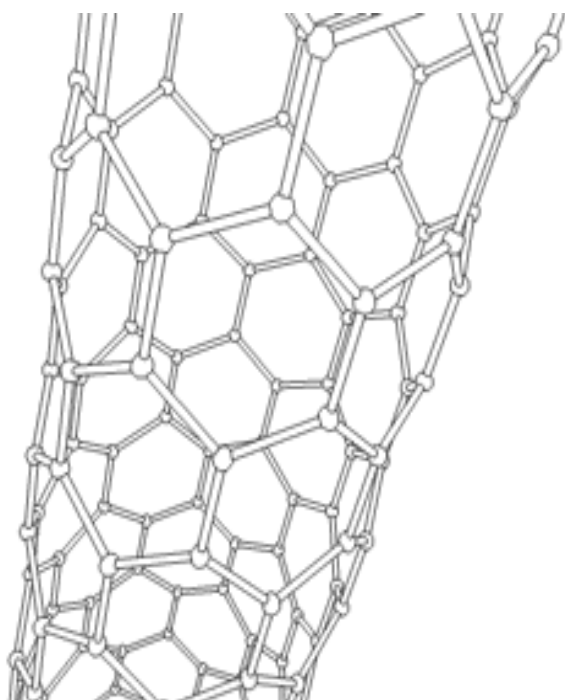


---

## **ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ**

---



Σπουδαστές:

**Καίσαρη Κρίστι**

**Μπότου Χριστίνα**

**Παλημέρη Μαρία**

Εισηγητής-Επιβλέπων:

**Δρ. Κακαβάς-Παπανιάρος Παν.**, Αναπληρωτής Καθηγητής

**ΠΑΤΡΑ 2019**

# Περιεχόμενα

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b> .....	<b>6</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ</b> .....	<b>6</b>
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	6
1.2 Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	13
1.3 ΠΙΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ.....	15
1.4 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΝΑΝΟΥΛΙΚΑ .....	22
1.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟΥΛΙΚΩΝ .....	24
1.6 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	37
1.7 ΝΑΝΟΪΝΕΣ .....	37
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b> .....	<b>40</b>
2.1 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΕ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ .....	40
2.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ .....	73
2.3 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ .....	76
2.4 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ .....	77
2.5 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΥΑΛΙ .....	87
2.6 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑΣ .....	94
2.7 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ .....	103
2.8 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ – ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΝΕΡΟΥ .....	108
2.9 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ-ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ .....	109
2.10 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΞΥΛΟ.....	114
2.10 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΛΥΡΟΔΕΜΑ.....	118
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b> .....	<b>142</b>
<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ</b> .....	<b>142</b>
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	142
3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ.....	145
3.3 ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ.....	147
3.4 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ .....	150
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b> .....	<b>157</b>
<b>ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</b> .....	<b>157</b>
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	157
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ANSYS.....	159
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup></b> .....	<b>179</b>
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	<b>179</b>
5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΟΚΟΥ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΜΕ/ΧΩΡΙΣ ΝΑΝΟΥΛΙΚΑ ..	179
<i>Βιβλιογραφία</i> .....	187

**[HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/266602017](https://www.researchgate.net/publication/266602017) NANOTECHNOLOGY\_IN\_CIVIL\_ENGINEERING\_AND\_CONSTRUCTION\_A\_REVIEW\_ON\_STATE\_OF\_THE\_ART\_AND\_FUTURE\_PROSPECTS , NANOTECHNOLOGY IN CIVIL ENGINEERING**

**AND CONSTRUCTION: A REVIEW ON STATE OF THE ART AND FUTURE PROSPECTS**  
**187**

- **DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, SRM UNIVERSITY, KATTANKULATHUR, CHENNAI, INDIA** ..... **187**
- **[HTTPS://DIAS.LIBRARY.TUC.GR/VIEW/MANF/68667](https://dias.library.tuc.gr/view/manf/68667)** ..... **187**

*ΕΙΚΟΝΑ 1-1 Η ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, ΟΠΩΣ ΚΑΙ ΚΑΘΕ ΑΛΛΗ ΕΠΙΤΥΧΗΜΕΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, ΕΧΕΙ ΠΟΛΛΟΥΣ ΙΔΡΥΤΕΣ. ΚΑΤΑ ΜΙΑΝ ΕΝΝΟΙΑ, ΤΟ ΙΔΙΟ ΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΕΧΕΙ ΑΣΧΟΛΗΘΕΙ ΜΕ ΤΗ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΗΣ, ΟΠΩΣ Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΚΑΙ Η ΦΥΣΙΚΗ ΣΤΕΡΕΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ. ΣΤΗΝ ΝΑΝΟΚΛΙΜΑΚΑ, ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΟΛΑ ΝΕΑ. ΑΛΛΑ Η ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΕΙΔΙΚΟ ΜΑΤΙ ΤΗΣ ΝΑΝΟΚΛΙΜΑΚΑΣ ΕΙΝΑΙ ΚΑΤΙ ΝΕΟ - ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΣΤΑΤΙΚΟ* ..... **9**

*ΕΙΚΟΝΑ 1- 2 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΣ ΤΡΟΥΛΟΣ* ..... **11**

*ΕΙΚΟΝΑ 1- 3 . ΔΙΑΤΑΞΗ 60 ΑΤΟΜΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ* ..... **12**

*ΕΙΚΟΝΑ 1- 4. ΦΟΥΛΛΕΡΕΝΙΚΟΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΙ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ. ΚΑΘΕ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣ ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ 60 ΑΤΟΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ.* ..... **12**

*ΕΙΚΟΝΑ 1- 5 . ΔΟΜΗ ΦΟΥΛΛΕΡΕΝΙΟΥ* ..... **16**

*ΕΙΚΟΝΑ 1- 6 . ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΝΟΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΑ ΑΝΘΡΑΚΑ* ..... **18**

*ΕΙΚΟΝΑ 1- 7 . ΑΝΤΟΧΗ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ* ..... **21**

*ΕΙΚΟΝΑ 1- 8 . ΝΑΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΣ ΣΙΔΗΡΟΥ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΜΕ ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ , ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΕΙ 850 NM* ..... **29**

*ΕΙΚΟΝΑ 1- 9. ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΓΩΝΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗΣ ΙΣΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ* ..... **33**

*ΕΙΚΟΝΑ 1- 10 . ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΡΕΨΗΣ, (TORSION , ΤΦ), ΕΝΑ ΛΕΠΤΟ ΔΕΙΓΜΑ ΣΥΜΠΙΕΖΕΤΑΙ ΚΑΙ ΣΤΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΥΠΟΒΑΛΛΕΤΑΙ ΣΕ ΜΕΓΑΛΗ ΣΥΣΤΡΟΦΗ ΜΕΣΑ ΣΕ ΕΝΑ ΔΕΣΜΕΥΤΙΚΟ ΚΥΒΟ. ΤΟ ΤΥΠΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΕΙΝΑΙ ΠΕΡΙΠΟΥ 1 CM ΔΙΑΜΕΤΡΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΟΥ ΠΑΧΟΥΣ 1 MM* ..... **35**

*ΕΙΚΟΝΑ 1- 11 ΝΑΝΟΪΝΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΕ ΔΟΜΗ ΨΑΡΟΚΟΚΚΑΛΟ'* ..... **38**

*ΕΙΚΟΝΑ 2- 1* ..... **42**

*ΕΙΚΟΝΑ 2- 2 ΑΠΟΨΗ ΑΠΟ ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΚΑΘΟΛΙΚΗΣ ΕΚΚΛΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΙΩΒΗΛΑΙΟΥ (JUBILEECHURCH) ΣΤΗ ΡΩΜΗ, ΣΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΠΡΩΤΟΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΤΟ ΑΥΤΟΚΑΘΑΡΙΖΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΑΡΧΙΤΕΚΤΩΝ RICHARDMEIER).* ..... **43**

*ΕΙΚΟΝΑ 2- 3 ΧΑΡΗ ΣΤΗ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΔΕΝ ΑΠΟΡΡΟΦΑΕΙ ΤΙΣ ΣΤΑΓΟΝΕΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ, ΑΥΞΑΝΟΝΤΑΣ ΕΤΣΙ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΚΑΙ ΕΜΠΟΔΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ* ..... **43**

*ΕΙΚΟΝΑ 2- 4. (Α) & (Β) ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ MMFX2 ΣΕ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗ ΔΟΚΟ ΚΑΙ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΙΣ Η.Π.Α.* ..... **44**

ΕΙΚΟΝΑ 2- 5 Η ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΥΝ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΓΡΑΣΙΑ, ΑΦΗΝΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΛΑΜΠΕΡΗ ΜΕΧΡΙ ΚΑΙ ΔΥΟ ΧΡΟΝΙΑ.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 2- 6 ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΟΥ ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 2- 7 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	79
ΕΙΚΟΝΑ 2- 8 ΣΧΟΙΝΙΑ ΑΠΟ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΕ ΜΟΝΟ ΤΟΙΧΩΜΑ (GERHARD WILDE, 2009, ΣΕΛ 135).....	82
ΕΙΚΟΝΑ 2- 9 ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 2- 10 ΤΟ ΕΜΑΣΟ ΝΑΝΟCΡΕΤΕ , ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΑΣ ΓΙΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΜΕ ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 2- 11 ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΜΙΑΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΜΟΡΦΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ, ΟΠΟΥ ΟΙ ΔΥΟ ΜΟΡΦΕΣ ΕΧΟΥΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΑ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑ . WO <sub>3</sub> (ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΒΟΛΦΡΑΜΙΟΥ) ΜΠΟΡΟΥΝ ΑΝΑΣΤΡΕΨΟΥΝ ΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΙΑΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ, (BAKKER, 2008).....	89
ΕΙΚΟΝΑ 2- 12 ΦΩΤΟΧΡΩΜΑΤΙΚΟ ΓΥΑΛΙ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑΣΗ.....	90
ΕΙΚΟΝΑ 2- 13 ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΑ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΥΝ ΤΟ ΞΥΛΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΝΕΡΟ, ΑΥΞΑΝΟΝΤΑΣ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΤΗΡΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΟΜΟΡΦΙΑ ΤΟΥ..	95
ΕΙΚΟΝΑ 2- 14 Ο ΑΥΤΟΚΑΘΑΡΙΖΟΜΕΝΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΕΙ ΤΟ ΝΕΡΟ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ, ΣΕ ΑΝΤΙΘΕΣΗ ΜΕ ΕΝΑΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ.....	95
ΕΙΚΟΝΑ 2- 15 ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΟΧΡΩΜΙΚΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΑΠΟΚΤΗΣΟΥΝ ΛΙΓΟΤΕΡΗ ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΙΚΡΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΤΡΩΣΗ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΒΟΛΦΡΑΜΙΟΥ.....	96
ΕΙΚΟΝΑ 2- 16 ΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΥΨΗΛΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΜΕΓΑΛΑ ΥΑΛΟΣΤΑΣΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΘΑΡΙΟΤΗΤΑ, ΤΗΝ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ, ΓΙΑ ΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ Η ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΒΡΙΣΚΕΙ ΛΥΣΕΙΣ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 2- 17 Ο ΣΕΜΕΝΙΤΗΣ ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΘΡΑΚΑ (ΚΑΡΒΙΔΙΟ ) ΜΕ ΧΗΜΙΚΟ ΤΥΠΟ Fe <sub>3</sub> C ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ 93,1% Κ.Β. FE ΚΑΙ 6,69% Κ.Β. C . ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ ΓΙΑ ΣΚΛΗΡΗ ΚΑΙ ΕΥΘΡΑΥΣΤΗ ΣΤΕΡΕΑ ΦΑΣΗ ΜΕ ΙΔΙΑΙΤΕΡΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΛΛΟΓΝΩΣΙΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	98
ΕΙΚΟΝΑ 2- 18 Ο ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΗΣ ΕΙΝΑΙ ΜΕΤΑΣΤΑΘΗ ΦΑΣΗ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΖΕΤΑΙ ΟΤΑΝ ΕΝΑΣ ΧΑΛΥΒΑΣ ΘΕΡΜΑΝΘΕΙ ΣΕ ΥΨΗΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΩΣΤΕ ΝΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΙ ΩΣΤΕΝΙΤΗΣ (Γ-FE), ΚΑΙ ΚΑΤΟΠΙΝ ΥΠΟΣΤΕΙ ΑΠΟΤΟΜΗ ΨΥΞΗ. ....	99
ΕΙΚΟΝΑ 2- 19 ΝΑΝΟ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ΥΔΡΟΦΟΒΗ.....	104
ΕΙΚΟΝΑ 2- 20 ΑΠΟΘΕΣΗ ΣΕ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΤΙΟ <sub>2</sub> ΚΑΙ ΣΙΟ <sub>2</sub> ΤΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΛΕΠΤΩΝ ΑΥΤΟ-ΚΑΘΟΡΙΖΟΜΕΝΩΝ ΦΙΛΜ.....	105
ΕΙΚΟΝΑ 2- 21 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΔΡΟΦΟΒΟΥ ΝΑΝΟΎΛΙΚΟΥ.....	106
ΕΙΚΟΝΑ 2- 22 ΝΑΝΟ-ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΓΙΑ ΑΝΤΙ-GRAFFITI.....	106
ΕΙΚΟΝΑ 2- 23 ΝΑΝΟ-ΠΟΡΩΔΕΣ ΜΟΝΩΤΙΚΗ ΚΟΥΒΕΡΤΕΣ: ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ, ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ. ΠΥΡΙΤΙΟ ΑΕΡΟΤΖΕΛ ΜΕ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΙΝΩΝ, (BAKKER, 2008). ....	110
ΕΙΚΟΝΑ 2- 24 ΝΑΝΟ-ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ, (MOON ET. AL., 2006).....	116
ΕΙΚΟΝΑ 2- 25 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ. ..	125

ΕΙΚΟΝΑ 3- 1 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΔΟΜΩΝ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ .....	153
ΕΙΚΟΝΑ 3- 2 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ SINGLEWALLEDNANOTUBES (SWNT) ΑΠΟ ΤΟ ΤΥΛΙΓΜΑ ΤΟΥ ΓΡΑΦΕΝΙΟΥ.....	156
ΕΙΚΟΝΑ 3- 3 ΕΙΔΗ ΤΩΝ SINGLE WALLED NANOTUBES (SWNT).....	156
ΕΙΚΟΝΑ 4- 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ANSYS.....	163
ΕΙΚΟΝΑ 4- 2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ANSYS.....	163
ΕΙΚΟΝΑ 4- 3 ΟΙ ΕΝΤΟΛΕΣ ΤΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ .....	165
ΕΙΚΟΝΑ 4- 4 ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ MESHTOOL .....	168
ΕΙΚΟΝΑ 4- 5 .....	170
ΕΙΚΟΝΑ 4- 6 .....	170
ΕΙΚΟΝΑ 4- 7 .....	171
ΕΙΚΟΝΑ 4- 8 .....	171
ΕΙΚΟΝΑ 4- 9 .....	172
ΕΙΚΟΝΑ 4- 10 .....	174
ΕΙΚΟΝΑ 4- 11 .....	174
ΕΙΚΟΝΑ 4- 12 .....	175
ΕΙΚΟΝΑ 4- 13 .....	175
ΕΙΚΟΝΑ 4- 14 .....	177

---

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

*Η νανοτεχνολογία είναι ένα νέο και αναπτυσσόμενο πεδίο που σχετίζεται σχεδόν με κάθε κλάδο των θετικών επιστημών και της επιστήμης του μηχανικού. Με την ταχεία πρόοδο σε τομείς όπως η μοριακή ηλεκτρονική, η σύνθεση βιομοριακών κινητήρων, η αυτο-συναρμολόγηση με βάση το DNA, και ο χειρισμός μεμονωμένων ατόμων μέσω ενός μικροσκοπίου σήραγγας, η νανοτεχνολογία έχει καταστεί το κέντρο του ενδιαφέροντος ενός αυξανόμενου αριθμού επιστημόνων και μηχανικών, γεγονός που αυξάνει το ενδιαφέρον αλλά και την φαντασία του κοινού. Το πεδίο αυτό ορίζεται κυρίως από μια μονάδα του μήκους, το νανόμετρο στο οποίο βρίσκεται ο τελικός έλεγχος για τη μορφή και τη λειτουργία των υλικών. Πράγματι, δεδομένου ότι τα είδη των ατόμων και οι θεμελιώδεις ιδιότητές τους περιορίζονται από τους νόμους της κβαντικής φυσικής, η μικρότερη κλίμακα μεγέθους στην οποία έχουμε την ελευθερία να εξασκήσουμε την δημιουργικότητα μας είναι ο συνδυασμός των διαφορετικών αριθμών και ειδών των ατόμων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή νέων μορφών της ύλης. Αυτό είναι το πεδίο έρευνας της νανοτεχνολογίας: η οικοδόμηση των υλικών και συσκευών για τον έλεγχο μέχρι το επίπεδο των μεμονωμένων ατόμων και μορίων. Αυτές οι ικανότητες της νανοτεχνολογίας έχουν αποτελέσματα στις ιδιότητες και την απόδοση των υλικών πολύ ανώτερες από αυτές των συμβατικών τεχνολογιών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, επιτρέπουν την πρόσβαση σε εντελώς νέα φαινόμενα που είναι διαθέσιμα μόνο σε αυτήν την κλίμακα.*

*Η νανοτεχνολογία δεν έχει μόνο παρόν στη φύση, αλλά έχει επίσης χρησιμοποιηθεί εν αγνοία στην ανθρώπινη τεχνολογία για αιώνες, (Allhoff et al, 2010). Για παράδειγμα σωματίδια νανοκλίμακας αιθάλης, κυρίως αιθάλη υψηλής τεχνολογίας, έχουν χρησιμοποιηθεί ως ενισχυτικό πρόσθετης ύλης σε ελαστικά για σχεδόν 100 χρόνια. Νανοϋλικά έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης ασυναίσθητα από τεχνίτες για αιώνες. Όταν ο χρυσός μειωθεί σημαντικά σε μέγεθος, δεν διατηρεί πλέον*

την οικεία κίτρινη-μεταλλική εμφάνιση του, αλλά μπορεί να πάρει μια σειρά από χρώματα. Το κόκκινο χρώμα που χρησιμοποιείται για τα κινέζικα αγγεία ήδη από τη δυναστεία των Μινγκ είναι το αποτέλεσμα της κινεζικής τεχνικής λείανσης του χρυσού σε σωματίδια της τάξης μεγέθους μέχρι να των 25 nm. Επίσης, οι τεχνίτες του μεσαίωνα στην Ευρώπη, ανακάλυψαν ότι με την ανάμειξη χλωριούχου χρυσού σε λιωμένο γυαλί θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ένα πλούσιο ρουμπινί με διάφορες αποχρώσεις. Με τη μεταβολή του ποσοστού του χρυσού που τίθεται στο μείγμα, παράγονται διαφορετικά χρώματα. Αν και η αιτία ήταν άγνωστη την εποχή εκείνη, τα μικροσκοπικά σφαιρίδια χρυσού είχαν συντονισθεί για να απορροφούν και αντανακλούν το φως του ήλιου σε ελαφρώς διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με το μέγεθος τους. Νανοϋλικά έχουν χρησιμοποιηθεί εν αγνοία τους για την κατασκευή βιτρό με την λείανση χρυσού και αργύρου σε νανοσωματίδια με μικρά μεγέθη. Τόσο τα νανοσωματίδια χρυσού όσο και του αργύρου αλλάζουν το χρώμα τους σημαντικά ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα τους. Στα 25 nm σε διάμετρο και σφαιρικός, ο χρυσός είναι κόκκινος, σε 50 nm και σφαιρικός, είναι πράσινος, και στα 100 nm και σχετικά σφαιρικός, είναι πορτοκαλί. Το ασήμι είναι μπλε στα 40 nm, όταν είναι σφαιρικό, κίτρινο στα 100 nm και σφαιρικό, και κόκκινο στα 100 nm όταν είναι πρισματικό. Αν και αυτές είναι οι πρώτες χρήσεις της νανοτεχνολογίας για να βελτιώσει ή να αλλάξει την ιδιότητα ενός υλικού αυτές οι χρήσεις θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως τυχαία νανοτεχνολογία. Για να χαρακτηριστεί όμως ως νανοτεχνολογία, θα έπρεπε να είναι σκόπιμη. Η κύρια διαφορά μεταξύ της σύγχρονης ώθησης για την τεχνολογία και τα προηγούμενα ιστορικά παραδείγματα της χρήσης των νανοσωματιδίων είναι ότι η σύγχρονη χρήση είναι εκ προθέσεως και με την κατανόηση των υποκείμενων μηχανισμών που παράγουν οι νέες ιδιότητες.

Έχουν γραφεί πολλά για τα νανοϋλικά, διότι βρίσκονται στο επίκεντρο του κόσμου της νανοκλίμακας, κατά συνέπεια, στην ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας. Ωστόσο, η νανοτεχνολογία αντλεί στοιχεία από ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών κλάδων. Επειδή απαιτεί ευρεία γνώση των χημικών αλληλεπιδράσεων σε μοριακό επίπεδο, η χημεία είναι πολύ σημαντική για τη νανοτεχνολογία. Επίσης στην νανοκλίμακα, οι νόμοι της φύσης των μεγάλων σωματιδίων, συζεύγονται με τους νόμους των πολύ μικρών σωματιδίων, (κβαντομηχανική) και η σύζευξη αυτή είναι πολύ σημαντική για την κατανόηση της νανοτεχνολογίας. Επειδή το υλικό είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία μιας συσκευής και της δομής της, η επιστήμη και η μηχανική των υλικών παίζει μεγάλο ρόλο στην ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας. Συγκεκριμένες εφαρμογές απαιτούν γνώσεις από άλλα πεδία, ιατρικές εφαρμογές, όπως η παραγωγή των διαφόρων φαρμάκων που απαιτεί γνώσεις της βιοϊατρικής. Ακόμη περισσότερες

γνώσεις ιατρικής απατούνται για τις συσκευές νανοκλίμακας που πρέπει να περάσουν μέσα από τη κυκλοφορία του αίματος. Το θέμα είναι ότι αυτό το ευρύ φάσμα επιστημονικών κλάδων φέρνει ενδιαφέρουσες ευκαιρίες και προκλήσεις για τους ερευνητές. Υπάρχουν ευκαιρίες για σχεδόν κάθε επιστήμονα που θα συμμετέχει στην ανάπτυξη της επιστήμης της νανοτεχνολογίας. Μία αληθινή επαναστατική συνέπεια της ανάπτυξης της νανοτεχνολογίας είναι ότι οι επιστήμονες όλων των διαφορετικών κλάδων επιστημών εργάζονται από κοινού σε μια μεγάλη ποικιλία σχεδίων. Οι προκλήσεις είναι επίσης πολυάριθμες. Κάθε πεδίο φέρνει τη δική του εμπειρία και την ορολογία του. Αυτό καθιστά την επικοινωνία μεταξύ των επαγγελματιών στους τομείς αυτούς δύσκολη. Κατά συνέπεια, ένα μεγάλο μέρος της αλληλοεπικάλυψης στον τομέα της έρευνας εντάσσεται στον τρόπο και στον χρόνο που απαιτείται για να μοιραστούν και να κατανοηθούν τα επιστημονικά δεδομένα. Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα, είναι πολλά τα διεπιστημονικά κέντρα για την καθιέρωσή τους. Σε αυτά τα κέντρα, βιολόγοι και φυσικοί εργάζονται σε συνεργασία με την ελπίδα ότι η προσέγγιση θα βοηθήσει τη συνεργασία στον τομέα της έρευνας, τη κατανόηση των διαφορετικών πεδίων, και τη καινοτομία από τις νέες προοπτικές πάνω στα προβλήματα των πεδίων. Το περιβάλλον αυτό είναι αναγκαίο, επειδή, όπως είδαμε και θα δούμε, η νανο-τεχνολογία αντλεί από πολλούς διαφορετικούς κλάδους. Ένα παράδειγμα χρήσης της νανοτεχνολογία με τη παραπάνω συνεργασία των επιστημόνων σε κάποιο έργο είναι το Ολυμπιακό Στάδιο «Φωλιά του πουλιού» στην Κίνα, σχήμα 1.2. Όπου στην κατασκευή των βασικών γηπέδων, χρησιμοποιήθηκαν:

- Νανο-επιστρώσεις.
- Νανο-μονωτικά υλικά.
- Νανο-αυτοκαθαριζόμενο γυαλί.
- Νανοϋλικά για τον καθαρισμό του αέρα.
- Νανο-χάλυβας στις πόρτες και τα παράθυρα





**Εικόνα 1-1** Η νανοτεχνολογία, όπως και κάθε άλλη επιτυχημένη τεχνολογία, έχει πολλούς ιδρυτές. Κατά μίαν έννοια, το ίδιο το πεδίο της χημείας έχει ασχοληθεί με τη νανοτεχνολογία από την έναρξή της, όπως η επιστήμη των υλικών, και η φυσική στερεός κατάστασης. Στην νανοκλίμακα, δεν είναι πραγματικά όλα νέα. Αλλά η διερεύνηση και ο σχεδιασμός με ένα ειδικό μάτι της νανοκλίμακας είναι κάτι νέο - και επαναστατικό.

Ο όρος «νανοτεχνολογία», μπορεί να αναχθεί στο 1974. Ήταν η πρώτη χρήση από τον Norio Taniguchi σε ένα έγγραφο με τίτλο "Η βασική ιδέα της «νανοτεχνολογίας». Στο έγγραφο αυτό, που περιγράφεται ως Taniguchi νανοτεχνολογία, ορίζονται:

- "Τι είναι η νανοτεχνολογία" και
- "Από τη βασική έννοια της Νανοτεχνολογίας," η τεχνολογία της μηχανικής της ύλης σε επίπεδο νανομέτρου.

Ωστόσο, η ιστορία των νανοτεχνολογιών, προϋπήρχε αυτού. Κατά παράδοση, οι ρίζες της νανοτεχνολογίας ανάγονται σε μια ομιλία που δόθηκε από τον νομπελίστα φυσικό Richard Feynman στο California Institute of Technology το Δεκέμβριο του 1959 με τον χαρακτηρισμό:

«There's plenty of room at the bottom».

Σε αυτή τη διάλεξη, ο Φάινμαν μίλησε για τις αρχές της μικρογράφησης και σε ατομικό επίπεδο ακρίβειας και το πώς αυτές οι έννοιες δεν παραβιάζουν κανένα γνωστό νόμο της φυσικής. Πρότεινε ότι ήταν δυνατό να οικοδομήσουμε ένα χειρουργικό ρομπότ νανοκλίμακας.

Στη συνέχεια, το 1987, ο Eric Drexler δημοσίευσε το βιβλίο με τίτλο, «Κινητήρες της Δημιουργίας». Ο ερχομός της Εποχής της νανοτεχνολογίας. (Drexler, 1987). Απευθύνεται σε ένα μη τεχνικό ακροατήριο, κάνοντας έκκληση προς τους επιστήμονες. Το βιβλίο αυτό ήταν ένα ιδιαίτερα πρωτότυπο έργο που περιγράφει μια νέα μορφή τεχνολογίας που βασίζεται στη μοριακή συναρμολόγηση η οποία θα είναι σε θέση να διευθετήσει την θέση των ατόμων και, συνεπώς, να επιτρέψει το σχηματισμό υλικών που οι νόμοι της φύσης δεν το επιτρέπουν. Αυτό μπορεί να ακούγεται σαν μια ευφάνταστη ιδέα, αλλά, όπως επισημαίνει ο Drexler, αυτό είναι κάτι που η φύση έχει ήδη κάνει, χωρίς βοήθεια από τον ανθρώπινο σχεδιασμό, με τους βιολογικούς υπολογιστές μέσα στο ίδιο το σώμα μας. Υπήρξε σημαντική συζήτηση σχετικά με τις δυνατότητες, που υπόσχονται, καθώς και προβλήματα με αυτό που σήμερα ονομάζεται «μοριακή παραγωγή». Ακόμη και οι δυνατότητάς των μηχανών αυτών συζητούνται ευρέως. Αρκεί να πούμε, ωστόσο, ότι Μηχανές Σημάτων Δημιουργίας είναι ένα διακεκριμένο σημείο εκκίνησης για τη νανοτεχνολογία και τη συνειρμική\* επιστημονική έρευνα. Παρά το γεγονός ότι μεγάλο μέρος αυτής της έρευνας δεν είχε καμία απολύτως σχέση με μοριακή κατασκευή, η εστίαση στην κλίμακα των αντικειμένων της έρευνας έγινε ο πιο σημαντικός παράγοντας.

Εργαλεία που αναπτύχθηκαν για το χειρισμό μεμονωμένων ατόμων, όπως είναι το μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας, *Scanning Tunneling microscope* – της IBM, νομπέλ φυσικής το 1986, επέτρεψε στους ερευνητές να μελετήσουν και να χειραγωγήσουν μεμονωμένα άτομα και μόρια με τρόπο που ποτέ πριν δεν ήταν δυνατόν. Σε μια πολύ γνωστή εικόνα, οι ερευνητές της IBM μετακίνησαν άτομα ξένου γύρω από ένα υπόστρωμα νικελίου με ένα μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας. Αυτή την εικόνα χρησιμοποιούν ώστε με τα άτομα να διευκρινίσουν το λογότυπο της εταιρείας, «IBM». Τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια έχουν εξελιχθεί σε σημείο που θα μπορούσαν να είναι όλο και περισσότερο χρήσιμα στο κάθε ερευνητικό περιβάλλον (συμπεριλαμβανομένων, μερικές φορές, και τις βιολογικές εφαρμογές). Εξάλλου είναι σε θέση να εμφανίσουν μεμονωμένα άτομα και τις ρυθμίσεις τους στο εσωτερικό των υλικών. Εξαιτίας αυτού οι ερευνητές άρχισαν να μελετούν την ανάπτυξη μερικών υλικών και συσκευών στην κλίμακα του ατόμου. Η ανακάλυψη νέων υλικών στην νανοκλίμακα, άρχισε ιδίως με τα του Richard Buckminster "Bucky" Fuller φουλλερένια\*\* (ονομάζεται επίσης και *buckyballs*). Τα *buckyballs* ονομάστηκαν έτσι λόγω της ομοιότητάς τους με τους γεωδαιτικούς τρούλους, εικόνα 1.2, που ο αρχιτέκτονας Richard Buckminster Fuller κατέστησε δημοφιλείς. Ανακαλύφθηκε το 1985 στο Rice University, αποτελείται από μια διάταξη 60 ατόμων άνθρακα, εικόνα 1.3.



Εικόνα 1- 1 Γεωδαιτικός τρούλος



**Εικόνα 1- 2 .**Διάταξη 60 ατόμων άνθρακα.

Οι νανοσωλήνες άνθρακα από *Sumio Iijima* της NEC είναι ένα τέτοιο παράδειγμα μελλοντικής τεχνολογικής ανάπτυξης, εικόνα 1.4.



**Εικόνα 1- 3.** Φουλλερενικοί κρύσταλλοι του άνθρακα. Κάθε κρύσταλλος μονάδα αποτελείται από 60 άτομα άνθρακα.

## 1.2 Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Αφού εξετάσαμε τη βασική ιστορία της νανοτεχνολογίας, μπορούμε τώρα να διερευνήσουμε αυτά που ισχύουν σήμερα. Ειδικότερα, πώς γίνεται η έρευνα της νανοτεχνολογίας σε εργαστήρια σε όλο τον κόσμο σήμερα; Ποια είναι η τρέχουσα κατεύθυνση της έρευνας για τη νανοτεχνολογία; Η απάντηση μας βοηθά να κατανοήσουμε την ανάπτυξη, τον χαρακτηρισμό, και ενεργοποίηση των υλικών της νανοτεχνολογίας και των επιστημών που τα διέπει. Αυτό περιλαμβάνει τρεις κύριους άξονες της έρευνας: επιστήμη νανοκλίμακας (ή «νανοεπιστήμες» - την επιστήμη της αλληλεπίδρασης και της συμπεριφοράς στη νανοκλίμακα), τα νανοϋλικά ανάπτυξης (η πραγματική πειραματική ανάπτυξη της νανοκλίμακας υλικών, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης τους σε εφαρμογές συσκευής), και μοντελοποίηση ( εύρεση των αλληλεπιδράσεων και των ιδιοτήτων των υλικών νανοκλίμακας με τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών ). Η κατανόηση των υποκείμενων επιστημών της νανοκλίμακας και αλληλεπιδράσεων είναι εξαιρετικά σημαντική για την ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές αποτελούν έναν από τους κύριους τομείς της έρευνας στον τομέα της νανοτεχνολογίας. Οι νόμοι της φυσικής που λειτουργούν πάνω σε αντικείμενα στη νανοκλίμακα συνδυάζουν την κλασική (ή νευτώνεια) μηχανική, η οποία ρυθμίζει τις δραστηριότητες των καθημερινών αντικειμένων, και τη κβαντική μηχανική, η οποία διέπει τις αλληλεπιδράσεις των πολύ μικρών πραγμάτων.

Αν και πολλοί από τους θεμελιώδεις νόμους της φύσης, που λειτουργούν σε αυτό το επίπεδο έχουν ανακαλυφθεί, η επιστημονική ερευνά τους εξακολουθεί να είναι πολύ δύσκολη. Η κβαντική μηχανική δρα σε αυτή την κλίμακα, αλλά και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού - δηλαδή μεγαλύτερο από δύο - ατόμων σε υλικά νανοκλίμακας μπορεί να είναι δύσκολο να προβλέψει κανείς το πραγματικό αποτέλεσμα αυτών των αλληλεπιδράσεων. Επιπλέον, η κλασική μηχανική εφαρμόζεται σε αυτή τη κλίμακα, αλλά το μικρό μέγεθος των υλικών και η στενή κλίμακα των αλληλεπιδράσεων μπορεί να κάνει τις δυνάμεις που είναι καλά κατανοητές σε μεγάλες κλίμακες (π.χ. τριβή) και ισχυρές σε αυτές τις κλίμακες (π.χ., βαρύτητα) λιγότερο κατανοητές και ασθενέστερες στη νανοκλίμακα. Η κατανόηση των δυνάμεων και των θεωριών στο παιχνίδι εντός της νανοτεχνολογίας είναι μία μόνο πτυχή των νανοεπιστημών.

Μια άλλη πολύ σημαντική πτυχή των νανοεπιστημών είναι η κατανόηση του σχηματισμού, δηλαδή της δόμησης, των υλικών και των συσκευών στην νανοκλίμακα. Η εξέταση στη νανοκλίμακα, των παραδοσιακών (μη nano) υλικών, δομών, και συσκευών συχνά αναφέρεται ως "χύδην τεχνολογία", "bulk technology". Για να είμαστε σίγουροι, αυτό το "χύδην" ύφος της τεχνολογίας έχει οδηγήσει σε πολλές μεγάλες επιτυχίες: κάνουμε εύκολα θαυμάσιες υπολογιστικές συσκευές, εξαιρετικά ισχυρό ατσάλι, και πολύ καθαρά κεραμικά. Χρησιμοποιώντας χύμα τεχνολογία, μπορούμε να δημιουργήσουμε εξαιρετικά μικρές συσκευές και υλικά. Ωστόσο, αυτή η δημιουργία εξακολουθεί να γίνεται με κοπή, ξεφλούδισμα, σφυροκόπημα, τήξη, καθώς και την εκτέλεση άλλων τέτοιων διαδικασιών στα χύμα υλικά για τη δημιουργία μιας νέας συσκευής, δομής, ή υλικό. Η κύρια διαφορά με την νανοτεχνολογία είναι η διαδικασία δημιουργίας. Με τη νανοτεχνολογία, ξεκινάμε από την ατομική κλίμακα και, ελέγχοντας ατομική / μοριακή τοποθέτηση και ρύθμιση, θα εδραιώσουμε την τεχνολογία σε μοναδικές συσκευές, υλικά και δομές. Αυτός ο νέος τύπος σχηματισμού απαιτεί νέους τύπους σύνθεσης, που απαιτούν μια νέα κατανόηση του σχηματισμού των υλικών στη νανοκλίμακα. Επίσης, πολλά υλικά έχουν πολύ μοναδικές ιδιότητες, όταν αναπτυχθούν σε νανοκλίμακα. Πολλές διάφορες ατομικές ρυθμίσεις των υλικών δεν εντάσσονται στην χύμα μορφή των υλικών. Η κατανόηση των αλλαγών που τα υλικά αυτά υποβάλλονται όπως αυτά διαμορφώνονται σε μικρότερη κλίμακα, είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη της χρήσης αυτών των υλικών στις συσκευές.

Η νανοτεχνολογία σήμερα επικεντρώνεται, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, σχετικά με την ανάπτυξη, την κατανόηση και χρήση των υλικών στη νανοκλίμακα. Τα υλικά αποτελούνται από μια ρύθμιση συγκεκριμένων ατόμων - συνήθως με ένα συγκεκριμένο τρόπο - που μας βοηθάν να καθορίσουμε τις ιδιότητες του υλικού. Για παράδειγμα, ο χάλυβας που είναι ένα από τα ισχυρότερα υλικά κατασκευών, με τον τρόπο αυτό η αντοχή του θα αυξηθεί, καθώς άνθρακας προστίθεται σε αυτόν. Ο χάλυβας, που παράγεται κυρίως από σίδηρο και άλλα στοιχεία όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, για παράδειγμα, περιέχει 10 τοις εκατό χρώμιο για την προστασία του υλικού από τη διάβρωση.

### 1.3 ΠΙΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ

Η Νανοτεχνολογία είναι ένας όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη δημιουργία και χρήση λειτουργικών δομών μεγέθους μεταξύ 1 και 100 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 [υδρογόνων](#) σε σειρά. Κατά παρόμοιο τρόπο ορίζεται και ο όρος νανοεπιστήμη αναφερόμενος σε επιστήμες οι οποίες μελετούν φαινόμενα στην κλίμακα αυτή.

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 [Ρίτσαρντ Φίλλιπς Φάινμαν](#) έδωσε το λόγο με τίτλο "There's Plenty of Room at the Bottom"<sup>[1]</sup> μιλώντας για τα μεγάλα περιθώρια που αφήνουν οι νόμοι της φύσης για τον έλεγχο της ύλης σε ατομικό επίπεδο.

Στη μέχρι τώρα ανάπτυξη 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 καθώς και σε μορφή σωλήνα γνωστές ως [νανοσωλήνες άνθρακα](#) με ιδιαίτερες ιδιότητες το καθένα.

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](#) καθώς και άλλων. Οι εφαρμογές της είναι αναρίθμητες ενώ οι επιπτώσεις γίνονται αντιληπτές σε πολλαπλά επίπεδα κατά κύριο λόγο στον οικονομικό τομέα επηρεάζοντας παγκόσμιες βιομηχανίες και οικονομίες, αλλά και στο κοινωνικό βελτιώνοντας το επίπεδο ζωής μας.

Δε θα πρέπει ωστόσο να φανταστεί κάποιος πως η νανοτεχνολογία πρόκειται για επιστημονική επανάσταση. Τα περισσότερα θέματα όπου αυτή περικλείει προκύπτουν σαν λογική συνέπεια της εξέλιξης της ικανότητας της επιστήμης και της τεχνολογίας να ερευνά και να εργάζεται σε όλο και μικρότερη κλίμακα. Εξάλλου, η κατάλυση, ένα φαινόμενο που ανέκαθεν χαρακτηριζόταν από νανομετρικές διαστάσεις αποτελεί επιστημονικό κλάδο ο οποίος αναπτύσσεται πολλές δεκαετίες. Επιπλέον, ολόκληρα επιστημονικά πεδία όπως η [χημεία](#) ή η [βιολογία](#) ανέκαθεν δούλευαν σε τέτοιες διαστάσεις παρόλο που ο όρος νανοεπιστήμη εισήχθη μόλις πρόσφατα.

## Φουλερένια

Τα φουλερένια (fullerenes) ανακαλύφθηκαν το 1985 από τους Harold Kroto, James R. Heath, Sean O'Brien, Robert Curl και Richard Smalley. Οι Kroto, Curl και Smalley βραβεύτηκαν με βραβείο Νόμπελ Χημείας το 1996 για την ανακάλυψη αυτής της οικογένειας ενώσεων. Το πιο σταθερό φουλερένιο είναι αυτό το οποίο αποτελείται από 60 άτομα άνθρακα ( $C_{60}$ ) και έχει σχεδόν σφαιρική δομή. Ωστόσο, φουλερένια με 70, 76 ή 84 άτομα άνθρακα είναι εξίσου κοινά. Το όνομα τους προέρχεται από τον αρχιτέκτονα Richard Buckminster Fuller, ο οποίος κατέστησε δημοφιλή το γεωδαιτικό θόλο, καθώς ο δεύτερος έχει παρόμοιο σχήμα με αυτό του μορίου.

Τα φουλερένια είναι γενικά σταθερά μόρια και απαιτούν θερμοκρασίες της τάξεως των  $1000^{\circ}C$  και άνω για να διασπαστούν οι δεσμοί μεταξύ των ανθράκων οι οποίοι το αποτελούν. Ανάλυση με ακτίνες X ή σκέδαση νετρονίων ενός μοριακού κρυστάλλου  $C_{60}$  μπορεί να φανερώσει τη σφαιρική δομή του μορίου καθώς και τη διάμετρο του. Επιπλέον υπό φασματοσκοπία NMR δίνει ένα φάσμα μίας μόνο κορυφής, υποδεικνύοντας πως όλα τα άτομα άνθρακα του μορίου είναι ισοδύναμα γεγονός το οποίο επίσης παραπέμπει σε σφαιρική δομή.



Εικόνα 1-4 . Δομή φουλερενίου

Τρία ηλεκτρόνια από κάθε άνθρακα συμμετέχοντας σε  $sp^2$  υβριδικά ενώνουν τους άνθρακες μεταξύ τους με  $\sigma$  δεσμούς. Υπάρχουν δύο είδη δεσμών στο μόριο, ένας μεταξύ ανθράκων στην κοινή ακμή μιας πενταγωνικής και μιας εξαγωνικής έδρας καθώς και ένας στην κοινή ακμή δύο εξαγωνικών εδρών. Η σκέδαση με νετρόνια μας δίνει μήκη δεσμών 0,1455 nm και 0,1391 nm αντίστοιχα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα άτομα άνθρακα σε ένα φύλλο γραφίτη χαρακτηρίζονται επίσης από ίδιου τύπου υβριδικά ( $sp^2$ ) όπως το φουλερένιο. Αυτού του είδους



υβριδικά δίνουν τρεις ισχυρούς σ δεσμούς πάνω στο ίδιο επίπεδο και έναν ασθενή π σε κάθετη διεύθυνση. Καθώς οι σ δεσμοί είναι κορεσμένοι ο γραφίτης θεωρείται χημικά αδρανής. Στην περίπτωση του φουλερενίου ωστόσο, λόγω της κυρτότητας του μορίου, οι σ δεσμοί παύουν να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο ενώ επίσης το νέφος των π ηλεκτρονίων παραμορφώνεται κάνοντας το φουλερένιο περισσότερο ενεργό χημικά.

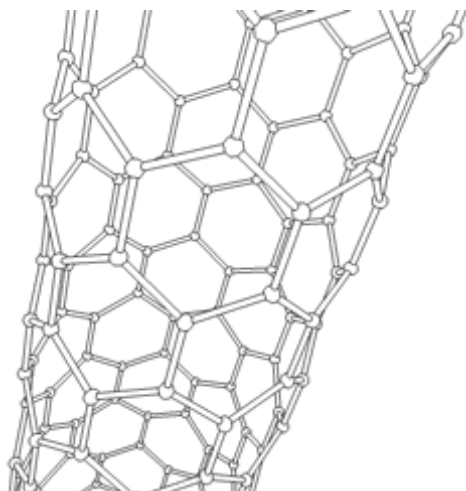
Η διάμετρος του μορίου του  $C_{60}$  βρίσκεται από διάφορες φασματοσκοπικές μεθόδους ίση με 0,710 nm. Προκειμένου να βρεθεί η ενεργός διάμετρος του μορίου θα πρέπει να συνυπολογιστεί το εύρος του ηλεκτρονικού νέφους των π-ηλεκτρονίων το οποίο είναι ίσο με 0,335nm και τελικά η διάμετρος του μορίου βρίσκεται 1,380nm. Το φουλερένιο  $C_{60}$  εμφανίζει 3 είδη αξόνων συμμετρίας, 2ης, 3ης και 5ης τάξεως, συνολικά σε αριθμό 21. Εμφανίζει επίσης 15 διαφορετικά επίπεδα συμμετρίας. Τέλος παραμένει αναλλοίωτο σε αντιστροφή των αξόνων του συστήματος αναφοράς. Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω βρίσκεται πως είναι πιθανές 120 διαφορετικές διαδικασίες συμμετρίας σημείου. Αυτό καθιστά το μόριο του  $C_{60}$  περισσότερο συμμετρικό.

Η συμμετρία αυτή πηγάζει από την σχεδόν τέλεια σφαιρικότητα του μορίου. Αυτή επιτυγχάνεται με την ύπαρξη πενταγωνικών εδρών καθώς είναι αυτά τα οποία εισάγουν κυρτότητα στο μόριο. Η ύπαρξη δύο γειτονικών πενταγώνων σε ένα φουλερένιο, επιβαρύνει τη σταθερότητα του μορίου καθώς έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένη κυρτότητα και κατ' επέκταση μεγαλύτερη παραμόρφωση. Είναι επομένως ενεργειακά συμφέρον κάθε πεντάγωνο να βρίσκεται απομονωμένο και αυτό υποδεικνύει ο κανόνας του απομονωμένου πενταγώνου (isolatedpentagonrule). Λόγω των παραπάνω κάθε φουλερένιο αποτελείται από ούτε περισσότερα ούτε λιγότερα 12 πεντάγωνα ενώ το μικρότερο δυνατό φουλερένιο είναι το  $C_{20}$ , το οποίο αποτελείται από 12 πεντάγωνα μόνο.

Τέλος, το μοριακό υλικό που προκύπτει με βάση του φουλερενίου ονομάζεται φουλερίτης (fullerite) και έχει εδροκεντρωμένη δομή. Επιπλέον, με προσθήκη ατόμων, ιόντων, μορίων ή ριζών στα διαμοριακά κενά του κρυστάλλου του φουλερίτη προκύπτει το λεγόμενο φουλερίδιο (fulleride).

## Νανοσωλήνας άνθρακα

Από τη Βικιπαίδεια, την ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια



**Εικόνα 1-5 .** Τρισδιάστατη απεικόνιση ενός νανοσωλήνα άνθρακα

Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι ομόκεντροι κύλινδροι γραφίτη, κλειστοί σε κάθε άκρο με πενταμελείς δακτυλίους και ανακαλυφθήκαν το 1991 από τον Sumio Iijima. Οι νανοσωλήνες μπορεί να είναι πολυφλοϊικοί με ένα κεντρικό σωλήνα να περιβάλλεται από ένα ή περισσότερα στρώματα γραφίτη ή μονοφλοϊικοί όπου υπάρχει μόνο ένας σωλήνας και καθόλου επιπλέον στρώματα γραφίτη. Όταν νανοσωλήνες ομαδοποιούνται έχουμε τις λεγόμενες συστοιχίες νανοσωλήνων.

### Τεχνικές Σύνθεσης

Νανοσωλήνες άνθρακα μπορούν να παρασκευαστούν μέσω των παρακάτω τεχνικών:

- Εξάχνωση ηλεκτροδίων άνθρακα με τη χρήση ηλεκτρικού τόξου εκκένωσης
- Φωτοδιάσπαση γραφίτη με τη χρήση λέιζερ. Ένα κομμάτι άνθρακα εξατμίζεται με ακτινοβολία από λέιζερ σε υψηλή θερμοκρασία και αδρανή ατμόσφαιρα. Οι παραγόμενοι σωλήνες έχουν μικρή διασπορά ως προς τη διάμετρο.
- Καταλυτική χημική απόθεση από ατμό. Αέριες ενώσεις του άνθρακα (συνήθως υδρογονανθράκων ή μονοξειδίου του άνθρακα) διασπώνται καταλυτικά με τη χρήση μεταλλικών καταλυτών (Fe, Co, Ni)

υποστηριγμένων σε υποστρώματα οξειδίων μετάλλων ή αιωρούμενων στην αέρια φάση.

Τα προϊόντα μπορεί να είναι πολυφλοϊικοί νανοσωλήνες ή μονοφλοϊικοί ανάλογα με τις παραμέτρους της μεθόδου. Γενικά, ενώ οι πολυφλοϊικοί νανοσωλήνες μπορούν να συντεθούν και χωρίς τη χρήση καταλύτη, οι μονοφλοϊικοί απαιτούν την παρουσία του. Το μέγεθος μάλιστα των καταλυτικών σωματιδίων καθορίζει και τη διάμετρο του νανοσωλήνα.

### Δομή

Στους πολυφλοϊικούς νανοσωλήνες οι εσωτερικοί σωλήνες έχουν διάμετρο της τάξης μερικών nm ενώ οι εξωτερικοί μπορεί να έχουν διάμετρο πολλές φορές πολλαπλάσια. Στα άκρα των κυλίνδρων γραφίτη δεν υπάρχουν ελεύθεροι δεσμοί αλλά αυτά καλύπτονται από κατάλληλες ημισφαιρικές δομές παρόμοιες με αυτές των φουλερένιων. Φανταζόμαστε έναν νανοσωλήνα σαν ένα στρώμα γραφίτη το οποίο έχει τυλιχτεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε η αρχή και το τέλος του να συμπέσουν. Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών στρωμάτων άνθρακα στους πολυφλοϊικούς νανοσωλήνες μπορεί να πάρει διάφορες τιμές.

Οι νανοσωλήνες χαρακτηρίζονται τόσο από πενταμελείς όσο και εξαμελείς δακτυλίους άνθρακα. Ωστόσο, απόκλιση από τον εξαμελή αποτελούν και οι επταμελείς δακτύλιοι οι οποίοι σε αντίθεση με τους πενταμελείς δίνουν αρνητική καμπυλότητα στο νανοσωλήνα. Αν πενταμελείς δακτύλιοι βρίσκονται απέναντι από επταμελείς τότε ο νανοσωλήνας αποκτά κυρτότητα. Επίσης σωστός συνδυασμός πενταμελών και επταμελών δακτυλίων μπορούν να κάνουν εφικτή την ένωση ενός νανοσωλήνα με κάποιον άλλον, διαφορετικής δομής. Κατά αυτό τον τρόπο μπορούν να δημιουργηθούν ετεροεπαφές όπως μετάλλου - ημιαγωγού ή p - n εξ' ολοκλήρου από νανοσωλήνες.

### Ηλεκτρονικές Ιδιότητες

Οι ηλεκτρονικές ιδιότητες των νανοσωλήνων παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των πολλών τεχνολογικών εφαρμογών όπου μπορεί αυτοί να έχουν. Όπως και στα φουλερένια, η καμπυλότητα των φύλλων γραφίτη περιμένουμε να επηρεάζει σημαντικά τις ηλεκτρονικές ιδιότητες των νανοσωλήνων. Ο κυριότερος παράγοντας ο οποίος καθορίζει τις ηλεκτρονικές ιδιότητες ενός νανοσωλήνα είναι ότι

τα ηλεκτρόνια του είναι χωρικά περιορισμένα. Μπορούν να κινηθούν μόνο στο χώρο του γραφίτη κι όχι κατά την κάθετη στον άξονα του διεύθυνση στο φύλλο του γραφίτη.

Επιπλέον, καθώς το μήκος του είναι πολύ μεγαλύτερο από τη διάμετρο του οι επιτρεπόμενες ηλεκτρονικές καταστάσεις κατά την αξονική διεύθυνση θα είναι πολύ περισσότερες από αυτές κατά την περιφερειακή. Μπορούμε επομένως να θεωρήσουμε πως τα ηλεκτρόνια του νανοσωλήνα χαρακτηρίζονται από κυματανύσματα αξονικής διεύθυνσης.

Όπως περιμένουμε, η πεπερασμένη περιφέρεια και μήκος του νανοσωλήνα εισάγουν οριακές συνθήκες οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα διακριτές ενεργειακές στάθμες και οι νανοσωλήνες παρουσιάζουν τόσο μεταλλική όσο και ημιαγώγιμη συμπεριφορά. Για νανοσωλήνες μικρής διαμέτρου ο νανοσωλήνας μπορεί να παρουσιάσει μεταλλική ή ημιαγώγιμη συμπεριφορά.

Επιπλέον, έχει δειχθεί ότι στους πολυφλοϊκούς νανοσωλήνες το ρεύμα άγεται από το εξωτερικό στρώμα μόνο και όχι από όλο τον όγκο του νανοσωλήνα.

Τέλος, είναι δυνατόν να εισάγουμε προσμίξεις στους νανοσωλήνες αντικαθιστώντας άτομα άνθρακα από άλλα άτομα, όπως το Βόριο ή το άζωτο προκειμένου να δοθούν στο νανοσωλήνα ημιαγώγιμες ιδιότητες τύπου  $p$  ή  $n$  αντίστοιχα. Συνδυασμοί των δύο παραπάνω είναι επίσης εφικτοί.

## Εφαρμογές

Οι νανοσωλήνες άνθρακα έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον των ερευνητών και των επενδυτών σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω των πολυάριθμων θεωρητικών εφαρμογών τους. Ενδεικτικά αναφέρονται οι κυριότερες πιθανές χρήσεις τους στο άμεσο μέλλον (στην προσεχή 20ετία):

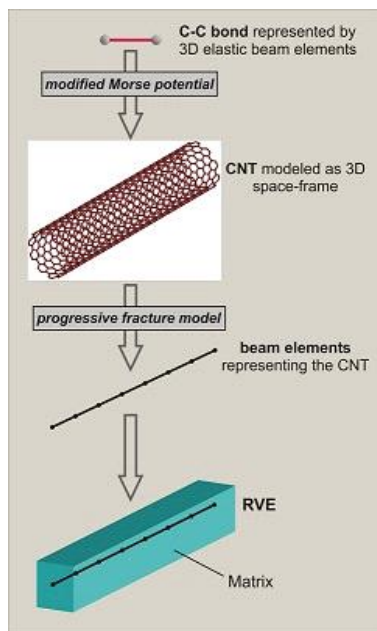
- Τρανζίστορς, αντικατάσταση του πυριτίου, δίοδοι, νανοπυκνωτές
- Κβαντικοί υπολογιστές.
- Επίπεδες οργανικές οθόνες
- Βαφή εκτροπής της ακτινοβολίας ραντάρ
- Ενίσχυση σήματος σε κινητά τηλέφωνα (και όχι μόνο)
- Αντικατάσταση οπτικών ινών (αργότερα), ηλεκτρικών καλωδίων
- Νανοαισθητήρες εξαιρετικής ευαισθησίας

- Ενίσχυση υλικών: ισχυρότερα κράματα και πολυμερή, σε οχήματα (διαστημόπλοια, αεροπλάνα, αυτοκίνητα), σε αλεξίσφαιρα, εργαλεία, κ.ά.
- Διαστημικός ανελκυστήρας
- Κυψέλες αποθήκευσης υπερσυμπυκνωμένου υδρογόνου
- Τεχνητοί μύες

Οι προοπτικές εφαρμογών αυτού του επιπέδου είναι πολύ σημαντικές. Αυτή τη στιγμή κυριότερα εμπόδια στην προώθησή τους είναι η περιορισμένη στη μονάδα του χρόνου δυνατότητα παραγωγής των νανοσωλήνων, καθώς και η δυσκολία συνένωσής τους σε μακροδομές (νήματα) που θα διατηρούν τις ιδιότητές τους. Τελευταίες έρευνες και πειράματα δείχνουν πως αυτά τα εμπόδια είναι εφικτό να ξεπεραστούν.

### Προφυλάξεις

Οι εργαζόμενοι σε βιομηχανίες παραγωγής προϊόντων βασισμένων στους νανοσωλήνες άνθρακα θα πρέπει να λαμβάνουν τις κατάλληλες προφυλάξεις δεδομένου ότι οι νανοσωλήνες έχουν ενοχοποιηθεί για ανοσοτοξικότητα. Η εισπνοή πέραν των 5 mgg. ανά κ.μ. αέρα δυνατόν να προσβάλλει τα κύτταρα T του ανοσοποιητικού συστήματος.



**Εικόνα 1- 6 . Αντοχή νανοσωλήνων άνθρακα**

## 1.4 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΝΑΝΟΥΛΙΚΑ

Νανοϋλικό είναι ένα υλικό όπου ορισμένες ελέγξιμες σχετικές διαστάσεις του είναι της τάξης των 100 nm ή μικρότερες. Η απλή παρουσία της νανοκλίμακας στην δομή από μόνη της δεν είναι αρκετή για να οριστεί ένα νανοϋλικό, δεδομένου ότι τα περισσότερα αν όχι όλα τα υλικά που έχουν δομή σε αυτό το φάσμα μεγέθους. Η ικανότητα ελέγχου της δομής σε αυτή την κλίμακα είναι απαραίτητη. Θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει, με αυτή την έννοια, ότι πολλά από τα κλασικά κράματα και δομικά υλικά που περιέχουν συνιστώσες νανοκλίμακας στον σχεδιασμό τους (π.χ., Οξειδίο Διασπορά-Ενισχυμένη ή ODS κράματα) θα μπορούσαν να ονομαστούν νανοϋλικά. Συμβατικά, ωστόσο, η σύγχρονη χρήση του όρου δεν περιλαμβάνει τα κλασικά δομικά υλικά. Στη σύγχρονη χρήση, τα νανοϋλικά που έχουν αναπτυχθεί πρόσφατα είναι τα υλικά των οποίων η δομή στην νανοκλίμακα ελέγχεται και κατέχει δεσπόζουσα επίδραση στην επιθυμητή συμπεριφορά του υλικού ή της συσκευής. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες νανοϋλικών:

- Διακριτά νανοϋλικά,
- Υλικά συσκευών νανοκλίμακας, και τα
- Χύδην νανοϋλικά.

Διακριτά νανοϋλικά ή (*discrete nanomaterials -dn*) υλικά στοιχεία είναι τα υλικά που η μία διάστασή τους είναι τουλάχιστον 1-10 nm σε κλίμακα (σαν παράδειγμα έχουμε τα νανοσωματίδια και ανανέωνες όπως νανοσωλήνες άνθρακα). Υλικά συσκευών νανοκλίμακας είναι στοιχεία υλικών που περιέχονται μέσα σε συσκευές, συνήθως ως λεπτοί υμένες (ένα παράδειγμα ενός τέτοιου υλικού θα είναι το λεπτό στρώμα οξειδίου του μετάλλου που χρησιμοποιείται στην κατασκευή ορισμένων ημιαγωγών).

Για να καταλάβουμε πώς θα χρησιμοποιούνται τα νανοϋλικά, θα πρέπει να έχουμε μια σαφή εικόνα όχι μόνο για τον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνονται, αλλά και πως δημιουργούνται οι διάφορες συνθέσεις τους. Όλα ξεκινούν με τον άνθρακα. Άτομα άνθρακα είναι παντού. Στην πραγματικότητα, μπορείτε να τα βρείτε σε εκατομμύρια μόρια. Αυτά τα μόρια έχουν μια ευρεία γκάμα ιδιοτήτων, που σημαίνει ότι μπορούν να βρεθούν σε κάθε δυνατή μορφή. Από αέρια όπως το προπάνιο σε στερεά όπως τα διαμάντια, το σκληρότερο υλικό που απαντάται στη φύση.

Στους ομοιοπολικούς δεσμούς, τα άτομα που μοιράζονται δύο ηλεκτρόνια, ανεξάρτητα από το εάν μετακινείται ή οδηγείται σε αυτούς, η από κοινού αξιοποίηση των ηλεκτρονίων είναι αυτή που κρατά δεσμευμένα τα άτομα σε ένα μόριο. Αν η ικανότητα κάθε ατόμου να προσελκύσει αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια είναι αρκετά κοντά (δηλαδή, εάν η διαφορά ηλεκτραρνητικότητας δεν υπερβαίνει το 2), τότε μπορεί να σχηματιστούν ομοιοπολικοί δεσμοί. Επειδή η ηλεκτραρνητικότητα των ατόμων άνθρακα είναι 2,5 (περίπου στη μέση), μπορούν να σχηματίσουν ισχυρούς, σταθερούς, ομοιοπολικούς δεσμούς με πολλά άλλα είδη ατόμων με υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές.

Υπάρχουν τρεις σημαντικοί λόγοι για την ευρεία κλίμακα των ιδιοτήτων των υλικών που περιέχουν άνθρακα: Άτομα άνθρακα μπορούν να σχηματίζουν δεσμούς με πολλά είδη ατόμων, μέσω της διαδικασίας που ονομάζεται ομοιοπολική σύνδεση. Όταν άτομα άνθρακα σχηματίζουν δεσμούς με διαφορετικά είδη ατόμων, αποτελούν μόρια με ιδιότητες, που ποικίλλουν ανάλογα για τα άτομα αυτά.

Κάθε άτομο άνθρακα μπορεί να δημιουργήσει ομοιοπολικούς δεσμούς με άλλα τέσσερα άτομα σε μια στιγμή. Κάθε άτομο αζώτου, (για παράδειγμα, μπορεί να σχηματιστεί μόνο τρεις ομοιοπολικούς δεσμούς, κάθε άτομο οξυγόνο μπορεί να σχηματιστεί μόνο δύο ομοιοπολικούς δεσμούς, και ούτω καθεξής. Αυτή η ικανότητα τεσσάρων δεσμών επιτρέπει σε άτομα άνθρακα στο δεσμό με άλλα άτομα άνθρακα για να κάνουν τις αλυσίδες ατόμων, και να συνδέει με άλλα είδη των ατόμων σε διάφορα σημεία κατά μήκος αυτών των αλυσίδων. Αυτό το ευρύ φάσμα των πιθανών συνδυασμών των ατόμων σε ένα μόριο επιτρέπει μια αντίστοιχα μεγάλη ποικιλία των πιθανών ιδιοτήτων.

Σε κανένα άλλο στοιχείο στον περιοδικό πίνακα αυτοί οι δεσμοί δεν είναι τόσο ισχυροί όσο στον άνθρακα. Άτομα άνθρακα μπορεί δημιουργούν ομοιοπολικούς δεσμούς μαζί με αλυσίδες, που σε κάποιες περιπτώσεις, μπορούν να έχουν τις ιδιότητες ενός αέριου. Μπορούν να δημιουργήσουν ομοιοπολικούς δεσμούς μαζί με μεγάλες αλυσίδες, που θα μπορούσε να μας δώσει ένα στερεό, όπως ένα πλαστικό. Ή, μπορούν να δημιουργήσουν δεσμούς μαζί σε 2 ή 3 διαστάσεων πλέγματα, που μπορεί να κάνουν μερικά πολύ σκληρά υλικά, όπως είναι ένα διαμάντι.

