



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

---

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αναπληρωτής Καθηγητής Σ. ΚΟΛΙΑΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΡΟΦΗΣΗΣ  
ΚΑΙ ΕΚΡΟΦΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Επίδραση των υγραμετρικών συνθηκών και του λόγου N/T

**ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΟΥ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ**  
**ΛΑΖΑΡΙΔΗ ΕΛΕΝΗ**

Με ιδιαίτερη θερμότητα εκφράζουμε τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μας στον αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κόλια Στυλιανό για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές που μας προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μας. Επίσης, ευχαριστίες εκφράζουμε και στους Καραχάλιο Αναστάσιο και Ζόμπολα Κωνσταντίνα για τη βοήθεια στη διεξαγωγή των πειραμάτων καθώς επίσης και στην Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος για τη διευκόλυνση που μας παρείχαν.

---

Πρωταρχικός σκοπός του Πολιτικού Μηχανικού είναι να εξασφαλίσει για κάθε κατασκευή την ασφάλεια και τη λειτουργικότητά της σε συνδυασμό με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τον απαραίτητο σεβασμό προς το περιβάλλον.

Το σκυρόδεμα αποτελεί το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο τεχνητό δομικό υλικό, τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες. Για τον παραπάνω λόγο, οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος συγκεντρώνουν το ερευνητικό ενδιαφέρον για πολλά χρόνια. Καθοριστικό ρόλο για τη συμπεριφορά του σε κατασκευές από όπλα ή οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν η αντοχή και η ανθεκτικότητά του.

Μέχρι πρότινος, ο έλεγχος της αντοχής ήταν πρωταρχικής σημασίας. Ωστόσο, εξίσου σημαντικός αποδείχτηκε ο ρόλος της ανθεκτικότητας της κατασκευής στις συνθήκες που αναμένεται ότι θα εκτεθεί. Η διερεύνηση της ανθεκτικότητας είναι αρκετά περίπλοκη, διότι την επηρεάζουν πολλοί παράγοντες: περιβάλλον, μέθοδοι κατασκευής και συντήρησης, μηχανισμός διάσχυσης των διαβρωτικών παραγόντων στο σκυρόδεμα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης της διαπερατότητας και κατ' ελέκταση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος μέσω της μελέτης του μηχανισμού με τον οποίο το σκυρόδεμα "επικοινωνεί" με το περιβάλλον.

# ..... ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....

## Κεφάλαιο 1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ..... 1

|          |                                            |    |
|----------|--------------------------------------------|----|
| 1.       | ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....                  | 1  |
| 2.       | ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....               | 1  |
| 3.       | ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....                | 2  |
| 3.1.     | ΤΣΙΜΕΝΤΟ.....                              | 2  |
| 3.1.1.   | Παραγωγή τσιμέντου.....                    | 2  |
| 3.1.2.   | Συστατικό τσιμέντου.....                   | 4  |
| 3.1.3.   | Πρόσμικτα υλικά τσιμέντου.....             | 5  |
| 3.1.4.   | Τύποι τσιμέντων.....                       | 6  |
| 3.1.5.   | Αντοχή τσιμέντου.....                      | 8  |
| 3.1.6.   | Πήξη τσιμέντου.....                        | 9  |
| 3.1.7.   | Λεπτότητα τσιμέντου.....                   | 11 |
| 3.1.8.   | Σταθερότητα όγκου.....                     | 11 |
| 3.1.9.   | Ενυδάτωση τσιμέντου.....                   | 12 |
| 3.1.9.1. | Ταχύτητα ενυδάτωσης τσιμέντου.....         | 16 |
| 3.1.9.2. | Θερμότητα ενυδάτωσης τσιμέντου.....        | 17 |
| 3.1.10.  | Χρήση τσιμέντων στην Ελλάδα.....           | 18 |
| 3.2.     | ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ.....                         | 20 |
| 3.3.     | ΑΔΡΑΝΗ.....                                | 22 |
| 3.3.1.   | Κατηγορίες αδρανών.....                    | 22 |
| 3.3.2.   | Ιδιότητες αδρανών.....                     | 23 |
| 3.3.2.1. | Αντοχή αδρανών.....                        | 23 |
| 3.3.2.2. | Καθαρότητα αδρανών.....                    | 24 |
| 3.3.2.3. | Κακκομετρική σύνθεση.....                  | 26 |
| 3.3.2.4. | Μορφή των κόκκων.....                      | 28 |
| 3.4.     | ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....                 | 29 |
| 3.4.1.   | Ρευστοποιητικά και υπερρευστοποιητικά..... | 32 |
| 3.4.2.   | Επιβραδυντικά.....                         | 33 |
| 3.4.3.   | Επιταχυντικά.....                          | 34 |

|        |                      |    |
|--------|----------------------|----|
| 3.4.4. | Αερακτικά.....       | 34 |
| 3.4.5. | Στεγανοποιητικά..... | 35 |
| 3.4.6. | Αντιπαγωτικά.....    | 36 |

## Κεφάλαιο 2. Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ..... 38

|          |                                                                    |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1.       | ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....                                    | 38 |
| 1.1.     | ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΦΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ.....                                    | 38 |
| 1.2.     | ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΝΥΔΑΤΩΜΕΝΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ.....                          | 39 |
| 1.2.1.   | Στερεά του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού.....                        | 40 |
| 1.2.2.   | Πόροι του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού.....                         | 42 |
| 1.2.3.   | Κατανομή του νερού στον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό.....             | 45 |
| 1.2.4.   | Ιδιότητες του τσιμεντοπολτού.....                                  | 47 |
| 1.2.4.1. | Αντοχή του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού.....                        | 48 |
| 1.2.4.2. | Παραμορφωσιμότητα του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού.....             | 48 |
| 1.2.4.3. | Ανθεκτικότητα του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού.....                 | 50 |
| 1.3.     | ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ.....                                    | 51 |
| 1.3.1.   | Αντοχή της μεταβατικής ζώνης.....                                  | 52 |
| 1.3.2.   | Επίδραση της μεταβατικής ζώνης στις ιδιότητες του σκυροδέματος.... | 54 |
| 2.       | ΠΟΡΩΔΕΣ.....                                                       | 55 |

## Κεφάλαιο 3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ..... 60

|        |                                     |    |
|--------|-------------------------------------|----|
| 1.     | ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....   | 60 |
| 1.1.   | ΕΡΓΑΣΙΜΟ.....                       | 60 |
| 1.1.1. | Δοκιμή κάθισης.....                 | 61 |
| 1.1.2. | Δοκιμή Vebe.....                    | 62 |
| 1.1.3. | Δοκιμή εξηλώσεως.....               | 63 |
| 1.1.4. | Δοκιμή του μέτρου συμπικνώσεως..... | 63 |
| 1.2.   | ΕΞΙΔΡΩΣΗ.....                       | 65 |
| 1.3.   | ΑΠΟΜΙΞΗ.....                        | 67 |

|          |                                                        |    |
|----------|--------------------------------------------------------|----|
| 2.       | ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....                    | 67 |
| 2.1.     | ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....                           | 67 |
| 2.1.1.   | Γενικά για την αντοχή.....                             | 67 |
| 2.1.2.   | Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σκυροδέματος..... | 68 |
| 2.1.3.   | Μηχανισμός θραύσης.....                                | 72 |
| 2.1.4.   | Η αντοχή στις διάφορες μορφές καταπονήσεων.....        | 73 |
| 2.1.4.1. | Αντοχή σε μονοαξονική και πολυαξονική θλίψη.....       | 73 |
| 2.1.4.2. | Αντοχή σε εφελκυσμό.....                               | 78 |
| 2.1.4.3. | Καταπόνηση με μεγάλη διάρκεια.....                     | 80 |
| 2.1.4.4. | Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση.....                       | 81 |
| 2.1.4.5. | Αντοχή σε συνάφεια σκυροδέματος και χάλυβα.....        | 81 |
| 2.2.     | ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ.....                 | 82 |
| 2.3.     | ΧΡΟΝΙΑ ΣΥΣΤΟΛΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....          | 84 |
| 2.4.     | ΕΡΠΥΣΜΟΣ.....                                          | 87 |
| 2.5.     | ΘΕΡΜΟΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....                                  | 89 |
| 2.6.     | ΘΕΡΜΟΔΙΑΣΤΟΛΗ.....                                     | 90 |
| 2.7.     | ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ.....               | 91 |

#### Κεφάλαιο 4. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ..... 92

|        |                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------|----|
| 1.     | ΟΡΙΣΜΟΣ.....                                             | 92 |
| 2.     | ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ..... | 93 |
| 2.1.   | ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....                            | 93 |
| 2.1.1. | Διαθέσιμη υγρασία.....                                   | 93 |
| 2.1.2. | Παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό.....                | 94 |
| 2.1.3. | Θερμοκρασία.....                                         | 94 |
| 2.2.   | ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....                          | 94 |
| 2.2.1. | Σύσταση τσιμέντου.....                                   | 95 |
| 2.2.2. | Λόγος Ν/Τ.....                                           | 95 |
| 2.2.3. | Πορώδες.....                                             | 96 |
| 2.2.4. | Συμπύκνωση.....                                          | 98 |
| 2.2.5. | Συντήρηση.....                                           | 98 |

|          |                                                                       |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.6.   | Υπαρξη ρωγμών.....                                                    | 100 |
| 2.3.     | ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....                                               | 100 |
| 2.3.1.   | Μηχανική φθορά σκυροδέματος.....                                      | 101 |
| 2.3.1.1. | Απότριψη σκυροδέματος.....                                            | 101 |
| 2.3.1.2. | Υδροφθορά σκυροδέματος.....                                           | 103 |
| 2.3.1.3. | Σηλαιώση σκυροδέματος.....                                            | 103 |
| 2.3.2.   | Επίδραση ακραίας θερμοκρασίας.....                                    | 104 |
| 2.3.2.1. | Επίδραση παγετού.....                                                 | 104 |
| 2.3.2.2. | Επίδραση αντιπαγωτικών αλάτων.....                                    | 105 |
| 2.4.     | ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....                                               | 106 |
| 2.4.1.   | Επίδραση μαλακού νερού.....                                           | 106 |
| 2.4.2.   | Επίδραση ανθρακικού οξέως.....                                        | 107 |
| 2.4.3.   | Επίδραση οξέων.....                                                   | 110 |
| 2.4.4.   | Επίδραση αλάτων.....                                                  | 111 |
| 2.4.5.   | Επίδραση ελαιωδών ουσιών.....                                         | 112 |
| 2.4.6.   | Επίδραση άλλων ουσιών.....                                            | 112 |
| 2.4.7.   | Βιολογική επίδραση.....                                               | 112 |
| 2.4.8.   | Αντίδραση αλκαλίων-αδρανών.....                                       | 114 |
| 2.4.9.   | Επίδραση θαλάσσιου ύδατος.....                                        | 115 |
| 2.4.10.  | Επίδραση εδάφους και εδαφικού νερού.....                              | 116 |
| 3.       | ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ<br>ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ..... | 116 |
| 3.1.     | ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....                     | 117 |
| 3.1.1.   | Διαπερατότητα.....                                                    | 118 |
| 3.1.2.   | Διάχυση.....                                                          | 118 |
| 3.1.3.   | Απορρόφηση.....                                                       | 119 |
| 3.2.     | ΤΡΙΧΟΕΙΔΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....                                              | 121 |
| 3.2.1.   | Τριχοειδής ανύψωση.....                                               | 121 |
| 3.2.2.   | Εξάτμιση νερού μέσα σε τριχοειδή.....                                 | 123 |
| 3.2.3.   | Ρόφηση – Προσρόφηση – Εκρόφηση.....                                   | 125 |

**Κεφάλαιο 5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ Κ.Τ.Σ. '97.....130**

|      |                                           |     |
|------|-------------------------------------------|-----|
| 1.   | ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....                 | 131 |
| 1.1. | Γενικά.....                               | 131 |
| 1.2. | Μελέτη σύνθεσης.....                      | 131 |
| 2.   | ΑΝΑΜΙΞΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....                 | 133 |
| 3.   | ΕΥΛΟΤΥΠΟΙ.....                            | 134 |
| 4.   | ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....               | 135 |
| 5.   | ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....              | 136 |
| 6.   | ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....               | 136 |
| 7.   | ΟΔΗΓΙΕΣ ΛΗΨΕΩΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ..... | 137 |

**Κεφάλαιο 6. ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....140**

|        |                                   |     |
|--------|-----------------------------------|-----|
| 1.     | ΕΛΑΦΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ.....           | 140 |
| 1.1.   | ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ ΜΕ ΕΛΑΦΡΑ ΑΔΡΑΝΗ..... | 142 |
| 1.1.1. | Κοινομοπετόν.....                 | 142 |
| 1.1.2. | Σκυριακοκοινομοπετόν.....         | 143 |
| 1.1.3. | Σπογγοκεραμομοπετόν.....          | 143 |
| 1.1.4. | Περλίτομοπετόν.....               | 143 |
| 1.1.5. | Ξυλομοπετόν.....                  | 144 |
| 1.2.   | ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ.....         | 144 |
| 1.2.1. | Αερομοπετόν.....                  | 145 |
| 1.2.2. | Αφρομοπετόν.....                  | 145 |
| 2.     | ΒΑΡΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ.....            | 146 |

**Κεφάλαιο 7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.....147**

|    |                                |     |
|----|--------------------------------|-----|
| 1. | ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....                  | 147 |
| 2. | ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ..... | 153 |

|      |                                                       |     |
|------|-------------------------------------------------------|-----|
| 2.1. | Κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών.....              | 153 |
| 2.2. | Προσδιορισμός της πυκνότητας των αδρανών.....         | 156 |
| 2.3. | Προσδιορισμός της πυκνότητας του ρευστοποιητικού..... | 161 |
| 3.   | ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ.....                                  | 161 |
| 4.   | ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....                   | 164 |
| 4.1. | Προσδιορισμός της πυκνότητας των μινμάτων.....        | 164 |
| 5.   | ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....                   | 168 |
| 6.   | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....                               | 169 |
| 6.1. | Δοκιμή θραύσης.....                                   | 169 |
| 6.2. | Δοκιμή εκρόφησης – εξότμισης.....                     | 170 |
| 6.3. | Δοκιμή προσρόφησης – διύγρυνσης.....                  | 174 |
| 6.4. | Δοκιμή υδαταπορρόφησης.....                           | 176 |

## Κεφάλαιο Β. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ..... 179

|      |                                          |     |
|------|------------------------------------------|-----|
| 1.   | ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....            | 179 |
| 1.1. | Μετρήσεις και στοιχεία δοκιμίων.....     | 179 |
| 1.2. | Ανάλυση μετρήσεων.....                   | 180 |
| 2.   | ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....            | 182 |
| 2.1. | Επίδραση λόγου Ν/Τ.....                  | 182 |
| 2.2. | Επίδραση μορφής του δείγματος.....       | 186 |
| 2.3. | Επίδραση συνθηκών σχετικής υγρασίας..... | 187 |
| 3.   | ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....                 | 187 |
| 4.   | ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....      | 189 |

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Κατηγορία διαγραμμάτων I: Επίδραση λόγου Ν/Τ.....                    | 191 |
| Κατηγορία διαγραμμάτων II: Επίδραση μορφής δοκιμίων.....             | 198 |
| Κατηγορία διαγραμμάτων III: Επίδραση συνθηκών σχετικής υγρασίας..... | 209 |

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Χαρακτηριστικά δοκιμών Α..... | 217 |
| Χαρακτηριστικά δοκιμών Β..... | 232 |
| Χαρακτηριστικά δοκιμών Γ..... | 250 |
| Χαρακτηριστικά δοκιμών Δ..... | 268 |

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....287

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

#### 1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

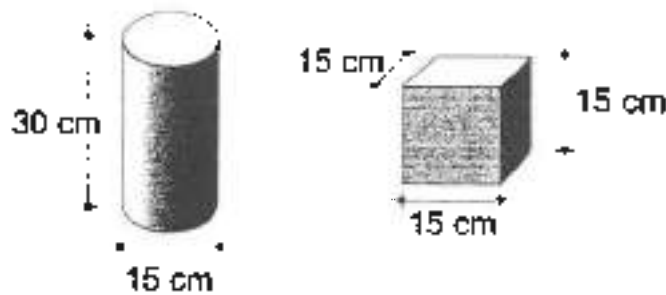
Το σκυρόδεμα είναι το τεχνητό δομικό υλικό που προκύπτει από την ανάμιξη τσιμέντου, αδρανών και νερού. Το τσιμέντο με το νερό αντιδρούν χημικά μεταξύ τους σχηματίζοντας τον τσιμεντοπολτό, που αποτελεί τη συνδετική ύλη των αδρανών και με την πάροδο του χρόνου αποκτά σημαντικές μηχανικές αντοχές. Εκτός από τα βασικά συστατικά, είναι δυνατόν να προστεθούν στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του και ορισμένα χημικά πρόσθετα υλικά, που σκοπό έχουν τη βελτίωση των ιδιοτήτων του.

#### 2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος '97, Κ.Τ.Σ. '97, για τη μελέτη και κατασκευή των τεχνικών έργων χρησιμοποιούνται οι κατηγορίες σκυροδέματος που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

| Κατηγορίες<br>σκυροδέματος | $f_{ck}$ κυλίνδρου<br>(MPa) | $f_{ck}$ κύβου<br>(MPa) |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| C8/10                      | 8                           | 10                      |
| C12/15                     | 12                          | 15                      |
| C16/20                     | 16                          | 20                      |
| C20/25                     | 20                          | 25                      |
| C25/30                     | 25                          | 30                      |
| C30/37                     | 30                          | 37                      |
| C35/45                     | 35                          | 45                      |
| C40/50                     | 40                          | 50                      |
| C45/55                     | 45                          | 55                      |
| C50/60                     | 50                          | 60                      |

**Πίνακας 1-1:** Κατηγορίες σκυροδέματος, σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. '97. [1]



**Σχήμα 1-1:** Πρότυπες διαστάσεις δοκιμών. [2]

Ο πρώτος αριθμός κατηγορίας ορίζει τη χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη του κυλίνδρου διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm και ο δεύτερος ορίζει τη χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη του κύβου ακμής 15 cm. Ως χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη, θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου. [1]

### 3. ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

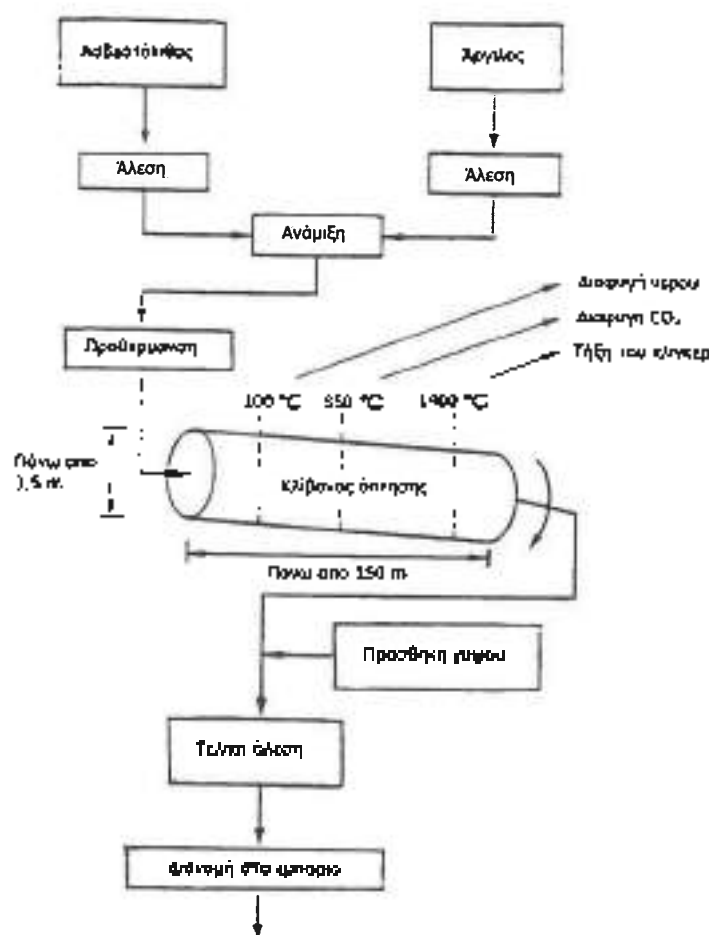
#### 3.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ

##### 3.1.1. Παραγωγή τσιμέντου

Το τσιμέντο, σε αντίθεση με άλλες φυσικές κόνιες, είναι βιομηχανικό προϊόν, το οποίο παρασκευάζεται από πρώτες ύλες που βρίσκονται σε αφθονία στη φύση, κυρίως ασβεστόλιθο και άργιλο. Η παραγωγή του είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, η οποία λόγω της φύσης των πρώτων υλών, αλλά και των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκειά της, απαιτεί συνεχή και λεπτομερή έλεγχο. Τα σύγχρονα εργοστάσια είναι εξοπλισμένα με συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου, καθ' όλες τις φάσεις της παραγωγής, ώστε να εξασφαλίζουν την σταθερότητα και την ομοιομορφία της παραγωγής.

Διακρίνονται δύο κυρίως μέθοδοι παραγωγής του τσιμέντου, και ειδικότερα του ομογενοποιημένου μίγματος των πρώτων υλών για την εισαγωγή του στον κλίβανο όπτησης, η υγρή και η ξηρή μέθοδος. Στην υγρή μέθοδο, μετά τη χωριστή θραύση των ασβεστολιθικών και αργιλικών πετρωμάτων στους σπαστήρες, κάθε επιμέρους πρώτη ύλη μετασχηματίζεται σε πολτό με την προσθήκη νερού και γίνεται η ανάμιξη των

διαφόρων πολτών σε κατάλληλες αναλογίες μαζί με μικρές ποσότητες άλλων υλικών που προστίθενται για να βελτιώσουν τη χημική σύνθεση του μίγματος, όπως σιδηροπυρίτες, σχίστες κ.ά. Το τελικό μίγμα που παράγεται υπό μορφή πολτού ονομάζεται «φαρίνα» και εισάγεται σε περιστροφικό κλίβανο διαμέτρου συνήθως 3,5-6m και μήκους 100-180m. Ωστόσο, απαιτείται κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας για την εξότμιση του νερού, γεγονός που καθιστά τη μέθοδο αυτή αντικοινομική σε σχέση με την ξηρή μέθοδο, κατά την οποία η ανάμιξη των πρώτων υλών γίνεται σε ξηρή κατάσταση. Στον κλίβανο, το μίγμα υφίσταται κατάλληλη όπτηση, μέχρι 1400-1600 °C και εξάγεται υπό μορφή γκριζοπράσινων κόκκων διαμέτρου λίγων εκατοστών. Το προϊόν αυτό της όπτησης ονομάζεται διεθνώς Klinker και αποτελεί το κύριο συστατικό των τσιμέντων Portland. Το Klinker αλέθεται σε ένασφαιρους μύλους, μέχρι να γίνει πολύ λεπτή σκόνη. Κατά την άλεση, προστίθεται γύψος σε μικρές ποσότητες, για να ελεγχθεί η ταχύτητα πήξης της κονίας, η οποία ονομάζεται «τσιμέντο Portland». [3], [4]



**Σχήμα 1-2:** Σχηματική παράσταση διαδικασίας παραγωγής τσιμέντων. [3]

### 3.1.2. Συστατικά τσιμέντου

Η χημική σύνθεση του τσιμέντου δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από τα πετρώματα που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες, τον τρόπο παραγωγής, καθώς και από το χρόνο και τη θερμοκρασία όπτησης.

Οι επικρατέστερες ενώσεις του τσιμέντου είναι το οξείδιο του ασβεστίου  $\text{CaO}$  και το οξείδιο του πυριτίου  $\text{SiO}_2$ . Ακολουθούν, σε μικρότερες ποσότητες, τα οξείδια άλλων μετάλλων, όπως του αργιλίου, του σιδήρου κ.ά. Τα τελευταία αυτά οξείδια, παρά τη μικρή ποσότητά τους, έχουν καθοριστική σημασία στις τελικές ιδιότητες του τσιμέντου.

Οι παραπάνω ενώσεις, που εμφανίζονται κατά τη χημική ανάλυση, σχηματίζουν κατά την όπτηση και εν συνεχεία την ψύξη του Klinker, τις ενώσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 1-2.

| Χημικό όνομα                | Χημικός τύπος                                                         | Συντομογραφία         | Περιεκτικότητα κ.β. % |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Πυριτικό τριασβέστιο        | $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                      | $\text{C}_3\text{S}$  | 50                    |
| Πυριτικό διασβέστιο         | $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$                                      | $\text{C}_2\text{S}$  | 25                    |
| Αργιλικό τριασβέστιο        | $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$                             | $\text{C}_3\text{A}$  | 12                    |
| Σιδηροαργιλικό τετρασβέστιο | $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{C}_4\text{AF}$ | 8                     |

**Πίνακας 1-2:** Κυριότερα συστατικά του τσιμέντου, που παράγονται κατά την όπτηση και ψύξη του Klinker. [3]

Η αναλογία των παραπάνω τεσσάρων κύριων συστατικών, έχει επίδραση στην ταχύτητα ανάπτυξης της αντοχής, καθώς επίσης και στην ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται κατά τη διάρκεια της χημικής αντίδρασης. Ωστόσο, δεν έχει τόσο αποφασιστική σημασία στην τελική τιμή της αντοχής.

Εκτός από τις τέσσερις βασικές ενώσεις του πίνακα 1-2, στο τσιμέντο υπάρχουν ακόμη, σε μικρότερες ποσότητες, και τα ακόλουθα δευτερεύοντα συστατικά:

- Οξείδιο του μαγνησίου ή μαγνησία,  $\text{MgO}$ , της οποίας η περιεκτικότητα περιορίζεται από τους κανονισμούς, γιατί η ενυδάτωσή της προκαλεί διόγκωση.

- Γύψος,  $\text{CaSO}_4$ , την οποία προσθέτουμε για τη ρύθμιση της ταχύτητας πήξης σε ποσοστό μικρότερο από 3%.

Αλκάλια,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , τα οποία είναι δυνατόν να αντιδράσουν με ορισμένα αδρανή του σκυροδέματος, προκαλώντας τη λεγόμενη αλκαλοπυρρική αντίδραση, η οποία συνοδεύεται από διόγκωση και κατ' επέκταση, αποσάθρωση του σκυροδέματος. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να χρησιμοποιηθεί τσιμέντο με περιορισμένη περιεκτικότητα σε αλκάλια (<0,6%) ή, σε λιγότερο επικίνδυνες περιπτώσεις, τσιμέντα με ποζολάνη. [3]

### 3.1.3. Πρόσμικτα υλικά τσιμέντου

- **Ποζολάνες**

Οι ποζολάνες είναι φυσικά ή τεχνητά, πυρρικά ή αργιλοπυρρικά υλικά ή ένας συνδυασμός των δύο. Η χαρακτηριστική ιδιότητά τους είναι ότι σε λεπτότατο καταμερισμό και με την παρουσία υγρασίας, ενώνονται χημικά με την υδρόσβεστο,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , σε κανονική θερμοκρασία περιβάλλοντος, σχηματίζοντας ενυδατωμένες ασβεστοπυρρικές και ασβεστοαργλικές ενώσεις, που αναπτύσσουν αντοχή. Οι ενώσεις αυτές είναι παρεμφερείς με αυτές που σχηματίζονται κατά τη σκλήρυνση υδραυλικών ενώσεων. [4], [5]

- **Ιπτάμενη τέφρα**

Ιπτάμενη τέφρα ονομάζουμε τα, σε λεπτότατο καταμερισμό, κατάλοιπα που προκύπτουν από την καύση γαιανθράκων ή λιγνιτών και που συλλέγονται, κατά την έξοδο των αερίων καύσης, από τις καπνοδόχους των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Η δραστηκότητα των τέφρων οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  και  $\text{CaO}$ . Οι δύο πρώτες ενώσεις προσδίδουν στην τέφρα ποζολανικές ιδιότητες, ενώ το οξείδιο του ασβεστίου  $\text{CaO}$ , υδραυλικές ιδιότητες. [4],[5]

## • Φίλλερ

Φίλλερ ονομάζουμε υλικά, συνήθως αδρανή, σε λεπτότατο καταμερισμό, τα οποία σε μικρές ποσότητες επιδρούν ευνοϊκά στο εργάσιμο και την υδατοπερατότητα. Η δράση τους είναι κυρίως μηχανική, δηλαδή δρουν σαν λιπαντικά για το εργάσιμο και με τη διόγκωση των κόκκων, παρουσία υγρασίας, αυξάνουν την υδατοστεγανότητα. Σπανίως, παρουσιάζουν και ποζολανικές ή υδραυλικές ιδιότητες, ανάλογα με το αρχικό υλικό από το οποίο προέρχεται το φίλλερ. [4], [5]

### 3.1.4. Τύποι τσιμέντων

Τα τσιμέντα Portland, ανάλογα με τη σύστασή τους, η οποία κυρίως καθορίζεται από τις υπάρχουσες και χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες κάθε χώρας παγκοσμίως, διακρίνονται σε διάφορους τύπους, και ανάλογα με την αντοχή τους, σε διάφορες κατηγορίες. Η γενική κατάταξή τους σε τύπους, σύμφωνα με τα νέα Ευρωπαϊκά Πρότυπα τσιμέντου:

#### EN 197-1:

Τσιμέντο Μέρος-1: "Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινό τσιμέντα" και

#### EN 197-2:

Τσιμέντο Μέρος-2: "Αξιολόγηση συμμόρφωσης"

τα οποία έχουν υιοθετηθεί σαν Ελληνικά Πρότυπα από τον ΕΛΟΤ, έχει ως εξής:

| ΤΥΠΟΣ   | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ                 |
|---------|---------------------------|
| CEM I   | Τσιμέντο Portland         |
| CEM II  | Σύνθετο Τσιμέντο Portland |
| CEM III | Σκωριοτσιμέντο            |
| CEM IV  | Ποζολανικό Τσιμέντο       |
| CEM V   | Σύνθετο Τσιμέντο          |

**Πίνακας 1-3:** Τύποι τσιμέντου, σύμφωνα με τα νέα ευρωπαϊκά πρότυπα τσιμέντου. [6]

### **Τύπος I: Τσιμέντο Portland**

Ως τσιμέντα Portland χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την άλεση του Klinker σε ποσοστά μεγαλύτερο από 97% με τις ελάχιστες αναγκαίες προσθήκες. Οι προσθήκες αυτές είναι:

- Γύψος, όση απαιτείται για τη ρύθμιση της πήξης, συνήθως είναι 2-3% κ.β.
- Φίλλερ, έως 3% κ.β.

### **Τύπος II: Σύνθετο τσιμέντο Portland**

Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που περιέχουν εκτός από τα προηγούμενα υλικά και ποζολάνη είτε τεχνητή, όπως η ιπτάμενη τέφρα, είτε φυσική, όπως η θηραϊκή, η μηλαϊκή ή η σκυδραϊκή γη, σε ορισμένες ποσότητες, έτσι ώστε το σύνολο να μην υπερβαίνει το 20% κ.β.

Ειδικά το τσιμέντο με ποσοστά ποζολάνης 10% κ.β., ονομάζεται «Τσιμέντο Portland Ελληνικού τύπου».

### **Τύπος III: Σκωριοτσιμέντο**

Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα στα οποία η ποζολάνη αντικαθίσταται από τις σκωρίες. Συγκριτικά, ως προς την αντοχή, τα τσιμέντα που περιέχουν σκωρίες εμφανίζουν μεγαλύτερες αντοχές από τα αντίστοιχα με ποζολάνες. Γενικά, τα σκωριοτσιμέντα εμφανίζουν αξιοσημείωτες αντοχές μέχρι τις 7 πρώτες ημέρες, ενώ τα ποζολανικά τσιμέντα παρουσιάζουν μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης των αντοχών μεταξύ των 7 και 28 ημερών.

### **Τύπος IV: Ποζολανικό τσιμέντο**

Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που περιέχουν ποζολάνη σε ποσοστά 20-40% κ.β. Παρουσιάζουν μικρότερη θερμότητα ενυδάτωσης και αυξημένη ανθεκτικότητα σε διαβρωτικά μέσα. Τα τσιμέντα του τύπου αυτού πρέπει να ικανοποιούν τη δοκιμή της ποζολανικότητας. Με τη δοκιμασία αυτή, βρίσκεται αν η περιεχόμενη στο τσιμέντο

ποζολάνη είναι ικανοποιητικής ποζολανικότητας ή όχι, χωρίς να τίθενται ορισμένες απαιτήσεις.

### Τύπος V: Σύνθετο τσιμέντο

Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που περιέχουν μεταξύ 18% και 50% κ.β. κοκκοποιημένα σκωρία υψικαμίνων και μεταξύ 18% και 50% κ.β. πυριτική ιπτάμενη τέφρα. [5], [6]

#### 3.1.5. Αντοχή τσιμέντου

Τα νέα Ευρωπαϊκά Πρότυπα Τσιμέντου ορίζουν κάποιες απαιτήσεις για την μηχανική συμπεριφορά του τσιμέντου ως προς την τυπική και πρώιμη αντοχή του.

Τυπική αντοχή ενός τσιμέντου είναι η αντοχή σε θλίψη, που προσδιορίζεται σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1 στην ηλικία των 28 ημερών, ενώ πρώιμη αντοχή είναι η αντοχή σε θλίψη του τσιμέντου που προσδιορίζεται σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1 σε ηλικία είτε 2, είτε 7 ημερών. Για κάθε κατηγορία τυπικής αντοχής, περιλαμβάνονται δύο κατηγορίες πρώιμης αντοχής: μία κατηγορία με κανονική πρώιμη αντοχή, που σημειώνεται με N, και μία κατηγορία με υψηλή πρώιμη αντοχή, που σημειώνεται με R. Και οι δύο αυτές αντοχές του τσιμέντου, θα πρέπει να συμφωνούν με τις απαιτήσεις που αναγράφονται στον πίνακα 1-4. [6]

| Κατηγορία<br>αντοχής | Αντοχή σε θλίψη Mpa |          |               |       |
|----------------------|---------------------|----------|---------------|-------|
|                      | Πρώιμη αντοχή       |          | Τυπική αντοχή |       |
|                      | 2 ημέρες            | 7 ημέρες | 28 ημέρες     |       |
| 32,5 N               | -                   | ≥16,0    | ≥32,5         | ≤52,5 |
| 32,5 R               | ≥10,0               | -        |               |       |
| 42,5 N               | ≥10,0               | -        | ≥42,5         | ≤62,5 |
| 42,5 R               | ≥20,0               | -        |               |       |
| 52,5 N               | ≥20,0               | -        | ≥52,5         | -     |
| 52,5 R               | ≥20,0               | -        |               |       |

**Πίνακας 1-4:** Μηχανικές απαιτήσεις τσιμέντου, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1. [6]

Ο συμβολισμός των τσιμεντών, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1, καθορίζεται από:

- τον κύριο τύπο τσιμέντου
- το ποσοστό Klinker
- τον τύπο του δεύτερου κύριου συστατικού
- την κατηγορία αντοχής
- το επίπεδο της πρώιμης αντοχής

Για παράδειγμα, το τσιμέντο CEM II/B-M 32,5N είναι σύνθετο τσιμέντο Portland, συμμορφούμενο με το πρότυπο EN 197-1, με περιεκτικότητα σε πρόσθετα από 21-35% κατά μάζα, κατηγορίας αντοχής 32,5 και με κανονική πρώιμη αντοχή.

Για τα έργα που απαιτείται χρήση τσιμέντου ανθεκτικού στα θειικά, παραμένει σε ισχύ το ΠΔ 244/80, διότι ο τύπος αυτός δεν προβλέπεται στα νέα Ευρωπαϊκά Πρότυπα.

Ως τσιμέντα Portland, ανθεκτικά στα θειικά άλατα και το θαλάσσιο νερό, χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα τα προερχόμενα από συνάλεση Klinker Portland ειδικού τύπου και γύψου. Για τα τσιμέντα αυτά, το αργλικό τριασβέστιο,  $C_3A$ , πρέπει να είναι μικρότερο του 3,5%, η δε περιεκτικότητα σε  $SO_3$  να μην υπερβαίνει το 2,5%. [5], [6]

Εκτός από την αντοχή, άλλα χαρακτηριστικά του τσιμέντου που πρέπει να ελέγχονται είναι:

### 3.1.6. Πήξη τσιμέντου

Για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα το μίγμα τσιμέντου και νερού δε φαίνεται να παρουσιάζει καμιά μεταβολή ως προς τη ρευστότητά του. Ωστόσο, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, παρουσιάζεται η διαδοχική μεταβολή του τσιμεντοπλάτρου από πλάστιμο και εργάσιμο υλικό σε σφικτό και μη εργάσιμο, που ακόμα δεν έχει αποκτήσει ουσιαστικά αντοχή, ώστε να μπορεί να χαρακτηριστεί ως στερεό υλικό. Το φαινόμενο αυτό, κατά το οποίο ο τσιμεντοπλατρός χάνει διαδοχικά τη ρευστότητά του και την ικανότητά του να παραμορφώνεται χωρίς ρηγμάτωση, ονομάζεται πήξη του τσιμεντοπλάτρου.

Συμβατικά διακρίνονται δύο χρόνοι πήξης, οι οποίοι μετρώνται με τη συσκευή *Nicat* σε τσιμεντοπολάτο κανονικής συνεκτικότητας, δηλαδή σε τσιμεντοπολάτο με περιεκτικότητα σε νερό, τέτοια ώστε υπό τυποποιημένες συνθήκες, να παρατηρείται εισδοχή βελόνας σε ορισμένο βάθος. Έτσι, σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντου ΕΚΤ ΕΝ 197-1, διακρίνεται η έναρξη πήξης, δηλαδή ο χρόνος από την ανάμιξη με νερό για τον οποίο παρατηρείται εισδοχή βελόνας ορισμένης διαμέτρου σε συγκεκριμένο βάθος και η λήξη πήξης, δηλαδή ο χρόνος για τον οποίο δεν παρατηρείται εισδοχή της βελόνας. Για πρακτικούς λόγους, ορίζεται από τον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντου, ελάχιστος χρόνος έναρξης πήξης 1 ώρα και μέγιστος χρόνος λήξης πήξης 8 ώρες.

Για τον προσδιορισμό των αντίστοιχων χρόνων πήξης για τα σκυροδέματα έχουν αναπτυχθεί ανάλογες συσκευές. Ωστόσο, οι παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο πήξης είναι πολλοί, όπως η θερμοκρασία του σκυροδέματος, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τα χημικά πρόσθετα κ.ά., με αποτέλεσμα ο χρόνος πήξης του σκυροδέματος να μην μπορεί να ελεγχθεί.

Κατά τη διαδικασία της πήξης, είναι δυνατόν υπό ορισμένες προϋποθέσεις, να παρατηρηθούν δύο ανώμαλα φαινόμενα, η ψευδόπηξη και η ταχύπηξη, που προκαλούν ξαφνική μείωση της εργασιμότητας του τσιμεντοπολατού, δηλαδή ταχεία πήξη αμέσως μετά την ανάμιξη με το νερό.

Η ψευδόπηξη αποδίδεται κυρίως σε ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών κατά τη συνάλεση του Klinker με τη γύψο, αλλά και σε υπερβολική σύνθεση ετρινγκίτη, σε συνδυασμό με χρήση ορισμένων επιβραδυντικών προσθέτων ή και στην ανθρακοποίηση των αλκαλίων του τσιμέντου. Το φαινόμενο της ψευδόπηξης δε συνοδεύεται με έκλυση θερμότητας και εξαφανίζεται με επανάμιξη χωρίς ανάγκη προσθήκης νερού, ενώ αντιθέτως η ταχύπηξη συνοδεύεται με σημαντική έκλυση θερμότητας και δεν αντιμετωπίζεται με επανάμιξη χωρίς προσθήκη νερού. Το φαινόμενο της ταχύπηξης έχει πολύ σοβαρές συνέπειες στη συμπεριφορά του σκυροδέματος και αποδίδεται στη μεγάλη δραστηριότητα του αργιλικού τριασβεστίου  $C_3A$ , η οποία όμως ελέγχεται με συνάλεση του Klinker με γύψο. Ορισμένες περιπτώσεις ταχύπηξης έχουν αποδοθεί σε επενέργεια των χημικών προσθέτων, τα οποία μπορεί να αυξήσουν τον ρυθμό ενυδάτωσης του αργιλικού τριασβεστίου  $C_3A$ . [3]

### 3.1.7. Λεπτότητα τσιμέντου

Η λεπτότητα του τσιμέντου ελέγχεται αρχικά από το κόσκινο ανοίγματος 0,2 mm για να διαπιστωθεί ότι δεν υπάρχουν συσσωματώματα ή ξένες ύλες και εν συνεχεία προσδιορίζεται η ειδική επιφάνεια με τη συσκευή *Blaine*, η οποία εκφράζεται σε  $\text{cm}^2/\text{gr}$ . Η λειτουργία της συσκευής βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου διέλευσης αέρα μέσα από ποσότητα τσιμέντου. Άλλη συσκευή που μετρά την ειδική επιφάνεια είναι η *Turbidimeter Wagner* (ASTM C115), η λειτουργία της οποίας στηρίζεται στον νόμο του *Stokes*, κατά τον οποίο η οριακή ταχύτητα καθίζησης μιας σφαίρας μέσα σε ένα ιξώδες ρευστό είναι συνάρτηση της ακτίνας της σφαίρας, των πυκνατήτων του υλικού της σφαίρας και του υγρού, καθώς και του ιξώδους του υγρού. Η ειδική επιφάνεια μπορεί, επίσης, να μετρηθεί με τη μέθοδο της απορρόφησης του αζώτου. Επειδή οι μετρήσεις μεταξύ των μεθόδων διαφέρουν σημαντικά, θα πρέπει να αναφέρεται πάντοτε η μέθοδος προσδιορισμού της ειδικής επιφάνειας. Με βάση τον Ελληνικό Κανονισμό EN 197-1, η ελάχιστη τιμή της ειδικής επιφάνειας για τα τσιμέντα Portland είναι  $2600 \text{ cm}^2/\text{gr}$ , κατά την μέθοδο *Blaine*. Η λεπτότητα μπορεί επίσης να προσδιοριστεί με συσκευή ακτινών Laser, η λειτουργία της οποίας στηρίζεται στο γεγονός ότι η διάθλαση των ακτινών Laser είναι ανάλογη με το μέγεθος των κόκκων.

Η λεπτότητα άλεσης του τσιμέντου επηρεάζει άμεσα την ταχύτητα ενυδάτωσης, όπως αναλύεται σε επόμενη ενότητα, γι' αυτό τα τσιμέντα μεγαλύτερης αντοχής είναι συνήθως και λεπτότερα για να επιτυγχάνουν στις 28 ημέρες την απαιτούμενη αντοχή. Ωστόσο, ορισμένες προδιαγραφές κατασκευής οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα θέτουν άνω όρια στη λεπτότητα του τσιμέντου επειδή, η συστολή κατά την πήξη επηρεάζεται από την λεπτότητα του τσιμέντου και επομένως τα λεπτότερα τσιμέντα παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο μικρορηγμάτωσης. [3], [4]

### 3.1.8. Σταθερότητα όγκου

Είναι απαραίτητο ο τσιμεντοπολτός να παρουσιάζει μετά την πήξη του σταθερότητα όγκου, διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος ρηγματώσεων. Αστάθεια όγκου στον τσιμεντοπολτό μπορεί να οφείλεται σε αντιδράσεις ελεύθερης ασβέστου ( $\text{CaO}$ ), μαγνησίας ( $\text{MgO}$ ) και θειικού ασβεστίου. Αν στο τσιμέντο υπάρχει ελεύθερη ασβέστος,

τότε αντιδρά με το νερό και προκαλείται διόγκωση. Η μαγνησία αντιδρά με το νερό κατά παρόμοιο τρόπο, ενώ το θειικό ασβέστιο, που προέρχεται από τη γύψο που προστίθεται για τον έλεγχο του χρόνου πήξης, είναι δυνατόν, σε περίπτωση περίσσειας γύψου, να προκαλέσει διόγκωση λόγω σχηματισμού επιτριγκίτη. Οι παραπάνω χημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα με πολύ αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα οι συνέπειες της αστάθειας όγκου του τσιμέντου να γίνουν εμφανείς μετά από μήνες ή ακόμη και χρόνια. Ο έλεγχος σταθερότητας όγκου είναι στην πραγματικότητα μια επιταχυνόμενη δοκιμή με την οποία επιδιώκεται η ανίχνευση αυτού του κινδύνου. Οι κυριότερες δοκιμές είναι η δοκιμή *Le Chatelier*, η οποία ανιχνεύει την αστάθεια όγκου που οφείλεται κυρίως στην ελεύθερη ασβεστο, και η δοκιμή σε αυτόκλειστο, που ανιχνεύει την παρουσία, όχι μόνο της ελεύθερης ασβέστου ( $\text{CaO}$ ), αλλά και της μαγνησίας ( $\text{MgO}$ ) και είναι πιο αυστηρή από τη δοκιμή *Le Chatelier*.

Αυτές οι δοκιμές επιταχυνόμενου χαρακτήρα, δεν προσομοιάζουν τις πραγματικές συνθήκες στις οποίες θα βρεθεί μια κατασκευή από σκυρόδεμα και επομένως παρέχουν μόνο ενδείξεις ως προς την πραγματική συμπεριφορά του τσιμέντου. Εν τούτοις, είναι πολύ χρήσιμες για τον έλεγχο της ποιότητάς του και των συνθηκών παραγωγής του.

Κατά τον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντου EN 197-1, απαιτείται η περιεκτικότητα του τσιμέντου σε μαγνησία ( $\text{MgO}$ ) να μην υπερβαίνει το 6% και σε τριοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_3$ ) το 3,5%, εκτός αν η ειδική επικράνεια είναι μεγαλύτερη από 4000  $\text{cm}^2/\text{gr}$ , οπότε επιτρέπεται το τριοξείδιο του θείου να φτάνει μέχρι το 4%. [3], [6]

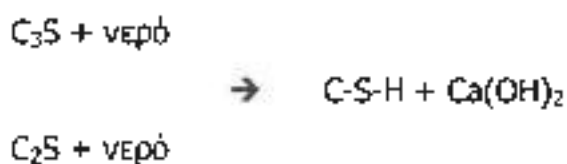
### 3.1.9. Ενωδάτωση τσιμέντου

Τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό ύστερα από μια σειρά περίπλοκων χημικών αντιδράσεων, η ακριβής φύση των οποίων αποτελεί ακόμη αντικείμενο έρευνας. Οι αντιδράσεις αυτές, που αρχίζουν αμέσως μετά την ανάμιξη του νερού με το τσιμέντο και συνεχίζονται ομαλά για χρόνια, έχουν σαν αποτέλεσμα την σκλήρυνση του τσιμέντοπολτού και τη μετατροπή του σε στερεό σώμα με σημαντική αντοχή σε θλίψη. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ενωδάτωση του τσιμέντου και τα παραγόμενα στερεά σώματα των αντιδράσεων, που συνήθως είναι άμορφα σώματα καλλοειδών διαστάσεων, ονομάζονται προϊόντα ενωδάτωσης ή πήγμα (gel).

