



**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΛΑΝΑΡΗ ΝΙΚΗ**

**ΤΙΤΛΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΥΠΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ**

**ΙΩΑΝΝΙΝΑ, ΕΤΟΣ 2023**

## **Εσώφυλλο:**

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην εξειδίκευση:

### **Μηχανική και Ευφυείς Τεχνολογίες Προηγμένων Υλικών**

που απονέμει το Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Εγκρίθηκε την .....από την εξεταστική επιτροπή:

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ**

**ΒΑΘΜΙΑΔΑ**

.....Επιβλέπων

.....

- 1. Θεόδωρος Ματίκας**, Καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Παν/μίου Ιωαννίνων, **Επιβλέπων**
- 2. Νικόλαος Ζαφειρόπουλος**, Καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Παν/μίου Ιωαννίνων
- 3. Αλέξανδρος Καράτζαλης**, Αναπληρωτής Καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Παν/μίου Ιωαννίνων

### **ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ**

*"Δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε κάτω από τους διεθνείς ηθικούς και ακαδημαϊκούς κανόνες δεοντολογίας και προστασίας της πνευματικής ιδιοκτησίας. Σύμφωνα με τους κανόνες αυτούς, δεν έχω προβεί σε ιδιοποίηση ξένου επιστημονικού έργου και έχω πλήρως αναφέρει τις πηγές που χρησιμοποίησα στην εργασία αυτή."*

(Υπογραφή υποψηφίου)

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο «Μελέτη Τύπων Δομικών Υλικών με βάση το Τσιμέντο», εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Τεχνολογίες Προηγμένων Υλικών», του τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών, της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Επιβλέπων καθηγητής της εν λόγω διπλωματικής εργασίας είναι ο καθηγητής του τμήματος κ. Θεόδωρος Ματίκας. Η βοήθεια και η καθοδηγία του τόσο στο θεωρητικό μέρος της εργασίας όσο και στο πειραματικό κομμάτι της, υπήρξε καθοριστικής σημασίας. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Μηχανικής, Ευφών Αισθητήρων και Μη Καταστροφικής Αξιολόγησης Υλικών και Δομών του τμήματος, με την πολύτιμη συμβολή των υποψήφιων διδασκτόρων κ. Σπυριδούλας Φαρμάκη και κ. Δημήτρη Εξάρχου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για έναν Αρχιτέκτονα Μηχανικό, τα υλικά και κυρίως τα δομικά υλικά, αποτελούν στην πραγματικότητα την πρώτη ύλη που επηρεάζει και πολλές φορές καθορίζει τελικά τον σχεδιασμό αλλά και την ίδια την κατασκευή. Σήμερα η σύγχρονη τεχνολογία προσφέρει μια μεγάλη γκάμα επιλογών, είτε βελτιώνοντας τις ιδιότητες υλικών που ήδη υπάρχουν, είτε δημιουργώντας νέα προηγμένα και πρωτοποριακά υλικά. Τι συνέβαινε όμως πριν την ύπαρξη των εργαστηρίων; Μελετώντας την ιστορία των δομικών υλικών, και τον τρόπο που οι άνθρωποι επεξεργάζονταν, βελτίωναν και τελικά έδιναν στο κάθε υλικό τις ιδιότητες που επιθυμούσαν, αντιλαμβανόμαστε γιατί κάποια υλικά εξακολουθούν να αποτελούν την βάση των κατασκευών μέχρι σήμερα. Το σκυρόδεμα αδιαμφισβήτητα είναι ένα τέτοιο υλικό. Σε όλο το διάβα της ιστορίας έχει αποδείξει τους λόγους για τους οποίους είχε, έχει και θα έχει τον πρωταγωνιστικό ρόλο στις κατασκευές.

Στην αρχή της εργασίας, παρουσιάζεται η στενή σχέση που συνδέει την Αρχιτεκτονική με την Επιστήμη των Υλικών. Μέσα από μία ιστορική αναδρομή που ακολουθεί, αναλύονται οι συνθήκες που συνέβαλλαν, ώστε η ανάγκη για κατοίκηση του ανθρώπου να μετατραπεί σε κατασκευές και υλικά, πολλά από τα οποία διασώζονται μέχρι τις μέρες μας. Η παρατήρηση και η βιομιμητική οδήγησαν τους πρώτους εκείνους κατασκευαστές να αναπτύξουν εργαλεία, τεχνικές και τελικά ιδιότητες υλικών ιδιαίτερα προηγμένες για τα μέσα που διέθεταν την κάθε εποχή. Στη συνέχεια γίνεται μία προσπάθεια διάκρισης και καταγραφής των υλικών που κατείχαν και κατέχουν σημαντικό ρόλο στις κατασκευές είτε ως αυτά καθαυτά δομικά υλικά, είτε βοηθητικά των υλικών κατασκευής. Βασικό επίκεντρο της έρευνα, είναι το σκυρόδεμα, όπου γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής της «συνταγής» του και των μηχανικών του ιδιοτήτων από την πρώτη του εμφάνιση μέχρι και το εγγύς μέλλον. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας κατασκευάστηκαν δοκίμια σκυροδέματος βάσει των προδιαγραφών που ισχύουν και υποβλήθηκαν σε δοκιμές κάμψης αλλά και θερμογραφίας.

Η συγκεκριμένη έρευνα και ανάλυση, αλλά και η εργαστηριακή δοκιμή που πραγματοποιήθηκε, συνέβαλαν στην προσθήκη ακόμη μίας οπτικής κατά τη διάρκεια σχεδιασμού και κατασκευής. Καθώς επίσης διευκρίνισε ξεκάθαρα τον ρόλο και τις δυνατότητες του σκυροδέματος, του πρωταγωνιστή των δομικών υλικών στα σύγχρονα εργοτάξια.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΑΓΓΛΙΚΑ

For an Architect Engineer, materials, especially construction materials, are actually the factor affecting and often determining the design and construction itself. Modern technology offers a wide range of options, either by improving existing materials or by creating advanced and innovative ones. What happened, though, before laboratories came to be?

By studying the history of building materials and how people processed, improved and finally afforded each material with specific desired properties, we understand why some of them remain the basis of construction to this day. Concrete is undoubtedly one such material. Throughout history, it has proven why it had, has and will have a leading role in construction.

The first part of the paper highlights the close relationship between Architecture and materials science. Next, a historical review analyses the conditions that turned the need for human habitation into constructions and materials, many of which have been preserved till now. Observation and biomimetics have led those early constructors to develop tools, techniques, and materials with properties quite advanced for the means at their disposal. Next, an attempt is made to distinguish and record materials that have played an important role in construction, either as primary or auxiliary construction materials.

The main focus of the research is concrete. An attempt is made to record its “recipe” and its mechanical properties from its first appearance until the recent future. During the experimental process, concrete samples were manufactured based on the specifications in force and subjected to flexure and thermography tests.

This research and analysis, as well as the conducted laboratory test, have added a new perspective during design and construction, for it contributed to the precise definition of the role and capabilities of concrete, the protagonist of construction materials in modern construction sites.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>13</b>
1.1. ΑΝΑΓΚΕΣ ΔΟΜΗΣΗΣ	13
<b>2. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ</b>	<b>13</b>
2.1. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	13
2.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	14
2.3. ΚΤΙΡΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	15
<b>3. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ</b>	<b>15</b>
3.1. ΥΛΙΚΑ	15
3.1.1 Τα Υλικά και Οι Πολιτισμοί	15
3.1.2 Τα Υλικά Μέσα Από Την Αρχιτεκτονική	16
3.1.3 Τα Υλικά Και Η Αρχαία Ελλάδα	19
3.1.4 Τα Υλικά Και Η Αρχαία Ρώμη	20
3.1.5 Συμπεράσματα	22
3.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	23
3.2.1 Βιομημητική	23
3.2.2 Έλεγχος Και Παρατήρηση	23
3.2.3 Μηχανικές Ιδιότητες	24
3.2.4 Εργαλεία Και Τεχνικές Κατασκευής	25
<b>4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ ΥΛΙΚΩΝ</b>	<b>26</b>
4.1.ΦΥΣΙΚΑ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ	26
4.2.ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΑ – ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ	27
<b>5.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ</b>	<b>28</b>

<b>6. ΥΛΙΚΑ</b>	28
6.1. ΓΗ, ΛΑΣΠΗ, ΠΗΛΟΣ	28
6.2. ΞΥΛΟ	29
6.3. ΠΕΤΡΑ	30
6.4. ΖΩΙΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ	30
6.5. ΑΣΒΕΣΤΗΣ ΚΑΙ ΓΥΨΟΣ	30
6.6. ΜΕΤΑΛΛΑ	31
<b>6.6.1 Σίδηρος</b>	32
<b>6.6.2 Χάλυβας</b>	33
6.6.2.1 Πλεονεκτήματα Χάλυβα	35
6.6.2.2 Μειονεκτήματα Χάλυβα	35
<b>7. ΚΟΝΙΑΜΑ- ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b>	35
7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	35
7.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	36
7.3. Η ΣΥΝΤΑΓΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	38
<b>7.3.1 Τσιμέντο</b>	41
<b>7.3.2 Νερό</b>	41
7.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	42
7.5. ΜΕΙΩΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	42
7.6. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΦΩΤΙΑ	43
<b>8. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b>	44
8.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	44
8.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	46
<b>9. ΕΛΕΓΧΟΙ, ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ</b>	47
9.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	47
<b>9.1.1 Αντικείμενο Προτύπου</b>	48
9.2. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	49
<b>9.2.1 Προδιαγραφές Σκυροδέματος</b>	49
<b>9.2.2 Προδιαγραφές Χάλυβα</b>	50

<b>10. ΤΥΠΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b>	51
10.1. ΠΑΡΟΝ	51
<b>10.1.1 Σκυρόδεμα Υψηλή Αντοχής ή Πρώιμης Υψηλής Αντοχής</b>	52
<b>10.1.2 Σκυρόδεμα Υψηλής Επιτελιστικότητας</b>	52
<b>10.1.3 Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα</b>	53
<b>10.1.4 Λεπτοσκυροδέματος Με Αντιδρώσες Κονίες</b>	53
<b>10.1.5 Ινοπλισμένο Σκυρόδεμα</b>	53
<b>10.1.6 Υδατοπερατό Σκυρόδεμα</b>	54
10.2. ΜΕΛΛΟΝ	54
<b>11. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b>	55
11.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	55
11.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	55
<b>11.2.1 Προετοιμασία</b>	55
<b>11.2.2 Μίξη</b>	58
<b>11.2.3 Δοκιμή Κάθισης</b>	59
<b>11.2.4 Τελική Φάση</b>	61
11.3. ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	62
<b>11.3.1 Εισαγωγή</b>	62
<b>11.3.2 Προετοιμασία</b>	64
<b>11.3.3 Αποτελέσματα</b>	67
11.4. ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΥΠΕΡΥΘΡΟΥ	69
<b>11.4.1 Εισαγωγή</b>	69
<b>11.4.2 Ιστορική Αναδρομή</b>	69
<b>11.4.3 Θερμογραφία</b>	70
<b>11.4.4 Πείραμα</b>	72
<b>11.4.5 Αποτελέσματα</b>	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 3.1</b>	Η Πύλη της Ιστάρ	18
<b>Εικόνα 3.2</b>	Ψηφιακή Αναπαράσταση Παρθενώνα, Ακρόπολη	20
<b>Εικόνα 3.3</b>	Ανοιχτός Τρούλος, Πάνθεον, Ρώμη	22
<b>Εικόνα 3.4</b>	Χελιδόνι φτιάχνει σβώλους	23
<b>Εικόνα 7.1</b>	Φάρος Eddystone, UK.	38
<b>Εικόνα 7.2</b>	Souillac Bridge, Γαλλία 1812, Γέφυρα άοπλου σκυροδέματος	38
<b>Εικόνα 8.1</b>	Οι Γλάστρες Του Molier	46
<b>Εικόνα 11.1</b>	Χαλίκι	56
<b>Εικόνα 11.2</b>	Ψηφίδα	56
<b>Εικόνα 11.3</b>	Άμμος	56
<b>Εικόνα 11.4</b>	Ενεργή τάση Viscocrete 600	57
<b>Εικόνα 11.5</b>	Χαλίκι, ψηφίδα και άμμος μόλις έχουν βγει από το φούρνο	57
<b>Εικόνα 11.6</b>	Ζύγισμα τσιμέντου	58
<b>Εικόνα 11.7</b>	Τοποθέτηση αδρανών στην μπετονιέρα	58
<b>Εικόνα 11.8</b>	Λάδωμα καλουπιών	59
<b>Εικόνα 11.9</b>	Βάση και χωνί δοκιμής κάθισης	59
<b>Εικόνα 11.10</b>	Ανάδευση με ράβδο	60
<b>Εικόνα 11.11</b>	Μέτρηση κάθισης	60
<b>Εικόνα 11.12</b>	Καλούπια στην τράπεζα δόνησης	61
<b>Εικόνα 11.13</b>	Δοκίμια έτοιμα να μπουνε στις μπανιέρες για 28 ημέρες	61
<b>Εικόνα 11.14</b>	Ράβδος κολλημένη με ρητίνη στο δοκίμιο	64
<b>Εικόνα 11.15</b>	Σχεδίαση των σημείων	64
<b>Εικόνα 11.16</b>	Εφαρμογή αρπαγών στο δοκίμιο	65
<b>Εικόνα 11.17</b>	Τοποθέτηση δοκιμίου στη μηχανή	66
<b>Εικόνα 11.18</b>	Εφαρμογή επιμηκυνσιόμετρου	66
<b>Εικόνα 11.19</b>	Οθόνη παρακολούθησης δεδομένων	66
<b>Εικόνα 11.20</b>	Αστοχία δοκιμίου στην κάμψη	68

<b>Εικόνα 11.21</b>	Φάσμα ακτινοβολίας Θερμογραφίας	69
<b>Εικόνα 11.22</b>	Λειτουργία Θερμογραφίας	71
<b>Εικόνα 11.23</b>	Ενεργειακός έλεγχος κτιρίου με παθητική θερμογραφία	72
<b>Εικόνα 11.24</b>	Πειραματική διαδικασία	72
<b>Εικόνα 11.25</b>	Πειραματική διαδικασία	72
<b>Εικόνα 11.26</b>	Πειραματική διαδικασία	73

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 2.1</b> Κυκλική Ανατροφοδότηση Υλικών –Αρχιτεκτονικής	13
<b>Σχήμα 2.2</b> Συσχετισμός Υλικών- Γραμμάτων	14
<b>Σχήμα 2.3</b> Σχέση Τεχνολογίας –Υλικών- Αρχιτεκτονικής	15
<b>Σχήμα 7.1</b> Αναλογίες Σκυροδέματος Κατά Όγκο Και Βάρος	40
<b>Σχήμα 9.1</b> Επεξήγηση συμβολισμού κατηγοριών σκυροδέματος	49
<b>Σχήμα 9.2</b> Κυλινδρικό και Κυβικό Δοκίμιο Σκυροδέματος	50
<b>Σχήμα 9.3</b> Επεξήγηση συμβολισμού κατηγοριών χάλυβα	51
<b>Σχήμα 9.4</b> Ιδιότητες οπλισμένου σκυροδέματος	51
<b>Σχήμα 11.1</b> Διάγραμμα Φορτίου- Βέλους κάμψης για οπλισμένο σκυρόδεμα	62
<b>Σχήμα 11.2</b> Διάγραμμα Φορτίου- Βέλους κάμψης για άοπλο σκυρόδεμα	62
<b>Σχήμα 11.3</b> Διάγραμμα Φορτίου- Βέλους κάμψης για οπλισμένο σκυρόδεμα- δυσθραυστότητα, εμβαδόν περιοχής	63
<b>Σχήμα 11.4</b> Διάγραμμα Φορτίου- Βέλους κάμψης για άοπλο σκυρόδεμα- δυσθραυστότητα, εμβαδόν περιοχής	63
<b>Σχήμα 11.4</b> Διάγραμμα πειράματος	68

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 7.1</b> Βασικοί Τύποι Τσιμέντου	41
<b>Πίνακας 9.1</b> Κατηγορίες αντοχής και αντίστοιχη ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή	50
<b>Πίνακας 11.1</b> Κλάσεις κάθισης σκυροδέματος σύμφωνα με EN 206	60
<b>Πίνακας 11.2</b> Δεδομένα πειράματος ανά δευτερόλεπτο	67
<b>Πίνακας 11.3</b> Δεδομένα πειράματος ανά δευτερόλεπτο- Τελευταίες μετρήσεις, μέτρηση αστοχίας	67
<b>Πίνακας 11.4</b> Αποτελέσματα πειράματος	68
<b>Πίνακας 11.5</b> Αποτελέσματα πειράματος	73
<b>Πίνακας 11.6</b> Αποτελέσματα πειράματος	74
<b>Πίνακας 11.7</b> Αποτελέσματα πειράματος	74

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

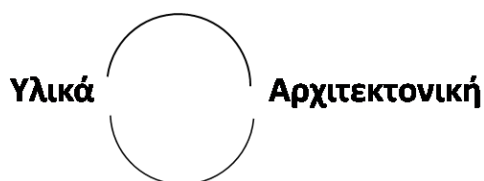
### 1.1. ΑΝΑΓΚΕΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

Η ιστορία των κατασκευών ξεκινά από την έναρξη της ανθρώπινης ιστορίας καλύπτοντας λειτουργικές ανάγκες αλλά παρέχοντας επίσης προστασία και ασφάλεια από τους κινδύνους και τα καιρικά φαινόμενα. Σήμερα η έννοια των κατασκευών και συγκεκριμένα των κτιριολογικών κατασκευών, εμπεριέχει και άλλες χροιές εκτός της λειτουργικότητας και της ασφάλειας, όπως αυτές της ιδιωτικότητας, της προσωπικής έκφρασης του χώρου και πολλές ακόμα. Ένα χαρακτηριστικό της ακμής ενός πολιτισμού είναι και η οικοδομική του δραστηριότητα. Τα κτίρια και οι κατασκευές μαρτυρούν το μέγεθος της προόδου του και της ανάπτυξης του, τόσο κατά το παρελθόν, όσο και κατά το παρόν και το μέλλον.

## 2. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

### 2.1. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

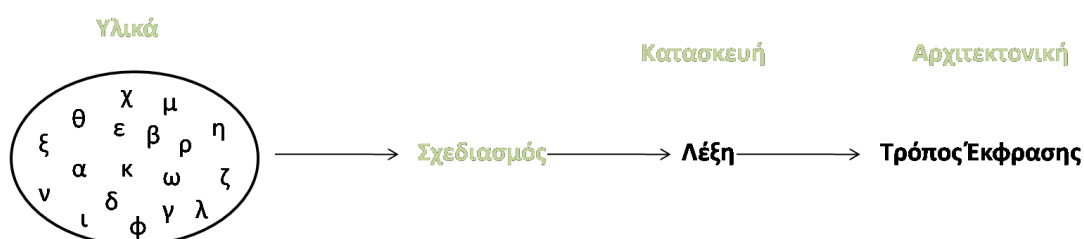
Η αρχιτεκτονική είναι άμεσα συνδεδεμένη με την επιστήμη των υλικών. Η σύλληψη μιας ιδέας ο σχεδιασμός και η διαδικασία κατασκευής της, οδηγούν στην επιλογή των σωστών πρώτων υλών. Αλλά και τα ίδια τα υλικά με τις ιδιότητες που τα χαρακτηρίζουν δίνουν το έναυσμα και την έγκριση για μία νέα αρχιτεκτονική προσέγγιση. Υπάρχει μία αμφίδρομη σχέση, μια κυκλική συνεχόμενη διαδικασία. Η αρχιτεκτονική τροφοδοτεί τα υλικά και τα υλικά εκείνη.



**Σχήμα 2.1** Κυκλική Ανατροφοδότηση Υλικών –Αρχιτεκτονικής

Εφόσον αυτή η κίνηση λειτουργεί αρμονικά, δημιουργείται μία αέναη αρχιτεκτονική με έναν άπειρο συνδυασμό υλικών. Όπως ακριβώς τα γράμματα είναι οι πρώτες ύλες των λέξεων, δίνοντας μας με τον συνδυασμό τους άπειρες λέξεις και τελικά τρόπους έκφρασης ακριβώς η ίδια λειτουργία ισχύει και στη συγκεκριμένη περίπτωση. Το πάντρεμα υλικών-

“γραμμάτων”, μας επιτρέπει την δημιουργία κατασκευών-“λέξεων” και τελικά τη δυνατότητα έκφρασης είτε του ίδιου του αρχιτέκτονα είτε του χρήστη της. Άλλωστε «πράγματι, τόσο η οικοδομική όσο και η γραφή ήταν παράλληλοι τρόποι μνημόνευσης της ύπαρξης του ανθρώπου» (G.R.H. Wright, 2005)

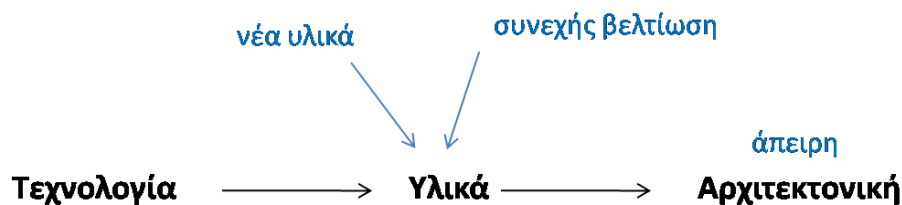


**Σχήμα 2.2** Συσχετισμός Υλικών- Γραμμάτων

Τι συμβαίνει όμως όταν τα υλικά δεν περιορίζονται στα γράμματα ενός αλφάβητου και αυτή η γκάμα εκτός του μεγάλου αριθμού των επιλογών, μάς δίνει και πολλές συνεχόμενες προοπτικές; Η σύγχρονη τεχνολογία ενώ μας συστήνει νέα υλικά που ικανοποιούν όλο και περισσότερο ακόμα και τις πιο απαιτητικές αρχιτεκτονικές, επιπλέον διευρύνει τους ορίζοντες και ανοίγει νέους δρόμους για τις κατασκευές με τη συνεχή βελτίωση των ήδη χρησιμοποιούμενων υλικών όσο και των νέων .

## 2.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Η τεχνολογία στον τομέα των υλικών ξεκινάει από την αρχαιότητα, συνεχίζει μέχρι σήμερα και θα εξακολουθήσει την πορεία της και στο μέλλον. Μάλιστα όταν μιλάμε για τεχνολογία κατασκευής εννοείται ολόκληρο το σύστημα τεχνικών που ακολουθούνται για τη δημιουργία της εκάστοτε κατασκευής. Η βελτίωση των ιδιοτήτων των υλικών είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη ζωή του ανθρώπου, την κοινωνία και τον τρόπο οργάνωσής της. Με την αλλαγή των εποχών η επιστήμη της οικοδομικής εμπλουτίζεται και εξελίσσεται, δίνοντας τη δυνατότητα στους αρχιτέκτονες να σχεδιάσουν και να δημιουργήσουν έργα που προηγουμένως δε μπορούσαν καν να σκεφτούν, μερικά από τα οποία είναι ορόσημα ολόκληρων ιστορικών εποχών.



