογισμικό στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και στη ρομποτική.

γ. Το τρίτο επίπεδο ευφυΐας, το οποίο θα γίνει αισθητό στο μέλλον, αφορά εκλεπτυσμένες και πολύ εξελιγμένες λειτουργίες που θα αποκτήσουν τα έξυπνα υλικά και αναφέρονται σε ανθρωπιστικές και κοινωνικές αξίες όπως είναι η **αξιοπιστία**, η **φιλικότητα** και η **αρμονία**.

## **2. Με κριτήριο την αρχή λειτουργίας**

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι η κατηγοριοποίηση των έξυπνων υλικών με βάση την αρχή λειτουργίας τους, αναφέρεται στο μικρόκοσμο και στις ξεχωριστές μοριακές ιδιότητες που διαθέτουν αυτά. Είναι πολύ σημαντικό, όμως, και για τον αρχιτέκτονα, ο οποίος δραστηριοποιείται στο μακρόκοσμο, να γνωρίζει ορισμένες βασικές αρχές λειτουργίας των έξυπνων

υλικών, έτσι ώστε να μπορέσει να τα εντάξει στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και στην καθημερινή του πρακτική.

Το ερέθισμα που κινητοποιεί τη δράση του έξυπνου υλικού είναι η ενέργεια, με οποιαδήποτε μορφή. Κάθε υλικό περιβάλλεται από ένα ενεργειακό πεδίο. Οι μεταβολή της ενέργειας του εξωτερικού περιβάλλοντος λειτουργεί ως ερέθισμα και προκαλεί την αντίδραση και προσαρμογή του στις νέες ενεργειακές συνθήκες. Ανάλογα με τον τρόπο εκμετάλλευσης της εισερχόμενης ενέργειας από το έξυπνο υλικό, διαμορφώνονται δύο διαφορετικοί μηχανισμοί λειτουργίας. Με βάση αυτούς τους μηχανισμούς, τα έξυπνα υλικά ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες. Τα υλικά **μεταβολής ιδιότητας ή υλικά Τύπου I** και τα υλικά **ανταλλαγής ενέργειας ή υλικά Τύπου II**.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε διεξοδικά στις προαναφερθείσες κατηγορίες υλικών Τύπου I και II.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Addington M. and Schodek D. (2005). *“Smart Materials and New Technologies – For architecture and design professions”*. Σελ 14

## 2.5.1 ΈΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ ΤΥΠΟΥ Ι (ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΙΔΙΟΤΗΤΑΣ)

Στα υλικά μεταβολής ιδιότητας ή υλικά Τύπου Ι<sup>23</sup>, η προσλαμβανόμενη ενέργεια από το έξυπνο υλικό, επηρεάζει άμεσα την εσωτερική ενεργειακή κατάσταση του υλικού. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μεταβολή της μοριακής του δομής, η οποία έχει ως συνέπεια την μεταβολή και διαφοροποίηση κάποιας ιδιότητας του. Αυτή η μεταβολή είναι άμεση και αναστρέψιμη. Δηλαδή εάν πάψει η αιτία που προκαλεί την μεταβολή της ιδιότητας του π.χ. το σχήμα του, τότε η μοριακή του δομή θα επανέλθει στην προγενέστερη κατάσταση και το σχήμα του στην προηγούμενη κατάσταση και μορφή.

Υπάρχουν αρκετές ομάδες έξυπνων υλικών αυτού του τύπου, οι κυριότερες είναι :

<i><b>Ομάδα έξυπνων υλικών</b></i>		<i><b>Μεταβολή ιδιότητας</b></i>	
Χρωμικά		Αλλαγή χρώματος	
Αλλαγής φάσης		Μεταβολή της κατάστασης της ύλης	
Αγώγιμα Πολυμερή		Μεταβολή της αγωγιμότητας	
Ρεολογικά		Αύξηση ή μείωση του ιξώδους	
Υγροί Κρύσταλλοι		Αλλαγή χρώματος	
Οθόνες	αιωρούμενων	Μεταβολή	οπτικών
σωματιδίων		ιδιοτήτων	

---

<sup>23</sup> Ibid Σελ 83

## ❖ Χρωμικά

Είναι τα έξυπνα υλικά που έχουν την ικανότητα να αλλάζουν το χρώμα τους ή κάποια άλλη οπτική τους ιδιότητα, ανάλογα με τα ερεθίσματα που δέχονται από το εξωτερικό τους περιβάλλον. Ανάλογα με το ερέθισμα, δηλαδή τη μορφή της εισερχόμενης ενέργειας στο υλικό, τα χρωμικά έξυπνα υλικά διακρίνονται σε:

Είδος χρωμικού υλικού	Ερέθισμα
Φωτοχρωμικά	Φως
Θερμοχρωμικά	Θερμοκρασία
Μηχανοχρωμικά	Αύξηση της τάσης
Ηλεκτροχρωμικά	Μεταβολή ηλεκτρικού πεδίου
Χημειοχρωμικά	Μεταβολή χημικού περιβάλλοντος

Πρέπει να επισημάνουμε ότι η μεταβολή του χρώματος αυτών των υλικών είναι παροδική και μόλις πάψει η αιτία (εισερχόμενη ενέργεια), το υλικό επανέρχεται στην προηγούμενη κατάσταση και χρώμα. Πολλές εφαρμογές των χρωμικών έξυπνων υλικών συναντάμε στη κατασκευή επίπλων και αντικειμένων για το σπίτι αλλά γενικά και στη διακόσμηση εσωτερικών χώρων (interior design).

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα χρωμικών έξυπνων υλικών που μπορεί να τα χρησιμοποιούμε και στην καθημερινότητά μας.



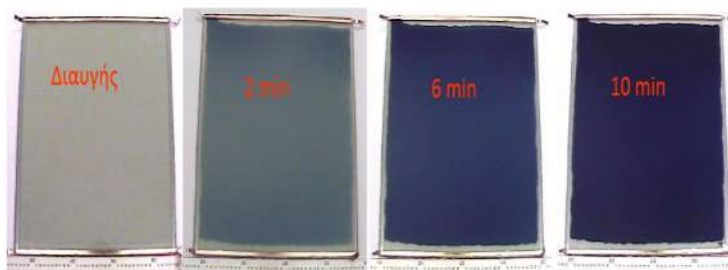
**Εικόνα 2 :** Θερμοχρωμική κούπα καφέ, η οποία όταν θερμαίνεται αλλάζει χρώμα

(Πηγή : [https://tofanari.blogspot.com/2013/12/blog-post\\_910.html](https://tofanari.blogspot.com/2013/12/blog-post_910.html))



**Εικόνα 3 :** Φωτοχρωμικά γυαλιά

(Πηγή : <https://www.clicmagneticglasses./photochromic-lenses/>)



**Εικόνα 4 :** Ηλεκτροχρωμικό γυαλί

(Πηγή : <https://docplayer.gr/4242048-llektrohromika-parathyra.html>)



**Εικόνα 5 :** Πίνακας «ζωγραφικής» από θερμοχρωμικό υφάσμα

(Πηγή : [https://www.architectmagazine.com/technology/four-student-design-installations-with-smart-materials\\_o](https://www.architectmagazine.com/technology/four-student-design-installations-with-smart-materials_o))



**Εικόνα 6 :** Θερμοχρωμική καρέκλα

(Πηγή : Addington M. and Schodek D. (2005). “Smart Materials and New Technologies – For architecture and design professions”. Σελ 4)

### ❖ Αλλαγής φάσης

Είναι σύνηθες για τα συμβατικά υλικά να μεταβάλλουν την κατάσταση τους από τη στερεή φάση στην υγρή ή και στη αέρια, με την πρόσληψη ενέργειας, συνήθως με την μορφή θερμότητας. Τα έξυπνα υλικά μπορούν να δεσμεύσουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας και παράλληλα να αλλάξουν φάση από την στερεή στην αέρια. Είναι δυνατή και η αντίστροφη διαδικασία με συνέπεια την αποδέσμευση μεγάλης ποσότητας ενέργειας. Το σημαντικό και ξεχωριστό χαρακτηριστικό που διαθέτουν τα έξυπνα υλικά είναι ότι αυτή η διαδικασία, της απορρόφησης και απόδοσης ενέργειας, μπορεί να γίνει θεωρητικά άπειρες φορές χωρίς να υπάρχει υποβάθμιση αυτής της δυνατότητας.

Γνωρίζοντας εκ των προτέρων ότι η αλλαγή φάσης του υλικού λαμβάνει χώρα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, μπορεί να υπολογισθεί η ακριβής χρονική στιγμή κατά την οποία θα δεσμευθεί ή θα αποδεσμευθεί η ενέργεια με την μορφή θερμότητας. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμη στον αρχιτέκτονα για την επιλογή υλικών έτσι ώστε να βελτιώσει και να ενισχύσει το αίσθημα θερμικής άνεσης των χρηστών του κτηρίου, σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους.



**Εικόνα 7 :** Εφαρμογή υλικών αλλαγής φάσης σε οροφή κτηρίου

(Πηγή :  
[http://econ3.gr/readmore.php?article\\_id=51771295788153](http://econ3.gr/readmore.php?article_id=51771295788153))

**Εικόνα 8 :** Υλικά αλλαγής φάσης σε κάψουλες και σε σωλήνες

(Πηγή : Χατζηγούλα Όλγα (2011) «Θερμικές εφαρμογές υλικών αλλαγής φάσης (PCM)».

Σελ 21





### ❖ Αγωγή Πολυμερή

Οι πολυμερείς χημικές ενώσεις είναι σύνθετα μόρια που αποτελούνται από την σύνδεση και επανάληψη άλλων μικρότερων μορίων. Τα πολυμερή υλικά είναι συνήθως μονωτικά και δεν αφήνουν να διέρχεται η ηλεκτρική ενέργεια. Με την πρόσμιξη των πολυμερών ουσιών με άλλες αγώγιμες ουσίες κυρίως οξείδια μετάλλων, μετατρέπονται σε αγώγιμα πολυμερή υλικά.

Όταν σε ένα αγώγιμο πολυμερές υλικό εφαρμοστεί ηλεκτρικό φορτίο, προκαλείται μια αναδιάταξη της μοριακής σύστασης του υλικού με αποτέλεσμα να ελευθερώνονται ηλεκτρόνια και έτσι η κίνηση τους να δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα. Η εφαρμογή εναλλασσόμενου ρεύματος σε αγώγιμο πολυμερές υλικό έχει ως αποτέλεσμα την ροή ιόντων μέσα στο υλικό και έτσι προκαλείται συστολή στη μια πλευρά με ταυτόχρονη διαστολή στην άλλη πλευρά του υλικού, δημιουργώντας έτσι μικρο-μετατοπίσεις και κινήσεις της ύλης.

Καθόσον η τεχνολογική εξέλιξη και η έρευνα προχωρούν, διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν αγώγιμα πολυμερή υλικά, τα οποία ανάλογα με τα ερεθίσματα που δέχονται από το εξωτερικό περιβάλλον, μπορούν να μεταβάλλονται από μονωτές σε αγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας.



**Εικόνα 9 :** Αγώγιμο πολυμερές «γυαλί» για διαφανή ηλεκτρονικά

(Πηγή :

<https://www.naftemporiki.gr/story/1334861/agogimo-polumeres-guali-gia-diafani-ilektronika>)

### ❖ Ρεολογικά υλικά

Τα ρεολογικά έξυπνα υλικά εμφανίζουν, όταν δεχθούν το κατάλληλο εξωτερικό ερέθισμα, σημαντική αυξομείωση του ιξώδους τους. Με την μεταβολή του ιξώδους τους μεταβάλλεται και η ρευστότητα τους και η ρεολογική συμπεριφορά τους. Τα είδη των εξωτερικών ερεθισμάτων μπορούν να είναι είτε μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου είτε μεταβολή του μαγνητικού πεδίου. Η διαδικασία μεταβολής του ιξώδους είναι μια αναστρέψιμη διαδικασία και όταν αφαιρεθεί το αίτιο που προκάλεσε τη μεταβολή το υλικό επανέρχεται στην προγενέστερη κατάσταση του.

Είναι εντυπωσιακή η διαφοροποίηση της ρεολογικής συμπεριφοράς στα έξυπνα υλικά. Το ρευστό υλικό μετατρέπεται σχεδόν σε στερεό υλικό και μπορεί να μετατραπεί και σε υγρό ανάλογα με την αύξηση ή μείωση του ηλεκτρικού ή μαγνητικού φορτίου του.



**Εικόνα 10 :**

*Ηλεκτρορεολογικό υλικό*

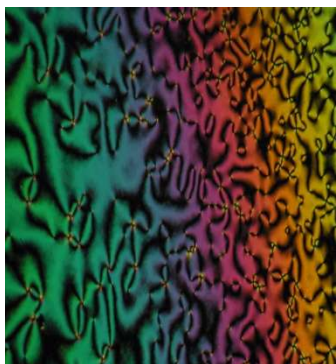
(Πηγή :

[https://www.youtube.com/watch?v=kMt\\_CzfrJOs](https://www.youtube.com/watch?v=kMt_CzfrJOs))

### ❖ Υγροί κρύσταλλοι

Στην καθημερινότητα μας με την χρήση των smart phones, tablets, οθόνες κλπ ερχόμαστε σε επαφή με την τεχνολογία των υγρών κρυστάλλων. Οι υγροί κρύσταλλοι είναι υγρά τα οποία έχουν ευαισθησία στην επιβολή ηλεκτρικών φορτίων. Αποτέλεσμα της ηλεκτρικής διέγερσης είναι η δημιουργία οπτικών ενδείξεων και απεικονίσεων.

Τεχνικά, οι οθόνες αυτές αποτελούνται από ένα συνδυασμό υλικών. Υπάρχουν δύο φύλλα αγώγιμου υλικού που μπορούν να αλλάξουν πολικότητα, ανάλογα με το ηλεκτρικό φορτίο που εφαρμόζεται, και από ένα μείγμα υγρών κρυστάλλων. Όταν περάσει ηλεκτρικό ρεύμα από τα αγώγιμα φύλλα, οι κρύσταλλοι ευθυγραμμίζονται και έτσι επιτρέπουν να διέλθει το φως από μέσα τους. Με τον συνδυασμό διαφόρων ειδών κρυστάλλων επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός πλέγματος κρυστάλλων, οι οποίοι ανάλογα με την επιβαλλόμενη τάση του ηλεκτρικού ρεύματος να επιτρέπουν ή να απαγορεύουν τη διέλευση του φωτός και έτσι τελικά να δημιουργούνται οι οπτικές ενδείξεις.



