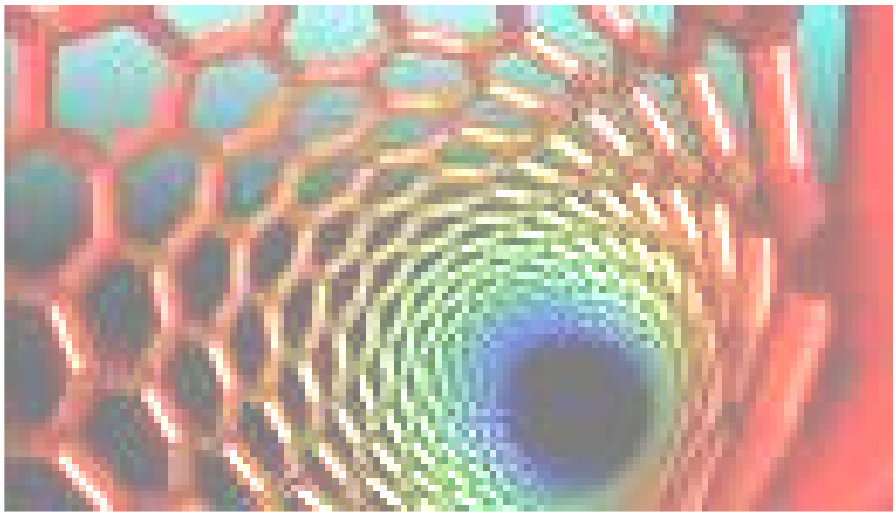
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ-ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ



Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια: Μαραγκουδάκη Αικατερίνη

Επιβλέπων καθηγητής: κος Γκέκας Βασίλειος

Πρόλογος

Καθώς ο 21ος αιώνας ξεδιπλώνεται μπροστά μας, συνεχίζεται η αλματώδης πρόοδος της επιστήμης και μέθοδοι και συσκευές που μέχρι τώρα μας φάνταζαν σαν σενάρια επιστημονικής φαντασίας, βρίσκουν η μία μετά την άλλη εφαρμογή. Στον τομέα της υγείας βρισκόμαστε λίγο πριν τη θεραπεία ανίατων ασθενειών και οι ιατρικές εξετάσεις και επεμβάσεις θα πραγματοποιούνται σχεδόν αναίμακτα. Στον τομέα της οικονομίας θα παράγονται υλικά με την ελάχιστη χρήση πόρων και έτσι θα έχουμε εξοικονόμησή τους, και, δεν χρειάζεται να κάνουμε ιδιαίτερη αναφορά στην εξέλιξη και πρόοδο της πληροφορικής.

Όλες αυτές οι καινοτομίες στους διάφορους τομείς της επιστήμης καθίστανται εφικτές μέσω ενός σχετικά νέου, επαναστατικού κλάδου, ο οποίος στηρίζεται στην ιδέα ότι ο άνθρωπος μπορεί να επέμβει στο τελευταίο, στο χαμηλότερο επίπεδο ύλης, το άτομο, και εκεί να δημιουργήσει τους επιθυμητούς συνδυασμούς. Οι συνθετικοί λίθοι αυτής της τεχνολογίας είναι τα νανο-μόρια (μικρότερα από 100 nm).

Μέσω της δομής των υλών σε επίπεδο ατόμου καθώς και της χρήσης ειδικών φαινομένων, ανοίγονται πολλές δυνατότητες σε σχεδόν όλους τους τομείς, όπως στην ενέργεια και τεχνολογία του περιβάλλοντος, στην ιατρική, στην φαρμακευτική. Σε επίπεδο ατόμου δεν υπάρχουν πλέον σύνορα μεταξύ χημείας, βιολογίας και φυσικής, όλα αυτά αποτελούν μια πειθαρχημένη τεχνολογία.

Πρόκειται λοιπόν για την τεχνολογία που μπορεί να δημιουργήσει συσκευές στο επίπεδο του μορίου, του ατόμου ή ακόμα και του νανομέτρου, την Νανοτεχνολογία, η οποία ασχολείται με την παραγωγή, την έρευνα και την χρησιμοποίηση ιδιαίτερα μικρών δομών.

Παρ' όλες όμως τις καινοτομίες που φέρνει, και το κλίμα ενθουσιασμού που έχει δημιουργηθεί γύρω από τη χρήση της, η νέα τεχνολογία δεν είναι εύκολο να εφαρμοσθεί σε μαζική κλίμακα και στην πράξη. Υπάρχουν περιορισμοί που θέτει η ίδια η φύση αλλά και η τεχνολογία, οι οποίοι για να ξεπεραστούν χρειάζεται πολύ προσπάθεια. Ο βαθμός του τεχνολογικού ελέγχου σε κάποια χωρική κλίμακα, απαιτεί πρωταρχικά τη γνώση και την κατανόηση των φυσικών νόμων στην αντίστοιχη κλίμακα, κατόπιν τη διάγνωση και τελικά την κατασκευή συσκευών που θα αποτελέσουν τον ενδιάμεσο κρίκο

της επικοινωνίας μεταξύ του μακρόκοσμου που αντιλαμβανόμαστε και του νανόκοσμου.

Παρόλο που παγκοσμίως λοιπόν διεξάγονται πολλά ερευνητικά προγράμματα που διερευνούν τις δυνατότητες εφαρμογών της νανοτεχνολογίας σε όλους τους τομείς, τα αποτελέσματα πολλών από αυτά δεν θα είναι άμεσα εφαρμόσιμα παρά μόνο μετά την πάροδο αρκετών δεκαετιών. Ειδικά στον τομέα των κατασκευών (κατασκευαστικών υλικών), θέμα με το οποίο ασχολείται η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, αυτό συμβαίνει είτε γιατί γίνεται προσπάθεια να καταστούν τελικά εφικτές εφαρμογές των νανο-υλικών στη μακροκλίμακα, των οποίων τα καινοφανή και μοναδικά αποτελέσματα ήδη διαφαίνονται στην έρευνα, είτε γιατί γίνεται προσπάθεια μείωσης του σημερινού τεράστιου κόστους εφαρμογών που έχουν ήδη επιτευχθεί.

Στην παρούσα εργασία γίνεται αρχικά μία εισαγωγή στις έννοιες και τις δομές της νανοτεχνολογίας, αλλά και αναφορά στο γεγονός ότι αυτός ο κλάδος της επιστήμης, δεν είναι ολοκαίνουργιος, αντίθετα εξελίσσεται από τις αρχές του αιώνα μας. Στα επόμενα δύο κεφάλαια, γίνεται αναφορά στις εφαρμογές αλλά και στις δυνατότητες εφαρμογών της νανοτεχνολογίας στα κατασκευαστικά υλικά. Έτσι, το τρίτο κεφάλαιο έχει να κάνει με τρία κατασκευαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται κατά κόρον με την φέροντα οργανισμό των κατασκευών, το σκυρόδεμα το ξύλο και το χάλυβα. Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται σε πληθώρα νανο-επεξεργασμένων κατασκευαστικών υλικών που χρησιμοποιούνται ήδη και σήμερα στις κατασκευές.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά Στην αρχή σχεδιασμού και στα κύρια κατασκευαστικά υλικά του «Έξυπνου Σπιτιού - The Integrated Safe & Smart Built Concept» ενός προγράμματος που πραγματοποιείται τώρα στη χώρα μας, θα έχει τη δυνατότητα να ελαχιστοποιεί τις σεισμικές δονήσεις και να "επουλώνει" τις μικρορωγμές που δημιουργούνται από αυτές.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τα περιβαλλοντικά οφέλη της νανοτεχνολογίας που προκύπτουν από πληθώρα εφαρμογών στην παραγωγή και εξοικονόμηση ενέργειας και πρώτων υλών, αλλά και την επεξεργασία των υδάτων. Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται και μια σύντομη αναφορά στον προβληματισμό γύρω από τη χρήση της νανοτεχνολογίας, καθώς δεν

μπορούμε σήμερα να είμαστε σίγουροι για το είδος και το μέγεθος του αρνητικού αντίκτυπού της πάνω στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Στη συγγραφή της μεταπτυχιακής εργασίας αυτής καθοριστική και πολύτιμη ήταν η συνδρομή του επιβλέποντος καθηγητή κ. Βασίλειου Γκέκα, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά.

Χανιά, Μάρτιος 2009

Μαραγκουδάκη Κατερίνα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος……..…..1
Περιεχόμενα……..…..4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ 6
1.1 Εισαγωγή 6
1.2 Ορισμοί 6
1.2.1 Νανοτεχνολογία..... 6
1.2.2 Νανοσωματίδια..... 8
1.2.3 Νανοϋλικά (νανοδομημένα υλικά) 10
1.2.4 Ιδιότητες νανοδομημένων υλικών..... 11
1.3 Ιστορική αναδρομή 12
2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ 14
2.1 Εισαγωγή 14
2.2 Σκυρόδεμα 15
2.2.1 Πυριτία SiO_2 16
2.2.2 Διοξείδιο του Τιτανίου TiO_2..... 17
2.2.3 Νανοσωλήνες άνθρακα 18
2.2.4 Έξυπνα αδρανή..... 19
2.2.5 Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα 21
2.2.6 Ενίσχυση με ίνες 22
2.3 Χάλυβας 23
2.3.1 Εφαρμογές σε Χαλύβδινα Καλώδια..... 24
2.3.2 Εφαρμογές σε Χαλύβδινα Βλήτρα..... 25
2.3.3 Εφαρμογές στις Χαλύβδινες Συγκολλήσεις 26
2.3.4 Εφαρμογές για Ελαστική Συμπεριφορά Χάλυβα 26
2.3.5 Ανοξείδωτος χάλυβας..... 27
2.3.6 Πυροπροστασία του χάλυβα 28
2.4 Ξύλο 28
3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΑΛΛΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ 32
3.1 Εισαγωγή 32
3.2 Θερμομόνωση 32
3.2.1 Μονωτικοί Πίνακες Κενού (vacuum insulation panels VIPs)..... 32

3.2.2 Aerogel 35
3.3 Πυροπροστασία 37
3.3.1 Αντιπυρικό γυαλί (Aerosil) 37
3.4 Αντιμικροβιακή προστασία 39
3.5 Προστασία από τον ήλιο 40
3.5.1 Προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία 40
3.5.2 Αντηλιακή προστασία 42
3.5.3 Μείωση αντανακλάσεων 43
3.6 Ρύθμιση θερμοκρασίας: Υλικά μεταβαλλόμενης φάσης (phase changing materials, PCMs) 45
3.7 Αυτοκαθαρισμός 50
3.7.1 Αυτοκαθαρισμός – «φαινόμενο του λωτού» 50
3.7.2 Το φαινόμενο της Φωτοκατάλυσης 53
3.8 Εφαρμογές κατά της υγρασίας 55
3.9 Εφαρμογές κατά των δακτυλικών αποτυπωμάτων 57
3.10 Καθαρισμός του αέρα 59
3.11 Χρονοδιάγραμμα 64
4 ΤΟ ΈΞΥΠΝΟ ΣΠΙΤΙ. I-SSB – THE INTEGRATED SAFE & SMART BUILT CONCEPT 67
4.1 Γενικά 67
4.2 Βασικά Δομικά Στοιχεία 69
4.2.1 Αισθητήρες στους τοίχους 69
4.2.2 Γυψοσανίδες 70
4.2.3 Χαλύβδινα Πλαίσια 72
5 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ 75
5.1 Νανοτεχνολογία και Αειφορία 75
5.1.1 Παραγωγή και μετατροπή ενέργειας 76
5.1.2 Εξοικονόμηση φυσικών πόρων 86
5.1.3 Εξοικονόμηση ενέργειας 88
5.1.4 Εφαρμογές σε σχέση με τους υδάτινους πόρους 95
5.2 Αρνητικές Επιπτώσεις της Νανοτεχνολογίας στο Περιβάλλον ... 100
5.2.1 Η Τοξικότητα των Νανοσωματιδίων 100
5.2.2 Οικο-τοξικολογικές Επιπτώσεις 102
5.3 Συμπεράσματα 104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ 108

1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργηθεί κλίμα ενθουσιασμού γύρω από την νανοεπιστήμη και τους διάφορους τομείς της, και μέσα σε αυτούς και τη νανοτεχνολογία. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού δίνονται ορισμοί πάνω στην βασικότερη ορολογία που συναντά κανείς, και γίνεται μια γενικότερη γνωριμία με την επιστήμη αυτή, καθώς και μια σύντομη ιστορική αναδρομή.

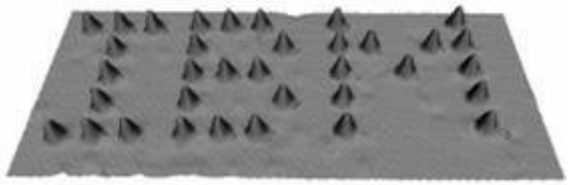
1.2 Ορισμοί

1.2.1 Νανοτεχνολογία

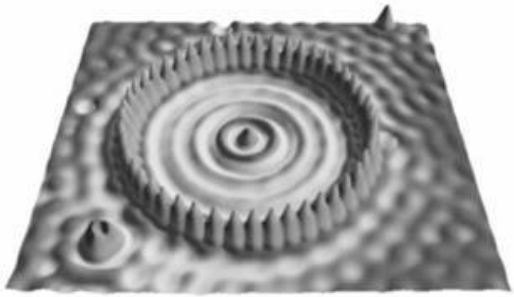
Νανοτεχνολογία είναι ο όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη δημιουργία και χρήση λειτουργικών δομών μεγέθους μεταξύ 1 και 100 νανομέτρων (nm), της τάξεως δηλαδή του 10^{-9} μέτρων. Οι διαστάσεις γίνονται ευκολότερα αντιληπτές αναφέροντας πως ένα νανόμετρο ισούται περίπου με το 1/80000 μιας ανθρώπινης τρίχας ή με το μήκος 10 ατόμων υδρογόνου σε σειρά. Κατά παρόμοιο τρόπο ορίζεται και ο όρος νανοεπιστήμη (nanoscience) αναφερόμενος σε επιστήμες οι οποίες μελετούν φαινόμενα στην κλίμακα αυτή.

Η νανοτεχνολογία ορίζεται και από την American Nanoscale Science Engineering and Technology Subcomitee of the U.S. National Science and Technology Council (NSTC, White House) ως: η «Έρευνα και η ανάπτυξη τεχνολογιών σε ατομικό, μοριακό ή μακρομοριακό επίπεδο, σε κλίμακα μήκους των 100 νανομέτρων περίπου, για την θεμελιώδη κατανόηση φαινομένων και υλικών στη νανοκλίμακα και τον κατάλληλο χειρισμό τους. Οι καινοφανείς και ξεχωριστές ιδιότητες και λειτουργίες αναπτύσσονται σε μια κρίσιμη κλίμακα ύλης που είναι συνήθως μικρότερη των 100 nm. Η νανοτεχνολογική έρευνα και ανάπτυξη περιλαμβάνει και τον ελεγχόμενο χειρισμό δομών στη νανοκλίμακα και την ένταξή τους σε μεγαλύτερες υλικές συνιστώσες, συστήματα και τεχνοτροπίες. Μέσα σε αυτές τις μεγαλύτερης κλίμακας συγκεντρώσεις ο

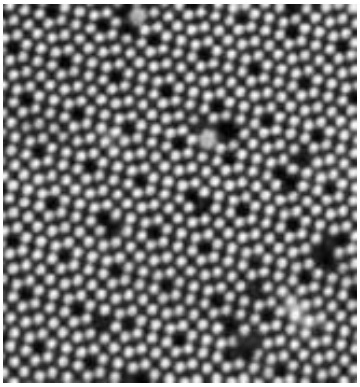
έλεγχος και η κατασκευή των δομών και συνιστωσών τους παραμένει στην κλίμακα νανομέτρων. Σε κάποιες ιδιαίτερες περιπτώσεις η κρίσιμη κλίμακα μήκους για καινοφανείς ιδιότητες και φαινόμενα μπορεί να είναι και μικρότερη του ενός νανομέτρου (π.χ. χειρισμός ατόμων σε 0,1 nm) ή μπορεί να είναι και μεγαλύτερη από 100nm (π.χ. πολυμερή ενισχυμένα με νανοσωματίδια αποκτούν την χαρακτηριστική τους ιδιότητα σε κλίμακα των περίπου 200-300 nm σαν λειτουργία των τοπικών δεσμών μεταξύ των νανοσωματιδίων και του πολυμερούς)».[1]



Εικόνα 1.1: *STM εικόνα 35 ατόμων Xe σε επιφάνεια Ni (110).*



Εικόνα 1.2: *STM εικόνα 48 ατόμων σιδήρου σε επιφάνεια Cu (111).*



Εικόνα 1.3: *STM εικόνα επιφάνειας Si*

Οι παραπάνω εικόνες, αν και περισσότερο αισθητικού περιεχομένου παρά επιστημονικού, είναι χαρακτηριστικές των δυνατοτήτων της νανοτεχνολογίας. Αυτή μας δίνει τα μέσα να «χτίσουμε» δομές σε ατομικό επίπεδο ή να «δούμε» τις δομές αυτές σε ατομική κλίμακα. Οι επιφάνειες οι οποίες απεικονίζονται στις παραπάνω εικόνες μελετήθηκαν με τη χρήση STM μικροσκοπίου ενώ το ίδιο χρησιμοποιήθηκε και για την τοποθέτηση των ατόμων. Ακόμα, βλέπουμε μια STM εικόνα επιφάνειας Si.

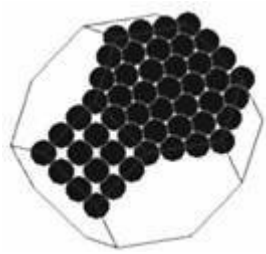
Ο όρος νανοτεχνολογία χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευρύτητα όντας πολύ γενικός για να περιγράψει οτιδήποτε συμβαίνει στις διαστάσεις του νανομέτρου. Κατά συνέπεια, μπορεί να χωρισθεί σε πιο ειδικά θέματα όπως αυτό της νανοηλεκτρονικής, των νανοϋλικών, της νανοβιολογίας καθώς και άλλων. Οι εφαρμογές της είναι αναρίθμητες ενώ οι επιφερόμενες αλλαγές γίνονται αντιληπτές σε πολλαπλά επίπεδα όπως προαναφέρθηκε. [59]

1.2.2 Νανοσωματίδια

Τα σωματίδια που κατασκευάζονται με χρήση των δυνατοτήτων της νανοτεχνολογίας, και είναι φορείς καινοφανών και πρωτοποριακών ιδιοτήτων, ονομάζονται νανοσωματίδια.

Τα νανοσωματίδια μπορεί να είναι μεγέθους μερικών μόνο νανομέτρων ή και μπορούν να περιέχουν λίγα έως και αρκετές χιλιάδες άτομα. Το υλικό από το οποίο αποτελούνται τα νανοσωματίδια δεν είναι διαφορετικό από το συνηθισμένο. Το βασικό υλικό των νανοσωματιδίων μπορεί να είναι οργανικό ή ανόργανο, για παράδειγμα ασήμι ή άργιλος. Μπορεί να είναι ένα στοιχείο όπως ο άνθρακας ή ενώσεις όπως οξέα, ή μπορεί να είναι συνδυασμός διαφόρων στοιχείων και ενώσεων.

Το συστατικό «κλειδί» δεν είναι το ίδιο το υλικό, αλλά το μέγεθος των σωματιδίων. [1] Στα πολυκρυσταλλικά νανοδομημένα υλικά ή αλλιώς νανοκρυσταλλικά υλικά (nanocrystalline materials) αναφερόμαστε στο μέγεθος ενός κρυσταλλίτη ή αλλιώς κόκκου (grain), ο οποίος αποτελείται από ένα μικρό αριθμό ατόμων. Συνέπεια αυτού είναι ένα μεγάλο ποσοστό (τα μισά ή περισσότερα) αυτών των ατόμων να βρίσκονται στην επιφάνεια του. Από άποψη φυσικής, αυτό κάνει τα φαινόμενα επιφάνειας (φαινόμενα μεταφοράς μάζας, διαμόρφωση επιφανειακών ενεργειακών σταθμών κτλ) να παίζουν πρωταρχικό ρόλο στις ιδιότητες των νανοσωματιδίων και κατ' επέκταση του υλικού.



Κυβο-οκταεδρική μορφή *Μορφή οκταέδρου*

Εικόνα 1.4: *Κρύσταλλοι νανοσωματιδίων. Τις προϋποθέσεις για πιο σταθερή δομή πληροί κυρίως η σφαιρική μορφή. Ωστόσο, σε νανομετρικές διαστάσεις δε μπορούμε να αγνοήσουμε τη διακριτή τοποθέτηση των ατόμων στο χώρο.*

Σε σύγκριση λοιπόν με το μέγεθός τους τα νανοσωματίδια έχουν τεράστια επιφάνεια. Σε αυτά τα μεγέθη, ένα σχετικά αδρανές υλικό μπορεί να γίνει πολύ ενεργό και γι' αυτό το λόγο δυνητικά ενδιαφέρον για πολλές διαφορετικές χρήσεις. Επιπρόσθετα, τα νανοσωματίδια έχουν την τάση να σχηματίζουν συσσωματώματα. [1]

Υβριδικά (hybrids) λέγονται τα νανοσωματίδια με πυρήνα ανόργανης φάσης και τροποποιημένης επιφάνειας (π.χ. με οργανικά μόρια). Αμφίφυλα μπλοκ συμπολυμερή (amphiphile block copolymers) σε κατάλληλες συνθήκες pH σχηματίζουν μικέλλες (micelles) και επομένως μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν ως νανοσωματίδια. Μεταλλικά ή ημιαγώγιμα κρυσταλλικά νανοσωματίδια μπορούν να βρεθούν σε καταλύτες. Το μέσο μέγεθος ενός μεταλλικού καταλυτικού σωματιδίου μπορεί να ανήκει στην τάξη του νανομέτρου. Τα νανοσωματίδια αυτά συνήθως είναι μεμονωμένοι κρύσταλλοι παρόμοιους με αυτούς που ανήκουν στο εσωτερικό ενός πολυκρυσταλλικού υλικού.

Νανοσωματίδια μπορούν να παρασκευαστούν με πολλές τεχνικές όπως η sol - gel, η ball milling ή άλλες χημικές μεθόδους. Καθώς οι παράμετροι κάθε τεχνικής καθορίζουν τη τελική μορφή του νανοσωματιδίου μπορούμε να παρασκευάσουμε νανοσωματίδια βελτιστοποιημένα για κάποια συγκεκριμένη χρήση. Όσων αφορά την ενέργεια υδρογόνου, το ενδιαφέρον για τα νανοσωματίδια έγκειται κυρίως στις καταλυτικές τους ιδιότητες για τη χρήση τους σε κυψέλες καυσίμου αλλά και γενικότερα.[59]

Εκτός από τη συνθετική παρασκευή τους, νανοσωματίδια υπάρχουν και σε φυσικά υλικά, π.χ. στην άργιλο, η οποία περιέχει μεγάλο μερίδιο φυσικών νανοσωματιδίων. Αυτά και ευθύνονται για τις ιδιότητές της όπως αντοχή στον παγετό, ανθεκτικότητα και μηχανική αντοχή. Ένα άλλο φυσικό παράδειγμα είναι το σεντέφι του οποίου η υψηλή ανθεκτικότητα αποδίδεται στις νανοδομή του. [1]

1.2.3 Νανοϋλικά (νανοδομημένα υλικά)

Τα υλικά των οποίων οι δομικοί λίθοι ανήκουν στην τάξη του νανομέτρου (νανοσωματίδια) ονομάζονται Νανοϋλικά (nanomaterials). Οι ιδιαίτερες ιδιότητες των νανοϋλικών, είναι κατά πολύ ανώτερες αυτών των συμβατικών υλικών που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο αυτή τη στιγμή στη βιομηχανία. [59]

Όπως είναι λογικό, οι εφαρμογές των νανοϋλικών είναι ανάλογες σε αριθμό των δυνατοτήτων τους. Οι βελτιωμένες ηλεκτρικές, οπτικές, φυσικές, χημικές, μαγνητικές και μηχανικές ιδιότητες τους είναι και το κίνητρο για την έρευνα που γίνεται πάνω σε αυτά ενώ έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες μέθοδοι παρασκευής τους, αν και όχι όλες κατάλληλες για την επιθυμητή από τη βιομηχανία, μαζική παραγωγή τους.

Ένας δεύτερος λόγος που δικαιολογεί το ενδιαφέρον για τα νανοϋλικά είναι ότι η φυσική που τα χαρακτηρίζει διαφέρει ριζικά από αυτή που πάνω της στηρίζεται η σύγχρονη βιομηχανία (για παράδειγμα η μικροηλεκτρονική) και απαιτούνται νέες μέθοδοι προσέγγισης, που όμως μόλις πρόσφατα άρχισαν να αναπτύσσονται.

Υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες παρασκευής υλικών, οι "από πάνω προς τα κάτω" (top-down) δηλαδή η υπερσμίκρυνση που παράγει ολοένα και μικρότερες συσκευές και οι "από κάτω προς τα πάνω" (bottom-up) όπου η μοριακή κατασκευή αφορά το χειρισμό μεμονωμένων ατόμων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των πρώτων είναι η λιθογραφία στις διάφορες μορφές της. Στην πιο απλή της μορφή, ηλεκτρόνια ή φωτόνια κατάλληλων ενεργειών χρησιμοποιούνται για να μορφοποιήσουν μια επιφάνεια με τη βοήθεια μιας

μάσκας. Την κατηγορία των "από κάτω προς τα πάνω" αντιπροσωπεύει επάξια ή τεχνικής της αυτο-συναρμολόγησης (self-assembly) όπου μοριακά είδη αυτο-οργανώνονται.

Προς το παρόν μιλάμε κυρίως για «νανοσυνθετικά» προϊόντα, προερχόμενα κατά κύριο λόγο από το συνδυασμό νανοσωματιδίων με συμβατικές πρώτες ύλες, παρά για «καθαρά νανοϋλικά».[60] Ωστόσο, αν λάβουμε υπόψη τα πρώτα σχετικά δείγματα, η ανάδυση των νανοϋλικών στο επίπεδο της καθημερινότητας, αποτελώντας πλέον απτή πραγματικότητα, δεν θα υπερβεί τον ορίζοντα της δεκαπενταετίας.

1.2.4 Ιδιότητες νανοδομημένων υλικών

- Μηχανικές ιδιότητες νανοδομημένων υλικών

Τα νανοκρυσταλλικά υλικά παρουσιάζουν **πολύ υψηλή σκληρότητα**. Για τα νανοκρυσταλλικά μέταλλα κόκκων μεγέθους περίπου 10 nm , για παράδειγμα, μπορεί να παρατηρηθεί από 2 έως και 7 φορές περισσότερη σκληρότητα από μέταλλα με μεγαλύτερους κόκκους μεγέθους (περισσότερο από 1μm).

- Ηλεκτρικές ιδιότητες νανοδομημένων υλικών

Η πιο χαρακτηριστική μορφή των νανοϋλικών ώστε να μπορούμε να εκμεταλλευθούμε τις ηλεκτρικές ιδιότητές τους είναι οι νανοσωλήνες άνθρακα, οι οποίοι έχουν ευρεία χρήση στη νανοηλεκτρονική και στην ηλεκτρονική μικροσκοπία. Οι ηλεκτρικές ικανότητες των νανοσωλήνων άνθρακα εξαρτώνται από τη διάμετρό τους και τον προσανατολισμό των ανθράκων ως προς τον κεντρικό άξονα τους. Ανάλογα μπορούν και συμπεριφέρνονται ως μεταλλικά ή ως ημιαγώγιμα υλικά

- Μαγνητικές ιδιότητες νανοδομημένων υλικών

Από τις πιο σημαντικές ιδιότητες των νανοϋλικών είναι οι μαγνητικές. Η παραμένουσα μαγνήτιση των διφασικών σκληρών/μαλακών μαγνητικών προϊόντων νανοκρυσταλλικής δομής έχει βιομηχανικά πάρα πολλές χρήσεις. Μαλακή σιδηρομαγνητική συμπεριφορά εμφανίζουν για παράδειγμα διαλύματα μαγνητικών νανοσωματιδίων. Επιπλέον τα νανοκρυσταλλικά ελαφρά μαγνητικά προϊόντα παρουσιάζουν τις μικρότερες απώλειες ενέργειας από

οποιοδήποτε άλλο υλικό. Στα νανοϋλικά επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε και το φαινόμενο της γιγαντιαίας μαγνητοαντίστασης (Giant Magnetoresistance ή GMR) κατά το οποίο η ηλεκτρική αντίσταση ενός υλικού μειώνεται όταν το υλικό εκτεθεί σε μαγνητικό πεδίο και αναφέρθηκε πρώτη φορά για πολυστρωματικά λεπτά υμένια (multilayer thin films).

- Οπτικές ιδιότητες νανοδομημένων υλικών

Οι οπτικές ιδιότητες ενός υλικού εξαρτώνται και από τις ηλεκτρονιακές του καταστάσεις. Η δομή των νανοϋλικών είναι τέτοια ώστε αυτές να παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές σε σύγκριση με ένα κοινό υλικό. Μιλώντας για νανοκρυσταλλικά υλικά, ανάλογα με το προς χρήση υλικό και το μέγεθος των κόκκων του μπορεί να επιτευχθούν διαφορετικές τιμές ανακλαστικότητας ή οπτικής διαφάνειας για διαφορετικά μήκη κύματος. Συνέπεια αυτού του γεγονότος, οι πάρα πολλές τεχνολογικές εφαρμογές κυρίως σαν επιστρώσεις με τη μορφή λεπτών υμενίων.

- Χημικές ιδιότητες νανοδομημένων υλικών

Τέλος πρέπει να αναφερθούμε στη χαρακτηριστική ικανότητα των νανοϋλικών να απορροφούν/αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες υδρογόνου καθώς αντιδρούν φυσικά ή χημικά με αυτό. Αυτό τους δίνει συν τοις άλλοις τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως πολύ καλοί καταλύτες σε αντιδράσεις που παίρνει μέρος υδρογόνο, κάτι αρκετά σημαντικό, αφού βρίσκει εφαρμογές σε πολλές ενεργειακές εφαρμογές όπως η λειτουργία των κυψέλων καυσίμου. Γενικά τα νανοκρυσταλλικά υλικά, λόγω της μεγάλης επιφάνειας των δομικών λίθων τους (αναφερόμενοι είτε σε κρυσταλλίτες είτε στους μονοκρυστάλλους νανοσωματιδίων) μπορούν να δράσουν καταλυτικά και μάλιστα βελτιστοποιητικά, σε πάρα πολλές περιπτώσεις. [59]

1.3 Ιστορική αναδρομή

Αν και το πεδίο της νανοτεχνολογίας μόλις πρόσφατα άρχισε να αναπτύσσεται ουσιαστικά, οι δυνατότητες της είχαν αρχίσει να γίνονται εμφανείς ήδη από την εποχή που ο φυσικός Richard Feynman έδωσε το λόγο με τίτλο "There's Plenty of Room at the Bottom" μιλώντας για τα μεγάλα

περιθώρια που αφήνουν οι νόμοι τις φύσης για τον έλεγχο της ύλης σε ατομικό επίπεδο.

Στη μέχρι τώρα ανάπτυξή της, σημαντικό ρόλο έπαιξαν η σημαντική βελτίωση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, ενώ σταθμοί μπορούν να θεωρηθούν οι ανακαλύψεις δομών άνθρακα σε μορφή σφαίρας, γνωστές ως φουλερένια (buckminister fullerenes ή fullerenes ή buckyballs), καθώς και σε μορφή σωλήνα, γνωστές ως νανοσωλήνες άνθρακα (carbon nanotubes) με ιδιαίτερες ιδιότητες το καθένα.[59]

Παρακάτω γίνεται επιγραμματική αναφορά στις ημερομηνίες γεγονότων καθοριστικών για την εξέλιξη της Νανοτεχνολογίας και της Νανοεπιστήμης.

29/12/1959	☛ Διάλεξη Richard Feynman με τίτλο "There's Plenty of Room at the Bottom"
1974	☛ Χρησιμοποιείται ο όρος “Νανοτεχνολογία” από τον Norio Taniguchi
1981	☛ Εφεύρεση του Scanning Tunelling Microscope (STM)
1986	☛ Εφεύρεση του Atomic Force Microscope (AFM)
4/9/1985	☛ Ανακάλυψη των “φουλερενίων”
1989	☛ Η λέξη IBM γράφεται με μεμονωμένα άτομα
1990	☛ Κατασκευή “φουλερενίων” σε μακροσκοπικές ποσότητες
1991	☛ Ανακάλυψη των Νανοσωλήνων άνθρακα
μέσα δεκαετίας 1990	☛ Τα κράτη αρχίζουν να χρηματοδοτούν τη Νανοτεχνολογία, κατά κύριο λόγο την έρευνα και την ανάπτυξη
τέλη δεκαετίας 1990	☛ Τα πρώτα προϊόντα εμφανίζονται στην αγορά

2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Η νανοτεχνολογία έχει να κάνει με την ανάγκη για κατανόηση των φαινομένων στη νανοκλίμακα και με την ταυτόχρονη βελτίωση της ικανότητάς μας να ελέγξουμε τη νανοδομή των υλικών. Έτσι, οι ιδιότητες των υλικών μπορούν να βελτιωθούν ελέγχοντας τις διεργασίες και τις δομές της νανοκλίμακας.

Οι επιθυμητοί λοιπόν στόχοι που μπορούν να επιτευχθούν μέσω της νανοτεχνολογίας, όσον αφορά στις κατασκευές, είναι η ανάπτυξη υλικών υπερ-υψηλής επίδοσης για κατασκευαστικές εφαρμογές και η βελτίωση της γνώσης για τη συσχέτιση μεταξύ της νάνο/μίκρο-δομής των υλικών και των συνεπακόλουθων μακροσκοπικών ιδιοτήτων των υλικών.

Η νανοτεχνολογία λοιπόν μπορεί να φανεί χρήσιμη στην ανάπτυξη:

- Υλικών με αυξημένη ανθεκτικότητα και παρατεταμένη ή βελτιωμένη συμπεριφορά
- Πολυλειτουργικών υλικών με μηχανική απόδοση συνδυασμένη με ιδιότητες θερμικής, ηλεκτρική ή μαγνητικής αγωγιμότητας/μόνωσης
- Ενεργών προσαρμοστικών υλικών με προγραμματιζόμενα χαρακτηριστικά (αυτό-επισκευαζόμενα, με αισθητήρες, κ.τ.λ)
- Υβριδικών οργανικών-ανόργανων υλικών, που συνδυάζουν τις συγκεκριμένες ιδιότητες κάθε συνιστώσας, με αποτέλεσμα νέα, ή ανώτερη συμπεριφορά.

Η κατασκευαστική βιομηχανία αναπόφευκτα θα ωφεληθεί από την νανοτεχνολογία˙ στην πραγματικότητα ήδη έχουμε πολύ ενθαρρυντικές εξελίξεις στους τομείς του σκυροδέματος, του χάλυβα και του γυαλιού. Το σκυρόδεμα γίνεται ισχυρότερο, πιο ανθεκτικό και διαστρώνεται ευκολότερα, ο χάλυβας σκληρότερος και το γυαλί αυτοκαθαρίζεται.

Πολλές όμως από τις προοπτικές της νανοτεχνολογίας στον κατασκευαστικό τομέα περιορίζονται από το κόστος και το σχετικά μικρό μέχρι τώρα αριθμό πρακτικών εφαρμογών. Πολλές από τις εφαρμογές αυτές βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο, βέβαια με πολύ ενθαρρυντικά ως τώρα αποτελέσματα, και άλλες έχουν κόστος απαγορευτικό για την μαζική παραγωγή και διάθεση τους.

Και αυτό γιατί η κατασκευή τείνει να είναι ένας συντηρητικός κλάδος, προσανατολισμένος σε χαμηλή ερευνητική δραστηριότητα, πράγμα που βαραίνει εναντίον της υιοθέτησης νέων τεχνολογιών, ειδικά αυτών που φαντάζουν απομακρυσμένες από τον πυρήνα της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Τα υλικά όμως, είναι ο πυρήνας της κατασκευαστικής βιομηχανίας και οι προοπτικές για καινοτομίες στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον είναι πολύ σημαντικές, ακόμα και ζωτικής σημασίας για την κατασκευαστική βιομηχανία. Ερευνητές που ερωτήθηκαν, προέβλεψαν ότι μεγάλη πρόοδος θα σημειωθεί ακόμα και μέσα στα επόμενα 5 χρόνια. Το μέγεθος και η έκταση της κατασκευαστικής βιομηχανίας προμηνύει ότι και το συνεπακόλουθο οικονομικό αντίκτυπο θα είναι τεράστιο.

2.2 Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλο υλικό στον πλανήτη, μετά από το νερό. Η σημασία του για τις βασικές υποδομές του σύγχρονου πολιτισμού είναι τεράστια, και σήμερα μας είναι δύσκολο να φανταστούμε τη ζωή χωρίς αυτό. Παρόλα αυτά, το σκυρόδεμα έχει διαφοροποιηθεί πολύ λίγο από την πρώτη του χρήση στην τρέχουσα μορφή του στην αρχή του 20^{ου} αιώνα. Καθώς το προϊόν αντιμετωπίζει όλο και υψηλότερες απαιτήσεις απόδοσης, η κατασκευαστική βιομηχανία αναζητά τρόπους ανανέωσης του υλικού και βελτίωσης των "επιδόσεών" του.