## 1.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟΥΛΙΚΩΝ

Οι τρόποι με τους οποίους γίνονται τα νανοϋλικά διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό, και δεν υπάρχει αρκετός χώρος για να αναπτυχθούν όλοι αυτοί. Από την άλλη πλευρά, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ορισμένα χαρακτηριστικά των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται στη σύνθεση των νανοϋλικών, δεδομένου ότι οι μεταποιητικές διαδικασίες επικρατούν συχνά της συμπεριφοράς του κάθε υλικού. Η έμφαση εδώ δίνεται στα θέματα επεξεργασίας των νανοϋλικών, και όχι στα ευρύτερα θέματα που συνδέονται με την επεξεργασία της νανοτεχνολογίας, (Ramesh, 2009).

Το θεμελιώδες ζήτημα που συνδέεται με την κατασκευή των νανοϋλικών είναι ότι κάποιος προσπαθεί να ελέγξει τη δομή ενός υλικού σε μια πολύ μικρή κλίμακα. Ή αλλιώς, κάποιος προσπαθεί να εισάγει μια διάταξη στην ύλη σε πολύ μικρή κλίμακα, (ή ισοδύναμα, προσπαθεί να μειώσει την πυκνότητα της εντροπίας σε όλο αυτό το υλικό). Αυτή η προσπάθεια για τη μείωση της τοπικής πυκνότητας εντροπία έχει δύο άμεσες συνέπειες.

- Πρώτον, οι διαδικασίες αυτές απαιτούν ένα σημαντικό ποσό ενέργειας και επομένως αυτό μπορεί να συνεπάγεται σημαντική δαπάνη.
- Δεύτερον, το υλικό που παράγεται συχνά είναι θερμοδυναμικά ασταθές, και μπορεί να επιχειρήσει να επανέλθει σε μια υψηλότερη κατάσταση εντροπίας, (για παράδειγμα μέσω της ανάπτυξης των χαρακτηριστικών που αρχικά ήταν στην νανοκλίμακα).

Μερικές από τις πιο δημιουργικές τεχνικές επεξεργασίας που χρησιμοποιούν αυτό το γεγονός προς όφελος τους: ξεκινούν με τη δημιουργία εξαιρετικά διαταραγμένης κατάστασης, η οποία στην ισορροπία παράγει τις επιθυμητές καταστάσεις νανοδομών.

Υπό την ευρεία έννοια, οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία υλικών μπορούν να τεθούν σε δύο κατηγορίες:



- από πάνω προς τα κάτω προσέγγιση, (top-down) στην οποία κάποιος αρχίζει με ένα χύμα υλικό που έπειτα επεξεργάζεται για να δημιουργήσει το νανοϋλικό, και
- από κάτω προς τα άνω προσεγγίσεις, (bottom-up), στις οποίες το νανοϋλικό είναι χτισμένο αρχίζοντας από την νανοκλίμακα, (δημιουργία νανοϋλικού με ένα άτομο τη φορά).

Είναι προφανές ότι οι από κάτω προς τα άνω προσεγγίσεις απαιτούν έλεγχο της διεργασίας σε πολύ μικρές κλίμακες, αλλά αυτό δεν είναι τόσο δύσκολο όσο ακούγεται, δεδομένου ότι οι χημικές αντιδράσεις εμφανίζονται κυρίως μόριο προς μόριο, (πράγματι, τα νανοϋλικό που δημιουργούνται από τη φύση γίνονται με την από κάτω προς τα άνω προσέγγιση).

### **1.5.1 Δημιουργία διακριτών νανοϋλικών, (discrete nanomaterials, dn).**

Οι διαδικασίες που απαιτούνται για τη δημιουργία διακριτών νανοϋλικών είναι συνήθως αρκετά διαφορετικές από τις διαδικασίες που απαιτούνται για την παραγωγή χύμα νανοϋλικών. Πολλά χύδην νανοϋλικά δημιουργούνται από τα dn υλικά χρησιμοποιώντας ένα δεύτερο στάδιο επεξεργασίας, (π.χ. χύδην νανοϋλικά λέγεται ότι έχουν δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας μια διαδικασία δύο σταδίων). Διακριτά νανοϋλικά γίνονται συχνά με τη χρήση της κάτω προς τα πάνω προσέγγισης, μερικές φορές βασίζεται σε αυτο-συναρμολόγηση για τη δημιουργία του επιθυμητού νανοσωματιδίου ή νανοϊνας. Υπό ορισμένες συνθήκες, μια σωστά ρυθμισμένη από κάτω προς τα πάνω διαδικασία, (όπως η συμπύκνωση από ένα ατμού), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων των διακριτών αυτών νανοϋλικών όπως νανοσκόρες. Η πλειοψηφία των γραμμών επεξεργασίας για τα υλικά dn βασίζονται στον έλεγχο της πυρήνωσης\* και τη διαδικασία της ανάπτυξης, δεδομένου ότι η πυρήνωση που κυριαρχεί ως διεργασία τείνει να δημιουργήσει μικρά μεγέθη. Έτσι, θα μπορούσε κανείς να έχει πυρήνα νανοσωματιδίων με συμπύκνωση ατμών ή καθίζηση ενός διαλύματος και, στη συνέχεια να παρέμβει για τον έλεγχο της αύξησης των σωματιδίων, με αποτέλεσμα τα ίδια τα νανοσωματίδια, (Ramesh, 2009). Μερικές από τις τυπικές προσεγγίσεις για τη δημιουργία διακριτών νανοϋλικών περιλαμβάνουν:

- Συμπύκνωση από μια φάση ατμού (Birringer et al., 1984).
- Κατακρήμνιση από το διάλυμα (Meulenkamp, 1998).
- Χημικές αντιδράσεις, κυρίως με τη μείωση ή την οξείδωση (Brust et al., 1994).
- Χημική εναπόθεση ατμού (Ren et al., 1998).
- Οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κολλοειδών φάσεων (Ahmadi et al., 1996).
- Αυτο-συναρμολόγησης χρησιμοποιώντας επιφάνειες, *Self-assembly using surfaces* (Li et al., 1999)
- Μηχανική τριβή (Nicoara et al., 1997)

**\*Πυρήνωση:** αρχική διαδικασία που λαμβάνει χώρα στο σχηματισμό των κρυστάλλων από ένα διάλυμα, ένα υγρό, ή ατμό, κατά την οποία ένας μικρός αριθμός ιόντων, ατόμων ή μορίων οργανώνονται σε ένα χαρακτηριστικό σχήμα ενός στερεού κρυστάλλου, που σχηματίζουν μια περιοχή στην οποία επιπλέον μόρια έχουν προστεθεί καθώς ο κρύσταλλος μεγαλώνει.

Ένας πολύ μεγάλος αριθμός διαδικασιών που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία διακριτών νανοϋλικών, εφαρμόζει τεχνολογίες από διάφορους τομείς. Μερικές φορές τα νανοσωματίδια και νανοσωλήνες είναι υποπροϊόντα των αντιδράσεων που έχουν ήδη σημαντική βιομηχανική παραγωγή, καθώς η χρησιμότητα των παραπροϊόντων αυτών έχει μόλις πρόσφατα αναγνωρισθεί.

Ο χαρακτηρισμός και η μεταφορά των υλικών αυτών *δη* είναι θέματα μείζονος σημασίας για την ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας. Ο οριστικός χαρακτηρισμός του μεγέθους των νανοσωματιδίων και η κατανομή του μεγέθους μπορεί να απαιτεί ακριβή ηλεκτρονικά μικροσκοπία υψηλής ανάλυσης, οπτικών και ακτινολογικών τεχνικών οι οποίες μετρούν το μέσο μέγεθος των νανοσωματιδίων σε εύλογες μεγάλες ποσότητες που έχουν μεγάλο βιομηχανικό ενδιαφέρον.

### 1.5.1.1 Ενοποίηση των Υλικών dn

Η δεύτερη μεγάλη προσέγγιση στη δημιουργία των χύμα νανοϋλικών στηρίζεται στην ήδη καλά αναπτυγμένη ικανότητα για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων νανοσωματιδίων. Η ιδέα είναι να λάβεις ένα μεγάλο όγκο νανοσωματιδίων και στη συνέχεια να παραγάγεις ένα χύμα νανοϋλικό. Πολλές από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην κονιομεταλλουργία και στην κεραμική βιομηχανία μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτές τις νανοσκόνες, οι εν λόγω βιομηχανίες παράγουν χύδην υλικά από σκόνες για δεκαετίες. Η πρωταρχική δυσκολία που αντιμετωπίζουν είναι η άμεση εφαρμογή των αποτελεσμάτων των τεχνικών της κλασικής σκόνης σε διαφορετικού μεγέθους σκόνη. Τα τυπικά στάδια στην ενοποίηση των χύδην υλικών από σκόνες, (Ramesh, 2009), είναι τα εξής:

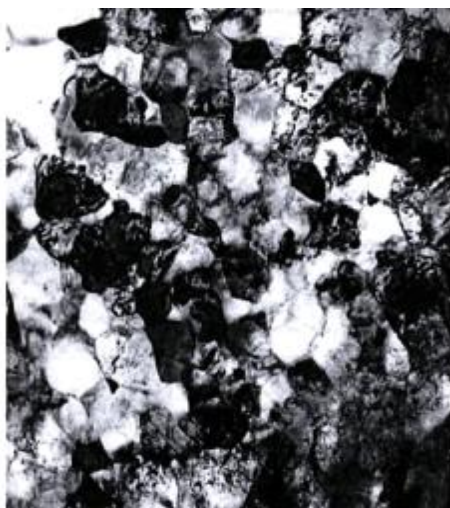
- Ανάμιξη της σκόνης, εάν είναι απαραίτητο, (μερικές φορές είναι συμφέρουσα για να ξεκινήσουμε μια ποικιλία μεγεθών σε σκόνη, καθώς και διάφορες σκόνες υλικών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε περίπτωση που ένα σύνθετο υλικό είναι επιθυμητό).
- Ένα πρώτο βήμα εξυγίανσης, η τυπική κρύα ισοστατική πίεση (CIPing) που δημιουργεί ένα στερεό που μπορεί να επεξεργάζεται, και ονομάζεται πράσινο σώμα.
- Σε περαιτέρω εδραίωση του πράσινου σώματος, είτε μέσω θερμοσυσσωμάτωσης ή ζεστής ισοστατικής συμπίεσης (HIPing) για να επιτευχθεί η επιθυμητή πυκνότητα. Το βήμα αυτό συνήθως περιλαμβάνει μια υψηλή θερμοκρασία γιατί είναι συνήθως ελεγχόμενη από τους μηχανισμούς διάχυσης.
- Μια τελική διαδικασία κατεργασίας για την αφαίρεση περιοχών του υλικού που δεν έχουν πλήρως ενοποιηθεί.

Μια ποικιλία από άλλα μέτρα είναι δυνατόν να υπάρχουν, περιλαμβανομένων των πλαστικών παραμορφώσεων μέσω κύλισης και σφυρηλασίας, καθώς και η ύπαρξη ακριβής συνταγής που χρησιμοποιείται συχνά στην βιομηχανία ως μυστικές πληροφορίες από τα εργαστήρια και τις επιχειρήσεις. Οι ειδικές κατανομές θερμοκρασίας και πίεσης που χρησιμοποιούνται σε μια διαδικασία έχουν σημαντική επιρροή στην τελική μικροδομή. Η σχετική αστάθεια των νανοϋλικών σημαίνει ότι οι κόκκοι σε υψηλές θερμοκρασίες παρουσιάζουν μια αστάθεια που πρέπει να εξεταστεί

εάν τελικά είναι μεταξύ των επιθυμητών πυκνοτήτων και του επιθυμητού τελικού μεγέθους κόκκου.

Κάθε ομάδα υλικών που χρησιμοποιείται σε σκόνη φαίνεται να έχει διαφορετικό ορισμό της "πλήρους πυκνότητας", κάποιες βιομηχανίες, που παράγουν νανοϋλικά, ορίζουν ως πλήρη πυκνότητα, το 98% της θεωρητικής πυκνότητας (η οποία υπολογίζεται με βάση τις γνωστές πυκνότητες των στοιχείων, των ενώσεων ή των φάσεων που εμπλέκονται και εάν δεν υπάρχει πορώδες).

Πρόκειται για ένα σημαντικό πρόβλημα, διότι οι μηχανικές ιδιότητες του νανοϋλικού μπορεί να εξαρτώνται πολύ έντονα από την παρουσία του πορώδους ακόμη και σε μικρές ποσότητες. Οι ιδιότητες ενός υλικού με πυκνότητα 98% μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές από εκείνες του ίδιου υλικού με το 99,5% της πυκνότητας (ιδίως όσον αφορά την θραύση και την αστοχία), (Ramesh, 2009). Μέρος της δυσκολίας με την πυκνότητα οφείλεται στο γεγονός ότι οι πιο παραδοσιακές σκόνες μετάλλων που παράγονται από τη βιομηχανία κονιομεταλλουργίας έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές όπου οι μικρές ποσότητες του πορώδους θα αφαιρεθούν με τις μεταγενέστερες διαδικασίες όπως η σφυρηλάτηση, ή το μικρό πορώδες θα μπορούσε ακόμη και να είναι επωφελής (όπως σε συστήματα λίπανσης). Τέτοιες διεργασίες φινιρίσματος συχνά δεν χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των νανοϋλικών, με αποτέλεσμα το υπολειμματικό πορώδες. Ένα συναφές πρόβλημα είναι ότι μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να δείτε το πορώδες ενός νανοϋλικού, διότι σε αντίθεση με την παραδοσιακή επεξεργασία σε σκόνη το πορώδες υλικό θα μπορούσε να είναι πολύς λεπτής κατανομής σε πολύ μικρές κοιλότητες. Η συνέπεια είναι το χαμηλότερες τελικές πυκνότητες μπορεί να θεωρηθούν αποδεκτές επειδή η ποιότητα ελέγχου δεν είναι σε θέση να εντοπίσει συστηματικά τους πόρους. Ένα παράδειγμα ενός νανοϋλικού, (νανοκρυστάλλινος σίδηρος) που έγινε από την ενοποίηση σκόνης παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.8.



**Εικόνα 1- 7 .** Νανοκρυσταλλικός σιδήρου που παράγονται με ενοποίηση , το πλάτος αντιπροσωπεύει 850 nm

Η διαδικασία παραγωγής έχει ως εξής: Πρώτον, νανοδομημένα σωματίδια σιδήρου παράγονται από μια μηχανική διεργασία τριβής όπου εμπορική σκόνη σιδήρου με καθαρότητα 99,9% και μια σειρά από μεγέθη σε σκόνη κατά μέσον όρο γύρω στα 5 μπι χρησιμοποιείται ως πρώτη υλη για την άλεση σε μπάλα. Η μπάλα άλεσης (Malow et al, 1998) έγινε σε ένα SPEX 8000 μύλο με φιαλίδια και μπάλες από ανοξείδωτο χάλυβα (SS440). Το βάρος αναλογίας των σφαιρών / σκόνη ήταν 4:1 και ο χρόνος άλεσης ήταν 18 h. Το υλικό ήταν σφραγισμένο σε μια ατμόσφαιρα αργού που ψύχεται με τη χρήση ανεμιστήρα κατά τη διάρκεια της άλεσης. Η σκόνη των σωματιδίων μετά την άλεση είχε εσωτερικό μέγεθος των κόκκων της τάξης των 10 nm (Malow et al, 1998). Η διαδικασία ενοποίησης δύο σταδίων χρησιμοποιήθηκε για τη μορφή χύδην νανοκρυσταλλικού σιδήρου με το επιθυμητό μέγεθος κόκκου. Στην πρώτο βήμα, η σκόνη ήταν συμπιεσμένη σε πίεση 1.4GPa σε θερμοκρασία δωματίου για περίπου 10 ώρες με τη χρήση κύβου βολφραμίου (WC). Η προκύπτουσα συμπαγής πυκνότητα είναι 72-75% της θεωρητικής πυκνότητας.

Στο δεύτερο βήμα, ο υλικό μεταφέρθηκε σε ένα μεγαλύτερο κύβος WC που είναι ζεστός. Η θερμοκρασία των 753K και σε χρόνο παγίωσης των 30min με πίεση 850MPa έχει χρησιμοποιηθεί. Το μέσο μέγεθος κόκκων είναι μόλις κάτω από 100 nm και τελική πυκνότητα στο 99,2% της θεωρητικής πυκνότητας.

Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του νανοκρυσταλλικού σιδήρου που φαίνεται σε αυτό το σχήμα είναι ότι δεν υπάρχουν ορατά κενά στο υλικό, έστω και αν πρέπει να υπάρχει 0,8% του πορώδους κάπου στο εσωτερικό του υλικού. Είναι πιθανό ότι τα κενά είναι πολύ μικρά και έτσι δεν είναι εύκολο να φανούν, ή ίσως το πορώδες αποβάλλεται με τη διαδικασία της προετοιμασίας.

Ένα άλλο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του νανοκρυσταλλικού υλικού που φαίνεται σε αυτό το ποσοστό είναι εκείνο που πρέπει να αναμένεται από το ενοποιημένο υλικό: πολλοί από τα κόκκους παρουσιάζουν ενδείξεις για την ουσιαστική εκ των προτέρων πλαστική παραμόρφωση που εμπλέκονται στη διαδικασία ενοποίησης, (υπάρχει εκτενής δραστηριότητα εξάρθρωσης κατά των κόκκων).

Αυτό μπορεί να είναι δύσκολο να το αποσυνδέσει κανείς από τις επιπτώσεις της πλαστικής παραμόρφωσης και τις συνέπειες του μικρού μεγέθους κόκκων στις μηχανικές ιδιότητες του νανοϋλικού, και από την άποψη της επιστήμης, αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως ένα από τα μειονεκτήματα της διαδικασίας ενοποίησης. Από την άποψη της μηχανικής, ωστόσο, η διαδικασία ενοποίησης επιτρέπει να παραχθούν σημαντικές ποσότητες χύδην νανοϋλικών, και να επωφεληθούμε των υφιστάμενων τεχνολογιών της μεταλλουργίας σκόνης και της κεραμικής βιομηχανίας.

### **1.5.2 Δημιουργία χύδην νανοϋλικών**

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για την παραγωγή χύδην νανοϋλικών, κοινώς αναφέρονται ως *bottom-up* και *top-down* προσέγγιση, (Ramesh, 2009). Στην *bottom-up* προσέγγιση, το υλικό έχει δημιουργηθεί από ένα άτομο, μόριο, σωματίδιο ή στρώμα κάθε φορά, με το ενδιαφέρον να επικεντρώνεται στον ακριβή έλεγχο σε αυτήν την κλίμακα. Ενώ τα υλικά που κατασκευάζονται με αυτόν τον τρόπο μπορεί να έχουν πολύ καθαρές μικροδομές, η προσέγγιση είναι ακριβή και δεν είναι γενικά κατάλληλη για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων υλικών. Στην *top-down* προσέγγιση, από την άλλη πλευρά, τα νανοϋλικά γίνονται με την εφαρμογή διαδικασιών της μεγάλης κλίμακας, με την νανοκλίμακα κατασκευής να δημιουργείται εκ των υστέρων. Τέτοιες προσεγγίσεις γενικά δεν δημιουργούν υψηλής ποιότητας υλικά, αλλά είναι σχετικά φθηνά.

### 1.5.2.1 Τεχνικές Εναπόθεσης

Στις τεχνικές εναπόθεσης που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή νανοκρυσταλλικών υλικών περιλαμβάνονται:

- Η ηλεκτροαπόθεση, (Elsharik and Erb, 1995),
- Χημική εναπόθεση, (Bhattacharyya et al., 2001)
- Η εναπόθεση φυσιολογικών ατμών, (Musil and Vicek, 1998)
- Μια ποικιλία τεχνικών που σχετίζονται με την κατασκευή ημιαγωγών.

Αυτές είναι συνήθως αργές διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των σχετικά λεπτών μορφών του υλικού, με τον καλύτερο έλεγχο των μικροδομών και παράγουν συνήθως ένα πάχος που είναι μικρότερο από 1 μm. Αυτές οι τεχνικές είναι καλά προσαρμοσμένες στην ανάπτυξη των επιχρισμάτων, π.χ., με μηχανικές εφαρμογές στην αντίσταση στη φθορά και στον έλεγχο της τριβής. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των τεχνικών είναι η μεγάλη ακρίβεια έλεγχου του περιβάλλοντος που επιτρέπει σε κάποιον να αναπτύξει ελεγχόμενες μικροδομές με μεγάλη ακρίβεια ελέγχου, και έτσι χύδην υλικά που παράγονται με αυτό τον τρόπο μπορεί να αναπαραχθούν εύκολα.

Περαιτέρω, είναι δυνατό να δημιουργήσει μικροδομές με ειδικές προσμίξεις (προσεγγίσεις που είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για εφαρμογές αισθητήρων).

Με τις διαδικασίες ελέγχου που είναι διαθέσιμες δεν σημαίνει ότι τα υλικά που παράγονται θα είναι χωρίς ελαττώματα. Η ανάπτυξη των πλήρως ελεγχόμενων πυκνών νανοκρυσταλλικών δομών δεν είναι εύκολο έργο. Η διαδικασία βελτιστοποίησης έχει μεγάλο κόστος. Για τα περισσότερα νανοκρυσταλλικά υλικά, ως εκ τούτου, παραμένει δύσκολο να έχουμε απολύτως αναπαραγωγικές λωρίδες μέσω τεχνικών απόθεσης. Πράγματι, μεγάλο μέρος της πρόωρης σύγχυσης σχετικά με τις ιδιότητες των νανοκρυσταλλικών υλικών προέκυψαν από τη μεταβλητότητα των μικροδομών των υλικών που δημιουργούνται μέσω αυτών των διαφόρων διαδικασιών.

Ειδικά ζητήματα που δημιουργούν προβληματισμό είναι το πορώδες, η ανομοιογένεια των μικροδομών και ιδιαίτερα η μεταβλητότητα των κατανομών

μεγέθους των κόκκων του υλικού. Αυτό καθιστά δύσκολη τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το ένα εργαστήριο σε ένα υλικό που έχουν γίνει με τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από άλλο εργαστήριο σε ένα παρόμοιο ονομαστικά υλικό που παρήχθη με διαφορετικό τρόπο.

Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητος ο ενιαίος χαρακτηρισμός για να κατανοηθεί η συμπεριφορά των υλικών. Εντατικές διαδικασίες χαρακτηρισμού προσπαθούν να καθορίσουν τη δομή σε μια πολύ λεπτή κλίμακα, π.χ., χρησιμοποιώντας TEM, (Transmission electron microscopy), για να καθορίσουν το μέγεθος των τοπικών κόκκων. Αυτή η εντατική διαδικασία είναι σε θέση να παρέχει πολλές πληροφορίες.

Οι τεχνικές εναπόθεσης όπως αυτές που αναφέρονται σε αυτό το τμήμα είναι συνήθως σε θέση να παράγουν μόνο λωρίδες υλικού. Λεπτές λωρίδες είναι τα πιο συνήθη προϊόντα, αν και η χρήση πολλαπλών επιπέδων μπορεί να επιτρέψει σε κάποιον να δημιουργήσει παχύτερες δυο διαστάσεων δομές, και μερικές φορές μέχρι και το "τυχαίου μεγέθους" πάχος.

### **1.5.2.2 Διεργασίες με ισχυρή πλαστική παραμόρφωση**

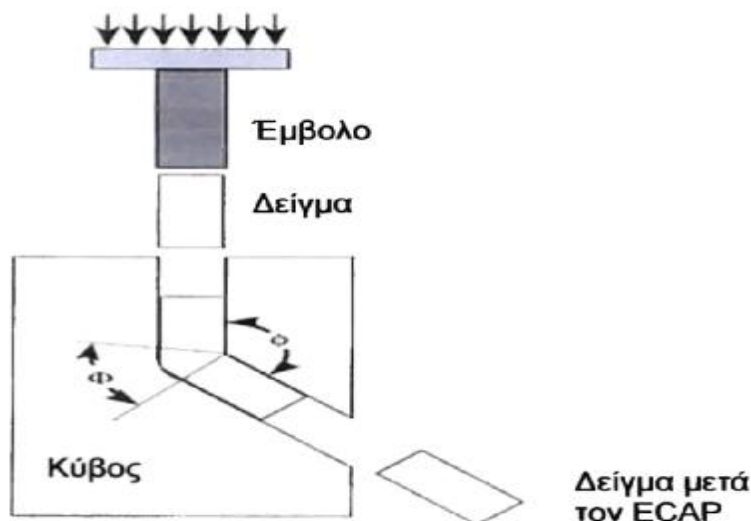
Μια ποικιλία από τεχνικές επεξεργασίας για χύμα νανοϋλικά εφαρμόζει την ισχυρή πλαστική παραμόρφωση. Η πρωταρχική ιδέα σε όλες αυτές τις τεχνικές είναι να αναπτύξουν πολύ μεγάλη πλαστική παραμόρφωση εντός του μετάλλου, με τις σχετικές εξαρθρωτικές υποδομές, και στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν τις διαδικασίες ανάκτησης, ανακρυστάλλωσης και αναδιάταξης της μικροδομής για την ανάπτυξη της επιθυμητής διάταξης. Η ανάκτηση περιλαμβάνει την θερμικά ενισχυμένη κίνηση της μετατόπισης για τη μείωση των εσωτερικών τάσεων μέσω της ανακατάταξης και της εξόντωσης, ενώ ανακρυστάλλωση συνεπάγεται ανάπτυξη των νέων κρύσταλλων. Οι μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις των μετάλλων είναι γνωστές για πολλά χρόνια, (Mughrabi, 1983), και η βιομηχανία των μετάλλων τις έχει χρησιμοποιήσει εκτενώς προς όφελος της. Μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις μπορεί να οδηγήσουν στην μετατόπιση δομών που αναδιοργανώνονται για να σχηματίσουν τα δομικά στοιχεία, (κύτταρα). Το τελικό μέγεθος του κόκκου που επιτυγχάνεται σε αυτές τις διαδικασίες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις λεπτομέρειες των σχετικών θερμομηχανικών διαδικασιών. Σε γενικές γραμμές, οι μεγαλύτερες πιέσεις αναπτύσσουν ισχυρότερες δομές, αλλά και το ελάχιστο μέγεθος κόκκου που μπορεί να επιτευχθεί, ποικίλλει από υλικό σε το υλικό. Πραγματικά



νανοκρυσταλλικοί κόκκοι ( $< 100\text{nm}$ ) έχουν παρατηρηθεί εντός των κέντρων διαβατικών ζωνών διάτμησης που αναπτύσσονται στο πλαίσιο ορισμένων υλικών που αναπτύχθηκαν επίσης κατά τη διάρκεια της υψηλής περιστροφικής πίεσης. Ωστόσο, οι περισσότερες SPD, (Severe plastic deformation), διαδικασίες, έχουν ως αποτέλεσμα εξαιρετικά λεπτά μεγέθη κόκκων στα περισσότερα υλικά.

### 1.5.2.3 Γωνιακή μεταποίηση ίσου καναλιού

Η γωνιακή μεταποίηση ίσου καναλιού ή κοινώς γνωστή ως ECAP, (Equal Channel Angular Processing), (Ramesh, 2009), είναι μια τεχνική κατά την οποία αναπτύσσονται πολύ μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις, υποχρεώνοντας μια μεταλλική ράβδο (το δείγμα), να διέλθει μέσω ενός κύβου, με τον άξονα του κύβου να αλλάζει κατεύθυνση ξαφνικά, (με αποτέλεσμα τη σημαντική παραμόρφωση διάτμησης). Μια παραλλαγή της τεχνική αυτή είναι γνωστή ως διεργασία σε ισότιμο γωνιακό κανάλι διέλασης (ECAE), (equal channel angular extrusion). Ένα σχηματικό διάγραμμα που αντιπροσωπεύει μια τέτοια διαδικασία φαίνεται στην εικόνα 1.9.



Εικόνα 1- 8. Σχηματικό διάγραμμα διαδικασίας γωνιακής μεταποίησης ίσου καναλιού.

Ένα σκληρό έμβολο αναγκάζει ένα δείγμα μετάλλου να διέλθει ανάμεσα σε δύο κανάλια ίσου μεγέθους που συνδέονται με μια γωνία. Το μέγεθος της διατμητικής παραμόρφωσης η οποία έχει αναπτυχθεί σε ένα μόνο πέρασμα του δείγματος μέσω του κύβου καθορίζεται από τη γεωμετρία του, και ιδίως από την καθορισμένη  $\phi$  γωνία που φαίνεται στον σχήμα. Η γωνία  $\Phi$  η οποία φαίνεται ως εξωτερική είναι επίσης μια σημαντική παράμετρος. Διαφορετικές διαστάσεις κύβων και γωνιών μπορούν να χρησιμοποιούνται, για να επιτευχθεί μια αποτελεσματικής διαδικασίας ECAP. Γωνίες πιο κοντά στις 90° δίνουν μεγαλύτερη διάτμηση, αλλά απαιτούν μεγαλύτερη λειτουργικότητα του υλικού. Το δείγμα μετάλλου που αναγκάζεται να διέλθει μέσω της μήτρας που είναι συνήθως περίπου 1 ίντσα σε διάμετρο και μερικές ίντσες σε μήκος κατασκευάζεται από συμβατικά υλικά μεγέθους κόκκου.

Δεδομένου ότι η αλλαγή της γωνίας καθιστά τη διαδικασία εγγενώς ανισότροπη, αποτελεί συνήθη πρακτική κατά την διαδικασία της διέλευσης του δοκιμίου μέσα από τον κύβο αυτό να περιστρέφεται μεταξύ διαδοχικών διαβάσεων. Πολλαπλά περάσματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση του κλάσματος του δείγματος που έχει υποβληθεί σε μεγάλες παραμορφώσεις.

#### **1.5.2 4 Στρέψη με υψηλή πίεση**

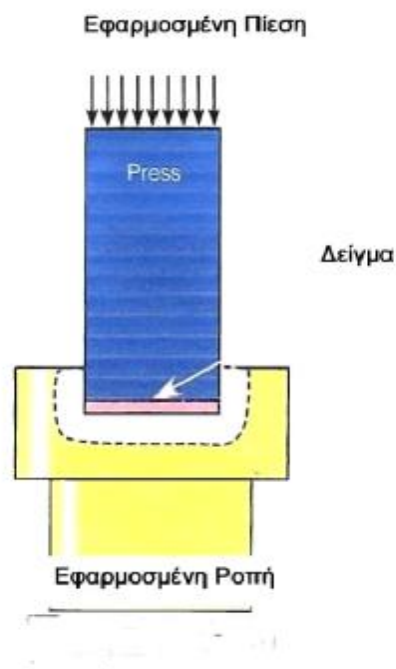
Ένα άλλο είδος της διαδικασίας SPD παρουσιάζεται στο σχήμα 1.10, και είναι γνωστή ως συστροφή υψηλής πίεσης (Liao et al., 2006). Σχετικά μικρά δείγματα υποβάλλονται σε συνδυασμένη υψηλή πίεση και σε ισχυρές στρεπτικές παραμορφώσεις χρησιμοποιώντας μεγάλες πρέσες με πολλούς άξονες.

Πιέσεις πολλών GPa χρησιμοποιούνται, και η στρέψη των στελεχών μπορεί να είναι πολύ μεγάλη (ανάλογα με τη συνολική γωνία συστροφής). Για λεπτά δείγματα και για συμπίεσεις σχετικά μικρές για οποιοδήποτε προσαύξηση της γωνίας θ στριψίματος, η τοπική αύξηση της διατμητικής παραμόρφωσης δίνεται από τον τύπο:

$$\delta_v = \frac{r \delta_\theta}{h}$$

όπου:  $r$  είναι η ακτινική απόσταση από το κέντρο του δίσκου και  $h$  είναι το πάχος του δίσκου.

Πολύ μεγάλα μεγέθη παραμορφώσεων μπορούν έτσι να παράγονται με τη χρήση μικρού πάχους δειγμάτων. Για παράδειγμα, μια πλήρη περιστροφή  $360^\circ$  θα οδηγήσει σε διατηρητική παραμόρφωση της τάξεως του  $30 \text{ mm/οπή}$  σε ένα δείγμα που είναι  $10 \text{ mm}$  σε διάμετρο και πάχους  $1 \text{ mm}$ . Αυτές οι πολύ μεγάλες πιέσεις οδηγούν σε πολύ πιο εκλεπτυσμένες μικροτόμους που μπορούν να επιτευχθούν μέσω των ECAP διαδικασιών.



**Εικόνα 1-9** . Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας υψηλής πίεσης στρέψης, (Torsion , ΤΦ), ένα λεπτό δείγμα συμπιέζεται και στη συνέχεια υποβάλλεται σε μεγάλη συστροφή μέσα σε ένα δεσμευτικό κύβο. Το τυπικό μέγεθος δείγματος είναι περίπου  $1 \text{ cm}$  διάμετρο και περίπου πάχους  $1 \text{ mm}$ .

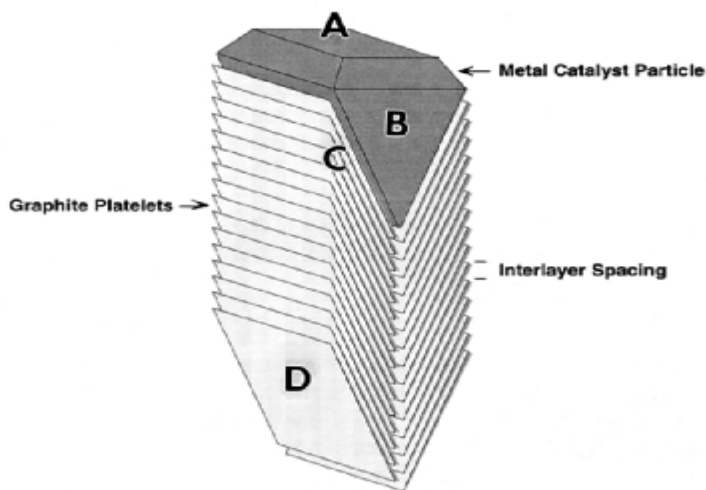
Η επάνω πίεση είναι απαραίτητη για τη διατήρηση του δείγματος χωρίς να σπάσει, και τα θέματα λειτουργικότητας κατά κανόνα εξακολουθούν να απαιτούν την εκτέλεση αυτής της λειτουργίας ΤΦ σε υψηλές θερμοκρασίες. Η μεγαλύτερη δυσκολία με την τεχνική αυτή, ωστόσο, είναι το μικρό μέγεθος του δείγματος που υποβάλλεται σε πολύ μεγάλη καταπόνηση. Περαιτέρω, η καταπόνηση είναι αρκετά ανομοιογενής, με το κέντρο του δείγματος να μην δέχεται σχεδόν καθόλου καταπόνηση. Σε αυτό το σημείο, ως εκ τούτου, η τεχνική αυτή είναι ένας καλός τρόπος να κατανοήσουμε ποιες είναι οι συνέπειες των σοβαρών πλαστικών παραμορφώσεων στα υλικά, αλλά αυτή δεν είναι μια καλή προσέγγιση για την παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων των νανοϋλικών.

## 1.6 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι τα πιο ελαφριά και ανθεκτικά υλικά. Η ειδική τους επιφάνεια αγγίζει τα  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ , η πυκνότητά τους κυμαίνεται στα  $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$  και η αντοχή που επιδεικνύουν σε εφελκυσμό πηγάζει από τους ομοιοπολικούς δεσμούς μεταξύ των ατόμων άνθρακα στο πλέγμα τους. Έχει αναφερθεί ότι ένας MWCNT παρουσιάζει αντοχή σε εφελκυσμό ίση με  $150 \text{ GPa}$ . Αυτό μεταφράζεται στην ικανότητα ενός καλωδίου με διατομή  $1 \text{ mm}^2$  να αντέχει βάρος  $15000 \text{ Kg}$ .

## 1.7 NANOΪΝΕΣ

Νανοΐνες εξ ορισμού είναι στερεές ίνες όπου η διάμετρος είναι μικρότερη από  $100 \text{ nm}$ , και συνήθως τα μήκη των ινών είναι πολλές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερα από την διάμετρο παραγωγής των ινών. Η πρωταρχική εξωτερική κλίμακα μήκους είναι ως εκ τούτου η διάμετρος ινών και το μήκος των ινών, (Charitidis, 2006). Παρόλο που υπάρχουν διάφορες νανοΐνες διαθέσιμες, η συντριπτική πλειοψηφία των νανοϊνών που συσχετίζονται με τον τομέα της νανοτεχνολογίας είναι κατασκευασμένες από πρόδρομες πολυμερείς ουσίες, συνήθως με διεργασίες όπως οι ηλεκτροστατικές, σχήμα 1.11. Για πολυμερείς νανοΐνες, μια εσωτερική κλίμακα μήκους που φαίνεται σχετίζεται με το μοριακό βάρος των ινών, και μπορεί να αντιμετωπισθεί με διάφορες ονομασίες όπως το μοριακό μήκος είτε ως το μήκος εμμονής\*, (persistence length).



**Εικόνα 1- 10** Νανοϊΐνα άνθρακα με δομή ψαροκόκκαλο΄

Το μήκος εμμονής είναι το μήκος κατά το οποίο ο προσανατολισμός ενός μέρους μεγάλου μορίου συσχετίζεται με τον προσανατολισμό ενός άλλου, έτσι ώστε τα βασικά μέτρα, η ακαμψία του μορίου, τα μεγάλα μήκη εμμονής συνεπάγονται άκαμπτα μόρια. Για παράδειγμα, το μήκος εμμονής μιας άκαμπτης ράβδου θα είναι άπειρο, ενώ το μήκος εμμονής του DNA είναι περίπου 50 nm. Στις συμβατικές πολυμερικές ίνες με διαμέτρους ινών στην κλίμακα μικρό, το μήκος εμμονής του πολυμερούς είναι συνήθως πολύ μικρότερο από τη διάμετρο των ινών. Η ακαμψία των ινών καθορίζεται όχι από τη μοριακή ακαμψία όσο και από την ποικιλία των συνθέσεων των πολλαπλών μορίων που απαρτίζουν την ίνα. Αυτή είναι γνωστή ως εντροπία δυσκαμψίας, με το σκεπτικό ότι είναι ιδιαίτερα διαταραγμένη κατάσταση, με πολλές πιθανές διαμορφώσεις, που προτιμώνται σε σχέση με καθορισμένες καταστάσεις (λιγότερες δυνατές διαμορφώσεις) από εντροπικής άποψης.

\*Το μήκος εμμονής, *persistence length*, είναι μια βασική μηχανική ιδιότητα ποσοτικοποίησης της ακαμψίας ενός μακρού πολυμερούς .

Όταν η διάμετρος ινών τείνει να ταυτιστεί με το μήκος εμμονής του μορίου, πρέπει να αναμένεται μια δραματική αλλαγή στη συμπεριφορά της ίνας (επειδή η

<sup>1</sup> μοριακή ακαμψία είναι η ίδια πλέον σημαντική, και όχι απλώς η εντροπία δυσκαμψίας). Αυτό υποδηλώνει ότι οι νανοϊνες θα πρέπει να έχουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες από τις συμβατικού μεγέθους ίνες. Σημειώστε ότι οι περισσότερες αλυσίδες πολυμερών έχουν σχετικά σκληρό άνθρακα στην ραχοκοκαλιά της αλυσίδας. Η διαδικασία της κατασκευής των νανοϊνών κατά κανόνα συνεπάγεται μια αποτελεσματική σχεδίαση των ινών, με αποτέλεσμα τα προσανατολιζόμενα μόρια να έχουν πάλι μεγαλύτερη ακαμψία. Έτσι, σε γενικές γραμμές, θα πρέπει να αναμένεται ότι η ακαμψία της κανόνας θα υπερβαίνει την ακαμψία των ινών συμβατικού μεγέθους. Πρόσθετες επιπτώσεις προκύπτουν λόγω της αυξημένης επιφάνειας ως ποσοστό του όγκου που σχετίζονται με τις νανοϊνες, για τους ίδιους ενεργητικούς λόγους που συζητήθηκαν στην περίπτωση των νανοσωματιδίων.

Υπάρχουν πολύ λίγα πειραματικά δεδομένα για τις μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών νανοϊνών, αλλά υπάρχουν πληθώρα στοιχείων σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών νανοϊνών από συνθετικά ενισχυμένα υλικά (Huang et al., 2003). Με τέτοια σύνθετα υλικά, οι αλληλεπιδράσεις του συνόλου των ινών γίνονται κυρίαρχος όρος στο καθορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων. Η ευελιξία και η αντοχή αυτών των ινών τις καθιστά επίσης ελκυστικές για εφαρμογές σε συσκευές, όπου η μεγάλη επιφάνεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενεργοποίηση της. Αυτές οι ίνες χρησιμοποιούνται συχνά ως δομικά στοιχεία για τις μεγαλύτερες κατασκευές όπως επιχρίσματα με νανοϊνες. Οι μηχανικές ιδιότητες των ινών και τα ψαθωτά ικριώματα πολυμερών είναι ενδιαφέροντα, αλλά οι μεγάλες εφαρμογές των δομών αυτών είναι η δημιουργία μεγάλης επιφάνειας αλληλεπίδρασης με τα βιολογικά και χημικά περιβάλλοντα.

- 
- <sup>1</sup> Zhu W., Bartos P.M.M. και Porro A. (2004). Εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στον τομέα των κατασκευών Σύνοψη μιας υπερασύγχρονης έκθεσης, RILEM TC 197NCM: «Νανοτεχνολογία στα δομικά υλικά» 37, 649-658. 2.
  - Balaguru, Π. Ν. (2005), Νανοτεχνολογία και Σκυρόδεμα: Ιστορικό, Ευκαιρίες και Προκλήσεις. Στο Πρακτικά του Διεθνούς Συνεδρίου Εφαρμογή της Τεχνολογίας στο Σκυρόδεμα Σχεδίασης, Σκωτία, Ηνωμένο Βασίλειο, σ.113-122.2. 3.
  - NSTR (2005). Τεχνική έκθεση Nippon Steel αριθ.91 Ιανουαρίου 2005. 4.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

---

### 2.1 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΕ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ο ρόλος της νανοτεχνολογίας στη σύλληψη καινοτόμων συστημάτων υποδομής έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στην πρακτική των πολιτικών μηχανικών. Το παρόν έγγραφο παρουσιάζει πρώτα μια επισκόπηση της νανοτεχνολογίας και της αρχής της επιστήμης των πολιτικών μηχανικών εν γένει και της διεπιστημονικής προσέγγισής τους. Περαιτέρω, τα νανοϋλικά και οι εφαρμογές τους στον τομέα των έργων πολιτικού μηχανικού σε διάφορα τμήματα του αποτελούν παραδείγματα. Μελετώνται οι ιδιότητες όπως η αυτοαισθητική, η αυτο-αποκατάσταση, η αυτοδιαρθρωτική παρακολούθηση της υγείας, η απόσβεση από τις δονήσεις, ο αυτοκαθαρισμός και η αυτοθεραπεία. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε όλκιμα δομικά σύνθετα υλικά μαζί με τις βελτιωμένες ιδιότητες τους, επιχρίσματα χαμηλής συντήρησης, καλύτερες ιδιότητες τσιμεντοειδών υλικών, μείωση του ρυθμού θερμικής μεταφοράς επιβραδυντή πυρκαϊάς και μόνωσης, διάφορους νανοαισθητήρες, έξυπνα υλικά, τεχνολογία ευφυών δομών κλπ. Επίσης, συζητούνται εν συντομία οι πιθανές συνέπειες όσον αφορά την πρακτικότητα και τους πιο δύσκολους οικονομικούς παράγοντες. Τέλος, διασαφηνίζεται η μελλοντική της τάση και οι δυνατότητες για οικονομικότερη, βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον υποδομή με μεγαλύτερη διάρκεια. Λέξεις-κλειδιά: Πολιτική μηχανική, νανοϋλικά, νανοτεχνολογία, βιωσιμότητα

Ως άτομα που ασχολούνται με τις κατασκευές, γνωρίζουμε πολύ καλά την έννοια της παραγωγής πρώτων υλών, της συγκέντρωσης με οργανωμένο τρόπο και στη συνέχεια τη συγκέντρωσή τους σε μια αναγνωρίσιμη μορφή. Το τελικό προϊόν είναι παθητικό μηχάνημα. Λειτουργεί και σιγά σιγά αποσυντίθεται καθώς χρησιμοποιείται και καταχράται από το περιβάλλον και τους ιδιοκτήτες του έργου. Η κατασκευή δεν είναι σίγουρα μια νέα επιστήμη ή τεχνολογία και όμως έχει υποστεί μεγάλες αλλαγές στην ιστορία της.

Στο ίδιο πνεύμα, η νανοτεχνολογία δεν είναι μια νέα επιστήμη και δεν είναι ούτε νέα τεχνολογία. Είναι μάλλον μια επέκταση των επιστημών και των τεχνολογιών που



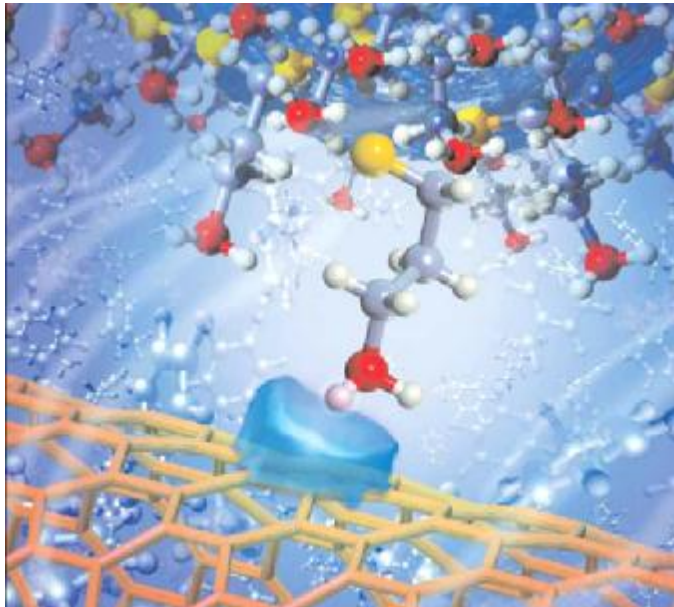
έχουν ήδη αναπτυχθεί εδώ και πολλά χρόνια. Το μέγεθος των σωματιδίων είναι ο κρίσιμος παράγοντας. Στην κλίμακα Nano, οι ιδιότητες των υλικών μεταβάλλονται από εκείνες των μεγαλύτερων κλιμάκων. Αυτά τα "νανο-αποτελέσματα", ωστόσο, καθορίζουν τελικά όλες τις ιδιότητες που γνωρίζουμε στη "μακρο-κλίμακα" μας και εδώ έρχεται η δύναμη της νανοτεχνολογίας - αν μπορούμε να χειριστούμε στοιχεία στην κλίμακα Nano εμείς μπορεί να επηρεάσει τις μακρο-ιδιότητες και να παράγει σημαντικά νέα υλικά και διαδικασίες.

### **Τι είναι η νανοτεχνολογία;**

Το Νάνο, που προέρχεται από την ελληνική λέξη για τον νάνο, δείχνει ένα δισεκατομμύριο. Ένα νανόμετρο είναι ένα δισεκατομμυριοστό του μέτρου. Οι ορισμοί της «νανοτεχνολογίας» ποικίλλουν, αλλά γενικά αναφέρεται στην κατανόηση και τον χειρισμό της ύλης στην κλίμακα Nano, ας πούμε, από 0,1 nm έως 100 nm. Η σημασία και η σημασία του ελέγχου της ύλης στη νανοκλίμακα είναι ότι σε αυτή την κλίμακα, διαφορετικοί νόμοι της φυσικής μπαίνουν στο παιχνίδι όπως η κβαντική φυσική. Υπάρχουν δύο τρόποι προσέγγισης της νανοκλίμακας: συρρίκνωση από την κορυφή προς τα κάτω ή ανάπτυξη από κάτω προς τα πάνω. Η προσέγγιση "από κάτω προς τα πάνω" συνεπάγεται τη μείωση του μεγέθους των μικρότερων δομών προς τη νανοκλίμακα με τεχνικές μηχανικής επεξεργασίας και χάραξης, ενώ η προσέγγιση «από κάτω προς τα πάνω», συχνά αναφέρεται ως μοριακή νανοτεχνολογία, συνεπάγεται ελεγχόμενη ή κατευθυνόμενη αυτοσύνθεση ατόμων και μορίων για δημιουργία δομών .

### **Νανοτεχνολογία στην Κατασκευή**

Η νανοτεχνολογία θεωρείται η επιστήμη του 21ου αιώνα. Ουσιαστικά είναι η πρόοδος των επιστημών και των τεχνολογιών, οι οποίες εξέταζαν τη φύση ολόένα και σε μικρότερη κλίμακα. Μπορεί να αντιγράψει τη φύση και να αναπαραγάγει τα υλικά με χρήσιμες μακροσκοπικές ιδιότητες, προσαρμοσμένες στις σημερινές απαιτήσεις και με τρόπο ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.



Εικόνα 2- 1

Πιο συγκεκριμένα, τροποποιεί και διαμορφώνει την ύλη σε διάσταση από 1 - 100 δισεκατομμυριοστά του μέτρου, χρησιμοποιώντας τη μοριακή επιστήμη.

Μία από τις εφαρμογές της είναι η εισαγωγή νανοσωματιδίων σε μικρές ποσότητες ως πρόσθετων σε πολυμερή. Η βελτίωση των ιδιοτήτων των υλικών (όπως η ανθεκτικότητα, η πλαστικότητα και η υδατο-στεγανότητα) επιτυγχάνεται με τη χημική σύνδεση των νανοσωματιδίων και του πλαστικού, η οποία αυξάνει τη συμβατότητά τους. Σ' αυτή την εφαρμογή τα νανοσωματίδια δεν βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους, αλλά λειτουργούν ανεξάρτητα. Για να αναπτυχθούν καινούριες ιδιότητες θα πρέπει τα νανοσωματίδια να βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους, σχηματίζοντας τρισδιάστατες δομές.

Οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας έχουν επιπτώσεις σχεδόν σε κάθε πτυχή της ζωής του ανθρώπου, ακόμη και στα κτίρια μέσα στα οποία ζει. Οι δυνατότητες που προσφέρει έχουν ήδη αρχίσει να αξιοποιούνται στο σκυρόδεμα, στο χάλυβα, στο ξύλο, στο γυαλί και στις βαφές.



**Εικόνα 2- 2** Άποψη από το εσωτερικό της καθολικής εκκλησίας του Ιωβηλαίου (JubileeChurch) στη Ρώμη, στην οποία πρωτοχρησιμοποιήθηκε το αυτοκαθαριζόμενο σκυρόδεμα (Αρχιτέκτων RichardMeier).



**Εικόνα 2- 3** Χάρη στη νανοτεχνολογία, το σκυρόδεμα δεν απορροφάει τις σταγόνες του νερού, αυξάνοντας έτσι την αντοχή του και εμποδίζοντας την εμφάνιση υγρασίας.



(α)



(β)

**Εικόνα 2- 4.**(α) & (β) Εφαρμογές του χάλυβα MMFX2 σε προκατασκευασμένη δοκό και σε κατάστρωμα γέφυρας στις Η.Π.Α.



**Εικόνα 2- 5** Η νανοτεχνολογία δημιούργησε προϊόντα που προστατεύουν την επιφάνεια του ανοξείδωτου χάλυβα από την υγρασία, αφήνοντάς την λαμπερή μέχρι και δύο χρόνια

Ο κλάδος των κατασκευών ήταν ο μόνος κλάδος για τον προσδιορισμό της νανοτεχνολογίας ως μια πολλά υποσχόμενη αναδυόμενη τεχνολογία στην έρευνα Δελφί του Ηνωμένου Βασιλείου στις αρχές της δεκαετίας του 1990 . Η σημασία της νανοτεχνολογίας επισημάνθηκε επίσης στις αναφορές προβλέψεων της σουηδικής και της βρετανικής κατασκευής . Επιπλέον, τα έτοιμα σκυροδέματα και τα προϊόντα σκυροδέματος εντοπίστηκαν μεταξύ των πρώτων 40 βιομηχανικών τομέων που ενδέχεται να επηρεαστούν από τη νανοτεχνολογία σε 10-15 χρόνια . Ωστόσο, οι κατασκευές έχουν υστερήσει σε σχέση με άλλους βιομηχανικούς τομείς όπου η νανοτεχνολογία στην E & A έχει προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον και επενδύσεις από μεγάλες βιομηχανικές εταιρείες και επιχειρηματικούς επενδυτές. Αναγνωρίζοντας το τεράστιο δυναμικό και τη σημασία της νανοτεχνολογίας στην κατασκευαστική βιομηχανία, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε στα τέλη του 2002 τη χρηματοδότηση του σχεδίου ανάπτυξης GMA1-2002-72160 "NANOCONEX" - Προς τη δημιουργία ενός δικτύου αριστείας στον τομέα των νανοτεχνολογιών στον τομέα των κατασκευών .

### **Εφαρμογές Νανοτεχνολογίας σε έργα και κατασκευές Πολιτικών Μηχανικών**

Η νανοτεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαδικασίες σχεδιασμού και κατασκευής σε πολλές περιοχές, δεδομένου ότι τα προϊόντα που παράγονται από νανοτεχνολογία έχουν πολλά μοναδικά χαρακτηριστικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά

μπορούν, πάλι, να καθορίσουν σημαντικά τα τρέχοντα κατασκευαστικά προβλήματα και μπορεί να αλλάξουν απαιτήσεις και οργάνωση της κατασκευαστικής διαδικασίας.

**Ορισμένες από τις αιτήσεις της εξετάζονται λεπτομερώς παρακάτω:**

### **Σκυρόδεμα**

Μέσα από έρευνες που γίνονται στα πανεπιστήμια και στα ερευνητικά ιδρύματα, διαπιστώθηκε ότι η νανοτεχνολογία μπορεί να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής των κατασκευών. Αρκετές εφαρμογές βρίσκονται στο στάδιο της έρευνας, ενώ κάποιες είναι ήδη διαθέσιμες.

Το σκυρόδεμα είναι ένα από τα πιο κοινά και ευρέως χρησιμοποιούμενα δομικά υλικά. Η νανοτεχνολογία χρησιμοποιείται ευρέως στη μελέτη των ιδιοτήτων της όπως αντίδραση ενυδάτωσης, αντίδραση αλκαλικού πυριτίου (ASR) και αντιδραστικότητα τέφρας. Η αντίδραση πυριτικού άλατος αλκαλίων προκαλείται λόγω της περιεκτικότητας σε αλκάλια τσιμέντου και διοξειδίου του πυριτίου που υπάρχει στα δραστικά συσσωματώματα. Η χρήση της ποζολόνης στο μείγμα σκυροδέματος ως μερική αντικατάσταση τσιμέντου μπορεί να μειώσει την πιθανότητα εμφάνισης ASR καθώς μειώνει την αλκαλικότητα των υγρών πόρων.

Η παιπάλη όχι μόνο βελτιώνει την ανθεκτικότητα και την αντοχή του σκυροδέματος, αλλά και τους βιώσιμους παράγοντες μειώνοντας την απαίτηση για τσιμέντο, ωστόσο η διαδικασία σκλήρυνσης αυτού του σκυροδέματος επιβραδύνεται λόγω της προσθήκης ιπτάμενης τέφρας και η αντοχή στο αρχικό στάδιο είναι επίσης χαμηλή σε σύγκριση με το κανονικό σκυρόδεμα. Η προσθήκη νανοξειδίου του διοξειδίου του πυριτίου οδηγεί στην συμπίκνωση της μικρο και νανοδομής με αποτέλεσμα τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων. Με την προσθήκη νάνο-πυριτίου, μέρος του τσιμέντου αντικαθίσταται αλλά η πυκνότητα και η αντοχή της παιπάλης βελτιώνεται ιδιαίτερα στα αρχικά στάδια. Για σκυρόδεμα που περιέχει μεγάλες ποσότητες ιπτάμενης τέφρας, σε νεαρή ηλικία μπορεί να βελτιώσει την κατανομή μεγέθους πόρων πληρώνοντας τους πόρους μεταξύ των μεγάλων ιπτάμενων τεμαχίων και των σωματιδίων τσιμέντου σε κλίμακα Nano. Η διασπορά / πολτός άμορφου νανο-SiO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της αντίστασης διαχωρισμού για αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

Η προσθήκη μικρής ποσότητας νανοσωλήνων άνθρακα (1%) κατά βάρος θα μπορούσε να αυξήσει τόσο την αντοχή σε θλίψη όσο και την κάμψη [9]. Αυτό μπορεί

επίσης να βελτιώσει τις μηχανικές ιδιότητες των δειγμάτων που αποτελούνται από την κύρια τσιμεντοφόρο φάση και το νερό. Η προσθήκη 1% των οξειδωμένων πολυσωματωμένων νανοσωληνίων (MWNT's) δείχνει τις καλύτερες βελτιώσεις τόσο σε αντοχή σε θλίψη (+ 25 N / mm<sup>2</sup>) όσο και σε αντοχή σε κάμψη (+ 8 N / mm<sup>2</sup>) σε σύγκριση με τα δείγματα αναφοράς χωρίς την ενίσχυση.

Η ρωγμή είναι μια μεγάλη ανησυχία για πολλές δομές. Το Πανεπιστήμιο του Illinois Urbana-Champaign εργάζεται για την επούλωση πολυμερών, τα οποία περιλαμβάνουν ένα μικροκαψυλιωμένο θεραπευτικό μέσο και ένα καταλυτικό χημικό σκανδάλη. Όταν οι μικροκάψουλες σπάσουν με ρωγμή, ο θεραπευτικός παράγοντας απελευθερώνεται στη ρωγμή και έρχεται σε επαφή με τον καταλύτη. Ο πολυμερισμός συμβαίνει και δεσμεύει τα πρόσωπα της ρωγμής. Το αυτοθεραπευτικό πολυμερές θα μπορούσε να εφαρμοστεί ειδικά για τη σταθεροποίηση της μικροπυρόλυσης σε φράγματα και στήλες γέφυρας. Αλλά απαιτεί δαπανηρή έγχυση εποξειδικών.

Έρευνες έχουν δείξει ότι ένας αναερόβιος μικροοργανισμός (ο οποίος δεν απαιτεί οξυγόνο) ενσωματωμένος στο νερό ανάμιξης σκυροδέματος έχει ως αποτέλεσμα 25% αύξηση της ισχύος των 28 ημερών. Ο μικροοργανισμός *Shewanella* χρησιμοποιήθηκε σε συγκέντρωση 10<sup>5</sup> κύτταρα / ml και η παρατήρηση σε νανοκλίμακα αποκάλυψε ότι υπήρχε εναπόθεση μήτρας άμμου-τσιμέντου στην επιφάνεια του. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη υλικού πλήρωσης μέσα στους πόρους της μήτρας άμμου τσιμέντου και οδήγησε σε αυξημένη αντοχή. Τέλος, η περιτύλιξη ινών από σκυροδέμα είναι αρκετά κοινή σήμερα για την αύξηση της αντοχής των προϋπάρχων δομικών στοιχείων του σκυροδέματος. Μια πρόοδος στη διαδικασία περιλαμβάνει τη χρήση φύλλου ινών (μήτρας) που περιέχει σωματίδια νάνο-πυριτίου και σκληρυντικές. Αυτά τα νανοσωματίδια διεισδύουν και κλείνουν μικρές ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος και, στις ενισχυτικές εφαρμογές, οι μήτρες σχηματίζουν έναν ισχυρό δεσμό μεταξύ της επιφάνειας του σκυροδέματος και της ενίσχυσης των ινών.

### **Μηχανικές ιδιότητες**

Οι μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη νανοσωματιδίων. Οι μελέτες που έγιναν στην κλίμακα της νανοτεχνολογίας, έδειξαν ότι η διάταξη των μορίων του σκυροδέματος μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση του νάνο-πυριτίου, το οποίο οδηγεί στη βελτίωση των

μηχανικών ιδιοτήτων του μείγματος. Η προσθήκη του νάνο-πυριτίου στο τσιμέντο μπορεί επίσης να εμποδίσει τη διείσδυση του νερού. Άμεσο αποτέλεσμα είναι η αύξηση της αντοχής, της σταθερότητας (ιδιαίτερα στα αρχικά στάδια), καθώς και της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος.

### **Σύνθετα δομικά υλικά**

Ο χάλυβας είναι ένα σημαντικό κατασκευαστικό υλικό. Η FHWA μαζί με το Αμερικανικό Ινστιτούτο Σιδήρου και Χάλυβα και το Ναυτικό των ΗΠΑ ανέπτυξαν νέο χάλυβα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (HPS) για τις γέφυρες το 1992 με υψηλότερη αντοχή στη διάβρωση και δυνατότητα συγκόλλησης με την ενσωμάτωση νανοσωματιδίων χαλκού από τα χαλυβουργικά όρια [10]. Η Sandvik Nanoflex™ είναι ένας νέος ανοξειδωτος χάλυβας που αναπτύχθηκε από την Sandvik Nanoflex Materials Technology. Λόγω της υψηλής απόδοσής του, είναι κατάλληλη για εφαρμογή που απαιτεί ελαφριά και άκαμπτα σχέδια. Η καλή διάβρωση και η αντοχή στη φθορά μπορούν να μειώσουν το κόστος κύκλου ζωής.

Ο MMFX2 είναι χάλυβας τροποποιημένος με νανοδομή, που παράγεται από την MFX Steel Corp, ΗΠΑ. Σε σύγκριση με τον συμβατικό χάλυβα, έχει μια θεμελιωδώς διαφορετική μικροδομή-ελασματοποιημένη δομή πηλού που μοιάζει με "κόντρα πλακέ" όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Λόγω της τροποποιημένης νανοδομής, ο χάλυβας MMFX έχει ανώτερες μηχανικές ιδιότητες, π.χ. μεγαλύτερη αντοχή, ολκιμότητα και αντίσταση στην κόπωση, έναντι άλλων χαλύβων υψηλής αντοχής. Αυτές οι ιδιότητες υλικών μπορούν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε διαβρωτικά περιβάλλοντα και χαμηλότερο κόστος κατασκευής. Ο χάλυβας MMFX2 έχει παρόμοια αντοχή στη διάβρωση με εκείνη του ανοξειδωτου χάλυβα, αλλά με πολύ χαμηλότερο κόστος. Μέχρι στιγμής, ο χάλυβας MMFX έχει αποκτήσει πιστοποίηση για χρήση σε γενικές κατασκευές σε όλες τις ΗΠΑ. Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι πάνω από 100 φορές ισχυρότεροι από τον χάλυβα και μόνο το ένα έκτο του βάρους εκτός από τις υψηλές θερμικές και ηλεκτρικές αγωγιμότητές του. Ένα σύνθετο υλικό CNT έχει αναφερθεί πρόσφατα ότι είναι έξι φορές ισχυρότερο από τα συμβατικά σύνθετα ινών άνθρακα. Επιπλέον, αντίθετα με τις ίνες άνθρακα που διασπώνται εύκολα υπό συμπίεση, οι νανοσωλήνες είναι πολύ πιο εύκαμπτοι και μπορούν να συμπιεστούν χωρίς να διασπαστούν. Οι σύνθετες ενισχυμένες δομές CNT έχουν 50 έως 150 φορές αύξηση στην αντοχή εφελκυσμού, σε σύγκριση με τις συμβατικές κατασκευές ενισχυμένες με χάλυβα.



