

smart + materials

> ΑΡΝΕΛΛΟΥ ΖΩΗ-ΔΑΦΝΗ
ΜΠΕΡΚΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ
ΣΑΡΑΝΤΙΝΟΥΔΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

> ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΠΑΠΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2012

Περιεχόμενα	_i
Θέμα - Σκοπός - Μεθοδολογία	_iii
Πρόλογος	_iv
Πρώτη Προσέγγιση	_1
1.1 Ορισμοί	_4
1.2 Ιδιότητες και Χαρακτηριστικά	_10
1.3 Η εσωτερική Δομή	_14
1.4 Γενικές Αρχές Δημιουργίας	_16
1.5 Εφαρμογές σε Διάφορους Τομείς	_21
Ανάλυση	_25
2.1 Γενικές Κατηγοριοποιήσεις	_28
2.1.1 Τύπος 1: Υλικά Μεταβολής Ιδιότητας	_31
2.1.2 Τύπος 2: Υλικά Ανταλλαγής Ενέργειας	_36
2.2 Αρχιτεκτονική Κατηγοριοποίηση	_41
2.2.1 Κατηγοριοποίηση με κριτήριο το περιβάλλον στο οποίο επιδρούν	_43
2.2.2 Κατηγοριοποίηση με κριτήριο τη μορφή τους	_45
2.2.3 Κατηγοριοποίηση με κριτήριο το σύστημα στο οποίο εντάσσονται	_53
Εφαρμογές	_65
Συμπεράσματα	_85
Μία ανασκόπηση στις δυνατότητες που γεννούν τα έξυπνα υλικά	_87
...και η άλλη όψη του νομίσματος	_89
Αρχιτεκτονική και έξυπνα υλικά- Τι αλλάζει στο σχεδιασμό;	_91
Τα “ερωτηματικά” που συνοδεύουν τα ευφυή υλικά	_94
Έξυπνο περιβάλλον - πως επηρεάζει την καθημερινότητα μας;	_99
Μελλοντικές Προοπτικές	_100
Επίλογος	_103
Πηγές	_105

Το θέμα που πραγματεύεται η εργασία αυτή είναι τα έξυπνα ή ευφυή υλικά, ως στοιχεία, ως δομικά και συστατικά μέρη, αλλά και ως μία νέα καινοτομία στον τομέα της αρχιτεκτονικής με πολλές δυνατότητες εφαρμογών στον σχεδιασμό και την κατασκευή έξυπνων περιβαλλόντων και κτιρίων, που παρουσιάζει, όμως, μέχρι στιγμής μικρά ποσοστά εφαρμοσμένων δειγμάτων.

Βασικός σκοπός είναι η αποσαφήνιση του όρου έξυπνα υλικά, των εννοιών και των χαρακτηριστικών που τα διέπουν, η κατάταξή τους σαν χρήσιμα αρχιτεκτονικά εργαλεία, καθώς και η διερεύνηση του ρόλου και των δυνατοτήτων εφαρμογής τους σε νέας μορφής κτίρια, αλλά και η μελέτη της αναγκαιότητας ύπαρξής τους στη σύγχρονη εποχή.

Το θέμα προσεγγίζεται με παραγωγικό τρόπο. Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η μελέτη της εξελικτικής πορείας των έξυπνων υλικών αλλά και των ιδιαίτερων συνθηκών που οδήγησαν στην εμφάνισή τους, καθώς και ο ορισμός του όρου, οι ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα, η δομή και η σύσταση τους. Σε δεύτερο στάδιο γίνεται ένας διαχωρισμός με βάση το μηχανισμό λειτουργίας κάθε ομάδας υλικών και μελετώνται οι ομαδοποιήσεις και οι τεχνικές προδιαγραφές τους ανάλογα με τους υπάρχοντες τύπους κατηγοριοποίησής. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένας εναλλακτικός τρόπος οργάνωσής τους με βάση το οπτικό-πρακτικό τους αποτέλεσμα, προκειμένου να λειτουργήσουν ως χρήσιμα εργαλεία για τον σχεδιαστή. Ακολουθεί μία αναφορά σε διαφορετικών μορφών εφαρμογές τους, σε επιμέρους συστατικά κατασκευαστικά μέρη και συστήματα που μπορούν να παραχθούν από τη βιομηχανία. Στο τρίτο στάδιο αναλύονται οι βασικές αρχές και η φιλοσοφία που πρέπει να διέπουν το σχεδιασμό με ευφυή υλικά, γίνεται αναφορά στα ήδη υπάρχοντα και πιθανά μελλοντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εφαρμογής τους, καθώς και σε ενδεικτικά υφιστάμενα παραδείγματα κατασκευών και μελετών στις οποίες έχει γίνει χρήση τους. Σε τελικό στάδιο επιχειρείται μία προσπάθεια κριτικής αντιμετώπισης του θέματος, τίθενται ερωτήματα και προβληματισμοί σχετικά με την αναγκαιότητα ύπαρξης των έξυπνων υλικών, την προσφορά στην κοινωνία, την μελλοντική εξέλιξη τους στην αρχιτεκτονική, τις μεταβολές που θα επιφέρουν σε διάφορους τομείς.

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 και διδακτορικές διατριβές κυρίως από ξένα αλλά και εγχώρια πανεπιστήμια καθώς και από το διαδίκτυο.

Η πορεία των υλικών μέχρι σήμερα

Η ιστορία της ανθρωπότητας είναι συνυφασμένη με την πρόοδο στη χρήση των υλικών. Από το ξεκίνημά της, η επιστήμη των υλικών έχει υποστεί μία ευδιάκριτη εξέλιξη, περνώντας από τη χρήση αδρανών δομικών υλικών, σε υλικά που κατασκευάζονται για μια συγκεκριμένη λειτουργία, σε ενεργά ή προσαρμοστικά υλικά, και, τέλος, σε έξυπνα υλικά που διαθέτουν οξύτερες αναγνωριστικές, διακριτικές και αντιδραστικές ικανότητες.¹ Ο ρυθμός ανάπτυξης των υλικών δια μέσου των αιώνων και μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα, ήταν μικρός. Αρχίζει να επιταχύνεται από τις αρχές του 20ου, ενώ τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, με την εμφάνιση των ευφυών υλικών, εξελίσσεται ταχύτατα. Τα καινοτόμα αυτά υλικά προκαλούν επανάσταση στη μέχρι τώρα θεώρηση των υλικών, αφού η χρήση τους βασίζεται στις λειτουργίες που μπορούν να εκτελέσουν, και όχι στις συνήθεις φυσικές ή μηχανικές ιδιότητες τους.² *Η ανάπτυξή τους στηρίζεται στην συγχώνευση των επιτευγμάτων της τεχνολογίας των υλικών με αυτήν της πληροφορίας.*³

Τα πρώτα δείγματα έξυπνων υλικών χρονολογούνται στο 1880, αν και μελέτες για την δημιουργία τους έχουν αρχίσει ήδη να εκπονούνται από το Μεσαίωνα. Οι όροι "έξυπνα" και "ευφυή" προέρχονται από το εργαστήριο του γραφείου έρευνας του στρατού των ΗΠΑ(1980), παρόλο που η δημιουργία τους χρονολογείται δεκαετίες πριν. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ανακαλύψεων των τελευταίων 50 χρόνων προέρχεται από έρευνες του στρατού για την άμυνα και την ένδυση, αλλά και από τη NASA που βασίστηκε σε έξυπνα υλικά για τις σημαντικότερες αλλαγές στην αεροναυτική τεχνολογία. Κατά την τελευταία δεκαετία πολλά παραδείγματα αυτής της τεχνολογίας βρίσκουν ολοένα και περισσότερες εφαρμογές σε αντικείμενα της καθημερινότητάς μας, όπως παιχνίδια, ρουχισμό, δομικά υλικά, αυτοκίνητα, έπιπλα, βιομημητικά μέλη και κάθε είδους εξοπλισμό. Για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται από πολλούς ως τα υλικά του μέλλοντος, με δεδομένο ότι ζούμε στη εποχή της ταχύτατης μετάδοσης της πληροφορίας και της επικοινωνίας, που εξαρτώνται εξ ολοκλήρου από τη χρήση προηγμένης τεχνολογίας υλικών. *Η επιστήμη των υλικών έχει να επιδείξει ακόμη πολύ σημαντικά και ταχύτατα βήματα προόδου.*⁴

Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής με την επίδραση των υλικών

*Η ιστορία της σύγχρονης αρχιτεκτονικής μπορεί σχεδόν να προβληθεί μέσα από το φακό της ιστορίας των υλικών και των αρχιτεκτονικών τους εφαρμογών.*⁵ Αρχικά, τα υλικά επιλέγονταν είτε με βάση τη χρησιμότητα και τη διαθεσιμότητά τους, είτε ανάλογα με την εμφάνισή τους και τα διακοσμητικά τους χαρακτηριστικά. Οι αρχιτέκτονες περιορίζονταν στην κατανόηση των εξωτερικών τους ιδιοτήτων και συμβιβάζονταν με αυτές. Η γνώση για την αντίληψη και την αξιοποίηση των διαθέσιμων υλικών αποκτιόταν μέσα από την εμπειρία και την παρατήρηση, μέσω λαθών και καταγραφικών δοκιμών.

Μετά την βιομηχανική επανάσταση, ο ρόλος τους μεταβάλλεται ριζικά και αρχίζουν να αξιοποιούνται μαζικά τα προκατασκευασμένα υλικά. Ξεκινώντας από τον 19^ο αιώνα, με την ευρεία εισαγωγή του χάλυβα, τα υλικά πέρασαν από τον προγενέστερο ρόλο τους, σε αυτό των μέσων για να επεκταθούν οι λειτουργικές επιδόσεις και να δοθούν νέες απαντήσεις σε σχεδιαστικά και κατασκευαστικά ζητήματα. *Τη δεκαετία του '90, πραγματοποιείται σταδιακά μια στροφή προς στην υλικότητα, μέσα όμως από μία πολύ διαφορετική προσέγγιση από αυτή του παρελθόντος, με τη δημιουργία «ζωντανών» χώρων που αλληλεπιδρούν με τον χρήστη.*⁶ Στον 21ο αιώνα, οι σχεδιαστές θα είναι, εν καιρώ, σε θέση να επιλέγουν και να κατασκευάζουν τις ιδιότητες και συμπεριφορές των υλικών από τα οποία επιθυμούν να αποτελείται το κτίριο.

Τα ευφυή οικοδομικά υλικά πρεσβεύουν από τη φύση τους μιας διαφορετικής φιλοσοφίας αρχιτεκτονική και απαιτούν την ολοκληρωτική απομάκρυνση από τα παραδοσιακά κατασκευαστικά συστήματα. Είναι δυναμικά και συμπεριφέρονται ως απάντηση στα ενεργειακά πεδία. Ως αποτέλεσμα οι αρχιτέκτονες έχουν αρχίσει να εισάγουν στη κουλτούρα και στη λογική των κτιρίων τη διαδραστικότητα και το μετασχηματισμό. Επιπλέον, ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της σύγχρονης αρχιτεκτονικής που επιτάσσει τα κτίρια να προσαρμόζονται σε περιβαλλοντικές και άλλες αλλαγές αντί να προσπαθούν να τις αντέξουν.

Οι ιδιαίτερες συνθήκες που οδήγησαν στη δημιουργία και τη διαρκή εξέλιξη των ευφυών υλικών

Τα έξυπνα υλικά θεωρούνται από πολλούς μια λογική συνέχεια της πορείας της ανάπτυξης των υλικών και της εξέλιξής τους προς πιο εκλεπτυσμένες και εξειδικευμένες μορφές, με στόχο την κάλυψη των βασικών αλλά και των νέων αναγκών που δημιουργούν ο σύγχρονος τρόπος ζωής, οι ταχύτεροι ρυθμοί ανάπτυξης, τα σύγχρονα κοινωνικά πρότυπα και η διαρκώς εξελισσόμενη τεχνολογία. Για κάθε τομέα μελέτης και εφαρμογής των υλικών υπήρξαν ιδιαίτερες συνθήκες που οδήγησαν στην ανάπτυξή τους, ωστόσο κοινά κίνητρα για όλους αποτέλεσαν: η ανάγκη αντιμετώπισης παροδικών επιθυμιών, οι ανάγκες για μικρότερο βάρος, λιγότερες απαιτήσεις συντήρησης, βελτιστοποίησης των επιδόσεων, ελαχιστοποίησης των αστοχιών, ακριβή ελέγχου και έγκαιρης προειδοποίησης, η προσπάθεια για βελτίωση του εύρους και της ποιότητας των συνθηκών επιβίωσης, εξοικονόμησης ενέργειας, εξασφάλισης υψηλής ποιότητας, ασφάλειας και άνεσης σε συνδυασμό με χαμηλό κόστος, καθώς και η ανάγκη για προσαρμοστικότητα και αντιμετώπιση απρόβλεπτων καταστάσεων.

Όσον αφορά στην αρχιτεκτονική, θεωρούμε πως δεν αποτέλεσε, εξ αρχής, κίνητρο για τη δημιουργία και ανάπτυξη των ευφυών υλικών. Παρόλα αυτά, η υιοθέτηση αυτών στο σχεδιασμό της φαίνεται να συντελεί στην αποτελεσματική επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάζουν οι συμβατικές κατασκευές. Η επιδίωξη για έναν πιο οικολογικό σχεδιασμό, η ανάγκη για μια καλύτερη ποιότητα ζωής, η ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης, η βελτιστοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς καθώς και η αύξηση του κύκλου ζωής των κτιρίων ταυτόχρονα με τον καλύτερο δομικό τους έλεγχο είναι ορισμένες μόνο από τις δυνατότητες που τα έξυπνα υλικά προσφέρουν.⁷

Παρά την ταχύτατη εξέλιξή τους, η εφαρμογή των υλικών σε όλους τους τομείς είναι ακόμα πολύ περιορισμένη για να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα ως προς το κατά πόσο ανταποκρίνεται στις παραπάνω ανάγκες. Η αποτελεσματικότητά τους θα κριθεί με την πάροδο του χρόνου, στην καθημερινότητά μας.

Αναφορές:

- 1,3. <http://www.ntua.gr/archtech/orfanos/keimeno.htm>
2. http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3677/3/kalogeropoulosth_smartmaterials.pdf
- 4,5. Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), *Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions*. Architectural Press, Elsevier
6. Αθηνά Σταυρίδου 26-11-2009, «Αναδυόμενες ιδιότητες- έξυπνα υλικά»
7. <http://www.ntua.gr/archtech/orfanos/keimeno.htm>

Πρώτη Προσέγγιση

“Έξυπνα”, “ευφυή”, “σοφά” ή ακόμη και “αυτοπροσαρμοζόμενα” ή “πολυλειτουργικά”, είναι μερικές από τις ονομασίες με τις οποίες μπορούμε να συναντήσουμε τα υλικά νέας γενιάς στο μεγαλύτερο μέρος της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Ο κάθε όρος προσδιορίζει διαφορετικές ιδιότητες.

Ένα “αυτοπροσαρμοζόμενο” υλικό έχει την ικανότητα να δέχεται ερεθίσματα από το περιβάλλον του. Η “**εξυπνάδα**” (smartness) έγκειται στην δυνατότητα του υλικού να αντιδρά στα ερεθίσματα που δέχεται με προκαθορισμένο τρόπο, δηλαδή να διαθέτει την απαραίτητη γνώση για να αντιδράσει. Η “**ευφυΐα**” (intelligence) αφορά την ενσωμάτωση της απαραίτητης ενέργειας, για να πραγματοποιηθεί η βέλτιστη δυνατή αντίδραση στο εξωτερικό ερέθισμα σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή και περιλαμβάνει την ικανότητα απόκτησης γνώσεων, κρίσης και ταχείας αντίληψης. Ως “σοφό” (wise) χαρακτηρίζεται ουσιαστικά ένα υλικό το οποίο με την πάροδο του χρόνου μπορεί να αποφασίζει και να επιλέγει από μόνο του τις αντιδράσεις του στα διάφορα ερεθίσματα. Τα υλικά νέας γενιάς περιλαμβάνουν είτε όλες τις παραπάνω έννοιες είτε συνδυασμούς τους. Προκειμένου να μην δημιουργούνται ασάφειες, τα παραπάνω υλικά θα αναφέρονται στο σύνολο της εργασίας ως ευφυή ή έξυπνα υλικά με την ευρύτερη έννοια, παραδεχόμενοι ότι οι δύο αυτοί όροι περιλαμβάνουν όλες τις παραπάνω ιδιότητες.¹

Το “**I.Q.**” των έξυπνων υλικών υπολογίζεται συνήθως λαμβάνοντας υπόψη τόσο την ταχύτητα και τον τρόπο ανταπόκρισής τους στο ερέθισμα που δέχονται από το περιβάλλον, όσο και την ποικιλία των ερεθισμάτων που είναι ικανά να ανιχνεύσουν. Οφείλουμε να τονίσουμε ότι πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα υλικά αυτά δεν είναι πραγματικά ευφυή με την κλασική έννοια του όρου, αλλά παρουσιάζουν τέτοια χαρακτηριστικά και λειτουργίες, τα οποία συνδυαζόμενα με τα κατάλληλα συστήματα και δομές έχουν ως αποτέλεσμα “**έξυπνες συμπεριφορές**”. Ως εκ τούτου κανένα υλικό δεν μπορεί να είναι “έξυπνο” απομονωμένο. Λειτουργούν ως συστήματα και αλληλεπιδρούν με τον περιβάλλοντα χώρο. Στην πραγματικότητα το επιθυμητό αποτέλεσμα, ως αντίδραση σε μια διέγερση, μπορεί να επιτευχθεί έμμεσα και με τη χρήση συμβατικών υλικών. Εντούτοις, η πολυπλοκότητα των συστημάτων τους, ο χώρος που καταλαμβάνουν, η έλλειψη αυτοματοποίησης και αμεσότητας, τα καθιστούν δύσχρηστα και επομένως αναποτελεσματικά.²

Οι ορισμοί που έχουν αποδοθεί στα έξυπνα υλικά ποικίλλουν, λόγω της σχετικά πρόσφατης ανακάλυψής τους, της μελέτης τους από διαφορετικούς επιστημονικούς και τεχνολογικούς τομείς, αλλά και της συνεχόμενης εξέλιξης των χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων τους. Ουσιαστική μελέτη και έρευνα των επιστημόνων πάνω στα υλικά αυτά έχει πραγματοποιηθεί κατά κύριο λόγο τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, με την εξέλιξη τους να επιταχύνεται και πρακτικά από το 2000 και μετά. Θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι επίσημος συμφωνημένος πλήρης ορισμός δεν υπάρχει, αφού όσοι έχουν δημιουργηθεί έως και σήμερα διαφέρουν ανάλογα με την οπτική γωνία που εξετάζονται, τον τομέα ενασχόλησης των μελετητών αλλά και τους στόχους που εξυπηρετεί το αντικείμενο μελέτης.

Οι υπάρχοντες ορισμοί θα μπορούσαν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες³, με κριτήριο την κλίμακα μελέτης των έξυπνων υλικών: Η πρώτη αναφέρεται σε αυτούς που μελετούν τα υλικά στο μικρόκοσμο, δηλαδή επιχειρώντας να τα ορίσουν με βάση τη δομή τους ή τις εσωτερικές τους λειτουργίες. Η δεύτερη περιλαμβάνει αυτούς που εξετάζουν τα υλικά στον μακρόκοσμο, σαν μέρη μιας ολότητας, ανάλογα με τον τομέα στον οποίο ανήκει το αντικείμενο μελέτης τους. Ένας δεύτερος πιθανός διαχωρισμός των ορισμών είναι με βάση τον τρόπο αντιμετώπισης του αντικειμένου που ορίζουν και κατ' επέκταση με τον τύπο των αντικειμένων που θεωρούν ότι περικλείει ο όρος “ευφυή” υλικά: Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει αυτούς που αναφέρονται στα υλικά ως ουσίες, δηλαδή ως στοιχεία με συγκεκριμένη μοριακή δομή. Η δεύτερη εμπεριέχει αυτούς που αναφέρονται στα υλικά ως σειρές ενεργειών, αφήνοντας ανοιχτό το ζήτημα ως προς το είδος των αντικειμένων που μπορεί να συμπεριληφθούν, τη συνθετότητά τους, τη σύστασή τους από ένα ή περισσότερα υλικά ή συστήματα.

Η δημιουργία ενός ακριβούς ορισμού είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Σε γενικές γραμμές, μπορούμε να καθορίσουμε ως ευφυή τα υλικά τα οποία έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν τη συμπεριφορά τους, τη δομή τους, τη σύστασή τους, ή κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητές τους, με συγκεκριμένο και ελεγχόμενο τρόπο, ανταποκρινόμενα σε κάποιο εξωτερικό ερέθισμα. Δηλαδή έχουν την δυνατότητα να εκτελούν προκαθορισμένες λειτουργίες, όταν δεχθούν συγκεκριμένες εξωτερικές διεγέρσεις. Οι διεγέρσεις αυτές μπορεί να είναι μεταβολές στην πίεση, τη θερμοκρασία, τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, την υδροστατική πίεση, χημικά προϊόντα, ακτινοβολίες, και άλλα. Ωστόσο, το γεγονός που τα διαφοροποιεί ουσιαστικά από τα υπόλοιπα υλικά, είναι ότι οι μεταβολές που πραγματοποιούνται είναι αποτέλεσμα του αρχικού σχεδιασμού ενός σύνθετου, τεχνητού υλικού και όχι της φυσικής αντίδρασης ενός συμβατικού υλικού. Τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν αποτελούν μέρος των περισσότερων ορισμών που τους έχουν αποδοθεί έως τώρα.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε παραδείγματα εναλλακτικών ορισμών που έχουν δοθεί στα έξυπνα υλικά από διαφορετικούς επιστημονικούς και ερευνητικούς κλάδους μελέτης και εφαρμογής τους (όπως αυτοί της τεχνολογίας υλικών, των κατασκευών, των θετικών επιστημών, της αεροδιαστημικής, των μεταφορών, της ρομποτικής, των ηλεκτρονικών, της άμυνας, της ιατρικής και της υγειονομικής περίθαλψης, της ένδυσης, του εμπορίου, της ενέργειας και του περιβάλλοντος, της βιομηχανίας, της παραγωγής, της τέχνης, κλπ.) και θα επιχειρήσουμε να ερμηνεύσουμε τη συλλογιστική πορεία της προέλευσης τους.

Με βάση τη μελέτη και την εξέλιξη των ευφυών υλικών στην μικρο-κλίμακα, ως στοιχεία, με κριτήριο τη σύσταση, τη μοριακή δομή τους, τις πιθανές δυνατότητες τους, την εξέλιξή τους και τον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας τους επιχειρούν να τα ορίσουν οι παρακάτω τομείς:

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

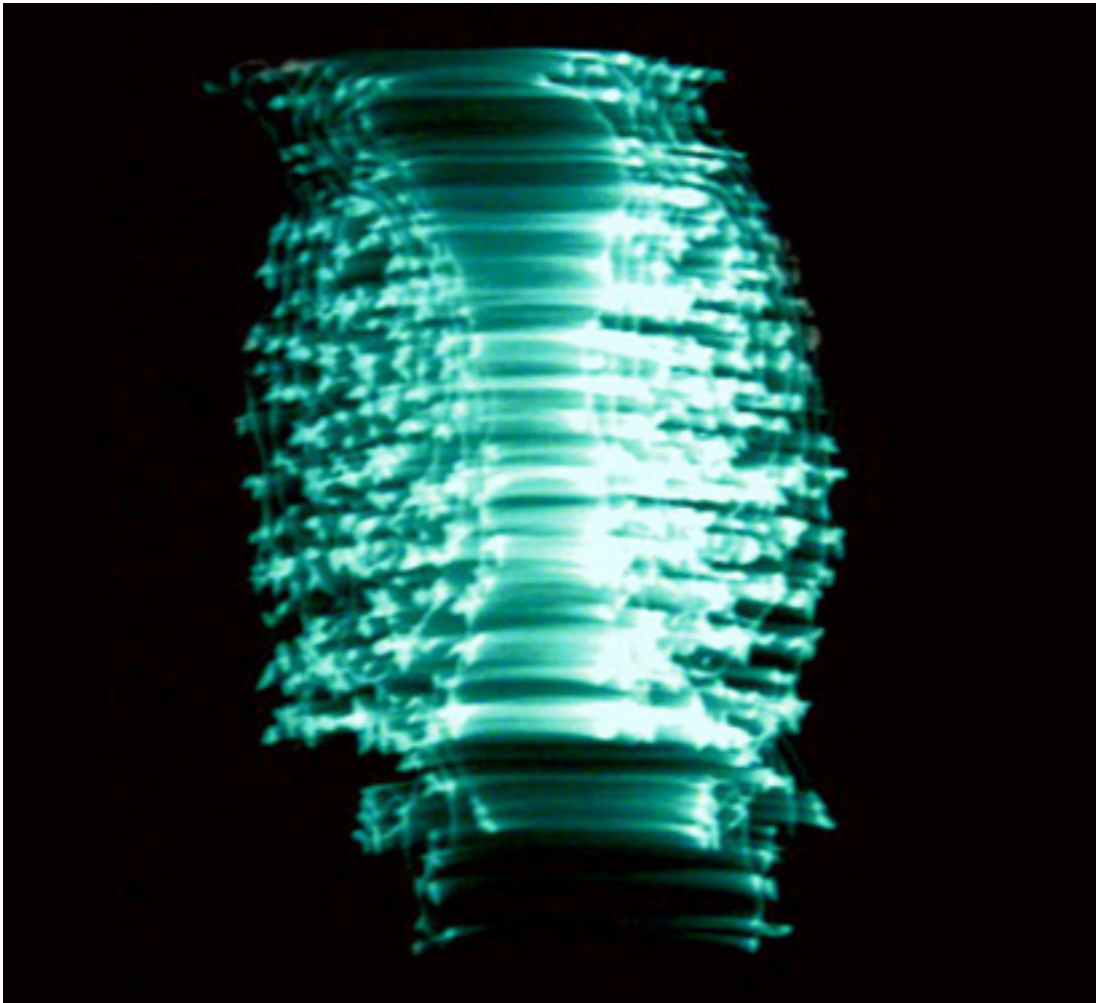
Έξυπνο υλικό είναι αυτό που έχει μία μοριακή δομή η οποία απαντά με έναν συγκεκριμένο και ελεγχόμενο τρόπο σε επιρροές επάνω του. Αυτές ποικίλουν από μαγνητικά αλλαγμένα υλικά, σε μόρια με μνήμη που επιστρέφουν στην αρχική τους μορφή, σε υλικά τα οποία παράγουν ένα ηλεκτρικό φορτίο όταν πιέζονται, ή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



Εικόνα 1-1 Πηγή: <http://www.loop.ph/twiki/pub/Loop/ResponsiveTextiles/LoopImage.jpg>

Παρά το γεγονός ότι οι παραπάνω τομείς μελετούν τα υλικά με μια εσωστρέφεια βασιζόμενοι στην εσωτερική δομή και λειτουργία τους, μεταξύ των ορισμών που δίδονται είναι εμφανής η διάκριση των υλικών ως ουσίες στον τομέα της τεχνολογίας των υλικών, σε αντίθεση με τον κλάδο των θετικών επιστημών που τα ορίζει επικεντρωμένος στις λειτουργίες τις οποίες είναι ικανά να εκτελούν. Και οι δύο αναφέρονται ουσιαστικά στον ίδιο ή παρόμοιο τύπο συμπεριφοράς, αλλά διαφέρει ο τύπος των αντικειμένων τα οποία προδιατίθενται να συμπεριλάβουν στον ορισμό.⁴

Οι περισσότεροι τομείς ωστόσο εξετάζουν και ορίζουν το αντικείμενο κυρίως μακροσκοπικά, σύμφωνα με τον τρόπο με τον οποίο θα το αξιοποιήσουν και θα το εφαρμόσουν για την επίτευξη μιας έξυπνης κατασκευής ή ενός μέρους αυτής. Ορισμένοι από τους αυτούς είναι οι εξής:

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 άμυνας

Τα έξυπνα υλικά είναι υλικά που έχουν την ικανότητα να αισθάνονται την δική τους αντίδραση σε περιβαλλοντικά και τεχνητά ερεθίσματα και να μετασχηματίζουν αυτή την αντίδραση με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν ή να βελτιστοποιούν την κατασκευαστική τους απόδοση, χρησιμοποιώντας ενσωματωμένους αισθητήρες και ενεργοποιητές, συνδεδεμένους με προσαρμοζόμενα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου που βασίζονται σε μοντέλα του συστήματος ερέθισμα-αντίδραση.

United States' Army Research Office, June 1993

Μια έξυπνη κατασκευή είναι ένα σύστημα που περιλαμβάνει πολυλειτουργικά μέρη που μπορούν να εκτελέσουν αίσθηση, έλεγχο και ενεργοποίηση. Είναι ένα πρωτόγονο ανάλογο βιολογικού σώματος.

Australian Government - Department of Defense

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

Των μεταφορών

Έξυπνα υλικά είναι αυτά που έχουν την ικανότητα να αλλάζουν το σχήμα, την ακαμψία ή τη δύναμή τους όταν είτε θερμότητα, πίεση, ένα ηλεκτρικό ρεύμα ή ένα μαγνητικό πεδίο εφαρμόζεται, και μπορούν να επιστρέψουν στην προηγούμενη κατάστασή τους όταν το ερέθισμα αφαιρεθεί.

General Motors

Της ένδυσης

Το έξυπνο υλικό στην ένδυση ταυτίζεται με το έξυπνο ύφασμα και ορίζεται ως το υλικό το οποίο είναι ικανό να αισθάνεται ερεθίσματα από το περιβάλλον, να αντιδρά σε αυτά και να προσαρμόζεται σε αυτά με την ενσωμάτωση λειτουργιών στη δομή του υφάσματος. Σύμφωνα με τον τρόπο αντίδρασής τους τα υλικά χωρίζονται σε παθητικά έξυπνα, ενεργητικά έξυπνα και πολύ έξυπνα υλικά.

GHENT University of Belgium - Department of textiles

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

Έξυπνο υλικό είναι αυτό το οποίο εμφανίζει έξυπνη συμπεριφορά. Έξυπνη συμπεριφορά παρουσιάζεται όταν ένα υλικό μπορεί να αισθανθεί ένα ερέθισμα από το περιβάλλον και να αντιδράσει σε αυτό με ένα χρήσιμο, αξιόπιστο, παραγωγικό και συνήθως αναστρέψιμο τρόπο.

[Interactive architecture.org/](http://Interactive.architecture.org/) online Smart Design Guide

Πέρα από τον διαχωρισμό των υλικών ως ουσίες και ως σύνολο ενεργειών που συναντά κανείς, αυτό που παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η προσπάθεια κάθε κλάδου να ορίσει τα ευφυή υλικά σύμφωνα με το αντικείμενο ενασχόλησής του, δηλαδή σύμφωνα με τα συστήματα στα οποία θα αξιοποιήσει τα παραπάνω υλικά. Στην κατηγορία αυτή παρατηρείται, επίσης, μια διαφοροποίηση ως προς τις ιδιότητες, τις δυνατότητες και τον τύπο συμπεριφοράς των υλικών, ανάλογα με τα αντικείμενα στα οποία αυτά ανάγονται κατά περίπτωση.

Είναι ευδιάκριτο ότι στην πρώτη κατηγορία, οι διάφοροι τομείς εστιάζουν στην έρευνα της εσωτερικής λειτουργίας των υλικών, έχοντας ως εξειδικευμένο αντικείμενο την ανάπτυξη των ίδιων ως στοιχεία, ενώ στη δεύτερη τα αντιμετωπίζουν ως συστατικά μέρη μιας ολότητας, χρήσιμα για την πρόοδο του αντικειμένου του κάθε κλάδου. Η μελέτη σε εσωτερικό επίπεδο είναι απαραίτητη για την πρόοδο των ερευνών πάνω στην εξέλιξη των ευφυών υλικών αφού μία επικεντρωμένη έρευνα, αποτελεί το αναγκαίο θεωρητικό υπόβαθρο για μια πιο εμπειριστατωμένη και εις βάθος γνώση και κατανόηση του τρόπου δημιουργίας και λειτουργίας τους.

Στον τομέα της αρχιτεκτονικής, μέχρι στιγμής, τα ευφυή υλικά μελετώνται μακροσκοπικά, ως συστήματα που πραγματοποιούν σύνολα ενεργειών και αντιδράσεων, παράγοντας ένα χρήσιμο αποτέλεσμα. Ο κεντρικός άξονας γύρω από τον οποίο περιστρέφονται όλες οι έρευνες και οι εφαρμογές είναι οι “έξυπνες συμπεριφορές”, χωρίς να έχει ξεκαθαριστεί αν αυτές αφορούν συστήματα, συσκευές, σύνθεση υλικών ή ατομικά υλικά.