Παρακάτω αναφέρονται μερικές από τις πιο υποσχόμενες εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας σε σχέση με το σκυρόδεμα, που είναι σήμερα γνωστές. Πρέπει όμως να σημειωθεί, ότι οι περισσότερες εφαρμογές δεν έχουν ακόμα τελειοποιηθεί (η πλειονότητά τους και κυρίως οι πιο πολλά υποσχόμενες

βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο ή δεν εφαρμόζονται ευρέως λόγω του απαγορευτικού τους κόστους).

Τα κυριότερα νανοσωματίδια που χρησιμοποιούνται σαν πρόσθετα στο κοινό σκυρόδεμα με θεαματικές επιδράσεις στις μηχανικές του ιδιότητες είναι τα εξής:

2.2.1 Πυριτία SiO_2

Η πυριτία (SiO_2) είναι παρούσα στο συμβατικό σκυρόδεμα σαν μέρος του κανονικού μίγματος. Ωστόσο το «πακετάρισμα» των σωματιδίων του σκυροδέματος μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας νάνο-πυριτία η οποία οδηγεί σε πύκνωση της μίκρο-και νάνο-δομής του, γεγονός που επιφέρει βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Η πρόσθεση νάνο-πυριτίας σε υλικά με βάση το τσιμέντο μπορεί επίσης να ελέγξει την διάσπαση της βασικής αντίδρασης του σκυροδέματος C-S-H (ασβέστιο-πυριτία-υδρογόνο) που προκαλείται από τη διήθηση του ασβεστίου στο νερό, όπως και να εμποδίσει την διείσδυση του νερού, πράγμα που οδηγεί σε βελτίωση της ανθεκτικότητας.

Επίσης, η υψηλής ενέργειας άλεση του κοινού τσιμέντου Portland και συνήθους άμμου, διαδικασία που οδηγεί σε μείωση του μεγέθους των σωματιδίων αναφορικά με το συμβατικό τσιμέντο Portland, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θλιπτικής αντοχής του εκλεπτυσμένου υλικού είναι κατά 3-6 φορές.

Η ιπτάμενη τέφρα βελτιώνει την ανθεκτικότητα, την αντοχή και μειώνει την απαίτηση για τσιμέντο, ωστόσο η διαδικασία ωρίμανσης επιβραδύνεται από την προσθήκη της και η αντοχή σε πρώιμο στάδιο είναι επίσης χαμηλή σε σύγκριση με το κοινό σκυρόδεμα. Με την προσθήκη νανοσωματιδίων SiO_2 μέρος του τσιμέντου αντικαθίσταται , αλλά η πυκνότητα και η αντοχή του σκυροδέματος ιπτάμενης τέφρας βελτιώνεται ιδιαίτερα στα πρώιμα στάδια. Επίσης ,μελέτες έχουν δείξει ότι η προσθήκη νανοσωματιδίων αιματίτη Fe_2O_3 στο σκυρόδεμα αυξάνει την αντοχή όπως επίσης και προσφέρει τη δυνατότητα ελέγχου της κλίμακας της καταπόνησης δια μέσου της μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης της διατομής.[61]

2.2.2 Διοξείδιο του Τιτανίου TiO_2

Ένας άλλος τύπος νανοσωματιδίου που προστίθεται στο σκυρόδεμα για να βελτιώσει τις ιδιότητές του είναι το διοξείδιο του Τιτανίου (TiO_2). Το διοξείδιο του Τιτανίου είναι μια άσπρη χρωστική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξαιρετικά ως ανακλαστική επικάλυψη. Ενσωματώνεται, με τη μορφή νανοσωματιδίων σε αντηλιακά φίλτρα για να παγιδεύει την ηλιακή ακτινοβολία UV και προστίθεται σε χρωστικές, τσιμέντα και υαλοπίνακες για τις αποστειρωτικές του ιδιότητες, καθώς το διοξείδιο του τιτανίου διασπά οργανικούς ρυπαντές και βακτηριακές μεμβράνες, μέσω ισχυρών καταλυτικών αντιδράσεων.

Μπορεί γι' αυτό το λόγο να απομακρύνει τους μεταφερόμενους από τον αέρα ρύπους όταν εφαρμόζεται σε εξωτερικές επιφάνειες. Ακόμα, είναι υδρόφιλο και έτσι δίνει αυτοκαθαριστικές ιδιότητες στις επιφάνειες που εφαρμόζεται. Η διεργασία από την οποία προκύπτει αυτό το φαινόμενο είναι η εξής: το νερό της βροχής έλκεται στην επιφάνεια και σχηματίζει υμένια που συγκεντρώνουν τους ρύπους και τα σωματίδια της σκόνης που προηγουμένως έχουν διασπαστεί, και τα ξεπλένει.

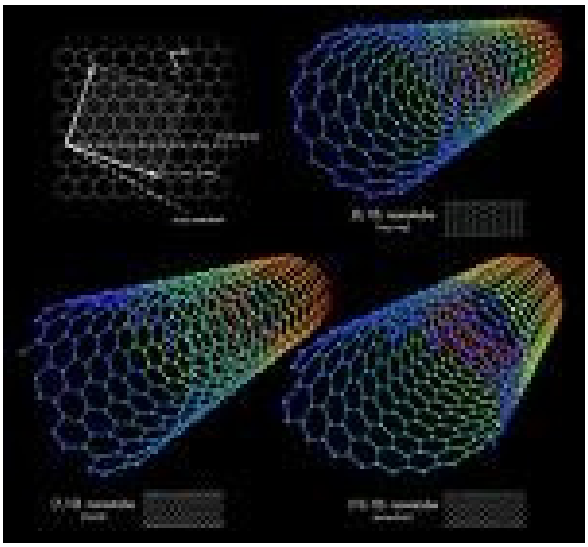
Εικόνα 2.1: *Το αστραφτερό άσπρο σκυρόδεμα του εικονιζόμενου ναού στη Ρώμη, αναμένεται να παραμείνει καθαρό …στους αιώνες των αιώνων, με τη βοήθεια της πρόσμιξης TiO_2*

Το σκυρόδεμα που προκύπτει από την προσθήκη TiO_2, (ήδη χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορα έργα σε όλο τον κόσμο), έχει ένα λευκό χρώμα που διατηρεί την λευκότητα του πολύ αποτελεσματικά, αντίθετα με τα λεκιασμένα κτίρια του ιστορικού παρελθόντος του σκυροδέματος.[61]

2.2.3 Νανοσωλήνες άνθρακα

Ένας ακόμα τύπος νανοσωματιδίου, που έχει αξιοσημείωτες ιδιότητες, είναι ο νανοσωλήνας άνθρακα (CNT). Οι ευεργετικές επιδράσεις της προσθήκης νανοσωλήνων άνθρακα στο σκυρόδεμα αποτελούν θέμα εντατικής ερευνητικής δραστηριότητας, και τα πρώτα απολέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά.

Οι CNT's είναι μια μορφή άνθρακα που ανακαλύφθηκε αρχικά το 1952 στη Ρωσία και, κυρίως αγνοήθηκε, επανήλθε όμως στο προσκήνιο τη δεκαετία του 90 στην Ιαπωνία. Έχουν κυλινδρικό σχήμα και διάμετρο νανομέτρων (λόγω της διαμέτρου τους ονομάζονται και νανοσωλήνες). Μπορεί να έχουν μήκος αρκετών νανομέτρων και ένα ή περισσότερα από ένα τοιχώματα. Οι αξιοσημείωτες ιδιότητές τους (πενταπλάσιο μέτρο του Young και οκταπλάσια αντοχή από το χάλυβα, ενώ έχουν το 1/6 της πυκνότητάς του) έχουν γίνει η αιτία για έντονη ερευνητική δραστηριότητα σε όλο τον κόσμο για την διερεύνηση πιθανών εφαρμογών τους.



α

β

Εικόνα 2.2 α & β: *CNT με ένα ή περισσότερα τοίχωματα*

Η προσθήκη μικρής ποσότητας CNT's μπορεί να βελτιώσει τις μηχανικές ιδιότητες δειγμάτων που περιέχουν κύρια φάση τσιμέντου Portland και νερό. Οξειδωμένοι πολυτοιχωματικοί νανοσωλήνες (MWNT's) δείχνουν τη μεγαλύτερη βελτίωση και στην θλιπτική (+25 N/mm^2) αλλά και στην εφελκυστική αντοχή (+8 N/mm^2), σε σύγκριση με τα μη ενισχυμένα δείγματα αναφοράς.

Ωστόσο, με την προσθήκη νανοσωλήνων άνθρακα σε οποιοδήποτε υλικό προκύπτουν δύο προβλήματα: η συσσωμάτωση των νανοσωλήνων και η έλλειψη συνάφειας μεταξύ αυτών και του περιέχοντος μακροϋλικού. Λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ των φύλλων γραφενίου των νανοσωλήνων, οι σωλήνες τείνουν να συναθροίζονται και να σχηματίζουν δέσμες ή «σχοινιά» τα οποία μπορεί ακόμα και να περιπλέκονται μεταξύ τους. Για να επιτευχθεί ομοιόμορφη διασπορά πρέπει να απεμπλακούν.

Επίσης, λόγω της γραφιτοειδούς φύσης τους, δεν υπάρχει κατάλληλη σύμφυση μεταξύ του νανοσωλήνα και του περιέχοντος μακροϋλικού, πράγμα που προκαλεί την επονομαζόμενη ολίσθηση. Απαιτείται δηλαδή επιπρόσθετη έρευνα για να καθοριστούν οι βέλτιστες τιμές των νανοσωλήνων άνθρακα και των παραγόντων διασποράς για το σχεδιασμό μίξης.

Το κόστος της προσθήκης CNT's στο σκυρόδεμα μπορεί να είναι απαγορευτικό προς το παρόν, όμως γίνεται προσπάθεια μείωσης της τιμής τους (που μπορεί να φτάνει και τα 1000€/gr αναλόγως με την ποιότητα) και, όταν αυτή η μείωση επιτευχθεί τότε τα οφέλη από την προσθήκη τους στο σκυρόδεμα θα αξιοποιηθούν αποτελεσματικότερα.

2.2.4 Έξυπνα αδρανή

Τα αδρανή αποτελούν με τη σειρά τους αντικείμενο μελέτης. Μελλοντικά, τα αποκαλούμενα «έξυπνα αδρανή», θα προστίθενται στο χίδην σκυρόδεμα οδοποιίας έτσι ώστε αργότερα να «διαβάζονται» από όχημα με ειδικό εξοπλισμό καταγραφής. Η θεωρία αυτή έχει ως στόχο το διασκορπισμό μικρο-ηλεκτρομηχανικών συσκευών (ΜΕΜ) στο σκυρόδεμα αλλά μια προέκταση αυτής της θεωρίας οραματίζεται και μια έξυπνη «νανο-σκόνη» που θα ψεκάζεται (ή ακόμα και θα βάφεται) επάνω στην επιφάνεια ή θα

ενσωματώνεται με το μίγμα και θα παρέχει δυνατότητες καταγραφής ευρείας κλίμακας σε ένα συγκατευθυνόμενο «έξυπνο» δίκτυο.

Τρέχουσα έρευνα γύρω από την παραπάνω εφαρμογή δείχνει ότι οι αισθητήρες νανοτεχνολογίας έχουν μεγάλη δυνητική εφαρμογή σε δομές σκυροδέματος για τον έλεγχο ποιότητας των δομών αυτών και καταγραφή της ανθεκτικότητάς τους, καθώς μπορούν να σχεδιαστούν α) για τη μέτρηση της πυκνότητας και του ιξώδους του σκυροδέματος β) για την καταγραφή της ωρίμανσης του σκυροδέματος και τη μέτρησης της συρρίκνωσής του και γ) για τη μέτρηση βασικών παραμέτρων για την ανθεκτικότητα της εκάστοτε δομής, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η συγκέντρωση χλωρίου, το PH, το διοξείδιο του άνθρακα, οι τάσεις, η διάβρωση του οπλισμού και οι δονήσεις.

Ακόμα, οι αισθητήρες αυτοί έχουν την ιδιότητα να ενεργοποιούνται και να αναφέρονται ασύρματα ή δια μέσω δόνησης, γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει σε ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου της κυκλοφορίας ή της κατάστασης των οδοστρωμάτων. Ακόμα, έρευνα γύρω από κάποια νανοσωματίδια και τους νανοσωλήνες άνθρακα (CNT's) δείχνει ότι τα σωματίδια αυτά όχι μόνο αυξάνουν την θλιπτική αντοχή δειγμάτων τσιμεντοκονίας, όπως άλλωστε προαναφέρθηκε, αλλά μπορούν να αλλάξουν και τις ηλεκτρικές τις ιδιότητες. Έτσι θα μπορούμε να ελέγχουμε την κατάσταση του κονιάματος και να εντοπίζουμε τις πιθανές βλάβες.

Εικόνα 2.3: *Το μίγμα ινών άνθρακα και συμβατικού σκυροδέματος είναι ένα ηλεκτρικά αγώγιμο «έξυπνο σκυρόδεμα» που μπορεί να παρακολουθείται και να ελέγχεται διαρκώς για διαφοροποιήσεις στην ηλεκτρική του αντίσταση, καθώς το υλικό υφίσταται φορτίσεις. Η εφαρμογή του σε φράγματα και άλλες κατασκευές που φέρουν τεράστιες πιέσεις θα ήταν ανεκτίμητης χρησιμότητας, καθώς θα μας προειδοποιούσε πολύ νωρίτερα για πιθανές αστοχίες*

2.2.5 Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ), χαρακτηρίζεται από υψηλή ρευστότητα και μεγάλη αντίσταση στο διαχωρισμό. Η σύνθεσή του είναι τέτοια, ώστε να μην απαιτείται δόνηση για τη διάστρωση και τη συμπύκνωσή του. Κατά συνέπεια, η χρήση του προσδίδει μειωμένο κόστος στην όλη κατασκευή, λόγω της μικρής διάρκειας της σκυροδέτησης (μέχρι και 80% πιο σύντομα) και της εξοικονόμησης ενέργειας αφού δεν χρησιμοποιούνται δονητές, αλλά και λόγω του μικρότερου αριθμού εργατών συνεπώς και ημερομισθίων.

Εικόνα 2.4: *Διάστρωση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος χωρίς τη χρήση δονητών*

Το υλικό συμπεριφέρεται σαν παχύρευστο υγρό και η συμπεριφορά αυτή μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη πολυκαρβοξυλικών ενώσεων (υλικά παρεμφερή με το πλαστικό που αναπτύχθηκαν με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας). Τα μίγματα ΑΣΣ που περιέχουν υψηλό ποσοστό λεπτών, απαιτούν ένα πολύ αποτελεσματικό σύστημα διασποράς για να διατηρούνται ρευστά και εργάσιμα για μεγάλο χρονικό διάστημα και με χαμηλούς λόγους Νερού/Τσιμέντου, και μόνο οι πολυκαρβοξυλικές ενώσεις μπορούν να ανταποκριθούν επιτυχώς στις απαιτήσεις αυτές. Επιπλέον, βοηθούν στην ανάπτυξη υψηλών αντοχών από νωρίς στο σκυρόδεμα έτσι ώστε η απομάκρυνση των ξυλοτύπων να γίνεται χωρίς μεγάλες καθυστερήσεις, πράγμα που αλλιώς παρατηρείται ιδιαίτερα το χειμώνα, όταν λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών η ενυδάτωση του τσιμέντου επιταχύνεται ακόμα και με ατμό.

2.2.6 Ενίσχυση με ίνες

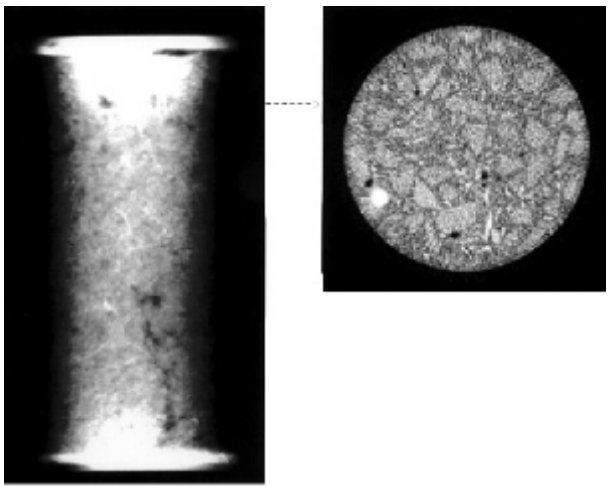
Σήμερα, η περιτύλιξη υφιστάμενων στοιχείων σκυροδέματος με λωρίδες ινών είναι αρκετά κοινή πρακτική ενίσχυσης. Μία πρόοδος στη διαδικασία αυτή έχει να κάνει με τη χρήση φύλλων ινών που περιέχουν σωματίδια νανο-πυριτίας και σκληρυντές. Αυτά τα νανοσωματίδια διαπερνούν την επιφάνεια του σκυροδέματος και κλείνουν τις μικρές ρωγμές που βρίσκουν σε αυτήν, αλλά και βοηθούν στο σχηματισμό ενός δυνατού δεσμού μεταξύ της επιφάνειας του σκυροδέματος και της ινώδους ενίσχυσης.

Επεξεργασμένες ίνες άνθρακα και εμποτισμένα φύλλα ινών τοποθετούνται πάνω στην προετοιμασμένη επιφάνεια του σκυροδέματος και εφαρμόζονται με τη βοήθεια αυλακωτών ρολών. Η ικανότητα των ενισχυμένων δειγμάτων να παραλαμβάνουν φορτία μετά από ρηγμάτωση βελτιώνεται πάρα πολύ μετά την εφαρμογή των παραπάνω φύλλων, και τόσο αυτά όσο και η διεπιφάνεια αντέχουν κάτω από συνθήκες υγρασίας, ξηρότητας και ξεφλουδίσματος (απόξυσης). Η αντοχή αυτή των ενισχυμένων στοιχείων διατηρείται υψηλή και έπειτα από επαναλαμβανόμενους κύκλους ύγρανσης και ξήρανσης ή απόξεσης.

α

β

Εικόνα 2.5 α&β: *Δοκοί (α) και κολώνα (β) τυλιγμένες με φύλλα ινών*



Εικόνα 2.6: *Κατακόρυφη και οριζόντια τομή αφόρτιστου κυλινδρικού δοκιμίου σκυροδέματος ενισχυμένου με ίνες*

Εικόνα 2.7:*Ίνες SiO_2 που περιέχουν νανοσωματίδια*

2.3 Χάλυβας

Ο χάλυβας έγινε ευρέως διαθέσιμος μετά τη δεύτερη βιομηχανική επανάσταση στο δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα, και στις αρχές του 20^{ου}. Από τότε παίζει κύριο ρόλο στην κατασκευαστική βιομηχανία. Συνολικά, 185 εκατομμύρια τόνοι χάλυβα παράγονται στην Ε.Ε. κάθε χρόνο. Οι ιδιότητες του χάλυβα, όπως η αντοχή, η ανθεκτικότητα στη διάβρωση και η συγκολλητική του ικανότητα, είναι πολύ σημαντικές για το σχεδιασμό και την κατασκευή των μεταλλικών φορέων.

Η κόπωση είναι ένα σημαντικό πρόβλημα που μπορεί να οδηγήσει σε δομική αστοχία ενός χαλύβδινου φορέα υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, όπως

είναι οι πύργοι ή οι γέφυρες. Η αστοχία μπορεί να λάβει χώρα και σε καταπονήσεις (τάσεις) πολύ χαμηλότερες από το όριο διαρροής του υλικού και να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του προσδόκιμου ζωής της κατασκευής. Η σύγχρονη φιλοσοφία σχεδιασμού λαμβάνει υπόψη της ένα ή περισσότερα εκ των τριών περιοριστικών μέτρων: α. Σχεδιασμό βασισμένο σε δραματική μείωση στην επιτρεπόμενη καταπόνηση, β. μικρότερο προσδόκιμο ζωής, ή γ. καθεστώς τακτικών ελέγχων. Και τα τρία αυτά μέτρα έχουν μεγάλο αντίκτυπο στον κύκλο ζωής-κόστους ,και δημιουργούν θέματα τόσο αντοχής, όσο και ασφάλειας των κατασκευών.

Λύση στα προβλήματα και στους περιορισμούς αυτούς έρχεται να δώσει η νανοτεχνολογία, που με πολλά υποσχόμενα ερευνητικά της προγράμματα, προσβλέπει μεσοπρόθεσμα στην μελλοντική παραγωγή ανθεκτικότερων, ελαφρύτερων, καλύτερα συγκολλήσιμων και ολκιμότερων προϊόντων χάλυβα, όπως διατομές δοκών, καλώδια και βλήτρα. Επίσης, με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας, ο χάλυβας προστατεύεται από τη φωτιά και τη διάβρωση.

2.3.1 Εφαρμογές σε Χαλύβδινα Καλώδια

Τρέχουσες έρευνες γύρω από τον εξευγενισμό της φάσης τσιμεντίτη του χάλυβα σε μέγεθος νάνο-κλίμακας, έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή ανθεκτικότερων καλωδίων. Υψηλής αντοχής χαλύβδινα καλώδια χρησιμοποιούνται και στην κατασκευή γεφυρών αλλά και στην τάνυση προεντεταμένου σκυροδέματος και καλώδια υψηλότερης αντοχής και ανθεκτικότητας θα μείωναν σημαντικά το κόστος και τη διάρκεια κατασκευής τέτοιων έργων, ειδικά σε κρεμαστές γέφυρες όπου τα καλώδια διατρέχουν από άκρη σε άκρη κάθε φάτνωμα (άνοιγμα). [61]

α β

Εικόνα 2.8 α & β: *Χαλύβδινες γέφυρες με μεγάλα φατνώματα*

2.3.2 Εφαρμογές σε Χαλύβδινα Βλήτρα

Οι υψηλές κατασκευές (ουρανοξύστες) απαιτούν υψηλής αντοχής συνδέσμους, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί στην ανάγκη για υψηλής αντοχής βλήτρα. Η ικανότητα των υψηλής αντοχής βλήτρων επιτυγχάνεται γενικά μέσω κύκλων ψύξεως και τήξεως, και οι μικροδομές τέτοιων προϊόντων περιέχουν θερμασμένο (σκληρυνμένο) μαρτενσίτη. Όταν η αντοχή σε εφελκυσμό του σκληρυμένου μαρτενσίτη περνά τα 1200MPa ακόμη και μια πολύ μικρή ποσότητα υδρογόνου κονιορτοποιεί τα όρια του κόκκου, και το χαλύβδινο υλικό μπορεί να αστοχήσει κατά τη χρήση. Αυτό το φαινόμενο, που ονομάζεται καθυστερημένη θραύση έχει παρεμποδίσει περαιτέρω ενδυνάμωση των χαλύβδινων βλήτρων και η μέγιστη αντοχή τους έχει περιοριστεί κάπου γύρω στα 1000 με 1200 MPa.

Έρευνες σε νανοσωματίδια βαναδίου και μολυβδενίου έχουν δείξει ότι αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά το πρόβλημα της καθυστερημένης θραύσης. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται στο γεγονός ότι τα νανοσωματίδια περιορίζουν το φαινόμενο της ευθραυστότητας από το οξυγόνο και βελτιώνουν τη μικροδομή του χάλυβα μέσω της μείωσης των επιπτώσεων της ενδοκοκκικής φάσης του τσιμεντίτη. [61]

2.3.3 Εφαρμογές στις Χαλύβδινες Συγκολλήσεις

Οι συγκολλήσεις και η Ζώνη Επιρροής Θερμάνσεως που είναι παρακείμενη σε συγκολλήσεις μπορεί να είναι ασταθείς και να αστοχήσουν απροειδοποίητα όταν υποστούν ξαφνική δυναμική φόρτιση. Η αντοχή (σκληρότητα) της συγκόλλησης είναι ένα σημαντικό θέμα ειδικά σε ζώνες υψηλής σεισμικής δραστηριότητας. Αστοχίες των συγκολλήσεων και των ΖΕΘ οδήγησαν στην επαναξιολόγηση συγκολλημένων κατασκευαστικών συνδέσμων μετά από το σεισμό του Λος Άντζελες το 1994.

Η σημερινή φιλοσοφία σχεδιασμού προβλέπει επιλεκτική αποδυνάμωση των κατασκευών έτσι ώστε να δημιουργείται ελεγχόμενη παραμόρφωση μακριά από εύθρυπτες ζώνες συγκόλλησης, ή ακόμα και την ηθελημένη υπερδιαστασιολόγηση των κατασκευών αποσκοπώντας στον περιορισμό των τάσεων σε χαμηλές τιμές. Έρευνα που βρίσκεται σε εξέλιξη όμως, δείχνει ότι η προσθήκη νανοσωματιδίων μαγνησίου και ασβεστίου κάνει λεπτότερους τους κόκκους στις ΖΕΘ (περίπου στο 1/5 του μεγέθους του συμβατικού υλικού) στον εξηλασμένο χάλυβα, πράγμα που οδηγεί στην αύξηση της ανθεκτικότητας των συγκολλήσεων.

2.3.4 Εφαρμογές για Ελαστική Συμπεριφορά Χάλυβα

Παραδοσιακά, η συνδιαλλαγή μεταξύ της αντοχής και της ολκιμότητας του χάλυβα είναι ένα σοβαρό ζήτημα. Οι δυνάμεις στις μοντέρνες κατασκευές απαιτούν υψηλή αντοχή ενώ η ασφάλεια και η ανάγκη ανακατανομής των τάσεων απαιτεί υψηλή ελαστικότητα, γεγονός που έχει οδηγήσει στη χρήση όλκιμων υλικών χαμηλής αντοχής σε μεγαλύτερες ποσότητες απ' αυτές που θα χρησιμοποιούνταν αν επιλεγόταν ψαθυρό υλικό υψηλής αντοχής .

Εικόνα 2.9: *Αυξημένες απαιτήσεις σε ελαστική συμπεριφορά έχουν τα ψηλά μεταλλικά κτίρια*

Ένα νέο υλικό, το Sandvik Nanoflex, που έχει αναπτυχθεί σχετικά πρόσφατα, έχει την επιθυμητή υψηλή τιμή του μέτρου του Young και υψηλή αντοχή, έχοντας επίσης και ανθεκτικότητα στη διάβρωση λόγω της παρουσίας πολύ σκληρών σωματιδίων κλίμακας νανομέτρου στη χαλύβδινη βάση του. Συνδυάζει αποτελεσματικά υψηλή αντοχή με εξαιρετική μορφωσιμότητα και επί του παρόντος χρησιμοποιείται στην παραγωγή εξαρτημάτων, από ιατρικά όργανα μέχρι μέλη ποδηλάτων, και το πεδίο εφαρμογών του όλο και διευρύνεται.[61]

2.3.5 Ανοξείδωτος χάλυβας

Επίσης, η χρήση ανοξείδωτου χάλυβα στην ενίσχυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, έχει περιοριστεί μόνο σε απολύτως αναγκαίες περιπτώσεις, καθώς το κόστος του είναι απαγορευτικό. Παρόλα αυτά, με την ανάπτυξη του χάλυβα MMFX2, συνδυάζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά με την ανθεκτικότητα σε διάβρωση, η οποία οφείλεται στην τροποποιημένη νανοδομή του υλικού αυτού, που προσφέρει μια εναλλακτική επιλογή του συμβατικού ανοξείδωτου χάλυβα, αλλά σε χαμηλότερο κόστος.

2.3.6 Πυροπροστασία του χάλυβα

Η πυροπροστασία των χαλύβδινων κατασκευών προσδίδεται στα δομικά στοιχεία τους με μια επαλειπτική στρώση, που παράγεται με μια τσιμεντιτική διαδικασία, και εφαρμόζεται με ψεκασμό. Οι σημερινές επικαλύψεις με βάση το τσιμέντο Portland δεν είναι δημοφιλείς, λόγω του μεγάλου πάχους τους, και γιατί τείνουν να είναι εύθρυπτες. Έτσι απαιτούνται προσθήκες πολυμερών για να βελτιωθεί η πρόσφυσή τους.

Έρευνες πάνω στο νανο-τσιμέντο (που αποτελείται από σωματίδια κλίμακας νανομέτρων) δείχνουν ότι υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθεί ένα πρότυπο υλικό σε αυτόν τον τομέα εφαρμογής, επειδή το προκύπτον υλικό είναι σκληρό, ανθεκτικό και αποτελεσματικό σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Το υλικό προκύπτει με την ανάμειξη νανοσωλήνων (CNT's) άνθρακα με το τσιμεντοειδές υλικό προς κατασκευή ινώδων συνθετικών που μπορούν να φέρουν κάποιες από τις εξαιρετικές ιδιότητες των νανοσωλήνων, όπως η αντοχή. Επίσης, σαν συστατικό επικαλύψεων που αυξάνουν την πυραντοχή χρησιμοποιούνται και οι ίνες πολυπροπυλενίου.

2.4 Ξύλο

Το ξύλο είναι ένα υλικό που χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται στην κατασκευή από τα βάθη των αιώνων, και έχει βρει χρήστες σε όλα τον κόσμο μέσα στην ιστορία. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ξύλου, που σήμερα το καταστούν ένα μοναδικό και ελκυστικό υλικό και προς τη νανοτεχνολογία περιλαμβάνουν και τα εξής:

1. Είναι ένα από τα πιο άφθονα και εύκολα διαθέσιμα βιολογικά ακατέργαστα υλικά
2. Έχει μια νάνο-ινώδη κυτταρική αρχιτεκτονική, βασισμένη σε νάνο-ίνες κυτταρίνης
3. Αυτό-δημιουργείται δια μέσου ελεγχόμενων συνθετικών διαδικασιών από επίπεδο νάνο-κλίμακας σε επίπεδο μίκρο-κλίμακας
4. Η λεπτίνη-κυτταρίνη (lignocellulose) είναι ένα νάνο-υλικό του οποίου οι αλληλεπιδράσεις με άλλα νανο-υλικά είναι ανεξερεύνητη

5. Το ξύλο έχει την ιδιότητα να κατασκευάζεται πολυλειτουργικά.

6. Το ξύλο είναι ο ακρογωνιαίος λίθος για την πρόοδο της βασισμένης στη βιομάζα ανανεώσιμη οικονομία

7. Τα υλικά που έχουν ως βάση τους το ξύλο είναι εύκολα ανακυκλώσιμα και επαναχρησιμοποιήσιμα.

Δύο βασικές στρατηγικές έχουν σήμερα να κάνουν με την εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στο ξύλο και τα υλικά με βάση το ξύλο. Η πρώτη, χρησιμοποιεί νάνο-υλικά και νάνο-αισθητήρες που έχουν αναπτυχθεί μέσω της έρευνας άλλων κατασκευαστικών τομέων, και τους ενσωματώνει στις υπάρχουσες σήμερα μορφές ξυλείας που χρησιμοποιούνται στον κατασκευαστικό τομέα. Έτσι οι επιδόσεις των ξύλινων προϊόντων θα βελτιωθούν μέσω μικρών ή μεγάλων τροποποιήσεων και προσθηκών. Τα προϊόντα αυτά θα ποικίλουν, από ξυλεία ανθεκτική στην υγρασία, μέχρι και συνθετικά προϊόντα υψηλών επιδόσεων που θα περιέχουν ξύλο και παράγωγα του ξύλου, πολυμερή, μέταλλα, γυαλί και τσιμέντο.

Η δεύτερη στρατηγική έγκειται στην εκμετάλλευση των νανο-ιδιοτήτων του ίδιου του ξύλου για την ανάπτυξη νέων κατασκευαστικών υλικών με καινοτόμες μεθόδους παραγωγής. Η εκμετάλλευση και χρήση της βελτιωμένης γνώσης των δομών στη νάνο-κλίμακα αλλά και των ιδιοτήτων του ξύλου, θα οδηγήσουν τελικά σε υλικά και προϊόντα που είναι οικονομικά, ελαφριά, πολυλειτουργικά, βιολογικής βάσης και ικανά να ανταγωνιστούν το χάλυβα, το σκυρόδεμα και άλλα υλικά υψηλών επιδόσεων. [58]

Το ξύλο αποτελείται από νανοσωλήνες ή «νανο-νημάτια» (nano-fibrils), δηλαδή στοιχεία λεπτίνης-κυτταρίνης (lignocellulosic) από ξυλώδη ιστό, τα οποία είναι δυο φορές δυνατότερα από το χάλυβα, και έχουν περίπου το 25% της αντοχής των νανοσωλήνων άνθρακα. Εάν γίνει δυνατή η σύνθεση επιφανειών λεπτίνης-κυτταρίνης στη νανοκλίμακα, ή ακόμα και εάν γίνει δυνατό να εξαχθούν τα στοιχεία αυτά από το ξύλο, τότε θα έχουμε στη διάθεσή μας ένα εξαιρετικό υλικό με κόστος παραγωγής 10 με 100 φορές χαμηλότερο από το αντίστοιχο των νανοσωλήνων άνθρακα.

Η ενασχόληση της νανοτεχνολογίας με το ξύλο και τα υλικά που έχουν ως βάση τους το ξύλο θα μπορούσε να δώσει απίστευτες ως τώρα δυνατότητες ανάπτυξης για βιολογικής βάσης προϊόντα˙ προϊόντα με υπερ-αποδόσεις και υψηλό βαθμό ευχρηστίας. Τα προϊόντα αυτά θα έχουν ιδιότητες αντοχής που σήμερα βλέπουμε μόνο σε σύνθετα υλικά με βάση τον άνθρακα,

και θα έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και λειτουργικότητας μέσα σε πολύ υγρά περιβάλλοντα. Οι υπάρχουσες χρήσεις θα αυξηθούν με την ανάπτυξη βιο-σύνθετων υλικών χωρίς ρετσίνι ή σύνθετων ξύλου-πλαστικού με αυξημένη αντοχή και λειτουργικότητα λόγω των νάνο-εντεταμένων και νάνο-επεξεργασμένων δεσμών ίνα-με-ίνα και ίνα-με-πλαστικό. [61]

Η νανοτεχνολογία θα επιτρέψει την ανάπτυξη ευφυών ξύλινων και βιο-σύνθετων προϊόντων με διατάξεις νάνο-αισθητήρων για την μέτρηση δυνάμεων, φορτίων, επιπέδου υγρασίας και θερμοκρασίας, πίεσης και χημικών εκπομπών. Η νανοτεχνολογία μπορεί να ανιχνεύει και να προειδοποιεί για την επίθεση μυκήτων και τερμιτών, οι οποίοι καταστρέφουν το ξύλο. Η κατασκευαστική πολύ-λειτουργικότητα πάνω σε επιφάνειες λεπτίνης-κυτταρίνης στην νάνο-κλίμακα θα μπορούσε να ανοίξει νέες δυνατότητες για εφαρμογές όπως οι αυτό-αποστειρώμενες επιφάνειες, παραγωγή ενέργειας, και ηλεκτρονικές συσκευές.

Εικόνα 2.10:*Εφαρμογή επικάλυψης κατά της υγρασίας σε ξύλινη επιφάνεια*

Εικόνα 2.11:*Εφαρμογή επικάλυψης κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας σε ξύλινη επιφάνεια*

Οι σημερινές και πιο άμεσα πραγματοποιούμενες εφαρμογές φαίνεται να είναι οι επικαλύψεις οξειδίου του ψευδαργύρου, αργύρου, διοξειδίου του τιτανίου, για προστασία από τη υγρασία καθώς και άργιλοι και διοξείδιο του τιτανίου για αντιπυρική προστασία.

3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΑΛΛΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

3.1 Εισαγωγή

Οι μηχανικοί καλούνται σήμερα να δώσουν πρωτοποριακές λύσεις ώστε να καθυστερήσουν την κλιματική αλλαγή, συνδυάζοντας φιλόδοξα αρχιτεκτονικά σχέδια με την εξοικονόμηση ενέργειας. Η χρήση υλικών με κατάλληλες ιδιότητες, που σήμερα είναι δυνατή μέσω της νανοτεχνολογίας, προσφέρει στην αρχιτεκτονική τρόπους ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας με αντίστοιχα μεγαλύτερη πρωτοτυπία, και έτσι μπορούμε να πούμε ότι η χρήση της νανοτεχνολογίας στις κατασκευές συνδέεται άμεσα με την βιωσιμότητα.

Πέρα όμως από τα περιβαλλοντικά οφέλη, οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας μας προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια, άνεση και προστατεύουν τις κατασκευές από τη φθορά λόγω πολυκαιρίας ή λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται νέα υλικά τα οποία βρίσκουν εφαρμογές κυρίως στον τομέα της αρχιτεκτονικής, και κάνουν πιο εύκολη τη χρήση και τη συντήρηση των κτιρίων, με τις καινοφανείς τους ιδιότητες. Σύμφωνα με τις ιδιότητες τους, νανοϋλικά και νανοεπιφάνειες χρησιμοποιούνται σήμερα, ως στεγανωτικά, καθαριστικά, αντιμικροβιακά, θερμομονωτικά, αντηλιακά, σκληρυντικά κ.α.. Υπάρχει σήμερα μια μεγάλη γκάμα διαφορετικών και πρότυπων εφαρμογών νανοϋλικών που βρίσκονται είδη σε μαζική παραγωγή.