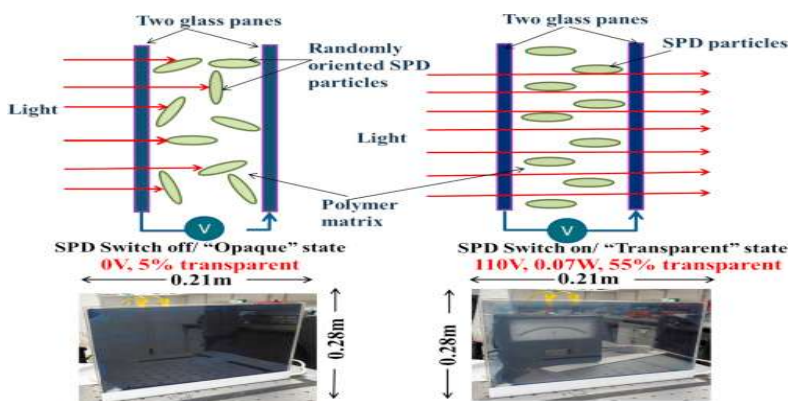
**Εικόνα 11 :** Υγροί κρύσταλλοι

(Πηγή :

<https://phys.org/news/2010-10-family-liquid-crystals.html>

### ❖ Οθόνες αιωρούμενων σωματιδίων

Η πιο πρόσφατη τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί σχετικά με τις οθόνες είναι οι οθόνες αιωρούμενων σωματιδίων. Παρομοιάζει με την τεχνολογία υγρών κρυστάλλων. Τεχνικά, οι οθόνες αυτές αποτελούνται από ένα συνδυασμό υλικών σε πολλά επίπεδα. Υπάρχουν δύο φύλλα αγωγίμου υλικού που μπορούν να αλλάξουν πολικότητα, ανάλογα με το ηλεκτρικό φορτίο που εφαρμόζεται, και από ένα ρευστό στο οποίο υπάρχουν τα αιωρούμενα σωματίδια. Όταν περάσει ηλεκτρικό ρεύμα από τα αγωγίμα φύλλα, τα αιωρούμενα σωματίδια ευθυγραμμίζονται και έτσι επιτρέπουν να διέλθει το φως από μέσα τους. Με τον συνδυασμό των διαφορετικών επιπέδων υλικών επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός πλέγματος, το οποίο ανάλογα με την επιβαλλόμενη τάση του ηλεκτρικού ρεύματος επιτρέπει ή απαγορεύει τη διέλευση του φωτός και έτσι τελικά να δημιουργούνται οι οπτικές ενδείξεις.



Εικόνα 12 : Οθόνη αιωρούμενων σωματιδίων

(Πηγή :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024816301088>)

## 2.5.2 ΈΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ ΤΥΠΟΥ II (ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ)

Στα υλικά μεταβολής ενέργειας ή Τύπου II <sup>24</sup>, η προσλαμβανόμενη ενέργεια από το εξωτερικό περιβάλλον δεν προκαλεί κάποια μεταβολή στη μοριακή σύνθεση και δομή του υλικού αλλά απορροφάται από το έξυπνο υλικό και αυξάνεται έτσι το ενεργειακό του επίπεδο. Αυτή όμως η κατάσταση δεν είναι μια σταθερή κατάσταση και δεν μπορεί να διατηρηθεί. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα έξυπνα υλικά να μπορούν να αποδώσουν αυτό το πλεόνασμα ενέργειας, το οποίο έχουν αποθηκεύσει προσωρινά στο εσωτερικό τους, σε μια άλλη πιο χρήσιμη μορφή. Παράδειγμα αποτελούν τα φωτοβολταϊκά υλικά που απορροφούν ηλιακή ενέργεια και αποδίδουν χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια.

Υπάρχουν αρκετές ομάδες έξυπνων υλικών αυτού του τύπου, οι κυριότερες είναι :

<i>Ομάδα έξυπνων υλικών</i>	<i>Αποτέλεσμα</i>
Υλικά εκπομπής φωτός	Εκπομπή φωτός
Ημιαγωγοί	Μεταβολή ηλεκτρικής αγωγιμότητας
Πιεζοηλεκτρικά	Μηχανική δύναμη ή ηλεκτρικό φορτίο
Χρόματα με μνήμη σχήματος	Μεταβολή σχήματος

---

<sup>24</sup> Addington M. and Schodek D. (2005). “Smart Materials and New Technologies – For architecture and design professions”.  
Σελ 95

### ❖ Υλικά εκπομπής φωτός

Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της ομάδας έξυπνων υλικών είναι η φωτοβολία. Δηλαδή η εκπομπή φωτός είτε ως αποτέλεσμα εσωτερικών χημικών αντιδράσεων είτε ως αποτέλεσμα της επίδρασης προσλαμβάνουσας από το υλικό ενέργειας.

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις. Η πρώτη είναι όταν η φωτοβολία είναι άμεση, σε αυτή την περίπτωση την ονομάζουμε φθορισμό. Εάν η ανταπόκριση δεν είναι άμεση και υπάρχει μια καθυστέρηση της τάξεως των χιλιοστών του δευτερολέπτου, τότε μιλάμε για φωσφορισμό. Η πλειοψηφία των υλικών που εκπέμπουν φως είναι στερεά με την προσθήκη κάποιων προσμίξεων. Το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός, το μήκος κύματος και η χρονική διάρκεια φωτοβολίας εξαρτώνται από τα υλικά πρόσμιξης του υλικού.

Ανάλογα με το είδος της ενέργειας που προσλαμβάνεται από τα έξυπνα υλικά και φωτοβολεί, τα υλικά διακρίνονται σε:

Κατηγορία φωτοβολίας	Ερέθισμα	Μορφή ενέργειας
Φωτο-φωτοβολία	Φως	Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
Χημειο-φωτοβολία Βιο-φωτοβολία	Χημικό περιβάλλον	Χημική ενέργεια
Ηλεκτρο-φωτοβολία	Ηλεκτρικό φορτίο	Ηλεκτρική ενέργεια



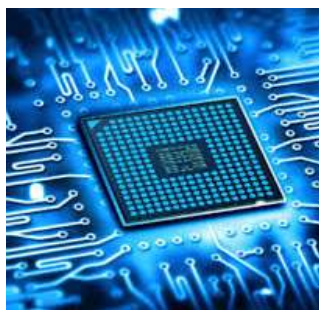
**Εικόνα 13 :** Υλικά εκπομπής φωτός

(Πηγή : <https://www.zdnet.com/article/a-new-light-emitting-material-changes-structure-to-glow/>)

### ❖ Ημιαγωγοί

Μεγάλο μέρος της τεχνολογικής προόδου που βιώνουμε βασίζεται στην χρήση των ημιαγωγών. Όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα, μικροεπεξεργαστές, υπολογιστές κλπ εμπεριέχουν ημιαγωγούς. Σε κανονικές συνθήκες οι ημιαγωγοί, όπως το λέει και ο όρος, δεν είναι ούτε καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού ούτε και μονωτές. Με την προσθήκη όμως προσμίξεων μπορούν να ελέγχουμε και να ρυθμίσουμε την αγωγιμότητα τους.

Γενικώς η αγωγιμότητα των ημιαγωγών αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό το φαινόμενο διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην κατασκευή και λειτουργία των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των μικροεπεξεργαστών, εντός των οποίων αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες.



**Εικόνα14:** Μικροεπεξεργαστής από ημιαγωγούς

(Πηγή : <https://www.pcr-online.biz/features/technology-hub-in-wales-receives-38-million-to-develop-revolutionary-semiconductors->)

## ❖ Πιεζοηλεκτρικά

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο έγινε γνωστό το 1880 και από τότε χρήζει ευρείας χρήσης. Πολλά καθημερινά αντικείμενα βασίζουν την αρχή λειτουργίας τους σε αυτό το φαινόμενο όπως το κουδούνι της πόρτας και το άναμμα του αναπτήρα.

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά μπορούν και συνδυάζουν δυο διαφορετικές δράσεις. Εάν ασκηθεί μια πίεση, μια δύναμη σε ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό, αυτή δημιουργεί μια παραμόρφωση του σχήματος. Η οποιαδήποτε μικρο-μετατόπιση παράλληλα δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα. Το φαινόμενο μπορεί να έχει και αντίστροφη πορεία. Δηλαδή, οποιαδήποτε επιβολή ηλεκτρικής τάσης στο υλικό προκαλεί μια παραμόρφωση του υλικού και ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης και την επιβολή μιας δύναμης. Το φαινόμενο εξελίσσεται στιγμιαία είτε προς τη μία κατεύθυνση, με την εμφάνιση μετατόπισης, είτε και προ της άλλης κατεύθυνση, με την πρόκληση ηλεκτρικού φορτίου.

Τα υλικά που παρουσιάζουν αυτή την ιδιότητα είναι και φυσικά και τεχνητά. Φυσικά υλικά είναι ο χαλαζίας. Τεχνητά είναι ορισμένα πολυμερή και κάποια κεραμικά. Μια πολύ ενδιαφέρουσα χρήση των πιεζοηλεκτρικών υλικών είναι ως αισθητήρες και ως ενεργοποιητές.





**Εικόνα 15 :** Πιεζοηλεκτρισμός σε χορευτική πίστα

(Πηγή : [https://ilektroutomatismoι.blogspot.com/2016/03/blog-post\\_24.html](https://ilektroutomatismoι.blogspot.com/2016/03/blog-post_24.html))

#### ❖ Κράματα με μνήμη σχήματος

Έχουν κατασκευασθεί ορισμένα κράματα τα οποία έχουν την ιδιότητα αν μεταβληθεί το σχήμα τους για διάφορους λόγους, μηχανικούς, θερμικούς, χημικούς κλπ, να μπορούν να επανέλθουν στο αρχικό προκαθορισμένο σχήμα τους. Με την επιβολή της κατάλληλης εξωτερικής διέγερσης γίνεται μια μεταβολή στη μοριακή δομή του κράματος, η οποία είναι παροδική. Με την παύση επιβολής του ερεθίσματος η μοριακή κατάσταση και διάταξη επανέρχεται στην προγενέστερη κατάσταση και έτσι το κράμα ξαναλαμβάνει το αρχικό του σχήμα

Η κύρια χρήση αυτών των κραμάτων είναι ως ενεργοποιητές. Τα κράματα με μνήμη σχήματος διακρίνονται σε τρεις λειτουργικές

κατηγορίες : τα κράματα μονής κατεύθυνσης, τα κράματα διπλής κατεύθυνσης και τα μαγνητικά ελεγχόμενα κράματα.

Παράδειγμα κραμάτων με μνήμη σχήματος είναι τα NiTi (νικελίου – τιτανίου), Cu Zn (χαλκού – ψευδαργύρου) καθώς και πολλά πολυμερή. Τα πολυμερή κράματα είναι πολύ χρήσιμα στην ορθοπεδική χειρουργική, διότι με την ενσωμάτωσή τους στο ανθρώπινο σώμα αποκτούν τη θερμοκρασία του ανθρώπου και έτσι ενεργοποιείται η μνήμη σχήματος τους.



**Εικόνα 16 :** Συνδετήρας με μνήμη σχήματος

(Πηγή : <https://gifer.com/en/AWIC>)

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

### ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πεδίο εφαρμογής των έξυπνων υλικών μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν απεριόριστο. Η εξέλιξη της τεχνολογίας, της νανοτεχνολογίας και των ηλεκτρονικών είναι ραγδαία και κανένας δεν μπορεί να προβλέψει και να φανταστεί σε ποιους τομείς θα έχουν εφαρμογή τα έξυπνα υλικά τα επόμενα χρόνια.

Τα αυτοκαθαριζόμενα παράθυρα, οι κουρτίνες οι οποίες περιλαμβάνουν στοιχεία που μπορούν να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια και οι φωσφορίζουσες ταπετσαρίες τοίχων είναι μερικά μόνο από τα νέα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μόρφωση επιφανειών και να χρησιμοποιηθούν από τους αρχιτέκτονες, διακοσμητές εσωτερικών χώρων και σχεδιαστές.

Ο δημιουργικός σχεδιασμός θα εστιάσει περισσότερο από ποτέ στο πεδίο της διαμόρφωσης επιφανειών που δύναται να παραχθούν από τα νέα τεχνολογικά υλικά. Το ερώτημα είναι εάν και κατά ποιο τρόπο οι νέες τεχνολογικές εξελίξεις, που είτε είναι άμεσα

διαθέσιμες, είτε θα είναι σε λίγο καιρό διαθέσιμες, θα μπορέσουν να αφομοιωθούν και να χρησιμοποιηθούν από τους αρχιτέκτονες και τους σχεδιαστές. Επαφίεται σε αυτούς να αποφασίσουν εάν τα μελλοντικά τους σχέδια θα εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα που τους παρέχουν τα έξυπνα υλικά για την παροχή πολλών και εναλλακτικών λύσεων για την ικανοποίηση των χρηστών των κτηρίων και των έργων υποδομής.<sup>25</sup>

Το μεγάλο ερώτημα που προκύπτει είναι ποια τελικά μπορεί να είναι η χρήση των έξυπνων υλικών στην σύγχρονη αρχιτεκτονική; Τα έξυπνα υλικά παρόλο που λειτουργούν στο επίπεδο του μικρόκοσμου, τα αποτελέσματα τους είναι αισθητά στο επίπεδο του μακρόκοσμου. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, μπορούν να εισαχθούν στην εργαλειοθήκη των αρχιτεκτόνων και να διαμορφώσουν ή να επηρεάσουν το δομημένο περιβάλλον.

---

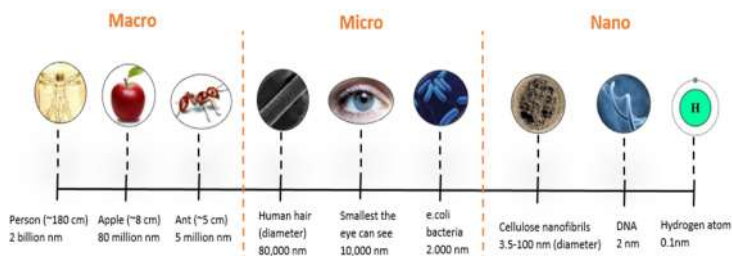
<sup>25</sup> Klooster Thorsten. (2009). *“Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design”*. Σελ 8

## 3.2 NANOTΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, στην παρούσα εργασία δεν θα εστιάσουμε στην χημική σύσταση και δομή των έξυπνων υλικών, διότι η κατανόηση τους απαιτεί εξειδικευμένο γνωστικό υπόβαθρο και αποτελεί αντικείμενο άλλων επιστημονικών κλάδων.

Κρίνεται όμως σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στην κλίμακα των μεγεθών των έξυπνων υλικών (νανοκλίμακα) για να μπορέσει να γίνει κατανοητή η κλίμακα στην οποία λειτουργούν αυτά τα υλικά. Ο αρχιτέκτονας δεν είναι εξοικειωμένος με τη χρήση της νανοκλίμακας, γεγονός το οποίο δυσχεραίνει τον ρόλο του, αλλά ταυτόχρονα αποτελεί και μια νέα πρόκληση για τον σύγχρονο και μελλοντικό αρχιτέκτονα.

Για να γίνει κατανοητή η διαφορά κλίμακας παρατίθεται η επόμενη εικόνα.



**Εικόνα 17 :** Σχέση macro – micro – nano κλίμακας

(Πηγή :

<https://gr.pinterest.com/pin/804174077190128302/?lp=true>)

Στη μακρο-κλίμακα βρίσκεται ο άνθρωπος, το μήλο και το μυρμήγκι. Στη μικρο-κλίμακα είναι η ανθρώπινη τρίχα, το μικρότερο αντικείμενο που μπορεί να δει το ανθρώπινο μάτι και το βακτήριο. Τέλος στη νανοκλίμακα είναι τα κυτταρινικά νανο-ινώματα, το DNA και το άτομο του υδρογόνου.

Η νανοκλίμακα αναφέρεται σε διαστάσεις  $10^{-9}$ m. Το πρόθεμα νάνο- προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη νάνος (πολύ μικρός). Ο φιλόσοφος και επιστήμονας Alfred Nordmann<sup>26</sup> περιγράφει ως νανοδιάστημα την διάσταση στην οποία τα μεμονωμένα άτομα και μόρια μπορούν να γίνουν διακριτά. Επίσης, ο ίδιος επιστήμονας παραλληλίζει το εξωτερικό διάστημα με το εσωτερικό διάστημα σε επίπεδο νανοκλίμακας.

