

# ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ στο ΚΕΛΥΦΟΣ

Θερμική απόδοση και φωτισμός





ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ | Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

# Έξυπνα υλικά στο κέλυφος του κτιρίου

θερμική απόδοση και φωτισμός

## Ερευνητική Εργασία

Εξάμηνο 11ο

### Φοιτήτρια:

*Αικατερίνη Δελή*

### Επιβλέπων Καθηγητής:

*Κ. Α. Ουγγρίνης*

Χανιά, Οκτώβριος 2017



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Στο πλαίσιο των κοινωνικών και τεχνολογικών εξελίξεων, η ανάγκη για εκσυγχρονισμό της σκέψης και σχεδίασης αποτελεί μείζον θέμα. Η κοινωνία της πληροφορίας δηλώνει παρούσα και μας καλεί να συγκεραστούμε τους σκοπούς και τις δυνατότητες που προσφέρει. Στην αρχιτεκτονική, η προσαρμογή στη νέα πραγματικότητα κρίνεται άμεση και αναγκαία.

Ο αρχιτέκτονας οφείλει να είναι προπομπός των εξελίξεων, γιατί η δράση του έχει ως επίκεντρο τον άνθρωπο, το περιβάλλον, τον καλύτερο τρόπο ζωής και στόχο την χρυσή τομή αυτών. Σε μια εποχή όπου η οικονομία πλήγεται, και μαζί της καταρρέει ο άνθρωπος και η κοινωνία μαστίζεται από τα προβλήματα που δημιουργούνται στην πολύπλοκη καθημερινότητά της, ο αρχιτέκτονας οφείλει να δώσει τη λύση με σεβασμό και χωρίς απόκλιση από τον αρχικό του στόχο.

Τα υλικά ήταν, είναι και θα συνεχίσουν να είναι το εργαλείο της σκέψης και της δημιουργίας του. Η διασφάλιση ενός οικονομικού κύκλου ζωής τους, η φυσική διάρκεια, ο προσανατολισμός προς την επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων, η ανακύκλωση των υλικών, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η ευφυής διαχείριση της ενέργειας είναι τα ευφυή υλικά.

Η ανάγκη για καλύτερη ποιότητα ζωής σε συνδυασμό με τη βέλτιστη οικονομία χαρακτηρίζουν τα έξυπνα υλικά, τα οποία είναι αποτέλεσμα της εξέλιξης της επιστήμης των υλικών και αρωγός στο έργο του αρχιτέκτονα.

Στην συγκεκριμένη εργασία, λοιπόν, μελετώνται τα έξυπνα υλικά ως προς τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και στη συνέχεια επιλέγονται 8 από αυτά. Κριτήριο επιλογής τους είναι η δυνατότητα εφαρμογής τους στο κέλυφος του κτιρίου, με άμεσο στόχο την θερμική απόδοση και τον φωτισμό του, καταναλώνοντας τη δυνατή ελάχιστη ενέργεια.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

## \_1 Εισαγωγή

_ Θέμα – Σκοπός – Μεθοδολογία	10
_ Πρόλογος	11
_ Έξυπνα Υλικά – Πρώτη προσέγγιση	
Ορισμοί	15
Ιδιότητες	18
Εσωτερική Δομή	20
Κλάδοι εφαρμογών	22
Διαχωρισμός σε ενότητες	23

## \_2 Έξυπνα Υλικά

_ SmartWrap	30
_ Ηλεκτροχρωμικά υλικά	36
_ Θερμοδιμεταλλικά ελάσματα	41
_ Θερμοτροπικά υλικά	46
_ Κράματα μνήμης σχήματος	49
_ Πιεζοηλεκτρικά πολυμερή/κεραμικά	55
_ Υλικά αλλαγής φάσης - GLASSX	55
_ Φωσφορίζοντα υλικά	61

## \_3 Συμπεράσματα

_ Συμπεράσματα	68
_ Επίλογος	71

Βιβλιογραφικές αναφορές	76
-------------------------	----

# **\_1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**



- **ΘΕΜΑ – ΣΚΟΠΟΣ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**
- **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**
- **ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ – ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ**
  - ΟΡΙΣΜΟΙ
  - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
  - ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΟΜΗ
  - ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ
  - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΚΛΑΔΟΥΣ
  - ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

## ΘΕΜΑ – ΣΚΟΠΟΣ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

---

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι τα έξυπνα ή ευφυή υλικά. Το θέμα πραγματεύεται τα έξυπνα υλικά ως συνθετικά μέρη, ως μια νέα σχεδιαστική αντίληψη στον τομέα της αρχιτεκτονικής με πολλές δυνατότητες εφαρμογών και κατασκευής έξυπνων περιβαλλόντων και κτιρίων.

Βασικός σκοπός είναι η αποσαφήνιση του όρου έξυπνα υλικά, των εννοιών και των χαρακτηριστικών που τα διέπουν, καθώς και η διερεύνηση του ρόλου και των δυνατοτήτων εφαρμογής τους σε νέας μορφής κτίρια, και ιδιαίτερα στο κελύφος τους, με σκοπό την θερμική απόδοση και τον φωτισμό τους καταναλώνοντας μηδενική ενέργεια.

Το θέμα προσεγγίζεται με παραγωγικό τρόπο. Αρχικά πραγματοποιείται αναφορά στους όρους, στις ιδιότητες, στα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα, στα πεδία εφαρμογής τους στην καθημερινότητά μας αλλά και στον διαχωρισμό τους με βάση το μηχανισμό λειτουργίας κάθε ομάδας υλικών. Στην συνέχεια αναφέρεται ο ρόλος και η σπουδαιότητα του κελύφους για το κτίριο, για τον άνθρωπο αλλά και το περιβάλλον και έπειτα ακολουθεί η επιλογή και η ανάλυση ορισμένων έξυπνων υλικών και εφαρμογών και μια προσπάθεια κριτικής για την αισθητική αξία που προσφέρουν.

Οι πληροφορίες που παρατίθενται καθώς και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη αυτών, προέρχονται από εγκεκριμένη βιβλιογραφία σχετική με όλους τους τομείς του φάσματος μελέτης τους, επικεντρωμένης κυρίως στην αρχιτεκτονική, από επιστημονικά και τεχνολογικά άρθρα, από διπλωματικές εργασίες καθώς και από το διαδίκτυο.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η επιστήμη των υλικών είναι κομμάτι του πολιτισμού μας. Οι διάφορες ιστορικές περίοδοι της ανθρωπότητας χωρίζονται με βάση το υλικό που τις χαρακτηρίζει. Για παράδειγμα, αναφερόμαστε σε ιστορικές περιόδους με ονόματα όπως «Λίθινη Εποχή», «Εποχή του Χαλκού», «Εποχή του Σιδήρου», εμπνευσμένα από το υλικό που ήταν περισσότερο προηγμένο. Συνεπώς, είναι εύκολα αντιληπτή η ιδιαίτερη θέση και αξία που έχουν τα υλικά τόσο για την ίδια την κατασκευή αλλά και για τον άνθρωπο και την κοινωνία. Σήμερα με τη βοήθεια της τεχνολογίας και της εξέλιξής της, η επιστήμη των υλικών κινείται με ταχύτατους και φρενήρεις ρυθμούς. Επίτευγμα αυτής της νέας εποχής είναι και τα ευφυή, σοφά, αυτοπροσαρμοζόμενα ή αλλιώς έξυπνα υλικά. *Τα καινοτόμα αυτά υλικά προκαλούν επανάσταση στη μέχρι τώρα θεώρηση των υλικών, αφού η χρήση τους βασίζεται στις λειτουργίες τους και όχι στις συνήθεις φυσικές ή μηχανικές ιδιότητές τους.* **1**

Τα έξυπνα υλικά είναι δυναμικά, συμπεριφέρονται σε απόκριση του περιβάλλοντος και των ενεργειακών πεδίων. Οι ιδιότητές τους είναι μεταβλητές και αυτό τα κάνει να ανταποκρίνονται σε εφήμερες ανάγκες. Έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται σε πολλαπλές καταστάσεις αντί να βελτιστοποιούνται σε μια μοναδική. Τα κτίρια άλλωστε, ανέκαθεν έρχονται αντιμέτωπα με την μεταβολή των συνθηκών. Γι' αυτό και ο ρόλος που διαδραματίζουν είναι ιδιαίτερα σύνθετος. Είναι η τρίτη επιδερμίδα του ανθρώπου και γι' αυτό απαιτείται η ομαλή λειτουργία του και η καλύτερη δυνατή ενεργειακή απόδοσή του.

Στον τομέα της αρχιτεκτονικής στάθηκαν αποτελεσματικά όσον αφορά σε προβλήματα που συναντώνταν στις συμβατικές κατασκευές. Οικολογικός σχεδιασμός, καλύτερη ποιότητα ζωής, ελάχιστο δυνατό κόστος συντήρησης, βελτιστοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς καθώς και αύξηση του κύκλου ζωής των κτιρίων ταυτόχρονα με τον καλύτερο δομικό τους έλεγχο, είναι ορισμένες μόνο από τις δυνατότητες που τα έξυπνα υλικά προσφέρουν. **2**

Μέχρι τώρα το κτίριο λειτουργούσε σαν όριο μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος και οδηγούσε το σχεδιασμό σε μια στερεότυπη αντίληψη για αρχιτεκτονική στάσιμη. Το ενδιαφέρον επικεντρωνόταν σε διάφορα και εντυπωσιακά συστήματα όψεων, δαπέδων και οροφών με σκοπό την εξασφάλιση ενός ενιαίου περιβάλλοντος, τονίζοντας ακόμα περισσότερο την έννοια που του έχει αποδοθεί και εκφράζει το σημείο όπου τελειώνει το κτιριακό κέλυφος και ξεκινά το εξωτερικό περιβάλλον.

1, 2. Αρνέλλου, Ζ., Μπέρκη, Α., Σαραντινούδη, Π., *Smart Materials*, Ε.Μ.Π. Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αθήνα, 2012.

Για τους φυσικούς όμως το όριο δεν είναι πράγμα αλλά δράση, ένας τόπος αλλαγών, μια ενεργή ζώνη διαμεσολάβησης και όχι οριοθέτησης. Το κτιριακό όριο θα χαρακτηριστεί σαν ένα σύστημα, με είσοδο την ενέργεια που δέχεται από το εξωτερικό περιβάλλον και έξοδο την ενέργεια, ανεξαρτητως μορφής, που θα διοχετεύσει στο περιβάλλον του, είτε στο ομοιογενές εσωτερικό είτε στο περιρρέον εξωτερικό.

Εστιάζοντας λοιπόν στην σημασία που έχουν το κτίριο και η μορφή του, το κτίριο και η γεωμετρία του, το κέλυφος του και η όψη του, που μαζί συνθέτουν και την εικόνα της πόλης, το κέλυφος του κτιρίου και η ενέργεια που δέχεται και καταναλώνει, μελετώνται ορισμένα έξυπνα υλικά σαν συστήματα με προοπτικές εφαρμογής στον χώρο της αρχιτεκτονικής με σεβασμό πάντα στις σχεδιαστικές αρχές και την αισθητική του αρχιτέκτονα και σκοπό την μηδενική ενεργειακή κατανάλωση και την μη επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Αναζητείται λοιπόν, ο βέλτιστος συνδυασμός των υπάρχοντων μέσων, που θα συμβάλλει στο να βελτιωθεί ο σχεδιασμός χωρικά, ενεργειακά και να δημιουργηθεί μια νέα σχέση μεταξύ του χρήστη, του κτιρίου και του άμεσου περιβάλλοντός τους.

## ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ – ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Ως έξυπνα υλικά αναφέρονται συστήματα που έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους ή ορισμένα χαρακτηριστικά τους εξαιτίας μιας διέγερσης. Για την συνέχεια όμως κρίνεται αναγκαία η αποσαφήνιση του όρου «έξυπνα».

Σύμφωνα με τους Addington & Schodek, ο όρος «έξυπνο» υποδηλώνει την αντίληψη μιας ενημερωμένης απόκρισης, με συναφείς ποιότητες εγρήγορσης και ταχύτητας. Η χρήση του όρου υποδεικνύει πράγματι υλικά που έχουν εγγενείς ικανότητες γρήγορης αντίδρασης και κρύβουν μεγάλο ενδιαφέρον καθώς η έμφυτη δύναμή τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν στρατηγικό εργαλείο για την σχεδίαση. Η ιδέα της επιλεκτικής χρήσης τους είναι καινούργια στην αρχιτεκτονική καθώς τα υλικά στο πεδίο του σχεδιασμού σπάνια θεωρούνται ως εκτελεστικά σε άμεσο ή τοπικό ρόλο.

## **Γιατί έξυπνα υλικά;**

Αποτελούν την εξέλιξη στον τομέα των υλικών, της τεχνολογίας. Μπορούν να αλλάξουν σε σχέση με τις εξωτερικές συνθήκες όπως το φως, τη θερμοκρασία με στόχο την ενεργειακή ισορροπία του κτιρίου. Μεγιστοποιούν την ακρίβεια των ενεργειών μέσω ελέγχου από ηλεκτρονικά μέρη και μειώνουν την πολυπλοκότητα.

## **Γιατί στο κέλυφος;**

Για το ανθρώπινο σώμα, το δέρμα δεν είναι απλώς μια εξωτερική επιφάνεια που καλύπτει το σώμα. Είναι ιδιαίτερα πολύτιμο όργανο που προστατεύει τον ανθρώπινο οργανισμό, λειτουργεί αβίαστα ως μια ασπίδα που αντιλαμβάνεται τις εξωτερικές συνθήκες και προφυλάσσει το σώμα, αποτελεί έναν αισθητήρα που διατρέχεται από νεύρα με σκοπό να κρατά τον εγκέφαλο σε επαφή με τον εξωτερικό κόσμο και επιτρέπει την ελεύθερη κίνηση στο σώμα μας.

Το κέλυφος είναι λοιπόν το ανθρώπινο δέρμα του κτιρίου. Η θέση του είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι ενός κτιρίου, στον οποίο όμως δεν δίδεται η απαραίτητη σημασία γιατί το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στον υπόλοιπο σχεδιασμό. Το κέλυφος σε αυτήν την εργασία αποκτά κεντρικό ρόλο γιατί δίνεται έμφαση στον ρόλο του ως «δέρμα», στην κύρια λειτουργία του να απαντά αυτόματα στις αλλαγές όπως συμβαίνει σε κάθε βιολογική διεργασία. Συγχρόνως, αναγνωρίζεται η αξία του στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, στην ποιότητα του αέρα, στην ένωση του εσωτερικού με το εξωτερικό περιβάλλον και φυσικά στον τομέα της αισθητικής.

## **Γιατί θερμική απόδοση και φωτισμός;**

Σε μια εποχή όπου η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και η ελάχιστη δυνατή κατανάλωση αυτής είναι μείζον θέμα, είναι απαραίτητο τα κτίρια που δημιουργούνται να προσανατολίζονται προς αυτή την κατεύθυνση και να υπηρετούν αυτό τον σκοπό. Η ενέργεια που καταναλώνεται για θέρμανση και φωτισμό είναι μεγάλη, επιβαρύνει το περιβάλλον και τον τρόπο ζωής των ανθρώπων αλλά τα ευφυή υλικά με σωστή χρήση και τον κατάλληλο συνδυασμό θα δώσουν σε αυτή την εργασία ένα υπόβαθρο για την εκμετάλλευσή τους σε αυτόν τον τομέα.

## ΟΡΙΣΜΟΙ

Η δημιουργία ενός ακριβούς ορισμού είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Όπως προαναφέρθηκε, τα ευφυή υλικά χαρακτηρίζονται από την ιδιότητά τους που τους επιτρέπει να μεταβάλλουν την συμπεριφορά τους και ορισμένα χαρακτηριστικά τους ως απάντηση ενός εξωτερικού ερεθίσματος. Σε γενικές γραμμές, μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους, τη δομή τους, τη σύστασή τους, ή κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητές τους, με συγκεκριμένο και ελεγχόμενο τρόπο. Οι εξωτερικές διεγέρσεις μπορεί να είναι μεταβολές στην πίεση, τη θερμοκρασία, τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, την υδροστατική πίεση, χημικά προϊόντα, ακτινοβολίες, και άλλα.

Τα έξυπνα υλικά βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορους επιστημονικούς και ερευνητικούς κλάδους μελέτης και εφαρμογής, οι οποίοι επιχειρούν να τα προσδιορίσουν με τον δικό τους τρόπο, με βάση το αντικείμενο ενασχόλησής τους και τους στόχους τους.

- Της τεχνολογίας υλικών

*Έξυπνο υλικό είναι αυτό που μπορεί να εκτελέσει τόσο λειτουργίες αισθητήρων όσο και ενεργοποιητών. Ο ορισμός αυτός επιτρέπει κάποια ευελιξία στην απόφαση πως να χαρακτηριστεί ένα υλικό ως "έξυπνο" αφού οι βασικοί μηχανισμοί λειτουργίας διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των διαφορετικού τύπου έξυπνων υλικών.*

Materials Research Laboratory of Pennsylvania State University

*Έξυπνο υλικό είναι αυτό που έχει μία μοριακή δομή η οποία απαντά με έναν συγκεκριμένο και ελεγχόμενο τρόπο σε επιρροές επάνω του. Αυτές ποικίλουν από μαγνητικά αλλαγμένα υλικά, σε μόρια με μνήμη που επιστρέφουν στην αρχική τους μορφή, σε υλικά τα οποία παράγουν ένα ηλεκτρικό φορτίο όταν πιέζονται, ή στρέφονται ή σκεβρώνουν.*

από την ιστοσελίδα Materials Research Society

- Των θετικών επιστημών (φυσικής, χημείας, βιολογίας)

*Έξυπνα υλικά και κατασκευές είναι αυτά τα αντικείμενα τα οποία αισθάνονται περιβαλλοντικά ερεθίσματα, επεξεργάζονται αυτές τις αισθητήριες πληροφορίες και μετά επιδρούν στο περιβάλλον.*

Encyclopedia of Chemical Technology

Ορισμένοι από τους αυτούς τους τομείς, ορίζουν τα ευφυή υλικά βασιζόμενοι στον τρόπο που θα τα χρησιμοποιήσουν και τις ιδιότητες που θα εκμεταλλευτούν.