3.2 Θερμομόνωση

3.2.1 Μονωτικοί Πίνακες Κενού (vacuum insulation panels VIPs)

Οι πίνακες αυτοί παρέχουν πολύ καλή θερμική μόνωση έχοντας ελάχιστο πάχος. Σε σύγκριση με τα συνήθη μονωτικά υλικά, όπως το

πολυστηρόλιο, η θερμική αγωγιμότητα μειώνεται κατά δέκα περίπου φορές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, είτε την επίτευξη μεγαλύτερης θερμικής αντίστασης για το ίδιο πάχος μόνωσης, είτε την χρήση μικρότερου πάχους μόνωσης για την επίτευξη της ίδιας θερμικής αντίστασης. Με λίγα λόγια επιτυγχάνεται μέγιστη θερμική μόνωση με το μικρότερο δυνατό πάχος μονωτικού υλικού (0.005W/mK).

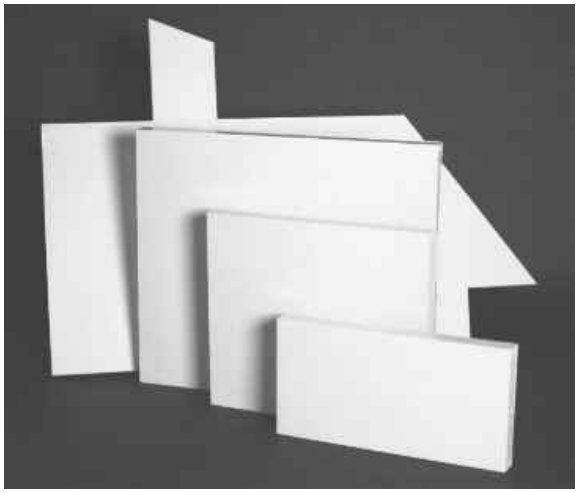
Η τεχνολογία των μονωτών κενού (VIPs) βασίζεται στην ίδια βασική αρχή που χρησιμοποιούνταν μέχρι σήμερα στα θερμό. Η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα επιτυγχάνεται με την παντελή έλλειψη αέρα, δημιουργία κενού. Στα θερμό, εκκενώνεται ο αέρας μεταξύ ενός γυάλινου κελιού με διπλό τοίχωμα, καθώς η κυλινδρική μορφή του κελιού προσφέρει αντίσταση στην υψηλή πίεση που εμφανίζεται στα τοιχώματα του κελιού λόγω της ύπαρξης κενού. Το πρόβλημα της υψηλής πίεσης όμως, παραμένει στους μονωτές κενού, που έχουν σχήμα επίπεδο αντί κυλινδρικού. Λύση εδώ έρχεται να δώσει η χρήση ενός ιδιαίτερα λεπτού υλικού (υπό μορφή αφρού, σκόνης, ή ινών fiberglass) που παρεμβάλλεται μεταξύ των επιφανειών, με νανοπορώδες που αγγίζει τα 100nm. Μια σχετικά μικρή πίεση είναι ικανή πλέον να εκκενώσει τον αέρα κάνοντας εφικτή την κατασκευή πινάκων (VIPs) και την χρήση τους στις κατασκευές. Το πάχος αυτών των πινάκων κυμαίνεται από 2mm έως 4mm.
Οι μονωτικοί πίνακες κενού χρησιμοποιούνται είτε εξ αρχής κατά την δόμηση νέων κτηρίων, είτε κατά την αναστύλωση – αναπαλαίωση παλαιότερων κατασκευών στους τοίχους ή στα δάπεδα.

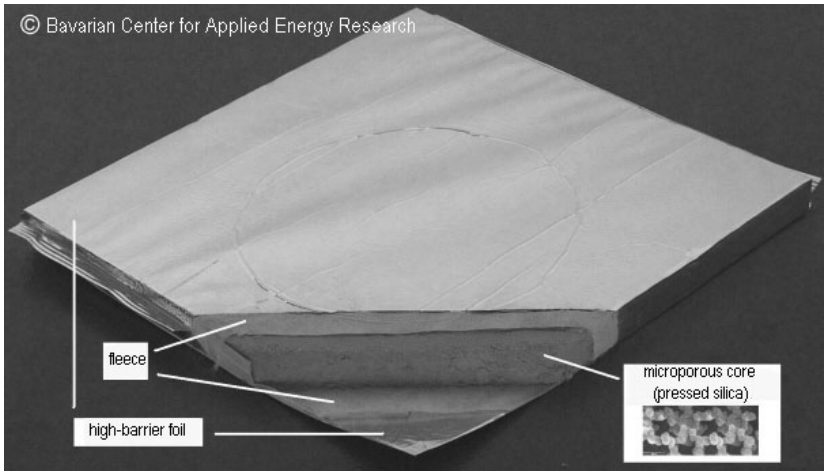
Οι πίνακες κατασκευάζονται ως εξής: Ένας περιβάλλων σκελετός, υπό μορφή φακέλου, κατασκευασμένος από πλαστικό (συνήθως καλύπτεται από αλουμίνιο) ή από ανοξείδωτο ατσάλι περιέχει το υλικό πλήρωσης σε κενό. Το υλικό πλήρωσης έχει την μορφή αφρού, σκόνης, ή ινών (fibre glass) και πρέπει πάντα να είναι πορώδες, να αντιστέκεται στην πίεση και να μπορεί να εκκενωθεί. Τα άκρα σφραγίζονται ερμητικά, τυλίγονται προς το εσωτερικό του φακέλου και κολλάνε σε αυτόν.

Κατά την κατασκευή πρέπει να ληφθούν υπ' όψη αρκετές παράμετροι. Συγκεκριμένα, πρέπει πάντα να διατηρούνται σταθερές διαστάσεις κατά την κατασκευή των πινάκων ή τουλάχιστον όποτε αυτό είναι εφικτό, καθώς σε αντίθετη περίπτωση, λόγω των ιδιαίτερων τεχνικών κατασκευής το κόστος γίνεται αρκετά υψηλό. Για την σωστή λειτουργία των πινάκων, πρέπει το περίβλημα του φακέλου (που περιέχει το κενό) να μην έχει τρύπες. Αυτό

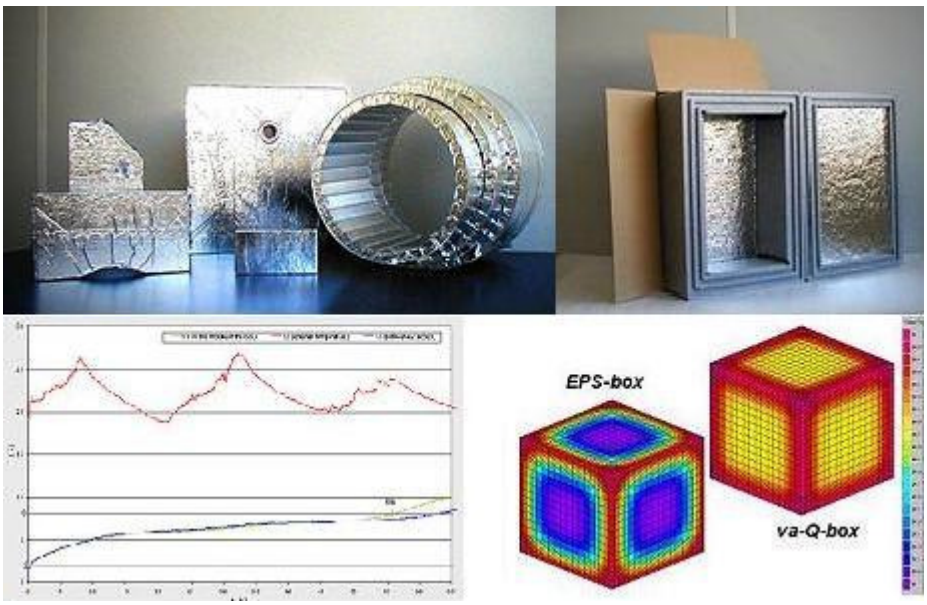
σημαίνει πως οι πίνακες δεν μπορούν να κοπούν, ώστε να μεταβληθεί το μέγεθός τους. Για περιοχές που παραμένουν ανοικτές ή για άλλες που διαπερνούν για οποιοδήποτε λόγω το μονωτικό υλικό, χρησιμοποιείται συνήθως συνδυασμός πινάκων διαφορετικών μεγεθών. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει επίσης να δίνεται και κατά την τοποθέτηση των πινάκων ώστε να μην μένουν κενά, που μπορεί να λειτουργήσουν ως «γέφυρες θερμότητας».

Οι μονωτικοί πίνακες κενού, υπάρχουν από το 1950, αλλά το υψηλό κόστος κατασκευής τους έκανε αδύνατη τη χρήση στις κατασκευές. Σήμερα η εκτεταμένη έρευνα έχει οδηγήσει στην σημαντική μείωση του κόστους και του χρόνου παραγωγής, λόγω και της χρήσης νέων υλικών. Ο χρόνος ζωής των πινάκων κυμαίνεται σήμερα μεταξύ 20 και 50 χρόνων, ενώ κάποια υλικά εμφανίζουν ακόμη μεγαλύτερη αντοχή. Η σημαντική αυτή βελτίωση οφείλεται, στην μεγάλη αντοχή του περιβάλλοντος υλικού, στον βαθμό του κενού στο εσωτερικό, στον τρόπο σφράγισης του φακέλου και επιπλέον στον τρόπο εγκατάστασης των πινάκων κατά την κατασκευή. Πρέπει τέλος να τονιστεί ότι οι πίνακες κενού μπορούν να ανακυκλωθούν.





Εικόνες 3.1 & 3.2: *Μονωτικοί πίνακες κενού VIPs.*

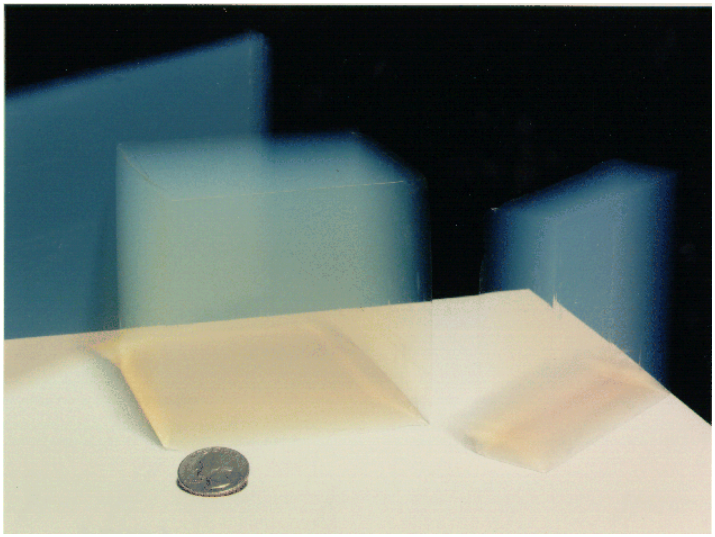


***Εικόνες 3.3 & 3.4**: Εφαρμογές Μονωτικών Πινάκων Κενού*

3.2.2 Aerogel

Πρόκειται για ένα νέο υλικό που εμφανίζει υψηλές αποδόσεις τόσο θερμικής μόνωσης όσο και ηχητικής. Είναι το πιο ελαφρύ στερεό υλικό , το οποίο δημιουργήθηκε το 1931. Το ζελέ αυτό είναι σφαιρικό, κοκκώδες και με γαλακτώδη υφή, ημιδιαφανές και έχει την μορφή νέφους. Δεν είναι τίποτε άλλο από έναν αεριούχο αφρό που αποτελείται σχεδόν από 100% αέρα (η ακριβής

περιεκτικότητα κυμαίνεται από 95% έως 99.9%). Το υπόλοιπο υλικό του αφρού είναι πυριτία (SiO_2).



***Εικόνα 3.5**: Πλάκες από θερμομονωτικό υλικό aerogel.*

***Εικόνα 3.6**: Λόγω των πολύ καλών θερμομονωτικών ιδιοτήτων του υλικού το ανθρώπινο χέρι δεν καίγεται.*

Ιδιαίτερης σημασίας για την ποιότητα του τζελ, είναι οι νανοδιαστάσεις των πόρων (μεγέθους 20nm) που σχηματίζονται καθώς σε αυτούς παγιδεύονται τα μόρια αέρα τα οποία αδυνατώντας να κινηθούν δίνουν στο υλικό τις άριστες θερμομονωτικές ιδιότητές του. Η πολύ υψηλή θερμική αντίσταση που εμφανίζει φαίνεται στον πολύ χαμηλό θερμικό συντελεστή του

υλικού που φτάνει τα 0.018W/mK. Πέρα από την απώλεια θερμότητας σε κρύες περιοχές (φαινόμενο «κρύου τοίχου»), εμποδίζεται η εισροή θερμότητας από έξω (σε ζεστά κλίματα). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα αεροτζελς να λειτουργούν καταλυτικά στην μείωση του κόστους ψύξης – θέρμανσης των χώρων. Χρησιμοποιείται σαν υλικό πλήρωσης σε διαφόρων τύπων κενά, όπως υαλοπίνακες, κλπ.
Λόγω της ιδιότητας του ως ημιδιαφανές υλικό, επιτρέπει την πολύ καλή διάδοση του φωτός και επιπλέον βοηθά στην σωστή κατανομή του στο χώρο.

Το διάπλετο φως, μετατρέπεται σε απαλό χωρίς λάμψη, με αποτέλεσμα υλικά που χρησιμοποιούνται για δημιουργία σκιάς να καθίστανται πλέον άχρηστα και επιπλέον να μην γίνεται χρήση τεχνητού φωτός κατά την διάρκεια της μέρας. Η ομοιόμορφη κατανομή του φωτός είναι και η αιτία του φαινομένου κατά τις σκοτεινές μέρες, το εσωτερικό του κτηρίου να μοιάζει πιο φωτεινό από το εξωτερικό περιβάλλον. Οι ακτίνες UV δε χρωματίζουν το υλικό. Τέλος λόγω της υδρόφοβης ιδιότητας του εμποδίζει τη διάδοση υγρασίας.

Το αεροτζέλ με τις πολύ καλές θερμικές του ιδιότητες, βοηθά σήμερα, σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας στις κατασκευές. Επιπλέον επιτρέπει την καλή κατανομή του φωτός την μέρα και λόγω του μικρού βάρους που έχει είναι ιδιαίτερα ευέλικτο κατά τις διάφορες χρήσεις του.

3.3 Πυροπροστασία

3.3.1 Αντιπυρικό γυαλί (Aerosil)

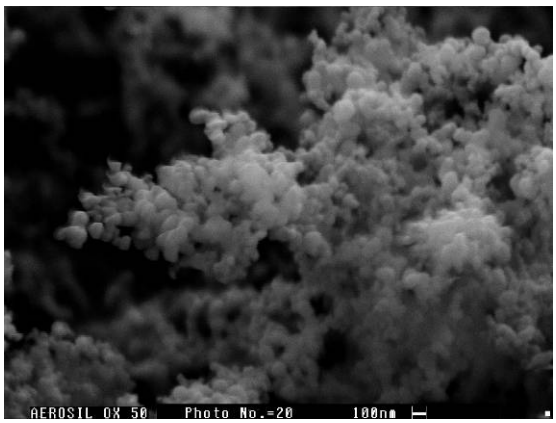
Μια ποσότητα πάχους 3mm αυτού του υλικού, που χρησιμοποιείται ως υλικό πλήρωσης ανάμεσα σε δύο τζάμια, είναι ικανό να αντέξει για περισσότερο από 120 λεπτά συνεχούς έκθεσης σε φλόγες θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 1000^0C. Το αρχικό υλικό (aerosil) είναι ένα πυρογενετικό πυριτικό οξύ, που βρίσκει χρήση στην βιομηχανία χρωμάτων. Τα πυρογενετικά πυριτικά νανοσωματίδια, παρά το μικρό τους μέγεθος (7nm), είναι ιδιαίτερα ενεργά καθώς έχουν σχετικά μεγάλη επιφάνεια. Ανάλογα με την επιθυμητή διάρκεια πυροπροστασίας το υλικό πλήρωσης τοποθετείται ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα γυαλιά. Το μέγεθος των σωματιδίων πλήρωσης είναι μεταβλητό

και μετριέται σε τετραγωνικά μέτρα της επιφανείας του ανά γραμμάριο. Τα συνήθη προϊόντα κυμαίνονται μεταξύ 90 και 380 τετραγωνικά μέτρα ανά γραμμάριο.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του, είναι το σχετικά μικρό βάρος του γυαλιού, η λεπτή κατασκευή του καθώς και η μεγάλη διάρκεια της πυροπροστασίας. Οι παραπάνω ιδιότητες λειτουργούν καταλυτικά κατά την κατασκευή, εγκατάσταση, μεταφορά, αισθητική και φυσικά κατά την περίπτωση πυρκαγιάς. Κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς το αντιπυρικό υλικό απλώνεται με την μορφή αφρού, εμποδίζοντας την εξάπλωση της πυρκαγιάς και διατηρώντας ταυτόχρονα ανοικτές τις εξόδους διαφυγής τόσο για τους χρήστες όσο και για τους πυροσβέστες. Το επιπλέον στρώμα δεν εμφανίζει ρωγμές ή άλλα σημάδια και είναι πρακτικά αόρατο. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα, είναι η πολύ καλή ηχομόνωση που προσφέρει.

Από το 1990 και μετά, γίνονται έρευνες για την μετατροπή αντιπυρικών υλικών από πυρίτιο σε γυαλί ασφαλείας. Αυτή η προσέγγιση μειώνει αρκετά την κατανάλωση ενέργειας κατά την κατασκευή του υλικού και είναι περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον. Σήμερα έχει απλοποιηθεί αρκετά η περίπλοκη παραγωγική διαδικασία, όπου χρησιμοποιούνται νανοσωματίδια μικρότερα των 70nm, με αποτέλεσμα την κατασκευή ενός σταθερού υψηλής διαφάνειας αντιπυρικού γυαλιού. Η αντιπυρική μάζα δεν επηρεάζεται από την υπεριώδη ακτινοβολία, ενώ ακόμα και μικρού πάχους στρώματα προσφέρουν προστασία για περισσότερα από 120 λεπτά. Κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς το υλικό δημιουργεί ένα προστατευτικό στρώμα που εμποδίζει επιπλέον και την διάδοση της θερμότητας.

Εικόνες 3.7 & 3.8*: Aerosil: πυρογεννετικό πυριτικό οξύ*



Εικόνες 3.9 & 3.10*: Μοριακή δομή του aerosil*

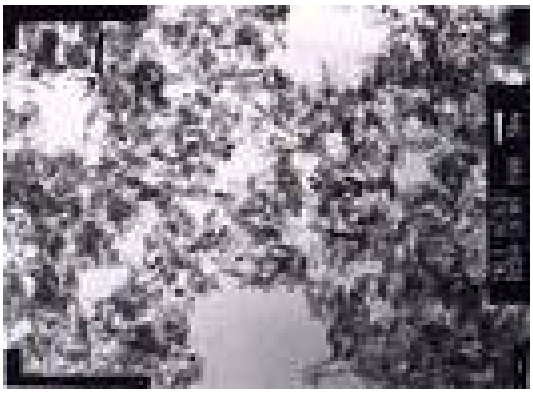
3.4 Αντιμικροβιακή προστασία

Οι φωτοκαταλυτικές επιφάνειες (photocatalytic surfaces), χρησιμοποιούνται για αντιμικροβιακή προστασία, λόγω της ιδιότητας που έχουν να αποδομούν οργανικά υποκατάστατα που βρίσκονται στους ρύπους. Με την βοήθεια νανοσωματιδίων από άργυρο, κατασκευάζονται επιφάνειες που εμφανίζουν αντιβακτιριδιακές ή μικροβιοκτόνες ιδιότητες. Με την μορφή πολύ λεπτών και αόρατων επικαλύψεων ή υλικών στα οποία έχουν προστεθεί τα σωματίδια αυτά, προσφέρουν προστασία μεγαλύτερη και από αυτή των αντιβιοτικών. Στο εμπόριο αυτή την στιγμή είναι διαθέσιμα προϊόντα επικάλυψης δαπέδων, μπογιές, υφάσματα κ.α.. Στην αρχιτεκτονική εσωτερικών χώρων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προϊόντα επικάλυψης πατωμάτων, τοίχων ή ταβανιών, επίπλων, διακοπτών κ.α.

Η αντιβακτιριδιακή δράση, επιτυγχάνεται με την χρήση νανοσωματιδίων από άργυρο μεγέθους λίγων νανόμετρων. Οι αντιμικροβιακές ιδιότητες του αργύρου είναι γνωστές για περισσότερα από 3000 χρόνια. Η διαφορά της χρήσης του στην νανοτεχνολογία δεν είναι άλλη από το μέγεθος των σωματιδίων που χρησιμοποιούνται. Η δράση του αυτή, είναι αποτέλεσμα της ιδιότητας των ιόντων του αργύρου να διαλύονται με μικρό ρυθμό. Ο μεγάλος λόγος επιφάνειας προς όγκο των νανοσωματιδίων, σημαίνει πως τα ιόντα μπορούν να ελευθερώνονται πιο εύκολα, με αποτέλεσμα να καταπολεμούν τα μικρόβια πιο αποτελεσματικά. Τα βακτήρια δεν έχουν καμία πιθανότητα επιβίωσης καθώς τα ιόντα αρχικά εμποδίζουν την κυτταρική τους διαίρεση,

στην συνέχεια αποσταθεροποιούν την μεμβράνη, τα τοιχώματα και το πλάσμα του κυττάρου τους και τέλος εμποδίζουν την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών από αυτά. Με τον τρόπο αυτό τα μικρόβια εξαλείφονται χωρίς την χρήση χημικών. Τέλος πρέπει να σημειωθεί πως η αντιβακτιριδιακή δράση των υλικών αυτών είναι μόνιμη και δεν χάνεται με την πάροδο του χρόνου.

Εικόνες 3.11 & 3.12*: Εφαρμογές αντιμικροβιακών νανο-επικαλύψεων*



Εικόνα 3.13*: Αντιμοκροβιακή σκόνη νανο-διοξειδίου του Τιτανίου*

3.5 Προστασία από τον ήλιο

3.5.1 Προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία

Η προστασία από την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία του ηλίου, είναι ένα ζητούμενο που αφορά όλα σχεδόν τα χρηστικά αντικείμενα του ανθρώπου. Τα έπιπλα καθώς και οι χρωματισμένες επιφάνειες ξεθωριάζουν έντονα όταν αυτές εκτίθενται στο υπεριώδες φως, καθώς αυτό καταστρέφει τις χρωστικές ουσίες. Εκτός όμως από την εξωτερική μορφή και, κατά συνέπεια την

εμφάνιση των επίπλων, καταστρέφεται και το υλικό κατασκευής τους πράγμα που επηρεάζει πιθανότατα και την ευστάθεια τους.

Υπάρχουν δύο τρόποι προστασίας από την υπεριώδη ακτινοβολία. Ο ένας σχετίζεται με την χρήση υλικών που φιλτράρουν την βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία των ηλιακών ακτίνων, πριν αυτές έρθουν σε επαφή με το προς προστασία υλικό. Για τον λόγο αυτό πρέπει να βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια των αντικειμένων (υλικών), η οποία και εκτίθεται στην υπεριώδη ακτινοβολία, και έχουν την μορφή μιας προστατευτικής λάκας. Ο δεύτερος τρόπος προστασίας βασίζεται, στα γνωστά πλέον αντιοξειδωτικά (free – radical scavengers), τα οποία σε αντίθεση με την πρώτη προσέγγιση αρχίζουν να λαμβάνουν δράση αργότερα. Διακόπτουν την αποδόμηση των υλικών που έχουν ήδη υποστεί ζημιά, αντιδρώντας με τις ελεύθερες ρίζες (radicals) και μετατρέποντας τις σε αδρανή συστατικά. Σε αυτή τη μέθοδο η ουσία εμποτίζεται στο ίδιο το υλικό.

Το μειονέκτημα και των δύο προσεγγίσεων είναι ότι καμία δεν προσφέρει απόλυτη προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία, μόνο μειώνουν το μέγεθος και καθυστερούν την φθορά. Επιπλέον, καθώς και τα δύο υποκατάστατα είναι οργανικά υλικά υπόκεινται και αυτά στην φθορά της υπεριώδους ακτινοβολίας, πράγμα που συνεπάγεται την μείωση του βαθμού προστασίας με την πάροδο του χρόνου. Με άλλα λόγια ο εκφυλισμός του υλικού λαμβάνει χώρα με γρήγορους ρυθμούς˙ πρώτα το υλικό χάνει το χρώμα του, στην συνέχεια κονιορτοποιείται, και τέλος σχηματίζεται μία ελαφριά, λεπτή στρώση σκόνης στην επιφάνεια. Για τους λόγους αυτούς, οι κλασικοί τρόποι προστασίας από την υπεριώδη ακτινοβολία δεν είναι δυνατό να δώσουν μια αξιόπιστη και μακράς διάρκειας λύση στο πρόβλημα.

Ένας πρωτότυπος τρόπος προστασίας από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι η χρήση ανόργανων υποκατάστατων. Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι ότι δεν επηρεάζονται από την ακτινοβολία και έτσι προσφέρουν διαρκή προστασία. Τα πιο κατάλληλα υποκατάστατα για τέτοιου είδους χρήση είναι το διοξείδιο του τιτανίου (TiO2), το οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO) και το οξείδιο του γερμανίου (CeO). Το διοξείδιο του τιτανίου προσφέρει προστασία από τις υψηλής ενέργειας UV – B ακτίνες, αφήνοντας το UV – A μέρος του φάσματος ανεπηρέαστο. Το οξείδιο του ψευδαργύρου προστατεύει από τις UV – A και UV – B ακτίνες που βρίσκονται κοντά στο φάσμα του ορατού φωτός, καλύπτοντας δηλαδή τη μεγαλύτερη φασματική περιοχή. Το CeO δεν

απορροφά μόνο όλες τις υπεριώδεις ακτίνες αλλά και ένα μέρος του ορατού φωτός, με αποτέλεσμα να δίνει μία απαλή κιτρινωπή απόχρωση, η οποία δυστυχώς περιορίζει τις εφαρμογές του.

Όλες οι προστατευτικές επικαλύψεις, πρέπει να είναι διαφανείς, ώστε να παραμένει αμετάβλητο το χρώμα και η δομή του υλικού που επικαλύπτεται. Για αυτό το λόγο, τα μεμονωμένα ανόργανα σωματίδια που προστατεύουν από την υπεριώδη ακτινοβολία, πρέπει να είναι μικρότερα από 15 nm. Κάτω από το μέγεθος αυτό, παύουν να διαθλούν το ορατό φως και παραμένουν ουσιαστικά αόρατα. Μεγαλύτερα σωματίδια, ή συσσωματώματα μικρότερων σωματιδίων σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προκαλούν εμφανή νεφελώματα.

Συσσωματώματα ελεύθερων μορίων κάνουν την εμφάνιση τους, σταδιακά στην αγορά υπό μορφή λάκας. Στο προσεχές μέλλον αναμένονται λάκες και βερνίκια που να μπορούν να προσφέρουν υψηλή προστασία από τις υπεριώδεις ακτίνες. Χρησιμοποιώντας αυτά τα ανόργανα συστατικά υπό μορφή λάκας είναι δυνατό να επιτύχει κανείς προστασία που δεν φθίνει με την πάροδο του χρόνου.

Εικόνες 3.14 & 3.15*: Προϊόντα που χρησιμοποιούν εφαρμογές της νανοτεχνολογίας για προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία*

3.5.2 Αντηλιακή προστασία

Υπάρχουν δύο είδη γυαλιού που σκοτεινιάζει μόνο του (self – darkening), τα οποία χρησιμοποιούνται για την προστασία από τον ήλιο:

Οι ηλεκτροχρωματικά μεταβαλλόμενες επιστρώσεις γυαλιών, υπάρχουν στην αγορά εδώ και αρκετό καιρό, αλλά έχουν δύο μειονεκτήματα που περιόρισαν σε μεγάλο βαθμό τις εφαρμογές τους. Χρειάζονται μεγάλες ποσότητες συνεχούς ρεύματος και επιπλέον μεγάλες επιφάνειες αυτού του τύπου του γυαλιού παρουσιάζουν αρκετές οπτικές ανωμαλίες.

Η ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας έδωσε μια νέα έννοια στην χρήση ηλεκτροχρωματικού γυαλιού στα κτήρια. Η βασική διαφορά, με το αρχικό προϊόν, είναι ότι πλέον δεν είναι αναγκαία η ύπαρξη, σταθερού ηλεκτρικού ρεύματος. Απαιτείται μόνο η χρήση ενός διακόπτη για την μεταβολή του βαθμού διάδοσης του φωτός μεταξύ δύο καταστάσεων. Χρειάζεται για παράδειγμα ένας διακόπτης για την μετάβαση από εντελώς διάφανο χρώμα γυαλιού σε πιο σκούρο και άλλος ένας για την επιστροφή στην αρχική κατάσταση.

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τον χρωματισμό της πολύ λεπτής αυτής νανο – επικάλυψης είναι πάρα πολύ μικρή. Ο χρόνος που απαιτείται για την μεταβολή από μία χρωματική κατάσταση σε μία δεύτερη φτάνει τα μερικά λεπτά, που είναι μάλλον αρκετός. Το εύρος των διαστάσεων αυτών των επικαλύψεων είναι σχετικά μικρό καθώς κυκλοφόρησαν αρκετά πρόσφατα στην αγορά, με μεγαλύτερες αυτές των 120 x 200 εκατοστά. Είναι επίσης δυνατό να συνδυαστεί η συγκεκριμένη ιδιότητα με άλλες, όπως αυτές της ασφαλείας , θερμικής μόνωσης ή της ηχητικής μόνωσης.

Ένας δεύτερος τρόπος για την κατασκευή πιο σκούρων γυάλινων επιφανειών είναι το φωτοχρωματικό γυαλί. Στην περίπτωση αυτή το ηλιακό φως αναγκάζει αυτόματα το γυαλί να γίνει πιο σκούρο, χωρίς την χρήση διακοπτών.

Και στις δύο περιπτώσεις οι κουρτίνες και οι περσίδες, καθίστανται άχρηστες. Για το εσωτερικό γραφείων με υπολογιστές, όπου απαιτείται φως χωρίς λάμψη και σκιά και οι δύο περιπτώσεις είναι ιδανικές. Δημιουργούν στο εσωτερικό του κτηρίου σκιά ενώ παράλληλα διατηρούν την συνεχή οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον.

3.5.3 Μείωση αντανακλάσεων

Η διάδοση του φωτός, μέσω διαφανών υλικών όπως το γυαλί ή το πλαστικό, τα οποία έχουν την ιδιότητα να αντανακλούν ένα μέρος του φωτός

αυτού, μειώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η αντανάκλαση των ακτίνων του τελευταίου. Το γυαλί επιτρέπει στο 90 τοις εκατό του προσπίπτοντος φωτός να περάσει μέσα από αυτό.[1] Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη μεταβολή του δείκτη διάθλασης του φωτός μεταξύ δύο διαφορετικών μέσων (π.χ. γυαλί και αέρας). Επομένως ο δείκτης διάθλασης των υλικών είναι ο παράγοντας που πρέπει να μεταβληθεί, για την αύξηση της διάδοσης του φωτός μέσω αυτών.

Στην αρχιτεκτονική εσωτερικών χώρων, η χρήση του αντι αντανακλαστικού γυαλιού ως μέσο μείωσης των αντανακλάσεων, δεν είναι κάτι καινούργιο. Η περίπλοκη κατασκευή του, που περιλαμβάνει την εφαρμογή διάφορων στρωμάτων, σημαίνει ότι πρόκειται για ένα ιδιαίτερα ακριβό υλικό. Επιπλέον, η προσκόλληση στο πλαστικό δεν είναι το ίδιο καλή όσο στο γυαλί

Ένα περαιτέρω μειονέκτημα είναι ότι τέτοια πολυστρωματικά συστήματα λειτουργούν μόνο στο φάσμα του ορατού φωτός με μήκος κύματος από 380 έως 780 νανόμετρα, με αυξημένες αντανακλάσεις σε άλλα μέρη του φάσματος. Δυστυχώς, τα οφέλη από το φάσμα του ορατού φωτός, δεν μπορούν να αντισταθμίσουν τις απώλειες στην υπέρυθρη περιοχή και για το λόγο αυτό δεν αποτελούν αξιόπιστες λύσεις για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των ηλιακών συσσωρευτών.

Οι διαφανείς μονοδιάστατες δομές (επικαλύψεις) επιφάνειας, όπου τα μόρια είναι μικρότερα από το μήκος κύματος του ορατού φωτός, προσφέρουν όχι μόνο μία καινοτόμο αλλά και μια οικονομικώς αποδοτική λύση κατά των αντανακλάσεων. Η δομή τους αποτελείται από τις μικρές, 30 έως 50 νανόμετρα, σφαίρες διοξειδίου πυριτίου (SiO_2). Ένα ενιαίο διαχωριστικό στρώμα, τοποθετείται με τη βύθιση του γυαλιού ή του πλαστικού στο διάλυμα και καλύπτει ένα μεγάλο εύρος φάσματος του ορατού φωτός. Ο δείκτης διάθλασης του εξωτερικού στρώματος είναι πολύ μικρός και μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια, όπως με μεγάλη ακρίβεια μπορεί να καθοριστεί και το πάχος της επικαλύψεις. Το πάχος των 150 νανομέτρων θεωρείται ιδανικό. Η αναλογία του αντανακλώμενου φωτός μειώνεται από 8% σε λιγότερο από 1%.

Ένας άλλος αλλά οικονομικώς αποδοτικός τρόπος για την παραγωγή επιφανειών που περιορίζουν τις αντανακλάσεις είναι το φαινόμενο moth – eye. Στη Γερμανία έχει αναπτυχθεί μια παρόμοια δομή που μπορεί να εντυπωθεί ή να θερμοκολληθεί επάνω στο γυαλί. Η χρησιμοποίηση θερμικών διεργασιών για την επεξεργασία των επιφανειών αυτών, μπορεί να αυξήσει, την οπτική μετάδοση του γυαλιού σε πάνω από 98%, και των πλαστικών, όπως το

ακρυλικό γυαλί για παράδειγμα, σε πάνω από 99%. Εκτός από την δράση κατά των αντανακλάσεων, στα υλικά μπορούν να εισαχθούν και ιδιότητες που χρησιμεύουν για την απομάκρυνση της βρωμιάς ή ακόμα και αντιστατικές ιδιότητες που χρησιμεύουν για την απομάκρυνση της σκόνης.

Το μειονέκτημα της συμβατικής τεχνολογίας κατά των αντανακλάσεων, όπως η περιορισμένη φασματική περιοχή και η σύνθετη διαδικασία παραγωγής, εξαλείφονται με τη χρήση της νανοτεχνολογίας. Το γυαλί κατά των αντανακλάσεων, μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλες ποσότητες στις κατασκευές, προκειμένου να ωφεληθεί από την αυξανόμενη ηλιακή μετάδοση, ως αποτέλεσμα του μεγάλου φασματικού εύρους των πολλαπλών ανακλάσεων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αυξανόμενη αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς ολόκληρο το φάσμα της ηλιακής ενέργειας από 400 έως 2500 νανόμετρα, είναι πλέον εκμεταλλεύσιμο. Ο βαθμός μετάδοσης στις χαμηλές γωνίες της πρόσπτωσης είναι επίσης πολύ καλύτερος από πριν, καθιστώντας τέτοια συστήματα λιγότερο εξαρτώμενα από τη γωνία του ήλιου. Με τη μείωση του ποσού υπο – χρησιμοποιούμενης και επομένως χαμένης ηλιακής ενέργειας, το ενεργειακό κέρδος και η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων βελτιώνονται αρκετά, με συνέπεια την αύξηση της απόδοσης τους μέχρι και 15%.

Οι νανοεπικαλύψεις έχουν ένα πολύ μεγάλο χρόνο ζωής και δεν είναι πλέον πιο ευαίσθητες στους ρύπους από το κανονικό γυαλί. Σε σύγκριση με το συμβατικό γυαλί κατά των αντανακλάσεων, εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερη αντίσταση σε γδαρσίματα, πράγμα που τα καθιστά κατάλληλα για καθημερινή χρήση.[1]

3.6 Ρύθμιση θερμοκρασίας: Υλικά μεταβαλλόμενης φάσης (phase changing materials, PCMs)

Για την ρύθμιση της θερμοκρασίας στα κτήρια (ψύξη – θέρμανση), απαιτούνται τεράστιες ποσότητες ενέργειας με ταυτόχρονη εκπομπή, αντίστοιχων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα. Με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας, η ενέργεια αυτή είναι δυνατό να μειωθεί σημαντικά. Τα υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, που είναι επίσης γνωστά ως υλικά μεταβαλλόμενης φάσης (PCM), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ρύθμιση

της εσωτερικής θερμοκρασίας. Η καλή θερμική μόνωση του PCM, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε σε νέα είτε σε παλαιά κτήρια, για την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας ή για την μείωση απότομων μεταβολών της. Επιδεικνύει την ίδια καλή συμπεριφορά είτε χρησιμοποιείται για ψύξη είτε για θέρμανση.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που καταδεικνύει την υψηλή θερμική χωρητικότητα των αποθηκευτών λανθάνουσας θερμότητας, είναι ένας κύβος πάγου, που μεταβάλλεται στη ρευστή του φάση στους 0oC. Η υγρή κατάσταση αρχίζει επίσης στους 0° C αλλά η ενέργεια που απαιτείται για αυτή την μεταβολή της κατάστασης είναι η ίδια με αυτή που χρειάζεται για την θέρμανση υγρού νερού από τους 0° C στους 80° C. Αυτή η «κρυφή» αποθήκη θερμότητας, είναι σχετικά (correspondingly) μεγάλη, με αποτέλεσμα η αρχή στην οποία βασίζεται να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μόνωση κτηρίων. Η λέξη «λανθάνουσα» χρησιμοποιείται με την έννοια της «κρυφής», δηλαδή υπάρχει αλλά δεν φαίνεται.