Ταυτόχρονα η έρευνα και η πρακτική εφαρμογή των έξυπνων υλικών σε διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους, βοήθανε στην ταχύτερη εξέλιξή τους, στην τελειοποίηση των μεθόδων και στην επέκταση των κλάδων εφαρμογής τους. Ως αποτέλεσμα, οι τομείς που προαναφέρθηκαν αλλά και άλλοι παρεμφερείς, συνεργάζονται διαρκώς σε θέματα ανάπτυξης των υπάρχοντων υλικών και δημιουργίας νέων καινοτόμων, ανταλλάσσοντας και δανείζοντας ερευνητικό υλικό ή εξελίσσοντας μελέτες κλάδων διαφορετικού αντικειμένου, με στόχο την εμπειριστατωμένη μελέτη και την ταχύτερη εξέλιξη τους.

Αναφορές:

1. http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3677/3/kalogeropoulosth_smartmaterials.pdf
2. <http://www.interactivearchitecture.org/smart-materials-1-definition.html>, <http://www.pnas.org/content/96/15/8330.full>
- 3,4. Αθηνά Σταυρίδου 26-11-2009, «Αναδυόμενες ιδιότητες- έξυπνα υλικά»

1.2 Ιδιότητες και Χαρακτηριστικά

Κάθε ευφυές υλικό έχει εσωτερικές αλλά και εξωτερικές ιδιότητες, που αλληλοεξαρτώνται και αλληλοεπηρεάζονται. 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 το περιβάλλον και 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.

Οι εγγενείς ιδιότητες των έξυπνων υλικών, λόγω της μεγάλης ποικιλίας, της ιδιαίτερης φύσης και της μεταβλητότητάς τους, διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν, το είδος τους, τη δομή, το σκοπό και το αντικείμενο εφαρμογής τους. Ωστόσο, τα υλικά αυτά παρουσιάζουν και πολλά κοινά χαρακτηριστικά και δυνατότητες που τα διαφοροποιούν από τα συμβατικά και τα υψηλής απόδοσης υλικά.¹

Μπορούμε να συνοψίσουμε τις ποικίλες διαφορετικές ιδιότητες που παρουσιάζουν τα ευφυή υλικά στις τέσσερις παρακάτω κατηγορίες ή θεμελιώδεις ιδιότητες² με βάση τη συμπεριφορά, τον τρόπο λειτουργίας και αντίδρασης των υλικών, όπως ορίζονται στην αρχιτεκτονική.

Δυνατότητα μεταβολής μιας ή περισσότερων ιδιοτήτων, ως απόκριση στη μεταβολή των συνθηκών του περιβάλλοντος χώρου των υλικών. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να είναι χημική, θερμική, μηχανική, μαγνητική, οπτική ή ηλεκτρική. Οι συνθήκες του περιβάλλοντος μπορεί να είναι οι επικρατούσες ή μπορεί να παραχθούν μέσω μιας ευθείας ενεργειακής εισροής. Τα υλικά τα οποία διαθέτουν αυτή την έμφυτη ιδιότητα παρουσιάζουν και τις μεγαλύτερες πιθανότητες εφαρμογής τους στον τομέα της αρχιτεκτονικής. Τέτοια υλικά είναι τα θερμοχρωμικά, τα ηλεκτροχρωμικά, τα φωτοχρωμικά, κλπ.

Δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας, που συνίσταται στην ικανότητα μεταβολής της εισερχόμενης ενέργειας σε μια άλλη πιο χρήσιμη και αξιοποιήσιμη μορφή. Η λειτουργία τους βασίζεται στον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής. Σε ορισμένα από αυτά, ο τρόπος παραγωγής της ενέργειας μπορεί να συντελέσει και σε απόκτηση άμεσων δυνατοτήτων ενεργοποίησης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα πιεζοηλεκτρικά, τα πυροηλεκτρικά, τα χημιοφωτοβόλα, τα φωτοβολταϊκά, τα θερμοηλεκτρικά αλλά και υλικά όπως τα αγώγιμα πολυμερή, τα ηλεκτροσυστολικά κ.α., τα οποία μέσω της διαδικασίας της παραγωγής ενέργειας ενεργοποιούν και την μεταβολή κάποιων ιδιοτήτων.

Διακριτό μέγεθος, θέση και ευθεία δράση του υλικού, που αναφέρονται στη μικρή κλίμακα τους, τις ελάχιστες απαιτήσεις σε υποστήριξη υποδομής, την χρήση και τοποθέτηση του στις πιο κατάλληλες και αποτελεσματικές θέσεις, καθώς και στην ευθύτητα της μεταβολής ιδιότητας ή της ανταλλαγής ενέργειας. Οι ιδιότητες αυτές τα καθιστούν πιο αποδοτικά από παρόμοια συστήματα κατασκευασμένα από συμβατικά υλικά και ισχύουν για όλα τα ευφυή υλικά.

Αντιστρεψιμότητα και η δι-κατευθυντήρια γραμμή, εντοπίζονται στην ικανότητα ενός υλικού να πραγματοποιεί περισσότερες από μία αλλαγές- αντιδράσεις, είτε με την εφαρμογή του ίδιου είτε διαφορετικών ερεθισμάτων από το περιβάλλον του. Η αντιστρεψιμότητα προσδιορίζεται ως η δυνατότητα αντιστροφής του ρόλου της εισροής (ερέθισμα), και της παραγωγής ενέργειας (αντίδραση, αποτέλεσμα). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κατά βάση σε υλικά των οποίων η λειτουργία στηρίζεται στην εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος. Η δι-κατευθυντήρια γραμμή αφορά την ιδιότητα αλλαγής διπλής κατεύθυνσης ορισμένων έξυπνων υλικών, που συνίσταται, ουσιαστικά, στο γεγονός ότι μπορούν να ενεργοποιούν δύο διαφορετικές αντιδράσεις, να παράγουν δύο ξεχωριστά αποτελέσματα όταν δέχονται ένα ερέθισμα. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται τόσο στα υλικά που αλλάζουν μια ιδιότητά τους ή πραγματοποιούν ανταλλαγή ενέργειας με την περαιτέρω εκμετάλλευση της παροδικής μεταβολής τους, για παράδειγμα στα υλικά απορρόφησης ενέργειας ή αλλαγής φάσης με την απελευθέρωση ενέργειας για την αλλαγή ή τη σταθεροποίηση των συνθηκών του περιβάλλοντος με ταυτόχρονη μεταβολή των μηχανικών τους ιδιοτήτων.

Επιπλέον, ένα μέρος των υλικών αυτών, κατά κύριο λόγο όσα πραγματοποιούν μεταβολές στο σχήμα, στο χρώμα, την μορφή μιας ενέργειας, κ.λ.π., παρουσιάζουν και την **αναστρεψιμότητα**, την ικανότητα δηλαδή να επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση, μετά την απομάκρυνση του ερεθίσματος που προκάλεσε την ενεργοποίηση της αντίδρασης.

Τα πέντε θεμελιώδη **χαρακτηριστικά**³ που αντλούνται από τη συμπεριφορά τους και τα οποία καθιστούν ένα υλικό έξυπνο, διακρίνοντάς το ταυτόχρονα από τα παραδοσιακά που χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική, είναι τα εξής:

η αμεσότητα, δηλαδή η ικανότητά τους να αποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο, να παράγουν ένα άμεσο αποτέλεσμα στο ερέθισμα που δέχονται

η παροδικότητα, που έγκειται στην δυνατότητά τους να αποκρίνονται σε περισσότερες από μία περιβαλλοντικές καταστάσεις, σε διαφορετικές συνθήκες και ποικίλα εξωτερικά ερεθίσματα,

η αυτοενεργοποίηση, η οποία αναφέρεται στην εγγενή ευφυΐα τους, την προγραμματισμένη μέσα από τη δομή τους ικανότητα να ενεργοποιούν μία αντίδραση σε ένα ερέθισμα,

η επιλεκτικότητα, που συνίσταται στο γεγονός ότι η απόκρισή τους είναι ξεχωριστή, ελεγχόμενη και προβλέψιμη, εφόσον είναι προγραμματισμένη από το στάδιο της κατασκευής τους,

η ευθύτητα, που εντοπίζεται στο γεγονός ότι η απόκρισή τους είναι τοπική στο ενεργοποιητικό ερέθισμα, είναι στοχευόμενη και περιορισμένη.

Ένα μεγάλο μέρος των καινοτόμων αυτών υλικών παρουσιάζει και ένα έκτο βασικό χαρακτηριστικό, αυτό της **προσαρμοστικότητας ή βιωσιμότητας**, δηλαδή της ικανότητάς τους να αναδιαρθρώνονται, να αναμορφώνονται και να διορθώνονται είτε με την πάροδο του χρόνου, είτε ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες.

Οι ουσιαστικές **διαφορές των έξυπνων υλικών από τα συμβατικά**⁴, οφείλονται στην μεγαλύτερη γκάμα δυνατοτήτων των πρώτων σε σχέση με τα δεύτερα. Πέρα από τις καταλυτικές ετερομορφίες τους στη δομή, τη σύσταση, τις ιδιότητες, τον τρόπο λειτουργίας, κατασκευής και προσέγγισής τους, υπάρχουν και λιγότερο εμφανείς και είναι οι εξής:

- Τα πρώτα μπορεί να είναι τρισδιάστατα (να παρεμβάλλονται στο χώρο), τετραδιάστατα (να εξελίσσονται στο χρόνο) ή και πενταδιάστατα (να μεταφέρουν ή να μεταδίδουν πληροφορία) εν αντιθέσει με τα δεύτερα που περιορίζονται στις δύο διαστάσεις και επομένως τις αντιλαμβανόμαστε ως επιφάνειες.

- Τα μεν είναι δυναμικά, διαδραστικά, κατά μία έννοια “ζωντανά”, υλικά αφού είναι ικανά να προγραμματίζονται, να αισθάνονται, να αντιδρούν με το περιβάλλον τους, να κατανοούν και να αποκτούν γνώση, ενώ τα δε είναι στατικά και αποτελούν απλά ένα όριο μεταξύ του εσωτερικού του κελύφους και του περιβάλλοντα χώρου.

- Τα ευφυή υλικά λόγω των ευμετάβλητων ιδιοτήτων τους, έχουν την δυνατότητα να ανταποκρίνονται σε παροδικές ανάγκες και επιθυμίες. Απεναντίας, τα συμβατικά υλικά καλύπτουν τις βασικές ανάγκες τις οποίες έχουν σχεδιαστεί εξ αρχής να καλύπτουν.

- Τα νέα υλικά εισάγουν την έννοια της μικρο-κλίμακας και επικεντρώνονται στην άμεση κάλυψη των αναγκών του ανθρώπινου σώματος, όταν τα συμβατικά υλικά από τη φύση τους αδυνατούν να παρέχουν κάτι περισσότερο από την έμμεση εξασφάλιση των κατάλληλων ομοιογενών συνθηκών για τον άνθρωπο, μέσω ολόκληρου του εσωτερικού του κτηρίου. Τα έξυπνα υλικά επομένως παρέχουν την δυνατότητα σχεδιασμού άμεσων και ξεχωριστών περιβαλλόντων για το σώμα.

- Τα ευφυή υλικά παρουσιάζουν συνήθως μεγαλύτερη αντοχή στο χρόνο, ιδιαίτερα όσα διαθέτουν την ικανότητα της αυτοεπιδιόρθωσης.

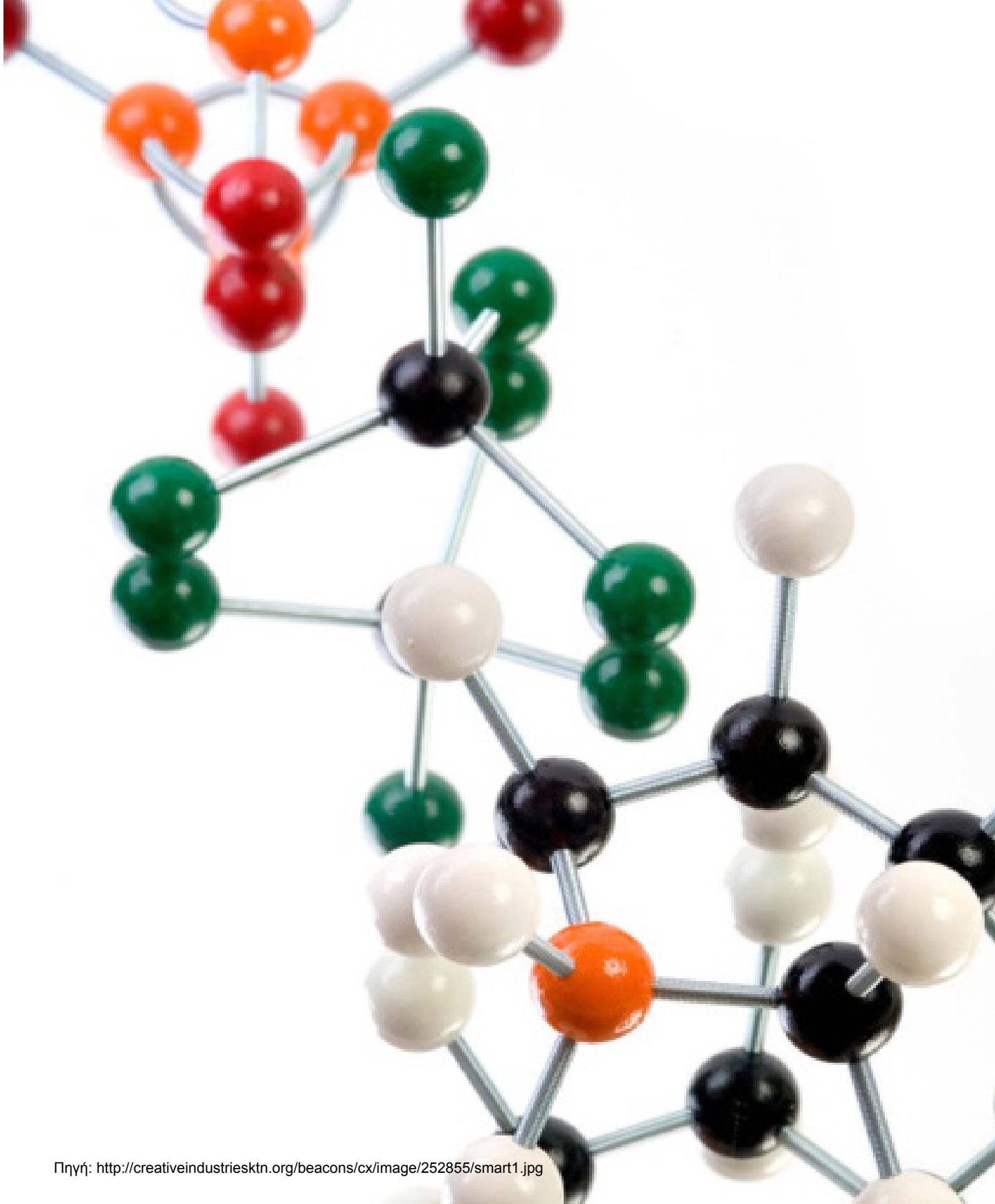
- Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά υλικά τα οποία βελτιστοποιούνται για μία μοναδική κατάσταση, τα ευφυή παρέχουν την δυνατότητα ανταπόκρισης σε πολλαπλές διαφορετικές συγκυρίες.

Αναφορές:

1,3. Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions. Architectural Press, Elsevier, σελ. 5, 22

2. http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3677/3/kalogeropoulosth_smartmaterials.pdf

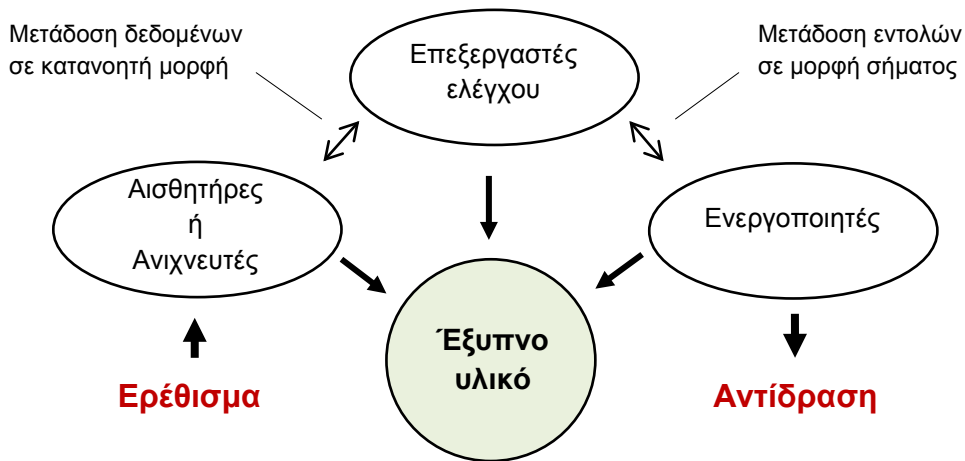
4. Αθηνά Σταυρίδου 26-11-2009, «Αναδυόμενες ιδιότητες- έξυπνα υλικά»



Τα σύνθετα υλικά, μπορεί να περιλαμβάνουν στο εσωτερικό τους αισθητήρες ή ανιχνευτές, ενεργοποιητές αλλά και μετατροπείς και επεξεργαστές ελέγχου που παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Ωστόσο ένα υλικό μπορεί να θεωρηθεί έξυπνο ακόμη κι αν διαθέτει μόνο αισθητήρες ή ανιχνευτές. Στο σημείο αυτό πρέπει να δοθεί έμφαση στη διάκριση ενός έξυπνου υλικού από μία έξυπνη δομή (κατασκευή). Μία έξυπνη δομή περιλαμβάνει τα παραπάνω στοιχεία υπό τη μορφή μικρότερων συσκευών, μπορεί και ευφυών υλικών, συνδυασμένων με υλικό και λογισμικό ελέγχου που λειτουργούν ως ενιαίο σύστημα, προκειμένου να αντιδράσουν έξυπνα σε ένα ερέθισμα. Αντιθέτως, σε ένα έξυπνο υλικό οι λειτουργίες αυτές είναι έμφυτες και η αντίδρασή του είναι αποτέλεσμα της φυσικής λειτουργίας του, με βάση τη σύστασή του και τις ιδιότητες που του προσδόθηκαν κατά τη διαδικασία του αρχικού σχεδιασμού του.

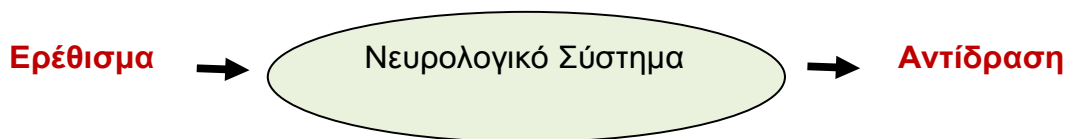
Τα όργανα που δέχονται τα ερεθίσματα από το περιβάλλον είναι οι αισθητήρες και οι ανιχνευτές. Ο **αισθητήρας** ανταποκρίνεται σε φυσικά και χημικά ερεθίσματα, όπως για παράδειγμα κίνηση, μεταβολές θερμοκρασίας, χημικές συγκεντρώσεις και άλλα, μετρώντας τις αλλαγές σε δοθείσες φυσικές μεταβλητές. Περιλαμβάνει πάντοτε ανταλλαγή ενέργειας ή μετατροπή της από μία μορφή σε μία άλλη. Μπορεί να είναι αισθητήρες φωτός, ήχου, θερμικοί, υγρασίας, αφής, θέσης, προσέγγισης, κίνησης, χημικοί, μαγνητικοί, βιοαισθητήρες, σμήνη ή έξυπνη σκόνη, εντοπισμού αντικειμένων, συστημάτων αναγνώρισης, και άλλα. Ένας **ανιχνευτής** παρουσιάζει πολυπλοκότερη δομή, η οποία περιλαμβάνει έναν αισθητήρα καθώς και τα απαραίτητα ηλεκτρονικά συστήματα, για τη μετατροπή του σταλμένου από τον αισθητήρα σήματος σε χρήσιμη και κατανοητή μορφή. Ο ρόλος του είναι να ανιχνεύει το χώρο καταγράφοντας είτε τις υπάρχουσες συνθήκες είτε μεταβολές που παρατηρούνται σε αυτόν.

Το σήμα ή η εξαγόμενη ενέργεια του αισθητήρα ή του ανιχνευτή, οδηγείται είτε σε μετατροπέα και στη συνέχεια σε επεξεργαστή, είτε απευθείας σε ενεργοποιητές. Ο **μετατροπέας** συνιστά το όργανο στο οποίο μεταφέρεται το εξαγόμενο από τους αισθητήρες σήμα ή ενέργεια, προκειμένου να μετατραπούν σε μορφή κατανοητή και επεξεργάσιμη από το υπολογιστικό περιβάλλον, δηλαδή τον επεξεργαστή ελέγχου. Οι **επεξεργαστές ελέγχου** δέχονται τις πληροφορίες που έχουν ληφθεί από τους αισθητήρες ή τους ανιχνευτές υπό μορφή κατανοητών σε αυτούς σημάτων, τις αναλύουν, καταλήγουν σε συμπεράσματα, αποφασίζουν για την απαραίτητη αντίδραση και στέλνουν τα κατάλληλα σήματα στον ενεργοποιητή. Ο **ενεργοποιητής** μετατρέπει την εισαχθείσα ενέργεια από τον αισθητήρα ή την οδηγία που έχει λάβει από τον επεξεργαστή ελέγχου, με τη μορφή ενός σήματος, σε μηχανική ή χημική δράση. Δεν μπορούν να αποτελέσουν από μόνοι τους μέρος ενός έξυπνου υλικού, αφού στην ουσία εκτελούν απλά μία προαποφασισμένη ενέργεια, ωστόσο είναι απαραίτητοι για την αντίδραση του υλικού στο ερέθισμα που έλαβε από το περιβάλλον του.



Εικόνα 1-2: Τα βασικά στοιχεία από τα οποία είναι δυνατόν να δομείται ένα έξυπινο υλικό

Πρέπει να επισημανθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις, ένα υλικό που λειτουργεί ως αισθητήρας μπορεί να ρυθμιστεί κατάλληλα, ώστε να λειτουργεί και ως ενεργοποιητής, ως μετατροπέας, ως ανιχνευτής ή και επεξεργαστής ελέγχου. Τα έξυπινα υλικά δεν συμπεριλαμβάνουν πάντα όλες τις παραπάνω λειτουργίες στο εσωτερικό τους. Μέχρι στιγμής, οι περισσότερες έξυπνες κατασκευές αποτελούνται από κάποια επιμέρους ευφυή υλικά, που συνδέονται με εξωτερικά υπολογιστικά συστήματα. Στόχος των επιστημόνων είναι τελικά, όλες αυτές οι επιμέρους διαδικασίες, να πραγματοποιούνται όσο το δυνατόν στο εσωτερικό του υλικού, εκμεταλλευόμενοι τις ενισχυμένες δυνατότητες αντίδρασής του, πλησιάζοντας όλο και περισσότερο στο βιολογικό μοντέλο, που μιμείται τους ζωντανούς οργανισμούς και το ανθρώπινο νευρολογικό σύστημα.



Εικόνα 1-3: Το βιολογικό μοντέλο λειτουργίας

Αναφορές:

1. Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions. Architectural Press, Elsevier, σελ. 114
<http://www.wikipedia.org>
<http://www.journal.forces.gc.ca/vo1/no3/doc/25-32-eng.pdf>
<http://academic.uprm.edu/pcaceres/Undergrad/Smart-Alessandra/id17.htm>



Εικόνα 1-4: Η κρυσταλλική δομή του χαλαζία, Πηγή: <http://www.sciencephoto.com/media/9043/enlarge>

Αρχικά, θα αναφερθούμε στους δύο βασικούς μηχανισμούς¹ με τους οποίους προσδιορίζεται η εξυπνάδα των υλικών, είτε πρόκειται για ένα ατομικό διακριτό υλικό είτε για ένα συνθετότερο σύστημα, οι οποίοι τα διαχωρίζουν τόσο από τα συμβατικά υλικά όσο και από τα υλικά υψηλής τεχνολογίας και απόδοσης. Ο πρώτος μηχανισμός είναι αυτός ο οποίος επηρεάζοντας την εσωτερική ενέργεια ενός υλικού, μέσω της μεταβολής είτε της μοριακής δομής του είτε της μικρο-δομής του, έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή μιας ιδιότητας του υλικού. Ο δεύτερος, αλλάζοντας την ενεργειακή κατάσταση της σύνθεσης ενός υλικού, χωρίς να αλλάζει το ίδιο το υλικό, προκαλεί μια ανταλλαγή ενέργειας από μία μορφή σε μία άλλη, ως αποτέλεσμα μιας εισαγόμενης πληροφορίας.

Και οι δύο μηχανισμοί δρουν στην μικρο-κλίμακα, επηρεάζοντας τη μοριακή και ατομική δομή του υλικού. Επομένως, τα αποτελέσματα τους δεν είναι σε κάθε περίπτωση ορατά με γυμνό μάτι. *Η διαφορά των δύο μηχανισμών έγκειται στο γεγονός ότι στον πρώτο, για τη μεταβολή του τύπου της ιδιότητας, το υλικό απορροφά την εισροή ενέργειας και υφίσταται μια μεταβολή, ενώ στον δεύτερο για την ανταλλαγή τύπου ενέργειας, το υλικό παραμένει αμετάβλητο και η ενέργεια υφίσταται μεταβολή.*²

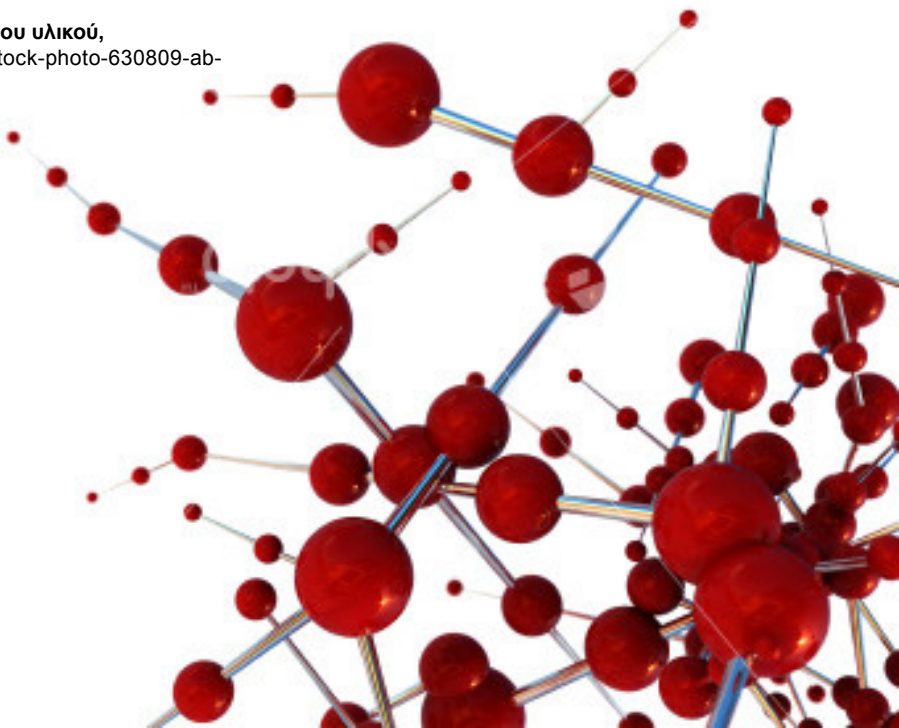
Στη συνέχεια θα επισημάνουμε τη μεθοδολογία με την οποία δημιουργούνται και λειτουργούν τα έξυπνα υλικά, συμπεριλαμβάνοντας και την μετατροπή συμβατικών υλικών σε ευφυή. Αρχικά, παρατίθενται οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα υλικά σύμφωνα με την ατομική και τη μοριακή δομή τους, και γίνεται αναφορά σε διάφορες μεθόδους και τεχνικές με τις οποίες τα υλικά κάθε κατηγορίας μετατρέπονται σε έξυπνα, στη μικροκλίμακα. Ακολουθεί μία ειδικότερη κατηγοριοποίηση των υλικών με βάση το είδος τους και τη χρήση τους αρχιτεκτονικά, η οποία εστιάζει σε μεγαλύτερη κλίμακα, συμπεριλαμβάνοντας και επεξήγηση των τρόπων παρέμβασης σε αυτά.

Οι τρεις βασικές κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται τα υλικά είναι οι εξής:³

Τα **κρυσταλλικά**, τα οποία παρουσιάζουν ομαλή και επαναλαμβανόμενη διάταξη των δομικών τους μονάδων, δηλαδή των ατόμων, των μορίων και των ιόντων, που συνδέονται με διάφορους τύπους χημικών δεσμών, σχηματίζοντας μεγαλύτερες δομές. Η διάταξή τους στο χώρο δεν είναι τυχαία αλλά ακολουθεί κάποιο γεωμετρικό νόμο. Έτσι σχηματίζεται το πλέγμα από την επανάληψη του οποίου στις τρεις διαστάσεις προκύπτει το κρυσταλλικό στερεό. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι τέτοιων κρυσταλλικών πλεγμάτων ανάλογα με τα στοιχεία συμμετρίας (άξονες, επίπεδα κλπ.) που περιέχουν αλλά και τη φύση των δυνάμεων που συγκρατούν τις δομικές μονάδες σε αυτά.

Τα **άμορφα**, στα οποία οι δομικές μονάδες, έχουν τυχαία δομή με ελάχιστη ή καμία τάξη μεταξύ τους και ελάχιστη εσωτερική μορφή.

Εικόνα 1-5: **Η μοριακή δομή άμορφου υλικού**,
Πηγή: <http://www.istockphoto.com/stock-photo-630809-abstract-molecular-structure.php>



Τα **πολυκρυσταλλικά**, τα οποία αποτελούνται από μεγάλο αριθμό μικρών κρυστάλλων ή κόκκων, που ενώ οι ίδιοι παρουσιάζουν τάξη στη δομή τους, είναι τοποθετημένοι με τυχαίο τρόπο.

Η ακριβής σύνθεση αυτών των διαφορετικών εσωτερικών δομών και οι δυνάμεις δεσμών μεταξύ των δομικών μονάδων τους καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις μηχανικές, ηλεκτρικές, χημικές και άλλες ιδιότητες των υλικών που παίζουν καθοριστικό ρόλο στις εφαρμογές σχεδιασμού των έξυπνων υλικών.

Μετατροπές στις ιδιότητες των υλικών μπορεί να προκαλούνται από την απορρόφηση ενός πρωτονίου, από μια χημική αντίδραση, από την ενσωμάτωση μιας σειράς συμβάντων, από μεταβολή ή περιστροφή τμημάτων εντός της μοριακής δομής, από τη δημιουργία μικρο-ατελειών στις δομές των πλεγμάτων. Αυτές περιλαμβάνουν ανωμαλίες σημείων (να λείπουν άτομα), ελλείψεις γραμμών (να λείπει μια σειρά ατόμων), ελαττώματα σε μια περιοχή (συμπεριλαμβανομένων των ορίων των κόκκων) και ελαττώματα στον όγκο (πραγματικές κοιλότητες). Όλες αυτές οι παραλλαγές από το τέλειο πλέγμα τυπικά προκαλούν αλλαγές στις ιδιότητες των υλικών, κυρίως στα μέταλλα. Οι ελλείψεις γραμμών, συνήθως ονομάζονται «εξαρθρώσεις» και είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Με εφαρμογή μιας πίεσης, οι εξαρθρώσεις στην πραγματικότητα κινούνται μέσω της δομής του κρυστάλλου. Υλικά στα οποία οι μετακινήσεις αυτές μπορούν να συμβούν ελεύθερα είναι συνήθως πολύ όλκιμα .

Τυπικές διαδικασίες όπως ροή θερμότητας, χύτευση ή μηχανικές κατεργασίες (π.χ. σφυρηλάτηση) μεγαλύτερων τεμαχίων υλικού μπορεί να δημιουργήσουν κυριολεκτικά εκατομμύρια εξαρθρώσεις σε μια κρυσταλλική δομή. Οι ίδιες αυτές διαδικασίες επηρεάζουν, επίσης, το μέγεθος των κόκκων τον προσανατολισμό τους και άλλα χαρακτηριστικά. Μεταβολές στη δομή των κόκκων μπορούν στη συνέχεια να παράγουν αλλαγές στις ιδιότητες υλικών. Οι ιδιότητες (π.χ., αντοχή, ολκιμότητα, ελατότητα, σκληρότητα) πολλών κοινών μετάλλων επηρεάζονται έντονα με αυτόν τον τρόπο. Άλλα υλικά δεν μπορούν να επηρεαστούν το ίδιο.