- Της αεροδιαστημικής

*Έξυπνα υλικά είναι τα υλικά τα οποία θυμούνται διαμορφώσεις-σχηματισμούς και μπορούν να προσαρμόζονται σε αυτούς όταν τους δίνεται ένα συγκεκριμένο ερέθισμα.*

N.A.S.A. Research Center

- Της διαχείρισης ενέργειας και περιβάλλοντος

*Έξυπνο υλικό είναι ένα υλικό το οποίο αντιδρά στο περιβάλλον από μόνο του. Ορίζουμε ως έξυπνα υλικά τα υλικά που αποτελούν μέρος ενός έξυπνου συστήματος που έχει την ικανότητα να αισθάνεται το περιβάλλον του και τις επιδράσεις του και αν είναι πραγματικά έξυπνο, να ανταποκρίνεται σε αυτό το εξωτερικό ερέθισμα μέσω ενός μηχανισμού ενεργού ελέγχου.*

Institute of Materials, Minerals & Mining

- Της τέχνης

*Έξυπνα είναι τα υλικά που έχουν μία ή περισσότερες ιδιότητες που μπορούν να αλλάξουν σημαντικά, με ελεγχόμενο τρόπο, από εξωτερικά ερεθίσματα όπως η πίεση, η θερμοκρασία, η υγρασία, το PH, τα ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία.*

State of Art Smart Materials, Isfahan Tech

- Των κατασκευών

*Σύμφωνα με τους πρώιμους ορισμούς, έξυπνα υλικά είναι τα υλικά τα οποία ανταποκρίνονται στο περιβάλλον εγκαίρως. Ο ορισμός των έξυπνων υλικών έχει επεκταθεί σε υλικά που λαμβάνουν, διαβιβάζουν ή επεξεργάζονται ένα ερέθισμα και ανταποκρίνονται σε αυτό με την παραγωγή ενός χρήσιμου αποτελέσματος που μπορεί να περιλαμβάνει μία ένδειξη ότι τα υλικά δρουν σε αυτό.*

Mechanical engineers' Handbook: Materials and Mechanical Design by Myer Kutz



Η επαφή μεταξύ υλικών και αρχιτεκτονικής ήταν πάντοτε στενή, αλλά ο 20ος αιώνας αντιπροσώπευσε μια εποχή κατά την οποία τα υλικά και οι τεχνολογίες έλαβαν επιπλέον ρόλους – ιδεολογικούς, διδακτικούς, εικονογραφικούς και τον πιο ρεαλιστικό, αυτόν της διάσωσης μιας βιομηχανίας. Τα υλικά δεν επιλέγονται μόνο για τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται και τον ρόλο που εκτελούν, αλλά και για αυτό που υποδηλώνουν. Ωστόσο, τα έξυπνα υλικά και οι νέες τεχνολογίες θέτουν ένα δίλημμα, διότι οι ατελείωτες δυνατότητες τους εμφανίζουν πολύ λίγους περιορισμούς. Ενώ, αυτή η άποψη φαίνεται να υποστηρίζεται από την έννοια της τεχνολογικής ανάπτυξης και ενώ οι δυνατότητες και οι συμπεριφορές των σύγχρονων υλικών αυξάνονται και εφαρμόζονται σε όλους τους τομείς, η αρχιτεκτονική φαίνεται να παρουσιάζει μια σχετική «ανοσία» στην τεχνολογική εξέλιξη.

## ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

---

Κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από τις ιδιότητες του, οι οποίες διακρίνονται σε εσωτερικές και εξωτερικές.

- Οι **εσωτερικές ιδιότητες** του, που αναφέρονται στην μικροκλίμακα **εξαρτώνται από την εσωτερική μοριακή δομή και τη χημική σύνθεση του υλικού**. Τέτοιες ιδιότητες είναι συνήθως οι χημικές, οι μηχανικές, οι ηλεκτρικές, οι μαγνητικές, οι θερμικές και άλλες. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η σκληρότητα, η αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας αλλά και οι φυσικές του ιδιότητες, όπως η αγωγιμότητα, η ειδική θερμότητα, η πυκνότητα, καθώς και οι χημικές ιδιότητές του, όπως η αντιδραστικότητα, η διαλυτότητα κ.α.
- Οι **εξωτερικές ιδιότητες** του, **εξαρτώνται κυρίως από τα ενεργειακά πεδία του περιβάλλοντός του, την αλληλεπίδρασή του με αυτό, καθώς και από τη μακρο-δομή του υλικού**. Είναι αυτές οι οποίες γίνονται αντιληπτές από τις ανθρώπινες αισθήσεις, όπως το χρώμα, το σχήμα, η υφή, κλπ.

Τα πέντε θεμελιώδη χαρακτηριστικά τα οποία καθιστούν ένα υλικό έξυπνο, και συντελούν στην πιο εύκολη διάκρισή τους από τα παραδοσιακά υλικά που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα στην αρχιτεκτονική, είναι τα εξής:

1. η **αμεσότητα**, δηλαδή να παράγουν ένα άμεσο αποτέλεσμα στο ερέθισμα που δέχονται σε πραγματικό χρόνο,
2. η **παροδικότητα**, δηλαδή η δυνατότητά τους να αποκρίνονται σε περισσότερες από μία περιβαλλοντικές καταστάσεις, σε διαφορετικές συνθήκες και ποικίλα εξωτερικά ερεθίσματα,
3. η **αυτοενεργοποίηση**, η εγγενής ευφυΐα τους να ενεργοποιούν μία αντίδραση σε ένα εξωτερικό ερέθισμα,
4. η **επιλεκτικότητα**, που συνίσταται στο γεγονός ότι η απόκρισή τους είναι ξεχωριστή, ελεγχόμενη και προβλέψιμη, εφόσον είναι προγραμματισμένη από το στάδιο της κατασκευής τους,
5. η **ευθύτητα**, που εντοπίζεται στο γεγονός ότι η απόκρισή τους είναι τοπική στο ενεργοποιητικό ερέθισμα, είναι στοχευόμενη και περιορισμένη.

Ουσιαστικά, οι διαφορές των έξυπνων με τα παραδοσιακά υλικά, με τα πρώτα να κερδίζουν τον ανταγωνισμό, συνοψίζονται ως εξής:

Έξυπνα υλικά	Συμβατικά υλικά
<p><b>μπορεί να είναι:</b>  <b>τρισδιάστατα</b>  <b>(να παρεμβάλλονται στο χώρο),</b>  <b>τετραδιάστατα</b>  <b>(να εξελίσσονται στο χρόνο) ή</b>  <b>και</b>  <b>πενταδιάστατα</b>  <b>(να μεταφέρουν ή να</b>  <b>μεταδίδουν πληροφορία)</b></p>	<p>περιορίζονται στις δύο διαστάσεις,  επομένως τις αντιλαμβανόμαστε ως  επιφάνειες</p>
<p><b>είναι το σημείο τομής δύο</b>  <b>περιβαλλόντων, εσωτερικού και</b>  <b>εξωτερικού</b></p>	<p>λειτουργούν σαν όριο,  αποξενώνοντας τους δύο κόσμους</p>
<p><b>διαθέτουν ικανότητα</b>  <b>αυτοεπιδιόρθωσης,</b>  <b>συνήθως και μεγαλύτερη</b>  <b>αντοχή στον χρόνο</b></p>	<p>πεπερασμένος χρόνος ζωής</p>
<p><b>άμεση κάλυψη των αναγκών</b>  <b>του ανθρώπινου σώματος</b></p>	<p>έμμεση εξασφάλιση των  κατάλληλων συνθηκών για τον  άνθρωπο</p>

## ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΟΜΗ

---

Ένα εξαιρετικά σημαντικό σημείο για την κατανόηση των ιδιοτήτων των υλικών και την ορθή χρήση τους είναι η κατανόηση της μοριακής δομής τους. Όπως όλα τα υλικά, στερεά, υγρά και αέρια, έτσι και τα ευφυή υλικά κατανέμονται στις κύριες κατηγορίες κρυσταλλικής, άμορφης και πολυκρυσταλλικής μοριακής δομής. *Η ακριβής σύνθεση αυτών των διαφορετικών εσωτερικών δομών και οι δυνάμεις συγκόλλησης μεταξύ τους καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις μηχανικές, ηλεκτρικές, χημικές και άλλες ιδιότητες του στερεού υλικού που είναι τόσο σημαντικές στις εφαρμογές σχεδιασμού.* **3** Οι συμπεριφορές τους στις διεγέρσεις που δέχονται από το περιβάλλον, είναι αποτελέσματα διαδικασιών που εκτελούνται στην εσωτερική δομή τους. Η διαδικασία αντιδράσεως στα ερεθίσματα επειδή συμβαίνει αβίαστα, με φυσικό τρόπο, όπως ακριβώς λειτουργεί και η κυτταρική μεμβράνη. **4** Θα μπορούσε σαφώς να θεωρηθεί ταυτόσημη και με τις ενέργειες ενός αισθητήρα, μετατροπέα ή ενεργοποιητή. Υπογραμμίζεται, ότι τα έξυπνα υλικά από τη φύση των ιδιοτήτων τους ανταποκρίνονται με αυτόν τον τρόπο και δεν αποτελούνται από ένα τέτοιο σύνολο οργάνων, παρά μόνο ταυτίζονται.

Μια αλλαγή ιδιότητας σε ένα υλικό μεταβολής ιδιότητας που συμβαίνει ως απάντηση σε ένα εξωτερικό ερέθισμα μπορεί κανονικά να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως αισθητήρας για το ίδιο ερέθισμα. Για παράδειγμα, ένα θερμοχρωμικό υλικό αλλάζει άμεσα το χρώμα του ως απόκριση στην αλλαγή της θερμοκρασίας. Επομένως, μια αλλαγή στο χρώμα ενός υλικού αποτελεί δείκτη της μεταβολής της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου.

Στην κατηγορία των υλικών ανταλλαγής ενέργειας, οι λειτουργίες αισθητήρα και μορφοτροπέα παρέχονται έμφυτα. Κλασσικό παράδειγμα είναι εκείνο των πιεζοηλεκτρικών υλικών, όπου μια δύναμη προκαλεί μηχανική παραμόρφωση η οποία με τη σειρά της προκαλεί ανάπτυξη μιας ηλεκτρικής ενέργειας και αντίστροφα.

Έξυπνα υλικά που χρησιμεύουν ως αισθητήρες, μορφοτροπείς ή ενεργοποιητές έχουν την δυνατότητα να σχηματίσουν ένα ολόκληρο σύστημα το οποίο μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να ελεγχθεί ώστε να παράγει μια δομή με λειτουργίες και ιδιότητες που πλησιάζουν αυτές ενός ζωντανού οργανισμού, που μιμείται και το ανθρώπινο νευρολογικό σύστημα.

Στόχος των επιστημόνων είναι τελικά, όλες οι επιμέρους διαδικασίες, να πραγματοποιούνται όσο το δυνατόν στο εσωτερικό του υλικού, πλησιάζοντας όλο και περισσότερο στο βιολογικό μοντέλο. **5**

- 
3. Addington, M., & Schodek, D., *Smart materials and Technologies for the architecture and design professions*, Architectural Press, Elsevier, Oxford, 2005, σελ. 31.
  4. Όλοι οι έμβιοι οργανισμοί, από τους πιο απλούς μέχρι τους πιο σύνθετους, αποτελούνται από ένα ή περισσότερα κύτταρα. Το πιο σημαντικό μέρος αυτών, είναι η κυτταρική μεμβράνη (κ.μ.). Η κ.μ. αποτελεί το λεπτό σύνορο ανάμεσα στην άβια ύλη και τη ζωή. Το κέλυφος του κτηρίου απαιτείται πλέον να παίζει πιο διαδραστικό ρόλο ανάμεσα στους ενοίκους του σπιτιού και το εξωτερικό περιβάλλον, για την καλύτερη εξυπηρέτηση των πρώτων, ακριβώς όπως η κ.μ..
  5. Αρνέλλου, Ζ., Μπέρκη, Α., Σαραντινούδη, Π., *Smart Materials*, Ε.Μ.Π. Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αθήνα, 2012.

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΚΛΑΔΟΥΣ

---

Ο κλάδος των ευφυών υλικών είναι ένας τομέας που παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον, με ραγδαία εξέλιξη και επέκταση σε πολλούς τομείς της καθημερινότητάς μας. Κλάδοι όπως :

- των **μεταφορών** (στρατιωτική αεροπορία με έξυπνα δέρματα αεροσκαφών, αυτοκινητοβιομηχανία με αυτόματο φωτισμό και έξυπνους αερόσακους, ναυτιλία με χάλυβες ειδικής αντοχής)
- της **αεροδιαστημικής** (Διαστημικό Τηλεσκόπιο Νέας Γενιάς)
- της **αεροπλοΐας**
- του **αθλητισμού**
- της **ναυσιπλοΐας** (μείωση της δόνησης σε πλοίο, μέτρηση της τάνυσης σε ένα σύνθετο πηδάλιο)
- της **ιατρικής** (εμφυτεύματα, εξωτερικές βοηθητικές τεχνολογίες)
- της **κατασκευαστικής** (εποπτεία της ποιότητας της κατασκευής, έλεγχος της δόνησης)
- της **νανοτεχνολογίας**
- της **ένδυσης**
- της **τέχνης**

δημιουργούν, καινοτομούν και παρουσιάζουν τεχνολογίες βασισμένες αποκλειστικά στις ιδιαίτερες ιδιότητες των έξυπνων υλικών.

Στο πεδίο της αρχιτεκτονικής και γενικότερα των κατασκευών έχουμε εφαρμογές όπως:

- γέφυρες με αισθητήρες, οπτικές ίνες αλλά και με κινούμενα στοιχεία για την αντιμετώπιση βίαιων δονήσεων,
- κατασκευές με ενεργή απόσβεση ταλαντώσεων, δονήσεων και κραδασμών,
- ενσωματωμένους αισθητήρες για αναγνώριση και επιδιόρθωση ζημιών σε μεγάλες αστικές κατασκευές,
- αισθητήρες θεορύβου, κίνησης και μεταβολών θερμοκρασίας για έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών, κλπ.

**Στον τομέα αυτό σημαντικό ρόλο παίζουν η επίτευξη της ασφάλειας, η κάλυψη βασικών αναγκών και επιθυμιών, αλλά και η αλληλεπίδραση των “ζωντανών” κατασκευών με το χρήστη.**

## ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

Τα έξυπνα υλικά, αν και ανήκουν σε μια κατηγορία υλικών, παρουσιάζουν διαφορές και ομοιότητες μεταξύ τους. Παρόλα αυτά, ένας γενικός εσωτερικός διαχωρισμός που μπορεί να εφαρμοστεί, βασίζεται σε τέσσερα θεμελιώδη χαρακτηριστικά των έξυπνων υλικών, που τα ομαδοποιεί ως εξής:

1. **Δυνατότητα μεταβολής ιδιότητας**  
Η μεταβολή μιας ιδιότητας του υλικού ως απόκριση σε ένα εξωτερικό ερέθισμα. (χρωμικά – ηλεκτροχρωμικά, θερμοχρωμικά)
2. **Δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας**  
Η ικανότητά τους να μετατρέπουν την ενέργεια που δέχονται από το περιβάλλον σε ενέργεια άλλης μορφής και να την διοχετεύουν σ' αυτό. (Πιεζοηλεκτρικά, φωτοβολταϊκά)
3. **Διακριτό μέγεθος/θέση**  
Η μικρή κλίμακα, η τοποθέτησή τους στις πιο κατάλληλες θέσεις και οι ελάχιστες απαιτήσεις υποστήριξης.
4. **Αντιστρεψιμότητα**  
Η ιδιαιτερότητά τους να αντιστρέφεται ο ρόλος της εισροής (ερέθισμα), και της παραγωγής ενέργειας (αντίδραση, αποτέλεσμα).

Η κατανόηση της ιδιαιτερότητας και η αξιοποίηση των δυνατοτήτων των έξυπνων υλικών είναι ένα κρίσιμο σημείο, γι' αυτό και απαιτεί τον διαχωρισμό τους σε κατηγοριοποιήσεις. Οι ταξινομήσεις μπορούν να είναι αμέτρητες, αντίστοιχες με τα κριτήρια που θέτονται κάθε φορά. Στην εργασία αυτή, θα αναφερθούμε στον διαχωρισμό που γίνεται με κριτήριο την ενεργειακή αντίδραση των υλικών.

Κάθε υλικό, σε κάθε περίπτωση, περιβάλλεται από ένα ενεργειακό περιβάλλον, με αποτέλεσμα την έκθεση του στις ευρύτερες περιβαλλοντικές συνθήκες και την απορρόφηση σημαντικής ενέργειας. Ανάλογα με τον τρόπο που το έξυπνο υλικό αντιδρά, δέχεται, επεξεργάζεται και εκμεταλλεύεται την εισερχόμενη ενέργεια, προκύπτουν δύο διαφορετικοί μηχανισμοί λειτουργίας, στους οποίους βασίζεται και η ταξινόμηση των υλικών σε δύο κατηγορίες, τα υλικά μεταβολής ιδιοτήτων (Τύπος I) και τα υλικά ανταλλαγής ενέργειας (Τύπος II).

## Τύπος Ι – Υλικά Μεταβολής Ιδιότητας

Στον τύπο Ι ανήκουν τα υλικά που υφίστανται αλλαγές σε μία ή περισσότερες από τις ιδιότητές τους σε άμεση απόκριση ενός εξωτερικού ερεθίσματος συσχετιζόμενο με το περιβάλλον που περιβάλλει το υλικό. Η εισερχόμενη ενέργεια **επιδρά στην εσωτερική ενεργειακή κατάσταση του υλικού μεταβάλλοντας την μοριακή δομή του**, με συνέπεια την αλλαγή σε κάποια από τις ιδιότητες του υλικού. Η μεταβολή είναι άμεση και αναστρέψιμη, χωρίς να δημιουργείται η ανάγκη για εξωτερικό σύστημα ελέγχου. Το ίδιο το υλικό λειτουργεί ταυτόχρονα και σαν αισθητήρας και σαν ενεργοποιητής, ελαχιστοποιώντας το συνολικό κόστος εφαρμογής και συντήρησης του συστήματος. <sup>6</sup> Οι μεταβαλλόμενες ιδιότητες μπορεί να είναι εγγενείς ή εξωγενείς στο υλικό, επηρεάζοντας είτε μόνο την μικροδομή του είτε και την εξωτερική του εμφάνιση. Οι εσωτερικές ιδιότητες εξαρτώνται από την εσωτερική δομή και σύνθεση του υλικού. Πολλές από τις χημικές, μηχανικές, ηλεκτρικές, μαγνητικές και θερμικές ιδιότητες ενός υλικού είναι συνήθως εγγενείς. Οι εξωτερικές ιδιότητες εξαρτώνται από άλλους παράγοντες. Το χρώμα ενός υλικού, για παράδειγμα, εξαρτάται από τη φύση του εξωτερικού φωτός όσο και από την μικρο-δομή του υλικού που εκτίθεται στο φως.

Μερικά από τα κοινά είδη τέτοιων υλικών είναι:

- Χρωμικά (θερμοχρωμικά, φωτοχρωμικά, μηχανοχρωμικά, ηλεκτροχρωμικά)
- Αλλαγής φάσης
- Πολυμερή που αυτοθεραπεύονται
- Θερμοτροπικά
- Κράματα με μνήμη σχήματος

---

6. Ουγγρίνης, Κ. Α., *Μεταβαλλόμενη Αρχιτεκτονική: Κίνηση - Προσαρμογή – Ευελιξία*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, 2012, σελ. 353.