Συγκεκριμένα, η ενυδάτωση του τσιμέντου αρχίζει από την επιφάνεια των κόκκων που έρχονται σε επαφή με το νερό και προχωρεί προς το εσωτερικό του κόκκου με ταχύτητα επιβραδυνόμενη, διότι τα προϊόντα της ενυδάτωσης εμποδίζουν τη διείσδυση του νερού. Στα πρώτα κυρίως στάδια της ενυδάτωσης, το νερό υδρολύει τα συστατικά του τσιμέντου, παράγοντας ιόντα στα διάλυμα, τα οποία, κατάλληλα συνδυαζόμενα, σχηματίζουν τα στερεά προϊόντα. Στα επόμενα στάδια της ενυδάτωσης λαμβάνουν χώρα και οι αντιδράσεις στερεάς κατάστασης ή τοποχημικές. Αυτές οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται στην επιφάνεια του στερεού κόκκου του τσιμέντου, χωρίς τα συστατικά του να γίνουν πρώτα διάλυμα. Ως προς την ταχύτητα, οι αντιδράσεις διέπονται από τους νόμους της διάχυσης του νερού προς το εσωτερικό του ανυδατώτου κόκκου μέσα από τα προϊόντα ενυδάτωσης που τον περιβάλλουν. Η ενυδάτωση επομένως, μπορεί να συνεχιστεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, αρκεί να υπάρχει στο μίγμα η απαιτούμενη ποσότητα νερού. [3], [7]

Οι βασικές αντιδράσεις ενυδάτωσης του τσιμέντου, της οποίας τη βαθμιαία εξέλιξη δεν μπορούμε να παρακολουθήσουμε απευθείας, αλλά γνωρίζουμε μόνο την αρχική και τελική της μορφή, είναι οι εξής:

- **Ενυδάτωση ασβεστοπυριτικής φάσης  $C_3S$ ,  $C_2S$**



Με την ενυδάτωση του πυριτικού διασβεστίου και τριασβεστίου παράγεται το ασβεστοπυριτικό πήγμα (gel), σύμφωνα με την παραπάνω αντίδραση. Οι ενώσεις C-S-H είναι οι ένυδρες πυριτικές ενώσεις του ασβεστίου, οι οποίες επηρεάζουν καθοριστικά την συμπεριφορά του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού, και επομένως και του σκυροδέματος στην επίδραση των φορτίων, στην επίδραση των μεταβολών της περιεχόμενης υγρασίας και στην διαπερατότητα. Η δομή των ενώσεων αυτών δεν είναι ακόμη πλήρως καθορισμένη, κυρίως διότι οι διαστάσεις των στερεών είναι κολλοειδούς μεγέθους, η σύνθεση δεν είναι σταθερή και δεν έχουν σαφή κρυσταλλική δομή, αλλά περισσότερο άμορφη. Στην ενυδάτωση της ασβεστοπυριτικής φάσης, η δέσμευση του νερού ανέρχεται σε 24% και 21% του βάρους των συστατικών. [3], [7]

- **Ενυδάτωση αργιλικού τριασβεστίου  $C_3A$**

Το αργιλικό τριασβέστιο χωρίς την παρουσία γύψου, θα αντιδράσει αμέσως δημιουργώντας μεγάλο αριθμό προϊόντων ενυδάτωσης, που προκαλούν πήξη σε λίγα λεπτά. Όταν όμως υπάρχει γύψος, λαμβάνει χώρα η παρακάτω αντίδραση:

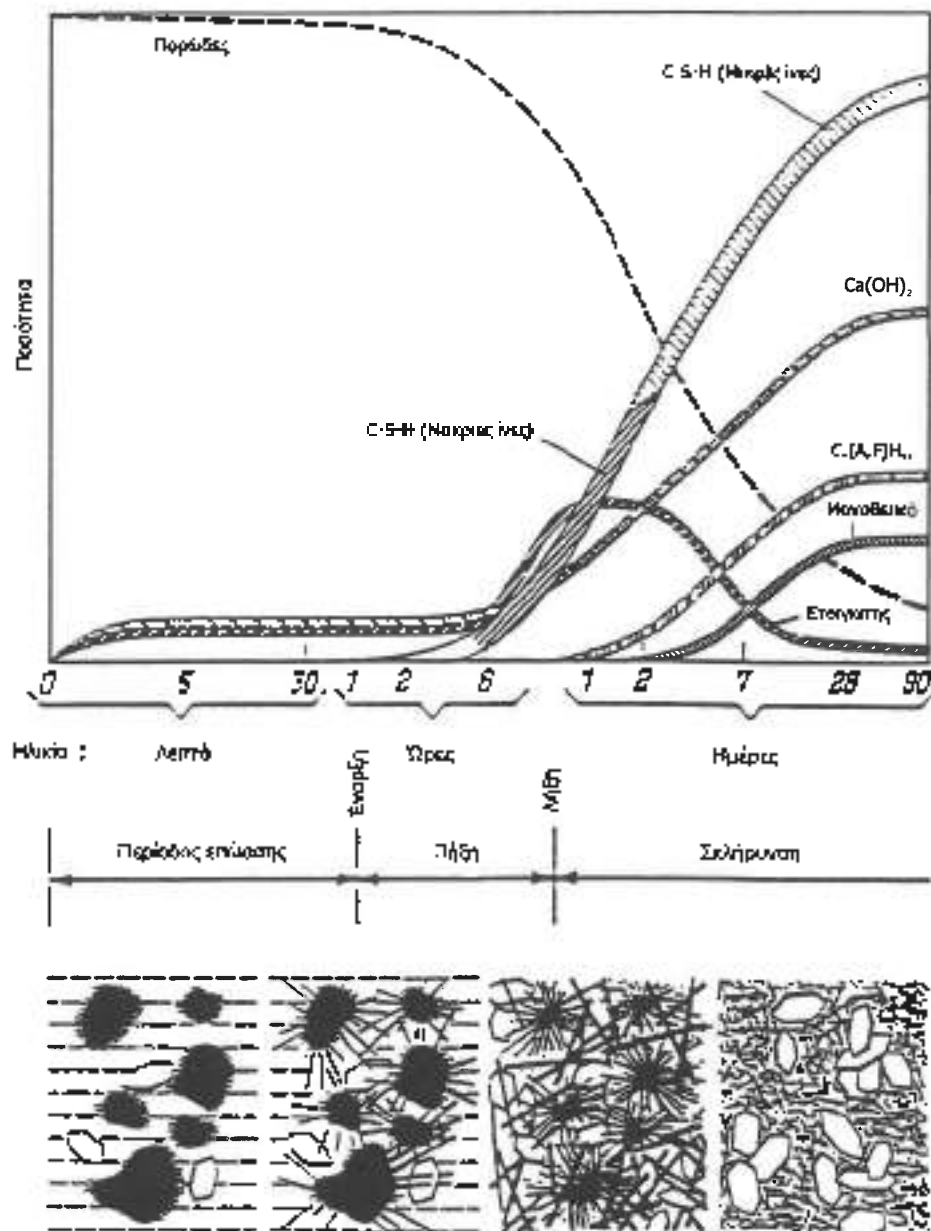


Ο ετρίγκιτης έχει τη μορφή βελανοειδών κρυστάλλων, καλύπτει την επιφάνεια του αργιλικού τριασβεστίου  $C_3A$  και επιβραδύνει την ενυδάτωσή του, επομένως και την πήξη του τσιμέντου. Έτσι, με προσθήκη κατάλληλης ποσότητας γύψου, η ταχύτητα πήξης ελέγχεται.

Η δέσμευση του νερού στην ενυδάτωση του αργιλικού τριασβεστίου ανέρχεται σε 40% του βάρους του  $C_3A$ . [3], [7]

- **Ενυδάτωση του σιδηροαργιλικού τετρασβεστίου  $C_4AF$**

Το σιδηροαργιλικό τετρασβέστιο  $C_4AF$  αντιδρά σε γενικές γραμμές όπως το αργιλικό τριασβέστιο με πολύ μικρότερο, όμως, ρυθμό και δεν φαίνεται να δεσμεύει σημαντικές ποσότητες γύψου. Τελικά, το σιδηροαργιλικό τετρασβέστιο μετατρέπεται σε ένυδρο αργιλικό τριασβέστιο και σε μια άμορφη φάση  $CaFe_2O_3$ .

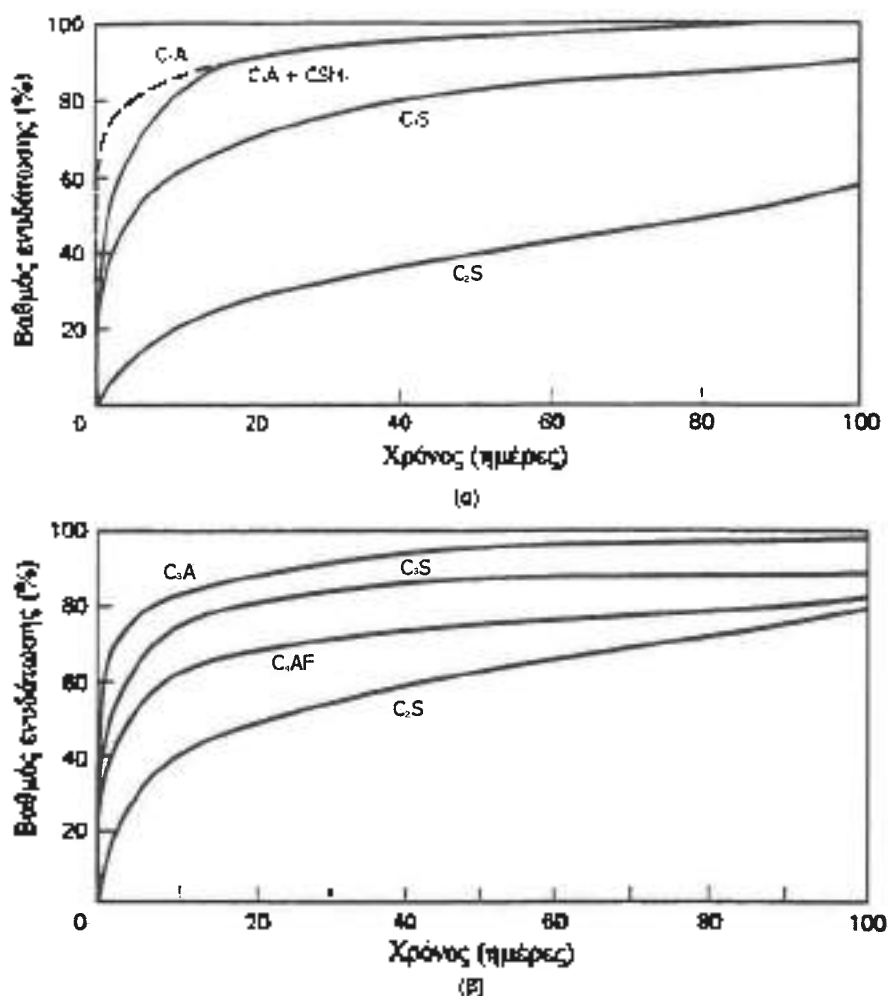


**Σχήμα 1-3:** Σχηματική παρουσίαση της διαδικασίας ενυδάτωσης του τσιμεντοπολτού. (Locher and Richard). [3]

Έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι τα τσιμέντα με περιορισμένο ποσοστό αργιλικού τριασβεστίου  $C_3A$ , αλλά αυξημένο ποσοστό σιδηροαργιλικού τετρασβεστίου  $C_4AF$ , είναι ανθεκτικά στην επίδραση θεικών, αλλά ο μηχανισμός και οι αιτίες δεν είναι τελείως γνωστές [3], [7]

### 3.1.9.1. Ταχύτητα ενυδάτωσης τσιμέντου

Στα σχήματα 1-4(α) και (β), παρουσιάζονται οι ταχύτητες ενυδάτωσης των κύριων συστατικών του τσιμέντου, σε καθαρή και μη καθαρή κατάσταση αντίστοιχα. Είναι φανερό ότι τη μικρότερη ταχύτητα παρουσιάζει το πυριτικό διασβέστιο  $C_2S$ , η οποία μάλιστα είναι ακόμη μικρότερη όταν το συστατικό βρίσκεται σε "καθαρή κατάσταση", ενώ τη μεγαλύτερη το οργιλικό τριασβέστιο  $C_3A$ , του οποίου η ταχύτητα μειώνεται αρχικά με την προσθήκη γύψου, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-4(α) (πλήρης γραμμή).

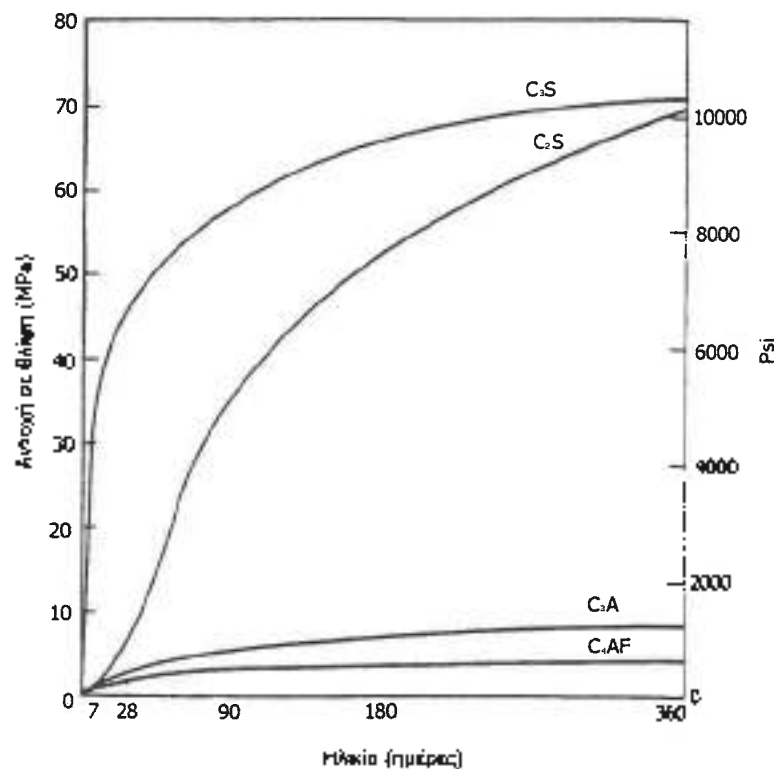


**Σχήμα 1-4:** Ταχύτητα ενυδάτωσης (α) καθαρών και (β) μη καθαρών συστατικών τσιμέντων. [3]

Επίσης, οι ταχύτητες ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου επηρεάζονται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, καθώς υψηλή θερμοκρασία προκαλεί επιτάχυνση των αντιδράσεων γενικώς, αλλά και από τη λεπτότητα του τσιμέντου, αφού

όσα λεπτότεροι είναι οι κόκκοι του τσιμέντου τόσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια των κόκκων που έρχεται σε επαφή με το νερό.

Ωστόσο, οι ταχύτητες ενυδάτωσης δεν έχουν άμεση σχέση με την τελική αντοχή που προσδίδει στο τσιμέντο κάθε καθαρά συστατικό, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-5. Έτσι, παρατηρούμε ότι τη μεγαλύτερη συμβολή σε πρώιμη αντοχή έχει το πυριτικό τριασβεστίο  $C_3S$ , ενώ στην τελική αντοχή η συμβολή του πυριτικού διασβεστίου  $C_2S$  δε διαφέρει σημαντικά από τη συμβολή του  $C_3S$ . [3], [4]

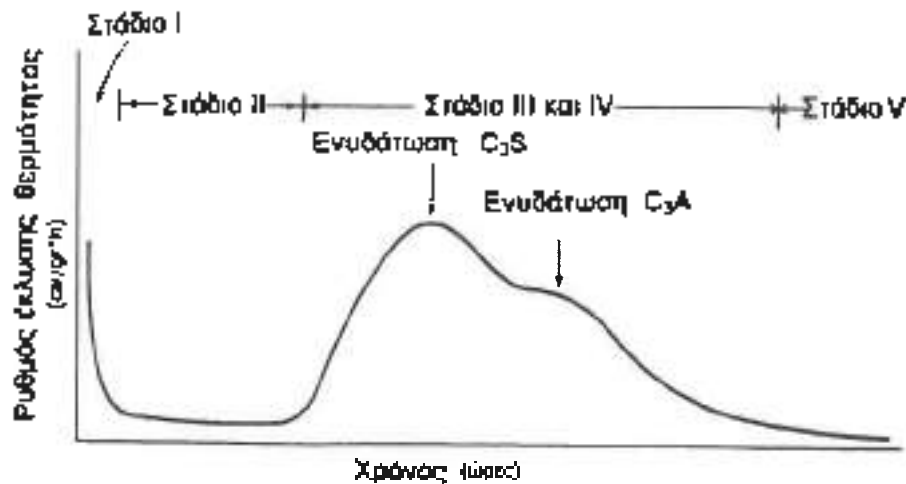


**Σχήμα 1-5:** Αύξηση της αντοχής των καθαρών συστατικών του τσιμέντου με το χρόνο. [3]

### 3.1.9.2. Θερμότητα ενυδάτωσης τσιμέντου

Η αντίδραση του τσιμέντου με το νερό είναι εξώθερμη και η ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται αναμάζεται θερμότητα ενυδάτωσης μετρούμενη σε joules/gr ή cal/gr ανυδάτωτου τσιμέντου. Από τα τέσσερα κύρια συστατικά του τσιμέντου, η μεγαλύτερη θερμότητα εκλύεται κατά την ενυδάτωση του αργλικού τριασβεστίου  $C_3A$ , του οποίου η ποσότητα περιορίζεται για την ελάττωση της θερμότητας, όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο για την κατασκευή. Συγκεκριμένα, κατάλληλη σύνθεση τσιμέντου για ελεγχόμενη έκλυση θερμότητας, απαιτείται σε σγκώδη έργα όπου η θερμότητα

ενυδάτωσης γίνεται αισθητή, αλλά και σε περιπτώσεις σκυροδέτησης σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, όπου εκμεταλλευόμαστε την εκλυόμενη θερμότητα για την προστασία της κατασκευής από τον παγετό. [3]



**Σχήμα 1-6:** Ρυθμοί ανάπτυξης θερμότητας κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου. [3]

### 3.1.10. Χρήση τσιμεντών στην Ελλάδα

Τα τσιμέντα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα σήμερα είναι ο τύπος Π/35 σε σακιασμένο τσιμέντο ή χύμα, το λεγόμενο κοινό, και το τσιμέντο τύπου Ι/45 και Ι/55, μόνα χύδην διακινούμενα με σιλοφόρα τσιμέντου από το εργοστάσιο τσιμεντών στα σιλό των εργοστασίων παραγωγής σκυροδέματος. Το συνήθως χρησιμοποιούμενο τσιμέντο, από βιομηχανίες έτοιμου σκυροδέματος, είναι το Ι/45 στην Αθήνα, ενώ στην επαρχία χρησιμοποιείται ακόμη το χύμα τσιμέντο ΙΙ/35. Συγκριτικά, απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου ΙΙ/35 για να επιτευχθεί η αντοχή του σκυροδέματος που περιέχει τσιμέντο Ι/45.

Τα τσιμέντα που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά, σε ποσοστό 98% της όλης παραγωγής, είναι τα ακόλουθα:

- **Τύπος Ι/45:** η εμπορική του ονομασία είναι Υψηλής Αντοχής. Παρουσιάζει γρήγορη ανάπτυξη αντοχών και είναι κατάλληλο για την κατασκευή σκυροδεμάτων υψηλών κατηγοριών αντοχών και στοιχείων που απαιτούν γρήγορο ξεκαλούπωμα.

- **Τύπος I/35:** η εμπορική του ονομασία είναι καθαρό K35. Οι ιδιότητες και οι χρήσεις του είναι ανάλογες με τον τύπο τσιμέντου I/45, με επιδόσεις σχετικά μετριότερες.

- **Τύπος II/35:** στην αγορά είναι γνωστό με την ονομασία Κοινό Τσιμέντο. Χρησιμοποιείται για τα σκυροδέματα των συνήθων κατασκευών και παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κατανάλωση. Η ανάπτυξη των αντοχών του είναι βραδύτερη συγκριτικά με τους προηγούμενους τύπους, αλλά λόγω της παρουσίας των ποζολάνων αυξάνονται μακροχρόνια οι αντοχές του σκυροδέματος και παρουσιάζει σχετική ανθεκτικότητα στα θειικά. Έχει σχετικά χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης, χαμηλή υδατοπερατότητα και είναι κατάλληλο για χρήση σε λιμενικά έργα.

Άλλοι τύποι τσιμέντου, που παρέχονται σε ειδικές κατασκευές, είναι:

- **Τύπος II/45:** χρησιμοποιείται κυρίως για έργα της ΔΕΗ, φράγματα και σήραγγες. Παρουσιάζει σχετική ανθεκτικότητα στα θειικά, έχει μέτρια θερμότητα ενυδάτωσης και είναι κατάλληλο για λιμενικά έργα.

- **Τύπος III/45:** παρουσιάζει χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης και είναι κατάλληλο για ογκώδεις κατασκευές σκυροδέματος, όπως υδροφράγματα.

- **Τύπος IV:** Το σκυρόδεμα με τσιμεντοπολτό αυτού του τύπου παρουσιάζει ισχυρή αντίσταση στις προσβολές από θειικά άλατα και το θαλασσινό νερό.

- **Λευκό τσιμέντο:** έχει επιδόσεις και ιδιότητες αντίστοιχες με αυτές του τύπου I/45 και χρησιμοποιείται στην πλακοποιία, στην κατασκευή διακοσμητικών στοιχείων, ανεπίχρηστου αρχιτεκτονικού σκυροδέματος, μωσαϊκών κ.λ.π.

- **Τσιμέντο OIL WELL:** ειδικό τσιμέντο για τις γεωτρήσεις πετρελαίου. Πρέπει να ικανοποιεί πολύ αυστηρές προδιαγραφές σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. [4]

### 3.2. ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

Το νερό είναι ένα από τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Μαζί με το τσιμέντο παίρνει μέρος σε σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν, με τη δημιουργία ένυδρων ενώσεων του Ca και Al, στην πήξη και σκλήρυνση του μίγματος.

Το νερό που υπάρχει στον σκληρυμένο τσιμεντοποιοτό διακρίνεται σε:

- Νερό των τριχοειδών πόρων, που υπακούει στους νόμους των τριχοειδών.
- Νερό φυσικά προσροφημένο στις επιφάνειες των στερεών ή στις επιφάνειες των μικροπόρων. Λόγω των ισχυρών επιφανειακών τάσεων, το νερό αυτό δε συμπεριφέρεται όπως το ελεύθερο νερό, δηλαδή δε μπορεί να δημιουργήσει μηνίσκους (δεν ακολουθεί τους νόμους των τριχοειδών πόρων).
- Νερό στα διαστήματα μεταξύ των στερεών του C-S-H. Το νερό αυτό, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, δεν ακολουθεί τους νόμους των τριχοειδών και επιπλέον οι ισχυροί δεσμοί του με τις επιφάνειες δεν του επιτρέπουν μεγάλη κινητικότητα.
- Νερό χημικά δεσμευμένο.

Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή του σκυροδέματος δεν πρέπει να περιέχει επιβλαβή συστατικά που μπορούν να επηρεάσουν την ενυδάτωση. Οι διάφοροι κανονισμοί διαφέρουν πάρα πολύ μεταξύ τους ως προς την εκτίμηση και αξιολόγηση του νερού, καθώς και ως προς τις απαιτήσεις που θέτουν. Αυτό συμβαίνει, γιατί η δράση των διαφόρων ουσιών μεταβάλλεται ανάλογα με την ποιότητα του τσιμέντου, τη σύγχρονη παρουσία και άλλων στοιχείων, καθώς και ανάλογα με τη χημική σύνθεση αυτών μέσα στο νερό. Όμως, το μέγεθος της βλαπτικότητας εξαρτάται και από την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε ασβέστιο, Ca. Έτσι, η ίδια ποσότητα οργανικής ένωσης μπορεί να έχει διαφορετικά αποτελέσματα, ανάλογα με τη χημική σύνθεση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του σκυροδέματος. [4]

Για το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος μπορούμε γενικά να είμαστε περισσότερο ανεκτικοί, παρά για το νερό που δρα εξωτερικά και

μόνιμα. Και αυτό, γιατί η ποσασπιαία αναλογία του νερού ανάμιξης, και συνεπώς και κάθε ξένης ουσίας μέσα σε αυτό, είναι μικρή. Εξάλλου, οι ουσίες αυτές δρουν ώσπου να εξαντληθούν. Στην περίπτωση όμως εξωτερικού νερού, όπως το θαλάσσιο ή το νερό των αποχετεύσεων, η δράση τους είναι μόνιμη και η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών ανεξάντλητη.

Οι κυριότερες από τις χημικές ουσίες που έχουν δυσμενή επίδραση στην εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων, με αποτέλεσμα, είτε την μείωση της τελικής αντοχής, είτε την καθυστέρηση της πήξης, είναι οι ακόλουθες:

- **Η ζάχαρη:** αν και ο τρόπος που δρα η ζάχαρη στο σκυρόδεμα δεν είναι απόλυτα γνωστός, θεωρείται μία από τις πιο επιβλαβείς ουσίες, γιατί ανακόπτει τελείως τη χημική αντίδραση ανάμεσα στο τσιμέντο και τα νερά και επομένως εμποδίζει την πήξη του σκυροδέματος. Το επιτρεπτό όριο ζάχαρης, σύμφωνα με μετρήσεις που έχουν γίνει, είναι 0,25% κ.β. τσιμέντου, ενώ σύμφωνα με κάποιες άλλες 0,1%. Σε οποιαδήποτε περίπτωση τα επιτρεπτά όρια είναι πολύ χαμηλά, οπότε είναι προτιμότερο να μην υπάρχει καθόλου στο μίγμα.

- **Τα οξέα:** η παρουσία ανθρακικού οξέος ή άλλων οργανικών οξέων είναι επιβλαβής, γιατί δεσμεύουν το ασβέστιο που είναι απαραίτητο για την πήξη. Επικίνδυνο νερό για το τσιμέντο θεωρείται εκείνο που έχει  $pH < 6$ .

- **Τα έλαια και λίπη:** δρουν μηχανικά περιβάλλοντας τους κόκκους του τσιμέντου και παρεμποδίζοντας με αυτόν τον τρόπο την επαφή τους με τα μόρια του νερού.

- **Οι οργανικές ουσίες:** επηρεάζουν ανασταλτικά την πήξη του σκυροδέματος.

Για την παρασκευή σκυροδέματος καταλληλότερο θεωρείται το πόσιμο νερό, αφού διάφορα πειράματα που έγιναν, έδειξαν ότι το σκυρόδεμα με πόσιμο νερό εμφανίζει μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό από το σκυρόδεμα που παρασκευάστηκε με απεσταγμένο ή θαλασσινό νερό. Το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 345 «Υδωρ

ανάμιξης και συντήρησης σκυροδέματος», αναφέρει αναλυτικά τις απαιτήσεις σε νερό στις περιπτώσεις άοπλου, οπλισμένου και προεντεταμένου σκυροδέματος. [4]

### 3.3. ΑΔΡΑΝΗ

Η ονομασία των αδρανών υλικών οφείλεται στο γεγονός ότι παραμένουν χημικά αδρανή, σε αντίθεση με το τσιμέντο και το νερό, τα οποία δημιουργούν το τσιμεντοπολτό και χρησιμεύουν ως συνδετική ύλη των αδρανών. Τα αδρανή συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους και συμβάλλουν, μηχανικά μόνο, στην αντοχή του σκυροδέματος.

Για αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν θεωρητικά οποιαδήποτε υλικά συγκεντρώνουν τις τρεις βασικές απαιτήσεις: επαρκή αντοχή, πρόσφυση καθώς και χημική ανεκτικότητα με την τσιμεντοκανία. Κατά κανόνα, ως αδρανή υλικά για την παρασκευή κοινού τύπου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται συντρίμματα διαφόρων πετρωμάτων. Τα πετρώματα είτε θραύονται τεχνητά (θραυστά), είτε συλλέγονται όπως βρίσκονται στη φύση (συλλεκτά). Τα καταλληλότερα πετρώματα είναι τα ασβεστολιθικά και τα πυριτικά. Αδρανή διαφορετικής προέλευσης χρησιμοποιούνται για ειδικά σκυροδέματα, όπως τα ελαφρά ή τα βαριά σκυροδέματα. [4]

#### 3.3.1. Κατηγορίες αδρανών

Τα αδρανή ανάλογα με την προέλευση και το μέγεθός τους διακρίνονται σε:

- **Αδρανή από φυσικά πετρώματα**

- Φυσικά ή συλλεκτά αδρανή, που αποτελούνται από φυσικούς λίθινους κόκκους.
- Θραυστά αδρανή που αποτελούνται από κόκκους που προκύπτουν από τη θραύση όγκων πετρώματος ή τη θραύση φυσικών αδρανών.

Τα φυσικά αδρανή ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους διακρίνονται σε: άμμο (0-5mm), γαρμπίλι (6-12mm) και χαλίκι (12-25mm).

- **Τεχνητά αδρανή**

- Θραυστά και εύφλεκτα αδρανή που κατασκευάζονται τεχνητά, όπως σκωρίες υψικαμίνων, ρνίσματα σιδήρου, ίνες αμιάντου, διογκωμένη άργιλος κ.ά. [4]

### **3.3.2. Ιδιότητες αδρανών**

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι: η αντοχή τους, η οποία εξαρτάται από την αντοχή του μητρικού πετρώματος, η καθαρότητά τους, δηλαδή η ύπαρξη ή όχι πρόσμικτων ουσιών, η πρόσφυση με την τσιμέντοκονία, η χημική συμπεριφορά τους με τα άλλα συστατικά του σκυροδέματος ή με ουσίες που μπορεί να διεισδύσουν στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια ζωής του, το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων κ.ά. [4]

#### **3.3.2.1. Αντοχή αδρανών**

Για την παρασκευή του κοινού σκυροδέματος, στο οποίο η μηχανική αντοχή είναι το κυριότερο χαρακτηριστικό, σημασία έχει η αντοχή σε θλίψη του μητρικού πετρώματος. Σύμφωνα με το Γερμανικό Κανονισμό DIN 4226 για να χρησιμοποιηθεί ένα πέτρωμα ως αδρανές υλικό για το σκυρόδεμα πρέπει να έχει αντοχή τουλάχιστον 60 MPa, ενώ σύμφωνα με την Προδιαγραφή ΕΛΟΤ 408 πρέπει να υπερβαίνει τα 65 MPa.

Επίσης, το πέτρωμα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κομμούς και να μην αποσθρώνεται από την επίδραση των καιρικών συνθηκών. Οι ιδιότητες αυτές χαρακτηρίζονται με τον όρο "υγεία του πετρώματος". Επομένως, από άποψη αντοχής για την παραγωγή αδρανών, ακατάλληλα θεωρούνται τα αποσθρωμένα, αποσχιζόμενα, αργιλικά και μαλακά πέτρωμα.

Τέλος, πρέπει το πέτρωμα να διαθέτει αντοχή σε επιφανειακή φθορά, δηλαδή αντοχή σε επιφανειακή τριβή και επιφανειακές κρούσεις. Ο έλεγχος γίνεται με τη συσκευή *Los Angeles* κατά τις Αμερικανικές Προδιαγραφές ASTM C535 και C131 και η φθορά πρέπει να είναι μικρότερη από 40%. [4]

### 3.3.2.2. Καθαρότητα αδρανών

Με τον όρο “καθαρότητα των αδρανών” εννοούμε, ότι τα αδρανή δεν πρέπει να έχουν πάνω στην επιφάνειά τους, μέσα στη μάζα τους ή αναμεταξύ των κόκκων τους ξένες ουσίες που μπορεί να εμποδίσουν την πρόσφυση με το κονίαμα ή να έχουν επιβλαβή χημική επίδραση στο τσιμέντο ή στο χάλυβα, εάν πρόκειται για οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα κυριότερα από τα επιβλαβή αυτά πρόσμικτα υλικά είναι:

- **Παιπάλη**

Ως παιπάλη χαρακτηρίζεται το λεπτότερο τμήμα του υλικού που περνάει από το Αμερικανικό πρότυπο κόσκινο Νο200 (75μm) και προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ-305.

Η παιπάλη μπορεί να είναι πηλός ή άργιλος ή σκόνη από το ίδιο πέτρωμα. Ιδιαίτερη όμως σημασία έχει η κατανομή της παιπάλης μέσα στα αδρανή. Υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις:

- να είναι κολλημένη επάνω στην επιφάνεια των χονδρότερων κόκκων, εμποδίζοντας με αυτόν τον τρόπο την πρόσφυση μεταξύ κόκκων και κονιάματος.
- να σχηματίζει μικρούς σβόλους και να δημιουργεί αδύνατα σημεία μέσα στη μάζα του σκυροδέματος.
- να είναι διασκορπισμένη ομοιόμορφα ανάμεσα στους κόκκους των αδρανών, με αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής, συγχρόνως όμως συντελεί κατά κάποιο βαθμό στην αύξηση της πυκνότητας και της πλαστικότητας του μίγματος.

Κατά τον Ελληνικό Κανονισμό, η παιπάλη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% κ.β. της άμμου και το 1% κ.β. των χονδρότερων κλασμάτων (ρυζάκι, γαρμπίλι, σκύρα). Η παιπάλη απομακρύνεται με το πλύσιμο των αδρανών με νερό. Οι νέοι Γερμανικοί Κανονισμοί DIN 1045 καθορίζουν τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού στο οποίο συμπεριλαμβάνεται και το τσιμέντο.

| Μέγιστος κόκκος αδρανών<br>mm | Ποσότητα λεπτόκοκκου<br>υλικού σε 1m <sup>3</sup> σκυροδέματος<br>(παιπάλη+τσιμέντο) kg |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 8                             | 525                                                                                     |
| 16                            | 450                                                                                     |
| 32                            | 400                                                                                     |
| 63                            | 325                                                                                     |

**Πίνακας 1-5:** Μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού σε 1 m<sup>3</sup> σκυροδέματος κατά DIN 1045. [4]

- **Οργανικές προσμίξεις**

Στις οργανικές προσμίξεις περιλαμβάνονται υλικά οργανικής προέλευσης, γακάνθρακες και λιγνίτες. Τα οργανικά προϊόντα μπορεί να έχουν επίδραση στην πήξη της κονίας ή να δημιουργήσουν ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις (σκασίματα) στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η επίδρασή τους στην πήξη είναι μάλλον επιβραδυντική.

Την ύπαρξη οργανικών ουσιών ελέγχουμε με τις Αμερικανικές Προδιαγραφές ASTM C33 και C87.

- **Θειούχες ενώσεις**

Οι θειούχες ενώσεις μεταξύ των αδρανών έχουν δυσμενή επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος. Σε μεγαλύτερη ποσότητα ή όταν είναι συγκεντρωμένες σε ορισμένα σημεία, μπορούν να προκαλέσουν τοπικές ρηγματώσεις από την τοπική διόγκωση του σκυροδέματος που προκαλούν.

Τα αποτελέσματα των θειούχων ενώσεων εξαρτώνται από τον τύπο τους και είναι περισσότερο έντονα, όταν οι θειούχες αυτές ενώσεις είναι διαλυτές στο νερό. Σημασία επίσης έχει και η δυνατότητα ή όχι του να διεισδύσει μέσα στη μάζα του σκυροδέματος αέρας ή υγρασία.

Οι Γερμανικοί Κανονισμοί ορίζουν ως μέγιστο ανεκτό όριο των θειούχων ενώσεων, μετρούμενο σε SO<sub>3</sub>, το 1% του βάρους των στεγνών αδρανών.

Πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι, η δράση των θειούχων ενώσεων γίνεται με το τσιμέντο και επομένως η ίδια ποσότητα  $SO_3$  μπορεί να έχει διαφορετικό αποτέλεσμα, ανάλογα με την ποσότητα του τσιμέντου στο σκυρόδεμα. [4]

### 3.3.2.3. Κακκομετρική σύνθεση

Οι κόκκοι των αδρανών υλικών στηρίζονται ο ένας πάνω στον άλλον, αλλά λόγω του ακανόνιστου πολυγωνικού σχήματός τους, δεν εφάπτονται απόλυτα μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να αφήνουν κενά. Τα κενά αυτά τα γεμίζει το κονίαμα που συνδέει μ' αυτόν τον τρόπο τους κόκκους σε ένα συμπαγές υλικό. Είναι επομένως φανερό ότι η ποσότητα του κονιάματος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τα μεταξύ των κόκκων κενά. Επειδή, από την άλλη μεριά, το κονίαμα είναι κατά κανόνα περισσότερο πορώδες και λιγότερο ανθεκτικό από το πέτρωμα των αδρανών, όσο λιγότερα είναι τα παραπάνω κενά τόσο μεγαλώνει η αντοχή και η πυκνότητα του σκυροδέματος.

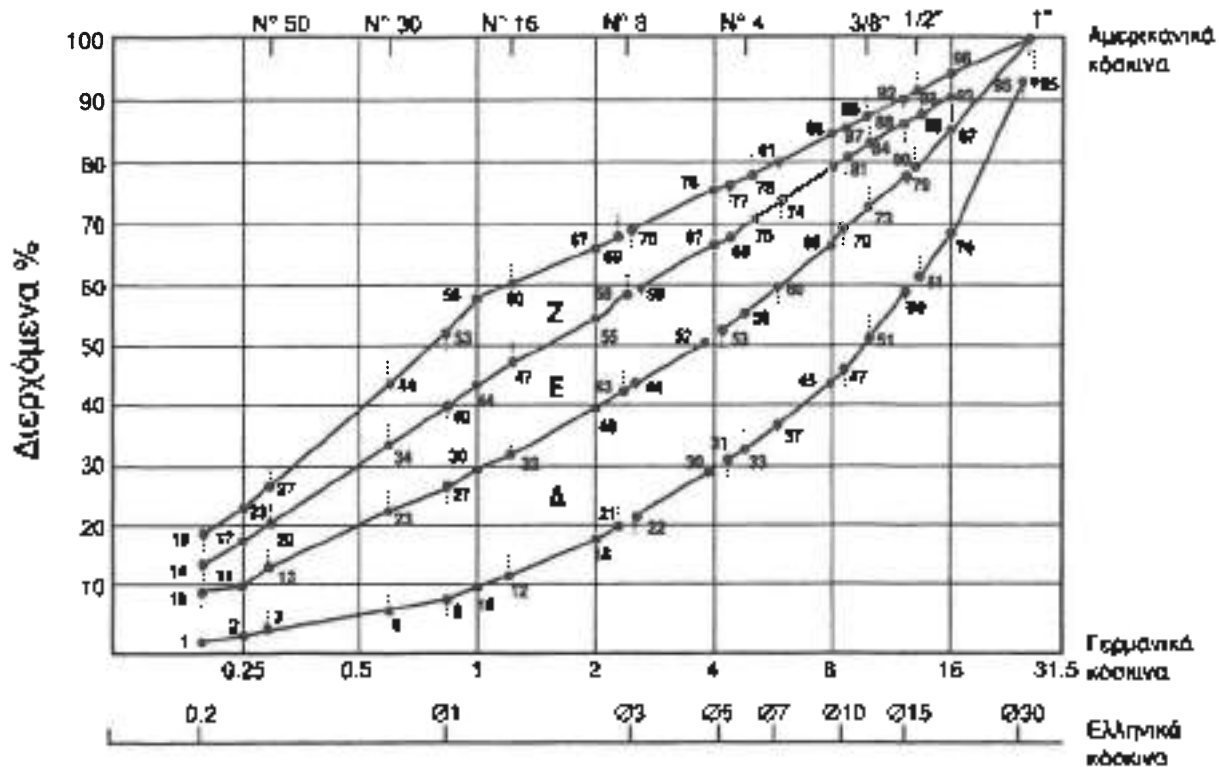
Ακριβέστερη εικόνα για τη γεωμετρική ποιότητα των αδρανών δίνει η κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση αυτών, δηλαδή ο διαχωρισμός και η κατάταξη των κόκκων σε ομάδες από άποψη μεγέθους. Το μέγεθος των κόκκων προσδιορίζεται με πρότυπα κόσκινα που έχουν προκαθορισμένες διαμέτρους οπών. Οι κόκκοι που περνούν από το κόσκινο με διάμετρο οπών π.χ. 7 mm και δεν περνούν από το κόσκινο με διάμετρο οπών 3 mm, λέμε ότι έχουν διάμετρο μεταξύ των 3 και 7 mm. Η έννοια της διαμέτρου χρησιμοποιείται κατ' επέκταση της αντίστοιχης έννοιας του κύκλου, χωρίς όμως να μπορεί να προσδιοριστεί γεωμετρικά. Το μέγεθός της βρίσκεται ανάμεσα στη μεγαλύτερη και τη μικρότερη διάσταση του κόκκου. Τα κόσκινα που κυρίως χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι τα κόσκινα των Γερμανικών και Αμερικανικών Κανονισμών.

Με βάση τις συμβατικές διαμέτρους των κόκκων, προσδιορίζεται η κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση ενός μίγματος κόκκων, ως η ποσοστιαία αναλογία κατ' όγκο κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων του υλικού. Λέμε ότι το ποσοστό κάθε ομάδας θεωρείται κατ' όγκο, επειδή, όπως είδαμε στην αρχή, ο σημασία στη μεταξύ τους διάταξη έχει ο όγκος των κόκκων και κατ' αντιστοιχία τα κενά που αφήνουν μεταξύ τους. Είναι προφανές, πως όταν το ειδικό βάρος όλων των ομάδων κόκκων είναι το ίδιο (από το ίδιο το πέτρωμα), τότε η αναλογία των όγκων συμπίπτει με την κατά βάρος αναλογία. Γι'

αυτό και στην περίπτωση υλικού που προέρχεται από το ίδιο πέτρωμα, οι αναλογίες αυτές βρίσκονται με ζύγισμα του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο. Οι διαμέτροι σημειώνονται στον οριζόντιο άξονα, είτε σε αλή ή σε λογαριθμική ή παρόμοια κλίμακα, κατά τρόπο που να δημιουργείται ανάπτυξη της περιοχής των μικρών διαμέτρων. Κάθε κοκκομετρική σύνθεση παριστάνεται με μία πολυγωνική γραμμή, που λέγεται συνήθως κοκκομετρική καμπύλη, επειδή υποθέτουμε ότι το υλικό έχει συνεχή μεταβολή διαμέτρων και επομένως στην πραγματικότητα πρόκειται για καμπύλη της οποίας προσδιορίζουμε, με τα πρότυπα κόσκινα που διαλέγουμε, ορισμένα σημεία της. Η κλίση της καμπύλης, σε κάθε περιοχή, παριστάνει το κατ' όγκο ποσοστό του υλικού της περιοχής αυτής. [4]

Ενώ ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύνθεσης του υλικού και η χάραξη της αντίστοιχης καμπύλης δεν παρουσιάζουν καμία δυσκολία, πολύ δυσκολότερη είναι η εκτίμηση και η αξιολόγηση της καμπύλης αυτής και η εκλογή της καταλληλότερης, για κάθε περίπτωση, από άποψη ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Η θεμελιώδης άποψη είναι ότι οι κόκκοι πρέπει να διατάσσονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε ομάδα, από άποψη διαμέτρου, να εισχωρεί στη θέση των κενών που σχηματίζουν οι κόκκοι της αμέσως μεγαλύτερης ομάδας. Όταν αυτό συμβαίνει, τότε το τελικό μίγμα θα διαθέτει τα λιγότερα κενά και επομένως τη μεγαλύτερη πυκνότητα.

Είναι όμως φανερό ότι στα πρόβλημα του προσδιορισμού της καλύτερης καμπύλης εισέρχονται και πολλοί άλλοι παράγοντες, και το κριτήριο ακόμη για την ποιότητα του σκυροδέματος δεν είναι σταθερό, ώστε τελικά να μη μπορεί να δοθεί μαθηματική λύση. Οι Κανονισμοί, με βάση τα πειραματικά δεδομένα και την εμπειρία από τα ντόπια υλικά κάθε χώρας, καθορίζουν περιοχές μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται οι καμπύλες της κοκκομετρικής διαβάθμισης των υλικών, ανάλογα με τις επιδιωκόμενες ιδιότητες του σκυροδέματος. Η επιλογή ανάμεσα στις περιοχές αυτές της καταλληλότερης καμπύλης εναπόκειται στο μελετητή μηχανικό, που θα καθορίσει λεπτομερέστερα τις επιθυμητές ιδιότητες του υλικού, έχοντας υπόψη του τις απαιτήσεις του έργου και τις εργοταξιακές συνθήκες. [4]



**Σχήμα 1-7:** Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου Ø30 ή □ 31,5 ή 1". [4]

### 3.3.2.4. Μορφή των κόκκων

Οι κόκκοι των αδρανών δεν έχουν κανονική γεωμετρική μορφή, αλλά τυχαία. Χονδρικά μπορούμε να τους κατατάξουμε στις ακόλουθες κατηγορίες: στρογγυλούς, κυβοειδείς, γωνιώδεις, πλακοειδείς και επιμήκεις.

Το σχήμα ή η μορφή των κόκκων επηρεάζει, άσχετα από την επιρροή του μεγέθους, κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Επηρεάζει πρώτα-πρώτα το εργάσιμο με την εσωτερική τριβή τους. Από την άποψη αυτή η σφαιρική μορφή παρουσιάζει τη μικρότερη γωνία τριβής και επομένως το μεγαλύτερο εργάσιμο του υλικού. Όσο η μορφή των κόκκων απομακρύνεται από τη σφαιρική τόσο αυξάνεται η εσωτερική τριβή και ελαττώνεται η εργασιμότητα του υλικού. Συγχρόνως όμως, αυξάνεται και η ειδική επιφάνεια και επομένως αυξάνεται ακόμη περισσότερο η ανάγκη για νερό. Αντίθετα όμως, η αύξηση της πολυγωνικότητας των κόκκων βελτιώνει τη στήριξη των κόκκων μεταξύ τους, καθώς και την πρόσφυση με το κονίαμα (αύξηση της επιφάνειας επαφής). Κατά τον ίδιο τρόπο, οι κυβοειδείς και οι πλακοειδείς κόκκοι

συντελούν στη μηχανική αντοχή του σκυροδέματος, λόγω της καλύτερης έδρασης αυτών.

Οι παραπάνω ποιοτικές παρατηρήσεις, δύσκολα μπορούν να αναχθούν σε ποσοτική μέτρηση και αξιολόγηση. Η άποψη που επικρατεί είναι ότι, οι κόκκοι των αδρανών πρέπει να έχουν τη μορφή που πλησιάζει το σφαιρικό ή το κυβοειδές, αλλά με ανώμαλη, γωνιώδη και όχι λεία εξωτερική επιφάνεια.

Οι Κανονισμοί των διαφόρων χωρών, προσπαθώντας να περιγράψουν τις παραπάνω αντιλήψεις, θέτουν ορισμένους περιορισμούς για την επίτευξη ενός βέλτιστου μεταξύ εργάσιμου και αντοχής. Έτσι, π.χ. ο Γερμανικός Κανονισμός DIN 4226 ζητάει το ποσοστό των ακατάλληλων κόκκων να μην ξεπερνάει το 50% κ.β. της συνολικής ποσότητας των αδρανών. Χαρακτηρίζει ακατάλληλους τους κόκκους με σχέση της μεγαλύτερης (μήκος) προς τη μικρότερη διάσταση (πάχος), μεγαλύτερη από 3:1. Την ίδια απαίτηση υιοθετεί και το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 408. Ο έλεγχος των κόκκων διευκολύνεται με ειδικό παχύμετρο που προδιαγράφεται στο DIN 52114. [4]

### 3.4. ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Πρόσθετα είναι ανόργανες ή οργανικές χημικές ουσίες, σε στερεά ή υγρά μορφή, που προστίθενται στο σκυρόδεμα ή στο κονίαμα αμέσως πριν ή κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, σε πολύ μικρές ποσότητες και τροποποιούν τις ιδιότητές του τόσο σε νωπή όσο και σε σκληρυμένη κατάσταση.

Με χρήση κάποιου πρόσθετου μπορούμε να έχουμε π.χ. αύξηση της εργασιμότητας και της συνεκτικότητας, αύξηση ή μείωση της εξίδρωσης και της ικανότητας άντλησης, μείωση της θερμότητας ενυδάτωσης, ανάπτυξη πρώιμων μηχανικών αντοχών, μείωση της διαπερατότητας και αύξηση της ανθεκτικότητας σε παγοπληξία και άλλους διαβρωτικούς παράγοντες. [4]

Τα πρόσθετα ανάλογα με τον τρόπο που δρουν χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα υλικά εκείνα που δρουν κατά τρόπο χημικό ή φυσικοχημικό, ενώ η ποσότητά τους είναι τόσο μικρή, ώστε να μην επηρεάζει τη σύνθεση του σκυροδέματος.

• Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα υλικά εκείνα που, εκτός από την τυχόν χημική ή φυσικοχημική δράση τους, η ποσότητά τους είναι τέτοια, ώστε να πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η τροποποίηση της σύνθεσης του σκυροδέματος, που τα υλικά αυτά προκαλούν.

Τα πρόσθετα ανάλογα με τα αποτελέσματά τους κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- ρευστοποιητικά και υπερρευστοποιητικά
- επιβραδυντικά
- επιταχυντικά
- αερακτικά
- στεγανοποιητικά
- αντιπαγωτικά

Μπορούμε ακόμα να αναφέρουμε τα αεραπαγωγά, τα διογκωτικά, τα αντιδιαβρωτικά, τα δραστικά κατά των μικροβίων και μυκήτων και τα χρώματα, τα οποία είναι κατηγορίες προσθέτων που βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο.