Η χρήση υλικών μεταβαλλόμενης φάσης δεν είναι σύγχρονη. Στην αρχαία Βαγδάτη, τα δωμάτια διατηρούνταν δροσερά με την χρήση πάγου. Κατά τη δεκαετία του 1940, έγιναν οι πρώτες σύγχρονες προσπάθειες για την χρήση των υλικών μεταβαλλόμενης φάσης σε κτήρια. Η χρήση του υλικού έγινε διαδεδομένη, μετά την παραγωγή μικρο – καψουλών (MPCM), κάτι που αποτέλεσε σταθμό στην ανάπτυξη του υλικού. Το 1980 η NASA ξεκίνησε βασική έρευνα πάνω στην ανάπτυξη των PCMs. Το 1988 κατασκευάστηκαν οι πρώτες διαστημικές στολές και γάντια που επέτρεπαν στους κοσμοναύτες να αντέχουν στις ακραίες θερμοκρασίες του διαστήματος. Στα κτήρια και στις κατασκευές η βασική χρήση τους αφορά την διατήρηση της ενέργειας.[1]

Εικόνες 3.16 & 3.17*: Γάντια και στολή μεταβαλλόμενης φάσης*

Εικόνα 3.18: *Μεταβολή φάσης του υλικού κατά την πρόσληψη θερμότητας.*

Τα υλικά μεταβαλλόμενης φάσης, PCMs, κατασκευάζονται από παραφίνες και ένυδρα άλατα. Μικρές σφαίρες παραφίνης σφραγίζονται σε πλαστικούς υποδοχείς. Αυτά εισάγονται σε κατασκευαστικά υλικά, όπου αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι 3 εκατομμύρια από αυτές τις κάψουλες είναι δυνατό να χωρέσουν σε 1 τετραγωνικό εκατοστό.

Καθώς το PCM μπορεί να απορροφά ενέργεια (θερμότητα), χωρίς το μέσο αυτό καθαυτό να θερμαίνεται, δύναται να απορροφήσει μεγάλα ποσά θερμότητας, που χρησιμοποιεί για να ρευστοποιήσει την παραφίνη, διατηρώντας με τον τρόπο αυτό δροσερό τον εσωτερικό χώρο του κτηρίου.

Καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, λιώνει το κέρινο περιεχόμενο των μικρο – καψουλών μεταβάλλοντας τη φάση της παραφίνης, από στερεή σε υγρή. Η ίδια αρχή λειτουργεί και ανάδρομα. Δηλαδή, χώροι οι οποίοι ψύχονται διατηρούν την θερμοκρασία τους υψηλή, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, καθώς η λιωμένη παραφίνη, σταδιακά σκληραίνει πριν χάσει την θερμότητα της. Το θερμικό επίπεδο των υλικών παραμένει σταθερό.

Το ποσό της ενέργειας που κατακρατείται ή απελευθερώνεται είναι αρκετό, ώστε μια μικρή ποσότητα υλικού να εμφανίζει τεράστια θερμική χωρητικότητα, με αποτέλεσμα η θερμοκρασίας στο εσωτερικό των κτηρίων να μπορεί να ρυθμίζεται. Κατά την αλλαγή φάσης, η θερμότητα παραμένει σε λανθάνουσα μορφή, για όσο χρειάζεται για την μεταβολή από την μία φυσική κατάσταση στην άλλη.

Στην διάρκεια αυτής της διαδικασίας, το υλικό (PCM), απορροφά ένα συγκεκριμένο ποσό θερμότητας, που ισούται με το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για να λιώσει η παραφίνη. Αντί να αυξάνει η θερμοκρασία της παραφίνης παραμένει σταθερή. Η διαδικασία λειτουργεί σύμφωνα με την ίδια αρχή και ανάστροφα. Κατά την μεταβολή των φάσεων τα PCMs αποθηκεύουν είτε θερμότητα, είτε ψύχος (free – cooling principal).

Έτσι η ενέργεια αποθηκεύεται λανθάνουσα μορφή, όταν το υλικό αλλάζει από μία φυσική κατάσταση σε μια άλλη, είτε από στερεό σε υγρό, είτε από υγρό σε αέριο. Η λανθάνουσα θερμότητα ή ψυχρότητα, η οποία αποθηκεύεται με την μορφή αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα για ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Στα υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, η προκαθορισμένη θερμοκρασία μεταβολής, στην οποία αλλάζει η φάση από την μία φυσική κατάσταση στην άλλη, είναι οι 25° C, καθώς πάνω από την οποία η θερμοκρασία του δωματίου θεωρείται ζεστή. Ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται, για την ρύθμιση αύξησης θερμοκρασίας κατά 5° C, απαιτείται πάχος 1 χιλιοστόμετρου από υλικό μεταβαλλόμενης φάσης, σε αντίθεση με το τσιμέντο, όπου χρειάζεται πάχος 10 έως 40 χιλιοστομέτρων. Το PCM έχει πόλυ μεγαλύτερη θερμική χωρητικότητα, καθώς ένας τοίχος από σκυρόδεμα, θερμαίνεται πολύ πιο γρήγορα, ενώ η θερμοκρασία του πρώτου παραμένει σταθερή. Τα PCMs σε διαφορετικές θερμοκρασίες μεταβολής ώστε να βρίσκουν διαφορετικές περιοχές εφαρμογής. Σε τομείς πέραν των κατασκευών η θερμοκρασία μεταβολής των υλικών αυτών κυμαίνεται από αρνητικές τιμές, έως και 100°C.

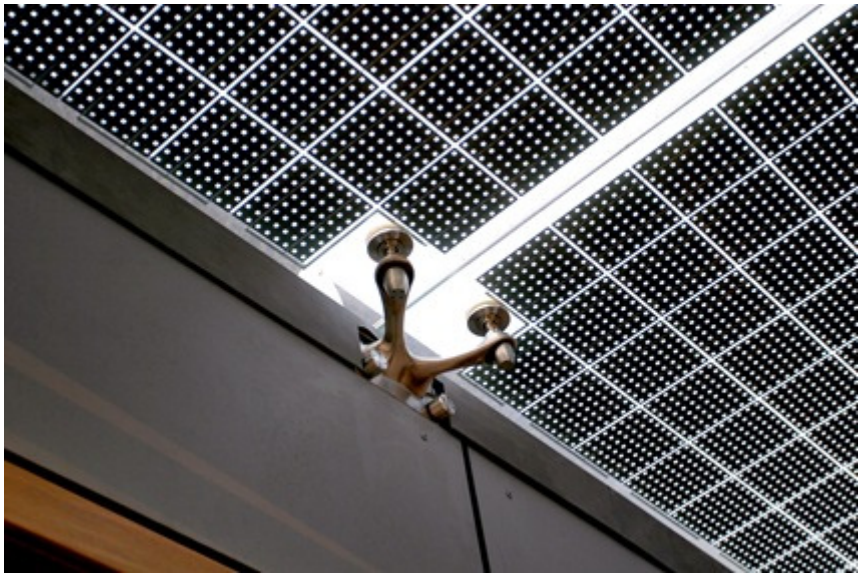
Σήμερα τα PCMs διατίθενται ως πρόσθετα τα οποία μπορούν να εισαχθούν στα συνήθη κατασκευαστικά υλικά όπως σοβάδες, γυψοσανίδες, αεριούχα τεμάχια σκυροδέματος, με συγκεκριμένες συνθήκες διατήρησης στο εσωτερικό τους. Τα δύο πρώτα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ρυθμιστές της θερμοκρασίας σε εσωτερικούς χώρους, ενώ τα τελευταία σε αρχικά στάδια κατασκευής κτηρίων. Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός, ότι τα υλικά πρέπει να εκτεθούν σε θέρμανση πριν την χρήση τους. Για παράδειγμα, δεν έχει νόημα μονωθεί εσωτερικά ένα μέρος τοίχου από αεριούχο σκυρόδεμα, καθώς κάτι τέτοιο θα απομειώσει την αποτελεσματικότητα του τελευταίου. Από την πλευρά πυρασφάλειας, πρέπει να τονιστεί ότι η παραφίνη, με την μορφή που χρησιμοποιείται στα PCMs είναι εύφλεκτη, για αυτό και τα τελευταία δεν ενδείκνυνται ως υλικά πυρασφάλειας.

Όταν βρίσκονται σε επαφή με άλλα παραφινικής βάσης κατασκευαστικά υλικά, τα PCMs δεν προκαλούν χημικές αντιδράσεις, όπως για παράδειγμα διάβρωση. Επιπλέον, λόγο του μικρού τους μεγέθους, τα σφαιρίδια του PCM που περιέχονται σε υλικά, εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλή αντοχή στη φθορά

(damage.), καθώς τέτοια υλικά μπορούν να επεξεργαστούν, χωρίς να καταστραφεί ο μηχανισμός ρύθμισης της θερμοκρασίας.

Κατά τη χρήση των υλικών αυτών, σε κλειστά συστήματα, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι παράλληλα με την αλλαγή φάσης, λαμβάνει χώρα και μεταβολή του όγκου του υλικού. Τα υλικά που εμπεριέχουν PCM, πρέπει να έχουν πολύ καλή θερμική αγωγιμότητα ώστε να διασφαλίζεται η ταχύτατη μεταφορά θερμότητας από και προς το PCM. Η παραφίνη έχει σχετικά μικρή θερμική αγωγιμότητα, μειονέκτημα που αντισταθμίζεται όμως από την υψηλή αντιδραστικότητα που εμφανίζει λόγω της μεγάλης επιφάνειας των μορίων της. Η θερμική χωρητικότητα των PCM πρέπει να παραμένει σταθερή με την πάροδο του χρόνου.

Εκτός του πλεονεκτήματος που έχουν τα PCM, να διατηρούν την ενέργεια μειώνοντας με τον τρόπο αυτό τις απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη, τα PCMs είναι ανακυκλώσιμα και βιοδιασπούμενα. Τα PCMs βρίσκουν εφαρμογή στις κατασκευές καθώς μειώνουν το κόστος κλιματισμού και σε κάποιες περιπτώσεις καθιστούν περιττή την εγκατάσταση του, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην μείωση των εκπομπών CO_2. Τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, χρησιμοποιούνται είδη επιτυχώς σε ψυγεία για την μεταφορά ευαίσθητων υλικών, σε εξωτερικές επικαλύψεις, ως συστατικά κρεμών και περιτυλίγματα τροφίμων.

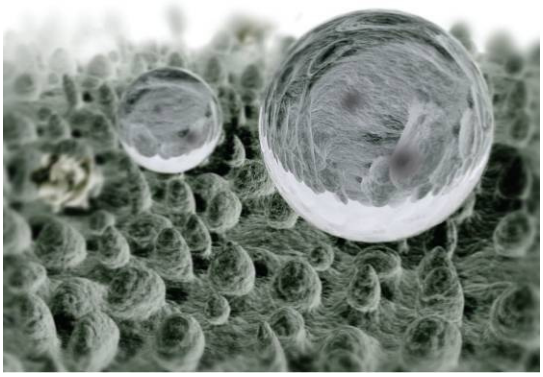


Εικόνα 3.19: *Ταβάνι με διάταξη που έχει ως βάση νανο-κάψουλες παραφίνης, οι οποίες αλλάζουν από τη στερεά στην υγρή φάση, καθώς την ημέρα υγροποιούνται από την ηλιακή ακτινοβολία και το βράδυ αποδίδουν τη θερμότητα.*

3.7 Αυτοκαθαρισμός

3.7.1 Αυτοκαθαρισμός – «φαινόμενο του λωτού»

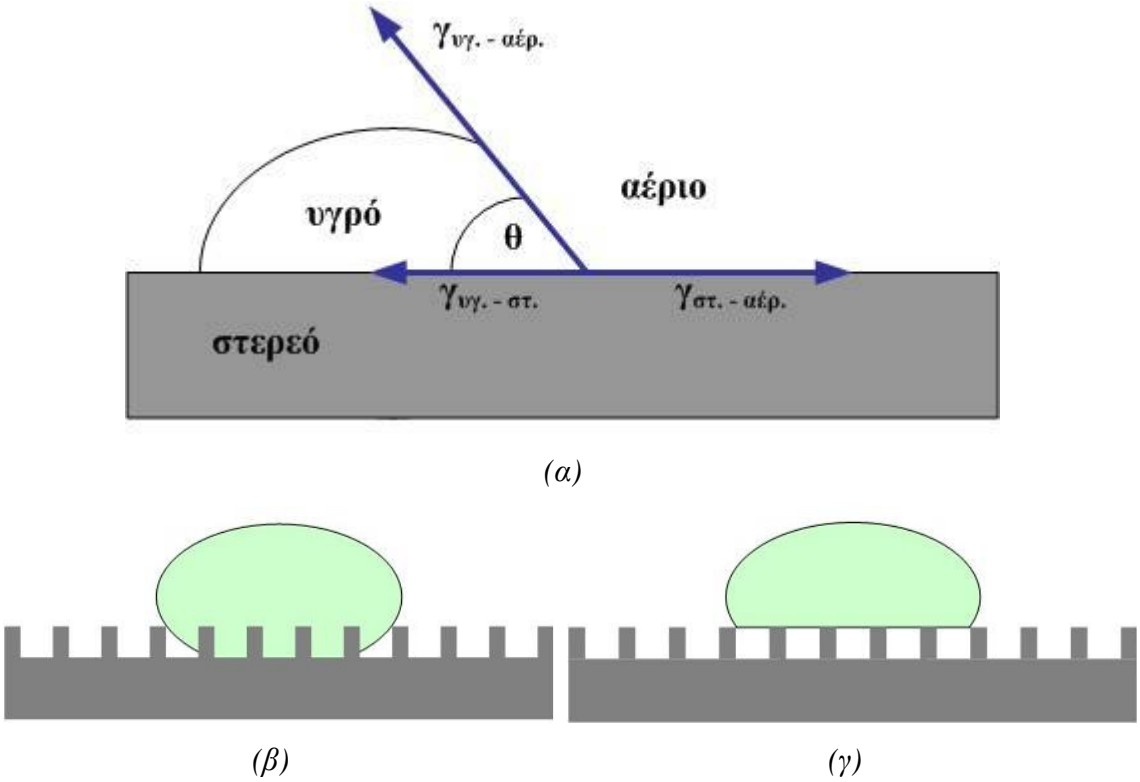
Πρόκειται για μία από τις πιο γνωστές μεθόδους σχεδιασμού επιφανειών με νανοϋλικά.. Η ονομασία «Φαινόμενο του Λωτού (Lotus – Effect)», οφείλεται στην υψηλή υδροφοβία που παρουσιάζουν τα φύλλα του λωτού [2].



(α) (β)

Εικόνα 3.20: *(α) Σταγόνες νερού σε φύλλα λωτού, (β) μικροδομή των φύλλων*

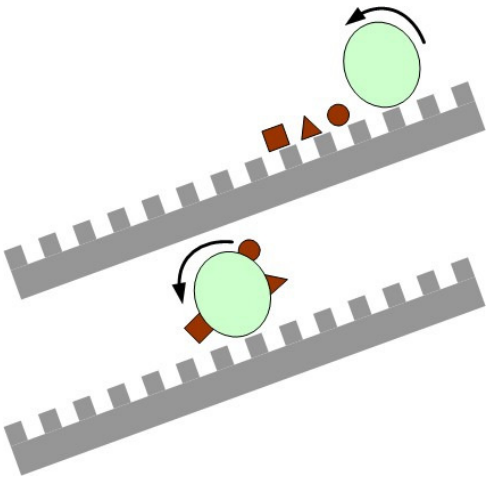
Τα σωματίδια της σκόνης που εμφανίζονται σε αυτά, παρασύρονται από σταγόνες νερού λόγω μιας ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής που ελαχιστοποιεί τις δυνάμεις πρόσφυσης. Λόγω της μεγάλης επιφανειακής τάσης που έχουν, οι σταγόνες του νερού, ελαχιστοποιούν την επιφάνεια τους, τείνοντας προς ένα σφαιρικό σχήμα. Στην επαφή τους, με την επιφάνεια του φυτού, οι δυνάμεις προσρόφησης, προκαλούν ολική ή μερική διαβροχή της ανάλογα με τη δομή της επιφάνειας και την ρευστότητα της σταγόνας [3]. Η υδροφοβία, μειώνει σημαντικά τόσο την περιοχή επαφής όσο και τις δυνάμεις προσρόφησης μεταξύ ρευστού και στερεού και ενεργοποιεί κατά αυτόν τον τρόπο την διαδικασία αυτοκαθαρισμού [4]. Η υδροφοβία, είναι ανάλογη της γωνίας επαφής.



Εικόνα 3.21: *(α) δυνάμεις πρόσφυσης μεταξύ στερεού – υγρού – αέριου, (β) σταγόνα υγρού σε υδρόφιλη επιφάνεια (γ) σταγόνα υγρού σε υδρόφοβη επιφάνεια.*

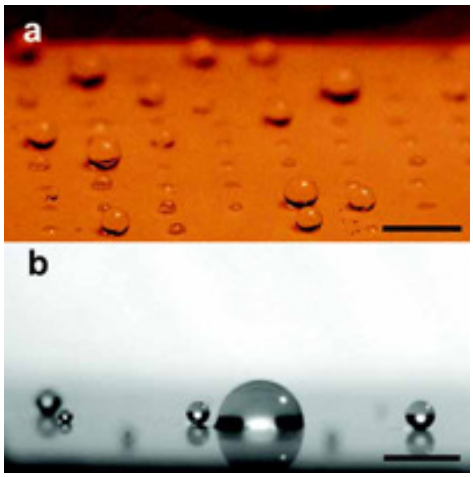
Οι αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες άρχισαν να μελετώνται το 1970, οπότε και παρατηρήθηκε το φαινόμενο στα φύλλα διαφόρων φυτών. Η υδροφοβία που παρουσίαζαν ενισχύθηκε με την προσθήκη κεριού, ενός επίσης υδρόφοβου υλικού. Έχει παρατηρηθεί, ότι κάποια ρευστά, κυρίως απορρυπαντικά, μειώνουν την παραπάνω ιδιότητα. Για τον λόγο αυτό η συγκεκριμένη μέθοδος αυτοκαθαρισμού δεν ενδείκνειται για επιφάνειες που έρχονται σε συνεχή επαφή με τέτοια υγρά (διαβροχή της επιφάνειας με νερό, την επαναφέρει στην αρχική κατάσταση).

Οι τεχνητές επιφάνειες, που εμφανίζουν το φαινόμενο του λωτού, παρουσιάζουν πολύ καλές ιδιότητες αυτοκαθαρισμού, όταν χρησιμοποιούνται κατάλληλα. Το «φαινόμενο του λωτού», έχει πολύ καλά αποτελέσματα όταν χρησιμοποιείται σε επιφάνειας που έρχονται σε συχνή επαφή με νερό. Όταν η ποσότητα του νερού που έρχεται σε επαφή είναι μικρή, δημιουργούνται ίχνη ροής αυτού και η επιφάνεια μοιάζει να είναι σε χειρότερη κατάσταση από την αρχική. Η χρήση τέτοιων επιφανειών σε περιοχές που δεν έρχονται καθόλου σε επαφή με το νερό, προφανώς δεν έχει νόημα.



Εικόνα 3.22: *σχηματική αναπαράσταση του τρόπου αυτοκαθαρισμού υδρόφοβων επιφανειών.*

Προς το παρόν τέτοιες επιφάνειες δεν χρησιμοποιούνται σε πατώματα, καθώς δεν παρουσιάζουν μεγάλη μηχανική αντοχή. Επίσης δεν είναι κατάλληλες ούτε και για υφάσματα καθώς η καταπόνηση που προκαλείται κατά το πλύσιμο, μειώνει σε σημαντικό βαθμό την υδρόβοφη συμπεριφορά του υλικού. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις το «φαινόμενο του λωτού» διαρκεί για αρκετά χρόνια. Γενικά στο σύνολο των περιπτώσεων, όπου επιφάνειες δεν υπόκεινται σε μηχανική καταπόνηση, το φαινόμενο περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες για καθάρισμα, ενώ επιφάνειες που βρίσκονται σε συνεχή επαφή με το νερό παραμένουν μόνιμα καθαρές.



Εικόνες 3.23 & 3.24:*Το φαινόμενο του λωτού, πάνω σε εξωτερικές επιφάνειες, με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας*

3.7.2 Το φαινόμενο της Φωτοκατάλυσης

Ο αυτοκαθαρισμός με φωτοκατάλυση είναι ίσως η πιο διαδεδομένη εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στις κατασκευές. Υπάρχει, σήμερα ένα πλήθος από κτήρια στον κόσμο στα οποία έχει βρίσκει εφαρμογή η φωτοκατάλυση, καθώς περιορίζει σε μεγάλο βαθμό την έκταση των ρύπων που προσκολλώνται στις επιφάνειες.

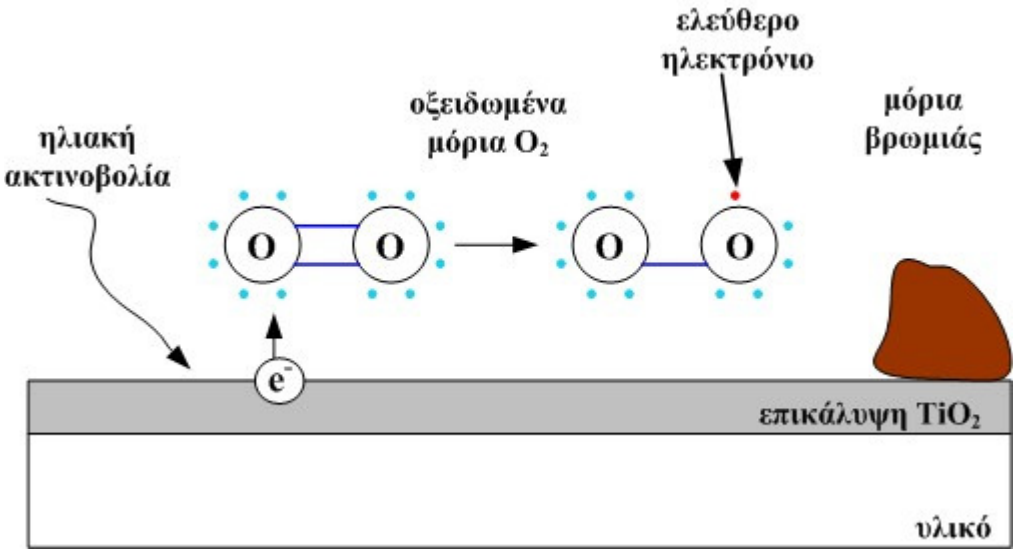
Πρέπει να σημειωθεί, πως η λέξη αυτοκαθαρισμός δεν χρησιμοποιείται με την ακριβή σημασία της, δεν έχει δηλαδή την έννοια ότι η επιφάνεια καθαρίζεται από μόνη της, αλλά ότι περιορίζεται η έκταση των ρύπων και η συχνότητα καθαρισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα απορρυπαντικών, που συνεπάγεται λιγότερη μόλυνση για το περιβάλλον και μείωση του κόστους της διαδικασίας καθαρισμού. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα, είναι ότι βελτιώνεται η διάδοση του φωτός, σε περιπτώσεις λεπτών και ημιδιαφανών μεμβρανών, καθώς το φως εμποδίζεται λιγότερο από σκόνη και ρύπους.

Για τη δημιουργία του φαινόμενου, απαιτείται η ύπαρξη υπεριώδους φωτός, οξυγόνου και υγρασίας. Το επίπεδο του υπεριώδους φωτός, μιας συνηθισμένης ημέρας είναι αρκετό για να ενεργοποιήσει τη διαδικασία φωτοκατάλυσης. Οι οργανικοί ρύποι στην επιφάνεια ενός υλικού, αποσυντίθενται με την βοήθεια ενός καταλύτη, συνήθως διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2). Οι μικροσκοπικές διαστάσεις του διοξειδίου του τιτανίου, το καθιστούν έναν ιδιαίτερα ενεργό καταλύτη, που επιταχύνει σε μεγάλο βαθμό την αποσύνθεση με το πλεονέκτημα ότι δεν καταναλώνεται αυξάνοντας την αντοχή του φαινόμενου στο χρόνο. Το διοξείδιο του τιτανίου, ανακαλύφθηκε το 1908 και είναι γνωστό λευκό τιτάνιο. Σε διαστάσεις νανοκλίμακας, αντί για λευκό εμφανίζεται διαφανές.

Εκτός του καταλύτη, για να λάβει χώρα η αντίδραση, είναι απαραίτητο το μήκος κύματος της υπεριώδους συνιστώσας του φωτός, να είναι μικρότερο από 390 νανόμετρα. Το ίδιο σημαντική είναι και η ένταση της συνιστώσας αυτής. Για το λόγω αυτό οι φωτοκαταλυτικές αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε εξωτερικούς χώρους, όπου η επαφή με το ηλιακό φως είναι άμεση.

Οι υδρόφιλες ιδιότητες του διοξειδίου του τιτανίου ανακαλύφθηκαν πολύ αργότερα. Λόγω της αυξημένης επιφανειακής ενέργειας τέτοιες επιφάνειες είναι υδρόφιλες, που σημαίνει ότι το νερό απομακρύνεται από οποιαδήποτε κεκλιμένη επιφάνεια υπό τη μορφή λεπτού στρώματος και όχι σαν σταγόνες. Σε αντίθεση με επιφάνειες που εμφανίζουν το «φαινόμενο του λωτού», οι αυτοκαθαριζόμενες φωτοκαταλυτικές επιφάνειες, είναι διάφανες και μπορούν να προσαρμοστούν σε τζάμια χωρίς να είναι εμφανείς. Μπορούν να τοποθετηθούν σε γυάλινες ή κεραμικές επιφάνειες, ή και σε μεμβράνες. Καθώς για την λειτουργία του αυτοκαθαρισμού είναι απαραίτητη η ροή νερού, πρέπει οι στέγες ή το γείσο αυτών, να κατασκευάζονται κατά τρόπο τέτοιο, ώστε να μην εμποδίζουν τη φυσική ροή του πάνω στις επιφάνειες αυτές. Είναι επίσης απαραίτητο, να μην χρησιμοποιούνται στεγανωτικά που έχουν σαν βάση τη σιλικόνη, καθώς τα έλαια που εμπεριέχουν, μεταφέρονται στο γυαλί και το καθιστούν υδρόφοβο. Για τον ίδιο λόγο, πρέπει να αποφεύγεται και η επαφή με απορρυπαντικά.

Η παραγωγή αυτοκαθαριζόμενων επιφανειών με την μέθοδο της φωτοκατάλυσης ξεκίνησε στην Ιαπωνία, όπου το 1967 ανακαλύφθηκαν οι φωτοκαταλυτικές ιδιότητες του διοξειδίου του τιτανίου. Το 1994 έκαναν την εμφάνιση τους στην αγορά, τα πρώτα φωτοκαταλυτικά πλακίδια, επίσης στην Ιαπωνία.[1]



Εικόνα 3.25: *Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας φωτοκατάλυσης*

Σήμερα οικονομικά συμφέρουσα, είναι μόνο η μαζική παραγωγή γυαλιού, καθώς οι επικαλύψεις γίνονται σε εργοστάσια, χρησιμοποιώντας μια τεχνική επικάλυψης με κενό, κατά την οποία η τελευταία ψεκάζεται στο υλικό

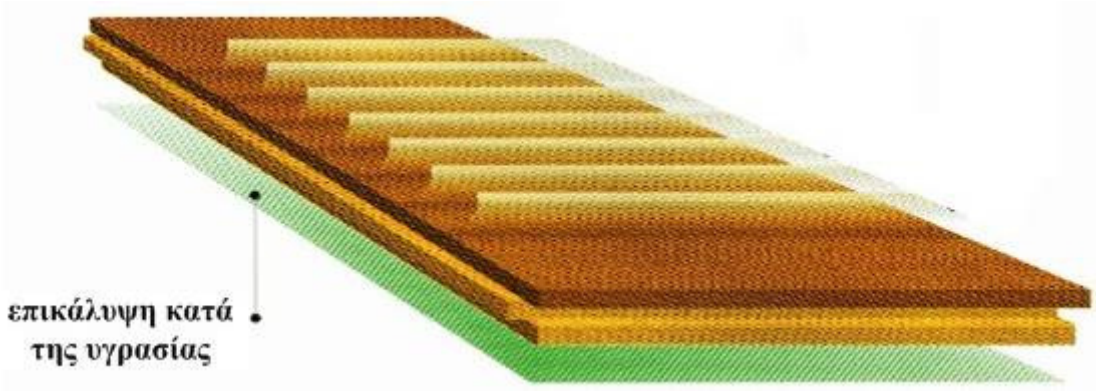
υπό μορφή ατμών. Τέτοιες επικαλύψεις δεν επιδέχονται τροποποιήσεις. Το γεγονός αυτό όμως δεν περιορίζει την χρήση τους μόνο σε μεγάλα κτήρια, αλλά μπορούν εξίσου εύκολα να τοποθετηθούν σε θερμοκήπια, ή ακόμα και σε εθνικές οδούς ως ηχομονωτικά. Το φωτοκαταταλυτικό γυαλί, δύναται επίσης να συνδυαστεί με γυαλί ηλιοπροστασίας. Πέρα από την ιδιότητα του αυτοκαθαρισμού, η φωτοκατάλυση βρίσκει εφαρμογή για τον καθαρισμό του αέρα, του νερού και προσφέρει επιπλέον αντιμικροβιακή προστασία.

Μια επίσης ενδιαφέρουσα εφαρμογή, η οποία όμως είναι ακόμα σε στάδιο έρευνας είναι η εκμετάλλευση της εξάτμισης του νερού, ως μέσω ψύξης. Στην οροφή, τα τοιχώματα και παράθυρα ενός κτηρίου έγινε επικάλυψη με διοξείδιο του τιτανίου και παροχετεύθηκε συνεχές ρεύμα νερού. Λόγω της υδρόφοβης ιδιότητας των επιφανειών, το νερό σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα, που εξατμίζεται γρήγορα, απορροφώντας κατά την διαδικασία εξάτμισης θερμότητα και μειώνοντας με τον τρόπο αυτό την εσωτερική θερμοκρασία του κτηρίου. Οι πρώτες προβλέψεις δίνουν, πιθανή μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται με χρήση κλιματιστικών κατά 10 με 20 τοις εκατό.

3.8 Εφαρμογές κατά της υγρασίας

Μόλις η υγρασία συγκεντρώνεται και κατακάθεται στις διάφορες επιφάνειες, δημιουργεί πολλά μικρά σταγονίδια που συνδυάζονται μεταξύ τους και τελικά σκεπάζουν την επιφάνεια. Η συγκέντρωση αυτών των σταγονιδίων υγρασίας σε έναν καθρέφτη, για παράδειγμα, τον καθιστά μη εργονομικό. Ένας τρόπος για να διατηρηθεί μια καθαρή εικόνα, είναι θερμάνει κάποιος συνεχώς τον καθρέφτη, έτσι ώστε η υγρασία να εξατμιστεί, πράγμα που απαιτεί όμως την συνεχή κατανάλωση ενέργειας.

Λόγω της νανοτεχνολογίας, είναι πλέον δυνατή μια μόνιμα καθαρή εικόνα χωρίς τη συνεχή χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Η λύση είναι μια εξαιρετικά λεπτή επικάλυψη με διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2), ένα υλικό το οποίο εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλή επιφανειακή ενέργεια και επομένως ασκεί μεγαλύτερη έλξη στην υγρασία. Στις υδρόφιλες επιφάνειες η υγρασία σχηματίζει ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα αντί για σταγονίδια. Εγκαθίσταται στην επιφάνεια και παραμένει αόρατη. Αυτό το εξαιρετικά λεπτό στρώμα υγρασίας προσδίδει στην επιφάνειας μία θολή απόχρωση.



Εικόνα 3.26: *Νανοεπικάλυψη διοξειδίου του τιτανίου.*

Οι καθρέφτες λουτρών είναι προφανώς, υποψήφιες επιφάνειες για τέτοιου είδους επικαλύψεις, όπως επίσης και όλες οι γυάλινες επιφάνειες σε κλιματιζόμενα δωμάτια, οι όποιες θολώνουν, μόλις υπαίθρια ρεύματα αέρα σε ένα δωμάτιο. Επικαλύψεις κατά της υγρασίας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και σε πλαστικά.

Μια άλλη μέθοδος έχει ανακαλυφθεί από ερευνητές, και μία παρόμοια επικάλυψη έχει επίσης επινοηθεί. Πρόκειται για ένα γυαλί, νανοπορώδους επικάλυψης, το οποίο είναι κατασκευασμένο από διάφορα στρώματα νανομορίων, που περιέχουν μικρές τρύπες.[1] Η επιφάνεια μοιάζει επίπεδη με γυμνό μάτι, αλλά είναι στην πραγματικότητα πρόκειται για μια ιδιαίτερα υδρόφιλη επιφάνεια. Η υγρασία απορροφάται από τους μικροσκοπικούς πόρους, εμποδίζοντας με τον τρόπο αυτό, την δημιουργία σταγονιδίων νερού. Αντίθετα, δημιουργείται ένα λεπτό και αόρατο στρώμα νερού και η επιφάνεια παραμένει διαφανής.

Οι ψεκασμοί κατά της υγρασίας είναι αποτελεσματικοί μόνο ως προσωρινά μέσα, καθώς βοηθούν τις επιφάνειες να μοιάζουν διαφανείς, αλλά για μικρό χρονικό διάστημα. Περισσότεροι τομείς εφαρμογής, για τις επιφάνειες κατά της υγρασίας, αναπτύσσονται σήμερα αλλά δεν είναι ακόμα έτοιμοι για την αγορά.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι καμία από τις διάφορες μορφές των υλικών που χρησιμοποιούνται κατά της υγρασίας δεν σταματά την υγροποίηση. Αντί αυτού, τα υλικά παραμένουν διαφανή και για το λόγο αυτό , η υγρασία φαίνεται να μην υπάρχει. Έτσι τα είδωλα στους καθρέπτες ή τα τζάμια, φαίνονται ξεκάθαρα πάντα, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για θέρμανση ή σκούπισμα.του υλικού.

3.9 Εφαρμογές κατά των δακτυλικών αποτυπωμάτων

Ο χάλυβας και το γυαλί είναι πολύ δημοφιλή υλικά στην αρχιτεκτονική και τις κατασκευές αλλά, όταν χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική εσωτερικών χώρων, έχουν το μεγάλο μειονέκτημα, τα σημάδια που αφήνουν τα ανθρώπινα χέρια κατά την επαφή τους με αυτά εμφανίζονται πολύ έντονα. Τα υλικά που είναι, ευπρόσιτα αγγίζονται συχνά, είτε συνήθως επειδή έχουν μια σχετική λειτουργία, είτε επειδή απλώς βρίσκονται εκεί. Οι επικαλύψεις κατά των αποτυπωμάτων, αποτελούν μια ευεργετική λύση για τέτοιου τύπου προβλήματα.