Συνοπτικά θα λέγαμε, ότι τα έξυπνα υλικά δεν περιορίζονται στις γνωστές δύο διαστάσεις. Δηλαδή, δεν διαμορφώνουν μόνο επιφάνειες που καλύπτουν το κτήριο. Διαθέτουν τρεις διαστάσεις, δηλαδή καταλαμβάνουν όγκο. Είναι τεσσάρων διαστάσεων διότι διαφοροποιούνται και εξελίσσονται με το χρόνο. Μπορεί να είναι ακόμα και πέντε διαστάσεων διότι μπορούν να μεταδώσουν μια πληροφορία. Αυτή η πληροφορία μπορεί να τροποποιήσει την συμπεριφορά του έξυπνου υλικού και της κτηριακής κατασκευής γενικότερα. Έτσι το έξυπνο υλικό διαδραματίζει και το ρόλο του κόμβου διασύνδεσης ανάμεσα στον φυσικό και τον ψηφιακό κόσμο<sup>27</sup>.

---

<sup>26</sup> Nordmann Alfred (2007) «Schöne, neue Nanowelt»

<sup>27</sup> Ρουμπάνη Γεσθημανή, Ταρουδάκη Καλλιρόη. (2013). «Computational Design / Έξυπνα Υλικά. Η παράλληλη προσέγγιση». Σελ 66

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποια παραδείγματα έξυπνων υλικών που εντάσσονται στο επίπεδο της νανοκλίμακας.

- **Έξυπνη σκόνη**<sup>28</sup>. Νέφος από αισθητήρες με μέγεθος κόκκου σκόνης αιωρούνται στο εσωτερικό περιβάλλον του κτηρίου συλλέγοντας και μεταφέροντας πληροφορίες για τη θερμοκρασία του χώρου, την κίνηση του αέρα, το φυσικό φωτισμό κλπ



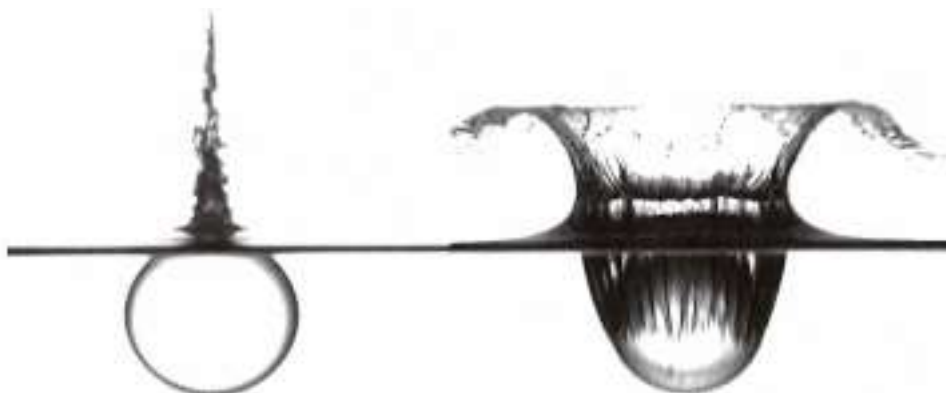
**Εικόνα 18** : Έξυπνη σκόνη.

(Πηγή : <https://www.popsci.com/scitech/article/2007-06/talking-jewelry/>)

---

<sup>28</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 59

• **Υδροφιλικό λεπτό φιλμ (Thin film)** <sup>29</sup>. Δύο ίδιες γυάλινες μπάλες δημιουργούν πολύ διαφορετικό αποτέλεσμα, όταν εισέρχονται στο νερό. Η αριστερή μπάλα είναι καλυμμένη με ένα υδροφιλικό λεπτό φιλμ και εισέρχεται στο νερό χωρίς να δημιουργήσει ανατάραξη στο νερό. Αντίθετα, η δεξιά μπάλα, η οποία δεν έχει επίστρωση με υδροφιλικό λεπτό φιλμ, δημιουργεί μια μεγάλη ανατάραξη στην επιφάνεια του νερού.



**Εικόνα 19** : Υδροφιλικό λεπτό φιλμ.

(Πηγή :<https://io9.gizmodo.com/not-pure-enough-that-hydrophobic-bullets-would-make-muc-738379991>)

---

<sup>29</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 51



- **Επίστρωση καθαρισμού**<sup>30</sup> Φωτοκαταλυτική επίστρωση καθαρισμού τζαμιών, η οποία έχει την ιδιότητα να μην επιτρέπει στην σκόνη να εναποτίθεται πάνω στις γυάλινες επιφάνειες, με αποτέλεσμα αυτές να είναι πιο εύκολο και γρήγορο να καθαριστούν.



**Εικόνα 20 :**  
Επίστρωση  
καθαρισμού

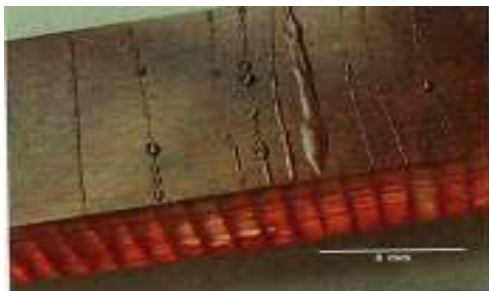
(Πηγή : Klooster  
Thorsten. (2009)  
σελ22

- **Αυτο-επισκευαζόμενο πολυμερές**<sup>31</sup>. Οι δημιουργούμενες ρωγμές στην επικάλυψη, σφραγίζονται από το πολυμερές που διαχέεται στο σημείο που παρουσιάστηκε η ασυνέχεια (ρωγμή), μέσω ενός συστήματος μικρο-καναλιών που είναι ενταγμένο στο υπόστρωμα.

---

<sup>30</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 22

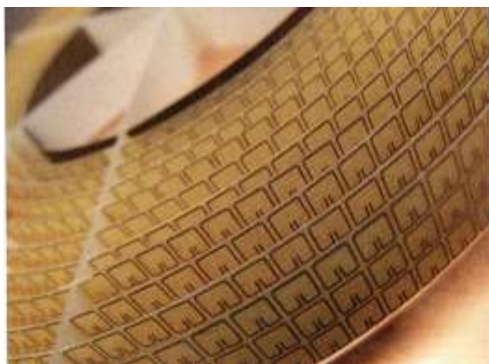
<sup>31</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 20



**Εικόνα 21 :** Αυτο-επισκευαζόμενο πολυμερές.

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ20

- **Μετα-υλικό**<sup>32</sup>. Αυτό το υλικό δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο Duke της Βόρειας Καρολίνας στις Η.Π.Α. από τον David Smith<sup>33</sup>. Η ιδιαιτερότητα αυτού του υλικού είναι ότι παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά ηλεκτρομαγνητικής διάθλασης από ότι παρουσιάζουν τα συνήθη υλικά που απαντώνται στη φύση.



**Εικόνα 22 :** Μετα-υλικό.

(Πηγή:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702107703516>

<sup>32</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 19

<sup>33</sup> <http://metamaterials.duke.edu/about/faculty/smith>

- **Το πιο μαύρο μαύρο**<sup>34</sup>. Αυτό το υλικό είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας του Rensselaer Polytechnic Institute στο Troy της Νέας Υόρκης των Η.Π.Α και του πανεπιστημίου Rice στο Houston των Η.Π.Α και πιθανόν αποτελεί το πιο σκοτεινό συνθετικό υλικό στον κόσμο (στο κέντρο της εικόνας). Το πλεονέκτημα αυτού του υλικού είναι ότι αυξάνει το συντελεστή απόδοσης των φωτοβολταϊκών καθώς και όλων των συστημάτων απορρόφησης ηλιακής ενέργειας.



**Εικόνα 23 :** Το πιο «μαύρο» μαύρο συνθετικό υλικό.

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ23

---

<sup>34</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 23

### 3.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ενέργεια βρίσκεται παντού γύρω μας και σε διάφορες μορφές. Μπορεί να είναι ηλιακή, αιολική, θερμική, χημική, μηχανική κλπ. Ο σύγχρονος τρόπος ζωής απαιτεί την κατανάλωση σημαντικών ποσών ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της Γης κατά τη διάρκεια μιας ώρας αντιστοιχεί στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας για ένα χρόνο<sup>35</sup>. Το ζητούμενο είναι η εκμετάλλευση αυτής της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας. Ο άνθρωπος πάντα προσπαθούσε να εκμεταλλευτεί και να τιθασεύσει αυτή τη μορφή ενέργειας. Τώρα με την σύγχρονη τεχνολογία και τη χρήση της νανοτεχνολογίας βρισκόμαστε ένα βήμα πιο κοντά.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποια παραδείγματα έξυπνων υλικών που εντάσσονται σε αυτή την προσπάθεια εκμετάλλευσης της ενέργειας

---

<sup>35</sup> Klooster Thorsten. (2009). *«Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design»*. Σελ 85

- **Θερμοηλεκτρικά παράγωγα στοιχεία**<sup>36</sup>. Αυτά τα μικρά θερμοηλεκτρικά στοιχεία, μπορούν και μετατρέπουν την πολύ μικρή μεταβολή της θερμοκρασίας σε ηλεκτρική ενέργεια.



**Εικόνα 24 :** Θερμοηλεκτρικά παράγωγα στοιχεία.

(Πηγή: <http://www.peltier-info.com/photos.html>)

---

<sup>36</sup> Klooster Thorsten. (2009). "Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design". Σελ 59

- **Ηλιακές κυψέλες**<sup>37</sup>. Σε αυτό το υλικό οι πολυμερείς ηλιακές κυψέλες, είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους και ενταγμένες σε ένα πλαστικοποιημένο πλέγμα, συνδυασμένες με φωτισμό LED στην κάτω επιφάνεια του υλικού.



**Εικόνα 25 :** Ηλιακές κυψέλες και φωτισμός LED  
(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ37

- **Έξυπνο περιτύλιγμα (smart wrap)**<sup>38</sup>. Ο γνωστός αρχιτέκτονας *Kieran Timberlake* εφεύρε την ιδέα της συνολικής κάλυψης της επιφάνειας του κτηρίου με ένα έξυπνο υλικό που θα συνδυάζει το φωτισμό, την διαμόρφωση του κλίματος και την παραγωγή ενέργειας. Σε ένα και μόνο

---

<sup>37</sup> Klooster Thorsten. (2009). "Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design". Σελ 16

<sup>38</sup> <https://inhabitat.com/smart-wrap/>

υλικό, μέσω της πλαστικοποίησης και της εκτύπωσης ειδικών στοιχείων σε νανοκλίμακα, θα συνδυάζονται και θα συνυπάρχουν όλες οι απαραίτητες λειτουργίες για το κτηριακό κέλυφος<sup>39</sup>.



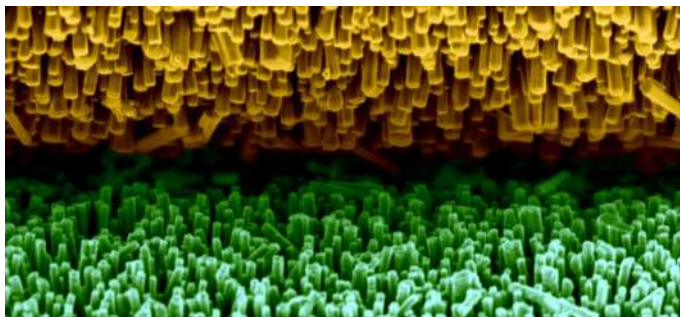
**Εικόνα 26 :** Έξυπνο περιτύλιγμα (smart wrap)

(Πηγή : <https://inhabitat.com/smart-wrap/>)

---

<sup>39</sup> Klooster Thorsten. (2009). "Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design". Σελ 20

- **Ενεργειακό ύφασμα**<sup>40</sup>. Αυτό το έξυπνο υλικό κατασκευάστηκε από τον *Zhong Lin Wang*<sup>41</sup>, καθηγητή στο *Georgia Institute of Technology* των Η.Π.Α. και έχει την ιδιότητα μέσω νανο-πιεζογεννητριών, να μετατρέπει τις πολύ μικρές δονήσεις που προκαλεί το ρεύμα του αέρα, τα ηχητικά κύματα και οι μηχανικές μετατοπίσεις, σε ηλεκτρική ενέργεια.



**Εικόνα 27** : Ενεργειακό ύφασμα

(Πηγή: (<https://www.sciencenewsforstudents.org/article/hot-technology>))

---

<sup>40</sup> Klooster Thorsten. (2009). "Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design". Σελ 26

<sup>41</sup> <https://science.sciencemag.org/content/312/5771/242>



- **Μικρές ανεμογεννήτριες**<sup>42</sup>. Αυτό το πλέγμα από μικρές και χαμηλού κόστους ανεμογεννήτριες κατασκευάστηκαν από τους Micheal και Dennis Leung (Πανεπιστήμιο του Hong Kong). Έχει αποδειχθεί, πειραματικά, ότι 4 τετραγωνικά μέτρα πλέγματος τέτοιων ανεμογεννητριών μπορούν να καλύψουν περίπου το 60% της ημερήσιας απαίτησης ενός νοικοκυριού σε ηλεκτρική ενέργεια.



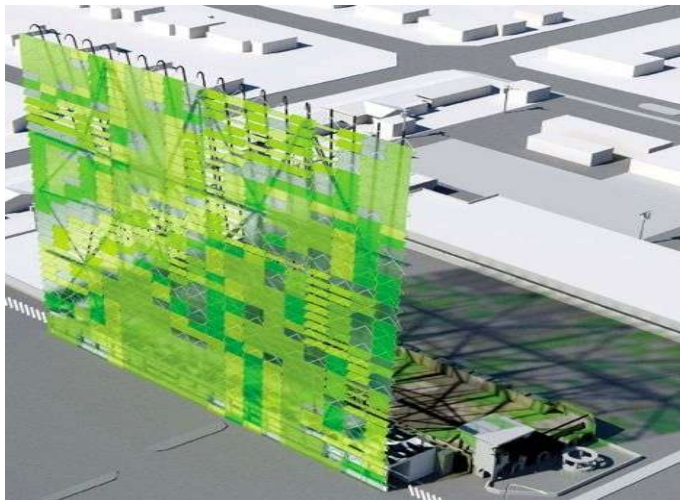
**Εικόνα 28 :** Πλέγμα ανεμογεννητριών.

(Πηγή: <http://www.architectureholic.com/how-technology-will-ensure-a-green-future-of-architecture/micro-wind-turbines/>)

---

<sup>42</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 31

- «**Αστικές μπαταρίες**»<sup>43</sup> . Πρόκειται για κατακόρυφους κήπους που βελτιώνουν το μικροκλίμα. Επάνω στην κατασκευή έχουν ενσωματωθεί μικρές τουρμπίνες που μετατρέπουν το ρεύμα θερμού αέρα που αναπτύσσεται, από κάτω προς τα επάνω, σε ηλεκτρική ενέργεια<sup>44</sup> .



**Εικόνα 29 :** «Αστικές μπαταρίες»

(Πηγή: <https://www.treehugger.com/sustainable-product-design/flip-a-strip-mall-redesign-winners-announced.html>)

---

<sup>43</sup> <https://pruned.blogspot.com/2009/02/spatializing-algae-2-urban-battery.html>

<sup>44</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 37, 178

### 3.4 ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Από την αρχαιότητα το φυσικό φως διαδραμάτιζε εξέχοντα ρόλο στη διαμόρφωση της αρχιτεκτονικής και των κτηριακών έργων γενικότερα. Η ανακάλυψη του ηλεκτρικού λαμπτήρα πυρακτώσεως από τον Edison το 1879 και γενικότερα η δυνατότητα επιβολής τεχνητού φωτισμού σε όποιο σημείο και όποια στιγμή ήθελε ο άνθρωπος, άνοιξε έναν ολόκληρο νέο κόσμο επιστήμης και τέχνης. Στις μέρες μας η σύγχρονη τεχνολογία με την ανάπτυξη των OLED (Organic light-emitting diodes), τα φωσφορίζοντα films καθώς και τις φωσφορίζουσες επιφάνειες, ανοίγουν νέες διαστάσεις και νέα πεδία χρήσης του φωτός στην αρχιτεκτονική.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποια παραδείγματα έξυπνων υλικών που σχετίζονται με το τεχνητό φως.