Τέλος, στην κατηγορία των πρόσθετων ανήκουν και τα αεριοποιητικά και αφροποιητικά, που χρησιμοποιούνται κατά την παρασκευή των ελαφρών σκυροδεμάτων.

Εκτός όμως από την κύρια δράση κάθε πρόσθετου, βάσει της οποίας επηρεάζονται μία ή και δύο ιδιότητες του σκυροδέματος, η παρουσία του πρόσθετου επηρεάζει δευτερευόντως και άλλες ιδιότητές του άλλοτε ευμενώς και άλλοτε δυσμενώς. Γι' αυτό και κάθε πρόσθετο συνοδεύεται και από προδιαγραφή που καθορίζει τον τρόπο εφαρμογής και το χρόνο προσθήκης στο σκυρόδεμα, την κύρια δράση του, την επίπτωση από μεγαλύτερη δόση, εάν περιέχει χλωριούχα ή άλλες βλαπτικές ουσίες για το σκυρόδεμα και τον οπλισμό, συνθήκες φύλαξης-διατήρησης και άλλα που καθορίζουν την αποτελεσματικότητά του. [4]

Η αποτελεσματικότητα των πρόσθετων επηρεάζεται από:

- Τον τύπο του τσιμέντου, δηλαδή την παρουσία ιπτάμενων τερφών ή ποζολανών και αργιλικών τσιμέντων.

- Τα χαρακτηριστικά των αδρανών.
- Τις αναλογίες μίξης του σκυροδέματος.
- Τη σύγχρονη παρουσία άλλων πρόσθετων.
- Το χρόνο και το είδος ανάμιξης.
- Το χρόνο προσθήκης τους στο μίγμα.
- Τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Τις συνθήκες συντήρησης του σκυροδέματος.

Τα εμπόρια των πρόσθετων σκυροδέματος πρέπει να καλύπτεται από τις ειδικές προδιαγραφές και να ελέγχεται εάν:

- Ερπύττει στις διατάξεις των προδιαγραφών.
- Έχει το αναμενόμενο αποτέλεσμα στο σκυρόδεμα με τα υλικά, τις συνθήκες περιβάλλοντος και τις μεθόδους κατασκευής που υφίστανται το έργο, απαιτούνται δηλαδή τα δοκιμαστικά μίγματα.
- Διατηρεί την ομοιομορφία και την αποτελεσματικότητά του στο υλικό, σε όλη τη διάρκεια ζωής του έργου.
- Επηρεάζεται σημαντικά η αποτελεσματικότητά του από τυχόν μικροδιακυμάνσεις στη δοσολογία του. [4]

### 3.4.1. Ρευστοποιητικά και υπερρευστοποιητικά

Αυτή η κατηγορία προσθέτων περιέχει υλικά που προκαλούν αύξηση της ρευστότητας του μίγματος. Είναι τα πιο διαδεδομένα πρόσθετα και έχουν προσδώσει νέες δυνατότητες εφαρμογών στο σκυρόδεμα.

Τα πρόσθετα των κατηγοριών αυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή να αξιοποιηθούν με τρεις τρόπους στη σκυροδέτηση ενός μίγματος:

- Να μειωθεί ο λόγος νερού προς τσιμέντο  $N/T$ , χωρίς να μεταβληθεί η εργασιμότητα του μίγματος (πιπ κάθισης). Ειδικά οι ρευστοποιητές, έχουν την ικανότητα να ρευστοποιούν σε μεγάλο βαθμό το σκυρόδεμα ή επιτρέποντας μείωση του νερού ανάμιξης έως και 30%, να καθιστούν δυνατή τη σκυροδέτηση και διάσθρωση μιγμάτων με λόγο  $N/T=0,3$ . Τα σκυροδέματα αυτά είναι εξαιρετικά υψηλής αντοχής.
- Να διατηρηθεί η αρχική ποσότητα του νερού στο μίγμα σχεδιασμού, οπότε η προσθήκη του πρόσθετου αυξάνει την εργασιμότητα. Στην περίπτωση αυτή, η αντοχή του σκυροδέματος με πρόσθετα παραμένει της ίδιας τάξης με αυτή του σκυροδέματος χωρίς πρόσθετα.
- Να προστεθεί πρόσθετο και να διατηρηθεί ο ίδιος λόγος  $N/T$  με το μίγμα σχεδιασμού, αλλά να μειωθεί το ποσό του τσιμέντου. Έτσι, δε μεταβάλλεται η αντοχή του σκυροδέματος, αλλά προκύπτει σημαντική οικονομία στο τσιμέντο ή όπου επιζητείται μείωση της θερμότητας ενυδάτωσης.

Η χρήση των πρόσθετων αυτών, επιτρέπει την καλύτερη συμπίκνωση και γρήγορη διάσθρωση του σκυροδέματος. Σε περιπτώσεις πυκνά οπλισμένων στοιχείων, στην παραγωγή ρευστού σκυροδέματος για άντληση ή στην ανάπτυξη υψηλών πρώιμων αντοχών, όπως απαιτείται στο προκατασκευασμένο σκυρόδεμα, οι ρευστοποιητές δίνουν λύσεις με οικονομικό όφελος. [4]

### 3.4.2. Επιβραδυντικά

Ως επιβραδυντικά πρόσθετα χαρακτηρίζονται υλικά που επιβραδύνουν την εξέλιξη της ενυδάτωσης.

Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων πρόσθετων:

- οι επιβραδυντές, οι οποίοι επιτρέπουν μία μείωση του νερού από 0 έως και 3%, ενώ η μεταβολή στη θλιπτική αντοχή 28 ημερών κυμαίνεται  $\pm 10\%$ .
- οι μειωτές ύδατος-επιβραδυντές, που διαφέρουν κυρίως ως προς το ποσοστό μείωσης του νερού που επιτρέπουν και τη μεταβολή που επιφέρουν στην αντοχή. Επιτρέπουν μείωση του νερού από 0% έως και 5%, ενώ η μεταβολή στη θλιπτική αντοχή 28 ημερών κυμαίνεται από +10% έως και +15% σε σχέση πάντα με το πρότυπο μίγμα σκυροδέματος χωρίς πρόσθετα.

Τα επιβραδυντικά βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε σκυροδετήσεις σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, λόγω της οποίας μειώνεται ο χρόνος πήξης και στη μεταφορά έτοιμου σκυροδέματος, όπου λόγω των αναπόφευκτων καθυστερήσεων του αναμικτήρα απαιτείται επιβράδυνση του χρόνου πήξης του σκυροδέματος, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα κατέργασίας του μερικές ώρες μετά την προσθήκη του νερού. Επίσης, εφαρμόζονται επιτυχώς για την αποφυγή αρμών διακοπής εργασίας και μικρορηγματώσεων σε μεγάλης έκτασης κατασκευές, όπως φράγματα, καταστρώματα γεφυρών, όπου το σκυρόδεμα διαστρώνεται κατά τμήματα και είναι ιδιαίτερα σημαντικό να παραμένει πλαστικό για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιβραδυντικά χρησιμοποιούνται επίσης, σε τσιμεντενέσεις βαθέων οπών, όπου η θερμοκρασία ανέρχεται στους 90° C.

Οι διάφοροι τύποι επιβραδυντών δεν επηρεάζουν στο ίδιο ποσοστό τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι, αυξάνουν τους χρόνους πήξης του σκυροδέματος, την εργασιμότητα και, σε μικρή κλίμακα, το ποσοστό κενών. Παρατηρείται επίσης, μείωση της εξίδρωσης και της θερμότητας ενυδάτωσης. Οι πρώιμες αντοχές, εφόσον η προσθήκη πρόσθετου δε συναδεύτηκε με μείωση του νερού, παρουσιάζονται μειωμένες. Στην περίπτωση που συγχρόνως μειωθεί το νερό, οι αντοχές παρουσιάζουν αύξηση. [4]

### 3.4.3. Επιταχυντικά

Ως επιταχυντικά πρόσθετα χαρακτηρίζονται αυτά που επιταχύνουν την ενυδάτωση του τσιμέντου. Η επιτάχυνση αυτή εκδηλώνεται είτε με τη συντόμευση του χρόνου ως την αρχή της πήξης, είτε με επιτάχυνση της σκλήρυνσης και της ανάπτυξης της αντοχής. Τα πρώτα, χαρακτηρίζονται ειδικότερα με τον όρο “επιταχυντικά πήξης”, ενώ τα δεύτερα με τον όρο “επιταχυντικά σκλήρυνσης”.

Επιταχυντικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται στις σκυροδετήσεις υπό χαμηλές θερμοκρασίες, γιατί βοηθούν στην πήξη του τσιμέντου που καθυστερεί λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας και μειώνουν το χρόνο ειδικής προστασίας του σκυροδέματος από την ψύξη. Βρίσκουν επίσης εφαρμογές σε περιπτώσεις που απαιτείται συντόμευση των κατασκευαστικών εργασιών, γιατί το σκυρόδεμα μπορεί να ξεκαλουπωθεί και να αναλάβει φορτία λειτουργίας νωρίτερα. Σε περιπτώσεις άμεσων επεμβάσεων, όπως σε διαρροές ή συγκράτηση οραφών τούνελ, χρησιμοποιούνται τα επιταχυντικά ταχείας πήξης.

Εκτός από την κύρια δράση τους τα επιταχυντικά επηρεάζουν πολλές ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου σκυροδέματος. Αυξάνουν την πρώιμη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή, όπως και το μέτρο ελαστικότητας, αλλά αργότερα παρατηρείται μια ελαφρά μείωση της αντοχής. Ο ερπυσμός και η συστολή ξήρανσης εμφανίζονται αυξημένα. Επίσης, η ανθεκτικότητα σε θειική προσβολή εμφανίζεται μειωμένη, ενώ αυξάνεται η αδιαπερατότητα του σκυροδέματος. [4]

### 3.4.4. Αερακτικά

Με τα αερακτικά εισάγεται στο σκυρόδεμα ένα σταθερό σύστημα μικροσκοπικών φυσαλίδων αέρα, της τάξης 0,05 έως 1,00 mm, ομοιόμορφα διασκορπισμένων, που φαίνονται με γυμνό μάτι, ενώ η αύξηση του όγκου των κενών που εισάγεται δεν ξεπερνά το 3% έως 4% του όγκου του σκυροδέματος. Σ' αυτό το σύστημα των κενών οφείλεται η προστασία από παγοπηξία.

Τα αερακτικά είναι τα ηρώδια που χρησιμοποιούνται, κατ' κανόνα, σ' όλα τα σκυροδέματα στις βόρειες χώρες, όπου λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών, το σκυρόδεμα κινδυνεύει από παγοπηξία. Τότε, η χρήση τους επιβάλλεται, γιατί

βελτιώνουν σημαντικά την ανθεκτικότητα του κορεσμένου σκυροδέματος σε ψύξη-απόψυξη και σε χρήση αλάτων για το λιώσιμο του πάγου. Επειδή αυξάνουν την εργασιμότητα, ιδιαίτερα των φτωχών σε τσιμέντο σκυροδεμάτων, δηλαδή με ποσότητα τσιμεντοπολτού κάτω των  $300 \text{ Kg/m}^3$ , με κανονικά ή ελαφρά αδρανή καθώς και την αδιαπερατότητα, βρίσκουν εφαρμογή στα ελαφροσκυρόδεμα και σε κατασκευές όπως φράγματα, θεμέλια, καταστρώματα γεφυρών, οδοστρώματα κ.ά.

Συνιστάται η χρήση των αερακτικών σε μορφή διαλυμάτων. Εάν το υλικό είναι αποθηκευμένο για περισσότερο από έξι μήνες πρέπει να ελέγχεται εκ νέου πριν χρησιμοποιηθεί.

Η αποτελεσματικότητα του αερακτικού επηρεάζεται από το τσιμέντο και τα λεπτόκοκκα υλικά (ποζολανικά υλικά, τέφρες, μπετονίτης) που μειώνουν την αποτελεσματικότητα των αερακτικών. Το σχήμα, η υφή και η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών του σκυροδέματος επηρεάζουν τη συνιστώμενη δόσολογία του αερακτικού. Επίσης, όσο πιο σκληρό είναι το νερό τόσο πιο αυξημένη πρέπει να είναι η δόσολογία.

Τα αερακτικά βελτιώνουν την εργασιμότητα και τη συνεκτικότητα του νωπού σκυροδέματος. Η τάση για εξίδρωση και απόμικση συνήθως μειώνεται. Όμως η εισαγωγή κενών στο σκυρόδεμα μειώνει την αντοχή του, κυρίως στα σκυροδέματα με υψηλό ποσοστό τσιμέντου και λεπτόκοκκων αδρανών. Για να μη συμβεί αυτό, μπορούμε να μειώσουμε το ποσοστό του νερού και το ποσοστό των λεπτόκοκκων αδρανών, κρατώντας σταθερή την ποσότητα τσιμέντου για δεδομένη κάθιση. Έτσι, η μείωση του λόγου  $N/T$  θα αναπληρώσει την απώλεια αντοχής. Η ιδιότητα που βελτιώνεται θεαματικά με τη χρήση αερακτικών είναι η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος στην παγοπληξία και σε άλλους διαβρωτικούς παράγοντες, λόγω της μείωσης της υδατοπερατότητας που επιφέρουν. [4]

#### **3.4.5. Στεγανοποιητικά**

Η διέλευση του νερού μέσα από το σκυρόδεμα γίνεται είτε μέσα από τους τριχοειδείς πόρους του κονιάματος, είτε από τις επιφάνειες επαφής κονιάματος και αδρανών, είτε τέλος από τις μικροσκοπικές κοιλότητες που αφεύλονται στην κακή

συμπύκνωση και τις ρηγματώσεις που δημιουργούνται από τις μεταγενέστερες συστολές και διαστολές του υλικού.

Διακρίνουμε δύο τρόπους διέλευσης του νερού: την απορρόφηση του νερού που βρίσκεται σε απλή επαφή, με τις μοριακές έλξεις του υλικού, όταν αυτό δεν είναι κορεσμένο με νερό, και τη διείσδυση του νερού με πίεση.

Η δράση των στεγανοποιητικών αποσκοπεί:

- Στην αποφυγή μακροσκοπικών κοιλοτήτων και ρηγματώσεων, π.χ. με τη βελτίωση του εργάσιμου και τη μείωση της απόμιξης και των συστολών.
- Στην ελάττωση του πορώδους, π.χ. με την ελάττωση του απαιτούμενου νερού ανάμιξης.
- Στη μείωση της συνάφειας ή στην ανάπτυξη υδραπωθητικών δυνάμεων μεταξύ τσιμεντοκονιάματος και νερού.

Όμως, για την πλήρη στεγανοποίηση πρέπει να πραγματοποιούνται και τα τρία που αναφέρονται παραπάνω και μάλιστα με τη σειρά που αναγράφονται.

Η επιτυχία των στεγανοποιητικών εξαρτάται πολύ από την καλή εφαρμογή, καθώς και τη σύγχρονη βελτίωση της ποιότητας του σκυροδέματος και επομένως όλης της εργοτοξιακής τεχνικής. Σ' αυτό το σημείο, πρέπει να τονιστεί ότι αν η προσθήκη του στεγανοποιητικού δημιουργήσει την εντύπωση ότι με αυτό έχει ήδη εξασφαλιστεί η στεγανότητα χωρίς καμία περαιτέρω φροντίδα, είναι προτιμότερο να εγκαταλειφθεί. [4]

#### **3.4.6. Αντιπαγωτικά**

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται πρόσθετα που έχουν σκοπό να μειώσουν ή να άρουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις του παγετού κατά την περίοδο της πήξης. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπουν τη σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η δράση τους κατά κανόνα, δεν έχει ως αποτέλεσμα την ταπείνωση του σημείου πήξης του νερού, αλλά τη βελτίωση άλλων ιδιοτήτων, που συντελούν στην αύξηση της αντοχής στον παγετό. Τα

περισσότερα από τα αντιπαγωτικά πρόσθετα που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι συνδυασμός αερακτικών, ρευστοποιητικών και επιταχυντικών.

Τα αερακτικά, όπως αναπτύχθηκε σε προηγούμενη ενότητα, δημιουργούν μέσα στο σκυρόδεμα άπειρες μικρές κοιλότητες, οι οποίες συμβάλλουν τόσο στη διαφυγή του νερού όταν αυτό διαστέλλεται, όσο και στην ελαστικότητα του ιστού του σκυροδέματος, που μπορεί να αναλάβει ευκολότερα τις θερμοκρασιακές συστολές και διαστολές του. Σ' αυτά πρέπει να προστεθεί και κάποια μονωτική δράση των φυσαλίδων του αέρα, που παρεμποδίζει τη γρήγορη διαφυγή της θερμότητας ενυδάτωσης. [4]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

#### **1. ΟΙ ΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Παρόλο που το σκυρόδεμα αποτελεί ένα ευρύτατα χρησιμοποιούμενο δομικό υλικό, η δομή του χαρακτηρίζεται από υψηλή ετερογένεια και πολύπλοκη σύνθεση. Για το λόγο αυτό είναι πολύ δύσκολο να ορίσουμε συγκεκριμένα μοντέλα για τη δομή του σκυροδέματος, μέσα από τα οποία να μπορούμε να προβλέψουμε με αξιοπιστία τη συμπεριφορά του. Ωστόσο, η γνώση της δομής και των ιδιοτήτων κάθε συστατικού του σκυροδέματος ξεχωριστά, αλλά και των σχέσεων μεταξύ τους, είναι χρήσιμη για το μερικό έλεγχο των ιδιοτήτων του υλικού.

Σε μακροσκοπική κλίμακα, το σκυρόδεμα μπορεί να θεωρηθεί ως υλικό δύο μόνο φάσεων, αποτελούμενο από τους κόκκους των αδρανών σε διάφορα μεγέθη και σχήματα, και το κονίαμα, οριζόμενο ως μια ανομοιομορφη μάζα ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού. Όμως, στη μικροσκοπική ανάλυση αρχίζει να αποκαλύπτεται η πολυπλοκότητα της δομής του σκυροδέματος και να κάνει την εμφάνισή της μια τρίτη φάση, η μεταβατική ζώνη μεταξύ των κόκκων των αδρανών και του τσιμεντοπολτού. Η ζώνη αυτή αποτελεί ένα λεπτό κέλυφος με πάχος περίπου 10 έως 50  $\mu\text{m}$  γύρω από τους μεγάλους κόκκους των αδρανών και είναι γενικότερα πολύ ασθενέστερη από τα άλλα δύο συστατικά, ασκώντας έτσι πολύ μεγαλύτερη επίδραση στη μηχανική συμπεριφορά του σκυροδέματος.

Στην ενότητα αυτή, περιγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά των τριών φάσεων που διακρίνονται σε μια μικροσκοπική ανάλυση της δομής του σκυροδέματος: των αδρανών, του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού και της μεταβατικής ζώνης. [7]

##### **1.1. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΦΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ**

Η δομή της περιοχής αυτής καθορίζει κατά κύριο λόγο, την πυκνότητα, το μέτρο ελαστικότητας και την παραμορφωσιμότητα του σκυροδέματος, αφού οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται σημαντικά από το φαινόμενο ειδικό βάρος και την αντοχή των αδρανών. Οι

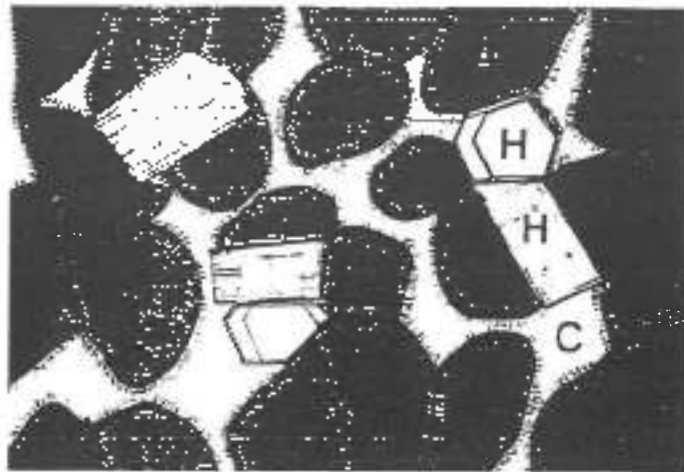
ιδιότητες του σκυροδέματος εξαρτώνται επίσης και από τα φυσικά χαρακτηριστικά των αδρανών, όπως το σχήμα, τον όγκο, το μέγεθος, την υφή και την κατανομή των πόρων, και σε μεγαλύτερο βαθμό από τη χημική ή ορυκτολογική σύστασή τους.

Επειδή γενικότερα η περιοχή των αδρανών είναι πιο ισχυρή από τις άλλες δύο, δεν επηρεάζει άμεσα την αντοχή του σκυροδέματος, εκτός από την περίπτωση που τα αδρανή προέρχονται από πετρώματα με υψηλό πορώδες και μικρή αντοχή, όπως η ελαφρόπετρα. Στην περίπτωση, επίσης, των χονδρών κόκκων των αδρανών, το μέγεθος και το σχήμα τους μπορεί να επηρεάσει έμμεσα την αντοχή του υλικού μέσω του φαινομένου της εσωτερικής εξίδρωσης. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος και η αναλογία των επιμηκών και επίπεδων κόκκων, τόσο μεγαλύτερη εμφανίζεται η τάση του νερού να συσσωρεύεται στις επιφάνειές τους, αδυνατίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τη μεταβατική ζώνη μεταξύ των κόκκων των αδρανών και του τσιμεντοπολτού.[7]

## 1.2. ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΝΥΔΑΤΩΜΕΝΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ

Η ενυδάτωση του τσιμέντου, όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, ξεκινά αμέσως μετά την ανάμιξη του τσιμέντου με το νερό. Λίγα λεπτά μετά την έναρξη της ενυδάτωσης, μέσα από μια μικροσκοπική ανάλυση της δομής του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού, διακρίνονται αρχικά οι παραγόμενοι από την διάσπαση του αργιλικού τριασβεστίου  $C_3A$  βελονοειδείς κρύσταλλοι του θειοαργιλικού ασβεστίου, που σχηματίζουν τον ετριγκίτη. Λίγες ώρες αργότερα, πρισματικοί κρύσταλλοι του υδροξειδίου του ασβεστίου  $Ca(OH)_2$ , και πολύ μικροί ινώδεις κρύσταλλοι των ένυδρων ενώσεων του πυριτικού ασβεστίου  $C_3A$ , αρχίζουν να γεμίζουν τα κενά που προηγουμένως καταλάμβανε το νερό και τα διαλυμένα στοιχεία του τσιμέντου. Μετά από μερικές ημέρες, ο ετριγκίτης μπορεί να καταστεί ασταθής και να διαλυθεί σχηματίζοντας μονοθειικό, το οποίο έχει εξαγωνική μορφή.

Στις επόμενες παραγράφους δίνονται πιο αναλυτικά, ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά της δομής των παραπάνω στερεών προϊόντων της ενυδάτωσης του τσιμεντοπολτού, μέσα από την ανάλυση σε μικροκλίμακα. [7]

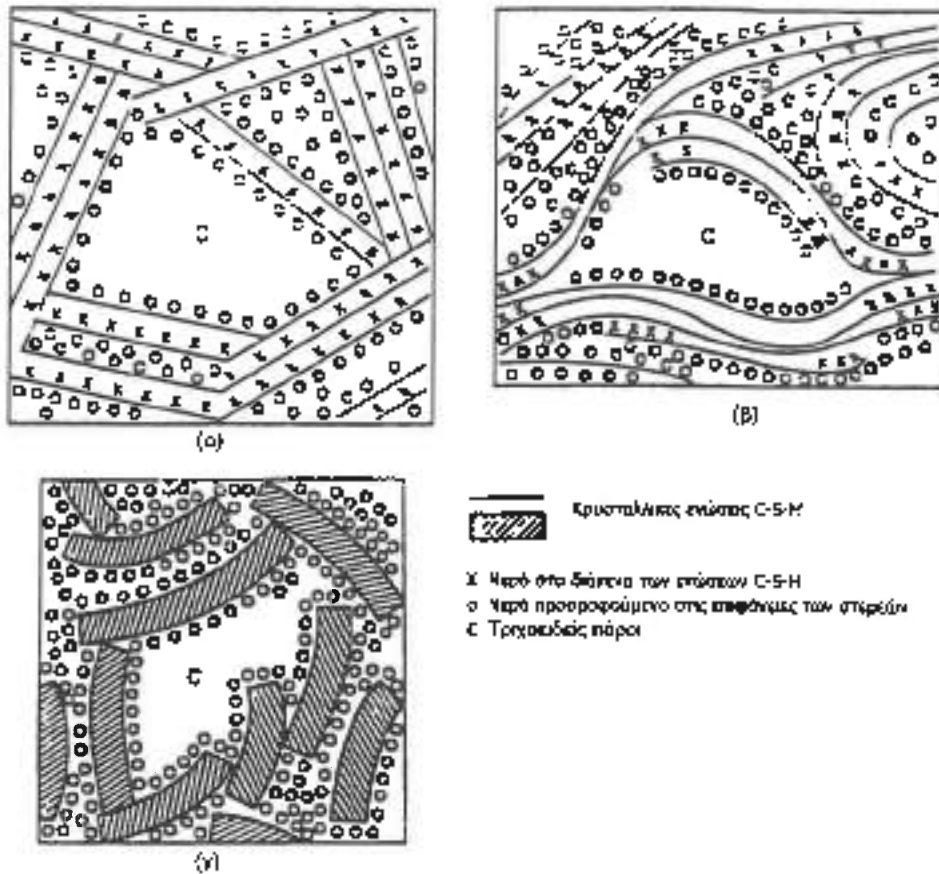


**Σχήμα 2-1:** Μοντέλο ενός πλήρους ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού. Το σχήμα Α απεικονίζει αδρανές με πολύ παρώδεις κρυστάλλους C-S-H ενώσεων. Το σχήμα Β απεικονίζει εξογκωτικά κρυσταλλικά προϊόντα, όπως CH,  $C_4ASH_8$ ,  $C_4AH_{13}$ , τα οποία σχηματίζουν μεγάλους κρυστάλλους, συνήθους μεγέθους 1  $\mu m$ . Το σχήμα C απεικονίζει τριχοειδείς κοιλότητες μεγέθους από 10 nm έως 1  $\mu m$  [7]

### 1.2.1. Στερεά του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού

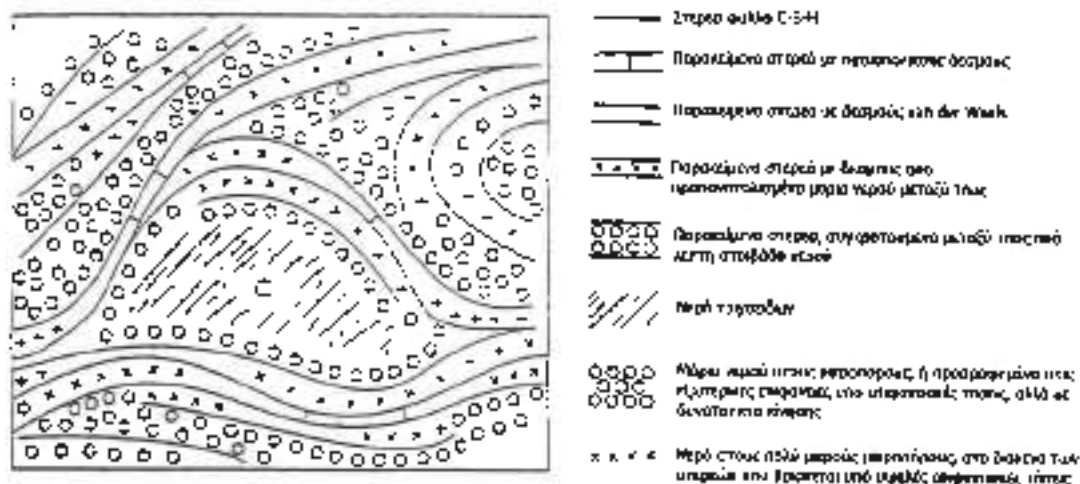
Το ασβεστοπυριτικό πήγμα, που αποτελείται από τα στερεά ηραϊόντα των ένυδρων ασβεστοπυριτικών ενώσεων, C-S-H, κατέχει το 50-60% περίπου του όγκου των στερεών του πλήρως ενυδατωμένου τσιμέντου Portland και κατά συνέπεια έχει καθοριστικό ρόλο στις ιδιότητες του μίγματος. Ωστόσο, οι ενώσεις αυτές είναι δύσκολο να καθοριστούν απόλυτα, ενώ η μορφή τους ποικίλλει από πολύ παρώδεις κρυσταλλικές ίνες μέχρι δικτυωτό πλέγμα. Εξαιτίας των κολλοειδών τους διαστάσεων και της τάσης τους να ομαδοποιούνται, οι ένυδρες πυριτικές ενώσεις του ασβεστίου μπορούν να αναλυθούν μόνο σε μικροκλίμακα. [7]

Παρόλο που η ακριβής δομή των ένυδρων πυριτικών ενώσεων ασβεστίου C-S-H δεν είναι ακόμη απόλυτα καθορισμένη, πολλά μοντέλα έχουν προταθεί για την ερμηνεία των ιδιοτήτων των υλικών. Στο σχήμα 2-2 παρουσιάζονται τρία από τα επικρατέστερα προσομοιώματα των C-S-H, γνωστά ως προσομοιώματα *Powers-Brunauer*, *Feldman-Sereda* και *Wittman*, ή μοντέλο Μονάχου. Γίνεται αποδεκτό ότι τα στερεά έχουν ακανόνιστο πλακοειδές κατά τα πλείστον, σχήμα με πάχος 0,001  $\mu m$  περίπου και εξαιρετικά μεγάλη ειδική επιφάνεια. Η ειδική τους επιφάνεια είναι κατά πολύ μεγαλύτερη εκείνης του ανυδατώτου τσιμέντου και καταδεικνύει, εκτός από το μικρό μέγεθος των στερεών, την ακανόνιστη δομή τους και τον καθοριστικό ρόλο των επιφανειακών δυνάμεων στη συμπεριφορά του υλικού. [3]



**Σχήμα 2-2:** Σχηματική παράσταση προσομοιωμάτων C-S-H. [3]

Στο σχήμα 2-3, παρουσιάζονται σχηματικά τα χαρακτηριστικά του C-S-H που έχουν σήμερα κοινή αποδοχή. Μεταξύ των στερεών αναπτύσσονται δεσμοί υδρογόνου που οφείλονται σε δυνάμεις *van der Waals*, σε περιπτώσεις που παρεμβάλλεται νερό μεταξύ των επιφανειών, οι οποίες είναι ανάλογες προς την ειδική επιφάνεια και την απόσταση μεταξύ των υλικών, και ισχυροί ομοιοπολικοί δεσμοί. [3]



**Σχήμα 2-3:** Σχηματική παρουσίαση των ενυδρών ασβεστοσιμωπικών ενώσεων C-S-H. [3]

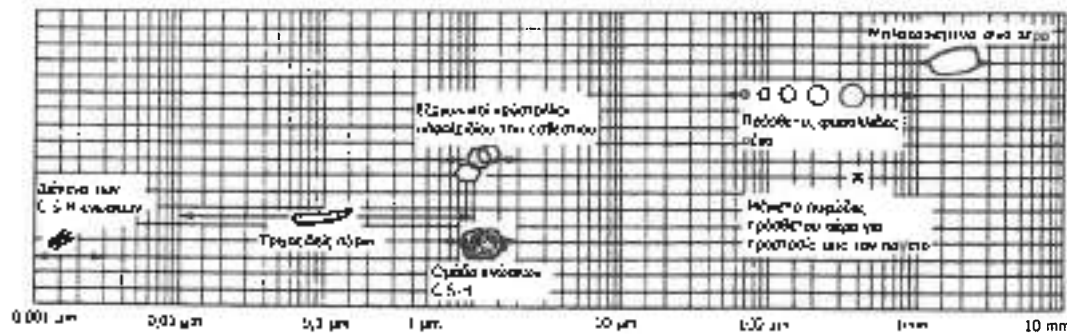
Οι κρύσταλλοι του υδροξειδίου του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  αποτελούν το 20-25% του όγκου των στερεών του πλήρως ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού. Σε αντίθεση με τις ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις C-S-H, το υδροξείδιο του ασβεστίου είναι ένωση με καθορισμένη στοιχειομετρία. Έχει την τάση να σχηματίζει μεγάλους κρυστάλλους με διακριτική πρισματική εξαγωνική μορφή, η οποία ποικίλει ανάλογα συνήθως με την θερμοκρασία της ενυδάτωσης, το διαθέσιμο χώρο και τις ακάθαρτες προσμίξεις στο μίγμα. Συγκριτικά με τις C-S-H ενώσεις, το  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  δεν συνεισφέρει αρκετά στην αντοχή του υλικού μέσω των δυνάμεων *van der Waals*, εξαιτίας της μικρής ειδικής επιφάνειας των στερεών. Επίσης, η παρουσία σημαντικής ποσότητας  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  σε ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό έχει αρνητική επίδραση στη χημική ανθεκτικότητά του σε τοξικά διαλύματα, λόγω της υψηλής διαλυτότητας του υδροξειδίου σε σχέση με τις ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις, C-S-H. [7]

Τα στερεά της ενυδάτωσης του σιδηρόαργιλικού τετρασβεστίου  $\text{C}_4\text{AF}$ , καταλαμβάνουν το 15-20% του όγκου του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού και γι' αυτό το λόγο επηρεάζουν σε πολύ μικρό ποσοστό τις ιδιότητες του μίγματος. Στα πρώτα στάδια της ενυδάτωσης, η αναλογία θειικών και αργιλικών ιόντων στο διάλυμα ευνοεί το σχημασμό ένυδρου τριθειικού,  $\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$ , που ονομάζεται ετριγκίτης και το οποίο σχηματίζει βελονοειδείς πρισματικούς κρυστάλλους. Σε πολύτους συνήθους τσιμέντου Portland, ο ετριγκίτης τελικά μετατρέπεται σε ένυδρο μονοθειικό  $\text{C}_4\text{ASH}_{18}$ , το οποίο σχηματίζει εξαγωνικούς πλακοειδείς κρυστάλλους. Η παρουσία του ένυδρου μονοθειικού στο τσιμέντο προσδίδει στο σκυρόδεμα μια ευαισθησία στην επίδραση θειικών. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι ο ετριγκίτης και το μονοθειικό περιέχουν μικρές ποσότητες οξειδίων του σιδήρου, τα οποία μπορούν να αντικαταστήσουν τα οξείδια του αργιλίου στις κρυσταλλικές δομές. [7]

### 1.2.2. Πόροι του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού

Ο ενυδατωμένος τσιμεντοπολτός πέρα από τα στερεά υλικά που αναφέρθηκαν παραπάνω, περιέχει και διάφορους τύπους πόρων, οι οποίοι επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητές του. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι μεγάλοι πόροι επιδρούν κυρίως στη θλιπτική αντοχή και διαπερατότητα του υλικού, ενώ οι μικρότεροι επηρεάζουν τη συστολή ξήρανσης και τον ερπυσμό. Στο σχήμα 2-4, παρουσιάζονται τα τυπικά μεγέθη των

στερεών υλικών και των πόρων στον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό, ενώ στη συνέχεια περιγράφονται οι διάφοροι τύποι των πόρων, το μέγεθος και η σπουδαιότητά τους στο κόνιμα. [7]



**Σχήμα 2-4:** Διανομή των στερεών και των πόρων στον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό. [7]

- **Πόροι διακένων μεταξύ των στερεών του ασβεστοπυριτικού πήγματος, C-S-H**

Πρόκειται για πόρους με μέγεθος από 5 έως 25 Å και όπως υποστηρίζεται, προσδίδουν στο ασβεστοπυριτικό πήγμα πορώδες σε ποσοστό 28%. Το μέγεθος αυτό των κενών είναι πολύ μικρό και κατά συνέπεια δεν επιδρούν αρνητικά στην αντοχή και τη διαπερατότητα του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού. Ωστόσο, το νερό στους πόρους αυτούς συγκρατείται με δεσμούς υδρογόνου, συμπεριφέρεται όπως το νερό στους τριχοειδείς πόρους και η διαφυγή του, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, μπορεί να συμβάλλει στη συστολή ξήρανσης και τον ερπυσμό. [7], [8]

- **Τριχοειδείς πόροι**

Ως τριχοειδείς πόροι ορίζονται τα κενά που δεν πληρώνονται από τα στερεά συστατικά του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού.

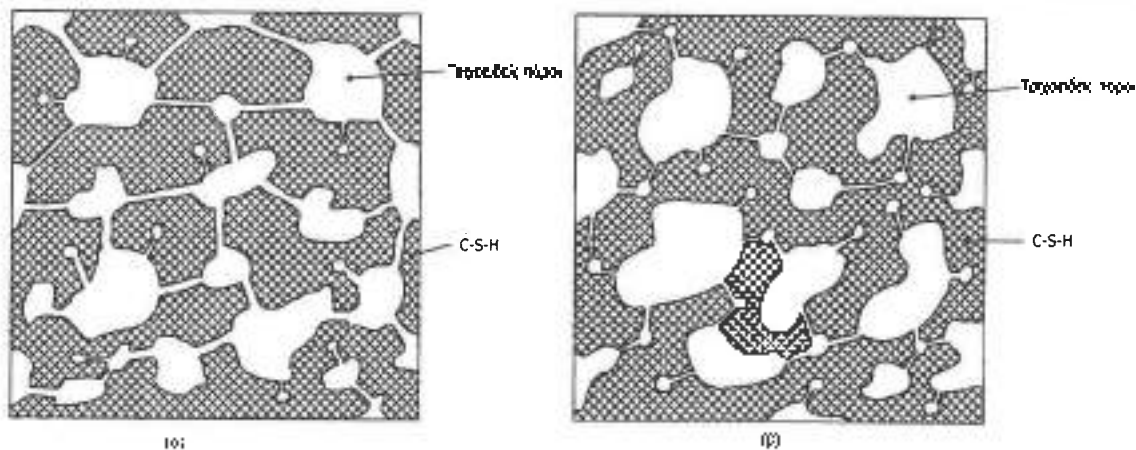
Ο συνολικός όγκος του μίγματος τσιμέντου-νερού παραμένει αμετάβλητος κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης. Η μέση φαινόμενη πυκνότητα των ενυδατωμένων προϊόντων είναι αισθητά μικρότερη από την πυκνότητα του άνυδρου τσιμέντου Portland. Συγκεκριμένα υπολογίζεται ότι 1 cm<sup>3</sup> τσιμέντου για πλήρη ενυδάτωση απαιτεί περίπου 2

$\text{cm}^3$  όγκο για τα προϊόντα ενυδάτωσης. Κατά την ενυδάτωση δηλαδή του τσιμέντου, τα προϊόντα ενυδάτωσης καταλαμβάνουν σταδιακό όγκο σχεδόν το διπλάσιο του αρχικού όγκου του άνυδρου τσιμέντου, μειώνοντας έτσι τα κενά που μπορούν να καταλάβουν οι τριχοειδείς πόροι. Η κατανομή λοιπόν, των τριχοειδών στον τσιμεντοπολτό, εξαρτάται από την αναλογία νερού προς τσιμέντο αλλά και από το βαθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου.

Μια μέση τιμή του μεγέθους των πόρων αυτών υπολογίστηκε με διάφορες μεθόδους ότι είναι περίπου 1,3  $\mu\text{m}$ , ενώ στην πραγματικότητα το μέγεθός τους στον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό ποικίλει. Μέσα από μελέτες, έχει διαπιστωθεί ότι τσιμεντοπολτοί ώριμης ηλικίας περιέχουν ελάχιστους πόρους με διαστάσεις μεγαλύτερες του 1  $\mu\text{m}$ , ενώ οι περισσότεροι είναι μικρότεροι από 100 nm. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι σε καλώς ενυδατωμένα μίγματα με μικρή αναλογία νερού προς τσιμέντο οι τριχοειδείς πόροι έχουν διαστάσεις από 10 έως 50 nm, ενώ για υψηλές αναλογίες, στα πρώτα στάδια της ενυδάτωσης, οι πόροι των τσιμεντοπολτών μπορεί να κυμαίνονται από 3 έως 5  $\mu\text{m}$ .

Οι διαστάσεις αυτές ωστόσο, ενδιαφέρουν σε σχέση πάντα με την κατανομή των πόρων στον τσιμεντοπολτό αφού, όπως έχει μελετηθεί, το συνολικό πορώδες δεν αποτελεί το κατάλληλότερο κριτήριο για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών του υλικού. Μετρήσεις της διαπερατότητας του υλικού έδειξαν ότι οι τριχοειδείς πόροι σχηματίζουν ένα τυχαίο αλληλοσυνδεδεμένο σύστημα διανεμημένο σε κάθε σημείο του τσιμεντοπολτού. Αυτοί οι αλληλοσυνδεδεμένοι τριχοειδείς πόροι είναι κυρίως υπεύθυνοι για τη διαπερατότητα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού και την ευπάθειά του στους κύκλους της πήξης και τήξης του νερού.

Ωστόσο, η ενυδάτωση του τσιμέντου αυξάνει τα στερεά συστατικά του πολτού και στα συμπαγή και ώριμης ηλικίας μίγματα τα τριχοειδή κενά μπορούν να μπλοκαριστούν και να διακοπεί η συνέχεια της μεταξύ τους σύνδεσης. Επομένως, η έλλειψη συνεχόμενων τριχοειδών πόρων στο τσιμεντοπολτό επιτυγχάνεται με το συνδυασμό κατάλληλης αναλογίας νερού προς τσιμέντο και ικανοποιητικής, δηλαδή μεγάλης διάρκειας, συντήρησης του μίγματος σε υγρό περιβάλλον. [7], [8]



**Σχήμα 2-5:** Σχηματική παράσταση υλικών με παράμαιο πορώδες, αλλά διαφορετικές ιδιότητες. Το πρώτο υλικό (α), έχει μεγάλη διαπερατότητα επειδή οι τριχοειδείς πόροι αλληλοσυνδέονται με μεγάλες διόδους, ενώ το δεύτερο (β), λόγω των μπλοκαρισμένων και μερικώς συνδεόμενων πόρων, χαρακτηρίζεται από μικρή διαπερατότητα. [10]

### • Πόροι αέρα

Οι πόροι αέρα ορίζονται ως τα κενά του τσιμεντοπολτού που περιέχουν αέρα και έχουν καθορισμένο σφαιρικό σχήμα, σε αντίθεση με τους τριχοειδείς πόρους. Αέρας μπορεί να εκέλθει στο εσωτερικό του μίγματος είτε κατά τη διάρκεια ανάμιξης των υλικών, είτε με την προσθήκη αερακτικών. Το μέγεθος των πόρων στην περίπτωση του εγκλωβισμένου αέρα είναι περίπου 3 mm, ενώ στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να είναι από 50 έως 200 μm. Εξαιτίας των διαστάσεων αυτών, η ύπαρξη κενών αέρα, είτε εγκλωβισμένου, είτε προστιθέμενου με τα αερακτικά στον τσιμεντοπολτό, είναι δυνατόν να επιδράσει αρνητικά στην αντοχή και την στεγανότητα του υλικού. [7]

#### 1.2.3. Κατανομή του νερού στον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό

Η μάζα του τσιμεντοπολτού, ανάλογα με το πορώδες της και τις συνθήκες υγρασίας περιβάλλοντος, είναι δυνατόν να συγκρατήσει μεγάλες ποσότητες νερού στο εσωτερικό της. Όπως τα στερεά και οι πόροι που περιγράφηκαν παραπάνω, έτσι και το νερό υπάρχει στον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό σε διάφορες μορφές. Η κατάταξη του περιεχόμενου νερού σε κατηγορίες γίνεται με βάση τον βαθμό δυσκολίας ή ευκολίας με τον οποίο μπορεί να διαφύγει από τον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό. [7]

- **Νερό στους τριχοειδείς πόρους**

Πρόκειται για νερό που βρίσκεται σε κενά του τσιμεντοπολτού με μέγεθος μεγαλύτερο από 50 Å και μοιάζει να συμπεριφέρεται σαν ελεύθερο νερό, δηλαδή χωρίς την επίδραση των ελκτικών δυνάμεων που ασκούνται από την επιφάνεια των στερεών. Στην πραγματικότητα, το νερό στους τριχοειδείς πόρους χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: στο νερό σε πόρους με μέγεθος μεγαλύτερο των 50 nm, που ονομάζεται ελεύθερο νερό, διότι η μετακίνησή του δεν προκαλεί μεταβολή του όγκου του πολτού, και στο νερό που συγκρατείται από τάσεις που αναπτύσσονται στα τριχοειδή και η μετακίνησή του μπορεί να προκαλέσει συστολή του συστήματος. [7], [8]

- **Φυσικά προσροφημένο νερό**

Ορίζεται ως το νερό που βρίσκεται φυσικώς προσροφημένο στην επιφάνεια των στερεών λόγω της επίδρασης των ελκτικών μοριακών δυνάμεων του νερού. Έχει διαπιστωθεί ότι μέχρι και τις έξι μοριακές στρώσεις νερού, πάχος που ισούται περίπου με 15 Å, το απορροφημένο νερό συγκρατείται με δεσμούς υδρογόνου. Επειδή όμως η ισχύς των δεσμών αυτών μειώνεται με την απόσταση από τις επιφάνειες των στερεών, μια σημαντική ποσότητα του προσροφημένου αυτού νερού μπορεί να χαθεί με την ξήρανση του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού σε σχετική υγρασία υδρατμών 30%. Στην απώλεια αυτού του νερού σφείλεται, κατά κύριο λόγο, η συστολή ξήρανσης του υλικού. [7], [8]

- **Νερό των διάκενων**

Είναι το νερό που σχετίζεται με τη δομή των ασβεστοπυριτικών ενώσεων C-S-H και έχει διαπιστωθεί ότι σε μια μοριακή στρώση νερού μεταξύ των διάκενων των C-S-H αναπτύσσονται δεσμοί υδρογόνου. Το νερό αυτό δηλαδή, δεν ακολουθεί τους νόμους των τριχοειδών και δεν μπορεί να συμπεριφερθεί σαν ελεύθερο νερό. Για να διαφύγει από αυτά τα κενά απαιτούνται πολύ υψηλές συνθήκες ξήρανσης, περίπου κάτω από 11% σχετική υγρασία υδρατμών. Η δομή των ασβεστοπυριτικών ενώσεων συσπέλλεται αισθητά όταν χαθεί η μοριακή στρώση του νερού από τα διάκενα των ενώσεων αυτών. [7]

- **Χημικά δεσμευμένο νερό**

Είναι το νερό που θεωρείται αναπόσπαστο τμήμα της δομής των διάφορων προϊόντων της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Το νερό αυτό δεν μπορεί να διαφύγει με ξήρανση του τσιμεντοπολτού, αλλά ελευθερώνεται μόνο όταν τα προϊόντα της ενυδάτωσης αποσυντίθενται με την θέρμανση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. [7]

Πειραματικά, το νερό διακρίνεται σε εξατμίσιμο και σε μη εξατμίσιμο. Το εξατμίσιμο νερό είναι εκείνο που μπορεί να διαφύγει με ξήρανση στους 105° C μέσα σε 24 ώρες, ενώ το μη εξατμίσιμο διαφεύγει μετά από πύρωση στους 1000 °C. Το χημικά δεσμευμένο νερό είναι μη εξατμίσιμο και έχει αποδεχθεί ότι αποτελεί το 23-25% του βάρους του πλήρως ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού. Αυτό σημαίνει ότι για να ενυδατωθεί πλήρως το τσιμέντο απαιτεί 23-25% του βάρους του σε νερό, με το οποίο σχηματίζει τις ασβεστοπυριτικές ενώσεις, τα υδροξείδια του ασβεστίου και το μονοθειικό. Η ποσότητα του μη εξατμίσιμου νερού στο πηγμα θεωρείται ότι είναι ανάλογη με το βαθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου. Δηλαδή, όταν φτάσει το 23-25% της μάζας του τσιμέντου, τότε ο βαθμός ενυδάτωσης θα είναι 100%, ενώ όταν το μη εξατμίσιμο νερό είναι λιγότερο από 23%, θα είναι μικρότερος από 100%. Με πύρωση επομένως, στους 1000 °C, του ήδη ξηραμένου τσιμεντοπολτού στους 105 °C, μπορεί να εκτιμηθεί ο βαθμός ενυδάτωσης. [3]

#### **1.2.4. Ιδιότητες του τσιμεντοπολτού**

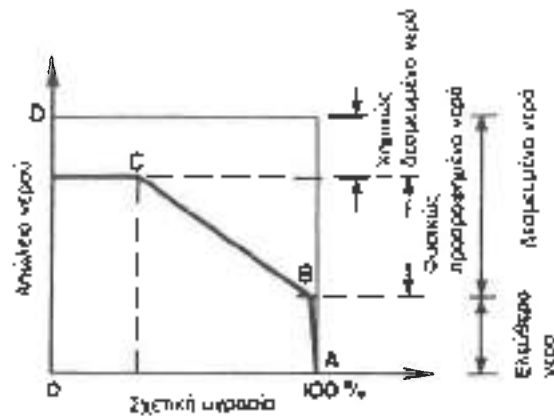
Τα επιθυμητά μηχανικά χαρακτηριστικά του σκληρυμένου σκυροδέματος, όπως είναι η αντοχή, η παραμορφωσιμότητα και η ανθεκτικότητα, επηρεάζονται όχι μόνο από την αναλογία, αλλά και από τις ιδιότητες του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού, οι οποίες με τη σειρά τους εξαρτώνται από χαρακτηριστικά της μικροδομής, όπως τον τύπο, την ποσότητα και την κατανομή των στερεών προϊόντων και των πόρων. [7]

#### 1.2.4.1. Αντοχή ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού

Βασική πηγή της αντοχής των στερεών προϊόντων στον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό είναι η ύπαρξη των ελκτικών δυνάμεων *van der Waals*, στις οποίες αποδίδεται η έλξη μεταξύ δύο επκφανικών στερεών υλικών. Η ισχύς των δυνάμεων αυτών εξαρτάται από την έκταση και τη φύση των ελκυόμενων επκφανείων. Οι μικροί κρύσταλλοι των ασβεστοπυριτικών ενώσεων C-S-H, των ένυδρων θειοαργίλικών ενώσεων και των ένυδρων εξαγωνικών αργίλικών ενώσεων του ασβεστίου διαθέτουν μεγάλη ειδική επκράνεια και ελκτική ικανότητα. Αυτό τα προϊόντα ενυδάτωσης του τσιμέντου Portland έχουν την τάση όχι μόνο να έλκονται ισχυρά μεταξύ τους, αλλά να έλκουν και τα μικρής ειδικής επκράνειας στερεά, όπως είναι τα υδροξείδια του ασβεστίου, οι άνυδροι κόκκοι Klinker αλλά και τα λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αδρανή.[7]

#### 1.2.4.2. Παραμορφωσιμότητα ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού

Ένας πλήρως ενυδατωμένος τσιμεντοπολτός δεν εμφανίζει σταθερότητα όγκου, αφού κατά την εξάτμιση του περιεχόμενου νερού του λαμβάνουν χώρα σημαντικές μεταβολές στη δομή του οι οποίες, σε ικανό ποσοστό, είναι μη αναιρέσιμες. Όσο ο σκληρυμένος τσιμεντοπολτός διατηρείται σε συνθήκες 100% σχετικής υγρασίας RH, πρακτικά δεν πραγματοποιείται καμία μεταβολή του όγκου του. Ωστόσο, όταν εκτίθεται στην υγρασία του περιβάλλοντος, η οποία είναι μικρότερη από 100%, το υλικό αρχίζει να χάνει νερό και να συστέλλεται. Ο τρόπος με τον οποίο το νερό διαφεύγει από τον πλήρως ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό σχετίζεται με τη σχετική υγρασία RH και τη συστολή ξήρανσης. Όσο η σχετική υγρασία πέφτει κάτω από 100%, το ελεύθερο νερό που βρίσκεται σε πόρους μεγαλύτερους των 50 nm, αρχίζει να διαφεύγει στο περιβάλλον. Από τη στιγμή που το ελεύθερο αυτό νερό δε συνδέεται με φυσικό ή χημικό τρόπο με τη δομή των προϊόντων ενυδάτωσης, η διαφυγή του δε συνοδεύεται με συστολή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2-6, στο τμήμα της καμπύλης AB.