## Τύπος II – Υλικά Ανταλλαγής Ενέργειας

Σε αυτήν την περίπτωση δεν αλλάζει η μορφή του υλικού αλλά η ενεργειακή του κατάσταση. **Η εισερχόμενη ενέργεια** στον συγκεκριμένο τύπο υλικών δεν μπορεί να προκαλέσει οποιαδήποτε μεταβολή στο ίδιο το υλικό, με αποτέλεσμα να **αυξάνει το ενεργειακό του επίπεδο**. Καθώς τα άτομα του υλικού αδυνατούν να διατηρηθούν για πολύ χρόνο σε αυτή την κατάσταση, πρέπει να απελευθερώσουν την ενέργεια που έλαβαν. Έτσι, την μετασχηματίζουν σε εξαγόμενη ενέργεια άλλης μορφής, άμεσα και αντιστρέψιμα. Στα συμβατικά υλικά, η απελευθέρωση της επιπλέον ενέργειας γίνεται, συνήθως, με τη μορφή θερμότητας. Τα έξυπνα υλικά του τύπου II διακρίνονται για την ικανότητά τους να απελευθερώνουν την ενέργεια σε πιο εύχρηστη μορφή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα φωτοβολταϊκά.

Τα πιο γνωστά έξυπνα υλικά που ανταλλάσσουν ενέργεια είναι:

- Υλικά εκπομπής φωτός
- Πιεζοηλεκτρικά
- Ηλεκτροστατικά
- Θερμοηλεκτρικά
- Φωτοβολταϊκά

## **\_2 ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ**

Το κέλυφος είναι το σημαντικότερο στοιχείο ενός κτιρίου καθώς είναι αυτό που αναλαμβάνει την ευθύνη σε μεγάλο βαθμό για να προσφέρει τις κατάλληλες συνθήκες άνεσης και προστασίας για τον χρήστη. Το κτιριακό κέλυφος έχει τον ρόλο του διαμεσολαβητή μεταξύ του εσωτερικού χώρου και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Τα τελευταία χρόνια όμως, η εκτεταμένη χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού συντέλεσε στην υποβάθμιση του παραπάνω ρόλου, καθιστώντας το όριο.

Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και για προστασία του περιβάλλοντος, φέρνει και πάλι στο προσκήνιο το κέλυφος του κτιρίου με τη χρήση της επιδερμίδας. Βασικός στόχος είναι, μέσω των ευφυών υλικών και των μοναδικών ιδιοτήτων τους, το κτίριο να προστατεύει τον εσωτερικό χώρο από τις διάφορες εποχιακές κλιματικές συνθήκες, αντιδρώντας στα εξωτερικά ερεθίσματα, συμβάλλοντας στην βελτίωση της ενεργειακής ισορροπίας, προσδίδοντας χρώμα και υφή, προσαρμοζόμενο και μεταβαλλόμενο, όπως λειτουργεί και η επιδερμίδα των ζωντανών οργανισμών.

Επομένως, στο κεφάλαιο αυτό επιλέγονται 8 έξυπνα υλικά με κριτήριο την εφαρμογή τους στο κέλυφος με σκοπό την θερμική απόδοση του κτιρίου και τον φωτισμό του, περιγράφονται οι ιδιότητες τους, ακολουθεί μια προσπάθεια προσέγγισης της αισθητικής τους και τέλος αναφέρεται κάποιο χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του εκάστοτε υλικού.

## Οδηγός αξιολόγησης των έξυπνων υλικών.

### Τεχνολογική Ωριμότητα

Η Τεχνολογική Ωριμότητα είναι ένα διεθνές σύστημα μέτρησης της ετοιμότητας μιας εφαρμογής.

*Εύρος:* κλίμακα 1-9

- TRL 1 – παρατήρηση βασικών αρχών
- TRL 2 – διατύπωση τεχνολογικής έννοιας
- TRL 3 - πειραματική απόδειξη της έννοιας
- TRL 4 - εργαστηριακά επικυρωμένη τεχνολογία
- TRL 5 - τεχνολογία επικυρωμένη σε σχετικό περιβάλλον
- TRL 6 – επίδειξη τεχνολογίας σε σχετικό περιβάλλον
- TRL 7 - επίδειξη πρωτότυπου συστήματος σε επιχειρησιακό περιβάλλον
- TRL 8 - σύστημα πλήρες και εξειδικευμένο
- TRL 9 - πραγματικό σύστημα λειτουργικό σε επιχειρησιακό περιβάλλον

Στη λίστα των υλικών της εργασίας, αυτό αποτυπώνεται ως εξής:

1_SmartWrap.....	9
2_Ηλεκτροχρωμικά.....	9
3_Θερμοδιμεταλλικά ελάσματα.....	8
4_Θερμοτροπικά.....	5
5_Κράματα μνήμης σχήματος.....	4
6_Πιεζοηλεκτρικά.....	9
7_Υλικά αλλαγής φάσης GLASSX.....	9
8_Φωσφορίζοντα.....	9

### Επεξήγηση εικονιδίων



Ελαφρύ



Ευκολία  
εγκατάστασης



Διάρκεια ζωής



Αντοχή στη  
θερμότητα




Ανακυκλώσιμο



UV Αντίσταση

## Οδηγός αξιολόγησης εφαρμογών των έξυπνων υλικών.

Κατηγορία: Φως 

### Διάχυση φωτός

Η εισροή φωτός στο ορατό φάσμα.

*Εύρος:* κλίμακα 0-10

Όπου 10, η απόλυτη εισροή φωτός στο χώρο, έντασης ίδιας με την πηγή φωτός.

Όπου 0, η παρεμπόδιση της εισροής φωτός στο χώρο, το άνοιγμα λειτουργεί σαν τοίχος.

### Διαφάνεια φωτός


Η προβολή της εξωτερικής θέασης.

*Εύρος κλιμάκωσης:* χαμηλή, μέση, υψηλή


### Αντανακλαστικότητα

Η αντανάκλαση του ορατού φωτός στο εξωτερικό περιβάλλον.

*Εκτιμώμενο εύρος:* χαμηλή, μέση, υψηλή

Κατηγορία: Θερμότητα 

Στην συγκεκριμένη ενότητα δεν θα συγκρίνουμε αν η θερμότητα του χώρου είναι χαμηλή/υψηλή με την χρήση του υλικού αλλά αν η χρήση του έχει αντίκτυπο στην θερμομόνωση του κτιρίου ή αποτελεί αποκλειστικά αισθητικό αποτέλεσμα.

Κατηγορία: Σύνολο 

### Κόστος

Αξιολόγηση του συνολικού κόστους του συστήματος.

*Εύρος κλιμάκωσης:* €: χαμηλό, €€: μεσαίο, €€€: υψηλό

### Αισθητική – γεωμετρία

Το κριτήριο αυτό αποσκοπεί στην μέτρηση του βαθμού πολυπλοκότητας σε επίπεδο σχημάτων - χρωμάτων.

*Εύρος:* βασική γεωμετρία, ενδιάμεση πολυπλοκότητα, τοπολογική γεωμετρία

### Εξοικονόμηση ενέργειας

Το συγκεκριμένο κριτήριο εκφράζεται ως ποσοστό της συνολικής ενέργειας του κτιρίου και αποσκοπεί στην μέτρηση της μείωσης της καταναλώμενης έως τώρα ενέργειας.

## SmartWrap



### Πρώτη Προσέγγιση:



Το SmartWrap είναι ένα νέο επαναστατικό υλικό που αντιπροσωπεύει την σύγχρονη τεχνολογία για την επιδερμίδα των κτιρίων, δραστικά αντίθετη στα σημερινά δεδομένα. Πρόκειται για μια λεπτή πλαστική μεμβράνη που ενεργεί σαν ένας ευφυής τοίχος, ενσωματώνοντας τις τρέχουσες λειτουργίες ενός συμβατικού και συνδυάζοντάς τες σε ένα, υψηλής τεχνολογίας, σύνθετο υλικό. Έχει την δυνατότητα να παρέχει καταφύγιο, κλιματικό έλεγχο, φωτισμό και προβολή πληροφοριών καθώς και παραγωγή ενέργειας.

Είναι **προσαρμόσιμο, ελαφρύ, βιώσιμο και απείρωσ επαναχρησιμοποιήσιμο** υλικό πολλαπλών στρώσεων, **λίγων μόλις χιλιοστών σε πάχος**, το οποίο μπορεί να τυλιγεται γύρω από το δομικό πλαίσιο του κτιρίου.

Εφαρμόζεται τόσο σε κατοικίες όσο και σε δημόσια κτίρια, σε μικρή ή μεγάλη κλίμακα, και καταδεικνύει μια ολοκληρωμένη χρήση της νανοτεχνολογίας, η οποία μπορεί να προσαρμοστεί για συγκεκριμένες συνθήκες. Επίσης, θα μπορούσε να αποδειχθεί χρήσιμο για την οικοδόμηση στις αναπτυσσόμενες χώρες και τις περιοχές που επλήγησαν από φυσικές καταστροφές.

### Κύρια Γνωρίσματα:

Η κτιριακή, αυτή, επιδερμίδα **αποτελείται από τέσσερα λειτουργικά στρώματα τεντωμένα σε ένα πλαίσιο αλουμινίου.**

- Η εξωτερική επιφάνεια του πετάσματος αποτελείται από ένα **διαφανές, ελαστικό, άχρωμο, οικονομικό τереφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) με υψηλή μηχανική αντοχή**, που προστατεύει από τις καιρικές συνθήκες.
- Ακολουθεί ένα εσωτερικό στρώμα PET με **ενσωματωμένα υλικά αλλαγής φάσης** για μίμηση της θερμικής μάζας και λειτουργία του σαν θερμικός ρυθμιστής, που είναι εξοπλισμένο με οργανικά **φωτοβολταϊκά κύτταρα (OPV)** για συλλογή και μετατροπή της ηλιακής ενέργειας, **μπαταρίες** σε μορφή λεπτής μεμβράνης για την αποθήκευση της ενέργειας, **κυκλώματα** (και οργανικά τρανζίστορ) για την διανομή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, **οργανικές**

**δίοδοι εκπομπής φωτός (OLED)** για φωτισμό και προβολή πληροφορίας.

- Η προστασία από τον ήλιο και την θερμότητα γίνεται με **χρωμικά υλικά** στο επόμενο εσωτερικό στρώμα PET, το οποίο καταλήγει και στο τελευταίο εσωτερικό υπόστρωμα.

Μια εξαεριζόμενη κοιλότητα υπάρχει μεταξύ των στρωμάτων αυτών για να αποθηκεύει την θερμότητα το χειμώνα και να επιταχύνει τον εξαερισμό το καλοκαίρι, μειώνοντας την ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου.

Αυτή η πολυεπίπεδη διάταξη επιτυγχάνει τη θερμική αντίσταση ενός μονωμένου τοίχου κοιλότητας 40 εκατοστών από τσιμεντόλιθους, σε περίπου 1 εκατοστό του βάρους.

Η τεχνολογία του SmartWrap, έχει σχεδιαστεί για να πραγματοποιήσει **σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη** και:

- **επιτρέπει τον προγραμματισμό και επαναπρογραμματισμό του κτιρίου** γρήγορα και ανέξοδα με στόχο την προσαρμογή του στις μεταβαλλόμενες ανάγκες και τις προτιμήσεις των ανθρώπων,
- είναι **φορητό**, με ταχύτατη μεταφορά και εγκατάσταση,
- **αποθηκεύει σε τεράστιο βαθμό θέρμανση / ψύξη / ενέργεια**,
- εξαλείφει την ανάγκη για περιβαλλοντική καταστροφή, ογκώδη και οικοδομικά υλικά,
- είναι **ελαφρύ**, με αποτέλεσμα χαμηλότερη συνολική ενσωματωμένη ενέργεια σε σύγκριση με το γυαλί,
- **παρουσιάζει λεπτότητα στα αποτελεσμάτα του** σε επιφάνειες μεγάλου εμβαδού με ελάχιστο όγκο του υλικού σε σχέση με τα αποτελέσματα του γυαλιού,
- στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του, **μπορεί εύκολα να αποσυναρμολογηθεί και να τροφοδοτηθεί σε ένα ρεύμα ανακύκλωσης.**

Πώς κατασκευάζεται το SmartWrap:

1. Πρώτα δημιουργείται η βάση από σύνθετο υλικό PET και ενώνεται με τους νανοσωλήνες άνθρακα που παρέχουν ακαμψία στο τοίχωμα και αντοχή.
2. Στη συνέχεια εκτυπώνεται το κύκλωμα TFT (τρανζίστορ λεπτής μεμβράνης) που ελέγχει το κύκλωμα για τα OLEDs.
3. Τυπώνονται τα OLEDs.
4. Στη συνέχεια, εκτυπώνονται οι κόκκοι PCM.
5. Και τέλος, τυπώνονται τα φωτοβολταϊκά.

Τα διάφορα ηλεκτρονικά συστήματα εφαρμόζονται πάνω στο διαφανές PET με κύλιση και εκτύπωση.

## Αισθητική:

Το SmartWrap, είναι μια νέα τεχνολογία στον τομέα της αρχιτεκτονικής που παρουσιάζει πολλά και σημαντικά πλεονεκτήματα τόσο σε θέματα κατασκευαστικών μεθόδων όσο και σε θέματα αισθητικής. Η συγκεκριμένη τεχνική επιτυγχάνει να δώσει λύση σε αρκετά ζητήματα που απασχολούν, συγκεράζοντας τις ιδιότητες ενός τοίχου με την διαφάνεια που προσφέρει ένα άνοιγμα. Είναι μια νέα και σπάνια τεχνολογία με προδιαγραφές για μια βιώσιμη και προσιτή επιλογή για την κατασκευή κτιρίων με έξυπνα κελύφη.

- Εξωτερικά:

Η εξωτερική επιφάνεια του υλικού είναι ένα άχρωμο, διαφανές, στατικό πλαστικό (PET), το οποίο έρχεται να δώσει μια νέα διάσταση στην υπόσταση του κελύφους του κτιρίου. **Το PET αντανakλά σε ένα βαθμό την προσπίπτουσα ακτινοβολία, έτσι αναμειγνύεται η πραγματική εικόνα με την εικόνα μιας αντανάκλασης.** Η τελευταία δεν έχει μεγάλη ένταση αλλά καταφέρει να δημιουργήσει μια ειδυλλιακή ατμόσφαιρα, μια πρόσοψη που συσχετίζει εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον, ρεαλιστικό και ουτοπικό παρόν, δημιουργεί νοητικές και φανταστικές εικόνες, περιπλέκοντας τις αισθήσεις του χρήστη. *«Αν ακολούθως κοιτάζουμε έναν άνθρωπο μέσα από δύο υαλωμένα πλάνα, δεν ξέρουμε ποτέ αν βλέπουμε τον άνθρωπο μέσα από διαφάνεια, μπροστά, πίσω ή την αντανάκλαση του ανθρώπου».* **1** Η λάμψη του φωτός που προσπίπτει στο περίβλημα αυτό, του προσδίδει ένα φωτεινό χαρακτήρα, κάνοντάς το μια ήπιας έντασης αλλά αυτόνομη πηγή φωτός για το εγγύς περιβάλλον του.

Το εξωτερικό στρώμα PET αποτελείται από διάφορα μικρότερα έξυπνα υλικά στην κλίμακα του ανθρώπου. Αν και οι διαστάσεις τους μπορούν να μεταβληθούν, αυτά δημιουργούν μια συγκινησιακή σχέση με τον χρήστη γιατί η θέση και ο ρόλος των υλικών αυτών πάνω στο κέλυφος, **θυμίζουν φύλλα ενός δέντρου, που λειτουργούν για να το προστατεύουν, για να φωτοσυνθέτουν, για να το ομορφαίνουν και να το κάνουν ξεχωριστό.** Έτσι ο χρήστης αισθάνεται το μέτρο μιας τάξης, *αισθάνεται ότι βρίσκεται σε συμφωνία με την τάξη του κόσμου.* **2**

- Εσωτερικά:

Όσον αφορά το εσωτερικό του κτιρίου, κυριαρχεί η αίσθηση του ανοιχτού χώρου. Η διαφάνεια του υλικού επιτυγχάνει την καλύτερη δυνατή ένωση του εσωτερικού με τον εξωτερικό κόσμο. Ο χρήστης έρχεται πιο κοντά με το αντικείμενο σαν να μην υπάρχει κανένα εμπόδιο στην οπτική σχέση που έχει αναπτύξει μαζί του. *Βασισμένο στο πνεύμα του Διαφωτισμού, είναι ένα είδος φωτός που εκθέτει τα*



*πράγματα στο μάτι και την διάνοια, και αντικατοπτρίζει τα αντικείμενα όσο το δυνατόν πληρέστερα. **3***

Όσον αφορά τα έξυπνα υλικά που εφαρμόζονται πάνω στο διαφανές υλικό, το μέγεθος και η συχνότητά τους μπορούν να καθορίσουν την προστασία της ιδιωτικής ζωής, το καδράρισμα του εξωτερικού περιβάλλοντος, την καλύτερη θέα του χρήστη από μέσα προς τα έξω και αντίστροφα, καθώς και πόσο διαφανής-αδιαφανής μπορεί να είναι ο τοίχος. Ως προς την γεωμετρία, συνηθίζονται τα ορθογωνικά σχήματα.

## Εφαρμογές:

### KieranTimberlake, Cellophane House™, The Museum of Modern Art, Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling exhibit, New York, 2008

Το συγκεκριμένο project εφαρμόζει πρωτοπορία στην σκέψη, πειραματισμό, δυναμικότητα και μια λύση που επιλύει πολλά προβλήματα στον σύγχρονο σχεδιασμό.

Η ψυχή του σπιτιού αυτού είναι η νέα τεχνολογία SmartWrap, η οποία ακολουθώντας την φύση και ταυτόχρονα την εξέλιξη των επιστημών, παρουσιάζει την ιδέα ενός νέου τοίχου. Αποτελείται από πολλά υλικά, συμβατικά και ευφυή, αξιοποιώντας τις δυνατότητές τους στο μέγιστο και επιτυγχάνοντας την θερμική και οπτική άνεση στο εσωτερικό του χώρου.

*Το σημαντικότερο, ίσως, για την εφαρμογή αυτή είναι πως πρόκειται για μια συνολική αντιμετώπιση όλων των λειτουργιών της όψης με τη χρήση ποικίλων έξυπνων υλικών σε συνδυασμό. 4*

Το περίπτερο αυτό δίνει επίσης έμφαση στην υλικότητα, οδηγώντας σε μια πιο βιωματική σχέση μεταξύ του ανθρώπου και του χώρου (επιφάνειες, σχήματα, υλικά), εξασφαλίζοντας την ουσιαστικότερη αντίληψή του.