Μερικά από τα αποτελέσματα που παράγονται από διάφορες επεμβάσεις στα υλικά μπορεί να είναι η αλλαγή του χρώματος ή του σχήματος, η αλλαγή στο δείκτη διάθλασης, η αλλαγή στην κατανομή των τάσεων, η μεταβολή του όγκου, της σκληρότητας, της ελαστικότητας, και άλλα.

Για την αρχιτεκτονική, και γενικότερα τον τομέα των κατασκευών, γίνεται μια ειδικότερη κατηγοριοποίηση των υλικών, που βασίζεται στους τρόπους χρήσης τους. Σύμφωνα με αυτήν, τα κατασκευαστικά υλικά χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες⁴: τα **μέταλλα**, τα **κεραμικά** και τα **πολυμερή**, και σε μία τέταρτη, νεότερη, τα **σύνθετα**, που περιλαμβάνει πολλούς σχετικούς και παράγωγους τύπους υλικών.

Τα **μέταλλα** είναι μια μεγάλη κατηγορία χημικών στοιχείων που εμφανίζουν ορισμένες κοινές ιδιότητες, όπως είναι η λάμψη, η υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα και η δυνατότητα σχηματισμού ελασμάτων, πλαισίων και συρμάτων. Τα έξυπνα μέταλλα μπορούν να έχουν μνήμη σχήματος, να είναι αγωγίμα, ή να έχουν άλλες καινοτόμες μηχανικές ιδιότητες. Τα μεταλλικά κράματα με μνήμη σχήματος δημιουργούνται με το συνδυασμό καθαρών μετάλλων, όπως ο σίδηρος, ο άνθρακας, ο άργυρος, ο χαλκός, το νικέλιο, ο χρυσός, ο κασσίτερος, ο ψευδάργυρος, το μαγνήσιο, κ.α. για τη δημιουργία ενός βελτιωμένου υλικού με το συνδυασμό δύο ή περισσότερων άλλων. Στην αγορά κυκλοφορούν ακόμη, μεταλλικές αγωγίμες ίνες, που χρησιμοποιούνται για την θωράκιση από στατικό ηλεκτρισμό και ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Κατασκευάζονται με τη διαδικασία “δεσμικής σχεδίασης” ή τη διαδικασία “ξυρίσματος”. Η πρώτη, συνίσταται στο σχηματισμό μιας δέσμης από πολλές λεπτές μεταλλικές ίνες και το τράβηγμά τους για την επίτευξη της επιθυμητής διαμέτρου. Κατά τη δεύτερη διαδικασία, μεταλλικές ίνες αποκόπτονται από λεπτά μεταλλικά ελάσματα. Τέλος, υπάρχουν μεταλλικά κράματα τα οποία με την εφαρμογή ηλεκτρικών πεδίων ή ηλεκτρικού ρεύματος μεταβάλλουν τις μηχανικές, ηλεκτρικές, μαγνητικές και θερμικές ιδιοτήτες τους με διάφορους τρόπους. Η πιο κοινή βελτιωμένη ιδιότητά τους είναι η υπερελαστικότητα.

Τα **κεραμικά**, τα οποία κατασκευάζονται με ψήσιμο, είναι ανόργανα υλικά, είτε κρυσταλλικά είτε άμορφα, όπως το γυαλί, η δομή των οποίων στηρίζεται στη δημιουργία ενώσεων δύο ή περισσότερων στοιχείων με ιοντικό ή/και ομοιοπολικό δεσμό. Η συνηθέστερη εφαρμογή έξυπνων κεραμικών στην αρχιτεκτονική είναι τα πιεζοηλεκτρικά. Τα κεραμικά αυτά μπορούν να έχουν ως βάση αλουμίνα, ζirkονία, καρβίδιο ή νιτρίδιο του πυριτίου, βορίδιο, ενώσεις πυριτίου, αλουμινίου, οξυγόνου και αζώτου, κ.α.

Τα **πολυμερή** είναι ευρέως γνωστά και ως πλαστικά, επειδή πολλά από αυτά είναι εύπλαστα, δηλαδή παραμορφώνονται εύκολα. Τα έξυπνα πολυμερή μπορεί να είναι αγωγίμα, να έχουν μνήμη σχήματος ή να αλλάζουν χρώμα όταν δέχονται ένα ερέθισμα, να αυτοθεραπεύονται όταν φτάσουν σε κρίσιμο στάδιο, ή να εκπέμπουν φως. Μπορούν επίσης, να γίνουν αγωγοί μέσω της άμεσης προσθήκης αγωγίμων υλικών όπως ο γραφίτης, σωματίδια μεταλλικού οξέως, αιθάλης, κόκκοι άνθρακα και άλλα στο υλικό.

Τα **σύνθετα** υλικά, αποτελούν συνδυασμό δύο υλικών για το σχηματισμό ενός νέου βελτιωμένου, που θα φέρει κάποια συγκεκριμένη χρήσιμη ιδιότητα. Μεγάλο μέρος των ευφυών υλικών ανήκουν στην κατηγορία αυτή. Η δημιουργία των σύνθετων υλικών, στηρίζεται στην προσθήκη άλλων υλικών μέσα στην βασική πρώτη ύλη, βελτιώνοντας τη μοριακή δομή ή τη μακροσκοπική σύστασή της, προσδίδοντάς της νέες ιδιότητες. Επομένως τα στοιχειώδη τμήματα του υλικού δημιουργούνται με την προσθήκη:

- **ινών**, δηλαδή με συνεχείς μακριές ή ψιλοκομμένες ίνες που αιωρούνται σε ένα μητρικό υλικό,
- σωματιδίων, που αιωρούνται μέσα στο μητρικό υλικό,
- **νιφάδων**. Το υλικό αποτελείται από νιφάδες που έχουν μεγάλα ποσοστά επίπεδης επιφάνειας σε σχέση με το πάχος τους και αιωρούνται σε ένα μητρικό υλικό,
- **γέμισης**, η οποία υποστηρίζεται από σκελετό. Η δομή του υλικού μορφώνεται από έναν συνεχή μητρικό σκελετό που γεμίζεται από ένα δεύτερο υλικό,
- **στρώσεων**, που συνεπάγεται ότι το υλικό απαρτίζεται από στρώματα ελάσματος ενωμένα με ένα μητρικό υλικό.

Τα σύνθετα υλικά μπορούν να έχουν μεταλλικό, κεραμικό, ή πολυμερικό μητρικό υλικό.

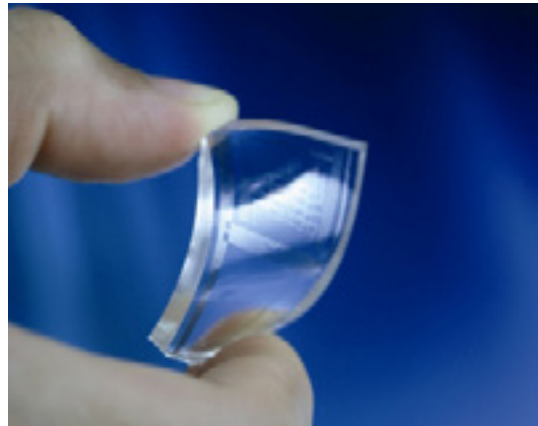
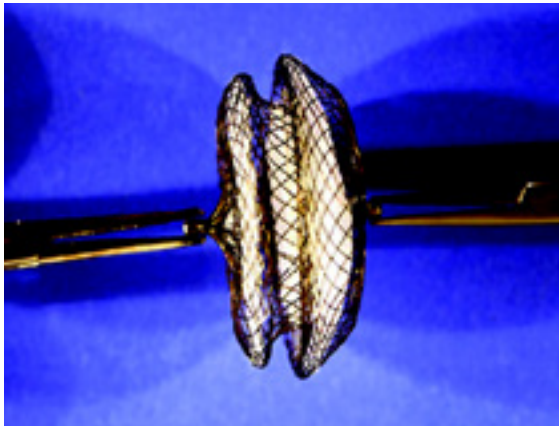
Αναφορές:

1. Αθηνά Σταυρίδου 26-11-2009, «Αναδυόμενες ιδιότητες- έξυπνα υλικά»
- 2,3. Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions. Architectural Press, Elsevier, σελ. 31, 85
4. Issue 27 of the SAS newsletter in Autumn 2007(the Institute of Materials, Minerals and Mining σε συνεργασία με το schools affiliate scheme)
<http://www.google.gr/books?id=dgUI3Grle1MC&printsec=frontcover&hl=el#v=onepage&q&f=false>
<http://www.wikipedia.org>

Τα ευφυή υλικά εξελίσσονται ταχύτατα και η χρήση τους επεκτείνεται σε ολοένα και περισσότερους τομείς της καθημερινότητάς μας. Μερικοί από τους τομείς που δημιουργούν κατασκευές με πρώτες ύλες έξυπνα υλικά είναι: η αεροπλοΐα, η ναυσιπλοΐα, η αεροδιαστημική, η άμυνα, η αυτοκινητοβιομηχανία, η ιατρική και η υγειονομική περίθαλψη, η νανοτεχνολογία, η ρομποτική, οι κατασκευαστές και οι μηχανικοί, η βιομηχανία, η γεωργία, η διαχείριση ενέργειας και περιβάλλοντος, η ένδυση, ο αθλητισμός και η ψυχαγωγία, η τέχνη, κ.α. Στη συνέχεια, θα αναφερθούμε σε κάποια παραδείγματα εφαρμογών των υλικών ανά τομέα, τα οποία είτε έχουν ήδη κατασκευαστεί, είτε η διαδικασία σχεδιασμού τους βρίσκεται σε εξέλιξη:

Στον τομέα των μεταφορών, αλλά και της άμυνας που αποτελεί και τον πρωταρχικό τομέα στον οποίο γεννήθηκε και εφαρμόστηκε η τεχνολογία των έξυπνων υλικών, έχουμε συστήματα όπως κινητήρες υπερήχων, γραμμικούς κινητήρες, έξυπνα “δέρματα” αεροσκαφών και αεροδιαστημικών σκαφών που ενσωματώνουν αισθητήρες οπτικών ινών για ανίχνευση δομικών ρωγμών, υποβρύχια οχήματα τύπου stealth με ειδικούς τεχνητούς μύες φτιαγμένους από ειδικά πολυμερή σώματα, χάλυβες υψηλής αντοχής σε πλοία, εύκαμπτα φτερά για μη επανδρωμένα αεροπορικά οχήματα, μηχανικούς συζεύκτες οχημάτων, ευπροσάρμοστα βομβαρδιστικά αεροπλάνα, ενεργές επιφάνειες οχημάτων για βελτιωμένη αεροδυναμική, μειωμένη δόνηση σε πλοία και αποβάθρες υποβρύχιου εξοπλισμού, έξυπνοι αερόσακοι και άλλα πολλά. Παρατηρείται μεγαλύτερη χρήση και προσαρμογή τους σε θέματα που αφορούν τόσο τη βελτίωση των δομών, την καλύτερη, ταχύτερη εξυπηρέτηση και την άνεση των επιβατών, την ασφάλεια, κλπ.

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, αυτοθεραπευόμενο σκυρόδεμα, γυψοσανίδες που αλλάζουν φάση και συστήματα ακτινοβολούμενου πατώματος, ημιενεργούς απορροφητές δόνησης, φωτοχρωμικά πατώματα και τζάμια, θερμοχρωμικά έπιπλα και υλικά δόμησης, υλικά αισθητήρες θορύβου, 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.



Εικόνα 1-6: Εφαρμογές των έξυπνων υλικών σε διάφορους τομείς Πηγές: <http://spinoff.nasa.gov/spinoff2001/langley.html>, http://www.nature.com/pr/journal/v63/n5/fig_tab/pr2008108f1.html, <http://kingkongkoh.wordpress.com/2011/07/27/arium/>, <http://www.danacentre.org.uk/events/2006/01/19/71>

Στον τομέα του αθλητισμού και της ψυχαγωγίας βρίσκονται σε εξέλιξη οι έρευνες πάνω σε φωτοχρωμικά, θερμοχρωμικά ή ηλεκτροχρωμικά υφάσματα για τη δημιουργία αθλητικών ρούχων για καλύτερη απόδοση, νανοϋλικά και πολυμερείς ίνες σε ρούχα που αισθάνονται τις περιβαλλοντικές συνθήκες και αντιδρούν, έξυπνα πέδιλα του σκι με προσαρτημένες πιεζοηλεκτρικές συσκευές για την ανίχνευση δονήσεων, πιεζοηλεκτρικές ίνες και κράματα μνήμης σχήματος σε αθλητικό εξοπλισμό όπως ρακέτες που μειώνουν τους κραδασμούς, και άλλα. Στόχος σε αυτό το πεδίο είναι η επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής απόδοσης και ταυτόχρονα η εξασφάλιση όσο το δυνατόν περισσότερης ασφάλειας. Στον τομέα αυτό σπάνια αναπτύσσονται νέα υλικά αλλά, συχνά, ενσωματώνονται στον εξοπλισμό υλικά που έχουν εξελιχθεί σε άλλους τομείς, συνήθως στην αεροδιαστημική ή στο στρατό.

Στον τομέα της υγείας και της πρόνοιας, τα έξυπνα υλικά έχουν επιφέρει επανάσταση αλλάζοντας τη μέχρι τώρα δεδομένη μεθοδολογία και προσφέροντας νέες προοπτικές εξέλιξης. Στον κλάδο αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως υλικά νανοτεχνολογίας που έχουν εφαρμογή σε συσκευές υπερήχων, οδοντιατρικά στηρίγματα, πλάκες οστών, χειρουργικά εργαλεία, ιπτάμενα μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα με τηλεχειρισμό για έρευνα και για αποστολές διάσωσης, δημιουργία νέων φαρμάκων, θερμοχρωμικά θερμόμετρα, βιοκεραμικά και βιομιμητικά πολυμερή και τζελ για την για τη δημιουργία τεχνητών μελών, εργαλεία ναοκλίμακας όπως οι σαρωτικοί καθετήρες, νέου τύπου βιοσυμβατά εμφυτεύματα που θα αισθάνονται ερεθίσματα από το περιβάλλον, κλπ. Η εφαρμογή των ευφυών υλικών στο πεδίο αυτό βρίσκεται σε αρκετά πρώιμο στάδιο.

Υπάρχουν και εφευρέσεις οι οποίες έχουν δημιουργηθεί με τη χρήση έξυπνων υλικών, που έχουν αξιοποιηθεί από πολλούς τομείς παράλληλα, όπως βαλβίδες ελέγχου υψηλής ταχύτητας, εγχυτήρες (καυσίμου, εκτυπωτικής μελάνης, βιοϊατρικοί, κ.α.), ρομποτικοί βραχίονες και χειριστές με ταχύτατη ανταπόκριση και υψηλή συχνότητα λειτουργίας, βραστήρες που μεταβάλουν το χρώμα τους όταν θερμένονται, συσκευές τοποθέτησης υψηλής ακρίβειας, αντλίες και μικροαντλίες, ηχοβολιστικές συσκευές (sonars) και πολλές άλλες.

Συνοψίζοντας, τα έξυπνα υλικά έχουν εφαρμογές σχεδόν σε όλους τους τομείς της ζωής μας. Η συνεργασία μεταξύ των διαφόρων κλάδων είναι απαραίτητη, καθώς τα ίδια υλικά αξιοποιούνται με ιδιαίτερους τρόπους, σε διαφορετικού τύπου αντικείμενα που έχουν όμως κοινά ζητούμενα και στόχους.

Αναφορές:

1. <http://www.wikipedia.org>

http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3677/3/kalogeropoulsth_smartmaterials.pdf



Η εισαγωγή καινοτομιών στους διάφορους τομείς της επιστήμης είναι αναμφισβήτητη συνέπεια της εξέλιξης της τεχνολογίας. Παρόλα αυτά, δεν είναι πάντα προφανής ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η ενσωμάτωση τους στις υφιστάμενες πρακτικές. Σημαντικό, και ίσως το πιο δύσκολο, βήμα είναι η μεταφορά της τεχνογνωσίας από το εργαστήριο στους επαγγελματίες. Όσον αφορά στον τομέα των κατασκευών, που μας ενδιαφέρει, συναντά κανείς μια ακόμη πρόκληση. Δεν έχει υπάρξει μέχρι σήμερα σημαντική μεταβολή στα κύρια κατασκευαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην οικοδόμηση σχεδόν από το 19ο αιώνα και τη βιομηχανική επανάσταση, με αποτέλεσμα να είναι πολύ δύσκολη η εισαγωγή οποιασδήποτε νέας τεχνολογίας. Επιπλέον, πολύ σπάνια τίθενται υπό αμφισβήτηση οι αντιλήψεις για τις αρχές λειτουργίας των συστημάτων που εγκαθίστανται σε κάθε κατασκευή, πχ ηλεκτρονικών ή υδραυλικών.

Η επιστήμη της τεχνολογίας των υλικών προσφέρει στην αρχιτεκτονική, αλλά και σχεδόν σε όλα τα επιστημονικά πεδία, ένα ολόκληρο φάσμα νέων υλικών και εφαρμογών. Τα έξυπνα υλικά είναι τεχνολογικά προηγμένα και για το λόγο αυτό, συχνά, οι λειτουργίες και οι πιθανές εφαρμογές τους δεν γίνονται κατανοητές από τους υποψήφιους χρήστες τους. Συνεπώς, προκύπτει το κρίσιμο ζήτημα της περιγραφής και ταξινόμησης τους.

2.1 Γενικές Κατηγοριοποιήσεις

Κατά τη σταδιακή εμφάνιση των έξυπνων υλικών, ήταν, καταρχήν, λογική εξέλιξη η προσπάθεια ένταξής τους στις υφιστάμενες κατηγοριοποιήσεις των συμβατικών υλικών. Εδώ, είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε πως ακόμα και όσον αφορά στα συμβατικά υλικά, δεν υπάρχει μία μοναδική ταξινόμηση. Διαφορετικές ανάγκες θέτουν ποικίλα κριτήρια ως προς τα οποία προκύπτουν κατηγοριοποιήσεις, οι οποίες θα μπορούσαν για παράδειγμα να απευθύνονται σε διαφορετικές κατηγορίες επαγγελματιών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η ταξινόμηση της επιστήμης των υλικών, η οποία γίνεται με κριτήριο την εσωτερική δομή κάθε υλικού, οι μηχανολογικές ταξινομήσεις με βάση τη λειτουργία των υλικών και οι ταξινομήσεις που αναφέρονται στον κατασκευαστικό τομέα, στις οποίες θα αναφερθούμε παρακάτω.

Σημαντικό βήμα για την κατανόηση των έξυπνων υλικών και την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που προσφέρουν είναι η συνειδητοποίηση της ιδιαίτερης φύσης τους. Πράγματι, ο όρος «έξυπνα υλικά», δεν μπορεί να ενταχθεί μέσα στο αυστηρό πλαίσιο που ορίζει τι είναι ένα υλικό με τη συμβατική έννοια. Το έξυπνο υλικό είναι ταυτόχρονα υλικό και τεχνολογία, η διαδραστική του ικανότητα το μετατρέπει σε μεταβαλλόμενο σύστημα που δύναται να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον. Επομένως, η προσπάθεια εισαγωγής τους στα συμβατικά συστήματα ταξινόμησης, τα υποβιβάζει παραβλέποντας το δυναμικό τους χαρακτήρα, που αποτελεί, άλλωστε, βασικό συστατικό στοιχείο κάθε έξυπνου υλικού.

Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί μοντέλα ταξινόμησης που αφορούν αποκλειστικά τα έξυπνα υλικά. Προφανώς, είναι δυνατόν να υπάρξουν άπειρες ταξινομήσεις αντίστοιχες με τα κριτήρια που θέτει κανείς. Πιθανά κριτήρια είναι η αισθητηριακή ικανότητα, το επίπεδο ευφυΐας, η μοριακή δομή. Από αυτές οι αντιπροσωπευτικότερες για την κατανόηση των καίριων ζητημάτων που τα αφορούν είναι οι παρακάτω.

Με κριτήριο το επίπεδο ευφυΐας

Με κριτήριο το επίπεδο ευφυΐας τα έξυπνα υλικά διακρίνονται σε ενεργά και παθητικά. Ήδη γνωρίζουμε πως ίσως η σπουδαιότερη ιδιότητα των έξυπνων υλικών είναι η ικανότητα τους να αντιδρούν σε εξωτερικά ερεθίσματα. Τα παθητικά έξυπνα υλικά ανταποκρίνονται στο εκάστοτε ερέθισμα με έναν τυποποιημένο τρόπο. Αντίθετα, τα ενεργά έξυπνα υλικά έχουν τη δυνατότητα να αναλύουν το εισερχόμενο σήμα – ερέθισμα και να «επιλέγουν» τη μορφή της ανταπόκρισής τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα κατηγορίας παθητικών έξυπνων υλικών αποτελούν τα κράματα «μνήμης σχήματος», τα οποία μεταβάλλουν το σχήμα τους εξαρτώμενα αποκλειστικά από τη μεταβολή της θερμοκρασίας και με τρόπο συγκεκριμένο και προδιαγεγραμμένο ήδη από την κατασκευή τους. Αντίστοιχα, ορισμένα συστήματα που απαρτίζονται από πιεζοηλεκτρικά υλικά χαρακτηρίζονται ως ενεργά. Κάθε κατηγορία υλικών θα περιγραφεί αναλυτικότερα στη συνέχεια. Εναλλακτικά, τα ενεργά υλικά έχουν οριστεί ως εκείνα τα έξυπνα υλικά που έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν

κάποια από τις ιδιότητές τους με την ταυτόχρονη μετατροπή ενέργειας. Συμπερασματικά, τα παθητικά υλικά, στερούνται ακριβώς τη δυνατότητα να μετατρέπουν ενέργεια από μια μορφή σε άλλη και, επομένως, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως ενεργοποιητές ή μετατροπείς παρά μόνο ως αισθητήρες.

Ο Toshinori Takagi επεσήμανε στο πρώτο διεθνές συνέδριο με θέμα “Έξυπνα υλικά και συστήματα” το 1989, έναν επιπλέον τρόπο διαχείρισης των έξυπνων υλικών ορίζοντας τρία επίπεδα ευφυΐας:

Το πρώτο επίπεδο περιλαμβάνει τα υλικά που εκτελούν τρεις βασικές λειτουργίες, αυτές της αίσθησης, της δράσης και της επεξεργασίας. Αυτές οι τρεις λειτουργίες, υποστηριζόμενες από τις κατάλληλες δομές, συνοδεύονται από ενέργεια και από τη μεταφορά πληροφορίας στο βαθμό φυσικό-χημικών διαδικασιών.

Στο δεύτερο επίπεδο συναντά κανείς υλικά με γνήσιες έξυπνες λειτουργίες, όπως η αυτο-διάγνωση, η αυτο-διόρθωση, η αυτο-διάσπαση, η ομοίωση, ο αυτοδιδασκισμός και διαφορετικές ανταποκρίσεις. Αυτές οι λειτουργίες προσδίδονται στα υλικά με τη μορφή μικροσκοπικών λογισμικών συστημάτων, όμοια, ως προς τις αρχές τους, με τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στη ρομποτική.

Στο τρίτο επίπεδο ανήκουν λειτουργίες που ανταποκρίνονται σε ένα άλλο είδος ευφυΐας: προσαρμογή σε ανθρώπινες και σε κοινωνικές αξίες όπως είναι η διάσωση των ενεργειακών πηγών, η αξιοπιστία, η φιλικότητα, η ποιότητα ζωής, ακόμα και η αρμονία.

Με κριτήριο την αρχή λειτουργίας

Η πιο τυπική μέθοδος κατηγοριοποίησης γίνεται με κριτήριο την αρχή λειτουργίας και ως καθοριστικοί παράγοντες λαμβάνονται το ερέθισμα στο οποίο αντιδρά το υλικό και η αντίδραση που προκαλείται. Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα έξυπνα υλικά οφείλουν τη λειτουργία τους στις μοριακές τους ιδιότητες. Είναι σημαντικό, επομένως, να παρατηρήσουμε πως η ταξινόμηση αυτή αναφέρεται κατά κύριο λόγο στο μικρόκοσμο. Παρόλα αυτά, παρουσιάζει ενδιαφέρον και για τον αρχιτέκτονα να κατανοήσει ορισμένες βασικές αρχές της λειτουργίας της νέας γενιάς υλικών, προκειμένου να μπορεί να τα ενσωματώσει στο λεξιλόγιό του.

Η ικανότητα των υλικών να ορίζονται ως «έξυπνα» καθορίζεται από δύο μηχανισμούς. Το κινητήριο ερέθισμα και στις δύο περιπτώσεις είναι η ενέργεια. Κάθε υλικό περιβάλλεται από ένα ενεργειακό περιβάλλον, του οποίου οι συνθήκες το επηρεάζουν, με αποτέλεσμα την απορρόφηση ενέργειας. Ανάλογα με τον τρόπο εκμετάλλευσης της εισερχόμενης ενέργειας προκύπτουν δύο διαφορετικοί μηχανισμοί λειτουργίας. Με βάση αυτούς, τα έξυπνα υλικά ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, τα υλικά μεταβολής ιδιοτήτων και τα υλικά ανταλλαγής ενέργειας.

Στα **υλικά μεταβολής ιδιότητας**, ή υλικά Τύπου I, η εισερχόμενη ενέργεια επηρεάζει απευθείας την εσωτερική ενεργειακή κατάσταση του υλικού, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της μοριακής του δομής, η οποία προκαλεί αλλαγή σε κάποια ιδιότητα του. Η μεταβολή γίνεται άμεσα, χωρίς την ανάγκη για εξωτερικό σύστημα ελέγχου και είναι αναστρέψιμη αν η ενεργειακή κατάσταση του περιβάλλοντος επανέλθει σε προηγούμενα επίπεδα. Η φύση των μεταβαλλόμενων ιδιοτήτων μπορεί να είναι εγγενής ή εξωγενής στο υλικό, επηρεάζοντας αντίστοιχα μόνο τη μοριακή δομή του ή ταυτόχρονα τη μικροδομή και την εξωτερική του εμφάνιση. Οι διαφοροποιήσεις αυτές γίνονται σαφέστερες παρακάτω με την αναλυτικότερη αναφορά στα υλικά τύπου I.

Τα **υλικά ανταλλαγής ενέργειας**, ή Τύπου II, απορροφούν την εισερχόμενη ενέργεια, η οποία, όμως, 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. 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.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, και οι δύο μηχανισμοί λειτουργούν σε επίπεδο μικροκλίμακας, χωρίς η συμπεριφορά αυτή να γίνεται αντιληπτή, αφού επηρεάζει απευθείας το μόριο. Αυτό που γίνεται αντιληπτό από το περιβάλλον- χρήστη είναι το αποτέλεσμα που προκαλούν, το οποίο όπως θα δούμε παρακάτω ποικίλει ιδιαίτερα μεταξύ των διαφορετικών εφαρμογών.

2.1.1 Τύπος 1: Υλικά Μεταβολής Ιδιότητας

Ομάδα έξυπνων υλικών	Εξερχόμενο αποτέλεσμα
Χρωμικά	Αλλαγή χρώματος
Αλλαγής φάσης	Μεταβολή της κατάστασης της ύλης
Αγώγιμα Πολυμερή	Μεταβολή της αγωγιμότητας
Ρεολογικά	Μεταβολή ρεολογικών ιδιοτήτων (π.χ. ιξώδες)
Υγροί Κρύσταλλοι	Αλλαγή χρώματος
Οθόνες αιωρούμενων σωματιδίων	Μεταβολή οπτικών ιδιοτήτων

Πίνακας 1: Υλικά μεταβολής ιδιότητας

Χρωμικά (υλικά αλλαγής χρώματος) Chromics

Ως χρωμικά χαρακτηρίζονται υλικά, και κατά συνέπεια προϊόντα που αποτελούνται από αυτά, τα οποία είναι ικανά να μεταβάλλουν το χρώμα τους ή κάποια οπτική τους ιδιότητα ως ανταπόκριση σε εξωτερικά ερεθίσματα, μεταβολές, δηλαδή, της ενεργειακής κατάστασης του περιβάλλοντος. Τα χρωμικά αποτελούν μια πολύ μεγάλη κατηγορία υλικών. Αυτό που τα διαφοροποιεί είναι το ερέθισμα (ή η μορφή ενέργειας) στο οποίο αντιδρούν. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση τους, σύμφωνα με αυτό.

Κατηγορίες χρωμικών υλικών	Ερέθισμα το οποίο προκαλεί τη μεταβολή	Μορφή ενέργειας που προκαλεί τη μεταβολή
Φωτοχρωμικά	Φως	Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια
Θερμοχρωμικά	Θερμοκρασία	Θερμική ενέργεια
Μηχανοχρωμικά	Τάση, πίεση	Μηχανική ενέργεια
Ηλεκτροχρωμικά	Ηλεκτρικό πεδίο	Ηλεκτρική ενέργεια
Χημειοχρωμικά	Χημικό περιβάλλον	Χημική ενέργεια

Πίνακας 2: Κατηγορίες χρωμικών υλικών



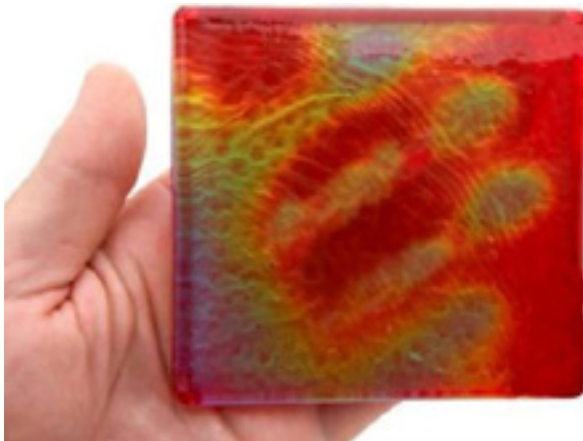
Εικόνα 2-1: Μνήμες αφής μέσω θερμοχρωμικών υλικών, Πηγή: Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions. Architectural Press, σελ. 87

Για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των χρωμικών υλικών είναι απαραίτητη η μελέτη του τρόπου λειτουργίας του ανθρώπινου ματιού. Το χρώμα είναι κατά κύριο λόγο ιδιότητα του φωτός. Αυτό που το ανθρώπινο μάτι εκλαμβάνει ως χρώμα είναι το αντανακλώμενο χρωματικό φάσμα από την επιφάνεια του κάθε αντικειμένου. Επομένως, για να αντιληφθεί το μάτι αλλαγή χρώματος αρκεί να μεταβληθούν οι ανακλαστικές ιδιότητες του υλικού, όπως η απορροφητικότητα, η σκέδαση και άλλες. Αντίστοιχα, για να συμβεί αυτό, αρκεί να μεταβληθεί η μοριακή δομή του υλικού αναγκάζοντας το φως να μετατρέψει την ταχύτητα, τη διεύθυνση και άρα το μήκος κύματος του καθώς διαπερνά ή αντανακλάται πάνω στην επιφάνεια του. Με τον τρόπο αυτό, η χρωμική ικανότητα των υλικών ανάγεται σε μοριακό επίπεδο. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι μόλις το ερέθισμα που προκαλεί τη μεταβολή εξαφανιστεί, το υλικό επανέρχεται στην προγενέστερη κατάσταση του διατηρώντας, όμως, την ικανότητα να μεταβάλλει το χρώμα του υπό τις κατάλληλες συνθήκες.

Έχουν σχεδιαστεί αρκετά έπιπλα και αντικείμενα με χρωμικές ιδιότητες. Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές τους, είναι οι θερμοχρωμικές, οι οποίες ανταποκρίνονται στην άνοδο την θερμοκρασίας που προκαλεί η επαφή με το ανθρώπινο σώμα.



Εικόνα 2-2: **Καρέκλα με θερμοχρωμική βαφή** Πηγή: Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), *Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions*. Architectural Press, σελ. 4

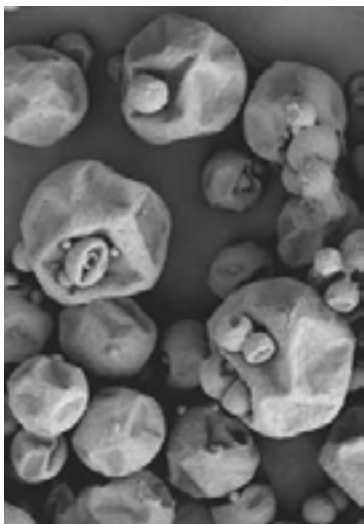


Εικόνα 2-3: **Θερμοχρωμικό πλακάκι**
Πηγή: <http://www.zing.gr/2009/03/temperature-tile/>

Υλικά αλλαγής φάσης Phase-Changing Materials

Τα περισσότερα υλικά που γνωρίζουμε έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν την κατάσταση τους από στερεή σε υγρή ή αέρια με την άνοδο της θερμοκρασίας και αντίστροφα. Οι μεταβολές της κατάστασης της ύλης συνοδεύονται κατά κανόνα από απορρόφηση ή απελευθέρωση θερμότητας σε λανθάνουσα μορφή. Ενδιαφέρον στα πλαίσια της μελέτης των έξυπνων υλικών παρουσιάζουν όσα είναι ικανά να απορροφούν και να απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας κατά την μεταβολή της κατάστασης τους από στερεή σε υγρή και αέρια και από αέρια σε υγρή και στερεή αντίστοιχα. Επιπλέον, η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί άπειρες φορές χωρίς υποβάθμιση της ικανότητάς τους.