**Σχήμα 2-6:** Απώλεια νερού από το τσιμεντοπολτό σε συνάρτηση με τη σχετική υγρασία. [7]

Όταν το περισσότερο από τα ελεύθερο νερό διαφύγει, σε συνθήκες συνεχόμενης ξήρανσης, έχει βρεθεί ότι επιπλέον διαφυγή νερού προκαλεί αξιοσημείωτη συστολή. Το φαινόμενο αυτό αφεύλεται κυρίως στη διαφυγή του φυσικά προσροφημένου νερού από τις επιφάνειες των στερεών και του νερού που συγκρατείται στους μικρούς τριχοειδείς πόρους με δεσμούς υδρογόνου. Πράγματι, η εξάτμιση του νερού από τους τριχοειδείς πόρους προκαλεί ανόπτξη θλιπτικών τάσεων στον στερεό σκελετό, που έχουν σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωση του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Όταν το νερό απομακρύνεται από τους μικροπόρους, ή ακόμη και από τα ενδιάμεσα διαστήματα μεταξύ των στερεών του C-S-H, τα στερεά πλησιάζουν μεταξύ τους και οι δεσμοί συγκράτησής τους ισχυροποιούνται. Έχει βρεθεί ότι η ύπαρξη νερού μεταξύ των στερεών του C-S-H κρατάει σε απόσταση τα στερεά αυτά, επιβάλλοντάς τους πίεση που ονομάζεται πίεση διαχωρισμού (disjoining pressure). Η πίεση αυτή ελαττώνεται με την διαφυγή του προσροφημένου νερού και μηδενίζεται υπό συνθήκες 50% σχετικής υγρασίας.

Τέλος, επισημαίνεται ότι οι ίδιοι μηχανισμοί που προκαλούν συστολή ξήρανσης του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού είναι υπεύθυνοι και για τον ερπυσμό του. Στην περίπτωση του ερπυσμού, μια σταθερή εξωτερική τάση καθίσταται ως η πιεστική δύναμη για την κίνηση του φυσικά προσροφημένου νερού και του νερού των μικρών τριχοειδών πόρων. Επομένως, το φαινόμενο του ερπυσμού μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη και σε συνθήκες 100% σχετικής υγρασίας RH. [3], [7]

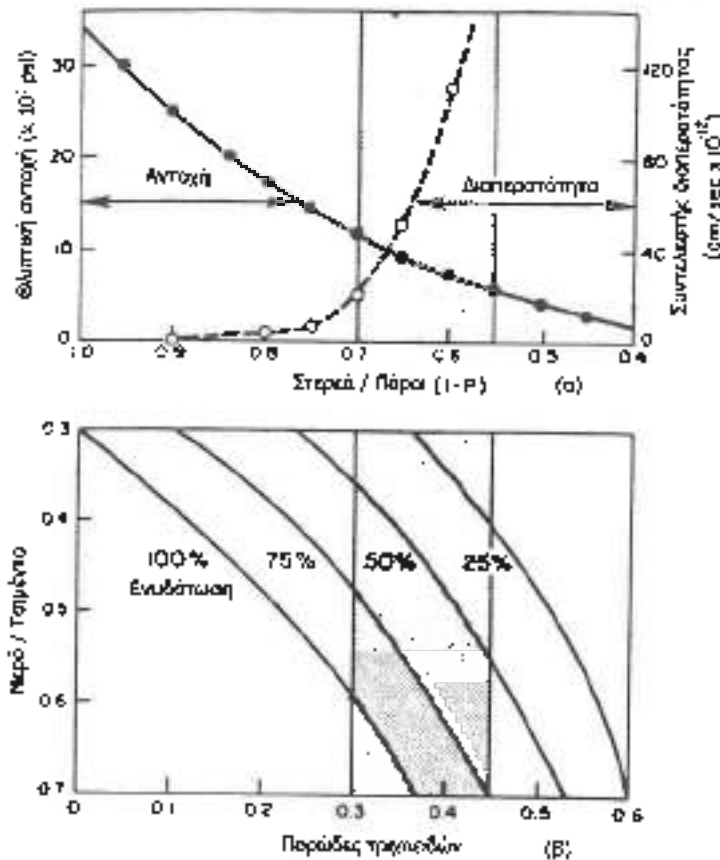
### 1.2.4.3. Ανθεκτικότητα ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού

Η ανθεκτικότητα ενός υλικού σχετίζεται με την διάρκεια ζωής του σε συνθήκες περιβάλλοντος. Επειδή, ο ενυδατωμένος τσιμεντοπολτός είναι αλκαλικός, η έκθεσή του σε όξινο περιβάλλον είναι καταστροφική για το υλικό. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η στεγανότητα του τσιμεντοπολτού, που υποτίθεται ότι έχει σαν επακόλουθο τη στεγανότητα του σκυροδέματος, αποτελεί βασικό παράγοντα στον καθαρισμό της ανθεκτικότητας του υλικού, με την προϋπόθεση ότι και τα αδρανή είναι στεγανά.

Η διαπερατότητα ορίζεται ως την ευκολία με την οποία ένα υγρό μπορεί να διαπεράσει ένα στερεό και είναι η αντίθετη έννοια της στεγανότητας. Είναι προφανές ότι το μέγεθος και η συνέχεια των πόρων στη δομή του στερεού σκελετού καθορίζει την διαπερατότητά του, αλλά και την αντοχή του, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

Η εκθετική σχέση μεταξύ της διαπερατότητας και του πορώδους, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2-7, μπορεί να εξηγηθεί από την επίδραση που ασκούν οι διάφοροι τύποι των πόρων στη διαπερατότητα. Καθώς η ενυδάτωση συνεχίζεται, ο χώρος των πόρων μεταξύ των αρχικά ξεχωριστών σωματιδίων του τσιμέντου σταδιακά καταλαμβάνεται από τα προϊόντα της ενυδάτωσης. Έχει αποδειχθεί, όπως ειπώθηκε και παραπάνω, ότι η αναλογία νερού προς τσιμέντο και ο βαθμός ενυδάτωσης καθορίζουν τα συνολικά πορώδες των τριχοειδών, το οποίο μειώνεται με τη μείωση της παραπάνω αναλογίας ή με την αύξηση του βαθμού ενυδάτωσης.

Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι το πορώδες που οφείλεται στα ενδιάμεσα διαστήματα των στερεών C-S-H και στα μικρά τριχοειδή δεν συμβάλει στη διαπερατότητα του τσιμεντοπολτού. Αντίθετα, με την αύξηση του βαθμού ενυδάτωσης, παρόλο που υπάρχει μια ικανή αύξηση του συνολικού όγκου των πόρων εξαιτίας των διάκενων των ασβεστοπυριτικών ενώσεων και των μικρών τριχοειδών πόρων, η διαπερατότητα μειώνεται αισθητά. Αυτό συμβαίνει, πιθανότατα, επειδή τα συστήματα των πόρων, αποτελούμενα κυρίως από μικρούς πόρους, έχουν την τάση να καθίστανται ασυνεχή. [7]



**Σχήμα 2-7:** Επίδραση της αναλογίας νερού προς τσιμέντο και του βαθμού ενυδάτωσης στην αντοχή και τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. [7]

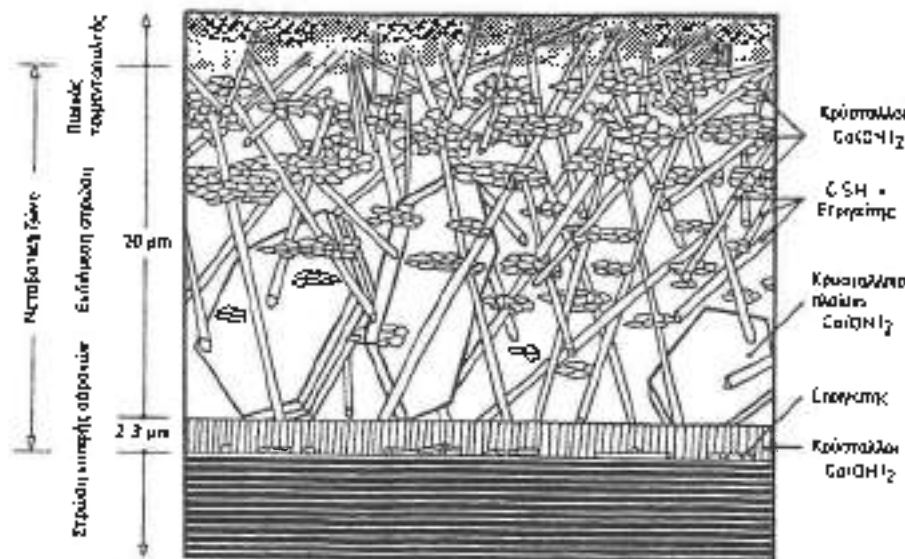
### 1.3. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

Η μεταβατική ζώνη στο σκυρόδεμα, βρίσκεται μεταξύ των μεγάλων κόκκων των αδρανών και του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού και παρόλο που αποτελείται από τα ίδια συστατικά με αυτά του τσιμεντοπολτού, η δομή και οι ιδιότητές της είναι διαφορετικές. Για το λόγο αυτό, αναλύεται σαν ξεχωριστή φάση της δομής του σκυροδέματος.

Εξαιτίας των πειραματικών δυσκολιών, οι πληροφορίες σχετικά με τη μεταβατική ζώνη είναι ανεπαρκείς. Ωστόσο, βασιζόμενοι στην περιγραφή που δίνεται από το μελετητή *F.Maso*, μπορούν να κατανοηθούν κάποια χαρακτηριστικά της δομής της μέσα από την εξέλιξή της, κατά την παρασκευή του σκυροδέματος.

Συγκεκριμένα, στο νωπό σκυρόδεμα σχηματίζονται αρχικά στρώσεις νερού γύρω από τους μεγάλους κόκκους των αδρανών σε πολύ μικρές αποστάσεις από αυτούς και ιδίως όταν έχουμε μεγάλη αναλογία νερού προς τσιμέντο. Στη συνέχεια, στο συμπαγή πολτό τα παραγόμενα ιόντα του ασβεστίου, του υδροξυλίου, του πυρπίου και του

αργιλίου από την διάλυση του θειικού άλατος και των αργιλικών ενώσεων του ασβεστίου, συνδυάζονται για το σχηματισμό ετρίγκιτη και υδροξειδίου του ασβεστίου. Εξαιτίας της υψηλής αναλογίας νερού προς τσιμέντο, αυτά τα κρυσταλλικά προϊόντα στην περιοχή γύρω από τα χονδρόκοκκα αδρανή αποτελούνται από μεγάλους κρυστάλλους, σχηματίζοντας έτσι ένα σκελετό περισσότερο πορώδη από το συμπαγή τσιμεντοπολτό. Τέλος, με την εξέλιξη της ενυδάτωσης, πορώδεις κρύσταλλοι των ασβεστοπυρρικών ενώσεων C-S-H και μια δεύτερη παραγωγή μικρότερων κρυστάλλων ετρίγκιτη και υδροξειδίου του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  αρχίζουν να γεμίζουν τα κενά που υπάρχουν στον σκελετό ο οποίος, όπως προαναφέρθηκε, δημιουργήθηκε από μεγάλους κρυστάλλους ετρίγκιτη και υδροξειδίου του ασβεστίου. Η παραπάνω μείωση των κενών συμβάλλει στην αύξηση της πυκνότητας και κατά συνέπεια, και της αντοχής της μεταβατικής ζώνης. [7]



**Σχήμα 2-8:** Μοντέλο της μεταβατικής ζώνης μεταξύ τσιμεντοπολτού και αδρανών. [9]

### 1.3.1. Αντοχή της μεταβατικής ζώνης

Όπως και στην περίπτωση του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού, η αιτία της σύνδεσης των προϊόντων της ενυδάτωσης με τους κόκκους των αδρανών είναι οι ελκτικές δυνάμεις *van der Waals*. Επομένως, η αντοχή της μεταβατικής ζώνης εξαρτάται από τον όγκο και το μέγεθος των υπάρχοντων κενών.

Ακόμη και για μικρή αναλογία νερού προς τσιμέντο σε πρώιμη ηλικία ο όγκος και το μέγεθος των κενών στη μεταβατική ζώνη θα είναι μεγαλύτερα από ότι στο συμπαγές κονίαμα, με αποτέλεσμα να είναι και ασθενέστερη ως προς την αντοχή. Ωστόσο, σε μεγαλύτερες ηλικίες η αντοχή της μεταβατικής ζώνης μπορεί να εξισωθεί ή ακόμη και να γίνει μεγαλύτερη της αντοχής του συμπαγούς κονιάματος. Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί σε περιπτώσεις που η φύση των αδρανών ή η χρήση ορισμένων προσμίκτων συντελούν στη δημιουργία πρόσθετων προϊόντων ενυδάτωσης, όπως η δημιουργία αργιλοανθρακικών ένυδρων ενώσεων σε περιπτώσεις ορισμένων ασβεστολιθικών αδρανών ή η δημιουργία ένυδρων πυριτικών ενώσεων του ασβεστίου σε περιπτώσεις πυριτικών αδρανών ή η δημιουργία ποζολανικών αντιδράσεων μεταξύ ποζολανών, όπως η πυριτική παιπάλη. Τέτοιες αλληλεπιδράσεις συνεισφέρουν στην αντοχή, γιατί επιπλέον έχουν την τάση να μειώνουν την συγκέντρωση των υδροξειδίων του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  στη μεταβατική ζώνη, τα οποία λόγω της μικρής ειδικής τους επιφάνειας και κατόπ συνέπεια των μικρών ελκτικών δυνάμεων *van der Waals*, διαθέτουν μικρή συγκολλητική δυνατότητα.

Εκτός από τον μεγάλο όγκο των τριχοειδών κενών και την προσανατολισμένη διάταξη των κρυστάλλων του υδροξειδίου του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  κύρια αιτία για τη μειωμένη αντοχή της μεταβατικής ζώνης είναι η παρουσία μικρορωγμών. Η ποσότητα των μικρορωγμών εξαρτάται από παραμέτρους συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους και της κατάταξης των αδρανών, της περιεκτικότητας σε τσιμέντο, της αναλογίας νερού προς τσιμέντο, του βαθμού σταθερότητας του νωπού σκυροδέματος, των συνθηκών συντήρησης και της υγρασίας του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, ένα μίγμα σκυροδέματος που περιέχει πολύ πορώδη σύνθεση αδρανών, και κατόπ συνέπεια επιτρέπει το σχηματισμό στρώσεων νερού γύρω από τα αδρανή, είναι περισσότερο επιρρεπές στο διαχωρισμό υπό συμπίεση. Υπό τις ίδιες συνθήκες, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των κόκκων των αδρανών τόσο μεγαλύτερες είναι οι στρώσεις νερού γύρω από αυτά. Η μεταβατική ζώνη που σχηματίζεται κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι ευάλωτη στη ρηγμάτωση, υπό την επίδραση εφελκυστικών τάσεων που αναπτύσσονται από τις διάφορες μετακινήσεις μεταξύ των αδρανών και του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού. Τέτοιες μετακινήσεις εκδηλώνονται είτε κατά την ξήρανση, είτε κατά την ψύχρανση του σκυροδέματος. Με άλλα λόγια, στη μεταβατική ζώνη του σκυροδέματος υπάρχουν μικρορωγμές πριν ακόμη από την φόρτιση της κατασκευής.

Προφανώς, οι φορτίσεις μικρής διάρκειας, η συστολή ξήρανσης και τα μόνιμα υψηλά φορτία αυξάνουν το μέγεθος και τον αριθμό των μικρορωγμών. [7]

### 1.3.2. Επίδραση της μεταβατικής ζώνης στις ιδιότητες του σκυροδέματος

Η μεταβατική ζώνη, που είναι συνήθως ο ασθενέστερος κρίκος της αλυσίδας, θεωρείται σαν τη φάση που ορίζει την αντοχή του σκυροδέματος, αφού στην παρουσία της αποδίδεται το γεγονός ότι το σκυρόδεμα διαθέτει πολύ μικρότερη αντοχή από αυτήν που έχουν καθένα από τα δύο κύρια συστατικά του.

Για τάσεις μεγαλύτερες από 70% της μέγιστης αντοχής, η συγκέντρωση τάσεων στους μεγάλους πόρους του κονιάματος γίνεται τόσοση, ώστε να αρχίσει η ρηγμάτωση σε αυτούς. Με την αύξηση της τάσεως, οι ρωγμές του κονιάματος εκτείνονται μέχρι να συναντήσουν τις ρωγμές που σχηματίζονται στη μεταβατική ζώνη. Το σύστημα των ρωγμών τότε γίνεται συνεχόμενο και το υλικό θραύεται. Επομένως, απαιτείται μεγάλη ποσότητα ενέργειας για το σχηματισμό και την εξάπλωση των ρωγμών του κονιάματος, υπό θλιπτική καταπόνηση. Από την άλλη πλευρά, υπό εφελκυστική καταπόνηση οι ρωγμές πολλαπλασιάζονται ραγδαίως και με πολύ μικρότερη τιμή τάσεως. Γι' αυτό το λόγο, το σκυρόδεμα είναι ασταθές σε εφελκυσμό, αλλά αρκετά ανθεκτικό στη θλίψη και κατά συνέπεια η εφελκυστική αντοχή είναι πολύ μικρότερη της θλιπτικής.

Η δομή της μεταβατικής ζώνης, ιδιαίτερα ο όγκος των κενών και η ύπαρξη μικρορωγμών, επιδρούν σημαντικά στην ακαμψία ή το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος. Στο σύνθετο υλικό, η μεταβατική ζώνη διαδραματίζει το ρόλο της γέφυρας μεταξύ των δύο υλικών: του κονιάματος και των χονδροκακκών αδρανών. Ακόμη και αν καθένα από αυτά τα συστατικά χαρακτηρίζεται από μεγάλο μέτρο δυσκαμψίας, η δυσκαμψία της σύνθεσής τους μπορεί να είναι πολύ μικρότερη λόγω της "ασυνεχούς" γέφυρας με τα κενά και τις μικρορηγματώσεις, η οποία δεν επιτρέπει τη μεταφορά δυνάμεων.

Τα χαρακτηριστικά της μεταβατικής ζώνης επιδρούν και στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Τα στοιχεία από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα αστοχούν εξαιτίας της διάβρωσης του ενσωματωμένου οπλισμού. Ο βαθμός διάβρωσης του οπλισμού συνδέεται άμεσα με την διαπερατότητα του σκυροδέματος, η οποία ενισχύεται από την ύπαρξη μικρορωγμών στη μεταβατική ζώνη σύνδεσης των

χονδρόκοκκων αδρανών με τον οπλισμό. Θα πρέπει λοιπόν να σημειωθεί ότι η αεροδιαπερατότητα και υδατοπερατότητα είναι βασικοί παράγοντες της διάβρωσης του οπλισμού του σκυροδέματος.

Η επίδραση της αναλογίας νερού προς τσιμέντο στη διαπερατότητα και την αντοχή του σκυροδέματος, συνήθως αποδίδεται στις σχέσεις που υφίστανται μεταξύ της παραπάνω αναλογίας και του πορώδους του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού. Σε γενικές γραμμές πάντως, όσο μεγαλύτερα είναι τα αδρανή τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ποσότητα του νερού στη μεταβατική ζώνη και κατά συνέπεια τόσο πιο ασθενές και πιο διαπερατό θα είναι το σκυρόδεμα. [7]

## 2. ΠΟΡΩΔΕΣ

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το σκυρόδεμα, όπως και οι φυσικοί λίθοι, δεν είναι υλικό απόλυτα συμπαγές και πλήρες, αλλά περιέχει πλήθος από μικροσκοπικές και μακροσκοπικές κοιλότητες. Οι κοιλότητες αυτές είναι κενές από στερεό υλικό, γι' αυτό ονομάζονται πόροι ή κενά. Ωστόσο, μπορεί να περιέχουν αέρα ή να είναι γεμάτες νερό. Το σύνολο αυτών των κοιλοτήτων συνιστά το πορώδες του σκυροδέματος και ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Πόροι των αδρανών υλικών, δηλαδή πόροι των κόκκων των σκύρων και της άμμου.
- Πόροι που δημιουργούνται από τον εγκλεισμό φυσαλίδων αέρα μέσα στο τσιμεντοκονίαμα.
- Τριχοειδή κενά, δημιουργούμενα από τις μικρορηγματώσεις που οφείλονται στις συστολές του τσιμεντοκονιάματος κατά την ενυδάτωσή του. [3]

Το ολικό πορώδες του σκυροδέματος κυμαίνεται μεταξύ 8 και 25% και επηρεάζει τη χρόνια συστολή, τον ερπυσμό, την υδαταπορροφητικότητα, την υδατοπερατότητα καθώς και την ανθεκτικότητα του υλικού στον παγετό. Τέλος, όπως ήδη έχει αναλυθεί,

το πορώδες επηρεάζει και την αντοχή, δεδομένου ότι η μετάδοση των δυνάμεων γίνεται μέσα από το στερεό σκελετό του υλικού.

Είναι προφανές λοιπόν ότι κύρια επιδίωξη κατά την παραγωγή σκυροδέματος είναι η, κατά το δυνατόν, μεγαλύτερη μείωση του πορώδους του υλικού με σκοπό τη βελτίωση των παραπάνω ιδιοτήτων του. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται:

- Αποτελεσματική συμπίκνωση για τη διαφυγή του εγκλωβισμένου αέρα.
- Καλή ποιότητα και καθαρότητα των αδρανών για την καλύτερη προσκόλληση της τσιμεντοκονίας στους κόκκους τους.
- Κατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών για την πυκνότερη δομή τους.
- Καλή συντήρηση για την ολοκλήρωση της ενυδάτωσης.
- Κατάλληλη, όσο το δυνατόν μικρότερη, αναλογία νερού προς τσιμέντο.
- Αυξημένος βαθμός ενυδάτωσης.

Ο τρόπος με τον οποίο ο λόγος νερού προς τσιμέντο και ο βαθμός ενυδάτωσης επηρεάζουν κατά κύριο λόγο το πορώδες του σκυροδέματος γίνεται κατανοητός μέσα από τη διαδικασία της ενυδάτωσης. [3]

Έχει ήδη αναφερθεί ότι για να ενυδατωθεί το τσιμέντο δεσμεύει χημικά νερό ίσο περίπου με 23-25% της μάζας του, που ονομάζεται χημικά δεσμευμένο νερό. Επίσης, δεσμεύει επιφανειακά και μια ποσότητα νερού ίση περίπου με 19% της μάζας του, το ονομαζόμενο επιφανειακά δεσμευμένο νερό, το οποίο δε συμπεριφέρεται όπως το κοινό νερό και έχει μειωμένη κινητικότητα.

Το χημικά δεσμευμένο νερό μαζί με το τσιμέντο σχηματίζουν τη μάζα του πηγματος, το οποίο συγκρατεί με ισχυρές επιφανειακές τάσεις το επιφανειακό δεσμευμένο νερό. Επομένως, το συνολικό νερό που απαιτείται για την πλήρη ενυδάτωση του τσιμέντου, είναι:

$$\chi.\delta.N + E.\delta.N \cong 23\% + 19\% = 42\% \text{ κατά μάζα τσιμέντου.}$$

Αν κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης παρουσιαστεί έλλειψη νερού, το τσιμέντο δε μπορεί να απορροφήσει νερό από το επιφανειακά δεσμευμένο νερό του ήδη ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού και κατά συνέπεια η ενυδάτωση διακόπτεται.

Το άθροισμα των όγκων του τσιμέντου και του νερού, πριν από την ενυδάτωση, είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των όγκων των προϊόντων της πλήρους ενυδάτωσης. Το φαινόμενο αυτό, το οποίο δεν οφείλεται σε εξωτερικά αίτια, όπως την επιβολή δυνάμεως, την εξάτμιση ή τη μεταβολή θερμοκρασίας, ονομάζεται χημική συστολή ή συστολή ενυδάτωσης. Η χημική συστολή είναι περίπου ίση με το 1/4 του χημικά δεσμευμένου νερού. Επομένως, εκφράζοντας τη χημική συστολή σε μάζα τσιμέντου θα έχουμε:

$$23\% \cdot 1/4 = 5,75\% \text{ κατά μάζα τσιμέντου.}$$

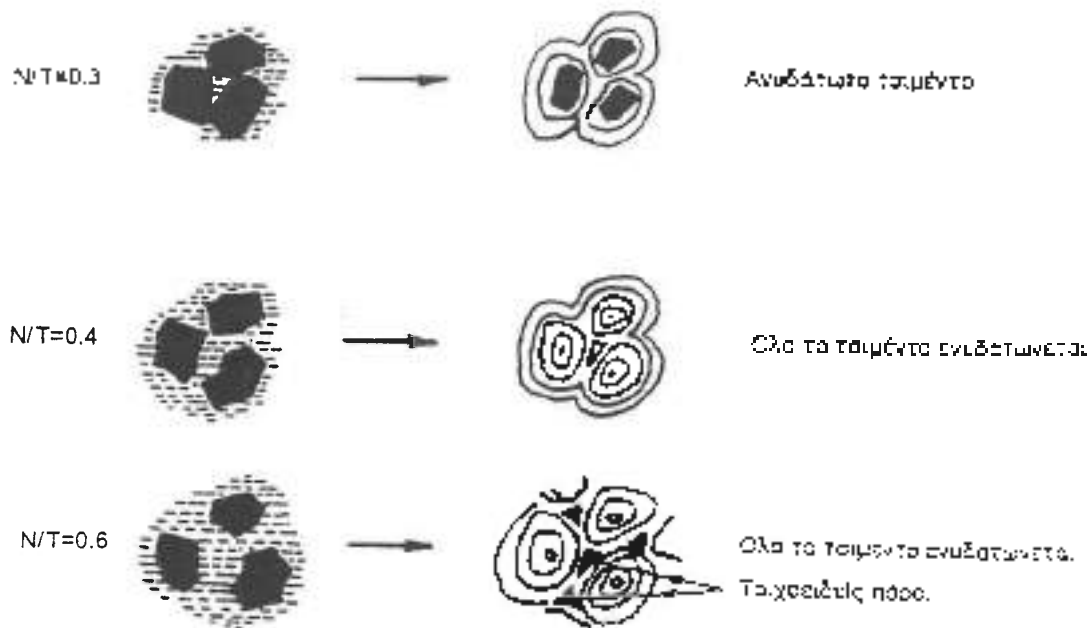
Για παράδειγμα, εάν ενυδατωθούν πλήρως 100 gr τσιμέντου, δηλαδή 100 gr/  $3,15 \text{ gr/cm}^3 = 31,75 \text{ cm}^3$ , θα χρειαστούν 23  $\text{cm}^3$  Χ.δ.Ν και το άθροισμα των όγκων των αρχικών υλικών θα είναι:

$$31,75 + 23 = 54,75 \text{ cm}^3.$$

Το τελικό προϊόν θα έχει μειωμένο όγκο, λόγω χημικής συστολής, κατά 5,75  $\text{cm}^3$ , δηλαδή θα έχει όγκο ίσο με 49  $\text{cm}^3$ . Η μείωση αυτή, εκφρασμένη ως ποσοστό του αρχικού όγκου του τσιμέντου, ανέρχεται σε  $5,75 \cdot 100 / 31,75 = 18,11\%$  κ.ό. τσιμέντου.

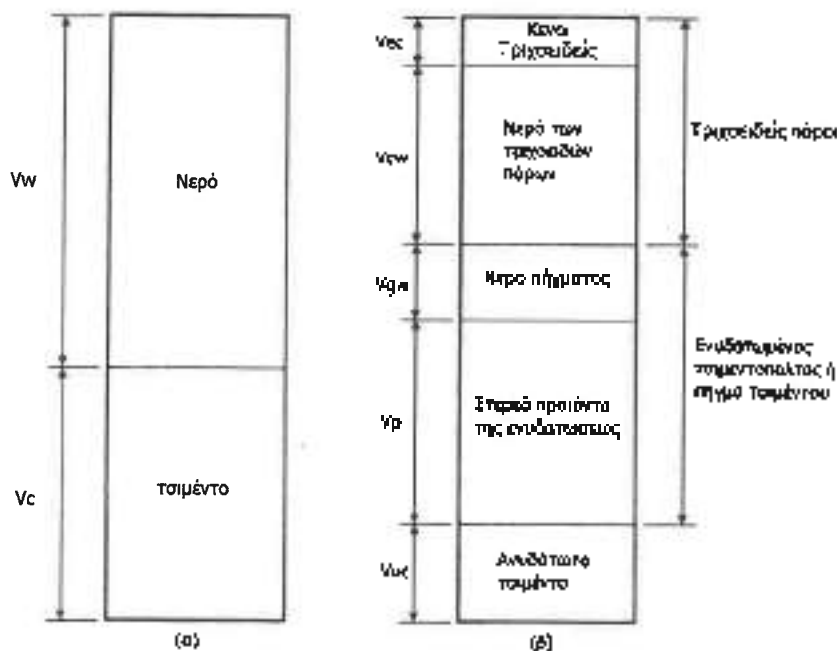
Για πλήρως ενυδατωμένο τσιμέντο, χωρίς περίσσεια νερού πέραν αυτού που χρειάζεται για πλήρη ενυδάτωση, η χημική συστολή, η οποία είναι ίση περίπου προς το 18,5% του όγκου του τσιμέντου, παίρνει τη μορφή τριχοειδών κενών, τα οποία στο τέλος της ενυδάτωσης μπορεί να είναι άδεια, ή πλήρως ή εν μέρει γεμάτα με νερό, ανάλογα με την αρχική ποσότητα του νερού και τη δυνατότητά του να εισέλθει στη μάζα του τσιμεντοπολτού κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης. Επομένως, αν το νερό της ανάμιξης είναι περισσότερα από το απαιτούμενο για πλήρη ενυδάτωση το νερό που θα περισσεύει θα γεμίσει κατ' αρχήν τα τριχοειδή της χημικής συστολής και αν περισσεύει ακόμη θα δημιουργήσει πρόσθετα κενά, τα οποία θα είναι γεμάτα με νερό. Επομένως, περίσσεια νερού αυξάνει τα κενά και κατά συνέπεια μειώνει την αντοχή του υλικού. Στην περίπτωση της μερικής ενυδάτωσης του τσιμέντου, κάποια ποσότητά του θα παραμείνει ανυδατωτή μεταβάλλοντας την κοκκομετρική σύνθεση του μίγματος και αυξάνοντας το μέγεθος του πορώδους συστήματος. Η αύξηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι τριχοειδείς πόροι θα καταλάβουν το χώρο που θα είχε το ενυδατωμένο τσιμέντο, ο οποίος είναι περίπου ίσος με το διπλάσιο του ανυδατωτού. Στο σχήμα 2-9

παρουσιάζεται, σχηματικά, η επίδραση του λόγου νερού προς τσιμέντο  $N/T$  στη δημιουργία τριχοειδών πόρων. [3]



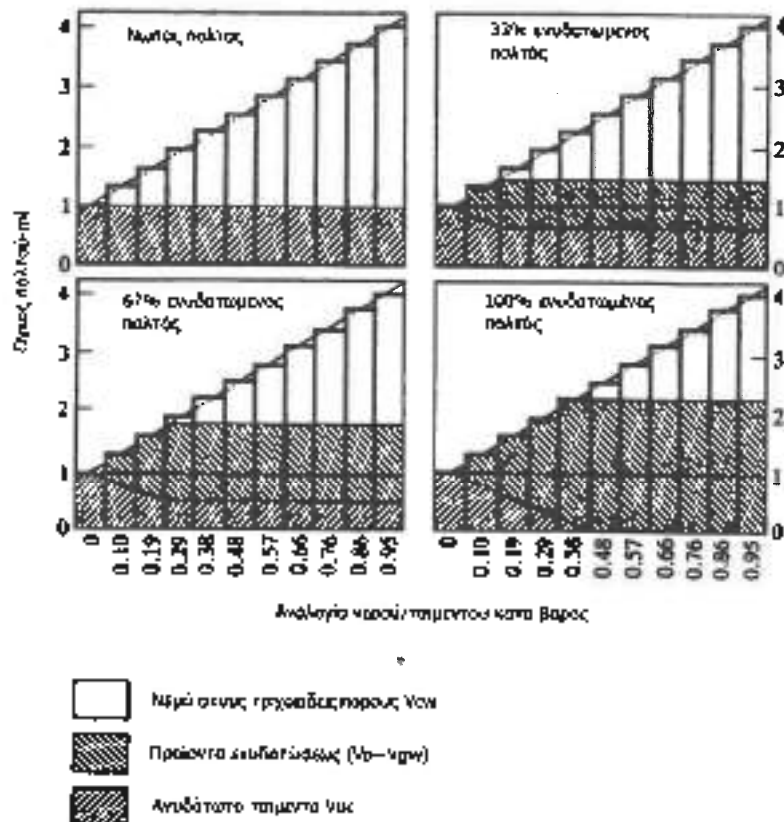
**Σχήμα 2-9:** Επίδραση του λόγου  $N/T$  στη δημιουργία τριχοειδών κενών. [3]

Στο σχήμα 2-10(α) παρουσιάζονται οι ποσότητες νερού και τσιμέντου, που αναμιγνύονται για να σχηματίσουν τα προϊόντα ενυδάτωσης που δίνονται στο σχήμα 2-10(β), υπό την προϋπόθεση ότι ο τσιμεντοπολτός έχει συμπυκνωθεί πλήρως και ότι η συντήρηση του τσιμεντοπολτού δεν προσδίδει νερό στον πολτό.



**Σχήμα 2-10:** Διαγραμματική παρουσίαση των αγκομετρικών αναλογιών:  
(α) πριν την ενυδάτωση  
(β) κατά την ενυδάτωση [3]

Ακόμη, στο σχήμα 2-11 δίνεται η σύνθεση του τσιμεντοπολτού σε διάφορα στάδια της ενυδάτωσης και για διάφορους λόγους νερού προς τσιμέντο. [3]



**Σχήμα 2-11:** Σύνθεση του τσιμεντοπολτού στα διάφορα στάδια της ενυδάτωσης. Το ποσοστό ενυδάτωσης που αναγράφεται σε κάθε διάγραμμα, ισχύει μόνο για τους πολτούς εκείνους που περιέχουν την απαιτούμενη ποσότητα νερού για να ολοκληρωθεί το συγκεκριμένο ποσοστό. [10]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

#### **1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

##### **1.1. ΕΡΓΑΣΙΜΟ**

Με τον όρο εργάσιμο ή εργασιμότητα, χαρακτηρίζουμε γενικά την ευκαλία με την οποία μπορούμε να μεταφέρουμε, να διαστρώσουμε και να συμπυκνώσουμε το σκυρόδεμα, έτσι ώστε να γεμίσει τον ξυλότυπο σε όλα τα σημεία, χωρίς να αφήσει κενά και να πάρει τη μορφή που θέλουμε. Ο ορισμός όμως αυτός, δεν είναι απόλυτα ακριβής, διότι η ευκαλία κατέργασίας του νωπού σκυροδέματος συνδέεται και με τα μέσα που διατίθενται κάθε φορά. Σωστότερα λοιπόν ως εργάσιμο χαρακτηρίζεται, το έργο που απαιτείται για την υπερνίκηση των εσωτερικών τριβών, έως ότου επιτευχθεί πλήρης συμπίκνωση. Οι ιδιότητες, με τις οποίες συνδέεται και από τις οποίες εξαρτάται το εργάσιμο, είναι οι ακόλουθες:

- Η ρευστότητα, που είναι η ευκαλία με την οποία ρέει ένα υλικό και εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του νερού ανάμιξης.
- Η πλαστικότητα, με την οποία χαρακτηρίζεται η ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή της συνέχειάς του.
- Η συνοχή, η οποία είναι το αποτέλεσμα των δυνάμεων που έλκουν τα μόρια του υλικού μεταξύ τους.
- Η ικανότητα συμπίκνωσης, που είναι η ικανότητα του υλικού να συμπυκνωθεί και που εξαρτάται από τον αρχικό βαθμό συμπίκνωσης.
- Η τελειωσιμότητα, δηλαδή η ιδιότητα που διακρίνει το σκυρόδεμα να δίνει την επιθυμητή μορφή επιφάνειας, με τις συνήθεις μεθόδους τελικής μόρφωσης.

- Η αντλησιμότητα, που είναι η ικανότητα του σκυροδέματος να αντλείται χωρίς προβλήματα. [4]

Γενικά, το εργάσιμο αυξάνεται όσο αυξάνεται το νερό ανάμιξης, δηλαδή η ρευστότητα του μίγματος. Η ρευστότητα εξαρτάται περισσότερο από την ποσότητα του νερού ανάμιξης και πολύ λιγότερο από το λόγο νερού προς τσιμέντο. Για την ίδια ρευστότητα, το απαιτούμενο νερό ελαττώνεται γενικά όσο ελαττώνεται η ειδική επιφάνεια των αδρανών. Όμως μείωση της ειδικής επιφάνειας σημαίνει αύξηση του χονδρόκοκκου υλικού, που συνεπάγεται τη μείωση της πλαστικότητας και της συνοχής του μίγματος, με κίνδυνο την απόμιξη.

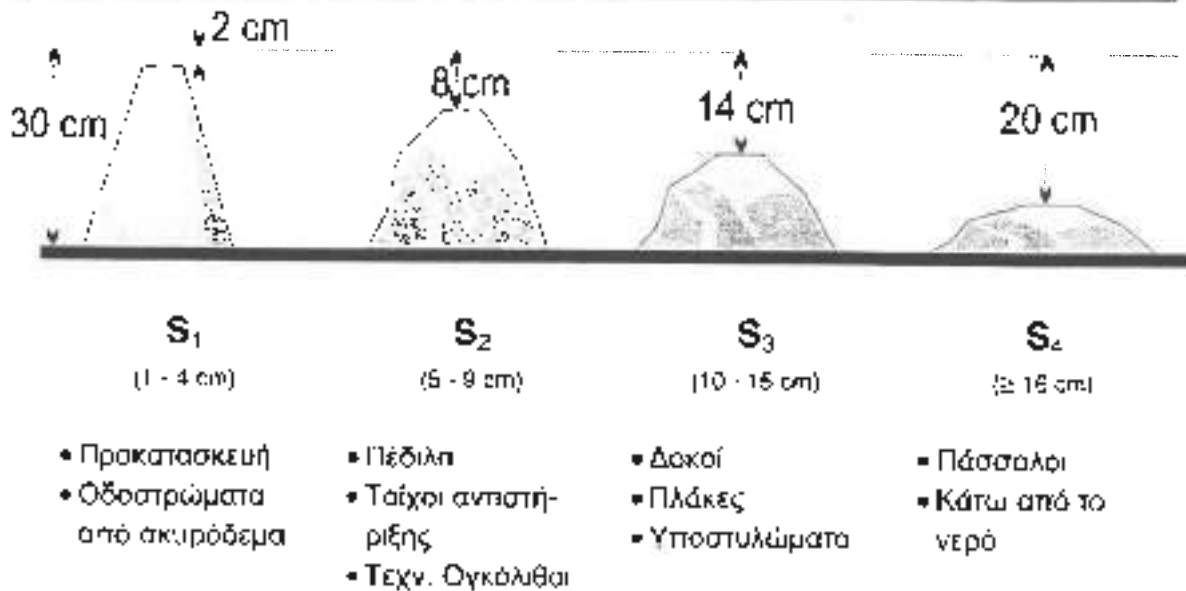
Η μέτρηση του εργάσιμου δεν μπορεί να γίνει απ' ευθείας. Γι' αυτό έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι με τις οποίες μετρούμε μία ή περισσότερες από τις ιδιότητές του. Με τις μετρήσεις αυτές, αποκτούμε μία έμμεση και κατά προσέγγιση εικόνα του βαθμού εργασιμότητας του σκυροδέματος. Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές, που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, είναι οι ακόλουθες. [4]

#### 1.1.1. Δοκιμή κάθισης

Για τη δοκιμή μέτρησης της κάθισης, χρησιμοποιούμε έναν μεταλλικό κώνου κώνο τυποποιημένων διαστάσεων, του οποίου οι δύο βάσεις είναι ανοιχτές, παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες στον άξονα του κώνου. Ο κώνος κάθισης τοποθετείται πάνω σε μια επίπεδη, άκαμπτη, οριζόντια και μη απορροφητική επιφάνεια και διαβρέχεται εσωτερικά, αυτός και η επιφάνεια έδρασης. Στη συνέχεια, δείγμα σκυροδέματος τοποθετείται στον κώνο, συμπυκνώνεται και επιπεδώνεται κατά τυποποιημένο τρόπο και μετράται η διαφορά, εκφραζόμενη σε εκατοστά του μέτρου, ανάμεσα στο ύψος του κώνου και του υψηλότερου σημείου του σκυροδέματος, που ελευθερούμενο από το μεταλλικό περίβλημα, κάθισε. [4]

Οι κατηγορίες καθίσεως, σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΚΤΣ-97, είναι οι ακόλουθες:

## ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΘΙΣΗΣ



**Σχήμα 3-1:** Κατηγορίες κάθισης για διάφορα είδη κατασκευών. [2]

Αν διαπιστωθεί κατάρρευση του σκυροδέματος από διάτμηση, η μέτρηση δε θα ληφθεί υπ' όψη και η δοκιμή πρέπει να επαναληφθεί σε νέο τμήμα του δείγματος. Αν και η δεύτερη δοκιμή δείξει την ίδια συμπεριφορά, τότε θεωρείται ότι το σκυρόδεμα δεν έχει την αναγκαία πλαστικότητα και συνοχή για την εφαρμογή της δοκιμής κάθισης. [4]

### 1.1.2. Δοκιμή Vebe

Αν η κάθιση είναι μικρότερη από 10 mm το σκυρόδεμα είναι τόσο ύφυγρο ώστε η μέθοδος ελέγχου να μην είναι κατάλληλη. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η δοκιμή *Vebe*.

Στη δοκιμή αυτή γίνεται χρήση ενός κώνου, παρόμοιου με τον κώνο της δοκιμής κάθισης, τοποθετημένου μέσα σε άλλο κυλινδρικό δοχείο, μεγαλύτερης διαμέτρου και επάνω σε μια δονητική τράπεζα. Μετά την αφαίρεση του κώνου το σκυρόδεμα κάθεται, αλλά συγχρόνως υποβάλλεται σε δόνηση και συμπύκνωση κατά τυποποιημένο τρόπο, παίρνοντας τη μορφή του εξωτερικού κυλινδρικού δοχείου. Ο χρόνος από τη στιγμή της κατακόρυφης απομάκρυνσης του κώνου και της σύγχρονης έναρξης της δόνησης μέχρι την πλήρη επιπεδότητα της άνω επιφάνειας, ονομάζεται χρόνος *Vebe*. Η επιπεδότητα έχει πραγματοποιηθεί όταν το σκυρόδεμα καλύψει ολόκληρο τον κυκλικό δίσκο.