**Σχήμα 2.3** Σχέση Τεχνολογίας –Υλικών- Αρχιτεκτονικής

### 2.3. ΚΤΙΡΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Αν και η λέξη κατασκευή δεν έχει μόνο μία διάσταση, το πεδίο έρευνας μας ασχολείται κυρίως με την κατασκευή των κτιρίων. Το κτίριο λοιπόν, εμπεριέχει τη σημασία της λέξης κατασκευάζω ή συναρμολογώ επιμέρους στοιχεία-υλικά ώστε να δημιουργηθεί τελικά ένας περικλειστος χώρος- ένα “καταφύγιο” προστασίας. Η συναρμολόγηση αυτή περιλαμβάνει ανθρωποκεντρικές και μηχανικές προσεγγίσεις. Συνεπώς το κτίριο περιλαμβάνει τόσο τη διαδικασία κατασκευής όσο και το αποτέλεσμα της, το τελικό προϊόν. Γίνεται αντιληπτό πως τα υλικά παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο αν όχι απόλυτο και στις δύο σημασίες που αναφέρθηκαν. Στην πραγματικότητα επηρεάζουν καθοριστικά τον τρόπο και το πρόγραμμα κατασκευής, τη συμπεριφορά του κτιρίου στο πέρασμα του χρόνου αλλά και την εμπειρία χρήσης του. Το τελικό προϊόν και η διαδικασία δεν είναι σε καμία περίπτωση ευθύγραμμη και τυποποιημένη. «Το κτίριο είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην κοινωνία. Διαμορφώνεται και διαμορφώνει το πρότυπο της κοινωνίας. Έτσι εκτός από την τεχνική του συγκρότηση έχει σημαντικές κοινωνικές διασυνδέσεις και επιπτώσεις». (G.R.H. Wright, 2005)

## 3. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

### 3.1. ΥΛΙΚΑ

#### 3.1.1 Τα Υλικά και Οι Πολιτισμοί

Δεν είναι εύκολο, η ιστορία της τέχνης και του πολιτισμού να μας φανερώσουν απόλυτα τις ιδιότητες των υλικών και πως αυτά αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν. Πολλά από αυτά συνυπήρχαν άλλοτε έχοντας το ένα πρωταγωνιστικό ρόλο έναντι του άλλου , ή πολλές φορές το ένα έδινε το έναυσμα για τη βελτίωση ή και τη δημιουργία κάποιου νέου υλικού. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι δε διαμόρφωσαν οι πολιτισμοί τα υλικά

αλλά τα υλικά τους πολιτισμούς. Μάλιστα ολόκληρες εποχές πήραν το όνομα τους από τα υλικά που "μεσουρανούσαν" στις κατασκευές της κάθε εποχής π.χ. η Εποχή του Σιδήρου, του Χαλκού κ.ο.κ. Όσο πιο προηγμένα υλικά χρησιμοποιούσαν τόσο πιο εξελιγμένος πολιτισμός ήταν. Οι ιδιότητες του κάθε υλικού προσαρμόζονταν συνέχεια ώστε να μπορούν να ικανοποιούν τις ανάγκες που εμφανίζονταν. Η μετάβαση του ενός υλικού στο άλλο δε συνέβη σε όλα τα μέρη ταυτόχρονα. «Για παράδειγμα, τα μέταλλα χρησιμοποιήθηκαν αρκετά νωρίς στην Ανατολία, τη γέφυρα μεταξύ Ασίας και Ευρώπης». (Rolf E. Hummel, 2004)

### **3.1.2 Τα Υλικά Μέσα Από Την Αρχιτεκτονική**

Ήδη από τους πρώτους πολιτισμούς που έκαναν την εμφάνιση τους εντοπίζονται δείγματα αρχιτεκτονικής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο πολιτισμός της Κοιλιάδας του Ινδού που αναπτύχθηκε στην περιοχή του σημερινού Πακιστάν περίπου το 2300 π.Χ. «Τα σπίτια, τα εργαστήρια, τα μαγαζιά είχαν όλα το ίδιο περίπου μέγεθος. Ήταν πλινθόκτιστα ( με ψημένα τούβλα και όχι στεγνωμένα στον ήλιο όπως στη Μεσοποταμία), συμμετρικά διαταγμένα το ένα δίπλα στο άλλο, ενώ διέθεταν και όπως προκύπτει από τις σκάλες που έχουν βρεθεί, και δεύτερο πάτωμα... Τα δημόσια κτίρια βρίσκονταν στην ακρόπολη και διέφεραν από τα υπόλοιπα κτίσματα μόνο ως προς το μέγεθος» (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Η συγκεκριμένη ακρόπολη ήταν κατασκευασμένη από αργοπλινθοδομή.

Μία ακόμα παγκόσμια δύναμη της εποχής, η Αίγυπτος έχει να μας δώσει πολλές πληροφορίες σε σχέση με τον τρόπο οικοδόμησης τότε. Κατά τη χρονική περίοδο του Παλαιού Βασιλείου έχουμε την εμφάνιση της λιθοδομής όπου βάσει μιας παλιάς παράδοσης εκείνος που την έφερε σε ύπαρξη ήταν ο αρχιερέας Ιμχότεπ. Ένα βασικό έργο αυτής της περιόδου και του συγκεκριμένου αρχιερέα – αρχιτέκτονα είναι και το ταφικό συγκρότημα του Ζοσέρ που χρονολογείται περίπου το 2700π. Χ. «Αν και το κτίσμα παρουσιάζει πολλές ιδιομορφίες που οφείλονται στην έλλειψη εμπειρίας στη χρήση της πέτρας, το πρότυπο της "κλιμακωτής πυραμίδας" που εγκαινιάζει θα επηρεάσει καθοριστικά τη μεταγενέστερη αιγυπτιακή αρχιτεκτονική... Γύρω από την πυραμίδα υπήρχαν μια σειρά χαμηλότερα κτίρια και περίβολοι, περιστοιχισμένα όλα από έναν ασβεστολιθικό τοίχο ύψους 9 μ. που μιμούνταν, τόσο στο σχέδιο όσο και στην κατασκευή, τους λιθόκτιστους τοίχους του ανακτόρου του Ζοσέρ. Σε όλο ουσιαστικά το κτιριακό αυτό συγκρότημα κυριαρχούσε η πέτρα. Υπήρχαν λίθινοι κίονες ...ενώ οι παραστάτες και τα



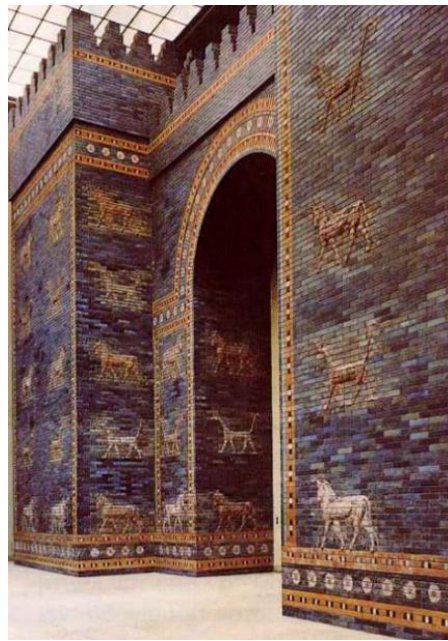
υπέρθυρα ήταν επίσης από πέτρα χρωματισμένη έτσι ώστε να μιμείται τις αποχρώσεις του ξύλου. Το πιο εντυπωσιακό στοιχείο είναι πάντως τα γαλαζοπράσινα πλακίδια στις τυφλές πόρτες των υπόγειων αιθουσών...» (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Εδώ παρατηρούμε την προσπάθεια συνδυασμού υλικών τόσο στην κατασκευή όσο και στον διάκοσμο αλλά και μία πρώτη προσέγγιση στο θέμα απομίμησης υλικών και υφών. Σημαντικό αποτελεί το σχόλιο περί έλλειψης εμπειρίας στην επεξεργασία της πέτρας σημείο που υποδηλώνει ότι όσο χρησιμοποιείται ένα υλικό, με την πάροδο του χρόνου, οι τεχνίτες το διαχειρίζονται με όλο και περισσότερη επιδεξιότητα, με αποτέλεσμα την εξέλιξη και βελτίωση των ιδιοτήτων του ίδιου του υλικού.

Άλλο ένα δείγμα αρχιτεκτονικής που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον δεν είναι άλλο από αυτό των Μυκηναίων. «Λίγα πράγματα είναι γνωστά για τα πρώτα κτίρια των Μυκηναίων, που θα πρέπει να τοποθετηθούν γύρω στο 1850 π. Χ. Κατά πάσα πιθανότητα, ήταν από αργοπλινθοδομή και ξύλο, και όχι από πέτρα.» (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Σε αυτήν εδώ την περίπτωση βλέπουμε μία τελείως διαφορετική προσέγγιση της κατασκευής και των πρώτων υλών που επιλέγονται. Αν και τα μεγάλα και ογκώδη πέτρινα τείχη των πόλεων καθώς και οι χαρακτηριστικοί θολωτοί τάφοι από ασβεστόλιθους μαρτυρούν ότι υπάρχει η απαραίτητη τεχνογνωσία σε σχέση με την διαχείριση της πέτρας, για τα κτίρια χρησιμοποιούνται τελικά διαφορετικές επιλογές.

«Από την άποψη, ωστόσο, των γενικότερων ιστορικών εξελίξεων, όλα αυτά τα επιτεύγματα επισκιάζονται από την τεράστια συνεισφορά των Χετταίων στην εξέλιξη της τεχνολογίας: τη χρήση του σιδήρου.» (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Ο ορείχαλκος, ένα κράμα χαλκού και κασσίτερου που μέχρι τότε χρησιμοποιούνταν, έδωσε τη θέση του στο σίδηρο ένα καθαρό μέταλλο με ευκολότερες μεθόδους κατεργασίας. «Για να παραγάγει κανείς σίδηρο, αρκούσε η ύπαρξη των σχετικών κοιτασμάτων, ένας απλός φούρνος με ξυλοκάρβουνα, και κάποιες στοιχειώδεις αρχές κατεργασίας του μετάλλου ...Σε ό,τι αφορά πάντως τις εικαστικές τέχνες, οι Χετταίοι δε φαίνεται να εκμεταλλεύτηκαν το νέο αυτό υλικό, παρά το γεγονός ότι οι γλύπτες και οι κατασκευαστές κτιρίων είχαν πια στη διάθεση τους μια σειρά από νέου τύπου εργαλεία.» (Hugh Honour & John Fleming, 1998)

Ένα άλλο υλικό που χρησιμοποιήθηκε χαρακτηριστικά από τον Ασσυριακό πολιτισμό ήταν ο γύψος. «Τα παλιότερα (ασσυριακά ανάγλυφα) που μας είναι γνωστά ...είναι γύψινες επιφάνειες ύψους 2 μ. περίπου, οι περισσότερες από τις οποίες χωρίζονται στα δύο από μία ζώνη από επιγραφές.» (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Οι Ασσύριοι αγαπούσαν πολύ τον έντονο διάκοσμο γι' αυτό και παρατηρείται η χρήση διάφορων

υλικών στην κατασκευή και την τέχνη. «Πέρα από το ελεφαντόδοντο, χρησιμοποιούνται εδώ ενθέσεις και φύλλα χρυσού, λαζουρίτης, και άλλα πολύτιμα υλικά. Εκτός από το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν ως έργα μεγάλης δεξιοτεχνίας, οι συνθέσεις αυτές αποτελούν και μαρτυρίες του έντονου “διεθνισμού” της εποχής.: ελεφαντόδοντο από την Ινδία, λαζουρίτης από την κεντρική Ασία...» (Hugh Honour & John Fleming, 1998) ´



**Εικόνα 3.1** Η Πύλη της Ιστάρ (archaiologia.gr)

Καθώς η ακμή της Ασσυρίας φτάνει το τέλος της, η Βαβυλώνα είναι αυτή που έρχεται στο προσκήνιο. Εκεί παρατηρούμε ένα άλλο είδος δομικού υλικού στην γνωστή σε όλους μας πύλη της Ιστάρ. Τα επισματωμένα τούβλα «τεχνική που τη συναντάμε για πρώτη φορά σε κτίρια των Κασιτών το 1200 π. Χ.» (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Καθώς η Περσική αυτοκρατορία αναλαμβάνει τα ινία του τότε γνωστού κόσμου διαπιστώνουμε ότι δίνεται όλο και περισσότερη προσοχή στην κατεργασία των υλικών και στην εξειδίκευση των τεχνιτών που τα δουλεύουν. Μάλιστα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μία επιγραφή στα ανάκτορα του Δαρείου στα Σούσα όπου αναφέρει:

«Οι λιθοξόοι που δούλευαν την πέτρα

Ήταν από την Ιωνία και τις Σάρδεις.

Οι χρυσοτέχνες που κατεργάζονταν το χρυσό

ήταν μήδοι και αιγύπτιοι.

Εκείνοι που διακρίνονταν στη χρήση των ψημένων τούβλων

ήταν βαβυλώνιοι.

Οι διακοσμητές των τοίχων ήταν μήδοι και αιγύπτιοι.»

(Hugh Honour & John Fleming, 1998)

Μέσα από αυτή την επιγραφή μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες σχετικά με τα υλικά που χρησιμοποιούσαν κυρίως στις κατασκευές τους, αλλά επίσης και το πώς μέσω της ενοποιητικής πολιτικής των Περσών δόθηκε ο χώρος ώστε ο κάθε λαός να χρησιμοποιήσει και να εξελίξει την τεχνογνωσία του πάνω στα υλικά που είχε ήδη μάθει να δουλεύει.

Αξιοσημείωτη συμβολή στον τομέα των υλικών είχαν και άλλοι πολιτισμοί όπως αυτός της Κίνας. Εκεί έχουμε τη χρήση του νεφρίτη και της λάκας, δύο υλικών με αρκετά δύσκολη επεξεργασία που απαιτούν εξειδίκευση. «Ο χυμός του δέντρου Ρους ο βαφικός (*Rhus vernicifera* ή *verniciiflua*) χρησιμοποιούνταν και παλαιότερα για την αδιάβροχη επένδυση των ρούχων και για ενθέσεις σε ορυχάλκινα σκέυη» (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Επίσης ακολουθήθηκαν νέες τεχνικές δημιουργίας σύνθετων υλικών με διαφορετικές ιδιότητες. «Γύρω στον 5<sup>ο</sup> π. Χ. αιώνα, διαπιστώθηκε πως απλώνοντας διαδοχικά στρώματα λάκας σ' έναν υφασμάτινο ή ξύλινο πυρήνα, μπορούσαν να παραχθούν ανθεκτικά στη ζέστη και στην υγρασία αντικείμενα με περίτεχνα χρώματα όπως λόγω χάρη δίσκοι ή κασετίνες. Η διαδικασία ήταν αρκετά επίπονη και χρονοβόρα, καθώς το κάθε χρώμα έπρεπε να ξεραθεί καλά πριν περαστεί το νέο.» (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Η Κίνα ήταν επιπλέον εκείνη η οποία ακολούθησε διαφορετική τεχνική επεξεργασίας του σιδήρου απ' ότι η Δύση, «ενώ στη Δύση τα εργαλεία παράγονταν ως τον 14<sup>ο</sup> μ. Χ. αιώνα με σφυρηλάτηση και όχι χύτευση, στην Κίνα η πορεία που ακολουθήθηκε ήταν ακριβώς αντίθετη» .» (Hugh Honour & John Fleming, 1998)

Από την άλλη πλευρά στους πολιτισμούς της Αμερικής παρατηρούμε πλινθόκτιστους ναούς με πέτρινες επενδύσεις, ενώ στην Αφρική η εμφάνιση της τερακότας φαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκε όχι μόνο για καλλιτεχνικούς λόγους αλλά και για λόγους ανθεκτικότητας.

### **3.1.3 Τα Υλικά Και Η Αρχαία Ελλάδα**

Η Ελλάδα κατά τη διάρκεια των κλασικών χρόνων έχει να μας παρουσιάσει σημαντικά αρχιτεκτονικά αριστουργήματα μεταξύ των οποίων είναι και ο περίφημος Παρθενώνας στην Αθήνα. Σε αυτή την περίπτωση, οι Έλληνες χρησιμοποίησαν την τεχνογνωσία επεξεργασίας των λίθων από λαούς που άκμαζα προηγουμένως, βάζοντας

όμως πάντα το δικό τους στοιχείο, δημιουργώντας έτσι τη δική τους χαρακτηριστική αρχιτεκτονική. «Οι Έλληνες έμαθαν την τεχνική να χτίζουν με παραστάτες και υπέρθυρα, ή μάλλον με λίθινους κίονες και επιστύλια από την Αίγυπτο. Προσαρμόζοντας, ωστόσο τα όσα έμαθαν στις δικές τους ανάγκες, αντέστρεψαν τις συνήθειες των Αιγυπτίων, χρησιμοποιούσαν τους κίονες κυρίως για να υποστηρίξουν τον εξωτερικό σκελετό της στέγης, τον οποίο στήριζαν με επιπλέον κίονες στο εσωτερικό... Η Δωρική αρχιτεκτονική είναι πρώτα απ' όλα μια αρχιτεκτονική της πέτρας, που καθορίζεται τελικά από τις δυνατότητες και τους περιορισμούς που συνεπάγονται οι λίθινοι όγκοι.» (Hugh Honour & John Fleming, 1998)



**Εικόνα 3.2** Ψηφιακή Αναπαράσταση Παρθενώνα, Ακρόπολη (photodentro.edu.gr)

### 3.1.4 Τα Υλικά Και Η Αρχαία Ρώμη

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει και η παρουσία των Ετρούσκων στον Ιταλικό χώρο, οι οποίοι επηρεάστηκαν σε μεγάλο βαθμό από την ελληνική αρχιτεκτονική και αποτέλεσαν πρόδρομο για τη μετέπειτα ρωμαϊκή. «Οι πρώτοι ετρουσκικοί ναοί φαίνεται πως ήταν απλά ορθογώνια οικοδομήματα από ξύλο και πλίνθους, με διακοσμήσεις από χυτευμένη και επιζωγραφισμένη τερακότα... Από το συνδυασμό ετρουσκικών και ελληνοιστικών στοιχείων γεννήθηκε στην Ιταλία μία νέου τύπου οικιακή αρχιτεκτονική.» (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Μπορούσε κανείς να συναντήσει κάθε τύπου ρωμαϊκά κτίρια και κάθε είδους οικοδομικές τεχνικές. Κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής έχουμε τη μετάβαση από τη μονοκατοικία στην πολυκατοικία. Η κατασκευή διαφοροποιείται τόσο ως προς την

τεχνική και την οργάνωση της κατασκευής όσο και ως προς τα υλικά χρήσης και την επεξεργασία τους. «Τον 3<sup>ο</sup> μ. Χ. αιώνα, το 90% των κατοίκων της Ρώμης ζούσε πράγματι στοιβαγμένο σε insulae, που το ύψος τους έφτανε συχνά τα 20 μ.(πενταόροφες)...». (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Στην αρχαία Ρώμη εμφανίζεται η πρώτη γραφή περί αρχιτεκτονικής από τον ρωμαίο θεωρητικό της αρχιτεκτονικής τον Βιτρούβιο και έτσι μπορούμε και έχουμε μία σαφή εικόνα των πόλεων και της κατασκευής εκείνης της περιόδου. «Προς το τέλος της ζωής του ο Αύγουστος ισχυριζόταν πως "παρέλαβε τη Ρώμη πόλη του τούβλου και την έκανε πόλη του μαρμάρου"... Η εκτεταμένη χρήση του μαρμάρου άρχισε μετά τη λειτουργία λατομείων κοντά στις ακτές της βορειοδυτικής Ιταλίας (όχι μακριά από τη σημερινή Καράρα), απ' όπου το πολύτιμο αυτό υλικό μπορούσε εύκολα να μεταφερθεί με πλοία, είτε στη Ρώμη είτε σε οποιοδήποτε σημείο της αυτοκρατορίας. Από επαρχίες εξάλλου, όπως η Μικρά Ασία, η Αίγυπτος και η Βόρεια Αφρική, εισάγονταν κάθε είδους χρωματιστά μάρμαρα. Τα μάρμαρα αυτά, που αρχικά χρησιμοποιούνταν ως επένδυση ή για διακοσμητικούς σκοπούς σε κτίσματα από τούβλα ή σκυρόδεμα, άλλαξαν τη μάλλον ζοφερή ως τότε εικόνα της Ρώμης.» (Hugh Honour & John Fleming, 1998)

Η Ρωμαϊκή αρχιτεκτονική είναι εκείνη που αρχίζει να χρησιμοποιεί ευρέως πια το σκυρόδεμα στις κατασκευές της. Αποκορύφωμα όλης αυτής της άνθισης είναι η κατασκευή του Κολοσσαίου ενός έργου πρόκληση για τον αρχιτέκτονα και τον κατασκευαστή. «Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σκυρόδεμα για τα βάθους 7,5 μ. θεμέλια, τραβερνίτης (ένας ελαφρύς σχετικά ασβεστόλιθος της περιοχής) για το σκελετό, χυτό υλικό με επένδυση τούβλου για τους τοίχους ανάμεσα στα υποστυλώματα, και μάρμαρο (από το οποίο δεν σώζεται ούτε ίχνος) στο εσωτερικό. Μια τεράστια τέντα (το velarium), στηριγμένη σε ξύλινους πασσάλους και μετακινούμενη καθώς άλλαζε θέση ο ήλιος με τη βοήθεια ιστών από σχοινί, εξασφάλιζε την προστασία των θεατών από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες... Το σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε μόνο στα θεμέλια και τους τοίχους, όπως συνέβαινε και με τα προγενέστερα κτίρια. Το ρωμαϊκό σκυρόδεμα (opus caementicium) ήταν κράμα κονιάματος και τσιμέντου σε στρώσεις- χωρίς δηλαδή να μπορεί ν' αναμιχθεί και να "χυθεί" όπως το σημερινό μπετόν. Η ανθεκτικότητα και η αντοχή του στο χρόνο οφειλόταν στο γνωστό ως γη της Ποτσολάνα (κοντά στη Νάπολη) κονίαμα από ασβεστολιθικά και ηφαιστιογενή πετρώματα. Οι εξωτερικού τοίχοι από παρόμοιο σκυρόδεμα επικαλύπτονταν κατά κανόνα από άλλο υλικό- πέτρα αρχικά, και τούβλα στην περίοδο της Αυτοκρατορίας. Οι πραγματικές πάντως ιδιότητες του σκυροδέματος δεν ήταν οι ίδιες από την αρχή. Μόνο στην εποχή του Αυγούστου η χρήση κονιάματος που αργούσε

να ξεραθεί επέτρεψε την εμφάνιση ενός υψηλής ποιότητας πυρήνα από σκυρόδεμα που όταν στέγνωσε, αποτελούσε μια πραγματικά αδρανή και ομοιογενή μάζα. Η εξέλιξη αυτή έφερε πραγματική επανάσταση στην αρχιτεκτονική, γιατί σε συνδυασμό με την αψίδα και το θόλο, έδωσε τη δυνατότητα στους Ρωμαίους να καλύπτουν χωρίς εσωτερική υποστήριξη πολύ μεγαλύτερους και πιο ποικιλόμορφους χώρους απ' ό,τι πριν... » (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Ακόμη ένα δείγμα της εξέλιξης των κατασκευών και της αρχιτεκτονικής στην αρχαία Ρώμη είναι και η Αγορά του Τραϊανού . Σε αυτή την περίπτωση βλέπουμε πιο ξεκάθαρα την δομή και τη χρήση των υλικών στα ρωμαϊκά πολυώροφα κτίρια. «Στο ισόγειο υπάρχουν μαγαζιά με μικρά παράθυρα που φωτίζουν και αερίζουν τα μεσοπατώματα και τις σοφίτες, στα οποία ανέβαινε κανείς από εσωτερικές ξύλινες σκάλες. Στα ψηλότερα πατώματα ανέβαινε κανείς με σκαλοπάτια από σκυρόδεμα (μετά την πυρκαγιά του 64μ. Χ., το σκυρόδεμα είχε γίνει υποχρεωτικό για τα δάπεδα και τις σκάλες). » (Hugh Honour & John Fleming, 1998) Ενώ το έργο το οποίο θα ήταν αδύνατον να κατασκευαστεί χωρίς την πρόοδο στον τομέα της ποιότητας του σκυροδέματος δεν είναι άλλο από το περίφημο Πάνθεον, χαρακτηριστικό του οποίου είναι ο ανοιχτός τρούλος.



**Εικόνα 3.3** Ανοιχτός Τρούλος, Πάνθεον, Ρώμη (tovima.gr)

### 3.1.5 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά λοιπόν ανασκοπώντας τις επιλογές των υλικών που έκαναν οι άνθρωποι στο παρελθόν, φτάνοντας τελικά στο σκυρόδεμα, μπορούμε να κατανοήσουμε την μεγάλη έρευνα που έκαναν παρόλη την απουσία των σύγχρονων τεχνολογικών μέσων που είναι διαθέσιμα σήμερα για τους επιστήμονες. Η όλη τους προσέγγιση στον τομέα των κατασκευών, η διάρκεια τους στο χρόνο και η αντοχή τους στις καταπονήσεις, μάς



οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η επιστήμη των υλικών από την αρχή της ιστορίας βαδίζει στο σωστό δρόμο έχοντας πολλές προοπτικές για το μέλλον.