1. Jean Nouvel.
2. Le Corbusier, *Για μια αρχιτεκτονική*, μετάφραση Παναγιώτης Τουρνικιώτης, εκδόσεις Εκκρεμές, Αθήνα, 2004, σελίδα xxv.
3. Plummer Henry, *The Architecture of Natural Light*, Thames and Hudson, Monacelli Press, 2009, σελ.82.
4. Αρνέλλου, Ζ., Μπέρκη, Α., Σαραντινούδη, Π., *Smart Materials*, Ε.Μ.Π. Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αθήνα, 2012.



Εικόνα 1 \_ Το παράδειγμα SmartWrap

## Ηλεκτροχρωμικά Υλικά



### Πρώτη Προσέγγιση:



Τα ηλεκτροχρωμικά υλικά ανήκουν στην κατηγορία των υλικών χρωμικής μεταβολής. Στην κατηγορία αυτή *τα υλικά δεν αλλάζουν πραγματικά χρώμα αλλά τη δομή της επιφάνειάς τους ώστε να μεταβάλλεται ο τρόπος με τον οποίο απορροφούν, αντανακλούν ή διαχέουν το φως, ή καλύτερα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που συνθέτουν το ορατό φως.* **5** Η μεταβολή του χρώματός τους είναι αποτέλεσμα διάφορων περιβαλλοντικών ερεθισμάτων.

**Ο ηλεκτροχρωμισμός ορίζεται ευρέως σαν μια αναστρέψιμη μεταβολή χρώματος ενός υλικού που προκαλείται από την εφαρμογή ενός εναλλασσόμενου ρεύματος.** Ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο, για παράδειγμα γίνεται σκοτεινό ή φωτεινό ηλεκτρονικά. Μια μικρή τάση κάνει το φωτεινό υλικό να γίνεται σκοτεινό, και αντιστρέφοντας την τάση το κάνει να φωτίζεται.

### Κύρια Γνωρίσματα:

Η μεταβολή του χρώματος σε ένα ηλεκτροχρωμικό υλικό είναι αποτέλεσμα μιας μεταβολής που προκαλείται στην δομή του υλικού. **Ανάλογα με την κρυσταλλική ή μοριακή δομή του υλικού, το φως που επιχειρεί να περάσει μέσα μπορεί να ανακατευθυνθεί, να απορροφηθεί ή να μετατραπεί σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας.** Η ακριβής δομή του υλικού θα καθορίσει ποια από αυτές τις πιθανές ενέργειες θα συμβεί, και έπειτα θα καθορίσει ποια μήκη κύματος του φωτός θα μεταβληθούν και θα προκαλέσουν την οπτική χρωματική αλλαγή. **Όταν η εξωτερική πηγή ενέργειας που επηρεάζει το υλικό σταματήσει τη δράση της, αυτό επιστρέφει στην προηγούμενη κατάσταση.**

Λεπτές μεμβράνες, επιχρίσματα και χρώματα θα καθορίσουν την απόκριση στο φως, περισσότερο από το υπόστρωμα. Επικαλύψεις χαμηλής εκπομπής και μια διαμορφωμένη μονωτική γυάλινη μονάδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της μεταφοράς θερμότητας προς το εσωτερικό.

## Λειτουργική περιγραφή

Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες υλικών που αλλάζουν χρώμα όταν ενεργοποιούνται με ηλεκτρισμό: τα ηλεκτροχρωμικά, τα υγρά κρύσταλλα και τα αιωρούμενα σωματίδια. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα, χρησιμοποιούνται στρώματα διαφορετικών υλικών που εξυπηρετούν διαφορετικές άκρες.

Τα βασικά υλικά μέσα σε ένα ηλεκτροχρωμικό παράθυρο είναι:

- Γυαλί
- Διαφανής αγωγός διεξαγωγής οξειδίου
- Πρώτο στρώμα ηλεκτροχρωμικού υλικού
- Πολυμερές φύλλο διεξαγωγής ιόντων
- Στρώμα αποθήκευσης ιόντων
- Ένα δεύτερο στρώμα διαφανούς αγωγού διεξαγωγής οξειδίου
- Γυαλί

Εν συντομία,

- τα ιόντα του υδρογόνου ή του λιθίου μεταφέρονται από ένα στρώμα αποθήκης ιόντων μέσω ενός αγωγίμου στρώματος ιόντος, και διαχέονται σε ένα ηλεκτροχρωμικό στρώμα. Το ηλεκτροχρωμικό στρώμα είναι συχνά οξείδιο βολφραμίου (WO<sub>3</sub>). Μεταβάλλονται έτσι οι οπτικές ιδιότητες του ηλεκτροχρωμικού στρώματος, επιφέροντας την απορρόφηση από αυτό ορισμένων ορατών μηκών κύματος φωτός. Σ' αυτήν την περίπτωση, το γυαλί γίνεται σκοτεινό.
- Αντιστρέφοντας την τάση τα ιόντα οδηγούνται έξω από το ηλεκτροχρωμικό στρώμα στην αντίθετη κατεύθυνση (δια μέσου του αγωγίμου στρώματος μέσα στο αποθηκευτικό στρώμα), καθιστώντας έτσι το γυαλί φωτεινό.

**Η διαδικασία είναι σχετικά αργή και απαιτεί σταθερή πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος.**

**Όταν ο ήλιος δύει ή τα σύννεφα καλύπτουν τον ουρανό, το σύστημα θα κάνει τα παράθυρα πάλι διαφανή, μεγιστοποιώντας το φως της ημέρας και τη μείωση της χρήσης του ηλεκτρικού φωτισμού.** Για παράδειγμα, τροφοδοτώντας 2.000 τετραγωνικά πόδια με ηλεκτροχρωμικό γυαλί, που ισοδυναμεί με περισσότερα από 100 παράθυρα, απαιτείται λιγότερη ενέργεια από ό,τι φωτίζοντας μια λάμπα 60 watt.

## Πλεονεκτήματα

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων είναι:

- Η **χαμηλή τάση** (1-5V),
- Η **διαφάνειά** τους σε όλο το φάσμα μεταγωγής,
- Η ικανότητά τους να διαμορφώνονται σε ενδιάμεσες καταστάσεις μεταξύ των δυο ορίων (φορτισμένο - αφόρτιστο).
- Ανώτερο ορατό φάσμα διαπερατότητας των 0,50 - 0,70 και ένα χαμηλότερο εύρος των 0,02 - 0,25.
- Ο **συντελεστής κέρδους ηλιακής θερμότητας** κυμαίνεται μεταξύ 0,10 - 0,50.  
Μια χαμηλή μετάδοση είναι επιθυμητή για προστασία της ιδιωτικής ζωής κατά τη διάρκεια της ημέρας και για τον έλεγχο του άμεσου και το έντονο φως, ενδεχομένως εξαλείφοντας την ανάγκη για εσωτερική σκίαση.  
Μια υψηλή μετάδοση είναι επιθυμητή κατά τη διάρκεια της ημέρας που ο ήλιος δεν λάμπει άμεσα στο χώρο, κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων περιόδων και για παθητική ηλιακή θέρμανση το χειμώνα.  
 Ως εκ τούτου, όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος του συντελεστή, τόσο το παράθυρο είναι πιο ικανό να ικανοποιήσει ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών απαιτήσεων.
- Η **μείωση της μετάδοσης του φωτός** έως και κατά 70%,
- Πλήρης χρωματισμός ή λεύκανση των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων μπορεί να **επιτευχθεί** σε κλίμακες χρόνου **μεταξύ 2 δευτερολέπτων και 10 λεπτών.**
- Πλήθος από διαφορετικά χρώματα (π.χ. μπλε, πράσινο, κόκκινο, καφέ, μοβ, γκρι).

Το παράθυρο είναι συνδεδεμένο σε ένα σύστημα ελέγχου χαμηλής τάσης και μπορεί να τροφοδοτηθεί χρησιμοποιώντας:

- το ηλεκτρικό σύστημα του κτιρίου,
- φωτοβολταϊκά κύτταρα για να αποφευχθεί το κόστος της καλωδίωσης στο γυαλί,

και λειτουργεί με:

- χειροκίνητο διακόπτη ή τηλεχειριστήριο,
- απλό αυτόνομο αυτόματο σύστημα, ή
- εξελιγμένο κεντρικό σύστημα διαχείρισης ενέργειας που ενσωματώνει τη λειτουργία του με άλλα συστήματα του κτιρίου, όπως ο ηλεκτροφωτισμός και μηχανικό σύστημα.

## Αισθητική:

Το φως καθορίζει την σχέση εσωτερικού και εξωτερικού. Ο εσωτερικός χώρος υπάρχει για να μας προστατεύσει από τις εξωτερικές συνθήκες, όπως από την θάμβωση του ήλιου και είναι πολύ δύσκολο να κατασκευαστεί τοίχος που να προσφέρει ταυτόχρονα άνετες συνθήκες φωτισμού, θέρμανσης και χρήσης χώρου στο εσωτερικό. Με την χρήση ηλεκτροχρωμικού γυαλιού επιτυγχάνεται η βέλτιστη ισορροπία μεταξύ αισθητικής και λειτουργικότητας.

Ουσιαστικά, το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο έχει διπλό ρόλο, του γυαλιού και της σκιάσης. **Θα μπορούσε να παρομοιαστεί με την οικεία εικόνα που δημιουργείται φορώντας ένα ζευγάρι γυαλιά ηλίου.** Το σκούρο χρώμα που προβάλλει όταν φορτίζεται το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο λειτουργεί σαν φίλτρο στην εικόνα του θεατή χωρίς να χάνονται τα στοιχεία της διαφάνειας και της διαύγειας. **Δημιουργείται μια αίσθηση φρεσκάδας, ανανέωσης** και μπορεί να συνδυαστεί με την ατμόσφαιρα του κτιρίου ως προς τις χρωματικές επιλογές αλλά και τα μεγέθη.

- Πλήρως φορτισμένο – σκούρα απόχρωση: ενίσχυση της αίσθησης της ιδιωτικής ζωής καθώς και προστασία από τον ήλιο.
- Μη φορτισμένο - άχρωμο: αίσθηση της εξωστρέφειας, της διαφάνειας και της ελευθερίας.

Ως προς το εξωτερικό περίβλημα που προβάλλει, το ηλεκτροχρωμικό παράθυρο είναι ικανό να αντανakλά σχεδόν όλη την ποσότητα φωτός. Σε κατάσταση πλήρους αποφόρτισης, έχει μια ελαφριά κίτρινη απόχρωση ενώ σε πλήρη φόρτιση έχει ένα βαθύ μπλε χρωματισμό ή βαθύ γαλάζιο που προκαλεί ένα αίσθημα αποσταθεροποίησης καθώς δημιουργεί την αίσθηση αντανάκλασης του ουρανού.



## Εφαρμογές:

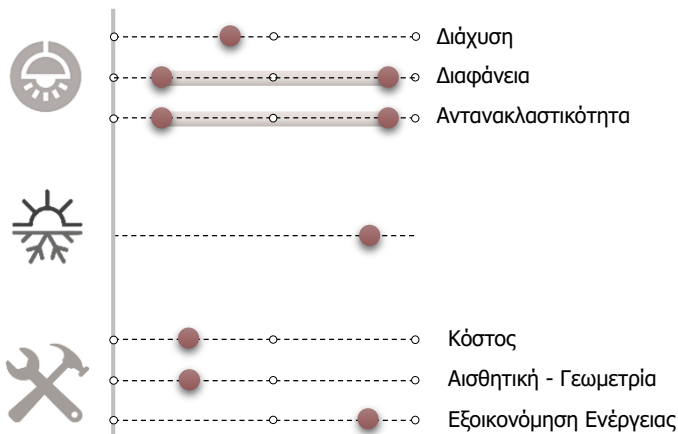
### Siemens Wind Turbine Facility GNF Architects and Engineers, Hutchinson, Kansas

Βασικός στόχος της αρχιτεκτονικής ομάδας ήταν να πλημμυρίσει το εσωτερικό με φυσικό φως και να διατηρεί ανεμπόδιστη θέα προς τα έξω για τους ανθρώπους μέσα. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτροχρωμικά παράθυρα σε διάφορους χώρους του κτιρίου, τα γραφεία και την καφετέρια. Η τεχνολογία εφαρμόζεται σε γυάλινη επιφάνεια 455 m<sup>2</sup> και διαθέτει αυτόματο μεταβλητό χρωματισμό σε 30 ζώνες. Οι προσαρμογές ανάλογα με τις συνθήκες επιτυγχάνονται χειροκίνητα. Η προηγμένη τεχνολογία είχε χαμηλότερο αρχικό κόστος από τις συμβατικές στατικές λύσεις καθώς και ελάχιστο κόστος συντήρησης.

Στο εξωτερικό, δημιουργεί μια καθαρή, κομψή και σύγχρονη κτιριακή πρόσοψη. Στο εσωτερικό, οι εργαζόμενοι και οι επισκέπτες απολαμβάνουν άφθονο φυσικό φως με ελάχιστη θάμβωση, μαζί με άνετα θερμοκρασίες δωματίου και ξεκάθαρες απόψεις του περιβάλλοντος χώρου - όλο το χρόνο και σε όλες τις συνθήκες φωτισμού. Το δυναμικό γυαλί μειώνει επίσης την εξάρτηση από τεχνητά συστήματα φωτισμού και κλιματισμού, με αποτέλεσμα ένα υψηλής ενεργειακής απόδοσης κτίριο.



Εικόνα 2 \_ Το παράδειγμα του κτιρίου Siemens



5. Ουγγρίνης, Κ. Α., *Μεταβαλλόμενη Αρχιτεκτονική: Κίνηση - Προσαρμογή - Ευελιξία*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, 2012, σελ. 326.



## Θερμοδιμεταλλικά ελάσματα



### Πρώτη Προσέγγιση:



Πρόκειται για σύνθετα υλικά που αποτελούνται από **δυο μέταλλα με διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής**, και είναι μόνιμα συνδεδεμένα μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα με την τεχνική της επίστρωσης. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι η αντίδρασή τους στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Μετατοπίζονται, καμπυλώνουν και τεντώνονται ως απάντηση στην θερμότητα του ήλιου. Η καμπύλωση αυτή εξαρτάται από τον τρόπο που η θερμοκρασία μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, τα συστατικά του σύνθετου υλικού καθώς και τις γεωμετρίες των συστατικών του.



Τα θερμοδιμεταλλικά ελάσματα είναι σχετικά παλιά έξυπνα υλικά, χρησιμοποιούνται περίπου από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης και σήμερα συναντώνται σε συστήματα μέτρησης και ελέγχου, όπως είναι οι θερμοστάτες.

### Κύρια Γνωρίσματα:

Όπως προαναφέρθηκε, τα διμεταλλικά ελάσματα είναι συνδυασμός δυο μετάλλων με διαφορετικούς ρυθμούς διαστολής, μετατρέποντας την διαφορά θερμοκρασίας σε κίνηση. Συγκεκριμένα, το μέταλλο με τον μεγαλύτερο συντελεστή, όταν εκτίθεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες, διαστέλλεται περισσότερο, με άμεσο αποτέλεσμα την μεταβολή της διαφοράς μηκών των δυο ελασμάτων και συνεπώς την καμπύλωση του σύνθετου υλικού. Όταν πάλι η θερμοκρασία πέφτει, έχει σαν αποτέλεσμα την επαναφορά του στην αρχική θέση.

- Τα θερμοδιμεταλλικά ελάσματα **εφαρμόζονται κυρίως στο κέλυφος του κτιρίου** με απώτερο σκοπό την ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό περιβάλλον. Έτσι, σε διάφορες ώρες της ημέρας, τα διάφορα μέρη της όψης του κτιρίου, αναπτύσσουν διαφορετικές θερμοκρασίες και **μεταβάλλονται με διαφορετικές ταχύτητες**.
- Η όψη του κτιρίου αποκτά ζωή και **λειτουργεί όπως ο ανθρώπινος οργανισμός. Το κτίριο πλέον ανταποκρίνεται στις περιβαλλοντικές αλλαγές**.
- Η ιδιαίτερα σημαντική αυτή ιδιότητα του σύνθετου υλικού που στοχεύει στην αυτόματη ανταπόκριση της κατασκευής στις κλιματικές

συνθήκες, **δεν απαιτεί κανέναν έλεγχο και** καμία παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή **καταναλώνει μηδενική ενέργεια.**

- Θα μπορούσε να λειτουργήσει **σε οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες και να βελτιστοποιηθεί για συγκεκριμένα κλίματα.**

Προσώσεις που επιτρέπουν την ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι χρήσιμες για ομοιοστατική αρχιτεκτονική, στην οποία το κτίριο ελέγχει το δικό της κλίμα, εξελίσσοντας την δυναμική της αρχιτεκτονικής.

#### Για την κατασκευή:

Τα εξαρτήματα για την κατασκευή των θερμοδιμεταλλικών ελασμάτων πρέπει να διαθέτουν:

- ζεστή και κρύα ολκιμότητα,
- υψηλό σημείο τήξης,
- υψηλό μέτρο ελαστικότητας (μέτρο Young),
- υψηλή αντοχή και
- προβλέψιμη συμπεριφορά.
- Επιπλέον, δεν θα πρέπει να υπερβαίνεται ένα συγκεκριμένο εύρος της αποκλίνουσας συμπεριφοράς όσον αφορά το σημείο τήξης, το μέτρο ελαστικότητας και την αντοχή των συστατικών.

Οι παρακάτω συνδυασμοί συστατικών είναι μεταξύ εκείνων που παρουσιάζουν ενδιαφέρον στον τομέα της αρχιτεκτονικής:

- νικελίου-κοβαλτίου-σιδήρου (superinvar) με μαγγάνιο-νικελίου-χαλκού
- νικελίου-κοβαλτίου-σιδήρου (superinvar) με σίδηρο-νικελίου-μαγγάνιου και χαλκού

## **Αισθητική:**

Το σύνθετο αυτό υλικό αφού χρησιμοποιηθεί για το κέλυφος του κτιρίου δημιουργεί μια ζωντανή και οργανική όψη. Το κτίριο αναπνέει και αλλάζει μορφή σύμφωνα με τη φύση του περιβάλλοντός του και τα εισερχόμενα ερεθίσματα. Προσθέτοντας μια νέα λειτουργία στην εξωτερική επιφάνεια ενός κτιρίου, άγνωστη στα σημερινά δεδομένα και αντίθετη στις μορφές που έχουν επικρατήσει για τον τομέα της αισθητικής, είναι σαφώς κάτι περίπλοκο. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα καινούργιο σύστημα που προκύπτει από την ενοποίηση πολλών ίδιων γεωμετρικά στοιχείων και αλλάζει την μορφή του σύμφωνα με τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Είναι μια αισθητηριακή επιδερμίδα που λειτουργεί με σκοπό την προστασία του κτιριακού σώματος, ένας ελαφρύς ευφυής μηχανισμός.