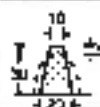
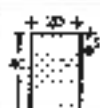
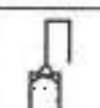
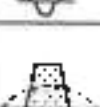
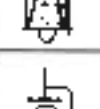
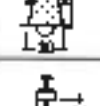
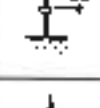
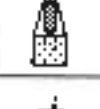
Όταν η κάθιση του δείγματος του σκυροδέματος στη δοκιμή κάθισης, είναι μεγαλύτερη από 175 mm, τότε αυτή η δοκιμή ελέγχου δεν είναι κατάλληλη για τη μέτρηση της εργασιμότητας αυτού του σκυροδέματος και πρέπει να αντικατασταθεί από τη δοκιμή εξαπλώσεως. [4]

### **1.1.3. Δοκιμή εξαπλώσεως**

Στη δοκιμή εξαπλώσεως, όπως και στις δύο προηγούμενες δοκιμές, χρησιμοποιείται μεταλλικός κώνος που γεμίζεται με σκυρόδεμα και συμπυκνώνεται με καθορισμένο τρόπο. Ο κώνος με το σκυρόδεμα βρίσκεται τοποθετημένος επάνω σε τράπεζα εξαπλώσεως, η οποία έχει τη δυνατότητα να ανυψώνεται και να πέφτει ελεύθερα, μεταδίδοντας τις κρούσεις στη μάζα του σκυροδέματος. Μετά την κατακόρυφη αφαίρεση του κώνου, η βάση αναγκάζεται να πραγματοποιήσει ορισμένο αριθμό κρούσεων, έτσι ώστε το σκυρόδεμα να απλωθεί πέρα από την αρχική κάθιση. Η μέση διάμετρος της μάζας του σκυροδέματος, όπως έχει διαμορφωθεί στην τράπεζα εξαπλώσεως, ονομάζεται μέτρο εξαπλώσεως. [4]

### **1.1.4. Δοκιμή του μέτρου συμπυκνώσεως**

Σ' αυτή τη δοκιμή ελέγχου το σκυρόδεμα εισάγεται, χωρίς καμία συμπύκνωση, σε μεταλλικό δοχείο διαστάσεων 20x20 cm και ύψους 40 cm. Μόλις γεμίσει το δοχείο, κατά τυποποιημένο τρόπο, δονείται έως ότου να συμπυκνωθεί τελείως και αφαιρείται ο κώνος κατακόρυφα. Ο λόγος του αρχικού ύψους προς τον τελικό χαρακτηρίζεται ως μέτρο συμπυκνώσεως. [4]

| Μέθοδος<br>μετρήσεως εργασίμου |                                                                                     |                                                                | εργασιμότητα |           |           |       |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-------|
|                                |                                                                                     |                                                                | ύψιμο        | πλαστικό  | ρευστό    |       |
| 1                              |    | κάθισή<br>(cm)<br>(ABRAMS)                                     | 0 - 2        | 2 - 8     | 8 - 14    |       |
| 2                              |    | Μέτρο συμπίκνωσης<br>$v = \frac{40}{40 - s}$<br>(WALZ)         | 1,45-1,26    | 1,25-1,11 | 1,10-1,04 |       |
| 3                              |    | Μέτρο συμπίκνωσης<br>(FRITSCH)                                 | 1,40-1,19    | 1,25-1,11 | 1,05-1,00 |       |
| 4                              |    | Μέτρο εξοπλώσεως<br>(cm)<br>(GRAF)                             | -            | 28 - 40   | 38 - 50   |       |
| 5                              |    | Χρόνος VEBE<br>(sec)<br>(BAHRNER)                              | 40 - 8       | 10 - 3    | 3 - 1     |       |
| 6                              |   | Δύναμη αποσυμπίκνωσης<br>κωνου (αριθμός κρούσεων)<br>(PONIERS) | 50 - 27      | 27 - 10   | 11 - 3    |       |
| 7                              |  | Αντίσταση<br>διαπεράσεως<br>(αρ. κρούσεων)<br>(HAMMEL)         | χαλαρά       | 8         | 5         | 2     |
|                                |                                                                                     |                                                                | συμπιεσμένο  | 30 - 14   | 20 - 8    | 7 - 2 |
| 8                              |  | Βάθος διαπεράσεως<br>(cm)<br>(GRAF)                            | 2 - 5        | 6 - 14    | 14 - 23   |       |
| 9                              |  | Χρόνος ροής<br>(sec)<br>(LESAGE)                               | 60 - 30      | 30 - 5    | 5 - 1     |       |

**Σχήμα 3-2:** Συγκριτικός πίνακας διαφόρων μεθόδων μέτρησης του εργασίμου. [4]

Όσον αφορά τις απαιτήσεις εργασίμου, για τα οπλισμένα σκυροδέματα που συμπεκνώνονται στο εργοτάξιο με συνήθη δονητικά μέσα, απαιτείται κάθισή τουλάχιστον 5 cm για θραυστά αδρανή και τουλάχιστον 3 cm για φυσικά αδρανή. Σκυροδέματα με μικρότερη κάθισή μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για προκατασκευασμένα στοιχεία. Τέλος, αν η εργασιμότητα δεν προδιαγράφεται, από το μελετητή ή τον επιβλέποντα, η μελέτη σύνθεσης θα γίνει με κάθισή 10-12 cm. Συνήθως

στην πράξη απαιτούνται εργασιμότητες της τάξης των 14-15 cm καθίσσεως, οι οποίες μπορούν να επιτευχθούν, χωρίς μείωση της αντοχής, με την προσθήκη υπερρρευστοποιητικών. [4]

## 1.2. ΕΞΙΔΡΩΣΗ

Εξίδρωση ονομάζεται το φαινόμενο του διαχωρισμού του νερού από τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος, που παρουσιάζεται στην περίοδο πριν από την πήξη. Τα στερεά συστατικά καθιζάνουν λόγω της βαρύτητας, ενώ το νερό λόγω των τριχοειδών δυνάμεων έχει την τάση να κινηθεί προς τα επάνω. Έτσι, εμφανίζεται στην επιφάνεια του νωπού σκυροδέματος λεπτό στρώμα νερού που μοιάζει με εξίδρωση και που τελικά, εξατμίζεται. [4]

Επομένως, η εξίδρωση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του τελικού όγκου του μίγματος και την απομάκρυνση μέρους του νερού. Η ελάττωση της ποσότητας του νερού είναι βέβαια επιθυμητή, γιατί έχει ευνοϊκό αποτέλεσμα στην αντοχή. Όμως, τα φαινόμενα του διαχωρισμού είναι επιβλαβές και ανεπιθύμητο, λόγω της αναμοιογένειας και ανισοτροπίας που δημιουργεί μέσα στη μάζα του σκυροδέματος και ειδικότερα για τα ακόλουθα δυσμενή φαινόμενα:

- Όπως το νερό κινείται προς τα επάνω συμπαρασύρει το λεπτόκοκκο υλικό του τσιμέντου. Κατά τον τρόπο αυτό, το μίγμα στα χαμηλά τμήματα γίνεται φτωχότερο σε τσιμέντο και στην επάνω επιφάνεια δημιουργείται λεπτό στρώμα κονίας, που ρηγματώνεται και αποφλοιώνεται.

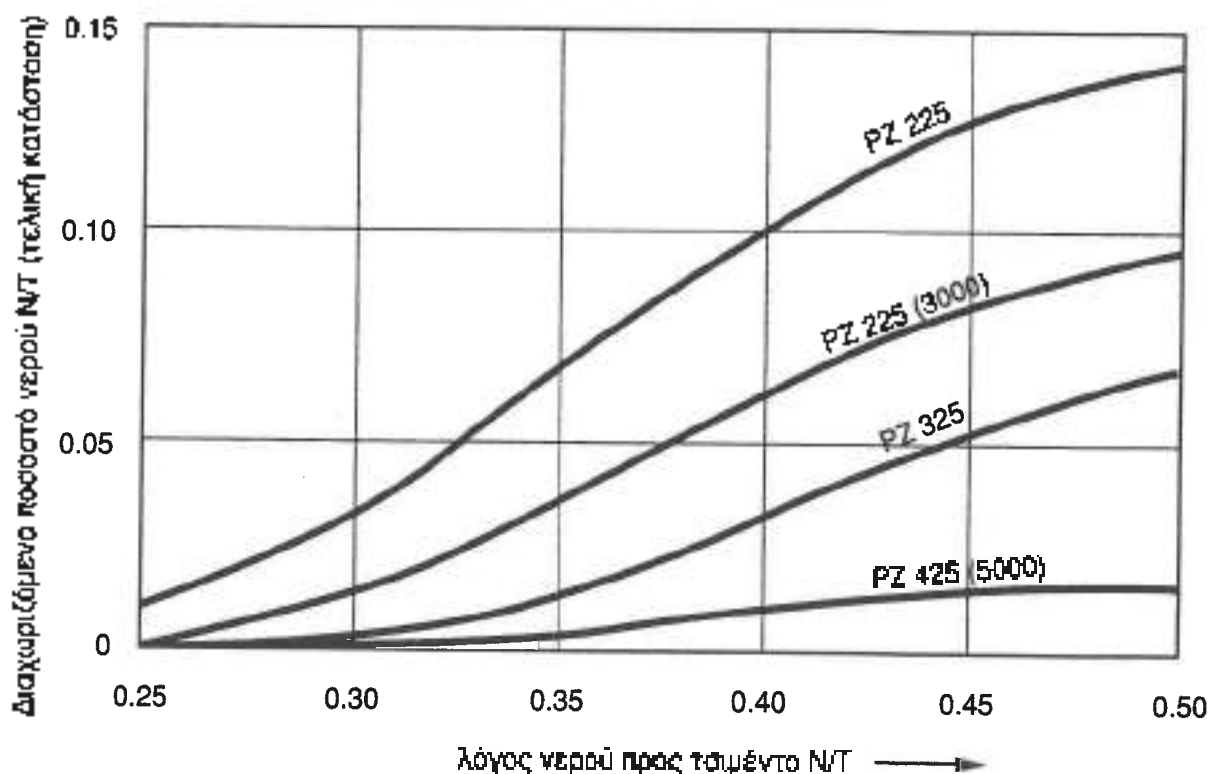
- Κατά τη δίοδο του νερού ανάμεσα από τα στερεά συστατικά δημιουργούνται μέσα στο τσιμεντοπολτό λεπτοί σωληνίσκοι.

- Η συγκέντρωση του νερού δε γίνεται μόνο στην επάνω επιφάνεια του σκυροδέματος. Το ίδιο φαινόμενο εμφανίζεται τοπικά και στις κοιλότητες μεταξύ των σκύρων, όπου γίνεται τοπική συγκέντρωση νερού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κοιλοτήτων με αυξημένο λόγο νερού προς τσιμέντο και άρα μειωμένη αντοχή.

- Το παραπάνω φαινόμενο επαναλαμβάνεται και σε όλο το μήκος κάτω από τις ράβδους του οπλισμού, όπου το κενό που σχηματίζεται μειώνει την επιφάνεια συνεργασίας ανάμεσα στο σκυρόδεμα και τον οπλισμό, ενώ παράλληλα αυξάνει τον κίνδυνο διαβρώσεώς του. [4]

Το φαινόμενο της εξίδρωσης επιτείνεται με την αύξηση του νερού ανάμιξης καθώς και με την έλλειψη λεπτόκοκκων υλικών της άμμου και του τσιμέντου, γιατί μ' αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η κίνηση του νερού προς τα επάνω. Επίσης, την εμφάνιση του φαινομένου της εξίδρωσης ενισχύει η χρήση των επιβραδυντικών προσθέτων για τον έλεγχο της ταχύτητας ενυδάτωσης. Αντιθέτως, η αύξηση της περιεκτικότητας σε αέρα επιδρά ανασταλτικά στην εξίδρωση, γιατί οι φυσαλίδες παρεμποδίζουν την κίνηση του νερού. [4]

Οι δυσμενείς επιδράσεις της εξίδρωσης αίρονται τελείως αν, στην αρχή της πήξης, αποκατασταθεί η ομοιογένεια του υλικού με αναμόχλευση και αναδόνηση της μάζας. Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει εκλογή της κατάλληλης στιγμής για την αναμόχλευση, γιατί πέρα από κάποιο χρονικό όριο μπορεί να καταστραφεί η δομή της κονίας.



**Σχήμα 3-3:** Σχέση μεταξύ ποσότητας τσιμέντου και εξίδρωσης. [4]

### 1.3. ΑΠΟΜΙΞΗ

Ανάλογα με το βάρος τους, τα στερεά συστατικά έχουν την τάση να διαχωρίζονται και σε σύνολο από το νερό, αλλά και μεταξύ τους. Τα βαρύτερα τείνουν να κινούνται προς τα χαμηλότερα στρώματα και τελικά τοποθετούνται σε στρώσεις ανάλογα με το βάρος τους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται απόμιξη του σκυροδέματος και είναι από τα πιο καταστρεπτικά για την αντοχή και γενικά για την ποιότητά του, γιατί μεταβάλλει τις αναλογίες ανάμιξης κατά τρόπο ανομοιομορφο και απρόβλεπτο. Λόγω του φαινομένου αυτού δημιουργούνται περιοχές με μειωμένη αντοχή, αλλά και μειωμένη πρόσφυση μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος, λόγω έλλειψης κονιάματος. [4]

## 2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### 2.1. ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

#### 2.1.1. Γενικά για την αντοχή

Ως αντοχή, στην τεχνολογία, εννοούμε γενικότερα την ικανότητα του υλικού να μπορεί να παραλάβει και να μεταβιβάσει από ένα στοιχειώδες τμήμα του στο γειτονικό μια μέγιστη δύναμη, χωρίς καταστροφή ή επικίνδυνη παραμόρφωσή του. Όμως, η αντοχή εξαρτάται τόσο από τη φύση και την ποιότητα του υλικού, όσο και από τη μορφή της εντατικής κατάστασης. Διαφορετική εμφανίζεται η αντοχή υπό συγκεκριμένη καταπόνηση από ένα στοιχείο σε ένα άλλο και διαφορετική για το ίδιο στοιχείο, αν η καταπόνηση είναι αποτέλεσμα διαφορετικής εντατικής κατάστασης. Το σωστό λοιπόν, στην προκειμένη περίπτωση, είναι ότι η αντοχή δεν είναι σταθερή ιδιότητα του υλικού, αλλά αντοχή συγκεκριμένου υλικού σώματος σε συγκεκριμένη εξωτερική καταπόνηση. [4]

Είναι κοινά παραδεχτό ότι η αντοχή του σκυροδέματος αποτελεί τη βασικότερη ιδιότητά του, παρόλο που σε πολλές περιπτώσεις άλλα χαρακτηριστικά, όπως η ανθεκτικότητα, η διαπερατότητα και η σταθερότητα όγκου, είναι πολύ πιο σημαντικά.

Η αντοχή, όπως επίσης η ανθεκτικότητα και οι μεταβολές όγκου του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού, φαίνεται να μην εξαρτώνται τόσο πολύ από τη χημική σύνθεση αλλά

από τη φυσική δομή των προϊόντων της ενυδάτωσης του τσιμέντου και της ογκομετρικής τους σύνθεσης. Συγκεκριμένα, είναι η παρουσία ρωγμών, ασυνεχειών και πόρων που έχουν ιδιαίτερη σημασία και η επίδρασή τους στην αντοχή γίνεται κατανοητή μέσω του μηχανισμού θραύσης του σκυροδέματος υπό συνθήκες πίεσης. Όμως, επειδή οι γνώσεις μας για τη θεμελιώδη αυτή προσέγγιση είναι ανεπαρκείς, η αντοχή τελικά σχετίστηκε με μετρήσιμες παραμέτρους, όπως το συνολικό πορώδες και οι μικρορωγμές που αποδίδονται στα αδρανή. [10]

### 2.1.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σκυροδέματος

Οι τεχνολογικοί παράγοντες που επιδρούν στην αντοχή, τόσο κατά την παρασκευή του σκυροδέματος όσο και κατά τη διαδικασία μέτρησης της αντοχής, είναι οι ακόλουθοι:

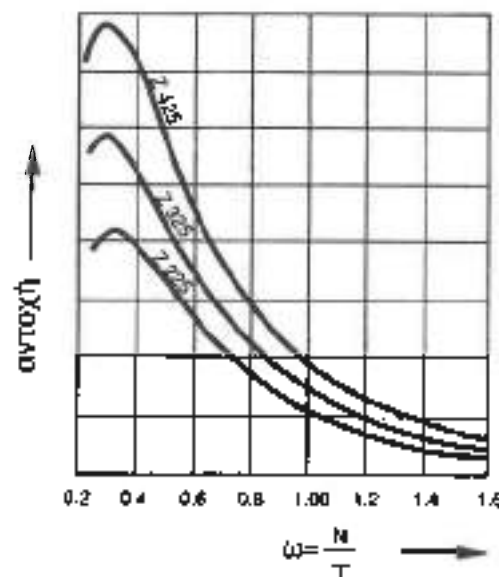
- Οι αναλογίες σύνθεσης, δηλαδή οι ποσότητες του τσιμέντου, του νερού και των αδρανών σε κάθε κυβικό μέτρο. Συγκεκριμένα για την ποσότητα του νερού, αν σε μίγμα σκυροδέματος υπάρχει μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για την πλήρη ενυδάτωση του τσιμέντου, τότε το σκυρόδεμα αποκτά πορώδη δομή, με αποτέλεσμα τη μείωση της πυκνότητας και της αντοχής του. Τη μέγιστη αντοχή θα αναπτύξει το μίγμα σκυροδέματος που θα συμπακνωθεί πλήρως με την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού για την πλήρη ενυδάτωσή του.

Όσον αφορά την αναλογία των αδρανών, ανά κατηγορία μεγέθους, είναι επιθυμητό οι καμπύλες της κοκκομετρικής διαβάθμισής τους να βρίσκονται μέσα στις περιοχές που καθορίζονται πειραματικά από τους Κανονισμούς, ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες του σκυροδέματος.

Τέλος, η ποσότητα του τσιμέντου στο μίγμα θα πρέπει να είναι τόσο, ώστε μετά την πλήρη ενυδάτωσή της ο τσιμεντοπολτός που παράγεται να μπορεί να καλύψει τα κενά μεταξύ των κόκκων των αδρανών, η σύνθεση των οποίων καθορίζεται με την κοκκομετρική καμπύλη. Όταν η ποσότητα του τσιμέντου είναι λιγότερη από την απαιτούμενη μειώνει την αντοχή του σκυροδέματος.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η αντοχή εξαρτάται άμεσα από το λόγο νερού προς τσιμέντο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3-4

για διάφορους τύπους τσιμέντου. Στο σχήμα αυτό παρατηρούμε πως όταν η τιμή του λόγου  $N/T$  ελαττωθεί πέρα από κάποια οριακή τιμή, η αντοχή αρχίζει πάλι να μειώνεται. Το τμήμα αυτό της καμπύλης πριν από το μέγιστο σημείο, οφείλεται σε διαφορετικό μηχανισμό. Έτσι, είτε η ποσότητα του νερού είναι ανεπαρκής για την πλήρη ενυδάτωση του τσιμέντου, με αποτέλεσμα ποσότητα τσιμέντου να παραμένει αδρανής, είτε η συμπύκνωση του σκυροδέματος είναι ανεπαρκής, με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της πυκνότητας και της αντοχής του.



**Σχήμα 3-4:** Ενδεικτική μορφή της εξάρτησης της αντοχής από το λόγο  $N/T$ , για διάφορους τύπους τσιμέντου.

Πρέπει επίσης να προσθέσουμε ότι η μορφή και η θέση της καμπύλης στο σχήμα 3-4 δεν είναι ανεξάρτητη από τις αναλογίες και των άλλων υλικών, καθώς και από το βαθμό συμπύκνωσης. Για κάθε κοκκομετρική καμπύλη υπάρχει μια διαφορετική τιμή του λόγου  $N/T$  που δίνει τη μέγιστη αντοχή του σκυροδέματος, αλλά και για κάθε τιμή του λόγου  $N/T$  υπάρχει μια διαφορετική κοκκομετρική σύνθεση που οδηγεί στη μέγιστη αντοχή. [4]

- Η ποιότητα των υλικών, στην οποία περιλαμβάνεται και ο βαθμός αλέσεως του τσιμέντου, το σχήμα και η μορφή των αδρανών, η κοκκομετρική διαβάθμιση και η ποιότητα του πετρώματος των αδρανών. Η επίδραση του τύπου του τσιμέντου στην αντοχή του σκυροδέματος εξαρτάται από τη λεπτότητα και τη χημική του σύνθεση. Αύξηση της λεπτότητας του τσιμέντου αυξάνει και την αντοχή. Η αύξηση παρουσιάζεται

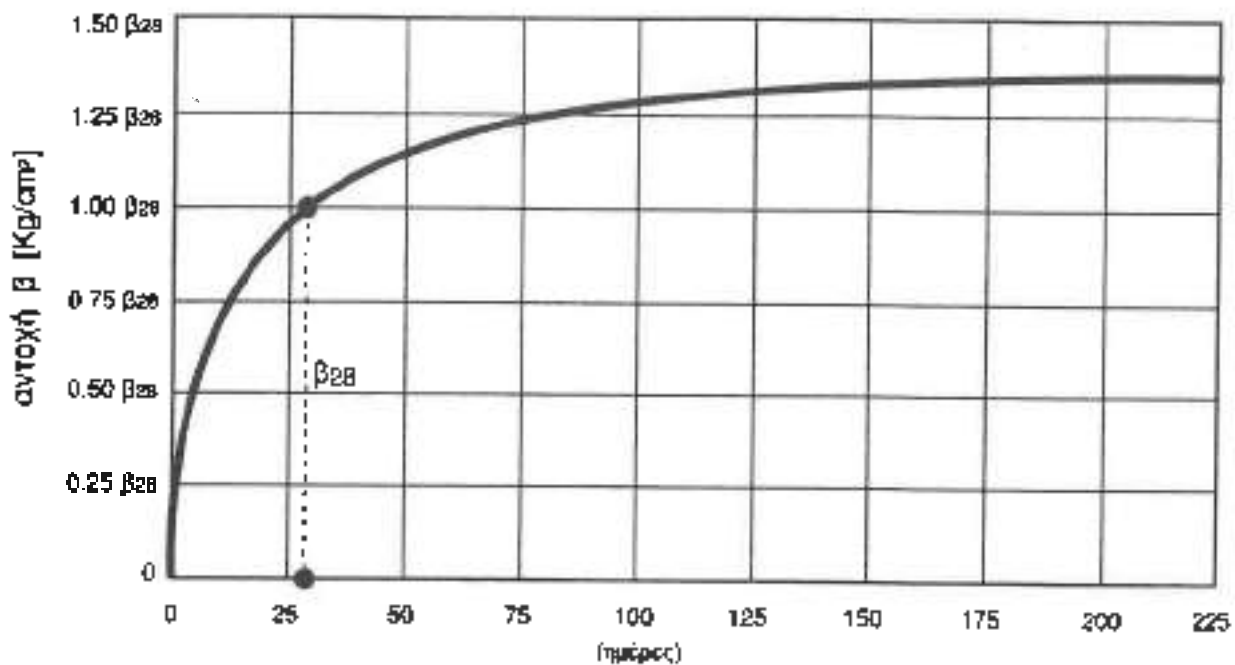
εντονότερη τις πρώτες ημέρες, ενώ μετά τις 28 ημέρες η σχετική αύξηση της αντοχής είναι μειωμένη. Όσον αφορά τη χημική σύνθεση, τα τσιμέντα που περιέχουν μεγάλο ποσοστό πυριτικού τριασβεστίου  $C_3S$  αποκτούν αντοχή γρηγορότερα από αυτά με πυριτικό διασβεστίο  $C_2S$ . Με την πάροδο του χρόνου όμως η διαφορά αυτή μειώνεται.

Αντίστοιχα για τα αδρανή, η συνάφειά τους με το τσιμεντοπολτό που εξαρτάται από το σχήμα, την υφή και την καθαρότητά τους είναι αυτή που επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος. Γενικά, για να επιτευχθεί ικανοποιητική συνάφεια μεταξύ τους επικρατεί η άποψη ότι οι κόκκοι των αδρανών πρέπει να έχουν μορφή που πλησιάζει το σφαιρικό ή το κυβοειδές, αλλά με ανώμαλη, γωνιώδη και όχι λεία εξωτερική επιφάνεια.[4]

- Τα παρασιτικά υλικά που σθέλητα εισχωρούν, είτε μαζί με τους κόκκους των αδρανών, είτε με το νερό. Τα υλικά αυτά προσκολλώνται συνήθως στην επιφάνεια των κόκκων των αδρανών και εμποδίζουν την πρόσφυση με το κονίαμα ή έχουν επιβλαβή χημική επίδραση στα τσιμέντα ή στα χάλυβα. [4]

- Η συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος. Απαιτείται για την απομάκρυνση του αέρα που περιέχεται μέσα στο μίγμα και θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα που συνεπάγονται τη μείωση της αντοχής του σκυροδέματος, όπως η εξίδρωση, η απόμιξη και η παρουσία φυσαλίδων αέρα στο εσωτερικό του. [4]

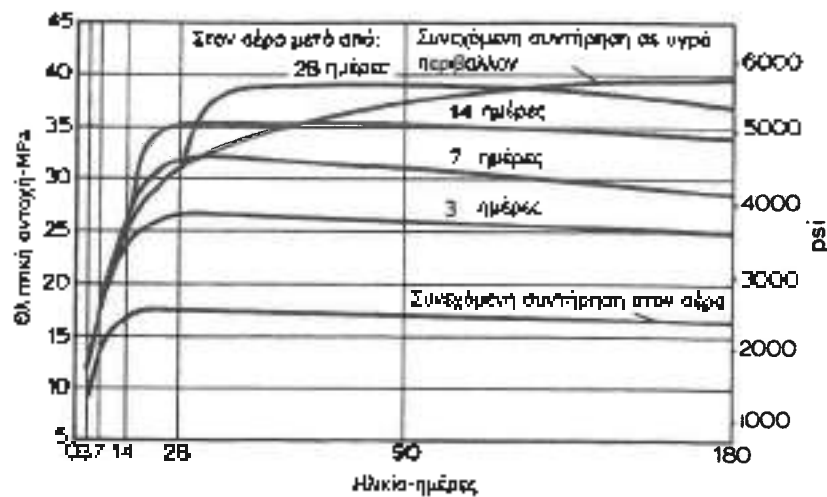
- Η ηλικία του σκυροδέματος. Η αντοχή είναι αποτέλεσμα της ενυδάτωσης του τσιμέντου και της δημιουργίας των ένυδρων πυριτικών ενώσεων του ασβεστίου,  $C-S-H$ . Γι' αυτό και η εξέλιξή της ακολουθεί τον ίδιο εκθετικό νόμο που ακολουθεί και η χημική αντίδραση. [4]



**Σχήμα 3-5:** Ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο. [4]

Η ανάπτυξη της αντοχής όμως είναι διαφορετική για κάθε ένα από τα τέσσερα βασικά συστατικά του τσιμέντου και γι' αυτό η χρονική εξέλιξη της, ιδιαίτερα στις μικρές ηλικίες, εξαρτάται από τη σύνθεση του τσιμέντου. Επειδή λοιπόν, η ενυδάτωση του τσιμέντου μπορεί να συνεχίζεται για χρόνια, όσο θα υπάρχει η απαιτούμενη ποσότητα νερού, η αντοχή του σκυροδέματος εξαρτάται από την ηλικία του. [4]

- Ο τρόπος συντήρησης, δηλαδή οι θερμοκρασιακές και οι υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος. Έχει αποδειχθεί και πειραματικά ότι η συντήρηση των δοκιμών σκυροδέματος στον αέρα έχει σαν αποτέλεσμα μικρότερη αντοχή σε όλες τις ηλικίες, εξαιτίας της εξάτμισης του ελεύθερου νερού από τη μάζα του. [4]



**Σχήμα 3-6:** Επίδραση της συντήρησης στην αντοχή του σκυροδέματος, με λόγο νερού προς τσιμέντο 0,5. [8]

• Τέλος, η μορφή της καταπόνησης, δηλαδή ο τρόπος και η ταχύτητα φόρτισης. Έχει βρεθεί πειραματικά ότι όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα φόρτισης τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του δοκιμίου. Ως προς την επίδραση του τρόπου φόρτισης δίνεται αναλυτικότερη επεξήγηση σε επόμενη ενότητα, για τις συνήθεις μορφές καταπόνησης. [4]

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες δημιουργούν ένα μεγάλο πλήθος μικροδιαφορών, οι οποίες προκαλούν διασπορά, δηλαδή διακύμανση των τιμών της αντοχής.

### 2.1.3. Μηχανισμός θραύσης

Έχει διαπιστωθεί ότι ασυνέχειες του υλικού, όπως μικρορωγμές κυρίως ανάμεσα στο κονίαμα και τα αδρανή, υπάρχουν μέσα στη μάζα του σκυροδέματος ακόμη και πριν από κάθε καταπόνηση. Οι μικρορωγμές δημιουργούνται κυρίως από τις συστολές της κανίας κατά την πήξη, από τις συστολές που οφείλονται στην εξάτμιση του νερού και ενδεχομένως από κακή πρόσφυση μεταξύ κονιάματος και αδρανών. Οι ρωγμές παραμένουν περίπου σταθερές, εφόσον το φορτίο είναι το πολύ ίσο προς το 1/3 περίπου, του φορτίου θραύσης. Μετά από την τιμή αυτή, οι ρωγμές αρχίζουν να επεκτείνονται και να πολλαπλασιάζονται γρήγορα, έως άτου το φορτίο φτάσει τα 2/3 περίπου του φορτίου θραύσης. Κατά το στάδιο αυτό, οι ρωγμές αποτελούν συνεχές

πλέγμα τόσο μεταξύ κονιόματος και αδρανών, όσο και μέσα στο κονίαμα. Με αύξηση του φορτίου πέρα από το  $2/3$  του φορτίου θραύσης, το πλέγμα των ρωγμών επεκτείνεται πάρα πολύ γρήγορα έως την πλήρη κατάρρευση του υλικού.

Από την παραπάνω περιγραφή του μηχανισμού θραύσης προκύπτει ότι στην από κατασκευής αναμοιργένεια του υλικού πρέπει να συμπεριληφθούν και οι μικρορωγμές που υπάρχουν απαρχής στο υλικό. Οι μικρορωγμές είναι διασκορπισμένες προς κάθε κατεύθυνση μέσα στη μάζα του υλικού, με τέτοιο τρόπο ώστε να μη δημιουργείται μακροσκοπικώς ετερογενής συμπεριφορά. Όταν όμως επιβληθεί εξωτερικό φορτίο, για παράδειγμα θλιπτικό, οι τάσεις μέσα στη μάζα δεν κατανέμονται ομοιόμορφα, αλλά δημιουργούνται σημεία τοπικής συγκέντρωσης τάσεων, καθώς και περιοχές εφελκυσμού. Τα σημεία αυτά αποτελούν τα σημεία από τα οποία αρχίζει η καταστροφή του υλικού. Όταν η ρωγή συναντήσει το αδρανές, έχει τη δυνατότητα να συνεχισθεί μέσα στο αδρανές ή στην παράπλευρη επιφάνεια ή να σταματήσει. Η συμπεριφορά της θα εξαρτηθεί από τις σχέσεις των μέτρων ελαστικότητας των ειδικών επικρανειών, τη συνάφειά τους αλλά και από την επικρατούσα τάση. [4]

#### **2.1.4. Η αντοχή στις διάφορες μορφές καταπονήσεων**

##### **2.1.4.1. Αντοχή σε μονοαξονική και πολυαξονική θλίψη**

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος λαμβάνεται σαν το μέγιστο θλιπτικό φορτίο που μπορεί να παραλάβει ανά μονάδα επιφάνειας. Η χρήση του τσιμέντου γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται πλήρης εκμετάλλευση της πολύ καλής θλιπτικής αντοχής του. Στη συνέχεια, αναλύονται οι μηχανισμοί θραύσης του υπό μονοαξονική, διαξονική και πολυαξονική καταπόνηση.

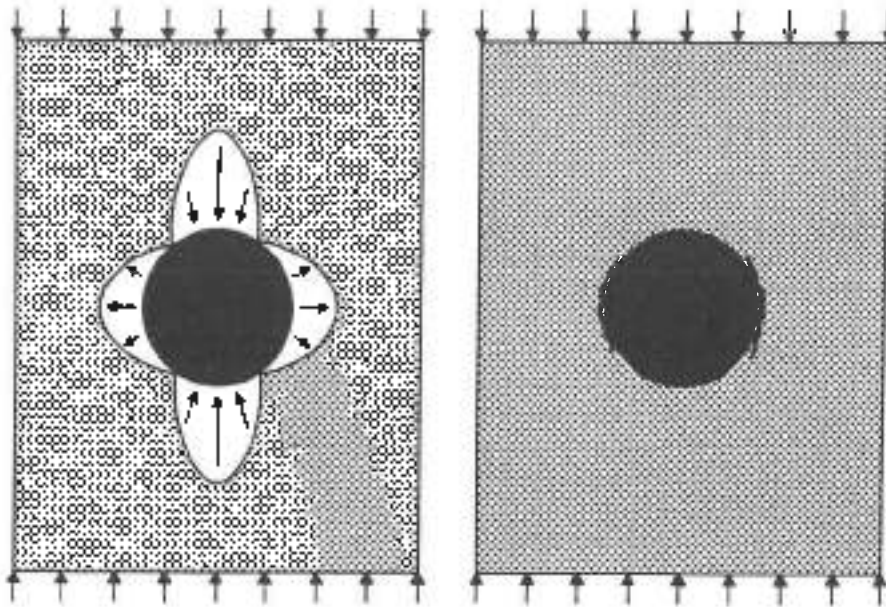
Υπό μονοαξονική καταπόνηση, η αστοχία λαμβάνει χώρα σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση της φόρτισης. Οι ρωγμές είναι περίπου παράλληλες με το εφαρμοζόμενο φορτίο, αλλά σχηματίζονται και κάποιες με γωνία ως προς τη διεύθυνση της εξωτερικής δύναμης. Οι παράλληλες ρωγμές οφείλονται στις τοπικές εφελκυστικές τάσεις με διεύθυνση κάθετη προς το θλιπτικό φορτίο, ενώ οι επικλινείς ρωγμές σχηματίζονται λόγω της αστοχίας που προκαλείται από την ανάπτυξη διατμητικών επιπέδων. Ο

σχηματισμός ρωγμών σε δύο επίπεδα παράλληλα προς το θλιπτικό φορτίο, συνεπάγεται το διαχωρισμό του υλικού σε τμήματα, μορφής στηλών.

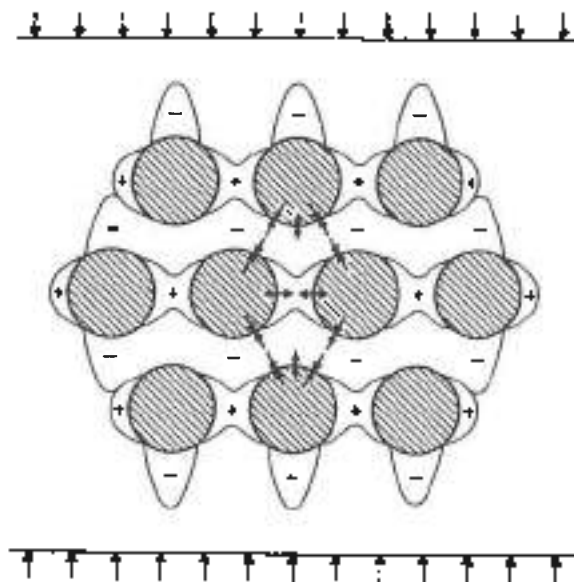
Συγκεκριμένα, όπως έχει προαναφερθεί, το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από μεγάλη ανομοιογένεια και πολυπλοκότητα δομής. Στο εσωτερικό του συνυπάρχουν ο τσιμεντοπολτός και τα αδρανή, δηλαδή υλικά με διαφορετικές ιδιότητες και κυρίως πολύ διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας, τα οποία καθορίζουν τις ιδιότητες του.

Στην άνω επιφάνεια επιφάνεια των αδρανών σχηματίζονται κοιλότητες νερού όταν ο τσιμεντοπολτός είναι ακόμη νωπός, λόγω του φαινομένου της εξίδρωσης, που μειώνουν την αντοχή της μεταβατικής ζώνης μεταξύ των αδρανών και του τσιμεντοπολτού και επιδρούν στην αντοχή του υλικού, όταν η επιβαλλόμενη φόρτιση έχει κατακόρυφη διεύθυνση, όπως θα δούμε παρακάτω. Επίσης, λόγω των διαφορετικών μέτρων δυσκαμψίας των παραπάνω υλικών, σχηματίζονται μικρορωγμές στις ακμές των κόκκων, κυρίως κατά τη διάρκεια της πήξης, αλλά και των κύκλων ψύξης και απόψυξης του υλικού. Οι ρωγμές αυτές προϋπάρχουν στη διεπιφάνεια των αδρανών και του τσιμεντοπολτού πριν ακόμη την επιβολή φόρτισης.

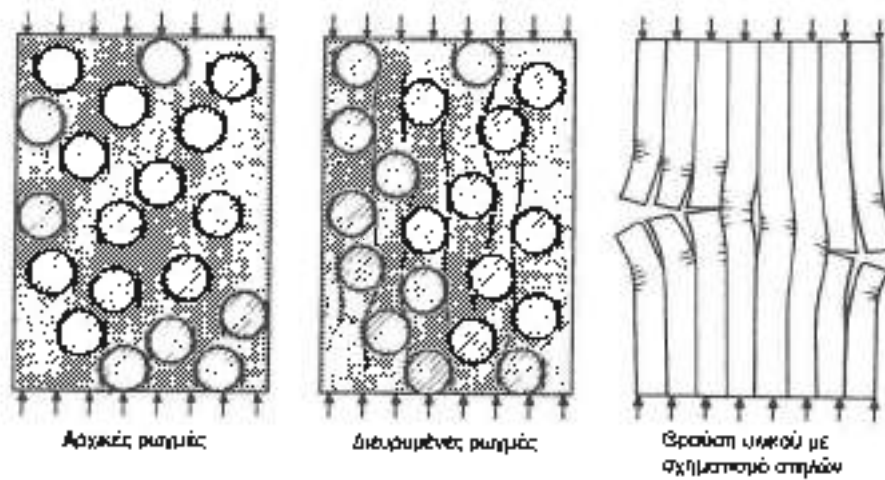
Όταν επιβληθεί φορτίο στο υλικό, έχει βρεθεί πειραματικά ότι στους κόκκους των αδρανών αναπτύσσονται θλιπτικές τάσεις σε διεύθυνση παράλληλη με το επιβαλλόμενο φορτίο, αλλά και εφελκυστικές σε διεύθυνση κάθετη με το φορτίο αυτό. Στην κατακόρυφη φόρτιση, η μεταφορά των τάσεων στο εσωτερικό του σκυροδέματος γίνεται μέσα από τις αποδυναμωμένες περιοχές της μεταβατικής ζώνης και επομένως η αντοχή του εξαρτάται άμεσα από την αντοχή της ζώνης επαφής των αδρανών με το τσιμεντοπολτό. Μάλιστα, εξαιτίας των αναπτυσσόμενων εφελκυστικών τάσεων στην επιφάνεια των αδρανών και την ύπαρξη μικρορωγμών στις ακμές τους, αρχίζει το φαινόμενο της ρηγμάτωσης στο εσωτερικό του υλικού. Οι αρχικές μικρορωγμές διευρύνονται μέχρι να συνδεθούν μεταξύ τους, σχηματίζοντας έτσι παράλληλα επίπεδα με το επιβαλλόμενο φορτίο και προκαλώντας θραύση του υλικού με σχηματισμό στηλών, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3-10. [10]



**Σχήμα 3-8:** Ανάπτυξη εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων και σχηματισμός ρωγμών στην επικράνεια αδρανούς, σε απλό μοντέλο ανάλυσης, υπό κατακόρυφη θλιπτική επιπόνηση. [12]

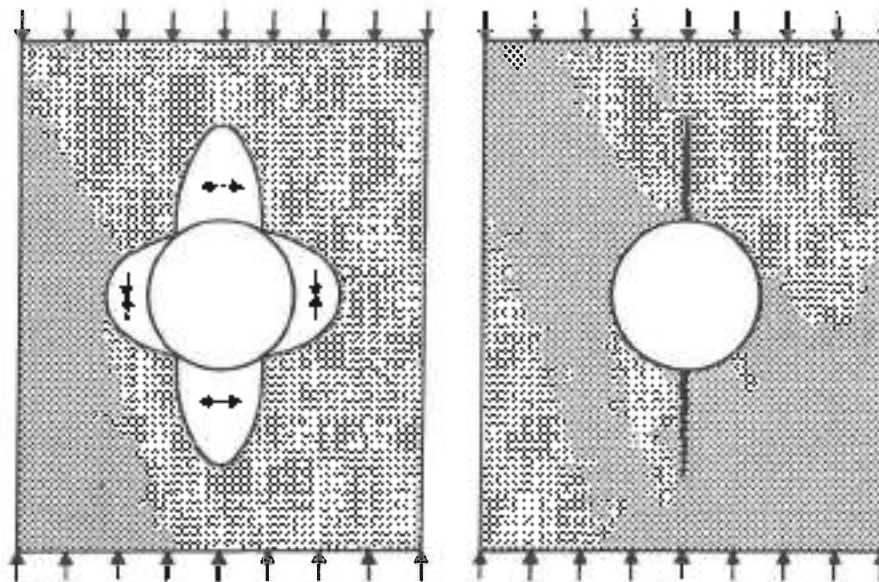


**Σχήμα 3-9:** Ανάπτυξη θλιπτικών και εφελκυστικών τάσεων στο εσωτερικό του τριμενταπαλτού, υπό κατακόρυφη, θλιπτική επιπόνηση. [12]

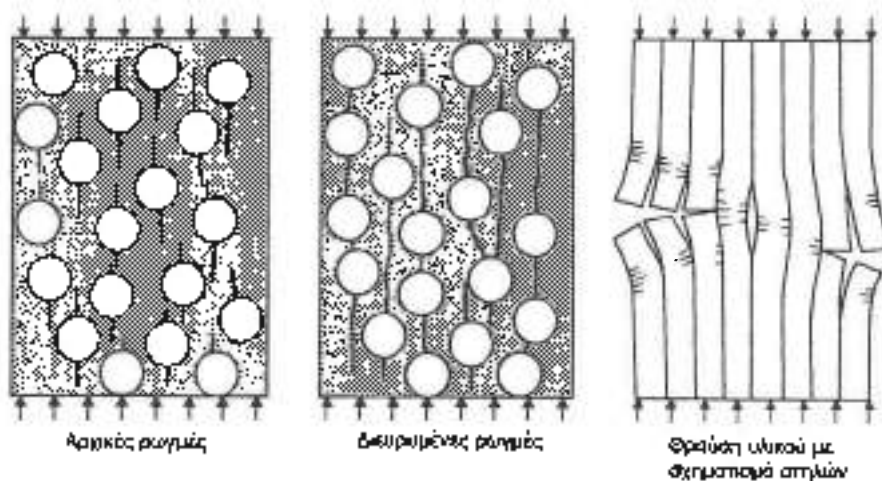


**Σχήμα 3-10:** Σχηματική παρουσίαση σταδιακής θραύσης του σκυροδέματος. [12]

Στην περίπτωση σκυροδέματος με ελαφρά αδρανή, ο μηχανισμός θραύσης δεν είναι ακριβώς ο ίδιος με αυτόν που περιγράφηκε παραπάνω. Αυτή τη φορά, το μέτρο ελαστικότητας του τσιμεντοπολτού δεν είναι μικρότερο από το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών και ο μηχανισμός μεταφοράς των τάσεων στο εσωτερικό διαφοροποιείται. Στο προηγούμενο απλό μοντέλο τσιμεντοπολτού και αδρανούς υπό κατακόρυφη θλιπτική επιπόνηση έχουμε ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στην επιφάνεια του αδρανούς σε διεύθυνση παράλληλη με την εξωτερική φόρτιση και θλιπτικών σε κάθετη. Οι ρωγμές που προϋπάρχουν της φόρτισης είναι κατακόρυφες και με την επιβολή δύναμης διευρύνονται μέχρι να συνδεθούν μεταξύ τους. Κατά συνέπεια, και στην περίπτωση των ελαφρών σκυροδεμάτων η θραύση του στοιχείου εκδηλώνεται με σχηματισμό κατακόρυφων σπηλών, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3-12. [10]



**Σχήμα 3-11:** Ανάπτυξη εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων και σχηματισμός ρωγμών στην επιφάνεια ελαφρού αδρανούς, σε απλά μοντέλα ανάλυσης, υπό κατακόρυφη θλιπτική επιπόνηση. [12]



**Σχήμα 3-12:** Σχηματική παρουσίαση σταδιακής θραύσης σκυροδέματος με ελαφρά αδρανή. [12]

Υπό διαξονική καταπόνηση, η αστοχία του υλικού λαμβάνει χώρα σε ένα μόνο επίπεδο, παράλληλο προς το εφαρμοζόμενο φορτίο, διαχωρίζοντας έτσι το υλικό σε τμήματα με μορφή πλακών. Πειράματα σε διαξονική καταπόνηση έδειξαν ότι με τη σύγχρονη παρουσία ίσης εγκάρσιας θλιπτικής δύναμης, δηλαδή σε ομοιόμορφη διαξονική καταπόνηση, η αντοχή σε θλίψη εμφανίζεται αυξημένη κατά 14-19% από την αντίστοιχη μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Η μέγιστη θλιπτική αντοχή που μπορούμε να επιτύχουμε σε συνθήκες διαξονικής καταπόνησης είναι 24-29% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη σε μονοαξονική, όταν η εγκάρσια τάση είναι 0,5-0,6 της αντίστοιχης θλιπτικής.

Τα παραπάνω μοντέλα αστοχίας προϋποθέτουν την "καθαρή" μονοαξονική και διαξονική καταπόνηση. Θα πρέπει λοιπόν, να μην περιορίζεται από τις πλάκες της μηχανής, οι οποίες εισάγουν πλευρική θλίψη λόγω των αναπτυσσόμενων τριβών μεταξύ των μεταλλικών πλακών και του σκυροδέματος. Σε μια συνηθισμένη μηχανή δοκιμών είναι δύσκολο να εξαλειφθούν οι τριβές αυτές. Ωστόσο, η επίδρασή τους μπορεί να περιοριστεί με τη χρήση δοκιμίων, των οποίων ο λόγος του μήκους προς το πλάτος, ή του μήκους προς τη διάμετρο είναι μεγαλύτερος από 2, έτσι ώστε η κεντρική περιοχή του δοκιμίου να είναι απαλλαγμένη από την επίδραση της τριβής των πλακών της μηχανής.

Υπό τριαξονική καταπόνηση, η αστοχία εκδηλώνεται με σπάσιμο του δοκιμίου και ο μηχανισμός της είναι λίγο διαφορετικός από τους προηγούμενους δύο μηχανισμούς.

Η συμπεριφορά του σκυροδέματος σε πολιαξονική καταπόνηση, ιδίως θλιπτική, είναι γενικά παρόμοια με τη συμπεριφορά των άλλων υλικών. Σε περίπτωση σύγχρονης παρουσίας εγκάρσιων θλιπτικών τάσεων, η θλιπτική αντοχή εμφανίζεται αυξημένη. Η παρουσία ωστόσο εγκάρσιας εφελκυστικής τάσης μειώνει γρήγορα την αντοχή σε θλίψη κατά την άλλη διεύθυνση. Αντίθετα, σε περίπτωση εφελκυστικών τάσεων, η τελική αντοχή σε εφελκυσμό δεν επηρεάζεται αισθητά. [10]

#### **2.1.4.2 Αντοχή σε εφελκυσμό**

Η εφελκυστική αντοχή είναι σημαντικά μικρότερη της θλιπτικής που περιγράφηκε παραπάνω. Συγκεκριμένα, η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται στο 1/10 έως 1/15 της θλιπτικής, γι' αυτό και οι κατασκευές σκυροδέματος σχεδιάζονται με την παραδοχή ότι το σκυρόδεμα αναλαμβάνει μόνο τη θλίψη, ενώ ο εφελκυσμός παραλαμβάνεται εξ' ολοκλήρου από τον οπλισμό.

Δεν έχει βρεθεί άμεση αντιστοιχία ανάμεσα στη θλιπτική και την εφελκυστική αντοχή. Από πειραματικά στοιχεία, έχει προκύψει ότι με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής αυξάνεται και η εφελκυστική, ενώ η σχέση δεν είναι γραμμική. Επίσης, προέκυψε ότι η εφελκυστική αντοχή είναι πιο ευαίσθητη στη συντήρηση, διότι υπάρχει άμεση εξάρτηση του εφελκυσμού από την έκταση των μικρορηγματώσεων μέσα στη μάζα του σκυροδέματος.

Ακόμη και αν δε ληφθεί υπόψη μια πηγή της ετερογένειας του σκυροδέματος, και συγκεκριμένα τα αδρανή, η πραγματική εφελκυστική δύναμη του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού είναι πολύ μικρότερη της αντίστοιχης θεωρητικής δύναμης, που υπολογίζεται βάσει της απαιτούμενης ενέργειας για το σχηματισμό καινούριων επιφανειών λόγω θραύσης ενός πλήρως ομογενοποιημένου και αρηγμάτωτου υλικού. Αυτή η θεωρητική τιμή της δύναμης έχει εκτιμηθεί 1000 φορές μεγαλύτερη από την πραγματικά μετρούμενη δύναμη. [10]

Η συμφωνία μεταξύ της θεωρητικής και πραγματικής τιμής της δύναμης μπορεί να εξηγηθεί με την παρουσία των ρωγμών στο τσιμεντοπολτό, οι οποίες οδηγούν σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις τάσεων στις ακμές τους υπό συνθήκες πίεσης, προκαλώντας τοπικές μικροσκοπικές θραύσεις όταν η μέση τάση του υλικού είναι ακόμη σχετικά χαμηλή. Στην πραγματικότητα, η συγκέντρωση δυνάμεων στις ακμές των ρωγμών είναι τρισδιάστατη και η δυσμενέστερη περίπτωση είναι όταν η ρωγμή είναι προσανατολισμένη κάθετα στη διεύθυνση της εφαρμοζόμενης τάσης. Επίσης, η τάση στη ρωγμή είναι μεγαλύτερη όσο μακρύτερη και στενότερη είναι η ρωγμή αυτή. [10]

Όταν η εξωτερική δύναμη αυξάνεται, η μέγιστη τάση αυξάνει μέχρι να φτάσει την τάση αστοχίας του υλικού που περιέχει τις ρωγμές. Η τάση αυτή ονομάζεται τάση θραύσης του υλικού  $\sigma_f$  και δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{W * E}{\pi * c}}$$

όπου,  $W$  = το έργο που απαιτείται για τη θραύση

$c$  = το άνοιγμα της ρωγμής και

$E$  = το μέτρο ελαστικότητας του υλικού.