## 3.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

### 3.2.1 Βιομημητική

Η ιστορία των κατασκευών ξεκινάει από την αρχή της ανθρωπότητας. Η ανάγκη για ασφάλεια και προστασία από διάφορες απειλές όπως τα άγρια ζώα, τους άλλους ανθρώπους και τα καιρικά φαινόμενα οδήγησαν στα πρώτα δείγματα αρχιτεκτονικής και κατασκευών. Στην πρώτη προσέγγιση των ανθρώπων να κατασκευάσει ένα κτίριο, αναγκαία απαίτηση ήταν να παρατηρήσει και να κατανοήσει τη φύση των υλικών γύρω του. Η παρακολούθηση των τεχνικών και του τρόπου κατασκευής άλλων οργανισμών όπως ζώων και πουλιών σε συνδυασμό με τη βιομημητική του ικανότητα, έκαναν τη γνώση του να αυξάνει και νέες ιδέες για καινούριες εφαρμογές έρχονταν στο προσκήνιο. Ο άνθρωπος ως κοινωνικό ον άρχισε να συγκεντρώνεται μαζί με άλλους, να επιδεικνύει τις κατασκευές του και τελικά μέσω της ανταλλαγής απόψεων να πετυχαίνει τη βελτίωση των υλικών, των μεθόδων και τελικά του αποτελέσματος. Έτσι η μελέτη των σβώλων των πουλιών για τη δημιουργία της φωλιάς τους έγινε η αφετηρία για τις πλίθινες κατασκευαστικές τεχνικές. Η ακολουθία των εργασιών, τα σχήματα, οι κλίμακες και αναλογίες που εφαρμόζουν εκείνα, αποτέλεσαν τα θεμέλια πάνω στα οποία βασίστηκαν οι πρώιμες αυτές αρχιτεκτονικές.



**Εικόνα 3.4** Χελιδόνη φτιάχνει σβώλους (odikaroulia.gr)

### 3.2.2 Έλεγχος Και Παρατήρηση

Καθώς περνούσε ο καιρός η εμπειρία κατοίκησης και χρήσης των κατασκευών έφερε στο φως τυχόν αστοχίες και ελλείψεις της κατασκευής και των επιμέρους υλικών. Ενώ σήμερα η τεχνολογία μάς επιτρέπει μέσω των δοκιμών και των πειραμάτων να υπάρχει μία

σαφή εικόνα της πορείας της κατασκευής στο χρόνο και η εξέλιξη της είναι ραγδαία , οι άνθρωποι τότε μπορούσαν να ελέγξουν και να αναπροσαρμόσουν τα δεδομένα τους μόνο μέσω της παρατήρησης και της ανατροφοδότησης-feedback της διαδικασίας. Αυτή η παρατήρηση μπορούσε να γίνει βλέποντας τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των υλικών αλλά και μέσα από την εξοικείωσή τους με αυτά, καθώς αντιδρούσαν υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Για παράδειγμα η ανάγκη της στεγάνωσης ή της συντήρησης ήρθε στο προσκήνιο και οδήγησε στην αναζήτηση βελτίωσης των αρχικών υλικών που είχαν ήδη επιλεγεί. Καθώς παρατηρούσαν πως αντιδρούσε το υλικό στην υγρασία αλλά και ποιος ήταν ο χρόνος ζωής του, ποιές επεμβάσεις χρειάζονταν για τη συντήρησή του και τη διατήρηση της αποτελεσματικής του κατάστασης, οι άνθρωποι ερευνούσαν την τυχόν πιθανή του επεξεργασία , ή τον συνδυασμό και την προσθήκη άλλου υλικού που είχε ήδη αποδείξει ότι ήταν πιο συμβατό με την απαίτηση που ζητούσε να ικανοποιηθεί. Ανάλογα λοιπόν με τον κατασκευαστικό σκοπό που είχαν, έβλεπαν ποιο υλικό ήταν εκείνο που ταίριαζε. Αυτή η κατάσταση επηρέαζε σε μεγάλο βαθμό και τις ίδιες τις κατασκευές, όπως τις γεωμετρίες αλλά και το πρόγραμμα κατασκευής και τελικά καθόρισε μορφές στην αρχιτεκτονική που ακόμα και σήμερα εξακολουθούν να ισχύουν και θεωρούνται αυτονόητες και δεδομένες.

### 3.2.3 Μηχανικές Ιδιότητες

Ο κατασκευαστής των πρώτων εκείνων έργων ήταν σε θέση μέσα από την πρώιμη εκείνη εξωτερική ανάλυση και έρευνα στα υλικά, να αντιληφθεί ιδιότητες όπως τον εφελκυσμό, το βάρος, τη σκληρότητα, την ελαστικότητα, την πλαστικότητα, τη διαπερατότητα, τη διαφάνεια, την αναφλεξιμότητα και πολλές ακόμα. Η σύνθετη ικανότητα σκέψης για τα υλικά είχε μόλις αρχίσει. Για παράδειγμα αντιλήφθηκε ότι η σκληρότητα υποδηλώνει την αντίσταση του υλικού αλλά επίσης ότι «είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ανθεκτικότητα των υλικών, αλλά ταυτόχρονα είναι ένας αρνητικός παράγοντας εργασιμότητας.» (G. R.H. Wright, 2005) Το ζήτημα της αντοχής ενός υλικού ήταν ένα από τα βασικότερα που απασχόλησαν τους ανθρώπους. «Η ικανότητα του να αντέχει το φορτίο στο οποίο υποβλήθηκε χωρίς παραμόρφωση και ρήξη» (G. R.H. Wright, 2005) ήταν καθοριστικής σημασίας για την επιλογή του υλικού. Την ίδια στιγμή εξίσου σημαντικό είναι το βάρος του υλικού. Όσο πιο βαρύ είναι ένα υλικό, τόσο μεγαλύτερο γίνεται και το βάρος της ίδιας της κατασκευής, άρα τόσο μεγαλύτερη η ανάγκη για αντοχή στο συνολικό φορτίο. Επίσης παρατήρησαν ότι ο σίδηρος ήταν ισχυρότερος και



πιο εύκαμπτος από το ξύλο αλλά πιο βαρύ και εύφλεκτο από εκείνο. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν πως για να θεωρηθεί ένα υλικό κατάλληλο για μια κατασκευή, χρειάζεται να αναγνωριστούν οι ιδιότητες της ύλης του. Τελικά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι «ένα υλικό ήταν πιο αποτελεσματικό σε ορισμένες περιπτώσεις απ' ότι σε άλλες». » (G. R.H. Wright, 2005) Αλλά εκτός της αναγνώρισης αυτής, των ιδιοτήτων του κάθε υλικού, ο άνθρωπος μέσω της πείρας και της εξοικείωσης του μαζί τους, έμαθε και γνώριζε για παράδειγμα πώς ο σίδηρος παραμορφώνεται και σκληραίνει με τη σφυρηλάτηση αλλά μαλακώνει με τη θέρμανση του. Επίσης αντιλήφθηκε διεξοδικά τι συνέβαινε στη θερμοκρασία τήξης και πήξης, ποιες είναι και αυτές για το καθένα αλλά και πως μπορούσε να "καθαρίσει" ένα υλικό από τυχόν προσμίξεις. Επιπρόσθετα ήταν σε θέση να διακρίνει ότι για παράδειγμα «η πέτρα (και πολλά άλλα γυάλινα και κεραμικά υλικά) είναι σκληρή και εύθραυστη. Ο χαλκός και πολλά άλλα μέταλλα καθώς και η υγρή άργιλος, είναι όλκιμα, δηλαδή τα υλικά αυτά μπορούν να παραμορφωθούν μόνιμα (σε ορισμένο όριο) χωρίς σπάσιμο. Ο χαλκός είναι μαλακός στη φυσική του ή φρεσκολιωμένη κατάσταση αλλά τελικά σκληραίνει όταν παραμορφώνεται πλαστικά (δηλαδή μόνιμα). Τέλος το ξύλο είναι σε μεγάλο βαθμό ελαστικό υλικό... Όπως και πολλά μέταλλα μπορούν επίσης να παραμορφωθούν ελαστικά, έως ότου μετά την υπέρβαση ενός κρίσιμου φορτίου, υποστούν μόνιμη παραμόρφωση. Εν ολίγοις μερικές από τις θεμελιώδεις μηχανικές ιδιότητες υλικών όπως η σκληρότητα, η όλκιμότητα, η ελαστική και πλαστική παραμόρφωση, η ευθραυστότητα και η αντοχή πρέπει να είναι γνωστά (για τον άνθρωπο) εδώ και πολλά καιρό.» (Rolf E. Hummel, 2004) Επιπλέον ανάλογα με την αφθονία κάθε υλικού που έβρισκε γύρω του μπορούσε να καταλάβει πόσο πολύτιμο ή όχι ήταν για εκείνον. Καθώς τα αποθέματα κάποιου υλικού λιγότευαν, ο άνθρωπος στρεφόταν στην ανεύρεση και αξιοποίηση άλλων υλικών, νοοτροπία που ακολουθείται σε μεγάλο βαθμό και σήμερα. Συνεπώς εύλογα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η μελέτη των υλικών άρχισε να περνά σε ένα άλλο βαθύτερο επίπεδο, ένα επίπεδο που εξέλιξε τόσο τα ίδια τα υλικά και τις κατασκευές αλλά ταυτόχρονα "ανάγκασε" και τους ανθρώπους να αναπτύξουν επιστήμες και να εμβαθύνουν σε αυτές, προκειμένου να μπορούν να παρακολουθήσουν τα φυσικά φαινόμενα αλλά και να επεξεργαστούν την ύλη.

### **3.2.4 Εργαλεία Και Τεχνικές Κατασκευής**

Ο άνθρωπος ήταν πάντα πολύ συνδεδεμένος με τον τόπο κατοίκησης του και πάντα επέλεγε περιοχές που εξασφάλιζαν την τροφή, το νερό και τους απαραίτητους πόρους για

τις κατασκευές του. Αργότερα με την κινητικότητα του και ήδη από τη στοιχειώδη ανάπτυξη του εμπορίου και της ναυτιλίας, έγινε εφικτή η προμήθεια προϊόντων και υλικών και από άλλα διαφορετικά μέρη του τότε γνωστού κόσμου. Ο ένας πολιτισμός ακολουθούσε τον άλλον και οι τεχνικές κατασκευής του ενός λαού υιοθετούνταν και εξελισσόταν από τον επόμενο, παίρνοντας μαζί και όλη την τεχνογνωσία που είχε κερδηθεί μέχρι τότε. Κάθε εποχή και κάθε πολιτισμός καθιέρωσε τις δικές του διαφορετικές οικοδομικές παραδόσεις. Είναι διαπιστωμένο πως στους αρχαίους αυτούς πολιτισμούς «Μόλις εξασφαλίστηκε η σταθερή παροχή τροφίμων, η εξειδίκευση άνθισε. Και με την εξειδίκευση ήρθε το δυναμικό για την καινοτομία, καθώς προικισμένοι τεχνίτες, οι πρόγονοι του επιστήμονα των υλικών- είχαν τόσο χρόνο όσο και ενθάρρυνση να πειραματιστούν και να βελτιώσουν τις διαδικασίες και τη δουλειά τους» (Stephen L. Sass, 1998) Καθοριστικό ρόλο σε όλο αυτό έπαιξε και η ανάπτυξη περισσότερων και ακόμα πιο εξειδικευμένων εργαλείων για την καλύτερη και ταχύτερη επεξεργασία, καλύτερα εργαλεία, καλύτερος τεχνίτης-καλλιτέχνης άρα και καλύτερο αποτέλεσμα. Όπως διαβάζουμε και στο Βιτρούβιο «Έπειτα , παίρνοντας θάρρος και κοιτάζοντας μπροστά από τη σκοπιά των ανώτερων ιδεών που γεννήθηκαν από τον πολλαπλασιασμό των τεχνών, παρατήρησαν καλύβες και άρχισαν να χτίζουν σπίτια με θεμέλια, με τοίχους από τούβλα ή πέτρινους και στέγες από ξύλο και κεραμίδια.» (Βιτρούβιος, 1914) Είναι λογικό λοιπόν το συμπέρασμα ότι ο άνθρωπος πριν ακόμα γίνει οικοδόμος έγινε κατασκευαστής εργαλείων και όσο συνεχίζει να αναπτύσσει την οικοδομική του δραστηριότητα, συνεχίζει να εξελίσσει και αυτή των εργαλείων.

#### **4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ ΥΛΙΚΩΝ**

##### **4.1. ΦΥΣΙΚΑ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ**

Τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στις κατασκευές ήταν τα φυσικά υλικά, εκείνα που βρίσκονταν τοπικά κοντά και σε μεγάλη αφθονία στην γύρω περιοχή. Πρόκειται για τα υλικά «που είναι έτοιμα προς χρήση στη φυσική τους κατάσταση και όχι εκείνα που έχουν παραχθεί από ανθρώπινο χέρι». (ΤΕΕ portal) Χαρακτηριστικά είναι τα όσα μας παρουσιάζει ο Βιτρούβιος. Εκείνος αναφέρει πως «Στην αρχή έστησαν διχλωτούς πασσάλους που συνδέονταν με κλαδιά και κάλυψαν αυτούς τους τοίχους με λάσπη. Άλλοι έφτιαξαν τοίχους από σβώλους αποξηραμένης λάσπης, σκεπάζοντάς τους με καλάμια και φύλλα για να κρατήσουν μακριά τη βροχή και τη ζέστη. Διαπιστώνοντας ότι τέτοιες στέγες δεν άντεχαν τη βροχή στις καταιγίδες του χειμώνα, τις έχτισαν με κορυφές

επικαλυμμένες με λάσπη, τις στέγες επικλινείς και προεξέχουσες ώστε να παρασύρουν το νερό της βροχής.» (Βιτρούβιος, 1914) Υλικά όπως η πέτρα και το ξύλο αποτέλεσαν πρωτοπόρους και πυλώνες των κατασκευών διανύοντας μια μακρά ιστορία που ξεκινά από την αρχαιότητα και συνεχίζει μέχρι τις μέρες μας. Επίσης το τούβλο από λάσπη ή αλλιώς το πλίνθο τούβλο, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως και συνεχίζει να χρησιμοποιείται έως σήμερα. Αποτελέσε δομικό στοιχείο τόσο για την κατασκευή μικρών οικιστικών κτηρίων αλλά και μεγάλων επιβλητικών μνημείων. Συναντάμε ακόμα και υλικά ζωικής προέλευσης που φαίνονται ασυνήθιστα για τις μέρες μας, όπως κόκκαλα, νύχια και δέρμα. Με το πέρασμα του χρόνου και όσο η ανθρώπινη κοινωνία αναπτυσσόταν και γινόταν πιο περίπλοκη, το ίδιο συνέβαινε και με τα υλικά που χρησιμοποιούνταν.

Σήμερα η τόσο μεγάλη επιτυχία της επιστήμης στην κατασκευή υλικών καθιστά πολλές φορές δύσκολη τη διάκριση του κατασκευασμένου υλικού με το φυσικό. «Μαζεμένες πέτρες και ξυλεία είναι φυσικά υλικά, ούτε η εξόρυξη, ούτε η επίστρωση πέτρας ή η κοπή του ξύλου τα κάνει τεχνητά υλικά. Επίσης τα μέταλλα που βρίσκονται σε καθαρή κατάσταση είναι προφανώς φυσικά υλικά- π.χ. μετεωρικός σίδηρος, ψήγματα χρυσού κπλ. Αλλά τα μέταλλα που εξάγονται από τα μεταλλεύματα με τις διαδικασίες τήξης και εξευγενισμού;» (G.R.H. Wright, 2005)

#### 4.2. ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΑ – ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ

Άλλη μία διάκριση που πρέπει να γίνει στα οικοδομικά υλικά είναι βάσει του ρόλου που παίζουν στην κατασκευή. Έχουν πρωτεύοντα ρόλο; Είναι αυτά που "στηρίζουν" την κατασκευή και φέρουν πάνω τους τα φορτία; Είναι δηλαδή τα υλικά από τα οποία είναι φτιαγμένος ο φέρων οργανισμός π.χ. δοκάρια και κολώνες; Ή μήπως είναι δευτερεύοντα που συμπληρώνουν την κατασκευή όπως είναι οι κάσες των ανοιγμάτων και διάφορες επενδύσεις; Αυτός ο διαχωρισμός είναι ζωτικής σημασίας αφού οι απαιτήσεις των υλικών της φέρουσας κατασκευής απαιτεί μεγαλύτερη ακρίβεια και προσεκτική μελέτη για την αποφυγή τυχόν αστοχίας. Πολλές φορές ένα υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως πρωτεύον και ως δευτερεύον υλικό στην κατασκευή. Επίσης σημαντική είναι η χρήση κάθε υλικού για συγκεκριμένο σκοπό, καθώς για παράδειγμα ένα υλικό μπορεί να είναι ιδανικό στην αντοχή αλλά να μην είναι λειτουργικό ή να είναι δύσκολο στη συντήρησή του.

## 5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

Ο άνθρωπος στην προσπάθεια του να βελτιώσει και να εξελίξει τα πρωτογενή υλικά που είχε, υλικά που βρίσκονταν σε αφθονία στη φύση, ανέπτυξε μία νέα επιστήμη αυτή της χημείας. Ένας τρόπος που χρησιμοποιήθηκε από τη χημεία ώστε να διαφοροποιήσει τη χημική σύνθεση των πρώτων εκείνων υλικών, ήταν να τα εκθέσει στη φωτιά. Η πυροτεχνολογία έκανε επίσης εφικτή την αφαίρεση καθαρών μετάλλων από πετρώματα αλλά και τη δημιουργία νέων υλικών με άλλες ιδιότητες. Η χημεία λοιπόν επέτρεψε την επεξεργασία και την "αποκρυπτογράφηση" της φύσης του υλικού, κατάφερε να επηρεάσει τις ιδιότητες του κάνοντας τις συμβατές με τα ζητούμενα της κατασκευής. «Σημαντικά νέα οικοδομικά υλικά παράγονται πλέον όχι αναμειγνύοντας διάφορες φυσικές ουσίες αλλά με την ανάμειξη χημικών στοιχείων που δε βρίσκονται μεμονωμένα στη φύση.» (G.R.H. Wright,2005) Επίσης σε όλη αυτή την προσπάθεια του, ο άνθρωπος, διέκρινε πως όλα αυτά τα φυσικά χαρακτηριστικά της ύλης θα έπρεπε να προσδιοριστούν και να μπορούν να μετρηθούν με ακρίβεια. Η φυσική και τα μαθηματικά έδωσαν την απάντηση σε αυτά τα πολύ σημαντικά ερωτήματα, με αποτέλεσμα τελικά η ποιότητα και οι ιδιότητες να είναι απόλυτα μετρήσιμες και προσδιορισμένες.

## 6. ΥΛΙΚΑ

### 6.1. ΓΗ, ΛΑΣΠΗ, ΠΗΛΟΣ

Η γη ή αλλιώς λάσπη, ίσως το πρώτο υλικό που πειραματίστηκε ο άνθρωπος ως δομικό υλικό, είναι ιδανικό αφού συγκεντρώνει την πλαστικότητα και την εύκολη επεξεργασία όταν βρίσκεται στην υγρή του μορφή, αλλά και την αντοχή όταν έχει πια στεγνώσει. Αποτέλεσε πρόδρομος του σκυροδέματος. Αρχικά η γη χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή χαμηλών τοίχων. Επίσης μέσω της πρόσθεσης και της αφαίρεσης χώματος, δημιουργούσαν διαφορετικά επίπεδα κατασκευής. «Υπάρχουν τέσσερις σαφώς καθορισμένοι τρόποι με τους οποίους η γη μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως δομικό υλικό. (1) "Λάσπη Λακούβας" ή αλλιώς "πλαστική γη", (2) Terre Pisé ή αλλιώς συμπιεσμένη γη, (3) Τούβλο από λάσπη, (4) Καμένο τούβλο ;» (G.R.H. Wright,2005) Η πρώτη κατηγορία είναι και η πιο εύκολη σε σχέση με την προετοιμασία και τη διαδικασία κατασκευής. Αναμειγνύονταν σε ποσότητα και χωρίζονταν σε "μπαλάκια λάσπης" με τα οποία δημιουργούνταν σιγά σιγά η κατασκευή. Επίσης χρησιμοποιούνταν και ως υλικό σοβατίσματος. Ήταν μία τεχνική που δε χρειαζόνταν εργαλεία. Η αμέσως επόμενη

κατηγορία η Terre Pisé είναι λίγο διαφορετική από την πρώτη. Πρόκειται για λάσπη σε πεπιεσμένη μορφή. Η τεχνική του τούβλου από λάσπη είναι λάσπη διαμορφωμένη σε τούβλα συγκεκριμένης διάστασης κάθε φορά, τα οποία στέγνωναν στον ήλιο. Στην αρχή ο σχηματισμός τους γινόταν με τα χέρια ενώ στη συνέχεια σχηματίζονταν μέσω καλουπιού και μετά στεγνώνονταν.

Η έρευνα σε σχέση με τις καταλληλότερες πρώτες ύλες και την εργασιμότητα του υλικού είχε ήδη αρχίσει από πολύ παλιά. « Αρχίζοντας με τα τούβλα, θα αναφέρω με τι είδους πηλό πρέπει να κατασκευαστούν. Δεν πρέπει να είναι φτιαγμένα από αμμώδη ή βοτσαλωτό πηλό ή από λεπτό χαλίκι, γιατί όταν είναι κατασκευασμένα από αυτά τα είδη είναι κατά πρώτο λόγο βαριά και δεύτερον, όταν πλένονται από τη βροχή καθώς στέκονται στους τοίχους γίνονται κομμάτια και διαλύονται και το άχυρο μέσα τους δε συγκρατείται λόγω της τραχύτητας του υλικού. Θα πρέπει μάλλον να είναι κατασκευασμένα από λευκό αλμυρό ή από κόκκινο πηλό, ή ακόμα και από χονδρόκοκκο χαλίκι. Αυτά τα υλικά είναι λεία και επομένως ανθεκτικά, δεν είναι βαριά για να δουλέψεις και τοποθετούνται εύκολα.» (Βιτρούβιος, 1914) Ο άνθρωπος «είχε παρατηρήσει ότι τα τούβλα από λάσπη σκληραίνουν όταν στεγνώσουν στον ήλιο και μαλακώνουν όταν εκτεθούν ξανά στη βροχή. Μια σκόπιμη προσπάθεια να επιταχυνθεί η διαδικασία ξήρανσης εκθέτοντας τα τούβλα λάσπης στη θερμότητα της φωτιάς, οδήγησε πιθανώς στην παρατήρηση ότι είχε συμβεί μία μη αναστρέψιμη διαδικασία σκλήρυνσης. Ο χημικός μετασχηματισμός κοντά στους 500 C προκαλεί μια μόνιμη σύσταση αργίλου που τον καθιστά ανθεκτικό στο νερό.» (Rolf E. Hummel, 2004) Η εξέλιξη αυτή μας οδηγεί στην εμφάνιση των καμένων τούβλων. Τα τούβλα από λάσπη αφού έπαιρναν το σχήμα τους, ψήνονταν, με αποτέλεσμα να αυξηθεί τόσο η ανθεκτικότητά τους στο νερό όσο και η αντοχής τους. Βέβαια αυτή η διαπίστωση δεν εξέλιξε μόνο το υλικό αλλά και την ίδια τη διαδικασία κατασκευής του. Η παραπάνω "παρατήρηση" οδήγησε τελικά στη συστηματική ανάπτυξη της τέχνης της κεραμικής και στο σχεδιασμό κλιβάνων αντί για ξήρανση πηλού πάνω ή κάτω από ανοιχτή φωτιά.