- **Γυαλί με ενσωματωμένο φωτισμό LED<sup>45</sup>**. Σε αυτό ειδικό γυαλί έχουν ενσωματωθεί φωτιστικά LED που μπορούν και ελέγχονται, μεμονωμένα, δια μέσου αόρατων αγωγών που βρίσκονται στο εσωτερικό του γυαλιού.



**Εικόνα 30** : Γυαλί με ενσωματωμένο φωτισμό LED

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ15)

---

<sup>45</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 15

**Τοίχος μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης**<sup>46</sup>. Αυτή η πρόσοψη κτηρίου αποτελείται από στοιχεία που περιλαμβάνουν ενσωματωμένα φωτιστικά LED και φωτοβολταϊκά πάνελ. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία των φωτιστικών LED κατά τις βραδινές ώρες, καλύπτεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.



**Εικόνα 31** : Τοίχος μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Πηγή : <https://inhabitat.com/beijing-zero-energy-media-wall-video/attachment/13933/>

---

<sup>46</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 20, 168

• **Φωτεινή χρωματιστή βαφή**<sup>47</sup>. Το υλικό αυτό είναι φωτο-φωσφορίζουσα χρωματιστή βαφή που δίνει τη δυνατότητα να επισημαίνονται οι έξοδοι κινδύνου και οι θύρες εκτάκτου ανάγκης.



**Εικόνα 32 :** Φωτεινή χρωματιστή βαφή.

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ26)

---

<sup>47</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 26

• **Αλουμίνιο υπερ-υψηλής ανακλαστικότητας**<sup>48</sup>. Τα συγκεκριμένα φωτιστικά σώματα σχεδιάστηκαν για το αεροδρόμιο της Σιγκαπούρης. Διαθέτουν μια ειδική πολύ λεπτή επίστρωση αλουμινίου υπερ-υψηλής ανακλαστικότητας, αποτέλεσμα της νανοτεχνολογίας.



• **Εικόνα 33** : Αλουμίνιο υπερ-υψηλής ανακλαστικότητας.

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ32)

• **Εύκαμπτο φωτιστικό**<sup>49</sup>. Το φωτιστικό αυτό κατασκευάστηκε από πλαστικοποιημένα στοιχεία αλουμινίου, συνδυασμένα με φωτιστικά OLED. Είναι έργο του γερμανού Ingo Maurer<sup>50</sup>.

---

<sup>48</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 32

<sup>49</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 32

<sup>50</sup> <https://www.ingo-maurer.com/en/>



**Εικόνα 34 :** Εύκαμπτο φωτιστικό.

(Πηγή : <https://www.ingo-maurer.com/it/prodotti/flying-future/>)

### 3.5 ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

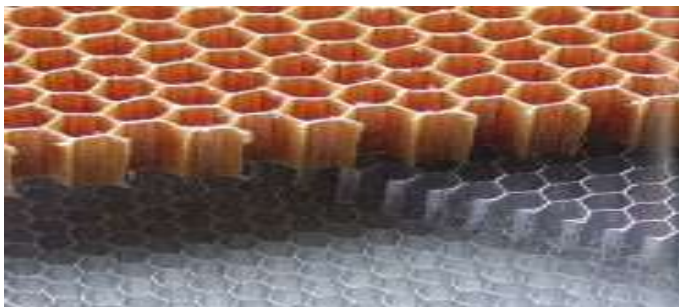
Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός κατοικιών και κτηρίων γενικότερα, μπορούμε να πούμε ότι είναι ο σχεδιασμός περιμετρικών επιφανειών που διαχωρίζουν το εξωτερικό φυσικό περιβάλλον από το τεχνητό ανθρωπογενές περιβάλλον, το οποίο το διαμορφώνει ο χρήστης ανάλογα με τις ανάγκες του. Στη σύγχρονη εποχή με τα νέα τεχνολογικά προηγμένα έξυπνα υλικά θα λέγαμε ότι η επιφάνεια έχει γίνει μια τεχνολογική «αρένα» στην οποία αντιμάχονται το υφιστάμενο status quo των συμβατικών υλικών και η νέα τεχνολογικά εξελιγμένη μορφή των έξυπνων υλικών.

Όπως έχουμε προαναφέρει, οι επιφάνειες παύουν να είναι στατικές αλλά εξελίσσονται σε δυναμικές που προσαρμόζονται στις επιθυμίες του χρήστη του κτηρίου.



Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια νέα είδη έξυπνων επιφανειών.

- **Ελαφριά κυψελωτή επιφάνεια<sup>51</sup>.** Το υλικό αυτό είναι εμπνευσμένο από τις κυψέλες των μελισσών. Είναι ένα ελαφρύ υλικό που διαμορφώνεται εύκολα και μπορεί να παράξει εύκαμπτες και καμπύλες επιφάνειες με ελάχιστο ίδιο βάρος.



**Εικόνα 35 :** Ελαφριά κυψελωτή επιφάνεια.

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ34)

---

<sup>51</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 34

- **Διαφανή κεραμίδια**<sup>52</sup>.. Αυτό το υλικό είναι έργο του γνωστού ιάπωνα σχεδιαστή, Tokujin Yoshioka<sup>53</sup>, και αποτελεί μια άλλη ιδεολογική και αισθητική προσέγγιση στην αρχιτεκτονική και στο design, που αναφέρεται στην πλήρη διαφάνεια που πρέπει να έχουν τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν μια κατοικία.



**Εικόνα 36 :** Διαφανή κεραμίδια.

(Πηγή : Klooster Thorsten.  
(2009) σελ31)

---

<sup>52</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 31

<sup>53</sup> <https://www.tokujin.com/>. Ο εν λόγω καλλιτέχνης και σχεδιαστής έχει σχεδιάσει την ολυμπιακή δάδα για τους Ολυμπιακούς αγώνες του Τόκιο το 2020.

- **Υπο-επιφάνεια (Hyposurface)** <sup>54</sup>. Η επιφάνεια αυτή κατασκευάστηκε από τον Mark Goulthorpe <sup>55</sup>, αναπληρωτή καθηγητή αρχιτεκτονικής του MIT. Η επιφάνεια αυτή μέσω πνευματικών ενεργοποιητών μπορεί και κινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω περίπου 60 εκατοστά. Είναι πολύ δυναμική και αντιδρά στις περιβαλλοντικές επιδράσεις.



**Εικόνα 37 :** Υπο – επιφάνεια.

(Πηγή : Klooster Thorsten.  
(2009) σελ33)

- **Ελαστικό κενό** <sup>56</sup>. Αυτό το χρωματιστό υλικό από πολουρεθάνη είναι συνεχές, δεν έχει ενώσεις και ραφές, προσδίδοντας στην επιφάνεια μια συνέχεια και μια αρμονία.



**Εικόνα 38 :** Ελαστικό κενό.

(Πηγή : Klooster Thorsten.  
(2009) σελ171)

<sup>54</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 33

<sup>55</sup> <https://architecture.mit.edu/faculty/mark-goulthorpe>

<sup>56</sup> Klooster Thorsten. (2009). “Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design”. Σελ 34, 171

- «Καλλιτεχνικό» σκυρόδεμα<sup>57</sup>. Το υλικό αυτό είναι ένα είδος σκυροδέματος υπερυψηλής αντοχής, με χαμηλές εκπομπές CO<sub>2</sub>, βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες, πάνω στο οποίο υπάρχει η δυνατότητα να χαραχθούν πολύ μεγάλης ακρίβειας σχέδια και πρότυπα.



**Εικόνα 39 :** «Καλλιτεχνικό σκυρόδεμα»

(Πηγή : <https://archello.com/product/blueconcrete#product-description>)

---

<sup>57</sup> Klooster Thorsten. (2009). *“Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design”*. Σελ 34, 171

## 3.6 ΚΛΙΜΑ

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός με την «παραδοσιακή» έννοια του όρου, έχει μάλλον φτάσει σε ένα σημείο, όπου οι κανονιστικές διατάξεις και η χρήση τυποποιημένων βιομηχανικών δομικών υλικών, τείνει να περιορίσει την ελευθερία δράσης και έκφρασης του αρχιτέκτονα. Ανάμεσα στις νέες ιδέες που «κυοφορούνται» στην αρχιτεκτονική είναι η αντίληψη του κτηριακού κελύφους ως «δέρμα». Η έννοια του δέρματος, χρησιμοποιείται μεταφορικά, ως έννοια του ορίου, που αλληλεπιδρά με το εξωτερικό περιβάλλον. Όπως το ανθρώπινο δέρμα, περιλαμβάνει και τα αισθητήρια όργανα, έτσι και το «δέρμα» του κτηρίου θα περιλαμβάνει αισθητήρες που θα συλλέγουν και θα μεταδίδουν πληροφορίες και ερεθίσματα από το εξωτερικό περιβάλλον, έτσι ώστε να αντιδρά και να προσαρμόζεται το εσωτερικό περιβάλλον.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια είδη έξυπνων υλικών που βοηθούν στη διαμόρφωση και διαχείριση του κλίματος εντός των κτηρίων.

- **Τοίχος με ενσωματωμένα υλικά αλλαγής φάσης<sup>58</sup>**. Αυτός ο τοίχος είναι δομημένος να περιλαμβάνει στο εσωτερικό του στοιχεία αλλαγής φάσης. Έτσι μπορεί να «αποθηκεύσει» θερμότητα και να την εκπέμψει στο εσωτερικό περιβάλλον του κτηρίου, με χρονοκαθυστέρηση. Επίσης, μπορεί να «απορροφήσει» θερμότητα από το εσωτερικό χώρο ούτως ώστε να μειώσει την αισθητή εσωτερική θερμοκρασία του χώρου.



**Εικόνα 40** : Τοίχος με ενσωματωμένα υλικά αλλαγής φάσης.

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ58)

---

<sup>58</sup> Klooster Thorsten. (2009). "Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design". Σελ 58

- **Θερμοενεργά δομικά συστήματα**<sup>59</sup>. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο κατασκευής, οι οριζόντιες και κατακόρυφες δομικές επιφάνειες περιλαμβάνουν ένα δίκτυο σωληνώσεων από το οποίο διέρχεται νερό (θερμό ή ψυχρό). Εκμεταλλευόμενοι, έτσι, την θερμοχωρητικότητα του σκυροδέματος και των δομικών στοιχείων, απορροφά ή αποδίδει θερμότητα στο χώρο, δημιουργώντας έτσι συνθήκες θερμικής άνεσης για τον χρήστη του κτηρίου.



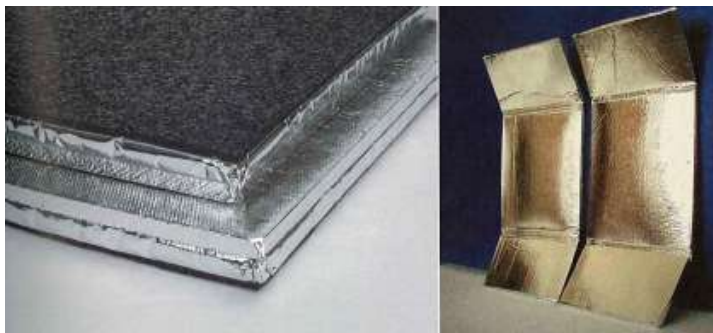
**Εικόνα 41** : Θερμοενεργά δομικά συστήματα.

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ55)

---

<sup>59</sup> Klooster Thorsten. (2009). "Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design". Σελ 55

- **Μονωτικά πάνελα κενού** (Vacuum Insulation Panel – VIP)<sup>60</sup>. Αυτού του είδους τα μονωτικά πάνελα έχουν εξαιρετικά μικρό πάχος, πολύ υψηλή μονωτική ικανότητα και είναι έως και 20 φορές πιο αποτελεσματικά από τα παραδοσιακά μονωτικά προϊόντα. Χρησιμοποιούνται συνήθως για την μείωση των θερμογεφυρών ενός κτηρίου και όταν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις θερμομόνωσης με μικρό πάχος θερμομονωτικής στρώσης<sup>61</sup>.



**Εικόνα 42 :** Μονωτικά πάνελα κενού (Vacuum Insulation Panel – VIP)

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ53)

---

<sup>60</sup> <https://vipa-international.org/vacuum-insulation-panels>

<sup>61</sup> Klooster Thorsten. (2009). “Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design”. Σελ 53



- **STEMcloud v2.0 του ecoLogicStudio**<sup>62</sup>. Το project αυτό προτείνει ένα νέο είδους αρχιτεκτονικό πρότυπο το οποίο λειτουργεί ως μια μηχανή παραγωγής οξυγόνου. Το έργο αυτό παρουσιάστηκε στην Seville art & architectural Biennale 2008. Εντός αυτής της διάφανης κατασκευής καλλιεργούνται μικρο-οργανισμοί, οι οποίοι παράγουν οξυγόνο και βελτιώνουν το μικροκλίμα της περιοχής<sup>63</sup>.



**Εικόνα 43** : STEMcloud v2.0 του ecoLogicStudio

(Πηγή : <https://biotechcity.tumblr.com/page/2>)

---

<sup>62</sup> <https://www.archdaily.com/29718/stemcloud-v20-ecologicstudio>

<sup>63</sup> Klooster Thorsten. (2009). "Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design". Σελ 33, 177

- **Εξωτερικός μονωτικός τοίχος**<sup>64</sup>. Αυτό το υλικό είναι ένας εξωτερικός τοίχος, ο οποίος διαθέτει μόνωση κενού. Χαρακτηριστικά του υλικού αυτού είναι ότι έχει πολύ μικρό ίδιο βάρος καθώς και πολύ μικρό πάχος, ενώ διαθέτει πολύ υψηλή μονωτική ικανότητα.



**Εικόνα 44** : Εξωτερικός μονωτικός τοίχος.

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ59)

---

<sup>64</sup> Klooster Thorsten. (2009). "Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design". Σελ 59, 172

- **Προσαρμοσμένο Σύστημα Διαχείρισης Θερμότητας (Adaptive Thermal Management System)<sup>65</sup>**. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε από τη NASA και παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης της μεταφοράς θερμότητας ανάμεσα σε δύο επιφάνειες με διαφορετικές θερμοκρασίες, και στις δύο κατευθύνσεις μετάδοσης της θερμότητας. Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί είτε ως σύνδεσμος μεταξύ των δύο επιφανειών για μετακίνηση της θερμότητας, είτε ως μονωτής για την παρεμπόδιση μετακίνησης της θερμότητας, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.