Σ' αυτό το σημείο σχηματίζονται καινούριες επιφάνειες, οι ρωγμές διευρύνονται και απελευθερώνεται ενέργεια που ήταν αποθηκευμένη στο υλικό. Αν η ενέργεια αυτή είναι αρκετή ώστε να μπορεί να συνεχιστεί η ρηγμάτωση, τότε η κατάσταση αυτή συνεχίζεται μέχρι την πλήρη θραύση του υλικού. Διαφορετικά, αν η απελευθερούμενη ενέργεια είναι πολύ μικρή, η ρηγμάτωση σταματά μέχρι την επόμενη αύξηση της εξωτερικής φόρτισης.

Σύμφωνα με την παραπάνω θεωρία θραύσης, η αστοχία ξεκινά από τη μεγαλύτερη ρωγμή που είναι προσανατολισμένη σε διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του

εξωτερικού φορτίου, και έτσι το πρόβλημα είναι στατιστικής πιθανότητας ύπαρξης μιας τέτοιας ρωγμής. Τα παραπάνω οδηγούν στη διαπίστωση ότι το μέγεθος και το σχήμα ενός στοιχείου επηρεάζουν την αντοχή, αφού για παράδειγμα υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να περιέχεται ένα σημαντικό ποσοστό επικίνδυνων ρωγμών σε ένα μεγάλο στοιχείο. [10]

Σε ένα πραγματικά "εύθραυστο" υλικό, η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την έναρξη της ρηγμότωσης είναι ικανοποιητική για να συνεχιστεί η ρηγμάτωση αυτή, επειδή καθώς οι ρωγμές διευρύνονται, η μέγιστη τάση αυξάνει και η τάση θραύσης μειώνεται. Κατά συνέπεια, όλη η διαδικασία εξελίσσεται σταδιακά. Ωστόσο, στην περίπτωση του τσιμεντοπολτού, η ενέργεια που απελευθερώνεται μπορεί να μην είναι ικανοποιητική για την συνέχεια της ρηγμότωσης, λόγω της πιθανής διακοπής της από την παρουσία "εμποδίων", όπως ενός μεγάλου πόρου, ανυδρότων κόκκων τσιμέντου ή ακόμη και ενός περισσότερο ελαστικού υλικού, το οποίο απαιτεί μεγαλύτερη ενέργεια για την αστοχία του.

Η δομή του τσιμεντοπολτού είναι γενικώς πολύπλοκη και υπάρχουν αρκετές ρωγμές και ασυνέχειες, ακόμη και πριν την εφαρμογή της εξωτερικής φόρτισης. Η παρουσία των αδρανών επιδεινώνει την κατάσταση και επομένως το σκυρόδεμα είναι πολύ ασθενέστερο του τσιμεντοπολτού που περιέχει. Οι πραγματικές επιφάνειες αστοχίας του υλικού συνήθως ακολουθούν τις επιφάνειες μεταξύ των χονδρόκοκκων αδρανών, διαπερνούν το τσιμεντοπολτό και μερικές φορές και τους κόκκους των αδρανών. [10]

#### **2.1.4.3. Καταπόνηση με μεγάλη διάρκεια**

Στην περίπτωση παραμονής της καταπόνησης για μεγάλο χρονικό διάστημα, η θλιπτική αντοχή μειώνεται βαθμιαία. Η μείωση αυτή είναι αρκετά έντονη στα πρώτα λεπτά της καταπόνησης και στη συνέχεια μειώνεται περίπου ανάλογα με τη χρονική διάρκεια της καταπόνησης.

Ενδεικτικά, αναφέρονται τιμές αντοχής 0,85 της αρχικής περίπου μετά από μια ώρα παραμονής του φορτίου και 0,75 μετά από 70 περίπου ημέρες. [4]

#### 2.1.4.4. Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση

Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση με το ίδιο φορτίο ή μεταβολή της τάσης μεταξύ δύο ορίων  $\sigma_{min}$  και  $\sigma_{max}$  μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη θραύση του υλικού, έστω και αν η μέγιστη τάση  $\sigma_{max}$  δεν υπερβαίνει τη στατική αντοχή του υλικού. Το φαινόμενο αυτό, ονομάζεται κόπωση του υλικού. Για να συμβεί όμως η αστοχία πρέπει η τάση  $\sigma_{max}$  να υπερβαίνει κάποιο όριο που ονομάζεται όριο κόπωσης. Το όριο αυτό στο σκυρόδεμα βρίσκεται στα 0,65-0,70 περίπου της αντοχής σε θλίψη. Όταν η μέγιστη τάση δεν υπερβεί το όριο αυτό, έχει παρατηρηθεί ύστερα από έναν αριθμό επαναλήψεων βελτίωση του σκυροδέματος, αύξηση δηλαδή της στατικής αντοχής και της αντοχής σε κόπωση έως 10% περίπου.

Η συμπεριφορά σε κόπωση δε φαίνεται να επηρεάζεται αισθητά από τη συχνότητα φόρτισης, τουλάχιστον μέσα στην περιοχή των 70-2000 κύκλων ανά λεπτό. Διακοπή της καταπόνησης για λίγα λεπτά έχει ως αποτέλεσμα να ανακτήσει το σκυρόδεμα μέρος της αντοχής του.

Πάντως, η κόπωση του σκυροδέματος είναι φαινόμενο που δεν αντιμετωπίζεται στις συνηθισμένες κατασκευές, αφού το όριο κόπωσης είναι μεγαλύτερο από 0,65 της στατικής αντοχής, ενώ οι τάσεις που επιτρέπουμε ανέρχονται σε 0,33-0,57 της στατικής αντοχής. [4]

#### 2.1.4.5. Αντοχή σε συνάφεια σκυροδέματος και χάλυβα

Η συνεργασία σκυροδέματος και χάλυβα είναι αποτέλεσμα συνάφειας, δηλαδή τριβής μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος, καθώς και σκυροδέματος σε διάτμηση. Στην περίπτωση των λείων ράβδων η συνάφεια και η τριβή παίζουν μεγαλύτερο ρόλο από τη διάτμηση του σκυροδέματος. Αντίθετα, στην περίπτωση ράβδων με εγκάρσιες νευρώσεις η αντίσταση στην εξόλκευση της ράβδου στηρίζεται κυρίως στη διατμητική αντοχή του σκυροδέματος.

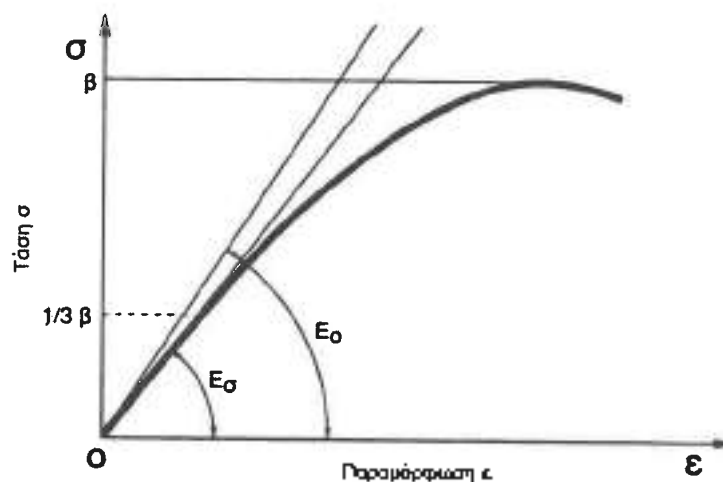
Ως αντοχή σε συνάφεια χαρακτηρίζεται η μέγιστη τιμή της τάσης για την οποία η σχετική μετακίνηση της ράβδου εξακολουθεί να παραμένει μηδενική. Εκτός από την τιμή

αυτή, καθορίζεται συνήθως και η «χαρακτηριστική τιμή» της τάσης που αντιστοιχεί σε μετακίνηση  $\delta=0,1$  mm.

Η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται σε μεγαλύτερο βαθμό από την κατεύθυνση της ράβδου, και κατά συνέπεια και από τη φορά καταπόνησης, σε σχέση με την κατεύθυνση σκυροδέτησης, καθώς και από τη θέση της ράβδου μέσα στη διατομή. [4]

## 2.2. ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Την ελαστοπλαστική συμπεριφορά ενός υλικού απεικονίζει η σχέση τάσεων-παραμορφώσεων. Για το σκυρόδεμα, όπως και για τα περισσότερα ανόργανα μη μεταλλικά υλικά, η σχέση αυτή έχει τη μορφή μιας συνεχούς καμπύλης. Μικρά μόνο τμήματά της μπορούν να θεωρηθούν σαν ευθύγραμμα. Επομένως, ο νόμος του Hooke μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύει για μικρές μόνο μεταβολές του φορτίου. Εξάλλου, για μικρές μόνο τιμές του φορτίου το σκυρόδεμα μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά σαν ελαστικό υλικό. Η καμπυλότητα του διαγράμματος, που δηλώνει την βαθμιαία αύξηση της παραμόρφωσης για την ίδια αύξηση της τάσης, οφείλεται στην προοδευτική επέκταση των μικρορωγμών μέσα στο υλικό, εκτός από την κυρίως παραμόρφωση του υλικού. [4]



**Σχήμα 3-13:** Ενδεικτική καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος. [4]

Αν το φορτίο παραμείνει για αρκετό χρονικό διάστημα, η παραμόρφωση συνεχίζεται βαθμιαία, εμφανίζεται δηλαδή το φαινόμενο του ερπυσμού. Η μείωση των τάσεων που συνοδεύει τον ερπυσμό ονομάζεται χαλάρωση.

Μετά την αφαίρεση του φορτίου, τμήμα της παραμόρφωσης αναιρείται, έχουμε δηλαδή ελαστική παραμόρφωση, ενώ το υπόλοιπο τμήμα παραμένει και αποτελεί την πλαστική παραμόρφωση του σκυροδέματος. Με την πάροδο του χρόνου, μετά την αφαίρεση του φορτίου, η παραμόρφωση που παραμένει ελαττώνεται συνεχώς και το φαινόμενο αυτό ονομάζεται υστέρηση. [4]

Μέτρο ελαστικότητας  $E$  ονομάζουμε το λόγο  $E=\sigma/\epsilon$ , δηλαδή την κλίση της εφαπταμένης σε κάθε σημείο της καμπύλης. Επομένως, το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος δεν παραμένει σταθερό, αλλά μειώνεται συνεχώς όσο αυξάνει η καταπόνηση. Συνήθως διακρίνουμε:

- Το αρχικό μέτρο ελαστικότητας  $E_0$  στην αρχή των συντεταγμένων για τάση  $\sigma=0$ .
- Το στιγμιαίο μέτρο ελαστικότητας  $E=d\sigma/d\epsilon$ , που αντιστοιχεί στην τάση  $\sigma$ .
- Το μέσο μέτρο ελαστικότητας  $E=\sigma/\epsilon$ .

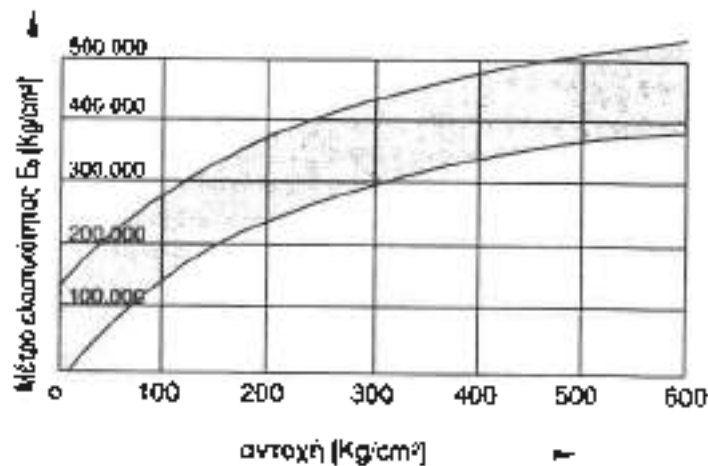
Ως συμβατικό μέτρο ελαστικότητας για τη σύγκριση των σκυροδεμάτων μεταξύ τους, χρησιμοποιείται συνήθως το μέσο μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί σε τάση ίση με το 1/3 της τάσης θραύσης, δηλαδή η κλίση της χορδής που ενώνει την αρχή των συντεταγμένων με το σημείο της καμπύλης που αντιστοιχεί σε τάση ίση με το 1/3 της τάσης θραύσης. [4]

Γενικά, τα μέτρα ελαστικότητας των αδρανών είναι διαφορετικά από το μέτρο ελαστικότητας του κονιάματος και επομένως και η ανάληψη τάσεων από αυτά είναι διαφορετική. Για τα συνηθισμένα σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή, το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών είναι μεγαλύτερο από το μέτρο ελαστικότητας του κονιάματος. Στην περίπτωση αυτή, η απαίτηση ίσων παραμορφώσεων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η τάση στα αδρανή είναι μεγαλύτερη, δηλαδή ότι η ροή του φορτίου γίνεται κυρίως μέσα από τα αδρανή. Αντίθετα, στην περίπτωση σκυροδέματος με ελαφρά και πορώδη αδρανή, το μέτρο ελαστικότητάς τους είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του κονιάματος και η εικόνα της ροής των τάσεων είναι διαφορετική.

Το μέτρο ελαστικότητας στα διάφορα πετρώματα που χρησιμοποιούνται ως αδρανή κυμαίνεται ανάμεσα σε ευρύτατα όρια. Συγκεκριμένα, των ασβεστολιθικών πετρωμάτων βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 23.000-83.000 MPa, ενώ το μέτρο

ελαστικότητας της τσιμεντοκονίας βρίσκεται συνήθως ανάμεσα στις τιμές 5.000-10.000 MPa και ελαττώνεται όσο αυξάνεται το νερό.

Γενικά, το μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται όσο αυξάνεται η θλιπτική αντοχή. Το μέτρο παραμόρφωσης, άρα και το μέτρο ελαστικότητας, επηρεάζονται και από την ταχύτητα φόρτισης, καθώς και από όλους εκείνους τους παράγοντες που εισέρχονται στην αντοχή. [4]



**Σχήμα 3-14:** Σχέση μεταξύ μέτρου ελαστικότητας και αντοχής. [4]

### 2.3. ΧΡΟΝΙΑ ΣΥΣΤΟΛΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Έχει παρατηρηθεί ότι με την πάροδο του χρόνου το σκυρόδεμα παρουσιάζει στον αέρα συστολή χωρίς την επίδραση καμιάς εξωτερικής δύναμης, και μέσα στο νερό διαστολή του όγκου του. Τα φαινόμενα αυτά τα ονομάζουμε χρόνια συστολή και διαστολή του σκυροδέματος ή συστολή ξήρανσης και διαστολή υγρανσης. Η συστολή αυτή στον αέρα δεν πρέπει να συγχέεται με τη συστολή της πύλης που οφείλεται στη χημική δράση των ενεργών προϊόντων, ούτε με τις ελαστικές ή πλαστικές παραμορφώσεις και τον ερπυσμό, που οφείλονται στη δράση εξωτερικών δυνάμεων. [4]

Από τις θεωρίες που έχουν ως τώρα διατυπωθεί για την εξήγηση του φαινομένου αυτού, επικρατέστερη κρίνεται η θεωρία που διατύπωσε ο *Freyssinet* και η οποία αποδίδει τις μεταβολές αυτές του όγκου στις δυνάμεις που ασκούνται από το νερό στα τοιχώματα των τριχαειδών του υλικού.

Η χρόνια συστολή είναι γενικά φαινόμενο επιβλαβές και ανεπιθύμητο. Όταν η συστολή παρεμποδίζεται, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ρηγματώσεων από τις

εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται. Συνηθισμένη είναι η περίπτωση της ρηγμάτωσης στοιχείων μεγάλου πάχους από την ανομοιομορφη ξήρανση του εσωτερικού και της επιφάνειας του στοιχείου. Τα επιφανειακά στρώματα ξηραίνονται γρηγορότερα από το εσωτερικό και επομένως ο διαφορετικός βαθμός συστολής έχει αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση του στοιχείου. [4]

Βέβαια, η ρηγμάτωση δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της διαφορετικής συστολής, αλλά και από τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού, δηλαδή το μέτρο ελαστικότητας και την αντοχή σε εφελκυσμό. Άλλο σημείο ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων είναι η επιφάνεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού, λόγω της συρρίκνωσης του τελευταίου ως προς τα ακίνητα αδρανή. Στην επιφάνεια αυτή δημιουργούνται μικρορηγματώσεις. Άλλη χαρακτηριστική συνέπεια της συστολής είναι η βαθμιαία μείωση που παρουσιάζει η δύναμη προέντασης στους προεντεταμένους φορείς.

Η συνολική συστολή στο κοινό σκυρόδεμα κυμαίνεται μεταξύ 0,1-1,0 mm/m και η συνολική διαστολή μέσα στο νερό 0,1-0,3 mm/m. Οι τιμές αυτές, που αναφέρονται στους Κανονισμούς Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΚΤΣ-97, περιλαμβάνουν γενικά και τη συστολή πήξης, γιατί στις εφαρμογές ενδιαφέρει η συνολική μεικτή τιμή. Πάντως, το μέγεθος της συστολής πήξης είναι μικρό ποσοστό της συνολικής συστολής. [4]

Οι πειραματικές πληροφορίες που υπάρχουν για το φαινόμενο της χρόνιας συστολής του σκυροδέματος συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Το μέγεθος της συστολής εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα του τσιμέντου. Όσο πιο λεπτή είναι η άλεση τόσο περισσότερο αυξάνεται η συστολή.
- Επίσης, η συνολική συστολή αυξάνεται με την αύξηση του  $Al_2O_3$  του τσιμέντου. Αντίθετα, μικρή συστολή παρουσιάζουν τσιμέντα πλούσια σε  $Fe_2O_3$ .
- Τα τσιμέντα γρήγορης ανάπτυξης της αντοχής παρουσιάζουν μεγαλύτερη συστολή από τα κοινά τσιμέντα Portland και τα αργίλικα ακόμη μεγαλύτερη.
- Η συστολή αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3-15, εφόσον έδρα των ογκομετρικών μεταβολών είναι ο τσιμεντοπολτός. Φυσικό λοιπόν είναι να αυξάνεται όσο αυξάνεται η ποσοστιαία αναλογία

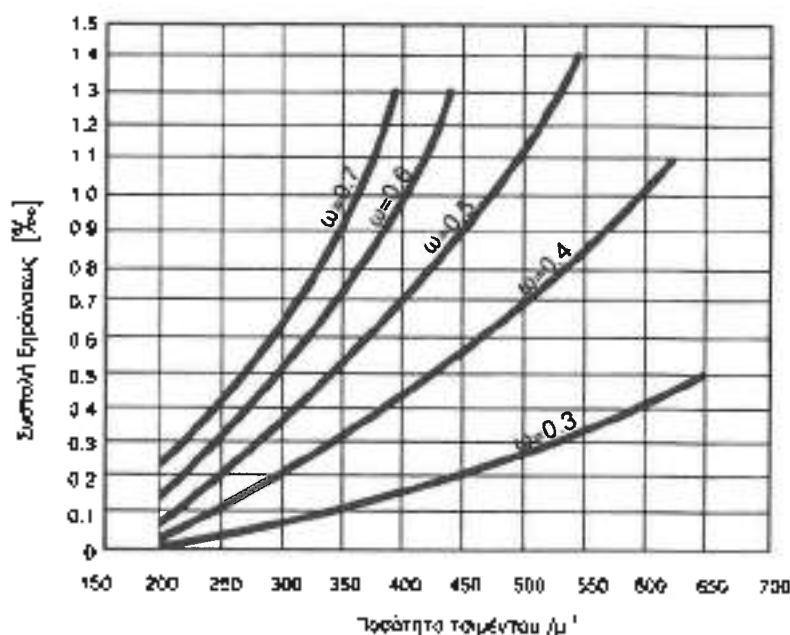
του. Γι' αυτόν το λόγο και η συστολή της τσιμεντοκονίας είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συστολή του σκυροδέματος.

- Ελαττώνεται όσο αυξάνεται η αντοχή. Επομένως αυξάνεται με την αύξηση του νερού ανάμιξης και με το πορώδες.

- Εξαρτάται από την ποσότητα και τη φύση των αδρανών. Πορώδη και υδαταπορροφητικά αδρανή αυξάνουν τη συστολή, γιατί απορροφούν νερό επιταχύνοντας την ξήρανση, αλλά και λόγω της παραμορφωσιμότητάς τους, δηλαδή του μικρού μέτρου ελαστικότητας. Η συστολή αυξάνεται επίσης, όσο πιο λεπτόκοκκα είναι τα αδρανή.

- Η συστολή εξαρτάται από τη μορφή και τις διαστάσεις του στοιχείου. Αυξάνεται όσο οι διαστάσεις του στοιχείου ελαττώνονται. Αυτό εξηγείται από τη γρηγορότερη ξήρανση λόγω της μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας.

- Τέλος, εξαρτάται από τις υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυξάνεται με την ελάττωση της σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας, γιατί με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η ξήρανση.



**Σχήμα 3-15:** Σχέση συστολής ξήρανσης, ποσότητας τσιμέντου και λόγου  $\omega = N/T$ . [4]

## 2.4. ΕΡΠΥΣΜΟΣ

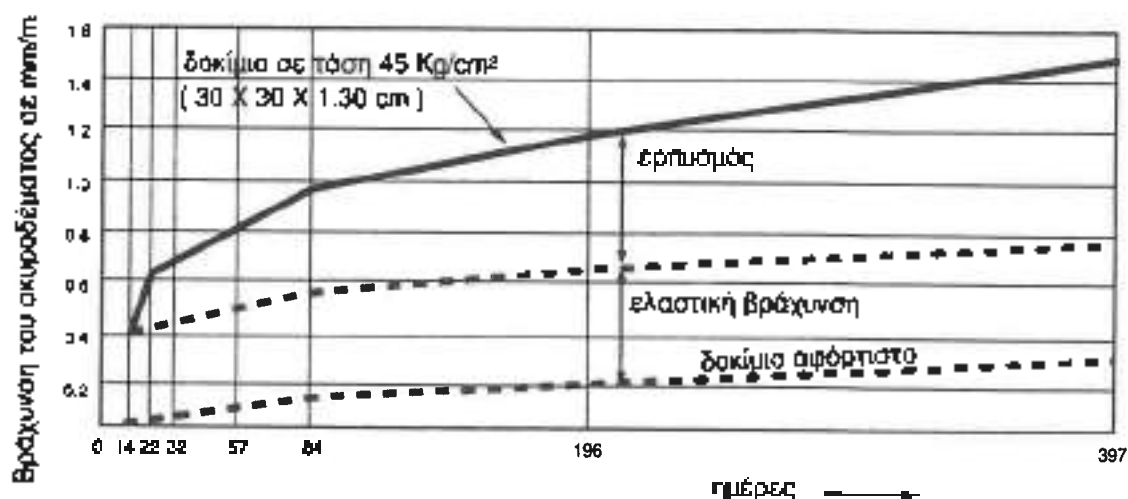
Έχει παρατηρηθεί ότι το σκυρόδεμα υπό την επίδραση εξωτερικής θλιπτικής δύναμης για μεγάλο χρονικό διάστημα παρουσιάζει, πέρα από τη στιγμιαία ελαστική ή πλαστική συμπεριφορά, μια περαιτέρω συστολή που εξελίσσεται με αργό ρυθμό. Τη χρόνια αυτή παραμόρφωση που προέρχεται από την επίδραση εξωτερικής δύναμης, ονομάζουμε ερπυσμό.

Το φαινόμενο του ερπυσμού ερμηνεύεται, μέχρι ενός ορίου, με τη θεωρία της «εξώδους ροής», κατά την οποία το νερό που βρίσκεται στους πόρους και τα τριχοειδή αγγεία του στερεού ως ασυμπίεστο, δέχεται αρχικά ένα μέρος από το επιβαλλόμενο φορτίο, ενώ συγχρόνως αναγκάζεται να διαρρεύσει. Η διαρροή και η απομάκρυνση του νερού μέσα από τις μικρότατες διόδους γίνεται πάρα πολύ αργά λόγω της τριβής. Με την αργή απομάκρυνση του νερού, αντίστοιχο φορτίο μεταβιβάζεται βαθμιαία στο στερεό σκελετό, που συμπιέζεται περαιτέρω κατά της νόμους της ελαστικότητας. [4]

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του ερπυσμού είναι τα εξής:

- Το μέγεθος του ερπυσμού είναι αντιστρόφως ανάλογο της ποιότητας του σκυροδέματος.
- Μπορεί να φτάσει τελικά σε τιμή πολλαπλάσια της χρόνιας συστολής.
- Η διάρκεια του φαινομένου είναι από 1-10 χρόνια. Συνήθως ολοκληρώνεται μετά από 1-2 χρόνια.
- Έως τιμή του φορτίου ίση με το  $1/3$  του φορτίου θραύσης, ο ερπυσμός είναι ανάλογος του φορτίου. Πέρα από την τιμή αυτή, ο ερπυσμός αυξάνεται ολοένα ταχύτερα με την αύξηση του φορτίου.
- Η μορφή της εξέλιξής του είναι εκθετική, αυξημένη στην αρχή και ολοένα βραδύτερη, και τείνει ασυμπτωτικά προς κάποια οριακή τιμή.

- Αυξάνεται όσο ελαττώνονται οι διαστάσεις του στοιχείου.
- Εμφανίζεται μικρότερος για τσιμέντα υψηλής αντοχής ή γρήγορης ανάπτυξης της αντοχής.
- Εξαρτάται από το είδος των αδρανών και ειδικότερα από το μέτρο ελαστικότητας αυτών.
- Ελαττώνεται όσο περισσότερο χονδρόκοκκα είναι τα αδρανή.
- Αυξάνεται όσο αυξάνεται το νερό ανάμιξης. Κατά προσέγγιση, δεχόμαστε ότι ο ερπυσμός είναι ανάλογος του τετραγώνου του λόγου νερού προς τσιμέντο  $N/T$ .
- Εξαρτάται, όπως και η χρόνια συστολή, από τις υγραμετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυξάνεται όσο ελαττώνεται η σχετική υγρασία.
- Ελαττώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία του σκυροδέματος κατά τη στιγμή της επιβολής του φορτίου.



**Σχήμα 3-16:** Εξέλιξη του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης με το χρόνο. [4]

## 2.5. ΘΕΡΜΟΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Η θερμική αγωγιμότητα ενός υλικού χαρακτηρίζεται με το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  ( $\text{kcal} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ ), ο οποίος εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας που διέρχεται από τη μονάδα της επιφάνειας του υλικού ανά μονάδα πάχους σε μία ώρα και για διαφορά θερμοκρασίας  $1 ^\circ\text{C}$ . Για τα σύνθετα υλικά, όπως το σκυρόδεμα, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας προκύπτει από τους συντελεστές των υλικών που το συνθέτουν.

Το αντίστροφο της θερμικής αγωγιμότητας  $K=1/\lambda$ , ονομάζεται συντελεστής θερμικής αντίστασης. [4]

Όσα αφορά τη θερμική αγωγιμότητα, έχουν παρατηρηθεί τα ακόλουθα:

- Η θερμοαγωγιμότητα αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας του σκυροδέματος, όπως συμβαίνει και με όλα τα γνωστά υλικά.
- Αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου, αφού η αύξηση του τσιμέντου συντείνει στην αύξηση της πυκνότητας. Είναι επίσης ευαίσθητη στο είδος και την ποιότητα του τσιμέντου.
- Αυξάνεται όσο αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία.
- Αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του σκυροδέματος.
- Αυξάνεται όσο αυξάνονται οι διαστάσεις του στοιχείου.

Φαινόμενο που σχετίζεται με τη θερμοαγωγιμότητα του υλικού και που παρουσιάζεται συχνά στην πράξη είναι η διακίνηση της θερμότητας από το εσωτερικό του σκυροδέματος στο γύρω χώρο ή αντίστροφα. [4]

Η πρώτη περίπτωση εμφανίζεται όταν η σκυροδέτηση γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπου από τη μια επιβραδύνεται ή ανακόπτεται τελείως η ενυδάτωση του

τοιμέντου, ενώ από την άλλη δημιουργείται κίνδυνος καταστροφής του κρυσταλλικού ιστού από την πήξη του νερού που κυκλοφορεί στους πόρους του σκυροδέματος.

Η δεύτερη περίπτωση εμφανίζεται όταν η σκυροδέτηση γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες, όπου η ενυδάτωση επιταχύνεται υπέρμετρα με αποτέλεσμα μικρότερη τελική αντοχή και υπάρχει ακόμη κίνδυνος σειράς δυσμενών επιρροών από γρήγορη εξάτμιση του επιφανειακού νερού. Οι κίνδυνοι αυτοί αρχίζουν να εμφανίζονται πρακτικά όταν η θερμοκρασία του σκυροδέματος πλησιάζει περίπου τους 30 °C.

Και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να φροντίζουμε, ώστε η θερμοκρασία του σκυροδέματος, τις πρώτες ώρες μετά τη σκυροδέτηση, να παραμένει εντός ορισμένων ορίων. Για τον υπολογισμό της διακινούμενης θερμότητας, πρέπει να λάβουμε υπόψη τη μόνωση που περιβάλλει το σκυρόδεμα, καθώς και τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την ενυδάτωση. [4]

## 2.6. ΘΕΡΜΟΔΙΑΣΤΟΛΗ

Με την επίδραση της θερμότητας, το σκυρόδεμα παρουσιάζει αύξηση των διαστάσεών του, δηλαδή παθαίνει διαστολή. Η διαστολή ενός υλικού χαρακτηρίζεται από το συντελεστή θερμοδιαστολής  $\alpha$ , που είναι ο λόγος της επιμήκυνσης προς το αρχικό μήκος για αύξηση της θερμοκρασίας 1 °C. Ο συντελεστής θερμοδιαστολής της τσιμεντοκονίας είναι γενικά μεγαλύτερος του αντίστοιχου συντελεστή των αδρανών. Γι' αυτό, ο συντελεστής θερμοδιαστολής του σκυροδέματος εξαρτάται από τις αναλογίες σύνθεσης των υλικών του. [4]

Όσον αφορά τη θερμοδιαστολή του σκυροδέματος, παρατηρούνται τα εξής:

- Δε διαπιστώθηκε επίδραση της ποιότητας, του είδους, καθώς και του βαθμού αλέσεως του τσιμέντου στη θερμοδιαστολή.
- Δε διαπιστώθηκε επίδραση της αναλογίας του νερού ανάμιξης.
- Μείωση της ποιότητας του τσιμέντου ελαττώνει τη θερμοδιαστολή του σκυροδέματος, αφού όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο συντελεστής της τσιμεντοκονίας είναι μεγαλύτερος από το συντελεστή των αδρανών.

- Τα ασβεστολιθικά αδρανή έχουν το μικρότερο συντελεστή θερμοδιαστολής. Επομένως, σκυροδέματα με διαφορετικά από τα ασβεστολιθικά αδρανή έχουν κατά κανόνα μεγαλύτερο συντελεστή θερμοδιαστολής.
- Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 850-900 °C έχει διαπιστωθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος της θερμοδιαστολής, περίπου το 75%, παραμένει ως μόνιμη παραμόρφωση.
- Ο συντελεστής θερμοδιαστολής δεν είναι ανεξάρτητος από τη θερμοκρασία. Έως τους 300 °C αυξάνεται, ενώ πέρα από τη θερμοκρασία αυτή αρχίζει να ελαττώνεται.
- Ο συντελεστής θερμοδιαστολής του χάλυβα, για τις συνηθισμένες περιοχές θερμοκρασιών, κυμαίνεται μέσα στα ίδια όρια με το συντελεστή του σκυροδέματος.
- Η θερμοδιαστολή μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλικία του σκυροδέματος. [4]

## 2.7. ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ

Άλλη ιδιότητα του σκυροδέματος, της οποίας τελευταία γίνεται χρήση, είναι η ιδιότητα που έχουν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό όλα τα υλικά να απορροφούν τις ραδιενεργές ακτινοβολίες. Εφαρμογή της ιδιότητας αυτής γίνεται στην κατασκευή θωρακίσεων σε ατομικούς αντιδραστήρες ή άλλες εγκαταστάσεις που εκπέμπουν ραδιενεργές ακτινοβολίες, όπως οι ακτινοβολίες Χ, γ και νετρονίων. Για την απορρόφηση απαιτούνται υλικά με μεγάλο ειδικό βάρος, όπως είναι ο μόλυβδος. Το σκυρόδεμα πλεονεκτεί έναντι του μόλυβδου για μόνιμες εγκαταστάσεις, λόγω του μικρότερου κόστους έστω και αν απαιτούνται μεγαλύτερα πάχη. [4]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κάθε κατασκευή από σκυρόδεμα πρέπει να έχει επαρκή αντοχή, αλλά και να διατηρεί την απαιτούμενη αντοχή και λειτουργικότητα κατά τη διάρκεια της αναμενόμενης ενεργούς της ζωής. Επομένως, γίνεται σαφής η σημασία του ελέγχου της ανθεκτικότητας. Η κατασκευή θεωρείται ανθεκτική όταν μπορεί να αντέξει στη διαδικασία αποσάθρωσης στην οποία αναμένεται να εκτεθεί. Παρόλο που το σκυρόδεμα είναι γενικά ανθεκτικό υλικό, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να φθαρεί πολύ πιο γρήγορα από ότι αναμενόταν. Αιτία αυτής της φθοράς, δηλαδή της αποσάθρωσης του σκυροδέματος, μπορεί να αποτελέσει η επίδραση εξωτερικών παραγόντων σε οποιοδήποτε από τα κύρια συστατικά του, δηλαδή τα αδρανή, το σκληρυμένο τσιμεντοπολτό ή τον οπλισμό, τα οποία σε αυτήν την περίπτωση συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο από τον προβλεπόμενο.

Μέχρι πρότινος, το ενδιαφέρον της Τεχνολογίας του Σκυροδέματος ήταν επικεντρωμένο στην επίτευξη υψηλότερων αντοχών. Κυριαρχούσε η άποψη ότι το σκυρόδεμα με σχετικά μεγάλη αντοχή ήταν και ανθεκτικό. Είναι πολύ δύσκολο να γίνει πρόβλεψη για τη συμπεριφορά του σκυροδέματος μετά από πολλά χρόνια, αφού το μεγαλύτερο μέρος της γνώσης πάνω στην ανθεκτικότητα προέρχεται από βραχυπρόθεσμα πειράματα. Όμως, είναι πλέον γνωστό ότι σε πολλές περιπτώσεις κατασκευών η αντοχή και η ανθεκτικότητα είναι δύο διαφορετικές παράμετροι που πρέπει να εξετάζονται από το στάδιο του σχεδιασμού κάθε κατασκευής.

#### 1. ΟΡΙΣΜΟΣ

Ανθεκτικότητα μιας κατασκευής ονομάζουμε την ικανότητά της να ανθίσταται στις περιβαλλοντικές επιδράσεις, φυσικές και χημικές, χωρίς να χάνει τις ιδιότητες της αντοχής και λειτουργικότητας κάτω από ένα ανεκτό όριο. [11]

## 2. ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την ανθεκτικότητα των κατασκευών είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η διαπερατότητα του σκυροδέματος και οι φυσικές και χημικές επιδράσεις που αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

### 2.1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη για το χαρακτηρισμό ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος είναι η διαθέσιμη υγρασία, η παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό και η θερμοκρασία.

#### 2.1.1. Διαθέσιμη υγρασία

Όλοι οι μηχανισμοί φθοράς για να πραγματοποιηθούν απαιτούν νερό. Περισσότερη σημασία συνήθως έχει η περιεχόμενη στο σκυρόδεμα υγρασία και όχι η υγρασία της ατμόσφαιρας. Υπό σταθερές συνθήκες, αυτές οι δύο τιμές υγρασίας συμπίπτουν, αλλά υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες το σκυρόδεμα συγκρατεί υγρασία με μεγαλύτερη ευκολία απ' ότι τη χάνει. Έτσι, η μέση υγρασία του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη της ατμόσφαιρας.

Αυξημένη υγρασία του αέρα προκαλεί πλήρωση των μεγαλύτερων πόρων με νερό, μειώνοντας έτσι το διατιθέμενο χώρο των πόρων για τη διάχυση αερίων. Η διαπερατότητα του σκυροδέματος έναντι αερίων μειώνεται σημαντικά με αύξηση της υγρασίας, για να φτάσει σε μηδαμινά όρια στην περίπτωση κορεσμένου σκυροδέματος.

Με τη βροχή, ο κορεσμός μπορεί να επιτευχθεί πολύ γρήγορα, λόγω της τριχοειδούς προσρόφησης. Ακόμα, μια νυχτερινή πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να συνοδεύεται από υγροποίηση των υδρατμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Μ' αυτόν τον τρόπο, το σκυρόδεμα μπορεί να συγκρατήσει μεγαλύτερα ποσά υγρασίας απ' ότι θα επέτρεπε η υγρασία του περιβάλλοντος.

Σε περίπτωση σκυροδέματος βυθισμένου σε νερό, η διείσδυση του νερού γίνεται, αρχικά με τριχοειδή απορρόφηση, επιταχυνόμενη από την υδραυλική πίεση. Έπειτα,

παρατηρείται συνεχής μεταφορά ύδατος μέσα σε σκυρόδεμα το οποίο είναι μερικώς βυθισμένο σε νερό, όταν το νερό εξατμίζεται από τις εκτεθειμένες στον αέρα επιφάνειες.

Ο κίνδυνος φθοράς από κάποια συγκεκριμένη επίδραση μπορεί να γίνεται μέγιστος για διαφορετικά, κάθε φορά, όρια υγρασίας. [11]

### **2.1.2. Παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό**

Άλλος ένας παράγοντας, ο οποίος λαμβάνεται υπόψη για το χαρακτηρισμό των περιβαλλοντικών συνθηκών είναι η παρουσία διαβρωτικών ουσιών μέσα στο νερό. Τέτοιες ουσίες, οι οποίες μπορεί να είναι διαλυμένες στο νερό που δρα στο σκυρόδεμα, είναι το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξυγόνα, τα άλατα χλωρίου, ορισμένα οξέα, τα θειικά άλατα, τα αλκάλια ή ιόντα μαγνησίου.

Ορισμένες από τις ουσίες που αναφέρθηκαν διαχέονται στο σκυρόδεμα από το λεπτό υδάτινο στρώμα που δημιουργείται στα τοιχώματα των πόρων ή μέσα από πόρους γεμάτους με νερό. Έτσι, η διάχυση, π.χ. των χλωριόντων, μειώνεται όταν μειώνεται η ποσότητα της υγρασίας στο σκυρόδεμα. [11]

### **2.1.3. Θερμοκρασία**

Όταν καθορίζεται η διαβρωτικότητα ενός περιβάλλοντος, η επίδραση της θερμοκρασίας έχει καθοριστική σημασία και δεν πρέπει να αγνοείται. Είναι γνωστό, και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ότι στις περισσότερες περιπτώσεις αύξηση της θερμοκρασίας κατά  $10^{\circ}\text{C}$  διπλασιάζει την ταχύτητα της αντίδρασης. [11]

## **2.2. ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος στο χρόνο είναι συνδεδεμένη με τη διαπερατότητά του. Ως διαπερατότητα ορίζεται η ευκολία με την οποία ένα υγρό ή αέριο μπορεί να διεισδύσει στο σκυρόδεμα. Έτσι, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι σκυρόδεμα με

χαμηλή διαπερατότητα έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε φυσικές και χημικές επιδράσεις επιβλαβών ουσιών που διεισδύουν στη μάζα του και προσβάλλουν το ίδιο αλλά και τον σπλισμό του. Επιπλέον, η διαπερατότητα παίζει σημαντικό ρόλο στην ευπάθεια του σκυροδέματος στον παγετό, αφού καθορίζει το βαθμό με τον οποίο το σκυρόδεμα μπορεί να κορεστεί με νερό. Επίσης, η διείσδυση της υγρασίας μέσα στο σκυρόδεμα, εκτός από τη διάβρωση που μπορεί να προκαλέσει, έχει σημαντικές επιπτώσεις και στις θερμομονωτικές ιδιότητές του. Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις υδραυλικών κατασκευών και άλλων έργων, η διαπερατότητα του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερης σημασίας από τις μηχανικές αντοχές του.

Η διαπερατότητα εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες που θα εξεταστούν αναλυτικά.

### 2.2.1. Σύσταση τσιμέντου

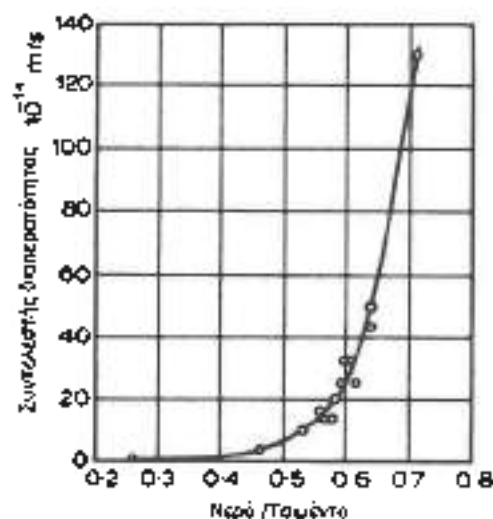
Η διαπερατότητα επηρεάζεται από τη λεπτότητα του τσιμέντου. Για τον ίδιο λόγο νερού προς τσιμέντο  $N/T$ , το χονδρότερο τσιμέντο παράγει πηγμα με μεγαλύτερα πορώδες από ένα λεπτότερο. Επίσης, η σύνθεση των συστατικών του τσιμέντου επηρεάζει τη διαπερατότητα, αφού καθορίζει το βαθμό ενυδάτωσης. Γενικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του τσιμεντοπολτού τόσο μικρότερη είναι η διαπερατότητά του. [4]

Σημαντική είναι και η κατά βάρος περιεκτικότητα του τσιμέντου στο σκυρόδεμα. Έτσι, όταν το σκυρόδεμα περιέχει τσιμέντο σε ποσότητα μεγαλύτερη από  $300 \text{ kg/m}^3$ , τότε έχει σχετικά μικρή διαπερατότητα. Τέλος, διάφορα πρόσθετα στο τσιμέντο μπορεί να επηρεάσουν τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Αυτά τα τσιμέντα είναι πιο ευπαθή, γι' αυτό απαιτείται προσοχή κατά τη συντήρηση του σκυροδέματος. [11]

### 2.2.2. Λόγος $N/T$

Αν υποτεθεί ότι το νωπό σκυρόδεμα έχει δονηθεί κατάλληλα, τότε στο τσιμεντοπολτό υπάρχουν μόνο τριχρειδείς πόροι. Ο όγκος τους εξαρτάται από το λόγο τσιμέντου προς νερό  $N/T$  του μίγματος και από την ποσότητα του τσιμέντου που

αντέδρασε με το νερό. Όσο μικρότερος είναι ο λόγος  $N/T$  τόσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ των κόκκων του τσιμεντοπολτού, άρα μικρότερο είναι και το πορώδες του τσιμεντοπολτού. [4] Όταν ο λόγος  $N/T$  ξεπεράσει την τιμή 0,6 η διαπερατότητα αυξάνεται δυσανάλογα, γεγονός που δικαιολογείται από το ότι αυξάνεται το μέγεθος και ο αριθμός των τριχοειδών πόρων. [11]



**Σχήμα 4-1:** Επίδραση του λόγου  $N/T$  στην διαπερατότητα του σκυροδέματος. [8]

Ο χαμηλός λόγος  $N/T$  θα πρέπει να συνδυάζεται και με τη σωστή διαβάθμιση των αδρανών για να επιτευχθεί στεγανό σκυρόδεμα, αφού η διαπερατότητα εξαρτάται και από την κακκομετρική σύνθεση των αδρανών του σκυροδέματος. Σωστά διαβαθμισμένα αδρανή συντελούν στην παρασκευή πυκνού σκυροδέματος με μικρό πορώδες. [4]

### 2.2.3. Πορώδες

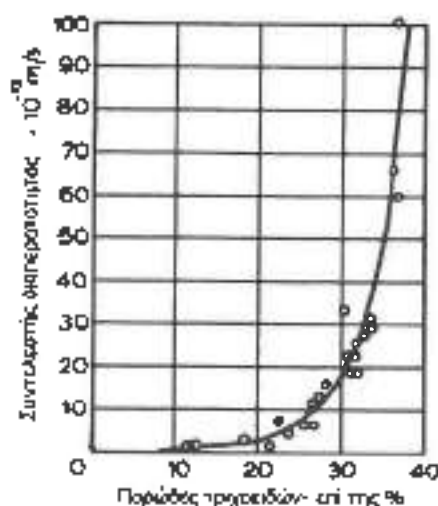
Η φύση του πορώδους συστήματος στη μάζα του τσιμεντοπολτού, αλλά και στη ζώνη μεταξύ του τσιμεντοπολτού και των αδρανών, καθώς και η ποσότητα νερού ή και αερίων που περιέχονται σε αυτό, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαπερατότητα του σκυροδέματος.

Το πορώδες είναι βασική ιδιότητα του σκυροδέματος και διακρίνεται σε μακροπορώδες, που οφείλεται στην ατελή δόνηση, και τριχοειδές πορώδες, που οφείλεται στην παρουσία νερού κατά την ενυδάτωση. Το τριχοειδές πορώδες μπορεί να μειωθεί με τη μείωση του λόγου  $N/T$  ή με την σύξηση του χρόνου συνήθησης και το

μακροπορώδες με την εφαρμογή κατάλληλης δόνησης, τη χρήση καλύτερης σύνθεσης και με χημικά πρόσθετα, δηλαδή ρευστοποιητικά ή υπερρευστοποιητικά.

Παρόλο που και τα δύο βασικά συστατικά του σκυροδέματος έχουν πόρους, κυρίως το πορώδες του τσιμεντοπολτού καθορίζει τη διαπερατότητα του σκυροδέματος, αφού περιβάλλει τα λιγότερα πορώδη αδρανή. Ειδικότερα στο τσιμεντοπολτό, η διεπιφάνεια που συνηθίζουμε να καλούμε μεταβατική ζώνη και αποτελεί το 1/3 έως και το 1/2 του συνολικού όγκου του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού στο σκυρόδεμα, έχει διαφορετική μικροδομή από τη μάζα του υπόλοιπου τσιμεντοπολτού και είναι η κύρια αιτία δημιουργίας μικρορωγμών του σκυροδέματος σε πρόωρη ηλικία. Γι' αυτούς τους λόγους, η μεταβατική ζώνη έχει καθοριστικό ρόλο στη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Ωστόσο, έχει βρεθεί ότι παρόλο που η μεταβατική ζώνη έχει μεγάλο πορώδες, η διαπερατότητα του σκυροδέματος εξαρτάται από τη μάζα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Το παραπάνω συμπέρασμα ενισχύει το γεγονός ότι η διαπερατότητα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού δεν είναι μικρότερη από αυτή σκυροδέματος, το οποίο έχει παρασκευαστεί από το ίδιο τσιμέντο.