Εικόνα 3.27: *Νανοεπικάλυψη διοξειδίου του τιτανίου.*

Ο χάλυβας καθώς και οι γυάλινες επιφάνειες, επηρεάζονται ιδιαίτερα από την επαναλαμβανόμενη επαφή. Η αίσθηση της καθαρότητας, η οποία είναι επιθυμητή είτε για αισθητικούς είτε λόγους υγιεινής, χάνεται όταν οι επιφάνειες αυτές καλύπτονται δακτυλικά αποτυπώματα. Οι επικαλύψεις κατά των δακτυλικών αποτυπωμάτων προσφέρουν μια κατάλληλη λύση για το πρόβλημα αυτό ενώ σε κάποιες περιπτώσεις τέτοια υλικά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν εξαρχής. Με τη βοήθεια αυτών των επικαλύψεων τα σημάδια από τα δακτυλικά αποτυπώματα γίνονται σχεδόν αόρατα. Στην

πραγματικότητα τα δακτυλικά αποτυπώματα βρίσκονται ακόμα εκεί αλλά εξαιτίας της νανοεπικάλυψης είναι πρακτικά ανεπαίσθητα. Η επικάλυψη μεταβάλει τη διάθλαση του φωτός με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, που το κάνει και το ίδιο το δακτυλικό αποτύπωμα, έτσι ώστε τα νέα δακτυλικά αποτυπώματα να έχουν ελάχιστη επίδραση στην εμφάνιση του υλικού. Είναι δυνατό, θεωρηθεί η επικάλυψη ως ένα είδος διευρυμένου δακτυλικού αποτυπώματος. Η αντανάκλαση του φωτός στην επικάλυψη κάνει τις γυάλινες ή χαλύβδινες επιφάνειες να εμφανίζονται πιο ομαλές, δίνοντας την αίσθηση της καθαρότητας. Με μια πιο προσεκτική εξέταση, είναι δυνατό να φανούν τα ίχνη των δακτυλικών αποτυπωμάτων, αλλά σε σύγκριση με τις κανονικές, χωρίς επικαλύψεις επιφάνειες δηλαδή, η βελτίωση είναι εντυπωσιακή.[1]

Οι επικαλύψεις είναι εξαιρετικά λεπτές, με αποτέλεσμα ο χάλυβας που έχει «ντυθεί» με αυτές, να μπορεί να καμφθεί σε οποιαδήποτε επιθυμητή μορφή χωρίς η επικάλυψη σπάσει ή να σκιστεί και να καταστραφεί. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την παραγωγή των εκάστοτε ιδιαίτερων αρχιτεκτονικών λεπτομερειών, καθώς οι επικαλύψεις χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές όπως οι ανελκυστήρες, οι επενδύσεις και τα έπιπλα.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας το γυαλί έχει γίνει ένα ιδιαίτερα δημοφιλές υλικό στο σχεδιασμό εσωτερικών χώρων. Τα ημιδιαφανή υλικά είναι ιδιαίτερα ελκυστικά για τον σχεδιασμό πορτών, χωρισμάτων και επίπλων. Παρόλα αυτά η πλευρά του γυαλιού που έχει υποστεί αμμοβολή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στα δακτυλικά αποτυπώματα. Επικαλύψεις πυριτίου, χρησιμοποιούνται συνήθως σε επιφάνειες όπου θεωρείται αναγκαία η προστασία τους από αυτά. Δυστυχώς, όταν τέτοιες επιφάνειες καθαρίζονται, αποκτούν μια χαρακτηριστική θολή όψη.

Οι νανοεπικαλύψεις κατά των δακτυλικών αποτυπωμάτων, δεν έχουν τα μειονεκτήματα αυτών του πυριτίου, και εξασφαλίζουν τη μόνιμη οπτική καθαρότητα του γυαλιού. Οι επικαλύψεις, όχι μόνο μειώνουν τον αντίκτυπο των δακτυλικών αποτυπωμάτων αλλά και της σκόνης, η οποία σε λείες επιφάνειες μπορεί να απομακρυνθεί αλλά όταν πρόκειται για γυαλί αμμοβολής γίνεται πιο σκληρή και δύσκολη να απομακρυνθεί. Σήμερα οι επικαλύψεις αυτές δεν είναι εξ ολοκλήρου διαφανείς και για το λόγω αυτό τέτοιοι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα σε εντελώς διάφανο γυαλί.

Οι νανοεπικαλύψεις επιπλέον βοηθούν και στην μείωση των δαπανών καθαρισμού. Επίσης είναι αποτελεσματικές και για μικρότερες επιφάνειες,

όπου ο καθαρισμός μπορεί να γίνει ιδιαίτερα χρονοβόρος. Χαρακτηριστικά προβληματικά σημεία, όπως οι επιφάνειες γύρω από πόμολα, χερούλια κλπ., παραμένουν καθαρά και φαίνονται όταν τοποθετήθηκαν για πρώτη φορά.

Μια πιο πρόσφατη καινοτομία, είναι μια επικάλυψη κατά της επαφής που έχει επιπλέον την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για το χρωματισμό ματ γυαλιού. Το χρωματισμένο ματ γυαλί κατασκευάζεται συνήθως, χρησιμοποιώντας χρωματιστό γυαλί, ή χρωματισμένα φύλλα αλουμινίου και είναι συγκριτικά ακριβό. Μια φτηνότερη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί ένα χρωματιστό «αυτοκόλλητο», αλλά δυστυχώς το αποτέλεσμα δεν παρουσιάζει την απαιτούμενη ποιότητα.

Μια νέα, αλλά και οικονομικώς αποδοτική επιλογή είναι η χρήση μιας χρωματιστής νανοεπικάλυψης κατά των αποτυπωμάτων σε γυαλιά αμμοβολής. Η ένταση του χρώματος εξαρτάται από την τραχύτητα του γυαλιού και από την γωνία παρατήρησης. Η ποικιλία χρωμάτων, σήμερα είναι δυστυχώς περιορισμένη ακόμα, με την απουσία βασικών χρωμάτων. Τα χρώματα παραμένουν έντονα κατά την έκθεση στο υπεριώδες φως και δεν ξεθωριάζουν. Ένα σημαντικό θέμα εδώ, είναι η αντίσταση στις γρατζουνιές, η οποία πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά ανάλογα με το μέρος που πρόκειται να τοποθετηθεί η επικάλυψη.

Οι επικαλύψεις κατά των δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι χρήσιμες για επιφάνειες και αντικείμενα από ανοξείδωτο ατσάλι και γυαλί, οπουδήποτε κάποιο από αυτά αγγιχθεί δηλ. αντικείμενα που είναι εύκολα στην πρόσβαση. Οι νανοεπικαλύψεις επιτρέπουν στο γυαλί και το χάλυβα για να χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους, χωρίς να καταστρέφεται η όψη τους από αποτυπώματα και περιορίζοντας την συχνότητα καθαρισμού τους.

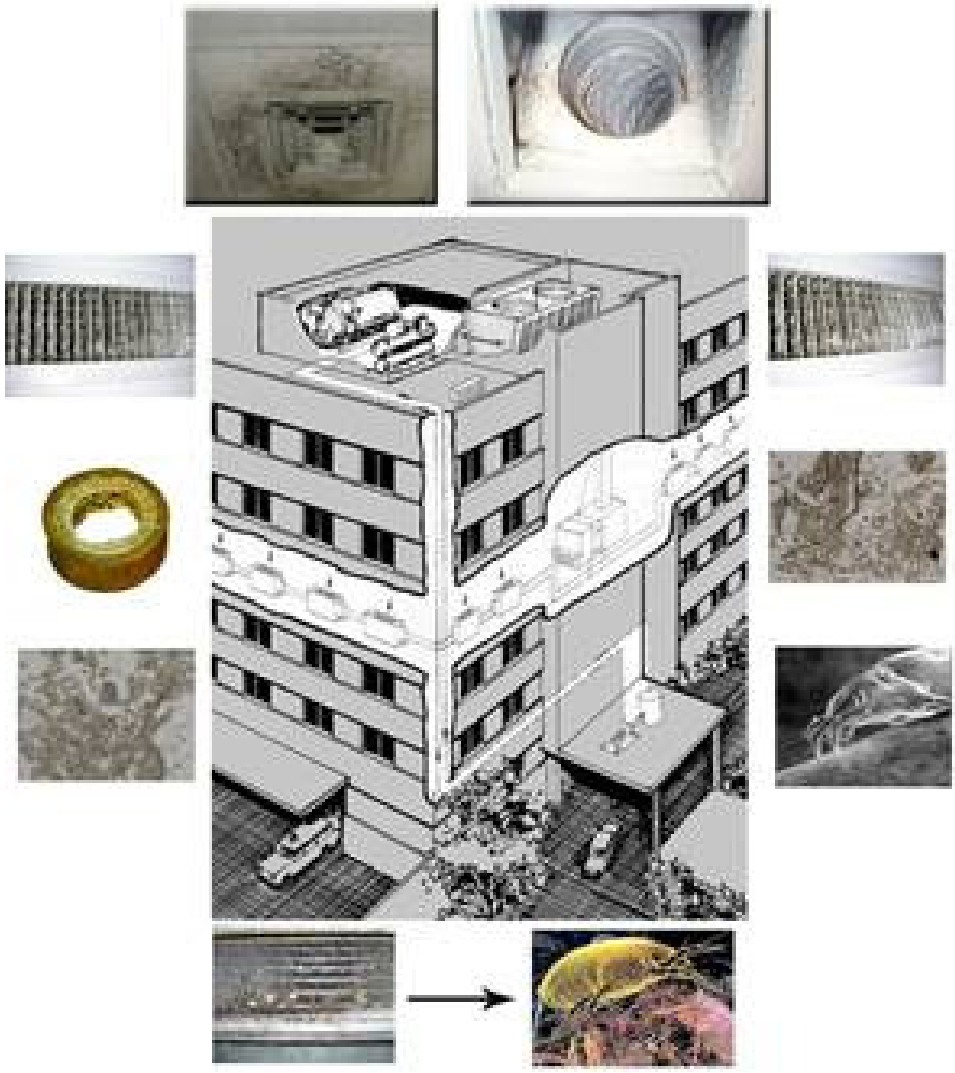
3.10 Καθαρισμός του αέρα

Τα νανοϋλικά, παρά το γεγονός ότι δεν μπορούν να καθαρίσουν εντελώς τον αέρα, μπορούν όμως να βελτιώσουν αρκετά την ποιότητα του, καθώς εξαλείφουν δυσάρεστες οσμές και ρύπους. Αρχικά, αναπτύχθηκαν για την αντιμετώπιση της μόλυνσης του αέρα σε εξωτερικούς χώρους και αργότερα βρήκαν εφαρμογή και εσωτερικά.

3.10.1.1 Εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους

Η ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους είναι ιδιαίτερα σημαντική, κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες, όπου οι άνθρωποι περνούν ένα μεγάλο μέρος του χρόνου τους στο σπίτι. Ο πιο συνήθης τρόπος αντιμετώπισης της δυσοσμίας σήμερα είναι ο αερισμός του κτηρίου ή η χρήση αποσμητικών χώρου. Η νανοτεχνολογία, έρχεται σήμερα να δώσει λύση και εδώ, διασπώντας χημικά τα μόρια των οσμών σε υδρατμούς και διοξείδιο του ανθρακα.

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση του «συνδρόμου του άρρωστου κτιρίου». Ο όρος «σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου» χρησιμοποιείται για να εκφράσει την κακή κατάσταση της υγείας τουλάχιστον του 50% των ενοίκων, η οποία χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα ενοχλήματα που αποδίδονται αποκλειστικά και μόνο στην εσωτερική ρύπανση του αέρα του κτιρίου. Οι βλαπτικοί παράγοντες που ευθύνονται για την εσωτερική ρύπανση ενός άρρωστου κτιρίου είναι η φορμαλδεΰδη (HCHO), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO-NO_2) κ.α. Η επιφάνεια που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του αέρα, θα πρέπει να έχει μέγεθος ανάλογο του όγκου του προς καθαρισμό χώρου και να μην περιορίζεται από άλλα αντικείμενα, έπιπλα κλπ. Για διαδικασίες που στηρίζονται στην οξειδωτική κατάλυση, η καθημερινή ποσότητα αέρα είναι αρκετή. Για διαδικασίες όμως που βασίζονται στη φωτοκατάλυση, η οποία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό του αέρα, απαιτείται εκτεταμένη έκθεση σε φως και για το λόγο αυτό πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη μέριμνα στο σχεδιασμό του χώρου. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της καταλυτικής διαδικασίας είναι ότι η δράση των νανο-υλικών, δεν εξασθενεί με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνες 3.28 & 3.29: *Παραδείγματα κατασκευών που πάσχουν από το «σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου».*

Η ίδια αρχή βρίσκει εφαρμογή για ουσίες όπως η νικοτίνη και η φορμαλδεΰδη., των οποίων τα μόρια μπορούν επίσης να σπάσουν και να φιλτραριστούν. Σε αντίθεση με άλλες ουσίες, όπως το ασβέστη, η φορμαλδεΰδη δεν προϋπάρχει στο κτήριο, αλλά είναι ουσία που τις περισσότερες των περιπτώσεων εμφανίζεται κατά τη διάρκεια κατοίκησης.

Είναι προφανές ότι η διαδικασίας φιλτραρίσματος του αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο κατά τη δόμηση ενός κτηρίου όσο και πολύ αργότερα από αυτή, για την αποφυγή του «συνδρόμου του άρρωστου κτιρίου». Η νικοτίνη είναι μια ακόμη ουσία που μπορεί να διασπαστεί με την χρήση νανοτεχνολογίας, ώστε σε πολλές περιπτώσεις να μην υπάρχει ανάγκη για κατασκευή διαφορετικών χώρων καπνιστών και μη – καπνιστών. Άλλες ουσίες που μπορούν να απομακρυνθούν με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας είναι η αμμωνία, η βενζίνη, οσμές από ψάρια κ.α.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι παρά το γεγονός πως βελτιώνεται η ποιότητα η ποιότητα του αέρα, αυτό δε σημαίνει απαραίτητα ότι ο αέρας γίνεται «καλός», καθώς δεν πρέπει να παραβλέπεται η περιεκτικότητα σε οξυγόνο και η σχετική υγρασία, παράγοντες που επίσης επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα. Είναι λάθος να θεωρείται ότι η χρήση τέτοιων υλικών υποκαθιστά τον φυσικό αερισμό των κτηρίων. Ανεπαρκής αερισμός οδηγεί αναπόφευκτα, στην αύξηση της υγρασίας στο εσωτερικό του κτηρίου με αποτέλεσμα, την εμφάνιση μούχλας και άλλων σχετικών προβλημάτων. Η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο είναι ένας επιπλέον παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα του αέρα.

Τέλος ένας ακόμα λόγος που καθιστά αναγκαίο το φυσικό αερισμό των κτηρίων είναι η ανάγκη για απομάκρυνση του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα. Παρόλα αυτά, οι επιφάνειες καθαρισμού του αέρα, βοηθούν στη βελτίωση της ποιότητας του τελευταίου ιδίως σε μέρη όπου είναι δύσκολος ή ακόμα και αδύνατος ο φυσικός αερισμός.

3.10.1.2 Εφαρμογές σε εξωτερικούς χώρους

Η περιβαλλοντική μόλυνση και η ποιότητα του αέρα στους εξωτερικούς χώρους, είναι ένα πρόβλημα που απασχολεί για καιρό τους ερευνητές, ιδίως

σε περιοχές όπου η δημόσια παιδεία και το αίσθημα οικολογία είναι ιδιαίτερα αυξημένο.

Το φωτοκαταλυτικό σκυρόδεμα, που έχει τη δυνατότητα καθαρισμού του αέρα, μπορεί να καταπολεμήσει συγκεκριμένους ρύπους. Σήμερα, χρησιμοποιούνται επικαλύψεις σε τοίχους κτηρίων και διαζώματα δρόμων και ταυτόχρονα μελετάται η επίδραση που έχουν οι επικαλύψεις στα καυσαέρια αυτοκινήτων και εργοστασίων. Φαίνεται ότι το φωτοκαταλυτικό αυτοκαθαριζόμενο σκυρόδεμα εμφανίζει ιδιότητες καθαρισμού του αέρα και χρησιμοποιείται για επιστρώσεις, σε δρόμους και μπογιές. Δυστυχώς όλα αυτά τα υλικά έχουν ακόμα ιδιαίτερα υψηλό κόστος.

Εικόνα 3.20*: Τοιχεία του αυτοκινητόδρομου κατασκευασμένα από φωτοκαταλυτικό σκυρόδεμα*

Όπως συμβαίνει και στη περίπτωση καθαρισμού του αέρα σε εσωτερικούς χώρους έτσι και εξωτερικά, τα μέτρα που λαμβάνονται μειώνουν μόλυνση, βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό την ποιότητα του αέρα, αλλά δεν αντιμετωπίζουν τα αίτια που την προκαλούν. Αυτό που μένει να ερευνηθεί, στην περίπτωση αυτή, όμως είναι κατά πόσο βελτιώνεται η ποιότητα του αέρα και αν τελικά αξίζει η χρησιμοποίηση νανοϋλικών για τον καθαρισμό του αέρα σε εξωτερικούς χώρους.

Όσον αφορά την μείωση των αέριων ρύπων, πρέπει κατά κύριο λόγο, να δοθεί σημασία στα αίτια που τους προκαλούν. Επειδή όμως, κατά πως

φαίνεται, κάτι τέτοιο θα αργήσει να πραγματοποιηθεί, οι νανοεπιφάνειες καθαρισμού του αέρα, αποτελούν μια καλή λύση για το διάστημα αυτό.

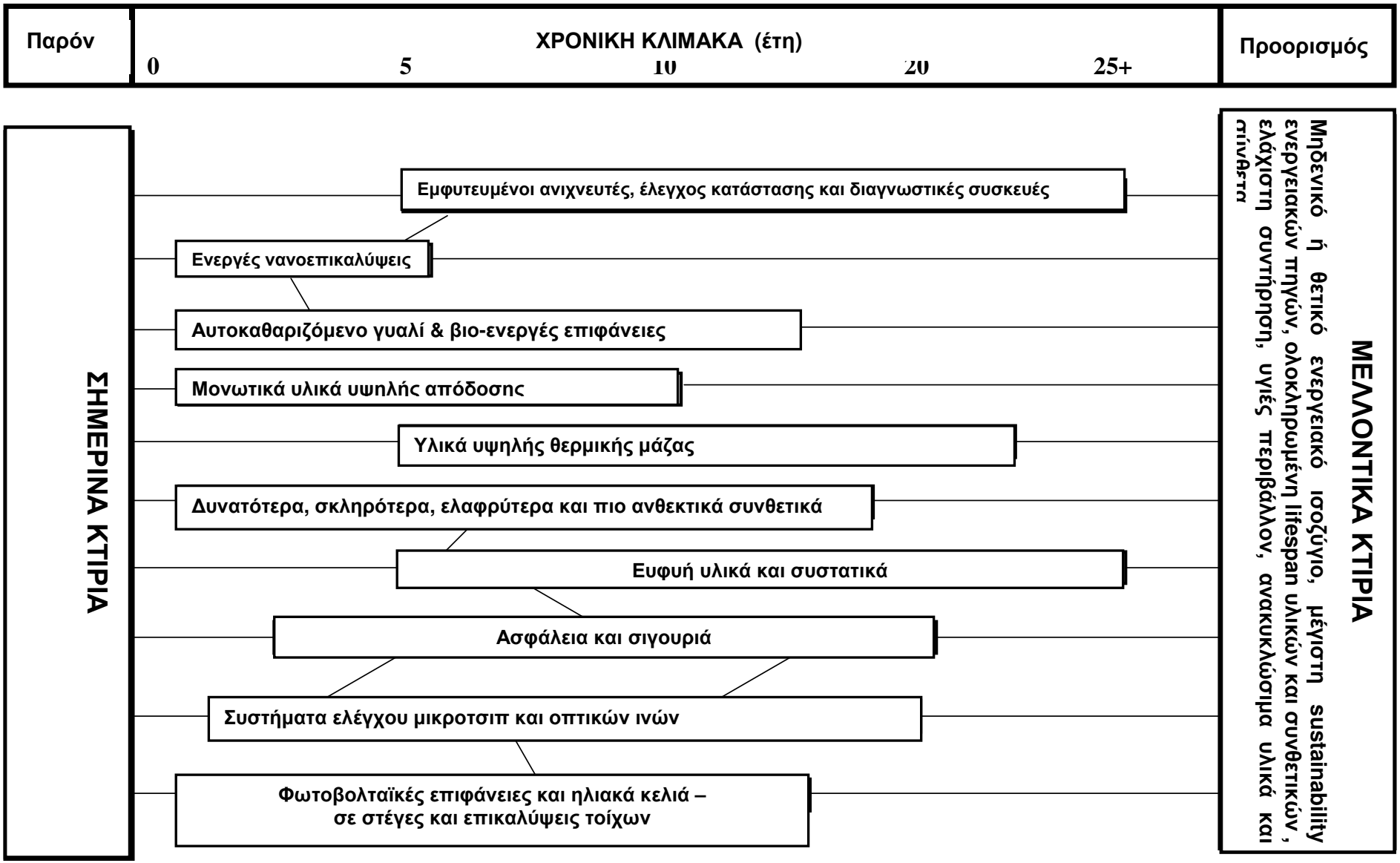
3.11 Χρονοδιάγραμμα

Παρακάτω, παρουσιάζονται δύο χρονοδιαγράμματα, που προβλέπουν μεσοπρόθεσμα την εξέλιξη της νανοτεχνολογίας όσον αφορά στον κατασκευαστικό τομέα.

Το διάγραμμα 3.1 αναφέρεται στην πρόοδο που αναμένεται να σημειωθεί με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας στις πρώτες ύλες , και το διάγραμμα 3.2 αναφέρεται στην εξέλιξη που θα έχουν τα κτίρια ως ολοκληρωμένοι οργανισμοί, αποτελούμενοι πλέον από νανο-υλικά, μεσα στα επόμενα χρόνια.

Με τα παρακάτω χρονοδιαγράμματα μπορεί να πάρει ο αναγνώστης μία γενική ιδέα για τις αλλαγές και τις βελτιώσεις που αναμένεται να σημειωθούν στον τομέα της κατασκευής (κατασκευαστικά υλικά), με την πολύτιμη συμβολή της νανοτεχνολογίας, και κυρίως να τοποθετήσει χρονικά την εξέλιξη αυτή.

Πίνακας 3.1


Παρόν
ΣΗΜΕΡΙΝΑ ΚΤΙΡΙΑ
ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ (έτη)
0
5
10
20
25+
Εμφυτευμένοι ανιχνευτές, έλεγχος κατάστασης και διαγνωστικές συσκευές
Ενεργές νανοεπικαλύψεις
Αυτοκαθαριζόμενο γυαλί & βιο-ενεργές επιφάνειες
Μονωτικά υλικά υψηλής απόδοσης
Υλικά υψηλής θερμικής μάζας
Δυνατότερα, σκληρότερα, ελαφρύτερα και πιο ανθεκτικά συνθετικά
Ευφυή υλικά και συστατικά
Ασφάλεια και σιγουριά
Συστήματα ελέγχου μικροτσιπ και οπτικών ινών
Φωτοβολταϊκές επιφάνειες και ηλιακά κελιά – σε στέγες και επικαλύψεις τοίχων
Προορισμός
ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ
Μηδενικό ή θετικό ενεργειακό ισοζύγιο, μέγιστη sustainability ενεργειακών πηγών, ολοκληρωμένη lifespan υλικών και συνθετικών, ελάχιστη συντήρηση, υγιές περιβάλλον, ανακυκλώσιμα υλικά και σύνθετα

Πίνακας 3.2

παρόν	ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ (έτη) 0 5 10 20 25+	Προορισμός
Χάλυβας	Κατασκευαστικός χάλυβας ανθεκτικός στη διάβρωση	ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ Αμελητέο/μηδενικό/θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, ανανεώσιμες πηγές, η προκαθορισμένη φθορά των υλικών αντικαθίσταται από βελτιωμένες ιδιότητες για την εκάστοτε εφαρμογή
σκυρόδεμα	Τσιμέντο χαμηλής ενέργειας	
	Ευγενή, αντισυμβατικά συνδετικά	
	Εύπλαστο τσιμέντο και σκληρότερο σκυρόδεμα	
	Νανο-επιστρώσεις	
Κεραμικά τούβλα γυαλί	Βιοενεργές επιφάνειες	
	Σκληρότερα κεραμικά	
	Αυτοκαθαριζόμενο γυαλί	
Ασφαλτικά πολυμερή	Νάνο-υλικά πλήρωσης	
	Μοριακή σύνθεση νέων πολυμερών	
ξυλεία	Τροποποιημένο ξύλο για κατασκευές-γρήγορα αναπτυσσόμενο και χωρίς ατέλειες, και με την απαιτούμενη σκληρότητα	

4 Το Έξυπνο Σπίτι. I-SSB – The Integrated Safe & Smart Built Concept

4.1 Γενικά

Το I-SSB (The Integrated Safe & Smart Built Concept) είναι ένα ερευνητικό πρόγραμμα που χρηματοδοτείται, εν μέρει από την Ευρωπαϊκή Ένωση και υπάγεται στο 6° Πρόγραμμα Πλαίσιο – 6th Framework Programme – Priority III – NMP4. Άρχισε τον Ιανουάριο του 2007 και θα διαρκέσει για 4 έτη. Στο φιλόδοξο αυτό πρόγραμμα συμμετέχουν 22 εταίροι (εικ. 4.1) από 11 ευρωπαϊκές χώρες, ενώ πρωταγωνιστικό ρόλο παίζει και η Ελλάδα, με συμμετοχή που φθάνει ποσοστιαία το 22% του προγράμματος (εικ. 4.2).

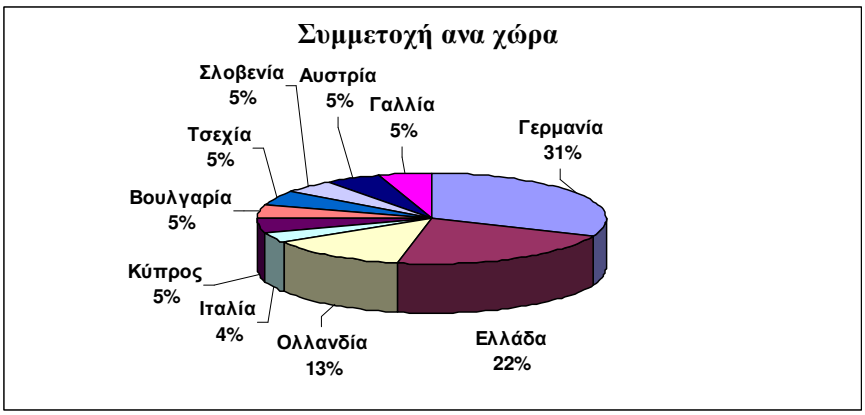
Εικόνα 4.1: *Εταίροι του ερευνητικού προγράμματος I – SSB.*

Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Πανεπιστήμιο Πατρών, η εταιρεία Knauf Γυψοποιία ΑΒΕΕ και ο ΕΛΟΤ, συνεργάζονται με άλλες 18 εταιρείες και πανεπιστήμια για να κατασκευάσουν ένα πρότυπο, μικρού βάρους κτήριο συνδυάζοντας, γυψοσανίδες με «έξυπνα» χαλύβδινα πλαίσια.

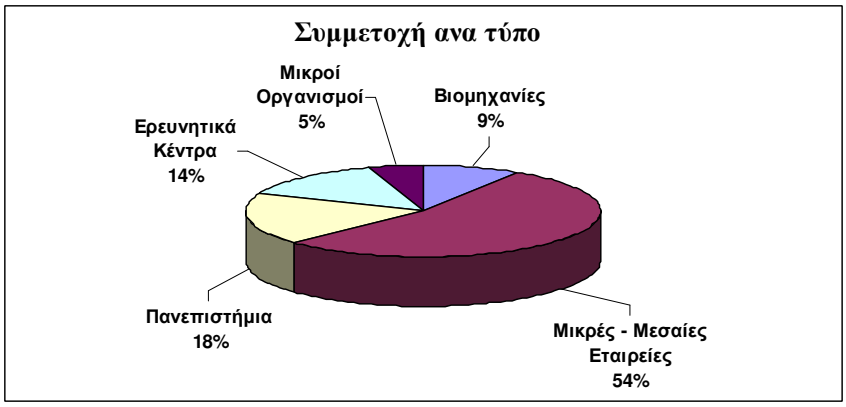
Το πρόγραμμα αυτό, θα δώσει λύση και στο στεγαστικό πρόβλημα που δημιουργείται μετά από ένα σεισμό, ή άλλες μεγάλες καταστροφές. Σε τέτοιες περιπτώσεις δημιουργείται η ανάγκη για γρήγορες λύσεις (αφού σπίτια πρέπει να κατασκευαστούν σε χρονικό περιθώριο ημερών), η ανάγκη για ασφαλείς λύσεις (είναι ζήτημα αισθήματος ασφάλειας για τους χρήστες μετά από καταστροφές), αλλά και η ανάγκη για μόνιμες στεγαστικές λύσεις.

Το εγχείρημα του «έξυπνου σπιτιού» θα επιφέρει και αξιοσημείωτη βελτίωση στην κατασκευαστική ευστάθεια, εξοικονόμηση πρώτων υλών,

ασφάλεια σε αντίξοες συνθήκες που θα μπορούσαν να προκαλέσουν σοβαρές κατασκευαστικές ζημιές, άνεση στους χρήστες μέσω των ελεγχόμενων εσωτερικών παραμέτρων, αλλά και ευελιξία όσον αφορά τις χωρικές απαιτήσεις.



Εικόνα 4.2*: Διάγραμμα ποσοστιαίας συμμετοχής ανά χώρα στο πρόγραμμα*



Εικόνα 4.3: *Διάγραμμα ποσοστιαίας συμμετοχής ανά τύπο εταιρείας στο πρόγραμμα*

Το σπίτι αυτό θα κατασκευαστεί μέχρι το 2010 στον Στάνο Αμφιλοχίας,. Σκοπός του συγκεκριμένου προγράμματος είναι να καταστεί εφικτή η κατασκευή ενός κτηρίου σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, και ταυτόχρονα να ικανοποιεί το αίσθημα της ασφάλειας στους κατοίκους του. Με την ολοκλήρωση της έρευνάς ίσως να είναι δυνατό να κατασκευάζονται έξυπνα σπίτια που θα ελαχιστοποιούν τις σεισμικές δονήσεις και θα "επουλώνουν" τις μικρορωγμές που δημιουργούνται από αυτές [4]. Πιο συγκεκριμένα:

- Το σπίτι θα σχεδιαστεί «ολιστικά» με τη χρήση καινοτόμων τρισδιάστατων εικονικών στρατηγικών και διαδικασιών, που θα λαμβάνουν υπόψη τους την φέρουσα ικανότητα στις μεσοτοιχίες με αποτέλεσμα την σημαντική βελτίωση στην ευστάθεια των κτιρίων.

- Θα χρησιμοποιηθούν νέα κατασκευαστικά υλικά, προϊόντα της νανοτεχνολογίας, τα οποία θα είναι ειδικά ανεπτυγμένα για κάθε τμήμα του σπιτιού (δομικά στοιχεία ανωδομής, θεμελίωσης, εξωτερικό περίβλημα, μεσοτοιχίες, και εσωτερικά τελειώματα).
- Θα χρησιμοποιηθούν καινοτόμοι νάνο-αισθητήρες/ενεργοποιητές για ενεργό έλεγχο των δυναμικών δονήσεων-ταλαντώσεων των δομικών στοιχείων.
- Νέοι αισθητήρες θα ελέγχουν τις δυναμικές ταλαντώσεις των διαφόρων τμημάτων του κτηρίου και σε συνδυασμό με την χρήση ασύρματων δικτύων θα καταγράφουν και θα ελέγχουν την συμπεριφορά των τμημάτων αυτών προσδίδοντας τους, την δυνατότητα αυτόματης διόρθωσης και αυτό – ίασης από τις ζημιές.
- Θα χρησιμοποιηθούν αντι-δονητικές, αντι-βλητικές και αντι-πυρικές τεχνολογίες.
- Θα τοποθετηθούν βελτιωμένα συστήματα

Το πρωτοποριακό αυτό πρόγραμμα αναμένεται να έχει και κοινωνικές επιπτώσεις. μετακινώντας το εργατικό δυναμικό από την υπαίθρια εργασία στο εργοστάσιο, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην αύξηση της κοινωνικής συνοχής και της βιώσιμης ανάπτυξης.

4.2 Βασικά Δομικά Στοιχεία

4.2.1 Αισθητήρες στους τοίχους

Όσον αφορά την εξουδετέρωση των σεισμικών δονήσεων, θα γίνεται κατ' αρχάς μέσω του προηγμένου σχεδιασμού του ίδιου του κτιρίου. Ήδη αναπτύσσονται προηγμένα υπολογιστικά εργαλεία για τον καταμερισμό των στατικών και των δυναμικών φορτίων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δονήσεις. Επιπλέον, τις τοίχους του σπιτιού θα υπάρχουν αισθητήρες οι οποίοι θα καταγράφουν τις δονήσεις, καθώς και επενεργητές που θα ελαχιστοποιούν τις κραδασμούς και τις επιπτώσεις από τις σεισμικές δονήσεις.

Επιπλέον, το προηγμένο σύστημα αισθητήρων θα μπορεί να καταγράφει το ιστορικό καταπόνησης του κτίσματος, τις μεταβολές τις πίεσης που ασκείται τις τοίχους, τις δονήσεις, τη θερμοκρασία, την υγρασία αλλά και τις εκπομπές αερίων. Και αν η κατάσταση κριθεί κρίσιμη από το σύστημα, τότε

ένα δίκτυο αισθητήρων, θα προειδοποιήσει τις κατοίκους ώστε να εγκαταλείψουν το σπίτι εγκαίρως.

Οι τοίχοι του πιλοτικού κτιρίου, πέρα από τις αισθητήρες και τα μικροκυκλώματα, θα περιέχουν και πολυμερή σωματίδια που θα υγροποιούνται όταν δέχονται υψηλές πιέσεις, τις συμβαίνει στην περίπτωση τις σεισμού. Έτσι, τα πολυμερή σωματίδια υγροποιούμενα θα γεμίζουν τις ρωγμές που εμφανίζονται τις τοίχους. Όταν η πίεση θα επανέρχεται στα φυσιολογικά επίπεδα, τα νανοπολυμερή θα στερεοποιούνται και θα «επουλώνουν» τις όποιες ρωγμές.

4.2.2 Γυψοσανίδες

Η χαρακτηριστική δυναμική αντίδραση των ελαφρών κατασκευών από χαλύβδινα πλαίσια, στις εξωτερικές διαταραχές, οι πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, η θερμική μόνωση, η αντίσταση στη φωτιά και η ευκολία τοποθέτησης των γυψοσανίδων τις καθιστούν ιδανικές, για την κατασκευή του νέου αυτού κτιρίου, το οποίο αποτελεί μια καινοτόμα σύλληψη στον τομέα των κατασκευών για την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Οι γυψοσανίδες είναι ένα κοινό κατασκευαστικό δομικό υλικό που χρησιμοποιείται παγκοσμίως κατά το τελικό στάδιο δόμησης, σε εσωτερικούς τοίχους και ταβάνια. Αποτελείται από μια χάρτινη επένδυση η οποία τυλίγεται γύρω από έναν εσωτερικό πυρήνα κονιάματος γύψου (ημι-ένυδρη μορφή θειικού άλατος ασβεστίου $CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O$). Η γύψος $(CaSO_4.2H_2O)$, εξορύσσεται ή λαμβάνεται ως προϊόν κατά την διαδικασία αποθείωσης αερίων σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της καύσης γαιανθράκων (FGD). Η ημι-ένυδρη μορφή του θειικού ασβεστίου, $CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O$, παράγεται μέσω της διαδικασίας αφυδάτωσης της γύψου (□alcinations), η οποία είναι μια ενδόθερμη αντίδραση αποσύνθεσης. Όταν η γύψος θερμαίνεται σε θερμοκρασία μεταξύ 100° και 120° κελσίου, αρχίζει να αφυδατώνεται κατά την αντίδραση:

$$CaSO_4.2H_2O \rightarrow CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O + \frac{1}{2}H_2O$$

μειώνεται η αντοχή της, παίρνει την μορφή πούδρας, και τελικώς μετατρέπεται σε ημι-ένυδρο θειικό ασβέστιο $CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O$.[5]

Το κονίαμα αυτό, αναμειγνύεται με διάφορα προσθετικά, με σκοπό την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων, την αντοχή στη φωτιά και στο νερό. Στη συνέχεια ένας πυρήνα από υγρό υλικό τυλίγεται σε χαρτί ή φαιμπεργκλας και οδηγείται σε μεγάλους θαλάμους – στεγνωτήρια. Το υλικό γίνεται συμπαγές και αρκετά ανθεκτικό ώστε να χρησιμοποιηθεί ως δομικό υλικό. Οι θάλαμοι αυτοί, σήμερα λειτουργούν κυρίως με φυσικό αέριο. Ανάλογα με την απόδοση τους, το 25% με 45% του κόστους των γυψοσανίδων, οφείλεται στην κατανάλωση φυσικού αερίου. [6]

Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που χρησιμοποιούνται οργανικά διαλυτικά/πλαστικοποιητές, δηλ. η μείωση της ποσότητας του νερού ώστε να παράγεται παχύρευστο μείγμα (slurry) γύψου κατά την κατασκευή των γυψοσανίδων. [7]

Όταν χρησιμοποιείται για προστασία από την φωτιά, η γυψοσανίδα αποτελεί ένα παθητικό στοιχείο πυροπροστασίας. Στη φυσική της μορφή, η γύψος περιέχει κρυσταλλικό νερό το οποίο δεσμεύεται υπό μορφή ένυδρων ουσιών. Όταν εκτίθεται στη θερμότητα, και κατά επέκταση στην πυρκαγιά, αυτό το νερό εξαερώνεται, καθυστερώντας με τον τρόπο αυτό την μετάδοση της θερμότητας. Επομένως, μια πυρκαγιά σε ένα δωμάτιο που χωρίζεται από ένα παρακείμενο δωμάτιο με μια αντιπυρική κατασκευή από γυψοσανίδες, δεν θα προκαλέσει στο δωμάτιο αυτό, μεταβολή θερμοκρασίας μεγαλύτερη από το σημείο βρασμού του νερό (100℃) μέχρι να εξατμιστεί όλο το νερό που περιέχεται στη γύψο.