## 6.2. ΞΥΛΟ

Το ξύλο αποτέλεσε ένα από τα πρώτα ευρείας χρήσης υλικά που βρίσκονταν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Σύντομα ο άνθρωπος διαπίστωσε πως η επεξεργασία του ήταν σχετικά εύκολη και με κάποια βασικά εργαλεία μπορούσε να διαμορφωθεί για την εκάστοτε κατασκευή. Ήταν σε θέση επίσης να επηρεαστεί το σχήμα του και το μέγεθός του, να συνδεθεί εύκολα με άλλο ξύλο αλλά και με διαφορετικά υλικά, και το μικρό του

βάρος σε συνδυασμό με την ομοιόμορφη πυκνότητα του, το καθιστούσε ιδανικό δομικό υλικό. Η αύξηση της ξυλουργικής ως κατασκευαστικής μεθόδου, δεν περιορίστηκε μόνο στην κτιριακή κατασκευή αλλά και στην ναυπηγική όπου η πρώτη τεχνική επηρέασε τη δεύτερη και αντίστροφα.

### 6.3. ΠΕΤΡΑ

Οι άνθρωποι μέσω της παρατήρησης και των δοκιμών, διέκριναν τις ξεχωριστές ιδιότητες κάθε λίθου, πέρα κάποιων κοινών ιδιοτήτων που είχαν όλες όπως η αντοχή. Για παράδειγμα από νωρίς αντιλήφθηκαν ότι ο πυριτόλιθος και ο οψιανός ήταν ιδιαίτερα αιχμηρές ώστε να μπορούν να καλύψουν την ανάγκη δημιουργίας κοπτικών εργαλείων, απαραίτητα τόσο για την καθημερινή ζωή τους όσο και για την κατασκευή. « Η πέτρινη οικοδόμηση θεωρείται ευρέως ως η αρχέτυπη οικοδομική κατασκευή, αλλά αυτή η άποψη προήλθε από μια πτυχή του πέτρινου κτιρίου- το μνημειώδες κτίριο όπου η ανθεκτικότητα της πέτρας ήταν ουσιαστικά μία προϋπόθεση.» (G.R.H. Wright, 2005) Αν και η εύρεση της κατάλληλης πέτρας, η μεταφορά της και η τοποθέτηση της, πέτρα πάνω σε πέτρα, ήταν αρκετά δύσκολη και κοπιαστική διαδικασία, οι ιδιότητες της ως φέρων οργανισμός, την κατέστησαν το πιο διαδεδομένο ίσως από τα υλικά της αρχαιότητας. Η πέτρα άλλοτε με τη μορφή μεγάλων λίθων, άλλοτε μικρών, αποτέλεσε σημαντικό τρόπο κατασκευής τόσο μικρών οικιστικών κτιρίων, όσο και μεγάλων δημόσιων μνημειακού χαρακτήρα έργων. Τόσο η πέτρα όσο και ο πυλός αν και χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε μεγάλη κλίμακα, είχαν περιορισμούς λόγω της μεγάλης ευθραυστότητας τους.

### 6.4. ΖΩΙΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ

Τα ζωικά προϊόντα ,όπως οστά, νύχια κ. α., χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με άλλα υλικά για την κατασκευή κτιρίων, όπως για τη στερέωση στοιχείων , για επένδυση ή ως συστατικά, για παράδειγμα ως πρόσθετα στο σοβάτισμα και αλλού.

### 6.5. ΑΣΒΕΣΤΗΣ ΚΑΙ ΓΥΨΟΣ

« Χωρίς αμφιβολία η πιο εντυπωσιακή αρχαιολογική ανακάλυψη των τελευταίων ετών σχετικά με τα οικοδομικά υλικά είναι η πολύ πρόωμη χρήση του ασβέστη και του γύψου... Οι αρχαιολόγοι δεν μπορούσαν να ξεχωρίσουν με ακρίβεια τον ασβέστη από τον

γύψο, πόσο μάλλον τον τρόπο εφαρμογής του. Μόνο πρόσφατα, με την εφαρμογή της φυσικής επιστήμης στην αρχαιολογία έχουν αυτά τα θέματα διευκρινιστεί με εκπληκτικό αποτέλεσμα» ;» (G.R.H. Wright, 2005) Στην πραγματικότητα και οι δύο ουσίες έχουν να κάνουν με χημικές συνθέσεις του ασβεστίου. Στον ασβέστη η χημική ένωση είναι το ανθρακικό ασβέστιο -  $\text{Ca CO}_3$ , ενώ στην περίπτωση του γύψου το θεικό ασβέστιο  $\text{Ca SO}_4$ . Και οι δύο αυτές ουσίες συναντώνται σε πετρώματα, τα οποία όταν καούν, τελικά παραμένει μία σκόνη. Η ανάμειξη αυτής της σκόνης με νερό δημιουργεί μια πάστα πολύ εύπλαστη και κολλώδη, πράγμα που την καθιστά ιδανική για σοβά και κονίαμα. Κατά την αρχαιότητα επίσης ο γύψος χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την χρήση επιφανειών όπως δάπεδα.

## 6.6. ΜΕΤΑΛΛΑ

Αρχικά ο άνθρωπος αντιλήφθηκε τη διαφορά των πετρωμάτων που έφεραν μέταλλα έναντι των υπόλοιπων λίθων, λόγω των διαφορετικών ιδιοτήτων που εκδήλωναν. Τα μέταλλα ήταν η απάντηση στην ανάγκη ενός υλικού με καλή αντίδραση στην κάμψη. «Διαφέρουν εντυπωσιακά από την πέτρα και το κεραμικό με πολλούς τρόπους. Είναι αγωγοί του ηλεκτρισμού και της θερμότητας ... Ωστόσο, η καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν είχε καμία σημασία μέχρι τον δέκατο ένατο αιώνα. Ο κύριος λόγος που τα μέταλλα εκτόπισαν προηγούμενα υλικά οφείλεται στις αποκρίσεις τους για εφαρμοζόμενα φορτία... Ο βαθμός "ακαμψίας" είναι το μέτρο του φορτίου που απαιτείται για την παραγωγή μιας συγκεκριμένης ελαστικής παραμόρφωσης και υπολογίζεται διαιρώντας αυτό το φορτίο με το μέγεθος της παραμόρφωσης που δημιουργεί. Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνεται αυτό που εμείς οι επιστήμονες των υλικών ονομάζουμε μέτρο ελαστικότητας του Young.»(Stephen L. Sass, 1998) Με την ανακάλυψη των μετάλλων και την ανάπτυξη της μεταλλουργίας, ο άνθρωπος αρχίζει να κατασκευάζει. « Η εποχή του μετάλλου ξεκίνησε εκείνη τη στιγμή της ιστορίας, όταν ο άνθρωπος κατάφερε να λιώσει μέταλλα από τα μεταλλεύματα τους, να τα λιώσει και να τα χύσει σε καλούπια. Αυτή η διαδικασία, γνωστή σήμερα ως εξαγωγή μετάλλου, αποτελεί το καθοριστικό χαρακτηριστικό της νέας εποχής των μετάλλων.» (George Varoufakis, 1999) Σαφώς αυτή η πορεία δε θα είχε επιτευχθεί αν οι άνθρωποι νωρίτερα δεν είχαν εξοικειωθεί με τη φωτιά και τους κλιβάνους που πυράκτωναν τα κεραμικά τους. Η πρώτη εφαρμογή των μετάλλων ήταν κυρίως αντικείμενα, όπλα και εργαλεία. Χωρίς τη συμβολή των μετάλλων θα ήταν αδύνατη και η ανάπτυξη άλλων τεχνικών όπως αυτών της κατασκευής με πέτρες και ξύλου, αφού ήταν αυτά που έκαναν

εφικτή τη δημιουργία εργαλείων για την επεξεργασία τους. Βλέπουμε όμως πως έχουν παρουσία και στην οικοδομική δραστηριότητα ως υλικά. Ο χαλκός χρησιμοποιήθηκε σε περιπτώσεις στερέωσης λίθων στις κατασκευές. Ο μόλυβδος επίσης χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται ακόμα κυρίως για υδραυλικές εγκαταστάσεις και ως στεγανωτικό. Ο σίδηρος αποτέλεσε ένα καθοριστικό υλικό για την πορεία των κατασκευών γενικά αλλά και της οικοδομικής πιο συγκεκριμένα.

### 6.6.1 Σίδηρος

«Η λέξη σίδηρος ή σίδηρος –προέρχεται από τη λέξη sidus που στη γλώσσα μιας φυλής της Ανατολίας σημαίνει “αστέρι”.» (George Varoufakis, 1999) Με την ανακάλυψη του σιδήρου και την έναρξη της επεξεργασίας του μέσω της σφυρηλάτησης έχουμε την επίσημη έναρξη της εποχής του σιδήρου. «Τα σημερινά στοιχεία δείχνουν ότι στην Ινδία, στην περιοχή της επαρχίας του Uttar Pradesh, μπορεί να ήταν το μέρος όπου πραγματικά η τεχνολογία του σιδήρου άρχισε. Μερικά σιδερένια εργαλεία που ανακαλύφθηκαν σε αυτή την περιοχή χρονολογούνται από περίπου το 1800 π. Χ. και η τήξη του σιδήρου έγινε σε μεγάλη κλίμακα έως το 1300 π. Χ.» (Michael M. Woolfson, 2010) Κατά την αρχαιότητα ο σίδηρος ήταν ένα μέταλλο που δεν μπορούσε να χυθεί σε καλούπια αφού οι φούρνοι που χρησιμοποιούσαν δε μπορούσαν να φτάσουν τη θερμοκρασία των 1250-1300 ° C. Σημείο στροφής στην επεξεργασία του ήταν η χρήση καθαρού άνθρακα ή λιθάνθρακα αντί για ξυλάνθρακα που χρησιμοποιούνταν μέχρι τότε, με αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλότερων θερμοκρασιών άρα και τη δυνατότητα χύτευσης του. Λόγω της μεγάλης του αντοχής, οι αρχαίοι Έλληνες το χρησιμοποίησαν για τη στερέωση των λίθων σε λιθοδομές. Οι Ρωμαίοι δημιούργησαν περίτεχνους μεταλλικούς συνδέσμους χρησιμοποιώντας τους, σε μεγάλα ξύλινα ζευκτά, κάνοντας με αυτόν τον τρόπο εφικτή τη δημιουργία μεγάλων χώρων. Στη συνέχεια κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα παρουσιάζονται για πρώτη φορά δικτυώματα, «τα οποία αποτελούνται από ξύλινες αντηρίδες και σιδερένιους ελκυστήρες, συνδυάζοντας την αντοχή του σιδήρου σε εφελκυσμό, με την αντοχή του ξύλου σε θλίψη.» (TEE Portal) Παρόλο που ο σίδηρος δεν είναι ανθεκτικός στις καιρικές συνθήκες και η παραγωγή του σε μεγάλες ποσότητες ήταν δύσκολη, πάντα αποτελούσε σημαντικό πεδίο έρευνας για τους επιστήμονες. Έτσι καθώς κατακτάται με την πάροδο του χρόνου η γνώση των ιδιοτήτων και του τρόπου επεξεργασίας του, ο σίδηρος αρχίζει να κερδίζει έδαφος στις κατασκευές, αρχικά σε τμήματά της, όπως οι στέγες, μέχρι που τελικά αποτέλεσε βασικό δομικό υλικό. Στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα ο σίδηρος άρχισε σιγά σιγά να χρησιμοποιείται στην κατασκευή



γεφυρών και κτιρίων . Χαρακτηριστικό δείγμα τέτοιου κτηρίου είναι και το chocolate Factory στο Menier που είναι ένα από τα παλαιότερα κτίρια με σκελετό εξολοκλήρου από σίδηρο. Τον 19ο αιώνα ο σίδηρος χρησιμοποιείται ως το κυρίαρχο υλικό για τον φέροντα οργανισμό και κάνουν την εμφάνισή τους πολλά πρωτοποριακά και μοντέρνα για την εποχή έργα. Μερικά κριτήρια που το έκαναν να ξεχωρίζει και τελικά ιδανικό για εκείνες τις εφαρμογές, ήταν η δυνατότητα μορφοποίησης του, η αντοχή του σε μεγάλα φορτία και στη φωτιά αλλά και η προσιτή του τιμή. Ο σίδηρος έδωσε στην αρχιτεκτονική το έναυσμα που χρειαζόταν για μια ανανέωση ιδεών και εφαρμογών. Αν και η αρχική χρήση των μετάλλων ήταν ως υποβοηθητικό και δευτερεύον υλικό για επιμέρους εξαρτήματα και στερέωση της κατασκευής, βλέπουμε πως οι ιδιότητες τους αξιολογήθηκαν και εκτιμήθηκαν, φτάνοντας τελικά στις μέρες μας να είναι ένα από τα βασικά κατασκευαστικά υλικά. Καθώς ο σίδηρος βρίσκει εφαρμογή όλο και περισσότερο στις κατασκευές και η εξέλιξη του συνεχίζει να καλπάζει, οδηγούμαστε στο χάλυβα, ένα υλικό που απογείωσε τελικά τις δυνατότητες κατασκευής, κάνοντας το αδύνατο-δυνατό. Ο χάλυβας έφερε την επανάσταση, δίνοντας στους μηχανικούς τη δυνατότητα να φτιάξουν πολυώροφες κατασκευές και έργα που κανένα άλλο υλικό δε θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί.

### 6.6.2 Χάλυβας

« Ο χάλυβας είναι ένα κράμα σιδήρου και άνθρακα. Η περιεκτικότητα του άνθρακα στο χάλυβα είναι κάτω από το 1,8%, ενώ οι συνδυασμοί του σιδήρου με άλλα στοιχεία δεν ξεπερνούν το 5%. Έτσι ανάλογα με την ποσότητα του άνθρακα στο χάλυβα παίρνουμε και διαφορετικών ειδών χάλυβα με διαφορετικές ιδιότητες. « Ο μαλακός χάλυβας περιέχει περίπου 0,25 % άνθρακα και είναι ένα καλό υλικό γενικής χρήσης που συνδυάζει λογική σκληρότητα και ελαστικότητα. Αυξάνοντας την ποσότητα άνθρακα σε 1,5 %, παίρνουμε χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, πολύ πιο σκληρό από τον μαλακό χάλυβα και λιγότερο εύπλαστο, καθιστώντας τον πιο κατάλληλο για ορισμένες εφαρμογές.» (Michael M. Woolfson, 2010) Επίσης ανάλογα με την ποιότητα του χάλυβα και τις ιδιότητες που χρειαζόμαστε για την κατασκευή και οι αναλογίες των υπολοίπων στοιχείων αλλάζουν. Για παράδειγμα για την κατασκευή του ανοξείδωτου χάλυβα, το ποσοστό του χρωμίου είναι τουλάχιστον 12%, ενώ η προσθήκη νικελίου ή μολυβδαινίου βελτιώνουν την ικανότητα της αντίστασης του στη διάβρωση. Αλλά και ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή που απαιτεί ανοξείδωτο χάλυβα επιλέγεται ο καταλληλότερος. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως η τεχνολογία όσον αφορά το συγκεκριμένο υλικό έχει προχωρήσει τόσο που

μας επιτρέπει να εξειδικεύσουμε την αναλογία των συστατικών του σε τέτοιο βαθμό, ώστε να είναι τελικά ο ιδανικός για την κάθε κατασκευή που καλούμαστε να φέρουμε εις πέρας.

Για την μετατροπή του σιδήρου σε χάλυβα είναι απαραίτητη μία διαδικασία που ονομάζεται ενανθράκωση. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας γίνεται μία προσπάθεια απομάκρυνσης του θείου και του φωσφόρου, στοιχεία επιβλαβή για το χάλυβα. Η μέθοδος αυτής της απομάκρυνσης πραγματοποιείται με την καύση και την πρόσθεση οξυγόνου. Το μαγγάνιο και το πυρίτιο είναι στοιχεία που βρίσκουμε στον ακατέργαστο σίδηρο. Η ρύθμιση της αναλογίας τους, όπως ήδη αναφέρθηκε είναι βασική για τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Η ενανθράκωση πραγματοποιείται με ποικίλους τρόπους. Στην αρχαιότητα γίνονταν με θέρμανση του σιδήρου με κόκκινο καυτό κάρβουνο, έτσι ώστε ο άνθρακας να εμποτιστεί επιφανειακά... Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα σε άνθρακα, με τη μορφή καρβιδίων, τόσο πιο σκληρός είναι ο χάλυβας. Ο χάλυβας καίγεται σε θερμοκρασία μεταξύ 750 ° C και 900 ° C και μετά μπαίνει ξαφνικά σε νερό ή λάδι, και αποκτά εξαιρετική σκληρότητα» (George Varoufakis, 1999) Βέβαια αυτή η έντονη θερμική διαδικασία και η σκληρότητα, κάνει τον χάλυβα εύθραυστο και με πολύ μειωμένη ελαστικότητα. Γι' αυτό και θερμαίνεται για ακόμη μία φορά, σε θερμοκρασία περίπου 250-450 ° C, ώστε να αποκατασταθεί η ελαστικότητα του και πάλι. Αυτό το νέο υλικό έδωσε τη δυνατότητα στα χέρια των μηχανικών να κατασκευάσουν μεγάλα και ποιοτικά κτίρια. Ο τρόπος που ο χάλυβας κατάφερε να ανατρέψει τα μέχρι τότε δεδομένα στις κατασκευές ήταν δίνοντας λύση στην ανάγκη για μεγάλα ανοίγματα χωρίς την ανάγκη εσωτερικών κολώνων στήριξης.

Μέσω του χάλυβα λοιπόν υπάρχει η δυνατότητα σήμερα κατασκευής κτιρίων με ανοίγματα έως και 30 μέτρων χωρίς να κατασκευαστούν εσωτερικές κολώνες. «Ο φέρων οργανισμός των πρώτων πολύμορφων κτιρίων γραφείων, είναι ένας χαλύβδινος σκελετός μειωμένης ακαμψίας, τα μέλη του οποίου συνδέονται με αρθρώσεις και κόμβους, που διαμορφώνονταν με ηλώσεις και μπουλόνια. Το νέο αυτό σύστημα δομής που συγκροτείται είναι εύκαμπτα και εκ του λόγου αυτού ευάλωτο στις στατικές δράσεις με την αύξηση του αριθμού των ορόφων. Όμως το εν λόγω σύστημα αποτελεί μόνο την αρχή της εξελικτικής πορείας των κατασκευαστικών συστημάτων των υψηλών κτιρίων, τα οποία θα φτάσουν σε πρωτοφανή ύψη στα τέλη του 20ου αιώνα με την εφαρμογή σύνθετων πλαισίων κατασκευών από χάλυβα.» (Portal TEE) Αν και ο χάλυβας παρουσιάστηκε ως ένα πολλά υποσχόμενο υλικό, οι αρχιτέκτονες αρχικά το αντιμετώπισαν με αμηχανία. Παρ' όλα αυτά η αρχιτεκτονική του 20ου αιώνα χαρακτηρίστηκε ως η αρχιτεκτονική του οπλισμένου σκυροδέματος, ένα τμήμα του οποίου βέβαια είναι και πάλι ο χάλυβας.

### 6.6.2.1 Πλεονεκτήματα Χάλυβα

Πολλά είναι τα πλεονεκτήματα που κάνουν τον χάλυβα ξεχωριστό και τον έχουν κάνει ένα ευρέως διαδεδομένο υλικό. Ένα πρώτο που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι πρόκειται για ένα ομοιογενές υλικό που μένει αμετάβλητο στο χρόνο. Έχει ελαστικότητα και ολκιμότητα, μπορεί να πάρει εκτεταμένη παραμόρφωση χωρίς όμως να αστοχήσει. Έχει μεγάλες αντοχές σε κάμψη, θλίψη, διάτμηση. Επιπλέον επειδή έχει χαμηλό βάρος μειώνεται και το βάρος της ίδιας της κατασκευής. Μπορεί να υπάρξει σε μεγάλο βαθμό προκατασκευή, γεγονός που αυξάνει την ταχύτητα κατασκευής του έργου. Δεν μπορεί να μην αναφερθεί επίσης και η δυνατότητα ανακύκλωσης του, αφού οποιοδήποτε προσβάσιμο τμήμα μπορεί να αφαιρεθεί, να αναχυτευθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί ως νέο μέλος της ίδιας ή διαφορετικής κατασκευής.

### 6.6.2.2 Μειονεκτήματα Χάλυβα

Βέβαια είναι σημαντικό να αναφερθούν και οι ανεπιθύμητες ιδιότητες του. Είναι ένα υλικό που χρειάζεται εξειδικευμένη εγκατάσταση παραγωγής και εργατικό προσωπικό. Δεν είναι υλικό πυρασφάλειας, αφού σε θερμοκρασία άνω των 700 ° C παρουσιάζονται έντονες επιμηκύνσεις με αποτέλεσμα την εύκολη αστοχία του υλικού και τελικά την κατάρρευση της κατασκευής. Επιπλέον επειδή διαβρώνεται και σκουριάζει, χρειάζεται μελέτη και συντήρηση υψηλού κόστους.

## 7. ΚΟΝΙΑΜΑ- ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

### 7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κονίαμα ονομάζεται το μίγμα που αποτελείται από λεπτόκοκκα αδρανή, κονίες, ως συνδετική ύλη και νερό. Το κονίαμα έχει ως βασική ιδιότητα να σκληρύνεται με τον χρόνο, ενώ κατά την διάρκεια της παρασκευής του έχει ρευστή μορφή. Επίσης «κονία καλείται κάθε κονιοποιημένο υλικό που με κατάλληλη προεργασία μπορεί να γίνει πλαστικό, να παρουσιάσει συγκολλητικές ιδιότητες και να στερεοποιηθεί βαθμιαία, ώσπου να σχηματιστεί μια σκληρή και συμπαγής μάζα, δηλαδή μετά από ορισμένο χρόνο πηγνύεται και σκληρύνεται» (Βιαζής Γ.Α.,2003)

Οι περισσότερες κονίες εμφανίζουν συγκολλητικές ιδιότητες και γίνονται πλαστικές όταν αναμιχθούν με νερό. Στερεοποιούνται είτε επειδή εξατμίζεται το νερό (π.χ. πήλοκονία), είτε επειδή προκαλούνται χημικές αντιδράσεις (π.χ. τσιμέντο, ασβεστίτης) (Γερογιάννης Γ, 2003) Ανάλογα με τον τρόπο στερεοποίησης τους, οι κονίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Κάποιες κονίες σταθεροποιούνται όταν έρχονται σε επαφή με τον αέρα, μέσω του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) της ατμόσφαιρας. Αυτές ονομάζονται αερικές κονίες και έχουν αντοχή στο νερό. Η δεύτερη κατηγορία είναι οι υδραυλικές κονίες, κονίες οι οποίες στερεοποιούνται με την παρουσία νερού. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν το τσιμέντο, κονία Portland και άλλες.

## 7.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

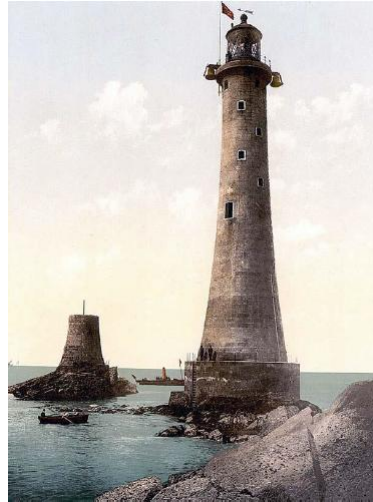
Η ιστορία του κονιάματος ξεκινάει πολλούς αιώνες στο παρελθόν. «Το αρχαιότερο γνωστό ως σήμερα σκυρόδεμα βρίσκεται στη Νότια Γαλιλαία του Ισραήλ. Ανακαλύφθηκε το 1985 και αποτελείται από ένα μίγμα ασβέστη με πέτρες.» (Interbeton.gr) Τα λασπότουβλα, οι πέτρες και τα τούβλα αν και συνέχιζαν να έχουν σημαντικό ρόλο στην κατασκευή, σχετικά νωρίς ο άνθρωπος αντιλήφθηκε ότι χρειάζεται κάτι ώστε να πληρωθούν τα κενά ανάμεσα στα παραπάνω υλικά αλλά και να μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους λειτουργώντας ως ένα σώμα.(Michael M. Woolfson, 2010) Αλλά και στην Αίγυπτο παρατηρείται η χρήση του. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι πρόσθεταν στους πλίνθους άχυρο ώστε να αυξηθεί η αντοχή τους, επίσης «χρησιμοποιούσαν ένα μείγμα λάσπης και άχυρου για να δέσουν μαζί τα λιασμένα τούβλα» (Michael M. Woolfson, 2010) και έφτιαχναν κονιάματα με γύψο σαν πρώτη ύλη και κονιάματα με ασβεστόλιθο. Με τη χρήση του ασβεστοκονιάματος στην Κρήτη και στη συνέχεια από τους Έλληνες, οι Ρωμαίοι μηχανικοί ήταν τελικά αυτοί που εξέλιξαν ακόμη πιο πολύ το μίγμα και την ποιότητα του και το τελειοποίησαν ως δομικό υλικό. «Η μεγάλη τους πρόοδος στην τεχνολογία του σκυροδέματος ήταν να δημιουργηθεί ένα σκυρόδεμα που θα πήζει κάτω από το νερό, χρησιμοποιώντας ένα συστατικό στο τσιμέντο που αποτελείται από ένα μείγμα ασβέστη και ηφαιστειακής άμμου.» (Michael M. Woolfson, 2010) Κιμωλία και κοχύλια (αποτελούνται κυρίως από ανθρακικό ασβέστιο) θερμαίνονταν πάνω από 900 ° C . Οι Έλληνες επινόησαν ένα αδιάβροχο, υψηλής αντοχής τσιμέντο με ανάμειξη ασβέστη μαζί με ηφαιστειακά πετρώματα από το νησί της Σαντορίνης.