Ο σχεδιασμός που έχει ως κύριο γνώμονά του την φύση και τις αρχές της, μπορεί να δώσει τις απαντήσεις σε πολλά προβλήματα. **Η μίμησης της φύσης μπορεί μόνο συναισθήματα συγκίνησης και αρμονίας να προκαλέσει στον δέκτη της αρχιτεκτονικής.**

- Εξωτερικά:

*Οι πρωτογενείς μορφές είναι οι ωραίες μορφές, επειδή διαβάζονται καθαρά. 6* Και ο μηχανισμός αυτός είναι **μια πρωτογενής μορφή**, γιατί **μιμείται, κατά μια έννοια, μηχανισμούς της φύσης**, όπως για παράδειγμα τα φτερά των περιστερών, τα οποία ανοίγουν – κλείνουν και προστατεύουν από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, ή την συμπεριφορά φυτών, όπως την οξαλίδα, έναντι στις μεταβολές του φωτός και της θερμοκρασίας. Η κατευθυντήρια πρόθεσή του να μιμηθεί τον ανθρώπινο οργανισμό και να λειτουργήσει σαν τρίτη επιδερμίδα, και συνεπώς να κινηθεί σε κλίμακα συναρτήσει του ανθρώπινου σώματος, μας δίνει ακόμα έναν λόγο να ισχυριστούμε ότι πρόκειται για μια μορφή που διαβάζεται καθαρά από τον θεατή. Το κέλυφος αυτό, που αγκαλιάζει το κτήριο, ενδεδυμένο σε **γυαλιστερό μέταλλο**, καθώς εκτίθεται στην δύναμη του ήλιου, **δημιουργεί σπινθηροβόλες όψεις και αντανakλά σχηματισμούς φωτός οι οποίοι αποκρύπτουν την μορφή του από το ανθρώπινο βλέμμα και απονέμουν μια μαγική αύρα στο περιβάλλον και στον χρήστη. Έτσι, το υλικό αντανakλώντας το φυσικό φως, μεταμορφώνεται σε μία δευτερεύουσα πηγή φωτός για το άμεσο περιβάλλον του. 7**

Πρόκειται για ένα περίβλημα που **παύει να είναι στατικό και γίνεται δυναμικό**, εκφράζεται με διαφορετικές ενεργοποιήσεις και βρίσκεται σε έναν συνεχή διάλογο με το περιβάλλον όπου και καλείται να ανταποκριθεί σε ένα πεδίο προβλημάτων, **αποκτώντας έναν βαθμό ελευθερίας που το καθιστά ευέλικτο και όχι μονοδιάστατο.**

- Εσωτερικά:

Με την αύξηση της θερμοκρασίας και την ακτινοβολία του ήλιου, τα μέταλλα καμπυλώνουν και σχηματίζουν κενά μεταξύ τους. **Δημιουργείται έτσι ένα πλέγμα το οποίο φιλτράρει χωρίς να εμποδίζει την κίνηση του φωτός, καθράρει το εξωτερικό τοπίο στον χρήστη και ενισχύει την αίσθηση της ιδιωτικότητας**, τονίζοντας το **δίπολο δημόσιου-ιδιωτικού**. Τα διαφράγματα, αν μπορούμε να ονομάσουμε έτσι τα εν λόγω κενά, που δημιουργούνται, **επιτρέπουν στο φως να διαπεράσει, στο πλαίσιο του διπόλου φως-σκιά**. Δημιουργείται ένα πορώδες κέλυφος, που είναι συγχρόνως διάτρητο και φωτεινό. *Το κατοπτρικό υλικό με τις λείες επιφάνειες του, αντανakλά το φως όπως ο καθρέφτης, έχοντας ως αποτέλεσμα αντανakλώμενες εικόνες της πηγής φωτός ορατές πάνω στην*

**επιφάνεια. 8** Όσον αφορά τη γεωμετρία τους, έχουν την δυνατότητα να καλύψουν ένα εύρος σχημάτων και μοτίβων, **από πολύ απλά γεωμετρικά σχήματα μέχρι διακόσμους που εκφράζουν πολιτιστικά χαρακτηριστικά.**

## Εφαρμογές:

Τα περιβαλλοντικά ανταποκρινόμενα συστήματα όψεων έχουν κερδίσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Προσώψεις κτιρίων που μπορούν αυτόματα να φωτίζουν, να σκιάζουν, να δροσίζουν και να αερίζουν το εσωτερικό του κτιρίου είναι γεγονός.

### Bloom

#### dO | Su, Silver Lake της California, 2011

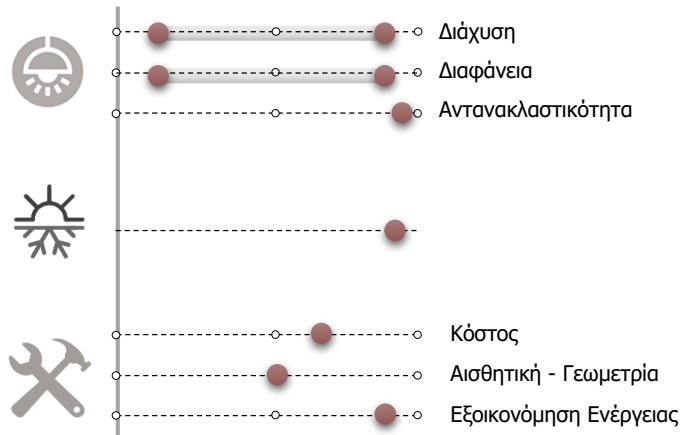
Το συγκεκριμένο project συνδυάζει πειραματισμό, δομική καινοτομία και μοντέλο λήψης αποφάσεων σε μια ανταποκρίσιμη περιβαλλοντικά εγκατάσταση.

Η πραγματική καινοτομία συμβαίνει στο στρώμα του μεταλλικού πάνελ, εμπνευσμένο από την αντίδραση και τις αλλαγές που παρουσιάζουν ορισμένα είδη φυτών ως απάντηση στην υψηλή ένταση του φωτός. Το μεταλλικό αυτό κέλυφος, κάμπτεται σύμφωνα με τα επίπεδα θερμότητας που παράγονται από τον ήλιο. Χρησιμοποιούνται συνολικά 14.000 διαφορετικά μεταξύ τους έξυπνα θερμοδιμεταλλικά ελάσματα, πλαισιωμένα από αλουμίνιο.

Το έκθεμα είναι η πρώτη αρχιτεκτονική εφαρμογή με πλαστικοποιημένο μεταλλικό υλικό, το οποίο περιλαμβάνει νικέλιο, μαγγάνιο και σίδηρο. Η εσωτερική πλευρά έχει μεγαλύτερη ποσότητα νικελίου, αποδίδοντάς του ένα ασημένιο φινιρίσμα.

Η τελική αυτοαναφερόμενη μορφή, ελαφριά και ευέλικτη, εξαρτάται από τη συνολική γεωμετρία και τον συνδυασμό των υλικών για την εξασφάλιση ολοκληρωμένης σταθερότητας. Το έργο υποστήριξε μια βιώσιμη, παθητική μέθοδο για τη μείωση της εξάρτησης από τον τεχνητό κλιματισμό καθώς και της σπατάλης πολύτιμης ενέργειας.

- 
6. Le Corbusier, *Για μια αρχιτεκτονική*, μετάφραση Παναγιώτης Τουρνικιώτης, εκδόσεις Εκκρεμές, Αθήνα, 2004, σελίδα 13.
  7. Κεράνης, Μ. Κ., *Ο ρόλος του φωτός στην αρχιτεκτονική δημιουργία*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πάτρα, 2010.
  8. Κεράνης, Μ. Κ., *Ο ρόλος του φωτός στην αρχιτεκτονική δημιουργία*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πάτρα, 2010.



Εικόνα 3 \_ Το παράδειγμα Bloom από την ομάδα dO|Su

## Θερμοτροπικά Υλικά



### Πρώτη Προσέγγιση:



**Τα θερμοτροπικά υλικά** είναι υλικά τα οποία είναι σε θέση να **αλλάξουν αναστρέψιμα** τα οπτικά χαρακτηριστικά τους, όπως **την διαφάνειά τους, ως απάντηση σε έναν εξωτερικό παράγοντα, την θερμοκρασία**. Η θερμότητα που απορροφούν, προκαλεί μεταβολές στην μικρο-δομή του υλικού μέσω μιας αλλαγής φάσης, επιδεικνύοντας διαφορετικές ιδιότητες, όπως της αγωγιμότητας, της μεταδοτικότητας, της ογκομετρικής διαστολής και της διαλυτότητας.

**Όταν ανεβαίνει η θερμοκρασία, τα θερμοτροπικά υλικά μεταμορφώνονται από διαφανή σε αδιαφανή, χωρίς την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας**. Η αλλαγή της διαπερατότητας του φωτός, έχει ως σκοπό την **προστασία από την υπερθέρμανση στο εσωτερικό, το εκτυφλωτικό φως και την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία**, και καθιστά τα θερμοτροπικά υλικά τα πλέον κατάλληλα για εφαρμογή όλες τις εποχές, μειώνοντας έτσι

την συνολική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων.

### Κύρια Γνωρίσματα:

Τα υλικά αυτά αποτελούνται από τουλάχιστον δύο συστατικά με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης (RI). Τέτοια είναι πολυμερή, ταινίες, φύλλα τοίχου, ρητίνες και gels.

- Σε θερμοκρασίες κάτω από το όριο μεταγωγής, όλα τα συστατικά αναμιγνύονται ομοιογενώς σε μοριακό επίπεδο ή έχουν παρόμοιους δείκτες διάθλασης. Σε αυτή την κατάσταση, το υλικό έχει ένα μεσαίο δείκτη διάθλασης και είναι εξαιρετικά διαφανής για την ηλιακή ακτινοβολία.
- Μετά την είσοδο της θερμοκρασίας, εμφανίζεται μια διαφορά μεταξύ των δεικτών διάθλασης των δύο συστατικών. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι διάσπαρτη στη διεπιφάνεια μεταξύ των δύο συστατικών. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται.

## Πλεονεκτήματα

- Η ίδια η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για να **προστατέψει από την ηλιακή θερμότητα**.
- **Καμία πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας**, δεν απαιτείται παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.
- Προσαρμοστική προστασία του κτιρίου από την ήλιο → **Αυτορυθμιζόμενο σύστημα**.
- Αντικατάσταση των συμβατικών συστημάτων προστασίας από τον ήλιο όπως περσίδες, ρολά.
- **Απορρόφηση θερμότητας**. Αντί να απομακρύνει την θερμότητα από ένα χώρο, μπορεί να την μετατρέψει σε εσωτερική ενέργεια (η οποία περιλαμβάνει μια μοριακή αλλαγή).
- Αντανακλαστικότητα έως 30%.
- Παρέχει **διάχυτο φυσικό φωτισμό** ακόμη κι αν η ακτινοβολία είναι μειωμένη.
- Μεγάλο εύρος εναλλαγής μεταξύ διαφανούς και αδιαφανούς κατάστασης.
- Ποικιλία σε σχήμα και μέγεθος.
- **Προϊόν χαμηλού κόστους**.
- Μακροπρόθεσμη σταθερότητα, χωρίς συντήρηση.

Αυτά τα νέα υλικά συμβάλλουν στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων.

- Το χειμώνα, η ηλιακή θερμότητα μειώνει τις ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης.
- Το καλοκαίρι, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται, μειώνοντας έτσι το κόστος της ψύξης και εξαερισμού.

## Αισθητική:

Ανάλογα με την ποσότητα και την θερμότητα που ανιχνεύεται, τα παράθυρα μεταβαίνουν από διαφανή σε λευκά. Με αυτόν τον τρόπο εξαλείφουν την μετάδοση της ηλιακής θερμότητας αλλά χάνουν την διαύγεια και την διαφάνειά τους, καθιστώντάς τα ακατάλληλα για θέαση. Σε ενδιάμεση ενεργειακή κατάσταση, η διαφάνεια υπάρχει. **Το γυαλί αποκτά μια πιο δυναμική παρουσία, και αλλάζει χαρακτήρα. Η μετάδοση του φωτός είναι πλέον έμμεση.**

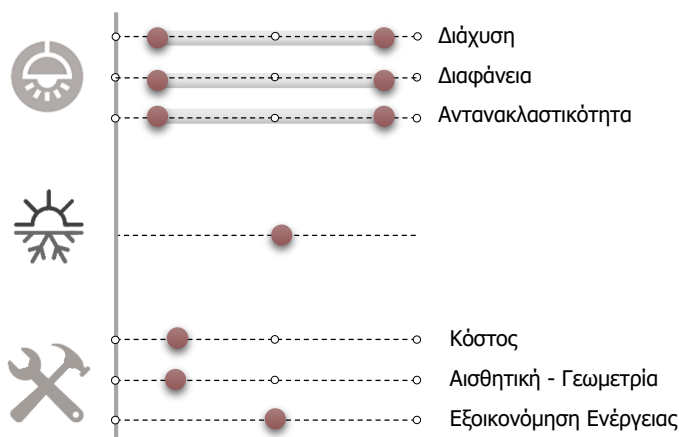


## Εφαρμογές:

Το CloudGel είναι ένα προϊόν υαλοπίνακα το οποίο έχει θερμοτροπικές ιδιότητες. Όταν είναι απαραίτητη η θερμότητα ή ο φωτισμός, μεταδίδει το 90% του ηλιακού φωτός. Όταν όμως ένας χώρος είναι αρκετά ζεστός, και δεν χρειάζεται περισσότερη ενέργεια, το υλικό μετατρέπεται σε αδιαφανές λευκό, αντικατοπτρίζοντας το 90% του φωτός. Είναι ιδανικό για χρήση σε φεγγίτες, θερμοκήπια, ηλιακά δωμάτια και εκεί που η θέαση προς το εξωτερικό περιβάλλον δεν κρίνεται απαραίτητη.

Το υλικό είναι σχεδιασμένο για να μετατρέπεται σε λευκό ως απόκριση στην εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία με σκοπό την αποφυγή υπερθέρμανσης του εσωτερικού χώρου, μεταδίδοντας έτσι ένα σταθερό επίπεδο φωτισμού ενώ τα εξωτερικά επίπεδα ηλιακού φωτός ποικίλλουν ωριαία και εποχικά.

Το Cloud Gel εφευρέθηκε για τη μεγαλύτερη αγορά του: τους ηλιακούς συλλέκτες θερμότητας. Με τεχνολογία Low-E, καθιστά δυνατή μια εντελώς νέα ηλιακή αρχιτεκτονική που είναι δωρεάν, και λειτουργεί πολύ πιο βόρεια, όπου αυτό είναι αναγκαίο.



Εικόνα 4 \_Θερμοτροπικό παράθυρο σε θερμοκρασίες 25°, 32°, 37°



## Κράματα Μνήμης Σχήματος



### Πρώτη Προσέγγιση:



Τα κράματα μνήμης σχήματος είναι γνωστά για μία σημαντική ιδιότητα που τα κάνει μοναδικά: την **ικανότητα να θυμούνται και να επαναφέρουν ένα προγενέστερο, προκαθορισμένο σχήμα από μεγάλες φορτίσεις**. Η ιδιότητα αυτή βασίζεται στις αλλαγές της κατάστασης της ύλης που, λόγω της θερμοκρασίας, ενεργοποιούν μια αναδιάταξη των μορίων του εκάστοτε υλικού, η οποία είναι αναστρέψιμη. Όταν το υλικό βρεθεί σε χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί με την άσκηση μικρής δύναμης να παραμορφωθεί, και στη συνέχεια κατά την εφαρμογή εκ νέου της θερμότητας να επανέλθει μόνο του στο σχήμα που του είχε αποδοθεί νωρίτερα, χωρίς να σπάσει.

Η κρυσταλλική δομή των υλικών αυτών έχει την τάση να μετασχηματίζεται διαρκώς ώστε να βρίσκεται στη χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση για κάθε δεδομένη θερμοκρασία.

### Κύρια Γνωρίσματα:

**Η πιο διαδεδομένη μορφή συμπεριφοράς μετασχηματισμού που παρατηρείται στα κράματα μνήμης σχήματος είναι η θερμική αλλοίωση σχήματος, η οποία συχνά αναφέρεται ως φαινόμενο μνήμης σχήματος (Shape memory effect - SME).** Ένα υλικό είναι δυνατό να παραμορφωθεί ή να φορτιστεί σε χαμηλές θερμοκρασίες και όταν θερμανθεί περαιτέρω, να αντιστρέψει αυτή την παραμόρφωση και να επανέλθει στην πρότερη κατάσταση, έχοντας απομνημονεύσει το αρχικό του σχήμα.

Η φάση της αρχικής και υψηλότερης θερμοκρασίας καλείται ωστενική κατάσταση. Η φάση της χαμηλότερης θερμοκρασίας καλείται μαρτενσιτική κατάσταση. Οι φυσικές ιδιότητες ενός υλικού στην ωστενική και μαρτενσιτική κατάσταση είναι ιδιαίτερα διαφορετικές. Το υλικό στην ωστενική κατάσταση είναι δυνατό και σκληρό, ενώ στη μαρτενσιτική φάση είναι μαλακό και εύπλαστο. Η ωστενική κρυσταλλική δομή είναι μια απλή κυβική δομή με επίκεντρο το σώμα, ενώ η μαρτενσιτική δομή πιο περίπλοκη ρομβική δομή.

Τα κράματα με μνήμη σχήματος διαιρούνται σε τρεις λειτουργικές ενότητες: τα κράματα μονής κατεύθυνσης, διπλής κατεύθυνσης και τα μαγνητικά ελεγχόμενα κράματα. Όσον αφορά στις κατευθύνσεις, είναι ενδεικτικές της ικανότητας του κάθε υλικού να λειτουργεί με τρόπο πλήρως αναστρέψιμο ή μη.

## Λειτουργικές Ιδιότητες

Οι εφαρμογές των κραμάτων μνήμης σχήματος συχνά κατηγοριοποιούνται με κριτήριο την ιδιότητα του κράματος που κυρίως αξιοποιείται.

- Μνήμη σχήματος
- Ύπερ-ελαστικότητα
- Απορρόφηση ενέργειας για απόσβεση δόνησης
- Αντίσταση σπηλαίωσης – διάβρωσης
- Χαμηλό μέτρο ελαστικότητας

Τα κράματα με τη μεγαλύτερη εμπορική επιτυχία είναι τα:

- νικελίου-τιτανίου που προτιμώνται για:
  - ο την ολκιμότητά τους,
  - ο τη σταθερότητα στη συμπεριφορά τους,
  - ο την αντοχή τους στη διάβρωση και
  - ο τη μεγαλύτερη ηλεκτρική τους αντίσταση
- τα τριαδικά που βασίζονται σε νικέλιο-τιτάνιο NiTi-X και
- τα κράματα που βασίζονται στον χαλκό Cu και προτιμώνται για:
  - ο την μικρή θερμική υστέρηση που παρουσιάζουν και
  - ο την προσαρμοστικότητά τους στην αμφίδρομη μνήμη σχήματος.