Λαμβάνοντας υπόψη πως η μεταβολή της κατάστασης κάθε ουσίας πραγματοποιείται σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες, είναι δυνατόν να προβλεφθεί και η χρονική στιγμή κατά την οποία θα απορροφηθεί ή θα εκκληθεί θερμότητα. Η παραπάνω ιδιότητα καθιστά πολύ πιθανή τη χρήση υλικών αλλαγής κατάστασης στην αρχιτεκτονική και, ειδικότερα, σε εφαρμογές ελέγχου του θερμικού περιβάλλοντος των κτιρίων.



Εικόνα 2-4: Σφαιρίδια αλλαγής φάσης Πηγή: <http://www.technologyreview.com/news/417365/melting-drywall-keeps-rooms-cool/> , Εικόνα 2-5: Κύβος αλλαγής φάσης Πηγή: http://www.constructiondigital.com/green_building/greener-building-materials

Μια από τις πρώιμες εφαρμογές είναι η «γυψοσανίδα αλλαγής φάσης». Η λειτουργία της βασίζεται στα υλικά αλλαγής φάσης, που ενσωματώνονται σε αυτή, και λειτουργούν ως μέσα αποθήκευσης της θερμότητας, η οποία απελευθερώνεται στο χώρο όταν τα υλικά αποκτήσουν μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα, πέραν της

συγκέντρωσης της θερμότητας που υπό άλλες συνθήκες θα διέφευγε ανεκμετάλλευτη, είναι πως επιτρέπουν την αποθήκευση της μέσα στον ίδιο το χώρο που έχει ανάγκη θέρμανσης ή δροσισμού, μειώνοντας σημαντικά την ενέργεια που απαιτείται για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας- ένα από τα σπουδαιότερα μειονεκτήματα των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης και δροσισμού. Με βάση την ίδια αρχή, έχουν αναπτυχθεί σήμερα πιο εξελιγμένα συστήματα πετασμάτων.¹

Αγώγιμα Πολυμερή Conducting Polymers

Πολυμερή ονομάζονται οι χημικές ενώσεις με μεγάλα μόρια, τα οποία έχουν προκύψει από τη σύνδεση μικρότερων μορίων. Τα πολυμερή υλικά είναι κατά κανόνα μονωτές του ηλεκτρισμού. Μπορούν, όμως, να γίνουν ηλεκτρικά αγώγιμα με την προσθήκη αγώγιμων ουσιών, όπως σωματίδια οξειδίων των μετάλλων. Με την εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου σε αυτά προκύπτει μια μοριακή αναδιάταξη η οποία ευθυγραμμίζει τα μόρια με συγκεκριμένη κατεύθυνση και απελευθερώνει ηλεκτρόνια προκειμένου αυτά να γίνουν αγωγοί ηλεκτρισμού. Όταν υπόκεινται σε εναλλασσόμενο ρεύμα, προκύπτει μεταφορά ιόντων που έχει ως αποτέλεσμα τη συστολή της μίας πλευράς τους και την έκταση της άλλης, δημιουργώντας μηχανικές δυνάμεις και κινήσεις.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν και πολυμερή με εγγενή την ηλεκτρική αγωγιμότητα, και, μάλιστα, ορισμένα από αυτά έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τα επίπεδα αγωγιμότητάς τους από μονωτές έως αγωγοί, σύμφωνα με τα ερεθίσματα που δέχονται από το περιβάλλον.

Ρεολογικά υλικά Rheological Materials

Όπως είναι προφανές από την ονομασία της, η κατηγορία αυτή αφορά στις ιδιότητες ροής της ύλης, αναλυτικότερα σε ιδιότητες των υγρών, όπως το ιξώδες, που επηρεάζουν τη ρευστότητα τους. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα υγρά εκείνα που μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά τους έπειτα από την επίδραση ηλεκτρικών ή μαγνητικών πεδίων.

Κατηγορία ρεολογικών ρευστών	Ερέθισμα το οποίο προκαλεί τη μεταβολή	Αποτέλεσμα
Ηλεκτρορεολογικά	Ηλεκτρικό πεδίο	Μεταβολή ιξώδους
Μαγνητορεολογικά	Μαγνητικό πεδίο	Μεταβολή ιξώδους

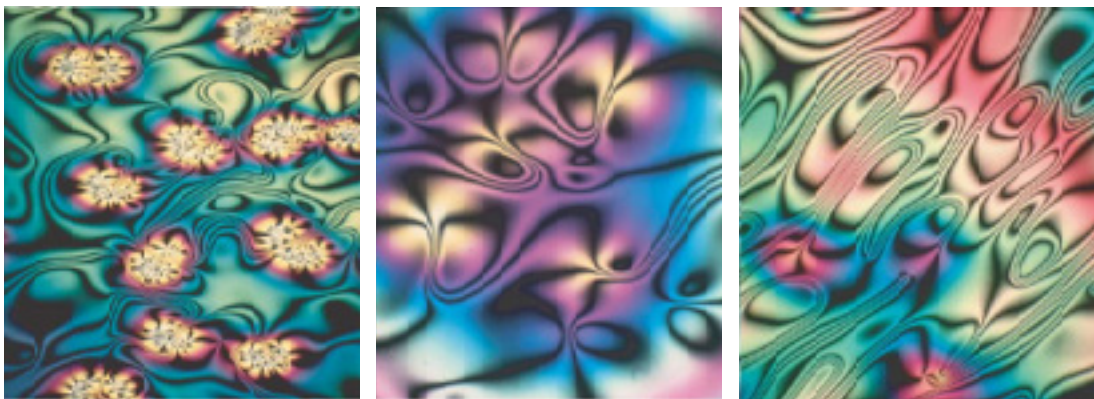
Πίνακας 3: Κατηγορίες ρεολογικών ρευστών

Στα ρεολογικά ρευστά η εφαρμογή ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου προκαλεί αξιοσημείωτη αύξηση του ιξώδους σε ελάχιστο χρόνο. Η συμπεριφορά αυτή είναι αναστρέψιμη αν το πεδίο απομακρυνθεί. Η μεταβολή που παρατηρείται στα ρεολογικά υλικά είναι εντυπωσιακή, καθώς ένα ρευστό μετατρέπεται φαινομενικά σε στερεό κατά την εφαρμογή του πεδίου και, αντίστροφα, ξανά σε υγρό.

Τεχνολογίες Υγρών Κρυστάλλων Liquid Crystal Technologies

Οι υγροί κρύσταλλοι είναι αναμφισβήτητη η έξυπνη τεχνολογία με την ευρύτερη εφαρμογή στα αντικείμενα που χρησιμοποιούμε καθημερινά. Πρόκειται για ένα υλικό του οποίου η φύση βρίσκεται ανάμεσα στα κρυσταλλικά στερεά και τα ιστροπικά υγρά. Είναι υγρά με ανισοτροπικές ιδιότητες, προσανατολισμένα και ευαίσθητα στην εφαρμογή ηλεκτρικών πεδίων, με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλα για τη δημιουργία οπτικών ενδείξεων και απεικονίσεων.

Οι οθόνες που κάνουν χρήση της τεχνολογίας αυτής αποτελούνται από δύο φύλλα πολωτικού υλικού και από διάλυμα υγρών κρυστάλλων ανάμεσα τους. Μόλις διαπεραστεί το σύστημα από ηλεκτρικό φορτίο, οι κρύσταλλοι ευθυγραμμίζονται και επιτρέπουν στο φως να διέλθει ανάμεσα τους. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα πλέγμα από κρυστάλλους, ο καθένας από τους οποίους λειτουργεί ως διακόπτης, επιτρέποντας ή αποκλείοντας τη διέλευση του φωτός.



Εικόνα 2-6: Προοδευτική αλλαγή φάσης Πηγή: Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), *Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions*. Architectural Press, σελ. 93

Οθόνες αιωρούμενων σωματιδίων Suspended Particle Displays

Οι οθόνες αιωρούμενων σωματιδίων αποτελούν μια πρόσφατη σχετικά τεχνολογία, η οποία ενεργοποιείται με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου και μπορεί να μεταβάλλει τις οπτικές της ιδιότητες. Μια τυπική οθόνη κατασκευασμένη με βάση την τεχνολογία αυτή αποτελείται από πολλαπλά επίπεδα υλικών. Το ενεργό επίπεδο, εκείνο δηλαδή που σχετίζεται με την αλλαγή των οπτικών ιδιοτήτων της οθόνης, είναι ένα ρευστό μέσα στο οποίο αιωρούνται σωματίδια. Το ρευστό αυτό περιβάλλεται από δύο αγωγικά φύλλα. Όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό φορτίο στο σύστημα, τα σωματίδια που βρίσκονται σε τυχαίες θέσεις, ευθυγραμμίζονται με το πεδίο και επιτρέπουν τη διέλευση του φωτός. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως η οθόνη διατηρεί σταθερή την κατάστασή της και μετά το πέρας της εφαρμογής του ηλεκτρικού πεδίου και μέχρι την εφαρμογή νέου.

2.1.2 Τύπος 2: Υλικά Ανταλλαγής Ενέργειας

Ομάδα έξυπνων υλικών	Εξερχόμενο αποτέλεσμα
Υλικά εκπομπής φωτός	Φως
Ημιαγωγοί	Μεταβολή ηλεκτρικής αγωγιμότητας
Πιεζοηλεκτρικά	Μηχανική δύναμη ή ηλεκτρικό φορτίο
Κράματα με μνήμη σχήματος	Μεταβολή σχήματος

Πίνακας 4: Υλικά ανταλλαγής ενέργειας

Υλικά εκπομπής φωτός Light-emitting materials

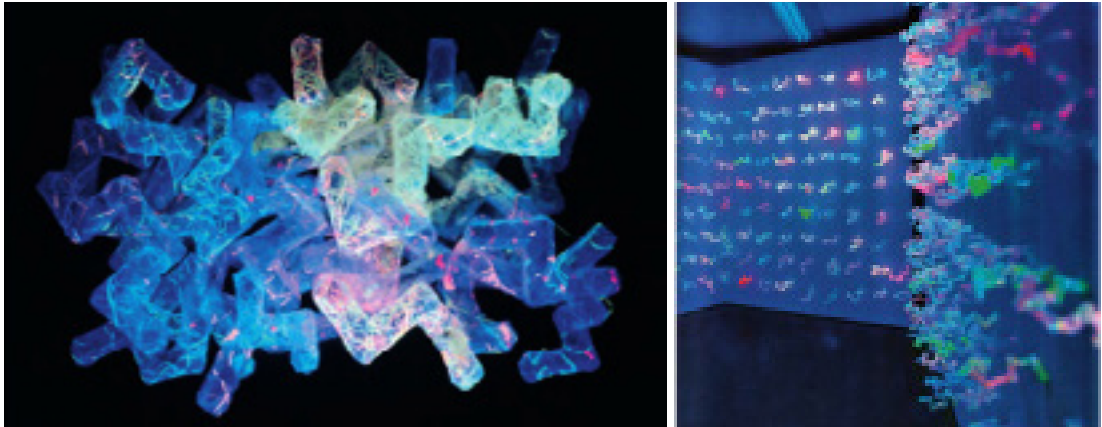
Ο ευρύτερος όρος που συνδέεται με τα έξυπνα υλικά εκπομπής φωτός είναι η φωτοβολία, η οποία ορίζεται ως η εκπομπή φωτός που δεν προκαλείται από πυράκτωση, αλλά από άλλα μέσα όπως χημικές αντιδράσεις ή στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει περισσότερο, από την επίδραση της προσπίπτουσας στο υλικό ενέργειας. 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 προκύπτουν οι παρακάτω υποπεριπτώσεις.

Αν η εκπομπή φωτός είναι άμεση χρησιμοποιούμε τον όρο φθορισμός για την περιγραφή του φαινομένου. Αντίθετα, εάν η αντίδραση καθυστερεί πρόκειται για φωσφορισμό. Παρά το διαχωρισμό, η καθυστέρηση είναι της τάξης του χιλιοστού του δευτερολέπτου. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται η συνέχιση της φωτοβολίας και μετά το πέρας της αποφόρτισης των μορίων. 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.

Το φαινόμενο της φωτοβολίας προκαλείται, όπως είδαμε, από την εισερχόμενη στο υλικό ενέργεια. Ανάλογα με το είδος της ενέργειας που ενεργοποιεί κάθε φορά το φαινόμενο, η φωτοβολία αναλύεται σε επιμέρους κατηγορίες.

Κατηγορία φωτοβολίας (luminescence)	Ερέθισμα το οποίο προκαλεί τη φωτοβολία	Μορφή ενέργειας
Φωτο-φωτοβολία	Φως	Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια
Χημειο-φωτοβολία		
Βιο-φωτοβολία	Χημικό περιβάλλον	Χημική ενέργεια
Ηλεκτρο-φωτοβολία	Ηλεκτρικό πεδίο	Ηλεκτρική ενέργεια

Πίνακας 5: Κατηγορίες φωτοβόλων υλικών



Εικόνες 2-7, 2-8: Λεπτομέρεια φθορισμού και γενική άποψη της φωτεινής εγκατάστασης “ Lost Embryo”,
Πηγή: Alex Ritter (2007), smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhauser , σελ.117

Ημιαγωγοί Semiconductors

Οι ημιαγωγοί είναι τα υλικά στα οποία βασίζεται μεγάλο μέρος της τεχνολογικής προόδου της εποχής μας, ιδιαίτερα όσον αφορά στα ηλεκτρονικά συστήματα. Πρόκειται για υλικά τα οποία, στη φυσική τους κατάσταση, δεν είναι ούτε καλοί αγωγοί ούτε καλοί μονωτές του ηλεκτρισμού. Παρόλα αυτά, με τις κατάλληλες προσμίξεις μπορούν να αποκτήσουν αξιοσημείωτες ηλεκτρικές ιδιότητες. Το πιο ενδιαφέρον ζήτημα στην περίπτωση των ημιαγωγών είναι πως οι επιστήμονες έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν υλικά, τα οποία με τις κατάλληλες προσμίξεις, αποκτούν απολύτως ελεγχόμενες ιδιότητες. Ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος ημιαγωγός είναι η σιλικόνη (πυρίτιο).

Αντίθετα με τα μέταλλα, που είναι οι συμβατικοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος και μειώνουν την αγωγιμότητά τους με την άνοδο της θερμοκρασίας, οι ημιαγωγοί αυξάνουν την αγωγιμότητά τους με την αύξηση της θερμοκρασίας, γεγονός που τους καθιστά ιδανικούς για χρήση σε ακραίες συνθήκες.

Πολλές από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούμε ευρέως σήμερα βασίζονται στα φαινόμενα λειτουργίας των ημιαγωγών. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα, τα γνωστά LEDs (δίοδοι εκπομπής φωτός), τα λέιζερ και άλλες θερμοηλεκτρικές συσκευές οφείλουν την αρχή λειτουργίας τους στους ημιαγωγούς.

Πιεζοηλεκτρικά Υλικά Piezoelectric materials

Η συγκεκριμένη ομάδα υλικών συνδέει τη μηχανική δύναμη με το ηλεκτρικό φορτίο, βασίζοντας τη λειτουργία της σε ένα φαινόμενο με τεράστιο ενδιαφέρον, το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Σύμφωνα με αυτό, όταν σε ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό ασκηθεί μια μηχανική δύναμη, προκαλείται μια παραμόρφωση, η οποία με τη σειρά της παράγει ηλεκτρικό φορτίο. Αντίστροφα, η επίδραση ενός ηλεκτρικού φορτίου σε ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό, προκαλεί την παραμόρφωσή του η οποία γεννά μηχανική δύναμη. Η αντίδραση των υλικών είναι κυριολεκτικά στιγμιαία και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Παρόμοια με τις προηγούμενες κατηγορίες έξυπνων υλικών που γνωρίσαμε, και τα πιεζοηλεκτρικά υλικά οφείλουν τις ιδιότητές 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. Όταν μια δύναμη ασκηθεί στο υλικό, η παραμόρφωση που προκαλείται μετακινεί τα δίπολα, αλλάζοντας τον προσανατολισμό ορισμένων ή και του συνόλου αυτών, και μεταβάλλει την ουδετερότητά του. 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.

Το φαινόμενο παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1880 και από τότε προσφέρει πολλές δυνατότητες για την ευρύτατη εκμετάλλευση των υλικών αυτών. Πολλά καθημερινά αντικείμενα, από το κουδούνι της πόρτας έως κάποια είδη αναπτήρων, βασίζουν την αρχή λειτουργίας τους στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Προφανώς, με βάση την ικανότητά τους, είναι και η χρήση τους ως αισθητήρες και ενεργοποιητές. Πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες εντοπίζονται κυρίως στα μη αγώγιμα υλικά, όπως στα κεραμικά και στα πολυμερή, αλλά και σε φυσικά υλικά, όπως τα κρύσταλλα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο χαλαζίας, στον οποίο έγιναν και τα πρώτα πειράματα για την εξερεύνηση του φαινομένου.

Υλικά με μνήμη σχήματος Shape memory alloys

Το φαινόμενο της μνήμης σχήματος αποτελεί την ιδιότητα που έχουν ορισμένα κράματα, να «θυμούνται» και να επαναφέρουν ένα προγενέστερο, προκαθορισμένο σχήμα. Η ιδιότητα βασίζεται στις αλλαγές της κατάστασης της ύλης, που, λόγω της θερμοκρασίας, ενεργοποιούν μια αναδιάταξη των μορίων του εκάστοτε υλικού. Η διαδικασία για την απόκτηση της μνήμης σχήματος περιλαμβάνει τη θέρμανση του υλικού και την απόδοση σε αυτό οποιουδήποτε σχήματος. 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.



Εικόνα 2-9:

1. Το σύρμα λαμβάνει την καμπύλη μορφή σε υψηλή θερμοκρασία.
2. Σε χαμηλή θερμοκρασία το σχήμα μεταβάλλεται με την άσκηση μικρής δύναμης
3. Με την εφαρμογή θερμότητας, το σύρμα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

Πηγή: Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), *Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions*. Architectural Press, σελ. 105

Η κρυσταλλική δομή των υλικών αυτών έχει την τάση να μετασχηματίζεται διαρκώς ώστε να βρίσκεται στη χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση για κάθε δεδομένη θερμοκρασία. Έτσι, στην κατάσταση της υψηλής θερμοκρασίας, το κρυσταλλικό πλέγμα λαμβάνει μία μόνο προκαθορισμένη μορφή. Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης και της επαναφοράς του σε αυτή τη συγκεκριμένη μορφή, παράγονται ισχυρές δυνάμεις. Η εκμετάλλευση των δυνάμεων αυτών, είναι που έχει καθιερώσει τη χρήση των υλικών με μνήμη σχήματος για την κατασκευή ενεργοποιητών.

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. Τα μαγνητικά ελεγχόμενα κράματα, αντίθετα, συνδυάζουν τις περίπλοκες παραμορφώσεις των υλικών με την ταχύτητα και ακρίβεια που προσφέρει ο μαγνητικός έλεγχος, καθιστώντας τα ιδανικά για ενεργοποιητές.

Τα διάφορα κράματα μετάλλων, όπως το NiTi (κράμα νικελίου και τιτανίου), δεν είναι τα μοναδικά υλικά που επιδεικνύουν ικανότητες μνήμης 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. Ταυτόχρονα, είναι πιο οικονομικά στην κατασκευή, 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. Τα πολυμερή έχουν βρει πολλές εφαρμογές και στο χώρο της χειρουργικής, αφού η θερμότητα του ανθρώπινου σώματος, μόλις τοποθετηθούν σε αυτό, ενεργοποιεί τη «μνήμη» τους.

Αναφορές:

1. <http://epb.lbl.gov/thermal/docs/pcm2.pdf>

Οι ταξινομήσεις των υλικών έχουν δημιουργηθεί, όπως είδαμε, με σκοπό να εξυπηρετούν ανάγκες διαφορετικών πληθυσμιακών ομάδων. Η αρχιτεκτονική, επιστήμη με κατεξοχήν χαρακτηριστικό την επιλογή και χρήση υλικών, δε θα μπορούσε παρά να έχει τις δικές τις κατηγοριοποιήσεις και ταξινομήσεις. Με την εξέλιξη της αρχιτεκτονικής πρακτικής έχουν προκύψει διαφορετικές προσεγγίσεις σε αυτό το πεδίο, οι οποίες βασίζονται σε διάφορες οπτικές γωνίες, αλλά, στην πλειοψηφία τους, η απόδοση των υλικών υποβιβάζεται σε σύγκριση με το πρακτικό αποτέλεσμα που αυτά προκαλούν. Έτσι, οι αρχιτεκτονικές ταξινομήσεις τείνουν να είναι απλούστερες με βασική αναφορά στον τρόπο χρήσης των υλικών.

Στις Η.Π.Α. έχει αναπτυχθεί, από το Ινστιτούτο Προδιαγραφών Κατασκευής (CSI) και Προδιαγραφών Κατασκευής Καναδά, ένα μοντέλο ταξινόμησης των προδιαγραφών και άλλων πληροφοριών για οικοδομικά έργα, το οποίο χρονολογείται με τη μορφή που το γνωρίζουμε σήμερα ήδη από το 1963. Το μοντέλο αυτό προτείνει μια οργάνωση των υλικών με δύο τρόπους. Ο πρώτος τοποθετεί τα υλικά σε γενικές κατηγορίες, όπως σκυρόδεμα, μπετόν ή ελάσματα. Ο δεύτερος τα ταξινομεί ανά στοιχείο ή σύστημα, με αποτέλεσμα να προκύπτουν κατηγορίες όπως πόρτες και παράθυρα, δάπεδα ή τοιχοποιία. Το μοντέλο αυτό, ή CSI Master Format, περιελάμβανε μέχρι το 2004 δεκάξι κατανομές. Το ίδιο έτος προστέθηκαν νέες κατηγορίες, σε μια προσπάθεια να ευθυγραμμιστεί το μοντέλο με τις σύγχρονες οικοδομικές πρακτικές και τις καινοτομίες που έχουν εισαχθεί στον κλάδο των κατασκευών, με αποτέλεσμα σήμερα να αποτελείται από 50 κατηγορίες. Το Master Format δεν είναι μια αποκλειστική ταξινόμηση υλικών, αλλά συνολικά των προδιαγραφών και των τεχνολογικών συστημάτων που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διαδικασία της κατασκευής. Μας δίνει, όμως, μια πολύ ξεκάθαρη εικόνα για τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να ταξινομηθούν τα υλικά στην αρχιτεκτονική.

The CSI Master Format πριν το 2004

01 Γενικές Προδιαγραφές	09 Τελειώματα
02 Εκσκαφές	10 Ειδικότητες
03 Σκυρόδεμα	11 Εξοπλισμός
04 Τοιχοποιίες	12 Επίπλωση
05 Μέταλλα	13 Ειδικές κατασκευές
06 Ξύλο και Πλαστικά	14 Συστήματα μεταφοράς
07 Θερμομόνωση και Υγρομόνωση	15 Μηχανολογικά
08 Πόρτες και Παράθυρα	16 Ηλεκτρικά

Πηγή: <http://www.technical-expressions.com/mf/index.html>

Συνεπώς, κατανοούμε πως αυτό που μας ενδιαφέρει, συνήθως, σε μια ταξινόμηση για αρχιτεκτονικούς σκοπούς είναι ακριβώς τι είναι ένα υλικό και πού μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια σύντομη περιγραφή των έξυπνων υλικών με βάση μια ταξινόμηση που μας δίνει μια γενική ιδέα για αυτά, τις αρχές λειτουργίας τους και τους «έξυπνους» μηχανισμούς που τα χαρακτηρίζουν. Παρόλα αυτά, παραμένει αμφίβολο με ποιο τρόπο η γνώση αυτή, μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη κατά το σχεδιασμό από τους αρχιτέκτονες και άλλους επαγγελματίες στο χώρο των κατασκευών. Το πρωταρχικό ερώτημα που αναδύεται εδώ, είναι ποια μπορεί να είναι η χρησιμότητα των έξυπνων υλικών για την αρχιτεκτονική. Όπως είδαμε, στην πλειοψηφία τους λειτουργούν στο επίπεδο του μικρόκοσμου, παρόλα αυτά τα αποτελέσματά τους γίνονται συχνά αισθητά στη μεσοκλίμακα και μακροκλίμακα. Επομένως, μπορούν να προστεθούν στην παλέτα του αρχιτέκτονα και, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, να μεταβάλουν ή να επηρεάζουν το οικοδομημένο περιβάλλον.

Η ταξινόμηση που είδαμε παραπάνω έγινε με βάση το φυσικό μηχανισμό που σχετίζεται άμεσα με τη σύνθεσή του υλικού. Παρόλα αυτά, τα αισθητά αποτελέσματα που παράγει ένα έξυπνο υλικό δεν είναι αμφιμονοσήμαντα συνδεδεμένα με την αρχή λειτουργίας του. Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες, παρόμοια ή όμοια αποτελέσματα μπορεί να προκαλούνται από υλικά με πολύ διαφορετικές αρχές λειτουργίας. Αντίστροφα, μια ομάδα υλικών είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες περιπτώσεις, καθιστώντας ιδιαίτερα δυσδιάκριτη την αναγνώριση του λειτουργικού τους φαινομένου στην τελική μορφή τους.

Για το λόγο αυτό, γεννάται η ανάγκη για ένα νέο τρόπο ταξινόμησης των έξυπνων υλικών με βάση τις πιθανές χρήσεις τους. Φυσικά, σε κάθε τομέα μπορεί να προκύψει μια πλειάδα ταξινομήσεων, τελείως διαφορετικών από αυτές οποιουδήποτε άλλου, αφού τα έξυπνα υλικά προσφέρουν ουσιαστικά απεριόριστες δυνατότητες. Στην αρχιτεκτονική έχουν γίνει προσπάθειες για ποικίλες ταξινομήσεις που επιδιώκουν τη μεταφορά της τεχνογνωσίας προς τους αρχιτέκτονες. Το ερώτημα που καλούνται να απαντήσουν είναι: τι επιθυμούμε να κάνει το υλικό;

2.2.1 Κατηγοριοποίηση με κριτήριο το περιβάλλον στο οποίο επιδρούν

Η ταξινόμηση με κριτήριο το περιβάλλον στο οποίο επιδρά ένα υλικό θέτει ένα πολύ ενδιαφέρον ζήτημα για τη σχέση των έξυπνων υλικών με το κτίριο. Η έννοια «περιβάλλον», εδώ, επιδέχεται έναν πολύ ευρύ ορισμό. Σήμερα, τα συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού, φωτισμού που υπάρχουν εγκατεστημένα στα κτίρια μας έχουν ως στόχο, αντίστοιχα, τη θέρμανση, τον κλιματισμό ή το φωτισμό ενός χώρου. Ουσιαστικά, η προσπάθεια εστιάζεται περισσότερο στην κάλυψη των «αναγκών» του χώρου παρά του ίδιου του ανθρώπου. Η μελέτη των μηχανισμών με τους οποίους, ο άνθρωπος βλέπει ή αισθάνεται το κρύο, θα μπορούσε σε συνδυασμό με τα έξυπνα υλικά να δημιουργήσει οικονομικούς και επαναστατικούς τρόπους για την ικανοποίηση αυτών των αναγκών.

Επίδραση στο φωτεινό περιβάλλον

Η επίδραση στο φωτεινό περιβάλλον μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε με την μεταβολή του χρώματος, της διαφάνειας ή κάποιας άλλης οπτικής ιδιότητας του υλικού, είτε με την εκπομπή φωτός από αυτό.

Ειδικότερα, τα υλικά που αλλάζουν τις οπτικές τους ιδιότητες είναι, ίσως, η μεγαλύτερη κατηγορία έξυπνων υλικών, καθώς υπάρχει ένα πλήθος μηχανισμών που τις προκαλεί. Το γεγονός αυτό γίνεται κατανοητό, αν αναλογιστούμε ξανά τον τρόπο με τον οποίο κατανοεί το φως και το χρώμα το ανθρώπινο μάτι. Εφόσον, η μεταβολή της μοριακής τους δομής είναι θεμελιώδης αρχή της λειτουργίας των έξυπνων υλικών, είναι λογικό η μεταβολή αυτή να επιφέρει αλλαγές και στον τρόπο με το οποίο το φως ανακλάται πάνω σε αυτά πριν φτάσει στο μάτι.

Στην πρώτη κατηγορία, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα ημιδιαφανή υλικά, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να κυμαίνονται από τελείως διάφανα ως θολά. Τέτοια φαινόμενα είναι δυνατόν να προκληθούν τόσο από φωτοχρωμικά υλικά όσο και από τεχνολογίες αιωρούμενων σωματιδίων. Εναλλακτικά, άλλα υλικά μπορεί να μεταβάλλουν το χρώμα ή την ανακλαστικότητα τους.

Στη δεύτερη ανήκουν τα υλικά που μπορούν, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, να εκπέμπουν φως. Οι πιθανοί μηχανισμοί περιλαμβάνουν, κυρίως, τη φωτοβολή από ποικίλα ερεθίσματα του περιβάλλοντος, ενώ η τεχνολογία έχει πλέον τη δυνατότητα να κατασκευάζει υλικά που παράγουν φως οποιοδήποτε χρώματος ή σχήματος.

Επίδραση στο ακουστικό περιβάλλον

Η ηχομόνωση είναι μια σημαντική απαίτηση για τα σημερινά κτίρια των μεγαλουπόλεων. Συμβατικά, η απορρόφηση του ήχου γίνεται με τη βοήθεια της τριβής, η οποία σταδιακά μειώνει την ελαστική ενέργεια του ήχου μετατρέποντας τη σε θερμότητα. Η υιοθέτηση έξυπνων υλικών ανταλλαγής ενέργειας θα μπορούσε να ενισχύσει την μετατροπή της ελαστικής ενέργειας σε άλλες μορφές πιο εύχρηστες από τη θερμότητα, με τις μικρότερες δυνατές απώλειες. Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά, για παράδειγμα, έχουν τη δυνατότητα να μετατρέψουν την ελαστική ενέργεια σε ηλεκτρισμό, μηχανισμός ο οποίος θα μπορούσε να βελτιώσει, τελικά, την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων αν υπήρχε η δυνατότητα κατάλληλης εκμετάλλευσής του.

Επίδραση στο κινητικό περιβάλλον

Η μοριακή μεταβολή αποτελεί το θεμελιώδη μηχανισμό, στον οποίο βασίζονται όλες οι ιδιότητες των έξυπνων υλικών. Συχνά, η παραπάνω μεταβολή προκαλεί και αλλαγή του σχήματός τους. Ουσιαστικά, όλα τα υλικά υποβάλλονται σε ένα είδος μεταβολής του σχήματός τους από την εισροή ενέργειας. Σε επίπεδο μικροκλίμακας το γεγονός αυτό μεταφράζεται σε αναδιάταξη των μορίων, περιστροφή ή αλλαγή του προσανατολισμού τους, η οποία συχνά, και, κυρίως, όσον αφορά στα συμβατικά υλικά, δεν είναι ευδιάκριτη με γυμνό μάτι και δεν επιτρέπει την επαναφορά του υλικού στην αρχική του κατάσταση. Ορισμένες κατηγορίες έξυπνων υλικών διακρίνονται από την ικανότητα τους να διενεργούν τη μεταβολή αυτή αναστρέψιμα και σε μεγάλο εύρος. Για παράδειγμα, τα πολυμερή gel μπορούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες να διασταλούν ή να συσταλούν ως και 1000 φορές. Τα πιεζοηλεκτρικά και τα κράματα μνήμης σχήματος είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα υλικών στα οποία η μεταβολή της μικροδομής μπορεί να προκαλέσει αλλαγή μεγέθους ή σχήματος.