## Επικαλύψεις

Οι επικαλύψεις ενσωματώνουν ορισμένα Nano σωματίδια ή Nano στρώματα έχουν αναπτυχθεί για ένα συγκεκριμένο σκοπό, συμπεριλαμβανομένων: προστατευτικές ή αντιδιαβρωτικές επιστρώσεις για τα συστατικά του αυτοκαθαρισμού, θερμικό έλεγχο, εξοικονόμηση ενέργειας, αντι-ανακλαστικά επιχρίσματα για γυαλί / παράθυρα. εύκολο-καθαρισμός, αντιβακτηριδιακές επιστρώσεις για επιφάνειες εργασίας. και πιο ανθεκτικά χρώματα και αντι-γκράφιτι επίστρωση για κτίρια και κατασκευές. Για παράδειγμα: Τα αυτοκαθαριζόμενα παράθυρα έχουν αναπτυχθεί και διατίθενται από την Pilkington, St. Gobain Co., και άλλα [13]. Αυτή η επίστρωση λειτουργεί σε δύο στάδια. Πρώτον, χρησιμοποιώντας μια «φωτοκαταλυτική» μέθοδο, τα νανοσωματωμένα σωματίδια  $TiO_2$  στην επικάλυψη αντιδρούν με υπεριώδεις ακτίνες από το φυσικό φως της ημέρας για να διασπαστούν και να αποσυντεθούν οι οργανικές ακαθαρσίες. Δεύτερον, η επιφανειακή επίστρωση είναι υδρόφιλη, η οποία επιτρέπει την ομοιόμορφη εξάπλωση του βρόχινου νερού πάνω στην επιφάνεια και το «φύλλο» κάτω από το γυαλί για να πλυθεί η χαλαρή σκόνη. Κατά συνέπεια, μπορεί να μειώσει τους ατμοσφαιρικούς ρύπους όταν εφαρμόζονται σε εξωτερικές επιφάνειες. Η επίστρωση  $7000\text{ m}^2$  οδικής επιφάνειας με ένα τέτοιο υλικό στο Μιλάνο το 2002 οδήγησε σε μείωση κατά 60% της συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου στο επίπεδο του δρόμου . Η έρευνα έχει επίσης δείξει ότι τα διμεταλλικά σωματίδια Nano, όπως  $Fe / Pd$ ,  $Fe / Ag$  ή  $Zn / Pd$ , μπορούν να χρησιμεύσουν ως ισχυροί αναγωγικοί παράγοντες και καταλύτες για μια μεγάλη ποικιλία περιβαλλοντικών ρύπων . Μια άλλη προσέγγιση για τη δημιουργία αυτοεπιπεδούμενης επιφανειακής επίστρωσης ήταν η ανάπτυξη προϊόντων «Lotus Spray» από την BASF , με βάση τις ιδέες της αναπαραγωγής των πεντακάθαρων φύλλων του λωτού με την ενσωμάτωση νανοσωματιδίων διοξειδίου του πυριτίου και αλουμίνας και υδρόφοβων πολυμερών. Το προϊόν προσφέρει 20 φορές περισσότερη αντανεμική ιδιότητα απ 'ότι μια ομαλή επίστρωση κεριού. Με τις εφαρμογές της στην κατασκευαστική βιομηχανία, η εταιρεία στοχεύει στην ανάπτυξη ενός προϊόντος που θα διατηρήσει το λωτό της ακόμα και μετά από τριβή με γυαλόχαρτο. Ειδικές επικαλύψεις μπορούν επίσης να κάνουν την εφαρμοζόμενη επιφάνεια τόσο υδρόφοβη όσο και ελαιοφοβική ταυτόχρονα. Αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αντι-γκράφιτι επιφάνειες, χαλιά και προστατευτική ενδυμασία κλπ. Οι ερευνητές στο Μεξικό έχουν αναπτύξει με επιτυχία έναν νέο τύπο αντιγραφικού χρώματος DELETUM, με τη λειτουργικοποίηση

νανοσωματιδίων και πολυμερών για να σχηματίσουν μια επίστρωση απωθητική στο νερό και το λάδι ταυτόχρονα.

Ως αποτέλεσμα, η επικαλυμμένη επιφάνεια είναι μη κολλητική ή πολύ εύκολο να καθαριστεί και είναι ικανή να αντέξει τις επαναλαμβανόμενες επιθέσεις γκράφιτι. Επιπλέον, επικάλυψη με νανοδομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανακλαστικότητα και τη μετάδοση του φωτός σε διαφορετικές ζώνες κυμάτων . Η έρευνα επικεντρώνεται σε έξυπνα και ανταποκρινόμενα υλικά ικανά να αντιληφθούν και να προσαρμοστούν στο περιβάλλον και να αλλάξουν την εμφάνισή τους, όπως το χρώμα του οποίου αλλάζει ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, και η επένδυση που ανταποκρίνεται στη θερμότητα και το φως για την ελαχιστοποίηση της χρήσης ενέργειας στα κτίρια.

## **Γυαλί**

Το γυαλί που προστατεύεται από τη φωτιά είναι μια άλλη εφαρμογή της νανοτεχνολογίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός διαυγούς διογκωτικού στρώματος που έχει τοποθετηθεί μεταξύ των γυάλινων πλαισίων (μιας ενδιάμεσης στρώσης) που σχηματίζονται από διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) που το μετατρέπει σε μία άκαμπτη και αδιαφανή ασπίδα πυρκαγιάς όταν θερμαίνεται . Οι ηλεκτροχρωμικές επικαλύψεις αναπτύσσονται και αντιδρούν στις αλλαγές που εφαρμόζονται με τη χρήση στρώματος οξειδίου βολφραμίου. καθιστώντας έτσι πιο αδιαφανή με την αφή ενός κουμπιού . Λόγω των υδρόφοβων ιδιοτήτων του  $\text{TiO}_2$ , μπορεί να εφαρμοστεί σε αντιψυκτικές αντιδράσεις επιχρίσματος ή σε αυτοκαθαριζόμενα παράθυρα .Οι επιστρώσεις νανο- $\text{TiO}_2$  μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στην κατασκευή εξωτερικών χώρων για την αποφυγή της προσκόλλησης ρύπων και, συνεπώς, για τη μείωση του κόστους συντήρησης μιας εγκατάστασης .

## **Νανοαισθητήρες**

Η νανοτεχνολογία ενεργοποιεί αισθητήρες / συσκευές που παρουσιάζουν «αυτοαισθητοποίηση» και «αυτοκαθορισμό» ικανότητα προσφέρει επίσης μεγάλες δυνατότητες για την ανάπτυξη έξυπνων υλικών και δομών. Η συσκευή που χρησιμοποιείται για αερόσακους στα αυτοκίνητα είναι ένα τέτοιο παράδειγμα. Νάνο και Μικροηλεκτρικά οι αισθητήρες μηχανικών συστημάτων (NEMS & MEMS) κυμαίνονται από  $10^{-9}$  m έως  $10^{-5}$  m που θα μπορούσαν να είναι ενσωματωμένα στη δομή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής. Μπορούν να παρακολουθούν και

/ ή να ελέγχουν τις συνθήκες περιβάλλοντος (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, καπνός, θόρυβος κ.λπ.) και το περιβάλλον (π.χ. τάση, καταπόνηση, δονήσεις, ρωγμές, διάβρωση κ.λπ.) κατά τη διάρκεια της ζωής της δομής. Το έξυπνο σύνολο, μια πολυλειτουργική συσκευή με βάση το piezoceramic χαμηλού κόστους, έχει εφαρμοστεί για την παρακολούθηση ιδιοτήτων σκυροδέματος πρώιμης ηλικίας όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ανάπτυξη της πρώιμης ηλικίας. Μπορεί επίσης να παρέχει μια έγκαιρη ένδειξη πριν από την αποτυχία της δομής. Έτσι οι αισθητήρες μπορούν να λειτουργήσουν ως αυτοάνοσο σύστημα παρακολούθησης.

Η Cyrano Sciences έχει αναπτύξει ηλεκτρονικές μύτες που βασίζονται σε μια σειρά διαφορετικών πολυμερών νανομετρικών αισθητήρων λεπτού φιλμ. Η Siemens και το Yorkshire Water αναπτύσσουν αυτόνομες μάρκες μίας χρήσης με ενσωματωμένους χημικούς αισθητήρες για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού.

### **Μαζικά μονωτικά υλικά**

Το NanoPore έχει αναπτύξει νανοσωματικές ενώσεις πυριτίου χύδην με ενσωματωμένα οργανικά μόρια που εκτελούν έως και 10 φορές καλύτερα από τα συμβατικά μονωτικά υλικά. Τα ανώτερα χαρακτηριστικά μόνωσης αυτών των χαμηλών πυκνοτήτων, τα ιδιαίτερα πορώδη στερεά είναι λόγω του μοναδικού σχήματος και του μικρού μεγέθους (10-100 nm) του μεγάλου αριθμού πόρων του. Μέχρι στιγμής, αυτές οι νέες μονωτικές ενώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετική θερμική απόδοση, άριστη ενεργειακή απόδοση ή ελάχιστο πάχος μόνωσης.

### **Πλαστικά είδη**

Τα πλαστικά ενισχυμένα με ίνες άνθρακα (CFRP) είναι ελαφρά υλικά, παρουσιάζουν καλές ηλεκτρικές ιδιότητες. Τα CNTs είναι μεταξύ των πιο ανθεκτικών και ισχυρότερων ινών που είναι γνωστές, και μπορούν να βελτιώσουν τις ιδιότητες ηλεκτρικής αγωγιμότητας και διασποράς θερμότητας. Στο IFAM της Βρέμης, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τεχνολογία πλάσματος για να μεταφέρουν τις ιδιότητές τους σε CFRPs από τότε αυτά τα μικρο- ή νανοσωματίδια πρέπει να είναι πολύ ομοιογενή και να γίνονται εύκολα δεσμεύσιμα στο πολυμερές. Ο Δρ Jörg Ihde, εξηγεί: "Ψεκάζουμε τα σωματίδια δηλαδή τους νανοσωλήνες σε αυτό το ατμοσφαιρικό πλάσμα. Πέφτουν αμέσως στον επιλεγμένο διαλύτη, ο οποίος μπορεί

στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την περαιτέρω επεξεργασία του πολυμερούς. Η όλη διαδικασία διαρκεί λίγα δευτερόλεπτα ". Αυτό μπορεί να πιεστεί πάνω σε ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα έτσι η θερμότητα διαχέεται άμεσα.

### **Πλαστικό ηλιακό κύτταρο**

Η πιο ελπιδοφόρα εφαρμογή στους τομείς της ενέργειας και του περιβάλλοντος που οδηγούν στην βιώσιμη οικοδόμηση είναι η ανάπτυξη κυψελών καυσίμου και φωτοβολταϊκών. Τα τελευταία χρόνια, έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη πλαστικών ηλιακών κυψελών με  $\text{nanogod}$  / πολυμερές στρώμα μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Το μεσαίο στρώμα, μόλις 200 nm παχύ, είναι ένα μείγμα  $\text{nanopods}$  ενσωματωμένο στο ημιαγωγίμο πολυμερές, πολύ απλούστερο και φθηνότερο να παράγει από εκείνο των συμβατικών ηλιακών κυψελών ημιαγωγών πυριτίου.

### **Πίσσα**

Ο μπετονίτης (BT) και ο βιολογικώς τροποποιημένος μπετονίτης (OBT) χρησιμοποιήθηκαν για να ενισχυθούν και να τροποποιήσει τον συνδετικό ασφαλτο με επεξεργασία τήγματος υπό υπερήχους και διατμητικές τάσεις. Το BT ή η τροποποιημένη ασφαλτος διαθέτουν παρεμβαλλόμενη δομή, ενώ η ασφαλτος τροποποιημένη OBT διαθέτει απολεπισμένη δομή. Οι τροποποιημένες με BT και OBT ασφατικές έχουν δείξει μεγαλύτερο σημείο μαλακότητας, το  $\text{ixwodes}$ , τον υψηλότερο συνολικό συντελεστή, η χαμηλότερη γωνία φάσης και υψηλότερη παράμετρος συστοιχίας και καλύτερες ιδιότητες από την βασική ασφαλτο. Αλλά η ολκιμότητα των τροποποιημένων ασφατικών μειώνεται με την προσθήκη BT και OBT. Έχουν σημαντικά χαμηλότερη ακαμψία ερπυσμού. Συνεπώς, η αντίσταση στη διάβρωση σε χαμηλές θερμοκρασίες βελτιώθηκε με την προσθήκη BT και OBT. Οι τροποποιημένες με OBT ασφατικές άκρες έχουν καλύτερες ιδιότητες από τις τροποποιημένες με BT ασφατικές.

### **Βιομιμητικά υλικά**

Η βιομιμητική είναι η επιστήμη της μίμησης της φύσης και τα βιομιμητικά υλικά επιδιώκουν να αναπαράγουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά των φυσικών υλικών. Παραδείγματα όπως η κηρήθρα δίνοντας μια ελαφριά δομή με εξαιρετική μηχανική αντοχή, το κόκκαλο των κέρατων είναι πιο σκληρό από το κάθε ανθρωπογενείς κεραμικές συνθέσεις, φύλλα λωτού που δίνουν αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες, δέρμα χαμαιλέοντα αλλάζοντας τα χρώματα με το περιβάλλον κ.λπ. Με το χειρισμό υλικών

στο ατομικό επίπεδο με την πρόοδο της νανοτεχνολογίας, η έρευνα για τα βιομιμητικά υλικά παρέχει μια παραγωγική προσέγγιση των νέων υλικών και της μοριακής κατασκευής.

### **Έξυπνα υλικά**

Τα έξυπνα υλικά είναι υλικά με ιδιότητες που έχουν σχεδιαστεί για να αλλάζουν σε μια ελεγχόμενη υπό την επίδραση εξωτερικών ερεθισμάτων όπως η θερμοκρασία, η δύναμη, η υγρασία, η ηλεκτρική ενέργεια, το φορτίο, τα μαγνητικά πεδία και το pH. Παραδείγματα είναι τα πιεζοηλεκτρικά, τα θερμοπηκτικά, το σχήμα

Κράματα μνήμης (SMA), πολυχρωματικά, χρωμογόνα υλικά κλπ. Όπως και τα πιεζοηλεκτρικά μεταβάλλουν το σχήμα τους υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου, SMA αλλαγή σχήμα λόγω μαγνητικού πεδίου. Η έξυπνη δομή σκυροδέματος (IRCS) έχει σχεδιαστεί για αυτά. Το IRCS έχει πολλαπλές λειτουργίες που περιλαμβάνουν αυτο-αποκατάσταση, αυτο-δόνηση και αυτοτραυματική παρακολούθηση της υγείας του. Σε αυτό ένα ειδικό είδος piezoceramic που ονομάζεται PZT (ζirkονίου μολύβδου τιτανικό άλας), το οποίο έχει ισχυρό αποτέλεσμα πιεζοηλεκτρικής ενέργειας και έναν ειδικό τύπο SMA που ονομάζεται

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί Nitinol, η οποία έχει καλή αντοχή στη διάβρωση και μεγάλη τάση ενεργοποίησης. Η προτεινόμενη δομή του σκυροδέματος ενισχύεται από τα καλώδια μαρτενσίτη Nitinol με μετα-τάνυση. Η μαρτενσίτη Nitinol αυξάνει σημαντικά την ιδιότητα απόσβεσης του σκυροδέματος και την ικανότητά του να χειρίζονται μεγάλες επιπτώσεις. Σε περίπτωση ρωγμών λόγω εκρήξεων ή σεισμών, με ηλεκτρική ενέργεια από τη θέρμανση των καλωδίων SMA, προκαλεί σύναψη καλωδίων SMA και κλείσιμο των ρωγμών. Επιπλέον από την παρακολούθηση της αλλαγής ηλεκτρικής αντίστασης των καλωδίων SMA, το πλάτος ρωγμών μπορεί να Εκτιμηθεί . Για την ανίχνευση πιθανών ρωγμών στο εσωτερικό της δομής του σκυροδέματος, χρησιμοποιείται ένα έμπλαστρο PZT ως ένας ενεργοποιητής για την παραγωγή κυμάτων και άλλα κατανεμημένα PZT patches χρησιμοποιούνται ως αισθητήρες για καταγραφή των λαμβανόμενων σημάτων δόνησης.

# Έρευνα έξυπνων υλικών

Σχεδιασμός ερωτηματολογίου:

Το ερωτηματολόγιο σχεδιάστηκε για να καλύψει διαφορετικά επίπεδα εμπλοκής των ερωτώμενων γνώση, αξιολόγηση, εφαρμογή και πρόθεση αγοράς «έξυπνων» υλικών/νανοϋλικών

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ:

-Έχετε ακούσει για τα προϊόντα νανοτεχνολογίας που χρησιμοποιούνται για αδιαβροχοποίηση ταράτσας, πλευρικών τοίχων κλπ

Η παραπάνω ερώτηση οριοθετεί και το τέλος του πρώτου μέρους του ερωτηματολογίου και ακολουθεί το δεύτερο μέρος στο οποίο ο ερωτώμενος καλείται να αξιολογήσει παράγοντες λόγω των οποίων ενδεχομένως η χρήση των «έξυπνων υλικών» στον κατασκευαστικό τομέα είναι περιορισμένη με πεντάβαθμη κλίμακα Likert (από 1-καθόλου σημαντικό έως 5 πάρα πολύ σημαντικό), να αξιολογήσει κάποια σενάρια πιθανής αγοράς «έξυπνων» υλικών και να απαντήσει σχετικά με το αν υπάρχουν ανησυχίες για την υγεία του ανθρώπου λόγω της χρήσης νανοϋλικών στα κτίρια.

Οι ερωτήσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

-Τι νομίζετε πως φταίει για την περιορισμένη χρήση των «έξυπνων» υλικών στον κτιριακό τομέα; Ελλιπής ενημέρωση πιθανών αγοραστών, ελλιπής ενημέρωση πωλητών, υψηλότερο κόστος σε σχέση με τα συμβατικά δομικά υλικά, λανθασμένη τοποθέτηση/εγκατάσταση, έλλειψη κινήτρων (φορολογικές ελαφρύνσεις/απαλλαγές, κρατικές επιδοτήσεις κλπ) Η αξιολόγηση των κριτηρίων γίνεται με την παρακάτω κλίμακα: 1-καθόλου σημαντικό, 2-λίγο σημαντικό, 3-μέτρια σημαντικό, 4-πολύ σημαντικό, 5πάρα πολύ σημαντικό.

-Πόσες φορές έχετε χρησιμοποιήσει/εγκαταστήσει κάποιο «έξυπνο» υλικό στη δόμηση/ανακαίνιση κτιρίου τους τελευταίους 12 μήνες;

Καμία, 5-10, 10-20, 20-30, άνω των 50, Δεν ξέρω

-Σκέφτεστε να αγοράσετε/χρησιμοποιήσετε κάποιο «έξυπνο» υλικό τα επόμενα 2 έτη για να αναβαθμίσετε ενεργειακά το χώρο εργασίας σας ή την κατοικία σας;

Ναι , Όχι , Δεν ξέρω /Δεν απαντώ

Το τρίτο και τελευταίο μέρος του ερωτηματολογίου αναφέρεται σε δημογραφικά στοιχεία (φύλο, ηλικιακή ομάδα, επαγγελματική κατάσταση, επίπεδο εκπαίδευσης και κατηγορία πχ τεχνίτης, κατασκευαστής κτιρίων, μηχανικός/μελετητής, ιδιοκτήτης ακινήτου, παραγωγός/προμηθευτής «έξυπνων» υλικών, Άλλο ;

Η έρευνα εξελίσσεται σε δύο διακριτές χρονικές περιόδους με μεσολάβηση 2 ετών περίπου, διότι τα θέματα που πραγματεύεται είναι καινοφανή, οπότε το ενδιαφέρον μας στρέφεται στη δυναμική της «αγοράς».

Η πρώτη περίοδος αφορά το χρονικό διάστημα από 26/11/2014 μέχρι 9/3/2015, οπότε και εστάλησαν τα ερωτηματολόγια με σκοπό να ληφθούν απαντήσεις από τις παραπάνω κατηγορίες.

Ελήφθησαν 78 απαντήσεις μέσω google drive και 22 απαντήσεις σε έντυπη μορφή (hard copy), συνολικά δηλαδή 100 ερωτηματολόγια.

Το δείγμα αποτελείται από 71 άνδρες και 29 γυναίκες με ποσοστά 71% και 29% αντίστοιχα.

Η δεύτερη περίοδος αφορά το χρονικό διάστημα από 30 Μαρτίου έως 24 Απριλίου 2017 προκειμένου να συγκριθούν τα επικαιροποιημένα στοιχεία με τα αντίστοιχα του 2014-2015. Στη δεύτερη φάση της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν ερωτηματολόγια σε έντυπη μορφή. Συμμετείχαν 89 άτομα, εκ των οποίων 62 άνδρες και 27 γυναίκες.

.Ανάλυση αποτελεσμάτων σύγκριση στοιχείων 2014/15 ως προς 2017

Προχωρώντας στο πρώτο μέρος του ερωτηματολογίου, η συντριπτική πλειοψηφία των ερωτώμενων, σε ποσοστό 96% των ερωτώμενων της α΄ φάσης (2014/15) και περίπου τα ¾ των ερωτώμενων της β΄ φάσης (2017), δηλώνουν πως τους έχει απασχολήσει το πώς μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια στα κτίρια που ζουν ή εργάζονται.

Επίσης το 78% των συμμετεχόντων στην α΄φάση δηλώνει πως γνώριζε τον όρο «έξυπνα» υλικά προτού δει το ερωτηματολόγιο και είχε ενημερωθεί κυρίως από το

διαδίκτυο, Εκπαιδευτικά ιδρύματα (Α.Ε.Ι,Τ.Ε.Ι) και εμπορικές εκθέσεις. Στη β' φάση (2017) οι μισοί ερωτώμενοι δηλώνουν πως γνώριζαν τον όρο «έξυπνα» υλικά προτού δουν το ερωτηματολόγιο και ως κύρια πηγή ενημέρωσης ανέφεραν το Διαδίκτυο.

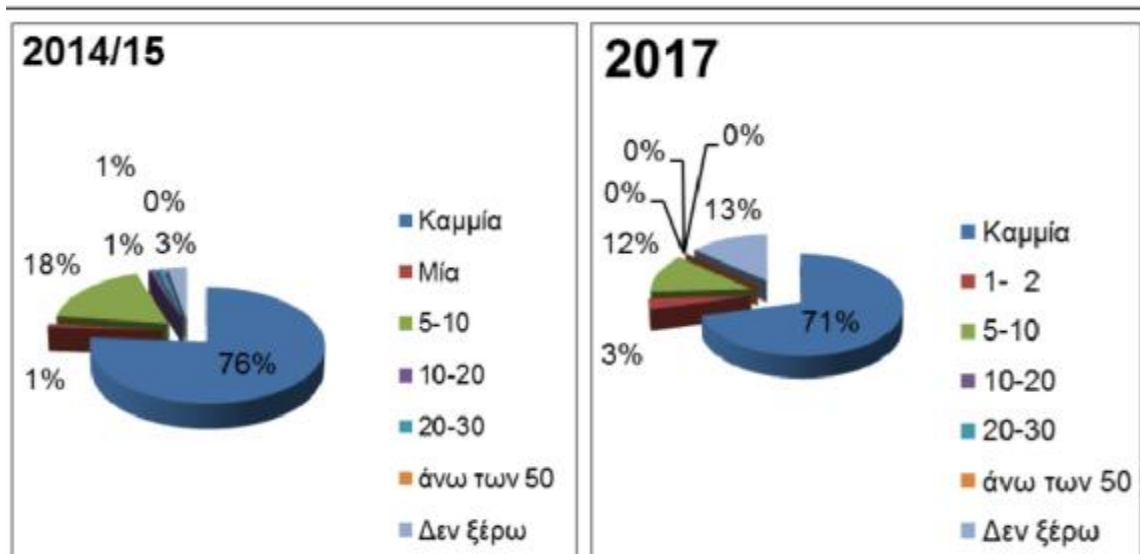
Από τους συμμετέχοντες στην α' φάση της έρευνας το 71% δεν έχει χρησιμοποιήσει «έξυπνα» υλικά σε κτίριο για εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ στα πιο πρόσφατα στοιχεία το ποσοστό μειώνεται σε 50%. Είναι φανερό πως αν και τα «έξυπνα» υλικά είναι γνωστά ως όρος, παραμένουν ακόμα σε επίπεδο πληροφορίας και δεν έχουν προχωρήσει σε επίπεδο εφαρμογής για να δοθεί λύση σε συγκεκριμένο πρόβλημα εξοικονόμησης ενέργειας. Δηλαδή ακόμα στον τομέα του επιπέδου γνώσης βρίσκονται σε αρχικό στάδιο. Από τους συμμετέχοντες που απάντησαν καταφατικά μόνον και κλήθηκαν να δώσουν παραδείγματα του υλικού και το είδος κτιρίου, ελάχιστοι ανέφεραν είδος «έξυπνου» υλικού (πχ ψυχρή βαφή, επαλειφώμενα υλικά, βιοκλιματικού τύπου τοιχοποιία, φωτοβολταϊκά), ενώ αναφέρθηκαν και συμβατικά υλικά τα οποία ο ερωτώμενος θεωρούσε πως ανήκαν στην κατηγορία των «έξυπνων» υλικών πχ με απευθείας μεταφορά από τα ερωτηματολόγια – ηλιακός εξηλασμένη πολυστερίνη υγρή πολυουρεθάνη, ενεργειακό τζάκι, πισσόχαρτο, κουφώματα αλουμινίου.

Περίπου ένας στους πέντε έχει χρησιμοποιήσει κάποιο «έξυπνο» υλικό στη δόμηση ή ανακαίνιση κτιρίου τους τελευταίους 12 μήνες, ένας στους τέσσερεις έχει εγκαταστήσει «έξυπνο» υλικό σε κτίριο για εξοικονόμηση ενέργειας. Η διαφορά μεταξύ γνώσης/αναγνώρισης των «έξυπνων» υλικών και εφαρμογής είναι της τάξης του 4:1 για τα ερωτηματολόγια του 2014/15 και μειώνεται σε 3:1 στα στοιχεία του 2017.

Η περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων της ερώτησης περί εφαρμογής «έξυπνου» υλικού σε κτίριο τους τελευταίους 12 μήνες απεικονίζεται στο γράφημα 2.1.



**Πόσες φορές έχετε χρησιμοποιήσει/εγκαταστήσει κάποιο "έξυπνο" υλικό στη δόμηση/ανακαίνιση κτιρίου τους τελευταίους 12 μήνες;**



**Γράφημα 2.1**

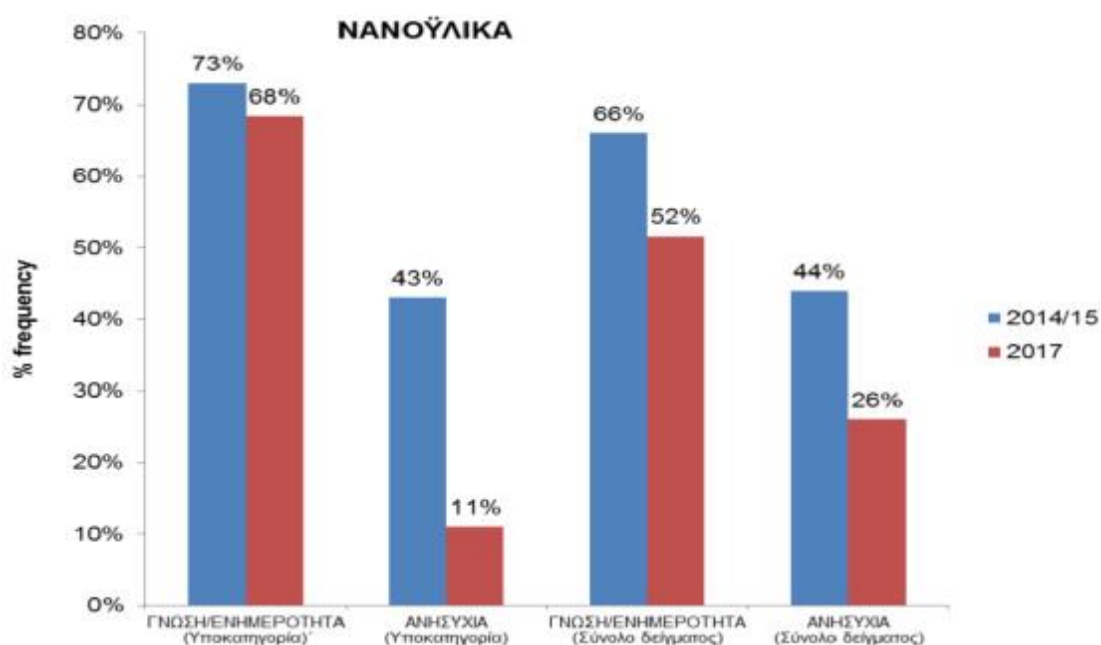
Πόσες φορές έχετε χρησιμοποιήσει/εγκαταστήσει κάποιο "έξυπνο" υλικό στη δόμηση/ανακαίνιση κτιρίου τους τελευταίους 12 μήνες; Γράφημα 2.1 Απάντηση στην ερώτηση περί εφαρμογής «έξυπνου» υλικού τους τελευταίους 12 μήνες (2014/15 ως προς 2017)

Όπως φαίνεται στο γράφημα 2.1 περίπου τα τρία τέταρτα των συμμετεχόντων δεν έχουν χρησιμοποιήσει τους τελευταίους 12 μήνες κάποιο «έξυπνο» υλικό στη δόμηση/ ανακαίνιση κτιρίου στα στοιχεία τόσο του 2014/15, όσο και του 2017. Οι συμμετέχοντες που χρησιμοποίησαν κάποιο «έξυπνο» υλικό σε κτίριο από 5 έως 10 φορές στους τελευταίους 12 μήνες είναι λίγο πάνω από το 10% των συμμετεχόντων και όπως φαίνεται από τα δημογραφικά στοιχεία είναι επαγγελματίες (παραγωγοί, κατασκευαστές κλπ).

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων του 2014/15 με αυτά του 2017 στην υποκατηγορία που περιλαμβάνει μόνο Μηχ/κούς/Μελετητές, Κατασκευαστές κτιρίων (εργολάβος, τεχνική εταιρεία) και Παραγωγούς/Προμηθευτές «έξυπνων» υλικών και νανοϋλικών προκύπτει το γράφημα 2.1, στο οποίο παρουσιάζονται οι διαφορές σε επίπεδο γνώσης/ενημερότητας, αξιολόγησης, εφαρμογής και εφαρμογής τους τελευταίους 12 μήνες για τα «έξυπνα» υλικά. Φαίνεται λοιπόν, πως στην υποκατηγορία αυτή το 100% έχει σκεφτεί πώς να εξοικονομήσει ενέργεια στα κτίρια, όπως αποτυπώνεται στα αποτελέσματα τόσο του 2014/15 όσο και του 2017. Όσον

αφορά τη γνώση των «έξυπνων» υλικών δεν παρατηρείται μεταβολή μεταξύ 2014/15 και 2017, ενώ το επίπεδο εφαρμογής αυξάνεται. Το σημαντικό όμως είναι πως η διαφορά μεταξύ επιπέδου 1 και επιπέδου 4 φαίνεται να μειώνεται σχεδόν στο μισό, δηλαδή αυξάνεται η χρήση των «έξυπνων» υλικών στην προαναφερθείσα υποκατηγορία.

Γράφημα 2.2 Επίπεδα δραστηριοποίησης (επίπεδο 1: Γνώση , επίπεδο 3: Εκτίμηση, επίπεδο 4: Εφαρμογή/χρήση) για τα «έξυπνα» υλικά στην υποκατηγορία (Μηχ/κοί Μελετητές, Κατασκευαστές κτιρίων, Παραγωγοί/Προμηθευτές «έξυπνων» υλικών): Σύγκριση στοιχείων 2014/15 με 2017



### Γράφημα 2.2

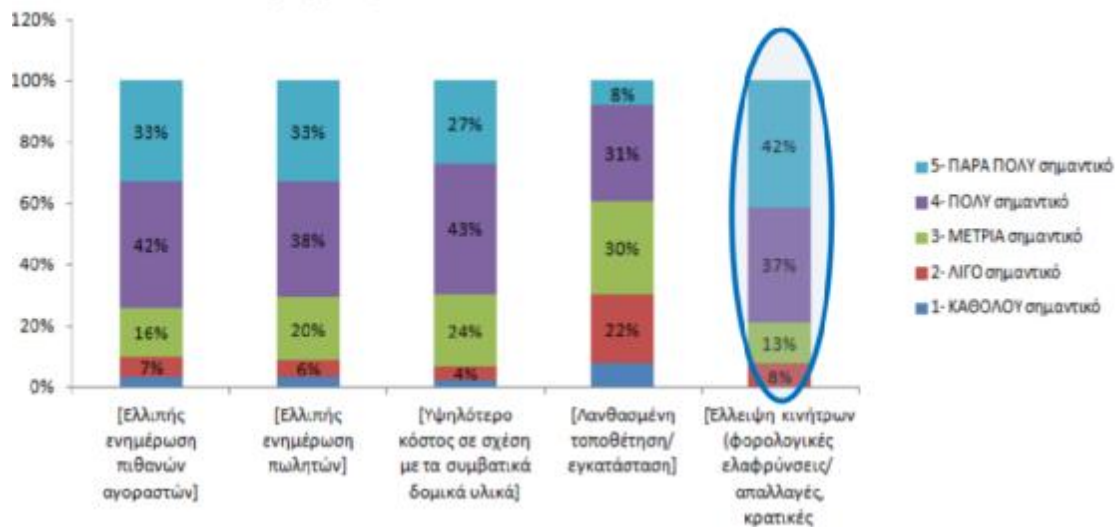
Όσον αφορά τα προϊόντα νανοτεχνολογίας που χρησιμοποιούνται στα κτίρια, το 66% είχε ακούσει για αυτά τα υλικά (2014/15), ενώ το 2017 περίπου το 1/2 των συμμετεχόντων (γράφημα 2.2) .

**Τι νομίζετε πως φταίει για την περιορισμένη χρήση των "έξυπνων" υλικών στον κατασκευαστικό τομέα; (2014/15)**



**Γράφημα 2.3**

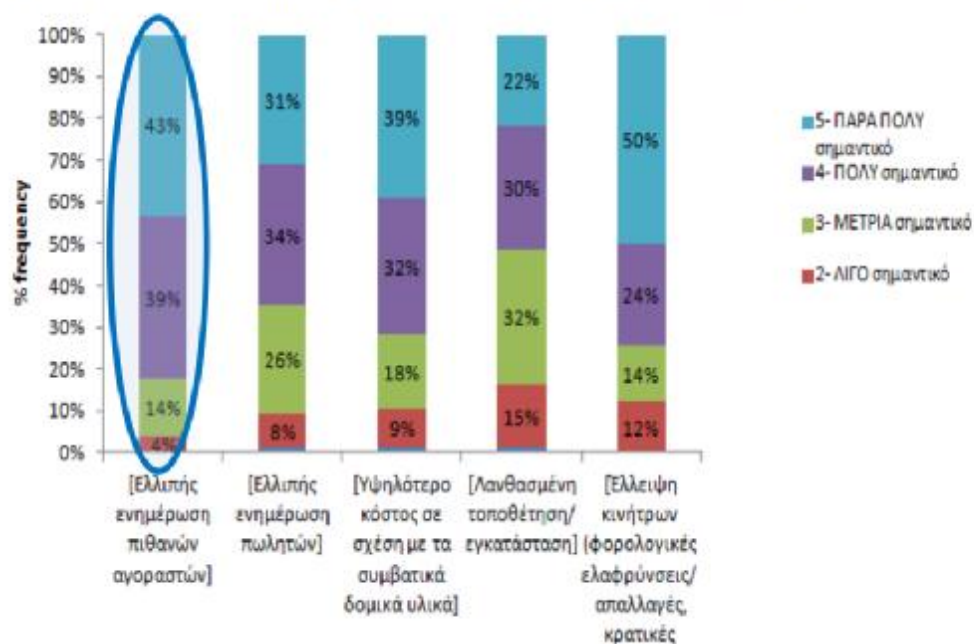
**Τι νομίζετε πως φταίει για την περιορισμένη χρήση των "έξυπνων" υλικών στον κατασκευαστικό τομέα; (2017)**



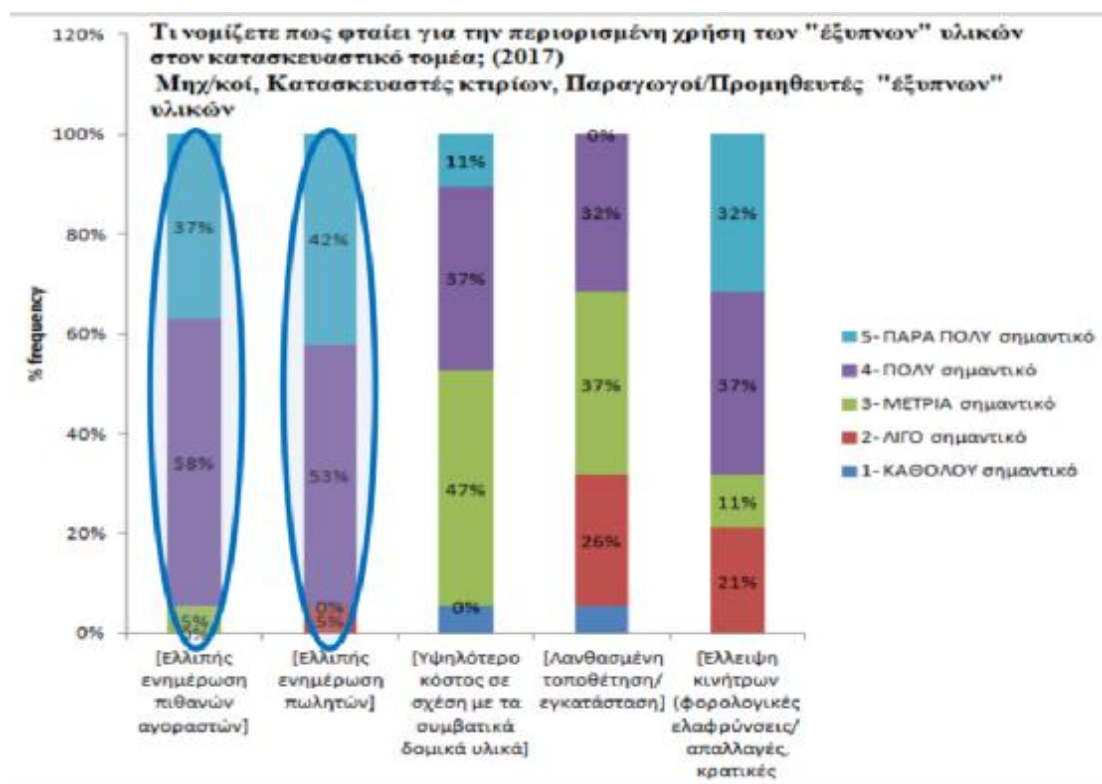
**Γράφημα 2.4**

Τι νομίζετε πως φταίει για την περιορισμένη χρήση των "έξυπνων" υλικών στον κατασκευαστικό τομέα; (2014/15)

Μηγ/κοί, Κατασκευαστές κτιρίων, Παραγωγοί/Προμηθευτές "έξυπνων" υλικών

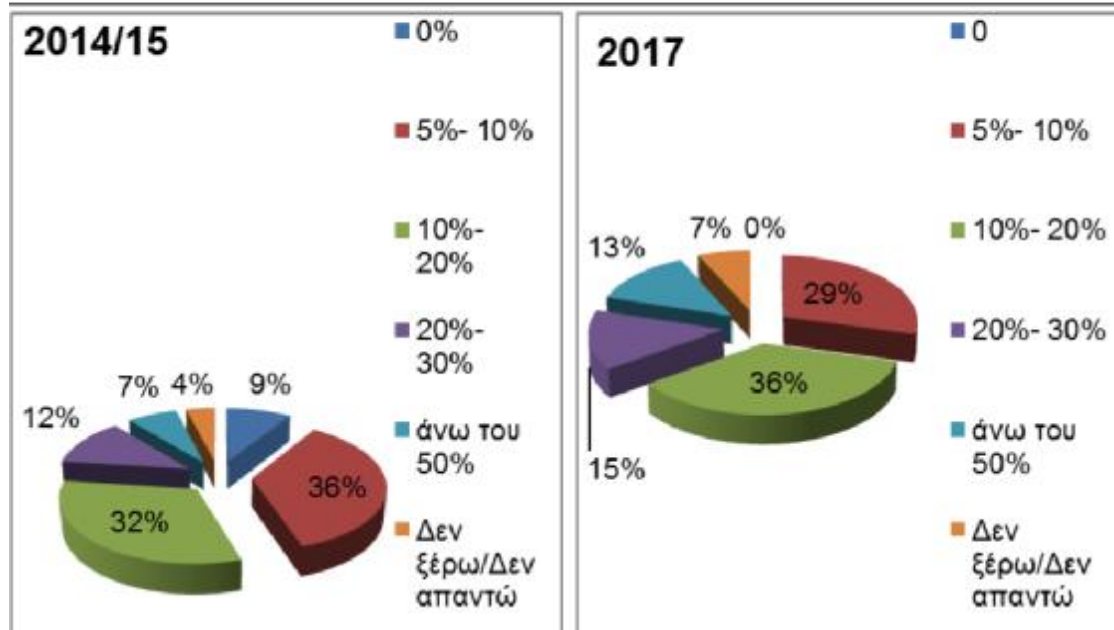


Γράφημα 2.5



Γράφημα 2.6

Εάν σας έλεγαν πως με τη χρήση "έξυπνων" υλικών σε ένα κτίριο η εξοικονόμηση ενέργειας είναι 30% και η μέση διάρκεια ζωής τους 20 έτη, πόσο παραπάνω θα ήσασταν διατεθειμένος να πληρώσετε για να τα αγοράσετε;



Γράφημα 2.7, 2.8

Στα γραφήματα 2.5 και 2.6 γίνεται σύγκριση των απόψεων της υποκατηγορίας (Μηχ/κοί Μελετητές, Κατασκευαστές κτιρίων, Παραγωγοί/Προμηθευτές «έξυπνων» υλικών) σχετικά με τους παράγοντες που φτάνει για την περιορισμένη χρήση των «έξυπνων» υλικών μεταξύ στοιχείων 2014/15 και 2017. Ως κύριος παράγοντας αξιολογείται η ελλιπής ενημέρωση των πιθανών αγοραστών, ενώ το 2017 προστίθεται και η ελλιπής γνώση των πωλητών.

Στα γραφήματα 2.7, 2.8, εμφανίζονται οι απαντήσεις (2014/15 και 2017) σε τρία σενάρια με στόχο να διερευνηθεί η πρόθεση αγοράς καινοτόμων υλικών με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας, δίνοντας στους συμμετέχοντες συγκεκριμένα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας και διάρκεια ζωής προϊόντων ή χρόνο απόσβεσης επένδυσης.

Εάν σας έλεγαν πως με τη χρήση "έξυπνων" υλικών σε ένα κτίριο η εξοικονόμηση ενέργειας είναι 30%, η μέση διάρκεια ζωής τους 20 έτη, ενώ το επιπλέον κόστος είναι 10%, θα τα επιλέγατε;

Οι συνεντεύξεις συμπεριέλαβαν ερωτήσεις που προσαρμόζονταν στον

συνεντευξιαζόμενο και είχαν ως στόχο να διαλευκάνουν τα εμπόδια στην προώθηση της χρήσης «έξυπνων» υλικών και νανοϋλικών στον κατασκευαστικό τομέα και να καταγράψουν επίπεδο γνώσης και απόψεις γύρω από τα «έξυπνα» υλικά και τα νανοϋλικά ειδικότερα .

Οι συνεντεύξεις αποσκοπούν στο να απαντηθούν τα παρακάτω ερωτήματα:

-Γνωρίζετε προϊόντα νανοτεχνολογίας που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας?

-Πώς γίνεται η ενημέρωση για τα δομικά υλικά νανοτεχνολογικής βάσης (θερμομονωτικά, επικαλυπτικά, χρώματα κ.α.)?

-Ποιοι τα προτείνουν για εφαρμογή σε συγκεκριμένα έργα;

-Χρησιμοποιούνται περισσότερο σε νέες κατασκευές ή σε ανακαινίσεις;

-Τα προϊόντα νανοτεχνολογίας φέρουν ειδική σήμανση;

-Η χρήση σε εσωτερικούς χώρους εγείρει κάποια ανησυχία για την υγεία;

-Με ποιους τρόπους θα ο κατασκευαστικός κλάδος και οι αρμόδιοι φορείς προωθούν ή εμποδίζουν τη χρήση καινοτόμων υλικών? Ποιος ο ρόλος της ζήτησης από την αγορά;

Οι συνεντευξιαζόμενοι ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες «ενδιαφερόμενων ή εμπλεκόμενων μερών» (stakeholder groups)..

Ανάλυση αποτελεσμάτων συνεντεύξεων Οι αρχιτέκτονες 1 και 2 δήλωσαν πως δεν γνωρίζουν προϊόντα νανοτεχνολογίας που να χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και ούτε καν ήξεραν τι είναι «τα νανοϋλικά». Ο αρχιτέκτονας 3 έχει ακούσει για τα προϊόντα νανοτεχνολογίας, αλλά δεν τα έχει χρησιμοποιήσει, ειδικά «στην εποχή που η οικοδομική δραστηριότητα είναι εξαιρετικά χαμηλή ασχολούμαστε περισσότερο με έργα μικρής κλίμακας σε υφιστάμενες κατοικίες ή τουριστικά καταλύματα ». Οι αρχιτέκτονες δήλωσαν πως ενημερώνονται για νέα υλικά μέσω κλαδικών περιοδικών και κυρίως μέσω Internet από ενημερωτικά email.

Ο κατασκευαστής 1, δεν γνώριζε τα προϊόντα νανοτεχνολογίας με εφαρμογή στα

κτίρια για εξοικονόμηση ενέργειας. Πιστεύει πως όλα αυτά περί υλικών με καινοφανείς ιδιότητες για εξοικονόμηση ενέργειας είναι τακτική marketing των εταιρειών που τα παράγουν με στόχο να δημιουργήσουν «πλασματικές ανάγκες». Θα ήταν διαφορετική η αντιμετώπισή του εάν του παρουσίαζαν συγκεκριμένα οφέλη σε εξοικονόμηση ενέργειας με νούμερα και σε βάθος χρόνου, όπως είπε χαρακτηριστικά. Τα υλικά συχνά τα προτείνει ο αρχιτέκτονας και μπορεί ο κατασκευαστής να προσπαθήσει να πείσει τον πελάτη πως τα έχει ανάγκη. Μόνο στην περίπτωση αποκατάστασης από καταστροφές χρησιμοποιούνται πιο ακριβά υλικά.

Ο κατασκευαστής 2 γνώριζε τα προϊόντα νανοτεχνολογίας, αλλά δεν τα έχει χρησιμοποιήσει. Όπως είπε χαρακτηριστικά: « αυτή την εποχή δεν χτίζονται νέα κτίρια, ασχολούμαστε μόνο με προσθήκες σε υπάρχοντα κτίρια, οπότε τα νανοϋλικά δεν τα χρησιμοποιούν. Η αγορά δημιουργεί τη ζήτηση για νέα προϊόντα».

Ο κατασκευαστής 3 δεν είχε ακούσει για τα υλικά αυτά και είπε χαρακτηριστικά: «ειδικά σε εποχή μηδενικής σχεδόν οικοδομικής δραστηριότητας επιλέγονται παραδοσιακά, δοκιμασμένα υλικά που καλύπτουν τις ανάγκες μας 100%. Γιατί να ρισκάρω;»

Ο κατασκευαστής 4 γνώριζε τα νανοϋλικά και τις χρήσεις τους, αλλά δεν τα χρησιμοποιεί αν και «τα τεχνικά γραφεία (πολιτικοί μηχανικοί κλπ) προτείνουν τα υλικά». «Δεν γίνονται νέες κατασκευές, άρα σε προσθήκες μόνο δεν χρησιμοποιούνται» Ενημερώνεται για νέα δομικά προϊόντα μέσω ενημερωτικών email.

Ο μηχανικός/ Μελετητής 1 δήλωσε ιδιαίτερα συντηρητικός όσον αφορά την πρόταση υλικών σε περίπτωση ενεργειακής αναβάθμισης κτιρίου. «Εάν τα υλικά νανοτεχνολογίας υπήρχαν στη βάση δεδομένων του KENAK ως επιλογή, θα τα πρότεινα», είπε.

Ο μηχανικός/ μελετητής 2 γνώριζε τα υλικά νανοτεχνολογίας και μάλιστα ασχολείται μεταξύ άλλων με την εφαρμογή υδρόφοβων φιλμ νανοτεχνολογίας σε γυάλινες επιφάνειες και ειδικότερα σε φωτοβολταϊκά πάνελ. Ενημερώνεται για τα υλικά μέσω διαδικτύου, εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων και εμπορικών Εκθέσεων. Θεωρεί πως είναι πάρα πολύ σημαντική η θέσπιση κινήτρων (φοροαπαλλαγές, φοροελαφρύνσεις κλπ) για την προώθηση των υλικών νανοτεχνολογικής βάσης, σε συνδυασμό με άριστη ενημέρωση πωλητών και πιθανών αγοραστών.

Ο μηχανικός/μελετητής 3 γνωρίζει τα υλικά νανοτεχνολογίας. Όπως είπε «αν και το τεχνικό γραφείο είναι υπεύθυνο για την επιλογή των υλικών, δεν τα χρησιμοποιώ. Πλέον δε γίνονται νέες κατασκευές και σε προσθήκες μόνο δε χρησιμοποιούνται»

Οι μηχανικοί του Δημοσίου 1 και 2 και 4 δεν γνώριζαν τα υλικά νανοτεχνολογίας. Ο μηχανικός του Δημοσίου 3 γνώριζε τα υλικά νανοτεχνολογίας αν και δεν ήταν υπεύθυνος για την επιλογή υλικών σε τεχνικά έργα. Σε σχετική ερώτηση είπε χαρακτηριστικά, « οι προδιαγραφές των υλικών αναγράφονται αναλυτικά στις ΕΤΕΠ (Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές) και τις ΠΕΤΕΠ (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές), που αποστέλλονται από το Υπουργείο (Υποδομών και Μεταφορών) . Το ΤΕ.Ε. δεν έχει κανέναν ενημερωτικό ρόλο σχετικά με τα καινοτόμα υλικά .Και τότε το ΤΕ.Ε. ήταν παρόν για να είναι και σε αυτή την περίπτωση;»

Ο παραγωγός προϊόντων νανοτεχνολογίας 1 παράγει υλικά με εφαρμογές στα κτίρια , επομένως γνωρίζει τα νανοϋλικά. Τα προϊόντα νανοτεχνολογίας προορίζονται και για νέες κατασκευές και για ανακαινίσεις. Φέρουν σήμανση (έμμεση) που δηλώνει ότι πρόκειται για προϊόντα νανοτεχνολογίας. Όπως μας είπε χαρακτηριστικά « το κράτος όχι μόνο δεν ευνοεί, αλλά συχνά εμποδίζει την ανάπτυξη της παραγωγής στην Ελλάδα. Όσον αφορά τη χρήση καινοτόμων προϊόντων, δεν τα προωθούν. Στο πρόγραμμα εξοικονόμηση κατ'οίκον μόνο αποτελούσαν επιλέξιμη δαπάνη οι ψυχρές βαφές ...δυστυχώς όμως σταμάτησε το πρόγραμμα».

Ο παραγωγός προϊόντων νανοτεχνολογίας 2 παράγει και υλικά νανοτεχνολογικής βάσης, που χρησιμοποιούνται και σε νέες κατασκευές και σε ανακαινίσεις. Φέρουν ειδική σήμανση στη συσκευασία (nanotechnology) και αναφέρεται και στο τεχνικό φυλλάδιο όταν πρόκειται για υλικό νανοτεχνολογίας. Όπως μας είπε « δεν πιστεύω πως η βιομηχανία ή το κράτος ευνοεί ή εμποδίζει τη χρήση καινοτόμων προϊόντων. Ούτε τα προγράμματα χρηματοδότησης πιστεύω πως βοηθάνε σε κάτι στο δικό μας κλάδο»

Ο παραγωγός προϊόντων νανοτεχνολογίας 3 έχει στη συλλογή του κάποια προϊόντα νανοτεχνολογικής βάσης που φέρουν ειδική σήμανση στη συσκευασία. Δεν θεωρεί πως το κράτος ευνοεί ή εμποδίζει τη χρήση καινοτόμων προϊόντων, πιστεύει στο δίκτυο διανομής και στην ενημέρωση των πιθανών αγοραστών μέσω σεμιναρίων, ενημερωτικών φυλλαδίων και της ομάδας πωλήσεων.

Ο παραγωγός προϊόντων 4 νανοτεχνολογίας ασχολείται με θερμομονωτικές βαφές για εσωτερική και εξωτερική χρήση. Στη συσκευασία δηλώνεται η νανοτεχνολογική



προέλευση των προϊόντων. Πιστεύει πως το κράτος μέχρι στιγμής δεν έχει βοηθήσει στην προώθηση καινοτόμων προϊόντων όπως τα νανοϋλικά. Οι πελάτες τους συχνά είναι ιδιώτες, πιο νέοι ηλικιακά και εντοπίζουν τα προϊόντα μέσω διαδικτύου. Άρα κρίνεται επιβεβλημένη η δημιουργία πλατφόρμας ενημέρωσης για τα νανοϋλικά, αλλά και για τα «έξυπνα» υλικά εν γένει, ανά κλάδο και η προβολή εφαρμογών σε πραγματικές συνθήκες. Προκειμένου δηλαδή να πειστούν οι επαγγελματίες που εμπλέκονται στη χρήση ή πώληση των προϊόντων νανοτεχνολογίας κρίνεται απαραίτητη η αξιοποίηση της γνώσης και εμπειρίας από εφαρμογές είτε στην Ελλάδα είτε σε χώρες με συναφή κλιματικά χαρακτηριστικά.

Τα ποσοστά ανησυχίας ως προς τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από τη χρήση των νανοϋλικών στα κτίρια από το 2014/15 στο 2017 μειώνονται περίπου στο μισό (από 44% σε 26%). Επί του συνολικού δείγματος περίπου το ένα τρίτο δεν ανησυχεί (2014/15 και 2017). Το ποσοστό όμως αυτών που δηλώνουν πως ανησυχούν στην α' φάση της έρευνας μετακινείται στη β' φάση στους αναποφάσιστους (Δεν ξέρουν/Δεν το έχουν σκεφτεί). Παραμένει αδιευκρίνιστο το τι σκέφτονται ή πώς θα διαμορφωθεί η άποψη αυτών που δεν ξέρουν/ δεν το έχουν σκεφτεί, οι οποίοι ενώ αρχικά αποτελούν το 22% στη β' φάση (2017) σχεδόν διπλασιάζονται. Άρα εκτιμάται πως όσον αφορά την ανησυχία για ενδεχόμενες επιπτώσεις στην υγεία από τη χρήση νανοϋλικών στα κτίρια, επικρατεί παρόμοια αβεβαιότητα με αυτή που επικρατεί σε επίπεδο επιστημόνων και ερευνητών. Αξίζει να σημειωθεί πως κάμποι από αυτούς που δηλώνουν ανησυχία, σε προηγούμενη ερώτηση περί γνώσης νανοϋλικών με χρήση στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια έχουν απαντήσει αρνητικά.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, κρίνεται απαραίτητη η οργάνωση εκστρατείας ενημέρωσης των πολιτών για τους πιθανούς κινδύνους από τη χρήση νανοϋλικών.

Οι αρχιτέκτονες παραδόξως δεν φαίνονται να είναι ενημερωμένοι για τα νανοϋλικά και φάνηκε από τις απαντήσεις τους πως ασχολούνται περισσότερο με το σχεδιασμό ενός κτιρίου (αρχιτεκτονική μελέτη) και όχι τόσο με την επιλογή υλικών. Βέβαια με δεδομένη την κρίση στην οικοδομική δραστηριότητα και την ενασχόλησή τους με τον σχεδιασμό τουριστικών κυρίως καταλυμάτων, ερμηνεύεται η έλλειψη κινήτρου να αναζητήσουν καινοτόμα υλικά. Ενδεχομένως βέβαια, να υπάρχει μια ευκαιρία για εισαγωγή των υλικών αυτών στον τομέα των τουριστικών κτισμάτων. Οι κατασκευαστές δεν φαίνονται να είναι ενημερωμένοι και εκφράζουν την πιο συντηρητική πλευρά του κατασκευαστικού τομέα που εμμένει σε παραδοσιακά υλικά και μεθόδους που καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες των πελατών και ενδεχομένως να

<sup>2</sup>επιλέξουν κάποιο καινοτόμο υλικό για εξοικονόμηση ενέργειας, εφόσον όμως τα οφέλη μπορούν να αποδειχθούν έμπρακτα ή αν το ζητήσει ο πελάτης. Συνήθως τα τεχνικά γραφεία προτείνουν τα υλικά, αν και κανονικά αυτό είναι στο πλαίσιο της ευθύνης του αρχιτέκτονα. Κατά τους μηχανικούς μελετητές που δηλώνουν πλήρως ενημερωμένοι για τα προϊόντα νανοτεχνολογίας με εφαρμογή στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια, η προώθηση της χρήσης των νανοϋλικών θα μπορούσε να γίνει εάν συμπεριλαμβάνονταν στη βάση δεδομένων των υλικών του KENAK. Προς το παρόν όμως είναι συντηρητικοί στην επιλογή υλικών για ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων. Επίσης τα επιδοτούμενα προγράμματα σε συνδυασμό με άρτια ενημερωμένους πιθανούς αγοραστές και πωλητές. Οι μηχανικοί του Δημοσίου δεν γνώριζαν τα προϊόντα νανοτεχνολογίας με χρήση στην εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ τόνισαν πως η επιλογή των υλικών για τα τεχνικά έργα γίνεται με βάση τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΕΤΕΠ) που συντάσσονται με ευθύνη του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών. Οι παραγωγοί προϊόντων νανοτεχνολογίας με χρήση στην εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια δεν πιστεύουν ιδιαίτερα στη συμβολή του κράτους στην προώθηση καινοτόμων υλικών εκτός ίσως από κάποια προγράμματα επιδοτούμενα τύπου «Εξοικονομώ κατ'οίκον». Γενικά δήλωσαν πίστη σε σωστό δίκτυο διανομής και πωλητών παρά σε κρατικές παρεμβάσεις.

Οι λιανέμποροι δεν γνώριζαν τα προϊόντα νανοτεχνολογίας και έδειχναν δύσπιστοι ως προς τα οφέλη που μπορεί να έχουν σε σχέση με τα παραδοσιακά υλικά. Όσον αφορά τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από την εφαρμογή των νανοϋλικών στο εσωτερικό των κτιρίων, οι περισσότεροι δήλωσαν πως δεν γνωρίζουν εκτός από τους παραγωγούς οι οποίοι εμφανίστηκαν κάθετα αρνητικοί. Τα προϊόντα νανοτεχνολογίας φέρουν ειδική σήμανση, στη συσκευασία που δηλώνει πως πρόκειται για προϊόν νανοτεχνολογικής βάσης, ενώ η κύρια πηγή πληροφόρησης είναι το διαδίκτυο.

---

<sup>2</sup> <https://dias.library.tuc.gr/view/manf/68667>

## **Νανοτεχνολογία στην πυροπροστασία**

Η αντίσταση στη φωτιά των χαλύβδινων κατασκευών παρέχεται συχνά με επίστρωση ψευκασμού τσιμεντοειδούς διαδικασίας που δεν είναι πλέον δημοφιλής επειδή πρέπει να είναι παχιά, τείνουν να είναι εύθραυστες και οι πολυμερείς προσθήκες είναι απαραίτητες για τη βελτίωση της πρόσφυσης. Ωστόσο, η έρευνα για το νανοκάλυμα (κατασκευασμένο από σωματίδια μεγέθους νάνο) έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα νέο υπόδειγμα στον τομέα αυτό της εφαρμογής. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάμιξη νανοσωληνών άνθρακα (CNT) με το τσιμεντοειδές υλικό για την κατασκευή σύνθετων ινών που μπορούν να κληρονομήσουν μερικά από τα εκκρεμή, ιδιότητες των νανοσωληνίσκων όπως η αντοχή. Οι ίνες πολυπροπυλενίου εξετάζονται επίσης ως μέθοδος αύξησης της αντίστασης στη φωτιά και αυτή είναι μια φθηνότερη επιλογή από την συμβατική μόνωση. Τα CNT μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή προστατευτικών ειδών ένδυσης εξαιτίας του επιβραδυντικού φλόγας.

## **Επιπτώσεις της νανοτεχνολογίας στην κατασκευή**

### **Αξίες**

1) Σε σύγκριση με το συμβατικό  $TiO_2$ , το  $TiO_2$  στη νάνο-κλίμακα εμφανίζει ένα 500% αύξηση της επιφάνειας και μείωση της αδιαφάνειας κατά 400%. Τρέχουσα νανο- $TiO_2$  τα επίπεδα παραγωγής έχουν φτάσει περίπου 4 εκατομμύρια μετρικούς τόνους σε τιμή περίπου \$ 45 / kg έως \$ 50 / kg έναντι \$ 2,5 / kg για συμβατικό  $TiO_2$ .

2) Η παγκόσμια αγορά CNT αναμένεται να αυξηθεί από 51 εκατομμύρια δολάρια το 2006 σε περισσότερα από τα 800 εκατομμύρια δολάρια έως το 2011 (BCC Research 2008).