Αυτό καθιστά την γυψοσανίδα, ένα ιδιόμορφο υλικό επειδή καθώς τα ένυδρα συστατικά εξατμίζονται, αφήνουν πίσω είδος σκόνης, το οποίο σε συνδυασμό με το χαρτί γίνεται ιδιαίτερα επικίνδυνο. Γενικότερα όσο περισσότερα στρώματα γυψοσανίδας τύπου Χ (type X) έχουν προστεθεί σε έναν τοίχο, τόσο περισσότερο αυξάνει η αντίσταση στη φωτιά. Η γυψοσανίδα τύπου Χ, δημιουργείται με την προσθήκη ινών γυαλιού στη γύψο, με στόχο την αύξηση της προστασίας από τη φωτιά, ιδίως όταν εξατμίζονται τελείως τα ένυδρα συστατικά και η γύψος μετατρέπεται σε σκόνη. Η γυψοσανίδα τύπου Χ είναι ένα τυπικό υλικό που χρησιμοποιείται, σε τοίχους και ταβάνια, όταν απαιτείται υψηλός δείκτης προστασίας από την φωτιά.

Επειδή ένα μεγάλο ποσοστό, περίπου ίσο με το 17%, των γυψοσανίδων περισσεύει μετά το τέλος της κατασκευής και της εγκατάστασης, το οποίο σπάνια επαναχρησιμοποιείται, η απόθεση και επεξεργασία του

υλικού αυτού αποτελεί ένα μεγάλο πρόβλημα. Σε αρκετές περιοχές έχει απαγορευτεί η απόθεση του υλικού αυτού. Ενώ η απόθεση του σε θαλάσσια περιβάλλοντα μπορεί να προκαλέσει ζημιά στους θαλάσσιους οργανισμούς. Πολλοί κατασκευαστές παίρνουν πίσω τα περισσευούμενα μέρη από τις γυψοσανίδες και τα καταστρέφουν καίγοντας τα σε υψηλές θερμοκρασίες, ώστε να καταστραφεί το χαρτί που εμπεριέχουν και επαναφέρουν τη γύψο στην αρχική της κατάσταση. Πρόσφατα, άρχισε να ερευνάται και η δυνατότητα ανακύκλωσης στο ίδιο το εργοτάξιο. Υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για τον εμπλουτισμό συγκεκριμένων εδαφών, όπως οι άργιλοι και οι ιλείς, όπως επίσης και σε λιπάσματα, αλλά δεν πρέπει να περιέχει μη – βιοδιασπούμενα ή τοξικά προσθετικά, πλαστικοποιητές, EDTA κλπ.

4.2.3 Χαλύβδινα Πλαίσια

Τα χαλύβδινα πλαίσια αναφέρονται συνήθως, σε μια τεχνική οικοδόμησης με «πλαίσια – σκελετών» (εικ.4.4), αποτελούμενα από κάθετους στύλους χάλυβα και οριζόντιες δοκούς τύπου I. Τα στοιχεία αυτά, συνδέονται σε ένα τετραγωνικό πλέγμα, για να στηρίξουν την οροφή και τους τοίχους. Η τεχνική αυτή κατέστησε εφικτή την κατασκευή των ουρανοξυστών.

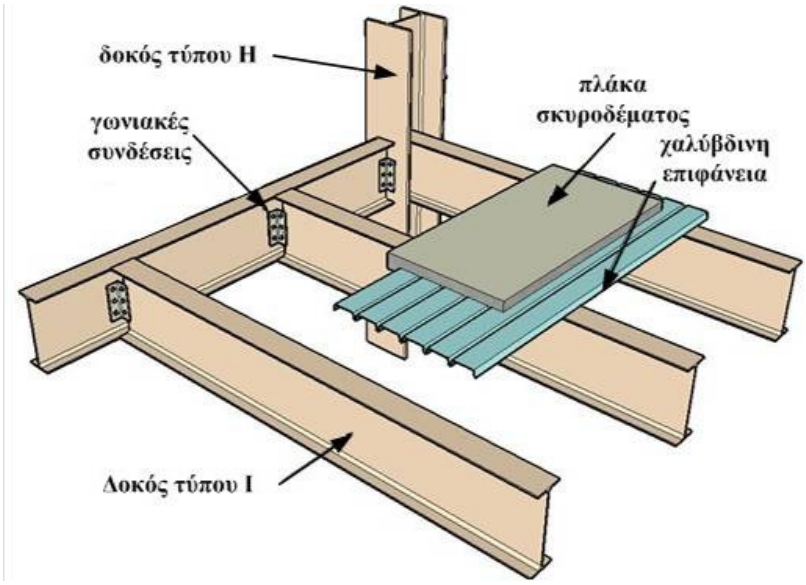
Οι δοκοί τύπου I (επίσης γνωστές ως δοκοί τύπου W, ή δοκοί διπλού T), είναι δοκοί που το προφίλ τους έχει σχήμα I ή H. Τα οριζόντια στοιχεία αποτελούν την ενίσχυση, ενώ τα κάθετα στοιχεία αποτελούν τον ιστό. Η εξίσωση που περιγράφει την συμπεριφορά δοκών κατά τη φόρτιση, των Euler – Bernoulli, δείχνει ότι η διάταξη αυτή βοηθά στο να εκδηλώνεται η κάμψη και η διάτμιση στο επίπεδο του πλέγματος. Δυστυχώς όμως, η διατομή αυτή, εμφανίζει μειωμένη ικανότητα κατά την εγκάρσια διεύθυνση, ενώ είναι και ανεπαρκής για τη μεταφορά της στρέψης, με αποτέλεσμα να προτιμώνται, σε τέτοιες περιπτώσεις κοίλα δομικά στοιχεία.

Η διατομή των στύλων χάλυβα παίρνει τη μορφή του γράμματος «Η». Οι δύο πεπλατυσμένες πλευρές της κάθε στήλης είναι πιο πλατιές και πιο παχιές από αυτές των δοκών, ώστε να αντιστέκονται καλύτερα στις τάσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται και τετραγωνικά ή κυλινδρικά τμήματα χάλυβα τα οποία γεμίζονται με σκυρόδεμα.

Οι δοκοί χάλυβα συνδέονται με τους στύλους με μπουλόνια ή καρφιά. Ο κεντρικός ιστός των δοκών τύπου «I» είναι συχνά πιο πλατύς από τον

αντίστοιχο ιστό των στηλών ώστε να μπορεί να αντισταθεί στις μεγάλες δυνάμεις κάμψης που εμφανίζονται σε αυτές.

Μεγάλα φύλλα από χάλυβα, χρησιμοποιούνται για να καλύψουν το πάνω μέρος του χαλύβδινου σκελετού, κάτω από ένα παχύ στρώμα σκυροδέματος και ενισχυτικών ράβδων χάλυβα. Μια άλλη δημοφιλής εναλλακτική λύση είναι ένα πάτωμα των προκατασκευασμένων συγκεκριμένων μονάδων δαπέδων με κάποια μορφή συγκεκριμένου καλύμματος. Συχνά στα κτήρια γραφείων η τελική επιφάνεια των πατωμάτων είναι υπερυψωμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε το κενό μεταξύ της επιφάνειας αυτής και του πραγματικού πατώματος να χρησιμοποιείται για καλώδια και αγωγούς αερισμού του κτηρίου.



Εικόνα 4.4: *Σχηματική απεικόνιση της τεχνικής οικοδόμησης με χαλύβδινα πλαίσια «skeleton – frame».*

Ο σκελετός πρέπει να προστατευθεί από πυρκαγιές, επειδή ο χάλυβας γίνεται ιδιαίτερα μαλακός κατά την έκθεση του σε υψηλές θερμοκρασίες, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει την κατασκευή σε μερική κατάρρευση. Για το λόγο αυτό τα χαλύβδινα πλαίσια «ντύνονται» με κάποιο αντιπυρικό υλικό, όπως είναι το σκυρόδεμα ή η γυψοσανίδα. Οι δοκοί αντίστοιχα μπορούν επίσης να «ντυθούν» με σκυρόδεμα ή γυψοσανίδα ή και να ψεκαστούν επιπλέον με κάποια επικάλυψη ώστε να μονωθούν από τη μεγάλη θερμότητα που αναπτύσσεται θερμότητα κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς.

Το εξωτερικό μέρος του κτηρίου καλύπτεται χρησιμοποιώντας ποικίλες τεχνικές δόμησης και μιας τεράστιας γκάμας αρχιτεκτονικών υφών. Τούβλα, πέτρα, ενισχυμένο σκυρόδεμα, αρχιτεκτονικό γυαλί, ή απλά το χρώμα

μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καλύψουν το πλαίσιο και να προστατεύσουν το χάλυβα από τις καιρικές συνθήκες.

5 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

5.1 Νανοτεχνολογία και Αειφορία

Παρά τα οφέλη της κοινωνίας από τα σημερινά επιτεύγματα της τεχνολογίας και της χημείας, είναι γεγονός ότι η βιομηχανική παραγωγή των αγαθών, οι διεργασίες που χρησιμοποιήθηκαν, η χρήση των αγαθών και η διάθεση βλαβερών και επικίνδυνων χημικών ουσιών -πάντα σε άμεσο συνδυασμό με την αλόγιστη ανάπτυξη-, είχαν σαν αποτέλεσμα σημαντική και μετρήσιμη αρνητική επίδραση στην υγεία του ανθρώπου, το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους.

Το φυσικό κεφάλαιο, ως συντελεστής της παραγωγής, έχει δεδομένη και περιορισμένη προσφορά, με αποτέλεσμα η καταστροφή του εξαιτίας της κατανάλωσης να είναι μη αναστρέψιμη. Η υπερκατανάλωση στο βαθμό και με τον τρόπο που γίνεται, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά, υποσκάπτει την υγεία του πλανήτη και των ανθρώπων, ενώ παράλληλα ενισχύει τις κοινωνικές ανισότητες.

Τα τελευταία χρόνια δεδομένου του προβλήματος αυτού, γίνεται λόγος για την «αειφορία» ή «βιώσιμη ανάπτυξη» όρους, με τους οποίους εννοούμε ανάπτυξη τέτοια ώστε οι διαθέσιμοι πόροι να μπορούν να καρποφορούν πάντα, ή ανάπτυξη να είναι τέτοια ώστε να είναι ικανή να διατηρηθεί, να επιβιώσει και να μην αναλώσει, με οποιονδήποτε ρυθμό, αργό ή γρήγορο, εκείνα τα στοιχεία του πλανήτη μας που δεν μπορούν να αναπληρωθούν ή ακόμα να σέβεται τις αντοχές των στοιχείων εκείνων της βιόσφαιρας (του ζωντανού φλοιού του πλανήτη) που χρησιμοποιούνται ως παραγωγικοί πόροι, ήτοι να σέβεται την «φέρουσα ικανότητά τους».

Στην αειφορία συμβάλει με πολλές εφαρμογές της κατά μεγάλο ή μικρότερο ποσοστό, έμμεσα ή άμεσα και η νανοτεχνολογία˙ στους τομείς της παραγωγής ενέργειας, αποθήκευσης ενέργειας αλλά και εξοικονόμησης ενέργειας, βοηθώντας στην διασφάλιση των πρώτων υλών και των φυσικών πόρων του πλανήτη. Μια πολύ σημαντική πλευρά της αειφορίας την οποία προωθεί και η νανοτεχνολογία, είναι και η διατήρηση μέσω της σωστής χρήσης και συντήρησης, των πρώτων υλών που έχουν ήδη δεσμευτεί στο

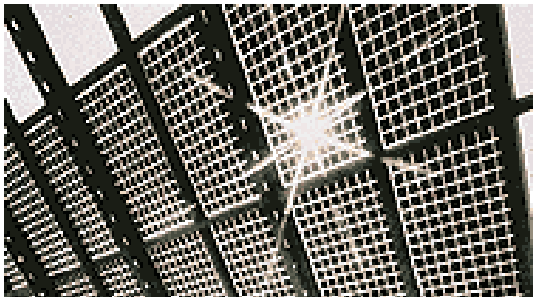
δομημένο περιβάλλον, ως κατασκευαστικά υλικά με ασύγκριτη αντοχή, διάρκεια και λειτουργικότητα.

5.1.1 Παραγωγή και μετατροπή ενέργειας

5.1.1.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Η νανοτεχνολογία ανοίγει νέους ορίζοντες ανάπτυξης στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης ανά ημέρα είναι αρκετή για να καλύψει την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση. Αναφορικά, Ήλιος παρέχει κατά μέσο όρο στην Ευρώπη 1kW/m^2 ηλιακής ακτινοβολίας ανά έτος.

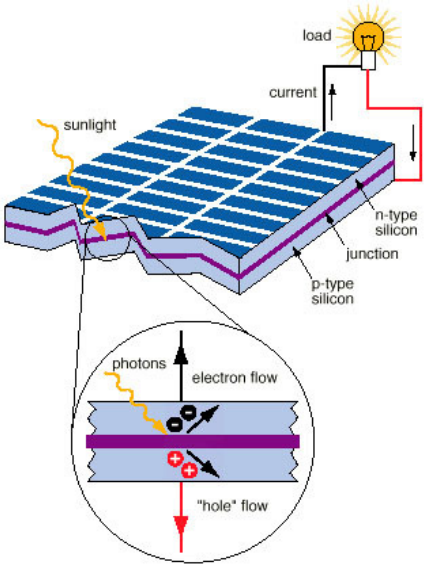
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν την ενέργεια αυτή σε ηλεκτρική. Από όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά έχουν τη μικρότερο μερίδιο στην παγκόσμια αγορά αλλά αναμφίβολα το μεγαλύτερο δυναμικό ανάπτυξης [8]. Η νανοτεχνολογία μπορεί να προσφέρει τόσο στην ανάπτυξη των ήδη υπάρχουσων τεχνολογιών αλλά στην αντικατάστασή τους από εναλλακτικές.



Εικόνα 5.1: *Αρχιτεκτονική διάταξη ηλιακών κυψελών*

Οι φωτοβολταϊκές ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από διόδους κατασκευασμένες συνήθως από κάποιο ημιαγώγιμο υλικό. Κάθε μια από τις διόδους βρίσκεται τοποθετημένη ανάμεσα από δύο ηλεκτρικά αγώγιμες πλάκες με τις οποίες εφάπτεται. Καθώς το ηλιακό φως απορροφάται από τον ημιαγωγό, παράγονται αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια και θετικά φορτισμένες οπές που διαχέονται προς τις αντίθετα φορτισμένες αγώγιμες πλάκες. Με τον

τρόπο αυτό παράγεται συνεχές ρεύμα. Η παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος επιτυγχάνεται με τη σύζευξη πολλών τέτοιων κυψέλων.



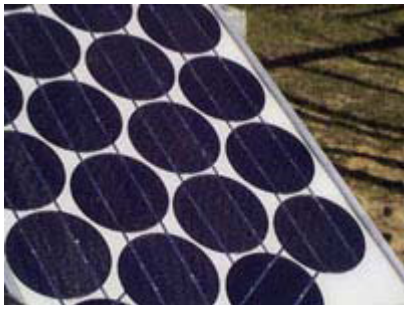
Εικόνα 5.2: *Αρχή λειτουργίας μιας ηλιακής κυψέλης*

Το πρωτεύον υλικό που απαιτείται για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο έχει το πλεονέκτημα ότι είναι από το δεύτερο πιο συνηθισμένο στοιχείο που απαντάται στη φύση και έτσι οι διαθέσιμες ποσότητες του μπορούν να θεωρηθούν ανεξάντλητες [9]. Η επεξεργασία όμως του πυριτίου είναι επιζήμια για το περιβάλλον καθώς απαιτούνται μεγάλα ποσά θερμότητας για την τήξη του ώστε να αποκτήσει την κρυσταλλική δομή που προϋποθέτει η κατασκευή φωτοβολταϊκών.

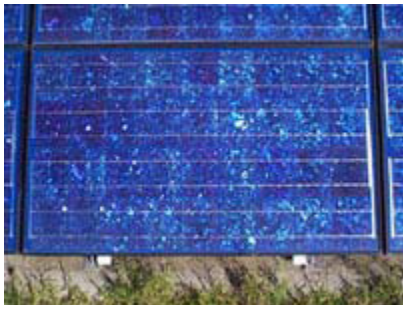
Αν και το κόστος των ηλιακών κυψέλων έχει μειωθεί κατά περίπου 20 φορές τις τελευταίες δύο δεκαετίες [10], η διαδικασία παραγωγής μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι ακόμα ακριβή εξ αιτίας της ανάγκης για υψηλής καθαρότητας ράβδων πυριτίου που απαιτούνται. Στις μέρες μας το κόστος των πλακών πυριτίου καλύπτει περίπου το μισό από το ολικό κόστος μιας φωτοβολταϊκής μονάδας, ενώ για να επιτευχθεί μαζική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων το κόστος τους θα πρέπει να μειωθεί κατά περίπου 3-5 φορές [11]. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μεγαλύτερες και λεπτότερες ηλιακές κυψέλες που θα παρουσιάζουν μεγαλύτερους συντελεστές απόδοσης. Για το χαμηλότερου κόστους άμορφου πυριτίου που μπορεί να παραχθεί, οι συντελεστές απόδοσης είναι σχετικά χαμηλοί και κυμαίνονται μεταξύ 5-8% [12].

Η συνεισφορά της νανοτεχνολογίας στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στοχεύει στην μείωση του κόστους τους, στην βελτίωση του συντελεστή

απόδοσης τους, καθώς και στην αύξηση της αξιοπιστίας τους. Η ιδιότητα των νανοσωματιδίων που χρησιμοποιείται είναι ότι τα υλικά αυτά παρουσιάζουν μεγάλη επιφάνεια σε σχέση με τον όγκο τους. Προκειμένου να ξεπεραστούν τα προαναφερθέντα προβλήματα, υμένια άμορφου πυριτίου συνδυάζονται με λεπτά μικροκρυσταλλικά υμένια, επιτυγχάνοντας συντελεστές απόδοσης πάνω από 10% για φωτοβολταϊκά στοιχεία έως $1m^2$ [13]. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της μεθόδου των λεπτών υμενίων σε σχέση με αυτή των μονοκρυσταλλικού πυριτίου, είναι ότι τα λεπτά υμένια μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγάλες επιφάνειες και μάλιστα σχετικά γρήγορα.



α



β

Εικόνα 5.3α&β: *Όψεις κρυσταλλικών ηλιακών κυψελών*

Τα νανο-υλικά χρησιμοποιούνται επίσης και στην παραγωγή κυψέλων Copper- Iridium – Deselenide (CIS) τα οποία είναι χαμηλού κόστους αλλά υψηλής απόδοσης. Εκεί τα νανοσωματίδια εφαρμόζονται ως προπομποί για την ανάπτυξη ενός πυκνού ομοιόμορφου στρώματος σε μεγάλες επιφάνειες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του σημείου τήξης του CIS. Σύντομα, το κόστος κατασκευής κυψέλων τύπου CIS θα είναι αρκετά χαμηλό ώστε η απόδοσή τους θα είναι δευτερεύουσας σημασίας [14].

Η Fraunhofer ISE επιτυγχάνει αύξηση της απόδοσης των οργανικών ηλιακών κυψέλων με τη χρήση νανο – ηλεκτροδίων τα οποία αυξάνουν την απορρόφηση ηλιακού φωτός στις κυψέλες [15].

Μια εναλλακτική λύση για τη μείωση του κόστους παραγωγής πραγματοποιείται με τη χρήση οργανικών κυψελών τύπου Grätzel και άλλων φωτοευαίσθητων χρωστικών. Οι κυψέλες αυτές παράγονται από υλικά χαμηλής καθαρότητας (και επομένως φτηνά) με απλές και χαμηλού κόστους μεθόδους. Οι κυψέλες Grätzel αποτελούνται από λεπτά υμένια πάχους 10μm φτιαγμένα από σωματίδια διοξειδίου του Τιτανίου (TiO_2) μεγέθους 20nm το καθένα. Τα μόρια της οργανικής χρωστικής απορροφούνται στις θέσεις του τιτανίου και περιβάλλονται από έναν υγρό ηλεκτρολύτη [12]. Με τη μέθοδο

αυτή δεν απαιτούνται υλικά με βάση το πυρίτιο ή άλλα ημιαγώγημα υλικά, αφού τα ηλεκτρόνια που παράγονται από την απορρόφηση του ηλιακού φωτός από την χρωστική μεταφέρονται άμεσα στα νανοσωματίδια του διοξειδίου του τιτανίου. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το υψηλό κόστος των χρωστικών που χρησιμοποιούνται το οποίο κυμαίνεται από 20-50 ευρώ/g.

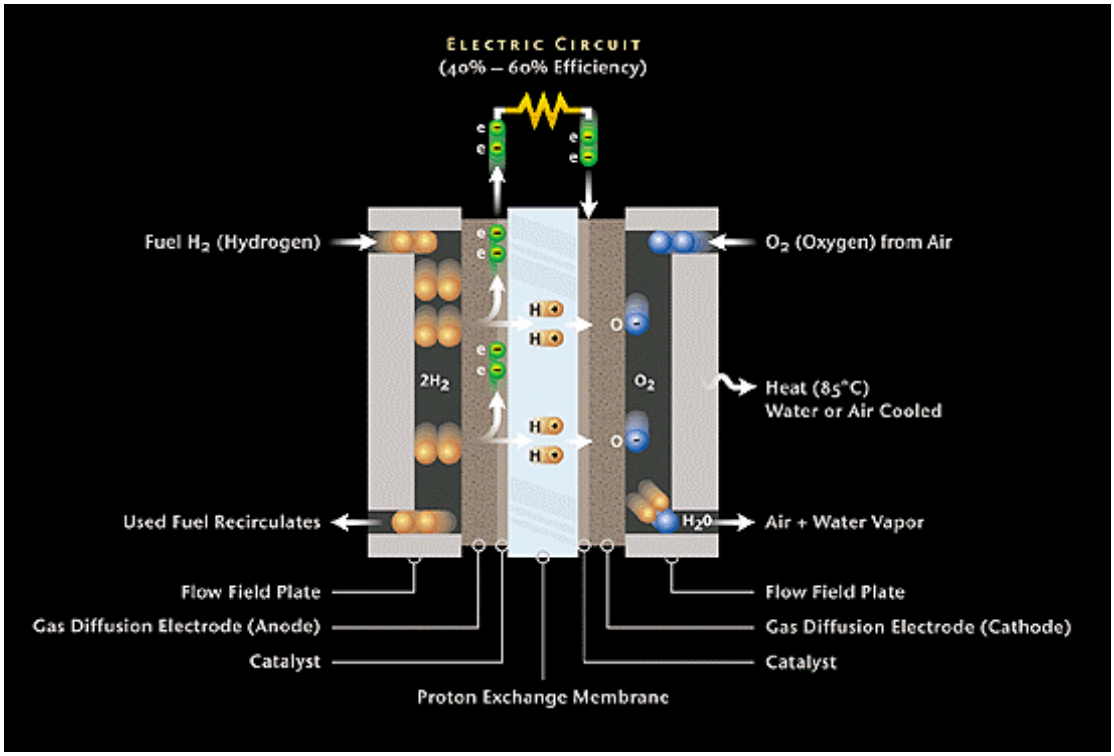
Το μικρό μέγεθος των συνδέσεων ανάμεσα στα νανοσωματίδια είναι σημαντικό για την γρήγορη και αποτελεσματική μεταφορά του ηλεκτρικού φορτίου. Για το λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες ώστε ο υγρός καταλύτης που περιβάλει την φωτοευαίσθητη χρωστική να αντικατασταθεί από κάποιο αγώγιμο πολυμερές ανόργανο υλικό όπως FeS, ή το CuS [16]. Για τον ίδιο σκοπό αναζητούνται και εναλλακτικές χρωστικές, ενώ επίσης κατασκευάζονται και πλαστικές κυψέλες. Αναφορικά, η εφαρμογή άνθρακα -60 (C60) σε ηλιακές κυψέλες κατασκευασμένες από πολυμερή πλαστικά διασφαλίζει την ταχύτατη μεταφορά των ηλεκτρονίων [17]. Αντίστοιχα η Αμερικάνικη εταιρία Nansys τοποθετεί νανο-ράβδους από τελουριούχο κάδμιο CdTe σε αγώγιμα πολυμερή προκειμένου να αυξήσει τόσο την απορρόφηση του ηλιακού φωτός, όσο και την ηλεκτρική αγωγιμότητα των υλικών που χρησιμοποιεί.

Δύο παράγοντες που μειώνουν την απόδοση των κλασικών ηλιακών κυψελών και αφορούν δύο συγκεκριμένα κβαντικά φαινόμενα είναι 1) ότι ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα μέσω της σκέδασης των ηλεκτρονίων με το κρυσταλλικό πλέγμα και 2) η διάδοση ακτινοβολίας χαμηλής συχνότητας που δεν φέρει αρκετή ενέργεια ώστε να δημιουργήσει ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές. Για να ξεπεραστούν τα φαινόμενα αυτά εξετάζεται η χρήση κβαντικών φρεάτων δυναμικού (Quantum wells) που θα περιέχονται σε ξεχωριστές ηλιακές κυψέλες [18].

Τέλος, ερευνάται επίσης και η κατασκευή κυψελών που θα βασίζονται σε μετατροπείς φωταύγειας που θα χρησιμοποιούν νανο-δομημένα υλικά όπως το πυρίτιο ή το γερμάνιο. Η βασική ιδέα για την δημιουργία τέτοιων κυψελών είναι ότι το πάνω στρώμα της κυψέλης θα δεσμεύει τα φωτόνια υψηλής ενέργειας και θα τα μετατρέπει σε δύο φωτόνια χαμηλότερης ενέργειας που θα μπορούν να απορροφηθούν από την κυψέλη πιο αποτελεσματικά [18].

5.1.1.2 Κυψέλες καυσίμων (Fuel Cells)

Οι κυψέλες καυσίμων έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τις συνηθισμένες μπαταρίες. Σε αντίθεση με τις μπαταρίες όμως δεν αποθηκεύουν ενέργεια. Οι κυψέλες καυσίμων παράγουν ηλεκτρική ισχύ μόνο για όσο χρόνο τροφοδοτούνται από καύσιμο. Λειτουργούν μετατρέποντας την χημική ενέργεια που βρίσκεται στο υδρογόνο H_2 και το οξυγόνο O_2 συνθέτοντας νερό H_2O και ηλεκτρική ενέργεια [19].



Εικόνα 5.4: *Μια σχηματική αναπαράσταση μιας κυψέλης καυσίμων*

Οι κυψέλες καυσίμων αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια που διαχωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη. Η αντίδραση ανάμεσα στο υδρογόνο και το οξυγόνο καθορίζεται από έναν καταλύτη. Ο καταλύτης αυτός επιτρέπει την διάδοση των ελευθέρων ηλεκτρονίων που δημιουργούνται (ηλεκτρικό ρεύμα δηλαδή) σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που αποτελείται από έναν ηλεκτρολύτη. Στη θέση του υδρογόνου στην αντίδραση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αέριο, από φυσικό αέριο ή αέριο βιομάζας, αφού πρώτα αναμειχθούν με ένα μείγμα διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου. Το αέριο μείγμα που δημιουργείται έτσι, καθαρίζεται μέσω μεμβρανών και στη συνέχεια μπορεί να τροφοδοτήσει τον ενεργειακό συσσωρευτή.

Οι κυψέλες καυσίμων αναμένεται τα επόμενα έτη / δεκαετίες να αντικαταστήσουν ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής ενέργειας από που στις μέρες μας παίρνουμε από μηχανές εσωτερικής καύσης. Οι κυριότεροι τρεις

λόγοι που οδηγούν την έρευνα προς αυτής της τεχνολογίας είναι ότι κυψέλες καυσίμων χρησιμοποιούν ανανεώσιμους πόρους, εκπέμπουν λιγότερους ρύπους και τρίτον παρουσιάζουν υψηλότερες αποδόσεις σε σχέση με της παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής ενέργειας. Συγκεκριμένα οι απόδοση των μηχανών εσωτερικής καύσης δε ξεπερνά το 50% ενώ η αντίστοιχη απόδοση των ενεργειακών συσσωρευτών αγγίζει το 70%.[20]

Εικόνα 5.5: *Μία φορητή κυψέλη καυσίμων ισχύος 100Watt, που τροφοδοτεί μια τηλεόραση*

Η διεθνής αγορά των ενεργειακών συσσωρευτών αναμένεται ότι θα παρέχει σημαντικές εμπορικές ευκαιρίες καθώς μέσα στην επόμενη δεκαετία, 100 δις δολάρια θα αποδοθούν για την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας. Η επιτυχής υλοποίηση των ερευνών αυτών θα εξαρτηθεί από τα νέα υλικά που πρέπει να αναπτυχθούν. Η επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο, στην κατασκευή των ηλεκτροδίων και ως ηλεκτρολύτες καθορίζουν την θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή, τις επιδόσεις του και επομένως τις πιθανές χρήσεις του.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι το υδρογόνο δεν αποτελεί πρωτεύουσα πηγή ενέργειας ή καυσίμου αλλά πρέπει να παρασκευαστεί με τη βοήθεια άλλων ενεργειακών πόρων όπως ορυκτοί υδρογονάνθρακες, πυρηνική ενέργεια ή και άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

Οι κυψέλες καυσίμων χωρίζονται σε έξι κατηγορίες ανάλογα με τη θερμοκρασία στην οποία λειτουργούν και τον τύπο του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται [19]. Οι συσσωρευτές σε τέσσερις από αυτές τις κατηγορίες (AFC, PEFC, DMFC, PAFC) λειτουργούν σε θερμοκρασίες χαμηλές (<80 - 200℃), ενώ οι συσσωρευτές που ανήκουν στις άλλες δύο κατηγορίες (MCFC, SOFC) λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες (620 - 1000℃).

Η συνεισφορά της νανοτεχνολογίας στην ανάπτυξη αυτού του ενεργειακού κλάδου στοχεύει στην μείωση του κόστους παραγωγής τους αλλά και στην αύξηση του συντελεστή απόδοσής τους.

Το κυριότερο μειονέκτημα των κυψελών καυσίμου είναι το υψηλό κόστος κατασκευής τους. Συγκεκριμένα, το κόστος των συσσωρευτών ενέργειας είναι περίπου 20.000 ευρώ / kW [21]. Το υψηλό κόστος τους ενεργειακούς συσσωρευτές πολυμερούς ηλεκτρολύτη (Polymer Electrolyte Fuel Cells – PEFC) οφείλεται κυρίως στην μεμβράνη τους αλλά και στον καταλύτη που κατασκευάζεται από πλατίνα.

Η βασικότερη συνεισφορά της νανοτεχνολογίας στην τεχνολογία των συσσωρευτών ενέργειας είναι στην κατασκευή του καταλύτη που χρησιμοποιείται στους συσσωρευτές τύπου PEFC και PAFC. Οι καταλύτες αυτοί αποτελούνται από νανο-σωματίδια πολύτιμων μέταλλων μεγέθους 1 – 5ημ, τα οποία βρίσκονται μέσα σε άνθρακα. Οι συγκεκριμένη αυτή δομή αυξάνει το λόγο της επιφάνειας ως προς το μέγεθος των πολύτιμων μετάλλων μειώνοντας έτσι το συνολικά κόστος κατασκευής των συσσωρευτών [22].

Για την μείωση της ποσότητας της πλατίνας που χρησιμοποιείται στους καταλύτες, η εταιρία Daimen – Chysler χρησιμοποιεί νανο-πορώδη υλικά στην μεμβράνη του καταλύτη για την απομάκρυνση του παραγόμενου μονοξειδίου του άνθρακα. Αντίστοιχα η CEA μειώνει την απαιτούμενη ποσότητα πλατίνας εναποθέτοντας νανοσωλήνες άνθρακα που παίζουν το ρόλο λεπτόκοκκου καταλύτη πλατίνας σε συσσωρευτές μεγάλης ισχύος.

Η αύξηση της θερμοκρασίας που συνεπάγεται η λειτουργία των συσσωρευτών, μειώνει την αγωγιμότητα των ιόντων υδρογόνου στην μεμβράνη μειώνοντας έτσι την απόδοση των κυψελών καυσίμου. Λύση στο πρόβλημα αυτό δίνεται με τη εισαγωγή υδρόφιλων νανοσωματιδίων τα οποία αποτελούνται από ανόργανα υλικά όπως η σιλικόνη στα ηλεκτρολυτικά πολυμερή των κυψελών καυσίμου.

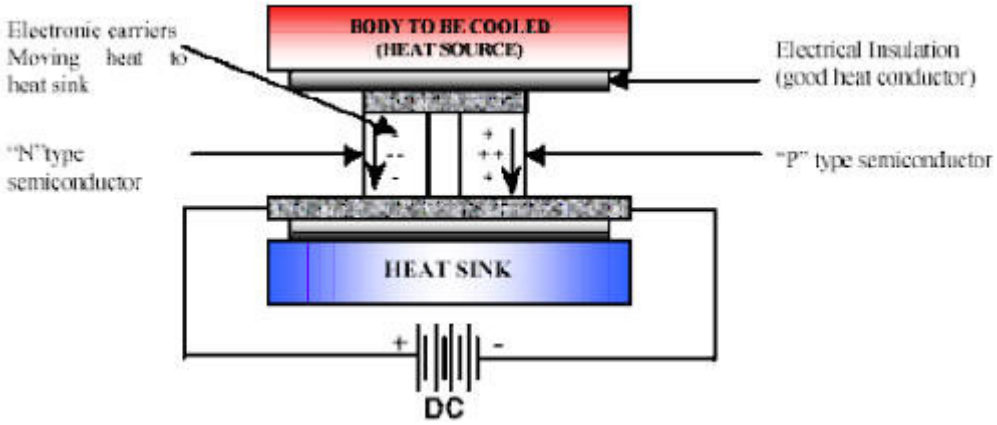
Για την αύξηση της απόδοσης των κυψελών καυσίμου που βασίζονται στη μεθανόλη, η NEC εισαγάγει άτομα πλατίνας σε φύλλα φουλερένιου τα οποία τυλίγονται ώστε να σχηματιστούν κώνοι (nanohorns). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αύξηση έως και 20% στον συντελεστή απόδοσης. Αντίστοιχα, η SONY χρησιμοποιεί και αυτή φουλερένια για να αυξήσει το χρόνο απόκρισης των κυψελών καυσίμου.

Όπως προαναφέρθηκε, για την λειτουργία των κυψελών καυσίμου βασίζεται στη χρήση υδρογόνου. Όπως θα δούμε στην παράγραφο 5.1.2, η νανοτεχνολογία έχει εφαρμογές και στην ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης υδρογόνου μεγάλης χωρητικότητας.

5.1.1.3 Θερμοηλεκτρισμός

Τα νανοδομημένα υλικά φαίνεται να έχουν μελλοντικές εφαρμογές σε θερμοηλεκτρικές συσκευές. Οι θερμοηλεκτρικές συσκευές (TE Thermoelecric Devices) είναι συστήματα στερεάς φάσης που μπορούν να παρέχουν δροσισμό, θέρμανση, ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας και ακόμα μπορούν να μετατρέψουν τη θερμότητα σε ηλεκτρισμό. Στο μέλλον θα είναι δυνατό να μετατρέψει κανείς τη θερμότητα των αποβλήτων ενός αυτοκινήτου σε ηλεκτρισμό. π.χ. για τη λειτουργία του κλιματιστικού του αυτοκινήτου. Μικροσκοπικές κουκίδες θερμοηλεκτρικών υλικών θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στην επιφάνεια τσιπ μικροεπεξεργαστών ειδικά για να δροσίζουν τα θερμά σημεία και να βοηθήσουν τον επεξεργαστή να λειτουργήσει ταχύτερα από ότι θα λειτουργούσε εάν ο δροσισμός γινόταν με έναν ανεμιστήρα.

Τα θερμοηλεκτρικά υλικά έχουν ειδικά πλεονεκτήματα όπως: μικρό μέγεθος, καθόλου μηχανικά μέλη, και απλότητα. Είναι επίσης χρήσιμα για την αξιοπιστία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, της διαχείρισης της ενέργειας, και στους θερμικούς αισθητήρες. Οι συσκευές TE σε γενικές γραμμές αποτελούνται από μια ένωση δύο υλικών με διαφορετική θερμική αγωγιμότητα. Όταν αυτά εκτίθενται σε μια θερμοκρασιακή διαφορά, ηλεκτρικό ρεύμα ρέει από το ένα υλικό στο άλλο. Αντιστρόφως, περνώντας μια ηλεκτρική ροή από την ένωση επιφέρει δροσισμό. Τέτοιες συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ψυγεία, ή σαν πιθανές γεννήτριες ενέργειας που θα επαναχρησιμοποιούν τη θερμότητα των αποβλήτων των αυτοκινήτων ή του ανθρώπινου σώματος.