**Εικόνα 45 :** Προσαρμοσμένο Σύστημα Διαχείρισης Θερμότητας (Adaptive Thermal Management System)

(Πηγή : <https://technology.nasa.gov/patent/KSC-TOPS-44>)

---

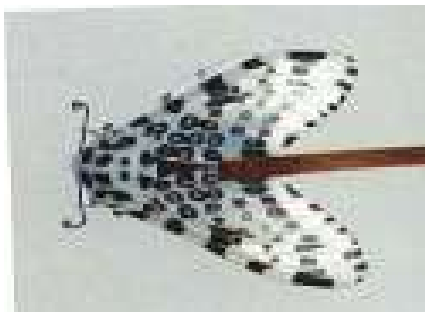
<sup>65</sup> <https://technology.nasa.gov/patent/KSC-TOPS-44>

## 3.7 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Η ιδέα της πληροφορίας είναι στενά συνδεδεμένη με την ιδέα της επικοινωνίας. Τα έξυπνα υλικά έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα γιατί μπορούν και είναι συνδεδεμένα και να λειτουργούν σε δίκτυο. Λειτουργούν ως αισθητήρες και ως ενεργοποιητές μεταδίδοντας την πληροφορία από το ένα σημείο της κατασκευής μας σε ένα άλλο. Έτσι μπορούν να προσαρμόζουν το σχήμα, τη θερμοκρασία, το χρώμα κλπ χαρακτηριστικά τους.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια είδη έξυπνων υλικών που βοηθούν στη λήψη και διαβίβαση της πληροφορίας

• **Sensillae**<sup>66</sup>. Ο αισθητήρας αυτός είναι εμπνευσμένος από την αλληλεπίδραση εντόμου και ανθρώπου και είναι δημιούργημα του Chris Woebken<sup>67</sup>. Αποτελεί έναν βιοαισθητήρα, ο οποίος λαμβάνει χημικά και μηχανικά ερεθίσματα. Η διαβίβαση των πληροφοριών μπορεί να γίνεται σε ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης – ψύξης – αερισμού – υγρασίας του κτηρίου και αντίστοιχα να τροποποιούνται οι συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος, ανάλογα με τις επιθυμίες του χρήστη του έργου.



**Εικόνα 46 : Sensillae**

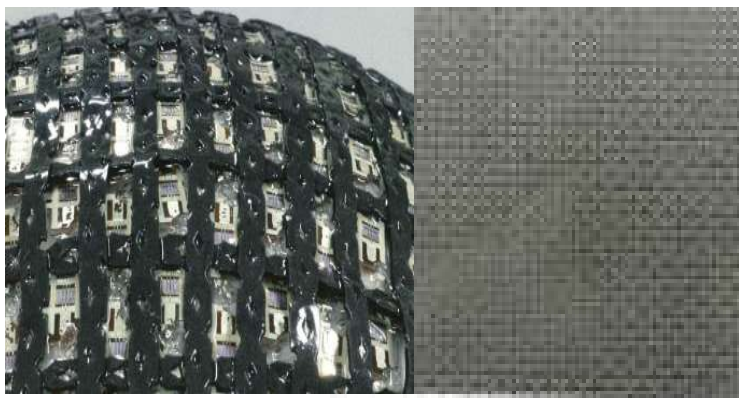
(Πηγή : Klooster Thorsten.  
(2009) σελ48)

---

<sup>66</sup> Klooster Thorsten. (2009). *"Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design"*. Σελ 48, 175

<sup>67</sup> <https://chriswoebken.com/>

- **Αγώγιμο e-δέρμα (Conductive e-skin)** <sup>68</sup>. Το project αυτό αναπτύχθηκε από τους Takao Somea και Tsuyoshi Sekitani, του πανεπιστημίου του Τόκιο και είναι ένα υλικό που συνδυάζει την αγωγιμότητα του μετάλλου και την ελαστικότητα του καουτσούκ. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την μεταφορά ενέργειας, είτε και ως περίτεχνη επιφάνεια (δέρμα), ικανή να δεχθεί μηχανική πίεση και θερμότητα.



**Εικόνα 47 :** Αγώγιμο e- δέρμα(Conductive e-skin)

(Πηγή : <https://www.tecmundo.com.br/fisica/15300-5-invencoes-que-contrariam-as-leis-da-fisica.htm>)

---

<sup>68</sup> Klooster Thorsten. (2009). *“Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design”*. Σελ 14

- **Mediaballs**<sup>69</sup>. Αυτό το χαμηλού κόστους, σύστημα κτηριακού κελύφους, αναπτύχθηκε από τους Christian Rothe και Kay Michalczack. Βασίζεται στη μορφή της μπάλας του τένις και έχει τη δυνατότητα παραγωγής κινούμενου κειμένου.



**Εικόνα 48 :** Mediaballs

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ15)

---

<sup>69</sup> Klooster Thorsten. (2009). *“Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design”*. Σελ 15

- **Πολυμερές με μνήμη σχήματος (Shape Memory Polymer)**<sup>70</sup>. Αυτό το υλικό έχει αναπτυχθεί από τη NASA και είναι συνδυασμός ενός σύνθετου πολυμερούς με μνήμη σχήματος και κραμάτων μετάλλων. Αυτά του είδους τα υλικά μπορούν να μεταβάλλουν σχήμα καθώς/ή και άλλες τους ιδιότητες ανάλογα με τα εξωτερικά ερεθίσματα που δέχονται, όπως πίεση, θερμοκρασία, ηλεκτρικό φορτίο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες και ενεργοποιητές σε μεγάλα έργα υποδομών όπως πολυώροφα κτίρια και γέφυρες.



**Εικόνα 49 :** Πολυμερές με μνήμη σχήματος (Shape Memory Polymer)

(Πηγή : <https://technology.nasa.gov/patent/LAR-TOPS-163>)

---

<sup>70</sup> <https://technology.nasa.gov/patent/LAR-TOPS-163>



- Lazer Projector <sup>71</sup>. Αυτό το project είναι δημιούργημα των Tzenka Miteva <sup>72</sup> και Stanislav Balouchev <sup>73</sup> και είναι ένας προβολέας διόδου laser, ο οποίος μπορεί και προβάλλει σχέδια, διακοσμητικά ή πληροφορίες, ανάλογα με τις επιθυμίες του χρήστη του έργου.



**Εικόνα 50** : Lazer projector

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ55)

---

<sup>71</sup> Klooster Thorsten. (2009). *“Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design”*. Σελ 55

<sup>72</sup> [https://www.researchgate.net/profile/Tzenka\\_Miteva](https://www.researchgate.net/profile/Tzenka_Miteva)

<sup>73</sup> <http://www.mpip-mainz.mpg.de/Balouchev>

### 3.8 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Θα παρουσιάσουμε μερικές δυνατότητες εφαρμογής και ενσωμάτωσης των έξυπνων υλικών σε υπάρχουσες κατασκευές, εστιάζοντας στην προστιθέμενη αξία που μπορούν να προσδώσουν στην κατασκευή μας.

✓ **Σύστημα GROW<sup>74</sup>**, που αναπτύχθηκε από την εταιρεία SMIT (Sustainably Minded Interactive Technology) της Νέας Υόρκης. Το σύστημα GROW αποτελεί ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μετατρέποντας την ηλιακή και την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρισμό. Κάθε ένα από τα «ηλιακά φύλλα» είναι ένα μικρό σύστημα παραγωγής ενέργειας από μόνο του. Το σύστημα αυτό με τα φύλλα μπορεί πολύ εύκολα και πρακτικά να προσαρμοστεί πάνω σε προσόψεις κτηρίων και να προσδώσει εκτός από το πρακτικό αποτέλεσμα της παραγωγής ενέργειας και ένα πολύ ωραίο αισθητικό αποτέλεσμα.

Αναφερόμενοι σε πιο τεχνικά θέματα, θα λέγαμε ότι το σύστημα GROW είναι κατασκευασμένο από εύκαμπτα πολύ λεπτά ηλιακά κελιά (solar cells) που συνδυάζουν και

---

<sup>74</sup> Klooster Thorsten. (2009). *“Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design”*. Σελ 18, 168

πιεζοηλεκτρική τεχνολογία. Το σύστημα είναι διαμορφωμένο σε συστάδες και κάθε συστάδα αποτελείται από πέντε φύλλα. Κάθε συστάδα είναι ανεξάρτητη και μπορεί να αντικατασταθεί πολύ εύκολα στο τέλος του κύκλου ζωής της. Οι παλιές συστάδες φύλλων μπορούν να αποσυντεθούν στα βασικά τους υλικά, τα οποία είναι κατά πολύ μεγάλο ποσοστό ανακυκλώσιμα.



**Εικόνα 51 :** Ηλιακά φύλλα του συστήματος GROW

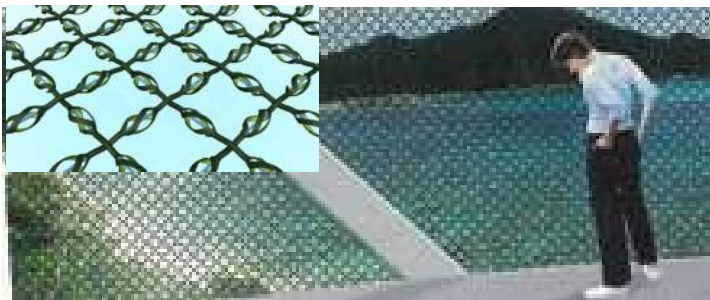
(Πηγή : Klooster Thorsten.  
(2009) σελ168)

✓ **Nano Vent Skin (NVS)** <sup>75</sup>. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε από τον μεξικανό σχεδιαστή Agustín **Otegui Saiz** και αποτελείται από μικρό-τουρμπίνες, κάθε μία διαστάσεων 25 χιλ μήκος και 10,8 χιλ πλάτος. Οι μικρο-τουρμπίνες μπορούν και παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο που διέρχεται μέσω αυτών. Επίσης έχουν ειδικά στοιχεία και μπορούν να παράγουν ηλεκτρισμό από την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ παράλληλα μπορούν να λειτουργούν και ως βιο-φίλτρα για περιορισμό των ρυπογόνων αέριων ρύπων.

Το εξωτερικό στρώμα της κατασκευής απορροφά ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας οργανικά ηλιακά κελιά και μεταφέρει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στις αποθηκευτικές μονάδες μέσω νανοκαλωδίων. Το εσωτερικό στρώμα κάθε μικρο-τουρμπίνας λειτουργεί και ως φίλτρο για το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), καθαρίζοντας τον αέρα που διέρχεται μέσω του NVS. Το προϊόν αυτό είναι υλικό πολύ ψηλής αποτελεσματικότητας και μηδενικής εκπομπής αερίων θερμοκηπίου. Αποτελεί επίσης παράδειγμα υλικού που συνδυάζει την νανο-βιοτεχνολογία και την νανο-μηχανική. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσοψη σε υψηλά κτίρια και σε πλευρικές επιφάνειες σιδηροδρομικών σηράγγων ή σηράγγων του μετρό.

---

<sup>75</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 42, 171



**Εικόνα 52** : Nano Vent Skin (NVS)

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ42)

✓ **Gecko glue**<sup>76</sup>. Gecko είναι το όνομα ενός είδους μικρής σαύρας. Το υλικό αυτό αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Dayton από τους Liming Dai και Zhong Lin Wang. Η ιδέα για την κατασκευή του υλικού προήλθε από τη σαύρα Gecko και την δυνατότητα που έχει να σκαρφαλώνει σε κατακόρυφους τοίχους. Η επιφάνεια του Gecko glue είναι ένας ιστός από κατακόρυφους νανο-σωλήνες με οριζόντιες σπειροειδής απόληξεις, οι οποίες λόγω των ηλεκτροστατικών ιδιοτήτων των νάνο-σωλήνων, αναπτύσσουν μια ισχυρή συγκολλητική δύναμη.

---

<sup>76</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 26, 167

Το πρωτότυπο υλικό διαστάσεων 3 Χ 3 εκατοστά μπορεί να αντέξει σε εφελκυσμό 100 κιλών καθώς επίσης μπορεί να προσαρμοστεί σε πολλών ειδών επιφάνειες (γυαλί, πλαστικό). Ένα πολύ μεγάλο πεδίο εφαρμογών ανοίγεται για χρήση αυτού του υλικού. Από πολύ ισχυρές και εύκαμπτες συνδέσεις σε δομικά στοιχεία μέχρι και σε αφαιρούμενα στοιχεία του κελύφους του κτηρίου.



**Εικόνα 53 :** Gecko glue

(Πηγή : <https://www.newscientist.com/article/dn14902-gecko-grip-material-aims-to-be-the-end-of-glue/>)

✓ **Ενεργό παράθυρο (Active window)**<sup>77</sup>. Το υλικό αυτό σχεδιάστηκε από τον Hartmut Hillmer<sup>78</sup>, πανεπιστήμιο του Kassel. Συνδυάζει τη δυναμική καθοδήγηση του ηλιακού φωτός και παράλληλα προστατεύει το χώρο από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και τη θάμπωση. Κάθε τετραγωνικό εκατοστό περιλαμβάνει 1.000 μικρούς καθρέπτες, οι οποίοι δε μειώνουν τη διαύγεια του παραθύρου. Με την επιβολή χαμηλής έντασης ηλεκτρικής τάσης, οι μικρο-καθρέπτες κινούνται λόγω του αναπτυσσόμενων ηλεκτροστατικών δυνάμεων. Κάθε μικρο-καθρέπτης είναι ελεύθερος να κινηθεί ως ένα φύλλο πάνω σε ένα δένδρο. Μπορούν να προσαρμοστούν σε κάθε επιθυμητή γωνία, ούτως ώστε να αντανakλούν την ηλιακή ακτινοβολία, μέσω της αλλαγής της επιβαλλόμενης ηλεκτρικής τάσης.

Το ηλιακό φως δύναται να αντανakλάται στην οροφή, για την αποφυγή της θάμπωσης και της υπερθέρμανσης του χώρου. Εάν δεν υπάρχει κάποιος στο δωμάτιο, οι μικρο-καθρέπτες μπορούν να στραφούν σε τέτοια διεύθυνση έτσι ώστε να σκοτεινιάσουν τελείως το χώρο, απαγορεύοντας την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι μικρο-καθρέπτες μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να επιτρέπουν τις ηλιακές προσόδους για την θέρμανση του χώρου. Η ευρεία χρήση του ενεργού παραθύρου διαφάνεται ότι είναι ρεαλιστική, χάρη στην ανάπτυξη υλικών χαμηλού κόστους. Βέβαια μπορεί να υπάρξει συνδυασμός αυτού του

---

<sup>77</sup> Klooster Thorsten. (2009). *"Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design"*. Σελ 52, 160

<sup>78</sup> [http://forschung.uni-kassel.de/converis/portal/Person/327043?auxfun=&lang=en\\_GB](http://forschung.uni-kassel.de/converis/portal/Person/327043?auxfun=&lang=en_GB)

υλικού μαζί με συστήματα τεχνητού φωτισμού LED και με άλλες φωτοβολταϊκές εφαρμογές.



**Εικόνα 54 :** Ενεργό παράθυρο (Active window)

(Πηγή : Klooster Thorsten. (2009) σελ77)

✓ **«Ζωντανό» γυαλί (Living glass)**<sup>79</sup>. Το project αυτό είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας των Soo-in Yang και του David Benjamin και της εταιρείας τους The Living στην Νέα Υόρκη. Η θεμελιώδης αρχή του συστήματος είναι ότι μέσω ενός συστήματος αισθητήρων και ενεργοποιητών, ελέγχεται η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στο χώρο και όταν αυτή αυξηθεί πάνω από κάποια επιτρεπτά όρια, ανοίγουν κάποιες σχισμές, όπως είναι τα βράγχια των ψαριών, στη μεμβράνη σιλικόνης. Η ροή του φρέσκου αέρα ρυθμίζεται από καλώδια που είναι κατασκευασμένα από

---

<sup>79</sup> <https://inhabitat.com/carbon-dioxide-sensing-living-glass/living-glass-designed-by-soo-in-and-david-benjamin-of-the-living-responsive-kinetic-architecture-2>



κράματα με μνήμη σχήματος, τα οποία ενεργοποιούνται με την επιβολή συγκεκριμένης έντασης ηλεκτρικού ρεύματος.