Το ίδιο φαινόμενο επιτεύχθηκε και σε πολυμερή υλικά τα οποία:

- επιτρέπουν πολύ μεγαλύτερη ελευθερία κατά τη διαμόρφωση ποικίλων μορφών που απαιτούνται για τις διαφορετικές εφαρμογές του φαινομένου,
- είναι πιο οικονομικά στην κατασκευή,
- είναι πιο ελαφριά και
- λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι τα μεταλλικά κράματα.

Τα πολυμερή μνήμης σχήματος μπορούν να ενεργοποιηθούν από μεταβολές της πίεσης, του μαγνητικού ή ηλεκτρικού πεδίου, μεταβολές της τιμής του pH, την υπεριώδη ακτινοβολία, τη θερμοκρασία ή ακόμα και από την επαφή με το νερό.

## Αισθητική:

Η ικανότητα των υλικών αυτών, τους δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν στο κέλυφος του κτιρίου με σκοπό την προστασία από τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Το φαινόμενο μνήμης σχήματος που τα χαρακτηρίζει, τα κάνει ιδιαίτερα, **αντανακλώντας το φυσικό φως και δημιουργώντας λαμπερές**

**όψεις**, και γι' αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους και γεωμετρίες, σε συνδυασμό και με άλλα υλικά, όπως γυαλί, ύφασμα. Όποια κι αν είναι η τελική επιλογή, **η κίνησή τους μοιάζει με ενός λουλουδιού** που ανοίγει τα πέταλά του στο φως της ημέρας και τα κλείνει την νύχτα.

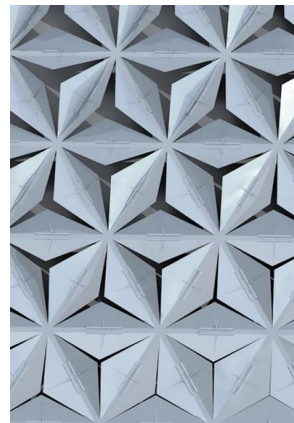
## Εφαρμογές:

### PixelSkin02

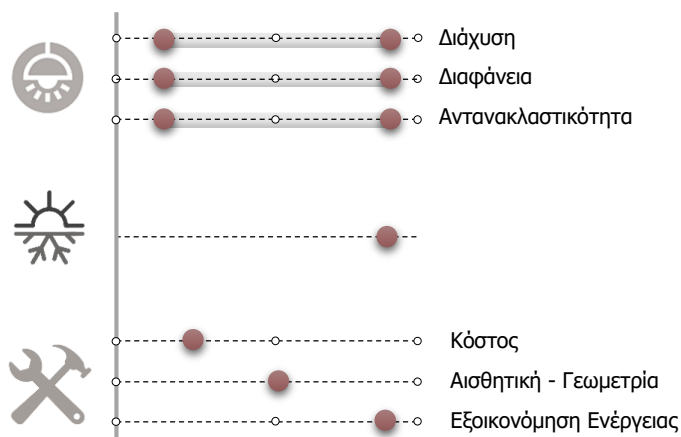
Orangevoid, London, UK, 2006

Το PixelSkin02 είναι ένα ρομποτικό πρωτότυπο διαδραστικής κτιριακής επιδερμίδας και βασίζεται σε μια πολυεπίπεδη ηλεκτρογραφική αρχιτεκτονική επιφάνεια. Αποτελείται από ένα πλακίδιο το οποίο και επαναλαμβάνεται. Κάθε τετραγωνικό πλακίδιο αποτελείται από τέσσερα τριγωνικά πανέλα με ενσωματωμένο σύρμα μνήμης σχήματος.

Μέσω ενός αισθητήρα, τα πλακίδια μπορούν να κινούνται ανάλογα με τα εξωτερικά ερεθίσματα, της θερμοκρασίας και του φωτός, με σκοπό τον έλεγχο της εσωτερικής κατάστασης. Κάθε μέλος μπορεί να βρεθεί σε 255 καταστάσεις στον άξονα πλήρως κλειστού και πλήρως ανοιχτού. Η επιφάνεια σε λειτουργία μπορεί να παρομοιαστεί με την κίνηση των λουλουδιών και ανάλογα την κίνησή της, να δημιουργήσει εικόνες χαμηλής ανάλυσης, βίντεο και μοτίβα.



Εικόνα 5 \_ Η εφαρμογή PixelSkin02



## Πιεζοηλεκτρικά πολυμερή/κεραμικά



### Πρώτη Προσέγγιση:



**Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.** Φαίνομενο ιδιαίτερα ενδιαφέρον διότι **συγκεράζει μηχανική δύναμη με ηλεκτρικό φορτίο.** Εκφράζει υλικά τα οποία μετατρέπουν την ενέργεια από μηχανικές παραμορφώσεις σε ηλεκτρική τάση και αμφίδρομα, με την παρουσία ηλεκτρικής τάσης παρουσιάζουν μηχανικές παραμορφώσεις που συνήθως δίνουν ως αποτέλεσμα κινητική δύναμη. Η αντίδραση των υλικών είναι κυριολεκτικά στιγμιαία και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Το φαινόμενο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1880 και διαπιστώθηκε ότι **μη αγώγιμα υλικά, δηλαδή αναπτυγμένα πολυμερή και κεραμικά**, και φυσικά υλικά, όπως τα κρύσταλλα και συγκεκριμένα ο χαλαζας, διακατέχονται από αυτήν την ιδιότητα. Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο έχει προσφέρει πολλές ευκολίες στην καθημερινή μας ζωή και το συναντάμε από το κουδούνι της πόρτας έως κάποια είδη αναπτήρων. Προφανής, με

βάση την ικανότητά τους, είναι και η χρήση τους ως αισθητήρες και ενεργοποιητές.

### Κύρια Γνωρίσματα:

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά οφείλουν τις ιδιοτητές τους στη μοριακή τους δομή. **Τα μόρια τους αποτελούν ηλεκτρικά δίπολα**, με θετικές και αρνητικές φορτίσεις σε κάθε άκρη, τα οποία συνδυάζονται μεταξύ τους σε μια ουδέτερη κατάσταση. **9**

- **Μηχανική δύναμη → Ηλεκτρική ενέργεια**

Όταν μια δύναμη ασκηθεί στο υλικό, η παραμόρφωση που προκαλείται μετακινεί τα δίπολα, αλλάζοντας τον προσανατολισμό ορισμένων ή και του συνόλου αυτών, μεταβάλλοντας την ουδετερότητά του.

- **Ηλεκτρική ενέργεια → Μηχανική δύναμη**

Αντίστροφα, η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου, αναγκάζει τα δίπολα να ευθυγραμμιστούν με αυτό, με συνέπεια τα κινούμενα μόρια-δίπολα να δημιουργούν παραμόρφωση και, άρα, μηχανική δύναμη.

Ουσιαστικά, η λειτουργία τους στηρίζεται στο γεγονός ότι τα πιεζοηλεκτρικά υλικά παρουσιάζουν δύο κρυσταλλικές μορφές, η μια μορφή συνδέεται με την πόλωση των μορίων και η δεύτερη είναι μια μη-πολωμένη, άτακτη κατάσταση. **Η εναλλαγή μεταξύ των δύο καταστάσεων δημιουργεί το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.**

## Αισθητική:

Μια πιθανή εφαρμογή των υλικών αυτών είναι ο φωτισμός σαν αποτέλεσμα του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Για παράδειγμα, αν ένα δάπεδο είναι κατασκευασμένο με πιεζοηλεκτρική τεχνολογία, το βήμα του ανθρώπου είναι η μηχανική δύναμη που ασκείται στο υλικό. Το ηλεκτρικό φορτίο που παράγεται από την εν λόγω πίεση συλλαμβάνεται από τους αισθητήρες ορόφου, μετατρέπεται σε ένα ηλεκτρικό φορτίο με υλικά πιεζοηλεκτρικών, στη συνέχεια αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας.

Πρόκειται για ένα δάπεδο, αποτελούμενο από πλακάκια με τετράγωνη γεωμετρία στο σύνθετες μέγεθος, τα οποία ανάλογα με τις επιθυμίες του χρήστη μπορούν να επικαλυφθούν με διάφορες επιλογές όπως πέτρα, ξύλο, ύφασμα και συχνά σε συνδυασμό με λαμπάκια LED.

Το χαρακτηριστικό το οποίο τα κάνει ξεχωριστά είναι η κίνησή τους, η οποία συμβαίνει στον μικρόκοσμο. Η κίνηση αυτή εκτελείται στον καθ' ύψος άξονα του πλακακιού με μέγιστη μεταβολή το 1 εκατοστό. Με σταθεροποιημένες τις τέσσερις πλευρές, το πλακάκι μεταβάλλεται μόνο στο κέντρο του, θυμίζοντας την κίνηση του κύματος. Η κίνησή του είναι ιδιαίτερη και κατανοητή από τον χρήστη χωρίς όμως να εμποδίζει τον ρυθμό του βαδίσματός του.

## Εφαρμογές:

Κάποιες ακόμα πιθανές εφαρμογές της ομάδας των πιεζοηλεκτρικών υλικών **εντοπίζονται στο δομικό σύστημα του κτιρίου.** Τα διάφορα μέλη του δομικού συστήματος, πλάκες, δοκάρια, στηρίγματα, υποβάλλονται σε ποικίλες δυνάμεις, προερχόμενες είτε από το ίδιο το βάρος του κτιρίου, είτε από εξωτερικούς παράγοντες όπως ο άνεμος ή ο σεισμός, που τείνουν να προκαλέσουν παραμόρφωση και έπειτα αστοχία. Τέτοιες αστοχίες είναι δύσκολα προσβάσιμες γι' αυτό και τα υλικά αυτά θα μπορούσαν να αποκτήσουν πολύ ουσιαστικό ρόλο στον έλεγχο της «δομικής υγείας». Επομένως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό τέτοιων παραμορφώσεων σε επιλεγμένα, μη ορατά, σημεία της κατασκευής. Η δημιουργία ενός δικτύου πιεζοηλεκτρικών σημείων παρέχει ένα σύστημα συγκέντρωσης πληροφοριών για την κατάσταση, για παράδειγμα, του δομικού συστήματος.

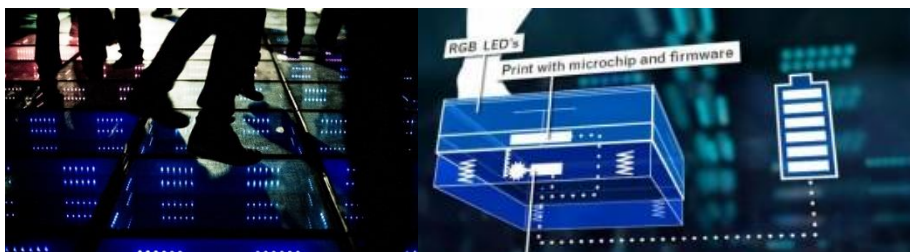
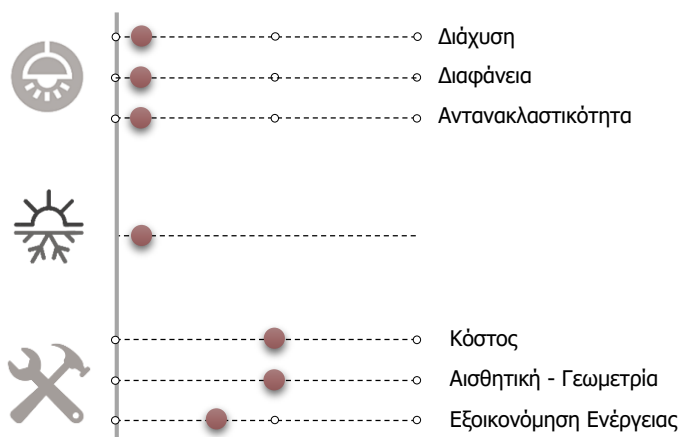
## Club WATT

### Energy Floors, Dance floor, Rotterdam, 2008

Η εταιρία Energy Floors δημιούργησε ένα φωτιζόμενο πάτωμα που ταιριάζει απόλυτα για πάτωμα ντίσκο, διπλασιάζοντας την παραγόμενη ενέργεια. Όπως εξηγούν οι κατασκευαστές του το πάτωμα μετατρέπει τις κινήσεις των χορευτών σε ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια.

Τα ενεργειακά δάπεδα έχουν τη δική τους γεννήτρια που συλλέγει και αποθηκεύει την ενέργεια καθώς οι χορευτές πατούν πάνω του και στη συνέχεια τη μετατρέπει σε ηλεκτρισμό, τροφοδοτώντας ηχοσυστήματα και φωτισμούς μέσα στο κλαμπ.

Τα πλακάκια είναι διαστάσεων 75x75x20 cm και μπορούν να παράγουν μέχρι και 35 watt συνεχούς παραγωγής, μεταξύ 5-20 Watt ανά άτομο. Χάρη στο ενεργειακό πάτωμα, η εξοικονόμηση κατανάλωσης ενέργειας φτάνει στο 30%.



Εικόνα 6 \_ Η λειτουργία του πιεζοηλεκτρικού δαπέδου και η αποθήκευση ενέργειας

9. Αρνέλλου, Ζ., Μπέρκη, Α., Σαραντινούδη, Π., *Smart Materials*, Ε.Μ.Π. Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αθήνα, 2012.

## Υλικά Αλλαγής Φάσης – τεχνολογία GLASSX



### Πρώτη Προσέγγιση:



Η διαφάνεια ενός κτιρίου είναι ένας στόχος που αρκετοί αρχιτέκτονες σε διάφορες περιόδους της ιστορίας επιδιώκουν με σκοπό την καλύτερη αισθητική του. Έτσι, κτίρια με υαλοστάσια, τα οποία καλύπτουν μεγάλο ποσοστό ως προς τις επιφάνειές τους, αντιμετωπίζουν τεράστιο πρόβλημα με την υπερθέρμανση το καλοκαίρι και την ψύξη τον χειμώνα, γιατί στερούνται της θερμικής μάζας που απαιτείται για τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας, όπως λειτουργούσαν τα παλιά κτίρια.



Την λύση έρχεται να δώσει μια νέα τεχνολογία ονόματι GLASSXcrystal. Πρόκειται για έναν **νέο σχεδιασμό ενός συστήματος υαλοστασίου με θερμομονωτική αποθηκευτική λειτουργία, γεμάτο με ένυδρο αλάτι**. Το ένυδρο άλας, που ανήκει στην κατηγορία των **υλικών αλλαγής φάσης (PCM)**, τήκεται και παγώνει σε θερμοκρασία που

κυμαίνεται από 26-30°C, και αποθηκεύει θερμότητα καθώς αλλάζει φάση από στερεό σε υγρό.

### Κύρια Γνωρίσματα:

**Τα υλικά αλλαγής φάσης έχουν την δυνατότητα να μεταβάλλουν την κατάσταση τους από στερεή σε υγρή και αέρια και αντίστροφα, με τις διάφορες θερμοκρασιακές μεταβολές.** Αυτό που τα κάνει έξυπνα υλικά όμως είναι η ικανότητά τους να απορροφούν, να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν θερμική ενέργεια κατά την αλλαγή φάσης τους.

Στο εύρος θερμοκρασίας όπου η ψύξη του δωματίου λαμβάνει χώρα (περίπου 20-30°C), υπάρχουν γενικά δύο κατηγορίες υλικών αλλαγής φάσης διαθέσιμες για αποθήκευση θερμότητας: οι παραφίνες και τα ένυδρα άλατα. Η συγκεκριμένη τεχνολογία GLASSX χρησιμοποιεί ένυδρα άλατα.

Συγκεκριμένα, τα **ένυδρα άλατα**:

- είναι ανόργανα άλατα με κρυσταλλικό νερό,
- έχουν υψηλή πυκνότητα, και συνεπώς υψηλή ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου,
- έχουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα,

- ο χειρισμός τους μπορεί να γίνει σε μεγαλύτερα δοχεία, όπως πλαστικές σακούλες,
- έχουν μικρές μεταβολές κατά την διαδικασία αλλαγής φάσης,
- είναι μη εύφλεκτα,
- τήκονται σε θερμοκρασία δωματίου.

### Το σύστημα GlassX κρυστάλλου:

- αποτελείται από μια σφραγισμένη μονάδα που αποτελείται από τέσσερα τζάμια ασφαλείας με τρία κενά αέρος,
  - στο διάκενο αέρα που βρίσκεται πλησιέστερα προς το εξωτερικό, έχει τοποθετηθεί ένα πρισματικό επίπεδο, του οποίου κύριο γνώρισμα είναι η κατεύθυνση του φωτός, ενώ
  - στην εσωτερική επιφάνεια του συστήματος, βρίσκεται το υλικό αλλαγής φάσης με ένυδρο άλας, πλαισιωμένο από πολυκαρβονικά φύλλα,
  - το κενό ενδιάμεσά τους, παρέχει κυρίως μόνωση.
- απορροφά περίπου το ίδιο ποσό ενέργειας με τοίχο πάχους 40 cm από σκυρόδεμα, ενώ
- έχει πάχος 79 mm,
- ζυγίζει 95 kg/m<sup>2</sup>,
- είναι διαθέσιμο σε ένα μέγιστο ύψος 280 cm και μέγιστο πλάτος 150 cm, η μέγιστη επιφάνεια είναι 4,2 m<sup>2</sup>.
- με χωρητικότητα αποθήκευσης θερμότητας 1185 Wh/m<sup>2</sup>.

*Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η κατασκευή καταδεικνύεται από τις οπτικές της ιδιότητες. Όταν το ένυδρο άλας αποθηκεύει ενέργεια, είναι δηλαδή σε υγρή μορφή, το υαλοστάσιο είναι διάφανο. Αντίθετα, όταν αποκτά και πάλι την κρυσταλλική του δομή γίνεται θαμπό. **10***

Η μετάδοση του φωτός, άμεσης πορείας, είναι 0% έως και 45% όταν το PCM είναι υγρό και 4% μέχρι 28%, όταν το PCM έχει κρυσταλλωθεί. Το ένυδρο άλας μειώνει τη μέγιστη θερμοκρασία δωματίου από 32° C έως 25° C και καθυστερεί επίσης τη μέγιστη θερμοκρασία στο εσωτερικό του χώρου από 6 έως 7 ώρες από την στιγμή που η εξωτερική θερμοκρασία φτάνει στο μέγιστό της. Η τεχνολογία GlassX Crystal είναι περισσότερο κατάλληλη για χρήση σε κλίματα όπου η θερμοκρασία το καλοκαίρι είναι πάνω από 26° C κατά τη διάρκεια της ημέρας και κάτω από 22° C τη νύχτα.

### Λειτουργική περιγραφή:

Το καλοκαίρι η πρισματική επιφάνεια αντανakλά την ηλιακή ακτινοβολία όταν αυτή ξεπερνά τις 40°, ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του εσωτερικού.