Οι πόροι που σχετίζονται με τη διαπερατότητα είναι αυτοί με διάμετρο τουλάχιστον 120-160 nm και κυρίως οι συνεχόμενοι πόροι που σχηματίζουν ένα σύστημα πόρων. Αντίθετα, πόροι που δεν ευνοούν τη διαπερατότητα, εκτός από τους ασυνεχείς, είναι αυτοί που περιέχουν απορροφημένο νερό και αυτοί που έχουν στενή είσοδο, ακόμα κι αν οι ίδιοι οι πόροι είναι μεγάλοι. Συνήθως η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε φυσικές και χημικές επιδράσεις μειώνεται όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε τριχοειδείς πόρους. Αυτό φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί: [8], [11]



**Σχήμα 4-2:** Επίδραση του πορώδους στην διαπερατότητα του σκυροδέματος. [8]

#### 2.2.4. Συμπύκνωση

Η συμπύκνωση του σκυροδέματος μειώνει τα κενά αέρα στη μάζα του σε ποσοστό μικρότερο από 1%. Η συμπύκνωση επιτυγχάνεται με την κατάλληλη κατά περίπτωση δόνηση, ο αέρας και το νερό μεταφέρονται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος και το πορώδες μειώνεται. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργούνται τριχοειδείς πόροι κατά την κατακόρυφη διεύθυνση και αυξάνεται προσωρινά η διαπερατότητα. Ωστόσο, όσο πραγματοποιείται η διαδικασία της ενυδάτωσης, οι τριχοειδείς πόροι σφραγίζονται.

Το σκυρόδεμα με μικρό λόγο  $N/T$  μπορεί να εγγυάται την ανθεκτικότητά του στο χρόνο, όμως η μειωμένη εργασιμότητά του έχει σαν αποτέλεσμα την ατελή συμπύκνωσή του, καθιστώντας το πρακτικά μη εφαρμόσιμο. Μη λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες του έργου, δηλαδή την πυκνότητα του οπλισμού και την δυσκολία πρόσβασης στις περιοχές σκυροδέτησης, ένα μίγμα με μικρό λόγο  $N/T$  θα παρασκεύαζε ένα σκυρόδεμα με πόρους και υψηλή διαπερατότητα, οπότε η διαπερατότητα λόγω τριχοειδών πόρων θα ήταν άνευ σημασίας. [11]

#### 2.2.5. Συντήρηση

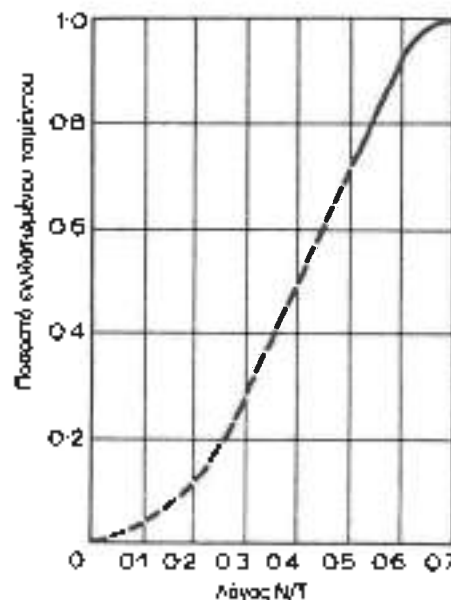
Έχει διαπιστωθεί ότι το τριχοειδές πορώδες του τσιμεντοπολτού, το οποίο επηρεάζει άμεσα τη διαπερατότητα του σκυροδέματος, εξαρτάται από το βαθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου. Το γεγονός αυτό καθιστά τη συνεχή ενυδάτωση, που επιτυγχάνεται με τη συντήρηση, απαραίτητη. Επιπλέον, η συντήρηση γίνεται με σκοπό να προστατεύσει το σκυρόδεμα από τις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές.

Η απαιτούμενη διάρκεια συντηρήσεως του σκυροδέματος για την πλήρη ενυδάτωση του τσιμέντου εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου που χρησιμοποιείται και από τις συνθήκες περιβάλλοντος κατά τη σκυροδέτηση. Ο ελάχιστος χρόνος συντηρήσεως για σκυροδέματα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ανθεκτικότητας ορίζεται ίσος με 7 ημέρες. Ενδεικτικά, ο ακόλουθος πίνακας δείχνει το απαιτούμενο χρόνο συντηρήσεως του σκυροδέματος ανάλογα με το λόγο  $N/T$  για συνθήκες πλήρους ενυδάτωσης.

| N/T  | Απαιτούμενος χρόνος συντήρησης για πλήρη ενυδάτωση του τσιμέντου |
|------|------------------------------------------------------------------|
| 0,35 | 1 μέρα                                                           |
| 0,4  | 3 μέρες                                                          |
| 0,45 | 7 μέρες                                                          |
| 0,5  | 14 μέρες                                                         |
| 0,6  | 6 μήνες                                                          |
| 0,7  | 1 χρόνο                                                          |

**Πίνακας 4-1:** Απαιτούμενος χρόνος συντήρησης σκυροδέματος για πλήρη ενυδάτωση τσιμέντου. [8]

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η μείωση της διαπερατότητας σε σχέση με το χρόνο συντηρήσεως που απαιτείται για την πλήρη ενυδάτωση.



**Σχήμα 4-3:** Συσχέτιση του λόγου N/T με τον βαθμό ενυδάτωσης στον οποίο τα τριχοειδή παύουν να αλληλοσυνδέονται. [8]

Θεωρητικά, ο καλύτερος τρόπος συντήρησης επιτυγχάνεται καλύπτοντας το νεαρό σκυρόδεμα με υγρά υφάσματα, τη λεγόμενη λινάτσα. Στην πράξη, για να μειωθεί ο χρόνος συντήρησης, θα πρέπει ο λόγος N/T να είναι μικρός και το νωπό σκυρόδεμα να προστατεύεται με τη χρήση ειδικών υλικών συντήρησης, τα οποία εφαρμόζονται με ψεκασμό μετά την αφαίρεση του ξηλοτύπου. Έτσι, δημιουργείται μια προστατευτική μεμβράνη πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος που εμποδίζει το νερό να εξατμιστεί.

Η συντήρηση πρέπει να ξεκινήσει αμέσως μετά τη σκυροδέτηση και να μη διακοπεί. Αν τα μέτρα συντηρήσεως ληφθούν μετά την ξήρανση του νεαρού σκυροδέματος θα έχουν μειωμένη αποτελεσματικότητα, διότι η διαδικασία ενυδάτωσης συνεχίζεται με δυσκολία αφού διακοπεί μία φορά. [8]

#### 2.2.6. Υπαρξη ρωγμών

Με την ύπαρξη των ρωγμών διευκολύνεται η διείσδυση βλαβερών ουσιών προς τον οπλισμό του σκυροδέματος. Η δημιουργία αυτών των ρωγμών μπορεί να οφείλεται, μεταξύ άλλων, στις ακόλουθες αιτίες:

- Φυσικές: συστελλόμενα αδρανή, συστολή ξηράνσεως.
- Χημικές: διάβρωση οπλισμού και δημιουργία διαμηκών ρωγμών, αντίδραση αδρανών και αλκαλίων και άτακτη ρηγμάτωση.
- Θερμικές: εναλλαγές παγετού και τήξεως, εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας, πρόωρη θερμική συστολή.
- Κατασκευαστικές: υπερφόρτιση, ερπυσμός.

Το νερό σκυρόδεμα είναι ιδιαίτερα επιρρεπές στη ρηγμάτωση. Λίγες ώρες μετά τη σκυροδέτηση, η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, για 4 έως 16 ώρες περίπου, με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να ρηγματώνεται εύκολα. [11]

### 2.3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Γενικά, μια κατασκευή από σκυρόδεμα στη διάρκεια ζωής της είναι δυνατό να υποστεί φυσικές και χημικές δράσεις. Τις φυσικές επιδράσεις τις διακρίνουμε σε μηχανική φθορά λόγω απότριψης, υδροφθοράς ή σπηλαιώσης και σε επίδραση ακραίας θερμοκρασίας, λόγω παγετού ή πυρκαγιάς.

### 2.3.1. Μηχανική φθορά σκυροδέματος

Ως μηχανική φθορά ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία η επιφάνεια του σκυροδέματος φθείρεται από μηχανικές επιρροές, όπως αλίσθηση, κρούση και κύλιση διαφόρων αντικειμένων. [11]

#### 2.3.1.1. Απότριψη σκυροδέματος

Η φθορά εκ τριβής δαπέδων από σκυρόδεμα εκτεθειμένων στον αέρα προκαλείται από την κυκλοφορία πεζών, την πρόσκρουση οχημάτων ή αντικειμένων, την κυκλοφορία φορτηγών, την κυκλοφορία οχημάτων με καρφιά ή αλυσίδες στα λάστιχά τους, από την κίνηση νερού που περιέχει φερτές ύλες κ.ά.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε απότριψη, αναλυτικά, είναι:

- **Μηχανική αντοχή σκυροδέματος**

Από εμπειρία και από πειραματικές έρευνες, έχει διαπιστωθεί ότι αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος αυξάνει την ανθεκτικότητα σε απότριψη.

- **Λόγος N/T**

Για να έχει το σκυρόδεμα μεγάλη αντοχή, επομένως και μεγάλη ανθεκτικότητα σε απότριψη, πρέπει ο λόγος N/T να είναι μικρός. Αν η ποσότητα νερού στο σκυρόδεμα είναι μεγαλύτερη από μια βέλτιστη απαιτούμενη τιμή, τότε δημιουργείται ένα αδύναμο επιφανειακό στρώμα και μειώνεται η συνάφεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντοκονιάματος. Η απαιτούμενη ποσότητα σε νερό είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων, όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες, το είδος των αδρανών, τα πρόσθετα, και πρέπει να εξετάζονται ιδιαίτερα σε κάθε περίπτωση.

- **Ιδιότητες των αδρανών**

Μεγαλύτερη σημασία για την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε απότριψη έχει η σκληρότητα του τσιμεντοκονιάματος. Ωστόσο, όταν αλλαιωθεί το επιφανειακό στρώμα του τσιμεντοκονιάματος και εκτεθούν τα αδρανή, η σκληρότητα των αδρανών είναι καθοριστικής σημασίας. Γενικά, σκυρόδεμα με μαλακά αδρανή είναι λιγότερο ανθεκτικό σε απότριψη. Η σκληρότητα των αδρανών φαίνεται να επηρεάζει την ανθεκτικότητα σε απότριψη σκυροδέματος με χαμηλή αντοχή (21-35 MPa). Επίσης, υψηλή αντοχή σε απότριψη έχουν τα σκυροδέματα με μικρότερο μέγιστο κόκκο και αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι κόκκοι 8/22 mm στοιβάζονται πιο κοντά στην επιφάνεια από ότι κόκκοι 8/32 mm.

- **Συντήρηση του νωπού σκυροδέματος**

Η συντήρηση του νωπού σκυροδέματος έχει ουσιώδη σημασία για την παραγωγή δαπέδου με σκληρή επιφάνεια. Σκοπός της συντήρησης είναι να δημιουργήσει τις ιδανικές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας στο μίγμα, ώστε να αποφύγουμε την πρόωρη ξήρανση της επιφάνειας του σκυροδέματος, πριν αυτό αποκτήσει την πλήρη αντοχή του σε απότριψη. Ειδικά στις πλάκες, στις οποίες η ειδική επιφάνεια είναι μεγάλη, το νερό εξατμίζεται γρήγορα από την ελεύθερη επιφάνεια, προκαλώντας πρόωρη παύση της ενυδάτωσης του τσιμέντου και ρηγμάτωση, παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση της ανθεκτικότητας σε απότριψη.

- **Διαδικασίες περατώσεως**

Οι διαδικασίες περατώσεως της επιφάνειας του σκυροδέματος έχουν την ίδια σημασία με την αντοχή του σκυροδέματος, αφού επηρεάζουν το πάνω στρώμα της επιφάνειάς του, από 1,5 έως 3,0 cm. Σε περιπτώσεις που το φινίρισμα της επιφάνειας του νωπού σκυροδέματος, όπως λέγονται οι διαδικασίες περατώσεως, γίνει ενώ υπάρχει πλεόνασμα υγρασίας ή νερό εξάτμισης στην επιφάνεια του σκυροδέματος, προκαλείται σημαντική μείωση στην ανθεκτικότητα σε απότριψη. [11]

### 2.3.1.2. Υδροφθορά σκυροδέματος

Η φθορά αυτή προκαλείται από τη συνεχή ροή του νερού ή των μεταφερομένων από το νερό σωμάτων σε κατασκευές όπως φράγματα, αγωγοί, βάθρα γεφυρών και υπερχειλιστές. Παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της υδροφθοράς είναι η ταχύτητα ροής του νερού, η ταχύτητα και το είδος της κίνησης που εκτελούν τα μεταφερόμενα από το νερό σώματα, η συνολική ποσότητα των σωμάτων αυτών, το σχήμα, το μέγεθος και το βάρος τους και η σκληρότητα του σκυροδέματος.

Αύξηση της ταχύτητας του νερού προκαλεί άτακτη κίνηση των μεταφερομένων στερεών σωμάτων. Με αύξηση της ποσότητας των σωμάτων δεν προκαλείται αύξηση της υδροφθοράς, όπως θα αναμενόταν αρχικά. Ένα μέρος από τα σώματα που μεταφέρονται καθιζάνουν, μειώνοντας έτσι το βαθμό της υδροφθοράς. [11]

### 2.3.1.3. Σπηλαίωση σκυροδέματος

Το φαινόμενο της σπηλαίωσης εμφανίζεται όταν το νερό κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα παράλληλα σε περιορισμένη επιφάνεια. Αν αλλάξει η γεωμετρία της επιφάνειας, όπως συμβαίνει στην αλλαγή διεύθυνσης ροής ή όταν υπάρχει κάποια ανωμαλία στην επιφάνεια του σκυροδέματος, τότε δημιουργούνται ασυνέχειες στη ροή προκαλώντας αύξηση του τυρβώδους και μείωση της πίεσης. Όταν η πίεση του ρέοντος νερού γίνει μικρότερη από την πίεση εξατμίσεως του νερού, σχηματίζονται φυσαλίδες με ατμό. Οι φυσαλίδες αυτές μεταφερόμενες από τη ροή σε περιοχές με πίεση υψηλότερη από την πίεση εξατμίσεως του νερού, τότε ο ατμός από τις φυσαλίδες συμπυκνώνεται και οι φυσαλίδες καταστρέφονται απότομα εκλύοντας μεγάλες τάσεις συμπίεσης. Αυτό έχει ως συνέπεια την άσκηση συνεχών κραύσεων μεγάλης έντασης στα γειτονικά ευρισκόμενα στερεά όρια. Το σκυρόδεμα αποκτά κοιλότητες και ανωμαλίες, αρχικά σε μικρή έκταση, όμως ακολουθεί σοβαρή διάβρωση του σκυροδέματος, πιθανώς λόγω του μεγάλου τυρβώδους που αναπτύσσεται τοπικά και τελικά καταστρέφεται λόγω κοπώσεως από την επαναλαμβανόμενη καταπόνηση.

Η φθορά από τη δράση της σπηλαίωσης συνήθως εμφανίζεται σε υδραυλικές κατασκευές όπως φράγματα, αγωγούς, βάθρα γεφυρών, υπερχειλιστές κ.λ.π. Ένας τρόπος για την αποφυγή του φαινομένου είναι η εισαγωγή φυσαλίδων αέρα στο ρέον

νερό, με την κατασκευή κατάλληλων αναβαθμών. Οι φυσαλίδες αυτές του αέρα λειτουργούν σαν «μαξιλάρια» για το σκυρόδεμα και έτσι αποφεύγονται οι καταστροφές.[11], [13]

### 2.3.2. Επίδραση ακραίας θερμοκρασίας

#### 2.3.2.1. Επίδραση παγετού

Ο παγετός είναι επίδραση, η οποία απασχολεί, κυρίως, την τεχνολογία του σκυροδέματος στις βόρειες χώρες. Ωστόσο, η φθορά λόγω παγετού παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον και για τη χώρα μας.

Ο μηχανισμός φθοράς λόγω δημιουργίας παγετού μέσα σε πορώδη υλικά που περιέχουν νερό στη μάζα τους, όπως είναι το σκυρόδεμα, δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως. Η κλασική εξήγηση είναι η αύξηση του όγκου, η οποία προκαλείται με την ψύξη του νερού. Όταν το νερό παγώσει, ο όγκος του αυξάνεται κατά 9%. Αυτή η διόγκωση έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσεων, τοπικές θραύσεις του στερεού ιστού και, τελικά, μείωση της αντοχής του σκυροδέματος.

Επιπλέον, η τάση ατμού σε κάποιο πόρο που περιέχει νερό, είναι μεγαλύτερη από την τάση ατμού σε κάποιο γειτονικό πόρο που περιέχει πάγο. Έτσι, για να υπάρξει ισορροπία πίεσης, είτε πρέπει να παγώσει το νερό και στο γειτονικό πόρο, είτε να φύγει μια ποσότητα νερού από τον πόρο που περιέχει το νερό. Εξάλλου, όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 0° C, δεν παγώνει ταυτόχρονα όλο το νερό των πόρων, λόγω των διαφορετικών μεγεθών που υπάρχουν στο μίγμα. Για παράδειγμα, πόροι διαμέτρων 10nm παγώνουν στους -5 °C, ενώ διαμέτρων 3,5 nm στους -20 °C. Έτσι, όσο η θερμοκρασία χαμηλώνει, όλο και περισσότερο νερό μεταφέρεται από τους μικρότερους πόρους που πιέζονται περισσότερο προς τους μεγαλύτερους, όπου και παγώνει, με αποτέλεσμα την αύξηση των τάσεων.

Τέλος, η ανακατανομή του νερού για εξισορρόπηση των πιέσεων ατμού στους πόρους μπορεί να γίνει και με εξσέρωση, δηλαδή μετάβαση από τη στερεή στην αέρια κατάσταση. Όταν στα κενά του πάγου, που σχηματίζονται από τη διαφυγή του ατμού, εισχωρήσει νερό και παγώσει, τότε η διαστολή του πάγου θα προκαλέσει θραύση.

Η φθορά λόγω επιδράσεως παγετού στο σκυρόδεμα εμφανίζεται με ρηγμάτωση, με απολέπιση και αποφλοϊώσή του ή με υγρή εμφάνιση αυτού. Οι τάσεις που αναπτύσσονται μέσα στο σκυρόδεμα προκαλούν ρηγμάτωση. Συνήθως οι ρωγμές εμφανίζονται σε όλη την επιφάνεια του σκυροδέματος. Το εύρος των ρωγμών δεν ξεπερνά τα 0,25 mm, ενώ το βάθος τους περιορίζεται σε 35 mm από την επιφάνεια. Επίσης, λόγω του παγετού, αφαιρούνται επιφανειακά μικρά κομμάτια σκυροδέματος υπό μορφή λεπίδων και δημιουργούνται έτσι μικρές κοιλότητες. Σε περίπτωση εκτεταμένης φθοράς, είναι δυνατόν να αφαιρεθούν και μεγάλα κομμάτια σκυροδέματος και να παρατηρηθεί αποφλοϊώση του σκυροδέματος. Τέλος, όταν το σκυρόδεμα έχει υποστεί την επίδραση παγετού σε μικρή ηλικία, τότε φαίνεται σαν να είναι υγρό. Το σκυρόδεμα είναι σκουρόχρωμο και θραύεται εύκολα.

Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού επηρεάζεται από την ποιότητα του σκυροδέματος (μέγεθος αδρανών, λόγος Ν/Τ, είδος τσιμέντου και πρόσθετων, προσθήκη αερακτικών), τις συνθήκες περιβάλλοντος και την ηλικία του σκυροδέματος. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι μερικώς στεγνό σκυρόδεμα δεν επηρεάζεται πρακτικά από τον παγετό, γιατί οι πόροι μεγάλου μεγέθους είναι άδαιοι και προσφέρουν το απαραίτητο κενό για να διαφύγει το νερό.

Τη μεγαλύτερη προστασία στο σκυρόδεμα έναντι παγετού προσφέρουν τα αερακτικά πρόσθετα, εμπλουτίζοντας τη μάζα του με τεχνητούς πόρους. Πρέπει όμως το σκυρόδεμα να έχει αναπτύξει τμήμα της συνολικής του αντοχής, ώστε να μπορέσει να αντέξει τη φθορά. Θεωρητικά για λόγους Ν/Τ μικρότερους από 0,36 δεν είναι απαραίτητη η χρήση αερακτικού, γιατί υπάρχει ελάχιστο ελεύθερο νερό ικανό να παγώσει μέσα στο μίγμα. [11]

#### **2.3.2.2. Επίδραση αντιπαγωτικών αλάτων**

Η ταυτόχρονη επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων είναι περισσότερο επικίμηια στο σκυρόδεμα από την επίδραση μόνο παγετού. Σήμερα, τα αντιπαγωτικά αλατα που χρησιμοποιούνται σε δρόμους, πεζοδρόμια, εξώστες και εξωτερικές σκάλες είναι το χλωριούχο ασβέστιο  $\text{CaCl}_2$ , το χλωριούχο νάτριο  $\text{NaCl}$ , και σπανιότερα η ουρία  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  και η αιθυλική αλκοόλη  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  και είναι γνωστό ότι χρησιμοποιούνται σε

μεγαλύτερες ποσότητες από την κανονική, με αποτέλεσμα να επιδρά αρνητικά στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. [11]

## 2.4. ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Η χημική διάβρωση του σκυροδέματος είναι αποτέλεσμα της παρουσίας διαφόρων ουσιών στο περιβάλλον, οι οποίες αντιδρούν χημικώς με το σκυρόδεμα, με συνέπεια να αλλάζει η σύσταση του σκυροδέματος και να επηρεάζονται ανεπανόρθωτα οι ιδιότητές του. Η χημική επίδραση αφορά, κυρίως, στη δράση οξέων, αλάτων, βάσεων ή βακτηρίων. Στη συνέχεια εξετάζονται ορισμένοι από τους σημαντικότερους παράγοντες χημικής διάβρωσης.

### 2.4.1. Επίδραση μαλακού νερού

Η σκληρότητα του νερού οφείλεται κυρίως στα όξινα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  και  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  αντίστοιχα, τα οποία είναι διαλυτά στο νερό, όταν υπάρχει σε αυτό αρκετή ποσότητα αδεσμευτού διοξειδίου του άνθρακα  $\text{CO}_2$ . Μαλακό είναι το νερό της βροχής, το νερό που προέρχεται από την τήξη πάγου ή χιονιού, το νερό των ποταμών και λιμνών κ.ά.

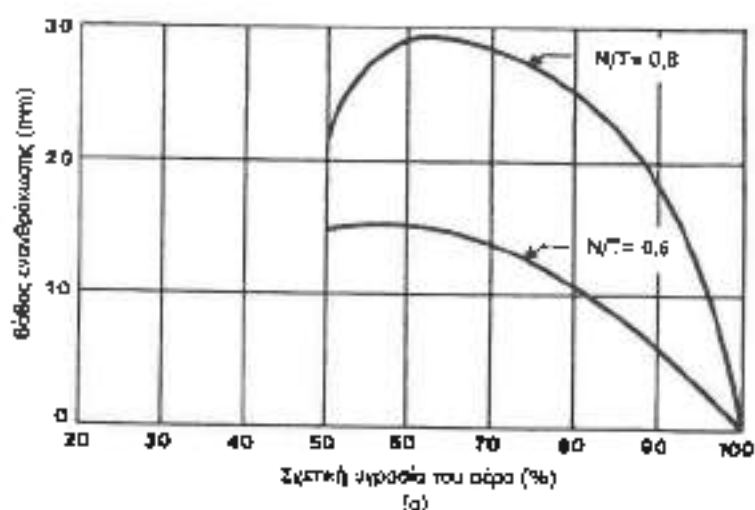
Όταν το νερό δεσμεύεται αρχικά από το τσιμέντο σχηματίζεται υδροξείδιο του ασβεστίου. Το υδροξείδιο του ασβεστίου διαλύεται στο μαλακό νερό και αποπλένεται από το σκυρόδεμα. Η ύπαρξη μικροποσοτήτων ιόντων μαγνησίου εμποδίζει την απόπλυση της ασβέστου από το σκυρόδεμα, αφού μειώνουν τη διαπερατότητά του. Με την απομάκρυνση της ασβέστου διασπώνται τα λιγότερα σταθερώς ενυδατωμένα προϊόντα του τσιμέντου, με αποτέλεσμα τη χαλάρωση του ιστού του σκυροδέματος.

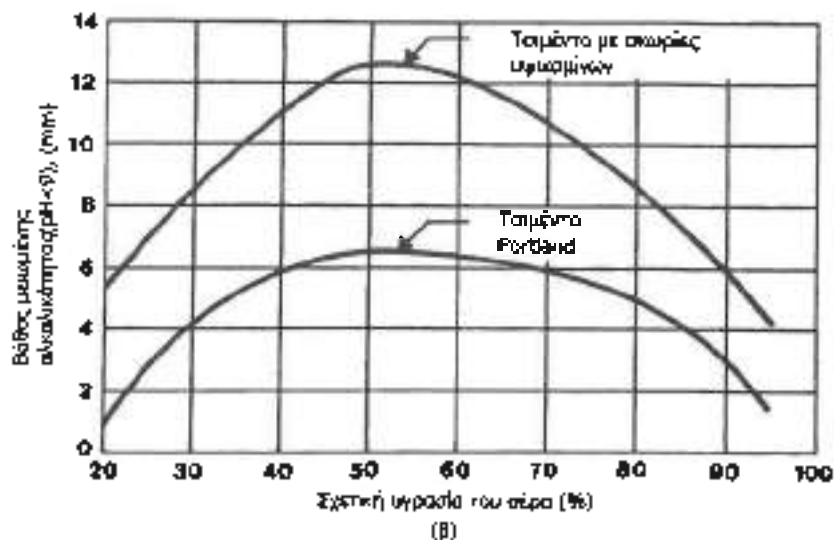
Η ασβέστος, η οποία αποπλένεται από το σκυρόδεμα, αποτίθεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος, δημιουργώντας λευκές κηλίδες. Η φθορά γίνεται επίσης αντιληπτή, διότι η χαλάρωση του ιστού του επιφανειακού σκυροδέματος δημιουργεί ανωμαλίες στην επιφάνεια, αφήνοντας να διαγραφούν καθαρά τα χονδρά αδρανή. [11]

### 2.4.2. Επίδραση ανθρακικού οξέως

Το ανθρακικό οξύ είναι το υδατικό διάλυμα του διοξειδίου του άνθρακα. Περιέχεται σε επιφανειακά ή υπόγεια εδαφικά νερά, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν μικροποσότητες διαλυμένης ασβέστου. Το ανθρακικό οξύ αντιδρά με τα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, και δίνει αντίστοιχα όξινα ανθρακικά άλατα, τα οποία είναι ακίνδυνα για το σκυρόδεμα. Επομένως, η διάβρωση του σκυροδέματος από διάλυμα ανθρακικού οξέος θα συμβεί μόνο όταν απουσιάζουν τα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου. Το μαλακό νερό περιέχει μικρές ποσότητες ανθρακικού οξέος. Το σκληρό νερό, έστω κι αν περιέχει μεγάλες ποσότητες ανθρακικού οξέος, προσβάλλει το σκυρόδεμα σε σπάνιες περιπτώσεις.

Η ενανθράκωση του σκυροδέματος προκαλείται από την χημική αντίδραση του  $\text{CO}_2$ , το οποίο υπάρχει στην ατμόσφαιρα, με το  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  του σκυροδέματος. Για την πραγματοποίηση της αντίδρασης απαιτούνται μικρές ποσότητες νερού. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ενανθράκωσης παρατηρείται σε αέρα με σχετική υγρασία 50-70%. Το ξηρό σκυρόδεμα δε θα ενανθρακωθεί, λόγω απουσίας της απαιτούμενης υγρασίας, ενώ σε καρεομένο με νερό σκυρόδεμα εμποδίζεται η διάχυση του  $\text{CO}_2$  στους πόρους του σκυροδέματος. [11]

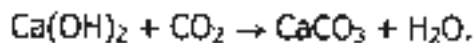




**Σχήμα 4-4:** Βάθος ενανθράκωσης (α) σε σκυρόδεμα με τιμές του λόγου  $N/T$  0,6 και 0,8.

(β) σε τσιμεντοκονίαμα με λόγο  $N/T=0,6$  για διαφορετικά είδη τσιμέντου. [11]

Σε συνθήκες υγρασίας το  $CO_2$  σχηματίζει ανθρακικό οξύ το οποίο αντιδρά με το υδροξείδιο του ασβεστίου και σχηματίζει ανθρακικό ασβέστιο.



Επικόλουθο της διαδικασίας της ενανθράκωσης είναι η συστολή του σκυροδέματος γνωστή σαν συστολή ενανθράκωσης. Η ενανθράκωση προσβάλλει αρχικά την επιφάνεια του σκυροδέματος και έπειτα προχωρά με ιδιαίτερα αργούς ρυθμούς στο εσωτερικό. Η πραγματική ταχύτητα ενανθράκωσης εξαρτάται από την διαπερατότητα του σκυροδέματος, την περιεχόμενη σε αυτό υγρασία, καθώς και το ποσοστό του  $CO_2$  στην ατμόσφαιρα και την σχετική υγρασία του περιβάλλοντος. Αφού η διαπερατότητα του σκυροδέματος εξαρτάται από το λόγο  $N/T$  και την αποτελεσματικότητα της συντήρησης, το σκυρόδεμα με μεγάλο λόγο  $N/T$  και ανεπαρκή συντήρηση θα είναι επιρρεπές στην ενανθράκωση, δηλαδή θα παρουσιάζει μεγαλύτερο βάθος ενανθράκωσης. Ο βαθμός ενανθράκωσης μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί ψεκάζοντας μία σπασμένη επιφάνεια σκυροδέματος με φαινολοφθαλείνη. Η επιφάνεια που έχει ελεύθερο  $Ca(OH)_2$  χρωματίζεται ροζ, ενώ η ενανθρακωμένη επιφάνεια παραμένει ανεπηρέαστη.

Η ενανθράκωση του σκυροδέματος επιφέρει μικρή αύξηση της αντοχής και μείωση της διαπερατότητάς του, γιατί πιθανώς το νερό που απελευθερώνεται από την διάσπαση του  $Ca(OH)_2$ , επιταχύνει την διαδικασία της ενυδάτωσης και το  $CaCO_3$  εναποτίθεται

στους τριχοειδείς πόρους του τσιμεντοπολτού, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το πορώδες του σκυροδέματος. Ωστόσο, σημαντικότερο είναι το γεγονός ότι η ενανθράκωση ευθύνεται για τη μείωση του pH του σκυροδέματος, με την εξουδετέρωση της αλκαλικότητάς του, με αποτέλεσμα ο χάλυβας να είναι ευάλωτος στη διάβρωση. Έτσι, η ενανθράκωση όλου του πάχους της επικάλυψης του οπλισμού έχει σαν συνέπεια τη διάβρωση του οπλισμού και ρηγμάτωση του σκυροδέματος, η οποία επιτείνεται όταν υγρασία και οξυγόνο διεισδύουν στο σκυρόδεμα. [8]

Τρεις είναι οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ενανθράκωση του σκυροδέματος: οι συνθήκες περιβάλλοντος, η ποιότητα και το πάχος της επικάλυψης και τέλος το είδος του τσιμέντου.

Σχετικά με τις συνθήκες περιβάλλοντος, αναφέρθηκε παραπάνω η σημασία της σχετικής υγρασίας του αέρα και παρουσιάστηκε στο σχήμα 4-4 η σχέση του βάθους ενανθράκωσης στο σκυρόδεμα με τη σχετική υγρασία.

Όσον αφορά στην ποιότητα της επικάλυψης, γνωρίζουμε ότι επικάλυψη με χαμηλή διαπερατότητα μειώνει ή και αναστέλλει την διείσδυση του CO<sub>2</sub>, ενώ η ύπαρξη ρωγμών σε αυτήν επιταχύνει την διαδικασία ενανθράκωσης. Επίσης, για μικρές τιμές του λόγου N/T, περιορίζεται πολύ η διείσδυση υγρασίας και CO<sub>2</sub> λόγω μείωσης του μεγέθους και του αριθμού τριχοειδών πόρων.

Το βάθος της ενανθράκωσης είναι συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου:

$$d_c = \sqrt{\alpha \cdot t}$$

όπου,  $\alpha_c$  = το μέσο βάθος ενανθράκωσης σε mm

$\alpha$  = σταθερά (mm<sup>2</sup>/έτος) που εξαρτάται από την ποιότητα του σκυροδέματος και τις συνθήκες του περιβάλλοντος

$t$  = ο χρόνος σε έτη

Επομένως, διπλασιασμός της επικάλυψης τετραπλασιάζει το χρόνο για την έναρξη της διάβρωσης του οπλισμού. Ωστόσο, η αύξηση της επικάλυψης δεν εξασφαλίζει το χάλυβα από τον κίνδυνο της διάβρωσης. Μικρό πάχος επικάλυψης καλής ποιότητας είναι πολύ καλύτερη από επικάλυψη μεγάλου πάχους αλλά χαμηλής ποιότητας. Επιπλέον, η επικάλυψη δεν πρέπει να ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο, διότι τότε απαιτείται πρόσθετος

οπλισμός για να περιορισθεί το εύρος των ρωγμών. Το πάχος της επικάλυψης συνιστάται να είναι της τάξεως των 15 έως 50 mm.

Τέλος, η ενανθράκωση του σκυροδέματος εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στα ακόλουθα σχήμα, τα τσιμέντα που περιέχουν σκωρίες υψικαμίνων και ποζολάνες ενανθρακώνονται γρηγορότερα από τα τσιμέντα Portland. Η προσθήκη ιπταμένων τεφρών στα τσιμέντα επιταχύνει την ενανθράκωση σε σκυρόδεμα αντοχής μικρότερης από 30-35 MPa, ενώ προσθήκη πυριτικής παιπάλης (αντικατάσταση ορισμένης ποσότητας τσιμέντου με πυριτική παιπάλη ίσου βάρους) επιταχύνει την ενανθράκωση του σκυροδέματος, όταν η σύγκριση γίνεται μεταξύ σκυροδεμάτων της ίδιας αντοχής στις 28 ημέρες. Τέλος, αναφέρεται ότι προσθήκη λιγνοσουλφόνης στο σκυρόδεμα σε ποσοστό 0,25% κ.β. μειώνει την ταχύτητα ενανθράκωσης του σκυροδέματος κατά 10% έως 30%. Όταν το τσιμέντο περιέχει πρόσθετα, πρέπει να γίνεται προσεκτική συντήρηση, διότι τα τσιμέντα με πρόσθετα είναι πιο ευαίσθητα από τα τσιμέντα Portland. Αν δε γίνει προσεκτική και πορατεταμένη συντήρηση, το σκυρόδεμα θα είναι χαμηλής ποιότητας. [8], [11]

#### 2.4.3. Επίδραση οξέων

Η φθορά που προκαλεί το οξύ στα σκυρόδεμα εξαρτάται από τη συγκέντρωση του οξέως στο διάλυμα, από τη θερμοκρασία, αλλά κυρίως από τη φύση του παραγόμενου άλατος ασβεστίου, δηλαδή αν είναι ευδιάλυτο, δυσδιάλυτο, ή διογκούμενο. Η ισχύς του οξέος καθορίζεται από την τιμή του pH.

Μερικά από τα οξέα αντιδρούν με τις ενώσεις του τσιμεντοπολτού και δίνουν ευδιάλυτα άλατα ασβεστίου, τα οποία αποπλένονται από το σκυρόδεμα. Σ' αυτήν την κατηγορία οξέων ανήκουν το υδροχλωρικό, το νιτρικό, το γαλακτικό και το οξικό οξύ. Άλλα οξέα σχηματίζουν αδιάλυτα άλατα αργιλίου, τα οποία προστατεύουν το σκυρόδεμα από περαιτέρω προσβολή. Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν το φωσφορικό, το υδροφθορικό, το αλκαλικό και το χουμικό οξύ. Τέλος, το θειικό και το θειώδες οξύ σχηματίζουν γύψο, η οποία ενυδατώνεται και διογκώνεται. [11]

#### 2.4.4. Επίδραση αλάτων

Στη φύση τα άλατα υπάρχουν στο έδαφος, στο εδαφικό και το θαλάσσιο νερό και συναντώνται συνηθέστερα τα χλωριούχα, τα νιτρικά και νιτρώδη, τα ανθρακικά και τα θειικά άλατα.

- Τα χλωριούχα άλατα νατρίου, ασβεστίου, μαγνησίου και αμμωνίου χρησιμοποιούνται ως αντιπαγωτικά άλατα και ως πρόσθετα στο σκυρόδεμα. Ωστόσο προκαλούν σοβαρή διάβρωση του οπλισμού.

- Τα νιτρικά και νιτρώδη άλατα νατρίου, καλίου και αμμωνίου εμφανίζουν διαβρωτική δράση, η οποία εξαρτάται πολύ από το είδος του κατιόντος του άλατος.

- Τα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου προσβάλλουν μόνο σκυρόδεμα που έχει παρασκευαστεί από αργιλικό τσιμέντο. Το ανθρακικό μαγνήσιο δεν προκαλεί φθορά στο σκυρόδεμα, όμως τα άξινα ανθρακικά μαγνήσια δίνει ιόντα μαγνησίου, τα οποία προκαλούν ελαφρό διάβρωση του σκυροδέματος.

- Τα θειικά άλατα νατρίου, ασβεστίου, αμμωνίου και μαγνησίου είναι τα περισσότερο επικίνδυνα άλατα για το σκυρόδεμα. Ο μηχανισμός δράσης τους διαφέρει πολύ από αυτών των άλλων αλάτων και διακρίνεται σε επίδραση της γύψου και επίδραση θειικού μαγνησίου και αμμωνίου. Η καταστρεπτική επίδραση της γύψου οφείλεται στο σχηματισμό ετρίγκιτη, ο οποίος διογκώνεται πολύ, δημιουργώντας ρωγμές στο σκυρόδεμα. Επιπλέον, η αντίδραση θειικών αλάτων μαγνησίου και αμμωνίου με το υδροξείδιο του ασβεστίου του τσιμέντου προκαλεί διάσπαση των προϊόντων ενυδάτωσης του τσιμέντου, για να αντισταθμιστεί η απώλεια του  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  από τον τσιμεντοπαλτό. Όμως, η σοβαρή φθορά που προκαλούν τα θειικά άλατα μαγνησίου και αμμωνίου στο σκυρόδεμα οφείλεται στη διάσπαση του ένυδρου πυριτικού τριασβεστίου.

Για την παρασκευή σκυροδέματος ανθεκτικού στην επίδραση θειικών αλάτων, συνιστάται η χρήση ειδικών τσιμεντών, όπως είναι τα αργιλικά και τα υπερθειικά. Επίσης, τσιμέντα με προσμίξεις, όπως σκυρίες υψικαμίνων και ποζολάνες έχουν μεγάλη

ανθεκτικότητα σε επίδραση θεικών αλάτων. Η ανθεκτικότητα του τσιμέντου Portland σε επίδραση θεικών αλάτων εξαρτάται από την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε  $C_3A$ . [11]

#### 2.4.5. Επίδραση ελαιωδών ουσιών

Έλαια τα οποία μπορεί να επιδράσουν στο σκυρόδεμα είναι το έλαιο θέρμανσης με μικρά ιξώδες, όπως το πετρέλαιο, ή μεγάλο ιξώδες, όπως τα ορυκτέλαια με βάση την παραφίνη, το πετρέλαιο καύσεως των κινητήρων και τα λιπαντικά έλαια, όπως το γράσο.

Τα έλαια διαβρώνουν το σκυρόδεμα λόγω των οξειδωτικών συστατικών που συγκρατούν, αλλά συγχρόνως εμποδίζουν την πραγματοποίηση των φαινομένων που συμβαίνουν με την έκθεση του σκυροδέματος στον αέρα, π.χ. διείσδυση νερού, ενανθράκωση κ.λ.π. Για σκυρόδεμα το οποίο θα υποστεί την επίδραση των ελαίων σε νεαρή ηλικία, συνιστάται η παρασκευή σκυροδέματος με ποιότητα ανώτερη από αυτήν που εκλέγαμε κατά το στατικό σχεδιασμό. Εμποτισμός σκυροδέματος μεγάλης ηλικίας με έλαια δεν προκαλεί διάβρωση. [11]

#### 2.4.6. Επίδραση άλλων ουσιών

Διάφορες οργανικές ενώσεις, όπως η ζάχαρη, οι φαινόλες, η γλυκερόλη και η γλυκόλη, είναι ελαφρά διαβρωτικές για το σκυρόδεμα. Άλλες ενώσεις, όπως είναι η μεθυλική και η αιθυλική αλκοόλη είναι ισχυρά διαβρωτικές. Οι αλδεΐδες, όταν επιδρούν μόνες τους, είναι αβλαβείς για το σκυρόδεμα, ενώ διαλυμένες σε διάλυμα φορμαλδεΐδης γίνονται μέτρια διαβρωτικές. [11]

#### 2.4.7. Βιολογική επίδραση

Διάβρωση του σκυροδέματος λόγω βιολογικών επιδράσεων μπορεί να προκληθεί από διάφορους φυτικούς ή ζωικούς μικροοργανισμούς. Η επίδραση των μικροοργανισμών μπορεί να συμβεί σε επιφάνειες του σκυροδέματος που βρίσκονται

κοντά στη θάλασσα, σε υγρό περιβάλλον ή στο εξωτερικό αγωγών αποχέτευσης. Βιολογική επίδραση στο σκυρόδεμα μπορεί να προκαλείται από τους εξής παράγοντες:

- **Ρίζες φυτών:** εισδύουν στο σκυρόδεμα από τις μικρορωγμές και από τα αδύνατα σημεία του σκυροδέματος. Με τις διαρρηκτικές δυνάμεις που ασκούν, προκαλούν πρόσθετη ρηγμάτωση. Η έκκριση οξέων από τις ρίζες μπορεί να προκαλέσει χημική διάβρωση του τσιμεντοκονιάματος. Η σήψη των ριζών δίνει χυμικό οξύ, το οποίο, επίσης, προκαλεί διάβρωση.
- **Λειχήνες και βρύα:** αναπτύσσονται σε υγρό σκυρόδεμα και μείωση της τιμής του pH στην επιφάνεια του σκυροδέματος φαίνεται ότι επιταχύνει την ανάπτυξή τους. Με την παρουσία του ανθρακικού οξέος η δράση τους γίνεται ελαφρώς διαβρωτική.
- **Φύκια:** συνήθως προστατεύουν το σκυρόδεμα και το χάλυβα από διάβρωση, επειδή καταναλώνουν το οξυγόνο του νερού προτού διεισδύσει στο σκυρόδεμα. Όμως, είναι δυνατόν να προκαλέσουν φθορά στο σκυρόδεμα όταν βρίσκονται σε περιοχή που διαβρέχεται και ξηραίνεται διαδοχικά, διότι τότε συγκρατούν θαλάσσιο νερό, στο οποίο η συγκέντρωση των αλάτων αυξάνεται με την εξάτμιση.
- **Βακτήρια:** αναπτύσσονται σε απορρίμματα και σε αγωγούς αποχέτευσης. Η επίδραση των βακτηρίων διακρίνεται σε αναερόβια και αερόβια.

Κατά την αναερόβια δράση, τα βακτήρια διασπούν τα θειικά άλατα και από τα θειικά ιόντα μαζί με αέριο υδρογόνο συνθέτουν υδρόθειο. Το υδρόθειο που σχηματίζεται αντιδρά με τα άλατα του τσιμεντοπολτού και δίνει ευδιάλυτα άλατα, προκαλώντας απόπλυση στο σκυρόδεμα.

Κατά την αερόβια, τα βακτήρια συνθέτουν τα θειικά άλατα και αναπτύσσονται σε περιοχές όπου υπάρχει θερμότητα, υγρασία και ενώσεις του θείου. Για να προκαλέσουν τα βακτήρια σοβαρή φθορά στο σκυρόδεμα πρέπει να υπάρχουν επαρκείς ποσότητες υδρόθειου, διοξειδίου του άνθρακα, αζώτου, οξυγόνου, ιχνοστοιχείων και διάφορες άλλες ενώσεις, όπως ευδιάλυτες ενώσεις φωσφόρου και σιδήρου. [11]

### 2.4.8. Αντίδραση αλκαλίων-αδρανών

Για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση αλκαλίων-αδρανών, χρειάζεται η παρουσία επαρκούς ποσότητας αλκαλίων στο σκυρόδεμα, αντιδρώντων αδρανών και επαρκούς υγρασίας. Αν κάποιος από τους τρεις παράγοντες δεν υπάρχει, τότε η αντίδραση δε θα συμβεί. Τα αλκάλια μπορεί να προέρχονται από τα αδρανή ή να μεταφερθούν στο σκυρόδεμα. Κυρίως, βρίσκονται στο τσιμέντο, από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του. Ακόμα τα αλκάλια ενδέχεται να έχουν προστεθεί στο τσιμέντο για να βελτιώσουν την ποιότητά του. Η περιεκτικότητά του τσιμέντου σε αλκάλια ποικίλει από 0,15% έως 1,50% κ.β. τσιμέντου. Όσον αφορά στην υγρασία, για την αντίδραση αλκαλίων-αδρανών απαιτείται υγρασία μεγαλύτερη από 75%, γι' αυτό στο εσωτερικό κτιρίων δε μπορεί να συμβεί.

Η αντίδραση μεταξύ αλκαλίων και αδρανών είναι δύο μορφών:

- **Αντίδραση αλκαλίων-πυρίτιου** (αλκαλοπυριτική αντίδραση)

Όταν το πυρίτιο αντιδράσει με τα αλκάλια παράγεται ένα διαυγές, παχύρρευστο πήγμα μεγάλης πυκνότητας. Το πήγμα αυτό διογκώνεται με την απορρόφηση του νερού των πόρων και προκαλεί ρωγμές στο σκυρόδεμα. Η αλκαλοπυριτική αντίδραση είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, όταν συμβαίνει κατά τη διάρκεια ενυδάτωσης του τσιμέντου, διότι τότε η συγκέντρωση των αλκαλίων στους πόρους του πηγματος γίνεται πολύ μεγάλη. Με την αλκαλοπυριτική αντίδραση, η προκαλούμενη ρηγμάτωση κάνει το σκυρόδεμα επιρρεπές στον παγετό και σε άλλες περιβαλλοντικές επιδράσεις, ο δε χάλυβας εκτίθεται σε διάβρωση.

Η φθορά γίνεται εμφανής με άτακτη ρηγμάτωση του σκυροδέματος. Οι ρωγμές είναι μικρές και επιφανειακές, με ακανόνιστο σχήμα, ουξάνονται δε σε πλήθος και σε εύρος, έως ότου συμβεί καθολική αποσύνθεση του σκυροδέματος. Στην περιοχή των οπλισμών οι ρωγμές εμφανίζονται παράλληλα προς τις ράβδους. Άλλη ένδειξη για την πραγματοποίηση αλκαλοπυριτικής αντίδρασης είναι ο σχηματισμός επιφανειακών εκτινάξεων. Η φθορά μοιάζει με τη φθορά που δημιουργείται λόγω επίδρασης παγετού.[11]

- **Αντίδραση αλκαλίων–ανθρακικών αλάτων**

Η αντίδραση αυτή είναι σπάνια. Όμως, όταν πραγματοποιείται, προκαλεί σοβαρή φθορά στο σκυρόδεμα. Πρόκειται για την αντίδραση μεταξύ αλκαλίων και αδρανών που προέρχονται από δολομιτικό ασβεστόλιθο. Με την παρουσία αργιλικών ενώσεων στα αδρανή, η αντίδραση γίνεται ιδιαίτερα επικίνδυνη. [11]

#### **2.4.9. Επίδραση θαλάσσιου ύδατος**

Στην Ελλάδα, μια κατ' εξοχήν θαλάσσια χώρα, η φθορά κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα λόγω επίδρασης θαλάσσιου ύδατος είναι εκτεταμένη. Κατασκευές από σκυρόδεμα, οι οποίες έρχονται σε άμεση επαφή με το θαλάσσιο νερό, είναι γέφυρες, αποβάθρες, λιμενοβραχίονες, κρηπιδότοιχοι κ.λ.π. Μια θαλάσσια κατασκευή που έρχεται σε άμεση επαφή με το νερό μπορεί να διακριθεί στις ακόλουθες ζώνες:

- **Ζώνη υπό το νερό**

Όταν το σκυρόδεμα είναι μονίμως βυθισμένο στο νερό θεωρείται ότι είναι υπό προστασία, διότι η συνεχής διαβροχή προσφέρει ομοιόμορφο περιβάλλον, όσον αφορά στη θερμοκρασία και στην περιεκτικότητα σε υγρασία.