Αργότερα οι Ρωμαίοι ανακάλυψαν μια συγκεκριμένη μορφή ηφαιστειακής τέφρας που ονομάζεται ποζουλάνα από τον Βεζούβιο και τους λόφους Alban κοντά στη Ρώμη, που

ήταν μια εξαιρετική πηγή αλουμίνας και πυριτική υδραυλική τσιμεντοκονία, η οποία είχε αξιοσημείωτη και πολύ χρήσιμη ιδιότητα πήξης κάτω από το νερό. Το ασβεστοτσιμέντο χρησιμοποιήθηκε αρχικά από Ρωμαίους μηχανικούς ως κονίαμα για τούβλα και πέτρες και στη συνέχεια ως συγκολλητικό συστατικό σκυροδέματος.» Τα ρωμαϊκά μνημεία της εποχής μαρτυρούν πως οι τεχνικές των Ρωμαίων μηχανικών ήταν αποτελεσματικές και τα έργα τους όπως τα υδραγωγεία και άλλα εξακολουθούν να στέκουν μέχρι σήμερα δείχνοντας στους σύγχρονους μηχανικούς τις υπέροχες ιδιότητες των υλικών τους. Το κονίαμα των Ρωμαίων ήταν τόσο αποτελεσματικό που « ο μηχανικός που έφτιαξε γέφυρα για τον Τραϊανό προέβλεψε ότι θα διαρκούσε για πάντα. Το καύχημα του ήταν βάσιμο, αφού σήμερα φέρει αυτοκινητόδρομο με τέσσερις λωρίδες. Λόγω της αξιοσημείωτης σκληρότητας του ρωμαϊκού κονιάματος, οι μηχανικοί των πιο σύγχρονων χρόνων υπέθεσαν ότι οι Ρωμαίοι πρέπει να είχαν μυστικό που χάθηκε στη συνέχεια.» . (Stephen L. Sass, 1998) Χαρακτηριστικό παράδειγμα της υψηλής τεχνολογίας σκυροδέματος που είχαν αναπτύξει είναι το γνωστό σε όλους μας Πάνθεον στη Ρώμη. Ο ανοιχτός θόλος του οποίου έχει διάμετρο 43 μέτρα. « Καθώς τα τμήματα της οροφής προχωρούν από τη βάση προς την κορυφή, το σκυρόδεμα παρουσιάζει αλλαγές... Το πιο πυκνό και ισχυρό υλικό είναι στο κάτω μέρος όπου πρέπει να στηριχτεί το μεγαλύτερο βάρος, ενώ γίνεται χρήση σκυροδέματος χαμηλότερης πυκνότητας πιο πάνω στο θόλο.» (Michael M. Woolfson, 2010) Επίσης και στην άλλη άκρη του πλανήτη στην Ασία, «οι Κινέζοι χρησιμοποίησαν κονίαμα στην κατασκευή του σινικού τείχους.» (Michael M. Woolfson, 2010)

Και ενώ η χρήση της ποζουλάνας ή ποζολάνης όσο και του ασβέστη άρχισε να φθίνει μέχρι που σταμάτησε, το 1793 «ο John Smeator ανακαλύπτει ότι η ασβεστοποίηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων που περιέχουν άργιλο παράγει ασβέστη που σκληραίνει κάτω από την επιφάνεια του νερού (υδραυλικός ασβέστης). Χρησιμοποιεί το υλικό αυτό για να ξανακτίσει το φάρο στο Eddystone της Κορνουάλης του οποίου η κατασκευή άρχισε το 1756 αλλά δε μπορούσε να προχωρήσει χωρίς την ύπαρξη του συνδετικού υλικού που να μην επηρεάζεται από το νερό.» (Interbeton.gr) Και ενώ οι Άγγλοι συνεχίζουν τις δοκιμές και την εξέλιξη του υλικού, με μια νέα παραλλαγή, το τσιμέντο Parker ή αλλιώς ρωμαϊκό τσιμέντο ( παρασκευάζεται θερμαίνοντας ακάθαρτο ασβεστόλιθο που περιέχει άργιλο) , φτάνουμε τελικά στο 1824, όπου ο Άγγλος Joseph Aspolin είναι ο πρώτος που παρασκευάζει το τσιμέντο τύπου Πόρτλαντ. «Θερμαίνει λεπτά τριμμένη κιμωλία και άργιλο σε κλίβανο ασβεστοποιίας ώσπου να φύγει το διοξείδιο του άνθρακα από το μίγμα . Το κρυσταλλωμένο παράγωγο της διαδικασίας αλέθεται στη συνέχεια και λαμβάνει την ονομασία τσιμέντο Πόρτλαντ από τις εξαιρετικής ποιότητας πέτρες χτισίματος που

εξορύσσονται στην περιοχή του Πόρτλαντ.» (Interbeton.gr) Η νέα αυτή τεχνολογία φέρνει στους μηχανικούς τη δυνατότητα να δημιουργήσουν έργα που προηγουμένως φάινονταν αδύνατον να κατασκευαστούν. Το 1889 χτίζεται η πρώτη γέφυρα από σκυρόδεμα , στη συνέχεια ο πρώτος δρόμος στο Bellefontaine των ΗΠΑ από τον Bartholomew, ενώ κάποια χρόνια αργότερα έχουμε την κατασκευή του πρώτου ουρανοξύστη από σκυρόδεμα στο Cincinnati του Οχάιο.



**Εικόνα 7.1** Φάρος Eddystone, UK. ([www.old-picture.com](http://www.old-picture.com))



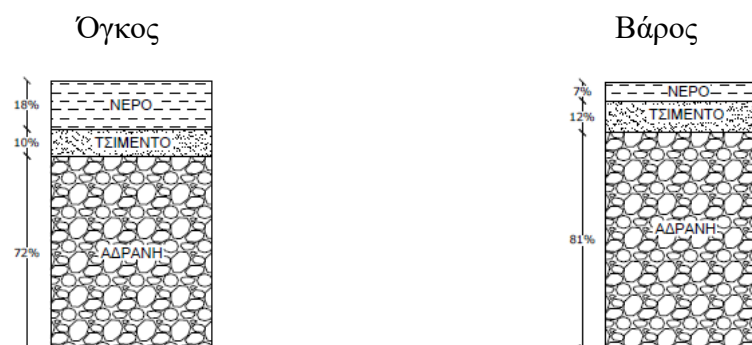
**Εικόνα 7.2** Souillac Bridge, Γαλλία 1812, Γέφυρα άοπλου σκυροδέματος, ([en.structurae.de](http://en.structurae.de))

### 7.3. Η ΣΥΝΤΑΓΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Οι δοκιμές στη "συνταγή" του σκυροδέματος οδήγησαν τελικά σε επιτυχία στην σύγχρονη μορφή και αντιμετώπιση του συγκεκριμένου υλικού. Το σκυρόδεμα είναι στις μέρες μας το πλέον διαδεδομένο δομικό υλικό παγκοσμίως και μάλιστα αποτελεί δείκτη για την ανάπτυξη κάθε χώρας. Αυτός ο δείκτης ανάπτυξης ερμηνεύεται από τον λόγο τόνος ανά

κάτοικο. Το σκυρόδεμα είναι ένα μίγμα «πάστας» και αδρανών υλικών. Τα αδρανή υλικά είναι προϊόντα λατομείου όπως άμμος (0- 4,75 mm), γαρμπίλι (4,75-12,5mm), χαλίκι ή σκύρα(12,5-25mm), τα οποία όταν αναμειχθούν με κονίες όπως τσιμεντοκονία, ασβεστοκονία, κ.α. δεν αντιδρούν χημικά μεταξύ τους και δημιουργούν αυτό το εύπλαστο υλικό. Η πάστα αποτελείται από τσιμέντο και νερό και καλύπτει την επιφάνεια των λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών. Τα αδρανή επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το σκυρόδεμα τόσο στη νωπή φάση σε σχέση με το αν είναι εύκολη η εργασία του, αλλά και στην απορρόφηση του νερού, όσο και στη σκληρυμένη φάση, επηρεάζει το μέτρο ελαστικότητας, της σταθερότητα της διόγκωσης, την αντοχή, την ανθεκτικότητα, την τρίψη και απότριψη. Είναι πορώδη με αποτέλεσμα να απορροφούν το νερό και να αυξάνουν τον όγκο τους, να έχουν αντοχή στον παγετό και αντοχή στη θλίψη. Πρόκειται στην πραγματικότητα για ένα «ομογενοποιημένο μείγμα ελεγχόμενων αναλογιών» των παραπάνω συστατικών.(hcia.gr) Η αναλογία της συνταγής πρέπει να είναι πολύ συγκεκριμένη. Το μείγμα αυτής της ελεγχόμενης αναλογίας υλικών υπόκειται σε μία εξωθερμική χημική διαδικασία (ωρίμανση) και τελικά πήζει και σκληραίνει σε μία ομογενοποιημένη συμπαγή μάζα. Αυτή η χημική αντίδραση, η «ενυδάτωση» προκαλεί τη στερεοποίηση της πάστας που αποκτά έτσι υψηλές αντοχές, δημιουργώντας έτσι το σκυρόδεμα. Η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι μια διαδικασία, που συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας και περιλαμβάνει ένα σύνολο χημικών και φυσικοχημικών μεταβολών. Η αρχική του μορφή είναι ρευστή, ενώ με το πέρασμα του χρόνου σταθεροποιείται και μέρα με τη μέρα η αντοχή του αυξάνεται, με αποτέλεσμα μετά την 28 ημέρα να μπορεί να «αντέξει», να φέρει όλα τα φορτία για τα οποία έγινε η μελέτη και να μπορεί πια να λειτουργεί ως φέρων οργανισμός. Αυτή η διαδικασία αποτελεί και το μεγάλο πλεονέκτημα του σκυροδέματος, είναι εύπλαστο όταν αναμειγνύεται και ανθεκτικό όταν σκληραίνει, πράγμα που το καθιστά ιδανικό για διαφόρων ειδών κατασκευές. «Ένα σωστά σχεδιασμένο σκυρόδεμα διαθέτει καλή εργασιμότητα όταν είναι φρέσκο και εξαιρετική ανθεκτικότητα και αντοχή όταν σκληραίνει. Ο λόγος του νερού προς τσιμέντο καθορίζει την ποιότητα της «πάστας» και κατ' επέκταση την αντοχή». (Interbeton.gr) Για να μπορέσει το σκυρόδεμα να είναι ανθεκτικό χρειάζεται σωστή μελέτη της ποσότητας των συστατικών του. Αν για παράδειγμα ένα μίγμα σκυροδέματος δεν έχει επαρκή ποσότητα «πάστας» τότε τα αδρανή δε μπορούν να καλυφθούν, κάνοντας εξαιρετική δύσκολη τη διάστρωση της, και τα κενά με τους πόρους στην επιφάνεια της μάζας μειώνει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Στην αντίθετη κατεύθυνση, αν ένα μίγμα έχει υπερβολική πάστα, τότε το σκυρόδεμα συρρικνώνεται και ρηγματώνεται εύκολα. Γι' αυτό και τελικά ένα «σκυρόδεμα υψηλής

ποιότητας παρασκευάζεται με τη χρήση λιγότερου νερού, αρκεί να μπορεί να διαστρωθεί, να συμπυκνωθεί και να συντηρηθεί κατάλληλα». (Interbeton.gr) Βάσει της παρασκευής και χρήσης του σκυροδέματος η διαδικασία διακρίνεται σε τέσσερα στάδια: στην αρχική ανάμειξη, τη διακίνηση στο σημείο εφαρμογής, τη διάστρωση και συμπίκνωση του υλικού (μέσω δόνησης, αναμόχλευσης ή χτυπήματος του ξυλοτύπου), και τελικά τη συντήρηση (με την κάλυψη των επιφανειών με υγρές λινάτσες). Ανάλογα με τις κατασκευαστικές ανάγκες, προστίθενται στο αρχικό μείγμα, πρόσθετα ώστε να παραχθεί το επιθυμητό σκυρόδεμα. Μία κατηγορία πρόσμικτων υλικών είναι τα ρευστοποιητικά. Αυτά κρατάνε το μείγμα ρευστό ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη εργασιμότητα του. Μία δεύτερη ομάδα είναι τα επιβραδυντικά. Τα συγκεκριμένα όπως το μαρτυρά και το όνομα τους, επιβραδύνουν την πήξη του σκυροδέματος. Στην αντίθετη κατεύθυνση υπάρχουν τα επιταχυντικά, όπου επιταχύνουν την σκλήρυνση. Όταν οι συνθήκες το απαιτούν, προτίθενται στο μείγμα του σκυροδέματος τα αντιπαγετικά και τα στεγανωτικά για τη μείωση της υδροπερατότητας. Τέλος μπορεί να τοποθετηθούν και ινώδη υλικά, όπως πολυμερικές ίνες, χρώματα μάζας σκυροδέματος, ή ποζολανικά πρόσθετα. Αν μελετήσει κανείς αυτό το υλικό μπορεί πολύ εύκολα να διαπιστώσει τον λόγο για τον οποίο χαίρει ευρείας αποδοχής και εκτίμησης από όλους. Βέβαια όπως κάθε υλικό έτσι και το σκυρόδεμα συγκεντρώνει μεγάλο βαθμό θετικών αλλά και αρνητικών ιδιοτήτων.



**Σχήμα 7.1** Αναλογίες Σκυροδέματος Κατά Όγκο Και Βάρος (Γεώργιος Παναγόπουλος, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας)

### 7.3.1 Τσιμέντο



«Το τσιμέντο είναι βιομηχανικό υλικό, ανήκει στις υδραυλικές κονίες λόγω της ιδιότητας του να αντιδρά με το νερό και να δημιουργεί ισχυρές κρυσταλλικές ενώσεις οξειδίων του πυριτίου, του ασβεστίου και του αργιλίου ανθεκτικές στο νερό, οι οποίες του προσδίδουν τις συνδετικές του ιδιότητες. Παρασκευάζεται βασικά από ασβέστη (οξείδιο του ασβεστίου, CaO) κατά τα 2/3 και άμμο (διοξείδιο του πυριτίου, SiO<sub>2</sub>) κατά το 1/3. Στο τελικό προϊόν υπάρχουν και μικρότερες ποσότητες αργιλίου (αλουμινίου) και σιδήρου, προστίθεται δε και μια μικρή ποσότητα γύψου, η οποία έχει σκοπό να καθυστερήσει την πήξη, για να κάνει το τσιμέντο πιο εύχρηστο. Ο ασβέστης, που είναι σε μεγαλύτερη αναλογία, παράγεται με τη θέρμανση ασβεστόλιθου, οπότε είναι φανερό ότι τα εργοστάσια τσιμέντου συμφέρει να κατασκευάζονται κοντά σε «νταμάρια» ασβεστόλιθου. Οι πρώτες ύλες παρασκευής του τσιμέντου αναμειγνύονται και μετά θερμαίνονται σε έναν ελαφρά κεκλιμένο περιστρεφόμενο κυλινδρικό κλίβανο. Το προϊόν αυτής της κατεργασίας είναι κομμάτια τεχνητού πετρώματος διαμέτρου μερικών εκατοστών, που ονομάζεται κλίνκερ. Το υλικό αυτό αλέθεται σε οριζόντιους, και πάλι, κυλινδρικούς μύλους και έτσι παρασκευάζεται το τσιμέντο σε σκόνη που ξέρουμε. Όσο πιο λεπτή είναι η σκόνη, τόσο πιο γρήγορα πήζει το τσιμέντο.» (Βάρβολης Χάρης, 2018 )

**Πίνακας 7.1** Βασικοί Τύποι Τσιμέντου, (hcia.gr)

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο

### 7.3.2 Νερό

Το νερό του μείγματος απαγορεύεται να είναι από αποχετεύσεις ή θαλασσινό. «Μπορεί να θερμανθεί κατά την ανάμιξη ή να ψυχθεί (παγάκια) για να επιτευχθεί η σωστή θερμοκρασία του σκυροδέματος κατά την παράδοση, όταν πρέπει να γίνει σκυροδέτηση σε κρύο ή ζεστό καιρό αντίστοιχα.» (Χ. Ζέρης, 2013) Η θερμοκρασία του νερού πρέπει απαραίτητα να βρίσκεται μεταξύ 5° C και 32° C.

#### 7.4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ένα πρώτο θετικό σημείο του σκυροδέματος είναι η ευχέρεια στη μορφοποίηση και στη διαχείριση του. Η αρχική του ρευστότητα, αποτελεί ιδιότητα που το καθιστά ιδανικό να διαμορφώνεται και να παίρνει οποιοδήποτε σχήμα και μορφή, σε όλων των ειδών τις κατασκευές. Επίσης αυτή η διαμόρφωση μπορεί να πραγματοποιηθεί «επί τόπου», με την έκχυση του σε καλούπια και τη χρήση ελάχιστων μέσων και εργαλείων, «κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες και σε οποιοδήποτε περιβάλλον δόμησης-ακόμη και μέσα στη θάλασσα.» (hcia.gr) Πρόκειται για ένα συνδυασμό υλικών με πολλές επιθυμητές ιδιότητες για την κατασκευή. Το σκυρόδεμα παρουσιάζει πολύ καλή θλιπτική αντοχή και δυσκαμψία. Δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να παραλειφθεί η μονωτική του ιδιότητα και η θερμική του μάζα, γεγονός που οδηγεί σε αειφόρα δόμηση. Η μεγάλη του μάζα και τελικά το μεγάλο του βάρος έχουν την ιδιότητα της ηχομόνωσης της κατασκευής, ενώ είναι σχετικά φιλικό προς το περιβάλλον, αφού τα βασικά του υλικά βρίσκονται παντού γύρω μας και είναι φυσικής προέλευσης. Συμπληρωματικά στα παραπάνω η αντοχή του στις κλιματολογικές συνθήκες, καθώς το θερμοκρασιακό εύρος αντοχής του είναι από -20 έως 50 βαθμούς και η καλή του τιμή το καθιστούν ιδιαίτερα ανταγωνιστική προϊόν, ενώ δεν μπορούμε να αγνοήσουμε και την πυροπροστατευτική του ικανότητα σε συνδυασμό με την μεγάλη διάρκεια ζωής και την ελάχιστη απαιτούμενη συντήρηση. Ένα πολύ σημαντικό σημείο που βοηθά στην αρμονική λειτουργία και συνεργασία του σκυροδέματος με τον χάλυβα στο οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι το γεγονός ότι έχουν πρακτικά τον ίδιο συντελεστή θερμικής διαστολής. Αυτό σημαίνει ότι «δεν αναπτύσσονται διαφορετικές παραμορφώσεις με τις μεταβολές της θερμοκρασίας, κάτι που θα μπορούσε να οδηγήσει στην απώλεια της συνεργασίας τους.» (Γεώργιος Παναγόπουλος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Μηχανικών τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής Τ.Ε.)

#### 7.5. ΜΕΙΩΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Βέβαια ένα νόμισμα δεν έχει ποτέ μία όψη, ούτε ένα υλικό μόνο επιθυμητές ιδιότητες. Το ίδιο συμβαίνει και με το σκυρόδεμα. Είναι ένα υλικό που χρειάζεται χρόνος (περίοδος ωρίμανσης) για να πάρουμε το τελικό προϊόν με τις συγκεκριμένες προδιαγραφές της κατασκευής. Εκτός αυτού αναγκαία είναι και η χρήση άλλων κατασκευών (καλουπιών) για τη μορφοποίηση του. Έχει χαμηλή εφελκυστική αντοχή και

είναι αρκετά ψαθυρό και καθόλου πλάστιμο. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη τοποθέτησης οπλισμού. Ενώ η μεγάλη του μάζα και συχνά οι μεγάλοι μεγέθους διατομές στην κατασκευή, θέλουν μεγάλη προσοχή από μέρους των μηχανικών έτσι ώστε να υπάρχει καλή αντίδραση της κατασκευής στην επιπρόσθετη φόρτιση κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Αν και η εύρεση των βασικών υλικών του είναι σχετικά εύκολη, απαιτείται μελέτη κατά τη διάρκεια της σύνθεσης του μείγματος, αφού πρόκειται για ένα μείγμα που είναι αρχικά ανομοιογενές και χρειάζεται ομογενοποίηση. Με τις όλο και πιο απαιτητικές εφαρμογές του σκυροδέματος να έρχονται στο προσκήνιο, το ίδιο το σκυρόδεμα, με τον καιρό, έχει γίνει ένα υλικό εξειδικευμένων απαιτήσεων και τελικά ολοένα και μεγαλύτερου κόστους. Αν και όπως αναφέρθηκε είναι ένα υλικό φιλικό προς το περιβάλλον καθώς οι πρώτες ύλες είναι φυσικές, παρόλ' αυτά λόγω της μεγάλης ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή του, κατατάσσεται τελικά σε ένα υλικό ιδιαίτερα ενεργοβόρο και ασύμφορο περιβαλλοντικά υπό αυτό το πρίσμα. Επίσης δεν πρέπει να αγνοηθεί το γεγονός ότι είναι ένα υλικό ακατάλληλο για κλιματολογικές συνθήκες με θερμοκρασίες χαμηλότερες των - 20 βαθμών κελσίου.

## 7.6. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΦΩΤΙΑ

Η ανάγκη στις κατασκευές για πυροπροστασία είναι μέσα στις πιο βασικές που απαιτούνται γι' αυτό και η εξέταση του σκυροδέματος σε αυτή τη συνθήκη είναι ζήτημα μεγάλης σημασίας. Αυτό που χρειάζεται να εξασφαλιστεί όταν μία κατασκευή φλέγεται, είναι να δοθεί τρόπος διαφυγής στους ανθρώπους που βρίσκονται μέσα, διαμέσου χώρων που θα ήταν ασφαλείς, αλλά και να διασφαλιστεί η ακεραιότητα του κτιρίου αποφεύγοντας την κατάρρευση του. Το ίδιο το σκυρόδεμα έχει από μόνο του, χωρίς την προσθήκη άλλων υλικών, μεγάλη αντίσταση στη φωτιά. Αυτό και μόνο το κάνει ένα ιδανικό δομικό υλικό.