Όταν η θερμοκρασία δωματίου αρχίζει να αυξάνεται πάνω από το επιθυμητό σημείο, το PCM λιώνει και απορροφά τη θερμική ενέργεια που διαφορετικά θα οδηγούσε σε υπερθέρμανση και την χρησιμοποιεί για να αλλάξει από την κρυσταλλική στην υγρή φάση.

Μετά από 8 ώρες στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία, το PCM πιθανόν θα είναι εντελώς τηγμένο. Ωστόσο, αυτή τη φορά, η εξωτερική θερμοκρασία θα έχει αρχίσει να μειώνεται κάτω από το σημείο τήξης του PCM. **11** Έτσι, θα ξεκινήσει η διαδικασία αποβολής της αποθηκευμένης θερμότητας και έπειτα ακολουθεί η διαδικασία ανακρυστάλλωσης στον ψυχρό αέρα την νύχτα μέχρι την στερεοποίησή του το επόμενο πρωί, οπότε και ο κύκλος θα αρχίσει και πάλι από την αρχή.

*Το χειμώνα η χαμηλότερη γωνία του ήλιου ( $<35^\circ$ ) επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να περάσει σχεδόν απρόσκοπτα μέσα στην κατασκευή της όψης και να φτάσει στο υλικό αλλαγής φάσης. **12*** Εκεί μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια και αποθηκεύεται από το ένυδρο άλας κατά τη διαδικασία τήξης. Εάν η θερμοκρασία του εσωτερικού του δωματίου πέσει κάτω από τους  $26^\circ\text{C}$ , το ένυδρο άλας αποκτά και πάλι τη στερεή του μορφή ελευθερώνοντας την αποθηκευμένη θερμότητα προς το εσωτερικό.

Μαζί με τζάμια κενού και ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες, το GlassX αποτελεί μια από τις αναδυόμενες επιλογές τζαμιών υψηλής τεχνολογίας που θα μπορούσε να φέρει επανάσταση στο σχεδιασμό των κτιρίων κατά τα επόμενα έτη - και ίσως κάνει τον σχεδιασμό εξ ολοκλήρου από γυαλί, μια πραγματικά πράσινη επιλογή. **13**

## Αισθητική:

- Εξωτερικά:

Όταν το ένυδρο άλας είναι φορτισμένο, δηλαδή στην υγρή του κατάσταση, τότε λειτουργεί όπως ακριβώς ένα υαλοστάσιο. **Η όψη έχει αντιφατικό και διαυγή ρόλο γιατί προβάλλεται ο εσωτερικός κόσμος του κτιρίου αλλά ταυτόχρονα και η αντανάκλαση του εξωτερικού περιβάλλοντός του.** Δημιουργείται έτσι χωρική ασάφεια.

Όταν το ένυδρο άλας αποφορτίζεται και δημιουργείται η ανακρυστάλλωσή του, η επιφάνεια είναι πάλι αντανάκλαστική εν μέρει αλλά αυτή τη φορά υπάρχει ένα πέπλο που απομακρύνει το στοιχείο της διαφάνειας. Το γυαλί παύει να αποκαλύπτει με απόλυτη ειλικρίνεια τον εσωτερικό κόσμο του κτιρίου *και υπάρχει η παράλογη, ονειρική, διάθεση για το ακριβώς αντίθετο, να αυξηθεί η οπτική πολυπλοκότητα του γυαλιού και να εμφανιστούν «αστιγματικές» ποιότητες* –

*διαθλάσεις και αντανakλάσεις – οι οποίες κάνουν το γυαλί να λάμπει, και να αποκαλύπτει την δική του γοητευτική παρουσία. **14***

- Εσωτερικά:

Στην φάση που το άλας είναι φορτισμένο, δεν υπάρχουν εμπόδια ανάμεσα στον εξωτερικό και εσωτερικό κόσμο. Οι δυο κόσμοι γίνονται ένας. **Ο χώρος χαρακτηρίζεται από εξωστρέφεια, πλούτο εικόνων και φωτός.** Ο χρήστης συνδέεται άμεσα με τον χώρο γύρω από το κτίριο, είναι ελεύθερος να ατενίζει με τα μάτια και την φαντασία του το μεγαλειώδες τοπίο, εξωτερικεύεται και αναπτύσσει οικειότητα μαζί του.

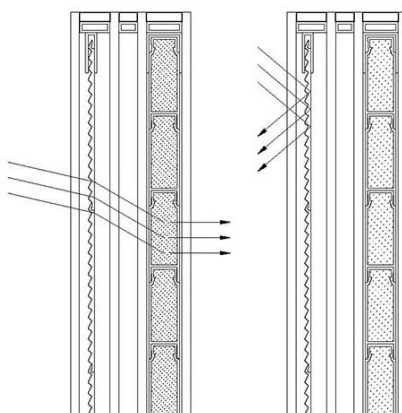
**Όταν όμως το ένυδρο άλας** ξεκινήσει την διαδικασία της **αποφόρτισης** και της ανακρυστάλλωσης, τότε η αίσθηση που προκαλεί η ατμόσφαιρα στον χρήστη αλλάζει. **Το γυαλί παύει να αντιπροσωπεύει ένα άνοιγμα του χώρου, ένα σημείο τομής του έξω με το μέσα.** Η ασάφεια και το μυστήριο κυριαρχούν καθώς το γυαλί παρεμβαίνει στην πορεία του άμεσου φωτός. Έτσι διακόπτεται η αυτούσια επαφή με τον έξω κόσμο. **Το διαστρεβλωμένο φώς παράγει εικόνες οι οποίες παρουσιάζονται ηπιότερες και μερικώς ορατές, σαν να τις παρατηρούμε μέσα από ένα πέπλο ομίχλης, δίνεται η δυνατότητα στο μάτι να γίνει πιο δημιουργικό στην τέχνη του να βλέπεις. **15****

## Εφαρμογές:

### Senior Citizens' Apartments

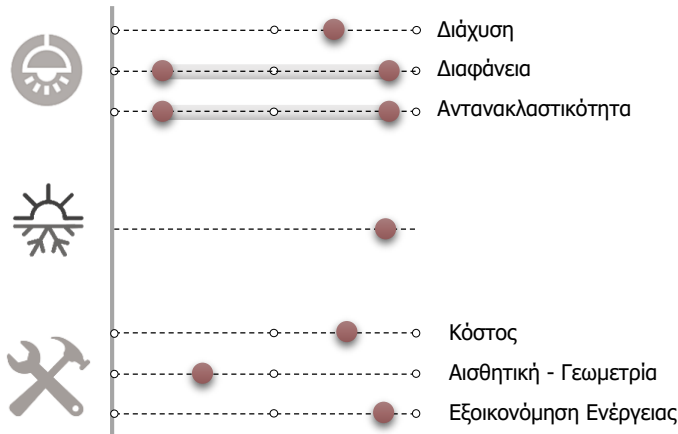
Dietrich Schwarz, Domat/Ems, Switzerland, 2004

Το συγκεκριμένο παράδειγμα εκφράζει μια έξυπνη διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας σε περιβάλλον το οποίο δεν χαρακτηρίζεται από ακραίες θερμοκρασίες, γεγονός που αποδεικνύει την σπουδαιότητά του και την τοποθέτησή του σε ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο αρχιτέκτονας χρησιμοποιεί οριζόντια ανοίγματα προς τα βόρεια, ενώ η νότια πρόσοψη είναι ανοικτή κι αυτή στη θέα χωρίς να υπάρχει φόβος για τον νότιο ήλιο, καθώς χρησιμοποιεί την τεχνολογία GLASSX, σε μια επιφάνεια των 148



Εικόνα 7 \_ Η τεχνολογία GLASSX

τετραγωνικών μέτρων. Η μορφή που παίρνει το παράθυρο με το ένυδρο άλας όταν κρυσταλλώνει, εμφανίζει οριζόντιες γραμμές σε επανάληψη δημιουργώντας ένα δυναμικό και σταθερό γεωμετρικό μοτίβο.



10. Αρνέλλου, Ζ., Μπέρκη, Α., Σαραντινούδη, Π., *Smart Materials*, Ε.Μ.Π. Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αθήνα, 2012.
11. "After 8 hours of direct solar radiation, the PCM will likely be entirely molten. However, by this time, the external temperature will have started to decrease below the melting point of the PCM."  
<http://www.glassxpcm.com/how-glassx-works>
12. Αρνέλλου, Ζ., Μπέρκη, Α., Σαραντινούδη, Π., *Smart Materials*, Ε.Μ.Π. Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αθήνα, 2012.
13. "Along with vacuum glazings and electrochromic glazings, GlassX is one of a number of a emerging high-tech glazing options that could revolutionize building design in the years ahead--and perhaps make the all-glass building a truly green option."  
<https://www.buildinggreen.com/news-article/high-tech-glazing-phase-change-material>
14. Plummer Henry, *The Architecture of Natural Light*, Thames and Hudson, Monacelli Press, 2009, σελ.85.
15. J. Starobinski, *The Living Eye*, (Harvard Studies in Comparative Literature), 1989, σελ.1-2.



Εικόνα 8 \_ Το κτίριο που χρησιμοποιεί την τεχνολογία GLASSX

## Φωσφορίζοντα Υλικά



### Πρώτη Προσέγγιση:



**Ο Φωσφορισμός είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο ορισμένες χημικές ουσίες που βρίσκονται στα φωσφορίζοντα υλικά, εκπέμπουν την ακτινοβολία που απορροφούν.** Αυτό συμβαίνει όταν ένα μόριο του υλικού απορροφά ενέργεια από το φως που δέχεται και εκπέμπει πάλι φως κατά τη μετάβαση από μία διεγερμένη κατάσταση στην αρχική του θέση. Πρόκειται, ουσιαστικά, για την επανεκπομπή της ενέργειας, σε μήκη κύματος που ανήκουν στο ορατό φάσμα, κατά τη διαδικασία επαναφοράς των μορίων στην αρχική ενεργειακή κατάσταση. Η φωτοβολία αποτελεί το γενικό φαινόμενο, στο οποίο υπόκειται και το φαινόμενο του φωσφορισμού.



### Κύρια Γνωρίσματα:

Κατά τη διάρκεια του φαινομένου, τα ηλεκτρόνια του υλικού διεγείρονται και φορτίζονται με παραπάνω ενέργεια και μεταπηδούν σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Λόγω της έλξης που δέχονται από τον πυρήνα του ατόμου όμως, επιστρέφουν πάλι στην αρχική κατάσταση. Κατά την μεταφορά αυτή, εκπέμπεται και το φως. Δεδομένου ότι αυτές οι μεταβάσεις εμφανίζονται πολύ αργά σε ορισμένα υλικά, η επανεκπομπή γίνεται σε χαμηλότερη ένταση και για αρκετές ώρες μετά την αρχική διέγερση.

**Η αντίδραση γίνεται, λοιπόν, με αργούς ρυθμούς και σε ανεξάρτητη χρονική στιγμή από την επίδραση της ενέργειας που προσπίπτει στο υλικό.**

## Πλεονεκτήματα

- Τα φωσφορίζοντα υλικά **αποθηκεύουν φως για αρκετά λεπτά** ή ακόμη και για ώρες και επανεκπέμπουν μια σημαντική ποσότητα του φωτός για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Επιπλέον, **μπορούν να επαναφορτιστούν όταν εκτίθενται σε φως** ή σε άλλα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, όπως στην υπεριώδη ακτινοβολία.
- Είναι σχετικά **φθηνή τεχνολογία** και
- μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τη μορφή σκόνης, gel, υγρού ή αερίου.

## Μειονεκτήματα

- Αβέβαιο το πόσο φωτεινό είναι ένα φωσφορίζον υλικό ή πόσο καιρό θα εκπέμπει φως.
- Ενώ τα περισσότερα προϊόντα από φωσφορίζοντα υλικά έχουν μετρηθεί με ακρίβεια για να παρέχουν ένα ορισμένο επίπεδο φωτεινότητας για λίγα λεπτά ή ώρες, τα φθορίζοντα υλικά μπορεί να είναι ιδανικότερα για καταστάσεις που απαιτούν ακριβή αποτελέσματα ή μακροχρόνια χρήση.

Τα περισσότερα υλικά που έχουν τη δυνατότητα να φωτοβολούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες είναι στερεά, τα οποία περιέχουν προσμίξεις. Το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός, το μήκος κύματός του καθώς και η διάρκεια της φωτοβολίας εξαρτώνται από το υλικό της πρόσμιξης.

## Εφαρμογές

Τα φωσφορίζοντα υλικά χρησιμοποιούνται σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών και προϊόντων.

- Σε πολλά παιχνίδια, glow in the dark προϊόντα.
- Σε βιομηχανικές εφαρμογές, με τη μορφή του glow in the dark μελανιού ή βαφής για λόγους επισήμανσης.
- Για σκοπούς υγείας, προκειμένου να προσδιορίσουν ένα φάρμακο, μια συσκευή ή αρτηρία μέσα στο ανθρώπινο σώμα.

Στην αρχιτεκτονική, το ενδιαφέρον βρίσκεται στα προϊόντα που εμπεριέχουν φωσφορίζουσες χρωστικές ουσίες όπως για παράδειγμα, σε βαφές, κόκκους και νήματα, τα οποία με την σειρά τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατευθείαν στους τοίχους. Το αποτέλεσμα δεν εξαρτάται μόνο από τη χρωστική ουσία που χρησιμοποιείται, αλλά και από την συγκέντρωση, την επιφάνεια εφαρμογής, το πάχος επικάλυψης και το χρώμα του υποστρώματος. Η αντοχή στην τριβή του χρώματος μπορεί να ενισχυθεί με την εφαρμογή ενός διαφανούς προστατευτικού βερνικιού.

## Αισθητική:

Το φως αποτελεί την πηγή ζωής για τον πλανήτη μας, επηρεάζει το πώς νιώθουμε, ενώ παίζει συναισθηματικό αλλά και πρακτικό ρόλο. Η ποιότητα του φωτός, είτε αυτό είναι φυσικό είτε τεχνητό, έχει σημαντική επίδραση στην διάθεση μας και στην ατμόσφαιρα που δημιουργείται. Μπορεί να μας φτιάξει το κέφι ή να μας προκαλέσει μελαγχολία, να μας διεγείρει ή να μας καταπραΰνει, να μας φοβίσει ή να μας κάνει να νιώσουμε ασφαλείς.

Στο **αίσθημα της ασφάλειας** έρχεται να δώσει λύση ο φωσφορισμός, ο οποίος χρησιμοποιείται στον τομέα της αρχιτεκτονικής σε σημεία όπως οι έξοδοι κινδύνου, οι σκάλες και τα μονοπάτια κατά τις βραδυνές ώρες. Το φως που εκπέμπεται σίγουρα δεν είναι όμοιο του φυσικού δημιουργώντας μια περίεργη και ανοίκεια αίσθηση στον χρήστη. Σαν δεύτερη σκέψη όμως μιλά στη μνήμη του υποσυνείδητα γιατί **ανασύρει εικόνες της φύσης όπως την αντίδραση της πυγολαμπίδας στον κίνδυνο** με την ακτινοβολία φωσφορίζοντος φωτός.

Βρίσκει εφαρμογή σε τοίχους σε όλη την επιφάνειά τους ή σε σχηματισμό μοτίβων, αποκτώντας έτσι μια πιο ρομαντική και μυστηριώδης λάμψη.

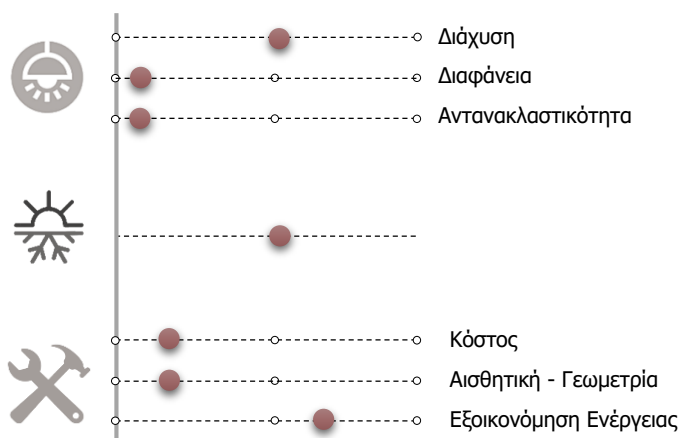
## Εφαρμογές:

### Van Gogh Path

**Roosegaarde (in conjunction with Heijmans), Netherlands, 2014**

Το συγκεκριμένο πρότζεκτ, συνδυάζει την τεχνολογία με την δημιουργία, την εξέλιξη των επιστημών με την ιστορία της τέχνης. Ο ποδηλατόδρομος Van Gogh είναι εμπνευσμένος από το διάσημο έργο του καλλιτέχνη «Έναστρη νύχτα». Αποτελείται από 50.000 πετράδια τα οποία φωσφορίζουν την νύχτα. Η ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από τις πέτρες και αποθηκεύεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, είναι επαρκής για μέχρι και 8 ώρες φωτισμού την νύχτα. Η διαδρομή διαθέτει επίσης και φώτα LED, τα οποία έχουν ως στόχο την ενίσχυση του φωτισμού σε συννεφιασμένες ημέρες, όταν οι πέτρες δεν μπορούν να αποθηκεύσουν την απαραίτητη ενέργεια. Το μοτίβο τους που αναπαριστά στροβιλισμούς κόβει την ανάσα με την λάμψη και τη μαγεία που αντανακλά.





Εικόνα 9 \_ Το μονοπάτι από φωσφορίζοντα υλικά στην Ολλανδία





## **\_3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

Τα παραδείγματα που εξετάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και που δεν στερούνται ούτε αισθητικής ούτε τεχνογνωσίας, είναι τα πλέον κατάλληλα για να δείξουν πως το επόμενο βήμα στην αρχιτεκτονική πρακτική είναι εφικτό. Η τεχνολογία που απαιτείται είναι πλέον σε ώριμο στάδιο, όπως και οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται. Το μόνο εμπόδιο για την επίτευξη μιας ολοκληρωμένης και ριζοσπαστικής αλλαγής είναι η έλλειψη ενσωμάτωσης και υιοθέτησης ενός νέου τρόπου σκέψης για τις πραγματικές ανάγκες του χρήστη, που δεν βασίζεται σε μια καλά ριζωμένη αρχιτεκτονική βάση.

Τα ευφυή υλικά προσφέρουν αμέτρητες δυνατότητες και διευκολύνσεις στην καθημερινότητα μας. Η αρχιτεκτονική έχει ανάγκη από εξέλιξη, από νέα πεδία εφαρμογών και πρωτοποριακών σκέψεων. Το περιβάλλον έχει ανάγκη για νέα συστήματα, που δεν θα το επιβαρύνουν. Για μια αρχιτεκτονική που με τον σεβασμό και με επίκεντρο τον άνθρωπο, και με κύριο σύμμαχο τα έξυπνα υλικά και τις δυνατότητές τους, θα βελτιώσει την ποιότητα ζωής του χρήστη.