3) Το νάνο-τροποποιημένο σκυρόδεμα περικόπτει τα χρονοδιαγράμματα κατασκευής, μειώνοντας παράλληλα την εργασιακή βαρύτητα (και δαπανηρές) εργασίες. Επίσης μπορεί να μειώσει το κόστος επισκευής και συντήρησης.

4) Η βιομηχανία βαφών και επιστρώσεων αποτελείται περίπου από ετήσιες πωλήσεις 20 δισεκατομμυρίων δολαρίων (Baer et al, 2003). Η νάνο-αλουμίνα και η τιτανία έχουν τετραπλασιαστική έως και έξι φορές αύξηση της φθοράς αντίσταση, με διπλή σκληρότητα και αντοχή δεσμού (Gell 2002).

5) Η δυναμική παγκόσμια αγορά νανοσύνθετων υλικών υπολογίζεται σε 340 δισεκατομμύρια δολάρια για την επόμενη δύο δεκαετίες (Roco και Bainbridge 2001).

6) Η αγορά συστημάτων πυρασφάλειας ανήλθε σε περίπου 45 δισεκατομμύρια δολάρια το 2004 και αναμένεται να αυξηθεί σε περισσότερα από 80 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2010 (Helmut Kaiser Consultancy 2008)

7) Αυτοασβέστες ασφαλικές, θεραπευτικές και αναζωογονητικές ουσίες για την άσφαλο (Partl et al. 2006), και τα αυτοσυνθετικά πολυμερή βελτιώνουν το μίγμα ασφάλτου.

8) Οι νάνο αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι σε υλικά υποδομής μπορούν να παρέχουν, με το ελάχιστο κόστος, πλήρως ολοκληρωμένες και αυτοπροωθούμενες προβλέψεις αποτυχίας και μηχανισμοί πρόβλεψης για δομές υψηλού κεφαλαίου, π.χ. δεξαμενές, μονάδες πυρηνικής ενέργειας και γέφυρες.

## **Απειλές**

1) Τα σωματίδια νάνο που έχουν πολύ μικρό μέγεθος έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν αρνητικά τις αναπνευστικές και πεπτικές τροχιές και η επιφάνεια του δέρματος ή των ματιών εκθέτει τους εργαζομένους κινδύνους.

2) Δεδομένου ότι οι βιομηχανίες που σχετίζονται με τη νανοτεχνολογία είναι σχετικά νέες, το είδος του εργαζομένου που απασχολούνται στην έρευνα και την ανάπτυξη κατασκευών ή ακόμη και σε ορισμένες εφαρμογές πεδίου πρέπει να έχει διεπιστημονικό υπόβαθρο.

3) Νέες πολιτικές στο πλαίσιο της νανοτεχνολογίας θα απαιτήσουν συνεργασία μεταξύ διάφορων επίπεδων διακυβέρνησης, οργανισμούς E & A, κατασκευαστές και άλλους κλάδους.

4) Οι μικροί όγκοι παραγωγής και το υψηλό κόστος παραμένουν τα κύρια εμπόδια στη χρήση της νανοτεχνολογίας (Η Βασιλική Εταιρεία 2004)

5) Ο χρόνος για την εμπορία ενός προϊόντος είναι μεγάλος. Π.χ. το σκυρόδεμα, το οποίο μπορεί να εξαλείψει την ανάγκη ενίσχυσης των ράβδων, προβλέπεται να διατεθεί στο εμπόριο περίπου το 2020.

## **Βιώσιμη κατασκευή**

Με ετήσιο ρυθμό παραγωγής 2,35 δισεκατομμυρίων τόνων, η τσιμεντοβιομηχανία συμβάλλει περίπου 5% στις παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές CO<sub>2</sub>. Πρόσθετα όπως belite, σουλφοαλουμινικό ασβέστιο και το αλουμινοφερρίτη του ασβεστίου (BASF 2008) έχουν βρεθεί ότι μειώνουν εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα κατά σχεδόν 25% στη φάση παραγωγής. Ένας τοίχος από νανο-τροποποιημένο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ψυχρού καιρού θα μπορούσε ενδεχομένως να χρησιμοποιηθεί ως θερμικό μονωτικό όταν η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει ή χρησιμοποιηθεί ως την θερμοκρασία περιβάλλοντος στο εσωτερικό του κτιρίου και είναι χαμηλή, μειώνει έτσι τη θερμοκρασία και τον ενεργειακό φορτίο που απαιτείται για τον κλιματισμό του εσωτερικού του κτιρίου. Με την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας LED & OLED και την πρόοδο στην μόνωση τα υλικά και τα έξυπνα τζάμια, το όραμα για τα κτίρια να ικανοποιούν τις δικές τους ενεργειακές ανάγκες θα γίνει πραγματικότητα.

## **Αποστειρωτικές και αυτοκαθαριστικές ιδιότητες**

Ένας τύπος νανοσωματιδίου που προστίθεται στο σκυρόδεμα για να βελτιώσει τις ιδιότητες του είναι το διοξείδιο του τιτανίου (TiO<sub>2</sub>). Το TiO<sub>2</sub> είναι μια λευκή χρωστική ουσία, που προστίθεται στο τσιμέντο και ενσωματώνεται ως νανοσωματίδιο. Κατά την έκθεσή του στην υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου διασπά τους οργανικούς ρύπους, τις πτητικές οργανικές και τις βακτηριακές ενώσεις μέσω των ισχυρών καταλυτικών αντιδράσεων. Λόγω του γεγονότος ότι είναι υδρόφιλο, το νερό της βροχής προσελκύεται στην επιφάνεια και αποπλένει τους αποδομημένους ρύπους, απομακρύνοντάς τους οριστικά.

Το σκυρόδεμα, το οποίο περιέχει διοξείδιο του τιτανίου, έχει λευκό χρώμα και διατηρεί τη λευκότητά του. Έτσι, ελαχιστοποιείται το κόστος συντήρησης μιας κατασκευής. Επιπλέον, με την αποδόμηση των ρύπων που επικάθονται στην επιφάνειά του μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

## Αυτοσυμπύκνωση

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (selfcompactingconcrete) έχει την ικανότητα να εγχύεται σε οποιοδήποτε καλούπι και να ρέει χωρίς δυσκολία ανάμεσα στους οπλισμούς, μέσω αποκλειστικά της βαρύτητας και της ρεολογικής του συμπεριφοράς. Μπορεί να αποκτήσει ικανή συμπύκνωση χωρίς τη χρήση δονητών μάζας ή άλλης εξωτερικής ενέργειας, διατηρώντας την ομοιογένειά του. Η ιδιαιτερότητα του μείγματος αυτού συνίσταται στις διαφορετικές αναλογίες ανάμειξης των πρώτων υλών, στον περιορισμό του μέγιστου κόκκου χονδρόκοκκων αδρανών και στην προσθήκη χημικών πρόσθετων. Μία κύρια κατηγορία που ανήκει στα χημικά πρόσθετα αποτελούν οι υπερπλαστικοποιητές (superplasticizers, SP). Ένας από τους πιο διαδεδομένους τύπους SP έχει βάση το πολυκαρβοξύλιο, το οποίο αναπτύχθηκε χάρη στη χρήση της νανοτεχνολογίας.

Τα κυριότερα οφέλη που παρέχει το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι η αυξημένη παραγωγικότητα (λόγω της μείωσης του χρόνου σκυροδέτησης), η αυξημένη ανθεκτικότητα (λόγω της ομοιόμορφης συμπύκνωσης), η δυνατότητα σκυροδέτησης περίπλοκων κατασκευών και το αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας (μείωση της ηχορύπανσης από τη δόνηση).

## Νανοτεχνολογία και βαφές





Η εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στις βαφές των τοίχων δημιούργησε προϊόντα με ιδιότητες και χαρακτηριστικά που προηγουμένως δεν ήταν δυνατά. Αυτά τα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας μπορούν να αντικαταστήσουν τις συμβατικές βαφές τοίχων, επιτυγχάνοντας καλύτερη ποιότητα του εσωτερικού αέρα, δίχως να προκαλούν αλλεργίες. Η πιο πρόσφατη επιστημονική ανακάλυψη στον τομέα της νανοτεχνολογίας είναι η δημιουργία ενός μη τοξικού επιστρώματος, που είναι σε θέση όχι μόνο να σταματήσει την εμφάνιση των μυκήτων, αλλά να καταστρέψει ακόμη και τα αντιβιοτικά ανθεκτικά βακτηρίδια που βρίσκονται στα νοσοκομεία και στους ιατρικούς χώρους. Ο συνδυασμός των ενεργών συστατικών που χρησιμοποιείται στις βαφές των τοίχων δεν είναι προσωρινός, αλλά ασκεί μια μόνιμη επίδραση και διαρκεί για πολλά έτη. Συγχρόνως, το νέο σύστημα επιστρώματος δεν επιβαρύνει την εσωτερική ατμόσφαιρα, ενώ προστατεύει την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Η νανοτεχνολογία εισάγει την πρώτη αντιβακτηριακή και αντιμικροβιακή βαφή για τους τοίχους, προσθέτοντας μη τοξικά νανο-μόρια, χωρίς να περιέχει κανένα ,ιοκτόνο, διαλύτη και συντηρητικό επιστρώματος. Δεδομένου ότι τα νανο-μόρια που χρησιμοποιούνται είναι στερεοί οργανισμοί, η αποδοτικότητα του συστήματος διατηρείται μόνιμα. Σε αντίθεση με τις συμβατικές βαφές, τα συστατικά δεν εξατμίζονται και η προστατευτική τους λειτουργία δεν υποβαθμίζεται, όπως συμβαίνει συνήθως με τα βιοκτόνα. Ακόμη, η απουσία ,ιοκτόνων , διαλυτών, υπερπλαστικο-

ποιοτήτων και συντηρητικών εξασφαλίζει ότι καμία εσωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση δεν θα προκληθεί από τη βαφή. Επιπλέον, το επίστρωμα είναι άφλεκτο, παρέχοντας έτσι και ασφάλεια.



## **2.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ**

Υπάρχουν σημαντικά χρήματα που εισρέουν στη νανο-σχετική έρευνα από πολυεθνικές εταιρίες και επενδύουν επιχειρηματικά κεφαλαία. Πολλές από τις μεγαλύτερες εταιρείες στον κόσμο όπως η IBM, η Intel, η Motorola, η Lucent, η Boeing, η Hitachi κ.λπ. διενεργούν ερευνητικά έργα που διεξάγονται ή ξεκίνησαν από δικές τους πρωτοβουλίες νανοτεχνολογίας. Μέχρι το 2015, το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών εκτιμά ότι η νανοτεχνολογία θα έχει αποτέλεσμα 1 τρισεκατομμυρίου δολαρίων στην παγκόσμια οικονομία. Για να επιτευχθεί αυτή η πρόβλεψη μεγέθους αγοράς, οι βιομηχανίες θα απασχολούν σχεδόν δύο εκατομμύρια εργαζόμενους για την πρόοδο σε πολλά νανο υλικά, νανο δομές, και Νανο συστήματα. Ο χρόνος που απαιτείται για την εμπορία ενός προϊόντος είναι μεγάλος επειδή οι βιομηχανίες μπορεί να προτιμούν την παρακολούθηση της ανάπτυξης σε ερευνητικούς οργανισμούς και εργαστήρια πριν από την πραγματοποίηση σημαντικής επένδυσης. Επιπλέον, η ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με τη βιομηχανική έρευνα θα οδηγήσουν σε πραγματικά επαναστατικές προσεγγίσεις στο σχεδιασμό και την παραγωγή υλικών και δομών με πολύ βελτιωμένη αποδοτικότητα, βιωσιμότητα και προσαρμοστικότητα στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον.

### **Συμπέρασμα**

Η έρευνα στον τομέα των νανοτεχνολογιών που σχετίζεται με την κατασκευή εξακολουθεί να είναι στα πρώτα της βήματα. Ωστόσο, το παρόν έγγραφο απέδειξε τα κύρια οφέλη και τα εμπόδια που επιτρέπουν το αποτέλεσμα της νανοτεχνολογίας στον τομέα των κατασκευών. Τα τελευταία χρόνια της E & A έχουν δείξει τεράστια επενδύσεις Νανο-κατασκευή. Οι δραστηριότητες σε προϊόντα σχετιζόμενα με τα νανο για την κατασκευή στις βιομηχανίες δεν διατίθενται στην αγορά και είναι δύσκολο να εντοπιστούν από ειδικούς της βιομηχανίας. Μια μεγάλη κλίμακα και ορατή πρωτοβουλία από τη νανοεπιστήμη και τη νανοτεχνολογία στην περιοχή κατασκευής θα μπορούσε να βοηθήσει τη νανοτεχνολογική ανάπτυξη που σχετίζεται με την κατασκευή σπόρων. Έμφαση στην έρευνα σχετικά με το μακροπρόθεσμη και κατευθυνόμενη έρευνα σχετικά με τη νανοτεχνολογία για την κατασκευή υποδομών για να διασφαλιστεί ότι τα δυνητικά οφέλη αυτής της τεχνολογίας θα μπορέσουν να αξιοποιηθούν για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και οικονομικότερη υποδομή. Το παρόν

έγγραφο ολοκληρώνεται με χάρτη πορείας και στρατηγικό σχέδιο δράσης για τον τρόπο με τον οποίο η νανοτεχνολογία μπορεί να έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στον τομέα των πολιτικών μηχανικών.

Η νανοτεχνολογία είναι η επιστήμη της μηχανικής που ασχολείται με σωματίδια που έχουν μέγεθος μικρότερο από 100 nm. Είναι η μελέτη του χειρισμού της ύλης σε μοριακή και ατομική κλίμακα. Τα τελευταία χρόνια, η νανοτεχνολογία έδειξε το δυναμικό της το πεδίο της βιοϊατρικής, της ηλεκτρονικής, της ρομποτικής. Στα έργα πολιτικού μηχανικού και κατασκευών, η νανοτεχνολογία εφαρμόζεται σε (i) σκυρόδεμα για τη μείωση του διαχωρισμού σε υπερσυμπυκνωμένο σκυρόδεμα, (ii) η χρήση νανοσωματιδίων χαλκού σε HPS χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα είναι αξιοσημείωτη, (iii) η χρήση των νανο αισθητήρων σε φάση κατασκευής για να γνωρίζουν τις πρώιμες ηλικιακές ιδιότητες του σκυροδέματος είναι πολύ χρήσιμη, και (iv) τη χρήση του στο σύστημα καθαρισμού του νερού αντικαθιστώντας τη χρήση κοκκοποιημένων σωματιδίων άνθρακα σε διήθηση με καθαριστές όπως το Nano Ceram-Pac (NCP). Η παρούσα μελέτη εξετάζει την κατάσταση της τεχνολογίας σχετικά με τη χρήση της νανοτεχνολογίας στον τομέα του πολιτικού μηχανικού και της κατασκευής. Επίσης συζητά τη μελλοντική προοπτική της και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη μελλοντική εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στον τομέα της γεωτεχνικής μηχανικής.

Η νανοτεχνολογία είναι η χρήση πολύ μικρών σωματιδίων είτε από τον εαυτό τους είτε από τον χειρισμό τους, για την δημιουργία νέων υλικών μεγάλης κλίμακας. Η νανοτεχνολογία δεν είναι μια νέα επιστήμη ούτε μια νέα τεχνολογία. Είναι μάλλον μια επέκταση των επιστημών και των τεχνολογιών. Η εμφάνιση της νανοτεχνολογίας στη δεκαετία του 1980 προκλήθηκε από τη σύγκλιση των πειραματικών εξελίξεων όπως η εφεύρεση του μικροσκοπίου σαρώσεως σήραγγας το 1981 και την ανακάλυψη των φουλλερενίων το 1985, με την αποσαφήνιση και - διάδοση ενός εννοιολογικού πλαισίου για τους στόχους της νανοτεχνολογία ξεκινώντας με τη δημοσίευση του βιβλίου Κινητήρες της Δημιουργίας. Εν συντομία, η τεχνολογία επιτρέπει να αναπτύξουμε υλικά με βελτιωμένες ιδιότητες ή μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενός εντελώς νέου υλικού.

Η νανοτεχνολογία ασχολείται με το σωματίδιο σε νανο-κλίμακα, δηλ. 10<sup>-9</sup> m. Σε "νανο-κλίμακα" ο κόσμος είναι διαφορετικός από τον "μακρό" κλίμακα ", π.χ., η βαρύτητα καθίσταται ασήμαντη, οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις λαμβάνονται και προκύπτουν κβαντικά φαινόμενα. Ως σωματίδια γίνονται νανο-μεγέθη, η αναλογία

των ατόμων στην επιφάνεια αυξάνεται σε σχέση με εκείνες των εσωτερικών και οδηγεί σε "νανο-αποτελέσματα", ωστόσο, τελικά καθορίζουν όλες τις ιδιότητες που είμαστε εξοικειωμένοι με τη "μάκρο-κλίμακα" μας και εδώ η δύναμη της νανοτεχνολογίας έρχεται. Ακολουθεί η κύρια εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στο το πεδίο της (i) της νανοϊατρικής, (ii) του περιβάλλοντος, (iii) της ενέργειας, (iv) νανομπαταρίες, (v) πληροφόρηση και επικοινωνία, (vi) Βαριά βιομηχανία κλπ. Τα τελευταία χρόνια η νανοτεχνολογία κερδίζει δημοτικότητα στον τομέα των Πολιτικών Μηχανικών και της κατασκευής.

## ΣΤΟΧΟΙ

Ενόψει αυτού, η μελέτη ανασκοπεί την πρακτική εξέλιξη της τέχνης της νανοτεχνολογίας σε διάφορους τομείς του πολιτικού μηχανικού και της κατασκευής με τους ακόλουθους στόχους: Το έγγραφο εξετάζει την κατάσταση της τεχνολογίας "εφαρμογή της νανοτεχνολογίας σε έργα πολιτικού μηχανικού και κατασκευών ". Έμφαση δίνεται επίσης σε πιθανή χρήση της τεχνολογίας στον τομέα της γεωτεχνικής μηχανικής.

## 2.3 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Η χρήση της νανοτεχνολογίας στον τομέα των κατασκευών περιλαμβάνει την ανάπτυξη νέας αντίληψης και κατανόησης των ενυδατωμένων σωματιδίων στο τσιμέντο και χρήση νανο-μεγέθη συστατικά όπως αλουμίνα , πυριτία και άλλα νανοσωματίδια. Με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας, το σκυρόδεμα είναι ισχυρότερο, πιο ανθεκτικό και ευκολότερα τοποθετούμενο, ο χάλυβας γίνεται σκληρότερος, το γυαλί γίνεται αυτοκαθαριζόμενο και τα χρώματα γίνονται πιο μονωτικά και απωθητικά στο νερό. Δύο σωματίδια νανο-μεγέθους που ξεχωρίζουν στην εφαρμογή τους σε δομικά υλικά είναι το διοξείδιο του τιτανίου ( $TiO_2$ ) και το νανοσωλήνες άνθρακα (CNT's). Το πρώτο χρησιμοποιείται λόγω της ικανότητας του να καταστρέφει τη βρωμιά ή τη ρύπανση και στη συνέχεια να επιτρέπει να ξεπλένεται με νερό βροχής πάνω απ' όλα τα αναφερόμενα δομικά υλικά, από σκυρόδεμα μέχρι γυαλί και το τελευταίο χρησιμοποιείται για την ενίσχυση και την επίβλεψη του σκυροδέματος.

Οι νανοσωλήνες άνθρακα (CNT) είναι κυλινδρικού σχήματος με διάμετρο σε νανόμετρα και το μήκος μπορεί να είναι σε πολλά χιλιοστά όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Σε σύγκριση με το χάλυβα, ο συντελεστής Young των CNTs είναι 5 φορές, η δύναμη είναι 8 φορές ενώ η πυκνότητα είναι 1 / 6η φορά. Κατά μήκος του άξονα του σωλήνα η θερμική αγωγιμότητα είναι επίσης πολύ υψηλή.

Το διοξείδιο του τιτανίου χρησιμοποιείται ευρέως ως λευκές χρωστικές ουσίες. Μπορεί επίσης να οξειδώνει το οξυγόνο ή οργανικά υλικά, επομένως, προστίθενται σε χρώματα, τσιμέντα, παράθυρα, κεραμίδια ή άλλα προϊόντα για αποστειρωτικές, αποσμητικές και αντιρρυπαντικές ιδιότητες και όταν ενσωματωθεί σε υπαίθρια δομικά υλικά μπορεί να μειώσει σημαντικά τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων.

Επιπλέον, καθώς το  $TiO_2$  εκτίθεται σε υπεριώδες φως, γίνεται όλο και πιο υδρόφιλο (ελκυστικό για το νερό), έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αντιπηκτικά επιχρίσματα ή για αυτοκαθαριζόμενα παράθυρα.

## 2.4 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το σκυρόδεμα είναι ίσως το μοναδικό υλικό στον τομέα των κατασκευών, που μπορεί η εξέλιξη της έρευνας σε αυτό να έχει ως αποτέλεσμα την οικονομική μεγέθυνση των αποτελεσμάτων της σχετικής βιομηχανίας. Η ακόλουθη ενότητα περιγράφει μερικές από τις πιο ελπιδοφόρες εφαρμογές της νανοτεχνολογίας στον κλάδο των κατασκευών, που αναπτύσσονται ή είναι ακόμα διαθέσιμες σήμερα, (NanoForum, 2006).

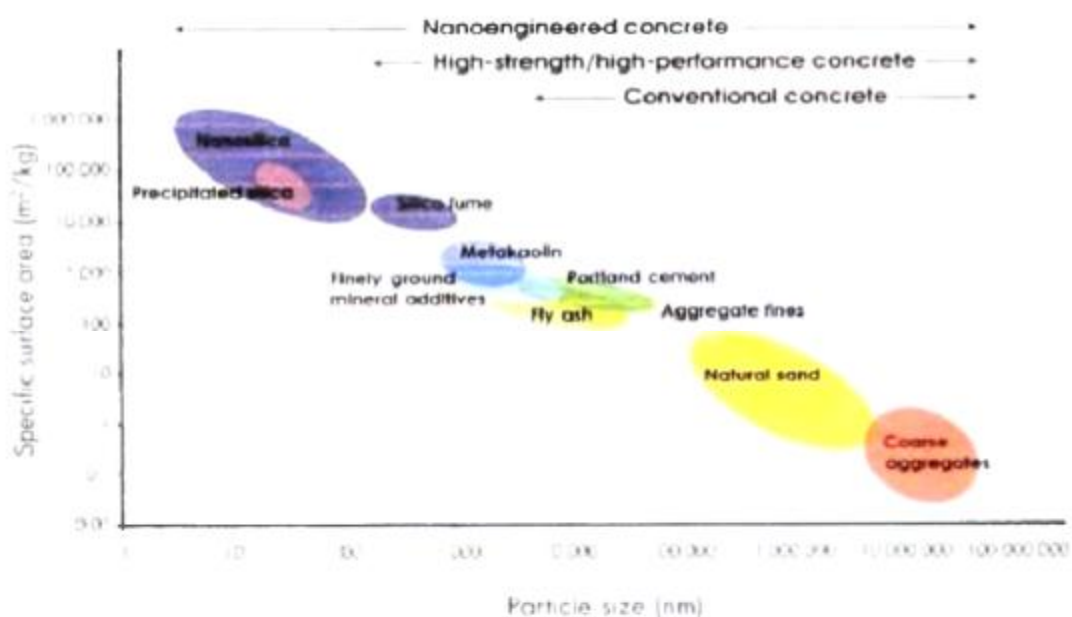
Στο βασικό επίπεδο της επιστήμης, ένα μεγάλο μέρος της ανάλυσης του σκυροδέματος γίνεται σε νανο-επίπεδο, προκειμένου να κατανοηθεί η δομή του, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές που αναπτύχθηκαν για τη μελέτη σε αυτή την κλίμακα όπως:

- Ατομικά Μικροσκόπια Δυνάμεων, (Atomic Force Microscopy), (AFM),
- Ηλεκτρονικά μικροσκοπία σάρωσης, (Scanning Electron Microscopy), (SEM)
- Δέσμη εστιασμένων ιόντων, (Focused Ion Beam) (FIB).

Αυτές έχουν προκύψει σαν δευτερεύον όφελος της ανάπτυξης των εν λόγω μέσων για την μελέτη της νανοκλίμακας εν γένει, αλλά η κατανόηση της δομής και της συμπεριφοράς του σκυροδέματος σε θεμελιώδες επίπεδο είναι μια σημαντική και πολύ σωστή χρήση της νανοτεχνολογίας. Μία από τις θεμελιώδεις πτυχές της νανοτεχνολογίας είναι η διεπιστημονική της φύση. Υπάρχει ήδη μια διασταύρωση της έρευνας μεταξύ των μηχανικών μοντέλων για τα οστά στην ιατρική τεχνολογία με εκείνη του σκυροδέματος η οποία επέτρεψε τη μελέτη της διάχυσης του χλωρίου στο σκυρόδεμα (η οποία προκαλεί διάβρωση του οπλισμού). Το σκυρόδεμα, τελικά, είναι ένα μακρο-υλικό που επηρεάζεται έντονα από τις νανο-ιδιότητές του και η κατανόησή τους σε αυτό το νέο επίπεδο πρόκειται να δώσει νέες προοπτικές για τη βελτίωση της αντοχής του, της διάρκειας ζωής του και του ελέγχου του, που περιγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

## 2.4.1 Ορισμός του νανο-σκυροδέματος

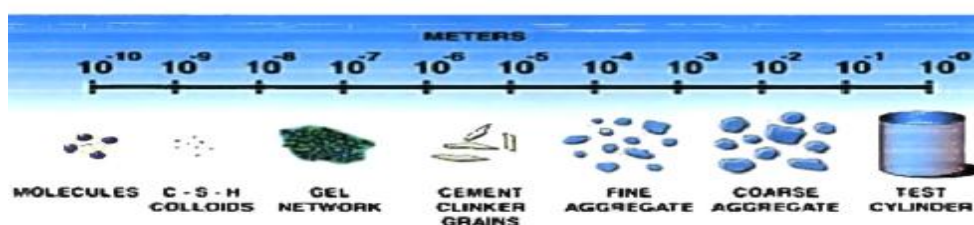
Το νανο-σκυρόδεμα ορίζεται ως «ένα σκυρόδεμα που γίνεται με σωματίδια τσιμέντου Portland που είναι μικρότερα από 500 νανο-μέτρα». Επί του παρόντος, το μέγεθος των σωματιδίων του τσιμέντου κυμαίνεται από λίγα νανόμετρα με ανώτατο όριο περίπου τα 100 μικρό μέτρα. Στην περίπτωση των μικρο-τσιμέντου το μέσο μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται στο 5 μικρό μέτρα. Στην εικόνα 2-6 φαίνεται το μέγεθος των σωματιδίων και των ειδικών διαστάσεων επιφάνειας που αναφέρονται σε συγκεκριμένα υλικά.



Εικόνα 2- 6 Μέγεθος σωματιδίων και ειδικών διαστάσεων επιφάνειας που αναφέρονται σε συγκεκριμένα υλικά.

Κάποιος μπορεί να ισχυριστεί ότι χρησιμοποιεί συγκεκριμένες νανοτεχνολογίες επειδή το παραγόμενο υλικό περιέχει νανο-σωματίδια, δηλαδή τα συστατικά του συμπεριλαμβάνουν νανο σωματίδια, νερό και κενά νανο-αέρα. Ωστόσο, για να υπάρχει η χρήση της νανοτεχνολογίας, θα πρέπει να είναι σε θέση να ελέγχεται η ποσότητα και οι θέσεις αυτών των νανο-συστατικών στο εσωτερικό των τελικών προϊόντων.

Οι κλίμακες των διαφόρων συστατικών του σκυροδέματος παρουσιάζονται στην εικόνα 2-7. Εάν μπορέσουμε να δημιουργήσουμε χημικά ή μηχανικά εργαλεία για τον έλεγχο των πόρων νανο-κλίμακας στο σκυρόδεμα και την τοποθέτηση του πυριτικού ασβεστίου στα προϊόντα ενυδάτωσης τότε το σκυρόδεμα γίνεται ένα προϊόν της νανοτεχνολογίας, (Balaguru, 2005).



**Εικόνα 2-7** Κλίμακες συστατικών σκυροδέματος

Μερικοί παράγοντες που είναι σημαντικοί στην παραγωγή του σκυροδέματος, (COEet. al. ,2009), είναι:

- Το διοξείδιο του πυριτίου ( $SiO_2$ ) είναι παρών στο συμβατικό σκυρόδεμα, ως μέρος του κανονικού μίγματος. Ωστόσο, ένα από τα πλεονεκτήματα που προέκυψαν από την μελέτη του σκυροδέματος στη νανοκλίμακα είναι ότι η

προπαρασκευή των σωματιδίων του σκυροδέματος μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση νανο-πυριτίου που οδηγεί σε ενίσχυση των μικρό και νάνο δομών με αποτέλεσμα τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων. Η προσθήκη νανο-διοξειδίου του πυριτίου στα βασικά υλικά του τσιμέντου μπορεί επίσης να ελέγξει την υποβάθμιση της βασικής αντίδρασης, (ένυδρο πυριτικό ασβέστιο), (*calcium-silicate-hydrate*), (CSH), του σκυροδέματος που προκλήθηκε από την διαρροή ασβεστίου στο νερό καθώς θα εμποδίσει τη διείδυση του νερού και, επομένως, να οδηγήσει σε βελτιώσεις στην αντοχή.

- Σχετικό με τη βελτίωση προπαρασκευής του σκυροδέματος είναι η υψηλής ενέργειας άλεση του απλού τσιμέντου portland, (*ordinary Portland cement*, OPC) κλίνκερ και των τυπικών άμμων, παράγει μια μεγαλύτερη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων σε σχέση με τα συμβατικά OPC και, ως εκ τούτου, η θλιπτική αντοχή του εξευγενισμένου υλικού είναι 3 έως 6 φορές υψηλότερο (σε διαφορετικές ηλικίες).
- Εκπομπές CO<sub>2</sub> από την παγκόσμια βιομηχανία τσιμέντου είναι σημαντικές και έχουν αυξηθεί. Η παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου σήμερα είναι γύρω στους 1,6 δισεκατομμύρια τόνους/έτος, και μέσα από την πύρωση του ασβεστόλιθου για την παραγωγή οξειδίου του ασβεστίου και διοξειδίου του άνθρακα, περίπου 0,97 τόνους του CO<sub>2</sub> που παράγεται για κάθε τόνο του κλίνκερ. Περίπου 900Kg κλίνκερ χρησιμοποιείται σε κάθε 1000kg του τσιμέντου που παράγεται έτσι η παγκόσμια βιομηχανία τσιμέντου παράγει περίπου 1,4 δισεκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> κάθε χρόνο. Αυτό αντιπροσωπεύει περίπου το 6% της συνολικής παγκόσμιας ανθρωπογενούς- παραγωγής CO<sub>2</sub>.
- Η ιπτάμενη τέφρα δεν βελτιώνει μόνο την διάρκεια ζωής και την αντοχή του σκυροδέματος αλλά είναι σημαντική για την αειφορία της παραγωγής του σκυροδέματος, μειώνει την απαίτηση για ωρίμανση του τσιμέντου και την επιβραδύνει με την προσθήκη ιπτάμενης τέφρας σε σύγκριση με κανονικό σκυρόδεμα. Με την προσθήκη του SiO<sub>2</sub> μέρος από τα νανοσωματίδια του τσιμέντου, αντικαθίστανται, αλλά η πυκνότητα και η αντοχή της ιπτάμενης τέφρας σκυρόδεμα βελτιώνεται ιδιαίτερα στα αρχικά στάδια. Έρευνα για τα νανοσωματίδια αιματίτη (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) που προστίθενται στο σκυρόδεμα έδειξε ότι αυξάνουν επίσης την αντοχή και προσφέρουν την δυνατότητα για παρακολούθηση των επιπέδων των τάσεων, μέσω της μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης ενός τμήματος.
- Ένας άλλος τύπος νανοσωματιδίων που προστίθεται στο σκυρόδεμα για να βελτιώσει τις ιδιότητές του είναι το διοξείδιο του τιτανίου (TiO<sub>2</sub>) που είναι μια λευκή χρωστική ουσία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια εξαιρετική

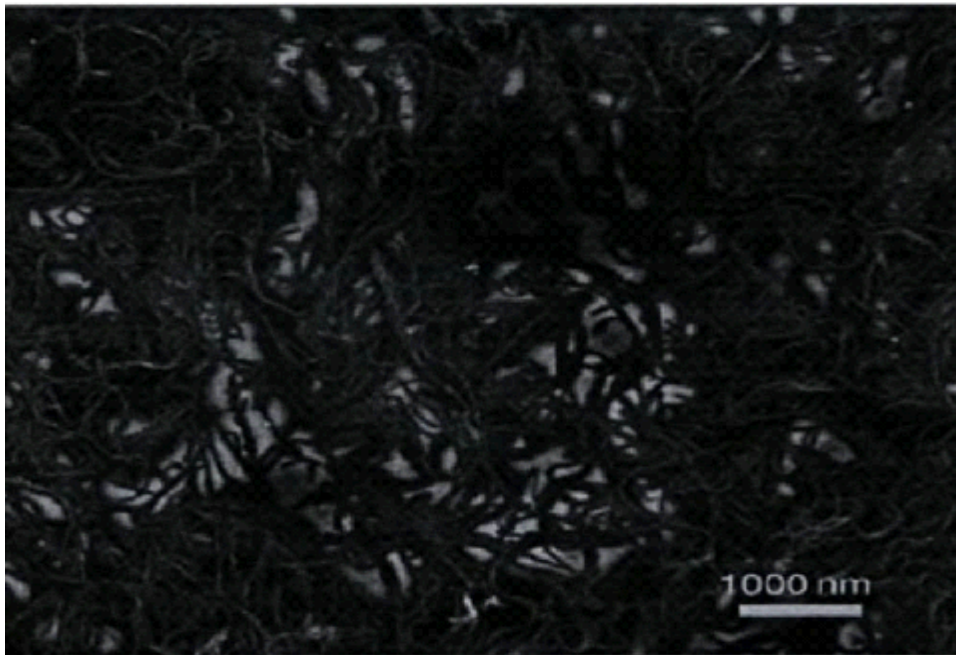


ανακλαστική επίστρωση, λόγω της φωτεινότητάς της. Μπορεί επίσης να οξειδώνει οξυγόνο ή οργανικά υλικά, ως εκ τούτου, προστίθεται στα χρώματα, τα τσιμέντα, πλακάκια, ή άλλα προϊόντα για την αποστείρωση, απόσμηση και με αντιδιαβρωτικές ιδιότητες. Όταν ενσωματωθούν με εξωτερικά δομικά υλικά μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων ρύπων. Επιπλέον, όταν το  $TiO_2$  έχει εκτεθεί σε υπεριώδες φως, γίνεται όλο και περισσότερο υδρόφιλο με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταπολέμηση της δημιουργίας υγρασίας στα επιχρίσματα ή σε αυτοκαθαριζόμενα παράθυρα. Ενσωματώνεται, όπως τα νανοσωματίδια για να μπλοκάρουν το υπεριώδες φως. Προστίθεται στα χρώματα, τσιμέντα και τα παράθυρα για την αποστείρωσή τους, λόγω της ιδιότητας του  $TiO_2$  να διαλύει οργανικούς ρύπους, πτητικών οργανικών ενώσεων, καθώς και βακτηριακές μεμβράνες μέσω ισχυρών καταλυτικών αντιδράσεων. Αυτό μπορεί να μειώσει κατά συνέπεια τους αερομεταφερόμενους ρύπους, όταν εφαρμόζεται σε υπαίθριες επιφάνειες. Επιπλέον, είναι υδρόφιλο και ως εκ τούτου δίνει την ιδιότητα του αυτό-καθαρισμού για επιφάνειες στις οποίες έχει εφαρμοστεί. Η διαδικασία με την οποία συμβαίνει αυτό είναι ότι το νερό βροχής προσελκύεται από την επιφάνεια και σχηματίζει λεπτά φύλλα που συλλέγουν τους ρύπους και τις ακαθαρσίες τα οποία κατακρημνίζονται με συνέπεια τον καθαρισμό της επιφάνειας. Το σκυρόδεμα, που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε έργα σε όλο τον κόσμο, έχει λευκό χρώμα που διατηρεί την λευκότητα του με μεγάλη αποτελεσματικότητα σε αντίθεση με τα χρωματισμένα κτίρια, (COEet. al., 2009).

- Ένα ακόμη είδος νανοσωματιδίων, τα οποία έχουν αξιοσημείωτες ιδιότητες, είναι οι νανοσωληνες άνθρακα, *carbon nanotube*, (CNT) και η τρέχουσα έρευνα που διεξάγεται για να διερευνήσει τα οφέλη από πρόσθεση CNT στο σκυρόδεμα. Η προσθήκη μικρών ποσοτήτων (1% του βάρους) CNT, μπορεί να βελτιώσει τις μηχανικές ιδιότητες των δειγμάτων που αποτελούνται από τσιμέντο Portland και νερό. Οι οξειδωμένοι πολλαπλών τοίχων νανοσωληνες, *multi-walled nanotubes*, (MWNT), παρουσιάζουν τις καλύτερες βελτιώσεις της αντοχής σε θλίψη (+ 25 N/mm<sup>2</sup>) και καμπτική αντοχή (+ 8 N/mm<sup>2</sup>) σε σύγκριση με τα δείγματα αναφοράς χωρίς την ενίσχυση. Στην θεωρία η υψηλή συγκέντρωση από την επιφάνεια των οξειδωμένων MWNT's θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια καλύτερη σχέση μεταξύ των νανοδομών και των συνδετικών υλικών βελτιώνοντας έτσι τις μηχανικές ιδιότητες και την παραμόρφωση στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Ωστόσο, υπάρχουν δύο προβλήματα με την προσθήκη των νανοσωληνων άνθρακα σε οποιοδήποτε υλικό το ένα είναι η

συγκέντρωση σε υψηλό βαθμό των νάνο σωλήνων σε μια περιοχή και δεύτερον η έλλειψη συνοχής μεταξύ αυτών και των χύδην υλικών. Λόγω της αλληλεπίδρασης που υπάρχει μεταξύ των νανοσωλήνων, οι σωλήνες έχουν την τάση να σχηματίζουν δέσμες με μορφή σχοινιού, εικόνα 2.8, και τα σχοινιά μπορούν ακόμη και να μπερδεύονται το ένα με το άλλο.

- Για να επιτευχθεί η ομοιόμορφη διασπορά τους πρέπει να απεμπλακούν. Επιπλέον, λόγω της γραφικτικής φύσης, δεν υπάρχει σωστή πρόσφυση μεταξύ των νανοσωλήνων και του υλικού προκαλώντας αυτό που ονομάζεται ολίσθηση. Ωστόσο, όταν προ- διαλυθούν οι νανοσωλήνες παρατηρείται μια αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων, κυρίως στην περίπτωση των νανοσωλήνων με μονό τοίχωμα, (*single walled nanotubes, SWNT*).

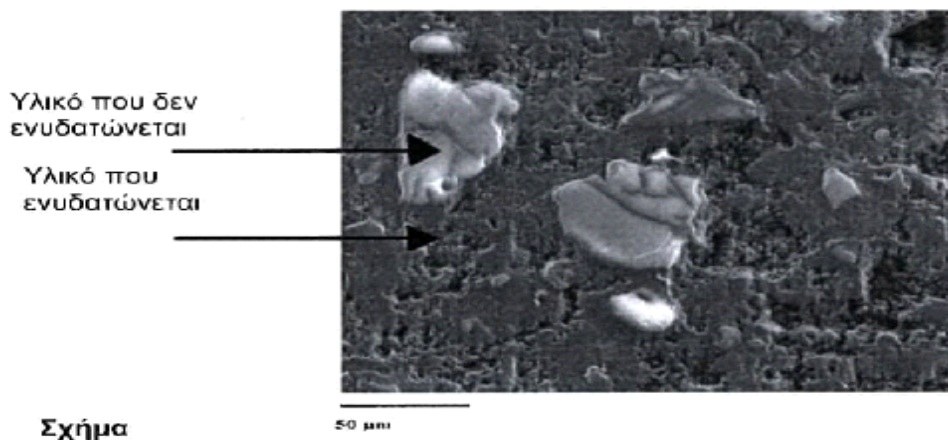


**Εικόνα 2- 8** Σχοινιά από νανοσωλήνες άνθρακα με μονό τοίχωμα (*Gerhard Wilde, 2009, σελ 135*)

Με την χρήση όλων των παραπάνω η μηχανική συμπεριφορά των συγκεκριμένων υλικών εξαρτάται από τα δομικά στοιχεία και τα φαινόμενα που συμβαίνουν σε μικρο και νάνο κλίμακες. Ως εκ τούτου, η νανοτεχνολογία μπορεί: να τροποποιήσει τη μοριακή δομή του συγκεκριμένου υλικού για τη βελτίωση των κύριων ιδιοτήτων του. Η τεχνολογία αυτή βελτιώνει σημαντικά την μηχανική απόδοση, τη σταθερότητα της ευστάθειας, την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα του σκυροδέματος.

Η επαναστατική δράση αυτής της τεχνολογίας θα επιτρέψει την ανάπτυξη θετικών αποτελεσμάτων από πλευράς οικονομικής αποδοτικότητας, υψηλής απόδοσης, και μακράς διάρκειας ζωής στα προϊόντα και τις μεθόδους παρασκευής για το τσιμέντο και το σκυρόδεμα, εντός των ιδανικών της αειφόρου ανάπτυξης. Επιπλέον, η νανο-τεχνολογία με την τροποποίηση των συγκεκριμένων υλικών σκυροδέματος μπορεί να οδηγήσει σε άνευ προηγουμένου χρήσεις των συγκεκριμένων υλικών, καθώς επίσης και νέες ταξινομήσεις του σκυροδέματος, με εκτεταμένες εφαρμογές στις υποδομές των μεταφορών.

Το μέσο μέγεθος των σωματιδίων τσιμέντο Portland είναι περίπου 50 μικρά. Σε εφαρμογές που απαιτούν λεπτότερα τελικά προϊόντα και ταχύτερο χρόνο στερεοποίησης, χρησιμοποιείται μικρό τσιμέντο με μέγιστο μέγεθος σωματιδίων της τάξεως των 5 μικρών. Συνεπώς, το μέγεθος των σωματιδίων πρέπει να μειωθεί κατά μία τάξη μεγέθους για να αποκτήσουμε το νανο-τσιμέντο Portland. Εάν αυτά τα σωματίδια νανο τσιμέντου μπορούν να επεξεργαστούν με τη χρήση νανοσωλήνων και αντιδραστικών νάνο σωματιδίων πυριτίου μπορεί να παραχθούν, ισχυρά, σκληρά, αγωγή, και με επεξεργασία σε θερμοκρασία δωματίου, κεραμικά υλικά για εφαρμογές στην ηλεκτρονική και τις επενδύσεις επιφανειών. Εφόσον ο άνθρακας οξειδώνεται σε θερμοκρασίες άνω των 400°C, η επεξεργασία σε θερμοκρασία δωματίου θα είναι ένα όφελος για τη διατήρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των νανοσωλήνων άνθρακα. Μια και τα περισσότερα κεραμικά επεξεργάζονται σε θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες από 400°C, οι ίνες άνθρακα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε αυτές τις διαδικασίες. Σε μικρο-επίπεδο, υπάρχει επίσης μια πολύ καλή αναλογία μεταξύ οπλισμένου σκυροδέματος και συνθετικών ινών. Η εμπειρία σχετικά με ίνες από οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την σύνθεση υλικών που γίνονται με τη χρήση μικρών διακριτών ινών, τόσο σε μικρο- όσο και σε νανο-κλίμακα. Ένα παράδειγμα είναι, σημαντικό μέρος των ινών οπλισμένο σκυρόδεμα που περιέχει 0,5% των ινών χάλυβα, που χρησιμοποιούνται σε πραγματικές κατασκευές. Η ενίσχυση των ιδιοτήτων που προβλέπονται από παρουσία 0,5% ινών χάλυβα στο σκυρόδεμα δεν διαφέρει πολύ από την ενίσχυση που παρέχεται με το 0,5% των νανοσωλήνων άνθρακα υψηλής απόδοσης. Σημειώστε ότι οι ίνες άνθρακα, παρέχουν ενίσχυση στις μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Το σκυρόδεμα, ακόμη και αυτό της υψηλής ποιότητας, περιέχει τριχοειδή αγγεία και μικρό ρωγμές. Αυτό επιτρέπει το νερό να περάσει μέσα από τη δομή του. Το πέρασμα του νερού και της υγρασίας με τη μέθοδο αυτή ονομάζεται τριχοειδή απορρόφηση, εικόνα 2.9.



**Εικόνα 2-9** Ενυδάτωση σκυροδέματος

Ακόμη και πυκνό σκυρόδεμα υψηλών προδιαγραφών δεν εξαλείφει την απορρόφηση του νερού μέσω τριχοειδών και την διαπερατότητα του. Το σκυρόδεμα που απορροφά την υγρασία είναι εγγενώς διαλυτό και μολύνεται από το περιβάλλον.

## 2.4.2 Σκυρόδεμα νανοκλίμακας

Η βασική έρευνα στην αλληλεπίδραση μεταξύ ιπτάμενης τέφρας και της νανοδομής του τσιμέντο Portland βρίσκεται σε εξέλιξη, εικόνα 2-10, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία σκέδασης νετρονίων.



**Εικόνα 2- 10** Το EMACO NanoCrete , σκυροδέματος της επόμενης γενιάς για κονιάματα με εξαιρετικές ιδιότητες

Η νανοτεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα για μια καλύτερη εξέταση της ενυδάτωσης των κόκκων του τσιμέντου και της αντιδραστικότητας της νανοδομής του τσιμέντου ως ένυδρες επιφάνειες που αναπτύσσονται στους κόκκους του. Η δυνατότητα των έξυπνων αδρανών στοιχείων ως ασύρματοι αισθητήρες μέσα στο τσιμέντο ή στο έδαφος είναι υπό εξέταση. Προβλήματα του σκυροδέματος, όπως η αντίδραση του αλκαλίου του διοξειδίου του πυριτίου (ASR) και η καθυστέρηση του σχηματισμού των ettringite\*, που είναι η αιτία καταστροφής των αυτοκινητοδρόμων και γεφυρών, διερευνώνται σε μοριακό επίπεδο, χρησιμοποιώντας τεχνολογία νετρονίων-σκέδασης και άλλες διαδικασίες, (COE et. al., 2009).

### **2.4.3 Η αντιδραστικότητα του τσιμέντου στην νανοκλίμακα**

Για την βελτίωση της ποιότητας του σκυροδέματος είναι απαραίτητός ο καλύτερος έλεγχος του χρόνου σκυροδέτησης. Η εξέλιξη της μεταβολής του υδρογόνου δείχνει το χρονοδιάγραμμα της καταστροφής των επιφανειακών στρωμάτων του. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη της διαδικασίας σκυροδέτησης ως συνάρτηση του χρόνου, της θερμοκρασίας, της χημείας του τσιμέντου, καθώς και με άλλους παράγοντες. Για παράδειγμα, ερευνητές της, National Risk Retention Association, (NRRRA,2009), διαπίστωσαν ότι όταν η ενυδάτωση του τσιμέντου γίνεται στους 30°C, (COE et. al., 2009), η καταστροφή

πραγματοποιείται σε 1,5 ώρα. Η επιφανειακή διάλυση στη συνέχεια εκλύει συσσωρευμένο πυριτικό άλας στη περιοχή, το οποίο αντιδρά με τα ιόντα ασβεστίου και τα κάνει να σχηματίζουν ένα ζελέ ένυδρου πυριτικού ασβεστίου, το οποίο δεσμεύει κόκκους του τσιμέντου καθώς σχηματίζεται το σκυρόδεμα. "Αυτό επιλύει μια επιστημονική συζήτηση που συνεχίζεται εδώ και περισσότερο από έναν αιώνα." Το επιφανειακό στρώμα πάχους 20 νανόμετρων ενεργεί ως ένα ήμι-διαπερατό εμπόδιο που επιτρέπει στο νερό να εισέλθει στους κόκκους του τσιμέντου και στα ιόντα ασβεστίου να διαφεύγουν. Ωστόσο, τα μεγαλύτερα πυριτικά ιόντα του τσιμέντου παγιδεύονται πίσω από αυτό το στρώμα. Δεδομένου ότι η αντίδραση συνεχίζεται, ένα πυριτικό ζελέ σχηματίζεται, προκαλώντας διόγκωση του τσιμέντου.

## **2.5 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΥΑΛΙ**

Οι σύγχρονες τάσεις για υψηλά κτίρια με μεγάλα υαλοστάσια δημιουργούν περισσότερες απαιτήσεις σχετικά με την καθαριότητα, την πυρασφάλεια και τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας.

### **Αυτοκαθαριζόμενοι υαλοπίνακες**

Το πρόβλημα του καθαρισμού των γυάλινων επιφανειών αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή της νανοτεχνολογίας. Οι αυτοκαθαριζόμενοι υαλοπίνακες οφείλουν την ιδιότητά τους στην επικάλυψη διοξειδίου του τιτανίου, που φέρουν στην εξωτερική τους επιφάνεια. Λόγω του γεγονότος ότι το διοξείδιο του τιτανίου έχει τη μορφή λευκής σκόνης, χρησιμοποιούνται νανοσωματίδια (πάχους 15 δισεκατομμυριοστών του μέτρου) έτσι, ώστε να παραμένει διαφανής η επιφάνεια του γυαλιού. Τα νανοσωματίδια αυτά απορροφούν την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία, προκαλώντας διέγερση των ηλεκτρονίων τους. Έτσι, μέσω καταλυτικών αντιδράσεων μπορούν να διασπούν τα μικροσωματίδια των ρύπων. Λόγω των υδροφιλικών ιδιοτήτων του διοξειδίου του τιτανίου το νερό της βροχής απλώνεται σε όλη την επιφάνεια, απομακρύνοντας γρήγορα και εύκολα τους ρύπους.

### **Πυροπροστατευτικοί υαλοπίνακες**

Οι εξελίξεις στις αρχιτεκτονικές τάσεις και στις λειτουργικές ανάγκες των κτιρίων αυξάνουν τις απαιτήσεις πυροπροστασίας και πυρασφάλειας στους υαλοπίνακες. Οι κοινοί υαλοπίνακες θρυμματίζονται μετά από μερικά λεπτά επίδρασης της φωτιάς, επιτρέποντας την εξάπλωσή της σε όλο το ύψος του κτιρίου. Η νανοτεχνολογία επιτυγχάνει πυροπροστασία παρεμβάλλοντας μία στρώση νανοσωματιδίων του πυριτίου ανάμεσα στους δύο υαλοπίνακες. Τα νανοσωματίδια του πυριτίου έχουν την ικανότητα να μετατρέπονται σε άκαμπτη και αδιαφανή ασπίδα πυρκαγιάς, όταν θερμαίνονται.

### **Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες**

Η νανοτεχνολογία αναπτύσσει τέσσερις στρατηγικές για να εμποδίσει το φως και τη θερμότητα και να ελέγξει το ηλιακό φως και την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου. Πρώτον, εφαρμόζει επιστρώματα λεπτών ταινιών στην επιφάνεια του υαλοπίνακα, τα οποία λειτουργούν ως φίλτρα και δεν αφήνουν την υπέρυθη

ακτινοβολία να τον διαπεράσει. Δεύτερον, μελετώνται οι θερμοχρωμικές τεχνολογίες που μεταβάλλουν τις οπτικές ιδιότητες του υαλοπίνακα ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, έτσι, ώστε να παρέχουν θερμική μόνωση στις υψηλές θερμοκρασίες. Η τρίτη στρατηγική περιλαμβάνει φωτοχρωμικές τεχνολογίες που μεταβάλλουν τις οπτικές ιδιότητες του υαλοπίνακα ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοδιαπερατότητά τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας. Τέλος, αναπτύσσονται ηλεκτροχρωμικά επιστρώματα που με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος μικρής τάσης σε στρώση οξειδίων του βολφραμίου γίνονται πιο αδιαφανή με το πάτημα ενός κουμπιού.

*Η ευρωπαϊκή αγορά τοποθέτησης υαλοπινάκων, που αντιπροσωπεύει το 45% της παγκόσμιας αγοράς, έφθασε σε έναν όγκο 80.000 μονάδων το 2001, και σε έναν όγκο πωλήσεων €18bn. Η τρέχουσα κατάσταση της προόδου στην επένδυση είναι ένα ενεργό σύστημα που ακολουθεί τον ήλιο, τον αέρα και τη βροχή προκειμένου να ελεγχθεί το περιβάλλον οικοδόμησης και να συμβάλει στην ικανότητα υποστήριξης, αλλά αυτό είναι αναξιόπιστο και δύσκολο να διατηρηθεί. Συνεπώς, υπάρχει πολλή έρευνα που διεξάγεται για την εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στο γυαλί και μερικές από τις πιο ελπιδοφόρες περιοχές που περιγράφονται πιο κάτω καθώς επίσης και μερικά προϊόντα που είναι ήδη διαθέσιμα, (NanoFon<sup>^</sup>, 2006).*

- *Το διοξείδιο του τιτανίου ( $TiO_2$ ) χρησιμοποιείται με μορφή νάνο σωματιδίων για την επένδυση των υαλοπινάκων δεδομένου ότι έχει τις αποστειρωτικές και αντιρρυπαντικές ιδιότητες. Τα μόρια καταλύουν τις ισχυρές αντιδράσεις με οργανικούς ρύπους τις πτητικές οργανικές ενώσεις και τις βακτηριακές μεμβράνες. Επιπλέον, το  $TiO_2$  είναι υδρόφιλο και αυτή η έλξη στο νερό διαμορφώνει τα φύλλα από τις πτώσεις βροχής που πλένουν έπειτα από τα μόρια ρύπου που χωρίζονται στην προηγούμενη διαδικασία. Το γυαλί που ενσωματώνει αυτήν την τεχνολογία καθαρισμού είναι διαθέσιμο στην αγορά σήμερα.*
- *Το προστατευτικό έναντι της πυρκαγιάς γυαλί είναι μια άλλη εφαρμογή της νανοτεχνολογίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ενός σαφούς μονωτικού στρώματος διοξειδίου του πυριτίου ( $SiO_2$ ), (ένα ενδιάμεσο στρώμα νάνο σωματιδίου), που στριμώχνεται μεταξύ των στρωμάτων γυαλιού και μετατρέπεται σε άκαμπτη και αδιαφανή ασπίδα πυρκαγιάς όταν θερμαίνεται.*
- *Το μεγαλύτερο μέρος του γυαλιού στην οικοδόμηση είναι, φυσικά, στην εξωτερική επιφάνεια των κτηρίων για τον έλεγχο του φωτός και της*



θερμότητας που εισάγεται μέσω της οικοδόμησης. Η τοποθέτηση των υαλοπινάκων είναι ένα σημαντικό ζήτημα αυτής της ικανότητας. Η έρευνα στις νανοτεχνολογικές λύσεις για αυτό οριοθετούν περίπου τέσσερις διαφορετικές στρατηγικές για να εμποδίσουν το φως και τη θερμότητα που μπαίνουν μέσω των παραθύρων.

- Αρχικά, τα επιστρώματα λεπτών ταινιών αναπτύσσονται όπου έχουμε ευαίσθητες εφαρμογές επιφάνειας για το γυαλί παραθύρων. Αυτοί έχουν τη δυνατότητα να φιλτράρουν και να αποκλείσουν έξω τις ανεπιθύμητες υπέρυθρες συχνότητες του φωτός (που θερμαίνουν επάνω ένα δωμάτιο) και να μειώσουν το κέρδος θερμότητας στα κτήρια, εντούτοις, αυτά είναι αποτελεσματικά μόνο ως παθητική λύση, εικόνα 2.11.
- Σαν ενεργό λύση, οι θερμοχρωμικές τεχνολογίες μελετώνται ώστε να αντιδρούν στη θερμοκρασία και να παρέχουν θερμική μόνωση για να δώσουν την προστασία από τη θέρμανση ταυτόχρονα διατηρώντας τον επαρκή φωτισμό.
- Μια τρίτη στρατηγική, που παράγει μια παρόμοια έκβαση με μια διαφορετική διαδικασία, περιλαμβάνει τις φωτοχρωμικές τεχνολογίες που μελετώνται για να αντιδράσουν στις αλλαγές στην ελαφριά ένταση από την αυξανόμενη απορρόφηση.
- Και τελικά, τα ηλεκτροχρωμικά επιστρώματα που αναπτύσσονται και αντιδρούν στις αλλαγές μιας εφαρμοσμένης ηλεκτρικής τάσης με τη χρησιμοποίηση ενός στρώματος οξειδίων βολφραμίου. Με αυτόν τον τρόπο γίνονται πιο αδιαφανής με την αφή ενός κουμπιού, Εικόνα 2-12.



**Εικόνα 2- 11** Αναστρέψιμη μετατροπή μιας χημικής ουσίας μεταξύ δύο μορφών απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπου οι δύο μορφές έχουν διαφορετικά φάσματα

*απορρόφησης τα νανοσωματίδια . WO<sub>3</sub> (οξείδιο του βολφραμίου) μπορούν αναστρέψουν τις οπτικές ιδιότητες με την εφαρμογή μιας εξωτερικής τάσης, (Bakker, 2008)*

Όλες αυτές οι εφαρμογές προορίζονται να μειώσουν την ενεργειακή χρήση στην ψύξη των κτηρίων και θα μπορούσαν να συμβάλουν σε μια σημαντική μείωση στα τεράστια ποσά που χρησιμοποιούνται στο χτισμένο περιβάλλον.



**Εικόνα 2- 12 Φωτοχρωματικό γυαλί που ελέγχεται από τάση**

*Φωτοχρωματικό γυαλί: η διαπερατότητα αυτού του γυαλιού ελέγχεται από την τάση - για τον κλιματισμό γραφείων στο μέλλον.*

Πολλές αναλύσεις του σκυροδέματος γίνονται στο νανο-επίπεδο για να κατανοήσουν τη δομή του χρησιμοποιώντας τις διάφορες τεχνικές που αναπτύχθηκαν για μελέτη σε αυτή την κλίμακα όπως η μικροσκοπία ατομικής δύναμης (AFM), η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) και εστίασης δέσμης ιόντων (FIB). Η κατανόηση της δομής και της συμπεριφοράς του συγκεκριμένου στο βασικό επίπεδο είναι μια σημαντική και πολύ κατάλληλη χρήση της νανοτεχνολογίας

Μία από τις προόδους που έγιναν από τη μελέτη του σκυροδέματος στη νανοκλίμακα είναι ότι η συσκευασία σωματιδίων στο σκυρόδεμα μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση νανο-πυριτίου που οδηγεί σε συμπύκνωση της μικρο και της νανοδομής με αποτέλεσμα βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες. Η προσθήκη νανο-πυριτίου στα υλικά με βάση το τσιμέντο μπορεί επίσης να ελέγξει την αποικοδόμηση της θεμελιώδους αντίδρασης του σκυροδέματος C-S-H (ασβεστίου-πυριτικού οξέος) που προκαλείται από την έκπλυση ασβεστίου στο νερό, καθώς και τη διείσδυση του

νερού και συνεπώς να οδηγήσει σε βελτιώσεις στην ανθεκτικότητα. Σχετικά με τη βελτιωμένη συσκευασία σωματιδίων, η υψηλή ενεργειακή άλεση του κλίνκερ κοινής τσιμέντου Portland (OPC) και της τυποποιημένης άμμου, παράγει μεγαλύτερη μείωση μεγέθους σωματιδίων σε σχέση με το συμβατικό OPC και ως εκ τούτου η αντοχή σε θλίψη του εξευγενισμένου υλικού είναι επίσης 3 έως 6 φορές υψηλότερη (σε διαφορετικές ηλικίες).

Ένας άλλος τύπος νανοσωματιδίου που προστίθεται στο σκυρόδεμα για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του είναι το διοξείδιο του τιτανίου ( $TiO_2$ ). Το  $TiO_2$  είναι μια λευκή χρωστική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εξαιρετική αντανάκλαστική επικάλυψη. Δεδομένου ότι το  $TiO_2$  καταστρέφει τους οργανικούς ρύπους, τις πτητικές οργανικές ενώσεις και τις βακτηριακές μεμβράνες μέσω ισχυρών καταλυτικών αντιδράσεων, μπορεί να μειώσει τους ατμοσφαιρικούς ρύπους όταν εφαρμόζονται σε εξωτερικές επιφάνειες. Επιπλέον, είναι υδρόφιλο και ως εκ τούτου δίνει ιδιότητες καθαρισμού για τις εφαρμοζόμενες επιφάνειες. Σε αυτή τη διαδικασία η βροχόπτωση προσελκύεται στην επιφάνεια και σχηματίζει φύλλα που συλλέγουν τους ρύπους και τα σωματίδια ρύπων που προηγουμένως έχουν υποστεί σπάσιμο και τα ξεπλένει. Το προκύπτον σκυρόδεμα έχει λευκό χρώμα που διατηρεί την λευκότητά του πολύ αποτελεσματικά

Διεξάγεται έρευνα για να διερευνηθούν τα οφέλη από την προσθήκη CNT σε σκυρόδεμα. Η προσθήκη μικρών ποσοτήτων (1% κ.β.) CNT μπορεί να βελτιώσει τις μηχανικές ιδιότητες του δείγματος που αποτελείται από την κύρια τσιμεντοφόρο φάση και το νερό. Οι οξειδωμένοι νανοσωληνίσκοι πολλαπλών τοιχωμάτων (MWNT's) παρουσιάζουν τις καλύτερες βελτιώσεις τόσο στην αντοχή σε θλίψη ( $+25 \text{ N / mm}^2$ ) όσο και στην αντοχή σε κάμψη ( $+ 8 \text{ N / mm}^2$ ) σε σύγκριση με τα δείγματα αναφοράς χωρίς την ενίσχυση. Ωστόσο, δύο προβλήματα με την προσθήκη νανοσωληνίων άνθρακα σε οποιοδήποτε υλικό είναι η συσσώρευση των σωληνώσεων μεταξύ τους και η έλλειψη συνοχής μεταξύ αυτών και του υλικού χύδην μήτρας. Απαιτούνται πρόσθετες εργασίες προκειμένου να καθοριστούν οι βέλτιστες τιμές των νανοσωληνίων άνθρακα και των παραγόντων διασποράς στις παραμέτρους σχεδιασμού του μείγματος. Επιπλέον, το κόστος προσθήκης CNT στο σκυρόδεμα μπορεί να είναι απαγορευτικό προς το παρόν.