Πλεονεκτήματα σκυροδέματος έναντι της πυρκαγιάς:

- δεν καίγεται και δεν προσθέτει πυροφορτίο στο δόμημα
- λόγω της μεγάλης αντίστασης του υλικού στην πυρκαγιά, εμποδίζει τη διάδοσή της
- είναι ένα πολύ αποτελεσματικό πυρόφραγμα, εξασφαλίζοντας με κατάλληλο σχεδιασμό οδούς διαφυγής
- δεν λειώνει, κάτι που θα συνεισέφερε στη μεταφορά της φωτιάς

- δεν παράγει καπνό και τοξικά αέρια, άρα μειώνει τον κίνδυνο για το προσωπικό και τους πυροσβέστες
- περικλείει τη φωτιά, άρα μειώνει τη διάδοσή της στο περιβάλλον
- δρα πυροπροστατευτικά από μόνο του, λόγω του ότι υπό συνήθεις συνθήκες δεν απαιτούνται πρόσθετα μέτρα, υλικά και τεχνογνωσία
- έχει τεράστια ανθεκτικότητα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που το καθιστά ιδεώδες για τον εγκιβωτισμό αποθηκευτικών χώρων που περιέχουν πολύ μεγάλο πυροφορτίο
- διατηρεί, κατά τη διάρκεια και μετά την απόσβεση της πυρκαγιάς τη στερρότητα του δομήματος, χωρίς να εμφανίζει μεγάλα βέλη, συνολικές μετακινήσεις του δομήματος ή των φατνωμάτων, διευκολύνοντας τη διαδικασία κατάσβεσης
- λόγω των μικρότερων θερμικών παραμορφώσεων κατά την πυρκαγιά, εξασφαλίζεται ότι ο φορέας δεν θα αποσταθεροποιηθεί και/η θα καταρρεύσει, ενώ εξασφαλίζει τη μη διάδοση της φωτιάς λόγω απώλειας της στεγανότητας μεταξύ των πυροδιαμερισμάτων
- δεν επηρεάζεται δυσμενώς από τη ρίψη νερού κατά την πυρόσβεση
- επισκευάζεται εύκολα μετά από την πυρκαγιά, γεγονός που βοηθά χρονικά και οικονομικά στις εργασίες αποκατάστασης του έργου μετά από τη φωτιά, παρέχοντας άμεσα τον φέροντα οργανισμό έτοιμο προς χρήση
- η χρήση του στις σήραγγες σαν υλικό κατασκευής των οδοστρωμάτων, σε αντίθεση με την άσφαλτο, που είναι καύσιμο και ρεοπλαστικό υλικό στη φωτιά, εξασφαλίζει ότι δεν θα εξαπλωθεί η φωτιά μέσα στη σήραγγα. Επί πλέον, λόγω του γεγονότος ότι διατηρεί την ακαμψία του, είναι εφικτή η άμεση επέμβαση των πυροσβεστικών μέσων και η απομάκρυνση του προσωπικού, χωρίς να παρεμβάλλεται χρόνος για ψύξη του οδοστρώματος. Για αυτό το λόγο, στις Αυστριακές σήραγγες, είναι πλέον υποχρεωτική η χρήση του στο οδόστρωμα.

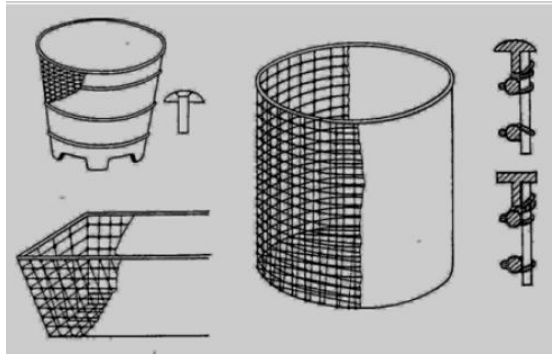
Ένωση Τσιμεντοβιομηχάνων Ελλάδος – Σκυρόδεμα, hcia.gr

## **8. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

### **8.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ**

Με τη χρήση του σκυροδέματος, οι μηχανικοί ήρθαν αντιμέτωποι με μία νέα πρόκληση. «Το σκυρόδεμα έχει μεγάλη αντοχή σε συμπίεση, αλλά όχι σε έλξη. Η γνώση

των υλικών και των ιδιοτήτων και η ανάπτυξη της τεχνολογίας των υλικών οδήγησε στη λύση. Για να αντιμετωπίσουμε αυτό το «ελάττωμα» τοποθετούμε μέσα στο καλούπι του σκυροδέματος ράβδους από ατσάλι, τον γνωστό «οπλισμό». Το «οπλισμένο σκυρόδεμα» (μπετόν αρμέ) αντέχει τόσο σε συμπίεση όσο και σε έλξη» (Βάρβολης Χάρης, 2018) και κάπως έτσι εμφανίστηκε η τεχνική που εφαρμόζεται σχεδόν σε όλα τα κτίρια που βλέπουμε σήμερα σε όλη την ελληνική επικράτεια, τα οποία φέρουν σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Για να φτάσουμε όμως στο σήμερα προηγήθηκε μία μεγάλη και λεπτομερής ανάλυση και παρατήρηση της αντίδρασης του νέου αυτού υλικού. Εκείνος που για πρώτη φορά εμφάνισε την ιδέα ήταν ο κηπουρός Joseph Monier το 1850, όταν κατασκεύασε γλάστρες από τσιμεντοκονία με μεταλλικά πλέγματα. Με έναυσμα αυτήν την πρωτότυπη για τα τότε δεδομένα κατασκευή το 1861, εμφανίζεται η πρώτη εταιρία με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το οπλισμένο σκυρόδεμα, αυτή του Francois Coignet, ο οποίος είναι ο πρώτος που εισήγαγε τη χρήση οπλισμένου σκυροδέματος στην κατασκευή οικοδομών. Το σπίτι του στο Παρίσι διατηρείται ακόμα και σήμερα. Το 1870, οι Άγγλοι μηχανικοί W.E.Ward και T. Hyatt αναλύουν και επιβεβαιώνουν τους υπολογισμούς του νέου αυτού σύνθετου υλικού. Ο J. Monier το 1877 παίρνει το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για προκατασκευασμένες δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ από το 1881 διατυπώθηκε η παραδοχή πως ο οπλισμός αυξάνει την αντοχή των δομικών στοιχείων του σκυροδέματος, δηλαδή μεγαλύτερη φόρτιση, περισσότερα σίδερα. Το 1883, ο Άγγλος μηχανικός W.E. Ward καταλήγει στο συμπέρασμα πως «το σίδερο στο μπετόν αρμέ ανήκει στην κάτω ζώνη» (Μιχελής Π., 1954) Η ανάλυση όμως δε σταματάει και το 1886 ο Koennep διατυπώνει τη θεωρία ότι οι τάσεις εφελκυσμού βαραίνουν το σίδερο και οι θλιπτικές το μπετόν, ενώ το 1887 εκδίδεται το «Σιδηροπαγούς σκυρόδεμα»- Monierbau από τους Γερμανούς μηχανικούς Schuster και Wayss. Από τότε και έπειτα οι βασικές αρχές θεμελιώθηκαν για το συνδυασμό αυτών των τόσο σημαντικών υλικών και τα χρόνια που ακολούθησαν μέσα από τα όλο και πιο σύγχρονα εργαλεία και τεχνολογικά μέσα αλλά και τα πειράματα έχουμε φτάσει σε σημεία να γνωρίζουμε με κάθε λεπτομέρεια τις ιδιότητες τους και την αντίδραση τους σε οποιαδήποτε φόρτιση και συνθήκη.



**Εικόνα 8.1** Οι Γλάστρες Του Molier,( [www.mjobrien.com](http://www.mjobrien.com))

## 8.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Εφόσον το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι τόσο δημοφιλές, είναι σημαντικό να εξετάσουμε τους λόγους και τα πλεονεκτήματα που το τοποθετούν σε αυτή τη θέση. Αρχικά όπως και στην περίπτωση του άοπλου σκυροδέματος, έτσι και το οπλισμένο, έχει ως πρώτες ύλες υλικά σχετικά οικονομικά και με προσιτή τιμή και επίσης δεν έχει επιπλέον κόστος συντήρησης. Μπορεί να εφαρμοστεί και στις πιο απαιτητικές αρχιτεκτονικές προτάσεις, αφού μέσω του ξυλοτύπου μπορεί να πάρει οποιαδήποτε μορφή και γεωμετρία. Είναι ανθεκτικό στη μηχανική φθορά και τη φωτιά, αλλά επιπλέον προσφέρει και έντονες αντισεισμικές δράσεις. Υπάρχουν βέβαια και κάποια μειονεκτήματα, στα οποία οι μηχανικοί και οι επιστήμονες αναζητούν συνεχώς βελτιώσεις και προσπαθούν να βρουν λύσεις. Ένα πρώτο μειονέκτημα είναι ότι πολύ μεγάλο βάρος κατασκευής και ιδιαίτερα μεγάλες διατομές στις δοκούς και τα υποστυλώματα. Οι θερμομονωτικές του ιδιότητες είναι περιορισμένες, για το λόγο αυτό μάλιστα απαιτείται και η χρήση συμπληρωματικών υλικών θερμομόνωσης, ανεβάζοντας έτσι το κόστος κατασκευής. Το γεγονός της επί τόπου κατασκευής ενέχει τον κίνδυνο να υπάρξουν κατασκευαστικά ελαττώματα, αλλά και σε περίπτωση πιθανής βλάβης το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι δύσκολο και οικονομικά ακριβό να επισκευαστεί.

## 9. ΕΛΕΓΧΟΙ, ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

### 9.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η μελέτη σημαντικών αρχαίων πολιτισμών έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα πως εκτός της τεχνολογίας υλικών που χρησιμοποιούσαν και κατασκευών που δημιουργούσαν, σπουδαία ήταν και η παρουσία ενός μηχανισμού εξασφάλισης ποιοτικού ελέγχου. Ήταν σαν να λέμε οι προδιαγραφές ή αλλιώς ποιο συγκεκριμένα για την οικοδομική δραστηριότητα, ο οικοδομικός νόμος της εποχής. Στην Αγία Γραφή, στο βιβλίο του Δευτερονομίου 22:8 αναφέρεται το εξής: «Αν χτίσεις καινούριο σπίτι, πρέπει να φτιάξεις στηθαίο για την ταρατσα σου, ώστε να μη φέρεις στο σπίτι σου ενοχή αίματος σε περίπτωση που κάποιος πέσει από εκεί» (Αγία Γραφή, 2017) Στους νόμους του Χαμουραμί της Αρχαίας Βαβυλώνας που εκτίθενται στο μουσείο του Λούβρο παρατηρείται η εξής αναφορά: «Αν ένας οικοδόμος χτίζει ένα σπίτι για κάποιον, αλλά δεν εκτελεί τις εργασίες σύμφωνα με τους κανονισμούς ( ή τα ισχύοντα πρότυπα) με αποτέλεσμα ο τοίχος να έχει κλίση, τότε αυτός ο κατασκευαστής πρέπει να τον ενισχύσει με δικά του έξοδα». Επίσης «κατά τους κλασικούς χρόνους στην Ελλάδα υπήρχε ο μηχανισμός για τον ποιοτικό έλεγχο, την τυποποίηση και την πιστοποίηση ειδών που παράγονται και πωλούνται... Οι αρχαίοι Έλληνες εφάρμοζαν πρότυπα με πολύ αυστηρές προδιαγραφές και σκληρές ποινές για όποιον δεν συμμορφώνεται». (George Varoufakis, 1999) Με αυτόν τον τρόπο, και με συνεχείς αξιολογήσεις στις προσθήκες νέων υλικών, νέων ιδιοτήτων και εφαρμογών στην κατασκευή, τελικά οδηγούμαστε στις σύγχρονες πιστοποιήσεις και στους οικοδομικούς νόμους. Βάση αυτών εξασφαλίζεται η ποιότητα του υλικού, η σωστή εφαρμογή του, η ασφάλεια της κατασκευής καθώς και η διάρκεια ζωής της. Μεγάλη και συνεχής έρευνα, λόγω της ευρείας και μπορούμε να πούμε της καθοριστικής του χρήσης ως δομικό υλικό και μάλιστα ως φέρον οργανισμός, γίνεται για το οπλισμένο σκυρόδεμα. Ήδη από το 1839 στη Γερμανία πραγματοποιήθηκαν οι πρώτοι συστηματικοί έλεγχοι εφελκυστικής αντοχής και ακολούθησε πληθώρα έρευνας και αναθεωρήσεων για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Το 1945 στην Ελλάδα έχουμε την πρώτη δημοσίευση των μεταφρασμένων Γερμανικών DIN1045 (τεχνικά χρονικά ΤΕΕ). Ο πρώτος κανονισμός που εκδόθηκε για το σκυρόδεμα ως υλικό, είναι ο Κανονισμός για τη Μελέτη και την Εκτέλεση Οικοδομικών Έργων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα (Β.Δ. 1954), όπου είχε ως βασικό αντικείμενο το οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά υπήρχαν και αναφορές και σε άλλα υλικά. Το 1957 εκδίδεται η Πρότυπη Τεχνική Προδιαγραφή ΠΤΠ-504 περί κυλινδρικών δοκιμίων και αμερικανικών κοσκίνων. Στη συνέχεια το 1970-

1981, υιοθετούνται οι Γερμανικές κατηγορίες B25, B35. Τέσσερα χρόνια μετά, το 1985 εκδίδεται ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΦΕΚ 266/B/9.5.85), και το 1997 έχουμε την αναθεώρηση του με την έκδοση του ΚΤΣ 97 που δημοσιεύτηκε στο (ΦΕΚ/315/B/17.4.97). Το 2002 ο ΚΤΣ 97 προσαρμόζεται στα ευρωπαϊκά πρότυπα ενώ εισάγονται οι κατηγορίες κάθισης S1-S5 και το 2006 έχουμε τη σύνθεση της Επιτροπής Αναθεώρησης του ΚΤΣ 97 σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 206-1 (Δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ/1318/B/14.9.06). Ακολουθεί ο ΚΤΣ 2015, ΚΤΣ 2016, ενώ συνεχίζουν οι τροποποιήσεις με τελευταία αυτή του 2018. Αυτές είναι κάποιες μόνο ημερομηνίες χαρακτηριστικές που μας δείχνουν το πόσο μείζον ζήτημα είναι η συνεχής και τακτική αξιολόγηση και εξέλιξη του συγκεκριμένου υλικού. Συμπαρασματικά καταλήγουμε στα λόγια του κ. Μαρσέλλου «Όπως βλέπετε η Τεχνική Νομοθεσία για το σκυρόδεμα έχει κάνει άλματα τα τελευταία χρόνια.» ( Νίκος Μαρσέλλος, 2017) Όλα αυτά συμβάλουν στο να κατανοήσουμε σε ποιο επίπεδο έχει φτάσει η επιστήμη των υλικών και στην προκειμένη του σκυροδέματος, να νιώθουμε ασφάλεια σε σχέση με την ποιότητα των κατασκευών αλλά επίσης μας βοηθάει να αντιληφθούμε και τι μπορούμε να αναμένουμε στο μέλλον στο συγκεκριμένο τομέα.

### 9.1.1 Αντικείμενο Προτύπου

Το Πρότυπο EN 206 καλύπτει το δομικό προϊόν σκυρόδεμα σε ότι αφορά το χαρακτηρισμό, τις ιδιότητές στη νωπή και στη σκληρυμένη φάση, τη διακίνηση (συμβαλλόμενοι και υποχρεώσεις), την παραγωγή, την πιστοποίηση και τον έλεγχο ποιότητας. Επί πλέον, συμπεριλαμβάνει και τις απαιτήσεις σχεδιασμού και των αντίστοιχων ιδιοτήτων του υλικού, για ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντική έκθεση, σε συνεργασία με τον Ευρωκώδικα 2 (EN 1992-1). Στη χώρα μας ισχύει το αντίστοιχο Πρότυπο με το Εθνικό Προσάρτημά του, το ΕΛΟΤ EN 206-1 που εκδίδεται από τον ΕΛΟΤ. Το παραπάνω Πρότυπο δεν καλύπτει ειδικά σκυροδέματα, όπως εκτοξευόμενο, αφροσκυρόδεμα και σκυρόδεμα ογκωδών έργων (π.χ. φράγματα) κ.ά. Σε αντίθεση με την υφιστάμενη πρακτική όπου τα παραπάνω καθορίζονται περιγραφικά στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ισχύει ο ΚΤΣ 97), η εισαγωγή του Προτύπου:

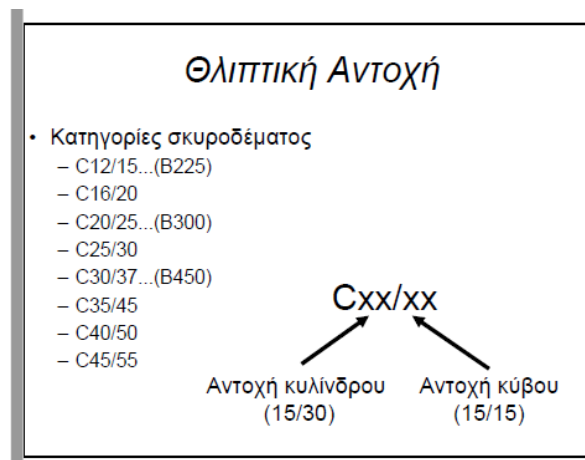
1. Διαχωρίζει την παραγωγή / διακίνηση / έλεγχο από την εκτέλεση του έργου, με την εκτέλεση να καλύπτεται από το **EN 13670: "Εκτέλεση έργων από σκυρόδεμα"**
2. Υιοθετεί τη λογική του σχεδιασμού βάσει επιτελεστικότητας για ανθεκτικότητα, αντί μίας πλέον περιγραφικής (συνταγογραφικής) θεώρησης όπως ο ΚΤΣ 97. Για το



σκοπό αυτό, καθορίζει πλέον Κατηγορίες Περιβαλλοντικής Έκθεσης για διάφορες μορφές έκθεσης ρύπων, οι οποίες υιοθετούνται από τους Ευρωκώδικες σχεδιασμού. Επί πλέον, εισάγει δύο κατηγορίες σκυροδέματος, το σκυρόδεμα προδιαγραφόμενης σύνθεσης και το σκυρόδεμα προδιαγραφόμενων χαρακτηριστικών.

3. Δεν καθορίζει αμιγώς νομικές απαιτήσεις, που θα πρέπει να καλύπτονται από ισχύουσες Εθνικές διατάξεις.

(hcia.gr)



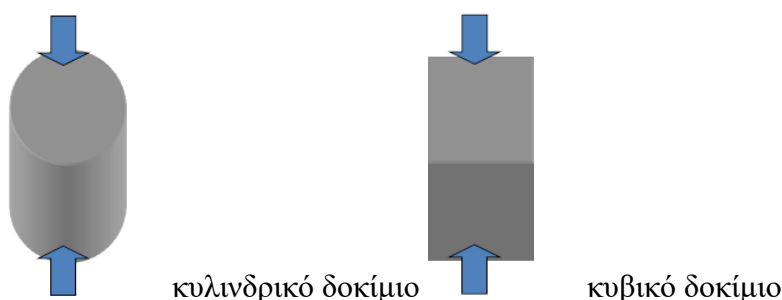
**Σχήμα 9.1** Επεξήγηση συμβολισμού κατηγοριών σκυροδέματος (Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών)

## 9.2. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

### 9.2.1 Προδιαγραφές Σκυροδέματος

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος στους κανονισμούς συμβολίζεται ως  $f_c$  όπου  $c$ :concrete και έχει να κάνει με την μονοαξονική θλιπτική αντοχή. «Μετράται στις 28 μέρες σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150mm και ύψους 300mm ή κυβικά δοκίμια ακμής 150mm. Ο κανονισμός οπλισμένου σκυροδέματος ορίζει σαν βάση την χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή  $f_{ck}$ . Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου  $f_{ck}$  ή κυβικού δοκιμίου  $f_{ck}$  cube θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου.» (Κατασκευές οπλισμένου

σκυροδέματος 1, Γεώργιος Παναγόπουλος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Μηχανικών τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής Τ.Ε.)



**Σχήμα 9.2** Κυλινδρικό και Κυβικό Δοκίμιο Σκυροδέματος (Γεώργιος Παναγόπουλος, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας)

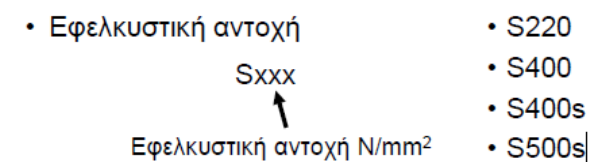
**Πίνακας 9.1** Κατηγορίες αντοχής και αντίστοιχη ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή

Κατηγορία αντοχής	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου N/mm <sup>2</sup>	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κύβου N/mm <sup>2</sup>
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C26/32	26	32
C28/35	28	35
C30/37	30	37
C32/40	32	40
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

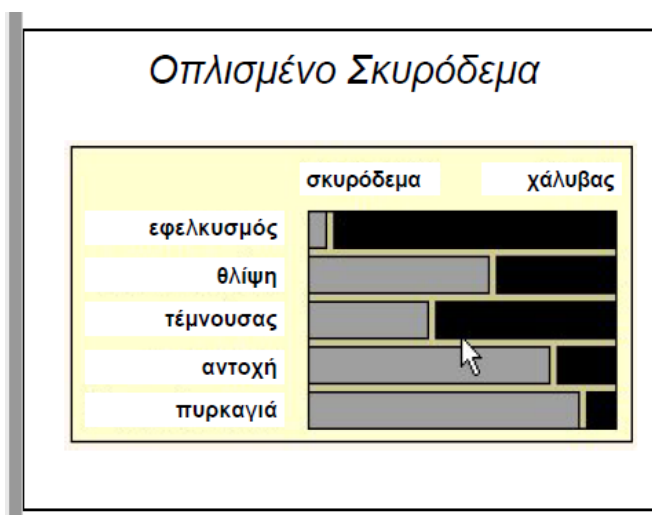
## 9.2.2 Προδιαγραφές Χάλυβα

Ο χάλυβας στο οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται με τη μορφή ράβδων οπλισμού. Ποιο συγκεκριμένα μπορεί να είναι λείες κυλινδρικές ράβδοι ή σύρματα και δόμικα πλέγματα, αλλά μπορεί να είναι και ράβδοι ή σύρματα υψηλής συνάφειας και συγκολλητά δομικά πλέγματα με νευρώσεις –νευροχάλυβες. «Ως χαρακτηριστική αντοχή

$f_{yk}$  (y: yield=διαρροή) θεωρείται εκείνη η τιμή του ορίου  $f_y$  κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου.» (Κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος 1, Γεώργιος Παναγόπουλος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Μηχανικών τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής Τ.Ε. )



**Σχήμα 9.3** Επεξήγηση συμβολισμού κατηγοριών χάλυβα (Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών)



**Σχήμα 9.4** Ιδιότητες οπλισμένου σκυροδέματος (Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών)

## 10. ΤΥΠΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### 10.1. ΠΑΡΟΝ

Ήδη το σκυρόδεμα στην εποχή μας έχει δυνατότητες που φάνταζαν αδύνατες κατά το παρελθόν και δίνουν στους μηχανικούς την ευκαιρία να δημιουργήσουν με περισσότερη ευκολία οποιοδήποτε είδους κατασκευή. Αυτό έγινε εφικτό με την επιμελή και συνεχόμενη έρευνα, μελέτη και παρατήρηση από πλευρά των μηχανικών της επιστήμης των υλικών και πλήθος επιστημών που έχουν αφιερωθεί σε αυτόν τον τομέα. Μέχρι

στιγμής έχουν παρουσιαστεί στο προσκήνιο πολλοί τύποι σκυροδέματος μεγαλώνοντας ακόμη περισσότερο το πεδίο των εφαρμογών του.

### **10.1.1 Σκυρόδεμα Υψηλή Αντοχής ή Πρώιμης Υψηλής Αντοχής**

Ένας πρώτος δεν είναι άλλος από το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής ή αλλιώς υψηλής πρώιμης αντοχής. Το συγκεκριμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται ήδη ευρέως κυρίως στην κατασκευή έργων που απαιτείται υψηλή αντοχή όπως ψηλά κτίρια , αλλά και σε έργα υποδομής όπως γέφυρες, δρόμους κ.α. , που χρειάζονται υψηλή πρώιμη αντοχή, ώστε σε σύντομο χρονικό διάστημα να μπορούν να "σηκώσει" το σκυρόδεμα το μεγαλύτερο μέρος των φορτίων στο μικρότερο δυνατό χρόνο. Παρουσιάζει θλιπτική αντοχή περίπου 140 MPa, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έχει επιτευχθεί και μεγαλύτερη αντοχή. Το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής είναι δημοφιλές αφού συγκεντρώνει αρκετά πλεονεκτήματα που τελικά καθορίζουν την επιλογή του. Αρχικά είναι ένα υλικό που έχει μικρότερο ίδιο βάρος από τη φέρουσα ικανότητα του. Προσφέρει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και ταχύτητα κατασκευής, μικρότερη επιβάρυνση στο περιβάλλον και τελικά ως απόρροια όλων αυτών χαμηλότερο τελικό κόστος κατασκευής.