Εικόνα 5.6:*Αρχή λειτουργίας ενός θερμοηλεκτρικού στοιχείου*

Τα θερμοηλεκτρικά υλικά πρέπει να έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, και δυνατότητα υψηλής θερμικής ισχύος, ιδιότητες που είναι δύσκολο να συνδυαστούν όλες στον κατάλληλο βαθμό στο ίδιο υλικό. Εδώ αναλαμβάνει η νανοτεχνολογία, με τον καινοφανή σχεδιασμό των υλικών στη νανοκλίμακα, την ανάπτυξη παραγωγικών διαδικασιών για τέτοιου είδους υλικά, και συνεπώς υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης της απόδοσης των θερμοηλεκτρικών υλικών στα συστήματα μετατροπής ενέργειας. Η κατασκευή νανο-δομημένων θερμοηλεκτρικών (ΤΕ) υλικών δίνει ελπίδα στην επίτευξη επιλεκτικής διάθλασης φωτονίων λόγω της υψηλής πυκνότητας των ορίων των κόκκων, και οδηγεί σε μείωση της θερμικής αγωγιμότητας διατηρώντας ταυτόχρονα υψηλή την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

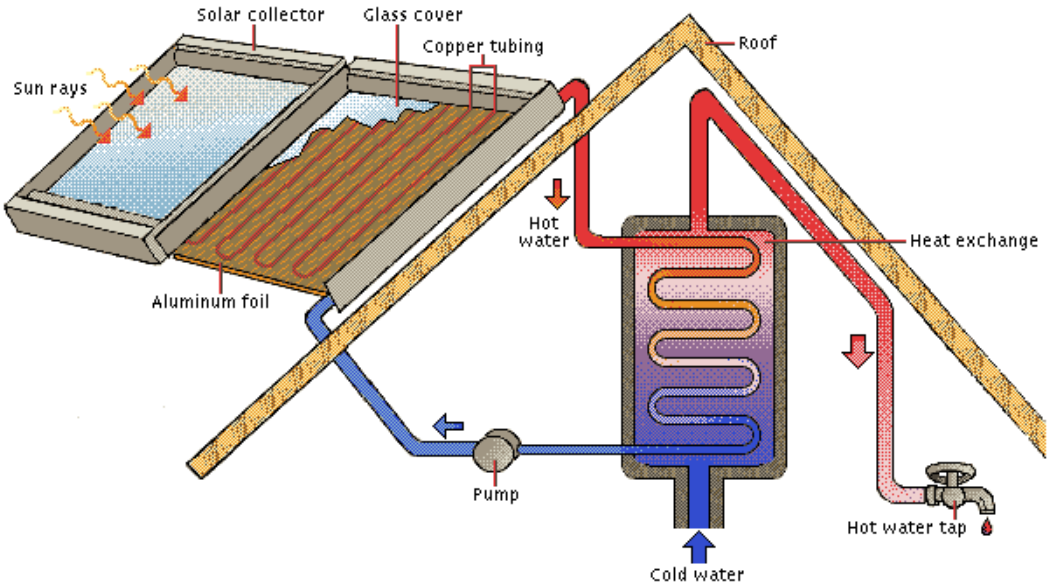
5.1.1.4 Θερμική Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κατά κόρον για την παραγωγή ζεστού νερού καθώς και την θέρμανση κτιρίων. Η αρχή λειτουργίας των ηλιακών συλλεκτών είναι ιδιαίτερα απλή. Μια μαύρη επιφάνεια απορροφά ηλιακή ακτινοβολία ώστε να θερμανθεί νερό (ή αέρα) που κυκλοφορεί μέσω ενός δικτύου σωλήνων.

Στα πλαίσια του Δανέζικου προγράμματος ΕΕΤ, κατασκευάστηκαν νανο-δομημένα αεροτζέλ τα οποία καλύπτουν τους ηλιακούς συλλέκτες, αυξάνοντας την απόδοση των συλλεκτών. Τα αεροτζέλ αυτά είναι διαφανή και με εξαιρετικές θερμομονωτικές ιδιότητες και περιέχουν πόρους με διάμετρο

μερικά νανόμετρα. Τέτοιου είδους αεροτζέλ μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης και σε θερμοκήπια ή και για την μόνωση παράθυρων σε κτήρια.

Η νανοτεχνολογία χρησιμοποιείται επίσης και στην κατασκευή τζαμιών για παράθυρα οικημάτων τα οποία αλλάζουν χρώμα ανάλογα με την θερμότητα και το φως που δέχονται από τον ήλιο ευνοώντας την διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας.



Εικόνα 5.7:*Ηλιακό θερμικό σύστημα για οικιακή θέρμανση*

5.1.1.5 Θερμο-φωτοβολταϊκά

Τα θερμο-φωτοβολταϊκά στοιχεία μετασχηματίζουν ταυτοχρόνως υπέρυθρη ακτινοβολία σε θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια ενός κατάλληλου καυστήρα και φωτοβολταϊκών κυψελών. Αυτή η προσέγγιση για την παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμότητα αποτελεί την εναλλακτική των κλασικών μηχανών εσωτερικής καύσης και έχει τραβήξει το ενδιαφέρον ολοένα και περισσοτέρων ερευνών τα τελευταία χρόνια.

Η νανοτεχνολογία υπεισέρχεται στην ανάπτυξη των θερμο-φωτοβολταϊκών με την ανάπτυξη χαμηλού κόστους συστημάτων παραγωγής ηλεκτρισμού και θέρμανσης με βάση το πυρίτιο, αλλά και μέσω κυψελών αποτελούμενες από GaSb (γαλλιούχο αντιμόνιο) (,InGaAs/InP, και ενδεχομένως και Ge (γερμάνιο), για την παραγωγή συστημάτων μεγάλης ισχύος.

Σημαντική είναι επίσης η συμβολή των νανοεπιστημών στην δημιουργία υλικών, για την επιλεκτική εκπομπή φωτονίων, με φάσμα ισχύος διαφορετικό από αυτό του μελανού σώματος [23]. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειας λόγω εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Εναλλακτικά, αυτό μπορεί να επιτευχθεί και με την εισαγωγή φωτονικών κρυστάλλων (photonic crystals) τριών διαστάσεων.[24]

5.1.1.6 Βιο-ενέργεια (bioenergetics)

Στη φύση, τα φυτά παράγουν την ενέργεια που απαιτείται για να διατηρηθούν στη ζωή και να αναπτυχθούν μέσω της φωτοσύνθεσης. Επίσης τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα αποθηκεύουν ενέργεια κατασκευάζοντας τριφωσφορική αδενοσύνη (ATP), ενώ διασπώντας την ουσία ATP παράγουν ενέργεια. Στα μελλοντικά σχέδια για την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον μεθόδων παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, είναι η δημιουργία συστημάτων που μιμούμενα τη φύση θα πραγματοποιούν τεχνητή φωτοσύνθεση ή / και θα αποθηκεύουν ενέργεια σε μορφή ATP.

Για την ανάπτυξη της τεχνητής φωτοσύνθεσης έχουν ήδη κατασκευαστεί και δοκιμαστεί νανο-υλικά τα οποία έχουν ιδιότητες αντίστοιχες με τις αντίστοιχες φυσικές ουσίες που φωτοσυνθέτουν. Παραδείγματα τέτοιων υλικών είναι τα νανο-δομημένα συσσωματώματα - J και οι μεγαλομοριακές δομές “zinc chlorine bacteriochlorine”. Αντίστοιχα, η χρήση βιο-νανοτεχνολογίας έχει ήδη επιτρέψει την κατασκευή τεχνητού ATP μέσω της πρωτεΐνης “bactiriorhodopsin”.[25]

5.1.2 Εξοικονόμηση φυσικών πόρων

Η αυξημένη αντοχή και ανθεκτικότητα είναι μέρος της εκστρατείας για μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου του δομημένου περιβάλλοντος με την αποτελεσματική και αποδοτική χρήση των πόρων. Αυτό γίνεται εφικτό κατά κύριο λόγο με την κατασκευαστική παραγωγική διαδικασία μέσω της μείωσης της ρύπανσης κατά την κατασκευή των υλικών (π.χ. τσιμέντο) και επίσης στο

στάδιο της λειτουργίας μέσω παραδείγματος χάριν της εξοικονόμησης ενέργειας λόγω της προόδου στον τομέα των μονώσεων.

Η νανοτεχνολογία που αναμιγνύεται με την μελέτη των θεμελιωδών συστατικών του σκυροδέματος, μπορεί να οδηγήσει σε μια βαθιά κατανόηση της κατασκευής του και της λειτουργικής ζωής του, η οποία θα βασίζεται σε ένα προμελετημένο υλικό με προκαθορισμένες ιδιότητες. Όσον αφορά λοιπόν στο σκυρόδεμα και ειδικότερα στο τσιμέντο ως συνθετικό του υλικό, αλλά και σε άλλα παράγωγα του τσιμέντου, η αειφορία θα αναδειχθεί σε τεράστιο θέμα συζήτησης.

Ο έλεγχος της ενυδάτωσης του τσιμέντου μπορεί να οδηγήσει σε μια νέα γενιά προϊόντων. Αυτά τα προϊόντα θα έχουν ένα αποδοτικότερο λόγο ιδιοτήτων ως προς τη μάζα τους, πράγμα που σημαίνει ότι το ίδιο ή καλύτερο υλικό θα μπορεί να επιτευχθεί με λιγότερη πρώτη ύλη. Η παραγωγική διαδικασία των υλικών αυτών θα είναι δηλαδή περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον, τη στιγμή που σήμερα, παγκοσμίως λόγω και μόνο της παραγωγής του τσιμέντου που χρησιμοποιείται στο σκυρόδεμα παράγονται περίπου 1,4 τόνοι CO_2 ετησίως, ποσότητα που αποτελεί το 6% της παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής CO_2.

Όσον αφορά στον κατασκευαστικό χάλυβα, η αύξηση της αντοχής του και η βελτίωση της ελαστικότητας του με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας, τον καθιστούν ικανότερο να φέρει τα ίδια φορτία και να παραλαμβάνει τις ίδιες τάσεις, σε φέροντες οργανισμούς που θα αποτελούνται πλέον από μικρότερες διατομές, καταναλώνοντας έτσι πολύ μικρότερη ποσότητα πρώτης ύλης, με την ίδια αποτελεσματικότητα σε αντοχή και λειτουργικότητα.

Το ίδιο θα συμβεί και με το ξύλο και τα προϊόντα του, αφού με την εξέλιξη και πρόοδο της νανοτεχνολογίας θα αντιμετωπιστούν τα προβλήματα της φθοράς του από την υγρασία, τον ήλιο, τη φωτιά αλλά και τους μικροοργανισμούς, και το ξύλο είτε από σύνθεσής του είτε με περαιτέρω επεξεργασία του, θα έχει πλέον αυξημένη αντοχή και διάρκεια στο χρόνο. Έτσι εξοικονομείται το κόστος συντήρησης, αλλά και οι φυσικοί πόροι του ξύλου καθώς δεν θα απαιτείται συχνή αντικατάσταση των ξύλινων διατομών.

5.1.3 Εξοικονόμηση ενέργειας

5.1.3.1 Θερμομόνωση

Έχουν ήδη αναφερθεί στο 3^{ο} κεφάλαιο υλικά με εξαιρετικές θερμομονωτικές ιδιότητες όπως το aerogel, το aerosil και οι θερμομονωτικοί πίνακες κενού (vacuum insulation panels VIPs), τα οποία αποτρέπουν τη μετάδοση της θερμότητας, λόγω του ακινητοποιημένου αέρα που εγκλωβίζουν στη μάζα τους.

Ένας ακόμα τρόπος θερμομόνωσης των κτιρίων είναι η εφαρμογή ανακλαστικών νάνο-επαλείψεων, προϊόντα που μέχρι τώρα έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία στην κατασκευή αεροσκαφών.

Ακόμα, η εφεύρεση -μέσω της νανοτεχνολογίας- λεπτών επικαλυπτικών φιλμ, πολλών στρώσεων και μεγάλης επιφάνειας, και μάλιστα χαμηλού κόστους, που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα στην κατασκευή οπτικών ειδών, μπορεί να βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό στην εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτά τα φιλμ, είναι οπτικά ευαίσθητα ανταποκρίνονται στο περιβάλλον τους και χρησιμοποιούνται για τη μείωση της έντασης του εκτυφλωτικού φωτός που διέρχεται από τους υαλοπίνακες. Ο όρος “smart glazing” που επινοήθηκε για τους υαλοπίνακες αυτούς, χρησιμοποιείται και για την ιδιότητά τους να αλλάζουν την διαπερατότητα και την φωτεινότητά τους, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Οι υαλοπίνακες αυτοί, ανταποκρίνονται είτε στις αλλαγές θερμοκρασίας, οπότε λέγονται θερμοχρωμικοί, είτε στις αλλαγές της εντάσεως του ηλιακού φωτός, οπότε ονομάζονται φωτοχρωμικοί.

Το θερμοχρωμικό γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εμποδίζει το ηλιακό πλεόνασμα, δηλαδή να κρατήσει το εσωτερικό ενός σπιτιού δροσερό και να προσφέρει προστασία από το ηλιακό φως, αφήνοντας ταυτόχρονα επαρκή φωτισμό. Εναλλακτικά το φωτοχρωμικό γυαλί λειτουργεί με την αύξηση της απορροφητικότητάς του. Παραδείγματος χάριν στις κρύες αλλά φωτεινές μέρες το φωτοχρωμικό γυαλί απορροφά την ηλιακή θερμότητα και την αποδίδει στο εσωτερικό.

Εικόνα 5.8: *Υαλοπίνακας με νάνο-επικάλυψη οξειδίου του βολφραμίου για μείωση της διαπερατότητάς του από το ηλιακό φως*

Όλες οι παραπάνω εφαρμογές εξοικονομούν μεγάλα ποσά ενέργειας τα οποία θα καταναλώνονταν από τις συσκευές κλιματισμού και φωτισμού. Τα ποσά αυτά μπορούν να ανέρθουν και στο 50% της σήμερα καταναλισκόμενης ενέργειας.

5.1.3.2 Αποδοτικότερος Φωτισμός

Σε όλους μας σήμερα είναι γνωστά τα LED, ή δίοδοι εκπομπής φωτός (light emmiting diods), τα οποία ήδη χρησιμοποιούνται ευρέως στο εμπόριο σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, οθόνες κινητών τηλεφώνων, και σε κάθε είδους ηλεκτρονικούς πίνακες, κονσόλες και ασύρματες συσκευές. Μέσω της τεχνολογίας των LED, είναι δυνατό να κατασκευαστούν λαμπτήρες που θα διαρκούν για χρόνια και θα καταναλώνουν τη μισή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Η αντικατάσταση των τυπικών σημερινών λαμπτήρων με τέτοιους λαμπτήρες και μόνο στις ΗΠΑ θα μπορούσε να εξοικονομήσει 100 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2025, εξοικονομώντας παράλληλα 120 GW ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως.

Εικόνα 5.9*: Μπλε LED*

Αν και δεν φαίνεται σαν κάτι διαφορετικό από έναν μικροσκοπικό λαμπτήρα, στην πραγματικότητα είναι κατά βάση, ένα μικροσκοπικό τσιπ κομμένο στη μέση. Η διέγερση των ηλεκτρονίων στη μια μεριά του τσιπ, τα υποχρεώνει να εγκαταλείπουν την επιφάνεια αυτή και αφού διασχίσουν το κενό να καταλήγουν στην απέναντι πλευρά, όπου πέφτοντας σε μικροσκοπικές τρύπες, παράγουν φως σαν φυσικό συνεπακόλουθο της κίνησης αυτής. Αλλά σε κάθε τσιπ, υπάρχουν μικρές ατέλειες οι οποίες δημιουργούνται φυσικά σε ατομικό επίπεδο, οι οποίες παρεμποδίζουν την παραγωγή φωτός, πρόβλημα το οποίο οι επιστήμονες προσπαθούν επί σειρά ετών να αντιμετωπίσουν.

Εδώ υπεισέρχεται η νανοτεχνολογία με τη δημιουργία LED σε μέγεθος ενός κόκκου άμμου, τα οποία είναι πιο αποδοτικά από όσα έχουν κατασκευαστεί μέχρι σήμερα. Οι επιστήμονες ανακάλυψαν τον τρόπο να αντιμετωπίσουν τις ατέλειες και να επιτρέψουν την απρόσκοπτη παραγωγή φωτός, χρησιμοποιώντας μικροσκοπικούς θύλακες, τους επονομαζόμενους «νανο-θύλακες» (nano-pockets) που ποικίλουν σε μέγεθος από 150 έως 100 nm διατεταγμένα με απόσταση μεταξύ τους περί τα 10 nm. Όλη η παραγωγή φωτός λαμβάνει χώρα μέσα σε αυτούς τους «νανο-θύλακες» και κάνει τα LED περισσότερο αποδοτικά.

Άλλα ερευνητικά προγράμματα που βρίσκονται σήμερα σε εξέλιξη έχουν να κάνουν με τον περιορισμό ενός και μόνο ατόμου μέσα σε έναν νανοκρύσταλλο. Λόγω της μοναδικής δομής τους, οι QCA (quantum caged atoms) είναι ένα ιδανικό υλικό προς χρήση σε όλες τις οπτικές συσκευές. Οι QCA λειτουργούν απορροφώντας φωτόνια υπεριώδους (UV) φωτός και ξανα-αποδίδοντας αυτό το ίδιο φως σε χαμηλότερη συχνότητα ή διαφορετικό χώμα. Καθώς το μέγεθος του περιοριστικού νανοκρυστάλλου φτάνει τα 2 nm (βασικά όσο είναι και το μέγεθος του ίδιου του ατόμου), η μετατροπή της φωτεινής

ενέργειας αγγίζει το 100%. Σε αντιδιαστολή με τις συγγενικές τους κβαντικές κηλίδες, το χρώμα δεν καθορίζεται από το μέγεθος του νανοκρυστάλλου, αλλά από το είδος του ατόμου που περιορίζεται μέσα στον κρύσταλλο.

Οι QCA νανοφώσφωροι είναι περίπου πέντε φορές πιο αποδοτικοί στη μετατροπή υπεριώδους φωτός σε λευκό φως. Η ανάπτυξη του στερεάς φάσης φωτισμού με βάση τους QCA (QCA-based solid-state lighting - SSL) θα μπορούσε να εξοικονομήσει δισεκατομμύρια στο παγκόσμιο ενεργειακό κόστος και να μειώσει δραματικά και την περιβαλλοντική επιβάρυνση από την παραγωγή ενέργειας. Περίπου 60 με 80% της ενέργειας καταναλίσκεται σε λαμπτήρες φωτισμού, οι οποίοι αποδίδουν μόνο το 10% της ενέργειας αυτής σαν φως καθώς το υπόλοιπο αποδίδεται στο περιβάλλον με τη μορφή θερμότητας.[61]

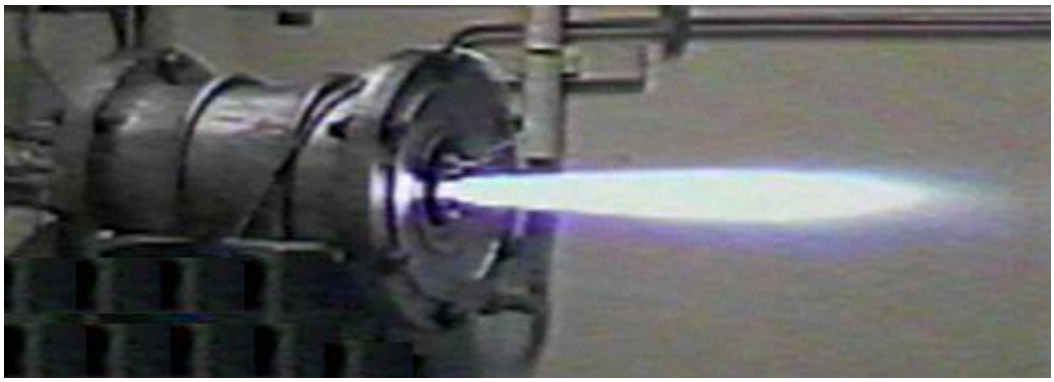
5.1.3.3 Καύση

Η περισσότερη δευτερογενής ενέργεια όπως ο ηλεκτρισμός, η θερμότητα ή η λειτουργία ενός κινητήρα παράγεται σήμερα από την καύση άνθρακα, πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν τεράστια ποσά ενέργειας και καύσιμης ύλης, εάν η καύση αυτή μπορούσε να γίνει αποδοτικότερη. Σε κάθε εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας ορυκτών καυσίμων, μόνο το 35% της δυνητικής ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Η νανοτεχνολογία μπορεί να συνεισφέρει στα πρόσθετα και τους καταλύτες καυσίμων αλλά και μέσω κεραμικών αλλά και άλλων επικαλύψεων ανθεκτικών στη θερμοκρασία, να κάνει δυνατή την λειτουργία των συστημάτων καύσης σε υψηλότερες θερμοκρασίες ώστε να αυξηθεί και η απόδοση της διαδικασίας.

Ήδη χρησιμοποιούνται νανοπορώδεις καταλύτες και νανοσωματίδια, που βοηθούν στην μετατροπή ενέργειας. Η δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας σε αυτό το πεδίο είναι τεράστιες. Οι νανο-καταλύτες μπορούν να μειώσουν την έκλυση θερμότητας, να μειώσουν τον όγκο των βιομηχανικών αποβλήτων και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα δουλεύοντας σε μικρότερες θερμοκρασίες για μικρότερα χρονικά διαστήματα. Επίσης βοηθούν στην επιτυχημένη διεξαγωγή των κατάλληλων χημικών αντιδράσεων, και καθώς τα νανοσωματίδια έχουν τεράστια επιφάνεια σε σχέση με τον όγκο τους, είναι τα πλέον κατάλληλα για χρήση σαν καταλύτες.

Για παράδειγμα οι ζεόλιθοι (zeolites) μια ποικιλία φυσικών ή και τεχνητά κατασκευασμένων υλικών με πορώδες στην κλίμακα νανομέτρου, χρησιμοποιούνται για δεκαετίες σαν καταλύτες καύσης.



Εικόνα 5.10:*Τουρμπίνα που αναφλέγεται με τη βοήθεια καταλυτών με νανοσωματίδια*

Εξετάζεται ακόμα και η χρήση καταλυτών με νανοπορώδες σε αυτοκίνητα, για την μείωση των εκπομπών λόγω αποδοτικότερης καύσης, και χωρίς καμιά φθορά των κινητήρων χάρη στο νανοσκοπικού μεγέθους των σωματιδίων. Ακόμα, τα καταλυτικά συστήματα που υπάρχουν σήμερα σε όλα σχεδόν τα αυτοκίνητα βασίζονται στη νανοτεχνολογία χρησιμοποιώντας ενώσεις οξειδίων μετάλλων σαν καταλύτες. Αυτοί οι καταλύτες έχουν αυξημένη επιφάνεια και βοηθούν στην απομάκρυνση βλαβερών αερίων (μονοξειδίου του άνθρακα, υδρογονάνθρακες) από τις εξατμίσεις, μετατρέποντάς τους σε αβλαβή παραπροϊόντα.

Επίσης, σήμερα στις ΗΠΑ εταιρία δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη χημικών παραγόντων που θα μεταμορφώνουν γρήγορα και εύκολα ουσίες όπως το κάρβουνο σε άλλες ουσίες όπως το πετρέλαιο. Αναπτύσσεται λοιπόν μια διαδικασία για τον χειρισμό του άνθρακα, σε κλίμακα μορίων, με τεράστια ακρίβεια και αποτελεσματικότητα, με τελικό αποτέλεσμα την παραγωγή ενός τελείως νέου υλικού. Οι επιστήμονες βασιζόμενοι στις αρχές της νανοτεχνολογίας, έχουν βρει τον τρόπο μέσω υψηλών θερμοκρασιών να χωρίζουν τον άνθρακα στα μόρια του, έτσι ώστε να απομακρύνουν μόρια θείου, αζώτου, την τέφρα και άλλες προσμίξεις, αποτελεσματικά και χωρίς κόστος. Στη συνέχεια ο καθαρός άνθρακας θα εμπλουτίζεται με υδρογόνο για την παραγωγή υγρού καυσίμου. Με την τεχνολογία αυτή θα παράγεται καθαρό καύσιμο, που δε θα επιβαρύνει το περιβάλλον με βλαβερές εκπομπές κατά την καύση του. [61]

Σήμερα η νανοτεχνολογία χρησιμοποιείται και για τον εξευγενισμό πετροχημικών, καθώς η νανο-βιοτεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα μείωσης του περιβαλλοντικού αντίκτυπου της παραγωγής τους, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας που έχει αυτή, και αντικαθιστώντας τα «σκληρά» χημικά με βιοδιασπώμενα μόρια που παρήχθησαν από ζωντανούς οργανισμούς. Εκτιμάται ότι σε περίοδο 10-15 ετών, θα είναι σαφής η συνεισφορά των νανο-δομημένων βιο-καταλυτών στην μείωση της ενέργειας που καταναλώνουν οι βιομηχανίες πετρελαίου και χημικών.

5.1.3.4 Ελαφρύτερα και ισχυρότερα υλικά

Με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας, έχει ήδη γίνει δυνατή κατασκευή δυνατότερων, αλλά ελαφρύτερων υλικών. Η δυνατότητα να κατασκευάζεται ένα υλικό καλύτερα, προσδίδει πλεονεκτήματα σε κάθε πλευρά του˙ μπορεί να είναι ελαφρύτερο, δυνατότερο, πιο «ευφυές», πιο ευπαρουσίαστο αλλά και ανακυκλώσιμο. Καθώς πάνω από το μισό του κόστους παραγωγής αποδίδεται στην αγορά και την επεξεργασία των πρώτων υλών, η έρευνα με βάση τη νανοτεχνολογία υπόσχεται τον υποδιπλασιασμό του κόστους αυτού.

Ένας τομέας στον οποίο αυτή η προοπτική εξοικονόμησης ενέργειας διαφαίνεται αμεσότερα, είναι αυτός των μεταφορών. Τα αυτοκίνητα, τρένα, αεροπλάνα και πλοία, καταναλώνουν μικρότερη ποσότητα ενέργειας ανά χιλιόμετρο, εάν είναι κατασκευασμένα από ελαφρύτερα και δυνατότερα υλικά. Στη μοντέρνα αυτοκινητοβιομηχανία, όλο και αυξάνεται η χρήση πλαστικού αλλά και νάνο-υλικών, η οποία προσδίδει οφέλη σε σχέση με την ανακυκλωσιμότητα και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Εικόνα 5.11: *Πλαίσιο πόρτας αυτοκινήτου, σαν παράδειγμα εφαρμογής του νανο-μαγνησίου στην αυτοκινητοβιομηχανία*

Οι κύριοι στόχοι των αυτοκινητοβιομηχανιών είναι:

- Η μείωση του βάρους για οικονομία στα καύσιμα
- Η ανανέωση και βελτίωση της παραγωγικής τους διαδικασίας
- Η χρήση νέων και βελτιωμένων υλικών για την ασφάλεια των χρηστών
- Ο σχεδιασμός λειτουργικών υλικών προς ανακύκλωση
- Η ανάπτυξη υλικών ανθεκτικών σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, όσον αφορά τους κινητήρες των αυτοκινήτων

Προς το παρόν, τα συμβατικά πλαστικά μέλη των αυτοκινήτων, που αποτελούνται από παραδοσιακά πολυμερή ενισχύονται με νάνο-σωματίδια, πράγμα που τα κάνει ανθεκτικότερα χωρίς αύξηση του βάρους τους. Αυτή η τακτική θα μπορούσε να εξοικονομήσει 15 δισεκατομμύρια γαλόνια πετρελαίου, μετά από ένα χρόνο κυκλοφορίας των βελτιωμένων οχημάτων. Μία άλλη προσέγγιση είναι η χρήση νανοκρυσταλλικών κεραμικών όπως το ζιρκόνιο, όπως και το νιτρίδιο και το καρβίδιο σιλικόνης τα οποία συνδυάζουν μικρό βάρος με εξαιρετικές φυσικές, μηχανικές και χημικές ιδιότητες.

5.1.4 Εφαρμογές σε σχέση με τους υδάτινους πόρους

5.1.4.1 Επεξεργασία και Εξυγίανση Νερού

Τα τελευταία χρόνια οι κανονισμοί που διέπουν την ποιότητα που πρέπει να έχει το πόσιμο νερό γίνονται ολοένα και πιο αυστηροί. Για παράδειγμα, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization) το 2002 αποφάσισε την μείωση του ελάχιστου ποσού που θα πρέπει να περιέχει το πόσιμο νερό σε Αρσενικό (As) από 50μg/L σε 10 μg/L. Η εφαρμογή πιο αυστηρών μέτρων για την ποιότητα του νερού δημιουργεί νέες απαιτήσεις για την αποτελεσματικότερη απομάκρυνση ρύπων από το νερό και για τον έλεγχο των υπολειμμάτων που προκύπτουν από την διαδικασία εξυγίανσης.

Στις μέρες μας, χρησιμοποιείται και αναπτύσσεται ένα μεγάλο εύρος φυσικοχημικών και βιολογικών μεθόδων για την απομάκρυνση οργανικών αλλά και ανόργανων ρύπων από το νερό [26] Οι πιο συνηθισμένες από τις μεθόδους αυτές είναι η «θρόμβωση – κροκύδωση», οι διαδικασίες μεμβράνης και η απορρόφηση.

Η πιο αποτελεσματική και οικονομική από τις μεθόδους για την απομάκρυνση κολλοειδών και οργανικών ρύπων από το νερό είναι η χρήση ανόργανων αλάτων που λειτουργούν ως παράγοντες θρόμβωσης – κροκύδωσης όπως το Al_{13} [27] [28] και το Fe_{24} [29] [30]. Αυτή η μέθοδος παρουσιάζει δύο σημαντικά μειονεκτήματα. Πρώτον, με την εφαρμογή της μεθόδου αυτής δημιουργούνται μεγάλες ποσότητες λυμάτων και δεύτερον τα μέταλλα τα οποία επανακτώνται δεν είναι εύκολο να επαναχρησιμοποιηθούν.

Στην εξυγίανση του νερού είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται μέθοδοι που δεν δημιουργούν υπολειπόμενα λύματα. Προς αυτή την κατεύθυνση εστιάζει η μέθοδος της Μαγνητικά Υποβοηθούμενου Χημικού Διαχωρισμού (Magnetically Assisted Chemical Separation – MACS) [31]. Η μέθοδος MACS για την εξυγίανση νερού και την επεξεργασία λυμάτων, κάνει χρήση υπερ – παραμαγνητικών σωματιδίων, συγκεκριμένα μικρο-σφαίρες οξειδίου του σιδήρου με διάμετρο 0.1 – 25μm.

Η σημαντικότητα του υπερ-παραμαγνητισμού οφείλεται στο ότι καθιστά δυνατή την επανάκτηση και αναδόμηση των σωματιδίων μετά την απορρόφησή τους από τους ρύπους. Με τη μέθοδο αυτή δεν παράγονται

υπολειπόμενοι ρύποι κατά τη διαδικασία αποκατάστασης ενώ τα μικροσωματίδια μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν.

Το βασικό μειονέκτημα που παρουσιάζει η μέθοδος MACS έγκειται στο ότι οι μικρο-σωματιδιακοί απορροφητές εμφανίζουν μεγάλη τάση στο να διαχέονται μειώνοντας την απόδοση τους. Για να αυξηθεί η αποδοτικότητα των σωματιδίων θα πρέπει να περιοριστεί η διάχυσή τους και ταυτόχρονα να αυξηθεί η ελεύθερη – ενεργή επιφάνειά τους. Η νανοτεχνολογία προσφέρει σε αυτόν τον τομέα καινοτόμες λύσεις με τη δημιουργία σωματιδίων με μικρότερη έφεση για διάχυση και αυξημένη ενεργή επιφάνεια που τα καθιστά ιδιαίτερα ικανούς απορροφητές.

Συγκεκριμένα στην νανοτεχνολογία οφείλεται η μεγάλη πρόοδος που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια σε τομείς όπως ο περιορισμός και καταγραφή της ρύπανσης [32], και στην εξυγίανση εδάφους [33] και υπόγειων υδάτων [34].

Η χρήση μαγνητικών νανοσωματιδίων υπόσχεται πολλά στην απορρόφηση ρυπογόνων ιόντων που βρίσκονται σε νερό ή απόβλητα. Ο λόγος είναι ότι τα νανοσωματίδια παρουσιάζουν μεγαλύτερη ενεργή επιφάνεια, μικρότερη τάση για διάχυση και πιο έντονες υπερ-παραμαγνητικές ιδιότητες από τα συμβατικά μικροσωματίδια ή άλλα μεγαλύτερα σωματίδια. Τα πιο συνηθισμένα νανοσωματίδια που χρησιμοποιούνται στην απορρόφηση ρύπων είναι οξείδια με διάμετρο μικρότερη των 20nμ, Συγκεκριμένα, στην επεξεργασία νερού ή λυμάτων χρησιμοποιούνται ήδη με επιτυχία υβριδικά οργανικά/ ανόργανα οξείδια.

Η χρήση επιχρισμένων υβριδικών νανοσωματιδίων προσδίδει την ικανότητα στα νανοσωματίδια να έχουν τάση να απορροφούν συγκεκριμένα βαρέα μέταλλα όπως αρσενικό, μόλυβδος και κάδμιο. Μελλοντικά, οι υπερ-παραμαγνητικές ιδιότητες των οξειδίων του σιδήρου ενδέχεται να επιτρέψουν την απομάκρυνση των νανοσωματιδίων από το νερό ή τα λύματα μετά τη διαδικασία αποκατάστασής τους, με τη χρήση μαγνητικών πεδίων. Σε περίπτωση που γίνει δυνατή η επανάκτηση των νανοσωματιδίων, η μοναδική κρυσταλλική τους δομή καθιστά ικανή την αναδημιουργία και επαναχρησιμοποίηση τους, αποφεύγοντας ταυτόχρονα την δημιουργία υπολειπόμενων ρύπων.

Η εμπορευματοποίηση της κατασκευής με φτηνά σχετικές μεθόδους, σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες ιδιότητες τους, τα καθιστούν πολύ

σημαντικά για την εξυγίανση και αποκατάσταση εδαφών, και υδάτων σε φτωχές χώρες που είναι ιδιαίτερα βεβαρημένες από ρύπους βαρέων μετάλλων όπως το Μπαγκλαντέζ, το Βιετνάμ και οι χώρες της Λατινικής Αμερικής.

5.1.4.2 Καθαρισμός υπόγειων υδάτων

Η ρύπανση του υπεδάφους και των υπόγειων υδάτων από οργανικούς και ανόργανους ρύπους αποτελεί ένα από πιο επίμαχα προβλήματα που επωφελούνται από την νανοτεχνολογία. Η αποκατάσταση των βεβαρημένων από χλωριομένους οργανικούς ρύπους (π.χ. τριχλωροαιθυλένιο) και βαρέα μέταλλα (π.χ. μόλυβδος, χρώμιο) περιοχών παρουσιάζει σημαντικά τεχνικά προβλήματα και απαιτεί μεγάλο χρηματικό κόστος. Για παράδειγμα, οι διεργασίες καθαρισμού σε 3.000 ρυπασμένα πεδία του Αμερικάνικου Υπουργείου Αμύνης θα κοστίσει περισσότερα από $2 δις [35].

Οι προσπάθειες αποκατάστασης που στοχεύουν στην απομάκρυνση ρύπων όπου βρίσκονται στο υπέδαφος έχουν μειωμένη επιτυχία διότι οι περισσότερες ρυπογόνες ουσίες δεν μετακινούνται εύκολα στο υπέδαφος. Για παράδειγμα, πολλοί από τους οργανικούς ρύπους δεν διαλύονται στο νερό και έχουν την τάση να παραμένουν στην μη υδάτινη φάση του υγρού (Non Aqueous Phace Liquid – NAPL) στο υπέδαφος. Επιπλέον, πολλοί οργανικοί ρύποι είναι βαρύτεροι από το νερό (Dense Non Aqueous Phace Liquid – DNAPL) και έχουν την τάση να μετακινούνται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζουν και μη οργανικοί ρύποι όπως ο μόλυβδος και το χρώμιο.

Ο κορεσμός μιας περιοχής από ρύπους οι οποίοι διηθούνται, δρα ως πηγή ρύπανσης των υπογείων υδάτων και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία στηλών αποτελούμενες από διαλυμένους ρύπους. Για την αποκατάσταση των στηλών αυτών απαιτούνται χρόνια ή και δεκαετίες. Η ρυπογόνος πηγή ενδέχεται να είναι δύσκολο να εντοπιστεί ή βρίσκεται βαθιά μέσα στο υπέδαφος καθιστώντας οικονομικά αδύνατη την εκσκαφή. Στις περιπτώσεις αυτές οι συνηθισμένες τεχνικές τύπου «άντλησης – θεραπείας» (pump-and-treat) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση της περιοχής σε λογικά χρονικά πλαίσια [36].

Οι τεχνικές «άντλησης – θεραπείας» και άλλες συμβατικές τεχνικές που εστιάζουν στην ρυπασμένη στήλη και όχι στην πηγή που προκαλεί την ρύπανση έχουν την τάση να αποτυγχάνουν. Ο λόγος είναι ότι ούτε απομακρύνουν ούτε απευθύνονται στην πηγή των ρύπων. Για το λόγο αυτό νέες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί προσφέροντας οι οποίες προσφέρουν αρκετά πιο γρήγορη αποκατάσταση των ρυπασμένων περιοχών σε αποδεκτές συνθήκες.