Γιατί οι πιο ικανές κατασκευές δεν είναι οι πιο έξυπνες ή οι πιο δυνατές, αλλά εκείνες που μπορούν να ανταποκρίνονται και να αντιδρούν σε αλλαγές. **1**

### Πλεονεκτήματα

- Επίκεντρο ο άνθρωπος
- Αλληλεπίδραση με το φυσικό περιβάλλον
- Βελτίωση του τρόπου ζωής, υγιές περιβάλλον και κάλυψη αναγκών
- Δυναμική μεταβαλλόμενη αρχιτεκτονική και όχι στατική
- Ανάπτυξη μοτίβων φύσης – σχέσεις που συγκινούν
- 50-80 χρόνια ζωής
- Δυνατότητες αυτοσυντήρησης, αυτοεπιδιόρθωσης και αυτοελέγχου
- Δρουν στην μικροκλίμακα – είναι αρκετά ευαίσθητα στο να ικανοποιούν τις ανά λεπτό ανάγκες του χρήστη

### Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος, κάποια δεν κυκλοφορούν στην αγορά, μικρή διαθεσιμότητα
- Έλλειψη κατάρτισης και γνώσης – μη δοκιμασμένα όσον αφορά την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα
- Διαφορετικός τρόπος σκέψης από τα συμβατικά – ασυμβατότητα με τα υφιστάμενα δομικά συστήματα

## Έξυπνη Αρχιτεκτονική

Η έξυπνη αρχιτεκτονική είναι το μέλλον της αρχιτεκτονικής μελέτης. Πρόκειται για καλύτερα κτίρια, καινοτόμα που απέχουν από τα κλασικά πρότυπα συμβατικών κατασκευών. Κτίρια, τα οποία με τον έξυπνο σχεδιασμό μεγιστοποιούν το ενεργειακό ισοζύγιο τους, επιτυγχάνουν σεβασμό προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον αφού αποτελούν υποσύστημά του, μέσω της μίμησης της φύσης και της ενσωμάτωσής της στα συστήματα και στις προϋποθέσεις του κτιρίου. Έτσι, τα έξυπνα υλικά πρέπει να θεωρηθούν το βασικό στοιχείο στην διαδικασία του σχεδιασμού γιατί είναι μη τοξικά, ευέλικτα, διαρκή και συμβάλλουν στην:

- \_ Εξοικονόμηση χρημάτων
- \_ Υπέρβαση των κοινών προτύπων ενεργειακής απόδοσης
- \_ Αισθητική και Λειτουργικότητα
- \_ Ελάχιστη χρήση των πλανητικών πόρων
- \_ Ελαχιστοποίηση του κόστους κύκλου ζωής
- \_ Μείωση αποβλήτων
- \_ Πράσινη εικόνα

Μαζί με την σχέση χρήστη-κτιρίου, την καθημερινότητα και τις συνθήκες άνεσης και διαβίωσης των ανθρώπων, αλλάζει και ο τρόπος αντίληψης και έκφρασης του σχεδιασμού, και μέσα από αυτόν αλλάζει η όψη, και κατά συνέπεια η εικόνα του κτιρίου, η εικόνα της πόλης.

Διαγραμματικά, οι αλλαγές που υφίσταται ο σχεδιασμός:

Στατικότητα	Κίνηση Διαδραστικότητα
Επιφάνειες : όρια ή επικαλύψεις	Μεταβαλλόμενα συστήματα ή ζωντανοί οργανισμοί
Υλικά : αμέτοχα	Διαδραστικά
Form follows function	Form allows function
Τάξη και σταθερότητα	Ευλιγισία και Ευελιξία
Σχεδιασμός μορφών	Σχεδιασμός συνθηκών και κανόνων
Δύο διαστάσεις	3-4 διαστάσεις , μεταδίδουν πληροφορία, συγκροτούν το μέσο διασύνδεσης ψηφιακού και φυσικού κόσμου
Βεβαιότητα	Ρίσκο
Σταθερότητα	Δυναμισμός

Ένα έξυπνο κτίριο θα εξασφαλίζει στο εσωτερικό του τις καταλληλότερες συνθήκες ανά περίπτωση, τόσο στο οικογενειακό, όσο και στο εργασιακό και στο φιλικό περιβάλλον. Αυτά που μεταβάλλονται ουσιαστικά στην καθημερινότητά μας είναι η αίσθηση της ασφάλειας και της αυτονομίας, οι δυνατότητες ελέγχου, η ποιότητα ζωής μας και οι συνθήκες υγιούς διαβίωσης.

Η «ευφυΐα» είναι ροϊκή και ελεύθερη, είναι κίνηση και ζωή. Για τον da Vinci, όπου υπάρχει κίνηση, υπάρχει και ζωή (*"Il moto è causa d'ogni vita."*). Η ζωή περιλαμβάνει άπειρες διαδικασίες αλλαγής και εξέλιξης, που σημαίνει ότι η ανθρώπινη ύπαρξη είναι δυναμική. Σε κάθε μορφή εξέλιξης, ο χρόνος αποτελεί την ανεξάρτητη μεταβλητή. Ένα σύστημα, λοιπόν, για το οποίο ο χρόνος δεν παίζει κανένα ρόλο και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζει καμία αλλαγή, θεωρείται αφύσικο. **2**

---

1, 2. Ουγγρίνης, Κ. Α., *Μεταβαλλόμενη Αρχιτεκτονική: Κίνηση - Προσαρμογή – Ευελιξία*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, 2012, σελίδα 21

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια, η φύση και το περιβάλλον θυσιάστηκαν στον βωμό της τεχνοκρατίας και των αστικών προδιαγραφών, αμελώντας και παραμερίζοντας την αξία και την σπουδαιότητα του ρόλου της φύσης και του περιβάλλοντος σε επίπεδο σχεδιασμού. Την λύση έρχεται να δώσει ένας νέος τομέας υλικών, τα έξυπνα υλικά, τα οποία λειτουργούν ως τρόπος διασύνδεσης του φυσικού με τον τεχνητό κόσμο. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στον άνθρωπο μέσω του οποίου επιτυγχάνεται και η μείωση κατανάλωσης ενέργειας. Στόχος είναι ένας νέος τρόπος σκέψης στην αρχιτεκτονική, μακριά από ναρκισσιστικούς σχεδιασμούς που δεν σέβονται την φύση και τον άνθρωπο.

Είναι σημαντικό να αρχίσουμε να σχεδιάζουμε για την μικρή κλίμακα και όχι για την μεγάλη. Τι χρειάζεται το σώμα και όχι τι χρειάζεται το κτίριο, μόνο τότε θα μειώσουμε την ενέργεια και την υλική επένδυση των μεγάλων συστημάτων ενώ συγχρόνως θα παρέχουμε καλύτερες συνθήκες για τους χρήστες. Είναι ανάγκη να δημιουργηθούν τα θεμέλια για μια έξυπνη αρχιτεκτονική και όχι στατική, με κτίρια που θα ανταπεξέρχονται στα εξωτερικά ερεθίσματα και θα δημιουργούν τις ιδανικές συνθήκες άνεσης για τον χρήστη.

*"Η αληθινή αρχιτεκτονική δεν είναι ένα στατικό, πλαστικό μέγεθος που στέκουμε μπροστά του σα θεατές και μονάχα για να το προσκυνάμε, αλλά είναι κάτι το ζωντανό, που δουλεύουμε και ζούμε μαζί του (που κι αυτό δηλαδή ζει μαζί μας), μέσα στο χώρο του τοπίου και μέσα στο δικό του χώρο, αλλά και μέσα στη διάρκεια της ζωής του."*

Για την αρχιτεκτονική, Ά. Κωνσταντινίδης.

Το πιο σημαντικό απ' όλα είναι ότι πολλές από τις συνήθειες του χρήστη μεταβάλλονται, αφού τώρα δεν είναι πλέον υπεύθυνος αυτός για τους χειρισμούς που θα αποδώσουν τις συνθήκες άνεσης σε ένα χώρο, όπως για παράδειγμα το άνοιγμα ή το κλείσιμο των παραθύρων, αλλά το ίδιο το κέλυφος του κτιρίου αναλαμβάνει στον μεγαλύτερο βαθμό την ευθύνη για τις ενέργειες που θα επιφέρουν την άνεση, προσδιορίζοντας συγχρόνως και το «επιθυμητό» επίπεδό της. Το κτιριακό κέλυφος αποκτά ανθρώπινες διαστάσεις αφού πρότυπό του είναι η ανθρώπινη βιολογία.

Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα έξυπνα υλικά δεν βρίσκουν άμεση εφαρμογή στον κλάδο της αρχιτεκτονικής. Ο στόχος δεν είναι να προδιαγράψουμε ένα ιδανικό σύστημα αλλά να καταστήσουμε δυνατή μία ρευστή διάδραση ανάμεσα στον άνθρωπο και στο περιβάλλον του. Χρειάζεται οι αρχιτέκτονες να απεγκλωβιστούμε από τα στερεότυπά μας και να επενδύσουμε στο διαφορετικό, σε αυτό που θα φέρει την αλλαγή τόσο σε ενεργειακό, αισθητικό επίπεδο όσο και σε κοινωνικό. Μέχρι να εδραιωθούν στην καθημερινότητά μας, σε επίπεδο που να μην φαντάζουν περίπλοκα και να κατανοηθούν από τον κάθε χρήστη, θα συνοδεύονται από κλίμα αμφιβολίας. Οι εφαρμογές τους παρόλα αυτά αναμένεται να είναι επαναστατικές και καθοριστικές για την ανθρώπινη εξέλιξη. Απαιτείται να είναι επαναστατικές και καθοριστικές γιατί η έλλειψη πρωτότυπου σχεδιασμού και κτιρίων εξουδετερώνει τον σύγχρονο αρχιτεκτονικό πολιτισμό.

Η αρχιτεκτονική είναι μια πραγματικά διεπιστημονική δραστηριότητα, που διασχίζει πολλούς διαφορετικούς τομείς. Εκτός από την επιστήμη και την τεχνολογία των υλικών, οι αρχιτέκτονες πρέπει να ενσωματώσουν τις γνώσεις όλων των επιστημών βάσει των πολιτιστικών εξελίξεων και της ιστορίας, και να εξισορροπήσουν τις απαιτήσεις διαφόρων κυβερνητικών φορέων, οικοδομικών πρακτικών και οικονομικών συγκυριών με τις ανησυχίες για την κοινωνική ευθύνη καθώς και για τις μεμονωμένες ανάγκες. Η τεχνολογία ποτέ δεν το έχει κάνει, και κατά πάσα πιθανότητα δεν θα το κάνει ποτέ, να σφετεριστεί αυτούς τους πολλαπλούς ρόλους.



*"Architecture should strive to imitate the principles of nature without imitating its forms."*

Frank Lloyd Wright

# **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**



### **Βιβλιογραφικές αναφορές:**

Addington, M., & Schodek, D., *Smart materials and Technologies for the architecture and design professions*, Architectural Press, Elsevier, Oxford, 2005.

Le Corbusier, *Για μια αρχιτεκτονική*, μετάφραση Παναγιώτης Τουρνικιώτης, εκδόσεις Εκκρεμές, Αθήνα, 2004

Plummer Henry, *The Architecture of Natural Light*, Thames and Hudson, Monacelli Press, 2009.

Ritter, Axel, *Smart materials in architecture, interior architecture and design*, Birkhauser-Publishers for Architecture, Switzerland, 2007.

Ουγγρίνης, Κ. Α., *Μεταβαλλόμενη Αρχιτεκτονική: Κίνηση - Προσαρμογή – Ευελιξία*, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα, 2012.

### **Διπλωματικές Εργασίες:**

Mohammed Thabit Al-Baldawi, *Application of Smart Materials in the Interior Design of Smart Houses*, College of Architecture and Design, Al-Ahliyya Amman University, Jordan, 2015.

Αρνέλλου, Ζ., Μπέρκη, Α., Σαραντινούδη, Π., *Smart Materials*, Ε.Μ.Π. Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αθήνα, 2012.

Κακολύρη, Θ., Martjanova, I., Miraliyari, M., *SELF, Smart Efficient Lightweight Facade, Innovative Material Guide*, TU Delft, Ολλανδία, 2014.

Καλογερόπουλος, Θ. Α., *Εφαρμογές Έξυπνων Υλικών*, Ε.Μ.Π Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα, 2010.

Καμπιτάκη, Α. Μ., Χαμηλοθώρη, Κ., *Όψεις που ανταποκρίνονται στο περιβάλλον / Memorigami*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Χανιά, 2014.

Κεράνης, Μ. Κ., *Ο ρόλος του φωτός στην αρχιτεκτονική δημιουργία*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πάτρα, 2010.

Μαραγκουδάκη, Α., *Κινητική Αρχιτεκτονική χωρίς Μηχανικά Μέρη*, Ε.Μ.Π. Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Αθήνα, 2012.

Ορφανός, Γιάννης, *Η Δυνητικοποίηση Των Υλικών*, Ε.Μ.Π. Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών.

Ρουμπάνη, Γ., Ταρουδάκη, Κ., *Computational Design / Έξυπνα Υλικά η παράλληλη προσέγγιση*, Ε.Μ.Π Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα, 2013.

### **Διαδικτυακές πηγές**

[https://issuu.com/materfad/docs/smart\\_flexibility\\_eng\\_01](https://issuu.com/materfad/docs/smart_flexibility_eng_01)

[http://blogs.iad.zhdk.ch/ba-project-development-2013/files/2013/02/Background\\_Research\\_Eddi.pdf](http://blogs.iad.zhdk.ch/ba-project-development-2013/files/2013/02/Background_Research_Eddi.pdf)

<http://www.sadas-pea.gr/to-ktiriako-kelifos-os-epidermida-effii-ilika-ke-diataxis/>

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809916301497>

## **Ηλεκτροχρωμικά υλικά:**

### Διπλωματικές Εργασίες και Άρθρα

Lisi, Daniela, *Electrochromic Glass*, Πανεπιστήμιο Λέτσε, Ιταλία, 2002.

Jelena Savić, Danijela Đurić-Mijović, Veliborka Bogdanović, *Architectural Glass: Types, Performance And Legislation*, University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Serbia, 2013.

### Διαδικτυακές Πηγές

<http://www.commercialwindows.org/electrochromic.php>

[http://www.railway-energy.org/static/Smart\\_windows\\_64.php](http://www.railway-energy.org/static/Smart_windows_64.php)

[http://www.gesimat.de/data/s\\_423-426\[1\].pdf](http://www.gesimat.de/data/s_423-426[1].pdf)

<http://spie.org/newsroom/0196-electrochromic-safety-glass-for-smart-window-applications>

<http://www.commercialwindows.org/electrochromic.php>

<http://urbanland.uli.org/industry-sectors/infrastructure-transit/smart-glass-shadows/>

<https://www.sageglass.com/portfolio/siemens-wind-turbine-facility-hutchinson-usa>

<https://buildings.lbl.gov/sites/all/files/59950.pdf>

## **SmartWrap**

### Διπλωματικές Εργασίες και Άρθρα

Karl Wallick, *Making Smartwrap: From Parts To Pixels*, University of Cincinnati.

Sherif Mohamed Sabry Elattar, *Smart structures and material technologies in architecture applications*, Architecture Department, Faculty of Engineering, Fayoum University, Egypt, 2013.

### Διαδικτυακές Πηγές

<http://www.kierantimberlake.com/>

<http://transmaterial.net/smartwrap/>

[http://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia04\\_046.content.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/acadia04_046.content.pdf)

<http://inhabitat.com/smart-wrap/>

<http://www.di.net/articles/kierantimberlakes-smartwrap-getting-attention/>

<http://www.academicjournals.org/journal/SRE/article-full-text-pdf/01E26F836744>

## **Θερμοδιμεταλλικά ελάσματα**

### Διαδικτυακές Πηγές

<http://www.dosu-arch.com/research.html>

[https://www.ted.com/talks/doris\\_kim\\_sung\\_metal\\_that\\_breathes#t-481063](https://www.ted.com/talks/doris_kim_sung_metal_that_breathes#t-481063)

<https://paw.princeton.edu/article/doris-kim-sung-%E2%80%999986-breathable-buildings>

<http://www.archdaily.com/505016/when-biology-inspires-architecture-an-interview-with-doris-kim-sung>

<https://architizer.com/blog/doris-kim-sung-thermo-bimetal/>

<https://www.usatoday.com/story/tech/2014/03/28/ozy-doris-sung-breathable-houses/7002915/>

## **Θερμοτροπικά**

### Διπλωματικές Εργασίες και Άρθρα

Arno Seeboth \*, Ralf Ruhmann and Olaf Mühling, *Thermotropic and Thermochromic Polymer Based Materials*, Department Chromogenic Polymers, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research, for Adaptive Solar Control, Berlin, Germany, 2010.

### Διαδικτυακές Πηγές

[http://www.iap.fraunhofer.de/en/research/functional\\_polymer\\_systems/chromogenic\\_polymers/thermotropic\\_polymers.html](http://www.iap.fraunhofer.de/en/research/functional_polymer_systems/chromogenic_polymers/thermotropic_polymers.html)

[http://www.iap.fraunhofer.de/content/dam/iap/en/documents/FB2/Solardim\\_ECO\\_Fraunhofer-IAP.pdf](http://www.iap.fraunhofer.de/content/dam/iap/en/documents/FB2/Solardim_ECO_Fraunhofer-IAP.pdf)

## **Κράματα μνήμης σχήματος**

### Διαδικτυακές Πηγές

<https://nait5.wordpress.com/2008/06/11/pixelskin02/>

<http://comafat.blogspot.gr/2012/03/pixelskin02.html>

<http://transmaterial.net/pixelskin02/>

## **Πιεζοηλεκτρικά Πολυμερή – Κεραμικά**

### Διπλωματικές Εργασίες και Άρθρα

Tae hoon Kim, *Characterization and applications of piezoelectric polymers*, University of California, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, Berkeley, 2015.

### Διαδικτυακές Πηγές

<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20020044745.pdf>

<http://www.domusweb.it/en/design/2009/02/05/sustainable-dance-club-rotterdam.html>

<http://www.energy-floors.com/technology/>

## **Υλικά αλλαγής φάσης GLASSX**

### Διαδικτυακές Πηγές

<https://www.buildinggreen.com/news-article/high-tech-glazing-phase-change-material>

<http://www.glassxpcm.com/how-glassx-works/>

<https://www.laros.com.au/glass-x/>

[http://d-lite.org/page/glassx\\_crystal\\_p295.php](http://d-lite.org/page/glassx_crystal_p295.php)

## **Φωσφορίζοντα υλικά**

### Διαδικτυακές Πηγές

<http://www.tech-faq.com/phosphorescence.html>

<https://www.boundless.com/physics/textbooks/boundless-physics-textbook/introduction-to-quantum-physics-28/applications-of-quantum-mechanics-183/fluorescence-and-phosphorescence-676-4913/>