Επίδραση στο θερμικό περιβάλλον

Ο συνήθης τρόπος ελέγχου του θερμικού περιβάλλοντος κάποιου συμβατικού χώρου πραγματοποιείται με τον έλεγχο της θερμοκρασίας του αέρα, μέσω της μεθόδου της «διάλυσης» αέρα διαφορετικής θερμοκρασίας μέσα στον αέρα του εκάστοτε χώρου. Το σύστημα αυτό, όμως, έχει πολύ μεγάλες απώλειες. Με τη χρήση των έξυπνων υλικών, όπως οι ημιαγωγοί, μπορεί να δημιουργηθεί μια θερμική μηχανή, στην οποία επιτυγχάνεται η βέλτιστη ανταλλαγή ενέργειας (θερμότητας). Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας που παράγεται μπορεί να δημιουργήσει μια «λεκάνη» για δροσισμό του χώρου ή μια πηγή για θέρμανση.

Μία επιπλέον δυνατότητα που προσφέρουν τα έξυπνα υλικά είναι η μετατροπή των ανεπιθύμητων ψυχρών ή θερμών αερίων μαζών σε χρήσιμη μορφή ενέργειας. Για παράδειγμα, η θερμική ενέργεια μπορεί να απορροφηθεί από υλικά αλλαγής φάσης, τα οποία υπάρχουν στο χώρο, για παράδειγμα ενσωματωμένα στις τοιχοποιίες.

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση έχει γίνει με βάση τα απτά, άμεσα αποτελέσματα που προκαλεί σε ένα χώρο η λειτουργία των έξυπνων υλικών μέσα σε αυτό. Έτσι, ο αρχιτέκτονας μπορεί να επιλέξει ανάλογα με το φαινόμενο που επιθυμεί να δημιουργήσει στο χώρο. Παρόλα αυτά, για την επίτευξη του στόχου αυτού με την εγκατάσταση των κατάλληλων έξυπνων υλικών, είναι απαραίτητη η διάθεση τους στην αγορά και μάλιστα σε μορφές που μπορούν να προβούν άμεσα χρήσιμες για τον αρχιτέκτονα, όπως μεμβράνες, πετάσματα, βαφές κα.

Πολυμερείς μεμβράνες

Τα πολυμερή υλικά αποτέλεσαν την επανάσταση στον τομέα της τεχνολογίας των υλικών τα τελευταία χρόνια. Σήμερα, έχουν ευρύτατες εφαρμογές στα αντικείμενα της καθημερινής ζωής και οι ιδιότητές τους επιτρέπουν πολλές φορές το χαρακτηρισμό τους ως «έξυπνα». Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι πολυμερείς μεμβράνες, οι οποίες ήρθαν στο προσκήνιο ως αποτέλεσμα της συνήθους πρακτικής να κατασκευάζονται μεμβράνες από ποικίλες πρώτες ύλες. Πλέον, με την πρόοδο της τεχνολογίας, είναι δυνατή η κατασκευή πολύ λεπτών και ανθεκτικών μεμβρανών καθώς και ελασμάτων αποτελούμενων από πολλαπλά επίπεδα μεμβρανών. Τα υλικά αυτά είναι σχετικά οικονομικά γι' αυτό και παρουσιάζουν πολλές εφαρμογές. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι μεμβράνες καθρέπτη, οι οποίες έχουν την ικανότητα να αντανακλούν το 98% του ορατού φωτός, ή οι μεμβράνες κατεύθυνσης θέασης, οι οποίες επιτρέπουν διαφορετική ορατότητα ανάλογα με τη γωνία θέασης.

Πολλά από τα έξυπνα υλικά που περιγράφηκαν παραπάνω έχουν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή μεμβρανών με αντίστοιχα χαρακτηριστικά. Οι φωτοχρωμικές ή θερμοχρωμικές μεμβράνες μεταβάλουν το χρώμα τους ή/και τη διαφάνειά τους κατά την επίδραση του φωτός ή της θερμοκρασίας, ενώ πιεζοηλεκτρικές μεμβράνες μπορούν να εφαρμοστούν για τον εντοπισμό μικροπαραμορφώσεων σε μια επιφάνεια.



Εικόνα 2-10: **Μεμβράνη καθρέπτη** Πηγή: Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), *Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions*. Architectural Press, σελ. 145

Οι μεμβράνες που παρουσιάζουν έξυπνες συμπεριφορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλαπλές εφαρμογές ανεξάρτητα είτε ως επικάλυψη σε κάποιο υπόστρωμα. Έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για την προσκόλληση των μεμβρανών πάνω σε ποικίλα συμβατικά υλικά, προσδίδοντας τους έξυπνα χαρακτηριστικά.

Ράβδοι και νήματα



Εικόνα 2-11: **Οπτικές Ίνες**

Πηγή: <http://www.psgtechteam.com/telecom.html>

Ο τομέας στον οποίο έχουν εφαρμοστεί περισσότερο κατασκευές, όπως ράβδοι, νήματα, καλώδια ή ίνες είναι η μεταφορά φωτός. Αν και το γυαλί είναι ένα υλικό που ενδείκνυται για τη μετάδοση φωτός εξαιτίας των μικρών απωλειών, η αξία του καθώς και ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά του δημιουργούν δυσκολίες στην εφαρμογή. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις τη θέση του λαμβάνουν τα πολυμερή σε μορφή ινών ή ράβδων, τα οποία είναι πολύ οικονομικά και παρουσιάζουν μεγάλη ευκολία στη σύνδεση. Οι οπτικές ίνες είναι, ίσως, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό σε φωτιστικές εφαρμογές.

Άλλα υλικά, όπως τα έξυπνα υλικά αλλαγής σχήματος, μπορούν να σχηματίσουν ράβδους και νήματα με πολλαπλές εφαρμογές.

Μελάνια και Χρωστικές

Οι έξυπνες χρωστικές και τα μελάνια είναι θεμελιώδη για την παραγωγή άλλων έξυπνων υλικών. Απλό χαρτί, ύφασμα και άλλα μπορούν να βαφτούν με κάποιο έξυπνο μελάνι και να αποκτήσουν έξυπνα χαρακτηριστικά. Συνήθως, οι χρωστικές αυτές είναι σε υψηλή συγκέντρωση και αποτελούν το βασικότερο μέσο μετατροπής κοινών υλικών σε έξυπνα. Για παράδειγμα, το απλό χαρτί μπορεί να μετατραπεί πολύ εύκολα σε θερμοχρωμικό με τη χρήση ειδικών βαφών ενώ φωτοχρωμικές χρωστικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία φωτοχρωμικών υφασμάτων. Μια διαφορετική αλλά διαδεδομένη εφαρμογή των έξυπνων μελανιών είναι η «έξυπνη» εκτύπωση με τη χρήση θερμοχρωμικών ή φωτοχρωμικών μελανιών που έχει τη δυνατότητα να μεταβάλει το χρώμα της με την επίδραση της θερμοκρασίας ή του φωτός αντίστοιχα.



Εικόνες 2-12: **Παραδείγματα χρωστικών** Πηγή: Alex Ritter (2007), smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhauser, σελ.117

Βαφές και Επικαλύψεις

Οι ιδιότητες ποικίλων υλικών μπορούν να μεταβληθούν με την εφαρμογή βαφών ή επικαλύψεων στην επιφάνεια τους. Τα έξυπνα υλικά επιτρέπουν την ανάπτυξη έξυπνων επικαλύψεων με ενδιαφέρουσες δυνατότητες. Οι έξυπνες επικαλύψεις επιδέχονται την ίδια γενικότερη ταξινόμηση σε επικαλύψεις μεταβολής ιδιοτήτων και ανταλλαγής ενέργειας.

Πολλά από τα έξυπνα υλικά μεταβολής ιδιότητας που γνωρίσαμε μπορούν να διαμορφωθούν σε μικροσκοπικά στοιχεία και να προστεθούν ως χρωστικές ουσίες σε βαφές. Με τον τρόπο αυτό είναι πολύ εύκολη η παραγωγή θερμοχρωμικών ή φωτοχρωμικών βαφών με πολλαπλές εφαρμογές. Η εφαρμογή θερμοχρωμικής βαφής σε κάποιο υλικό, για παράδειγμα, μπορεί να δημιουργήσει ένα δείκτη της μεταβολής της θερμοκρασίας του. Μια εναλλακτική εφαρμογή, είναι τα έξυπνα υλικά να χρησιμοποιούνται τα ίδια ως επικάλυψη ή να ενσωματώνονται σε αυτή με τη μορφή μικροκάψουλας. Τα υλικά αλλαγής φάσης είναι πιο αποδοτικά σε αυτή τη μορφή παρά ως βαφή.

Αντίστοιχα, πολλές εφαρμογές είναι δυνατές και για τα υλικά ανταλλαγής ενέργειας. Τα φωτοβόλα υλικά μπορούν να διαλυθούν και να δημιουργήσουν μια βαφή ή επικάλυψη με τις ίδιες ιδιότητες και λειτουργία, δηλαδή την απορρόφηση ενέργειας από φωτεινές, χημικές ή θερμικές πηγές και την εκπομπή φωτονίων ως φθορισμό ή φωσφορισμό.

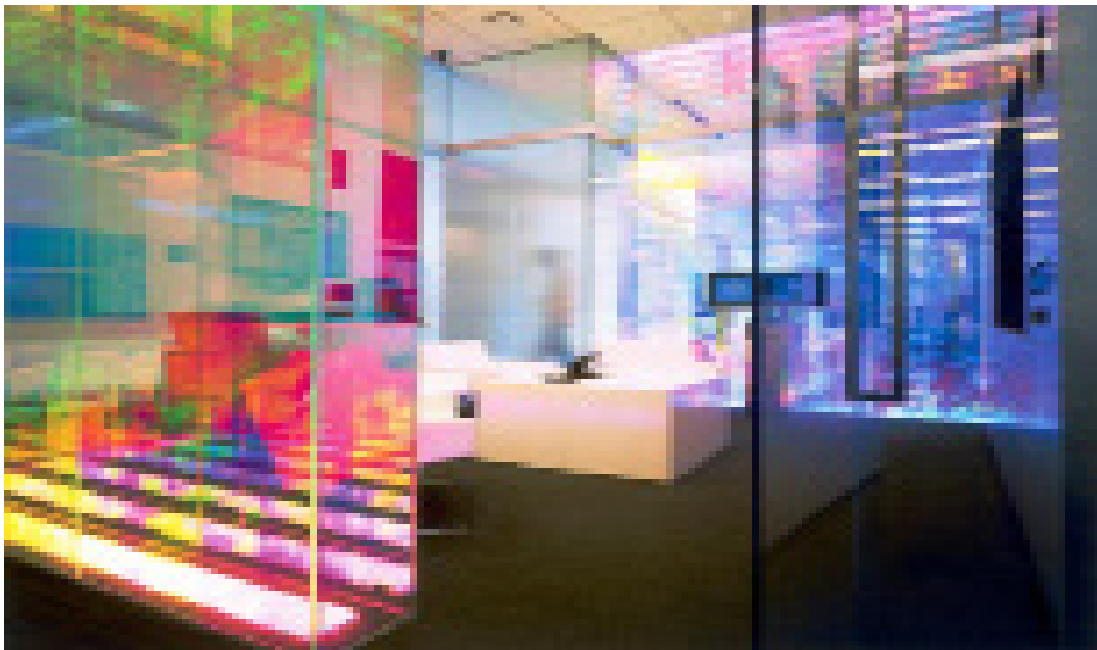
Άλλες επικαλύψεις κατασκευάζονται έτσι ώστε να είναι ηλεκτρικά αγώγιμες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι επικαλύψεις που τοποθετούνται σε γυάλινα υποστρώματα έτσι ώστε να τα μετατρέψουν σε αγώγιμα. Η έλευση των αγώγιμων πολυμερών υλικών, που ήδη έχουν περιγραφεί, έχει φέρει επανάσταση στο μέλλον των έξυπνων βαφών και επικαλύψεων αφού πολλές φορές αποτελούν την πρώτη ύλη τους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η έρευνα για την ανάπτυξη αγώγιμων βαφών που θα έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν οπές ή διάβρωση στο υλικό στο οποίο έχουν εφαρμοστεί, αφού η διάβρωση θα προκαλεί αναμφίβολα μεταβολές στο ηλεκτρικό τους πεδίο.

Με παρόμοιο τρόπο, είναι δυνατή η ανάπτυξη επικαλύψεων με πιεζοηλεκτρικά στοιχεία. Αυτές οι επικαλύψεις μελετώνται ιδιαίτερα για τη χρήση τους σε εφαρμογές ελέγχου των κατασκευών. Πιθανές παραμορφώσεις στο υλικό της βάσης θα ασκούσαν δυνάμεις στα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία της επιφάνειας και στη συνέχεια ανιχνεύσιμα ηλεκτρικά σήματα. Η αξιολόγηση αυτών των σημάτων θα μπορούσε να προσφέρει πληροφορίες για το είδος και την έκταση της παραμόρφωσης.

Υαλοστάσια

Όπως θα δούμε το γυαλί, συνήθως, αποκτά έξυπνες ιδιότητες με την προσθήκη μεμβρανών ή επικαλύψεων στην επιφάνεια του. Παρότι, λοιπόν, θα μπορούσε να μην αποτελεί ξεχωριστή κατηγορία μορφών των έξυπνων υλικών, θα αναφέρουμε μερικά παραδείγματα λόγω των ευρέων χρήσεων τους και της σπουδαιότητάς τους στον τομέα της αρχιτεκτονικής.

Μια επιτυχημένη εφαρμογή της τεχνολογίας των λεπτών μεμβρανών στην αρχιτεκτονική είναι το ηλεκτρο-οπτικό γυαλί. Το γυαλί είναι ένα υλικό μη αγωγίμο στη συμβατική του μορφή, το γεγονός, όμως, αυτό μπορεί να αποδειχθεί προβληματικό για πλήθος σύγχρονων εφαρμογών. Ένα από τα υλικά που αναπτύχθηκαν για την αντιμετώπιση του παραπάνω μειονεκτήματος είναι το ηλεκτρο-οπτικό γυαλί. Αποτελείται από ένα γυάλινο υπόστρωμα το οποίο έχει καλυφθεί, μέσω μια χημικής διαδικασίας, από μια λεπτή και διάφανη επικάλυψη κάποιου ηλεκτρικά αγωγίμου υλικού. Η πιο συνήθης εφαρμογή του ηλεκτρο-οπτικού γυαλιού στην αρχιτεκτονική είναι για την κατασκευή θερμαινόμενου γυαλιού. Όταν εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, η αγωγή επένδυση λειτουργεί ως αντίσταση με αποτέλεσμα την εκπομπή θερμότητας και τη σταδιακή θέρμανση του γυάλινου υποστρώματος.



Εικόνες 2-13: **Διχρωικό γυαλί** Πηγή: <http://acoll36.files.wordpress.com/2008/04/dichroic-glass-3.jpg>

Το διχρωμικό γυαλί είναι άλλο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής έξυπνων μεμβρανών πάνω σε γυάλινο υπόστρωμα. Έχει την ικανότητα να μεταβάλλει το ορατό χρώμα του ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης του φωτός ή τη γωνία θέασης. Για την κατασκευή του επικολλούνται, με ειδική χημική μέθοδο, πάνω στη γυάλινη βάση πολλαπλές λεπτές και διάφανες επικαλύψεις, η κάθε μία με διαφορετικές οπτικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα να προκαλείται ένα σύνθετο οπτικό φαινόμενο όταν το φως διαπερνά το γυαλί. Το πάχος της κάθε επικάλυψης αντιστοιχεί σε εκατομμυριοστά του εκατοστού. Με αυτό τον τρόπο, είναι δυνατόν το διχρωμικό γυαλί να αποτελείται ακόμα και από τριάντα ή σαράντα επίπεδα επικαλύψεων, χωρίς ορατή μεταβολή των διαστάσεων του. Με προσεκτική επιλογή των ιδιοτήτων των επικαλύψεων μπορεί να επιτευχθεί συγκεκριμένο οπτικό φαινόμενο. Η διαδικασία είναι, όμως, αρκετά πολύπλοκη και ακριβή.



Εικόνα 2-14: Εφαρμογή διχρωμικού γυαλιού στη Νέα Υόρκη από τον αρχιτέκτονα James Carpenter, Πηγή: Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions. Architectural Press, σελ. 169

Ποικίλες μεμβράνες και επικαλύψεις μπορούν να εφαρμοστούν πάνω σε γυάλινα υποστρώματα για την εμφάνιση διαφόρων φαινομένων. Αντι-ανακλαστικά τζάμια ή τζάμια που ενισχύουν τη φωτεινότητα βρίσκονται ανάμεσα στις πιθανές εφαρμογές. Το γυαλί, όμως, στο οποίο οι μελέτες έχουν φτάσει στο υψηλότερο, μέχρι σήμερα, στάδιο είναι το φωτοχρωμικό, λόγω της ευρύτατης χρήσης του στα γυαλιά ηλίου. Πράγματι, έχουν επιτευχθεί εξαιρετικοί χρόνοι αντίδρασης στο φως και πολύ καλή ποιότητα, γεγονός που καταδεικνύει τις τεράστιες δυνατότητες που μπορεί να έχει η μελέτη ολοένα και περισσότερων έξυπνων υλικών.

Σφαιρίδια αλλαγής φάσης

Ίσως τα προϊόντα αυτά να είναι τα πιο εύχρηστα στο πλαίσιο της αρχιτεκτονικής. Περιέχουν έξυπνα υλικά αλλαγής φάσης, με αποτέλεσμα να είναι πολύ ελκυστική η εφαρμογή τους για τον έλεγχο και τη διαχείριση του θερμικού περιβάλλοντος των κτιρίων. Το ζήτημα που προκύπτει είναι με πιο τρόπο τα υλικά αυτά μπορούν να εισαχθούν στα κοινά κατασκευαστικά υλικά. Μια σύγχρονη προσέγγιση προτείνει σχετικά μεγάλα εγκιβωτισμένα σφαιρίδια, τα οποία θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε δάπεδα, τοιχοποιίες ή και πιο ελαφριά πετάσματα και να έχουν ταχείες αντιδράσεις στις μεταβολές της θερμοκρασίας.

Υφάσματα

Ο όρος ύφασμα, όταν αναφέρεται σε υλικά με έξυπνες ιδιότητες, λαμβάνει μια ευρύτερη έννοια και μπορεί να περιλαμβάνει υλικά υφασμένα με ποικίλες ίνες ή εύκαμπτα πολυεπίπεδα υλικά. Τα έξυπνα υφάσματα μπορεί να αποτελέσουν υλικά μεταβολής ιδιότητας, ανταλλαγής ενέργειας ή ακόμη να λειτουργήσουν ως αισθητήρες.

Υπάρχει πολύ μεγάλη ποικιλία στα έξυπνα χαρακτηριστικά που είναι δυνατόν να αποδοθούν σε ένα ύφασμα. Μια μεγάλη κατηγορία είναι εκείνα που σχετίζονται με τη διαχείριση του φωτός και του χρώματος. Η εφαρμογή κάποιας μεμβράνης επιφανειακά, κάποιας χρωστικής είτε η ύφανση έξυπνων ινών μέσα στο ύφασμα είναι αρκετή ώστε να αποδοθούν στο ύφασμα οι εκάστοτε έξυπνες ιδιότητες. Εναλλακτικά, τα έξυπνα υφάσματα μπορούν να δημιουργηθούν με επάλληλα επίπεδα διαφανών υλικών, με διαφορετικές διαθλαστικές ιδιότητες. Σύμφωνα με το υλικό και τη σειρά τοποθέτησης των διαφόρων επιπέδων, μπορούν να δημιουργηθούν υφάσματα με τις επιθυμητές οπτικές ιδιότητες, ακόμα και το «ύφασμα καθρέφτης».

Ποικιλία εφαρμογών στα έξυπνα υφάσματα επέτρεψε η χρήση οπτικών ινών. Οι οπτικές ίνες ενσωματώνονται κατά την πλέξη του υφάσματος και με τον κατάλληλο μηχανισμό εκπέμπεται φως από την επιφάνεια του. Παρόμοια θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και τα ηλεκτροφωτοβόλα υλικά.

Προσπάθειες έχουν γίνει για την παραγωγή υφάσματος με στόχο τον έλεγχο του θερμικού περιβάλλοντος του χώρου. Συνήθως, τα υφάσματα αυτά κατασκευάζονται με τη χρήση υλικών αλλαγής φάσης, τα οποία εμπλέκονται στην απορρόφηση, αποθήκευση και επανεκπομπή ενέργειας σε μορφή θερμότητας. Τα υλικά αυτά έχουν ενσωματωθεί επιτυχώς στα υφάσματα μέσω της μεθόδου εγκλωβισμού τους σε μικροκάψουλα. Οι μικροσκοπικές κάψουλες διανέμονται ομοιόμορφα στο υλικό-υπόστρωμα. Τα υλικά αλλαγής φάσης μπορεί να αποδειχθούν πολύ χρήσιμα για τον έλεγχο της θερμότητας, αφού μπορούν να διαμορφωθούν έτσι ώστε να υφίστανται την μεταβολή της κατάστασης της ύλης τους σε συγκεκριμένες επιθυμητές θερμοκρασίες.



Πηγή: <http://snapshotscience.co.uk/a-shining-use-of-smart-materials/>

Οι δύο παραπάνω ταξινομήσεις ως στόχο έχουν τη διευκόλυνση του αρχιτέκτονα κατά την εφαρμογή των έξυπνων υλικών μέσα στο πλαίσιο σχεδιασμού. Γίνεται περισσότερο σαφές με ποιους πιθανούς τρόπους μπορούν να χρησιμοποιηθούν, έτσι ώστε να προκαλέσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Σύμφωνα με την παρατήρηση αυτή, συνειδητοποιούμε πως πλέον η έννοια του υλικού υποβιβάζεται ως προς το παραγόμενο φαινόμενο, αφού τελικά ένα ή περισσότερα έξυπνα υλικά τίθενται στη διάθεση του αρχιτέκτονα έτσι ώστε να του προσφέρουν τη δυνατότητα να σχεδιάσει επακριβώς τη συμπεριφορά που επιθυμεί.

Τα έξυπνα υλικά θέτουν πολύ σοβαρές προκλήσεις στον αρχιτέκτονα. Οι αρχιτεκτονικές ταξινομήσεις δεν αποτελούν πανάκεια για όλες τις πιθανές εφαρμογές. Ο αρχιτέκτονας πρέπει να αποκτήσει τις απαραίτητες γνώσεις έτσι ώστε να έχει τη δυνατότητα να προτείνει εναλλακτικές λύσεις στις εφαρμογές που προτείνονται σε αυτές. Άλλωστε, οι ταξινομήσεις αντικατοπτρίζουν, σχεδόν πάντα, την τρέχουσα αντίληψη για το σχεδιασμό και τις κατασκευές, ενώ, συχνά, μπορεί να μην ενημερώνονται με τις πιο πρόσφατες εξελίξεις της τεχνολογίας. Με τον τρόπο αυτό, η παράδοση να ταξινομούμε τα υλικά σε δεδομένες κατηγορίες, με στόχο την ελαχιστοποίηση της πληροφορίας, έχει την τάση να επισκιάζει τη δυνατότητα που έχουν τα μη συμβατικά υλικά να προκαλέσουν επανάσταση στην αρχιτεκτονική.

Η χρήση των δύο παραπάνω ταξινομήσεων σε συνδυασμό μπορεί να οδηγήσει τον αρχιτέκτονα στην επιλογή ανάμεσα από μια πληθώρα υλικών για την επίτευξη του στόχου του. Όμως, ακόμα και οι ταξινομήσεις που δημιουργήθηκαν ειδικά για τα έξυπνα υλικά, διέπονται, ακόμα, από τις συμβατικές αντιλήψεις για την οικοδομική πρακτική. Ειδικότερα, οι μορφές στις οποίες συναντάμε τα έξυπνα υλικά - αντικείμενο της δεύτερης ταξινόμησης - είναι αναμφίβολα εκείνες οι οποίες έχουν καθιερωθεί από τη μακροχρόνια χρήση των συμβατικών υλικών. Επιπλέον, ενδεικτικό της αντίληψης που υπάρχει στην κατασκευαστική βιομηχανία για τη χρήση των έξυπνων υλικών, είναι το γεγονός πως η παραγωγή των περισσότερων μορφών στις οποίες τα συναντάμε γίνεται με την εφαρμογή κάποιας έξυπνης μεμβράνης, επικάλυψης ή βαφής πάνω σε συμβατικό υπόστρωμα. Με τον τρόπο αυτό, τα έξυπνα υλικά γίνονται απλοί αντικαταστάτες των υλικών που χρησιμοποιούμε σήμερα, αφού δεν είναι δυνατή η πλήρης ενσωμάτωση του δυναμικού χαρακτήρα τους, ούτε και των νέων στατικών και μορφολογικών δυνατοτήτων τους. Υποτιμάται το γεγονός πως πρόκειται για νέες τεχνολογίες με τελείως διαφορετικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες. Αν, σταδιακά, μπορούσε να απαγκιστρωθεί ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός από τη συμβατική πρακτική, θα βλέπαμε πως τα έξυπνα υλικά παρουσιάζουν ευκαιρίες χωρίς προηγούμενο ως προς τη λειτουργία των κτιριακών συστημάτων. Είναι βέβαια προφανές, πως για να γίνει αυτό, πρέπει να αλλάξει βάση, στο σύνολο της, η διαδικασία σχεδιασμού που εφαρμόζουμε σήμερα.

Μέχρι τώρα, έχουν περιγραφεί ποικίλα υλικά καθώς και οι πιθανές μορφές τους. Για να φτάσουμε, όμως, σε ένα πιο ρεαλιστικό και πρακτικό επίπεδο, όσον αφορά στην εφαρμογή και λειτουργία των έξυπνων υλικών μέσα στην κατασκευή, καταλήγουμε σε έναν τρίτο διαχωρισμό με βάση το σύστημα στο οποίο μπορούν να ενταχθούν κατά την κατασκευαστική διαδικασία.

Ως και σήμερα, η υιοθέτηση των έξυπνων υλικών στην αρχιτεκτονική έχει γίνει με πολύ συντηρητικό τρόπο και, κυρίως, αφορά στα διακοσμητικά στοιχεία του χώρου και όχι στην κατασκευή αυτή καθαυτή. Αυτό συμβαίνει γιατί τα υλικά και οι τεχνολογίες που είναι ενσωματωμένα στην κατασκευή, υπόκεινται πολύ πιο δύσκολα σε μεταβολές. Άλλωστε, στοιχεία, όπως τα θεμέλια ή τα ηλεκτρολογικά συστήματα, πρέπει να πληρούν πολύ αυστηρές προδιαγραφές απόδοσης και μακροζωίας και να έχουν δοκιμαστεί επαρκώς προγενέστερα.

Παρακάτω, απαριθμούνται τα συστήματα του κτιρίου στα οποία η χρήση έξυπνων υλικών είναι δυνατή, με τη σημερινή τεχνογνωσία, και, σε πολλές περιπτώσεις, πολλά υποσχόμενη. Είναι αξιοσημείωτο πως, ίσως, οι σημαντικότερες πιθανές εφαρμογές θα ανήκουν σε συστήματα μη ορατά στο χώρο, όπως το δομικό σύστημα ή ο έλεγχος του θερμικού περιβάλλοντος. Άλλωστε, θεμελιώδες χαρακτηριστικό των έξυπνων υλικών είναι η ικανότητά τους να διαχειρίζονται την ενέργεια που τα περιβάλλει και να λειτουργούν ως αισθητήρες, ενεργοποιητές ή γεννήτριες. Εξάλλου, με τον τρόπο αυτό μπορούν να αναβαθμίσουν πολύ περισσότερο τη ζωή των χρηστών.

Συστήματα όψεων

Το σύστημα στο οποίο, αναμφίβολα, τα έξυπνα υλικά χρησιμοποιούνται ως οπτική επιφάνεια είναι οι όψεις και τα όρια. Παρόλα αυτά, δεν έχουν μόνο αυτή τη χρήση. Οι όψεις είναι πάντα όρια «διπλής κατεύθυνσης», εφόσον πραγματοποιείται μεταφορά ενέργειας από μέσα προς τα έξω και αντίθετα. Η θερμοκρασία και το φώς είναι παράγοντες των οποίων η είσοδος ή έξοδος από το κτίριο πρέπει να ελέγχεται. Το πρόβλημα είναι ακόμα πιο έντονο όταν αναφερόμαστε σε υαλοστάσια και όχι πλήρεις όψεις. Ειδικότερα, με τις δυνατότητες που προσφέρει, τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει μεταβληθεί ιδιαίτερα η σχέση κενού – πλήρους στο κέλυφος των κτιρίων, με το κενό να καταλαμβάνει ολοένα και μεγαλύτερο ποσοστό. Συνεπώς, προκύπτουν ζητήματα απωλειών ενέργειας μέσω της όψης, δυσκολίας ελέγχου του θερμικού περιβάλλοντος του εσωτερικού και, ταυτόχρονα, υπερκατανάλωσης ενέργειας για τη διατήρησή του σε σταθερό επίπεδο.

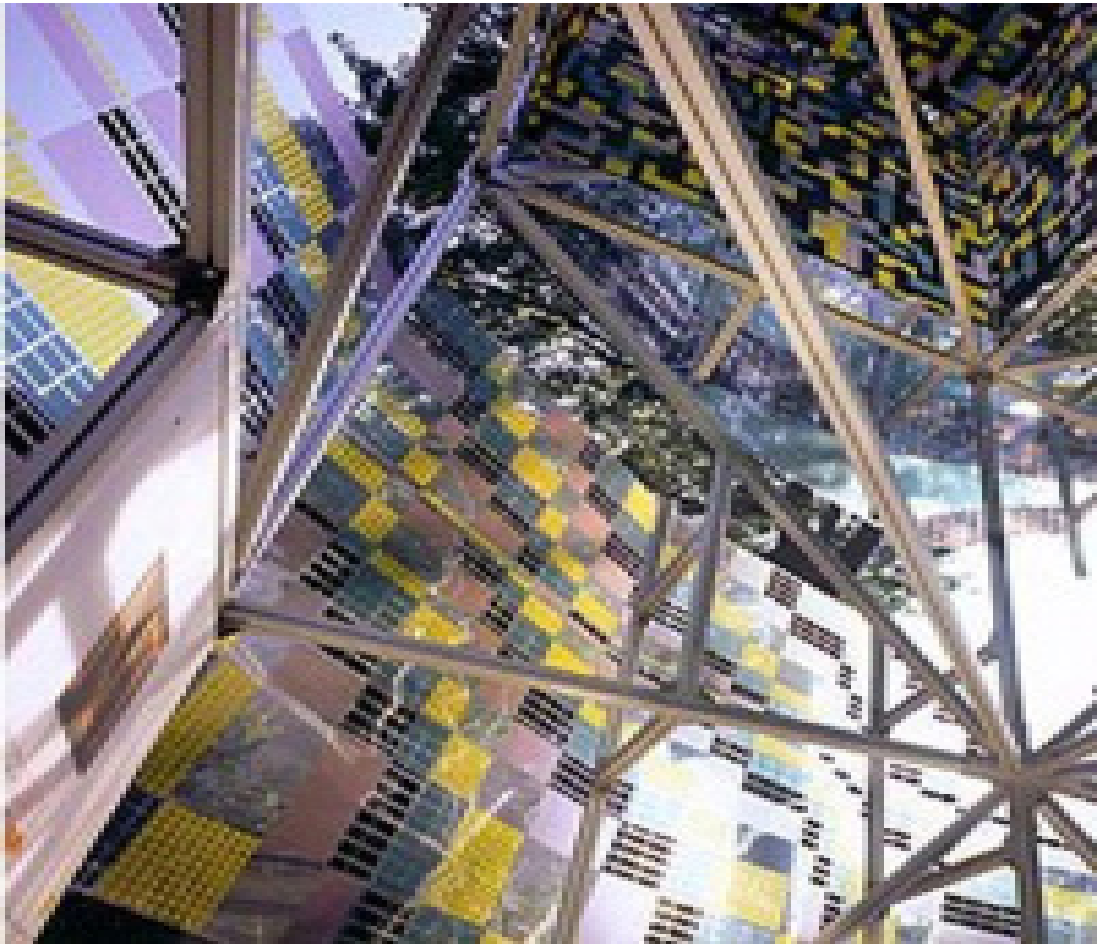
Για την αντιμετώπιση των παραπάνω ζητημάτων αναπτύχθηκαν ποικίλες τεχνολογίες, όπως μεμβράνες, διπλά υαλοστάσια, αυτοματοποιημένες περσίδες για σκιασμό. Μια από τις πρώτες εφαρμογές με τη χρήση έξυπνων υλικών ήταν ο «πολυδύναμος τοίχος», ένα πέτασμα που ως στόχο είχε την εκπλήρωση όλων των λειτουργιών της όψης μέσω ενός πολυεπίπεδου στοιχείου. Ο πολυδύναμος τοίχος αναπτύχθηκε το 1981 από τον Mike Davis. Αποτελεί μια λεπτή επιδερμίδα με πολλαπλά λειτουργικά επίπεδα πάνω σε γυάλινη επιφάνεια, όπως φωτοβολταϊκά, ηλεκτροχρωμικά, αγωγίμο γυαλί και άλλα υλικά με έξυπνες συμπεριφορές, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προστατεύουν από τον ήλιο και τη θερμότητα, και να ρυθμίζουν λειτουργίες σύμφωνα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Χωρίς να έχουν επιλυθεί όλα τα ζητήματα για την κατασκευή του, ο πολυδύναμος τοίχος αποτέλεσε έμπνευση για πολλές νεότερες τεχνολογίες όψεων.