Ο Balaguru δήλωσε ότι το αυτοσυμπυκνωτικό σκυρόδεμα (SCC) είναι αυτό που δεν χρειάζεται κραδασμούς για να ξεκαθαρίσει και να επιτύχει ενοποίηση. Αυτό αντιπροσωπεύει σημαντική πρόοδο στη μείωση της ενέργειας που απαιτείται για την

κατασκευή συγκεκριμένων δομών και ως εκ τούτου αποτελεί ζήτημα βιωσιμότητας. Επιπλέον, το SCC μπορεί να προσφέρει οφέλη έως και 50% στο κόστος εργασίας, λόγω του ότι χύνεται μέχρι 80% γρηγορότερα και έχει μειωμένη φθορά στο ξυλότυπο. Το υλικό συμπεριφέρεται σαν ένα παχύ ρευστό και καθίσταται δυνατή με τη χρήση πολυκαρβοξυλικών (ένα υλικό παρόμοιο με το πλαστικό που αναπτύσσεται με χρήση νανοτεχνολογίας).

Η συσκευασία ινών από σκυρόδεμα είναι αρκετά συνηθισμένη σήμερα για την αύξηση της αντοχής των προϋπάρχων δομικών στοιχείων σκυροδέματος. Η πρόοδος στη διαδικασία περιλαμβάνει τη χρήση φύλλου ινών (μήτρας) που περιέχει σωματίδια νανο-πυριτίου και σκληρυντές. Αυτά τα νανοσωματίδια διεισδύουν και κλείνουν μικρές ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος και, στις ενισχυτικές εφαρμογές, οι μήτρες σχηματίζουν έναν ισχυρό δεσμό μεταξύ της επιφάνειας του σκυροδέματος και της ενίσχυσης των ινών.

Το γυαλί προστασίας από τη φωτιά είναι μια άλλη εφαρμογή της νανοτεχνολογίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός διαυγούς στρώματος διογκωμένου μεταξύ των υαλοπινάκων (μια ενδιάμεση στρώση) που σχηματίζεται από νανοσωματίδια διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) που μετατρέπονται σε μια άκαμπτη και αδιαφανή ασπίδα πυρκαγιάς όταν θερμαίνεται. Το μεγαλύτερο μέρος του γυαλιού στις κατασκευές είναι, φυσικά, στην εξωτερική επιφάνεια των κτιρίων και ο έλεγχος του φωτός και της θερμότητας που εισέρχονται μέσω των οικοδομικών υαλοπινάκων είναι ένα σημαντικό θέμα βιωσιμότητας. Η έρευνα σε νανοτεχνολογικές λύσεις σε αυτό το κέντρο γύρω από τέσσερις διαφορετικές στρατηγικές για να εμποδίσει το φως και τη θερμότητα που εισέρχονται μέσα από τα παράθυρα. Πρώτον, αναπτύσσονται επικαλύψεις λεπτών μεμβρανών οι οποίες είναι ευαίσθητες σε φασματοσκοπία επιφανειακές εφαρμογές για γυάλινα παράθυρα. Αυτές έχουν τη δυνατότητα να φιλτράρουν τις ανεπιθύμητες υπέρυθρες συχνότητες φωτός (οι οποίες θερμαίνουν ένα δωμάτιο) και να μειώνουν το θερμικό κέρδος στα κτίρια. Ωστόσο, αυτά αποτελούν ουσιαστικά μια παθητική λύση. Ως ενεργό διάλυμα μελετώνται θερμοχρωμικές τεχνολογίες οι οποίες αντιδρούν στη θερμοκρασία και παρέχουν θερμομόνωση για να παρέχουν προστασία από τη θέρμανση διατηρώντας παράλληλα επαρκή φωτισμό. Μια τρίτη στρατηγική, που παράγει ένα παρόμοιο αποτέλεσμα με μια διαφορετική διαδικασία, περιλαμβάνει φωτοχρωμικές τεχνολογίες τα οποία μελετώνται ώστε να αντιδρούν στις αλλαγές στην ένταση του φωτός αυξάνοντας την απορρόφηση. Τέλος, αναπτύσσονται ηλεκτροχρωμικές επικαλύψεις

που αντιδρούν στις αλλαγές στην εφαρμοζόμενη τάση με τη χρήση στρώματος οξειδίου του βολφραμίου. καθιστώντας έτσι πιο αδιαφανή.

## 2.6 NANOTEΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑΣ

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κλάδος των δομικών και των τεχνικών έργων είναι η διάβρωση του χάλυβα και οι αστοχίες που προκαλούνται στα έργα, όπως στα κτίρια, στις γέφυρες και στους δρόμους. Η εφαρμογή της νανοτεχνολογίας μπορεί να προσφέρει περισσότερη ασφάλεια, αυξάνοντας την αντίσταση του χάλυβα σε διάβρωση. Το γεγονός αυτό έχει μεγάλο οικονομικό όφελος, αφού το κόστος της αποκατάστασης και της ανοικοδόμησης των χαλύβδινων κατασκευών είναι τεράστιο.

### **Νέοι τύποι χάλυβα**

Σήμερα είναι διαθέσιμα δύο νέα προϊόντα από δύο διαφορετικές εφαρμογές της νανοτεχνολογίας: ο χάλυβας SandvikNanoflex και ο χάλυβας MMFX2. Αμφότεροι εμφανίζουν υψηλή αντοχή στη διάβρωση, άλλο έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες.

Ο SandvikNanoflex συνδυάζει υψηλή αντοχή και πλαστιμότητα. Επιπλέον, είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός στη διάβρωση, χάρη στην παρουσία νανοταξινομημένων μορίων χάλυβα. Η χρήση του όμως για ενίσχυση στις κατασκευές από σκυρόδεμα έχει περιοριστεί λόγω του υψηλού κόστους. Εντούτοις, ο χάλυβας MMFX2 έχει όλες τις μηχανικές ιδιότητες ενός συμβατικού χάλυβα, με μια τροποποιημένη νανοδομή που τον καθιστά ανθεκτικό στη διάβρωση. Χάρη στην κατάλληλη δομή του περιορίζει τη δημιουργία των μικρογαλβανικών στοιχείων, τα οποία συμβάλλουν στην ανάπτυξη της διάβρωσης. Έτσι, σε έντονο διαβρωτικό περιβάλλον μπορεί να αντικαταστήσει τον ανοξειδωτο χάλυβα, έναντι του οποίου μάλιστα έχει χαμηλότερο κόστος παραγωγής.

### **Προστασία έναντι του λεκιάσματος και της διάβρωσης του ανοξειδωτου χάλυβα**

Η προστασία της επιφάνειας του ανοξειδωτου χάλυβα είναι ένας άλλος τομέας, στον οποίο η νανοτεχνολογία έχει βρει λύσεις.

Σήμερα διατίθενται προϊόντα, τα οποία αφαιρούν τους λεκέδες ή τους αποχρωματισμούς που εμφανίζουν συχνά οι ανοξειδωτοι χάλυβες λόγω της υγρασίας στις παραθαλάσσιες περιοχές. Αυτοί οι λεκέδες δεν επηρεάζουν την αντοχή του χάλυβα, άλλο είναι αντιαισθητικοί και μπορούν να καταστρέψουν την εικόνα μιας όμορφης μεταλλικής κατασκευής.

Τα προϊόντα αυτό δεν περιέχουν πετρέλαιο. Αφαιρούν εύκολα όλους τους λεκέδες, αφήνοντας μια λαμπερή, καθαρή επιφάνεια που απωθεί το νερό και τους ρύπους. Η επιφάνεια παραμένει προστατευμένη μέχρι και δύο έτη.



**Εικόνα 2- 13** Με τη χρήση της νανοτεχνολογίας τα επιστρώματα προστατεύουν το ξύλο από την ηλιακή ακτινοβολία και το νερό, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής του και διατηρώντας την ομορφιά του.



**Εικόνα 2- 14** Ο αυτοκαθαριζόμενος υαλοπίνακας με επικάλυψη διοξειδίου του τιτανίου απομακρύνει το νερό της βροχής, σε αντίθεση με έναν συμβατικό



**.Εικόνα 2- 15** Οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες μπορούν να αποκτήσουν λιγότερη διαφάνεια με την εφαρμογή μικρής τάσης σε στρώση οξειδίων του βολφραμίου





**Εικόνα 2- 16** Οι σύγχρονες τάσεις για υψηλά κτίρια με μεγάλα υαλοστάσια δημιουργούν περισσότερες απαιτήσεις σχετικά με την καθαριότητα, την πυρασφάλεια και τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας, για τις οποίες η νανοτεχνολογία βρίσκει λύσεις.

Ο Χάλυβας είναι ευρέως διαθέσιμος από τη δεύτερη βιομηχανική επανάσταση και από τα τέλη της δεκαετίας του 19ου και στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, και διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στον κλάδο των κατασκευών από την εποχή εκείνη. Συνολικά 185 mega τόνοι χάλυβα παράγονται ετησίως στην ΕΕ και τα οφέλη από την ευρεία χρήση του στις βιομηχανίες, και τις σχετικές κατασκευές βρίσκεται σε μια ικανοποιητική κατανομή της χρηματοδότησης στην έρευνα.

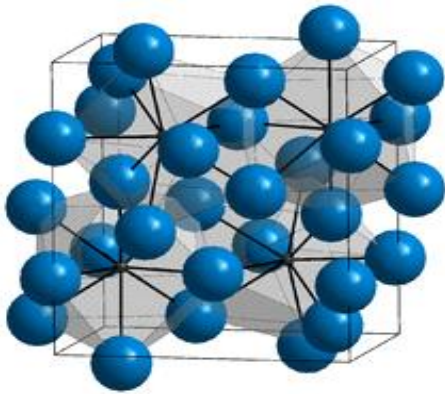
Ο κλάδος των κατασκευών μπορεί να επωφεληθεί από τις εφαρμογές της νανοτεχνολογίας στη χαλυβουργία και κάποιες από τις πολλά υποσχόμενες περιοχές βρίσκονται υπό μελέτη ή είναι διαθέσιμες σήμερα, και θα διερευνηθούν στις επόμενες παραγράφους.

Η κόπωση είναι ένα σημαντικό ζήτημα που μπορεί να οδηγήσει στη διαρθρωτική αδυναμία του χάλυβα που υπόκειται σε κυκλική φόρτωση, όπως σε γέφυρες ή πύργους. Αυτό μπορεί να συμβεί σε σημαντικά χαμηλότερη τιμή από την όριο ελαστικότητας του υλικού και να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της ωφέλιμης διάρκειας ζωής της κατασκευής. Η τρέχουσα σχεδιαστική φιλοσοφία επιβάλλει ένα ή περισσότερα από τρία μέτρα περιορισμού. Μια βάση είναι:

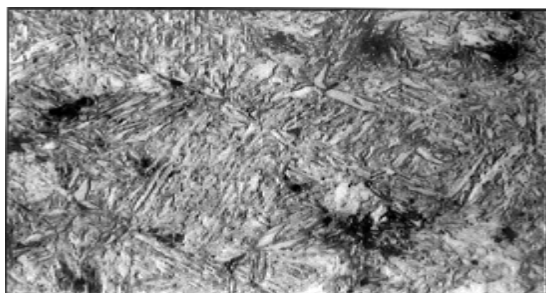
- η δραματική μείωση της επιτρεπόμενης φόρτισης,
- μια μικρότερη επιτρεπόμενη διάρκεια ζωής,
- ή η ανάγκη για ένα κανονικό σύστημα επιθεωρήσεων της κατασκευής.

Αυτό έχει σημαντικό αντίκτυπο στο κόστος του κύκλου ζωής της κατασκευής και των ορίων της αποτελεσματικής και αειφόρου χρήσης των πόρων καθώς και θεμάτων ασφάλειας των κατασκευών. Η αύξηση του φορτίου είναι η αιτία για την έναρξη ρωγμών, το αποτέλεσμα των οποίων είναι η αστοχία λόγω της κόπωσης. Η έρευνα έχει δείξει ότι η προσθήκη των νανοσωματιδίων χαλκού μειώνει τις επιφανειακές ανομοιομορφίες του χάλυβα, γεγονός που περιορίζει τον αριθμό των αυξήσεων των φορτίσεων και ως εκ τούτου, τα ραγίσματα που προκαλούνται λόγω κόπωσης, (NanoForum, 2006).

Η πρόοδος στην τεχνολογία αυτή θα οδηγήσει σε αυξημένη ασφάλεια, η μικρότερη ανάγκη για παρακολούθηση και αποδοτικότερη χρήση υλικών στις κατασκευές που είναι επιρρεπείς σε θέματα κόπωσης. Η τρέχουσα έρευνα για την τελειοποίηση της σεμεντιτικής\* φάσης του χάλυβα σε μια νανο-μεγέθους φάση με την οποία παράγονται ισχυρότερα καλώδια. Καλώδια υψηλής αντοχής χάλυβα, χρησιμοποιούνται στα ελαστικά των αυτοκινήτων, στην κατασκευή γεφυρών και στο προτεταμένο σκυρόδεμα. Τα ισχυρότερο υλικό καλωδίων θα μείωνε το κόστος και τη περίοδο κατασκευής τους, ιδιαίτερα σε καλωδιακές γέφυρες, όπου τα καλώδια τρέχουν από άκρη σ' άκρη τη γέφυρα. Η αειφορία ενισχύεται επίσης από τη χρήση των καλωδίων υψηλότερης αντοχής, δεδομένου ότι οδηγεί σε μια πιο αποτελεσματική χρήση των υλικών. Η αύξηση του ύψους των κατασκευών, απαιτεί υψηλής αντοχής αρθρώσεων και αυτό με τη σειρά του οδηγεί στην ανάγκη για βίδες υψηλής αντοχής, (NanoFoo<sup>Λ</sup>, 2006). Η ικανότητα των υψηλής αντοχής κοχλιών πραγματοποιείται κατά κανόνα μέσω της βαφής και της σκλήρυνσης, οι μικροδομές των εν λόγω προϊόντων αποτελούνται από σκληρυμένο μαρτενσίτης\*\*.



**Εικόνα 2- 17** Ο Σεμενίτης είναι διαμεταλλική ένωση του σιδήρου με τον άνθρακα (καρβίδιο ) με χημικό τύπο  $Fe_3C$  και σύσταση 93,1% κ.β. Fe και 6,69% κ.β. C . Προκύπτει για σκληρή και εύθραυστη στερεά φάση με ιδιαίτερη σημασία στην μεταλλογνωσία του χάλυβα



**Εικόνα 2- 18** Ο μαρτενσίτης είναι μετασταθή φάση που σχηματίζεται όταν ένας χάλυβας θερμανθεί σε υψηλή θερμοκρασία, ώστε να σχηματιστεί ωστενίτης ( $\gamma$ -Fe), και κατόπιν υποστεί απότομη ψύξη.

Όταν η αντοχή σε εφελκυσμό από σκληρυμένο Μαρτενσίτη χάλυβα υπερβαίνει τις 1.200 MPa ακόμη και μια πολύ μικρή ποσότητα υδρογόνου στα όρια σκληρότητας του υλικού του χάλυβα μπορεί να αποτύχει κατά τη χρήση. Η χρήση των νανοσωματιδίων του βανάδιου και μολυβδαίνιου έχει δείξει ότι μπορεί να βελτιώσει τη καθυστέρηση εμφάνισης των προβλημάτων καταγμάτων που συνδέονται με της υψηλής αντοχή βίδες, (NanoForum, 2006). Αυτό το φαινόμενο, το οποίο είναι γνωστό ως καθυστερημένο κάταγμα, που εμπόδισε την περαιτέρω ενίσχυση των κοχλιών από χάλυβα και η υψηλότερη αντοχή τους έχει εδώ και πολύ καιρό περιορίσει την αντοχή σε περίπου 1.000 έως 1.200 MPa.

Αυτό είναι το αποτέλεσμα των νανοσωματιδίων στον περιορισμό των συνεπειών της ευθραυστότητας υδρογόνου και τη βελτίωση του χάλυβα στην μικρό δομή με τη μείωση των συνεπειών της μεταξύ των κόκκων στη φάση του Σεμεντίτη.

Ένα άλλος τομέας στον οποίο η νανοτεχνολογία μπορεί να βοηθήσει είναι οι συγκολλήσεις θερμαινόμενης ζώνη (Heat Affected Zone) (HAZ) οι οποίες μπορεί να είναι εύθραυστες και να αποτυγχάνουν χωρίς προειδοποίηση, όταν υποβάλλονται σε ξαφνική δυναμική φόρτιση, η ανθεκτικότητα της συγκόλλησης τους όμως είναι ένα σημαντικό ζήτημα ιδίως στις περιοχές με υψηλή σεισμική δραστηριότητα. Οι συγκολλήσεις με HAZ οδήγησαν σε αποτυχίες δομικών αρμών κατά την διάρκεια του σεισμού του ρήγματος Northridge του 1994 στο Los Angeles. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να αλλάξουν οι τρέχουσες φιλοσοφίες σχεδιασμού που περιλαμβάνουν την επιλεκτική εξασθένιση των δομών για να παράγουν ελεγχόμενη παραμόρφωση μακριά από το σημείο θραύσης των συγκολλημένων αρμών ή τη σκόπιμη υπέρ-διαστασιολόγηση των δομών για να αντέχουν, (NanoForum, 2006). Η έρευνα βρίσκεται υπό εξέλιξη, ωστόσο, έχει δείξει ότι η προσθήκη νανοσωματιδίων μαγνησίου και ασβεστίου κάνει την συγκόλληση με HAZ να παράγει κόκκους λεπτότερους, (περίπου το 1/5 του μεγέθους του συμβατικού υλικού των λαμαρινών), και αυτό οδηγεί σε αύξηση της σκληρότητας συγκόλλησης. Πρόκειται για μια βιώσιμη ανάπτυξη καθώς και για ένα θέμα ασφάλειας, όπως η αύξηση της ανθεκτικότητας των συγκολλημένων αρμών, που θα οδηγήσει σε μια μικρότερη απαίτηση πόρων, επειδή λιγότερο υλικό θα είναι αναγκαίο για να διατηρήσει την αντοχή εντός επιτρεπομένων ορίων.

Αν και οι νανοσωλήνες άνθρακα (CNT) είναι ένα συναρπαστικό υλικό, με τεράστιες ιδιότητες αντοχής και δυσκαμψίας, έχουν βρει λίγες εφαρμογές ως προσθήκη στο χάλυβα (λόγω της φύσης τους σαν γραφίτικός) πράγμα που καθιστά δύσκολη την σύνδεση του με τον κύριο όγκο του υλικού και αποβάλλεται εύκολα, καθιστώντας το αναποτελεσματικό. Επιπλέον, οι ψηλές θερμοκρασίες που εμπλέκονται στην παραγωγή χάλυβα και οι επιπτώσεις τους στην CNT παρουσιάζουν μια πρόκληση για την αποτελεσματική χρήση τους ως ένα σύνθετο συστατικό. Η νανο-σύνθεση παράγεται με την προσθήκη νανοσωματιδίων σε χύμα υλικό προκειμένου να βελτιώσουν τις ιδιότητές του στο μεγαλύτερο μέρος των υλικών. Δύο σχετικά νέα προϊόντα που είναι διαθέσιμα σήμερα, (NanoForum, 2006), είναι:

- Ο χάλυβας Sandvik Nanoflex (που παράγεται από την Sandvik Τεχνολογίας Υλικών).
- Ο MMFX2 χάλυβα (που παράγεται από την MMFX Steel Corp).

Και οι δύο είναι ανθεκτικοί στη διάβρωση, αλλά έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες και είναι το αποτέλεσμα των διαφόρων εφαρμογών της νανοτεχνολογίας. Παραδοσιακά, η εναλλαγή μεταξύ αντοχής και ολκιμότητας είναι ένα σημαντικό ζήτημα για το χάλυβα. Οι δυνάμεις στις σύγχρονες κατασκευές, απαιτούν υψηλή αντοχή, ενώ η ασφάλεια (ιδίως σε σεισμικές περιοχές) και η αναδιανομή των φορτίσεων απαιτεί υψηλή ολκιμότητα. Αυτό έχει οδηγήσει στη χρήση ελατού υλικού χαμηλής αντοχής σε μεγαλύτερα μεγέθη από ό, τι θα ήταν διαφορετικά δυνατή με υψηλής αντοχής εύθραυστο υλικό και, κατά συνέπεια, πρόκειται για ένα θέμα της βιωσιμότητας και της αποτελεσματικής χρήσης των πόρων. Ο χάλυβας Sandvik Nanoflex έχει τόσο τις επιθυμητές ιδιότητες του υψηλού μέτρου Young και την υψηλή αντοχή και είναι επίσης ανθεκτικός στη διάβρωση λόγω της παρουσίας σκληρών νανοσωματιδίων στην βασική δομή του.

Παρουσιάζει πραγματικά υψηλή αντοχή με εξαιρετική σχηματιστικότητα και επί του παρόντος αυτό χρησιμοποιείται για την παραγωγή εξαρτημάτων πολύ διαφορετικών όπως ιατρικά μηχανήματα και εξαρτήματα ποδηλάτων, ωστόσο, υπάρχουν εφαρμογές και στην κατασκευή μηχανών και εργαλείων για τις καλλιέργειες. Η χρήση του ανοξείδωτου χάλυβα στο οπλισμένο σκυρόδεμα έχει περιοριστεί μόνο στις περιπτώσεις υψηλού κινδύνου, όπως και για περιβάλλοντα όπου η χρήση της είναι απαγορευτική λόγω κόστος. Ωστόσο, ο MMFX2 χάλυβας, ενώ έχει τις μηχανικές

ιδιότητες του συμβατικού χάλυβα, διαθέτει μια τροποποιημένη νανο-δομή που το καθιστά ανθεκτικό στη διάβρωση και είναι μια εναλλακτική λύση σε σχέση με τον συμβατικό ανοξειδωτο χάλυβα, αλλά με μικρότερο κόστος. Η εμπράγματη φύση των τεχνολογιών που εμπλέκονται στην παραγωγή σιδήρου και χάλυβα επιτρέπει μια πιο λεπτομερή περιγραφή της ακριβούς φύσης των νανοτεχνολογικών πτυχών αυτών των δύο προϊόντων.

Ερευνητές στην Ιαπωνία έχουν ανακαλύψει ένα νέο τρόπο για την ενίσχυση του χάλυβα. Έχουν δημιουργήσει χάλυβα που είναι εκατό φορές ισχυρότερος σε ερπυσμό\* από τον πιο ισχυρότερο που διατίθεται σήμερα. Η μέθοδος θα μπορούσε να οδηγήσει στην οικονομική κατασκευή μεγάλης κλίμακας στοιχείων χάλυβα για εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας, (Taneike et al., 2003).

Ερπυσμός είναι το είδος της παραμόρφωσης που αποδυναμώνει τα μέταλλα και τα κράματά τους, όταν αυτά είναι εκτεθειμένα σε τάσεις και σε υψηλές θερμοκρασίες. Για την ενίσχυση του χάλυβα κατά του ερπυσμού, εισάγονται και διασπείρονται μικρά σωματίδια - κυρίως οξειδία - σε όλο το μέταλλο, αλλά η τεχνική αυτή είναι δαπανηρή και δεν είναι κατάλληλη για την κατασκευή μεγάλης κλίμακας. Επιπλέον λόγω σκλήρωσης των σωματιδίων με το χρόνο μειώνεται η ενίσχυση της αντοχής τους. Σε πολλούς ενισχυμένους χάλυβες, οι αυξήσεις του μεγέθους του ερπυσμού απότομα μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα είναι ένα δείγμα ύπαρξης ρωγμών. Αυτή η λεγόμενη "ρήξη με τον χρόνο" εξαρτάται από την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα στο χάλυβα, (Nippon , 2005).

\*Ερπυσμός λέγεται το φαινόμενο κατά το οποίο ένα στερεό σώμα, στο οποίο ασκείται μια δύναμη τάσης (το οποίο δηλαδή "τραβάμε" προς τα έξω) συνεχίζει να παραμορφώνεται ακόμα κι όταν η δύναμη παραμείνει σταθερή ή ακόμα μειωθεί.

Με την προσθήκη μόλις 0,002% του άνθρακα σε μαρτενσιτικούς χάλυβες που περιέχουν ήδη το 9% σε χρώμιο. Ο Sawada και οι συνεργάτες του ήταν σε θέση να αυξήσει την ρήξη με τον χρόνο στους 923 Kelvin με συντελεστή πάνω από 100 και στην κατασκευή του πιο ανθεκτικού χάλυβα είναι διαθέσιμος σήμερα (που περιέχει περίπου άνθρακα 0,08%). Χρησιμοποιώντας ανίχνευση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, η ομάδα Tsukuba, (ερευνητικό κέντρο), παρατήρησε ότι το δείγμα του περιείχε ένα μεγάλο αριθμό των λεπτών σωματιδίων, μεταξύ 5 και 10 νανόμετρα σε μέγεθος.

*Αντίθετα, οι συμβατικά ενισχυμένοι χάλυβες περιέχουν πολύ μεγαλύτερα σωματίδια, συνήθως 100 με 300 νανόμετρα συνολικά. Τα μικρά σωματίδια που περιέχονται στο μεταλλικό κράμα είτε με άνθρακα είτε με άζωτο και βρίσκονται, «συνδέονται», σε ευαίσθητες περιοχές. Αυτές είναι συνδέσεις ενίσχυσης του χάλυβα, (Taneike et al., 2003).*

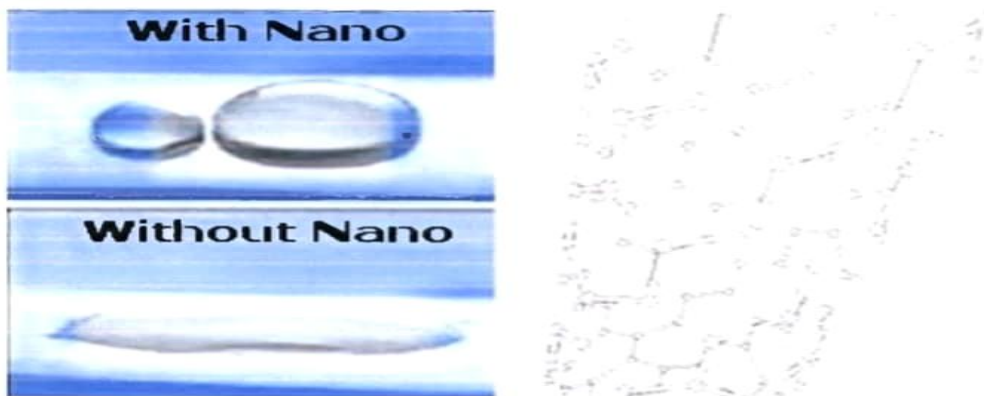
Στον χάλυβα, η κόπωση είναι ένα σημαντικό ζήτημα που μπορεί να οδηγήσει σε δομική αποτυχία όταν ο χάλυβας υποστεί κυκλική φόρτιση, όπως σε γέφυρες ή σε πύργους. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν οι τάσεις είναι σημαντικά χαμηλότερες από την τάση απόδοσης του υλικού και οδηγούν σε σημαντική μείωση της ωφέλιμης ζωής της δομής. Οι ανερχόμενοι στο άγχος είναι υπεύθυνοι για την εκκίνηση ρωγμών από τα οποία προκύπτει η αποτυχία της κόπωσης και η έρευνα έχει δείξει ότι η προσθήκη νανοσωματιδίων χαλκού μειώνει την ανομοιομορφία επιφάνειας του χάλυβα, η οποία στη συνέχεια περιορίζει τον αριθμό των ανυψωτικών τάσεων και επομένως την ρωγμή κόπωσης.

Όταν η αντοχή εφελκυσμού του σκληρυμένου μαρτενσιτικού χάλυβα υπερβαίνει τα 1.200 MPa, ακόμη και μια πολύ μικρή ποσότητα υδρογόνου υποσκάπτει τα όρια των κόκκων και το χαλυβουργικό υλικό μπορεί να αποτύχει κατά τη χρήση. Το φαινόμενο αυτό, το οποίο είναι γνωστό ως καθυστερημένο κάταγμα, εμπόδισε την περαιτέρω ενίσχυση των ατσάλινων βιδών και η μέγιστη αντοχή τους περιορίζεται σε περίπου 1.000 έως 1.200 MPa.

Οι ερευνητικές εργασίες σχετικά με τα νανοσωματίδια του βαναδίου και του μολυβδαινίου έδειξαν ότι βελτιώνουν τα προβλήματα καθυστερημένου θραύσματος που σχετίζονται με βίδες υψηλής αντοχής. Αυτό είναι το αποτέλεσμα των νανοσωματιδίων που μειώνουν τις επιπτώσεις της βραχυκυκλώματος υδρογόνου και βελτιώνουν τη μικροδομή του χάλυβα μειώνοντας τις επιδράσεις της διεπιφανειακής φάσης κεμεντίου. Όπως αναφέρεται στο NSTR [3], αντί για CNTs, δύο σχετικά νέα προϊόντα που είναι διαθέσιμα σήμερα είναι η Sandvik Nanoflex (που παράγεται από την Sandvik Materials Technology) και ο χάλυβας MMFX2 (που παράγεται από την MMFX Steel Corp). Και οι δύο είναι ανθεκτικές στη διάβρωση, αλλά έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες και είναι το αποτέλεσμα διαφορετικών εφαρμογών της νανοτεχνολογίας.

## 2.7 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ

Τα επιχρίσματα είναι μια περιοχή σημαντικής έρευνας στη νανοτεχνολογία και διεξάγονται εργασίες πάνω στο σκυρόδεμα και στο γυαλί, καθώς και στο χάλυβα. Μεγάλο μέρος των εργασιών συνεπάγεται Χημική Εναπόθεση ατμού (CVD). Η επικάλυψη έχει σκοπό την παραγωγή ενός στρώματος το οποίο είναι κατάλληλο υλικό βάσης για την παραγωγή μιας επιφάνειας με τις επιθυμητές προστατευτικές ή λειτουργικές ιδιότητες. Έρευνα διεξάγεται μέσω του πειράματος και της μοντελοποίησης επιχρισμάτων και ο ένας από τους στόχους είναι η ανάπτυξη δυνατοτήτων επούλωσης μέσω μιας διαδικασίας «αυτό-συναρμολόγησης». Η νανοτεχνολογία εφαρμόζεται στα χρώματα και αποκτούν μονωτικές ιδιότητες, όταν παράγονται με την προσθήκη κύτταρων νανο μεγέθους στους πόρους και τα σωματίδια, δίνοντας πολύ περιορισμένες διαδρομές για θερμική αγωγιμότητα (οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας,  $R$ , είναι διπλάσιες από αυτές για μονωτικού αφρού που είναι σήμερα διαθέσιμος). Αυτό το είδος της βαφής είναι που χρησιμοποιείται, προς το παρόν, για την προστασία κατά της διάβρωσης αφού είναι υδρόφοβο και απωθεί το νερό από το μεταλλικό σωλήνα και μπορεί επίσης να προστατεύει το μέταλλο από το αλμυρό νερό, εικόνα 2.19. Επίσης, υπάρχουν και πιθανές χρήσεις στην πέτρα με βάση τα ίδια υλικά. Σε αυτά τα υλικά είναι συνήθης η χρήση ρητινών για σκοπούς ενίσχυσης προκειμένου να αποφεύγονται τα προβλήματα θραύσης, ωστόσο, αυτές οι θεραπείες με ρητίνη μπορεί να επηρεάσουν την αισθητική και την πρόσφυση στα υποστρώματα.

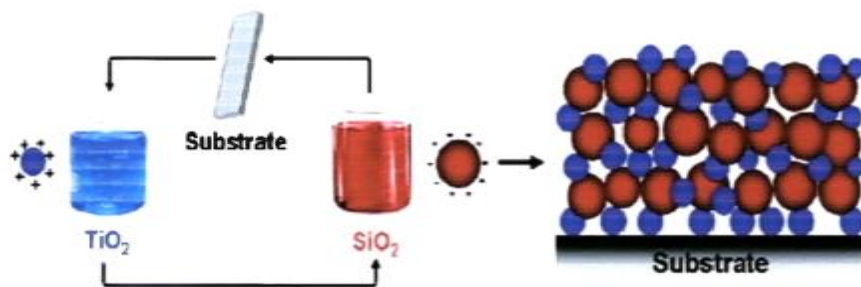


**Εικόνα 2- 19** Νάνο επίστρωση υδρόφοβη

Με βάση τα συστήματα νανοσωματιδίων μπορεί να δημιουργηθεί καλύτερη πρόσφυση και διαφάνεια σε σχέση με τις συμβατικές τεχνικές. Εκτός από την επίστρωση αυτό-καθαρισμού που αναφέρεται ανωτέρω για τους υαλοπίνακες, οι αξιόλογες ιδιότητες των νανοσωματιδίων  $TiO_2$  οι οποίες υπάρχουν σήμερα σε χρήση ως υλικό επίστρωσης για δρόμους δοκιμάζονται σε εφαρμογές σε όλο τον κόσμο. Το  $TiO_2$  ως επίστρωση συλλαμβάνει και διασπά οργανικούς και ανόργανους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Σε μια φωτοκαταλυτική διαδικασία (επίστρωση του δρόμου  $7000m^2$  στο Μιλάνο έδωσε μια μείωση κατά 60% οξειδίων του αζώτου). Η έρευνα αυτή ανοίγει μια ενδιαφέρουσα δυνατότητα θέτοντας δρόμους για καλή περιβαλλοντική χρήση, (NanoForum, 2006).

Όλα τα επιχρίσματα νανοσωματιδίων λεπτών φιλμ έχουν αυτοκαθαριζόμενες ιδιότητες έχουν κατασκευαστεί με απόθεση σε στρώματα νανοσωματιδίων του  $TiO_2$  και του  $SiO_2$ , εικόνα 2.20. Το πορώδες και η χημική σύσταση των επικαλύψεων προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας μια απλή μέθοδος που βασίζεται στη Ελλειψομετρία και δεν απαιτεί οποιεσδήποτε υποθέσεις σχετικά με το δείκτη διάθλασης του στοιχείου νανοσωματιδίων.





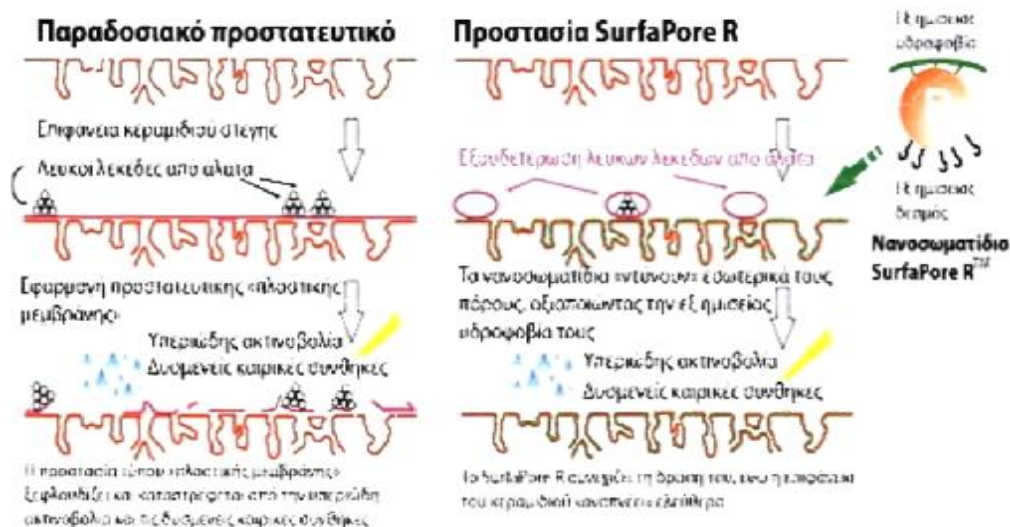
**Εικόνα 2- 20** Απόθεση σε στρώματα νανοσωματιδίων του  $\text{TiO}_2$  και  $\text{SiO}_2$  του για την κατασκευή λεπτών αυτό-καθοριζόμενων φιλμ

Η παρουσία των νανο-πόρων στα νανοσωματίδια του  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  έχει σαν αποτελέσματα οι επιστρώσεις να έχουν υψηλή υδροφιλικότητα καθώς και οι ιδιότητές μη ανακλάστικες. Η υψηλή υδροφιλικότητα των μολυσμένων επιχρισμάτων θα μπορούσε εύκολα να ανακτηθεί και να διατηρηθεί με την υπεριώδη ακτινοβολία.

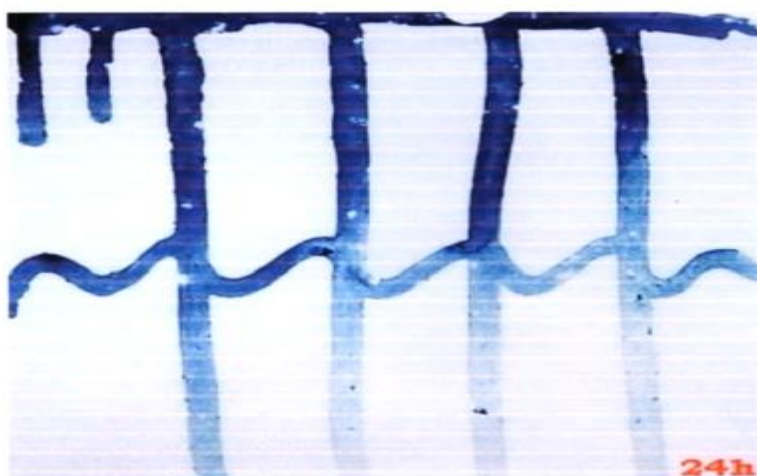
Υπάρχει μια σειρά «έξυπνων» υλικών με πρωτοποριακές δυνατότητες, που αξιοποιούν τη δύναμη της νανοτεχνολογίας. Τι κάνουν; Μετατρέπουν τις απλές κεραμικές ή γυάλινες επιφάνειες σε αυτοκαθαριζόμενες και αυτοαποστειρούμενες μόνο με τη βοήθεια του ηλιακού φωτός και προστατεύουν κάθε λογής οικοδομικά υλικά (τσιμέντο, χάλυβα, πέτρα, μάρμαρο, κεραμίδι, αλλά και ξύλο) από το νερό κι όλες τις γνωστές αρνητικές επιπτώσεις από τη δράση του.

Τα νανοϋλικά απωθούν το νερό -που περιορίζεται να σχηματίσει «μπίλιες», εικόνα 2.21 στην επιφάνειά των παραπάνω υλικών και βαθμιαία να εξατμιστεί- χωρίς να επηρεάζουν τη φυσική εμφάνιση τους.

Νεότερα νανοϋλικά εμφανίζουν αντιδιαβρωτικές ιδιότητες στις επικαλύψεις για μεταλλικές επιφάνειες, με κύρια εφαρμογή στο χώρο της ναυτιλίας, αλλά και οι επικαλύψεις anti-graffiti, που ίσως μπορέσουν τελικά να δώσουν λύση στο τεράστιο πρόβλημα των βανδαλισμών από τους «καλλιτέχνες» του σπρέι, εικόνα 2-22.



Εικόνα 2- 21 Εφαρμογή υδρόφοβου νανοϋλικού



Εικόνα 2- 22 Νανο-επικαλύψεις για anti-graffiti

Στις επικαλύψεις, μεγάλο μέρος των εργασιών περιλαμβάνει χημική εναπόθεση ατμών (CVD), εμφότιση, μηνίσκο, ψεκασμό και επίστρωση πλάσματος προκειμένου να παραχθεί ένα στρώμα το οποίο δεσμεύεται στο βασικό υλικό για να παράγει μια επιφάνεια με τις επιθυμητές προστατευτικές ή λειτουργικές ιδιότητες. Έρευνα διεξάγεται μέσω του πειράματος και της μοντελοποίησης των επικαλύψεων και ο ένας από τους στόχους είναι η προσφορά των δυνατοτήτων αυτό-επούλωσης μέσω μιας διαδικασίας "αποσυναρμολόγησης".

Η νανοτεχνολογία εφαρμόζεται σε χρώματα και μονωτικές ιδιότητες, που παράγονται με την προσθήκη κυψελίδων νανο-μεγέθους, πόρων και σωματιδίων, δίνοντας πολύ περιορισμένες διαδρομές για θερμική αγωγιμότητα (οι τιμές R είναι διπλές από αυτές για μονωτικό αφρό). Αυτός ο τύπος χρώματος χρησιμοποιείται επί του παρόντος για αντιδιαβρωτική προστασία κάτω από τη μόνωση, δεδομένου ότι είναι υδρόφοβος και απωθεί το νερό από το μεταλλικό σωλήνα και μπορεί επίσης να προστατεύσει το μέταλλο από την επίθεση αλμυρού νερού. Οι αξιοσημείωτες ιδιότητες των νανοσωματιδίων  $\text{TiO}_2$  χρησιμοποιούνται ως υλικό επίχρισης σε οδοστρώματα σε δοκιμές σε όλο τον κόσμο. Η επικάλυψη  $\text{TiO}_2$  συλλαμβάνει και διασπά τους οργανικούς και ανόργανους ρύπους του αέρα με φωτοκαταλυτική μέθοδο (μια επίστρωση  $7000\text{m}^2$  δρόμου στο Μιλάνο έδωσε μείωση κατά 60% στα οξειδία του αζώτου) που μπορούν να βοηθήσουν στην καλή χρήση του οδικού δικτύου.

## 2.8 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ – ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΝΕΡΟΥ

Ο καθαρισμός του νερού με χρήση νανοτεχνολογίας εκμεταλλεύεται νανοσκοπικά υλικά όπως νανοσωλήνες άνθρακα και ίνες αλουμίνας για νανοδιήθηση. Χρησιμοποιεί επίσης την ύπαρξη νανοσκοπικών πόρων σε μεμβράνες διήθησης ζεόλιθου, καθώς και νανοκαταλύτες και μαγνητικά νανოსωματίδια. Η προσρόφηση της συγκέντρωσης χλωρίου είναι πολύ μεγαλύτερη με τη χρήση νανοτεχνολογίας (GAC, 350 g / m<sup>2</sup>) σε σύγκριση με τη συμβατική μέθοδο καθαρισμού (PAC, 220 g / m<sup>2</sup>). Οι νανοαισθητήρες, όπως αυτοί που βασίζονται σε νανოსωματίδια οξειδίου τιτανίου ή νανοςωματίδια παλλαδίου, χρησιμοποιούνται για αναλυτική ανίχνευση μολυσματικών ουσιών σε δείγματα νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση ιζημάτων, χημικών εκροών, φορτισμένων σωματιδίων, βακτηρίων και άλλων παθογόνων παραγόντων. Ο Valli και άλλοι [4] εξηγούν ότι τα τοξικά ιχνοστοιχεία όπως το αρσενικό και οι ιξώδεις υγρές ακαθαρσίες όπως το πετρέλαιο μπορούν επίσης να απομακρυνθούν χρησιμοποιώντας τη νανοτεχνολογία. "Πιστεύεται ότι μελλοντικές γενιές συσκευών επεξεργασίας νερού με βάση τη νανοτεχνολογία θα αξιοποιήσουν τις ιδιότητες των νέων νανοκλίμακα υλικών.

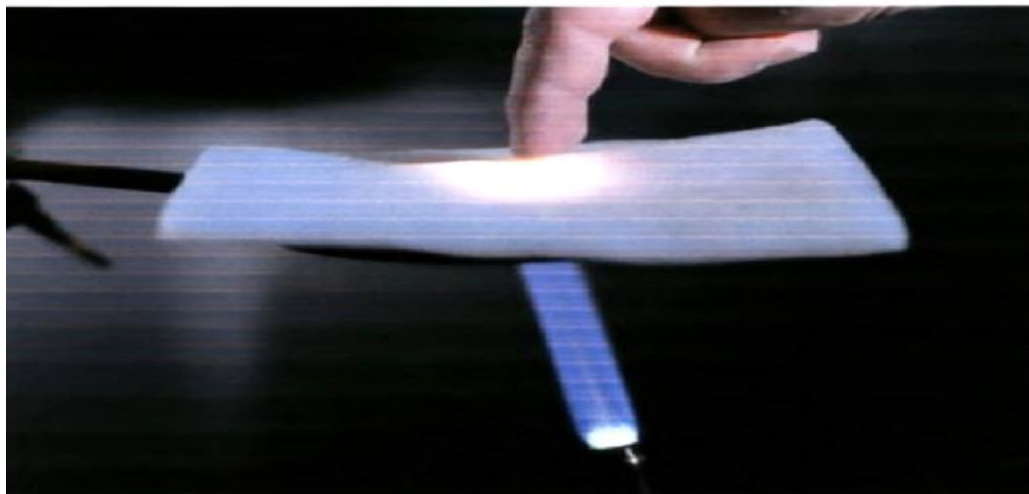
## 2.9 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ-ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ

Η αντίσταση στη φωτιά των κατασκευών από χάλυβα παρέχεται συχνά από μια επίστρωση που παράγεται με ψεκασμός με ένα τσιμεντοειδές. Τα συνηθισμένα επιχρίσματα που βασίζονται στο τσιμέντο portland δεν είναι δημοφιλή, επειδή πρέπει να είναι παχιά, τείνουν να είναι εύθραυστα και οι προσθήκες πολυμερών είναι απαραίτητες για τη βελτίωση της πρόσφυσης. Ωστόσο, η έρευνα στο νανο-τσιμέντο (από νανο-ταξινομημένα μόρια) έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα νέο πρότυπο σε αυτόν τον τομέα εφαρμογής, διότι το παραγόμενο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σκληρό, ανθεκτικό και κατάλληλο για επίστρωση για υψηλές θερμοκρασίες, σχήμα 3.13 Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάμειξη νανοσωλήνων άνθρακα (CNT), με τσιμεντένιο υλικό για την κατασκευή ινών από σύνθετα υλικά που μπορεί να κληρονομήσουν ορισμένες ωφέλιμες ιδιότητες των νανοσωλήνων όπως η ισχύς των ινών πολυπροπυλενίου, (Zhi and Zhili, 2008).

Επίσης, εξετάζονται ως μέθοδος αύξησης της αντίστασης στη φωτιά και αυτό είναι μια φθηνότερη επιλογή από τις συμβατικές μονώσεις. Η χρήση των επεξεργαστών στα συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς που είναι χτισμένα μέσα σε κάθε ανιχνευτή είναι αρκετά καλά εδραιωμένη σήμερα. Αυτές βελτιώνουν την αξιοπιστία με την καλύτερη προσβασιμότητα και την ικανότητα για τον εντοπισμό ψευδών συναγερμών. Η χρήση της νανοτεχνολογίας στο μέλλον μέσω της ανάπτυξης των νανο- ηλεκτρομηχανικών συστημάτων, Nanoelectromechanical systems, (NEMs), θα μπορούσε να δει ολόκληρο το κτίριο να γίνεται ένα δίκτυο ανιχνευτών, καθώς οι συσκευές αυτές ενσωματώνονται σε στοιχεία ή επιφάνειες, (NanoForum, 2006).

Η πυροπροστασία για ξύλο με διάφορα προϊόντα είναι μια προστατευτική επικάλυψη για το σχετικό υλικό σε περίπτωση πυρκαγιάς - που βασίζεται σχεδόν στη φύση, έχοντας ως κύριο συστατικό το νερό – δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο επάνω του ένα μονωτικό στρώμα. Το προστατευόμενο υλικό μπορεί να αποτελείται εντελώς από ξύλο, τάβλες από μελαμίνη ή καπλαντισμένο κόντρα πλακέ για στεγνούς εσωτερικούς χώρους. Το προϊόν αυτό για την πυροπροστασία του ξύλου είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον (άοσμο και δεν περιέχει αλογόνα, βαρέα μέταλλα ή διαλυτικά μέσα). Μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα (βαφή με πινέλο, ρολό ή ψεκαστήρα) και εντελώς διαφανές. Το προϊόν για πυροπροστασία ξύλου περιέχει, ως κύριο συστατικό, έναν υδρογονάνθρακα από άμυλο αραβοσίτου ή πατάτας. Το προστατευτικό στρώμα που θα δημιουργηθεί, αναπτύσσει – σε περίπτωση φωτιάς και

εκπεμπόμενης θερμότητας – αέρια που δεν καίγονται (με αμελητέα παραγωγή καπνού). Προστατεύει έτσι το ξύλο από την επίδραση της φωτιάς, σχηματίζοντας ένα μονωτικό αφρώδες στρώμα, κατά της θερμότητας, από άνθρακα.



**Εικόνα 2- 23** *Νανο-πορώδες μονωτική κουβέρτες: Πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Πυρίτιο αεροζέλ με νανοσωματίδια σε συνδυασμό με ενίσχυση ινών, (Bakker, 2008).*

Η αντοχή στις πυρκαγιές των χαλύβδινων δομών συχνά παρέχεται από επίστρωση που παράγεται με τσιμεντοειδή διαδικασία ψεκασμού. Οι τρέχουσες επικαλύψεις με βάση το τσιμέντο Portland δεν είναι δημοφιλείς επειδή πρέπει να είναι παχιά, τείνουν να είναι εύθραυστες και οι πρόσθετες ύλες πολυμερούς είναι απαραίτητες για τη βελτίωση της πρόσφυσης. Ωστόσο, η έρευνα για το νανο-τσιμέντο (κατασκευασμένο από νανο-μεγέθους σωματίδια) έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα νέο πρότυπο σε αυτόν τον τομέα εφαρμογής, επειδή το προκύπτον υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σκληρή, ανθεκτική, υψηλής θερμοκρασίας επικάλυψη. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάμιξη νανοσωλήνων άνθρακα (CNT's) με το τσιμεντοειδές υλικό για την κατασκευή σύνθετων ινών που μπορούν να κληρονομήσουν μερικές από τις εξαιρετικές ιδιότητες των νανοσωληνίσκων όπως η αντοχή. Οι ίνες πολυπροπυλενίου θεωρούνται επίσης ως μέθοδος αύξησης της αντοχής στη φωτιά και αυτή είναι μια φθηνότερη επιλογή από τη συμβατική μόνωση.

Η χρήση επεξεργαστών σε συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς που είναι ενσωματωμένα σε κάθε κεφαλή ανιχνευτή είναι αρκετά καλά εδραιωμένα σήμερα. Αυτά βελτιώνουν την αξιοπιστία επιτρέποντας την καλύτερη διευθυνσιοδότηση και

την ικανότητα εντοπισμού ψευδών συναγερμών. Η χρήση νανοτεχνολογίας στο μέλλον μέσω της ανάπτυξης νανοηλεκτρομηχανικών συστημάτων (NEMS) θα μπορούσε να καταστήσει ολόκληρα τα κτίρια ανιχνευτές δικτύου. καθώς τέτοιες συσκευές είναι ενσωματωμένες είτε σε στοιχεία είτε σε επιφάνειες

Η NRC επεσήμανε ότι οι επιστήμονες και οι μηχανικοί του εδάφους, με το ενδιαφέρον τους για τη μελέτη σωματιδίων μεγέθους πηλού ( $<0,002 \text{ nm}$ ), είναι από τους πρώτους εργαζόμενους στον τομέα της νανοτεχνολογίας. Οι περισσότεροι τύποι υλικών και ιδιότητες αλλάζουν με κλίμακα. Για παράδειγμα, τα σωματίδια του εδάφους αλλάζουν σε σύνθεση και σχήμα από κυρίως ογκώδες χαλαζία και άστριο σε πηκτώδη μαρμαρυγία και πηλό πάνω από το εύρος των μεγεθών σωματιδίων από την άμμο και το χαλίκι μέχρι το λάσπη και την άργιλο. Μια κεντρική πρόκληση είναι ότι οι ιδιότητες του υλικού μπορεί να επηρεαστούν ή να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας δομικά στοιχεία νανοκλίμακα, ελέγχοντας το μέγεθος, την κατανομή μεγέθους, τη σύνθεση, το σχήμα, την χημεία της επιφάνειας και το χειρισμό της συναρμολόγησης. Η οικοδόμηση δομών νανοκλίμακα απαιτεί μια θεμελιώδη κατανόηση των διαδικασιών νανοκλίμακας.

Σε νανοκλίμακα, η αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων αποκτά σημασία. Τα νανοϋλικά έχουν πολύ υψηλή ειδική επιφανειακή δραστηριότητα (λόγος επιφάνειας προς μάζα) και χημική δραστηριότητα που εξαρτάται από την επιφάνεια. Για παράδειγμα, η ειδική επιφάνεια ενός κύβου  $1 \text{ nm}$  είναι περίπου  $2400 \text{ m}^2 / \text{g}$ . Η μέγιστη ειδική επιφάνεια για πηλό βεντονίτη (μοντμοριλλονίτης νατρίου) είναι περίπου  $800 \text{ m}^2 / \text{g}$  και περίπου τα μισά από τα συστατικά άτομα εκτίθενται στην επιφάνεια και έτσι διατίθενται για χημικές αλληλεπιδράσεις.

Υψηλή ειδική επιφάνεια σημαίνει υψηλή ικανότητα απορρόφησης και μεγάλη ευαισθησία σωματιδίων νανομεγέθους σε ειδικά προσροφημένα υλικά. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των νανοσωματιδίων προσδιορίζονται από τις διασωματιδιακές ηλεκτρικές δυνάμεις. Το pH και η ιοντική συγκέντρωση του υδατικού υγρού πόρου μεταβάλλουν την χημεία της επιφάνειας μέσω διάλυσης, πρωτονίωσης και προσρόφησης. Επομένως, τα χαρακτηριστικά ρευστού πόρων επηρεάζουν την αυτοσυναρμολόγηση των νανοσυστατικών και τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα τους.

Το έδαφος και ο βράχος είναι τα πιο άφθονα και χαμηλότερου κόστους υλικά κατασκευής στον κόσμο. Σε ορισμένες καταστάσεις (π.χ., πυκνή, ξηρή και συνεκτική) είναι ισχυρές και ανθεκτικές. Σε άλλα (π.χ. χαλαρά, υγρά και μαλακά) είναι αδύναμα και ακατάλληλα. Είναι δυνατόν ή ακόμη και αντιληπτό ότι η νέα γνώση και η

ανάπτυξη διαδικασιών στη νανοκλίμακα μπορεί κάποια μέρα να μετασχηματίσει αυτά τα υλικά με τρόπους που μπορούν να τους κάνουν ακόμα πιο χρήσιμο και οικονομικό; Συγκεκριμένα, οι εξελίξεις στη νανοτεχνολογία μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση της θεμελιώδους συμπεριφοράς του λεπτόκοκκου εδάφους στο επίπεδο των σωματιδίων και να οδηγήσουν στην ανάπτυξη επεξεργασμένων εδαφών λεπτών κόκκων. Τα άμεσα διαθέσιμα μικροσκόπια ατομικής δύναμης χρησιμοποιούνται τώρα σε μελέτες ορυκτών για να διερευνήσουν τοπικές μεταβολές ορυκτών σε αργίλους, όπως επιφανειακό φορτίο και τοπικές υδροφοβία σε ορυκτές επιφάνειες.

Περαιτέρω εξελίξεις θα επιτρέψουν τη χρήση νανομαγνητών για χειρισμό πολύ μικρών διαμαγνητικών ορυκτών αργίλου και για τη μελέτη αντιδράσεων ορυκτών επιφανειών χρησιμοποιώντας μικροσκοπία χημικής δύναμης. Αν και τα περισσότερα φαινόμενα νανοκλίμακας δεν έχουν μελετηθεί στο πλαίσιο των γεωϋλικών, η αυτοσύνθεση των νανοσωματιδίων σε υδατικά διαλύματα συνεπάγεται φαινόμενα στάθμης σωματιδίων παρόμοια με το σχηματισμό υφάσματος από σωματίδια μεγέθους πηλού. Το σχηματισμό υφασμάτων από πηλό είναι εξαρτώμενο από τη χημεία των ορυκτών και των υγρών των πόρων. Αν και οι εφαρμογές νανοτεχνολογίας στη γεωμηχανική είναι σε μεγάλο βαθμό διερευνητικές προς το παρόν, μπορούν να φανταστούν και άλλες εφαρμογές στη γεωμηχανική που θα αλλάξουν ριζικά την πρακτική.

Για παράδειγμα, φανταστείτε την κατασκευή δοκών αργίλου, πυρήνων αργίλου και βάσεων εδάφους με τη χρήση μεταλλικών σωματιδίων υψηλών επιφανειών που έχουν κατασκευαστεί από ελεγχόμενα αυτοσυναρμολογημένα πηλίνα συσσωματώματα για να αποκτήσετε μακροσκοπική συμπεριφορά που προκύπτει από εξαιρετικές *μηχανικές ιδιότητες*, (π.χ. εξωτερικό έλεγχο τριβής για τη διευκόλυνση της συμπίεσης, ενώ παράλληλα αυξάνουν τη μακροχρόνια αντοχή, ευαίσθητες στην υγρασία πορώδεις μεμβράνες, καθώς και ειδικές και μοναδικές *χημικές ιδιότητες*, (π.χ. μηχανικές συνθήκες διαβροχής όπως στο NanoTurf. μεταβληθείσα ισορροπία φάσης για υγρά σε μικρούς πόρους. και συγκεκριμένες *ηλεκτρικές ιδιότητες*, (π.χ. εξαιρετικές μαγνητικές και πολικές ιδιότητες). Ορισμένες από αυτές τις εξελίξεις γίνονται ήδη, για παράδειγμα, στη μηχανική κατεργασία καολίνης και κατακρημνισμένων ανθρακικών αλάτων για τις βιομηχανίες επικάλυψης και βαφής χαρτιού.



Τα νανοσωματίδια μπορούν επίσης να κατασκευαστούν ώστε να λειτουργούν ως λειτουργικοί νανοαισθητήρες και συσκευές που μπορούν να αναμιχθούν εκτενώς στη μάζα του εδάφους ή να χρησιμοποιηθούν ως έξυπνοι ιχνηθέτες για την χημική ανάλυση *in situ*, τον χαρακτηρισμό της ροής των υπόγειων υδάτων και τον προσδιορισμό της συνδετικότητας κατάγματος, μεταξύ άλλων εφαρμογών πεδίου.

## 2.10 ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΞΥΛΟ

Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι μια νέα ανακάλυψη, ενώ το ξύλο είναι ένα αρχαίο υλικό το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί από την αυγή του πολιτισμού. Ωστόσο, ίσως δεν αποτελεί έκπληξη το δεδομένο ότι στην εξελικτική διαδικασία της φύσης, το ξύλο αποτελείται επίσης από νανοσωλήνες ή νανο-ινίδια, (nanofibrils), δηλαδή, λιγνοκυτταρινική, (lignocellulosic), (ξυλώδης ιστός), στοιχείο που είναι δύο φορές πιο ισχυρό από τον χάλυβα. Συλλέγοντας αυτά τα νανο-ινίδια θα οδηγούσε σε ένα νέο πρότυπο για αειφόρο δόμηση καθώς τόσο η παραγωγή όσο και η χρήση θα είναι μέρος ενός ανανεώσιμου κύκλου. Ορισμένοι προγραμματιστές έχουν σκεφτεί ότι η λειτουργικότητα του κτιρίου με λιγνοκυτταρινικές επιφάνειες στη νανοκλίμακα θα μπορούσε να ανοίξει νέες ευκαιρίες όπως οι αυτό- αποστειρούμενες επιφάνειες, η εσωτερική αυτό-επιδιόρθωση, και η κατασκευή των ηλεκτρονικών λιγνοκυτταρινικών συσκευών. Αυτές οι μη ενεργητικής ή παθητικής νανοκλίμακας αισθητήρες θα παράσχουν πληροφορίες σχετικά με τις επιδόσεις του προϊόντος και τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας από την παρακολούθηση των διαρθρωτικών φορτίων, τις θερμοκρασίες, την υγρασία, τους μύκητες αποσύνθεση, θερμικές απώλειες ή τα κέρδη, και την απώλεια του κλιματισμού. Επί του παρόντος, ωστόσο, η έρευνα στους τομείς αυτούς εμφανίζεται περιορισμένη. Λόγω της φυσικής ύπαρξης του, το ξύλο είναι πρωτοπόρος στην διεπιστημονική έρευνα και τεχνικών μοντελοποίησης που έχουν ήδη αποφέρει καρπούς σε δύο τουλάχιστον τομείς, (Moon et. al., 2006).

Πρώτον, η BASF έχει αναπτύξει μια πολύ αδιάβροχη επίστρωση που βασίζεται στις ενέργειες του φύλλου του λωτού ως αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης του πυριπίου και των νανοσωματιδίων αλουμίνας και υδρόφοβων πολυμερών. Και, Δεύτερον, οι μηχανικές μελέτες των οστών έχουν προσαρμοστεί με το μοντέλο από ξύλο, για παράδειγμα στην διαδικασία ξήρανσης. Με την ευρύτερη έννοια, η νανοτεχνολογία αντιπροσωπεύει μια σημαντική ευκαιρία για τη βιομηχανία ξύλου για την ανάπτυξη νέων προϊόντων, και για να μειώσει σημαντικά το κόστος επεξεργασίας, θα ανοίξει δε νέες αγορές για βιολογικά καθοριζόμενα, (Biobased), υλικά. Στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ξύλου που το κατέστησε μια μοναδική και ενδιαφέρουσα ύλη για τη νανοτεχνολογία περιλαμβάνονται, (Wegner, 2005) τα ακόλουθα:

- Το ξύλο είναι ένα από τα πιο άφθονα και πανταχού παρούσα βιολογικά πρώτων ύλων.
- Το ξύλο έχει μια νανο-ινώδη κυψελοειδή αρχιτεκτονική που βασίζεται στην κυτταρίνη των νανοϊνών.
- Το ξύλο είναι αυτό-συναρμολογούμενο μέσω της ελεγχόμενης και επαναλαμβανόμενης βίο ελεγχόμενης διεργασίας σύνθεσης από το επίπεδο νανοκλίμακας στο επίπεδο μακροχωροθέτηση.
- Η λιγνοκυτταρίνη ως νανοϋλικό και οι αλληλεπιδράσεις της με άλλα νανοϋλικά είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητη.
- Το ξύλο έχει την ικανότητα να γίνει πολύ-λειτουργικό και
- Το ξύλο αποτελεί ακρογωνιαίό λίθο για την προώθηση της βιομάζας με βάση τις ανανεώσιμες πηγές και την αειφόρο οικονομία.

Επιπλέον, τα υλικά με βάση το ξύλο μπορούν εύκολα να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν.