### **10.1.2 Σκυρόδεμα Υψηλής Επιτελιστικότητας**

Ένας δεύτερος τύπος σκυροδέματος είναι το σκυρόδεμα υψηλής επιτελιστικότητας. Όπως το μαρτυρά και το όνομά του , πρόκειται για το σκυρόδεμα που "επιτελεί" ακριβώς ό,τι απαιτεί η κατασκευή. Σε αυτό το είδος σκυροδέματος έχουμε τη χρήση χημικών πρόσθετων ώστε να μπορέσει το τελικό προϊόν να ανταπεξέλθει στις ανάγκες του οικοδομικού έργου. Χρειάζεται να παρουσιάζει υψηλή αντοχή, ανθεκτικότητα, και διάρκεια στο χρόνο, πιθανώς και σε άλλες ακόμη ιδιότητες ανάλογα με την κάθε εφαρμογή. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου στη Β. Θάλασσα. Σε συγκεκριμένη περίπτωση είναι απαραίτητη η υψηλή αντοχή του υλικού λόγω των μεγάλων φορτίων και των μεγάλων κυμάτων που δημιουργούνται στην περιοχή, αλλά και η ανθεκτικότητα στον παγετό, λόγω των καιρικών συνθηκών αλλά και σε χλωριόντα.

### 10.1.3 Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα

Συνεχίζοντας την ανάλυση μας συναντούμε ακόμη ένα είδος σκυροδέματος, το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Είναι ένας τύπος σκυροδέματος που ξεκίνησε από την Ιαπωνία και πια έχει εξαπλωθεί σε όλο τον κόσμο. Είναι ιδιαίτερα ρευστό και «συνίσταται για κατασκευές με πυκνή διάταξη οπλισμού, όπως οι σύγχρονες αντισεισμικές κατασκευές αλλά και όπου είναι απαραίτητη η σκυροδέτηση υπό πίεση, λόγω περιορισμένης πρόσβασης (π.χ. επισκευή με μανδύες, σκυροδέτηση κάτωθεν).» (hcia.gr) Τα πλεονεκτήματα του μεταξύ των άλλων είναι οι μεγαλύτερες αποδόσεις, η ταχύτερη εφαρμογή, η μείωση του κόστους εφαρμογής, ενώ επίσης μειώνει την περιβαλλοντική όχληση αλλά και τις πιθανότητες αστοχίας του εξοπλισμού κατά τη σκυροδέτηση. Στην ίδια αυτή κατηγορία εντάσσεται και το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μικρής αντοχής, το οποίο έχει μικρή ποσότητα τσιμέντου και πετυχαίνει θλιπτική αντοχή έως 8 MPa, ενώ το θετικό του σημείο είναι ότι μπορεί να αποξηλωθεί εύκολα και γρήγορα, χωρίς τη χρήση ιδιαίτερων εργαλείων. Είναι κατάλληλο ως υλικό εγκιβωτισμού αγωγών και στρώσεων οδοστρωμάτων, πλατειών και πεζόδρομων.

### 10.1.4 Λεπτοσκυροδέματος Με Αντιδρώσες Κονίες

Ο επόμενος τύπος σκυροδέματος είναι αυτός του λεπτοσκυροδέματος με αντιδρώσες κονίες. Πρόκειται για ένα ομοιογενές μίγμα σκυροδέματος πολύ λεπτών υλικών με στόχο την καλύτερη δυνατή πυκνότητα του σκυροδέματος. «Λόγω του πολύ μικρού λόγου N/Τα (νερού προς τσιμέντο), ένα ποσοστό του τσιμέντου δεν ενυδατώνεται και χρησιμεύει ως αδρανές.» (hcia.gr) Μπορεί να πετύχει μεγάλες αντοχές σε θλίψη, της τάξης των 200-800 MPa. Για να μπορέσει να μεγαλώσει το πεδίο της παραμόρφωσης πριν την αστοχία χρησιμοποιούνται ίνες χάλυβα ή άνθρακα. Είναι μια επαναστατική χρήση του τσιμέντου που ανοίγει το δρόμο για ακόμη περισσότερες εφαρμογές στο μέλλον.

### 10.1.5 Ινοπλισμένο Σκυρόδεμα

Μία πέμπτη κατηγορία δεν είναι άλλη από αυτή του ινοπλισμένου σκυροδέματος. Αυτός ο τύπος σκυροδέματος έρχεται να αντιμετωπίσει το ζήτημα της μικρής αντοχής του υλικού στον εφελκυσμό. Με την προσθήκη ινών κατά τη διάρκεια της ανάμειξης, ενισχύεται η μάζα αυτού και έτσι η παραμορφωσιμότητα του πριν τη θραύση, και η

αντίστοιχη καταναλώμενη ενέργεια αυξάνονται σημαντικά. Στην πραγματικότητα οι ίνες μετατρέπουν το σκυρόδεμα από ψαθυρό σε πλαστικό και στοχεύουν στο να αποτραπεί η διάδοση σε βάθος των μικρορωγμών. Αν και αρχικά χρησιμοποιήθηκαν ίνες χάλυβα, τώρα είναι πλέον διαδεδομένη η χρήση ινών από πολυπροπυλαίνιου και άλλων σύνθετων πολυμερών. Είναι σημαντική η καλή διασκόρπιση τους στο σκυρόδεμα ώστε να προκύψει ένα ομοιογενές υλικό. Η καλή αγκύρωση που επιτυγχάνεται στη μάζα του σκυροδέματος είναι φοβερά αποτελεσματική για τις εφαρμογές του σκυροδέματος και του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Σε αυτή την κατηγορία σκυροδέματος εκτός των ινών μπορούν να μπουν στο μίγμα και άλλα πρόσθετα ώστε να επιτευχθεί το ακριβές επιθυμητό προϊόν. Εντός των πλεονεκτημάτων του δε μπορεί να αγνοηθεί και η καλή συμπεριφορά επικάλυψης που παρουσιάζει σε υψηλές θερμοκρασίες.

### **10.1.6 Υδατοπερατό Σκυρόδεμα**

Σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογία του σκυροδέματος αποτέλεσε το υδατοπερατό σκυρόδεμα. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του τύπου σκυροδέματος, είναι ότι δεν εμπεριέχει λεπτόκοκκα υλικά. Η σύνθεση αυτού είναι ιδιαίτερα πορώδης και περιλαμβάνει τσιμέντο, ελάχιστο νερό, χημικά πρόσθετα, πολύ συγκεκριμένη κοκκομετρική διαβάθμιση και πλήρης απουσία άμμου. Είναι ιδανικό για χώρους στάθμευσης, πεζοδρόμια και εξωτερικές διαμορφώσεις χώρων. Αποτελεί ένα είδος φίλτρου του νερού και συμβάλει στον έλεγχο της επιφανειακής μόλυνσης και στη διαχείριση των όμβριων. Αυτή η έντονη απορρόφηση συμβάλλει στην αποφυγή πλημμυρικών φαινομένων των χώρων εφαρμογής του.

## **10.2. ΜΕΛΛΟΝ**

Ήδη το παρόν παρουσιάζει πολλούς και διαφορετικής προσέγγισης τύπους σκυροδέματος, τεχνικές, δυνατότητες κατασκευής και τελικά εφαρμογές. Αλλά αποτελεί και πεδίο ευρύτερης και ακόμη περισσότερο εξειδικευμένης εξέλιξης. Είναι δύσκολο να προβλέψει κανείς το μέλλον, παρ' όλα αυτά υπάρχουν ήδη πολλές ιδέες και έρευνες που τρέχουν για τους μελλοντικούς τύπους σκυροδέματος. Η οικοδομική επιστήμη έχει ανάγκη από τσιμέντα ακόμη υψηλότερης τεχνολογίας, ώστε να μπορέσει να απαντήσει ταυτόχρονα σε πιο απαιτητικά ζητούμενα κατασκευής. Έτσι λοιπόν γίνεται έρευνα για να μπορέσει το τσιμέντο να προσφέρει όλο και μεγαλύτερη αντοχή και ανθεκτικότητα, μειωμένη συστολή

ξήρανσης και εκπομπών, καλή ανοχή στις περιβαλλοντικές συνθήκες και πολλά άλλα. Ένας πολύ ωραίος στόχος που έχουν θέσει και εργάζονται προς αυτόν, είναι η δημιουργία ενός αυτοσυντηρούμενου σκυροδέματος, ενός σκυροδέματος δηλαδή που «δε θα έχει ανάγκη συντήρησης διότι είτε θα εμποδίζεται η εξάτμιση του περιεχομένου του νερού, είτε από μόνο του θα παρέχει στη μάζα του, το επιπλέον νερό που χρειάζεται κατά την ενυδάτωση.» (hcia.gr) Έχουν γίνει αρκετά βήματα προς αυτή την κατεύθυνση και αναμένουμε πολύ σύντομα τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής. Τέλος με την εξέλιξη της ναυοτεχνολογίας να είναι ραγδαία στις μέρες μας, περιμένουμε εξίσου εντυπωσιακές να είναι οι εξελίξεις και στον τομέα του σκυροδέματος. Οι εφαρμογές της ναυοτεχνολογίας στο σκυρόδεμα αν και πρώιμες, έχουν ήδη ξεκινήσει και όπως δείχνουν τα πράγματα είναι πολλά υποσχόμενες. Τα ναυοτεχνολογικά όπως φαίνεται, μπορούν να επηρεάσουν τις μηχανικές και ηλεκτροχημικές ιδιότητες του σκυροδέματος, την ανθεκτικότητά του, την προστασία του οπλισμού, την εργασιμότητά του αλλά και τη συντήρηση και την παρακολούθηση της κατασκευής. Αναμένουμε λοιπόν με μεγάλη αγωνία να δούμε τι επιφυλάσσει το μέλλον στο κλάδο των δομικών υλικών και κυρίως σε αυτόν του σκυροδέματος.

## **11. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

### **11.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

Σκοπός του πειράματος είναι η μακροσκοπική μελέτη του σκυροδέματος, βάσει των διεθνών προτύπων που ισχύουν. Το πείραμα περιελάμβανε την προετοιμασία των δοκιμίων, τις επιλογές συνθηκών της δοκιμής, την εκτέλεση του πειράματος καθώς και την παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Πιο συγκεκριμένα, στο πείραμα μελετήθηκε η καταπόνηση του δοκιμίου σε κάμψη, αλλά και η αγωγιμότητα του υλικού μέσω της διαδικασίας της θερμογραφίας υπερύθρων.

### **11.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

#### **11.2.1 Προετοιμασία**

Για το μίγμα του σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν 15,6 κιλά χαλίκι, 3,4 κιλά ψηφίδα, 29,66 κιλά άμμος, 7,69 κιλά τσιμέντο, 4,95 κιλά νερό καθώς και 23 γραμμάρια ενεργή τάση Viscocrete 600.



**Εικόνα 11.1** Χαλίκι



**Εικόνα 11.2** Ψηφίδα



**Εικόνα 11.3** Άμμος





**Εικόνα 11.4** Ενεργή τάση Viscocrete 600

Αρχικά ποσότητες μεγαλύτερες των απαιτούμενων από χαλίκι, ψηφίδα και άμμο τοποθετήθηκαν σε φούρνο περίπου στους 100 °C για ένα 24ωρο ώστε να επιτευχτεί η αφαίρεση της υγρασίας και η ξήρανση των υλικών. Στη συνέχεια αφού βγήκαν από το φούρνο και απέκτησαν τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ζυγίστηκαν με ακρίβεια βάση της συγκεκριμένης σύνθεση του σκυροδέματος.



**Εικόνα 11.5** Χαλίκι, ψηφίδα και άμμος μόλις έχουν βγει από το φούρνο.



**Εικόνα 11.6** Ζύγισμα τσιμέντου

### 11.2.2 Μίξη

Όλα τα αδρανή ρίχνονται στη μπετονιέρα με το  $\frac{1}{4}$  της ποσότητας του νερού και ανακατεύεται για 30 δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια με τη βοήθεια της σπάτουλας συνεχίζουμε να ανακατεύουμε, ξεκολλώντας τυχόν μίγμα υλικού που έχει κολλήσει στα τοιχώματα της μπετονιέρας. Ρίχνουμε το τσιμέντο με ακόμη ένα τέταρτο της ποσότητας του νερού και ενεργοποιούμε την μπετονιέρα για ακόμη 30 δευτερόλεπτα. Με τη σπάτουλα ακολουθούμε πάλι την ίδια διαδικασία με προηγουμένως. Τέλος, ανακατεύουμε με την μπετονιέρα για ακόμη 2 λεπτά, ενώ ρίχνουμε τον ρευστοποιητή (βελτίωση της εργασιμότητας του υλικού) και το υπόλοιπο νερό. Αφού περάσουν τα 2 λεπτά αφήνουμε το μίγμα να ξεκουραστεί για 4 λεπτά. Όσο το σκυρόδεμα ξεκουράζεται, λαδώνουμε τα καλούπια ώστε αμέσως μετά να χύσουμε το υλικό. Ο χρόνος ανάδευσης είναι προκαθορισμένος με ακρίβεια γιατί κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, μπαίνει αέρας στο μίγμα.



**Εικόνα 11.7** Τοποθέτηση αδρανών στην μπετονιέρα



**Εικόνα 11.8** Λάδωμα καλουπιών

### 11.2.3 Δοκιμή Κάθισης

Πριν βάλουμε το υλικό στα καλούπια, κάνουμε τη δοκιμή κάθισης του νωπού μπετόν. Με ένα χωνί κάθισης, μία ράβδο και μία βάση από ένα μη απορροφητικό υλικό, γεμίζουμε το χωνί έως πάνω με το μπετόν που μόλις έχουμε ετοιμάσει, αναδεύοντας ταυτόχρονα με τη ράβδο. Στη συνέχεια αφαιρούμε το χωνί και με ένα χάρακα μετράμε τη συνοχή και τη ρευστότητα του υλικού σύμφωνα με τα πρότυπα.



**Εικόνα 11.9** Βάση και χωνί δοκιμής κάθισης



**Εικόνα 11.10** Ανάδευση με ράβδο



**Εικόνα 11.11** Μέτρηση κάθισης (paver.gr)

Εφόσον η ρευστότητα του υλικού βρίσκεται εντός των προτύπων, βάζουμε το νωπό μπετόν στα καλούπια και στη συνέχεια με τη βοήθεια της τράπεζας δόνησης επιτυγχάνουμε τη σωστή κατανομή του υλικού μέσα στο καλούπι ώστε να αποφευχθούν τυχόν κενά στο δοκίμιο.

**Πίνακας 11.1** Κλάσεις κάθισης σκυροδέματος σύμφωνα με EN 206 (paver.gr)

**Table 3 — Slump classes**

Class	Slump tested in accordance with EN 12350-2 mm
S1	10 to 40
S2	50 to 90
S3	100 to 150
S4	160 to 210
S5 <sup>a</sup>	≥ 220

<sup>a</sup> See Note 1 to 5.4.1.



**Εικόνα 11.12** Καλούπια στην τράπεζα δόνησης

#### **11.2.4 Τελική Φάση**

Το μπετόν μένει στα καλούπια για ένα 24ωρο, στη συνέχεια αφαιρείται και τοποθετείται στις μανιέρες όπου καλύπτεται πλήρως με νερό, για διάρκεια 28 ημερών. Με το πέρας των 28 ημερών τα δοκίμια έχουν αποκτήσει το μέγιστο της αντοχής τους και είναι έτοιμα για τις δοκιμές.



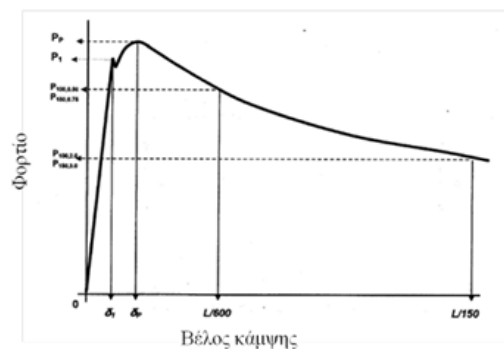
**Εικόνα 11.13** Δοκίμια έτοιμα να μπούνε στις μανιέρες για 28 ημέρες



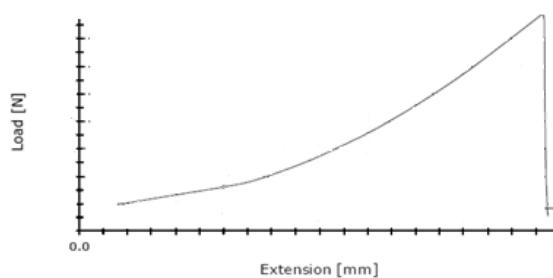
### 11.3. ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

#### 11.3.1 Εισαγωγή

Για τους μηχανικούς η αντοχή των υλικών σε κάμψη, είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος, εφόσον οι πλάκες και τα δοκάρια που καλούνται να κατασκευάσουν, καταπονούνται και δοκιμάζονται σε κάμψη, λόγω των φορτίσεων που παρουσιάζονται. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής σε κάμψη, ένας ευθύγραμμος φορέας καμπυλώνεται, παρουσιάζοντας ταυτόχρονα εφελκυσμό στο κάτω και θλίψη στο πάνω μέρος του. Βασικό στοιχείο μελέτης της κάμψης αποτελεί το βέλος κάμψης. Ως «βέλος κάμψης ορίζεται η μέγιστη βύθιση του φορέα». [mss-nde.uoi.gr](http://mss-nde.uoi.gr) Ενώ για το οπλισμένο σκυρόδεμα, το διάγραμμα βέλους κάμψης παρουσιάζει δύο κορυφές και ακολουθεί μία πορεία μέχρι να σπάσει, για το άοπλο, παρατηρούμε μια κορυφή και στη συνέχεια καταρρέει το υλικό απότομα. (για ίδιου μεγέθους δοκίμια, σε δοκιμή κάμψης 4 σημείων)



**Σχήμα 11.1** Διάγραμμα Φορτίου- Βέλους κάμψης για οπλισμένο σκυρόδεμα ([mss-nde.uoi.gr](http://mss-nde.uoi.gr))

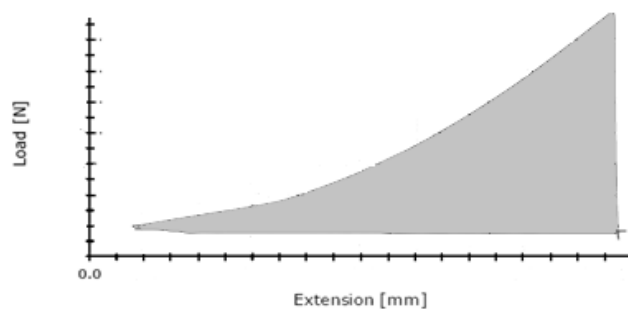


**Σχήμα 11.2** Διάγραμμα Φορτίου- Βέλους κάμψης για άοπλο σκυρόδεμα

Μελετώντας λοιπόν τη δυσθραυστότητα καθώς είναι το βασικό ζητούμενο αυτής της δοκιμής καταλήγουμε στα παρακάτω. Η δυσθραυστότητα ενός δοκιμίου είναι «το μέτρο της ικανότητας του να απορροφά ενέργεια» και υπολογίζεται από «την περιοχή κάτω της καμπύλης φορτίου βέλους κάμψης, μέχρι το σημείο που αντιστοιχεί στο 1/150 του ανοίγματος του δοκιμίου, όπου συμβαίνει η πρώτη ρηγμάτωση, το πρώτο "κράκ".» mss-nde.uoi.gr



**Σχήμα 11.3** Διάγραμμα Φορτίου- Βέλους κάμψης για οπλισμένο σκυροδέμα-δυσθραυστότητα, εμβαδόν περιοχής (mss-nde.uoi.gr)



**Σχήμα 11.4** Διάγραμμα Φορτίου- Βέλους κάμψης για άοπλο σκυροδέμα-δυσθραυστότητα, εμβαδόν περιοχής

Άρα λοιπόν εφόσον η περιοχή αυτή στο διάγραμμα είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση του οπλισμένου σκυροδέματος από αυτή του άοπλου, εύκολα συμπεραίνουμε πως και η δυσθραυστότητα του πρώτου είναι μεγαλύτερη του δευτέρου δοκιμίου. Με αυτά υπ' όψιν και έχοντας κατασκευάσει δοκίμια άοπλου σκυροδέματος, αντιλαμβανόμαστε ότι τα διαγράμματα και να συμπεράσματα που θα βγάλουμε ως

αποτέλεσμα ταιριάζουν με αυτά του άοπλου σκυροδέματος που αναλύθηκαν παραπάνω. Αναμένουμε λοιπόν πως το δοκίμιό μας θα φορτιστεί ώσπου να καταρρεύσει απότομα.

### 11.3.2 Προετοιμασία

Το δοκίμιο που κατασκευάσαμε έχει διαστάσεις 10x10x40 cm. Αρχικά κολλάμε με ρητίνη στη μέση του δοκιμίου μία μεταλλική ράβδο.



**Εικόνα 11.14** Ράβδος κολλημένη με ρητίνη στο δοκίμιο

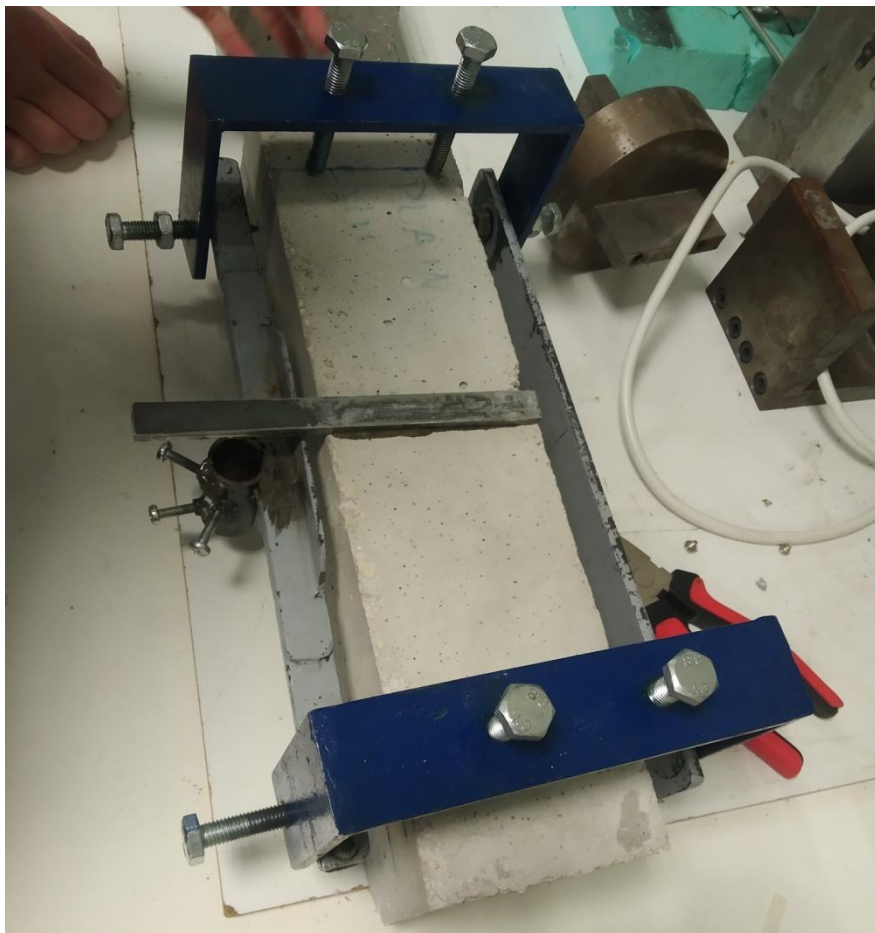
Στη συνέχεια μετράμε πέντε εκατοστά από τις πλαϊνές πλευρές του δοκιμίου και 4 εκατοστά από την πάνω επιφάνεια προς τα κάτω.