Δε χρειάζονται πολλές γνώσεις πάνω στα έξυπνα υλικά για να συνειδητοποιήσει κανείς πως οι πιθανές εφαρμογές είναι απεριόριστες. Αναμφίβολα αποτελεί αντικείμενο πρωταρχικού ενδιαφέροντος για τον αρχιτέκτονα η διαμόρφωση της όψης, για το λόγο αυτό οι έρευνες για τα έξυπνα συστήματα όψεων έχουν σχεδόν μονοπωλήσει το ενδιαφέρον της αγοράς. Η έξυπνη όψη, και επικρατέστερα το έξυπνο παράθυρο, έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης, καθώς είναι ο κυριότερος παράγοντας για την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης στο εσωτερικό του χώρου. Το έξυπνο παράθυρο, ουσιαστικά, αναλαμβάνει την «ευθύνη» για:

- τον έλεγχο της οπτικής διαπερατότητας
- τον έλεγχο της θερμικής διαπερατότητας
- τον έλεγχο της θερμικής απορρόφησης
- τον έλεγχο της θέασης,

πάντα ως ανταπόκριση στα εισερχόμενα ερεθίσματα του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Προχωρώντας ένα βήμα ακόμη, οι, κατασκευασμένες από ευφυή υλικά, όψεις αποτελούν ενιαίες οντότητες, τρισδιάστατες επιφάνειες που δεν έχουν το χαρακτήρα ενός απλού ορίου, επιφάνειες που μπορούν να εξελίσσονται στο χρόνο, να μεταφέρουν πληροφορία, να αλληλεπιδρούν με το χρήστη και το περιβάλλον σαν ζωντανοί οργανισμοί. Το περίβλημα προνοεί, αυτοεπιδιορθώνεται και ανακυκλώνει, ενώ ταυτόχρονα αξιοποιεί τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας που παρέχονται απλόχερα από τη φύση. Η φωτοχημική και ηλεκτροχημική μεταβλητότητα αποτελούν ιδιότητες του ευφυούς κελύφους που παρέχουν τρόπους ελέγχου της ενέργειας, και σε συνδυασμό με τους αισθητήρες και τις συσκευές ελέγχου δημιουργούν ένα αυτορυθμιζόμενο κέλυφος.¹ Η λειτουργία του καλύπτεται ολοκληρωτικά από την εκμετάλλευση των πράσινων μορφών ενέργειας, είναι οικολογική και ενεργειακά αποδοτική.



Εικόνα 2-15: Μεμβράνη “Smart Wrap”, Πηγή: <http://inhabitat.com/smart-wrap/smartwrapjpg/>

Συστήματα φωτισμού

Αν και η παραγωγή τεχνητού φωτισμού είναι ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος της κατασκευής, δεν έχει βρεθεί ακόμη αποδοτική μέθοδος για τη διαδικασία αυτή. Αντίθετα, πρόκειται για μία από τις λιγότερο αποδοτικές και δαπανηρότερες διαδικασίες στο κτίριο. Οι προσπάθειες για τη δημιουργία πιο αποδοτικών λαμπτήρων έχουν οδηγήσει σε ποικίλες εφαρμογές, όπως οι λάμπες φθορισμού που είναι πέντε φορές πιο αποδοτικές από τους συμβατικούς λαμπτήρες πυρακτώσεως. Με τη χρήση των έξυπνων υλικών μπορεί να ελεγχθεί σε μεγάλο βαθμό η κατανάλωση ενέργειας, όμως, η θεμελιώδης συμβολή τους δεν είναι η βελτίωση των μεμονωμένων πηγών φωτισμού αλλά του συστήματος φωτισμού εξολοκλήρου. Άλλωστε, η προσέγγιση που σήμερα έχουμε για το φωτισμό έχει καθιερωθεί σχεδόν ένα αιώνα πριν, παρά τη διεύρυνση των γνώσεων μας τόσο για τις ιδιότητες του φωτός όσο και του οπτικού συστήματος του ανθρώπου. Ο στόχος σήμερα είναι η δημιουργία ενός συστήματος φωτισμού που θα επιτρέπει άμεσο έλεγχο του φωτός προς το ανθρώπινο μάτι και όχι προς το κτίριο.

Οι οπτικές ίνες, τυπικά, αποτελούν αγωγούς φωτός και όχι έξυπνα υλικά, καθώς δε συμβαίνει καμία μετατροπή ενέργειας κατά τη λειτουργία τους. Παρόλα αυτά, αναφέρουμε την περίπτωση τους γιατί προτείνουν μια εντελώς διαφορετική αντίληψη περί φωτισμού κοντά στην προσέγγιση των έξυπνων υλικών. Η κάθε οπτική ίνα έχει την ικανότητα να εκπέμπει μόνο ένα τμήμα του φωτός που μπορεί να εκπέμψει ένας συμβατικός λαμπτήρας, αλλά με πολύ πιο αποδοτικό τρόπο. Η σημερινή πρακτική του «ατμοσφαιρικού» φωτισμού, δηλαδή της προσπάθειας να φωτιστεί όλη η έκταση του χώρου ομοιόμορφα, αντικαθίσταται από το φωτεινό άκρο της οπτικής ίνας, το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί πρακτικά οπουδήποτε, φωτίζοντας απευθείας το επιθυμητό αντικείμενο. Στη λειτουργία της ενσωματώνονται δύο βασικά χαρακτηριστικά των έξυπνων υλικών, η αμεσότητα και η επιλεκτικότητα. Σημαντικό πλεονέκτημα του φωτισμού με οπτικές ίνες, έναντι του συμβατικού, είναι πως η πηγή του φωτός είναι απομακρυσμένη από το χώρο που φωτίζεται. Συνεπώς, δεν επηρεάζεται από τη μεγάλη ποσότητα θερμότητας που εκλύεται κατά την παραγωγή του και μειώνει σε μεγάλο ποσοστό την κατανάλωση ενέργειας για τον επαναδροσισμό του χώρου.

Ο φωτισμός στερεάς κατάστασης αναφέρεται σε οποιαδήποτε συσκευή η οποία κάνει χρήση ημιαγωγών για τη μετατροπή ηλεκτρικού ρεύματος σε φως. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ορισμένα καινοτόμα υλικά, όπως οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) ή τα πολυμερή εκπομπής φωτός. Τα πλεονεκτήματα των LED έναντι άλλων συστημάτων φωτισμού, ακόμα και των οπτικών ινών, έγκεινται στο γεγονός πως είναι αυτο-ενεργοποιούμενα, άμεσα και μη μόνιμα. Οι μικρές τους διαστάσεις επιτρέπουν την τοποθέτησή τους σε σημεία που δεν είναι εφικτός άλλος φωτισμός, καθώς δεν υπάρχει απαίτηση για εγκαταστάσεις υποδομής, ενώ οι οπτικές ιδιότητες του φωτός μπορούν να ελεγχθούν με μεγάλη ακρίβεια.



Εικόνα 2-16: **Led**, Πηγή: <http://www.ledlightsorient.com/30cm-led-flexible-strip-light-lsl1531-p-77.html>

Μεγάλη επανάσταση στο φωτισμό μπορεί να φέρει η αντίληψη πως, εκμεταλλευόμενοι τα έξυπνα υλικά, μπορούμε να δημιουργήσουμε μια φωτεινή επιφάνεια εκ των έσω, παρά να κατευθύνουμε φως από άλλη πηγή προς αυτή την επιφάνεια.

Ενεργειακά Συστήματα

Ολοένα και μεγαλύτερη γίνεται η ευαισθητοποίηση για τα ποσά ενέργειας που καταναλώνουμε καθημερινά. Το δομημένο περιβάλλον είναι υπεύθυνο για το 50% της ενέργειας που δαπανάται διεθνώς, και συνεπώς οι εκλύσεις διοξειδίου του άνθρακα που συνοδεύουν αυτή την κατανάλωση ενέργειας είναι υπεύθυνες κατά 50% για την εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Τα έξυπνα υλικά, έχοντας τη δυνατότητα να διαχειρίζονται την ενέργεια με υψηλά αποδοτικό τρόπο, προτείνουν λύσεις στο πρόβλημα της υπερκατανάλωσης της ενέργειας. Αν και ένα κτίριο χρειάζεται θερμική, μηχανική και ηλεκτρική ενέργεια, πολλές φορές οι δύο πρώτες μορφές ανάγονται στην τρίτη, καθώς, συχνά, η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί την πρωταρχική πηγή για τη λειτουργία του θερμικού και μηχανικού εξοπλισμού.

Μπορούμε να χωρίσουμε το ενεργειακό σύστημα του κτιρίου σε δύο κατηγορίες, το εσωτερικό και το εξωτερικό. Με τη βοήθεια των έξυπνων συστημάτων η ενέργεια που εκλύεται από το ανθρώπινο σώμα θα αποτελεί ερέθισμα για τα υλικά στο εσωτερικό του,

ενώ οι μεταβολές στο φυσικό περιβάλλον θα είναι υπεύθυνες για τις αντιδράσεις των εξωτερικών συστημάτων.

Ο τομέας στον οποίο έχει γίνει μεγαλύτερη έρευνα, όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Όπως και πολλά άλλα από τα έξυπνα υλικά, τα φωτοβολταϊκά εφαρμόστηκαν, αρχικά, από τη NASA. Πλέον, είναι η πρώτη τεχνολογία με χρήση ημιαγωγών που έχει εισέλθει στα κτίρια. Η έρευνα, σήμερα, στοχεύει στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του ηλιακού κυττάρου, το οποίο πολλαπλασιαζόμενο σχηματίζει σειρές και πανέλα. Ακόμη, η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών δεν έχει επιτύχει πολύ καλές αποδόσεις, αφού το 40% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα αντί για ηλεκτρισμό. Λόγω αύξησης της θερμοκρασίας μειώνεται περαιτέρω η απόδοση του συστήματος. Επιπλέον, παρουσιάζουν μειονεκτήματα στη χρήση τους, καθώς ανεγείρονται ζητήματα, όπως η γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων του ήλιου ή η συνεχής απαίτηση καθαρισμού της επιφάνειάς τους.

Η ικανότητα των έξυπνων υλικών να διαχειρίζονται την ενέργεια σε επίπεδο μικροκλίμακας γεννά την πρόκληση για αντικατάσταση ενεργοβόρων και μεγάλου μεγέθους συστημάτων. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές ημιαγωγών, σε επίπεδο μεσοκλίμακας, άμεσα συνδεδεμένες με το θερμικό σύστημα του κτιρίου, οι οποίες είναι δυνατόν να στοχεύουν απευθείας στο αντικείμενο που έχει ανάγκη θερμικού ελέγχου, υποκαθιστώντας το δυσλειτουργικό συμβατικό σύστημα θέρμανσης και δροσισμού.

Δομικό Σύστημα

Ίσως οι λιγότερο εμφανείς, αλλά ιδιαίτερα σημαντικές, πιθανές εφαρμογές των έξυπνων υλικών εντοπίζονται στο δομικό σύστημα του κτιρίου. Λαμβάνοντας υπόψη πως το σύνολο, σχεδόν, του δομικού συστήματος μιας συμβατικής κατασκευής είναι δύσκολα προσβάσιμο και τυχόν αστοχίες δύσκολα γίνονται αντιληπτές, τα υλικά αυτά θα μπορούσαν να αποκτήσουν πολύ ουσιαστικό ρόλο στον έλεγχο της «δομικής υγείας». Τα διάφορα μέλη του δομικού συστήματος, πλάκες, δοκάρια, στηρίγματα, υποβάλλονται σε ποικίλες δυνάμεις, προερχόμενες είτε από το ίδιο το νεκρό βάρος του κτιρίου, είτε από φαινόμενα, όπως ο άνεμος ή ο σεισμός, που τείνουν να τα παραμορφώσουν και, πιθανά, να προκαλέσουν αστοχία. Παρά την εξέλιξη της δομικής μηχανικής και την εισαγωγή στο σχεδιασμό ψηφιακών προγραμμάτων για τον υπολογισμό των μελών του δομικού συστήματος, η αντιμετώπιση δυναμικών φορτίων, όπως αυτά που προκαλούνται από το σεισμό, δεν έχει επιλυθεί απόλυτα.

Ο όρος «δομική υγεία» αναφέρεται σε ένα νέο πεδίο έρευνας που ασχολείται με τον εντοπισμό αστοχιών ή αλλοιώσεων στα δομικά συστήματα. Η αιτία των αλλοιώσεων μπορεί να είναι οι δυνάμεις που αναφέραμε ήδη, η φυσική φθορά του κτιρίου, ή ακόμη και αστοχίες κατά τη διάρκεια της κατασκευής του. Ήδη έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για τον εντοπισμό και την αξιολόγηση βλαβών, όμως σύμφωνα με τους ιάπωνες ερευνητές Fukuda και Kosaka από το πανεπιστήμιο της Οσάκα, τέσσερις θεμελιώδεις προσεγγίσεις για την αξιολόγηση των αστοχιών παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Αυτές βασίζονται στις οπτικές ίνες, στα πιεζοηλεκτρικά υλικά, στα μαγνητοπεριοριστικά υλικά και στις τεχνολογίες ηλεκτρικής αντίστασης.²

Οι ενσωματωμένες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση ρωγμών, παραμορφώσεων, δονήσεων, μέσω της ανάλυσης των χαρακτηριστικών του εκπεμπόμενου φωτός. Οι πιθανές αστοχίες μεταβάλλουν, με τρόπο ανιχνεύσιμο από υπολογιστικά συστήματα, την ποιότητα του φωτός και καταδεικνύουν την πιθανή βλάβη. Εκτός από δομικά στοιχεία, πιθανές χρήσεις θα ήταν σε φράγματα ή γέφυρες.

Μια δεύτερη προσέγγιση εκμεταλλεύεται την ιδιότητα των πιεζοηλεκτρικών να προκαλούν ανιχνεύσιμα ηλεκτρικά σήματα όταν παραμορφώνονται από διάφορες δυνάμεις. 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. Πιεζοηλεκτρικές συσκευές έχουν αναπτυχθεί για τον έλεγχο των δονήσεων, ενώ πιεζοηλεκτρικές βαφές μελετώνται με παρόμοιους στόχους.

Τα μαγνητοπεριοριστικά υλικά μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια, που σχετίζεται με μηχανικές τάσεις, σε μαγνητική, και αντίστροφα. Συνήθως, διαμορφώνονται σε μικρά στοιχεία τα οποία ενσωματώνονται και διανέμονται στο εσωτερικό του βασικού υλικού. Οι μετρήσεις, στη συνέχεια, λαμβάνονται με βάση τα επίπεδα μαγνητικής ροής στο υλικό, όταν υφίσταται τάση, προσφέροντας ενδείξεις της παρουσίας αστοχιών.

Με αντίστοιχο τρόπο λειτουργούν και ποικίλες τεχνολογίες ηλεκτρικής αντίστασης. Οι διάφορες τάσεις επηρεάζουν τα, προσαρμοσμένα στα δομικά μέλη, καλώδια προκαλώντας μεταβολές στην ηλεκτρική αντίσταση, οι οποίες ανιχνεύονται και αξιολογούνται.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση ευφύων υλικών στο δομικό σύστημα του δίνει τη δυνατότητα να ενισχύει την αντοχή του, όποτε αυτό κρίνεται αναγκαίο. *Επιστήμονες από το πανεπιστήμιο του Illinois ανέπτυξαν ένα αυτοεπιδιορθωτικό σύστημα για υλικά. Μικροσκοπικοί σωλήνες ενσωματώνονται σε τοίχους και σπάνε, όταν το υλικό διαρρηχθεί σε περίπτωση δόνησης ή κατακάθισης, εκλύοντας κόλλα ρητίνης για τη «θεραπεία» της διάρρηξης. Η εφαρμογή, συγκεκριμένα, έγινε σε δομικά πολυμερή, στα οποία η διάγνωση και η επισκευή αστοχιών είναι σχεδόν απίθανη. Η διάρρηξη του υλικού οδηγεί στη μηχανική αποδυνάμωση των ενισχυμένων με ίνες πολυμερών, ενώ στην περίπτωση μικροηλεκτρικών πολυμερικών συστατικών μπορεί να οδηγήσει σε ηλεκτρική βλάβη. Η κατάκτηση ενός σύνθετου υλικού που αυτοεπιδιορθώνεται είναι το αποτέλεσμα συνδυασμού της επιστήμης των πολυμερών, των πειραματικών και αναλυτικών μαθηματικών και των αρχών εξέλιξης σύνθετων υλικών. Έτσι, «θεραπευτικές» μικροκάψουλες και καταλύτες ενσωματώνονται στην εποξειδική μήτρα του υλικού. Ένα σπάσιμο στο υλικό οδηγεί στη ρήξη των μικροκάψουλων και στην απελευθέρωση της θεραπευτικής ουσίας προς την σπασμένη περιοχή. Ο πολυμερισμός της τελευταίας πραγματοποιείται με τη συμβολή των καταλυτών, οπότε και «κλείνουν» οι σπασμένες επιφάνειες.³*

Ανεξάρτητα από τις μεθόδους εντοπισμού των βλαβών, έχουν αναπτυχθεί, ταυτόχρονα, πρακτικές για την πρόληψη της «δομικής υγείας», οι οποίες είναι σχεδιασμένες για να αντισταθμίζουν τις δυνάμεις, τις τάσεις ή τις παραμορφώσεις που προκαλούν τις αστοχίες.

Μια μέθοδος, με μακρά ιστορία, είναι ο έλεγχος των δονήσεων. Φαινόμενα δονήσεων ή κραδασμών μπορεί να δημιουργηθούν από εξωτερικές πηγές, όπως ο σεισμός ή οι άνεμοι, είτε να προκληθούν από ενδογενείς παράγοντες, όπως ο μηχανικός εξοπλισμός του κτιρίου ή η κίνηση του ανθρώπου. Οι συνέπειες κυμαίνονται από δυσφορία των χρηστών έως και σοβαρές αστοχίες με συνέπεια την κατάρρευση της κατασκευής. Πλέον, είναι γνωστός ο τρόπος με τον οποίο ασκούνται οι δονητικές δυνάμεις, με αποτέλεσμα οι μηχανικοί να κατανοούν ποιες παρεμβάσεις στην κατασκευή πρόκειται να δράσουν ανασταλτικά. Η μεταβολή του μεγέθους ή της ακαμψίας των κατασκευαστικών μελών αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα. Περισσότερο δυναμικές μέθοδοι, οι οποίες προσαρμόζονται σε κάθε διαφορετικό ερέθισμα, περιλαμβάνουν την τοποθέτηση μηχανισμών απομόνωσης ή απόσβεσης των δομήσεων σε καίρια σημεία της κατασκευής.

Με σκοπό την απόσβεση δονήσεων έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο συμβατικά όσο και έξυπνα υλικά. Η πιεζοηλεκτρική τεχνολογία καθώς και τα ηλεκτρο- και μαγνητορολογικά υλικά έχουν βρει και σε αυτό τον τομέα πιθανές εφαρμογές.

Ακολουθώντας το βιομιμητικό μοντέλο, θα μπορούσαμε να παρομοιάσουμε ένα κτίριο με ένα ανθρώπινο σώμα. Τα κατασκευαστικά του μέρη είναι τα κόκκαλα του, οι όψεις του είναι η επιδερμίδα του, τα εσωτερικά μέρη που δέχονται ερεθίσματα (αισθητήρες) και αντιδρούν σε αυτά(ενεργοποιητές) αποτελούν το νευρικό του σύστημα. Σύνθετες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δόμηση αυτού, ηλεκτροφωτοβόλα και τα φωσφορίζοντα υλικά ως αισθητήρες μεταβολής ενέργειας σε ένα χώρο, ενώ τα ηλεκτροθερμικά για τη διάγνωση των θερμοκρασιακών μεταβολών σε ένα χώρο ή στο ανθρώπινο σώμα.⁴

Η παραπάνω περίπτωση αναφέρεται σε ένα ιδεατό κτίριο, στο οποίο τα τέσσερα έξυπνα συστήματα θα ενσωματωθούν και θα συνυπάρχουν. Τα έξυπνα υλικά ανοίγουν ολόκληρα πεδία πειραματισμού για την επίλυση πολλών προβλημάτων των κατασκευών, φέρνοντας ταυτόχρονα στο προσκήνιο το θέμα των έξυπνων κατασκευών.

Είναι σαφές πως αυτό το κτίριο θα παρουσιάζει απαιτήσεις κεντρικού ελέγχου της δράσης του συνόλου των έξυπνων εφαρμογών που θα το απαρτίζουν, ώστε να αποφευχθούν αντικρουόμενες λειτουργίες τους. Τη διαρκή εισροή και εκροή δεδομένων, από και προς τα νευρικά του μέρη, ελέγχει ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα, ο εγκέφαλος του κτιρίου. Αυτός δέχεται κάθε μορφή πληροφορίας, την αναλύει και την μετατρέπει σε νέες μορφές δεδομένων που απαιτούνται ώστε να προκληθούν οι απαραίτητες ενέργειες. Η λειτουργία του καλύπτεται από τις πηγές ενέργειας που αναφέραμε παραπάνω. Είναι αυτονόητο πως η τελική δυνατότητα λήψης αποφάσεων ως προς τη διακοπή ή όχι της λειτουργίας κάποιας έξυπνης εφαρμογής, εναπόκειται στον ίδιο το χρήστη.

Αναφορές:

1. Clements-Croome(2000b), In: Clements-Croome, D (Ed.), Intelligent buildings: design, management and operation.London: Thomas Telford, σελ.55
2. Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions. Architectural Press, Elsevier, σελ. 188
3. http://www.ntua.gr/archtech/orfanos/keimeno.htm#_ftnref30
4. School of Planning and Architecture, New Delhi (2009-2010), Amit Singh, Smart Materials and Technologies in Architecture, σελ.106

	Συστήματα όψεων	Συστήματα φωτισμού	Συστήματα ενέργειας	Λοιπά συστήματα
μεμβράνες	χρωμικά φωτοβόλα αγώγιμα πολυμερή	εκπομπής φωτός	φωτοβολταϊκά	πιεζοηλεκτρικά
ράβδοι νήματα	-	οπτικές ίνες	-	οπτικές ίνες ημιαγωγοί
μελάνια χρωστικές	χρωμικά	φωτοβόλα	-	πιεζοηλεκτρικά
βαφές επικαλύψεις	χρωμικά	φωτοβόλα	φωτοβολταϊκά αλλαγής φάσης αγώγιμα πολυμερή	αγώγιμα πολυμερή πιεζοηλεκτρικά
τζάμια	χρωμικά εκπομπής φωτός	φωτοβόλα	φωτοβολταϊκά	-
υφάσματα	χρωμικά	οπτικές ίνες εκπομπής φωτός	φωτοβολταϊκά αλλαγής φάσης	-
σφαιρίδια	-	-	αλλαγής φάσης	πιεζοηλεκτρικά

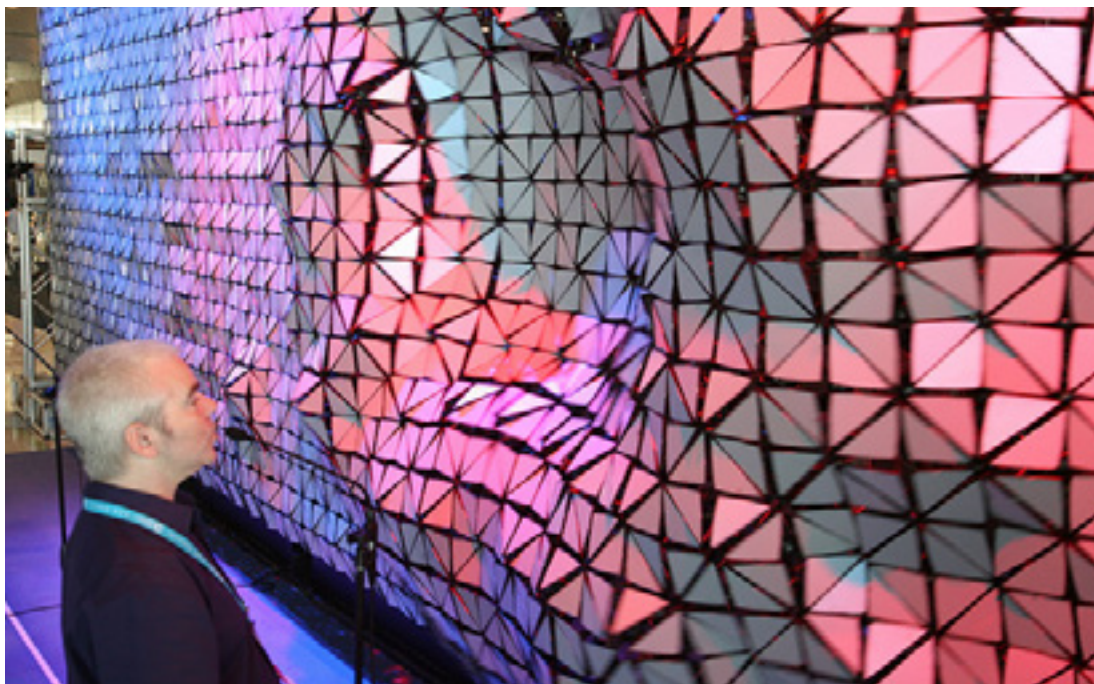
Πίνακας 6. Συγκεντρωτική απεικόνιση των κατηγοριών των έξυπνων υλικών, σύμφωνα με τις μορφές στις οποίες μπορούν να κατασκευαστούν και την πιθανή χρήση αυτών στο κτίριο.



Εφαρμογές

Η πλειοψηφία των παραδειγμάτων χρήσης των έξυπνων υλικών, αφορά σε πειραματικές και εργαστηριακές εφαρμογές, που συχνά προσεγγίζουν την τέχνη, ή μελέτες για τη συμπεριφορά του χρήστη σε ένα διαδραστικό περιβάλλον.

Χωρίς να κάνει χρήση έξυπνων υλικών, με τη συμβατική έννοια, η επιφάνεια Aegis Hypo-surface, είναι μία από τις πρώτες διαδραστικές εφαρμογές. Μελετήθηκε και κατασκευάστηκε το 1999, ως συμμετοχή σε ένα διαγωνισμό για ένα διαδραστικό έργο τέχνης. Το σύστημα κάνει χρήση αισθητήρων θέσης και στη συνέχεια μεταφράζει το σήμα μέσω συστημάτων ελέγχου, και το κατευθύνει σε μια σειρά ενεργοποιητών. Με τον τρόπο αυτό, η κίνηση των τριγωνικών κομματιών της επιφάνειας, αποτελεί αντίδραση σε ερεθίσματα, όπως η κίνηση, ο ήχος, το φως.



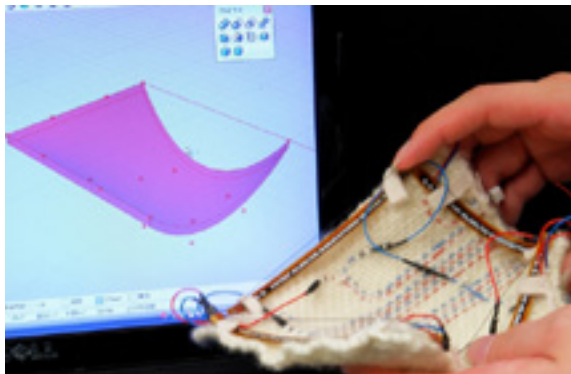
Εικόνες 3-1, 3-2: **Hyposurface σε λειτουργία**

Πηγή:http://www.mediaruimte.be/digital_territories/projects/cybernetic/Aegis-Hyposurface_deCOI.html?Keep-This=true&TB_iframe=true&height=600&width=800

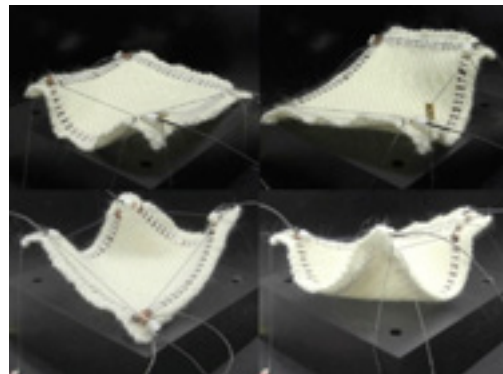
SMAAD Surface

Τα αρχικά SMAAD αποτελούν τη συντόμηση του “Smart Material Aided Architectural Design”, δηλαδή του υποβοηθούμενου από έξυπνα υλικά αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Η επιφάνεια SMAAD αποτελεί μια πρώιμη εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας που υλοποιήθηκε ως ένα πρωτότυπο.¹ Πρόκειται για ένα έξυπνο ύφασμα, στο οποίο έχουν ενσωματωθεί κράματα μνήμης σχήματος σε μορφή ινών.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ενδεικτική της προσέγγισης για χρήση των έξυπνων υλικών στη διαδικασία του υπολογιστικά υποβοηθούμενου αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. (CAAD)² Ο αρχιτέκτονας μπορεί να διαμορφώσει την υφασμάτινη επιφάνεια απλά ασκώντας σε αυτή μικρή δύναμη. Οι αισθητήρες αντιλαμβάνονται το σχήμα της συσκευής και αποστέλλουν τις απαραίτητες πληροφορίες σε πρόγραμμα τρισδιάστατης απεικόνισης, το οποίο διαμορφώνει με αντίστοιχο τρόπο και το ψηφιακό μοντέλο. Αντίστροφα, μια μεταβολή στο μοντέλο του υπολογιστή, γίνεται αντιληπτή από τη συσκευή, η οποία προσαρμόζει το σχήμα της στα νέα δεδομένα. Σε δεύτερο επίπεδο, οι ίνες μνήμης σχήματος, έχοντας απομνημονεύσει τη μορφή στην οποία βρέθηκαν, μπορούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες να επαναφέρουν την επιφάνεια στην επιθυμητή κατάσταση, αυτή τη φορά και χωρίς την ύπαρξη υπολογιστικών συστημάτων.



Εικόνα 3-3: Προγραμματισμός της επιφάνειας, Πηγή: <http://metamo.sfc.keio.ac.jp/project/psurface/index.html>



Εικόνα 3-4: Πιθανές μορφές Πηγή: <http://metamo.sfc.keio.ac.jp/project/psurface/index.html>

Αναφορές:

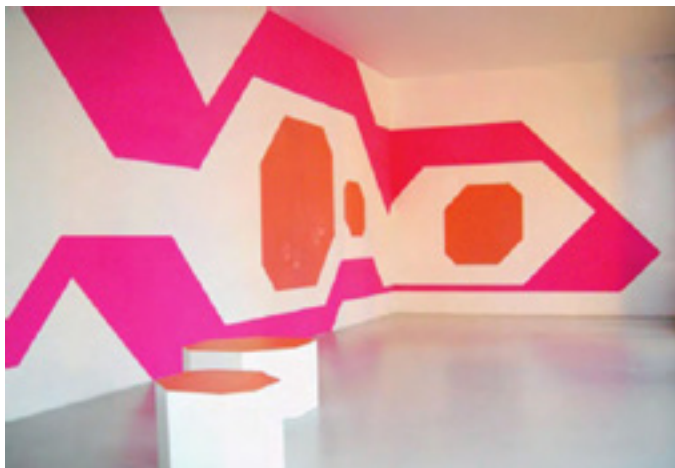
1,2. <http://metamo.sfc.keio.ac.jp/project/psurface/index.html>

Θερμοχρωμικές Εφαρμογές

Η πλειοψηφία των εφαρμογών με τα έξυπνα υλικά αλλαγής χρώματος κινούνται ανάμεσα στην αρχιτεκτονική, τη διακόσμηση και την τέχνη. Ο αρχιτέκτονας Jurgen Mayer έχει δημιουργήσει εγκαταστάσεις και αντικείμενα με τη χρήση θερμοχρωμικών υλικών, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα διάδρασης στο χρήστη. Οι θερμοχρωμικές βαφές, που χρησιμοποιεί, έχουν αρχικά αναπτυχθεί από τη NASA ως δείκτες υπερθέρμανσης μηχανικών μερών και συσκευών, και στη συνέχεια οι ιδιότητες τους έχουν προσαρμοστεί στις θερμοκρασίες του ανθρώπινου περιβάλλοντος. Έτσι, διατηρούν το χρώμα τους μέχρι να θερμανθούν από την επαφή με τον άνθρωπο, οπότε προκαλείται παροδικός αποχρωματισμός. Τα έργα του Jurgen Mayer έχουν κατασκευαστεί απευθείας στους τοίχους και τα δάπεδα εκθεσιακών χώρων «συγχωνεύοντας την αρχιτεκτονική και την τέχνη με τους θεατές κάνοντάς τους τμήμα του εκθέματος».