Σε σύγκριση με άλλα συστήματα «κινητών» τοίχων, το «ζωντανό» γυαλί χαρακτηρίζεται από το μικρό του πάχος, την πολύ ελαφριά κατασκευή του και ότι για την λειτουργία του δεν απαιτείται κάποια γεννήτρια ή άλλα μηχανικά τμήματα. Το σύστημα έχει δοκιμαστεί και έχει λειτουργήσει εκατομμύρια φορές. Εφαρμογές αυτού του συστήματος μπορούν να υπάρξουν για τον έλεγχο του κλίματος στεγασμένων χώρων και δωματίων<sup>80</sup>.



**Εικόνα 55 :** Ζωντανό» γυαλί (Living glass)

(Πηγή :<https://inhabitat.com/carbon-dioxide-sensing-living-glass/living-glass-designed-by-soo-in-yang-and-david-benjamin-of-the-living-responsive-kinetic-architecture-prototype-system>)

---

<sup>80</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 28, 169

### 3.9 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Θα παρουσιάσουμε μερικά παραδείγματα εφαρμογής και ενσωμάτωσης των έξυπνων υλικών και έξυπνων συστημάτων, σε υφιστάμενες κατασκευές, εστιάζοντας στην προστιθέμενη αξία που μπορούν να προσδώσουν στην κατασκευή μας και στην αρχιτεκτονική αξία του έργου γενικότερα.

❖ Cordoba Centre of Contemporary Art<sup>81</sup>. Ο αρχιτέκτονας Nieto Sobejano σχεδίασε την ανατολική όψη του κτηρίου αυτού, που συνορεύει με την όχθη του ποταμού Rio Guadalquivir, διαμορφώνοντας ένα κέλυφος που συνδυάζει το φως και τις αντανakλάσεις του στο νερό του ποταμού. Η προσαρμογή του κτηρίου στο περιβάλλον είναι τόσο επιτυχημένη, που δίνεται η αίσθηση ότι ήταν το πεπρωμένο αυτού του κτηρίου να κατασκευαστεί σε αυτό το σημείο. Η ανατολική όψη του κτηρίου με τον φωτισμό και τις αντανakλάσεις του στο νερό είναι ορατό από εκατοντάδες μέτρα μακριά. Γεγονός που σηματοδοτεί τη βαρύτητα και τη σημασία αυτού του κτηρίου.

---

<sup>81</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 30, 163

Όμως και κατά τη διάρκεια της ημέρας το κέλυφος παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Οι εντυπωσιακές σκιάσεις και τα παιχνίδια με το φως παράγουν ένα πολύ ενδιαφέρον αποτέλεσμα και δημιουργούν συνθήκες οπτικής άνεσης εντός του κτηρίου, απαγορεύοντας την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που δημιουργεί συνθήκες θάμπωσης.

Κατά τη διάρκεια της νύχτας η ανατολική όψη μετατρέπεται σε ένα δυναμικό πλέγμα φωτός. Τα τμήματα της όψης μπορούν να προσαρμοστούν και να παράγουν χαμηλής ανάλυσης και έντασης φωτισμό, δημιουργώντας έτσι ένα πολύ ενδιαφέρον αισθητικό αποτέλεσμα. Όπως ο αμφιβληστροειδής χιτώνας του ματιού του ανθρώπου έτσι και η πρόσοψη του κτηρίου δημιουργεί διαφορετικής έντασης φωτεινά αποτελέσματα σε διαφορετικά τμήματα του κελύφους. Αυτό επιτυγχάνεται με την παραγωγή διαφόρων αναλύσεων φωτισμού και διαφορετικής πυκνότητας φωτεινά στοιχεία.



**Εικόνα 56 :** Πανοραμική όψη του Cordoba Centre of Contemporary Art

(Πηγή : <http://www.checkonsite.com/cordoba-contemporary-arts-centre/>)



**Εικόνα 57** : Λεπτομέρεια της ανατολικής όψης του Cordoba Centre of Contemporary Art

(Πηγή : *Klooster Thorsten. (2009) σελ163*)



**Εικόνα 58** : Ανατολική όψη του Cordoba Centre of Contemporary Art

(Πηγή : *Klooster Thorsten. (2009) σελ163*)



**Εικόνα 59** :Η Ανατολική όψη του Cordoba Centre of Contemporary Art και οι αντανakλάσεις του στον ποταμό Rio Guadalquivir

(Πηγή : <https://www.eldoled.com/led-applications/contemporary-art-center-cordoba/>)

❖ **Palacio de Congreso Badajoz**<sup>82</sup>. Το κτήριο αυτό είναι δημιούργημα του αρχιτεκτονικού γραφείου SelgasCano<sup>83</sup> των Jose Selgas και της Lucia Cano. Η εξωτερική μορφή του κτηρίου Palacio de Congreso στη Badajoz της Ισπανίας, εμβαδού 15.000 τετραγωνικών μέτρων, είναι διαμορφωμένη σαν μια περίμετρο

---

<sup>82</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 25, 173

<sup>83</sup> <https://www.archdaily.com/office/selgas-cano>

δαχτυλιδιού, με διαστάσεις 75 μέτρα διάμετρο και 14 μέτρα ύψος, με ελλειπτικής μορφής ημιδιαφανές προφίλ ενισχυμένου fiber glass. Το κέλυφος του κτηρίου διαμορφώνεται από ένα σύνθετο υλικό που διαθέτει μικρό ίδιο βάρος και η γεωμετρία του προσδίδει ελαστικότητα και πλαστικότητα στην όλη κατασκευή. Με αυτό τον τρόπο παρέχεται επαρκής σκίαση του κτηρίου κατά την διάρκεια της ημέρας, ενώ δημιουργούνται πολύ ενδιαφέρουσες φωτεινές αντανάκλασεις από το εσωτερικό τεχνητό φως του κτηρίου κατά τη διάρκεια της νύχτας. Οι εξωτερικές διαστάσεις του κτηρίου αναπαριστούν τις διαστάσεις που είχε η αρένα στην οποία διεξάγονταν ταυρομαχίες και υπήρχε παλιά στην ίδια τοποθεσία.



**Εικόνα 60 :** Palacio de Congressos Badajoz

Πηγή : <https://www.architonic.com/de/project/selgascano-palacio-de-congresos-badajoz/>



**Εικόνα 61 :** Palacio de Congreso Badajoz

(Πηγή : <https://divisare.com/projects/17881-selgascano-palacio-de-congresos-y-auditorio-de-badajoz>)



**Εικόνα 62 :** Πανοραμική όψη του Palacio de Congreso Badajoz

(Πηγή : <http://www.extremadura.com/fotos/palacio-de-congresos-de-badajoz-manuel-r-467b-15be-i80117>)

❖ **Καιρικά πρότυπα (Weather patterns)**<sup>84</sup>. Αυτό το project δημιουργήθηκε από τους σχεδιαστές της εταιρείας Loop.pH<sup>85</sup>, ως ένα μόνιμο έργο διαμόρφωσης φωτισμού στην πρόσοψη του York Art Gallery. Οι δημοτικές αρχές της πόλης εφάρμοσαν ένα δεκαετές πρόγραμμα διαχείρισης των φωτιστικών εγκαταστάσεων της πόλης. Στόχος αυτού του προγράμματος ήταν να γίνει η πόλη πιο ελκυστική στο μέσο τουρίστα, καθώς και να γίνει ασφαλέστερη, ιδιαίτερα το βράδυ.

Το **York Art Gallery** είναι ιταλικού αναγεννησιακού στυλ κτήριο. Οι σχεδιαστές προσαρμόσαν στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική του κτηρίου, σε πέντε τυφλές εσοχές που υπάρχουν στην πρόσοψη, αντίστοιχα ειδικά αδιάβροχα φωτιστικά πάνελ. Τα ηλεκτροφωσφορίζοντα πάνελ, στα οποία είναι εκτυπωμένα μοτίβα λουλουδιών, αντανακλούν το ηλιακό φως κατά την διάρκεια της ημέρας και ακτινοβολούν το εσωτερικό τεχνητό φωτισμό προς το εξωτερικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπως είναι καθορισμένο από ένα σύστημα ελέγχου. Η φωτεινή περιοχή παρουσιάζει τον καιρό της ημέρας, χρησιμοποιώντας δεδομένα που συλλέγονται από έναν μετεωρολογικό σταθμό που λειτουργεί στις εγκαταστάσεις του κτηρίου. Η κίνηση του φωτός είναι σχεδιασμένη σε μορφή σπείρας και το σχέδιο είναι εμπνευσμένο από φυσικά στοιχεία, όπως τα ηλιοτρόπια. Η μεταβολή του φωτεινού προτύπου ακολουθεί σπειροειδή κίνηση σύμφωνα με προκαθορισμένο μαθηματικό πρότυπο. Αν και μόνο πέντε παράθυρα της πρόσοψης

---

<sup>84</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 27, 179

<sup>85</sup> <http://loop.ph/>

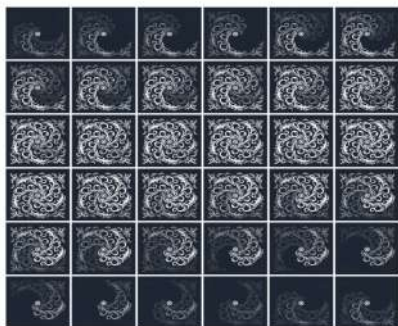


του κτηρίου έχουν επενδυθεί, ωστόσο προσδίδουν την αίσθηση ότι το μουσείο είναι μεγαλύτερο και «χορεύει» στο σκοτάδι.



**Εικόνα 63 :** Λεπτομέρεια από τα καιρικά πρότυπα (Weather patterns)

(Πηγή : <http://loop.ph/portfolio/weather-patterns/>)



**Εικόνα 64 :** Ολόκληρη η γκάμα μεταβολών των καιρικών προτύπων (Weather patterns)

(Πηγή : <http://loop.ph/portfolio/weather-patterns/>)



**Εικόνα 65 :** Πρόσοψη του York Art Gallery τη νύχτα.

(Πηγή : <http://loop.ph/portfolio/weather-patterns/>)

❖ **Drip feed**<sup>86</sup>. Το έργο αυτό είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας των Thomas Raynaud και του Cyrille Berger. Στη λιμνοθάλασσα της Βενετίας υπάρχει ένα νησί, έκτασης 31 εκταρίων, το οποίο ονομάζεται Sacca San Mattia και χρησιμοποιείτο για την εναπόθεση απορριμμάτων και υλικών κατεδαφίσεων που παρήγαγε το ιστορικό τμήμα της Βενετίας.

Η κεντρική ιδέα ανάπλασης αυτού του νησιού ήταν να μετατραπεί σε ένα αστικό πάρκο που να παράγει ενέργεια και να είναι ελκυστικό ως θέαμα στους τουρίστες. Ένα πολύ μεγάλο δίκτυο από παράλληλους σωλήνες εγκαταστάθηκε σε όλο το νησί, σαν μια μεγάλη πράσινη τέντα. Το πράσινο χρώμα οφείλεται στην καλλιέργεια πράσινης άλγης μέσα στο δίκτυο των σωληνώσεων. Κάτω από αυτό το διαπερατό στρώμα, ο υδροβιότοπος της λίμνης διατηρήθηκε και παρέμεινε ανοικτός στις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Πλήθος δραστηριοτήτων παρέχονται στους επισκέπτες του πάρκου. Οι βιοαντιδραστήρες παράγουν βιομάζα για παραγωγή ενέργειας, τα φύκια για εκμετάλλευση από τους ανθρώπους, οξυγόνο παράγεται και εμπλουτίζει το νερό της λιμνοθάλασσας, ενώ παράλληλα δεσμεύεται ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που παράγεται από τις παρακείμενες βιομηχανίες.

Ο συνολικός σχεδιασμός του έργου προωθεί την περιβαλλοντική προστασία της φύσης με παράλληλη ενίσχυση του τουρισμού. Το έργο drip feed δρα ως ένα βιοφίλτρο που βελτιώνει την βιοποικιλότητα της λιμνοθάλασσας και περιορίζει τις επιβαρυντικές συνέπειες της βιομηχανίας.

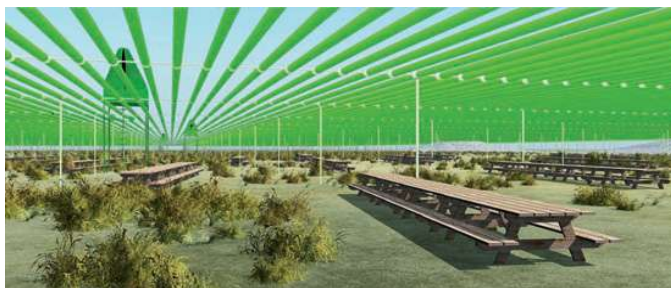
---

<sup>86</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 47, 164



**Εικόνα 66 :** Σύστημα Drip Feed

Πηγή : *Klooster Thorsten. (2009) σελ164*



**Εικόνα 67 :** Σύστημα Drip Feed την ημέρα.

Πηγή: <https://pruned.blogspot.com/2008/02/some-proposals-for-venice-lagoon-park.html>



**Εικόνα 68 :** Σύστημα Drip Feed τη νύχτα.

Πηγή: <https://pruned.blogspot.com/2009/02/spatializing-algae-1-drip-feed.html>

• **Υδρό-τοιχος (Hydro wall)** <sup>87</sup>. Το project αυτό είναι δημιούργημα του atelier αρχιτεκτονικής, Raéal San Fratello. Ο υδρό-τοιχος είναι ένα εξειδικευμένο σύστημα κτηριακού κελύφους που διαμορφώνεται από σκυρόδεμα και θερμοπλαστικό, το οποίο είναι σχεδιασμένο να συλλέγει, φιλτράρει και αποθηκεύει το νερό της βροχής. Το αποθηκευμένο νερό διαδραματίζει το ρόλο της ενεργής θερμικής μάζας του κτηριακού κελύφους. Το νερό θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον θερμοκρασιακό έλεγχο του εσωτερικού χώρου (θέρμανση – ψύξη) ή και να καλύψει άλλες γενικές απαιτήσεις σε νερό χρήσης. Το έργο αυτό συνδυάζει τις αρχές του ενεργειακά αποτελεσματικού σχεδιασμού με την δυνατότητα διαμόρφωσης φόρμας και μορφών που είναι μεταβλητές και δυναμικές <sup>88</sup>.



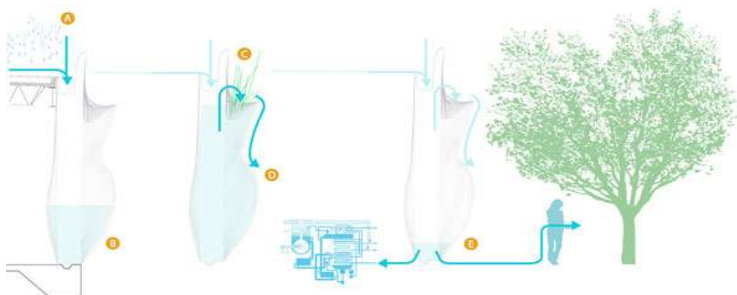
**Εικόνα 69** : Υδρό-τοιχος (Hydro wall). Διαδικασία κατασκευής.