Η νανοτεχνολογία προσφέρει την δυνατότητα να δημιουργηθούν αποτελεσματικές επιτόπιες θεραπείες για την εξουδετέρωση της πηγής που προκαλεί την ρύπανση των υπόγειων υδάτων. Για το σκοπό αυτό έχουν κατασκευαστεί νανοσωματίδια με μοναδικές φυσικές και χημικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία αντίδρασης με τους περισσότερους οργανικούς ρύπους ελαχιστοποιώντας τον σχηματισμό τοξικών υποπροϊόντων.

Παραδείγματα τέτοιων νανοσωματιδίων που έχουν κατασκευαστεί για την αποκατάσταση περιοχών ρυπασμένων από ανόργανους και οργανικούς ρύπους είναι ο νανο-σίδηρος μηδενικού σθένους (nanoscale zerovalent iron – NZVI), [34] [37], και οι νανο-καταλύτες διμεταλλικών νανοσωματιδίων τύπου Au/Pd [38].

Θεωρητικά, το μικρό μέγεθος των νανοσωματιδίων (10 -500nm) επιτρέπει την εναπόθεσή τους επιτόπου στην ρυπογόνο πηγή έστω και αν αυτή βρίσκεται στο υπέδαφος, ενώ παράλληλα μπορούν και να ενεργούν σε ρύπους οι οποίοι βρίσκονται παγιδευμένοι σε πολύ μικρούς πόρους μέσα στα πετρώματα. Για να μετακινηθούν μέσα στο υπέδαφος, τα νανοσωματίδια θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από αυξημένη κινητικότητα. Το γεγονός αυτό αυξάνει την πιθανότητα να μετακινηθούν εκτός της ζώνης όπου βρίσκονται οι ρύποι. Έτσι αυξάνεται και η πιθανότητα δημιουργίας νέων ζωνών που θα είναι βεβαρημένες με τοξικές ουσίες επικίνδυνες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Η υψηλή αντιδραστικότητα των νανοσωματιδίων και η ευκολία με την οποία μπορούν να διοχετευτούν απευθείας στην ρυπογόνο πηγή, συνιστά ότι η χρήση τους μπορεί να επιταχύνει την διάσπαση ή εξουδετέρωση των ρύπων στην πηγή τους. Την ίδια στιγμή, το κόστος και η χρονική διάρκεια που απαιτούνται για την αποκατάσταση ρυπασμένων περιοχών μειώνεται σε σχέση

με τις παλαιότερες συμβατικές μεθόδους που απευθύνονταν στην ρυπασμένη στήλη.

Παρά το ότι νανοσωματίδια έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην εξυγίανση υπόγειων ζωνών ακόμα και σε μεγάλη κλίμακα [39] και ότι την στην αγορά κυκλοφορούν νανοσωματίδια προς πώληση για τον ίδιο σκοπό, υπάρχουν ακόμα ζητήματα υπάρχουν που αφορούν τις συγκεκριμένες στρατηγικές που πρέπει να διερευνηθούν.

Η διάδοση των νανοσωματιδίων στο υπέδαφος είναι ανάλογη της διήθησης σε πορώδη μέσα. Τα νανοσωματίδια διαλυμένα σε υγρό διοχετεύονται στο υπέδαφος και πρέπει να φτάσουν από το σημείο της διοχέτευσης στην ζώνη όπου βρίσκεται η πηγή των ρύπων. Οι γεωχημικές συνθήκες (π.χ. το Ph) ενδέχεται να αποσταθεροποιήσουν τα νανοσωματίδια και να δημιουργήσουν συσσωματώματα. Στη συνέχεια τα συσσωματώματα αυτά μπορεί να παγιδευτούν σε πόρους των πετρωμάτων ή ακόμα και να αποστραγγιστούν.

Οι ίδιες συνθήκες μπορεί επίσης και να αυξήσουν την εναπόθεση των νανοσωματιδίων σε κόκκους που βρίσκονται παρόντες στον υδροφόρο ορίζοντα. Και στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις η διάδοση των νανοσωματιδίων προς την πηγή των ρύπων περιορίζεται.

Στην ιδανική περίπτωση η ικανότητα διάδοσης των νανοσωματιδίων θα είναι μέγιστη, ενώ παράλληλα τα νανοσωματίδια θα παρουσιάζουν συνάφεια με την ρυπογόνο πηγή. Για παράδειγμα, νανοσωματίδια με υδροφοβικό χαρακτήρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ρύπους που βρίσκονται στην επιφάνεια μεταξύ ύδατος και των DNAPL. Με τον τρόπο αυτό τα νανοσωματίδια μεταφέρονται εκεί ακριβώς που πρέπει να δράσουν.

Ο τρόπος με τον οποίο τα νανοσωματίδια θα μεταφέρονται με ακρίβεια στη ζώνη όπου βρίσκονται οι υπόγειοι ρύποι παραμένει μια τεχνολογική πρόκληση. Κατά κανόνα, γίνεται η υπόθεση ότι τα νανοσωματίδια θα είναι πιο ευκίνητα μέσα σε πορώδη μέσα λόγω του μικρού μεγέθους τους. Παρόλα αυτά, λόγω του μικρού μεγέθους τους τα νανοσωματίδια διαχέονται ιδιαίτερα εύκολα και έρχονται σε επαφή πιο συχνά με τα τοιχώματα του πορώδες μέσου. Για το λόγο αυτό τα μικρότερα σωματίδια είναι λιγότερο ευκίνητα. Η χρήση επιφανειακών επιχρισμάτων για την διευκόλυνση της υπόγειας μεταφοράς των νανοσωματιδίων και για την αύξηση της επιλεκτικότητάς τους

σε συγκεκριμένους ρύπους θεωρείται απαραίτητη για την πιο αποτελεσματική εξυγίανση ρυπασμένων υπόγειων υδάτων.

Τα επιχρίσματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της συσσωμάτωσης των νανοσωματιδίων καθώς και για την επικόλλησή τους σε κόκκους που βρίσκονται στον υδροφόρο. Η γεωχημεία κάθε περιοχής και η φύση των προς εξουδετέρωση ρύπων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, τόσο στην επιλογή προτίμησης των νανοσωματιδίων, όσο και στην επιλογή του επιχρίσματος. Η δημιουργία επιχρισμάτων ανάλογα με τις εφαρμογές που ζητούνται θα αυξήσει την ικανότητα να τοποθετούνται τα νανοσωματίδια στην πηγή της ρύπανσης και θα καταστήσει την διαδικασία οικονομικά πιο αποτελεσματική.

Η μεγαλύτερη κινητικότητα των νανοσωματιδίων με τη χρήση επιχρισμάτων θα αυξήσει την πιθανότητα μεταφοράς τους μακριά από την πηγή των ρύπων αυξάνοντας έτσι επιπλέον την εμπλεκόμενη επικινδυνότητα. Για το λόγο αυτό η κάθε περίπτωση εξυγίανσης και αποκατάστασης υπογείων υδάτων θα πρέπει να εξετάζεται ξεχωριστά.

5.2 Αρνητικές Επιπτώσεις της Νανοτεχνολογίας στο Περιβάλλον

5.2.1 Η Τοξικότητα των Νανοσωματιδίων

Λόγω της μεγάλης αύξησης στην παραγωγή νανοσωματιδίων τα τελευταία χρόνια, καθώς και στις χρήσης τους σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε τις βιολογικές επιδράσεις της έκθεσης ενός οργανισμού σε αυτά [40]. Για το λόγο αυτό η έρευνα για την τοξικότητα που παρουσιάζουν τα νανοσωματίδια είναι ένας τομέας που αναπτύσσεται ραγδαία.

Από τις αρχές της δεκαετίας του ’80 που ξεκίνησε η σύνθεση νανοσωματιδίων έχουν προταθεί πολλές εφαρμογές τους ακόμα σε τομείς όπως η βιολογία ενώ την ίδια στιγμή δε γνωρίζουμε αρκετά για την τοξική τους δράση, την πιθανότητα να ευνοούν ή και να δημιουργούν μεταλλάξεις (καρκινογενέσεις και τερατογενέσεις) και την συνολική επικινδυνότητα που κρύβουν για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Για να αποφευχθούν σφάλματα του παρελθόντος όπου χημικές ουσίες που παρουσιάστηκαν ως

«ευεργετικές» και απελευθερώθηκαν σε μεγάλες ποσότητες στο περιβάλλον όπως το DDT και ο αμίαντος χωρίς να έχουν προηγηθεί ενδελεχείς έλεγχοι για την τοξικότητά τους, θα πρέπει να διερευνηθούν όλες οι πιθανές επιπτώσεις της χρήσης νανοσωματιδίων για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση των φουλερενίων (C_{60}), υπάρχουν πολύ λίγα δεδομένα για να αποτιμηθεί η τοξικότητά τους σε υδάτινα συστήματα. Γενικά, η επιφάνεια των νανοσωματιδίων επιδρά σημαντικά στην τοξικότητα τους και τροποποιεί τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν με τους βιολογικούς οργανισμούς. Έτσι ο μονομερής C_{60} παρουσιάζει πολύ μικρή διαλυτότητα στο νερό και μάλλον είναι απίθανο να επιβαρύνει τα υδάτινα συστήματα.

Από την άλλη μεριά, με τη διάχυση νανοσωματιδίων στο περιβάλλον ενδέχεται να τροποποιηθεί η ικανότητά τους να μεταφέρονται εξ αιτίας των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται και δρουν. Τέτοια τροποποιημένα φουλερένια παρουσιάζουν αυξημένη προδιάθεση να διαχέονται στο νερό και είναι ικανά να ταξιδέψουν έως και 10 m σε συμπαγής αμμώδης υδροφόρους [41]. Αντίστοιχα, μελέτες έχουνε επίσης δείξει πως η τοξικότητα των φουλερένιων αυξάνεται με την έκθεσή τους στο φως [42]. Τέτοιες μελέτες υπογραμμίζουν την ανάγκη της ανάπτυξης της χημείας των νανοϋλικών ώστε να καταστεί δυνατή η πρόβλεψη των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων που ελλοχεύουν.

Τα νανοσωματίδια είναι συνήθως πιο τοξικά από τα αντίστοιχα σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου του ίδιου υλικού [43]. Οι λόγοι που καθιστούν τα νανοσωματίδια πιο τοξικά είναι η μεγαλύτερη ελεύθερη επιφάνεια τους, ο μεγαλύτερος αριθμός σωματιδίων ως προς τη μάζα τους, η αυξημένη χημική αντιδραστικότητα τους, και η μεγαλύτερη ικανότητα εισχώρησης τους μέσα σε κύτταρα. Για να κατανοήσουμε το ρόλο που παίζει το μικρό μέγεθός τους στην αυξημένη τοξικότητα που παρουσιάζουν μπορούμε να αναλογιστούμε ότι αν 2g νανοσωματιδίων με διάμετρο 100nm, κατανέμονταν ομοιόμορφα σε όλο τον ανθρώπινο πληθυσμό, τότε θα αντιστοιχούσαν 300.000 νανοσωματίδια ανά άτομο [44].

Είναι αξιοσημείωτο ότι υλικά με τελείως διαφορετική χημική σύσταση αλληλεπιδρούν με βιολογικά συστήματα όπως τα κύτταρα με παρόμοιο τρόπο. Για παράδειγμα, τόσο τα ανιόντα του οξειδίου του σιδήρου σε μορφή

νανοσωματιδίων, όσο και οι κβαντικές τελείες εμφανίζουν πανομοιότυπες ιδιότητες ως προς την έφεσή τους να δεσμεύονται από τα κύτταρα.

Εκτός από το μέγεθος και τις ιδιότητες της ελεύθερης επιφάνειάς τους που προαναφέρθηκαν, η σύστασή τους παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην τοξικότητά τους και στην αλληλεπίδρασή τους με βιολογικά συστήματα. Αυτό συμβαίνει διότι η φύση της τοξικότητας των νανοσωματιδίων έρχεται ως συνάρτηση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της σύστασής τους.

Παρόλο που υπάρχουν διαθέσιμες πολλές έρευνες για την πιθανή χρήση των νανοσωματιδίων, συνεχίζει να υπάρχει σοβαρή έλλειψη γνώσης σχετικά με την ακριβής επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Καθώς η νανοτεχνολογία αναπτύσσεται, νέα νανοϋλικά θα δημιουργούνται σε ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες από τις σημερινές και νέες εφαρμογές θα ανακαλύπτονται. Αυτό σημαίνει ότι η ανάγκη για περισσότερες τοξικολογικές μελέτες θα γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική ώστε να γίνει δυνατός ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας που συνεπάγεται η χρήση των νανοδομημένων σωματιδίων.

5.2.2 Οικο-τοξικολογικές Επιπτώσεις

Σε γενικές γραμμές, ο βαθμός στον οποίο ένα τοξικό υλικό επηρεάζει έναν οργανισμό, εξαρτάται από την έκθεση του οργανισμού στην συγκεκριμένη ουσία καθώς και από την τοξικότητα της συγκεκριμένης ουσίας. Επίσης, για κάθε οργανισμό, τόσο η τοξικότητα ενός νανοϋλικού όσο και η έκθεση του οργανισμού σε αυτό εξαρτώνται από αρκετούς παράγοντες που σχετίζονται με τον οργανισμό όπως το φυσικό περιβάλλον που ζει, η χρονική διάρκεια της έκθεσης, η ηλικία του, το φύλο του, η ευαισθησία / ανεκτικότητα του και οι μηχανισμοί προσαρμοστικότητας του.

Άλλοι παράγοντες που εξαρτώνται από το ίδιο το νανοϋλικό περιλαμβάνουν το μέγεθος του σωματιδίου, το σχήμα του, η ελεύθερη επιφάνειά του, η διαλυτότητά του, και η συγκέντρωση του στο περιβάλλον που ζει ο οργανισμός.

Η οικο-τοξικολογία των μικροβίων κατέχει πολύ σημαντικό ρόλο στην διερεύνηση της οικο-τοξικότητας των νανοϋλικών για δύο λόγους. Πρώτον γιατί η διευκρίνηση των επιπτώσεων των νανοϋλικών σε αυτά μπορεί να επεκταθεί και στα ευκαρυωτικά κύτταρα. Δεύτερον, διότι οι μικροοργανισμοί αποτελούν

το θεμέλιο όλων των οικοσυστημάτων αποτελώντας τόσο τη βάση της τροφικής αλυσίδας και όσο και τους πρωταρχικούς παράγοντες όλων των βιο-γεω-χημικών κύκλων.[45]

Βασικό πρόβλημα στις μέχρι σήμερα μελέτες είναι ότι δεν έχουν οριστεί κοινά παγκόσμια πρότυπα ώστε να περιγράφεται η δοσολογία στην οποία εκτίθεται ένας οργανισμός. Για παράδειγμα, για να ποσοτικοποιηθεί η εισπνεόμενη δόση ενός νανοσωματιδίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές διαφορετικές μονάδες όπως «αριθμός σωματιδίων / m^3», «ελεύθερη επιφάνεια / m^3», ή ακόμα και «mg / m^3».

Άλλη μια παράλειψη των μέχρι σήμερα μελετών, είναι ότι η αντιμικροβιακή δράση των νανοϋλικών (π.χ. των φουλερένιων) εξετάζονται σε απομονωμένα βακτήρια χωρίς να εξετάζονται οι επιπτώσεις σε ανταγωνιστικές ή / και συνεργατικές διαδικασίες. [46] [47] [48]

Όσον αφορά τους χερσαίους υποδοχείς, η εισπνοή αναμένεται να είναι ο πιο σημαντικός μηχανισμός απορρόφησης νανοϋλικών στον οργανισμό. Την ίδια στιγμή αναμένεται το όργανο που θα επηρεάζεται περισσότερο θα είναι οι πνεύμονες εφόσον τα νανοϋλικά εισέρχονται στον οργανισμό μέσω του αέρα.

Ο εγκέφαλος επίσης αποτελεί όργανο που επηρεάζεται από τα νανοϋλικά καθώς αυτά μπορούν να μεταφερθούν εκεί μέσω των οσφρητικών νεύρων. Παρομοίως, για τους υδρόβιους οργανισμούς τα βράγχια αναμένεται να είναι το όργανο που θα επηρεάζεται περισσότερο από την έκθεση του οργανισμού σε νανοϋλικά.

Εξετάζοντας την βάση της τροφικής πυραμίδας, έχει παρατηρηθεί σημαντική αντιβακτηριδιακή δράση λόγω της τοξικότητας ορισμένων νανοϋλικών [49] [50] [51] ιδιαίτερα όσων περιέχουν άργυρο. Η έκθεση μικροοργανισμών σε νανοσωματίδια που περιέχουν πυρίτιο, οξείδιο του σιδήρου και χρυσό δεν απέδωσε ενδείξεις αντιβακτηριδιακής δράσης [**52**]. Παρομοίως, η έκθεση μικροβίων που ζουν και αναπτύσσονται στο έδαφος σε φουλλερένια είχε πολύ μικρές επιδράσεις στην δομή, την ανάπτυξη και τη λειτουργία της μικροβιακής κοινότητας [**53**].

Αντιθέτως, όταν τα φουλλερένια βρίσκονταν διαλυμένα σε νερό, παρουσίαζαν ισχυρή αντιμικροβιακή δράση [54], και μάλιστα όσο μειώνονταν το μέγεθος των σωματιδίων, τόσο αυξάνοντας η αντιμικροβιακή δράση τους. Υδάτινα αιωρήματα που περιείχαν SiO_2, TiO_2, και ZnO, παρουσίαζαν επίσης ισχυρή αντιβακτηριδιακή δράση [**55**]. Επομένως η διάθεση τέτοιων υλικών στο

περιβάλλον θα πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε να αποφευχθούν τυχόν αρνητικές συνέπειες.

Μέχρι σήμερα υπάρχουν πολύ λίγες μελέτες που εξετάζουν τα αποτελέσματα της έκθεσης του δέρματος σε νανοσωματίδια. Έρευνες που έγιναν σε ανθρώπινο δέρμα καθώς και δέρμα κουνελιού [56], έδειξαν ότι η έκθεσή τους σε φουλλερένια και νανοκύλινδρους άνθρακα έδειξαν ότι το συγκεκριμένο μείγμα νανοσωματιδίων δεν ελλοχεύει κινδύνους για την υγεία. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα μελετών που χρησιμοποίησαν ως δραστική ουσία 6 διαφορετικούς τύπους κβαντικών τελείων (Quantum Dots) [**57**]. Αν και η επαφή νανοσωματιδίων με το δέρμα είναι ικανή να επιτρέψει την απορρόφησή τους από έναν οργανισμό, θεωρείται ότι τουλάχιστον για τους χερσαίους οργανισμούς, ο μηχανισμός αυτός απορρόφησης είναι μικρότερης σημασίας από την εισπνοή.

Σχετικά με την τοξικότητα των νανοϋλικών σε υδάτινα περιβάλλοντα, τα αποτελέσματα των επιστημονικών μελετών [45] υποδεικνύουν ότι η επικινδυνότητα που σχετίζεται με τα περισσότερα νανοϋλικά είναι χαμηλή έως μέτρια. Δεδομένου ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες κάτω από τις οποίες διενεργούνται οι μελέτες δεν είναι ομοιόμορφες, υπογραμμίζεται ότι τα φουλλερένια, οι νανοκύλινδροι, και το διοξείδιο του τιτανίου, παρουσιάζουν μικρή επικινδυνότητα για τα υδάτινα οικοσυστήματα. Αντίθετα, τα νανοσωματίδια από κολλοειδή άργυρο, είναι που διαλυμένα στο νερό θεωρούνται ως ουσία που παρουσιάζει μεγάλους κινδύνους.

5.3 Συμπεράσματα

Με τη χρήση και τη σωστή εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της νανοτεχνολογίας, ο κατασκευαστικός τομέας μπορεί να ευεργετηθεί πολλαπλά. Στο μέλλον, με την εφαρμογή νέων μεθόδων στην παραγωγική διαδικασία κατασκευαστικών υλικών, θα υπάρχουν προφανή οφέλη στην απόδοση και το κόστος της παραγωγής. Με τις καινοφανείς ιδιότητες των νανοδομημένων υλικών, τα οποία θα έχουν μεγαλύτερη αντοχή , μεγαλύτερη απόδοση και αντοχή στο χρόνο, θα γίνεται και εξοικονόμηση πρώτων υλών, καθώς με μικρότερες διατομές και πάχη υλικών θα παραλαμβάνονται ίδια φορτία και με

ειδικές επικαλύψεις, ήδη σήμερα τα δομικά στοιχεία των κατασκευών προστατεύονται από τη φθορά και τη διάβρωση.

Με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας προσφέρεται στο χρήστη και μεγαλύτερη ασφάλεια, καθώς ειδικές συσκευές και διατάξεις τον προειδοποιούν για πιθανές αστοχίες της κατασκευής, αλλά και σε περιπτώσεις μικροφθορών από σεισμικές δονήσεις αυτό-επουλώνονται. Ακόμα, στο χρήστη προσφέρεται και άνεση και λειτουργικότητα, με τη ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας με χρήση τη νανο-υλικών σχετικών με αντιηλιακή προστασία, θερμομόνωση, και στεγάνωση.

Η νανοτεχνολογία επίσης υπόσχεται ένα καλύτερο περιβαλλοντικά μέλλον. Η ανάπτυξη των νανοϋλικών προάγει τις προσπάθειες ενάντια στην αλλαγή του κλίματος, και την προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης προσφέροντας λύσεις σε όλους τους τομείς του ενεργειακού ζητήματος: Την παραγωγή και μετατροπή ενέργειας, την αποθήκευσή της και την αποδοτικότερη κατανάλωσή της. Παράλληλα, χάρη στην νανοτεχνολογία αναπτύσσονται νέες πιο αποτελεσματικές μέθοδοι για τον καθαρισμό ρύπων από τους επίγειους και υπόγειους υδάτινους πόρους, αλλά και από την ατμόσφαιρα.

Ορισμένα από τα νανοϋλικά δύνανται να επηρεάσουν τους ζωντανούς οργανισμούς λόγω της τοξικότητάς τους. Οι επιπτώσεις όμως αυτές μπορούν να περιοριστούν μέσω μέτρων που περιορίζουν την έκθεση των οργανισμών. Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι η κατασκευή αρκετών νανο-υλικών απαιτεί τοξικές αρχικές ύλες πράγμα το οποίο αποτελεί επίσης πρόβλημα.

Η επικινδυνότητα που ίσως κρύβεται πίσω από την παραγωγή και χρήση ορισμένων νανοϋλικών είναι μεγάλη και ως ένα μεγάλο βαθμό άγνωστη. Ενδεχομένως όμως ακόμα και με τη σημερινή τεχνολογία η αποτίμηση της επικινδυνότητας αυτής να είναι δυνατή. Για να υλοποιηθεί όμως κάτι τέτοιο απαιτείται συνεργασία μεταξύ επιστημόνων από διαφορετικούς ερευνητικούς τομείς όπως τοξικολογία, βιολογία, χημεία, επιστήμη υλικών κτλ.

Είναι σημαντικό, για κάθε νέο (αλλά και τα ήδη υπάρχοντα) νανοϋλικό να πραγματοποιούνται έρευνες που θα εξετάζουν την τοξικότητά του. Θα πρέπει επίσης να δημιουργηθούν σε παγκόσμια κλίμακα πρότυπες μέθοδοι για την μελέτη της επικινδυνότητας των υλικών αυτών, ώστε τα αποτελέσματα από κάθε εργαστήριο να είναι μεταξύ τους συγκρίσιμα.

Η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ νανοϋλικών και μικροβίων αλλά και οι επιπτώσεις τους σε ανώτερους οργανισμούς είναι απαραίτητη προϋπόθεση ώστε η νανοτεχνολογία να αναπτυχθεί ως ένα εργαλείο που θα προάγει το περιβάλλον που ζει ο άνθρωπος χωρίς να υπερβαίνονται τα όρια των οικολογικών παραγόντων στα οποία βασίζονται.

Εν κατακλείδι, προτείνονται τα εξής μέτρα όσον αφορά την περαιτέρω ανάπτυξη και διάθεση προϊόντων νανοτεχνολογίας του κατασκευαστικού και όχι μόνο τομέα:

1. Θα πρέπει να υπάρξει ενημέρωση στους πολίτες αλλά και πιθανή λήψη μέτρων σε σχέση με τα ελεύθερα νανοσωματίδια. Τα ελεύθερα νανοσωματίδια μάλιστα, ίσως είναι αναγκαίο να αντιμετωπιστούν και επισημανθούν ως μια νέα τάξη χημικών ενώσεων, και να διεξαχθεί έρευνα για τους κινδύνους που πιθανώς εγκυμονούν.
2. Τα νάνο-υλικά και νάνο-προϊόντα θα πρέπει συνολικά να χαρακτηριστούν και να ταξινομηθούν σε μια νέα κατηγορία χημικών ουσιών λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές ιδιότητες και συμπεριφορές που εμφανίζουν τα νανοσωματίδια σε σχέση με τα αντίστοιχα bulk (χύδην) υλικά.
3. Όλα τα καταναλωτικά προϊόντα διαθέσιμα στην αγορά που περιέχουν νάνο-σωματίδια και νάνο-υλικά θα πρέπει να φέρουν κατάλληλη σήμανση, ώστε να είναι δυνατή η εύκολη αναγνώριση τους.
4. Η νανο-έρευνα και οι εφαρμογές της θα πρέπει να καθοδηγούνται από πραγματικές κοινωνικές ανάγκες και προτεραιότητες και να βασίζονται σε οικολογικές και κοινωνικές προσεγγίσεις, καθώς επίσης και στην προσέγγιση της αειφόρου ανάπτυξης και όχι μόνο στην «εμπορευσιμότητα» των προϊόντων.
5. Θα πρέπει σύντομα, και όσο η χρήση νανο-προϊόντων εισέρχεται σε μεγαλύτερο βαθμό στην καθημερινότητά μας, να συνταχθεί κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο που θα διασφαλίζει την ορθή διαχείριση και απαραίτητη διαφάνεια και θα καθορίζει τα όρια των εφαρμογών της νανοτεχνολογίας, για όποιες από αυτές δύνανται να είναι επιβλαβείς για την υγεία των ανθρώπων και το περιβάλλον.
6. Υπάρχει ανάγκη για συσχετισμό της ανάπτυξης της νανοτεχνολογίας με την ανάπτυξη των φτωχών χωρών και περιοχών, ώστε να επιτευχθούν σε διεθνές επίπεδο οι στόχοι που έχουν τεθεί για την αντιμετώπιση της

ανέχειας, όπως για παράδειγμα είναι οι Αναπτυξιακοί Στόχοι της Χιλιετίας (Millennium Development Goals, MDGs). Εκατομμύρια ανθρώπων δεν έχουν πρόσβαση σε ασφαλές νερό, επαρκείς πηγές ενέργειας, μέσα υγιεινής και παιδεία. Οι νανοτεχνολογίες δύνανται να δώσουν αποτελεσματικές λύσεις σε αυτά τα προβλήματα, και προς αυτή την κατεύθυνση και με αυτό τον γνώμονα οφείλουν να κινηθούν οι διάφοροι φορείς της κοινωνίας μας – κυβερνητικοί και μη, επιχειρήσεις, δωρητές, πανεπιστήμια.

1. Leydecker Sylvia, (2008). "Nanomaterials in Architecture, Interior Architecture and Design". Birhauser.
2. Lafuma, A.; Quere, D. (2003). "Superhydrophobic states". *Nature Materials* 2: 457–460.
3. von Baeyer, H. C. (2000). "The Lotus Effect". *The Sciences* 40: 12–15.
4. Neinhuis, C.; Barthlott, W. (1997). "Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces". *Annals of Botany* 79: 667–677.
5. Chu Nguong, Ngu, (2004). "Calcination of Gypsum Plasterboard under Fire Exposure", *Engineering Research Report 04/6*.
6. http://www.claudiuspeters.com/site/CP-gypsum.asp
7. http://www.freepatentsonline.com/4222984.html
8. Renewables Information 2002: http://www.iea.org/stats/files/renewables.htm
9. http://www.solarserver.de/wissen/photovoltaik-e.html
10. http://europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt_pv1_en.html
11. W. Wettling, Phys. Bl. 53 (1997) 1197-1202
12. I. Malsch's communication with Galvin Tulloch of Greatcell.
13. PV activities in Japan, Vol.9 No.5-2, by Resources Total System Co.
14. www.nanoforum.org: European Nanotechnology gateway. Nanotechnology helps solving the world's energy problem. April 2004
15. http://www.ise.fhg.de/german/fields/wisa/mb/english/index.html
16. Web-site Institute of Nanotechnology, 30 August 2001
17. http://www.ipc.uni-linz.ac.at/os/index_os.html
18. K. Terryll's communications (email) with Prof. Abedelillah Slaoui at PHASE-CNRS, Strasbourg, France, 2004.
19. http://europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt_fc1_en.html
20. E. Gülzow, Phys. Bl. 53 (1997) 41
21. VDI Nachrichten 13.12.02
22. K.Terryll's communication (email) with Dr. Andreas Friedrich, Center of Solar Energy and Hydrogen Research, Germany, 2003.

23. K.Terryll's communication (email) with Christopher Hebling, Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany.
24. J.M. Gee *et al.* Proc. 29th PVSC (2002)
25. Hess, H., Clemmens, J., Qin, H., Howard, J., Vogel, V. (2001), Lightcontrolled molecular shuttles made from motor proteins carrying cargo on engineered surfaces. Nano Letters 1: 235-239.
26. Sheoran, A.S., and Sheoran, V., 2006. Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: A critical review. *Minerals Engineering*, 19(2):105.
27. Bottero, J.Y., Cases, J.M., Fiessinger, F., and Poirier, J.E., 1980. Studies of hydrolyzed aluminum chloride solutions. 1. Nature of aluminum species and composition of aqueous solutions. *J. Phys. Chem.*, 84(22):2933–2937.
28. Bottero, J.Y., Tchoubar, D., Cases, J.M., and Fiessinger, F., 1982. Investigation of the hydrolysis of aqueous solutions of aluminum chloride. 2. Nature and structure by smallangle x-ray scattering. *J. Phys. Chem.,* 86(18):3667–3673.
29. Bottero, J.Y., Manceau, A., Villieras, F., and Tchoubar, D., 1994. Structure and mechanisms of formation of FeOOH(Cl) polycations. Langmuir, 10(1):316–320.
30. Bottero, J.Y. et al., 1993. Surface and textural heterogeneity of fresh hydrous ferric oxides in water and in dry state. *Journal of Colloids and Interface Science*, 159:45–52.
31. Ngomsik, A.-F., Bee, A., Draye, M., Cote, G., and Cabuil, V., 2005. Magnetic nano- and microparticles for metal removal and environmental applications: A review. *Comptes Rendus Chimie*, 8(6–7):963.
32. Riu, J., Maroto, A., and Rius, F.X., 2006. Nanosensors in environmental analysis. *Talanta*, 69(2):288.
33. Zhang, W.X., 2003. Nanoscale iron particles for environmental remediation: An overview. *Journal of Nanoparticle Research*, 5:323–323.
34. Liu, Y., Choi, H., Dionysiou, D., and Lowry, G.V., 2005. Trichloroethene hydrodechlorination in water by highly disordered monometallic nanoiron. *Chemistry of Materials*, 17(21):5315.

35. Stroo, H., Unger, M., Ward, C. H., Kavanaugh, M., Vogel, C., Leeson, A., Marquesee, J., and Smith, B. (2003). “Remediating Chlorinated Solvent Source Zones.” *Environmental Science & Technology*, 37(11), 193a–232a.

36. Water Science Technology Board, N. (2004). *Contaminants in the Subsurface: Source Zone Assessment and Remediation*, National Academies Press, Washington, D.C.

37. Liu, Y., Majetich, S. A., Tilton, R. D., Sholl, D. S., and Lowry, G. V. (2005). “TCE Dechlorination Rates, Pathways, and Efficiency of Nanoscale Iron Particles with Different Properties.” *Environmental Science & Technology*, 39(5), 1338–1345.

38. Nutt, M. O., Hughes, J. B., and Wong, M. S. (2005). “Designing Pd-on-Au Bimetallic Nanoparticle Catalysts for Trichloroethene Hydrodechlorination.” *Environmental Science & Technology*, 39(5), 1346–1353.

39. Gavaskar, A., Tatar, L., and Condit, W. (2005). “Cost and Performance Report: Nanoscale Zero-Valent Ion Technologies for Source Remediation.” *CR-05-007-ENV*, Naval Facilities Engineering Command, Port Hueneme.

40. Dagani, R. (2003) “Nanomaterials: safe or unsafe?” *Chemical Engineering News,* 81:30–33.

41. Lecoanet, H.F., Bottero, J.Y., and Wiesner, M.R. (2004) “Laboratory assessment of the mobility of nanomaterials in porous media,” *Environ. Sci. Technol.*, 38:5164–5169.

42. Pickering, K.D., and Wiesner, M.R. (2005) “Fullerol-sensitive production of reactive oxygen species in aqueous solution,” *Environ. Sci. Technol.,* 39:1359–1365.

43. Lam, C.W., James, J.T., McCluskey, R., and Hunter, R.L. (2004) “Pulmonary toxicity of single wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation,” *Toxicological Sciences*, 77:126–134.

44. Hardman, R. (2006) “A toxicologic review of quantum dots: toxicity depends on physicochemical and environmental factors,” *Environmental Health Perspectives,* 114(2):165–172.

45. Kathleen Sellers, Christopher Mackay, Lynn Bergeson, Stephen Clough, Marilyn Hoyt, Julie Chen, Kim Henry, Jane Hamblen (Eds). Nanotechnology and the Environment. CRC press, Taylor and Francis Group, 2009.

46. Lyon, D. Y.; Fortner, J. D.; Sayes, C. M.; Colvin, V. L.; Hughes, J. B. Bacterial cell association and antimicrobial activity of a C60 water suspension. *Environmental Toxicology and Chemistry* 2005, *24*, 2757–2762.

47. Tsao, N.; Luh, T. Y.; Chou, C. K.; Chang, T. Y.; Wu, J. J.; Liu, C. C.; Lei, H. Y. In vitro action of carboxyfullerene. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 2002, *49*, 641–649.

48. Kai, Y.; Komazawa, Y.; Miyajima, A.; Miyata, N.; Yamakoshi, Y. [60] Fullerene as a novel photoinduced antibiotic. *Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures* 2003, *11*, 79–87.

49. Cho, K.H., J.E. Park, T. Osaka, and S.-G. Park. 2005. The study of antimicrobial activity and preservative effects of nanosilver ingredient. Electrochimica Acta, 51(5):956–960.

50. Michielsen, S., I. Stojiljkovic, and G. Churchward. 2006. Novel Nano-Coating Kills Viruses and Bacteria when Exposed to Light. Azonano News (November). http://www.azonano.com/news.asp?newsID=3278.

51. Park, D., J. Wang, and A. M. Klibanov. 2006. One-Step, Painting-Like Coating Procedures to Make Surfaces Highly and Permanently Bactericidal. Biotechnol. Prog., 22(2):584-589.

52. Williams, D. N., S. H. Ehrman, and T. R. Pulliam-Holoman. 2006. Evaluation of the microbial growth response to inorganic nanoparticles. J. Nanobiotechnol., 4(3)(DOI:10.1186/1477-3155-4-3) http://www.jnanobiotechnology.com/content/4/1/3.

53. Tong, Z., M. Bischoff, L. Nies, B. Applegate, and R.F. Turco. 2007. Impact of fullerene (C60) on a soil microbial community. Envir. Sci. Technol., 41(8):2985–2991.

54. Lyon, D.Y., L.K. Adams, J.C. Falkner, and P.J.J. Alvarez. 2006. Antibacterial activity of fullerene water suspensions: Effects of preparation method and particle size. Environ. Sci. Technol., 40(14):4360–4366.

55. Adams, L.K., D.Y. Lyon, A. McIntosh, and P.J.J. Alvarez. 2006a. Comparative eco-toxicity of nanoscale TiO2, SiO2, and ZnO water suspensions. Water Res., 40(19):3527–3532.
56. Huczko, A. and H. Lange. 1999. Fullerenes: Experimental evidence for a null risk of skin irritation and allergy. Fullerene Sci. Technol., 7:935–939.
57. Ryman-Rassmussen, J.P., J.E. Riviere, and N.A. Monteiro-Riviere. 2006. Penetration of intact skin by quantum dots with diverse physiochemical properties. Toxicolog. Sci., 91(1):159–165.
58. Theodore H. Wegner, Jerrold E. Winandy , Michael A. Ritter 2005. Nanotechnology opportunities in residential and non-residential construction
59. http://www.hy2.gr
60. http://tovima.dolnet.gr
61. www.nanoforum.org: European Nanotechnology gateway. Nanotechnology and Construction. November 2006
62. Peter JM Bartos. Roadmap for Nanotechnology in Construction. 2nd Intl. Symposium 'Nanotechnology in Construction', Bilbao, 13-17th Nov. 2006
63. M. Founti. Proposal for NMP research area: 3.4.4.2 New construction products and processes for high added value applications. "The Integrated Safe & Smart Built Concept."