Η Χρησιμοποίηση της νανοτεχνολογίας στα υλικά με βάση το ξύλο θα μπορούσε να οδηγήσει στο μέλλον σε πέρα από κάθε φαντασία ευκαιρίες ανάπτυξης για τα βιολογικά προϊόντα. Η νανοτεχνολογία θα οδηγήσει σε μια μοναδική επόμενη γενιά βιολογικών προϊόντων που θα έχουν υπέρ- απόδοση και αυτό-συντήρηση. Τα προϊόντα αυτά θα έχουν ιδιότητες αντοχής που τώρα μπορεί κανείς δει μόνο στα σύνθετα υλικά με βάση τον άνθρακα. Αυτά τα νέα Βιολογικά προϊόντα με τις βελτιωμένες ιδιότητες, θα είναι σε θέση να αντέχουν σε περιβάλλοντα με πολύ υγρασία. Βελτιώσεις για τις υφιστάμενες χρήσεις θα περιλαμβάνουν την ανάπτυξη χωρίς ρητίνης των βίο σύνθετων ή ξύλο-πλαστικών ενισχυμένων σύνθετων υλικών σε αντοχής και λειτουργικότητα, λόγω της νανο-ενισχυμένης ίνας και χρησιμοποίησής της έως πλαστικό συγκόλλησης. Η νανοτεχνολογία θα επιτρέψει την ανάπτυξη των ευφυών ξύλων και των βίο-σύνθετων προϊόντων με μια σειρά από νανο-αισθητήρες για την μετρήσει τις δυνάμεις, των φορτίων, του επιπέδου υγρασίας, της θερμοκρασία, την πίεση, και των εκπομπών χημικών προϊόντων.

Η νανοτεχνολογία μπορεί επίσης να αναπτυχθεί στην ανίχνευση προειδοποίησης για επιθέσεις στο ξύλο από μύκητες και τερμίτες που το καταστρέφουν. Η κατασκευή κτιρίων που φέρουν λιγνοκυτταρινικές επιφάνειες στη νανοκλίμακα θα μπορούσε να ανοίξει νέες ευκαιρίες για πράγματα όπως αυτό-αποστείρωσης επιφανειών, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και των ηλεκτρονικών συσκευών με λιγνοκυτταρινική. Η μεγάλη δύναμη της κυτταρίνης προσφέρει την

ευκαιρία για ελαφρύτερα, ισχυρότερα υλικά με μεγαλύτερη αντοχή. Αυτά τα νέα υλικά θα έχουν μεγάλες επιπτώσεις στην χρήση του ξύλου σε όλες τις φάσεις της κατασκευής, βοηθώντας το ξύλο και υλικά με βάση αυτό στην αντιμετώπιση των υφιστάμενων ελλείψεων.

Νέα προϊόντα νανοτεχνολογίας -που είναι διασπορές πολυμερών- αδιαβροχοποιούν τις ξύλινες επιφάνειες διεισδύοντας βαθιά στους πόρους των επιφανειών και επιτυγχάνουν χημική τροποποίηση αντιδρώντας με τα δομικά συστατικά (κυτταρίνη, λιγνίνη, ημικυτταρίνες), καθώς και επικαλύπτοντας τα μικροϊνίδια του ξύλου, (Moon et. al., 2006) Έτσι, βελτιώνονται τόσο οι μηχανικές ιδιότητες, όσο κυρίως η διαστασιακή σταθερότητα (βλ. ρίκνωση-διόγκωση) του ξύλου. Κατά συνέπεια, τα απείρως μικρά νανοσωματίδια «ντύνουν» την πολύ μεγάλη εσωτερική επιφάνεια του ξύλου εξασφαλίζοντας την απώθηση του νερού, σχήμα 3.8, ή την απομάκρυνση παραγόντων διάβρωσης με χημικές δυνάμεις. Έτσι επιτυγχάνεται σημαντική προστασία του ξύλου. Η προστασία αυτή φαίνεται ότι δεν επηρεάζεται από τριβή, μηχανική καταπόνηση, ηλιακή επίδραση ή άλλη φθορά.



**Εικόνα 2- 24** Νανο-προστασία του ξύλου, (Moon et. al., 2006).

Επίσης, εξασφαλίζει και βελτιωμένη αντοχή στη γήρανση, δηλ. με απλά λόγια εξασφαλίζεται μεγάλη αντοχή (φυσική διάρκεια) στο χρόνο, που μπορεί να φτάσει και τα 10 χρόνια. Για τις κλιματικές συνθήκες της χώρας μας - οι οποίες είναι «πολύ δύσκολες» για το ξύλο - φαίνεται ότι η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία δεν επηρεάζει την εν λόγω προστασία, ούτε προκαλεί μεταχρωματισμούς (π.χ. κίτρινο χρώμα). Τα σκευάσματα αυτά δεν δημιουργούν φιλμ (coating) στην επιφάνεια και συνεπώς δεν αλλοιώνουν την όλη εμφάνιση των επιφανειών, ωστόσο, σε παρατηρήσεις ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σε μακρομοριακό επίπεδο έχουν καταγραφεί μεταβολές στην αρχιτεκτονική υποδομή (μικροδομή) του ξύλου.

Η χρήση της νανοτεχνολογίας αποτελεί μία πραγματική ευκαιρία για την ανάπτυξη νέων προϊόντων στη βιομηχανία ξύλου, τα οποία θα μειώσουν ουσιαστικά τις δαπάνες επεξεργασίας. Αν και το ξύλο είναι ανθεκτικό και ισχυρό από τη φύση του, η υπαίθρια έκθεση μπορεί να υποβιβάσει τις φυσικές του ιδιότητες, καθώς και την αισθητική του ομορφιά. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης έχουν αναπτυχθεί νέα επιστρώματα για τις ξύλινες επιφάνειες. Με τη χρήση της νανοτεχνολογίας τα επιστρώματα προστατεύουν το ξύλο από την ηλιακή ακτινοβολία, χωρίς να το αποχρωματίζουν, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής του και διατηρώντας την ομορφιά του. Επιπλέον, του προσδίδουν άριστη αντίσταση στο νερό και συγχρόνως απωθούν τους λεκέδες. Έτσι, το ξύλο μπορεί να διατηρείται καθαρό.

## 2.10 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΛΥΡΟΔΕΜΑ

Το σκυρόδεμα είναι τεχνητό υλικό που αποτελείται κατά βάση από αδρανή (χαλίκι και άμμο), συγκολλημένα μέσω του σκληρυσμένου τσιμεντοπολτού σε μονολιθική μάζα. Τα αδρανή είναι μεν το φθινό συστατικό, αλλά έχουν πολύ ικανοποιητικές βασικές ιδιότητες όπως η μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα σε διάρκεια και περιβαλλοντικές επιδράσεις (χημικές ουσίες, υγρασία, κύκλους ζέστης και παγωνιάς, υψηλές θερμοκρασίες), σταθερότητα όγκου και υδατοστεγανότητα.

Ο τσιμεντοπολτός αποτελείται από τσιμέντο, νερό και (χημικά) πρόσμεικτα ή πρόσθετα. Ενώ έχει σημαντικά υψηλότερο κόστος από τα αδρανή, στη σκληρυμένη του μορφή ο τσιμεντοπολτός δεν έχει εξίσου καλές βασικές ιδιότητες. Ο ρόλος του είναι να συνδέει τα κενά μεταξύ των αδρανών και να συνδέει τα αδρανή, μετατρέποντας τα, από σύνολο ισχυρών αλλά ασύνδετων κόκκων σε τεχνητό πέτρωμα. Επιπλέον λειτουργεί σαν λιπαντικό μεταξύ των κόκκων των αδρανών, έτσι ώστε το νωπό σκυρόδεμα να είναι μια ρευστή αλλά συνεκτική μάζα. (αποφυγή απόμειξης).

### Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος

Από τη φύση του το σκυρόδεμα είναι ανομοιογενές υλικό. Η ανομοιογένεια αυτή οφείλεται σε μικροδιαφορές στην ποιότητα των υλικών (κυρίως των αδρανών) και την αναλογία τους στο μίγμα (λόγω π.χ. απορρύθμισης των ζυγιστηρίων, του αναμικτήρα κλπ) και σε διαφορές στη διάστρωση, συμπύκνωση ή συντήρηση του σκυροδέματος από θέση σε θέση κατασκευής (π.χ. περιοχές μεγάλης ή μικρής πυκνότητας οπλισμού, επιφάνεια ή εσωτερικό ενός δομικού στοιχείου, κρυφή ή βάση ενός υποστυλώματος ή τοιχώματος κλπ). Λόγω της ανομοιομορφίας αυτής η ποιότητα, και πιο συγκεκριμένα η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ένα σημείο της κατασκευής,  $f_c$ , θεωρείται σαν τυχαία μεταβλητή, χαρακτηρίζεται δηλ από μία πιθανοτική κατανομή, με μέσο όρο,  $f_{cm}$ , τυπική απόκλιση  $s$  κλπ.

Καθοριστικά για την ασφάλεια μιας κατασκευής είναι τα αδύνατα σημεία της. Γι' αυτό ο σχεδιασμός των δομικών στοιχείων βασίζεται όχι στη μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος,  $f_{cm}$ , αλλά σε μία μικρότερη τιμή, τη χαρακτηριστική αντοχή,  $f_{ck}$ . Κατά γενικά αποδεκτή σήμερα σύμβαση, σαν χαρακτηριστική αντοχή ορίζεται η τιμή εκείνη κάτω από την οποία έχει πιθανότητα 5% να βρεθεί η αντοχή ενός τυχαίου

δοκιμίου σκυροδέματος (δηλ. αν ολόκληρη η ποσότητα του σκυροδέματος μετατρεπόταν σε δοκίμια, μόνο το ποσοστό υπό αντοχής  $p=5\%$  των αντοχών αυτών των δοκιμών θα ήταν κάτω από την χαρακτηριστική αντοχή και το υπόλοιπο  $95\%$  θα ήταν πάνω απ' αυτήν). Έτσι αν η αντοχή του σκυροδέματος ακολουθεί την κανονική κατανομή πιθανοτήτων (κατανομή Gauss), με μέση τιμή  $f_{cm}$  και τυπική απόκλιση  $s$ , είναι :  $f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \times s$  όπου ο συντελεστής  $-1,645$  αντιστοιχεί σε τιμή της σωρευτικής συνάρτησης κατανομής κατά Gauss ίση με  $5\%$ . Έτσι δύο σκυροδέματα με διαφορετική διασπορά ή διαφορετικό έλεγχο ποιότητας και επομένως διαφορετικές τιμές της τυπικής απόκλισης,  $s$ , θεωρούνται ισοδύναμα από απόψεως ασφάλειας, αν έχουν την ίδια χαρακτηριστική αντοχή,  $f_{ck}$ . Αυτό σημαίνει πως αυτό που έχει τη μεγαλύτερη διασπορά ή το χειρότερο έλεγχο ποιότητας (δηλ. τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση), θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη μέση τιμή  $f_{cm}$  και επομένως μεγαλύτερο κόστος.

Οι νεότεροι κανονισμοί ορίζουν κατηγορίες σκυροδέματος, με βάση την χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή,  $f_{ck}$ . Έτσι σύμφωνα με τον νέο Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος οι κατηγορίες σκυροδέματος είναι οι ακόλουθες:

Κατηγορία σκυροδέματος	κυλ. (MPa)	κύβου (MPa)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

### **Πίνακας 1- 1.** Κατηγορίες σκυροδέματος

όπου ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου ( $f_{ck}$ ), ενώ ο δεύτερος την χαρακτηριστική αντοχή κύβου ( $f_{ck,cube}$ ) σε Μρα, στις 28 ημέρες.

## **ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

### **ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ**

Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος είναι βιομηχανικό κοκκώδες υλικό με υδραυλικές ιδιότητες. Δηλαδή σκληραίνει όταν αναμιγνύεται με το νερό σχηματίζοντας προϊόντα αδιάλυτα στο νερό. Είναι γνωστό ότι το τσιμέντο αποτελεί από αρχαιοτάτων χρόνων εξαιρετη υδραυλική κονία με εξαιρετικές ιδιότητες. Χρησιμοποιείται ευρύτατα και σήμερα σε πολλές πρακτικές εφαρμογές, εκτός από την βιομηχανοποιημένη διαδικασία παραγωγής σκυροδέματος, καθώς εκτός από υψηλή υδραυλικότητα συνδυάζει και υψηλές αντοχές.

#### *Παραγωγή:*

Το τσιμέντο, σε αντίθεση με άλλες κονίες ,είναι βιομηχανικό προϊόν που παρασκευάζεται από τη σύγχρονη όπτηση **ασβεστόλιθου** και **αργίλου**.

Η σειρά των εργασιών από την εξόρυξη των πρώτων υλών ως το τελικό προϊόν είναι η ακόλουθη :

**α)** Εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων και αργιλικών εδαφών χωριστά. Τα πετρώματα αυτά περνούν από σπαστήρες, ώστε να τεμαχιστούν και να αποκτήσουν διάμετρο μερικών εκατοστών.

**β)** Μετά την έξοδο τους από τους σπαστήρες γίνεται ανάμειξη των δύο υλικών. (**προομοιογενοποίηση**)

**γ)** Έπειτα αλέθονται σε τριβεία, ώστε να αποκτήσουν διάμετρο λίγων χιλιοστών. Το προϊόν της αλέσεως, λεπτόκοκκο μείγμα ασβεστολιθικής και αργιλικής άμμου, αποθηκεύεται σε σιλό και ονομάζεται **φαρίνα**.

**δ)** Το μείγμα εισάγεται στο επάνω άκρο κυλινδρικής καμίνου, η οποία περιστρέφεται αργά γύρω από τον άξονα της. Η θερμότητα παράγεται από καυστήρα



πετρελαίου, τοποθετούμενη στο κάτω άκρο της. Η θερμοκρασία μέσα στην κάμινο είναι περίπου 600 °C στο επάνω άκρο και φτάνει στους 1500 °C στο κάτω άκρο, που είναι και το σημείο εξόδου των προϊόντων. Τα προϊόντα της οπτήσεως ονομάζονται **εκβολάδες** ή διεθνώς **klinker**. Έχουν διάμετρο λίγων εκατοστών, χρώμα μαυροπράσινο και αποτελούν, κατά κάποιον τρόπο, τα πετρώματα του τσιμέντου.

ε) Τα προϊόντα αυτά της οπτήσεως, οι εκβολάδες, αλέθονται και αποκτούν τη γνωστή μορφή του τσιμέντου. Το υλικό αυτό, όπως προκύπτει από την άλεση των klinker, χωρίς καμιά προσθήκη ή τροποποίηση, ονομάζεται “**τσιμέντο Πόρτλαντ**”.

#### **Τύποι τσιμέντου:**

Κάθε χώρα παγκοσμίως παρασκευάζει τσιμέντο, χρησιμοποιώντας τις πηγές πρώτων υλών που διαθέτει. Έτσι ανάλογα με τις υπάρχουσες και χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες δημιουργήθηκαν οι διάφοροι τύποι τσιμέντων που παράγονται παγκοσμίως, όπως το καθαρό ή αμιγές τσιμέντο, το τσιμέντο με ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα πυριτική ή ασβεστολιθική, σκωρία υψικαμίνου, πυριτική παιπάλη, ασβεστόλιθο κλπ.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι τσιμέντου:

<b>Σ</b>	<b>ΤΥΠΟ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>
	CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
	CEM II	Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ
III	CEM	Σκωριοτσιμέντο
IV	CEM	Ποζολανικό Τσιμέντο
	CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο

**Πίνακας 1- 2.** Βασικοί τύποι τσιμέντου.

Βασικοί τύποι τσιμέντου.

- **Τσιμέντο Τύπου I (CEMI), Πόρτλαντ αμιγή:** χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση Κλίνκερ και γύψου.
- **Τσιμέντο Τύπου II (CEMII), Σύνθετα τσιμέντα Πόρτλαντ:** χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την συνάλεση Κλίνκερ - Πόρτλαντ, γύψου και ποζολάνης, φυσικής ή τεχνητής προέλευσης σε ποσοστά από 6-35% κατά μέγιστο.
- **Τσιμέντο Τύπου ΠΙ (CEMIII), Σκωριακά τσιμέντα ή σκωριοτσιμέντα:** χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την συνάλεση Κλίνκερ, γύψου και σκωρίας μόνο σε ποσοστά από 36-95% κατά μέγιστο.
- **Τσιμέντο Τύπου IV (CEMIV), Πουζολανικά τσιμέντα:** χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από τη συνάλεση Κλίνκερ -Πόρτλαντ, γύψου και ποζολάνης που μπορεί να είναι φυσική ή ψημένη, ιπτάμενη τέφρα πυριτική ή ασβεστόχυα και πυριτική παιπάλη. Δεν μπορεί να περιέχει σκωρία.
- **Τσιμέντο Τύπου V (CEMV), Σύνθετα τσιμέντα:** χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την συνάλεση Κλίνκερ, γύψου, σκωρίας και σε ίσο ποσοστό ποζολάνη φυσική ή ψημένη ή πυριτική ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστά από 36-50% κατά μέγιστο. Δεν μπορεί να περιέχει πυριτική παιπάλη.

#### **Κατηγορίες αντοχής τσιμέντων:**

Από άποψη αντοχής τα τσιμέντα κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες: 35, 45 και 55

Οι αριθμοί παριστάνουν την αντοχή των τσιμέντων σε MPa όπως προσδιορίζεται συμβατικά σύμφωνα με τον κανονισμό. Έτσι, ένα τσιμέντο: **I /35** σημαίνει ότι είναι τύπου I και συμβατικής αντοχής 35 MPa. Ο ρυθμός αύξησης της αντοχής του τσιμέντου επιτυγχάνεται συνήθως με αύξηση της λεπτότητας (Blaine). Ένα λεπτόκοκκο τσιμέντο (Blaine=4000 cm<sup>2</sup>/g) έχει γρηγορότερο ρυθμό αύξησης της αντοχής από ένα χονδροαλεσμένο τσιμέντο (Blaine=2500-3000 cm<sup>2</sup>/g). Θεωρητικά οι τύποι των τσιμέντων θα ήταν 9. Οι παραγόμενοι όμως τύποι είναι

λιγότεροι γιατί είτε δεν είναι όλοι οι συνδυασμοί πρακτικά εφικτοί, είτε δεν είναι απαραίτητοι στην πράξη.

### **Χρήση τσιμέντων στην Ελλάδα:**

Σήμερα στην Ελληνική αγορά, εκτός από μικρή μερίδα ειδικών τσιμέντων, χρησιμοποιούνται ευρέως τα γνωστά τσιμέντα Πόρτλαντ που συνοπτικά αναφέρονται παρακάτω:

- **Τσιμέντο Πόρτλαντ - I/45:** Παρουσιάζει γρήγορη ανάπτυξη αντοχών και είναι κατάλληλο για την κατασκευή σκυροδεμάτων υψηλών κατηγοριών και δομικών στοιχείων που απαιτούν γρήγορο ξεκαλούπωμα (προκατασκευή και προεντεταμένο σκυρόδεμα).

- **Τσιμέντο Πόρτλαντ - I/55:** Η χρήση του στο εσωτερικό είναι περιορισμένη. Οι ποιότητες και οι χρήσεις του είναι ανάλογες με το τσιμέντο I/45 με επιδόσεις καλύτερες, κυρίως στην ανάπτυξη αντοχών.

- **Τσιμέντο Πόρτλαντ με Ποζολάνη - II/35:** Στην αγορά είναι γνωστό με την ονομασία "κοινό τσιμέντο" ή Π 35. Χρησιμοποιείται για τα σκυροδέματα των συνήθων κατασκευών. Η ανάπτυξη των αντοχών του είναι βραδύτερη συγκριτικά με τους τύπους I, αλλά λόγω της παρουσίας ποζολανικών υλικών στη σύνθεσή του, συνεχίζονται να αυξάνονται μακροχρόνια οι αντοχές του σκυροδέματος με αποτέλεσμα την αύξηση της ανθεκτικότητάς του. Το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται με το τσιμέντο αυτό, παρουσιάζει μειωμένη ανάπτυξη θερμοκρασιών (χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης), μειωμένη διαπερατότητα και αυξημένη ανθεκτικότητα στα θειικά άλατα, το θαλασσινό νερό και σε διάφορα διαβρωτικά περιβάλλοντα (χρήση σε λιμενικά έργα).

- **Τσιμέντο Πόρτλαντ με Ποζολάνη - II/45 (ΠΥΑ 2000):** Χρησιμοποιείται κυρίως σε έργα της ΔΕΗ (φράγματα, σήραγγες). Είναι τσιμέντο ανάλογο του II/35 και έχει βελτιωμένα τα ειδικά χαρακτηριστικά και το ρυθμό ανάπτυξης των αντοχών έναντι του II/35. Είναι κατάλληλο για χρήση σε λιμενικά έργα.

- **Τσιμέντο Πόρτλαντ ανθεκτικό στα θειικά - JV/55:** Το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται με το τσιμέντο αυτό, παρουσιάζει ισχυρή αντίσταση στις προσβολές από τα θειικά άλατα και το θαλασσινό νερό. Ειδικότερα, η χρήση του για σκυροδετήσεις με αυξημένο βαθμό χημικής προσβολής καθορίζεται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

- **Τσιμέντο Πόρτλαντ Λευκό - I/55:** Κύριο χαρακτηριστικό του είναι η λευκότητα. Έχει ιδιότητες και επιδόσεις αντίστοιχες με αυτές του τσιμέντου I/55

και χρησιμοποιείται στην πλακοποιία, στην κατασκευή διακοσμητικών στοιχείων, μωσαϊκών δαπέδων κλπ.

Η ποσότητα του τσιμέντου εξαρτάται:

- από την κατηγορία του παρασκευαζομένου σκυροδέματος
- από την ποιότητα του τσιμέντου
- από το μέγεθος των κόκκων του τσιμέντου (λεπτότητα αλέσεως)

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι ενδεικτικές ποσότητες ανά κατηγορία σκυροδέματος για ένα κυβικό μέτρο ( $m^3$ ) σκυροδέματος.

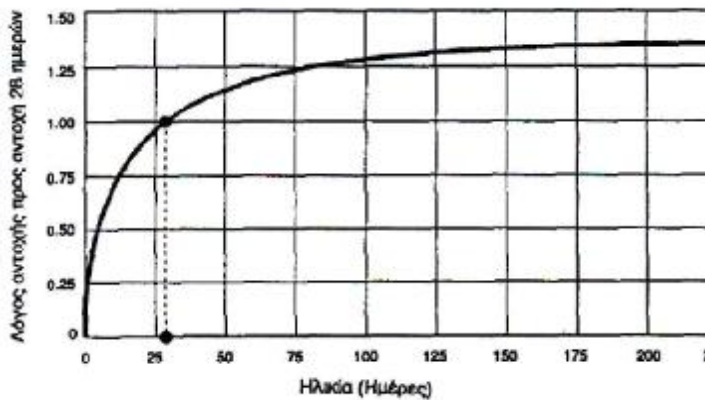
α/α	Κατηγορία σκυροδέματος	Ποσότητα τσιμέντου σε Kg ανά $m^3$ σκυροδέματος
1	C8	240-250
2	C12	280-300
3	C16	300-350
4	C20	350-400
Ενδεικτικές ποσότητες για 1 $m^3$ σκυροδέματος.		

**Πίνακας 1- 3.** Ενδεικτικές ποσότητες ανά κατηγορία σκυροδέματος για ένα κυβικό μέτρο ( $m^3$ ) σκυροδέματος.

Το σκυρόδεμα πρέπει να περιέχεται η απαιτούμενη και συγχρόνως η μικρότερη δυνατή ποσότητα τσιμέντου, ώστε να είναι δυνατόν να επιτευχθεί η απαιτούμενη θλιπτική αντοχή και να προστατεύονται οι οπλισμοί από την διάβρωση.

### **Ενυδάτωση του τσιμέντου:**

Η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος οφείλονται αποκλειστικά στη χημική δράση μεταξύ τσιμέντου και νερού. Τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό ύστερα από μία σειρά περίπλοκων χημικών αντιδράσεων που διαρκούν επί χρόνια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ενυδάτωση** του τσιμέντου. Με την ανάμιξη του τσιμέντου με το νερό δημιουργείται μια γκριζοπράσινη πολτώδης μάζα, η τσιμεντοκονία. Για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, το μείγμα δεν φαίνεται να παρουσιάζει καμιά μεταβολή. Αργότερα όμως φαίνεται ότι αρχίζει να πήζει προοδευτικά έως ότου στερεοποιηθεί τελείως. Το φαινόμενο αυτό καλείται **πήξη της τσιμεντοκονίας** και οι χαρακτηριστικές στιγμές αλλαγής της φυσικής καταστάσεως ονομάζονται αρχή και τέλος της πήξεως. Κατά το χρονικό διάστημα ως την αρχή της πήξεως, ο τσιμεντοπολτός είναι ακόμη επιδεικτικός κατεργασίας και μεταφοράς. Γι αυτό και ο κανονισμός ορίζει ότι η αρχή της πήξεως για τα κοινά τσιμέντα δεν πρέπει να εμφανίζεται νωρίτερα από μία ώρα από τη στιγμή ανάμιξης των δύο υλικών και το τέλος της πήξεως αργότερα από 8 ώρες. Στην περίπτωση του σκυροδέματος, δηλαδή του μίγματος τσιμέντου, νερού και αδρανών υλικών, ο χρόνος ως την αρχή της πήξεως γίνεται δύο έως τέσσερις φορές μεγαλύτερος.



**Εικόνα 2- 25** Ανάπτυξη της αντοχής του τσιμεντοπολτού με το χρόνο.

### **Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου**

#### **Ποζολάνες**

Η ονομασία ποζολάνη προήλθε από την περιοχή Pozzuolίτης Ιταλίας, όπου οι Ρωμαίοι είχαν ανακαλύψει ότι το έδαφος της περιοχής παρουσίαζε υδραυλικές ιδιότητες. Γαίες της περιοχής χρησιμοποιούσαν οι Ρωμαίοι στα κονιάματα τους.

Σήμερα ποζολάνες ονομάζουμε πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, που έχουν την δυνατότητα να ενώνονται με την υδράσβεστο  $\text{Ca(OH)}_2$  και να σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις, που με το χρόνο σκληρύνονται και αποκτούν μικρές ή μεγαλύτερες αντοχές. Η δράση αυτή οφείλεται κυρίως στο άμορφο πυριτικό υλικό των πολοζανών.

Για να χρησιμοποιηθεί μια ποζολάνη για την παρασκευή τσιμέντων τύπου II ή III πρέπει να ικανοποιεί την δοκιμή δραστηριότητας που προβλέπει ο Κανονισμός, δηλαδή να παρουσιάζει συμβατική αντοχή τουλάχιστον 5 Μρα. Στην Ελλάδα υπάρχουν ηφαιστιογενείς γαίες με ποζολανικές ιδιότητες σε πολλές περιοχές, όπως ή Θήρα (θηραϊκή γη), η νήσος Μήλος (Μηλαϊκή γή), τα νησιά Γιαλί και Νίσυρος των Δωδεκανήσων, στο νομό Πέλλης και αλλού. Αξίζει να αναφερθεί επίσης ότι η θηραϊκή γη χρησιμοποιείται από τις ελληνικές βιομηχανίες τσιμέντου ως πρόσμικτο ποζολανικό υλικό τσιμέντου από το 1930 περίπου.

### ***Ιπτάμενη τέφρα(παιπάλη)***

Ιπτάμενη τέφρα ονομάζουμε τα σε λεπτότατο καταμερισμό κατάλοιπα που προκύπτουν από την καύση γαιανθράκων ή λιγνιτών και που συλλέγονται κατά την έξοδο των αερίων καύσεως από τις καπνοδόχους των ατμοηλεκτρικών σταθμών με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Η δραστηριότητα των τεφρών οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  και  $\text{CaO}$ . Οι δύο πρώτες ενώσεις προσδίδουν στην τέφρα ποζολανικές ιδιότητες ενώ το οξειδίο του Ca υδραυλικές ιδιότητες. Στην Ελλάδα ιπτάμενη τέφρα παράγεται στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της Δ.Ε.Η. στην Πτολεμαΐδα και στη Μεγαλόπολη.

### ***Φίλλερ (Filler)***

Φίλλερ ονομάζουμε υλικά, συνήθως αδρανή, σε **λεπτότατο** καταμερισμό. Τα φίλλερ σε μικρές ποσότητες επιδρούν ευνοϊκά στο εργάσιμο και την υδατοπερατότητα. Η δράση τους είναι κυρίως μηχανική, δηλαδή δρουν σαν λιπαντικό για το εργάσιμο και με τη διόγκωση των κόκκων παρουσία υγρασίας αυξάνουν την υδατοστεγανότητα. Σπανίως παρουσιάζουν και ποζολανικές ή υδραυλικές ιδιότητες. Αυτό όμως εξαρτάται από το αρχικό υλικό από το οποίο προέρχεται το φίλλερ.

## ΤΟ ΝΕΡΟ

### *Γενικά:*

Ένα από τα κυριότερα συστατικά του σκυροδέματος είναι το νερό. Το νερό που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι πόσιμο, καθαρό και απαλλαγμένο από βλαπτικές ουσίες (οργανικά ή ανόργανα στερεά, θειικά άλατα, οξέα) σε μεγάλο ποσοστό γιατί μπορούν να βλάψουν την ποιότητα του σκυροδέματος και να προκαλέσουν διάβρωση του οπλισμού. Ο Ν.Κ.Τ.Σ. επιτρέπει την χρήση θαλασσινού νερού μίξης σε άοπλο φέρων σκυρόδεμα, αν η απαιτούμενη αντοχή αυξηθεί κατά 15%.

### **Λόγος τσιμέντου-νερού (υδατοτσιμεντοσυντελεστής):**

Είναι γνωστό ότι στην αντοχή του σκυροδέματος παίζει σπουδαίο ρόλο ο λόγος κατά βάρους του νερού προς τσιμέντο w/z. Όσο μικρότερος είναι ο λόγος αυτός τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του σκυροδέματος.

Έχει παρατηρηθεί ότι η άριστη αναλογία w/z κυμαίνεται μεταξύ 0,4 για σκυροδέματα υψηλής αντοχής και 0,5 για σκυροδέματα χαμηλότερης αντοχής. Επίσης παρατηρείται ότι, ενώ μια απόκλιση προς τα επάνω από το άριστο ποσοστό κατά 10% συνεπάγεται μείωση της αντοχής του σκυροδέματος κατά 15% περίπου, μια ίση απόκλιση προς τα κάτω, συνεπάγεται μείωση της αντοχής του σκυροδέματος κατά 30% περίπου. Είναι επομένως φρόνιμο, κατά την επιδίωξη της βέλτιστης αναλογίας νερού να παραμένει κανείς πάντοτε για λόγους ασφαλείας προς τα επάνω, παρά να κινδυνεύει η ποσότητα νερού να είναι μικρότερη της βέλτιστης με συνέπεια να υποστεί αλματώδη πτώση η αντοχή του παραγόμενου σκυροδέματος.

Τέλος η ποσότητα του νερού δεν πρέπει να είναι τόσο λίγη ώστε να παραβλάπεται η καλή κατεργασία του όλου μίγματος.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται ο μέγιστος λόγος w/z κατά μέσο όρο για κάθε ποιότητα σκυροδέματος:

α/α	Ποιότητα σκυροδέματος	Μέγιστος λόγος βάρους w/z για m <sup>3</sup> σκυροδέματος
1	C8	0,70
2	C12	0,575
3	C16	0,485
4	C20	0,42
Μέγιστος λόγος w/z για κάθε ποιότητα σκυροδέματος.		

*Πίνακας 1- 4. Μέγιστος λόγος w/z κατά μέσο όρο για κάθε ποιότητα σκυροδέματος.*

## **ΑΔΡΑΝΗ**

### ***Προέλευση αδρανών:***

Γενικά τα αδρανή ( που ονομάζονται έτσι γιατί είναι από χημική άποψη αδρανή προς το τσιμέντο) προέρχονται απευθείας από τη φύση ή με συλλογή από ρέματα κλπ (φυσικά ή συλλεκτά) ή από θραύση πετρωμάτων (θραυστά). Για τα κοινά σκυροδέματα και τις ελληνικές συνθήκες, τα καλύτερα αδρανή προέρχονται από ασβεστολιθικά ή πυριτικά πετρώματα.

### ***Η μορφή των κόκκων:***

Οι κόκκοι μπορεί να είναι στρογγυλοί, κυβόμορφοι, γωνιώδεις, πλακόμορφοι ή επιμήκεις. Από πλευράς εργασιμότητας καλύτεροι είναι οι στρογγυλοί ή κυβόμορφοι κόκκοι ενώ από πλευράς μηχανικής αντοχής του σκυροδέματος, οι κόκκοι με ανώμαλη επιφάνεια. Δηλαδή συνολικά καλύτερα είναι τα θραυστά αδρανή με κόκκους που δεν είναι επιμήκεις και πλακοειδείς.

Τα αδρανή υλικά ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:



Κατηγορία αδρανών	Μέγεθος κόκκων
α) Άμμος	μέχρι 2,5 mm
β) Λεπτόκοκκα σκύρα	ριζάκι 2,5-7 mm γαρυμπίλι 7-14 mm σκύρα 14-30 mm
γ) Χονδροκόκκα σκύρα	30-70 mm
Κατάταξη αδρανών με βάση το μέγεθος του κόκκου.	

*Πίνακας 1- 5.* Κατηγορίες αδρανών υλικών ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων.

#### **Αντοχή των αδρανών:**

Για την ικανοποιητική αντοχή του σκυροδέματος, το υλικό των αδρανών (δηλ. το πέτρωμα) πρέπει να έχει μεγάλη μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα στο χρόνο, μικρή επιφανειακή φθορά σε κρούση, χημική αδράνεια σε σχέση με το τσιμέντο και το νερό (και με τις ουσίες που περιέχονται σε αυτό) και σταθερότητα όγκου (π.χ. να μην διογκώνεται λόγω απορρόφησης νερού) .

Ο Ν.Κ.Τ.Σ θεωρεί σαν ικανοποιητική τιμή της αντοχής σε θλίψη του πετρώματος τα 65 MPa , επειδή όμως για τις συνήθεις στην Ελλάδα κατηγορίες σκυροδέματος η αντοχή του τελευταίου ελάχιστα επηρεάζεται από την αντοχή του πετρώματος των αδρανών, ο κανονισμός επιτρέπει και την χρήση αδρανών με αντοχή πετρώματος μεταξύ 45 MPa και 65 MPa, εφόσον με τα αδρανή αυτά είναι δυνατή η επίτευξη της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος που έχει προδιαγραφεί.

Εφόσον πληρούν την προϋπόθεση αυτή, αδρανή από μητρικό πέτρωμα με αντοχή μικρότερη και από 45 MPa μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο για την παρασκευή σκυροδέματος που η επιφάνεια του πρόκειται να επιχρισθεί, καθότι με τέτοια αδρανή η αντοχή της επιφάνειας του σκυροδέματος σε φθορά από τη χρήση και σε κρούση είναι αμφίβολη.

### **Γενικά για τα αδρανή υλικά:**

Τα αδρανή υλικά πρέπει να είναι:

- σταθερά ώστε να μην θρυμματίζονται εύκολα
- ανθεκτικά από σκληρά πετρώματα (γρανίτες και ασβεστόλιθοι)
- καθαρά και απαλλαγμένα από φυτικές και άλλες επιβλαβείς προσμίξεις (πηλός, χημικά δραστικές ουσίες, άνθρακες).
- σταθερά στις καιρικές αλλαγές (μεταβολές θερμοκρασίας και υγρασίας)
- απαλλαγμένα από παιπάλη με διάμετρο μικρότερη από 0,075 mm
- καλά διαβαθμισμένα. Η κοκκομετρική καμπύλη της άμμου, των σκύρων και του μίγματος αυτών πρέπει να βρίσκεται μέσα στις περιοχές που περιλαμβάνονται στα διαγράμματα που προβλέπουν οι κανονισμοί. Κάθε υλικό που παρουσιάζει κοκκομετρική σύνθεση, τέτοια ώστε η κοκκομετρική του καμπύλη να βρίσκεται εκτός από τις επιτρεπόμενες υπό των προδιαγραφών καμπύλες, ή η κοκκομετρική του καμπύλη να είναι ασυνεχής, πρέπει να απορρίπτεται ή να βελτιώνεται προτού χρησιμοποιηθεί.

Επίσης ισχύουν τα παρακάτω:

- Τα αδρανή μέχρι 7 mm- χωρίς τσιμέντο- πρέπει να καλύπτουν το 35-45% της συνολικής ποσότητας των αδρανών
- Ανάλογα με την ποιότητα του σκυροδέματος τα αδρανή υλικά μπορούν να προσκομίζονται στο εργοτάξιο αναμεμιγμένα ή διαβαθμισμένα.
- Προκειμένου για σκυρόδεμα C<sub>8</sub> τα αδρανή υλικά μπορούν να είναι αμμοχάλικα ποταμού ή θραυστά λατομείου αναμεμιγμένα αρκεί μακροσκοπικός να είναι προφανές ότι περιέχουν και αρκετό χονδρόκοκκο υλικό.
- Προκειμένου όμως για σκυροδέματα ανώτερης ποιότητας πρέπει να προσκομίζονται σε ξεχωριστές ομάδες. Για μεν τα σκυροδέματα C<sub>12</sub> και C<sub>16</sub> να προσκομίζονται σε τρεις διαβαθμίσεις (άμμος, γαρμπίλι, σκύρα).
- Για δε τα σκυροδέματα C<sub>20</sub> και άνω σε τέσσερις διαβαθμίσεις (άμμος, ριζάκι, γαρμπίλι, σκύρα).
- Όταν χρησιμοποιούνται θραυστά αδρανή και προπαντός θραύστη άμμος καλό είναι να προστίθενται σε αυτά και άμμος ποταμών.

### **Αποθήκευση των αδρανών:**

Τέλος η αποθήκευση των αδρανών πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε:

α) Να μην διαχωρίζονται οι κόκκοι των αδρανών, όπως π.χ. συμβαίνει όταν ένα χονδρόκοκκο αδρανές αδειάζετε από μεγάλο ύψος ή όταν αναμοχλεύεται.

β) Να αποφεύγεται η ανάμιξη διαφορετικών αδρανών, όπως π.χ. συμβαίνει όταν δύο σωροί εφάπτονται χωρίς ενδιάμεσο χώρισμα.

γ) Να αποφεύγεται η ρύπανση τους από επιβλαβείς προσμίξεις (χώμα, λύματα κ.λ.π.)

### **Φυσικές ιδιότητες των μετάλλων**

Τα μέταλλα παρουσιάζουν χαρακτηριστικές φυσικές ιδιότητες. Αυτές είναι:

- Η μεταλλική λάμψη
- Η στερεά κατάσταση στις συνθήκες περιβάλλοντος πλην του υδραργύρου
- Το μεγάλο ειδικό βάρος
- Η υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα
- Η καλή μηχανική αντοχή Επίσης:
- Μπορούν να πάρουν τη μορφή σύρματος ή ράβδου, δηλαδή είναι **όλκιμα** υλικά.
- Μπορούν να πάρουν τη μορφή ελασμάτων, δηλαδή είναι **ελατά** υλικά.
- Επηρεάζουν το μαγνητικό πεδίο. Η επιρροή στο μαγνητικό πεδίο είναι πολύ έντονη στο **σίδηρο**, στο **νικέλιο** και στο **κοβάλτιο**.

Οι παραπάνω ιδιότητες, μεμονωμένες, δεν αρκούν για να χαρακτηρίσουμε κάποιο υλικό ότι είναι μέταλλο. Π.χ.:

- Μεταλλική λάμψη παρουσιάζουν και αρκετά αμέταλλα (π.χ. αντιμόνιο).
- Καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορούμε να συναντήσουμε και σε πολλά ακόμη υλικά (π.χ. άνθρακας).
- Κατά συνέπεια, για να χαρακτηρίσουμε κάποιο υλικό ως μέταλλο, θα πρέπει να δούμε αν έχει **όλες μαζί** τις ιδιότητες που προαναφέραμε.
- Ο βαθμός που παρουσιάζει ένα μέταλλο την κάθε ιδιότητά του ποικίλλει. Π.χ.:

- Το αλουμίνιο μπορεί να λάβει μορφή λεπτών αλλά ανθεκτικών ελασμάτων, όπως είναι το γνωστό σε όλους αλουμινόχαρτο. Τα περισσότερα από τα άλλα μέταλλα δε διαμορφώνονται σε ελάσματα πάχους μικρότερου από 0,1 mm.
- Ο χαλκός παρουσιάζει 6,5 φορές μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα και 6 φορές μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα από το σίδηρο.
- Το τιτάνιο παρουσιάζει τριπλάσια μηχανική αντοχή από το σίδηρο.

## Σύσταση

Χάλυβες καλούνται τα κράματα σιδήρου (Fe) και άνθρακα (C), με περιεκτικότητα σε άνθρακα κάτω του 1,8%. Στη σύνθεση των χαλύβων συνδυάζονται με το σίδηρο διάφορα στοιχεία σε ποσοστιαίες αναλογίες που δεν ξεπερνούν κατά κανόνα το 5%. Συστατικά στοιχεία κάθε χάλυβα αποτελούν ο άνθρακας, σε ποσοστά που κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 0,2% και 0,7%, και το πυρίτιο (Si), σε ποσοστό μεταξύ 0,1% και 0,7% και ενίοτε έως και 4% σε ειδικούς χάλυβες. Η αναλογία σε άνθρακα καθορίζει ουσιαστικώς τις ιδιότητες των διαφόρων χαλύβων. Όσο αυξάνεται το ποσοστό του άνθρακα στο κράμα αυξάνονται αναλόγως η σκληρότητα και η αντοχή του σε τάσεις εφελκυσμού, ενώ παραλλήλως μειώνονται η συνεκτικότητα και η πλαστιμότητα.

Στην αντίθετη περίπτωση, μειώνοντας δηλαδή το ποσοστό του άνθρακα, αυξάνεται η καταλληλότητα προς συγκόλληση (Schweisseignung). Το μαγγάνιο (Mn) συμμετέχει σε ποσοστό 0,3% έως 0,8% αλλά και 12% και 15% σε χάλυβες πολύ μεγάλης σκληρότητας και αντοχής στη φθορά. Η παρουσία του ενισχύει την συγκολλησιμότητα του σιδήρου, η οποία δεν υφίσταται σε κράματα με περιεκτικότητα άνθρακα άνω του 0,15%. Στην σύσταση πολλών ειδικών χαλύβων συμμετέχουν το χρώμιο (Cr), το νικέλιο (Ni), το μολυβδαίνιο (Mo) και άλλα στοιχεία, ώστε να αποκτήσει το τελικό προϊόν τις ιδιαίτερες ιδιότητες που απαιτούνται σε κάθε περίπτωση.

Ο φωσφόρος (P), το θείο (S) και το οξυγόνο (O) αποτελούν επιβλαβή στοιχεία στη σύνθεση, τα οποία προσδίδουν αρνητικές ιδιότητες στον χάλυβα όπως ψαθυρότητα (φωσφόρος), μαλακότητα (θείο), δημιουργία ανεπιθύμητων ασυνεχειών – φυσαλίδων – κατά την χύτευση (οξυγόνο). Για τον λόγο αυτό η περιεκτικότητα των στοιχείων αυτών στο χάλυβα πρέπει να κυμαίνεται σε ποσοστά κατά πολύ μικρότερα του 0,1%.

Με τις κατάλληλες αναλογίες των συστατικών στοιχείων στην χημική του σύσταση και σε συνδυασμό με μία ακριβή θερμική επεξεργασία, οι ιδιότητες του χάλυβα είναι δυνατόν να ρυθμιστούν με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να εξυπηρετείται ο σκοπός της εκάστοτε χρήσης του.

Με βάση τη χρήση του χάλυβα μπορούμε να ξεχωρίσουμε ορισμένες γενικές κατηγορίες:

- Δομικός Χάλυβας
- Χάλυβας Οπλισμού
- Ανοξειδωτος Χάλυβας
- Χάλυβας εργαλείων
- Πυρίμαχος Χάλυβας
- Χάλυβας κοπής
- Χάλυβας απότμησης
- Απαραμόρφωτος Χάλυβας
- κ.α. ειδικοί χάλυβες

Για την Οικοδομική χρήση έχουν ιδιαίτερη σημασία οι χάλυβες οι οποίοι περιγράφονται στο ΕΛΟΤ EN 10025 «Προϊόντα μη κεκραμένων κατασκευαστικών χαλύβων θερμής έλασης – Τεχνικοί όροι παράδοσης», καθώς και οι ανοξειδωτοι χάλυβες και ορισμένοι χάλυβες για ήλους.

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες παράγονται από κράματα με περιεκτικότητα χρωμίου τουλάχιστον 12%. Πρόσθετα νικελίου ή μολυβδαινίου βελτιώνουν την ικανότητα αντίστασης στην διάβρωση. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι δεν υφίστανται χάλυβες οι οποίοι δεν διαβρώνονται. Υπάρχουν μόνον χάλυβες που υπό συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος δεν οξειδώνονται. Είναι λοιπόν απαραίτητο κατά την χρήση των ανοξειδωτων χαλύβων να επιλέγεται ο κατάλληλος για την εκάστοτε εφαρμογή.

Οι λεπτόκοκκοι χάλυβες παράγονται από χάλυβες χαμηλού κράματος και υψηλής αντοχής. Αυτοί οι χάλυβες είναι μικρής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Εκ του λόγου αυτού προκύπτει υψηλή καταλληλόλητά συγκόλλησης.

## **Παρασκευή**

Ο Χάλυβας παρασκευάζεται με εξανθράκωση του χυτοσιδήρου. Ταυτόχρονα απομακρύνονται κατά το δυνατόν το θείο και ο φωσφόρος, στοιχεία τα οποία όπως

προαναφέρθηκε είναι επιβλαβή, και ρυθμίζεται η περιεκτικότητα σε μαγγάνιο και πυρίτιο, στοιχεία τα οποία εμπεριέχονται στον ακατέργαστο σίδηρο. Οι παραπάνω ρύποι απομακρύνονται δια της καύσης με την πρόσδωση οξυγόνου. Η επιθυμητή χημική σύσταση του χάλυβα επιτυγχάνεται με την αποξείδωση και την προσθήκη ασβέστου για την δέσμευση του φωσφόρου.

Για την αποφυγή δημιουργίας φουσαλίδων, οι οποίες μπορούν να δημιουργηθούν κατά την χύτευση του ρευστού χάλυβα εξαιτίας υπολειμμάτων οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα, προστίθενται στο κράμα συμπληρωματικώς πυρίτιο, μαγγάνιο, ασβέστιο ή αλουμίνιο. Οι κατ' αυτόν τον τρόπο επεξεργασμένοι χάλυβες ονομάζονται ησυχασμένοι. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι δεν επηρεάζονται από την γήρανση και συγκολλούνται ιδιαιτέρως καλά.

Βάσει του τρόπου παρασκευής οι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

- Ησυχασμένος χάλυβας
- Αφρίζων χάλυβας
- Χάλυβας τήξης
- Χάλυβας Χωνευτηρίου
- Κονιομεταλλουργικός Χάλυβας

### **Μέθοδοι μορφοποίησης των μετάλλων**

Με τον όρο μορφοποίηση νοείται η πρόσδωση μορφής γενικά. Ο όρος διαμόρφωση σημαίνει την πρόσδωση μορφής με πλαστική παραμόρφωση. Η διαμόρφωση συχνά αναφέρεται με τον όρο «πλαστική διαμόρφωση».

Οι μέθοδοι μορφοποίησης των μετάλλων είναι βασικά τρεις:

- I. Η Χύτευση.
- II. Η διαμόρφωση με πλαστική παραμόρφωση.
- III. Η διαμόρφωση με αφαίρεση υλικού ή μηχανουργική κατεργασία.

**Η χύτευση** στηρίζεται στο χαμηλό σημείο τήξεως ορισμένων μετάλλων και στην ευχυτότητα δηλαδή την ιδιότητα που έχουν ορισμένα ρευστά μέταλλα να γειμίζουν με ακρίβεια όλες τις κοιλότητες ενός καλουπιού. Η χύτευση δεν εξασφαλίζει συχνά το επιθυμητό τελείωμα ενός αντικειμένου και απαιτεί πρόσθετη μηχανουργική επεξεργασία.

**Η μηχανουργική κατεργασία** επιτυγχάνει την μορφή ενός αντικειμένου με την αφαίρεση υλικού. Αν και από τεχνολογική άποψη έχει αυτοματοποιηθεί πλήρως για παραγωγή ακριβείας και εν σειρά όμως οδηγεί σε μεγάλες απώλειες μετάλλου και χάνει έδαφος. Διατηρεί όμως την σημασία της ως συμπληρωματική μέθοδος.

**Η διαμόρφωση με πλαστική παραμόρφωση** είναι ο πιο εκτεταμένος κλάδος της μορφοποίησης των μετάλλων. Η πλατιά εφαρμογή της οφείλεται στην μεγάλη έκταση της πλαστικής περιοχής των μετάλλων. Όταν εφαρμοσθούν τάσεις πέρα από το όριο ελαστικότητας, τα μέταλλα δεν θραύονται αλλά παραμορφώνονται πλαστικά. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που εκμεταλλεύονται αυτή την ιδιότητα. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να γίνουν εν θερμώ ή εν ψυχρώ, πράγμα που σημαίνει την κατεργασία πάνω ή κάτω από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του μετάλλου. Οι εν ψυχρώ τεχνικές δίδουν προϊόντα μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής αλλά και πιο εύθραυστα. Επίσης είναι πιο ευπρόσβλητα στην διάβρωση και στην προσβολή από φωτιά.

Επομένως απαιτούν αποτελεσματικότερα μέτρα για την προστασία από διάβρωση και πυροπροστασία. Οι τεχνικές αυτές είναι:

- **Η έλαση**, όπου η διατομή ενός μεταλλικού τεμαχίου μειώνεται με πέρασμα ανάμεσα από δύο κυλίνδρους που στρέφονται κατ' αντίθετη φορά. Η έλαση είναι μια διεργασία εν ψυχρώ.

- **Η διέλαση**, όπου εκμεταλλευόμαστε τις ρεολογικές ιδιότητες του μετάλλου, δηλαδή την ικανότητα του να συμπεριφέρεται σε ορισμένη θερμοκρασιακή περιοχή σαν πλαστική μάζα. Το μέταλλο με την βοήθεια ενός εμβόλου αναγκάζεται να περάσει μέσα από σπή ορισμένου σχήματος, αποχτώντας την ανάλογη διατομή. Η διέλαση είναι μία κατεργασία εν θερμώ.

- **Η ολκή**, όπου εν θερμώ ή εν ψυχρώ επιτυγχάνονται μεγάλες μειώσεις διατομής με τράβηγμα μέσω μίας σπής (φιλιέρας). Είναι η μέθοδος της συρματοργίας.

- **Η σφυρηλασία**, όπου η αποτύπωση επιτυγχάνεται με κρούση ή συμπίεση. Γενικά οι εφαρμοζόμενες δυνάμεις για την μορφοποίηση της μάζας του μετάλλου είναι διακοπτόμενες και όχι συνεχείς. Η σφυρηλασία μπορεί να γίνει εν ψυχρώ ή εν θερμώ.

Η πρώτη διαμόρφωση γίνεται αποκλειστικά με έλαση σε μεγάλες μεταλλουργικές μονάδες και οδηγεί σε ημιπροϊόντα τα οποία μπορεί και διοχετευθούν κατευθείαν στην κατανάλωση. Το μεγαλύτερο όμως μέρος των ημιπροϊόντων

υφίσταται και δεύτερη κατεργασία διαμόρφωσης σε επιχειρήσεις κάθε είδους που ασχολούνται με τεχνικές διαμόρφωσης με πλαστική παραμόρφωση καθώς και με θερμικές ή επιφανειακές διαδικασίες.

### **Η μορφοποίηση χαλύβδινων διατομών για μεταλλικές κατασκευές**

Η μορφοποίηση του χάλυβα πραγματοποιείται με όλες τις προαναφερθείσες μεθόδους αλλά την κύρια θέση έχουν οι τεχνικές πλαστικής διαμόρφωσης. Αυτό οφείλεται σε μια σειρά πλεονεκτημάτων όπως:

- Οικονομία του υλικού. Οι τεχνικές πλαστικής διαμόρφωσης έχουν γενικά υψηλή απόδοση σε υλικό. Ιδιαίτερα η σφυρηλασία εν θερμώ λειτουργεί πρακτικά χωρίς τη δημιουργία αποκομμάτων (scraps).
- Υψηλή παραγωγικότητα. Τα μηχανήματα έχουν σχεδιασθεί για συνεχή παραγωγή.
- Απαιτούν σε ελάχιστες περιπτώσεις την επέμβαση μηχανουργικής επεξεργασίας.
- Εγγυώνται υψηλότερο βαθμό ασφαλείας, γιατί εξασφαλίζουν εσωτερική δομή του μετάλλου χωρίς εσωτερικά σφάλματα ή σε κάθε περίπτωση τα σφάλματα είναι ομοιομορφότερα και λεπτομερέστερα κατανεμημένα σε σύγκριση με τα χυτά.

Όσον αφορά τα προϊόντα χάλυβα που χρησιμοποιούνται στις μεταλλικές κατασκευές αυτά παλαιότερα κατασκευαζόταν με διέλαση. Ακόμη και σήμερα το μεγαλύτερο μέρος των μεταλλικών στοιχείων για την φέρουσα κατασκευή παράγεται με διέλαση. Οι πρόοδοι της κατασκευαστικής τεχνολογίας η βελτίωση των μεθόδων προστασίας από διάβρωση και πυροπροστασίας οδήγησαν στη μόρφωση και χρήση λεπτότοιχων διατομών ψυχράς ελάσεως. Το βασικότερο πλεονέκτημα της χρήσεως των λεπτότοιχων διατομών ψυχράς ελάσεως είναι η αυξημένη αντοχή με συνέπεια την μείωση του βάρους. Οι λεπτότοιχες διατομές ψυχράς ελάσεως χρησιμοποιούνται πλέον και ως φέροντα δομικά στοιχεία δευτερευούσης σημασίας αλλά και ως καλύψεις.

### **Η τυποποίηση των σιδηρούχων υλικών**

Οι χάλυβες και τα λοιπά σιδηρούχα υλικά έχουν εκτενή χρήση και σημαντική συμμετοχή στον τεχνικό πολιτισμό μας.



Στη σύγχρονη εποχή, μετά τη βιομηχανική επανάσταση, υπήρχε ανάγκη τα υλικά αυτά να έχουν κάποια ταυτότητα, από την οποία θα ήταν αναγνωρίσιμες οι ιδιότητες του συγκεκριμένου υλικού, δηλαδή η σύστασή του, η αντοχή του και οι λοιπές τεχνολογικές του ιδιότητες. Η ταυτότητα των υλικών συνήθως οριζόταν με κάποιο αλφαριθμητικό τρόπο.

Έτσι οι οργανισμοί τυποποίησης των διαφόρων κρατών προχώρησαν από νωρίς στην τυποποίηση των χαλύβων. Οι χάλυβες τυποποιήθηκαν με βάση εθνικά πρότυπα, στα οποία ο κάθε χάλυβας (ή άλλο υλικό) ταυτοποιείτο με συνήθως με ένα συνδυασμό γραμμάτων και αριθμών, π.χ. St37.2, GG-30, X 5 CrNi18 12 .

Αργότερα αναπτύχθηκε και σύστημα ταυτοποίησης των χαλύβων μέσω αριθμών, π.χ. χάλυβας 1.0037, χυτοσίδηρος 0.6030, χάλυβας 1.4303.

Κάθε οργανισμός τυποποίησης, ουσιαστικά κάθε χώρα, χρησιμοποιούσε τα δικά της σύμβολα. Έτσι δημιουργούσε εν μέρει και ένα είδος συστήματος προστατευτισμού έναντι των εισαγωγών από άλλες χώρες.

Η χώρα μας, τεχνολογικά μη προχωρημένη, και με περιορισμένη παραγωγή και χρήση χαλύβων, δεν ανέπτυξε δικό της σύστημα τυποποίησης των χαλύβων. Στη χώρα μας οι χάλυβες, ανάλογα με την εφαρμογή (στην οποία θα είχε μεγαλύτερη επίδραση μια συγκεκριμένη ξένη χώρα) χρησιμοποιούσαμε τυποποίηση και σύμβολα κυρίως είτε κατά DIN, είτε κατά κάποιο αμερικανικό σύστημα (π.χ. API, ASME, ATM), είτε αργότερα κατά ISO (όταν πλέον ιδρύθηκε ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης).

Με τη δημιουργία της πρώτης μορφής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα (European Coal and Steel Community)) τέθηκαν τα θεμέλια για την άρση των μέτρων προστατευτισμού στη διακίνηση των προϊόντων χάλυβα και αναγνωρίσθηκε η ανάγκη για κοινή ευρωπαϊκή τυποποίηση.

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα, πρόδρομος της Ευρωπαϊκής Ένωσης ήταν μια Οικονομική Ένωση μεταξύ 6 κρατών, του Βελγίου, της Γαλλίας, της Γερμανίας, της Ιταλίας, του Λουξεμβούργου και της Ολλανδίας. Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα ιδρύθηκε με τη συμφωνία του Παρισιού στις 18 Απριλίου 1951, η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 23 Ιουλίου 1952.

Οι Ευρωνόρμες (EURONORMS, το όνομα γραφόταν επισήμως με κεφαλαία γράμματα,) άρχισαν να εκδίδονται από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και

Χάλυβα τη δεκαετία του 1950 για να ρυθμίσουν τη διακίνηση των προϊόντων μεταξύ των 6 κρατών- μελών. Οι Ευρωνόρμες περιείχαν προ παντός τεχνικούς όρους παράδοσης και μεθόδους δοκιμής για τους χάλυβες και τα ημίτοιμα προϊόντα χάλυβα.

## **Η ευρωπαϊκή τυποποίηση**

Η ευρωπαϊκή τυποποίηση[12] ήλθε να αντικαταστήσει τις εθνικές τυποποιήσεις, ώστε τελικά να υπάρχουν μόνον κοινά ευρωπαϊκά πρότυπα. Τα ευρωπαϊκά πρότυπα συντάσσονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN (Comite Europeen de Normalisation, European Committee for Standardisation, Europaisches Komitee fur Normung) .

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός με αποστολή να υποστηρίξει την ευρωπαϊκή οικονομία στο διεθνές εμπόριο, την ευημερία των ευρωπαίων πολιτών και την προστασία του περιβάλλοντος με την ανάπτυξη, διατήρηση και διανομή συναφών προτύπων και προδιαγραφών. Έχει έδρα τις Βρυξέλλες.

Η CEN ιδρύθηκε το 1961. Στη CEN συμμετέχουν όλοι οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Γαλλία, Γερμανία, Δανία, Ελλάδα, Εσθονία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ιρλανδία, Ισπανία, Ιταλία, Κύπρος, Λετονία, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Ολλανδία, Ουγγαρία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Σουηδία, Τσεχία και Φιλανδία), καθώς και των 3 άλλων κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης Ελεύθερο υ Εμπορίου (European Free Trade Association , EFTA, Ελβετία, Ισλανδία, Νορβηγία).

Η Ελλάδα εκπροσωπείται από τον ΕΛΟΤ, τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης.

Συνδεδεμένα μέλη με τη CEN είναι οι Οργανισμοί Τυποποίησης ορισμένων άλλων κρατών, μη μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Αλβανία, Αρμενία, Βοσνία-Ερζεγοβίνη, Κροατία, FYROM, Γεωργία, Ισραήλ, Ιορδανία, Λίβανος, Μολδαβία, Μαυροβούνιο, Σερβία, Τυνησία, Τουρκία, Ουκρανία), οι οποίοι συμμετέχουν ως παρατηρητές.

Ο Οργανισμός Τυποποίησης της Αυστραλίας είναι Συνεργαζόμενος Οργανισμός. Η CEN είναι επίσημα αναγνωρισμένη ως ένας Οργανισμός Τυποποίησης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι άλλοι επίσημα αναγνωρισμένοι Οργανισμοί Τυποποίησης είναι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), η οποία ιδρύθηκε συγχρόνως με τη CEN, και το Ευρωπαϊκό Ίδρυμα Τυποποίησης στις Τηλεπικοινωνίες ETSI (European Telecommunications Standards Institute) με έτος ίδρυσης το 1988.

Το 1982 οι CEN και CENELEC ανακηρύχθηκαν ως “Κοινό Ευρωπαϊκό Ίδρυμα Τυποποίησης”. Όμως το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο αποφάσισε το 1999 ότι οι τρεις Οργανισμοί Τυποποίησης συνεργάζονται αρμονικά και ότι η συγχώνευση τους δεν θα έχει καθαρά αποτελέσματα.

Η CEN έχει συστήσει ειδικές Τεχνικές Επιτροπές (Technical Committees, TC's), κάθε μια υπεύθυνη για την τυποποίηση σε ένα συγκεκριμένο τομέα (π.χ. για τους λέβητες, για τις εγκαταστάσεις αερίου κλπ). Κάθε Τεχνική Επιτροπή μπορεί να έχει μία ή περισσότερες ομάδες εργασίας για επί μέρους αντικείμενα του γενικού πεδίου, για την τυποποίηση εντός του οποίου είναι υπεύθυνη.

Η CEN έχει ακόμη κάποιους Συνδεδεμένους Φορείς Τυποποίησης (Associated Standards Bodies), όπως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση του Σιδήρου και του Χάλυβα ECISS (European Committee for Iron and Steel Standardization) και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Τυποποίηση στις Βιομηχανίες Αεροδιαστημικής και Άμυνας ASD-STAN (Aero Space and Defence Industries of Europe - Standardization).

Οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης εργάζονται από κοινού για τη σύνταξη των προτύπων.

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα συνεπάγονται την υποχρέωση της υιοθέτησης ως πανομοιότυπου εθνικού προτύπου και την απόσυρση αντιτιθέμενων εθνικών προτύπων.

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα στις περισσότερες περιπτώσεις συντάσσονται για να βοηθηθεί η βιομηχανία στην εφαρμογή Ευρωπαϊκών Οδηγιών. Πρόκειται για τα εναρμονισμένα πρότυπα, η εφαρμογή των οποίων αποτελεί απόδειξη εφαρμογής της αντίστοιχης Ευρωπαϊκής Οδηγίας. Γενικά η απόδειξη εφαρμογής της Οδηγίας δεν

απαιτεί εφαρμογή εναρμονισμένων προτύπων, με λίγες εξαιρέσεις, για τις οποίες η απόδειξη εφαρμογής της Οδηγίας απαιτεί εφαρμογή εναρμονισμένων προτύπων. Έτσι π.χ. για την Οδηγία 97/23/EK για το εξοπλισμό υπό πίεση (π.χ. δοχεία υπό πίεση, λέβητες), αν και υπάρχουν εναρμονισμένα πρότυπα, η εφαρμογή της Οδηγίας μπορεί να γίνει με άμεση εφαρμογή της ίδιας της Οδηγίας.