Πηγή : Klooster Thorsten. (2009)  
σελ164

---

<sup>87</sup> <https://vimeo.com/13776381>

<sup>88</sup> Klooster Thorsten. (2009). «Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design». Σελ 48, 169



**Εικόνα 70 :** Υδρό-τοιχος (Hydro wall). Συλλογή, αποθήκευση και χρήση του βρόχινου νερού.

Πηγή : <https://www.rael-sanfratello.com/?p=95>



**Εικόνα 71 :** Υδρό-τοιχος (Hydro wall). Τελική μορφή

Πηγή : <https://www.rael-sanfratello.com/?p=95>

### 3.10 ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Ο Ελλαδικός χώρος σαφώς και ενδείκνυται για πειραματισμούς των αρχιτεκτόνων με την προσθήκη των έξυπνων υλικών στις κατασκευές τους. Είναι ένα πεδίο που ειδικά στη χώρα μας δεν έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα αν και λόγω του κλίματος και της φυσικής γεωγραφίας της χώρας θα μπορούσε να έχει ποικίλες εφαρμογές.

#### ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η ομάδα αρχιτεκτόνων, MaPPa (Mapping Parametric Project) που αποτελείται από τους αρχιτέκτονες μηχανικούς: Ουρανία Ανδρεοπούλου, Θωμά Γιατζίδη, Σοφία Μαυρουδή, Ιωάννη Ρουσογιαννάκη, και τον πολιτικό μηχανικό Ελευθέριο Παλιεράκη, εστίασαν την σκέψη τους στη χρήση των έξυπνων υλικών στη μεγάλη βιομηχανία της χώρας μας, τον τουρισμό. Παρουσίασαν έτσι, στην 5η Διεθνή Έκθεση Τουρισμού «Athens International Tourism Expo» το DIGI δωμάτιο ξενοδοχείου που χάρη στις νέες τεχνολογίες «αντιλαμβάνεται τις ανάγκες και τις επιθυμίες του χρήστη και μεταβάλλει τα δομικά του στοιχεία για να προσαρμοστεί σε αυτές», «Το δωμάτιο» εξηγεί μιλώντας στο ΑΠΕ-ΜΠΕ η Σοφία Μαυρουδή «ορίζεται μέσα από τον σχεδιασμό δύο

επιφανειών, του δαπέδου και της οροφής, που μπορούν να μεταβάλλονται και να ορίζουν κάθε φορά με διαφορετική γεωμετρία τα όρια, τις δυνατότητες και τις εμπειρίες εντός του χώρου». Συγκεκριμένα, το δάπεδο έχει διαφορετικά ύψη, ενώ η οροφή επεκτείνεται και μετατρέπεται για να προσαρμοστεί στις μεταβολές των χρήσεων του δωματίου.

Είναι από τα ελάχιστα αν όχι το μόνο ολοκληρωμένο πρότζεκτ στην Ελλάδα (έστω και σε επίπεδο μελέτης) που εστιάζει ξεκάθαρα στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και την μεταβλητότητα του χώρου που γίνεται εφικτή χάρη στη νέα αυτή γενιά υλικών.

#### ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια ενεργειακής αναβάθμισης των κατασκευών και περιορισμού των ρύπων και της κατανάλωσης ενέργειας των κτηρίων. Τα έξυπνα υλικά θα μπορούσαν να τεθούν υπέρ του σκοπού αυτού ποικιλοτρόπως. Χρησιμοποιούνται ήδη κάποια από αυτά (ψυχρές ανακλαστικές βαφές, υλικά επικάλυψης οροφής υψηλής ανακλαστικότητας, έξυπνα τζάμια) θα μπορούσαν όμως να ενταχθούν πιο δυναμικά ακόμη στην κατασκευή νέων κτηρίων αλλά και σε υπάρχουσες κατασκευές.

Καίρια ζητήματα προς επίλυση, είναι οι συνθήκες θερμικής άνεσης και η ρύθμιση της υγρασίας εντός των κτηρίων καθ' όλη τη

διάρκεια του χρόνου με παράλληλη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Αν και το κλίμα της περιοχής ενδείκνυται για κάτι τέτοιο, η χρήση νέων υλικών και τεχνολογικά ανεπτυγμένων κατασκευών (θερμοπροσόψεις, θερμο-ηχομονωτικά κουφώματα,κα.) χωρίς την αντίστοιχη ενημέρωση και εκπαίδευση του χρήστη για την ορθή τους χρήση, συχνά έχει αντίθετα αποτελέσματα, όπως πχ την εμφάνιση μούχλας και μικροοργανισμών λόγω ανεπαρκούς αερισμού. Σε περιπτώσεις σαν αυτή θα μπορούσαν τα έξυπνα υλικά να αποτελούν τη λύση του προβλήματος δρώντας ως αισθητήρες και ενεργοποιητές ταυτόχρονα ρυθμίζοντας ανάλογα την αλληλεπίδραση του κλίματος εντός και εκτός του κτηρίου αποφεύγοντας έτσι την κλιματική του απομόνωση που μπορεί να επιφέρει τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Οι επεμβάσεις θα μπορούσαν να είναι περιορισμένης κλίμακας και να αφορούν τα συνδετικά υλικά του κελύφους (πχ. Πλήρωση των αρμών με κάποιου είδους hydrogel που θα επιτρέπει ελεγχόμενα βέβαια τον φυσικό αερισμό) ή την επικάλυψη αυτού με κάποιο υδραυλικό επίχρισμα που θα ρυθμίζει την απορρόφηση της θερμοκρασίας ενώ παράλληλα μπορεί να απορρόφα ρύπους τους εξωτερικού περιβάλλοντος. Σε επόμενη φάση θα μπορούσαν τα ίδια υλικά αυτά αντί να στοχεύουν στην “προστασία” του εσωτερικού του κτηρίου από τα εξωτερικά φαινόμενα, να δεσμεύουν την ενέργεια που τα ενεργοποιεί (θερμότητα, ηλιακή ακτινοβολία, κίνηση του αέρα) και να την αποδίδουν εντός του κτηρίου σε πιο χρήσιμες μορφές).

Το 6ο νηπιαγωγείο του Παλαιού Φαλήρου είναι ένα παράδειγμα στο οποίο έγινε μία προσπάθεια να ενσωματωθούν μορφές εναλλακτικής ενέργειας και οι σύγχρονες τεχνολογίες όπως: φωτοβολταϊκά συστήματα, αισθητήρες διοξειδίου του άνθρακα για αναβάθμιση και καθαρισμό του αέρα στις σχολικές



τάξεις και ειδικοί αυτοματισμοί που ρυθμίζουν το φωτισμό ανάλογα με την ηλιοφάνεια.

### ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

Ένα άλλο σημείο που θα μπορούσε να μελετηθεί η χρήση των έξυπνων υλικών στην ελληνική αρχιτεκτονική πιο εντατικά, είναι ο φέρων οργανισμός των κτηρίων, λόγω της έντονης σεισμικότητας της περιοχής μας. Η χρήση τεχνολογίας σε προσμίξεις κλασικών υλικών όπως το μπετό ή το μέταλλο, που θα τους προσδίδει επιπλέον ιδιότητες όπως προσαρμοστικότητα της ελαστικότητας ή της αδράνειάς τους, οδηγεί σε μια νέα γενιά κτηρίων που ενάγουν το αίσθημα της ασφάλειας και τους δίνουν το ρόλο ασφαλούς καταφύγιου που μπορεί να αντισταθεί ακόμα σε ανεξέλεγκτα φυσικά φαινόμενα, ανώτερα της ανθρώπινης δύναμης.

Η σκέψη αυτή θα είχε πολύ μεγαλύτερο ενδιαφέρον αν μπορούσε να εφαρμοστεί και σε υπάρχουσες κατασκευές. Θα έδινε μια εντελώς καινούρια αντίληψη στον τρόπο που γίνεται η αποκατάσταση κτηρίων που έχουν υποστεί φθορές λόγω φυσικών φαινομένων αλλά και λόγω παλαιότητας. Τι δυνατότητες θα δίνονταν άραγε στην αισθητική των πόλεών μας αν μπορούσαν να κρατηθούν όλα αυτά τα αρχιτεκτονικά στοιχεία του παρελθόντος που χάνονται στο χρόνο και μας μεταβιβάζονται μόνο μέσω καταγράφων και φωτογραφικού υλικού; Τι θα μπορούσε να σημαίνει για την αποκατάσταση των μνημείων στη χώρας μας που είναι γεμάτη από ιστορία.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τεχνολογική εξέλιξη και κυρίως η πολύ εύκολη δυνατότητα που υπάρχει για διασύνδεση της υπάρχουσας γνώσης μεταξύ επιστημονικών κλάδων, που φαινομενικά δεν έχουν μεγάλη

συγγένεια, δημιουργεί ένα εντελώς νέο τοπίο στην ανθρώπινη γνώση και διανόηση.

Μέσα σε αυτό το νέο γνωστικό υπόβαθρο, κατασκευάστηκαν τα «έξυπνα» δομικά υλικά. **Τα υλικά αυτά μπορούν να παρέχουν στον αρχιτέκτονα και τον σχεδιαστή, σχεδόν απεριόριστες δυνατότητες και διευκολύνσεις.** Δυνατότητες τις οποίες ούτε μπορούμε να διαβλέψουμε με τα σημερινά δεδομένα, οδηγώντας έτσι σε μια νέα αναγέννηση του τρόπου σχεδιασμού και θεώρησης του χώρου.

Βασική προστιθέμενη αξία που προσδίδουν τα έξυπνα υλικά είναι ότι **καθιστούν τη σύγχρονη αρχιτεκτονική «δυναμική» και όχι στατική. Τα υλικά αυτά αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον και μεταβάλλονται,** διαμορφώνοντας έτσι ένα άλλο τρόπο προσέγγισης της αρχιτεκτονικής αντίληψης στο σύνολο της. Επίσης διαμορφώνεται ένα περισσότερο οικολογικό περιβάλλον, πιο υγιές και ασφαλές, ενταγμένο στην γενικότερη προσπάθεια περιορισμού της κατανάλωσης ενέργειας και χρησιμοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η νέα αρχιτεκτονική αντίληψη εστιάζει στον άνθρωπο και στην εκπλήρωση των επιθυμιών του, με έναν διαφορετικό όμως τρόπο.

Ο έννοια του χώρου απελευθερώνεται από τις τρεις διαστάσεις και με τα νέα έξυπνα υλικά, αποκτά περισσότερες δυνατότητες. Ο χρόνος διαφοροποιεί και διαμορφώνει το χώρο. Κυρίως, ο άνθρωπος όμως, μπορεί και μεταβάλλει σε πραγματικό χρόνο το διαθέσιμο χώρο του, έτσι ώστε να ικανοποιεί τις ανάγκες του.

Όλα τα έξυπνα υλικά δρουν στη πολύ μικρή κλίμακα (νανοκλίμακα) του ατόμου και των μορίων, ανοίγοντας έτσι μια

τελείως διαφορετική αντίληψη στη προσέγγιση των μεγεθών και της ανθρώπινης κλίμακας.

Τα έξυπνα υλικά αντιμετωπίζουν ολιστικά, το θέμα του κτηριακού κελύφους, προσπαθώντας να ενσωματώσουν όσες περισσότερες λειτουργίες είναι εφικτό, όπως η θέρμανση, η ψύξη, ο φωτισμός, η μόνωση, το φιλτράρισμα του αέρα κλπ.

Ορισμένα υλικά που διαθέτουν το χαρακτηριστικό γνώρισμα της αυτό-επιδιόρθωσης, παρέχουν τη δυνατότητα του ελέγχου της κατασκευής, της έγκαιρης προειδοποίησης, σε γενόμενη αστοχία, μειώνοντας έτσι και τον κίνδυνο πρόκλησης εκτεταμένης αστοχίας αλλά και του κόστους συντήρησης και επισκευής του έργου.

Όλες οι προαναφερόμενες θετικές εξελίξεις στον κτηριακό τομέα με τη συνδρομή των έξυπνων υλικών, αποτελούν και πεδία περαιτέρω έρευνας, εξέλιξης και στοχασμού γενικότερα, για την εφαρμογή και τελικώς τη χρήση των έξυπνων υλικών στην αρχιτεκτονική.

Με την χρήση των έξυπνων δομικών υλικών θα αλλάξει και ο τρόπος σχεδιασμού των κατασκευών από τον αρχιτέκτονα. Η ενσωμάτωση των νέων υλικών είναι βασικό στοιχείο του νέου τρόπου σχεδιασμού των κτηρίων. Όπως προαναφέρθηκε η αρχιτεκτονική σύνθεση είναι πλέον δυναμική και μεταβάλλεται με το χρόνο. Πρέπει να εφευρεθούν νέοι τρόποι σχεδιασμού που να ενσωματώνουν αυτή την παράμετρο. Το δυσδιάστατο μοντέλο των όψεων, κατόψεων και τομών δεν μπορεί πλέον να μας ικανοποιήσει.

Τα εξωτερικά όρια του δομημένου χώρου δεν νοούνται πλέον ως διαχωριστικά μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, αλλά ως ενεργές ζώνες και ως «δέρμα» (skin) που

μεταβάλλεται, μεταμορφώνεται, αλληλεπιδρά, συλλέγει και διακινεί πληροφορίες.

Οι αρχιτέκτονες σε παγκόσμιο επίπεδο βρίσκονται σε φάση αναζήτησης, δοκιμής, αξιολόγησης και ανατροφοδότησης. Υπάρχει διασύνδεση και αλληλεπίδραση μεταξύ της **έρευνας** για την παραγωγή νέων έξυπνων δομικών υλικών, της **βιομηχανικής τους παραγωγής** και της **εφαρμογής** τους στην πράξη, όπου γίνεται και η τελική αξιολόγηση. Απ' αυτή την αλληλεπίδραση θα προκύψουν νέες τάσεις, ιδέες και προϊόντα, τα οποία θα είναι αποτελεσματικά, λειτουργικά και αποδοτικά στην πράξη.

## 4.2 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Οι προοπτικές για την χρήση των έξυπνων υλικών στην αρχιτεκτονική είναι πολύ ευσίωνες, όμως η ακριβής χρήση τους και ο τρόπος ένταξης τους στη δημιουργία ενός κτηριακού έργου, ακόμα δεν έχουν καθοριστεί.

Ένας ουσιαστικά ανασταλτικός παράγοντας, είναι ότι η αρχιτεκτονική βρίσκεται σε μεταβατικό στάδιο προσπάθειας ένταξης της νέας πραγματικότητας. Η βιωσιμότητα των έξυπνων υλικών θα κριθεί στην δοκιμή τους στην καθημερινή ζωή, αλλά και στην μαζικότητα της χρήσης τους. Ο χρόνος θα είναι ο τελικός κριτής και θα μας οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα για την τελική χρησιμότητα και κάλυψη ουσιαστικών αναγκών των σύγχρονων ανθρώπων ή όχι.

Τα έξυπνα δομικά υλικά ακόμη δεν έχουν αποκτήσει ταυτότητα ως προς το ρόλο τους και δεν έχει ξεκαθαριστεί η αναγκαιότητα και ο στόχος δημιουργίας τους. Ο τρόπος που ο αρχιτέκτονας θα μπορέσει να αξιοποιήσει τις δυνατότητες των υλικών αυτών, εξαρτάται από τις γνώσεις και την πληροφόρηση

που διαθέτει, αλλά και από την φαντασία του. Γίνεται φανερό, ότι ο ρόλος του αρχιτέκτονα, όπως τον ξέρουμε σήμερα, αναπόφευκτα θα αλλάξει. Καλείται να διεισδύσει και σε άλλους επιστημονικούς τομείς, που μέχρι σήμερα έμοιαζαν φαινομενικά ασύμβατοι με το επάγγελμά του, και να σκέφτεται «out of the box».