Η εγκατάσταση HouseWarming III είναι μια σύνθεση από τεθλασμένες γραμμές και πολύγωνα στους τοίχους του χώρου. Οι επισκέπτες μπορούν να αφήνουν προσωρινές εικόνες αγγίζοντας τις πολύχρωμες επιφάνειες.

Εικόνα 3-5: **HouseWarming III** Πηγή: Alex Ritter (2007), *smart materials in architecture, interior architecture and design*. Birkhauser, σελ. 87



Εικόνα 3-6: **In Heat, HUA Gallery, New York, USA, 2005** Πηγή: <http://www.mas-context.com/tag/vladimir-belogolovsky/>





Εικόνα 3-7: **Housewarming MyHome** Πηγή: http://www.pavillon-arsenal.com/data_plateforme/journee/journee_journee/5/fichier/100519_pressport-folio_parislight_60c06.pdf

Χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνολογία, μια άλλη χρωματική εγκατάσταση του 2007, στο Vitra Design Museum, στη Γερμανία, με το όνομα Housewarming MyHome, συνδυάζει το προσωρινό αποτύπωμα του θερμοκρασιακού τοπίου του ανθρώπινου σώματος ¹ με τις χρωματικές μεταβολές που προκαλούνται από τη θέρμανση ή ψύξη ενσωματωμένων στην κατασκευή καλωδίων.

Η εφαρμογή της ίδιας ιδέας για τις εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων, θα μπορούσε να μεταβάλει το ποσοστό απορρόφησης θερμότητας ανάμεσα στο καλοκαίρι και το χειμώνα μειώνοντας τις ανάγκες για θέρμανση ή δροσισμό. Η ιδέα έχει, προς το παρόν, απορριφθεί λόγω του σχετικά μεγάλου κόστους παραγωγής των χρωμάτων, της έλλειψης αντοχής προς την ακτινοβολία UV και τη σταδιακή εξασθένηση του θερμοχρωμικού φαινομένου ύστερα από πολλούς κύκλους.

Αναφορές:

1. <http://www.undo.net/it/mostra/27426>

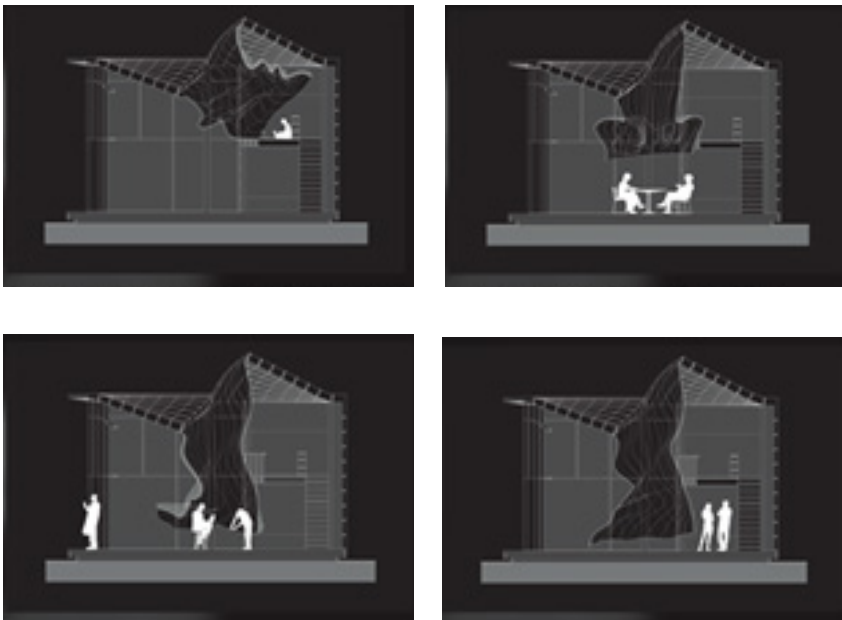
Παρόλα αυτά, πλέον οι αρχιτέκτονες έχουν ξεκινήσει να συμπεριλαμβάνουν στο σχεδιασμό έξυπνα υλικά. Είναι φυσικό, η διαδικασία αυτή να γίνεται σταδιακά και, συχνά, λαμβάνοντας ως έναυσμα ορισμένα κτίρια υψηλής προβολής στον αρχιτεκτονικό κόσμο. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις εκλείπει το βιομηχανικό υπόβαθρο και η απαραίτητη χρηματοδότηση, με αποτέλεσμα επαναστατικές εφαρμογές να παραμένουν σε επίπεδο μελέτης.

Soft House

Kennedy - Violich

Οι αρχιτέκτονες Sheila Kennedy και Frano Violich, με την ομάδα τους, σχεδίασαν το 2007 το Soft House. Πρόκειται για μία κατοικία, στην οποία μεγάλο μέρος των συμβατικών σκληρών πετασμάτων της όψης αντικαθίσταται από ύφασμα με ιδιότητες διαχείρισης της ενέργειας. Στη δομή της «κουρτίνας» αυτής έχει προστεθεί λεπτή φωτοβολταϊκή μεμβράνη, ώστε κατά τη διάρκεια της ημέρας να συλλέγει την ηλιακή ακτινοβολία και να τη μετατρέπει σε ενέργεια άμεσα χρησιμοποιούμενη από την κατοικία. Ταυτόχρονα, σκιάζει το εσωτερικό και σχηματίζει ένα μονωτικό στρώμα αέρα γύρω από το περίβλημα του κτιρίου. Στην οροφή μια επιπλέον υφασμάτινη κατασκευή μπορεί, με τη χρήση φωτοβολών υλικών και διόδων εκπομπής φωτός, να εκπέμπει φως, κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Είναι εντυπωσιακή η απλότητα, η αμεσότητα και η προσαρμοστικότητα των έξυπνων υφασμάτων που χρησιμοποιούνται στην κατοικία, αφού επιτρέπει στο χρήστη να μεταβάλει το χώρο του ενώ την ίδια στιγμή προσαρμόζει και τη σχέση της κατοικίας με το περιβάλλον, ακόμη και μέσω της επιλογής της πυκνότητας και της θέσης των υφασμάτων, σύμφωνα με τις υφιστάμενες ενεργειακές ανάγκες.



Εικόνα 3-8: Τα υφάσματα κινούνται μεταβάλλοντας τις συνθήκες του χώρου Πηγή: <http://www.kvarch.net/>



Εικόνες 3-9, 3-10: **Φωτογραφίες από μοντέλο του Soft House** Πηγές: http://fabricarchitecturemag.com/articles/0508_ma_materials.html και http://www.theregister.co.uk/2008/07/04/soft_house_solar_curtain_cobblers/



Εικόνα 3-11: **Λεπτομέρεια του έξυπνου υφάσματος που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή** Πηγή: <http://www.solar-powerwindenergy.org/solar-curtains-to-power-your-home/>



Chanel, Tokyo

Peter Marino

Το κτίριο της Chanel στο Τόκιο ολοκληρώθηκε το 2004. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η 910 τετραγωνικών μέτρων όψη – οθόνη, η οποία επιτρέπει στο κτίριο να αποκτά διαφορετική εμφάνιση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η μοναδική στο είδος της όψη αποτελείται από πολλαπλά επίπεδα, από τα οποία το ενεργό είναι ηλεκτροοπτικό τζάμι με διόδους εκπομπής φωτός. Κατά τη διάρκεια της ημέρας το ηλεκτροοπτικό τζάμι, και συνεπώς ολόκληρη η όψη, βρίσκονται σε διάφανη κατάσταση, επιτρέποντας τη θέαση και προς τις δύο κατευθύνσεις. Τη νύχτα το ενεργό υλικό μετατρέπεται σε θαμπό, δημιουργώντας μια οθόνη για τα 700.000 LED που είναι ενσωματωμένα στην όψη. Τα LED ελέγχονται από υπολογιστικά συστήματα ελέγχου και εντυπωσιάζουν προβάλλοντας εικόνες και βίντεο.



Εικόνες 3-12, 3-13: Η όψη κατά τη διάρκεια της ημέρας, εξωτερικά και εσωτερικά Πηγή: Alex Ritter (2007), smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhauser, σελ.96, 97



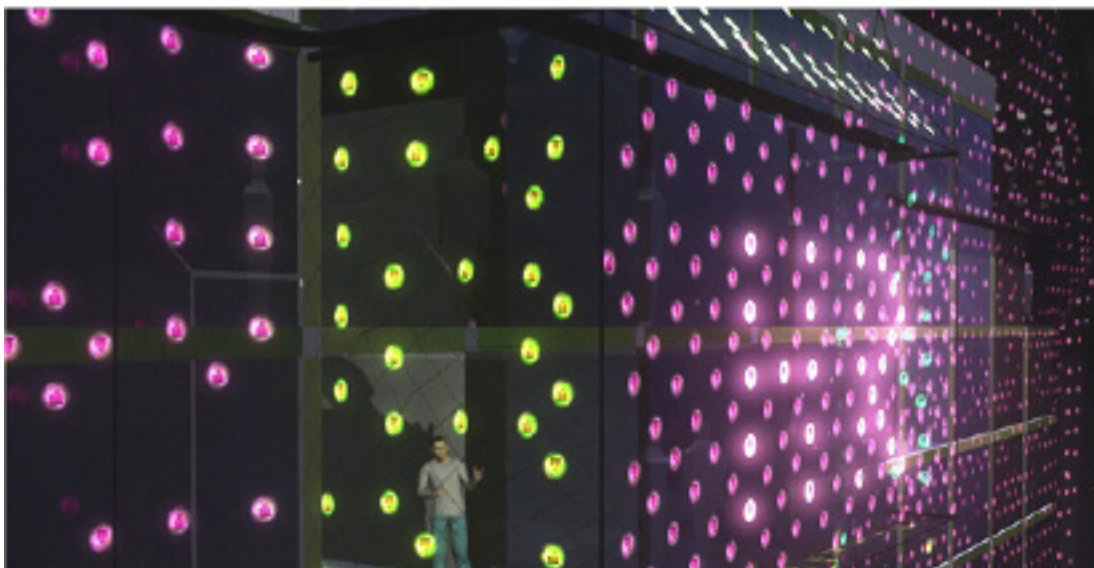
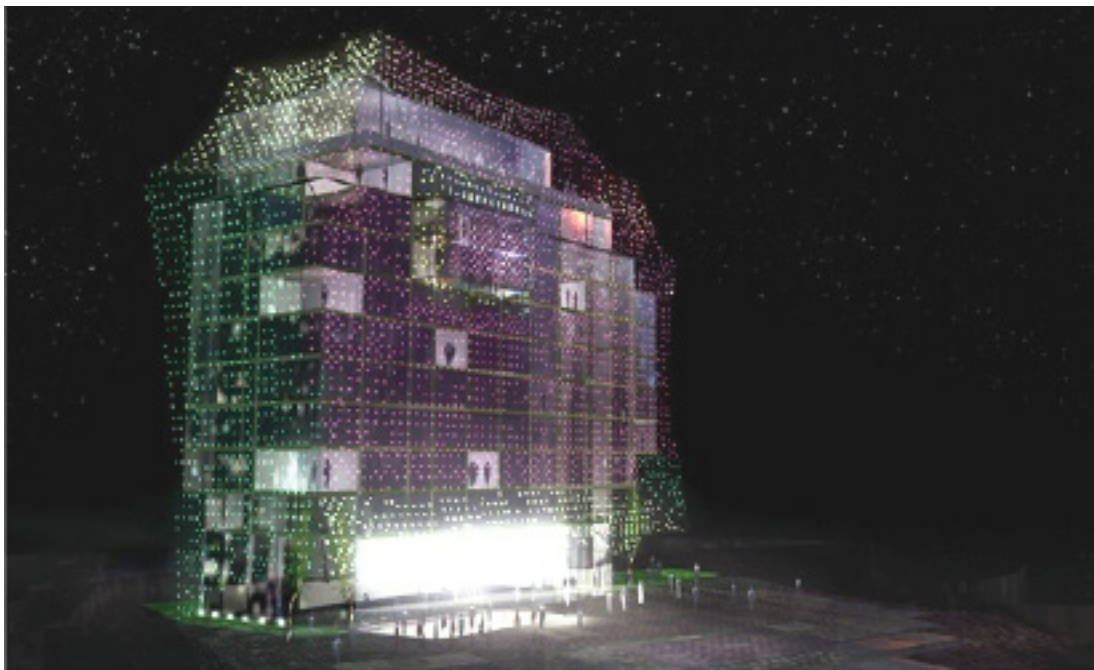
Εικόνα 3-14: Διαφορετικές απόψεις της οθόνης - όψης κατά τη διάρκεια της νύχτας Πηγή: http://www.medi-aruiimte.be/digital_territories/projects/programmed/Chanel-Headquarters_Peter-Marino-Architects.html?Keep-This=true&TB_iframe=true&height=600&width=800

Prestige Forest Hotel Enric Ruiz-Geli



Εικόνα 3-15: Ψηφιακή απεικόνιση του κτιρίου Πηγή: <http://www.sky-scrapercity.com/showthread.php?t=318606>

Το ξενοδοχείο βρίσκεται στη Βαρκελώνη και έχει σχεδιαστεί από τον ισπανό αρχιτέκτονα Enric Ruiz-Geli και την ομάδα Cloud 9. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξωτερική επιδερμίδα του κτιρίου, στα πλαίσια της κεντρικής σχεδιαστικής ιδέας «το δωμάτιο σε ένα δέντρο». Πρόκειται για ένα πλέγμα από ανοξείδωτο χάλυβα, 3000 τετραγωνικών μέτρων, που καλύπτει μια σχετικά απλή κατασκευή έντεκα ορόφων από σκυρόδεμα με συμβατική γυάλινη όψη. Το πλέγμα είναι διάσπαρτο από τεχνητά «φύλλα», διαμέτρου 25 εκατοστών, τα οποία αποτελούνται από ένα ηλιακό κύτταρο, ένα LED, έναν επεξεργαστή και μία μπαταρία. Τα «φύλλα» μιμούνται τη λειτουργία του φυλλώματος στη φύση. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, παράγουν σκιά προστατεύοντας το κτίριο ως ηλιοπροστασία ενώ ταυτόχρονα αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο από την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια σε ένα συσσωρευτή. Μετά τη δύση του ηλίου, ένας επεξεργαστής καθορίζει ποια και πόσα LED θα φωτιστούν από τη διαθέσιμη ενέργεια, σχηματίζοντας ένα φωτεινό σύννεφο γύρω από το κτίριο. Με τον τρόπο αυτό, η ποσότητα και ποιότητα του φωτός που έχουν συγκεντρώσει τα φωτοβολταϊκά κύτταρα αντικατοπτρίζεται στο νυχτερινή εικόνα του ξενοδοχείου.



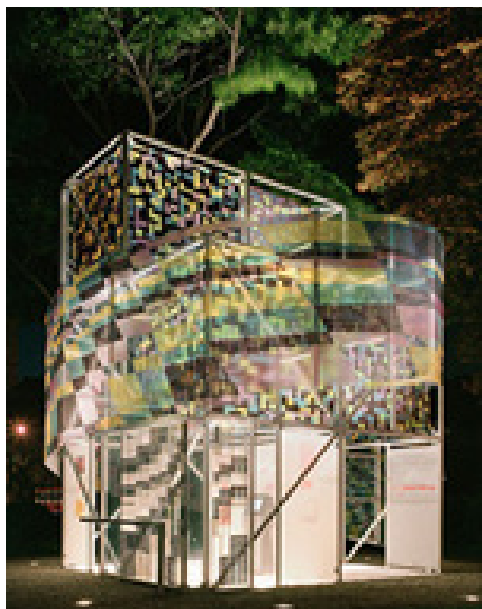
Εικόνες 3-16, 3-17: Ψηφιακό μοντέλο της νυκτερινής εικόνας του κτιρίου, συνολικά και σε λεπτομέρεια Πηγή: <http://www.ruiz-geli.com/>

SmartWrap

Η εφαρμογή SmartWrap αντιπροσωπεύει μια νέα αντίληψη ως προς την επιδερμίδα των κτιρίων, δραστικά αντίθετη με ότι έχουμε συνηθίσει ως τώρα. Πρόκειται για μια πολυδύναμη και πολυεπίπεδη επιφάνεια, η οποία ενσωματώνει σε μόλις λίγα χιλιοστά όλες τις λειτουργίες της συμβατικής όψης (έλεγχος του μικροκλίματος, φωτισμός), αλλά και επιπλέον λειτουργίες όπως διαχείριση ενέργειας ή προβολή πληροφοριών. Η εξωτερική επιφάνεια του πετάσματος εμπεριέχει φωτοβολταϊκά κύτταρα για τη συλλογή και μετατροπή της ηλιακής ενέργειας, μπαταρίες σε μορφή μεμβράνης για την αποθήκευσή της, κυκλώματα για τη διανομή του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Αντίστοιχα, τα οργανικά LED διατίθενται για φωτισμό και προβολή πληροφοριών ενώ η προστασία από τον ήλιο και τη θερμότητα γίνεται με χρωμικά υλικά. Η απαραίτητη θερμική μόνωση επιτυγχάνεται με ένα στρώμα αέρα ανάμεσα σε δύο επίπεδα.

Είναι ένα πολύ ελαφρύ, βιώσιμο και ανακυκλώσιμο υλικό, εφαρμόσιμο τόσο σε κατοικίες όσο και δημόσια κτίρια, σε μικρή ή μεγάλη κλίμακα. Τα πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών όψεων, και ακόμη περισσότερο των διάφανων, είναι προφανή. Οι πιθανές χρήσεις του SmartWrap μπορούν να φέρουν επανάσταση στο τρόπο με τον οποίο κατασκευάζονται σήμερα τα κτίρια.

Στη Νέα Υόρκη κατασκευάστηκε, το 2003, από την εταιρία Kieran Timberlake, ένα πρώτο περίπτερο για την επίδειξη της λειτουργίας του υλικού.



Εικόνες 3-18, 3-19: Περίπτερο κατασκευασμένο από τη μεμβράνη SmartWrap, την ημέρα και τη νύχτα
Πηγή: <http://inhabitat.com/smart-wrap/smart-wrap.jpg>

Το 2008, οι ίδιοι κατασκευαστές σχεδίασαν, για τις ανάγκες μιας έκθεσης στο MoMA, το Cellophane House, μια πενταόροφη κατοικία, η οποία περιβάλλεται από την επιδερμίδα SmartWrap.



Εικόνα 3-20: Ψηφιακή απεικόνιση του Cellophane House Πηγή: <http://www.trendir.com/house-design/contemporary-prefab-cellophane.html>

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.

Senior Citizens' Apartments

Dietrich Schwarz

Ο Ελβετός αρχιτέκτονας Dietrich Schwarz έχει εφαρμόσει σε αρκετά από τα κτίρια του τις ιδιότητες των έξυπνων υλικών. Η ικανότητα των υλικών αλλαγής φάσης να αποθηκεύουν λανθάνουσα θερμότητα, σε συνδυασμό με τη μεταβολή των οπτικών τους ιδιοτήτων κατά τη διαδικασία αυτή, τα ανέδειξε σε πιθανά για τη διαμόρφωση όψεων. Στο συγκρότημα διαμερισμάτων για άτομα τρίτης ηλικίας, που σχεδίασε ο ίδιος, το σύνολο των 148 τετραγωνικών μέτρων της νότιας όψης έχει καλυφθεί με ένα επαναστατικό σύστημα υαλοπινάκων. Το GlassX, όπως ονομάζεται, έχει πάχος 78 χιλιοστά και η κατασκευή του παραπέμπει στα τυπικά τριπλά υαλοστάσια, με τη διαφορά πως η εξωτερική επιφάνεια είναι ένα πρισματικό επίπεδο με τη δυνατότητα να κατευθύνει το φως ενώ η εσωτερική ένα επίπεδο υλικού αλλαγής φάσης με ένυδρο άλας. Το καλοκαίρι η πρισματική επιφάνεια αντανακλά την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του εσωτερικού. Το χειμώνα η χαμηλότερη γωνία του ήλιου επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να περάσει σχεδόν απρόσκοπτα μέσα στην κατασκευή της όψης ¹ και να φτάσει στο υλικό αλλαγής φάσης. Εκεί μετατρέπεται σε θερμική ακτινοβολία και αποθηκεύεται από το ένυδρο άλας κατά τη διαδικασία τήξης. Εάν η θερμοκρασία του εσωτερικού του δωματίου πέσει κάτω από τους 26° C, το ένυδρο άλας αποκτά και πάλι τη στερεή του μορφή ελευθερώνοντας την αποθηκευμένη θερμότητα προς το εσωτερικό.

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.

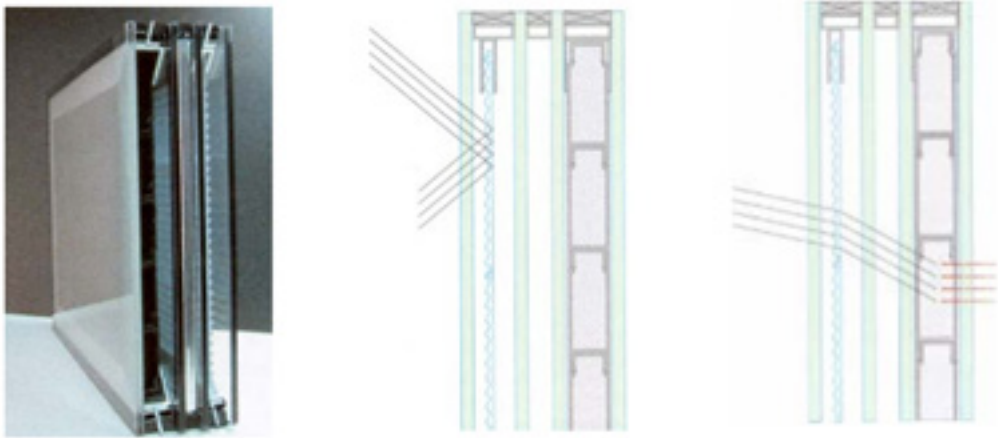
Το GlassX υπόσχεται να αντιμετωπίσει το αδύναμο σημείο κάθε κτιρίου, τα υαλοστάσια, από όπου γίνονται οι μεγαλύτερες απώλειες θερμικής ενέργειας. Παρόλα αυτά, το κόστος του είναι ανασταλτικός παράγοντας για την ευρεία εφαρμογή του.



Εικόνα 3-21: Ένυδροι κρύσταλλοι σε διαφορετικές θερμοκρασίες Πηγή: Alex Ritter (2007), smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhauser, σελ. 166

Αναφορές:

1. Alex Ritter, (2007), smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhauser, σελ. 168



Εικόνα 3-22: Απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας του GlassX Πηγή: Alex Ritter (2007), smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhauser, σελ. 168



Εικόνα 3-23: Η νότια όψη του συγκροτήματος διαμερισμάτων Πηγή: <http://inhabitat.com/phase-change-glassx-windows-offer-amazing-performance/glassx-lead01/>

Αυτοκαθαριζόμενα Υλικά

Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες εφαρμογές προκύπτουν από μια χημική ένωση, το διοξειδίο του τιτανίου. Η ουσία αυτή ανήκει σε μια κατηγορία υλικών, τα οποία μεταβάλουν τις δυνάμεις πρόσφυσης μεταξύ των μορίων που τις αποτελούν, σύμφωνα με τα ερεθίσματα που δέχονται από το περιβάλλον τους. Η ιδιότητα τους αυτή, τους επιτρέπει να δεσμεύουν οργανικές ουσίες, γεγονός που προτείνει διεξόδους για την αντιμετώπιση της ρύπανσης. Ένα από τα σημαντικότερα, για την αρχιτεκτονική, προϊόντα που κάνουν χρήση του διοξειδίου του τιτανίου είναι οι αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες, που έχουν τη δυνατότητα να διασπούν αέριους ρύπους.

Στην Ιαπωνία, όπου παρατηρείται και η πλειοψηφία των εφαρμογών, κατασκευάστηκε το 2001 ένα υπαίθριο παρεκκλήσι, στην αυλή του ξενοδοχείου Hyatt Regency Hotel. Το στέγαστρο αποτελείται από ένα μεταλλικό σκελετό, ο οποίος υποστηρίζει μια λευκή κατασκευαστική μεμβράνη. Η επιφάνεια που εκτίθεται στη βροχή, δηλαδή περίπου 50 m² καλύφθηκε με αυτοκαθαριζόμενη επένδυση διοξειδίου του τιτανίου, που σε συνδυασμό με το νερό της βροχής έχει τη δυνατότητα να απομακρύνει τις ακαθαρσίες.¹

Ένα αντίστοιχο υλικό, που θα μπορούσε μακροχρόνια να βοηθήσει στη μείωση των εξόδων συντήρησης του κελύφους των κτιρίων, εφαρμόστηκε στο συγκρότημα κατοικιών Monte Verde στην Αυστρία. Η ανατολική και δυτική όψη του κτιρίου έχουν καλυφθεί από κεραμικές πλάκες, με αυτοκαθαριζόμενη μεμβράνη.

Αναφορές:

1. Alex Ritter, (2007), smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhauser, σελ. 105



Εικόνα 3-24: **Στέγαστρο από αυτοκαθαριζόμενη μεμβράνη** Πηγή: Alex Ritter, (2007), smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhauser, σελ. 105



Εικόνα 3-25: **Αυτοκαθαριζόμενα πλακίδια** Πηγή: Alex Ritter, (2007), smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhauser, σελ. 105

Συμπεράσματα

Τα ευφυή υλικά προσφέρουν αμέτρητες πρωτόγνωρες δυνατότητες και παρέχουν διευκολύνσεις σε όλους τους τομείς, καθιστώντας την καθημερινότητά μας ευκολότερη και αποδοτικότερη. Οι δυνατότητες που προσφέρουν σε ένα διαρκώς εξελισσόμενο τομέα, όπως αυτός της αρχιτεκτονικής, είναι απεριόριστες και αν αξιοποιηθούν κατάλληλα θα οδηγήσουν σε μία αναγέννηση του σχεδιασμού και της θεώρησης του χώρου.

_Τα ευφυή υλικά αλληλεπιδρούν με το φυσικό περιβάλλον, όχι σε μία αναλογική σχέση, όπως συμβαίνει σήμερα. Είναι φιλικά προς αυτό, χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, διατηρώντας το ανεπηρέαστο, και παρέχουν αυτονομία. Με τη χρήση τους επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και η βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κατασκευών, μέσω της μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων κάθε χώρου και των εκπομπών ρύπων προς το περιβάλλον.

_Επαναφέρουν στο προσκήνιο την αρχιτεκτονική με κέντρο τον άνθρωπο, αλλά με έναν τελείως διαφορετικό τρόπο έκφρασης και λειτουργίας.

_Αλληλεπιδρούν με το εσωτερικό περιβάλλον, το χρήστη, σε πραγματικό χρόνο και είναι σχεδιασμένα σε πλήρη ισορροπία με τις απαιτήσεις του. Εγγυώνται την εξασφάλιση ελευθερίας και προσαρμοστικότητας.

_Έρχονται να καλύψουν όχι μόνο τις ανάγκες και επιθυμίες του σήμερα αλλά και αυτές που θα προκύπτουν μακροπρόθεσμα, συντελώντας δραστικά στη βελτίωση του τρόπου ζωής μας, στην εξασφάλιση ποιοτικού ελεύθερου χρόνου καθώς και ενός υγιούς και ασφαλούς περιβάλλοντος.

_Δεν δημιουργούν στατικούς χώρους αλλά περιβάλλοντα ροϊκά και ελεύθερα, που μεταβάλλονται διαρκώς, όπως και οι συμπεριφορές και επιθυμίες των χρηστών τους με τις οποίες διαντιδρούν.

_Επιπλέον, δίνουν τη δυνατότητα σχεδιασμού και διαχείρισης του άμεσου περιβάλλοντος μέσω συστημάτων προσωπικού ελέγχου, δρουν στη μικρή κλίμακα του ατόμου και είναι αρκετά ευαίσθητα ώστε να ικανοποιούν τις ανά λεπτό ανάγκες του χρήστη.

_Δημιουργείται ένα περιβάλλον με ποικίλα ψυχαγωγικά μέσα, ευχάριστο, που διεγείρει πολλαπλά τις αισθήσεις του χρήστη

_Έχουν διευρυμένο κύκλο ζωής, 50-80 χρόνια ανάλογα με το είδος της χρήσης τους, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής των κατασκευών και επιτυγχάνοντας την προσαρμογή τους σε νέες τεχνολογίες.

_Εξασφαλίζουν την ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης λόγω της δυνατότητάς τους να αυτοεπιδιορθώνονται, να αυτοελέγχονται αλλά και να προειδοποιούν εγκαίρως για πιθανές αστοχίες.

_Προσφέρουν τη δυνατότητα αντίληψης των αλλαγών σε επίπεδο μορίου και ατόμου και τη βέλτιστη αντίδραση ανάλογα με τις χημικές αλλαγές στο περιβάλλον τους.

_Συνολικά, συντελούν στη δημιουργία μιας αυτόχθονης κατασκευής.

Οι προαναφερθείσες θετικές συνιστώσες, που αναδύονται μέσα από τη χρήση των ευφυών υλικών στον κατασκευαστικό κλάδο, αποτελούν ταυτόχρονα και τους βασικούς στόχους για περαιτέρω διερεύνηση και εξέλιξη τους.

Οι περιορισμοί που συναντούν τα ευφυή υλικά στην προσπάθεια εξάπλωσής τους στον κατασκευαστικό κλάδο, πηγάζουν, κυρίως, από την έλλειψη εμπειριστατωμένης γνώσης πάνω στο αντικείμενο, τις ραγδαίες, επαναστατικές αλλαγές που θα επιφέρουν αναπάντεχα σε όλους τους εμπλεκόμενους τομείς, από πιθανά οικονομικά συμφέροντα που εξυπηρετούνται, τη δυσκινησία του υπάρχοντος συστήματος, καθώς και από την περιορισμένη χρήση και εφαρμογή τους έως τώρα. Μερικοί από τους σημαντικότερους είναι:

_Η μικρή διαθεσιμότητα, η οποία οφείλεται στη δυσκαμψία της βιομηχανίας να παράγει μαζικά έξυπνα υλικά, αλλά και της αγοράς να τα εμπιστευτεί και να τα προωθήσει, τόσο λόγω διάφορων οικονομικών συμφερόντων, όσο και λόγω έλλειψης τεχνογνωσίας και χρηματοδότησης.

_Το υψηλό τους κόστος, καθιστά αδύνατη την κάλυψή του από την πλειοψηφία των πολιτών και περιορίζει την αντικατάσταση των συμβατικών δομικών υλικών με έξυπνα. Πέρα από το γεγονός ότι πολλά από αυτά δεν είναι ακόμη διαθέσιμα στην αγορά, τα έξοδα δημιουργίας και εγκατάστασής τους τα καθιστούν ασύμφορα. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι τα πολυμερή, τα ηλεκτροφωτοβόλα, οι οπτικές ίνες και τα φωτοχρωμικά είναι τα πιο οικονομικά έξυπνα υλικά. Αντίθετα, οι ίνες άνθρακα, οι ανιχνευτές καθώς και τα υπολογιστικά συστήματα που συνοδεύουν τα έξυπνα υλικά έχουν κόστος απαγορευτικό ακόμη και για το ερευνητικό στάδιο.

_Η έλλειψη κατάρτισης και εφαρμοσμένης γνώσης επιβραδύνουν την εξέλιξή τους, αφού λίγοι είναι οι επιστήμονες και ερευνητές οι οποίοι κατέχουν πραγματικά το αντικείμενο, το οποίο θεωρείται από πολλούς δυσνόητο και χρονοβόρο.

_Η ασυμβατότητα των ευφυών υλικών με το υπόλοιπο δομικό σύστημα, το οποίο είναι προσαρμοσμένο εξ ολοκλήρου στις δυνατότητες και τη φιλοσοφία λειτουργίας των συμβατικών υλικών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άγνοια των διαφόρων τομέων που καλούνται να τα εφαρμόσουν σχετικά με τους τρόπους χρήσης τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η προσπάθεια πολλών να τα τοποθετήσουν απλά στη θέση των συμβατικών, ώστε να εξυπηρετούν την ίδια λειτουργία με αυτά.