Αντιθέτως η Οδηγία 89/106/EOK για τα προϊόντα δομικών κατασκευών (π.χ. σωλήνες για αέριο εντός κτιρίου, καπνοδόχοι κλπ) απαιτεί εφαρμογή εναρμονισμένων προτύπων (ή, αν δεν υπάρχουν ευρωπαϊκά εναρμονισμένα πρότυπα, εφαρμογή εθνικών προτύπων, τα οποία καταργούνται μόλις τεθούν σε ισχύ τα εναρμονισμένα πρότυπα) και δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της χωρίς πρότυπο.

Όταν τα ευρωπαϊκά πρότυπα τεθούν σε ισχύ, τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να αντικαταστήσουν εντός καθορισμένου χρονικού διαστήματος τα αντίστοιχα εθνικά τους πρότυπα, τα οποία στη συνέχεια καταργούνται. Έτσι, τέθηκε σε ισχύ το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 10255 για χαλυβδοσωλήνες και καταργήθηκαν τα αντίστοιχα πρότυπα ΕΛΟΤ 268 και ΕΛΟΤ 269.

Κατά την πορεία του χρόνου τα ευρωπαϊκά πρότυπα κατά τακτά χρονικά διαστήματα (5 έτη) επανεξετάζονται και βελτιώνονται αν κριθεί ότι επιβάλλεται, π.χ. λόγω μεταβολών στην ευρωπαϊκή νομοθεσία (π.χ. εναρμόνιση με νέα σχετική Οδηγία) ή λόγω τεχνολογικών εξελίξεων στον σχετικό τομέα.

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα διακρίνονται από τα δύο γράμματα EN ακολουθούμενα από ένα αριθμό, π.χ. το πρότυπο EN 10020 για τους ορισμούς και την ταξινόμηση των χαλύβων. Κάθε οργανισμός μέλος της CEN θέτει μπροστά από το EN το δικό της σύμβολο, π.χ. ΕΛΟΤ EN 10020 για την Ελλάδα, DINEN 10020 για τη Γερμανία, BSEN 10020 για το Ηνωμένο Βασίλειο κλπ.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης CEN συνεργάζεται σε ορισμένες περιπτώσεις με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης ISO (International Standardization Organization) για τη σύνταξη κοινά αποδεκτών προτύπων (και την αποφυγή συγκρούσεων και διπλής δουλειάς). Τα κοινά πρότυπα διακρίνονται με το συμβολισμό EN ISO, π.χ. EN ISO9000 και αντίστοιχα για την Ελλάδα ΕΛΟΤ EN ISO9000.

Κατά την πορεία του χρόνου τα ευρωπαϊκά πρότυπα κατά τακτά χρονικά διαστήματα (5 έτη) επανεξετάζονται με βάση την εμπειρία από την εφαρμογή τους και την εξέλιξη της τεχνικής και αναθεωρούνται/βελτιώνονται, αν χρειάζεται.

Η CEN εκτός από πρότυπα συντάσσει Τεχνικές Προδιαγραφές (Technical Specifications, CEN/TS) Τεχνικές Εκθέσεις (Technical Reports, CEN/TR) και οι Τεχνικές Προδιαγραφές (TS) είναι έγγραφα υιοθετημένα από τη CEN, για τα οποία

<sup>3</sup>υπάρχει η μελλοντική δυνατότητα συμφωνίας να γίνουν ευρωπαϊκά πρότυπα, αλλά για τα οποία προς το παρόν δεν μπορεί να ληφθεί η απαιτούμενη υποστήριξη για έγκριση ως ευρωπαϊκό πρότυπο, υπάρχει αμφιβολία ότι μπορεί να επιτευχθεί γενική συναίνεση, το αντικείμενο είναι ακόμη υπό τεχνική εξέλιξη ή υπάρχει κάποιος λόγος ο οποίος εμποδίζει άμεση δημοσίευση ως ευρωπαϊκό πρότυπο.

Μια Τεχνική Προδιαγραφή δεν επιτρέπεται να έρχεται σε αντίθεση με ισχύον ευρωπαϊκό πρότυπο.

Οι τεχνικές εκθέσεις (TR) είναι έγγραφα υιοθετημένα από τη CEN, τα οποία περιέχουν πληροφοριακό υλικό μη κατάλληλο να δημοσιευθεί ως ευρωπαϊκό πρότυπο ή τεχνική προδιαγραφή. Μια Τεχνική Έκθεση μπορεί για παράδειγμα να περιέχει στοιχεία ληφθέντα από έρευνα.

- 
- <sup>3</sup> NRC (2006), Γεωλογική και Γεωτεχνική Μηχανική στη Νέα Χιλιετία: Ευκαιρίες για Έρευνα και Τεχνολογική Καινοτομία. Τεχνική έκθεση, Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας, ISBN: 0-309-65331-2, σελ. 222
  - [https://www.researchgate.net/publication/266602017\\_Nanotechnology\\_in\\_Civil\\_Engineering\\_and\\_Construction\\_a\\_review\\_on\\_state\\_of\\_the\\_art\\_and\\_future\\_prospects](https://www.researchgate.net/publication/266602017_Nanotechnology_in_Civil_Engineering_and_Construction_a_review_on_state_of_the_art_and_future_prospects)
  - <http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/14342/P0014342.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  - [πτυχιακη εργασια εφαρμογες νανοτεχνολογιας σε κατασκευες απο οπλισμενο σκυροδεμα](#)
  - [Chatzi\\_Evgenia\\_MSc\\_2017.pdf](#)

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

---

### ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα υλικά διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: μεταλλικά, πολυμερή και κεραμικά - γυαλιά. Επιπρόσθετα, μπορούν να θεωρηθούν δύο άλλες κατηγορίες: τα σύνθετα υλικά και τα ηλεκτρονικά υλικά λόγω της μεγάλης σπουδαιότητάς τους.

##### *Μεταλλικά υλικά*

Αποτελούνται από μίγματα δύο ή περισσότερων μετάλλων και μπορούν επίσης να περιέχουν μερικά μη μεταλλικά στοιχεία, όπως άνθρακα, άζωτο, οξυγόνο κ.ά. Τα μέταλλα έχουν κρυσταλλική δομή, δηλαδή τα άτομα που τα αποτελούν διατάσσονται με κανονικό, επαναλαμβανόμενο και συμμετρικό τρόπο. Γενικά τα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρικού ρεύματος, έχουν σχετικά μεγάλη αντοχή, ολκιμότητα, μεγάλη συνεκτικότητα, πλαστιμότητα και δυνατότητα μορφοποίησης. Οι ιδιότητες αυτές εξηγούν την εκτεταμένη χρήση τους ως μηχανολογικά υλικά.

##### *Πολυμερή*

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα εκτενώς χρησιμοποιούμενα πλαστικά και ελαστικά. Αποτελούνται από οργανικά μόρια μεγάλου μεγέθους (μακρομόρια), στη χημική δομή των οποίων συμμετέχουν κυρίως ο άνθρακας και το υδρογόνο και σε μικρότερο βαθμό άλλα στοιχεία, όπως άζωτο, οξυγόνο, θείο, πυρίτιο κ.ά..

Από δομικής άποψης τα πολυμερή στη στερεή κατάσταση μπορεί να είναι άμορφα, μερικώς κρυσταλλικά (ημικρυσταλλικά) ή σχεδόν κρυσταλλικά. Τα πολυμερή υλικά παρουσιάζουν μια μεγάλη ποικιλία ιδιοτήτων που εξαρτώνται από τη δομή τους. Η αντοχή και η πλαστιμότητα των πολυμερών ποικίλλει ευρέως.

Τα περισσότερα από αυτά τα υλικά είναι κακοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος και χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές μονώσεις πέραν των ποικίλων άλλων εφαρμογών. Γενικά τα πολυμερή έχουν χαμηλές πυκνότητες και σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες τήξης και αποσύνθεσης.

## **Κεραμικά**

Τα κεραμικά, όπως οι πλίνθοι, η πορσελάνη, τα τσιμέντα, το γυαλί, τα πυρίμαχα και τα λειαντικά, είναι ανόργανα υλικά που αποτελούνται από μεταλλικά και μη μεταλλικά στοιχεία. Τα κεραμικά υλικά μπορεί να είναι άμορφα, μερικώς κρυσταλλικά ή κρυσταλλικά. Έχουν χαμηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη σκληρότητα, μικρή δυσθραυστότητα και συχνά χρησιμοποιούνται ως μονωτές.

Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε μηχανολογικές κατασκευές. Τα πλεονεκτήματα σ' αυτό το πεδίο εφαρμογής είναι το μικρό βάρος, η υψηλή αντοχή και σκληρότητα, η θερμική αντοχή, αντοχή στη φθορά και την τριβή και οι θερμομονωτικές ιδιότητες. Τα πλεονεκτήματα αυτά τα καθιστούν επίσης χρήσιμα για επιστρώσεις κλιβάνων υψηλών θερμοκρασιών.

## **Σύνθετα υλικά**

Είναι μίγματα δύο ή περισσότερων υλικών. Τα περισσότερα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ένα επιλεγμένο πληρωτικό ή ενισχυτικό υλικό που είναι δισπαρμένο σε ένα άλλο υλικό (μήτρα), συνήθως πολυμερές, για την επίτευξη των ειδικών επιθυμητών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων. Συνήθως τα ανωτέρω υλικά είναι μη αναμίξιμα και διαχωρίζονται από μια ενδιάμεση φάση. Τα σύνθετα υλικά είναι διάφορων τύπων. Οι επικρατέστεροι τύποι είναι αυτοί στους οποίους το πληρωτικό υλικό αποτελείται από ίνες και εκείνοι στους οποίους το πληρωτικό υλικό αποτελείται από σωματίδια (εγκλείσματα), τα οποία μπορούν να ενταχθούν και τα αναπτυσσόμενα τελευταία νανοσύνθετα πολυμερικά υλικά με χαρακτηριστικές διαστάσεις των εγκλεισμάτων 1-100 nm, τα οποία παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση των ιδιοτήτων τους σε σύγκριση με τα αντίστοιχα παραδοσιακά σύνθετα υλικά.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα σύνθετων υλικών, που χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, είναι τα πολυμερικά υλικά (όπως πολυεστέρας ή εποξειδικές ρητίνες) ενισχυμένα με ίνες γυαλιού και ίνες άνθρακα. Η βιομηχανική σπουδαιότητα ενός σύνθετου υλικού έγκειται στο ότι αυτό συνδυάζει τις ελκυστικές ιδιότητες των επί μέρους συστατικών. Τα σύνθετα υλικά με ίνες γυαλιού συνδυάζουν την αντοχή του γυαλιού και την ελαστικότητα του πολυμερούς. Σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως σύνθετα υλικά σε πληθώρα εφαρμογών.

### ***Ηλεκτρονικά υλικά***

Αποτελούν ένα σπουδαίο τύπο υλικών για την προχωρημένη τεχνολογία. Τα υλικά αυτής της κατηγορίας, όπως το πυρίτιο, το γερμάνιο και διάφορες χημικές ενώσεις (π.χ. GaAs), είναι σημαντικά στην βιομηχανία των υπολογιστών και για εφαρμογές στον τομέα της ηλεκτρονικής και τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες αυτών των υλικών μπορούν να ελεγχθούν με ακρίβεια έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα, όπως transistors, δίοδοι και ολοκληρωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα.



### 3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ- ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Κατά τη διαδικασία επιλογής κατάλληλου υλικού για δεδομένη εφαρμογή πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ούτως ώστε να επιλεγεί ένα υλικό που (α) να έχει τις επιθυμητές ιδιότητες, οι οποίες συχνά εξαρτώνται από την κατεργασία του υλικού (β) να μπορεί να μορφοποιηθεί ή να παραχθεί στο επιθυμητό σχήμα και (γ) αυτό και η διαδικασία κατεργασίας του να έχουν αποδεκτό κόστος.

Η επιλογή των υλικών αποτελεί την τελική, πρακτική απόφαση στη διαδικασία του μηχανικού σχεδιασμού και καθοριστικό παράγοντα της επιτυχίας ή αποτυχίας αυτού του σχεδιασμού. Ουσιαστικά πρέπει να ληφθούν δυο ξεχωριστές αποφάσεις:

- 1<sup>ov</sup>, πρέπει να αποφασισθεί ποιος γενικός τύπος (κατηγορία) υλικών είναι κατάλληλος.
- 2<sup>ov</sup>, πρέπει να βρεθεί το καλύτερο ειδικό υλικό αυτής της κατηγορίας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή (π.χ. να προτιμηθεί ένα κράμα μαγνησίου από κράμα αλουμινίου ή χάλυβα;).

Μερικές φορές η επιλογή του καταλληλότερου υλικού είναι απλή και προφανής. Για μια ηλεκτρονική συσκευή που απαιτεί έναν ημιαγωγό, οι αγωγοί και οι μονωτές είναι εντελώς ακατάλληλοι για το σκοπό αυτό. Όμως οι περισσότερες επιλογές έχουν ένα βαθμό δυσκολίας, καθόσον οι απαιτήσεις του σχεδιασμού είναι δυνατό σε γενικές γραμμές να καλύπτονται από διάφορα διαθέσιμα υλικά. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρεται η αναζήτηση για την τελική επιλογή μεταλλικού κράματος ως του καταλληλότερου υλικού για την κατασκευή κυλινδρικών δοχείων αποθήκευσης αερίων υπό πίεση μέχρι και 140 atm για απεριόριστες χρονικές περιόδους. Κατ' αρχήν από τις τρεις κύριες κατηγορίες υλικών (μεταλλικά υλικά, κεραμικά και πολυμερή) τα πολυμερή πρέπει να αποκλειστούν λόγω των χαμηλών τους αντοχών. Αν και μερικά κατασκευαστικά κεραμικά υλικά μπορούν να αντέξουν το προβλεπόμενο φορτίο, γενικά δεν διαθέτουν την πλαστιμότητα που απαιτείται. Η χρήση τέτοιων εύθραυστων υλικών για κατασκευή δοχείων αποθήκευσης υπό πίεση μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνη. Διάφορα συνήθη μεταλλικά υλικά διαθέτουν ικανοποιητική αντοχή και πλαστιμότητα για τη συγκεκριμένη χρήση. Επίσης πολλά σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες ικανοποιούν τις σχεδιαστικές απαιτήσεις. Ωστόσο, τα υλικά αυτά αποκλείονται λόγω του υψηλού τους κόστους. Το επί πλέον κόστος κατασκευής με τέτοιου είδους υλικά δικαιολογείται μόνο εάν προκύπτει κάποιο ειδικό

πλεονέκτημα, όπως το μειωμένο βάρος. Περιορίζοντας την επιλογή στα μεταλλικά υλικά υπάρχει ακόμα ένας μεγάλος αριθμός υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Λαμβάνοντας υπόψη τα εμπορικά διαθέσιμα κράματα μετρίου κόστους με τις απαιτούμενες μηχανικές ιδιότητες προκύπτει μια λίστα υποψηφίων υλικών. Για την τελική επιλογή του κράματος πρέπει να γίνεται λεπτομερής σύγκριση των ιδιοτήτων σε κάθε βήμα της πορείας επιλογής. Σε ορισμένες περιπτώσεις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες μπορεί να βαρύνουν στην απόφαση εκλογής, αλλά συχνότερα το καθοριστικότερο είναι το κόστος.

Σε ορισμένες περιπτώσεις και ειδικότερα στις αεροδιαστημικές εφαρμογές το βάρος έχει κρίσιμη σημασία, λόγω του ότι το επί πλέον βάρος του διαστημόπλοιου αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου και μειώνει την μέγιστη δυνατή απόσταση που μπορεί να διανύσει. Για την κατασκευή πολλών μοντέρνων διαστημόπλοιων χρησιμοποιούνται ακριβότερα σύνθετα υλικά, όπως εποξειδικές ρητίνες ενισχυμένες με ίνες άνθρακα, αντί των παραδοσιακών κραμάτων αλουμινίου. Ωστόσο, η οικονομική ωφέλεια από την εξοικονόμηση καυσίμων λόγω του υψηλότερου λόγου αντοχής προς βάρος του σύνθετου υλικού υπερκαλύπτει την υψηλότερη αρχική επένδυση για το αεροσκάφος.

Σε κάθε περίπτωση κατά την επιλογή των υλικών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η προστασία του περιβάλλοντος και η εξασφάλιση της ασφαλούς χρήσης τους.

### **Υποκατάσταση μετάλλων με πολυμερή**

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η αντικατάσταση αλουμινίου ή χάλυβα με Nylon, που έχει υποστεί σκλήρυνση, σε εξαρτήματα αγωνιστικών μηχανών (αλυσοκινούμενοι τροχοί). Το nylon διαδόθηκε ευρέως λόγω των αντιτριβικών του ιδιοτήτων και των λιγότερων αστοχιών (φθοράς και θραύσεων) αλυσίδων μοτοσυκλετών. Η καλύτερη απόδοση του nylon σε σχέση με τα συμβατικά μεταλλικά υλικά έγκειται στο συνδυασμό καλής αντοχής και δυσθραυστότητας. Επίσης, η κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων από πολυμερή επιφέρει μείωση του συνολικού βάρους της κατασκευής.

### **Υποκατάσταση μετάλλων με σύνθετα υλικά**

Η μείωση του βάρους που προκύπτει με την αντικατάσταση μετάλλων από πολυμερή ή σύνθετα υλικά οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας. Η οικονομία στα καύσιμα και η επακόλουθη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος τίθενται ως επιτακτικές ανάγκες της κοινωνίας του 2000. Για κάθε kg βάρους ένα αεριωθούμενο αεροπλάνο (jet) ξοδεύει 830 λίτρα καυσίμου το χρόνο. Η αεροναυπηγική βιομηχανία έχει προχωρήσει στην αντικατάσταση πολλών συμβατικών μεταλλικών υλικών με προηγμένα σύνθετα υλικά, όπως είναι τα πολυμερή με ίνες Kevlar ή ίνες γραφίτη, μειώνοντας το βάρος πολλών αεροσκαφών (όπως Lockheed-L-1011 και Boeing767) μέχρι και 600 κιλά.

### **Μέταλλα και πολυμερή ως υλικά για τον ανθρώπινο οργανισμό (βιοϋλικά)**

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό ως εμφυτεύματα (π.χ. ορθοπεδικοί σύνδεσμοι, οδοντιατρικά πρόσθετα) πρέπει, εκτός της μηχανικής αντοχής τους και του μικρού βάρους, να χαρακτηρίζονται από **βιοσυμβατότητα**. Δηλαδή θα πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή στην οξειδωση και διάβρωση και να μην υποβαθμίζονται οι μηχανικές τους ιδιότητες μέσα στα υγρά του ανθρώπινου σώματος (π.χ. αίμα). Από μεταλλικά υλικά χρησιμοποιούνται ευρέως κράματα του τιτανίου και συγκεκριμένα το Ti-4% Al-6% V, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη μηχανική αντοχή, αντοχή σε διάβρωση και μικρή πυκνότητα.

Το πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (PMMA) είναι ένα πολυμερές, το οποίο χρησιμοποιείται και αυτό σε ορθοπεδικά εμφυτεύματα, σε συνδυασμό με μεταλλικά υλικά, λόγω της μεγάλης αντοχής στην οξειδωση, της μικρής του πυκνότητας και της μεγάλης του αντίστασης σε φθορά-τριβή.

## **3.3 ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ**

Η σημερινή τεχνολογική επανάσταση γίνεται στο «πολύ μικρό». Η έρευνα αιχμής ασχολείται με τις μοριακές ιδιότητες των υλικών. Οι τομείς που περιλαμβάνει εκτείνονται από την διάγνωση της σεισμικής συμπεριφοράς, την αναχαίτιση υλικών καταστροφών, την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων παραδοσιακών υλικών έως την διάδραση με τον χρήστη για την δημιουργία μεταβαλλόμενων-ευφυών περιβαλλόντων διαβίωσης με την χρήση έξυπνων υλικών.

Στόχος η δημιουργία κτηρίων-περιβαλλόντων με λειτουργίες και ιδιότητες που πλησιάζουν αυτές ενός ζωντανού οργανισμού ίσως ακόμα και εμπλουτισμένες με ανθρώπινη νοημοσύνη. Περιβάλλοντα που λειτουργούν με πολλαπλούς τρόπους και ταυτόχρονα διαντιδρούν με τις μεταβαλλόμενες συμπεριφορές και επιθυμίες των ανθρώπων. Η ευφυΐα τους είναι ροϊκή και ελεύθερη για αυτό και δεν αποτελούν ένα ιδανικό σύστημα αλλά «μια ρευστή διάδραση ανάμεσα στον άνθρωπο και στο περιβάλλον».

### ***Τα έξυπνα υλικά***

Τα έξυπνα υλικά έχουν μεταβλητές ιδιότητες και ανταποκρίνονται σε εφήμερες ανάγκες. Έχουν την ικανότητα να αποκρίνονται σε πολλαπλές καταστάσεις αντί να βελτιστοποιούνται για μία μοναδική κατάσταση. Σε αντίθεση με τα καθιερωμένα στατικά υλικά που αντέχουν στις δυνάμεις, τα έξυπνα υλικά είναι δυναμικά δηλαδή συμπεριφέρονται σε απόκριση των ενεργειακών πεδίων.

Δεν είναι εύκολο να συλλάβει κανείς ένα τελικό αποτέλεσμα, καθώς αυτά τα υλικά υπόκεινται σε συνεχείς μετασχηματισμούς δράσης και αλληλεπίδρασης. Θα μπορούσε ενδεχομένως να πει κανείς πως μιλάμε περισσότερο για σειρές ενεργειών, για ένα σύνολο ή συναρμογή ιδιοτήτων παρά για υλικά αναγνωρίσιμα και ποσοτικοποιήσιμα από την μοριακή δομή τους.

Είναι αρκετά δύσκολο να ορίσει κανείς τι είναι αυτό που κάνει ένα υλικό έξυπνο τη στιγμή που ότι μπορεί να κάνει ένα έξυπνο υλικό μπορεί να το κάνει και ένα συμβατικό. Πολλές φορές η εξυπνάδα ταυτίζεται με την αυτοματοποίηση και τα καθολικά έμμεσα κατασκευαστικά συστήματα που είχαμε έως τώρα για τη διαχείριση των μεταβολών θερμοκρασίας, φωτός κλπ. Συστήματα που κάθε άλλο από ξεχωριστά και άμεσα δεν είναι.

Τα έξυπνα υλικά μας αναγκάζουν να σκεφτούμε σε μικρή κλίμακα: τι χρειάζεται το σώμα και όχι τι χρειάζεται το κτήριο. Δίνουν τη δυνατότητα να σχεδιάσουμε άμεσα και ξεχωριστά περιβάλλοντα για το σώμα, αλλά δεν έχουμε οδηγό για την εφαρμογή τους σε αυτή την σημαντική αρένα. Οι πιο σπουδαίες σκέψεις για τα έξυπνα υλικά είναι αυτές που σταχυολογούνται από την συμπεριφορά τους. Είτε πρόκειται για μόριο, για υλικό, για συνδυασμό ή για ένα σύστημα, τα έξυπνα υλικά θα παρουσιάσουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Αμεσότητα (immediacy) - αποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο

- Παροδικότητα (transiency) - αποκρίνονται σε περισσότερες από μία περιβαλλοντικές καταστάσεις
- Αυτό - ενεργοποίηση (self-actuation) - η ευφυΐα τους είναι εγγενής
- Επιλεκτικότητα (selectivity) - η απόκρισή τους είναι ξεχωριστή και προβλεπόμενη
- Ευθύτητα (directness) - η απόκρισή τους είναι τοπική σε ένα ενεργοποιημένο γεγονός.

Είναι μάλλον αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό, η ευθύτητα, που θέτει την μεγαλύτερη πρόκληση στους μηχανικούς και οδηγεί στην σκέψη της χρήσης των έξυπνων υλικών, επιλεκτικά και στρατηγικά. Έτσι αντί να επιλέγονται αφού έχει ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός, τα υλικά και οι ιδιότητές τους αποτελούν το σημείο εκκίνησης.

Τα έξυπνα υλικά δεν φαίνονται και δεν σχεδιάζονται σαν να ήταν γνωστά αντικείμενα εγκαταστημένα σε ένα τόπο. Και αυτό επηρεάζει και τον ίδιο τον σχεδιασμό που πρέπει να εστιάζει περισσότερο στο τι θέλουμε να κάνουν αυτά τα υλικά και όχι στο πως φαίνονται τελικά. Έχοντας πια τη δυνατότητα να σχεδιάζουμε αρχίζοντας από το πολύ μικρό, από μια μόνη κίνηση και να δημιουργούμε τοπικά και διασυνδεδεμένα γεγονότα, το πρόβλημα της εμπειρίας, του τι αισθάνονται οι χρήστες και πώς θα μπορούσαν να αντιδρούν με το περιβάλλον τους, επιστρέφει στο προσκήνιο της Μηχανικής.

### 3.4 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

**Σύνθετα** καλούνται τα υλικά που κατασκευάζονται από δύο διαφορετικά υλικά προκειμένου να αποκτήσουν βελτιωμένες ιδιότητες (μηχανικές, ηλεκτρικές). Μία απλή περίπτωση παραδοσιακού σύνθετου υλικού είναι οι κολόνες οπλισμένου σκυροδέματος (μπετόν αρμέ), οι οποίες αποτελούνται από σκυρόδεμα (το οποίο από μόνο του αποτελεί σύνθετο υλικό από τσιμέντο και χαλίκια) και εσωτερικά από ράβδους μαλακού χάλυβα. Το οπλισμένο σκυρόδεμα παρουσιάζει αυξημένη αντοχή και δυσθραυστότητα.

Κάθε σύνθετο υλικό αποτελείται από το υλικό της μήτρας και από το ενισχυτικό υλικό. Ανάλογα με τη μορφή του ενισχυτικού υλικού, υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες σύνθετου υλικού:

- **Σύνθετα υλικά με διασπορά σωματιδίων.** Ένα παράδειγμα τέτοιου υλικού είναι το σύνθετο πολυστυρενίου-ελαστομερούς. Το σύνθετο αυτό υλικό περιέχει σε διασπορά σωματίδια λάστιχου μέσα σε μήτρα πολυστυρενίου και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πλαστικότητας του αρχικά ψαθυρού πολυστυρενίου. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το αλουμίνιο με διεσπαρμένους κόκκους καρβιδίου του πυριτίου (SiC). Λόγω των κεραμικών κόκκων (SiC), το υλικό συνδυάζει υψηλή σκληρότητα και ολκιμότητα λόγω της μήτρας αλουμινίου.

- **Σύνθετα υλικά με ίνες.** Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου σύνθετου υλικού είναι πολυμερές (φαινολικά, πολυεστέρες, εποξικές ρητίνες) ενισχυμένο με ίνες γυαλιού (fiberglass). Ένα τέτοιο σύνθετο υλικό παρουσιάζει μεγάλη μηχανική, χημική αντοχή και δυσθραυστότητα σε συνδυασμό με τη μικρή πυκνότητα. Χρησιμοποιείται σε αεροναυπηγικές-ναυπηγικές εφαρμογές και στη χημική βιομηχανία για την κατασκευή δοχείων που περιέχουν διαβρωτικά υγρά. **Πολυμερή με ίνες Kevlar** (είναι η εμπορική ονομασία κάποιου πολυαμιδίου που παρασκεύασε η εταιρεία DuPont) ή άνθρακα είναι σύνθετα υλικά με μεγάλη αντοχή στην κρούση. Βρίσκουν εφαρμογές στην κατασκευή αμαξωμάτων αγωνιστικών αυτοκινήτων, τριβέων και εδράνων και γενικά στοιχείων μηχανών, που καταπονούνται κάτω από έντονες συνθήκες (μηχανικές-θερμικές).

Στα **παραδοσιακά σύνθετα** ανήκουν υλικά όπως το fiberglass, το ξύλο και το σκυρόδεμα. Τα υπόλοιπα σύνθετα που χρησιμοποιούνται σε τεχνικές εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων συνιστούν τα λεγόμενα **προηγμένα σύνθετα υλικά**.

Ανάλογα με το υλικό της μήτρας υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες σύνθετων υλικών:

- Σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας
- Σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας
- Σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας.

Τα προηγμένα σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας χρησιμοποιούνται ως υλικά υψηλών προδιαγραφών στη ναυπηγική, αεροναυπηγική και αυτοκινητοβιομηχανία, αλλά και στην κατασκευή εδράνων, τριβέων, οδοντωτών τροχών και άλλων στοιχείων μηχανών, που εκτός της μηχανικής αντοχής παίζει σπουδαίο ρόλο και η ελαχιστοποίηση του βάρους της κατασκευής. Τα προηγμένα σύνθετα κεραμικής ή μεταλλικής μήτρας χρησιμοποιούνται για την κατασκευή στοιχείων μηχανών εσωτερικής καύσης, αεριοστροβίλων αλλά και εργαλείων (cermetWC/Co) και γενικά εξαρτημάτων, που απαιτείται να αντέχουν σε έντονες μηχανικές καταπονήσεις και σε διαβρωτικό περιβάλλον.

### **3.4.1 Νανοσύνθετα υλικά**

Αν και οι όροι *νανοϋλικό* και *νανοσύνθετο* αντιπροσωπεύουν νέα πεδία στην Επιστήμη των Υλικών, στην πραγματικότητα τέτοια υλικά χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες και υπάρχουν γύρω μας στη φύση. Ωστόσο δεν είναι παρά τα τελευταία χρόνια που ο χαρακτηρισμός και ο έλεγχος της ύλης στις νανοδιαστάσεις, διερευνήθηκαν διεξοδικά. Ένα νανοσύνθετο ορίζεται ως ένα σύνθετο υλικό του οποίου κάποιο από τα συστατικά του έχει τουλάχιστον μία διάστασή του στην νανοκλίμακα. Η πρόκληση και το ενδιαφέρον στην ανάπτυξη νανοσυνθέτων υλικών είναι να βρούμε τρόπους να δημιουργήσουμε μακροδομές που θα ωφελούνται από τις μοναδικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των νανοδομών που θα υπάρχουν μέσα τους.

Φυσικά υλικά όπως τα κόκκαλα, τα δόντια, είναι πολύ καλά παραδείγματα της πετυχημένης εφαρμογής αυτής της ιδέας, προσφέροντας άριστες μηχανικές ιδιότητες σε σχέση με αυτές των συστατικών τους. Τέτοια σύνθετα υλικά παρουσιάζουν πολύ καλά οργανωμένες δομές τόσο σε μακροσκοπικό επίπεδο, όσο και στις νανοδιαστάσεις. Οι επιστήμονες αγωνίζονται να κατανοήσουν αυτά τα υλικά, που είναι η φυσική εκδοχή των νανοσυνθέτων. Συνήθως τα υλικά αυτά αποτελούνται από δύο συστατικά: το υλικό της ενίσχυσης, οι διαστάσεις του οποίου είναι στην νανοκλίμακα και τη μήτρα που φιλοξενεί την ενίσχυση, και η οποία είναι ένα μαλακό

υλικό, συνήθως πρωτεϊνικής φύσης. Γιατί όμως η νανοκλίμακα παίζει τόσο σημαντικό ρόλο;

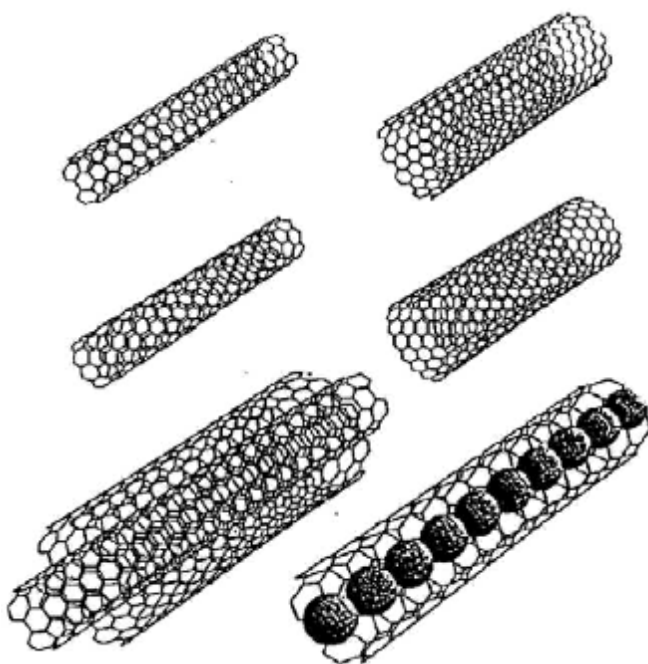
Από μηχανική άποψη, ο μηχανισμός για αυτά τα βιοσύνθετα είναι απλός: η μήτρα μεταφέρει τη φόρτιση μέσω διάτμησης στην ενίσχυση. Ένας μεγάλος λόγος μήκους προς τη διάμετρο (aspectration) της ενίσχυσης αντισταθμίζει το χαμηλό μέτρο ελαστικότητας της μαλακής πρωτεϊνικής μήτρας, οδηγώντας σε βελτιωμένη δυσκαμψία του συνθέτου. Επίσης η αντοχή στη θραύση των βιοσύνθετων εξαρτάται από τη μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό της ενίσχυσης. Έτσι, η χρήση νανοδομών επιτρέπει την προσέγγιση της μέγιστης θεωρητικής αντοχής του υλικού, καθώς οι μηχανικές ιδιότητες δεν επηρεάζονται από ατέλειες στη νανοκλίμακα. Αυτή η παρατήρηση είναι μια επέκταση της κλασσικής προσέγγισης για ανθεκτικά υλικά, σύμφωνα με την οποία πρέπει να μειώνονται οι διαστάσεις τόσο ώστε να αποκλείονται κρίσιμες ατέλειες. Γι' αυτό, χρησιμοποιούνται ως ενίσχυση υλικά με υψηλή κρυσταλλικότητα και με διαστάσεις σε νανόμετρα, οπότε όλες οι ατέλειες εκτός από τις ατομικές μπορούν να εξαλειφθούν. Αυτή η εξερεύνηση των ιδιοτήτων σαν συνάρτηση των ατελειών δεν περιορίζεται μόνο στις μηχανικές, καθώς ένα μεγάλο εύρος από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών επίσης εξαρτώνται από τη συγκέντρωση των ατελειών. Ακόμη, η μικρή κλίμακα μεγέθους μπορεί να δημιουργήσει διάφορα εγγενή φαινόμενα, για παράδειγμα μέσω του κβαντικού περιορισμού ή της δραματικής αύξησης της διεπιφανειακής περιοχής.

Η ιδέα της ανάπτυξης δομικών και λειτουργικών νανοσύνθετων υλικών με βελτιωμένη συμπεριφορά βρίσκεται αυτή τη στιγμή στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος για μια ευρεία ποικιλία μεταλλικών, κεραμικών και πολυμερικών μητρών, αν και έμφαση έχει δοθεί κυρίως στα πολυμερή υλικά. Τα υλικά ενίσχυσης μπορούν να είναι είτε οργανικά είτε ανόργανα, με πολύ μεγάλη ποικιλία συνδυασμών και δομών. Το σύνθετο που προκύπτει γενικά παρουσιάζει πλήθος βελτιωμένων ιδιοτήτων, τόσο ώστε να είναι δύσκολο να το διακρίνουμε σε δομικό ή λειτουργικό. Τέλος πρέπει να σημειώσουμε ότι στη βιβλιογραφία αντί του όρου *υλικό ενίσχυσης*(reinforcement) πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος *υλικό πλήρωσης*(filler) χωρίς διακριτή διαφορά.

Ένα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως ως υλικό ενίσχυσης είναι οι *νανοσωλήνες άνθρακα* (*carbonnanotubes*). Οι νανοσωλήνες άνθρακα έχουν προσελκύσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί προβλέφθηκε αρχικά και στη συνέχεια επαληθεύτηκε πειραματικά ότι έχουν αξιόλογες μηχανικές και φυσικές ιδιότητες. Ο συνδυασμός αυτών των ιδιοτήτων με τη χαμηλή τους πυκνότητα τους καθιστά



ιδανικούς για πολυμερικά σύνθετα υλικά υψηλής απόδοσης. Κατά μία έννοια μάλιστα, ίσως να αποτελούν την επόμενη γενιά ινών άνθρακα. Παρόλο που δεκάδες ή και εκατοντάδες κιλά νανοσωλήνων άνθρακα παράγονται αυτή τη στιγμή κάθε μέρα, η ανάπτυξη υψηλής αντοχής και δυσκαμψίας πολυμερικών συνθέτων που να βασίζονται στους νανοσωλήνες καθυστερεί από την έλλειψη διαθεσιμότητας νανοσωλήνων υψηλής καθαρότητας και ποιότητας σε μεγάλες ποσότητες.



**Εικόνα 3-1** Σχηματική αναπαράσταση διαφόρων δομών νανοσωλήνων άνθρακα

Το μικρό μέγεθος αυτών των ενισχυτικών υλικών γεννά ένα πλήθος προκλήσεων που πρέπει να ξεπεραστούν. Παρόλο που τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει μεγάλα βήματα για να ξεπεραστούν οι δυσκολίες στην παραγωγή πολυμερών νανοςύνθετων, η διαδικασία παραγωγής αποτελεί κλειδί για την πλήρη εκμετάλλευση των ιδιοτήτων των νανοϋλικών της ενίσχυσης. Μια πρωταρχική δυσκολία είναι η επίτευξη καλής διασποράς της ενίσχυσης στη μήτρα. Αν δεν επιτευχθεί, τότε τα συσσωματώματα δρουν ως ατέλειες, γεγονός που περιορίζει τη μηχανική συμπεριφορά του συνθέτου. Τα συσσωματώματα αυτά επηρεάζουν τις φυσικές ιδιότητες του συνθέτου, όπως για παράδειγμα την οπτική διαπερατότητα.

Όταν διασπείρονται μικρά σωμάτια σε ένα χαμηλού ιξώδους μέσο, μηχανισμοί διάχυσης, αλλά και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματίων μεταξύ τους και με τη μήτρα παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο καθώς η διάμετρός τους μειώνεται κάτω από 1  $\mu\text{m}$ . Δεν είναι τόσο το μέγεθος που έχει μεγάλη σημασία, όσο ο διεπιφανειακός όγκος που επηρεάζει σημαντικά τις τελικές ιδιότητες. Οι διεπιφανειακές περιοχές μπορούν να έχουν διαφορετικές ιδιότητες από αυτές του καθαρού πολυμερούς και να αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό ποσοστό του όγκου του συνθέτου για νανοσωματίδια με επιφάνεια της τάξης εκατοντάδων  $\text{m}^2/\text{g}$ . Ο διεπιφανειακός όγκος εξαρτάται τόσο από τη διασπορά και την κατανομή των νανοσωματιδίων, όσο και από την επιφάνειά τους.

Στα παραδοσιακά ινώδη σύνθετα, η διεπιφανειακή περιοχή ορίζεται σαν την περιοχή της οποίας οι ιδιότητες διαφέρουν και από την μήτρα και από την ενίσχυση. Με άλλα λόγια, οι ιδιότητες της πολυμερικής μήτρας του νανοςύνθετου διαφέρουν από αυτές του καθαρού πολυμερούς, σε όρους όπως ο βαθμός πολυμερισμού, η μορφολογία των πολυμερικών αλυσίδων, ο βαθμός κρυσταλλικότητας και άλλες. Αυτά τα φαινόμενα μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγή και τις τελικές ιδιότητες του νανοςύνθετου. Μια απλή αλλά σημαντική συνέπεια αυτών είναι το γεγονός ότι γίνεται εξαιρετικά δύσκολη η διαβροχή ολόκληρης της επιφάνειας των νανοσωματιδίων από το πολυμερές, οπότε γίνεται και δύσκολη η ομοιόμορφη διασπορά των σωματιδίων. Επίσης, η ισχυρή επίδραση των διεπιφανειακών αλληλεπιδράσεων κατά τη διαδικασία παραγωγής μπορεί να μεταβάλλει τη μικροδομή της μήτρας, πράγμα που επηρεάζει σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες του νανοςύνθετου ανεξάρτητα από το αν η ενίσχυση φέρει το βάρος της φόρτισης. Επομένως, η μικροδομή του νανοςύνθετου πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη όταν αξιολογείται η συμπεριφορά συνθέτων πολυμερικής μήτρας-νανοσωλήνων άνθρακα. Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι λόγω της ποικιλομορφίας στη δομή των νανοσωλήνων, ποικίλουν και τα συστήματα πολυμερών-νανοσωλήνων που ερευνώνται, και η σχέση δομής-ιδιοτήτων αναδύεται μέσα από την έρευνα αυτή.

### ***Νανοσωλήνες άνθρακα***

Από την ανακάλυψή τους το 1991 από τον Iijima, οι νανοσωλήνες άνθρακα έχουν προκαλέσει τεράστια δραστηριότητα στις περισσότερες περιοχές της επιστήμης και της τεχνολογίας λόγω των ανεπανάληπτων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους. Κανένα άλλο υλικό στο παρελθόν δεν έχει επιδείξει το συνδυασμό μηχανικών, θερμικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων που τους αποδίδεται. Αυτές οι

ιδιότητες καθιστούν τους νανοσωλήνες ιδανικούς όχι μόνο για μια πληθώρα εφαρμογών, αλλά και για έρευνα πάνω σε θεμελιώδη ζητήματα της επιστήμης.

Πιο συγκεκριμένα, αυτός ο συνδυασμός ιδιοτήτων κάνει τους νανοσωλήνες ιδανικούς υποψηφίους για υλικά πλήρωσης στα σύνθετα. Οι ερευνητές προσπαθούν να εκμεταλλευτούν την αγωγιμότητα και τον υψηλό λόγο διαστάσεων τους για να παράγουν αγώγιμα πλαστικά με υπερβολικά χαμηλό «κατώφλι διήθησης» (ή αλλιώς κρίσιμη περιεκτικότητα). Επίσης ερευνάται η δυνατότητα κατασκευής θερμικά αγώγιμων συνθέτων υλικών, λόγω της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας των νανοσωλήνων. Ωστόσο το πιο πολλά υποσχόμενο πεδίο έρευνας έχει να κάνει με τη μηχανική βελτίωση των πλαστικών χρησιμοποιώντας νανοσωλήνες άνθρακα ως ενισχυτικά υλικά.

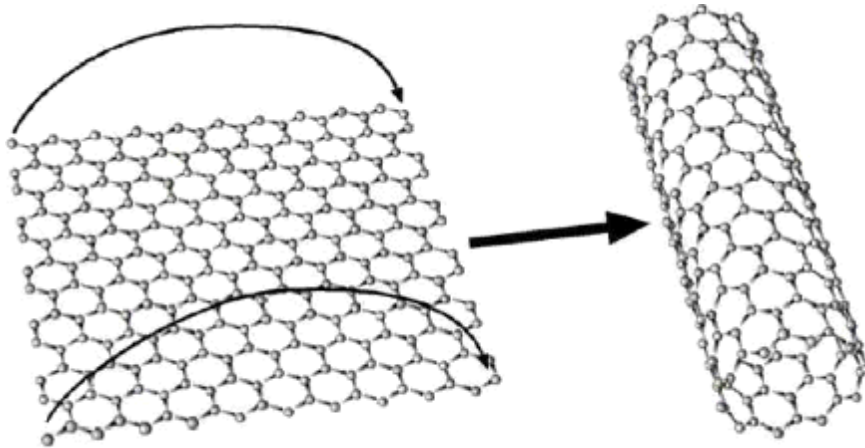
Η ιδέα της χρήσης ψευδο-μονοδιάστατων πληρωτικών υλικών σαν ενισχυτικά μέσα δεν είναι καθόλου καινούργια. Το άχυρο για παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε σαν ενίσχυση στον πηλό για την παραγωγή τούβλων από το 4000 π.Χ.. Τις τελευταίες δεκαετίες ίνες φτιαγμένες από υλικά όπως η αλουμίνα, το γυαλί, το βόριο, το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) και κυρίως οι ίνες άνθρακα χρησιμοποιούνται σαν ενίσχυση στα σύνθετα υλικά. Ωστόσο, οι συμβατικές αυτές ίνες έχουν διαστάσεις στη μεσοκλίμακα με διαμέτρους δεκάδων μικρομέτρων και μήκος της τάξης των χιλιοστόμετρων.

Οι μηχανικές τους ιδιότητες είναι εντυπωσιακές, με τις ίνες άνθρακα να επιδεικνύουν μέτρο ελαστικότητας και αντοχή με τιμές 230-725 GPa και 1.5-4.8 GPa αντίστοιχα. Τα τελευταία χρόνια νανοϊνες άνθρακα αναπτύσσονται από την αέρια φάση με διαμέτρους της τάξης των 100 nm και μήκη μεταξύ 20 και 100 μm. Αυτές οι μικρές διαστάσεις σημαίνουν ότι οι νανοϊνες αυτές έχουν πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια ανά μονάδα μάζας από τις συμβατικές ίνες άνθρακα επιτρέποντας μεγαλύτερη αλληλεπίδραση με τη μήτρα του συνθέτου. Επίσης έχουν εκπληκτικές μηχανικές ιδιότητες με το μέτρο του Young να κυμαίνεται στο εύρος 100-1000 GPa και την αντοχή μεταξύ 2.5 και 3.5 GPa.

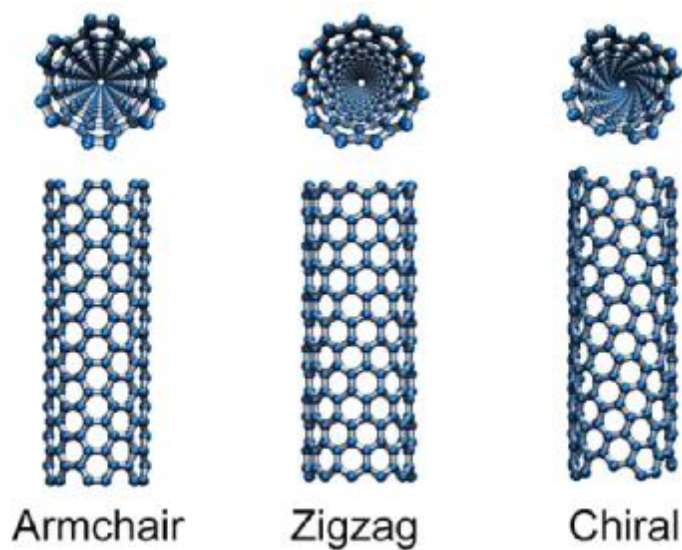
Ωστόσο το υπέρτατο υλικό ενίσχυσης είναι οι νανοσωλήνες άνθρακα. Οι νανοσωλήνες μπορούν να έχουν διαμέτρους από 1 nm έως και 100 nm και μήκη που φτάνουν ακόμα και τα χιλιοστά. Η πυκνότητά τους μπορεί να είναι ιδιαίτερα χαμηλή (περίπου 1.3 g/cm<sup>3</sup>).

Απαιτείται όμως πολύ δουλειά ακόμα για να εκμεταλλευτούμε πλήρως τις ιδιότητες τους. Γι' αυτό το λόγο πάρα πολλά εργαστήρια σε όλο τον κόσμο έχουν

<sup>4</sup> επιδοθεί σε έναν μαραθώνιο έρευνας με αντικείμενο αυτά τα υλικά της νανοκλίμακας, πράγμα που επιβεβαιώνεται από το πλήθος των δημοσιεύσεων στα επιστημονικά περιοδικά.



**Εικόνα 3-2** Σχηματισμός *singlewallednanotubes* (SWNT) από το τύλιγμα του γραφενίου.



**Εικόνα 3-3** Είδη των *single walled nanotubes* (SWNT)

---

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

---

### Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

#### 4.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων είναι μια αριθμητική μέθοδος (δηλ. μέθοδος υπολογισμού με χρήση Η/Υ) για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων. Η αναλυτική λύση των εξισώσεων με τις οποίες περιγράφονται τα διάφορα τεχνικά προβλήματα είναι δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπου οι καταπονήσεις και τα γεωμετρικά σχήματα είναι πάρα πολύ απλά. Όμως, υπήρχε η ανάγκη να λυθούν και πιο σύνθετα προβλήματα και γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι.

Μία τέτοια μέθοδος είναι και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Αυτή η μέθοδος είναι μεν προσεγγιστική, αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Το μειονέκτημά της είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε σύνθετα μοντέλα. Αυτό όμως το μειονέκτημα ξεπεράστηκε τα τελευταία χρόνια χάρη στη ραγδαία ανάπτυξη των υπολογιστών. Η επιτυχία αυτής της μεθόδου ήταν τόσο μεγάλη, που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται στην έρευνα και στην βιομηχανία για τον υπολογισμό και τη μελέτη διάφορων κατασκευών.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μία εξέλιξη των μητρωϊκών μεθόδων αριθμητικής επίλυσης διαφορικών εξισώσεων και έγινε από διάφορους σπουδαίους επιστήμονες όπως ο **Ιωάννης Αργύρης**, ο Ρέι Κλαφ, ο Βάλτερ Πιτς, ο Μπόρις Γκαλέρκιν και άλλοι.

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούνται τα εξής στάδια:

- Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.

- Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Παραδείγματος χάριν, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις. Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται *pre processor*.
- Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται *solver* και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους.
- Όταν τελειώσει η επίλυση τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται **post processor**, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.

## 4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ANSYS

### 4.2.1 Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS

Το λογισμικό αυτό δίνει στο χρήστη την δυνατότητα υλοποίησης όλων των παραπάνω σταδίων, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι κάποια από τα προαναφερθέντα στάδια δεν μπορούν να υλοποιηθούν σε άλλα περιβάλλοντα και τα αποτελέσματά τους να εισαχθούν, στη συνέχεια, στο ANSYS. Τα στάδια μπορούν να υλοποιηθούν με πολλές μεθοδολογίες εντός του περιβάλλοντος του ANSYS. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε ορισμένες επιλογές ώστε να γίνει κατανοητή η πολύπλευρη αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων.

#### **1ο Στάδιο:** Κατασκευή γεωμετρίας

Η κατασκευή της γεωμετρίας μέσα στο περιβάλλον του ANSYS μπορεί να γίνει, γενικά, με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι να δημιουργηθούν διαδοχικά σημεία (keypoints), γραμμές (lines), επιφάνειες (areas) και τέλος όγκοι (volumes). Ο δεύτερος τρόπος είναι να κατασκευαστούν όγκοι ή επιφάνειες είτε από σημεία, χωρίς τη δημιουργία γραμμών, είτε απευθείας ορίζοντας τις διαστάσεις τους. Το τελευταίο μπορεί να φανεί πολύ εύχρηστο σε περιπτώσεις που θέλουμε να κατασκευάσουμε γνωστά γεωμετρικά σχήματα, όπως κύκλους, κυλίνδρους, ορθογώνια, ορθογώνια παραλληλεπίπεδα κ.α.

Στην περίπτωση που η γεωμετρία δημιουργηθεί σε άλλο σχεδιαστικό περιβάλλον η εισαγωγή της ANSYS γίνεται με τη μορφή αρχείου \*.igs. Τέλος η κατασκευή της γεωμετρίας μπορεί να γίνει στον προεπεξεργαστή κάποιου άλλου προγράμματος που δίνει αρχείο εισόδου για περιβάλλον Ansys. Το αρχείο αυτό ονομάζεται ουδέτερο αρχείο.

Η επιλογή της κατασκευής της γεωμετρίας σε άλλο περιβάλλον μπορεί να είναι πολύ ελκυστική, ιδιαίτερα για όσους γνωρίζουν κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα, αλλά πρέπει να δείχνουμε ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή της παραμέτρου της ανοχής (tolerance), όταν πρόκειται για \*.igs, και να επιβεβαιώνουμε ότι όλα τα στοιχεία που μας ενδιαφέρουν έχουν εισαχθεί σωστά, διαφορετικά πρέπει να γίνεται επιδιόρθωση της γεωμετρίας.

Ένα συνηθισμένο πρόβλημα από την εισαγωγή γεωμετρίας στο ANSYS από εξωτερικό πρόγραμμα είναι ότι το μοντέλο μπορεί να εμφανίζει το φαινόμενο ύπαρξης διπλών γραμμών ή σημείων. Τότε πρέπει να γίνει συγχώνευση αυτών με την εντολή merge με την οποία θα ασχοληθούμε αργότερα. Τέλος μπορεί παρότι στο ουδέτερο αρχείο η γεωμετρία είναι με τη μορφή όγκου όταν γίνει εισαγωγή να μην είναι σωστή ή να λείπουν επιφάνειες, τότε πρέπει να γίνει επιδιόρθωση.

**2ο Στάδιο:** Ορισμός των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των υλικών και επιλογή του είδους των πεπερασμένων στοιχείων.

Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των υλικών είναι μονοσήμαντα ορισμένες αλλά θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή όσον αφορά τις μονάδες. Πρέπει να γνωρίζουμε ότι όλες οι μονάδες είναι στο SI εκτός αν τις ορίσουμε εμείς διαφορετικά. Δεν συνιστάται να γίνει αλλαγή μονάδων γιατί υπάρχει σημαντικός κίνδυνος λάθους. Οι ιδιότητες που πρέπει να οριστούν εξαρτώνται από την ιδιαιτερότητα των υλικών αλλά και από το είδος της επίλυσης που μας ενδιαφέρει να κάνουμε.

Η επιλογή του είδους των πεπερασμένων στοιχείων εξαρτάται από την επίλυση που θα κάνουμε, αυτό δε σημαίνει ότι δεν έχουμε τη δυνατότητα αλλαγής τους στη συνέχεια. Το σημαντικό είναι να έχουμε καταλήξει στη διάστασή τους και στο είδος της καταπόνησης.

**3ο Στάδιο:** Διακριτοποίηση της γεωμετρίας σε πεπερασμένα στοιχεία και επιβολή των οριακών συνθηκών.

Αφού έχει γίνει η επιλογή του στοιχείου μένει να γίνει η διακριτοποίηση της γεωμετρίας. Η πιο απλή δυνατότητα είναι να γίνει χρησιμοποιώντας τις επιλογές που προσφέρει το πρόγραμμα. Οι επιλογές αυτές είναι αυτόματη δημιουργία πλέγματος (δεν προτείνεται στις περισσότερες περιπτώσεις), ορισμός διαμερίσεων σε γραμμές ή ορισμός μεγέθους στοιχείων (μέγιστο μέγεθος πλευράς ή ακμής) καθώς και η επιλογή του SmartSize η οποία κάνει προσαρμογή του πλέγματος στη γεωμετρία, δηλαδή μικραίνει τα στοιχεία σε περιοχές απότομης αλλαγής της γεωμετρίας και το αραιώνει στο εσωτερικό των επιφανειών και των όγκων όπου δεν υπάρχει ιδιαίτερα ανάγκη για λεπτή διαμέριση.

Αφού καταλήξουμε στις παραπάνω επιλογές ακολουθεί η δημιουργία του πλέγματος. Γενικά οι δυνατότητες του προγράμματος είναι πάρα πολλές και μπορούν να δώσουν πάρα πολλά και πολύ διαφορετικά μεταξύ τους αποτελέσματα ανάλογα με τις παραμέτρους που θα ορίσουμε. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί το πρόγραμμα



να γνωρίζει τις ιδιαιτερότητες του προβλήματος που καλούμαστε να επιλύσουμε, την ακρίβεια ή και το χρόνο επίλυσης που επιθυμούμε, άρα πρέπει να επέμβουμε στις προεπιλογές που έχει.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει η δυνατότητα να μην οριστούν γεωμετρικά στοιχεία του μοντέλου στο περιβάλλον του ANSYS και στη συνέχεια να γίνει η διακριτοποίηση, αλλά να κατασκευαστούν απευθείας κόμβοι και πεπερασμένα στοιχεία ή να εισαχθούν αφού έχουν υπολογιστεί με κάποιο άλλο προεπεξεργαστή – π.χ. θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί το πλέγμα που κατασκευάστηκε στο 2ο θέμα του μαθήματος AMK II.-

Το παραπάνω συνιστά παράκαμψη του 1ου Σταδίου.

Η επιβολή των οριακών συνθηκών μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Οι διαφοροποιήσεις εντοπίζονται στα σημεία όπου μπορούν αυτές να επιβληθούν. Μπορούν να επιβληθούν είτε σε γεωμετρικά στοιχεία (σημεία, γραμμές, επιφάνειες) είτε σε στοιχεία του πλέγματος.(κόμβους, στοιχεία). Όταν επιβάλλονται σε γεωμετρικά στοιχεία γίνεται αυτόματα η μεταφορά τους σε στοιχεία του πλέγματος πριν από την επίλυση.

**4ο Στάδιο:** Επιλογή του τρόπου επίλυσης του προβλήματος (γραμμικό – μη γραμμικό – μεταβατικό – υπολογισμός ιδιοσυχνοτήτων κ.α.) και επίλυση.

Η επιλογή του τρόπου επίλυσης έχει να κάνει με τις απαιτήσεις του προβλήματος. Συνήθως μια γραμμική στατική ανάλυση μικρών μετατοπίσεων καλύπτει τις ανάγκες μας. Παρόλα αυτά είναι δυνατό θέλουμε να διερευνήσουμε κάποιο μεταβατικό φαινόμενο ή τα υλικά που χρησιμοποιούνται να έχουν μη γραμμική συμπεριφορά.

Ακόμα συμβαίνει συχνά όταν αντιμετωπίζουμε προβλήματα λυγισμού και πτύχωσης τα οποία είναι μη γραμμικά. Όσον αφορά την επίλυση προσφέρονται πολλές δυνατότητες οι οποίες έχουν να κάνουν με διαφορετικούς αλγόριθμους επίλυσης, που δεν θα δώσουν διαφορετικό αποτέλεσμα, αλλά θα έχουν διαφορετικό χρόνο επίλυσης. Υπάρχουν επιλύτες που χρησιμοποιούν περισσότερο τον σκληρό δίσκο για ενδιάμεσα αρχεία ή την φυσική μνήμη. Είναι προφανές ότι αφού η ταχύτητα της μνήμης είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του σκληρού δίσκου αυτή η μέθοδος είναι και πιο γρήγορη. Υπάρχει όμως περίπτωση να μην υπάρχει διαθέσιμη η απαιτούμενη για το πρόβλημα φυσική μνήμη ή για ορισμένες ειδικές περιπτώσεις να μην είναι όλοι οι επιλύτες ικανοί να αντιμετωπίσουν τη φύση του προβλήματος.

**5ο Στάδιο:** Ανάγνωση και γραφική αναπαράστασή των αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα μετά από την επίλυση καταγράφονται σε ένα αρχείο (\*.rst). Η ανάγνωσή τους είναι ένα ζήτημα που χρίζει ιδιαίτερης προσοχής. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να δει κάποιος τα αποτελέσματα. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα αποτελέσματα στους κόμβους (NodalSolution) και τα αποτελέσματα στα στοιχεία (ElementSolution). Στους κόμβους γίνεται δίνεται η τιμή του μέσου όρου που προκύπτει από τα πεπερασμένα στοιχεία στα οποία είναι κοινός και έχει συνεχή τιμή ενώ στα πεπερασμένα στοιχεία έχουμε μία τιμή ανά στοιχείο. Το παραθυρικό περιβάλλον έχει τις εντολές με δένδροειδή μορφή και συνεπώς είναι πολύ εύκολο να βρούμε την εντολή που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε κάθε φορά. Η μορφή αυτή, είναι ιδιαίτερα βολική για αρχάριους χρήστες, διότι με αυτόν τον τρόπο αποκτούν μια εποπτεία για τις δυνατότητες του προγράμματος. Όταν εργαζόμαστε σε παραθυρικό περιβάλλον όλες οι εντολές που δίνουμε γράφονται με την μορφή της γραμμής εντολών σε ένα αρχείο απλού κειμένου. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να αλλάξουμε κάποια στοιχεία σε αυτό και να το επανεκτελέσουμε. Το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση είναι ότι αν έχουμε κάνει πολλά λάθη τα οποία τα διορθώνουμε στη συνέχεια θα προκύψει ένα πολύ μεγάλο αρχείο που θα είναι δύσκολο να το διαχειριστούμε.

Στη συνέχεια θα δούμε κάποιες βασικές εντολές του ANSYS καθώς και ορισμένα παραδείγματα.

### **Περιβάλλον Ansys**

Για να ανοίξουμε το περιβάλλον επιλέγουμε την εντολή ConfigureAnsys. Σε αυτή καλούμαστε να επιλέξουμε περιβάλλον Ansys ή AnsysBatch. Με την πρώτη επιλογή έχουμε παραθυρικό περιβάλλον ενώ με τη δεύτερη δίνουμε αρχείο εισόδου για εκτέλεση. Αν επιλέξουμε το παραθυρικό περιβάλλον τότε πρέπει να επιλέξουμε τον φάκελο στον οποίο θα εργαζόμαστε και θα γραφούν όλα τα αρχεία όπως και το όνομα της ανάλυσης που πρόκειται να κάνουμε.



(A)

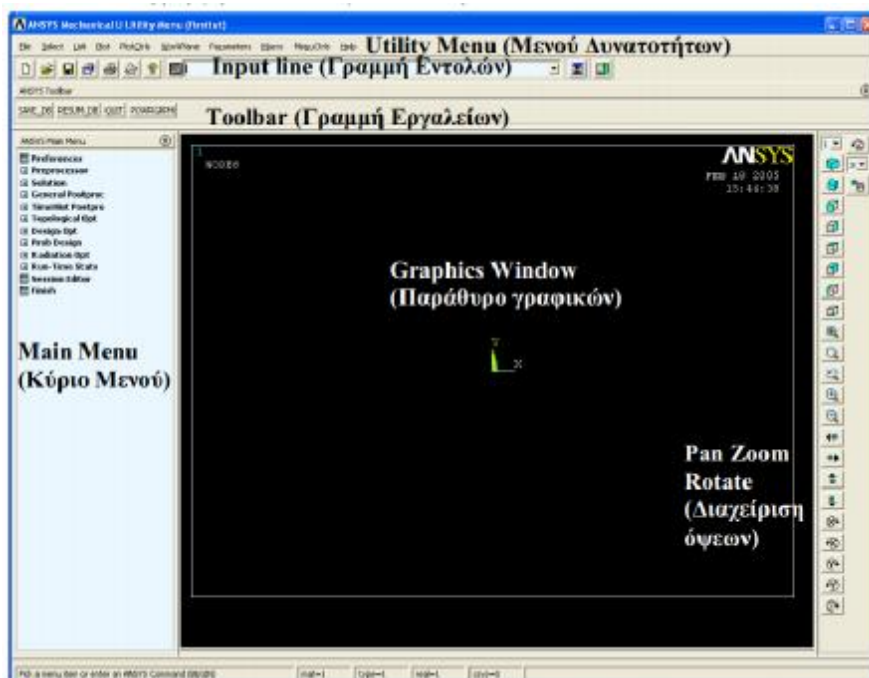


(B)

Εικόνα 4- 1 Εισαγωγή στο ANSYS

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ANSYS

Μετά την εντολή Run στο παράθυρο της εικόνας 4-1 (B) εκκινεί το παραθυρικό περιβάλλον του ANSYS, η μορφή του οποίου φαίνεται στην Εικόνα 4-2



Εικόνα 4- 2 Περιβάλλον Ansys

Το πρόγραμμα του ANSYS αποτελείται από δύο παράθυρα: α) Βασικό και β) Αποτελεσμάτων (Outputwindow). Στο βασικό παράθυρο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-2, υπάρχουν 5 περιοχές.