Η σύγχρονη αρχιτεκτονική προσπαθεί να αφομοιώσει τις τεχνολογικές εξελίξεις και να διαμορφώσει ένα θεωρητικό υπόβαθρο, διότι μέχρι σήμερα δεν υπάρχει συνολική θεωρητική προσέγγιση για τη χρήση των έξυπνων υλικών σε ένα κτήριο, αλλά προσπαθεί στην υφιστάμενη θεωρία δόμησης συμβατικών κατασκευών να εντάξει και να ενσωματώσει (τμηματικά και πολλές φορές αποτυχημένα) τη χρήση των έξυπνων υλικών.

Σίγουρα στο μέλλον, τα έξυπνα υλικά θα βοηθούν στην εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και θα στραφούν στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή είναι η σαφής δέσμευση και τάση που υπάρχει μέσα στα πλαίσια της ευρωπαϊκής ένωσης. Στο πλαίσιο αυτό, θα δούμε προσπάθειες εκμετάλλευσης, μέσω των έξυπνων υλικών, όλων των άλλων δυνάμενων μορφών ενέργειας. Όπως κινητική ενέργεια, θερμική ενέργεια, χημική ενέργεια κλπ. Μέσω των έξυπνων υλικών να μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια, είτε για άμεση χρήση από τον άνθρωπο, είτε για αποθήκευση της.

Ένας άλλος τομέας που θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο τα έξυπνα υλικά, είναι ο τομέας της ασφάλειας των έργων υποδομής και των κτηρίων. Γεγονός που για την Ελλάδα είναι πολύ σημαντική παράμετρος, λόγω της σεισμικότητας της περιοχής. Τα έξυπνα υλικά θα λειτουργούν ως αισθητήρες και ενεργοποιητές για την αυτό-επιδιόρθωση τους. Μειώνοντας έτσι

το κόστος συντήρησης, λειτουργίας και επιθεώρησης των έργων υποδομής.

Στο μέλλον τα έξυπνα υλικά για να μπορέσουν να δια-λειτουργήσουν μεταξύ τους και να είναι πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά, θα χρειαστούν τον έλεγχο και το συντονισμό τους από έναν «εγκέφαλο», ένα κέντρο συνολικού ελέγχου. Οι διαδικασίες των αλγορίθμων και της τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligent) που θα προσομοιώνουν τις διαδικασίες της ανθρώπινης λειτουργίας και λογικής θα παρέχουν αυτές τις εξελιγμένες δυνατότητες στα συστήματα των έξυπνων υλικών.

## 4.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Η προσπάθεια ενσωμάτωσης των έξυπνων υλικών στο κτηριολογικό πρόγραμμα ενός έργου υποδομής ή ενός κτηρίου, δημιουργεί προβληματισμούς και ερωτηματικά ως προς τον τρόπο ένταξης των και τελικά ως προς την αποτελεσματικότητα τους και την απόδοση τους.

Η τεχνολογία ανάπτυξης των έξυπνων υλικών βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο, σε ποιο βαθμό υπάρχει το γνωστικό υπόβαθρο, σε όλο τον εμπλεκόμενο τεχνικό κόσμο, έτσι ώστε μια τέτοια καινοτομία να ενσωματωθεί και να αποτελέσει την ειδοποιό διαφορά στην αρχιτεκτονική αντίληψη; Και σε ποιο βαθμό είμαστε σίγουροι ότι μπορούν πράγματι να αποτελέσουν το μέλλον της αρχιτεκτονικής;

Ένα άλλο ζητούμενο είναι κατά πόσο τα νέα δομικά υλικά ικανοποιούν πραγματικές ανάγκες των χρηστών ή απλά λειτουργούν ως ένα μέσο νέων επίπλαστων αναγκών που επιβάλλονται από τη σύγχρονη κοινωνία και το σύγχρονο

marketing; Η εφαρμογή τους στο διάβα του χρόνου και η μακροβιότητα τους είναι ο μοναδικός τρόπος για την διαπίστωση της αναγκαιότητας τους ή μη. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημάνουμε ότι σημαντικό ρόλο θα παίξει ο δημόσιος τομέας, που μέσα από τα εμβληματικά δημόσια έργα και κτίρια μπορεί να αποδείξει την χρησιμότητα των έξυπνων υλικών ή απλώς την συμβολική και σημειολογική τους χρήση.

Ελλοχεύει ο προβληματισμός της κλίμακας των μεγεθών στα οποία επιδρά η αρχιτεκτονική, στη μακρο-κλίμακα, ενώ αντίθετα τα έξυπνα υλικά λειτουργούν στην νανο-κλίμακα. Πόσο εφικτό είναι η διασύνδεση αυτών των δύο τόσο αντίθετων κλιμάκων και τελικά θα οδηγηθούμε σε μια «ενοποιημένη θεωρία των πάντων»;

Η απουσία θεωρητικού πλαισίου ένταξης και ενσωμάτωσης των έξυπνων υλικών στον τρόπο δόμησης του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος είναι ένα ζήτημα που δημιουργεί σύγχυση. Επίσης, η έλλειψη κατάλληλων σχεδιαστικών εργαλείων επιτείνει την δυσχέρεια ενσωμάτωσης των νέων τεχνολογικών προϊόντων στο συμβατικό και «πατροπαράδοτο» τρόπο δόμησης που ισχύει μέχρι σήμερα.

Τα έξυπνα υλικά κοστίζουν αρκετά χρήματα, γιατί απαιτούν έρευνα, εξειδικευμένες γνώσεις και πολύ υψηλής τεχνολογίας υποδομές. Αν δεν υπάρξει μαζική ζήτηση για κάποιο είδος έξυπνου υλικού, ούτως ώστε να υπάρξει οικονομία κλίμακας και το κόστος κτήσης του να μπορέσει να είναι οικονομικά εφικτό από μεγάλο μερίδιο της αγοράς, δεν θα μπορέσει να υπάρχει επιβίωση, εξέλιξη και ανάπτυξη αυτών των νέων τεχνολογιών.

Η χρήση των «έξυπνων υλικών» απαιτεί και «έξυπνους» ανθρώπους, με την έννοια της εξειδικευμένης γνώσης. Το τεχνικό



προσωπικό που θα ασχοληθεί με αυτά τα θέματα, όλων των βαθμίδων, από τον αρχιτέκτονα μέχρι και τον τεχνίτη τοποθέτησης πλακιδίων, θα πρέπει να έχει ειδικές γνώσεις για να μπορέσει τελικά τα ενσωματωμένα έξυπνα υλικά να είναι αποδοτικά και να επιτελέσουν το ρόλο για τον οποίο έχουν ενταχθεί στο κτήριο ή στο τεχνικό έργο.

Με την χρήση των έξυπνων υλικών αναδύεται μια θεώρηση του σχεδιασμού, που περιλαμβάνει τα στοιχεία της μεταβλητότητας και της διάδρασης μεταξύ χρήστη και περιβάλλοντος. Σε ποιο βαθμό αυτή 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 εύρος 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; Τα έξυπνα υλικά αποτελούν αποτέλεσμα της σύγχρονης υψηλής τεχνολογίας. Καλούνται να συνεργαστούν και να συνυπάρξουν με άλλα κλασικά, θα τα χαρακτηρίζαμε, δομικά υλικά (σκυρόδεμα, χάλυβα, πέτρα, ξύλο). Με ποιο τρόπο θα συνεργαστούν και θα συνυπάρξουν;

Ο κύκλος ζωής των συνήθων κτηριακών έργων είναι περίπου 50 – 70 χρόνια. Τα έξυπνα υλικά που αποτελούν προϊόντα τεχνολογίας αιχμής θα μπορέσουν να επιβιώσουν τόσα χρόνια; Όταν υπάρχει «ο νόμος του Μουρ»<sup>89</sup>, πως η υπολογιστική ισχύς των επεξεργαστών διπλασιάζεται σχεδόν κάθε 2 χρόνια;

---

*89 Γκόρντον Μουρ, συνιδρυτής της εταιρείας παραγωγής μικροεπεξεργαστών Intel. Στην πραγματικότητα, δεν πρόκειται για*

Το σίγουρο είναι ότι ανοίγονται νέοι ορίζοντες και προοπτικές, που κανείς δεν γνωρίζει ούτε μπορεί να διαβλέψει το μέλλον. Η σχέση ανθρώπου – κτηρίου – περιβάλλοντος γίνεται δυναμική και μεταβλητή. Ο άνθρωπος ξαναμπαίνει στο κέντρο αυτής της σχέσης, με έναν άλλο τρόπο βέβαια. Το μέλλον προδιαγράφεται σίγουρα ενδιαφέρον και ελκυστικό. Η τεχνολογία πρέπει να υπηρετεί τον άνθρωπο, να του παρέχει δυνατότητες και διευκολύνσεις, προασπίζοντας όμως την ιδιωτικότητα του και σε τελική ανάλυση την αξιοπρέπεια του.

---

*μαθηματικά αποδεδειγμένες εξισώσεις αλλά αποτελούν εμπειρικές διαπιστώσεις, που όμως επαληθεύονται από την τεχνολογική εξέλιξη τα τελευταία σχεδόν 40 χρόνια.*

## ΠΗΓΕΣ

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**Αρνέλλου Ζωή-Δάφνη, Μπέρκη Αικατερίνη, Σαραντινούδη Παναγιώτα.** (2012) “Smart Materials”. Διπλωματική εργασία στη Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

**Καλογερόπουλος Θεόδωρος** (2010) «Εφαρμογές έξυπνων υλικών». Διπλωματική εργασία στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

**Παρθενοπούλου Νικολέτα.** (2010). « Δομικά υλικά σε προστασία κατασκευών που δέχονται κλιματικές καταπονήσεις – Μελέτες περιπτώσεων κατασκευών υπό ήπιες και ακραίες συνθήκες θαλάσσιων περιοχών» Διπλωματική εργασία στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του ΑΠΘ.

**Ρουμπάνη Γεσθημανή, Ταρουδάκη Καλλιρόη.** (2013). «Computational Design / Έξυπνα Υλικά. Η παράλληλη προσέγγιση». Διάλεξη 9<sup>ου</sup> εξαμήνου στο τμήμα της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

**Σταυρίδου Αθηνά** (2009). «Αναδυόμενες ιδιότητες- έξυπνα υλικά»

## ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**Addington M. and Schodek D.** (2005). "Smart Materials and New Technologies – For architecture and design professions". Architectural Press. Oxford.

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

**Dastbaz Mohammad**, Gorse Chris, Moncaster Alice. (2017). "Building Information Modelling, Building Performance, Design and Smart Construction". Springer. Cham.

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

**Gandhi M.V. & Thompson B.S.** (1992). "Smart Materials & structures" Chapman & Hall. London.

**Kirk-Othmer** Encyclopedia of Chemical Technology, Volume 22, 5<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons, New York. 2004

**Klooster Thorsten.** (2009). "Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design". Birkhauser Verlag AG. Berlin.

**Ritter Axel.** (2007). "Smart Materials in architecture, interior architecture and design". Birkhauser. Basel.

**S. Ramamurthy, M. V. Gandhi, B. S. Thompson,** «Smart materials for army structures», U.S. ARMY Materials Technology Laboratory, April 1992

**Schwartz Mel.** (2009). "Smart Materials". CRC Press. Boca Raton

**Aggour M and Soliman O,** "Smart materials - toward a new Architecture", Department of Architecture, Faculty of Engineering, Mataria, Helwan University, Egypt, October 2018

**Abeer Samy Yousef Mohamed /** Energy Procedia 115 (2017) : "Smart Materials Innovative Technologies in Architecture; Towards Innovative Design Paradigm" (International Conference – Alternative and Renewable Energy Quest, AREQ 2017)

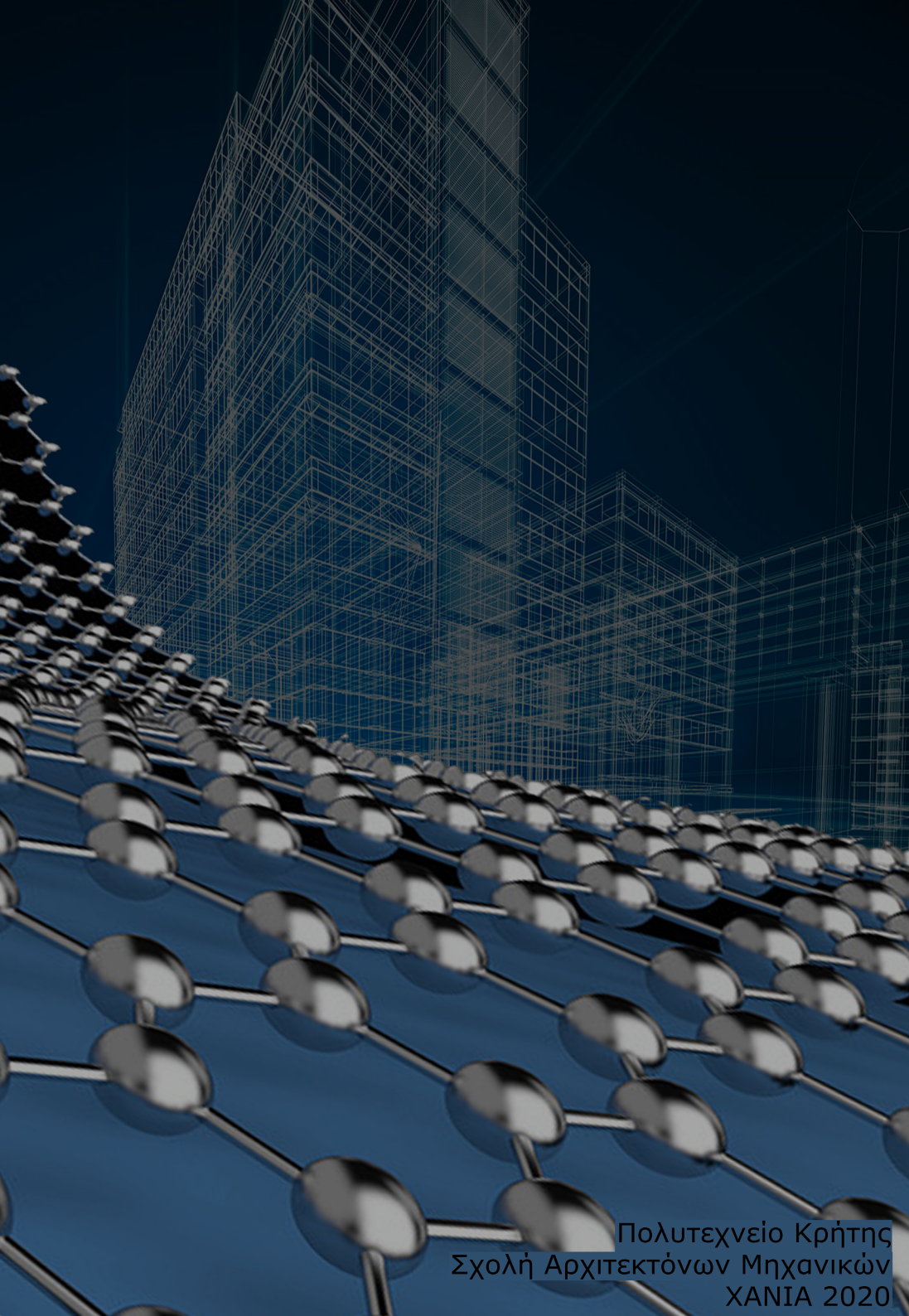
## ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

<https://www.the-scientist.com/research/smart-materials-research-expands-beyond-defense-arena-60137> (Ανακτήθηκε 24 Ιαν 2019)

<https://www.archdaily.com/tag/smart-materials>

<https://www.sciencedirect.com>

<http://www.buildingthefuture.gr>



Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών  
ΧΑΝΙΑ 2020