_Δεν έχουν εισχωρήσει σε όλους τους κλάδους που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, με αποτέλεσμα η ανάπτυξή τους να περιορίζεται στο αντικείμενο του καθενός ξεχωριστά.

_Δεν έχουν επίσης δοκιμαστεί αρκετά ως προς την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητά τους, με αποτέλεσμα οι χρήστες να μη τα εμπιστεύονται εύκολα και να τα απορρίπτουν ως επιλογή.

_Η λειτουργία των ευφυών υλικών στο χώρο είναι αρκετά πολύπλοκη για να μπορεί να καθοριστεί και να καταγραφεί πλήρως από τα υπάρχοντα προγράμματα σχεδιασμού ευρείας χρήσης.

_Τελικά, η διαρκής εξέλιξη των υλικών, ίσως, οδηγήσει σε διαρκή εξάρτηση της κατασκευής από νέα προϊόντα.

Οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν δεν είναι ακόμα πλήρως προσδιορισμένοι, και εξαρτώνται, σχεδόν αποκλειστικά, από τον τρόπο με τον οποίο θα αξιοποιήσει τα έξυπνα υλικά ο ίδιος ο άνθρωπος. Στη συνέχεια, θα αναφερθούμε σε διάφορους προβληματισμούς που έχουν προκύψει από τη μελέτη τους μέχρι στιγμής.

Η έξυπνη αρχιτεκτονική αποτελεί ένα εξελισσόμενο πεδίο της αρχιτεκτονικής πρακτικής και έρευνας. Παράγει κτίρια που αντικατοπτρίζουν τις τεχνολογικές κατακτήσεις και τις κοινωνικές και πολιτιστικές συνθήκες της εποχής μας. Εδώ, ο αρχιτέκτονας διαμορφώνει το πλαίσιο λειτουργίας του κάθε χώρου και ο χρήστης ενεργοποιεί το περιβάλλον του. Όταν αναφερόμαστε σε κατασκευές με έξυπνα υλικά, θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι μιλάμε για ένα καινοτόμο τομέα, που απομακρύνεται από τις κλασικές έννοιες του σχεδιασμού και τα συμβατικά συστήματα δόμησης. Οι αλλαγές στο σχεδιασμό είναι καταγιστικές και καθορίζουν την ποιότητα του κτιρίου της νέας εποχής.

_Η χρήση των έξυπνων υλικών θα πρέπει να θεωρηθεί το βασικό στοιχείο στην διαδικασία σχεδιασμού.

_Μιλάμε για ένα υλικό-event, για μικρομεταβαλλόμενα περιβάλλοντα που περιγράφονται με αρχιτεκτονικές αφηγήσεις και λειτουργικά σενάρια, και όχι στατικά υλικά που περιγράφονται με δισδιάστατη απεικόνιση μέσα από ανεπαρκή αρχιτεκτονικά προγράμματα. Για τη μελέτη του σχεδιασμού και της λειτουργίας τους δεν αρκεί η απλή γεωμετρική αναπαράσταση της όψης, της τομής και της κάτοψης, μια περιγραφική προσέγγιση της αισθητικής του, αλλά απαιτούνται μέθοδοι σχεδιασμού που επικεντρώνονται στη λειτουργία των υλικών και συστημάτων, φθάνοντας σε λεπτομέρειες μικροκλίμακας. Επομένως, ο σχεδιασμός δεν πρέπει να αφορά αποκλειστικά τη λειτουργικότητα του χώρου και την εμφάνιση, αλλά τη δημιουργία μιας “ζωντανής” κατασκευής που αισθάνεται, σκέφτεται, αλληλεπιδρά, μεταμορφώνεται, λαμβάνοντας υπόψη τη διάσταση του χρόνου αλλά και τη διαχείριση της πληροφορίας.

_Δεν υπάρχει θεωρία για την κατασκευή και χρήση ενός κτιρίου που εμπεριέχει στο σχεδιασμό του έξυπνα υλικά. Οι αρχιτέκτονες καταφεύγουν στην προσαρμογή τους στα συμβατικά πρότυπα σχεδιασμού, γεγονός που περιορίζει τις δυνατότητές τους.

_Τα δομημένα από έξυπνα υλικά όρια αποτελούν ενεργές ζώνες, τόπους αλλαγών που δεν διαχωρίζουν αλλά μεσολαβούν μεταξύ των πολλαπλών ενεργειακών περιβαλλόντων. Εδώ, ο ρόλος του ορίου είναι πολύ πιο περίπλοκος και ουσιώδης, παρέχοντας δυνατότητες που θα επιφέρουν επανάσταση στο συμβατικό σχεδιασμό καθώς αυτό παύει να αποτελεί την πραγματική ή νοητή γραμμή των συνόρων μιας περιοχής. Το υλικό και το κτίριο-όριο δεν είναι πλέον έννοιες ταυτόσημες.

_Με την πρόοδο της τεχνολογίας προσεγγίζουμε όλο και περισσότερο την δυνατότητα εφαρμογής πολύπλοκου κινητικού σχεδιασμού στο δομημένο περιβάλλον. Φαντάζει πιο εφικτό στο εγγύς μέλλον.

_Η συνεργασία με εταιρείες και βιομηχανίες για την κατασκευή ενός συγκεκριμένου υλικού είναι απαραίτητη. Ο αρχιτέκτονας σχεδιάζει το υλικό αλλά και τη συμπεριφορά του, και συνεργάζεται με την κατασκευαστική εταιρεία.

_Μιλάμε για δυναμικό σχεδιασμό, ο οποίος θα μπορεί να συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου, αφού τα υλικά μπορούν να επαναπρογραμματίζονται, να συνδυάζονται σε διαφορετικά συστήματα και να προσαρμόζονται στις εκάστοτε ανάγκες του χώρου και των ανθρώπων. *Ο χώρος δεν αντιμετωπίζεται σαν κάτι στατικό, ένα αποκομμένο σύνολο από τις εξωτερικές επιδράσεις, αλλά ως μια διαισθαντικότητα που μεταμορφώνεται συνεχώς μέσω της εσωτερίκευσης των εξωτερικών δρώντων.* ¹

_Η τοπική προσαρμογή του υλικού είναι απαραίτητο πλέον να υπολογίζεται με τις γνώσεις των εμπειρογνομόνων της επιστήμης των υλικών και δεν μπορεί να προκύπτει από την προσαρμοστική λειτουργία και την εφευρετικότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου.

_Οι αρχιτέκτονες θα πρέπει να επανεξετάσουν τον τρόπο που σχεδιάζουν και κατασκευάζουν το χώρο, αντί να εφαρμόζουν έξυπνα υλικά σε έναν υφιστάμενο τρόπο οικοδόμησης. Η εστίαση στην προσπάθεια σύλληψης και απόδοσης του τελικού αποτελέσματος, πρέπει να αντικατασταθεί από την κατανόηση μετασχηματιζόμενων δράσεων και αλληλεπιδράσεων.

Πρέπει να διευκρινίσουμε ότι τα έξυπνα υλικά μπορούν να αποτελέσουν συστατικά μιας ευφυούς κατασκευής, όμως, η έννοια των έξυπνων κτιρίων δεν είναι κατά ανάγκη συνδεδεμένη με τη χρήση τους. Λοιπές μέθοδοι και καινοτομίες, όπως αυτοματισμοί, προϊόντα ρομποτικής, ενσωματωμένα συστήματα που έχουμε στη διάθεσή μας μπορούν σε συνδυασμό με τη διεπιστημονική φύση του σχεδιασμού και της διαχείρισης των λειτουργιών σε ένα κτίριο να οδηγήσουν στην δημιουργία ενός ευφυούς κτιρίου.

Αναφορές:

1. <http://www.ntua.gr/archtech/orfanos/keimeno.htm>

αρχιτεκτονική μορφή	γεγονός
σχεδιασμός	σενάριο
δομές και καταστάσεις	διαδικασίες και λειτουργίες
ιεραρχικός μηχανισμός	συμμετοχή
στατικότητα	διαδραστικότητα
συνθήκες ισορροπίας	δυναμικές ευστάθειες
γραμμική αιτιότητα ¹	κυκλική αιτιότητα ²
προβλεψιμότητα	σχετικά τυχαίο
τάξη και σταθερότητα	δυναμική
βεβαιότητα και καθορισμός	μεγάλος βαθμός ρίσκου
θεωρία απλοποίησης	θεωρία ανάδυσης ³
“είναι”	“γίνεσθαι”

Σχηματική απεικόνιση των μεταβολών που είναι δυνατόν να επιφέρει η χρήση ευφυών υλικών στο σχεδιασμό.

1. Η θεωρία αυτή υποστηρίζει ότι για κάθε αποτέλεσμα υπάρχει μία μοναδική αιτία που το προκαλεί. (πηγή: e -Journal of Science & Technology (e-JST))

2. Η θεωρία αυτή, παρά τις επιμέρους λειτουργίες, (πηγή: e -Journal of Science & Technology (e-JST)) εστιάζει στο «σύνολο» (σύστημα) του οποίου τα μέρη δεν είναι δυνατόν να γίνουν κατανοητά

3. Ανάδυση: η εμφάνιση μιας νέας ιδιότητας του συστήματος η οποία δε μπορεί να μειωθεί ή να παρατηρηθεί προηγουμένως σαν ένα λειτουργικό χαρακτηριστικό του συστήματος. Αναδυόμενες ιδιότητες: ιδιότητες ενός συνδυασμού ως όλο, κάτι περισσότερο από το άθροισμα των μεμονωμένων μερών του. Με λίγα λόγια, η ανάλυση ενός όλου στα μέρη του και η προσπάθεια μοντελοποίησης του αθροίζοντας τα συστατικά του, θα αποτύχει να συλλάβει κάθε ιδιότητα που αναδύεται από πολύπλοκες διαδράσεις.

Τα “ερωτηματικά” που συνοδεύουν τα ευφυή υλικά

Τα έξυπνα υλικά, ως μία νέα είσοδος στον τομέα της βιομηχανίας και των κατασκευών αντιμετωπίζονται με επιφυλακτικότητα και ιδιαίτερη προσοχή εξαιτίας της επαναστατικής φύσης τους, και γεννούν ερωτήματα και προβληματισμούς.

ως προς τον άνθρωπο

_Με τα έξυπνα υλικά είναι πλέον απαραίτητη η εύρεση μιας συνθήκης συμβίωσης και συμφωνίας όλων των χρηστών ως προς τις ανάγκες και τις επιθυμίες που θα καλύπτει ο χώρος.

_Η “φαινομενικότητα” αποτελεί ένα μείζον θέμα, καθότι υπάρχει ιδιαίτερη ανησυχία για το κατά πόσο ο άνθρωπος ζώντας μέσα στις ιδανικές συνθήκες θα αποσυνδεθεί από τις δραστηριότητες που προκαλούν αλλαγές στο περιβάλλον του.

_Τα έξυπνα υλικά απαντούν σε πραγματικές ανάγκες ή απλά λειτουργούν ως ένα μέσο δημιουργίας νέων πλασματικών αναγκών που επιβάλλει η σύγχρονη κοινωνία; *Πρόκειται για επινοημένες αναγκαιότητες ή αναγκαίες επινοήσεις;*¹ Είναι αλήθεια ότι η τεχνολογική παραγωγή δεν ακολουθεί πάντα τις κοινωνικές επιταγές, καταφεύγοντας συχνά στη δημιουργία εμπορικών προϊόντων άνευ σημασίας, ωστόσο η εφαρμογή τους είναι ακόμα πολύ περιορισμένη για να εξαγάγουμε ασφαλή συμπεράσματα. Το σημείο το οποίο, με την πάροδο του χρόνου, θα καθορίσει τόσο το σκοπό δημιουργίας τους όσο και το ρόλο τους στην καθημερινότητά μας, είναι η σύνδεση της ύπαρξής τους με την κάλυψη ουσιαστικών αναγκών.

ως προς το κτίριο

_Δημιουργείται μία δυσπιστία επειδή το αποτέλεσμα δεν είναι ορατό σε κάθε περίπτωση εφαρμογής τους. Ωστόσο το αντιλαμβάνεσαι χρησιμοποιώντας τις υπόλοιπες αισθήσεις σου.

_Διχογνωμίες υπάρχουν και ως προς το κατά πόσο ελέγχεται τελικώς η κατασκευή. Η αυτονομία του κτιρίου σε τι όρια φτάνει; Θα μπορούσαν, για παράδειγμα, υλικά με αντικρουόμενες δράσεις και ιδιότητες να λειτουργούν ταυτόχρονα οδηγώντας το ένα σε ενεργοποίηση του άλλου, μεταβάλλοντας διαρκώς και ανεξέλεγκτα τις συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου; Ωστόσο οι επιστήμονες είναι καθησυχαστικοί, επιβεβαιώνοντας ότι καμία δράση δε λαμβάνει χώρα χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση, χωρίς την έγκριση από το χρήστη ή τους χρήστες.

ως προς το σχεδιασμό

Επιχειρώντας την εισαγωγή έξυπνων υλικών στο σχεδιασμό προκύπτουν αναμενόμενα ερωτήματα, λόγω της αδυναμίας του υπάρχοντος συστήματος να ανταποκριθεί σε αυτά αλλά και της έλλειψης θεωρίας εφαρμογής τους.

_Για τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός έξυπνου υλικού απαιτείται η συνεργασία με εταιρείες. Πόσο εφικτό είναι αυτό από τη στιγμή που δεν υπάρχει αυτή η σχέση σχεδιασμού- παραγωγής σήμερα;

_Αντί να προσπαθούμε να κάνουμε τις νέες τεχνολογίες να λειτουργούν όπως οι παλιότερες, γιατί να μην πειραματιστούμε στο πως μπορεί να είναι διαφορετικές;

_Με ποιό τρόπο οι αρχιτέκτονες καλούνται να ενσωματώσουν την δυναμική των υλικών στο έργο τους; Αναζητείται ο τρόπος αξιοποίησης της δυναμικοποίησης των υλικών.

_Υπάρχει ένας γενικότερος προβληματισμός για το θεωρητικό πλαίσιο πάνω στο οποίο θα εφαρμοστούν - τις γνωσιακές απαιτήσεις του τομέα και το βαθμό κατάρτισης.

_Που σταματούν τα νέα όρια του σχεδιασμού;

και πιο πρακτικά ζητήματα όπως²:

_Με ποιο συγκεκριμένο τρόπο οι μελλοντικές προεκτάσεις και η αλληλεπίδραση με το χώρο λαμβάνεται υπόψη στον αρχικό σχεδιασμό;

_Πως αντιμετωπίζουμε τις ασταθείς χωρικές οντότητες;

_Πως αναπαριστούμε και κατασκευάζουμε τα “μη καθορισμένα ακόμα στις λεπτομέρειές τους” υλικά και περιβάλλοντα;

_Πως ορίζουμε την κατασκευασιμότητα των ευφυών εξελισσόμενων περιβαλλόντων;

_Ποια είναι η σημαντικότητα της εξελισσόμενης ικανοποίησης των επιθυμιών αντί των προκαθορισμένων πλαισίων των αναγκών;

ως προς την παραγωγή και διάθεσή τους

_ Η βιομηχανία είναι επιφυλακτική ως προς την δυνατότητα κατασκευής τους, την απόκτηση της απαραίτητης τεχνογνωσίας, την εύρεση των πρώτων υλών και τον τρόπο διάθεσής τους. Προκύπτει το ερώτημα: τελικά συμφέρει η μαζική παραγωγή τους, εφόσον τα ευφυή υλικά είναι ακόμα πολύ νέα στην αγορά προκειμένου να τα εμπιστευτούν τόσο οι χρήστες όσο και οι κατασκευαστές;

_ Το υλικό κόστος και τα έξοδα εγκατάστασης θεωρούνται τόσο υψηλά που δημιουργούνται αμφιβολίες όχι μόνο για την χρήση τους αλλά και για τη διευκόλυνση της έρευνάς τους. Το συνολικό κόστος για την παραγωγή, τη συντήρηση και τη διάθεσή τους υπερβαίνει κατά πολύ τις δαπάνες εγκατάστασης, καθιστώντας τα ασύμφορα οικονομικά. Ωστόσο, σε βάθος χρόνου μπορεί να επιφέρουν τρομερά κέρδη στη βιομηχανία. Τα παραπάνω δεδομένα δημιουργούν διλήμματα στους κατασκευαστές.

_ Το πώς θα επιλυθεί η έλλειψη καταρτισμένου ανθρώπινου δυναμικού για την έρευνα και την πρακτική εφαρμογή στο χώρο της βιομηχανίας είναι ένα ακόμη ζήτημα, καθότι αναφερόμαστε στην κατασκευή υλικών με μεγάλο βαθμό δυσκολίας, και ιδιαίτερα εξειδικευμένου αντικειμένου μελέτης.

ως προς το υφιστάμενο σύστημα

_ Υπάρχει ένας προβληματισμός και μία γενικότερη επιφυλακτικότητα για την αναγκαία επανεξέταση όλου του συστήματος, προκειμένου να προσαρμοστεί στα νέα, πολύπλοκα, ενεργά υλικά.

_ Ενδοιασμούς δημιουργεί και η απαίτηση για μεταφορά τεχνολογίας από άλλους κλάδους, μία όχι ιδιαίτερα εύκολη και πολύ χρονοβόρα διαδικασία, με πολλά ζητήματα ασφάλειας.

_ Επιπλέον, τα έξυπνα υλικά διαφέρουν τόσο πολύ στο αποτέλεσμα και στον τρόπο λειτουργίας τους από τα συμβατικά που εντείνουν τις αμφιβολίες για τη δυνατότητα ενσωμάτωσής τους.

ως προς την κοινωνία

_Η ασφάλεια προσωπικών δεδομένων αποτελεί ίσως το μεγαλύτερο ζήτημα αλλά και τη μεγαλύτερη πρόκληση για τους κατασκευαστές. Ως που θα εισβάλλουν οι υπηρεσίες του διαδικτύου; Ποια τα νέα όρια του ιδιωτικού χώρου και της ελευθερίας μας σε σχέση με τους άλλους; Ως που φτάνει η πληροφορία και ο έλεγχος;

_Η διαδραστική αρχιτεκτονική μπορεί να μειώσει την έλλειψη επικοινωνίας στο σύγχρονο αστικό περιβάλλον; Ή τελικώς θα συντελέσει στην επιδείνωση του προβλήματος;

ως προς τον περιβάλλοντα χώρο

_Οι μεταβολές που θα επιφέρει με την πάροδο του χρόνου τόσο στο εσωτερικό της κατοικίας όσο και στον αστικό ιστό θα απομονώσουν τον άνθρωπο από τον περιβάλλοντα χώρο ή θα πετύχουν τελικώς την περαιτέρω δραστηριοποίησή του;

_Κατά πόσο το έξυπνο κτίριο θα επικοινωνεί τελικά με τον περιβάλλοντα αστικό χώρο ή απλά θα δημιουργεί ένα νέας μορφής και διάταξης κτιριακό κέλυφος;

_Κατά πόσο τα μεμονωμένα “ζωντανά” κτίρια θα μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω του αστικού ιστού;

W

Αναφορές:

1. <http://www.ntua.gr/archtech/orfanos/keimeno.htm>
2. Αθηνά Σταυρίδου 26-11-2009, «Αναδυόμενες ιδιότητες- έξυπνα υλικά»

Ο χώρος έχει τη δύναμη να ορίσει τη συμπεριφορά και να σχηματίσει την προσωπικότητα ενός ατόμου. ...το περιβάλλον επηρεάζει τις αντιδράσεις, τα συναισθήματα, τις συγκινήσεις.

Piera Scuri
Design of Enclosed Spaces, 1995

Με την εφαρμογή των έξυπνων υλικών στην κατασκευή, δημιουργείται μία νέα δυναμική σχέση μεταξύ αρχιτεκτονικής και δυνατοτήτων. Με τα νέα δεδομένα, η αρχιτεκτονική επηρεάζει την καθημερινότητα και όχι η καθημερινότητα την αρχιτεκτονική. Η έξυπνη αρχιτεκτονική δημιουργεί διαδραστικά περιβάλλοντα που διεγείρουν πολλαπλά τις αισθήσεις μας και συμβάλλει προσφέροντας ποικίλα νέα ερεθίσματα στην περαιτέρω επέκταση των ικανοτήτων και των γνώσεών μας.

Η προσαρμοστική αντίδραση στην αλλαγή θα μεταβάλλει έξυπνα την ανθρώπινη δραστηριότητα, τις συνήθειες, τις κοινωνικές σχέσεις και το περιβάλλον, και θα ενισχύσει τις καθημερινές ασχολίες. Ένα έξυπνο κτίριο θα εξασφαλίζει στο εσωτερικό του τις καταλληλότερες συνθήκες ανά περίπτωση, τόσο στο οικογενειακό, όσο και στο εργασιακό και στο φιλικό περιβάλλον. Η βιωματική εμπειρία που θα αποκομίζουμε από το χώρο δε θα στηρίζεται πλέον σε οπτικά ερεθίσματα, όπως στο παρελθόν, αλλά θα γίνεται αντιληπτή με τη χρήση όλων των αισθήσεων του ανθρώπου. Αυτά που μεταβάλλονται ουσιαστικά στην καθημερινότητά μας είναι η αίσθηση της ασφάλειας και της αυτονομίας, η δυνατότητες ελέγχου, η ποιότητας ζωής μας και οι συνθήκες υγιούς διαβίωσης.

Η σημαντικότερη ίσως χωρική αλλαγή που επιβάλλουν τα ευφυή υλικά και θα επηρεάσει δραστικά την καθημερινή ζωή, είναι αυτή της μεταβολής του τρόπου αντιμετώπισης του ορίου, που αποκτά έναν πιο περίπλοκο, ουσιώδη ρόλο. Από το φυσικό όριο- σύνορο μιας περιοχής μεταβαίνει στα όρια που αντιμετωπίζονται ως δράσεις, δημιουργώντας περιβάλλοντα-ενεργές μεταβατικές ζώνες, που δεν διαχωρίζουν αλλά μεσολαβούν μεταξύ διαφορετικών ενεργειακών συνθηκών.

Το μέλλον των ευφυών υλικών δεν έχει ακόμη καθοριστεί. Τα πάντα είναι ρευστά, καθότι μέχρι στιγμής η αρχιτεκτονική βρίσκεται σε ένα μεταβατικό στάδιο προσέγγισης της νέας υλικής πραγματικότητας. Η βιωσιμότητά τους θα κριθεί από την πραγματική δοκιμή τους στην καθημερινή ζωή, αλλά και από τη μαζικότητα της χρήσης τους. Με την πάροδο του χρόνου, θα εκτιμηθούν ανάλογα με την επιτυχή ανταπόκριση τους σε πραγματικές ανάγκες του σύγχρονου ανθρώπου ή σε φαινομενικές, πλασματικές ανάγκες που δημιουργούν η βιομηχανία και τα σύγχρονα κοινωνικά πρότυπα και τρόπος ζωής.

Τα νέα υλικά δεν έχουν αποκτήσει ακόμη ταυτότητα ως προς το ρόλο τους, τόσο στην μελλοντική κοινωνία, όσο και στην αρχιτεκτονική, ενώ δεν έχουν ξεκαθαριστεί οι στόχοι και ο σκοπός δημιουργίας τους. Η φιλοσοφία και η νοοτροπία με τις οποίες θα σχεδιαστούν, θα αξιοποιηθούν και θα ενταχθούν μέσα σε “ζωντανά”, πολυλειτουργικά περιβάλλοντα, θα καθορίσουν και τον ρόλο που θα διαδραματίσουν μελλοντικά στον κατασκευαστικό τομέα. Ο τρόπος που θα τα αξιοποιήσει ο αρχιτέκτονας ή ο σχεδιαστής εξαρτάται αποκλειστικά από τις γνώσεις, τις ικανότητές του, την κατάρτιση του πάνω στο αντικείμενο αλλά και τη δυνατότητα “να σκέφτεται έξω από το κουτί” - να σκέφτεται αντισυμβατικά. (“ability to think outside the box”).¹

Μέχρι στιγμής ο τομέας της αρχιτεκτονικής μελετά το θεωρητικό υπόβαθρο και τις δυνατότητες που προσφέρουν τα νέα υλικά με ιδιαίτερο ενδιαφέρον και θέτει τους νέους στόχους που θα προσπαθήσει να επιτύχει η έξυπνη αρχιτεκτονική στο μέλλον:

_Τη δημιουργία χώρων που μπορούν να αναμορφωθούν φυσικά προκειμένου να ανταποκριθούν σε μεταβαλλόμενες ανάγκες μακροπρόθεσμα, λαμβάνοντας υπόψη τα ατομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητούμενα, καθώς και τις δυναμικές του αρχιτεκτονικού χώρου.

_Την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την οικοδόμηση των κτιρίων, λόγω ενεργειακής κρίσης.

_Τον υπολογισμό της αλλαγής των καιρικών συνθηκών ανά εποχή για την παραγωγή ενέργειας, καθώς και την αξιοποίηση της ενέργειας που απελευθερώνεται από το ανθρώπινο σώμα.

_Την επανεξέταση του δομικού συστήματος για την επίτευξη ενός ορίου ελαστικότητας, ώστε οι εσωτερικοί χώροι να μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών.

_Την ταυτόχρονη εξασφάλιση ενός ισχυρού δομικού συστήματος που θα μειώνει στο ελάχιστο τον κίνδυνο αστοχίας.

_Την ενσωμάτωση ενός “εγκεφάλου” στο κτίριο που θα ελέγχει και θα προσαρμόζει τα επιμέρους τμήματα ανάλογα με τις επιθυμίες των χρηστών.

Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι μια αρχιτεκτονική καινοτόμων, μοναδικών και ανεξερεύνητων εφαρμογών που θα καλύπτουν τις δυναμικές, ευέλικτες και συνεχώς μεταβαλλόμενες δραστηριότητες του παρόντος και του μέλλοντος.

Η βιοτεχνολογία, η χημική βιομηχανία, η ναυτοτεχνολογία σε συνδυασμό με την πληροφορική, θα διαδραματίσουν την επόμενη δεκαετία καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη ευφυών υλικών. Η τεχνολογική επανάσταση θα επικεντρωθεί στο πολύ μικρό, αφού η επιστήμη των υλικών εστιάζει στη βιομιμητική προσέγγιση των νέων επιτευγμάτων δουλεύοντας σε κλίμακα ατόμου και μορίου. Αντλεί και θα συνεχίσει να αντλεί την έμπνευσή της από έξυπνες συμπεριφορές που παρατηρούνται στη φύση. Φυσικά υλικά και ζωντανοί οργανισμοί θα αποτελέσουν τα μελλοντικά μοντέλα μίμησης. Καταβάλλεται μία προσπάθεια οι λειτουργίες της ανίχνευσης, της ενεργοποίησης, της επικοινωνίας, της σπονδυλωτής συμπεριφοράς και της κατανομημένης ευφυΐας, να μιμηθούν συστήματα όπως αυτά της ανίχνευσης ή σόναρ που χρησιμοποιούνται από τα ψάρια ή τα δελφίνια, τους μύες, τις αποικίες των βακτηρίων και το ανοσοποιητικό σύστημα αντίστοιχα. Στη φύση “το ίδιο το υλικό είναι ο μηχανισμός”² και η αρχή αυτή αποτελεί πρότυπο για τους μηχανισμούς που μελετώνται για τη λειτουργία των έξυπνων υλικών.

Είναι δύσκολο να κρίνουμε αν η αρχιτεκτονική των έξυπνων υλικών αφορά το εγγύς μέλλον ή αποτελεί όνειρο του μακρινού μέλλοντος. Οι εμπειρογνώμονες κρίνουν ότι θα χρειαστεί τουλάχιστον μία δεκαετία για την αναπροσαρμογή ή ακόμη και τον προγραμματισμό εξ αρχής των υπάρχοντων συστημάτων σχεδιασμού, κατασκευής, παραγωγής, διάθεσης και εφαρμογής των νέων πολύπλοκων αυτών υλικών και των συστημάτων που τα συνοδεύουν. Πολλοί μάλιστα, επιφυλακτικότεροι, επεκτείνουν το χρονικό αυτό διάστημα στα εικοσιπέντε χρόνια.

Αναφορές:

1,2. <http://www.scribd.com/doc/81273356/Smart-Materials#page=51>, Clements-Croome (2000b), In: Clements-Croome, D (Ed.), *Intelligent buildings: design, management and operation*. London: Thomas Telford, σελ. 55



Τα ευφυή υλικά λειτουργούν ως τρόπος διασύνδεσης του φυσικού με τον ψηφιακό κόσμο, της ύλης με την πληροφορία. Είναι, επομένως, απαραίτητο ένα ανανεωμένο σχεδιαστικό και κατασκευαστικό σύστημα και η απαραίτητη τεχνογνωσία για να αξιοποιηθούν σωστά οι δυνατότητές τους. Η σωστή αξιοποίησή τους εξαρτάται αποκλειστικά από τον ανθρώπινο παράγοντα, από την ικανότητα του αρχιτέκτονα-σχεδιαστή να σκεφτεί πέρα από τα καθιερωμένα. Ο τομέας της αρχιτεκτονικής πρέπει να επιχειρήσει να εφαρμόσει τα έξυπνα υλικά σε σημαντικότερα μέρη του κτιρίου προκειμένου να αποκομίσει πραγματικά καινοτόμα, διαμορφωμένα, ζωντανά περιβάλλοντα, αλλά ταυτόχρονα πρέπει να μεριμνήσει για τα πιθανά προβλήματα που θα προκύψουν.

Μέχρι τελικώς να εδραιωθούν στην καθημερινότητα και να καθορίσουν το ρόλο τους στην κοινωνία, τα έξυπνα υλικά θα περιβάλλονται από μια ατμόσφαιρα περιρρέουσας αμφιβολίας σχετικά με το κατά πόσο δημιουργήθηκαν ως απάντηση στις ουσιαστικές ανάγκες του σύγχρονου ανθρώπου. Το σίγουρο είναι ότι το αποτέλεσμα, ο ρόλος και η προέλευσή τους θα κριθούν με την πάροδο του χρόνου. Οι εφαρμογές τους φαντάζουν ριζοσπαστικές και ελπιδοφόρες και το μέλλον τους προμηνύεται καθοριστικό για την ανθρώπινη εξέλιξη.

Βιβλιογραφία

Alex Ritter (2007) *Smart materials in architecture, interior architecture and design*, Birkhauser

Michelle Addington and Daniel Schodek (2005), *Smart Materials and New Technologies for architecture and other design professions*. Architectural Press, Elsevier

Clements-Croome (2000b), In: Clements-Croome, D (Ed.), *Intelligent buildings: design, management and operation*. London: Thomas Telford

Ulrich Knaack (2007) *Principles of Construction - Facades*, Birkhauser

School of Planning and Architecture, New Delhi (2009-2010), Amit Singh, *Smart Materials and Technologies in Architecture*

Abbas Elmualim, Abayomi Pelumi-Johnson (2009), *Computer-Aided Facilities Management (CAFM) of Intelligent Buildings: Concepts and Opportunities*, Emerald Group Publishing

Εργασίες - Διπλωματικές - Διαλέξεις

Γιάννης Ορφανός, (2003) *Η δυννητικότητα των υλικών*, Διάλεξη 2003/130, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ΕΜΠ

Θεόδωρος Καλογερόπουλος, (2010) *Εφαρμογές έξυπνων υλικών*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Ηλεκτρονικά Άρθρα και Κείμενα

Issue 27 , SAS newsletter (2007), the Institute of Materials, Minerals and Mining

<http://www.scribd.com/doc/50806571/smart-materials>

<http://www.scribd.com/doc/30130772/Smart-Materials>

Ενδεικτικές Ιστοσελίδες

<http://www.materialslibrary.org.uk/MaterialsLibrary/materials.htm>

<http://matereality.wordpress.com/>

<http://archrecord.construction.com/tech/techFeatures/0709feature-1.asp>

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

http://fabricarchitecturemag.com/articles/0709_f1_smart.html

http://www.cheminst.ca/index.php?ci_id=3179&la_id=1

http://resources.edb.gov.hk/physics/articleIE/smartmaterials/SmartMaterials_e.htm

<http://en.wikipedia.org/wiki/>

<http://www.csinet.org/>

<http://www.smartmaterials.eu/>

<http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C05/E6-36-05-01.pdf>

http://ae.metu.edu.tr/~yyaman/avt086/Prasad/Eswar_Prasad_1.pdf

<http://ddfsmartmaterials10.blogspot.gr/>

<http://www.technical-expressions.com/mf/index.html>

<http://facadesconfidential.blogspot.gr/2010/08/facades-principles-of-construction.html>

<http://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSI/THRIO/YLIKA/PAROUSIASEIS/MAT-1%20TI%20EINAI.pdf>

<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB11878.pdf>

<http://www.greekarchitects.gr>