**UtilityMenu** (Μενού Δυνατοτήτων): Περιέχει τις λειτουργίες που υπάρχουν στο ANSYS, όπως διαχείρισης αρχείων, επιλογής οντοτήτων, διαχείρισης γραφικών και παραμέτρων.

**InputLine** (Γραμμή Εντολών): Επιτρέπει την απευθείας πληκτρολόγηση εντολών. Επίσης περιλαμβάνει συστάσεις για τη σύνταξη των εντολών. **Toolbar** (Γραμμή Εργαλείων): Η γραμμή εργαλείων περιέχει κουμπιά με τις πιο συνηθισμένες εντολές του ANSYS

**Toolbar** (Γραμμή Εργαλείων)

**MainMenu** (Κύριο Μενού): Το κύριο μενού περιέχει τις κύριες εντολές του ANSYS, που χωρίζονται σε τέσσερα βασικά μέρη. Στον προεπεξεργαστή (preprocessor), στην επίλυση (solution), στον μετεπεξεργαστή (generalpostprocessor) και τον βελτιστοποιητή σχεδίου (designoptimizer). Οι περισσότερες επιλογές για τη δημιουργία ενός μοντέλου γίνονται από αυτό το μενού

**GraphicsWindow** (Παράθυρο Γραφικών): Εδώ εμφανίζονται όλα τα γραφικά και γίνονται όλες οι επιλογές που αφορούν γεωμετρικές οντότητες.

Στο **παράθυρο αποτελεσμάτων** (output window) εμφανίζονται στοιχεία για τις εντολές που εκτελούνται στο βασικό παράθυρο και βρίσκεται συνήθως πίσω από το βασικό παράθυρο.

## Main Menu



Εικόνα 4-3 Οι εντολές του επεξεργαστή

Στην εικόνα 4-3 φαίνεται η δενδροειδής μορφή των εντολών του προεπεξεργαστή (Preprocessor) όπου πραγματοποιούνται τα στάδια 1-3, που προέρχονται από το **Main Menu**. Το δένδρο δεν είναι σε πλήρη ανάπτυξη γιατί είναι ιδιαίτερα μεγάλο και με την παρούσα του μορφή δίνει καλύτερη εσοπτεία. Παρατίθεται μια μικρή ανάλυση των εντολών που θεωρείται χρήσιμη για την κατανόηση της δομής του προγράμματος. Κάποιες εντολές θα αναλύονται περισσότερο και σε άλλες δεν θα αναφερόμαστε. Η επιλογή γίνεται με γνώμονα το πόσο συνηθισμένη είναι η χρήση της κάθε εντολής ή αν έχει κάποιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον στοιχείο.

### Preferences

Η πρώτη εντολή, Preferences, μας δίνει τη δυνατότητα να επιλέξουμε ειδικά την μοντελοποίηση που θέλουμε να κάνουμε ώστε οι επιλογές που θα εμφανιστούν στη συνέχεια να περιορίζονται ανάλογα με τον τύπο της ανάλυσης. Οι διαθέσιμες

επιλογές είναι: δομική ανάλυση (Static), θερμική ανάλυση (Thermal) ή ρευστομηχανική ανάλυση (Fluid).

### **Preprocessor (προεπεξεργαστής)**

Με τη πρώτη εντολή του preprocessor, ElementType → Add/Edit/Delete γίνεται η διαχείριση των πεπερασμένων στοιχείων. Δεν είναι απαραίτητο να επιλέξουμε τον τύπο ή τους τύπους των στοιχείων πριν από την κατασκευή της γεωμετρίας, αλλά είναι δυνατό. Μάλιστα, στις περισσότερες περιπτώσεις που γνωρίζουμε την μοντελοποίηση που θα ακολουθήσει, είναι ιδιαίτερα βολικό.

Η επόμενη επιλογή, RealConstants, αφορά ορισμένα πεπερασμένα στοιχεία όπου είναι αναγκαίο να ορίσουμε επιπλέον σταθερές όπως το πάχος ενός δισδιάστατου ή την διατομή (έκταση, ροπή αδράνειας) ενός μονοδιάστατου πεπερασμένου στοιχείου.

Με την επιλογή MaterialProps ορίζουμε τις μηχανικές, και όχι μόνο, ιδιότητες των υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε στην ανάλυση. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω βιβλιοθήκης έτοιμων υλικών ή απευθείας.

Στη συνέχεια περνάμε στην περιοχή των εντολών κατασκευής ή αλλαγής της γεωμετρίας και πεπερασμένων στοιχείων Modeling. Η πρώτη εντολή – create περιλαμβάνει: α) για τη γεωμετρία: τις Keypoints (σημεία), Lines (γραμμές), Areas (επιφάνειες) και Volumes (όγκους), και για τα **πεπερασμένα στοιχεία**: Nodes (κόμβους), Elements (στοιχεία), ContactPair (ζεύγος επαφής), PipingModels (μοντέλα σωληνώσεων), Circuit (κυκλώματα) και Transducers (μετασχηματιστές).

Εντολές που αφορούν τη γεωμετρία: Όσον αφορά τα Keypoints συνήθως επιλέγουμε In actívecs (coordinatesystem) όπου τα ορίζουμε από τις συντεταγμένες τους στο ενεργό σύστημα συντεταγμένων. Στην περίπτωση των γραμμών είναι περισσότερες οι επιλογές και θα σταθούμε στην lines→ lines→ straightline, όπου ορίζουμε μία ευθεία γραμμή μεταξύ δύο σημείων και στην lines → splines, όπου ορίζουμε κατασκευή καμπύλων γραμμών μεταξύ πολλών σημείων. Ακόμα μία επιλογή είναι η Fillet η οποία δημιουργεί καμπυλότητα σε δύο τεμνόμενες γραμμές με συγκεκριμένη ακτίνα, αντίστοιχη εντολή υπάρχει και για τις επιφάνειες. Τέλος η επιλογή areas και volumes ακολουθεί τη λογική των εντολών των lines. Τελικά η μοντελοποίηση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας προηγούμενα γεωμετρικά στοιχεία (keypoints, lines και areas) ή απευθείας με δεδομένα γεωμετρικά σχήματα.

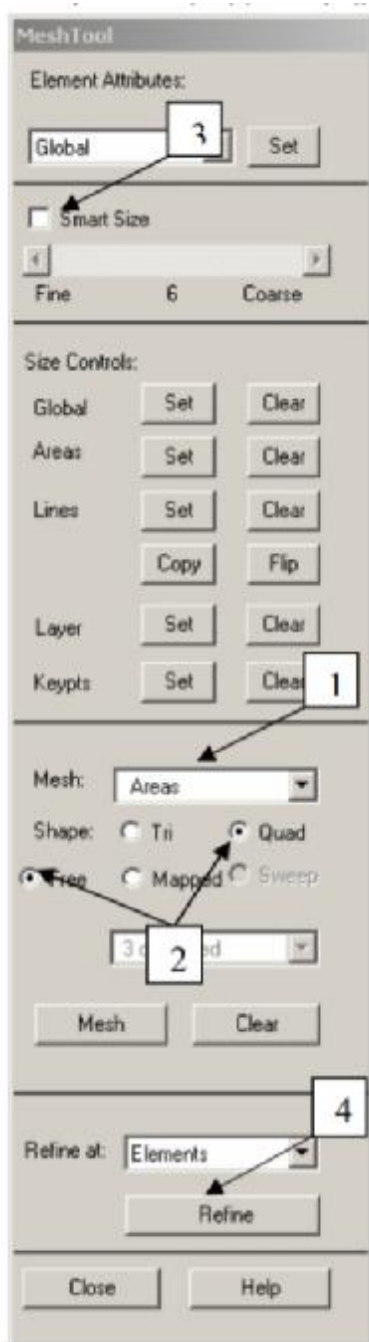
Εντολές που αφορούν τα πεπερασμένα στοιχεία: Με εντολές για την κατασκευή των πεπερασμένων στοιχείων ασχολούμαστε σε περιπτώσεις όπου δεν έχουμε γεωμετρικές οντότητες ή θέλουμε να κατασκευάσουμε πλέγμα χειροκίνητα – δεν προτείνεται. Εκείνο που χρησιμοποιούμε τις περισσότερες φορές είναι ο ορισμός κόμβων στο τρέχον σύστημα συντεταγμένων nodes → inactivecs και των πεπερασμένων από τους ήδη ορισμένους κόμβους elements → auto numbered. Στην περίπτωση όπου έχουμε το πλέγμα έτοιμο από κάποιο άλλο λογισμικό και σε μορφή αναγνώσιμη από το ANSYS τότε η εντολές ReadNodesFile και ReadElemFile είναι πιο χρήσιμες. Οι αντίστοιχες με το Write χρησιμοποιούνται αν θέλουμε να μεταφέρουμε το πλέγμα που ήδη έχουμε κατασκευάσει σε κάποιο άλλο λογισμικό ή και στο ίδιο το ANSYS σε άλλο αρχείο.

Ακόμα σημαντική εντολή είναι αυτή της κατασκευής ζεύγους επαφής, ContactPair, η οποία ορίζεται μεταξύ δύο οντοτήτων – επιφάνειες ή ομάδα κόμβων – και ορίζει σχέση επαφής. Η σχέση αυτή θέτει συγκεκριμένο νόμο για την αποκόλλησή τους. Ο νόμος επιτρέπει ή όχι την αποκόλλησή τους αλλά και την ολίσθησή τους. Κατά τη δημιουργία του ζεύγους ορίζονται νέα δισδιάστατα (ή και μονοδιάστατα) πεπερασμένα στοιχεία τα οποία έχουν τις ιδιότητες που προαναφέραμε.

Μετά την εντολή Create ακολουθεί η εντολή Operate, η οποία περιλαμβάνει τις εντολές Extrude, Boolean, Scale και Calc Geometry items. Κατά την Extrude μπορούμε να σύρουμε μια γραμμή (ως προς άλλη γραμμή ή άξονα) και να δημιουργήσουμε επιφάνεια ή να σύρουμε μία επιφάνεια και να δημιουργήσουμε έναν όγκο. Πολύ περισσότερες δυνατότητες μας προσφέρει η κατηγορία εντολών Boolean μέσω των οποίων κάνουμε λογικές πράξεις μεταξύ γεωμετρικών οντοτήτων. Με τις πράξεις αυτές καταφέρνουμε να κόβουμε (διαιρούμε) ή να προσθέτουμε γραμμές, επιφάνειες και όγκους. Η εντολή Scale δίνει την δυνατότητα να πολλαπλασιάζουμε τις καρτεσιανές συντεταγμένες xyz ή τις πολικές φθR ανάλογα με το τρέχον σύστημα συντεταγμένων. Στην περίπτωση των πολικών είναι βοηθητικό διότι μπορούμε να επιτύχουμε περιστροφή. Τέλος στην εντολή CalcGeometryitems μπορούμε να υπολογίσουμε αποστάσεις σημείων ή κόμβων.

Στη συνέχεια έχουμε τις σειρές εντολών Move/Modify, Copy, Reflect, Delete και Cyclic Sector. Με την ομάδα εντολών Move/Modify, Copy, Reflect και Delete μπορούμε να μετακινούμε, να δημιουργούμε αντίγραφα κανονικά και κατοπτρικά και να διαγράψουμε όλες τις οντότητες. Μπορούμε να διαγράψουμε έναν όγκο χωρίς να διαγράψουμε τις επιφάνειες και τις γραμμές από τις οποίες αποτελείται αλλά δεν πρέπει να έχει πλέγμα.

Μπορούμε ακόμα να μετακινούμε ή να αντιγράψουμε όγκους με ή χωρίς πλέγμα. Ιδιαίτερη σημασία έχει η εντολή CyclicSector με την οποία μπορούμε να μοντελοποιήσουμε ένα αντικείμενο το οποίο εφαρμόσουμε μια φορά σε κάθε γεωμετρικό στοιχείο και μετά να τα διακριτοποιούμε όλα μαζί.



**Εικόνα 4- 4** Μορφή του παραθύρου Meshtool

Η εκ των προτέρων επιλογή των παραπάνω γίνεται με το MeshAttributes και συνίσταται στις περισσότερες περιπτώσεις (αν δεν έχουμε δηλαδή μόνο ένα είδος υλικού, πεπερασμένου στοιχείου και πραγματικών σταθερών). Ιδιαίτερα χρήσιμο είναι το Meshtool το οποίο δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε πλέγμα επιλέγοντας τις οντότητες που θέλουμε κάθε φορά. Είναι δυνατό να ορίσουμε το μέγεθος γενικά για όλες τις οντότητες (Global) ή ανά είδος. Ακόμα μπορούμε να ορίσουμε πλήθος πεπερασμένων στοιχείων – διαμερίσεων ανά γραμμή - το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο κατά την διακριτοποίηση με δομημένο πλέγμα και όχι μόνο

Η μορφή του παραθύρου Meshtool είναι ορισμένη για επιφάνειες (1) για πεπερασμένο στοιχείο τετραπλευρικό (Quad) και ελεύθερη διακριτοποίηση (free) (2). Με τον όρο αυτό εννοούμε ότι δεν είναι δομημένο (mapped) κατά τρόπο που μάθαμε στο μάθημα AMKII όπου χρησιμοποιήσαμε την μεθοδολογία του Coops αλλά έχει ακανόνιστο σχήμα με στόχο καλύτερη ποιότητα στοιχείων. Ακόμα μία επιλογή είναι αυτή του SmartSize (3), η γενική του ιδέα έχει ήδη αναλυθεί, όπου υπάρχει μία κλίμακα 1-10 από fine (λεπτό) σε coarse (χονδροειδές).

Η χρησιμότητά του είναι σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις πολύπλοκης γεωμετρίας όπου ο ορισμός των επιμέρους διαμερίσεων είναι ιδιαίτερα χρονοβόρος. Γενικά προτιμάται πλέγμα ομοιόμορφου μεγέθους. Τέλος υπάρχει ακόμα μία εντολή,



η Refine(4) με την οποία μπορούμε να κάνουμε εκλέπτυνση σε ένα υπάρχον πλέγμα σε συγκεκριμένα σημεία. Ούτε αυτή η εντολή πρόκειται να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα παρά μόνο σε ιδιαίτερες περιπτώσεις. Η εμπειρία έχει δείξει ότι είναι καλύτερο να δίνεται μία διάσταση γενική ή να δίνονται επιμέρους διαστάσεις σε γραμμές ή ακόμα και συνδυασμός των παραπάνω. Όταν γίνουν αυτές οι ενέργειες τότε η χρήση του SmartSize είναι δυνατό να δώσει ικανοποιητικά ή και καλύτερα αποτελέσματα από τις άλλες μεθοδολογίες (free – mapped).

Όσον αφορά το πλέγμα υπάρχει άλλη μία εντολή η οποία όμως είναι χρήσιμη μόνο σε περίπτωση δομημένου πλέγματος. Η εντολή αυτή, concatenate, μας επιτρέπει να ορίσουμε δύο ή περισσότερες γεωμετρικές γραμμές ως μία για την διαδικασία της διακριτοποίησης. Αυτό απαιτείται μόνο στις περιπτώσεις όπου έχουμε επιφάνειες με πάνω από 4 πλευρές και όγκους με πάνω από 6 επιφάνειες. Ο αλγόριθμος του ANSYS για δομημένο πλέγμα μπορεί να διαχειριστεί επιφάνειες με 3-4 πλευρές και όγκους με 5-6 επιφάνειες.

Όπως και στην περίπτωση των εντολών Modeling έτσι και σε αυτή την ομάδα έχουμε τη σειρά εντολών διαγραφής (clear), που αναφέρονται αποκλειστικά στο πλέγμα. Αυτή η σειρά των εντολών ακολουθεί ακριβώς την ίδια λογική. Σημειώνουμε ότι δεν μπορούμε να κάνουμε delete σε γεωμετρικές οντότητες οι οποίες έχουν πλέγμα καθώς επίσης και σε μεμονωμένα πεπερασμένα στοιχεία ή κόμβους που έχουν κατασκευαστεί με τις εντολές του mesh.

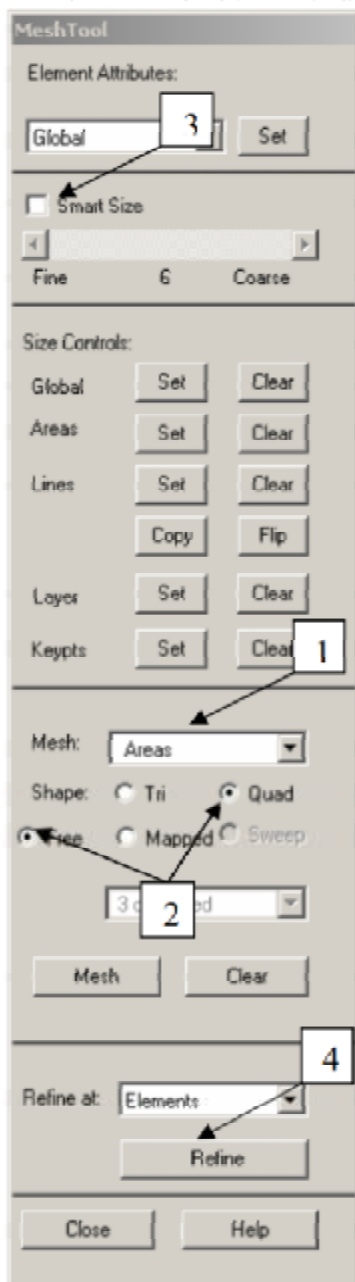
Οι τελευταίες εντολές που θα μας απασχολήσουν από τον preprocessor είναι η NumberingControls και η Loads, η τελευταία υπάρχει και στην περιοχή του Solution όπου και θα αναλυθεί. Την NumberingControls την χρησιμοποιούμε για να κάνουμε συγχώνευση, merge, ορισμένων οντοτήτων ή για να ξαναορίσουμε την αρίθμησή τους.

Η συγχώνευση είναι απαραίτητη σχεδόν κάθε φορά που κάνουμε εισαγωγή αρχείου \*.igs διότι έχουμε εισαγωγή διπλών keypoints (σημείων) ή και lines (γραμμών) – areas (επιφανειών).

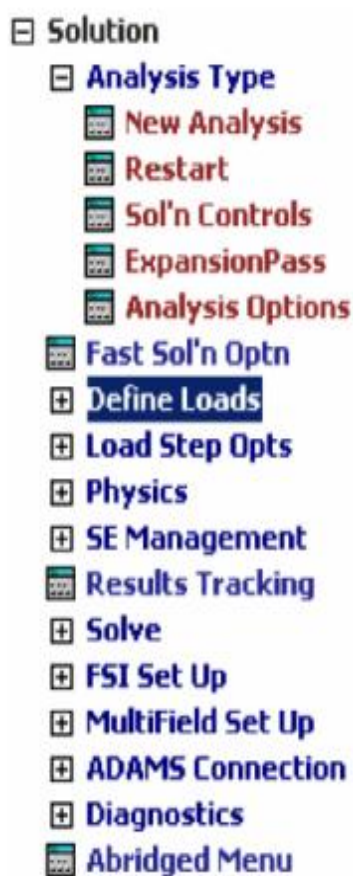
Ο επανορισμός της αρίθμησης (CompressNumbers) είναι χρήσιμος σε περίπτωση που θέλουμε να εξάγουμε δεδομένα από το μοντέλο σε άλλο περιβάλλον για περαιτέρω επεξεργασία και γενικά βοηθάει στην εμποπτεία του μοντέλου να έχουμε μικρούς και συνεχείς αριθμούς. Η εμφάνιση ασυνέχειας στην αρίθμηση εμφανίζεται σε περιπτώσεις που έχουμε Boolean πράξεις ή διορθώνουμε το πλέγμα.

## Solution (επίλυση)

Στην εικόνα 4-5 απουσιάζονται οι βασικές εντολές της επίλυσης. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν κοινές εντολές με τον προεπεξεργαστή όσον αφορά τις φορτίσεις. Ο τύπος της ανάλυσης AnalysisType → NewAnalysis οδηγεί στο παράθυρο της εικόνας 4-6 και εκεί γίνεται η κατάλληλη επιλογή.

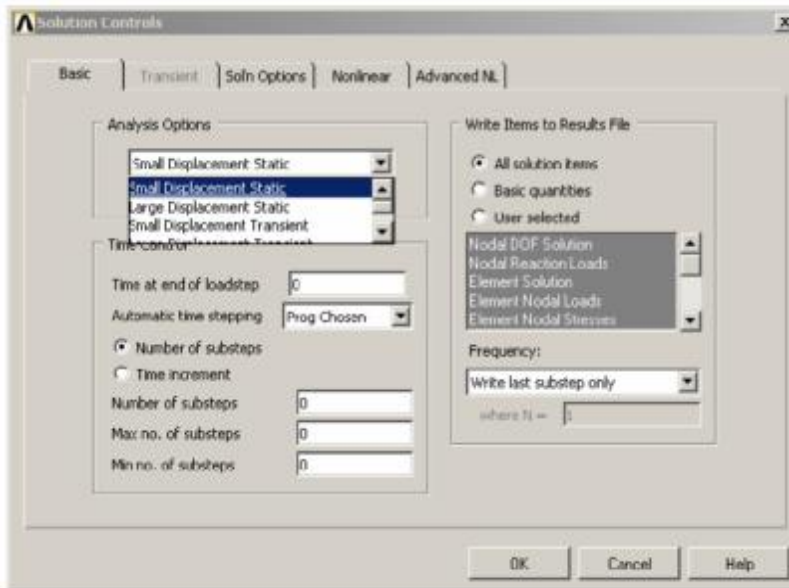


Εικόνα 4- 5



Εικόνα 4- 6

Για κάθε τύπο επίλυσης έχουμε επιπλέον επιλογές. Οι επιλογές αυτές εμφανίζονται με την επιλογή SolutionControls (Sol'nControls) σε νέο παράθυρο (εικόνα 4-7) ,όπου γίνονται οι επιλογές για στατική ή δυναμική ανάλυση, μεγάλες ή μικρές μετατοπίσεις, μέγεθος του βήματος, επιλογή της αποθήκευσης των αποτελεσμάτων ανά βήμα ή όχι και ποιων, τον τρόπο επιβολής φορτίου (ράμπας ή βηματική) και τον επιλύτη.



Εικόνα 4- 7

Οι παραπάνω παράμετροι μπορούν να οριστούν ανεξάρτητα από τον ορισμό των φορτίων. Παρόλα αυτά είναι ορθότερο να ορίζονται πρώτα οι οριακές συνθήκες και στη συνέχεια οι παράμετροι της επίλυσης.

- [-] Define Loads
  - [-] Settings
    - [-] Uniform Temp
    - [-] Reference Temp
    - [+] For Surface Ld
    - [+] Replace vs Add
  - [-] Apply
    - [-] Structural
      - [+] Displacement
      - [+] Force/Moment
      - [+] Pressure
      - [+] Temperature
      - [+] Inertia
      - [-] Pretnsn Sectn
      - [-] Gen Plane Strain
      - [+] Other
    - [+] Field Surface Intr
    - [+] Field Volume Intr
    - [-] Initial Condit'n
      - [+] Define
      - [-] List All
      - [+] List Picked
    - [+] Load Vector
    - [+] Functions
  - [+] Delete
  - [+] Operate

Εικόνα 4- 8

Οι οριακές συνθήκες ορίζονται μέσα από τη σειρά εντολών DefineLoads όπου έχουμε την πρώτη εντολή Settings η οποία αφορά τον ορισμό θερμοκρασίας σε προβλήματα μετά

Σε μεταβατικά προβλήματα, συχνά, ορίζουμε αρχική κατάσταση και στη συνέχεια μας ενδιαφέρει να δούμε την εξέλιξη του φαινομένου. Σε αυτή την περίπτωση η εντολή είναι Apply → InitialConditions και εφαρμόζεται μόνο σε κόμβους. Τέλος, όπως και σε όλες τις άλλες ομάδες εντολών έχουμε τη σειρά των εντολών διαγραφής Delete. Σημειώνουμε ότι αν δοθεί η εντολή της επίλυσης (ανεξάρτητα αν γίνει ή όχι) τότε χάνονται οι τιμές των αρχικών οριακών συνθηκών και πρέπει να ξαναοριστούν.

Αφού έχουν οριστεί όλα τα παραπάνω είμαστε έτοιμοι να κάνουμε επίλυση του μοντέλου. Αυτό γίνεται με την εντολή Solve → CurrentLs(Load Set).

### Postprocessor (μεταεπεξεργαστής)

- [-] General Postproc
  - [+] Data & File Opts
  - [+] Results Summary
  - [+] Read Results
  - [+] Failure Criteria
  - [-] Plot Results
    - [+] Deformed Shape
    - [-] Contour Plot
      - [+] Nodal Solu
      - [+] Element Solu
      - [+] Elem Table
      - [+] Line Elem Res
    - [+] Vector Plot
    - [+] Plot Path Item
    - [+] Concrete Plot
    - [+] ThinFilm
  - [+] List Results
  - [+] Query Results
  - [+] Options for Outp
  - [+] Results Viewer
  - [+] Write PGR File
  - [+] Nodal Calcs
  - [-] Element Table
    - [+] Define Table
    - [+] Plot Elem Table
    - [+] List Elem Table
    - [+] Abs Value Option
    - [+] Sum of Each Item
    - [+] Add Items
    - [+] Multiply
    - [+] Find Maximum
    - [+] Find Minimum
    - [+] Exponentiate
    - [+] Cross Product
    - [+] Dot Product
    - [+] Erase Table
  - [+] Path Operations
  - [+] Surface Operations
  - [+] Load Case
  - [+] Check Elem Shape
  - [+] Write Results
  - [+] ROM Operations
  - [+] Submodeling
  - [+] Fatigue
  - [+] Safety Factor
  - [+] Define/Modify
  - [+] Nonlinear Diagnostics

Οι εντολές για την παρουσίαση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται, όχι σε πλήρη ανάπτυξη, στην εικόνα 4-9. Η πρώτη εντολή που θα μας απασχολήσει είναι η ReadResults με την οποία κάνουμε ανάγνωση των αποτελεσμάτων. Η ανάγνωση δεν χρειάζεται σε περίπτωση που βλέπουμε τα αποτελέσματα μετά την επίλυση και χωρίς να κλείσουμε το πρόγραμμα. Χρειάζεται όμως όταν έχουμε κλείσει το πρόγραμμα και θέλουμε να τα ξανακοιτάξουμε ή όταν έχουμε μία επίλυση σε βήματα και θέλουμε να δούμε τα αποτελέσματα σε επιμέρους βήματα.

Μετά την ανάγνωση των αποτελεσμάτων έχουμε την γραφική τους αναπαράσταση contourplot, η επιλογή αυτή εμφανίζεται μόνο όταν έχει γίνει η ανάγνωση. Σε αυτή τη σειρά εντολών έχουμε να επιλέξουμε μεταξύ των Nodal Solution, Element Solution και ElementTable. Από αυτές τις εντολές διαλέγουμε την πρώτη για την απεικόνιση των μετατοπίσεων μιάς και οι μετατοπίσεις είναι κομβικές και έτσι δεν είναι διαθέσιμη αυτή η πληροφορία σε άλλη εντολή. Όσον αφορά τις τιμές των τάσεων και των παραμορφώσεων μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες και από τις τρεις επιλογές αλλά δεν είναι βέβαιο ότι θα μας δώσουν την ίδια απάντηση.

Εικόνα 4-9

Η πρώτη Nodal δίνει την μέση τιμή στους κόμβους που εξαρτώνται από περισσότερα του ενός στοιχεία, η δεύτερη Element δίνει την λύση σε κάθε πεπερασμένο στοιχείο και η τελευταία Elementtable δίνει λύση ανά πεπερασμένο

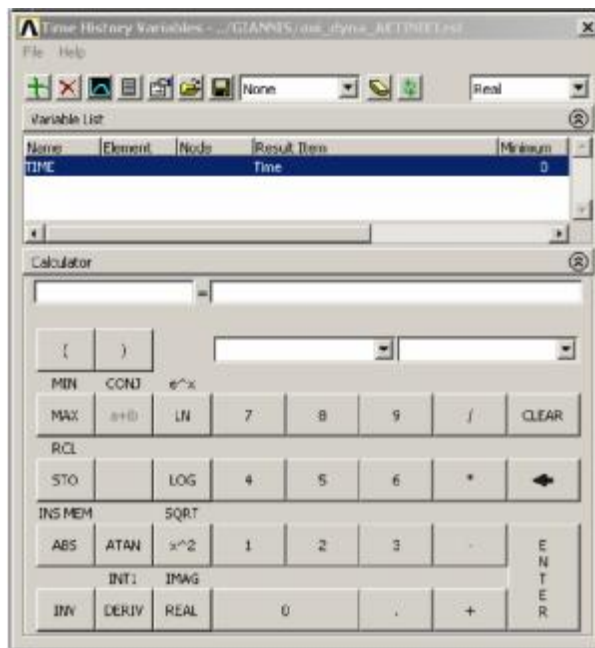
στοιχείο, διακριτές τιμές ανά στοιχείο, αλλά έχει την επιπλέον δυνατότητα να βγάζει μέσους όρους και να δίνει μια απεικόνιση συνεχούς μορφής. Όποιον τρόπο και αν επιλέξουμε για να δούμε τα αποτελέσματα δεν θα πρέπει να έχουμε μεγάλες διαφοροποιήσεις. Οι περιπτώσεις που θα έχουμε διαφοροποιημένα αποτελέσματα είναι αυτές όπου το πλέγμα δεν είναι ικανοποιητικό ή όταν έχουμε πολύπλοκες γεωμετρικές οντότητες. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν μπορούμε να είμαστε απολύτως βέβαιοι για τα αποτελέσματα αλλά θεωρείται καλή επιλογή το `ElementTableAveraging` η οποία δίνει μια καλή εικόνα και εξομαλύνει τυχόν τοπικά μέγιστα, τα οποία πιθανόν να μην είναι αληθινά και να οφείλονται στην ιδιομορφία του πλέγματος ή των φορτίσεων (συγκεντρωμένα φορτία).

Ειδικότερα για την επιλογή του `ElementTable` πρέπει να γίνει πρώτα ο ορισμός του με τις εντολές `Element Table`→ `Define Table`. Ακόμα η σειρά των εντολών του `Element Table` δίνει τη δυνατότητα πράξεων στα αποτελέσματα και γενικά προτιμάται για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, για παράδειγμα μέσω αυτής μπορεί να προσδιοριστεί εάν ένα στοιχείο θλίβεται ή εφελκύεται.

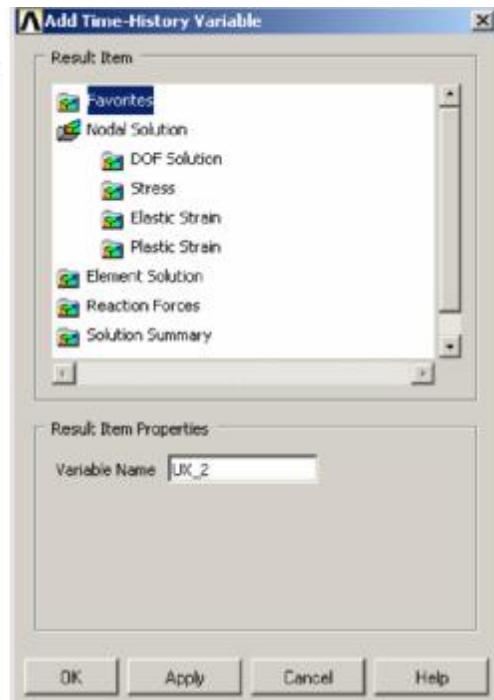
Πέρα από τη γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων πολλές φορές χρειάζεται να έχουμε και την αριθμητική τους τιμή ανά κόμβο ή στοιχείο. Η τιμή αυτή αντλείται από τη σειρά εντολών `ListResults`. Επίσης, οι τιμές των αποτελεσμάτων όπως και άλλες τιμές είναι δυνατό να αποθηκευθούν σε πίνακες, μεταβλητές ή και σε αρχείο (με χρήση `Format` κατά `Fortran`) για περαιτέρω επεξεργασία με άλλο πρόγραμμα.

Οι εντολές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε το μοντέλο έχει λυθεί χρησιμοποιώντας γραμμική είτε μη γραμμική ανάλυση. Ιδιαίτερα όμως στην περίπτωση της μη γραμμικής ανάλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί το περιβάλλον του `ResultViewer` για γραφική αναπαράσταση ή εντολές από το μενού του `TimeHistoryPostprocessor`.

Τη στιγμή που επιλέγουμε το επίπεδο του `TimeHistoryPostprocessor` παρουσιάζεται το παράθυρο του `VariableViewer`, εικόνα 4-11, όπου έχουμε τη δυνατότητα να επιλέξουμε ποια αποτελέσματα θα εμφανιστούν.



Εικόνα 4- 10



Εικόνα 4- 11

Επιλέγουμε στοιχείο ή κόμβο, ανάλογα με το αποτέλεσμα που θέλουμε να εξετάσουμε πατώντας το κουμπί με το + το οποίο εμφανίζει ένα δεύτερο παράθυρο για να κάνουμε την επιλογή, εικόνα 4-11

Επιπλέον έχουμε τη δυνατότητα να κάνουμε τη γραφική αναπαράσταση μιας σειράς αποτελεσμάτων σε σχέση με το χρόνο ή κάποιας άλλης σειράς όπως και την πολλαπλή αναπαράσταση τιμών. Το περιβάλλον του VariableViewer έχει επιπλέον ένα υπολογιστή, Calculator, για πράξεις μεταξύ των αποτελεσμάτων. Ανάμεσα σε αυτές τις πράξεις είναι και η παραγωγή, deriv, η οποία υπολογίζει π.χ. την ταχύτητα από την μετατόπιση και στη συνέχεια την επιτάχυνση.

### Λειτουργίες του Ansys που βοηθούν στην απεικόνιση και στη διαχείριση των μοντέλων

#### UtilityMenu

Η πρώτη ετικέτα ονομάζεται File και αναλαμβάνει την διαχείριση των αρχείων (αποθήκευση, άνοιγμα, εισαγωγή αρχείου \*.igs, ανάγνωση εντολών από αρχείο, αποθήκευση εντολών που έχουν δοθεί μέσω παραθυρικού περιβάλλοντος κ.α.) Η δεύτερη ετικέτα Select διαχειρίζεται τις οντότητες που έχουν οριστεί. Κυριότερη εντολή είναι η SelectEntities (εικόνα 4-12) με την οποία επιλέγουμε ή απεπιλέγουμε οντότητες.

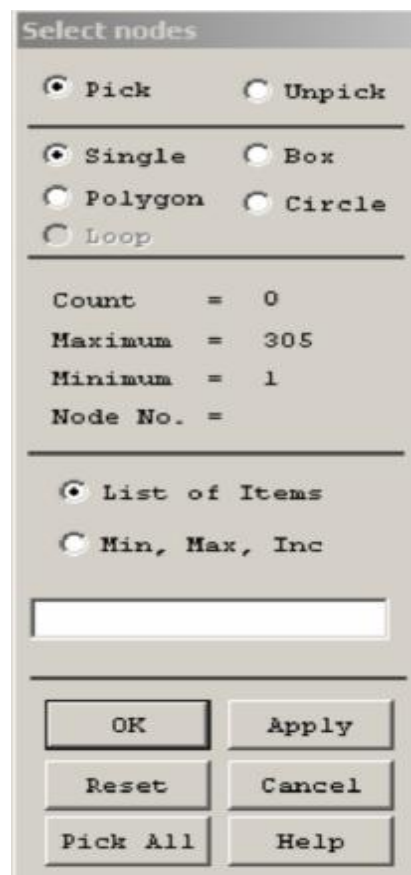


Σε περιπτώσεις όπου δεν είναι όλα εμφανή από την εξωτερική επιφάνεια, ιδιαίτερα συνηθισμένο, είναι άκρως απαραίτητη. Ακόμα και σε περιπτώσεις που θέλουμε να εφαρμόσουμε οριακές συνθήκες είναι πιο βολικό πρώτα να επιλέγουμε τη συγκεκριμένη οντότητα και μετά να τις εφαρμόζουμε, περιορίζει το περιθώριο λάθους.

Κάνοντας Apply παρουσιάζεται ένα νέο παράθυρο (εικόνα 4-13) στο οποίο μπορούμε είτε να πληκτρολογήσουμε τις τιμές τους, ορισμένες φορές είναι πιο γρήγορο, είτε να τις επιλέξουμε γραφικά.

Εικόνα 4- 12

Πιο αναλυτικά μπορούμε να κάνουμε Select FromFull, από το συνολικό μοντέλο, Reselect, ένα μέρος από αυτά που ήδη έχουμε επιλέξει, AlsoSelect, επιπλέον ένα μέρος από αυτά που δεν είναι επιλεγμένα και Unselect, αποεπιλογή από αυτά που ήδη έχουμε επιλέξει. Ακόμα μπορεί να γίνει με μία κίνηση SelectAll – None επιλογή όλων ή από επιλογή όλων, Invert επιλογή μόνο όσων δεν έχουν επιλεγεί και Below που σημαίνει επιλογή όλων των οντοτήτων που είναι συνδεδεμένα με τα επιλεγμένα.



Εικόνα 4- 13

Όλα τα παραπάνω αναφέρονται στην οντότητα που αναγράφεται στην πρώτη γραμμή και / ή με τρόπο που αναφέρεται στη δεύτερη. (εικόνα 4-12)

Η τρίτη ετικέτα Plot αφορά την επιλογή που θα κάνουμε ως προς τη γραφική απεικόνιση.

Μπορούμε να επιλέξουμε να φαίνονται συγκεκριμένες οντότητες ή και όλες μαζί, Multiplots. Η τέταρτη ετικέτα PlotControls ορίζει παραμέτρους που επηρεάζουν την προηγούμενη ετικέτα. Δίνει τη δυνατότητα να κόβουμε νοητά ως προς επίπεδα το μοντέλο για να επιθεωρούμε τις μη ορατές περιοχές, Style. Ακόμα δίνει τη δυνατότητα να εμφανίζουμε ή όχι την αρίθμηση των οντοτήτων ή και να τα απεικονίζουμε με διαφορετικά χρώματα για την ευκολότερη διάκρισή τους, Numbering. Επίσης μπορούμε μέσω του HardCopy να δημιουργούμε αρχεία εικόνας ή να τα εκτυπώνουμε κατευθείαν στον εκτυπωτή. Τέλος το Animate προβάλλει τα αποτελέσματα σε χρονική εξέλιξη, χρησιμοποιείται και ως εναλλακτική για τον ResultViewer.

Η πέμπτη κατά σειρά WorkingPlane προβάλλει τις δυνατότητες του προγράμματος για την διαχείριση των συστημάτων συντεταγμένων σε τοπικό ή κυλινδρικό κ.α..

Η έκτη κατά σειρά Parameters ορίζει παραμέτρους είτε ως μεταβλητές ή σε μορφή πινάκων. Η χρησιμότητα είναι κυρίως σε παραμετρικά προβλήματα και σε προβλήματα βελτιστοποίησης. Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων και την επεξεργασία τους. Μια ειδική περίπτωση είναι η εισαγωγή πειραματικών μετρήσεων για τον υπολογισμό μη γραμμικών υλικών.

Η έβδομη κατά σειρά εντολή Macro εκτελεί μακροεντολή η οποία αποτελείται από εντολές του Ansys. Οι εντολές αυτές, APDL, είναι αρκετές για να προγραμματίσουμε ό,τι χρειαζόμαστε. Μακροεντολές μπορούμε να βρούμε στο internet για συγκεκριμένες λειτουργίες που συνήθως είναι πολύπλοκες ή χρονοβόρες να γίνουν μέσω του παραθυρικού περιβάλλοντος ή να κατασκευάσουμε μόνη μας προγραμματίζοντας με τη βοήθεια συγκεκριμένων εντολών (APDLlanguage).

Η προτελευταία ετικέτα MenuControls αλλάζει περιβάλλον και προτείνεται σε περιπτώσεις όπου έχουμε δοσμένη γεωμετρία με συνηθισμένα υλικά και μας ενδιαφέρει ένα γρήγορο μοντέλο. Σε αυτή την περίπτωση δεν έχουμε δυνατότητες επιλογής πεπερασμένων στοιχείων (γίνεται αυτόματα) και γενικά είμαστε περιορισμένοι με πλεονέκτημα το περισσότερο φιλικό περιβάλλον.



Η τελευταία ετικέτα Help είναι όπως σε κάθε πρόγραμμα η σημαντικότερη εντολή. Το περιβάλλον βοήθειας που έχει το Ansys είναι καλά σχεδιασμένο και προσφέρει τη δυνατότητα βήμα προς βήμα κατασκευής, επίλυσης και αναπαράστασης των αποτελεσμάτων σε απλά παραδείγματα. Προτείνεται η ενασχόληση με αυτά για την καλύτερη εξοικείωση με το περιβάλλον. Ακόμα έχει και έτοιμες γραμμές εντολών σε, επίσης, απλά προβλήματα αλλά δίνεται υλικό για τη χρήση γραμμής εντολών που σε πολλές περιπτώσεις γλιτώνει από πολύ χρόνο. Επίσης εκεί μπορούμε να βρούμε στοιχεία για τις δυνατότητες του προγράμματος και τους περιορισμούς του.

### PanZoomRotate

Η κατακόρυφη γραμμή εργαλείων έχει κοινά στοιχεία με την ετικέτα plot και είναι πλήρως αντίστοιχη με την PanZoomRotate η οποία βγαίνει σε νέο παράθυρο και αναλαμβάνει την μετακίνηση, περιστροφή, μεγέθυνση ή σμίκρυνση του μοντέλου.

Δυναμικό Zoom μπορούμε να κάνουμε επιλέγοντας μία περιοχή με το δεξί κουμπί του ποντικιού. Πατώντας το κουμπί Control και το αριστερό κουμπί του ποντικιού κάνουμε μετακίνηση ενώ με το δεξί περιστροφή του μοντέλου.



Εικόνα 4- 14

### Επιπλέον χαρακτηριστικά για το ANSYS που θα χρησιμοποιηθούν

Το ANSYS έχει ενσωματωμένες κάποιες μεθόδους βελτιστοποίησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να βελτιστοποιήσουμε μία υπάρχουσα κατασκευή. Η χρήση του DesignOptimization μπορεί να γίνει μετά την επίλυση του μοντέλου και αφού αυτό έχει οριστεί παραμετρικά (βαθμωτές μεταβλητές).

Το μενού που χρησιμοποιούμε φαίνεται στην εικόνα 4-14. Εκεί το πρώτο που πρέπει να κάνουλα είναι να ορίσουμε το αρχείο το οποίο θα είναι παραμετρικά ορισμένο και έτοιμο για βελτιστοποίηση. Συνήθως χρησιμοποιούμε την εντολή Write DBlogfile ... από το μενού File,

<sup>5</sup> όπου αναγράφεται η γραμμή εντολών που έχει δοθεί μέσω του παραθυρικού περιβάλλοντος, χωρίς όμως να έχει περιπτώσεις εντολές που έχουν να κάνουν με την οπτική απεικόνιση στο γραφικό περιβάλλον.

Αυτό το αρχείο το κάνουμε Assign και στη συνέχεια είμαστε έτοιμοι να ορίσουμε ποιες από αυτές τις παραμέτρους είναι ανεξάρτητες μεταβλητές DesignVariables, ποιες εξαρτημένες StateVariables και ποια είναι η αντικειμενική συνάρτηση ObjectiveFunction. Στη συνέχεια μπορούμε να διαλέξουμε μέθοδο βελτιστοποίησης Method/Tool και τέλος κάνουμε Run.

Τότε ξεκινάνε οι επαναλήψεις της βελτιστοποίησης. Παράλληλα με τις επαναλήψεις μπορούμε να βλέπουμε ορισμένα ενδιάμεσα αποτελέσματα στο ANSYSOutputWindow. Από αυτά τα αποτελέσματα μπορούμε να κρίνουμε την πορεία της μεθόδου και αν πρέπει να δώσουμε παραπάνω επαναλήψεις ή όχι. Τέλος μπορούμε να δούμε όλα τα DesignSets → List ή μόνο τα εφικτά ή μόνο το καλύτερο. Ακόμα θα μπορούσαμε να κάνουμε κάποιο συνδυασμό υπολογισμένων Sets ώστε να δημιουργήσουμε ένα νέο Set.

- 
- [Notes for ANSYS.pdf](#)
  - <http://users.ntua.gr/cprovat/yliko/Notes%20for%20ANSYS.pdf>

---

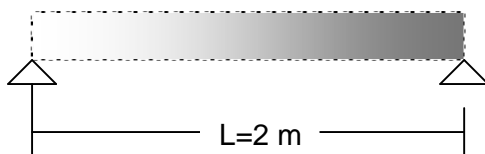
## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

---

### Εφαρμογές σε πεπερασμένα στοιχεία

#### 5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΟΚΟΥ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΜΕ/ΧΩΡΙΣ ΝΑΝΟΥΛΙΚΑ

Μελέτη δοκών σκυροδέματος σε κάμψη με ενίσχυση νανοϋλικών



$$A=20 \cdot 10=200 \text{ cm}^2=200 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I=1/12 \cdot 10 \cdot 20^3 = 2/3 \cdot 10^4$$

$$I_{zz}=66666,67 \text{ cm}^4=6666,67 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

ANSYSΠ.Σ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣStructural

Beam 2D elastic 3

ΣκυρόδεμαE=29 GPA

ΜΟΝΤΕΛΟ:P =  $10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa}$

C20/25

$$\Sigma_{\max} = (M_{\max}/Iz^2) \cdot h/2 \quad 10\text{cm}=0.1\text{m}$$

$$M_{\max} = ql^2/8 = (10^5 \text{ N/m}^2 \cdot 2\text{m}^2)/8 = 0.5 \cdot 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\sigma_{\max} = (0.5 \cdot 10^5 \text{ N}\cdot\text{m} \cdot 0.1 \text{ m}) / 6666 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 = 0.5 \cdot 10^3 / 6666 = 75 \text{ MPa}$$

### Τάσεις για δοκό.

Ενίσχυση με CNT carbonnanotubes για 0% ισχύει:

$$E=29, \rho=2300, \nu=0.23$$

$$\text{Μέτρο Ελαστικότητας } E=1\text{TPa}=10^3$$

$$E_c=29 \text{ Gpa}$$

$$\Phi_{\mu}=2\%=0.02$$

$$E = \Phi_{\mu} \cdot E_{\text{CNT}} + (1 - \Phi_{\mu}) E_c = 0.02 \cdot 10^3 + (1 - 0.02) \cdot 29 \text{ Gpa}$$

$$E = 20 + 28.42 = 48.42$$

$$\rho = \Phi_{\mu} \cdot \rho_{\text{CNT}} + (1 - \Phi_{\mu}) \rho_{\text{σκωρ}} = 0.02 \cdot (3520) + 0.98(2300) = 70.4 + 2254 = 2324.4 \text{ Kg/m}^3$$

$$\Phi_{\nu}=10 \cdot \psi$$

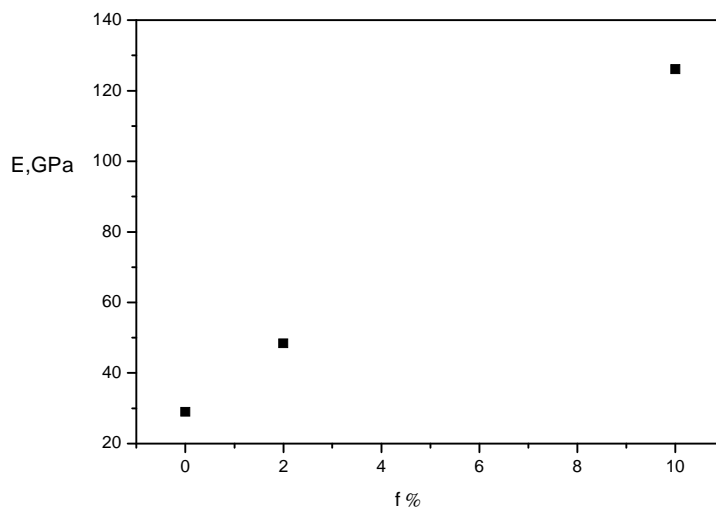
$$E = 0.1 \cdot 1000 + 0.9 \cdot 29 = 126.1 \text{ Gpa}$$

$$\rho = 0.1 \cdot 3520 + 0.9 \cdot 2300 = 2422 \text{ Kg/m}^3$$

$$\nu = 0.1 \cdot 0.2 + 0.9 \cdot 0.23 = 0.227 \text{ Kg/m}^3$$

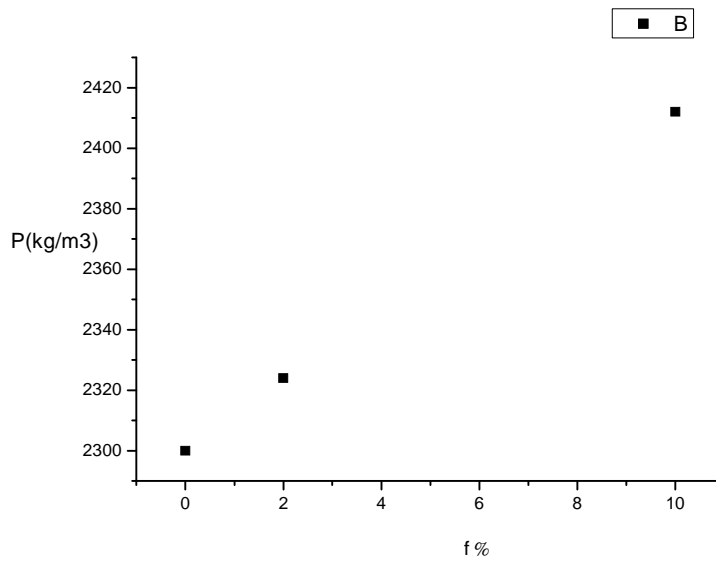
### Διάγραμμα E, V, P / φ %

Φ%	E(GPa)	ρ(Kg/m <sup>3</sup> )	ν
0	29	2300	0.23
2	48.42	2324	0.229
10	126.1	2422	0.227



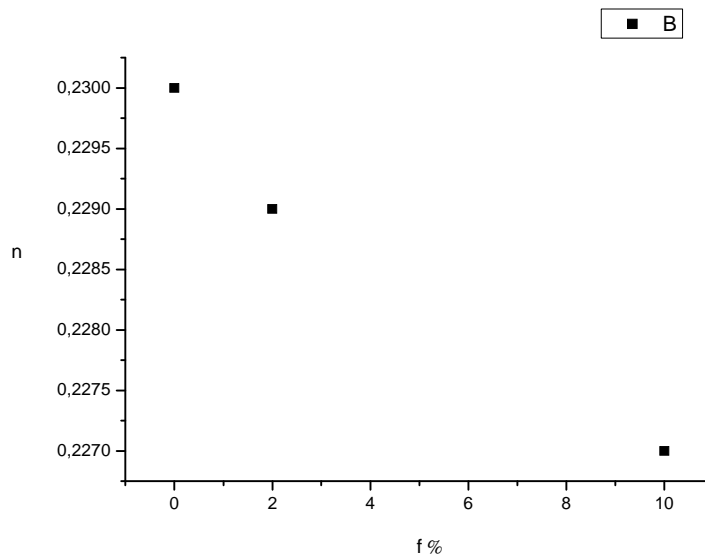
### Διάγραμμα E-φ %

Συμπέρασμα: Το μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται με το % ποσοστό των νανουλικών



### Διάγραμμα P-φ%

Συμπέρασμα: Η πυκνότητα αυξάνεται με το % ποσοστό των νανουλικών



### Διάγραμμα ν-φ%

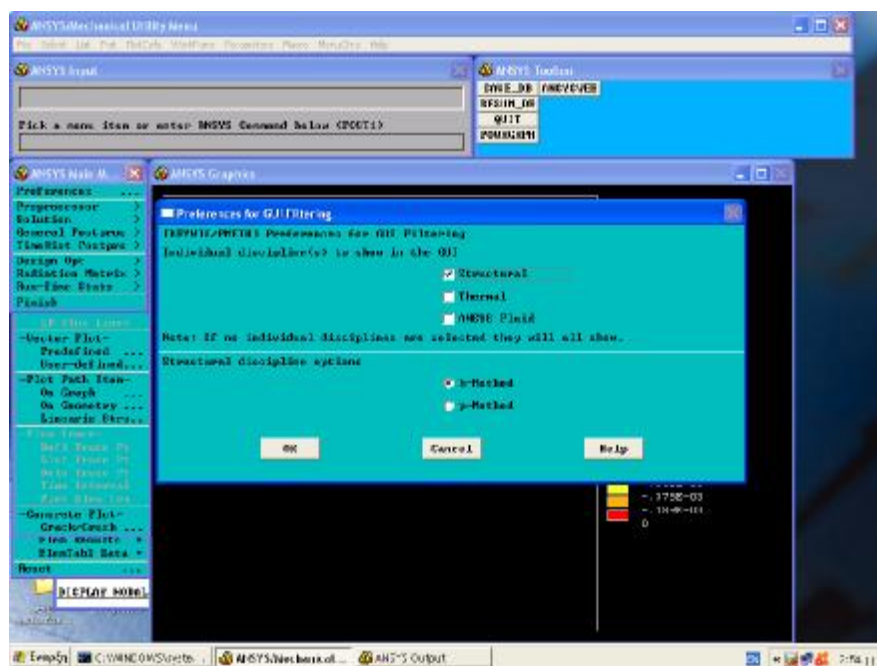
Συμπέρασμα: Ο λόγος Poisson μειώνεται με το % ποσοστό των νανουλικών

## Ενίσχυση Δομικών Στοιχείων με Νανουκικά και ανάλυση με πεπερασμένα Στοιχεία – ANSYS

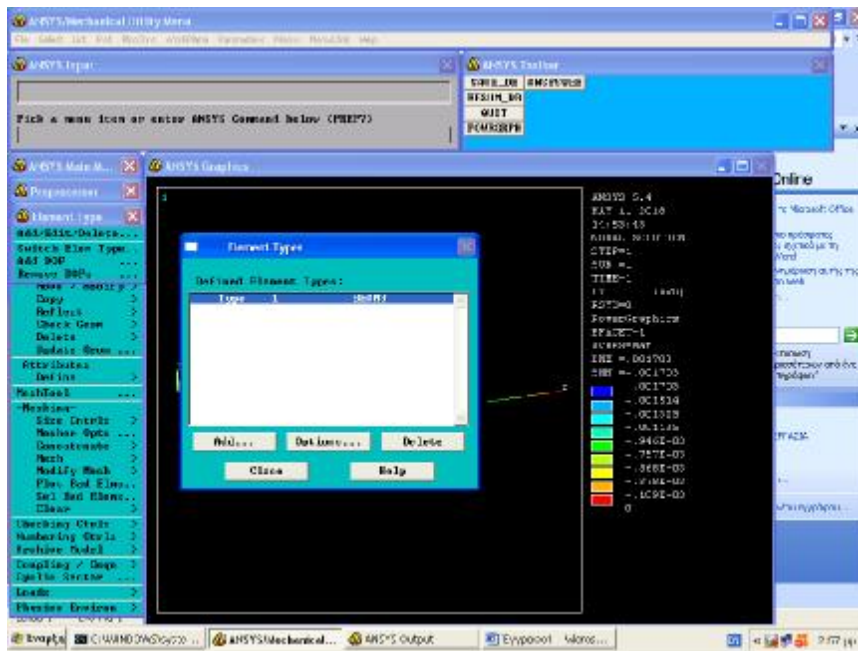
Επιλύουμε το πρόβλημα δοκού υπό κάμψη με ΠΣ.

Το κάτωθι σχήμα περιγράφει γραφικά το πρόβλημα:

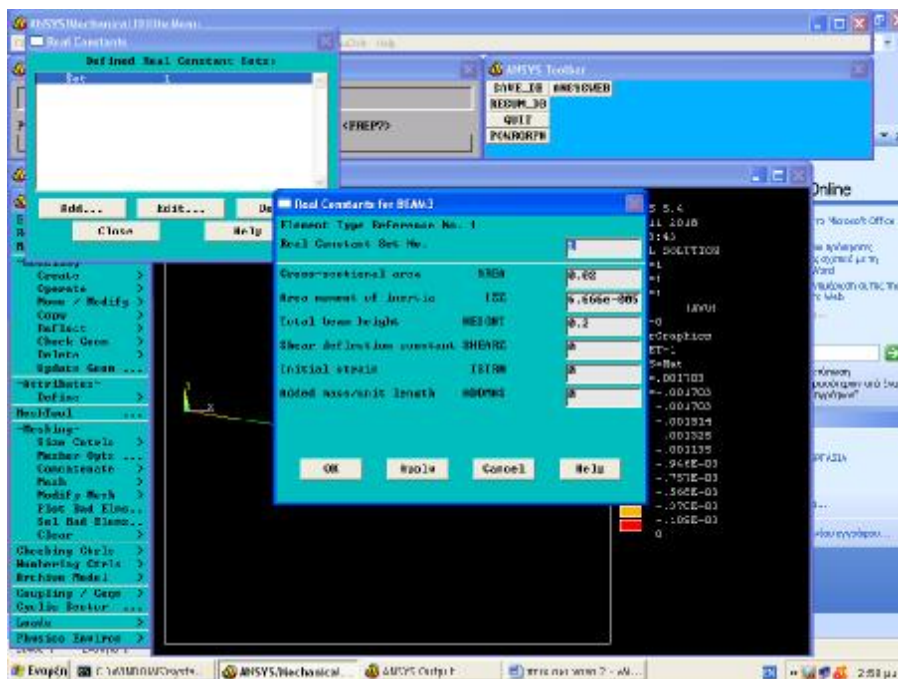
### 1. Αρχικά ορίζουμε στο ANSYS ότι το πρόβλημα είναι Δομοστατικό



### 2. Ορίζουμε τα Πεπερασμένα στοιχεία τύπου BEAM3



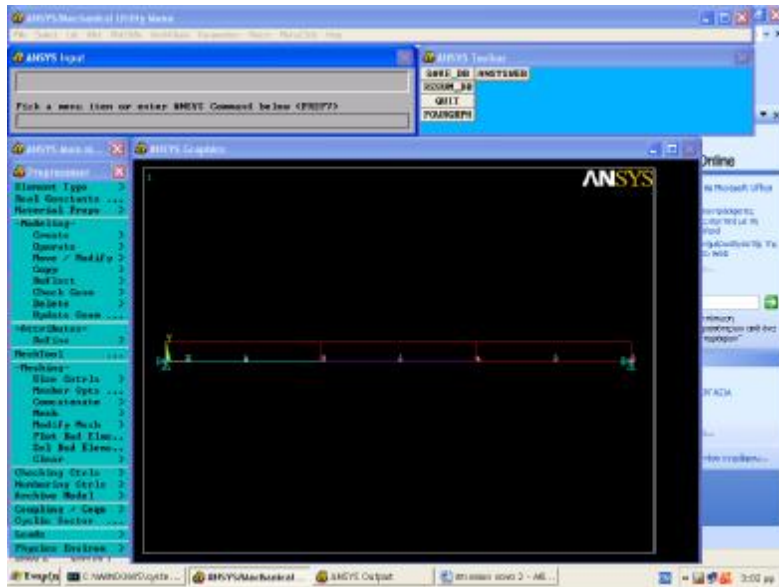
### 3. Ορίσαμε τις παραμέτρους της διατομής







## 6. Ορίζουμε τη φόρτιση η οποία είναι πίεση $10^5 \text{Pa}$



Οι στηρίξεις είναι πάκτωση σε αμφότερα τα άκρα της δοκού

## Βιβλιογραφία

- [Notes for ANSYS.pdf](#)
- Zhu W., Bartos P.M.M. και Porro A. (2004). Εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στον τομέα των κατασκευών Σύνοψη μιας υπερσύγχρονης έκθεσης, RILEM TC 197NCM: «Νανοτεχνολογία στα δομικά υλικά» 37, 649-658. 2.
- Balaguru, Π. Ν. (2005), Νανοτεχνολογία και Σκυρόδεμα: Ιστορικό, Ευκαιρίες και Προκλήσεις. Στο Πρακτικά του Διεθνούς Συνεδρίου Εφαρμογή της Τεχνολογίας στο Σκυρόδεμα Σχεδίασης, Σκωτία, Ηνωμένο Βασίλειο, σ.113-122.2. 3.
- NSTR (2005). Τεχνική έκθεση Nirron Steel αριθ.91 Ιανουαρίου 2005. 4
- Valli, F., Tijoriwala, K. And Mahapatra, A. (2010), Νανοτεχνολογία για καθαρισμό νερού, Διεθνής Εφημερίδα της Πυρηνικής Αφαλάτωσης, 4 (1), 49-57. 5.
- NRC (2006), Γεωλογική και Γεωτεχνική Μηχανική στη Νέα Χιλιετία: Ευκαιρίες για Έρευνα και Τεχνολογική Καινοτομία. Τεχνική έκθεση, Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας, ISBN: 0-309-65331-2, σελ. 222
- [https://www.researchgate.net/publication/266602017\\_Nanotechnology\\_in\\_Civil\\_Engineering\\_and\\_Construction\\_a\\_review\\_on\\_state\\_of\\_the\\_art\\_and\\_future\\_prospects](https://www.researchgate.net/publication/266602017_Nanotechnology_in_Civil_Engineering_and_Construction_a_review_on_state_of_the_art_and_future_prospects) , Nanotechnology in Civil Engineering and Construction: a review on state of the art and future prospects
- Department of Civil Engineering, SRM University, Kattankulathur, Chennai, India
- <https://dias.library.tuc.gr/view/manf/68667>
- Nanotechnology in building and construction, Dr. Joannie W.Chin
- <http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/14342/P0014342.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [πτυχιακή εργασία εφαρμογες νανοτεχνολογιας σε κατασκευες απο οπλισμενο σκυροδεμα](#)
- Chatzi\_Evgenia\_MSc\_2017.pdf
- NANOTECHNOLOGY IN CIVIL ENGINEERING V. Kartik Ganesh