**Εικόνα 11.15** Σχεδίαση των σημείων



Προσαρμόζουμε το εξάρτημα στα σημεία τομής των παραπάνω μετρήσεων και τοποθετούμε το δοκίμιο στο μηχάνημα καταπόνησης, ετοιμάζοντας το για τη δοκιμή κάμψης.



**Εικόνα 11.16** Εφαρμογή αρπαγών στο δοκίμιο

Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι η INSTRON 5967, 30KN. Πρόκειται για μία μηχανή με διπλή στήλη όπου μεταξύ των δοκιμών που σχεδιάστηκε να εκτελεί είναι και αυτή της κάμψης. Έχει μέτρηση ακριβείας φορτίου +/- 0,5% της ανάγνωσης έως το 1/1000 της επιλογής χωρητικότητας φόρτωσης και επιλογή ταχύτητας απόκτησης δεδομένων έως 2,5 kHz ταυτόχρονα σε κανάλια φόρτωσης, επέκτασης και καταπόνησης. Επίσης το εύρος ταχύτητας της είναι 0,001 - 3000 mm/min (0,00004 -120 in/min), το επιμηκυνσιόμετρο έχει εύρος 25,4 mm και η μέγιστη φόρτιση είναι 30KN.



**Εικόνα 11.17** Τοποθέτηση δοκιμίου στη μηχανή



**Εικόνα 11.18** Εφαρμογή επιμηκυσίμετρου



**Εικόνα 11.19** Οθόνη παρακολούθησης δεδομένων

### 11.3.3 Αποτελέσματα

Πίνακας 11.2 Δεδομένα πειράματος ανά δευτερόλεπτο

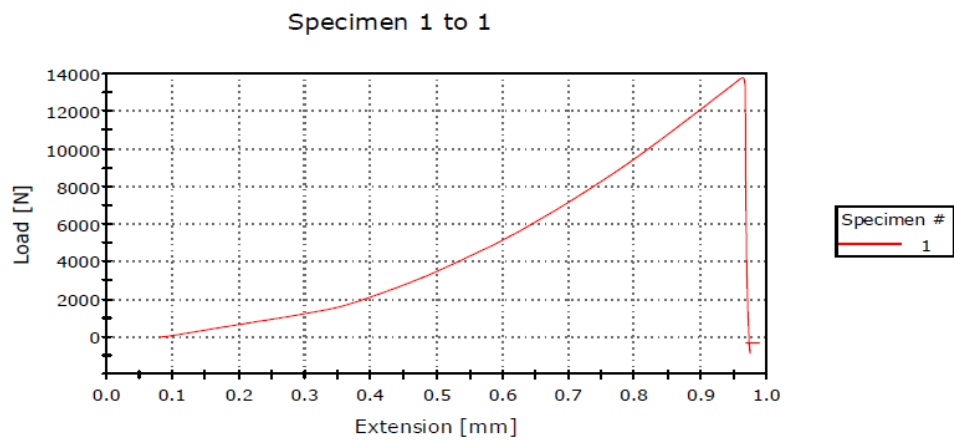
Strain : Lvdt gauge length,"15.00000",mm			
Maximum Flexure stress : Load at Maximum Flexure stress,"13787.84668",N			
Maximum Flexure stress : Time at Maximum Flexure stress,"661.80000",s			
Maximum Flexure stress : Extension at Maximum Flexure stress,"0.96248",mm			
Maximum Load : Extension at Maximum Load,"0.96248",mm			
Time,Extension,Load,Flexure extension (s),(mm),(N),(mm)			
0.00000,"0.08026",-5.26454,"0.00001"			
0.10000,"0.08026",-5.54024",-0.00004"			
0.20000,"0.08009",-6.97731,"0.00002"			
0.30000,"0.08011",-7.49947",-0.00006"			
0.40000,"0.08016",-7.81010",-0.00001"			
0.50000,"0.08024",-7.47735",-0.00010"			
0.60000,"0.08046",-4.94192,"0.00002"			
0.70000,"0.08092","1.94309","0.00005"			
0.80000,"0.08115","5.05465",-0.00003"			
0.90000,"0.08129","6.76587","0.00001"			
1.00000,"0.08140","7.79813","0.00004"			
1.10000,"0.08154","9.16634","0.00002"			
1.20000,"0.08167","10.54023","0.00004"			
1.30000,"0.08181","11.91805",-0.00001"			
1.40000,"0.08195","13.07487","0.00000"			
1.50000,"0.08208","14.16539","0.00005"			
1.60000,"0.08221","15.37779","0.00000"			
1.70000,"0.08235","16.60710","0.00003"			

Πίνακας 11.3 Δεδομένα πειράματος ανά δευτερόλεπτο- Τελευταίες μετρήσεις, μέτρηση αστοχίας.

678.68200,"0.98498",-288.67874,"1.91776"
678.78200,"0.98512",-288.66953,"1.91783"
678.88200,"0.98525",-288.66269,"1.91785"
678.98200,"0.98538",-288.64334,"1.91781"
679.08200,"0.98552",-288.58362,"1.91773"
679.18200,"0.98565",-288.56766,"1.91775"
679.28200,"0.98578",-288.66687,"1.91778"
679.38200,"0.98592",-288.64789,"1.91790"
679.48200,"0.98605",-288.63678,"1.91774"
679.58200,"0.98618",-288.66193,"1.91787"
679.68200,"0.98631",-288.57642,"1.91785"
679.78200,"0.98644",-288.62692,"1.91778"
679.88200,"0.98657",-288.54507,"1.91786"
679.98200,"0.98669",-288.59711,"1.91784"
680.08200,"0.98681",-288.54172,"1.91786"
680.18200,"0.98693",-288.64627,"1.91783"
680.28200,"0.98705",-288.64029,"1.91793"
680.38200,"0.98718",-288.54419,"1.91784"
680.48200,"0.98731",-288.50406,"1.91784"
680.57500,"0.98743",-288.55121,"1.91784"



Εικόνα 11.20 Αστοχία δοκιμίου στην κάμψη



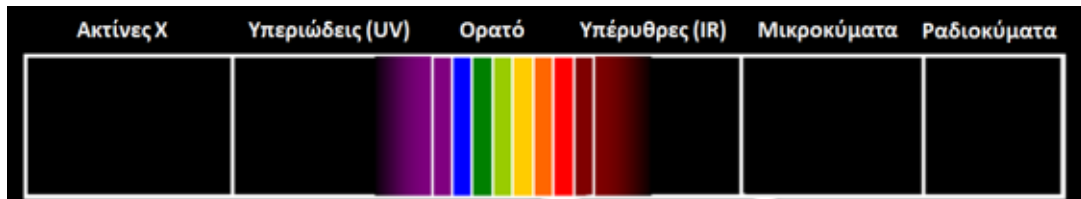
Σχήμα 11.4 Διάγραμμα πειράματος

Πίνακας 11.4 Αποτελέσματα πειράματος

	Maximum Load [N]	Flexure extension at Maximum Flexure stress [mm]	Maximum Flexure stress [MPa]
1	13787.85	-0.11300	4.14
Standard deviation	-----	-----	-----
Minimum	13787.85	-0.11300	4.14
Maximum	13787.85	-0.11300	4.14
Mean	13787.85	-0.11300	4.14

## 11.4. ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ

### 11.4.1 Εισαγωγή



**Εικόνα 11.21** Φάσμα ακτινοβολίας (Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι, Θ. Ματίκας, Δ.Αγγέλης Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα 2015 )

«Η θερμογραφία υπέρυθρου ή υπέρυθρη θερμογραφία, InfraRed (IR) thermography, είναι η μέθοδος που ανιχνεύει τη θερμότητα η οποία εκπέμπεται από ένα αντικείμενο σε μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, τη μετατρέπει σε θερμοκρασία και απεικονίζει την κατανομή της θερμοκρασίας ως «θερμογράφημα». Ο έλεγχος υλικών με θερμογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό εξαρτημάτων που λειτουργούν σε θερμοκρασίες υψηλότερες άλλων εξαρτημάτων, για την ανίχνευση βλάβης σε υλικά ή για τον εντοπισμό ενεργειακών απωλειών σε κτίρια, γραμμές κρυογενικών υγρών ή σωληνώσεων ατμού. Συχνά, η υπέρυθρη θερμογραφία χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με άλλες μη καταστροφικές μεθόδους για τον πληρέστερο έλεγχο των υλικών και κατασκευών.» (Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι, Θ. Ματίκας, Δ.Αγγέλης Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα 2015 )

### 11.4.2 Ιστορική Αναδρομή

Η θερμογραφία δεν είναι μια πρόσφατη και πρωτόγνωρη μη καταστροφική τεχνική των υλικών. Η ιστορία της ξεκινά σχεδόν 200 χρόνια πίσω όταν το 1800 περίπου ανακαλύφθηκε το υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, από τον Άγγλο Sir Frederick William Herschel (1738–1822) όπου καθώς δοκίμαζε διάφορα δείγματα έγχρωμου γυαλιού ανακάλυψε ότι μερικά από αυτά άφηναν να περάσει ελάχιστη από τη θερμότητα του ήλιου, ενώ άλλα άφηναν να περάσει τόσο πολλή θερμότητα σε βαθμό που ήταν επικίνδυνη για τα μάτια. Τριάντα χρόνια αργότερα, το 1830 ο Ιταλός Macedonio

Melloni (1798–1854) ανακάλυψε πως κρύσταλλοι ορυκτού άλατος παρήγαγαν διαθλάσεις του θερμικού φάσματος, ενώ το 1840 ο γιος του Sir Frederick William Herschel, ο Sir John Herschel (1792– 1871), μπόρεσε να καταγράψει για πρώτη φορά τη θερμική φωτογραφία, έχοντας επιτύχει μια πρώιμη μορφή θερμογραφήματος. Άλλη μία ανακάλυψη στον τομέα της υπέρυθρης ακτινοβολίας ήταν αυτή του βολόμετρου το 1880 από τον Samuel Pierpont Langley (1834–1906). Το βολόμετρο έδωσε τη δυνατότητα στους ερευνητές να μετρήσουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ενώ άλλη μία ημερομηνία σταθμός ήταν όταν ο Sir James Dewar, το 1892, χρησιμοποίησε υγροποιημένα αέρια για την αύξηση της ευαισθησίας των ανιχνευτών υπέρυθρου. Κατά τη διάρκεια του Α' και Β' Παγκόσμιου Πολέμου αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε κύριως σε στρατιωτικές εφαρμογές. Με το τέλος τους η τεχνολογία της θερμογραφίας άρχισε να εφαρμόζεται και σε μη στρατιωτικές εφαρμογές όπως αυτές που είχαν αναπτυχθεί τα προηγούμενα χρόνια. Με το πέρασμα των ετών οι άλλοτε ογκώδεις, ανακριβείς και ακριβές θερμοκάμερες, αντικαταστάθηκαν από μικρότερες, πολύ αξιόπιστες, και πιο οικονομικές, κάνοντας έτσι πιο διαδεδομένη τη χρήση τους.

### 11.4.3 Θερμογραφία

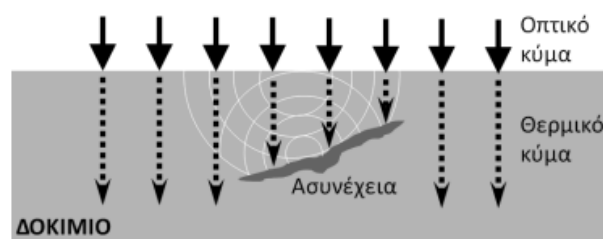
Ένας από τους τρόπους διάδοσης θερμότητας είναι και αυτός της μεταφοράς θερμότητας με αγωγή. Με τη μεταφορά θερμότητας με αγωγή, η θερμότητα μεταδίδεται μέσω της μάζας των σωμάτων. Στην πραγματικότητα η θερμική αγωγιμότητα του υλικού είναι ο δείκτης που δείχνει την ικανότητα που έχει η μάζα ενός υλικού να μεταδίδει τη θερμότητα που έχει. Έτσι διακρίνονται τα υλικά σε καλούς αγωγούς της θερμότητας και σε κακούς αγωγούς της θερμότητας. Καλοί αγωγοί είναι για παράδειγμα τα μέταλλα ενώ στην κατηγορία των κακών αγωγών είναι το πλαστικό, το ξύλο κ.α.

Η ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται με βάση τον νόμου του Fournier εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους.

- Την αγωγιμότητα του υλικού
- Το εμβαδόν την επιφάνειας του δοκιμίου
- Τη θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του δοκιμίου
- Τη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του δοκιμίου
- Το πάχος του υλικού

- Το χρόνο ροής της θερμότητας

Η θερμογραφία είναι μια ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδος μη καταστροφικού ελέγχου των υλικών όχι μόνο για την καταγραφή της θερμικής αγωγιμότητας του καθένα από αυτά, αλλά και για τον εντοπισμό τυχών ατελειών που παρουσιάζονται. Οι διαφορές στην επιφανειακή θερμοκρασία, λόγω των υποεπιφανειακών ασυνεχειών του, μπορούν να εντοπιστούν και τελικά μέσω αυτής της εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας από την επιφάνεια να διαπιστωθεί το μέγεθος της εσωτερικής ατέλειας που παρουσιάζεται.

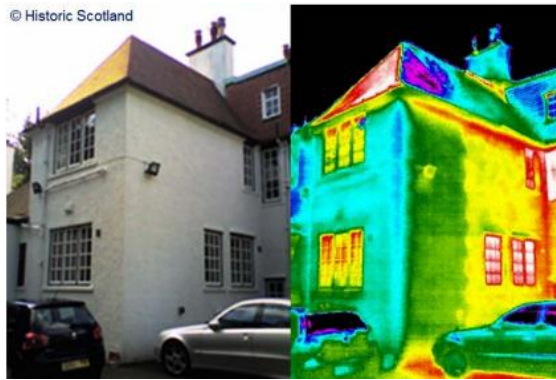


**Εικόνα 11.22** Λειτουργία Θερμογραφίας (Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι, Θ. Ματίκας, Δ.Αγγέλης Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα 2015, kallipos.gr)

Παρ' όλα αυτά η θερμογραφία υπερύθρου μπορεί να εντοπίσει σχετικά ρηχές ατέλειες του υλικού (σε βάθος μερικών χιλιοστών από την επιφάνεια) επειδή επηρεάζεται από τη διάχυση της θερμότητας στον όγκο του υλικού.

Η θερμογραφία υπερύθρου διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Στην ενεργητική θερμογραφία και στην παθητική θερμογραφία. Στην ενεργητική θερμογραφία απαιτείται η δημιουργία θερμικής αντίθεσης με τη βοήθεια εξωτερικής πηγής ενέργειας, ενώ στην παθητική δεν απαιτείται. Κατά τη διάρκεια της παθητικής θερμογραφίας, το υπό έλεγχο υλικό βρίσκεται σε μεγάλη θερμική αντίθεση με το περιβάλλον. Χρησιμοποιείται σε πλήθος εφαρμογών όπως στην βιομηχανία, την αεροναυπηγική αλλά και για τους μηχανικούς είναι ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς μπορεί να εφαρμοστεί στην ενεργειακή επιτήρηση των κτιρίων, τον εντοπισμό υγρασία στις κατασκευές αλλά και για την διατήρηση και αποκατάσταση ιστορικών μνημείων.





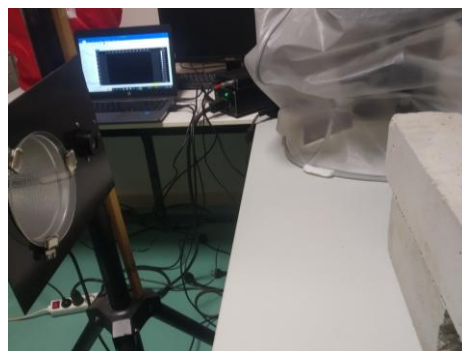
**Εικόνα 11.23** Ενεργειακός έλεγχος κτιρίου με παθητική θερμογραφία (Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι, Θ. Ματίκας, Δ.Αγγέλης Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα 2015 ,kallipos.gr)

#### **11.4.4 Πείραμα**

Το πείραμα που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο ήταν στην κατηγορία της παθητικής θερμογραφίας. Το δοκίμιο του σκυροδέματος που κατασκευάστηκε μήκε στο φούρνο για διάρκεια περίπου 24 ωρών στους 140°C. Αφού βγήκε υποβλήθηκε σε έλεγχο παθητικής θερμογραφίας.

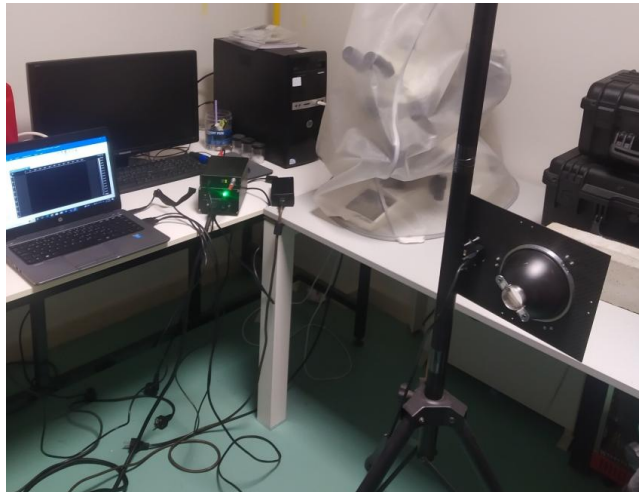


**Εικόνα 11.24** Πειραματική διαδικασία



**Εικόνα 11.25** Πειραματική διαδικασία





**Εικόνα 11.26** Πειραματική διαδικασία

### 11.4.5 Αποτελέσματα

**Πίνακας 11.5** Αποτελέσματα πειράματος

General information :				
File	plane_31_1_22.ptw			
Frame	1			
Total frames	15613			
time	0			
Interval start	1			
Interval end	15613			
Format	320	240		
Timing-graph Data :				
(frames)	1 Min (°C)	1 Max (°C)	1 Mean (°C)	1 Std-Dev (°C)
1	112,00929	118,696289	115,577908	2,326665
2	112,00929	118,696289	115,577462	2,328576
3	112,00929	118,696289	115,57287	2,328079
4	112,00929	118,696289	115,575235	2,327987
5	112,00929	118,696289	115,575573	2,328441
6	112,00929	118,696289	115,573592	2,328442
7	112,00929	118,696289	115,568616	2,328409
8	112,00929	118,696289	115,569138	2,328678
9	112,00929	118,696289	115,573561	2,327417
10	112,00929	118,696289	115,570167	2,328529
11	112,00929	118,696289	115,568524	2,328755
12	112,00929	118,696289	115,571411	2,327547
13	112,00929	118,696289	115,567955	2,328751
14	112,00929	118,696289	115,567234	2,328372
15	112,00929	118,696289	115,567909	2,329454

Έχουν καταγραφεί 15613 λήψεις( frames) , βλέπουμε πως η μέγιστη θερμοκρασία του δοκιμίου κατά την πρώτη λήψη είναι 118,696289 °C και η ελάχιστη 112,00929 °C.

**Πίνακας 11.6** Αποτελέσματα πειράματος

135	112,00929	118,696289	115,444015	2,348602
136	112,00929	118,696289	115,446134	2,350114
137	112,00929	118,696289	115,442801	2,349667
138	112,00929	118,696289	115,443907	2,349673
139	112,00929	118,696289	115,437948	2,352202
140	112,00929	118,696289	115,443861	2,350225
141	112,00929	118,696289	115,437441	2,350976
142	112,00929	118,696289	115,434861	2,350787
143	112,00929	118,696289	115,440881	2,351441
144	112,00929	118,696289	115,433371	2,350129
145	112,00929	118,696289	115,440451	2,351439
146	112,00929	118,696289	115,431206	2,351229
147	112,00929	118,696289	115,426337	2,351935
148	112,00472	118,696289	115,423066	2,350911
149	111,9956	118,696289	115,415709	2,353197
150	112,00472	118,696289	115,413068	2,352947

Παρατηρούμε πως μέχρι τη λήψη 147 τόσο η μέγιστη όσο και η ελάχιστη θερμοκρασία παραμένουν σταθερές. Ενώ στη συνέχεια επηρεάζεται μόνο η ελάχιστη.

**Πίνακας 11.7** Αποτελέσματα πειράματος

15594	33,86351	38,908005	36,526614	1,447582
15595	33,86351	39,084724	36,503949	1,448332
15596	33,799252	38,972267	36,514172	1,445004
15597	33,799252	38,988331	36,511306	1,449771
15598	33,911709	38,908005	36,535593	1,443484
15599	33,847446	38,972267	36,512279	1,440896
15600	33,86351	38,9562	36,554796	1,454054
15601	33,815315	38,988331	36,521096	1,451625
15602	33,847446	39,004398	36,513145	1,460674
15603	33,911709	38,988331	36,531644	1,437671
15604	33,86351	39,020462	36,496214	1,438833
15605	33,799252	38,779484	36,452508	1,445814
15606	33,86351	39,052593	36,514659	1,448602
15607	33,831383	38,940136	36,483286	1,448356
15608	33,86351	38,988331	36,515092	1,442659
15609	33,847446	39,036526	36,50422	1,443549
15610	33,895641	38,9562	36,52088	1,440006
15611	33,86351	38,891941	36,530833	1,437133
15612	33,927773	39,052593	36,519906	1,43984
15613	33,847446	38,924072	36,512604	1,446171

Ενώ τελικά το δοκίμιο καταλήγει κατά την τελευταία λήψη να έχει μέγιστη θερμοκρασία 38,924072 °C και μικρότερη 33,847446 °C.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Michael M. Woolfson(2010) , Materials, Matter, Particles –A Brief History, University of York, UK ,Imperial College

G.R.H. Wright(2005), Ancient Building Technology, Volume 2, (Technology and Change in History 7), Brill

Rolf E. Hummel, Understanding Materials Science -History Properties Applications, Speilinger Second Edition

Stephen L. Sass (1998), The Substance of Civilization, Volume 2, Materials and Human History from Stone Age to the Age of Silicon, Arcade Publishing New York

Vitruvius (1914) , The Ten Books of Architecture, Cambridge : Harvard university Press

Hugh Honour- John Fleming, Ιστορία της Τέχνης, εκδ Υποδομή

Αγία Γραφή- Μετάφραση Νέου Κόσμου,Αναθεώρηση 2013- Έκδοση Ελληνικής Αναθεώρησης 2017, Watchtower Bible and Tract Society of New York, Inc.

George Varoufakis (1999), Ancient Greece and Standards- The history and control of the materials which left their mark on Greek civilization, ,Aeolos- Athens

Νίκος Μαρσέλλος, Οκτώβριος 2017, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Νέος Κανόνας Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2016, εκδόσεις Δεδεμάδη

Βιαζής Γ.Α. (2003) , «Τεχνολογία Δομικών Υλικών», Αυτοέκδοση, Αθήνα

Γερογιάννης Γ. (2003) , «Μελέτη και αξιολόγηση πρώτων υλών και κονιαμάτων ως προς την καταλληλότητά τους για επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης», Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά

X. Ζέρης , Δεκέμβριος 2013, Στοιχεία Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Τα επιμέρους Υλικά

X. Ζέρης , Δεκέμβριος 2013, Βασικές Αρχές Σχεδιασμού, Υλικά

Μιχαήλ Π. (1954) , ΕΜΠ Η Αισθητική της Αρχιτεκτονικής του Μπετόν Αρμέ, Αθήνα

Θ. Ματίκας, Δ.Αγγέλης (2015), Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα,kallipros.gr

Βάρβολης Χάρης, ομότιμος καθηγητής Τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ, Εφημερίδα "Μακεδονία" 23/10/2018

Γεώργιος Παναγόπουλος, Κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος 1, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Μηχανικών τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής Τ.Ε.

### Ιστοσελίδες

Ένωση Τσιμεντοβιομηχάνων Ελλάδος - Σκυρόδεμα, hcia.gr

Μπετόν -Interbeton Δομικά υλικά Α.Ε. Interbeton.gr

mss-nde.uoi.gr

TEE portal

archaiologia.gr

photodentro.edu.gr

tovima.gr

[odikapoulia.gr](http://odikapoulia.gr)

[www.old-picture.com](http://www.old-picture.com)

[en.structurae.de](http://en.structurae.de)

[www.mjobrien.com](http://www.mjobrien.com)

[paver.gr](http://paver.gr)