- **Παλιρροιακή ζώνη**

Είναι η περιοχή μεταξύ της άνω και κάτω παλιρροιακής στάθμης. Η ζώνη αυτή επηρεάζεται από τα κύματα και είναι η ζώνη στην οποία εμφανίζεται η μεγαλύτερη φθορά. Σε αυτήν τη ζώνη εμφανίζεται και μηχανική φθορά λόγω της δράσεως των κυμάτων και των μεταφερομένων από το νερό σωματιδίων που προσκρούουν σε αυτήν.

- **Εκτεθειμένη ζώνη**

Επηρεάζεται μόνο από την υγρασία και από τα σταγονίδια του ύδατος. Το σκυρόδεμα ενανθρακώνεται και «μαλώνεται» από τα χλωριόντα που υπάρχουν στα σταγονίδια του θαλάσσιου ύδατος.

Ο μηχανισμός φθοράς λόγω επίδρασης θαλάσσιου νερού είναι πολύπλοκος, διότι συνδυάζει πολλές φυσικές και χημικές επιδράσεις, όπως είναι η υδροφθορά, η επίδραση ακραίας θερμοκρασίας, η επίδραση  $\text{CO}_2$  της ατμόσφαιρας, θειικών και χλωριούχων αλάτων μέσα στο νερό, αλκαλίων και ο σχηματισμός βιολογικής μεμβράνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος. [11]

#### **2.4.10. Επίδραση εδάφους και εδαφικού νερού**

Όταν το σκυρόδεμα έρχεται σε επαφή με το έδαφος, υπάρχει ο κίνδυνος το σκυρόδεμα να προσβληθεί χημικά από τις διάφορες ενώσεις που υπάρχουν σε αυτό. Γι' αυτόν το λόγο, όταν δε γνωρίζουμε τη διαβρωτικότητα του εδάφους, συνιστάται να γίνεται ανάλυση του εδαφικού υλικού και νερού. Η ανάλυση γίνεται για να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα του εδάφους και του νερού σε θειικά άλατα και χλωριόντα, η τιμή του pH και η παρουσία ιόντων νατρίου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, αμμωνίου και νιτρικών. [11]

### **3. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ**

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η ανεπαρκής ανθεκτικότητα εκδηλώνεται με αλλοίωση του σκυροδέματος, η οποία μπορεί να οφείλεται είτε σε εσωτερικές είτε σε εξωτερικές αιτίες. Οι ποικίλες επιδράσεις μπορεί να είναι φυσικές, χημικές ή μηχανικές. Μηχανική φθορά προκαλείται από κρούση, απότριψη, διάβρωση ή σπηλαιώση, ενώ εξωτερική χημική προσβολή συμβαίνει κυρίως λόγω της δράσης ιόντων όπως είναι τα χλωριόντα, ή διοξειδίου του άνθρακα, καθώς επίσης και λόγω πολλών φυσικών ή

βιομηχανικών υγρών και αερίων. Οι χημικές αιτίες φθοράς συμπεριλαμβάνουν τις αλκαλοπυριτικές και αλκαλοανθρακικές αντιδράσεις. Η καταστροφή μπορεί να παρουσιάζει πολλές μορφές και να είναι άμεση ή έμμεση.

Πρέπει να αναφερθεί ότι οι φυσικές και χημικές διεργασίες αλλοίωσης συνεργάζονται προκειμένου να επιφέρουν καταστροφή στο σκυρόδεμα. Αυτό σημαίνει ότι η φθορά του σκυροδέματος σπανίως οφείλεται σε μία μεμονωμένη επίδραση, αλλά είναι συνδυασμός περισσότερων παραγόντων. Γι' αυτό το λόγο η μελέτη της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος απαιτεί κατανόηση των μηχανισμών των φαινομένων που σχετίζονται με αυτήν. [8]

Εξαιτίας της παρουσίας πόρων διαφορετικού είδους και μεγέθους, σε μερικούς από τους οποίους οφείλεται η διαπερατότητα και σε άλλους όχι, είναι σημαντικό να διακρίνουμε τη διαπερατότητα από το πορώδες. Πορώδες είναι η ποσότητα των κενών εκφρασμένη επί ταις % του συνολικού όγκου του σκυροδέματος. Εάν το πορώδες του σκυροδέματος είναι υψηλό και οι πόροι συνδέονται μεταξύ τους, η μεταφορά ρευστών μέσω του σκυροδέματος ευνοείται και με αυτόν τον τρόπο και η διαπερατότητά του είναι αυξημένη. Αντίθετα, εάν οι πόροι είναι ασυνεχείς, η διαπερατότητα είναι μειωμένη ακόμα κι αν το πορώδες του σκυροδέματος είναι υψηλό. [8]

### **3.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

Όσον αφορά την κίνηση των ρευστών μέσα στο σκυρόδεμα διακρίνουμε τρεις μηχανισμούς: τη διαπερατότητα που αναφέρεται στη ροή λόγω διαφοράς πίεσης, τη διάχυση που είναι η διαδικασία κατά την οποία η ροή γίνεται λόγω διαφορετικής συγκέντρωσης, και η αντίστοιχη ιδιότητα του σκυροδέματος είναι η διαχυτότητα, και την απορρόφηση που είναι αποτέλεσμα της τριχοειδούς κίνησης ρευστών μέσα στους πόρους που είναι ανοιχτοί στην επίδραση του περιβάλλοντος μέσου. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να συμβεί μόνο όταν το σκυρόδεμα είναι μερικώς ξηρό, δηλαδή δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί ρόφηση υγρού σε τελείως ξηρό ή κορεσμένο σκυρόδεμα. [8]

### 3.1.1. Διαπερατότητα

Η ροή μέσα στους τριχοειδείς πόρους κορεσμένου σκυροδέματος ακολουθεί το νόμο του Darcy για στρωτή ροή δια πορώδους μέσου και διατυπώνεται ως εξής:

$$\frac{dq}{dt} \frac{1}{A} = \frac{K' \rho g}{\eta} \frac{\Delta h}{L}$$

όπου,  $dq/dt$  = ο ρυθμός ροής του νερού σε  $m^3/s$

$A$  = εμβαδόν της διατομής του δείγματος σε  $m^2$

$\Delta h$  = η πτώση της υδραυλικής πίεσης στο δείγμα σε  $m$

$L$  = το πάχος του δείγματος σε  $m$

$\eta$  = το ιξώδες του υγρού σε  $N*s/m^2$

$\rho$  = πυκνότητα του υγρού σε  $kg/m^3$

$g$  = επιτάχυνση της βαρύτητας σε  $m/s^2$

Ο συντελεστής  $K'$  εκφράζεται σε  $m^2$  και παριστάνει την πραγματική διαπερατότητα του σκυροδέματος, ανεξάρτητα από το ρευστό που διεισδύει στη μάζα του.

Εφόσον θεωρήσουμε ότι το πιο σύνηθες υγρό είναι το νερό, και θέσουμε:

$$K = \frac{K' \rho g}{\eta}$$

τότε ο συντελεστής  $K'$  ονομάζεται συντελεστής διαπερατότητας του σκυροδέματος, εκφράζεται σε  $m/s$  και αναφέρεται σε νερό θερμοκρασίας δωματίου. Έτσι, ο νόμος του Darcy απλοποιείται:

$$\frac{dq}{dt} \frac{1}{A} = K \frac{\Delta h}{L} \quad [8]$$

### 3.1.2. Διάχυση

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, διάχυση συμβαίνει όταν ένα αέριο ή υγρό μεταφέρεται μέσα στο σκυρόδεμα λόγω διαφοράς συγκέντρωσης, και όχι λόγω διαφοράς πίεσης. Η εξίσωση διάχυσης, η οποία εφαρμόζεται για τους υδρατμούς και τον αέρα, εκφράζεται από το νόμο του Fick:

$$J = -D \frac{dc}{dL}$$

όπου,  $dc/dL$  = η μεταβολή συγκέντρωσης σε  $\text{kg/m}^3$  ή  $\text{mol/m}^3$

$D$  = ο συντελεστής διάχυσης σε  $\text{m}^2/\text{s}$

$J$  = ο ρυθμός μεταφοράς μάζας σε  $\text{kg/m}^2\text{s}$  ή  $\text{mol/m}^2\text{s}$

$L$  = το πάχος του δείγματος σε  $\text{m}$

Παρόλο που η διάχυση συμβαίνει μόνο μέσω των πόρων, οι τιμές του συντελεστή διάχυσης  $D$  και του ρυθμού μεταφοράς μάζας  $J$  αναφέρονται στη διατομή του δείγματος του σκυροδέματος. Έτσι, στην πραγματικότητα, ο συντελεστής  $D$  στην εξίσωση, είναι ο ενεργός συντελεστής διάχυσης. [8]

### 3.1.3. Απορρόφηση

Ο όγκος των κενών πόρων στο σκυρόδεμα, που μπορούμε να το διακρίνουμε από την ευκολία με την οποία ένα ρευστό μπορεί να το διαπεράσει, μετριέται με την απορρόφηση. Η απορρόφηση, συνήθως, μετριέται ξηραίνοντας ένα δοκίμιο μέχρι μία σταθερή μάζα, εμβαπτίζοντάς το μέσα σε νερό και μετρώντας την αύξηση της μάζας σαν ποσοστό επί τοις % της ξηρής μάζας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ποικίλες μέθοδοι και πολλά αποτελέσματα θα εξαχθούν από τις διάφορες μεθόδους απορρόφησης. Μία πρώτη εξήγηση για αυτή τη διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων είναι ότι η ξήρανση σε συνηθισμένη θερμοκρασία μπορεί να μην είναι αποτελεσματική στην αφαίρεση όλου του νερού. Επιπλέον, ξηραίνοντας τα δοκίμια σε υψηλή θερμοκρασία είναι πιθανόν να αφαιρέσει μία ποσότητα από το χημικά δεσμευμένο νερό. Γι' αυτούς τους λόγους, η απορρόφηση δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέτρο σύγκρισης της ποιότητας του σκυροδέματος. Ωστόσο, τα περισσότερα σκυροδέματα καλής ποιότητας έχουν απορρόφηση μικρότερη από 10% της μάζας τους. [8]

Οι δυσκολίες που παρουσιάζουν οι δοκιμές απορρόφησης σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι δοκιμές διαπερατότητας μετρούν την επιρροή της πίεσης στο σκυρόδεμα, που σπανίως αποτελεί την αιτία για τη διείσδυση υγρών, κάνουν αναγκαία την αναζήτηση άλλων δοκιμών. Τέτοιες δοκιμές, μετρούν το ρυθμό απορρόφησης νερού από τους τριχοειδείς πόρους ακόρεστου σκυροδέματος, όταν αυτό εφάπτεται στο νερό.

Στην ουσία, η δοκιμή απορροφητικότητας προσδιορίζει το ρυθμό τριχοειδούς ανύψωσης λόγω απορρόφησης ενός πρίσματος σκυροδέματος, το οποίο στηρίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε μόλις 2-5 mm του πρίσματος να είναι βυθισμένα στο νερό. Έπειτα, καταγράφεται η αύξηση της μάζας του σκυροδέματος. Αποδεικνύεται, ότι η αύξηση αυτή σε σχέση με το χρόνο είναι της μορφής:

$$i = S \cdot t^{0.5}$$

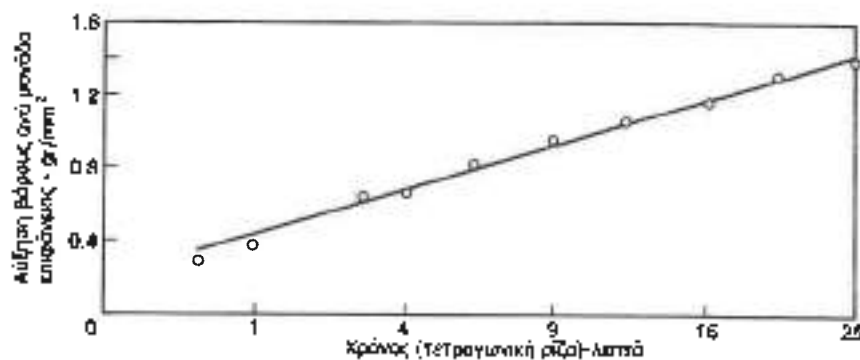
όπου,  $i$  = η αύξηση της μάζας από την αρχή της δοκιμής, σε  $\text{g/mm}^2$ , ανηγμένη στην διατομή που είναι σε επαφή με το νερό. Εφόσον αναφερόμαστε σε απορρόφηση νερού και  $1\text{gr}$  είναι ισοδύναμο με  $1\text{mm}^3$ , η αύξηση της μάζας μετρείται σε mm

$t$  = ο χρόνος σε min

$S$  = η απορροφητικότητα σε  $\text{mm/min}^{0.5}$

Στην πράξη, είναι πιο εύκολο να μετρηθεί η τιμή της ανύψωσης της στάθμης του νερού στο σκυρόδεμα, που φανερώνεται από το σκουρότερο χρώμα του σκυροδέματος. Σε αυτήν την περίπτωση, η ανύψωση μετρείται κατευθείαν σε mm.

Κατά τη δοκιμή, γίνονται μετρήσεις σε περίοδο περίπου 4 ωρών. Έτσι, το διάγραμμα αύξησης της μάζας ή της ανύψωσης της στάθμης του νερού συναρτήσει της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου σχηματίζει μια ευθεία γραμμή. Τα πρώτα σημεία της καμπύλης αγνοούνται, καθώς υπάρχει μια στιγμιαία αύξηση της μάζας, όταν οι ανοικτοί πόροι του πρίσματος του σκυροδέματος που βρίσκονται στα πρώτα 2 ή 5 mm βυθιστούν στο νερό.



**Σχήμα 4-5:** Ανύψωση της στάθμης του νερού συναρτήσει της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου.[8]

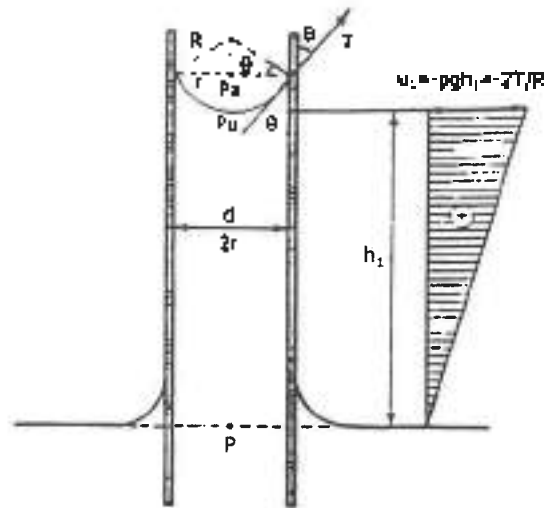
Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεχόμενη υγρασία στο σκυρόδεμα τόσο μικρότερη είναι η μετρούμενη απορροφητικότητα. Γι' αυτό το λόγο, τα δοκίμια πρέπει να προετοιμάζονται κατάλληλα πριν τις δοκιμές απορρόφησης, δηλαδή να ξηραίνονται σε θερμοκρασία 105 °C. Διαφορετικά, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αρχική υγρασία του δείγματος. [8]

## 3.2. ΤΡΙΧΟΕΙΔΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

### 3.2.1. Τριχοειδής ανύψωση

Ως τριχοειδή φαινόμενα χαρακτηρίζονται τα φαινόμενα απόκλισης από τη συνήθη υδροστατική ισορροπία και οφείλονται στην επίδραση της επιφανειακής τάσης. Η ονομασία προκύπτει από το γεγονός ότι είναι αισθητά μόνο όταν το υγρό βρίσκεται σε πολύ λεπτούς σωληνίσκους, φυσικούς ή τεχνητούς. Τέτοιοι σωληνίσκοι είναι και ορισμένοι πόροι στη μάζα του τσιμεντοπολτού του σκυροδέματος.

Ας θεωρήσουμε ένα λεπτό γυάλινο σωλήνα ακτίνας  $r$  βυθισμένο εν μέρει σε νερό, σχήμα 4-6. Λόγω της διαβροχής του γυαλιού από το νερό, η διαχωριστική επιφάνεια νερού-αέρα καμπυλώνεται με τα κοίλα προς τα πάνω. Έτσι, λόγω επιφανειακής τάσης, αναπτύσσεται διαφορά πιέσεων μεταξύ των δύο όψεων της επιφάνειας αυτής, με αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης στο σωλήνα πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του εξωτερικού υγρού. Αντίθετα, αν ο σωλήνας βυθιστεί σε υδράργυρο, η διαχωριστική επιφάνεια υδραργύρου-αέρα καμπυλώνεται με τα κοίλα προς τα κάτω και η διαφορά πιέσεων έχει σαν αποτέλεσμα την ταπείνωση της στάθμης του υδραργύρου μέσα στο σωλήνα σε σχέση με την εξωτερική στάθμη. [13]



**Σχήμα 4-6:** Αναπτυσσόμενες πιέσεις σε τριχοειδή κυλινδρικό σωλήνα. [13]

Από την ισορροπία των δυνάμεων στον κατακόρυφο άξονα προκύπτει:

$$h = 2T \cos \varphi / r \rho g$$

όπου,  $h$  = η ανύψωση της στάθμης στο σωλήνα σε m

$T$  = η επιφανειακή τάση στο υγρό σε  $\text{kg/s}^2 = 1 \text{ N/m}$

$\varphi$  = σε περίπτωση διαβροχής  $\varphi = \theta$  (γωνία επαφής)

$r$  = η ακτίνα του σωλήνα σε m

$g$  = η επιτάχυνση της βαρύτητας  $= 9,81 \text{ m/s}^2$

$\rho$  = η πυκνότητα του υγρού σε  $\text{kg/m}^3$

Έτσι, εφόσον το υγρό είναι το νερό, δηλαδή  $\theta = 0^\circ$ ,  $T = 73 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$  και  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ , προκύπτει ανύψωση  $h \approx 15 \cdot 10^{-6} / r \text{ [m]}$ .

Η τιμή του  $h$  μπορεί να είναι αρκετά σημαντική πολύ μικρές διαμέτρους. Έτσι, σε τριχοειδή πόρο σκυροδέματος διαμέτρου  $r = 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$  η ανύψωση φτάνει περίπου τα 15m.

Στο σκυρόδεμα ή στο σκληρυμένο τσιμεντοπολτό, τα οποία είναι υλικά με μεγάλο αριθμό και μεγάλη ποικιλία ανοιγμάτων τριχοειδών πόρων, όταν τα τριχοειδή είναι τελείως γεμάτα ή τελείως άδεια δεν υπάρχουν τριχοειδείς ανυψώσεις και τριχοειδείς τάσεις. Αντίθετα, όταν τα τριχοειδή είναι εν μέρει γεμάτα, τότε αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις στο νερό των τριχοειδών και θλιπτικές στη στερεά μάζα. Οι θλιπτικές αυτές τάσεις δρουν προς όλες τις διευθύνσεις, αφού τα τριχοειδή δεν έχουν

καθορισμένο προσανατολισμό και επομένως η μάζα του σκυροδέματος βρίσκεται υπό τριαξονική θλίψη, η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου του τριχοειδούς.[3]

Όταν μεταβάλλεται η υγρασία στη μάζα του σκυροδέματος, τότε οι μεγαλύτεροι πόροι στεγνώνουν και παύουν να υφίστανται τριχοειδείς δυνάμεις στις περιοχές αυτές. Ταυτόχρονα, πόροι μικρότερης διαμέτρου παύουν να είναι πλήρεις και δημιουργούνται τριχοειδείς τάσεις μεγαλύτερης έντασης, οπότε και η στερεά μάζα υφίσταται μεγαλύτερη παραμόρφωση. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να ερμηνεύσει το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης μέχρι ενός ορίου υγρασίας 40-50%. Επίσης, εξηγείται το γεγονός ότι στην αρχή της απώλειας του νερού από το σκυρόδεμα η συστολή ξήρανσης δεν είναι τόσο μεγάλη όσο θα αναμενόταν από την ποσότητα του νερού που εξατμίστηκε. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι στα αρχικά στάδια εξατμίζονται σχετικά μεγάλες ποσότητες νερού επειδή οι τριχοειδείς πόροι από όπου εξατμίζεται είναι σχετικά μεγάλοι. Έπειτα το νερό εξατμίζεται είναι σχετικά λιγότερο, αλλά εξατμίζεται από μικρότερους πόρους όπου οι προκαλούμενες τάσεις είναι μεγαλύτερες, με αποτέλεσμα να είναι μεγαλύτερες και οι παραμορφώσεις. [3]

### 3.2.2. Εξάτμιση νερού μέσα σε τριχοειδή

Σε επίπεδη επιφάνεια νερού, η εξάτμιση αρχίζει όταν η πίεση των υδρατμών πάνω από την επιφάνεια,  $p_a$ , είναι μικρότερη από την πίεση κορεσμού,  $p_c$ , δηλαδή όταν η σχετική υγρασία γίνει μικρότερη από 100%. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των μορίων του νερού που εξατμίζονται και απομακρύνονται από την επιφάνεια του νερού είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των μορίων των υδρατμών που επιστρέφουν στην επιφάνεια του νερού ως υγρό.

Από την άλλη, η έλξη που δέχεται ένα μόριο λίγο πάνω από την επιφάνεια του νερού είναι μεγαλύτερη σε περίπτωση κοίλης επιφάνειας, δηλαδή αν έχει δημιουργηθεί μηνίσκος, από ότι σε επίπεδη επιφάνεια. Επομένως, για να αρχίσει εξάτμιση πάνω από κοίλη επιφάνεια πρέπει η πίεση των υδρατμών να γίνει μικρότερη από την πίεση των υδρατμών που προκαλεί εξάτμιση πάνω από επίπεδη επιφάνεια. Για το λόγο αυτό, για δεδομένη σχετική υγρασία, μια επίπεδη επιφάνεια στεγνώνει πολύ πιο γρήγορα από μια πορώδη επιφάνεια με τριχοειδείς πόρους. Υπάρχουν δε πόροι μικρής διαμέτρου που δε

θα εξατμιστούν. Η εξατμίσση του νερού μέσα από τριχοειδείς πόρους εξαρτάται από την καμπυλότητα των μηνίσκων και διέπεται από τη σχέση *Kelvin*:

$$p_v - p_a = \ln(p_a/p_k) \Theta R' \rho/M$$

όπου,  $M$  = η μοριακή μάζα του νερού =  $18 \cdot 10^{-3}$  kg/mole

$R'$  = η σταθερά των αερίων = 8,31/mole/K

$\Theta$  = η θερμοκρασία σε K ( $K = 273 + ^\circ C$ )

$\rho$  = η πυκνότητα του υγρού (για το νερό  $\approx 1000$  kg/m<sup>3</sup>)

$p_v$  = η πίεση του υγρού αμέσως κάτω από το μηνίσκο

$p_a$  = η πίεση των υδρατμών αμέσως πάνω από το μηνίσκο

Για το νερό προκύπτει η σχέση:

$$p_v - p_a = 0,4611 \cdot \ln(p_a/p_k) \Theta \text{ [MPa]}$$

Η παραπάνω σχέση δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού της πίεσης ( $p_v - p_a$ ) για διάφορες τιμές της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας  $\Theta$ . Για θερμοκρασία 20°C και 0°C και για διάφορες τιμές σχετικής υγρασίας προκύπτουν οι ακόλουθες οριακές διαφορές πιέσεως ώστε να αρχίσει η εξατμίσση. [3]

| Σχετική υγρασία % |      | 98    | 95   | 90  | 80  | 70  | 60  |
|-------------------|------|-------|------|-----|-----|-----|-----|
| $p_v - p_a$ [MPa] | 20°C | -2,73 | -7   | -14 | -30 | -48 | -69 |
| $p_v - p_a$ [MPa] | 0°C  | -2,54 | -6,5 | -13 | -28 | -45 | -64 |

**Πίνακας 4-2:** Διαφορές πιέσεων  $p_v - p_a$  για διάφορες τιμές σχετικής υγρασίας. [3]

Επίσης, ισχύει η σχέση:

$$p_v - p_a = -2T/r = \ln(p_a/p_k) \Theta R' \rho/M \Rightarrow r = -2T M / [\ln(p_a/p_k) \Theta R' \rho]$$

Η παραπάνω σχέση δίνει για διάφορες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας τη διάμετρο τριχοειδούς πόρου που εξατμίζεται. Για το νερό και θερμοκρασία 20°C προκύπτει η σχέση:

$$r = -1,08 / \ln(p_a/p_k) \text{ [nm]}$$

| Σχετική υγρασία % | 98 | 95 | 90   | 80  | 70 | 60 | 40 |
|-------------------|----|----|------|-----|----|----|----|
| $r$ [nm]          | 53 | 21 | 10,2 | 4,8 | 3  | 2  | 1  |

**Πίνακας 4-3:** Εξάτμιση σε πόρους με ακτίνα  $r$  για διάφορες τιμές σχετικής υγρασίας. [3]

Επομένως, είναι φανερό ότι μόλις η σχετική υγρασία φτάσει σε 95% δεν εξατμίζονται οι πόροι με ακτίνα μικρότερη από 21 nm και η πίεση που δέχεται η στερεά μάζα είναι 7 MPa, ενώ όταν η σχετική υγρασία γίνει μικρότερη από 60% οι πόροι που είναι μικρότεροι από 2 nm δεν εξατμίζονται και η πίεση που δέχεται η στερεά μάζα ανέρχεται σε 69 MPa. Με άλλα λόγια, η μεταβολή της σχετικής υγρασίας από 95% σε 60% δίνει τη δυνατότητα εξάτμισης στους πόρους από 21 nm έως 2 nm και η πίεση στη μάζα των στερεών αυξάνει από 7 MPa σε 69 MPa. Οι πιέσεις αυτές θεωρούνται βασική αιτία της συστολής των πορώδων υλικών, όπως ο σκληρυμένος τσιμεντοπολτός, για διακυμάνσεις υγρασίας από 100% έως 40% περίπου. Όπως φαίνεται και από τις τιμές του παραπάνω πίνακα, για υγρασίες κάτω από 40% όλοι οι πόροι με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 1 nm είναι στεγνοί. Οι πόροι με άνοιγμα μικρότερα από 1 nm δε θεωρούνται τριχοειδείς, το δε νερό που περιέχουν δε σχηματίζει μηνίσκο, λόγω των έντονων ελκτικών επιφανειακών τάσεων. Το φαινόμενο της μεταβολής της συμπεριφοράς του νερού, φυσικά, γίνεται βαθμιαία και όχι απότομα.

Πρέπει να τονιστεί ότι η σχέση *Kelvin* εφαρμόζεται στο σκυρόδεμα μόνο προσεγγιστικά, διότι προϋποθέτει τριχοειδείς πόρους κυλινδρικού σχήματος. [3]

### 3.2.3. Ρόφηση – Προσρόφηση – Εκρόφηση

Η επιφάνεια ενός στερεού ή υγρού αποτελεί το διαχωριστικό σύνορο μεταξύ δύο φάσεων. Όταν υπάρχει ισορροπία τότε σε ένα χρονικό διάστημα ο αριθμός των ατόμων ή μορίων που φεύγουν από την επιφάνεια ισούται με τον αριθμό των ατόμων ή μορίων που έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια και συγκρατείται από αυτή. Η φυσική ρόφηση, σε αντιδιαστολή προς την χημική, οφείλεται σε δυνάμεις *van der Waals* μεταξύ των ατόμων ή μορίων των δύο φάσεων. Είναι φανερό ότι το φαινόμενο της ρόφησης είναι πολύ πιο έντονο σε περίπτωση σωματίων κολλοειδών διαστάσεων λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας των σωματίων αυτών. Η ρόφηση σε μια επιφάνεια στερεού έχει ως

συνέπεια τη μείωση της επιφανειακής τάσεως του στερεού κατά  $\Delta\gamma_s$  που δίνεται από τη σχέση *Gibbs*:

$$\Delta\gamma_s = nR'\Theta/S = f(\ln p/p_k)$$

(συνάρτηση του νεπέριου λογάριθμου της μεταβολής της σχετικής υγρασίας  $p/p_k$ )

όπου,  $n$  = ο αριθμός γραμμομορίων που ροφήθηκαν

$R'$  = σταθερή των αερίων

$\Theta$  = θερμοκρασία σε °K

$S$  = η ειδική επιφάνεια του στερεού,  $m^2g^{-1}$  [3]

Στην αρχή η επιφάνεια καλύπτεται με μια στρώση μονομοριακή (σχέση *Langmuir*) και στη συνέχεια σχηματίζονται και πρόσθετες στρώσεις, πολυμοριακή ρόφηση. Η πολυμοριακή ρόφηση δίνεται από τη σχέση BET:

$$\frac{P_r}{W(1-P_r)} = \frac{1}{CV_m} + \frac{(C-1)P_r}{CV_m}$$

όπου,  $P_r$  = η σχετική υγρασία  $p/p_k$

$W$  = το βάρος του αερίου (υδρατμού) που ροφήθηκε

$V_m$  = ο όγκος του αερίου που απαιτείται για σχηματισμό μονομοριακής στρώσης

$C$  = σταθερά της δοκιμής BET, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$C = \exp(\Theta_n - \Theta_u)/RT$$

όπου,  $\Theta_n$  = η θερμοκρασία προσρόφησης της 1<sup>ης</sup> στρώσης

$\Theta_u$  = η θερμοκρασία υγροποίησης του αερίου (υδρατμού)

$R$  = η σταθερά των αερίων

$T$  = η θερμοκρασία της δοκιμής σε °K [3]

Η σχέση ισχύει μόνο στο διάστημα  $0,05 < p/p_k < 0,3$  και με την προϋπόθεση ότι η ισοθερμική καμπύλη ρόφησης-εκρόφησης είναι αναιρέσιμη χωρίς κύκλο υστέρησης στην

περιοχή αυτή των πιέσεων. Η σχέση BET χρησιμοποιείται συνήθως για τον προσδιορισμό της ειδικής επιφάνειας στερεών με πειράματα ρόφησης.

Στην πράξη εκτελούνται μετρήσεις ρόφησης για διάφορες τιμές  $P_r$  στις οποίες μετράται το βάρος ή ο όγκος του αερίου που ροφάται και τα αποτελέσματα σχεδιάζονται ως τιμές  $P_r / W(1-P_r)$  συναρτήσει των τιμών  $P_r$  όπως φαίνονται στο σχήμα 4-7. Η συνολική επιφάνεια της μοναμοριακής ρόφησης  $A$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A = NS(V_m/V_0)$$

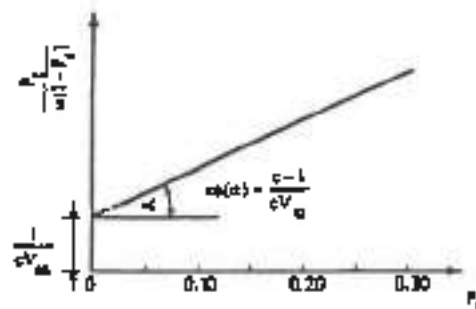
όπου,  $N$  = αριθμός του Avogadro,  $6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$V_0$  = ο όγκος ενός γραμμομορίου του ροφημένου αερίου,  $24400 \text{ cm}^3$

$S$  = η επιφάνεια που καλύπτεται από ένα μόριο του ροφούμενου αερίου [3]

Η ειδική επιφάνεια προκύπτει με διαίρεση της τιμής  $A$  με το βάρος  $W$ .

Στην περίπτωση που η εκρόφηση γίνεται σε ένα πορώδες υλικό όπως είναι ο τσιμεντοπολτός, το φαινόμενο στην περιοχή των τριχοειδών πόρων διέπεται από το νόμο Kelvin και στην περιοχή των μικροπόρων, δηλαδή των πόρων μέσης διάστασης περίπου 18 nm μεταξύ των στερεών σωματιδίων κολλοειδών διαστάσεων του πήγματος, διέπεται από τη σχέση BET.



**Σχήμα 4-7:** Γραφική παράσταση της εξίσωσης BET. [3]

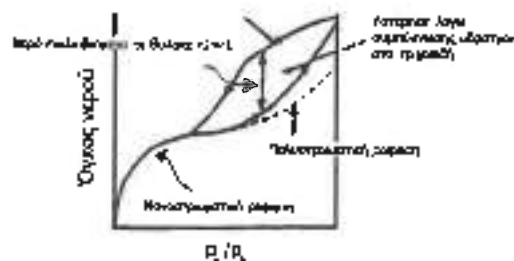
Η μεταβολή του βάρους ή του όγκου του νερού που περιέχεται σε ένα πορώδες υλικό μετά από υγραμετρική ισορροπία σε διάφορες τιμές σχετικής υγρασίας περιβάλλοντος, υπό σταθερές τιμές θερμοκρασίας, παρουσιάζεται σε διαγράμματα γνωστά ως ισοθερμικά διαγράμματα ρόφησης ή προσρόφησης-εκρόφησης.

Ο σκληρυμένος τσιμεντοπολτός αποτελείται από πόρους πολύ ακανόνιστου σχήματος και ποικίλων διαμέτρων με αποτέλεσμα τα διαγράμματα ρόφησης - εκρόφησης να είναι καμπύλα. Η υστέρηση, δηλαδή η μη σύμπτωση των καμπυλών

προσρόφησης και εκρόφησης, σχήμα 4-8, που παρατηρείται σε μεγάλες πιές της σχετικής υγρασίας αποδίδεται στον παρακάτω μηχανισμό:

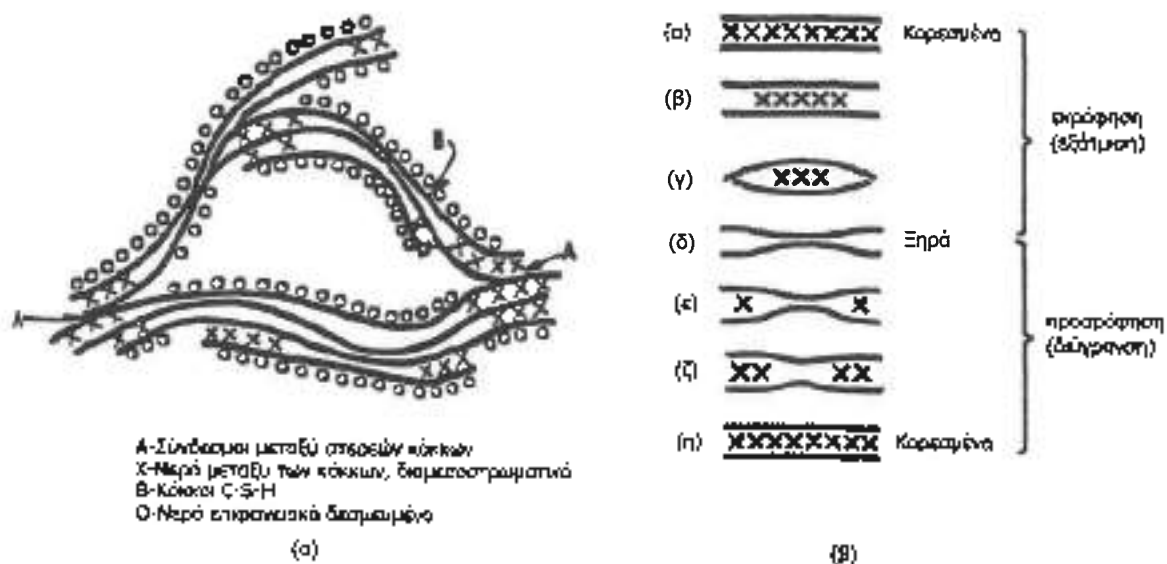
Ας υποθεθεί ότι σε ένα πορώδες υλικό αποτελούμενο από κυλινδρικούς πόρους μίας μόνο διαμέτρου, η σχετική υγρασία μειώνεται. Ας υποθεθεί επίσης ότι στην αρχική σχετική υγρασία  $P_{re}$  η διάμετρος του τριχοειδούς είναι τέτοια ώστε, κατά τον νόμο Kelvin, το τριχοειδές να είναι πλήρες. Επομένως η διαφορά πιέσεως  $p_u - p_a$  είναι μηδενική και το στερεό δεν βρίσκεται υπό πίεση. Όταν η σχετική υγρασία μειωθεί,  $P_{re}$ , το νερό μέσα στον τριχοειδή πόρο ικανοποιεί την εξίσωση ισορροπίας Kelvin και επομένως θα σχηματισθεί μηνίσκος, άρα θα αναπτυχθεί διαφορά πιέσεως  $p_u - p_a$ . Όσο η σχετική υγρασία θα μειώνεται η ακτίνα καμπυλότητας του μηνίσκου θα μικραίνει μέχρι να γίνει  $R=r$  (= ακτίνα του πόρου), οπότε το νερό μέσα στο τριχοειδές θα αρχίσει να χάνει ύψος λόγω εξάτμισης μέχρις ότου αδειάσει τελείως. Το περιεχόμενο νερό επομένως θα μηδενισθεί και για την σχετική αυτή υγρασία  $P_{re}$  η διαφορά πιέσεως  $p_u - p_a$  θα είναι επίσης μηδενική.

Στη συνέχεια το υλικό επαναποθετείται σε περιβάλλον με μεγαλύτερη υγρασία. Οι υδρατμοί θα αρχίσουν να προσροφώνται στα τοιχώματα του πόρου δημιουργώντας μια μονομοριακή στοιβάδα και στη συνέχεια πολυμοριακή (εξίσωση BET), χωρίς αρχικά να γεμίσει σε όλη τη διάμετρό του το τριχοειδές. Το περιεχόμενο νερό στο υλικό αυξάνει, η δε ελεύθερη ακτίνα του τριχοειδούς μικραίνει κατά το συνολικό πάχος  $\tau$  της στοιβάδας του νερού που ροφήθηκε. Τελικά στον πυθμένα του τριχοειδούς πόρου θα σχηματισθεί μηνίσκος και το φαινόμενο πλέον θα πούσει να είναι ρόφηση υδρατμών σε επιφάνεια (σχέση BET) και θα ακολουθεί το νόμο Kelvin (συμπύκνωση υδρατμών σε τριχοειδή πόρο). Με την δημιουργία μηνίσκου θα αναπτυχθεί η διαφορά πίεσης  $p_u - p_a$  και το τριχοειδές θα αρχίσει να γεμίζει έως ότου γεμίσει τελείως και μηδενισθεί πάλι η πίεση  $p_u - p_a$ . [3]



**Σχήμα 4-8:** Διαδικασία ρόφησης στους τριχοειδείς πόρους. [3]

Για μικρές πιμές της σχετικής υγρασίας η υστέρηση αποδίδεται στη μετακίνηση του επιφανειακά δεσμευμένου νερού το οποίο δεν ακολουθεί τους νόμους των τριχοειδών λόγω των υψηλών πιμών των ελκτικών δυνάμεων που αναπτύσσονται. Στο σχήμα 4-9 φαίνεται το προσομοίωμα *Feldman-Sereda* για την μετακίνηση του επιφανειακά δεσμευμένου νερού. Λόγω της απομάκρυνσης του νερού κατά το στάδιο της εκρόφησης τα άκρα των φυλλιδίων C-S-H πλησιάζουν μεταξύ τους με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η απομάκρυνση του εναπομένου νερού σε αντίθεση με το στάδιο της προσρόφησης. Επομένως κατά το στάδιο της εκρόφησης υπάρχει περισσότερο νερό μεταξύ των κόκκων των C-S-H από το αντίστοιχο στάδιο της προσρόφησης. [3]



**Σχήμα 4-9:** Απλοποιημένο πρότυπο (α) ενυδατωμένου τσιμεντοκονιολιτού (*Feldman-Sereda*)  
 (β) εισόδου και εξόδου νερού στις επιφάνειες μεταξύ των στερεών του C-S-H. [3]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ Κ.Τ.Σ.-97

Ο κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος ΚΤΣ-97, αφορά το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται με συνήθη λίθινα αδρανή, φαινόμενου ειδικού βάρους από 2,40 έως 3,00 t<sub>n</sub>/m<sup>3</sup>, που προσδιορίζεται σύμφωνα με τις Μεθόδους Ελέγχου ΣΚ-301 και ΣΚ-302.

Από τους ορισμούς που δίνονται για την εφαρμογή του Κανονισμού, οι αναφερόμενοι στην αντοχή δοκιμίου είναι οι ακόλουθοι: [1]

- Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη  $f_{ck}$ , θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου.

- Μέση αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη  $f_m$ , είναι ο μέσος όρος αντοχής όλων των συμβατικών δοκιμών που θα μπορούσαν να παρασκευασθούν από μία σημαντικά μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος, αν ολόκληρη αυτή η ποσότητα μετατρεπόταν σε δοκίμια. Το σκυρόδεμα της σημαντικά μεγάλης ποσότητας πρέπει να έχει παρασκευασθεί με τα ίδια υλικά, τις ίδιες αναλογίες και τα ίδια μηχανικά μέσα.

- Συμβατικό δοκίμιο, σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ.-97, είναι το δοκίμιο που έχει τις διαστάσεις και τη μορφή που προβλέπονται στον Κανονισμό αυτόν και του οποίου η λήψη γίνεται σύμφωνα με τη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-350 και τα αναφερόμενα στο άρθρο 13.1, η παρασκευή και η συντήρηση σύμφωνα με τη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-303 και ο έλεγχος σύμφωνα με τη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-304 σε ηλικία 28 ημερών. Η αντοχή αυτού του δοκιμίου στις 28 ημέρες ορίζεται ως συμβατική αντοχή σε θλίψη δοκιμίου ή αντοχή συμβατικού δοκιμίου σε θλίψη  $f_{28}$ .

- Απαιτούμενη αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη  $f_d$ , είναι η τιμή της μέσης αντοχής  $f_m$  για την οποία το σκυρόδεμα του έργου έχει μια ορισμένη πιθανότητα αποδοχής, όταν εξετάζεται με τα Κριτήρια Συμμόρφωσης του Κανονισμού αυτού. Οι αναλογίες υλικών της Μελέτης Σύνθεσης πρέπει να εξασφαλίζουν μέση αντοχή  $f_m$  τουλάχιστον ίση με την απαιτούμενη  $f_d$ . [1]

## 1. ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### 1.1. Γενικά

Το σκυρόδεμα πρέπει να έχει μελετηθεί και να παρασκευάζεται έτσι, ώστε:

- Να έχει ομοιογένεια.
- Να έχει την εργασιμότητα εκείνη που θα επιτρέψει να διαστρωθεί και να συμπικνωθεί ικανοποιητικά με τα διαθέσιμα μέσα.
- Να έχει την αντοχή, την ανθεκτικότητα και όλες τις άλλες πρόσθετες ιδιότητες, οι οποίες προδιαγράφονται για το έργο. [1]

### 1.2. Μελέτη σύνθεσης

Οι αναλογίες των υλικών για την παρασκευή του σκυροδέματος θα καθορίζονται από εργαστηριακή Μελέτη Σύνθεσης. Η Μελέτη Σύνθεσης είναι υποχρεωτική για κάθε ποιότητα σκυροδέματος, όπως επίσης και για οποιοδήποτε σκυρόδεμα ειδικών απαιτήσεων, όπως στεγανό ή ανθεκτικό σκυρόδεμα. Δεν είναι υποχρεωτική για σκυρόδεμα υποστρώσεων, ισοπεδωτικών στρώσεων και άλλων βοηθητικών κατασκευών, που δε μετέχουν ουσιαστικά στη λειτουργία του έργου.

Στα έργα όπου το σκυρόδεμα παρασκευάζεται επιτόπου, ο κατασκευαστής είναι υποχρεωμένος να φροντίσει για την έγκαιρη διενέργεια της Μελέτης Σύνθεσης.

Η Μελέτη Σύνθεσης κάθε ποιότητας σκυροδέματος πρέπει να γίνεται στην αρχή του έργου και πρέπει να επαναλαμβάνεται:

- Όταν αλλάζει η πηγή λήψης των αδρανών.
- Όταν τα αδρανή παρουσιάζουν διαφορετική διαβάθμιση από εκείνη που είχαν στη Μελέτη Σύνθεσης, με αποκλίσεις που υπερβαίνουν τις 10 εκατοστιαίες μονάδες για τα κόσκινα τα μεγαλύτερα των  $\leq 4$  ή  $\text{No}4$ , τις 8 εκατοστιαίες μονάδες για τα

κόσκινο της άμμου, εκτός του κόσκινου  $\pm 0,25$  και τις 5 εκατοστιαίες μονάδες για το κόσκινο  $\pm 0,25$ .

- Όταν αλλάζουν τα πρόσθετα ή ο τύπος του τσιμέντου.

• Όταν το μίγμα παρουσιάζει τάσεις απόμειξης ή η κάθισή του δεν είναι δυνατόν να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του άρθρου 8.6, μολονότι τηρούνται οι αναλογίες της Μελέτης Σύνθεσης.

Η Μελέτη Σύνθεσης σκυροδέματος πρέπει να γίνεται με τα αδρανή, το τσιμέντο και το νερό, αν αυτά είναι αμφιβόλου ποιότητας, που θα χρησιμοποιηθούν στο έργο. Οι αναλογίες των υλικών, που θα δίνονται στη Μελέτη Σύνθεσης, πρέπει να εξασφαλίζουν στα μίγμα τα ακόλουθα:

- Την εργασιμότητα που προδιαγράφει ο Μελετητής ή ο Επιβλέπων. Η εργασιμότητα του σκυροδέματος θα εκφράζεται σε εκατοστά κάθισης, σύμφωνα με τη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-309. Αν δεν προδιαγράφεται εργασιμότητα, η Μελέτη Σύνθεσης θα γίνεται για σκυρόδεμα με κάθιση 10-12 cm όταν τα αδρανή είναι θραυστά και 6-10 cm όταν όλα τα αδρανή, ή μερικά από αυτά, είναι φυσικά.

Εκτός από την κάθιση, μπορεί να προδιαγράφεται και εξάπλωση, όπως αυτή περιγράφεται στη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-318. Και σε αυτήν την περίπτωση όμως, θα ισχύουν για την κάθιση όσα αναφέρονται στα άρθρα 5.2.4 και 8.5 έως και 8.7 του Κανονισμού αυτού. Σε ύψιγμα μίγματα μπορεί να προδιαγράφεται και χρόνος Vebe, σύμφωνα με τη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-310.

- Τις πρόσθετες, πιθανώς, ιδιότητες που θα προδιαγράφει ο Μελετητής ή ο Επιβλέπων, όπως η αντλησιμότητα, η στεγανότητα και η ανθεκτικότητα, όσο αυτές είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν με τα υλικά που προσκομίστηκαν στο εργαστήριο.

- Τη μέση αντοχή τουλάχιστον ίση με την απαιτούμενη  $f_{cd}$ .

- Άλλες αντοχές ή άλλα στοιχεία που ζητάει ο ενδιαφερόμενος, όπως αντοχή σε κόμψη και αντοχή σε διάρρηξη.

Αν οι ιδιότητες του σκυροδέματος που αναφέρονται στο άρθρο 5.2.3.1 δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν με τα υλικά που προσκομίστηκαν, το εργαστήριο θα συμβουλεύει εκείνον που ζητά τη Μελέτη Σύνθεσης για τις αλλαγές που πρέπει να γίνουν στα υλικά ή για την πλήρη αποκατάστασή τους.

Εφόσον ζητηθεί, στη Μελέτη Σύνθεσης θα δίνεται η καμπύλη του λόγου νερού προς τσιμέντο  $N/T$  και αντοχής για ένα διάστημα τουλάχιστον  $\pm 3$  MPa εκατέρωθεν της απαιτούμενης αντοχής  $f_{td}$ . Η ποσότητα του νερού που θα δίνεται στις αναλογίες υλικών της Μελέτης Σύνθεσης θα αναφέρεται σε ξηρά αδρανή υλικά.

Τέλος, το σκυρόδεμα που συμπικνώνεται με συνήθη δονητικά μέσα στο εργοστάσιο για τη μόρφωση φορέων, πρέπει να έχει κάθιση τουλάχιστον 5 cm, αν παρασκευάζεται με θραυστά υλικά, και τουλάχιστον 3 cm, αν παρασκευάζεται με φυσικά υλικά. Σκυρόδεμα με μικρότερη κάθιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για τη μόρφωση προκατασκευασμένων στοιχείων, δαπέδων, ογκωδών έργων ή άλλων ειδικών κατασκευών. [1]

## 2. ΑΝΑΜΙΞΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η ανάμιξη του σκυροδέματος γίνεται σε ειδική συσκευή, τον αναμικτήρα. Τα υλικά του σκυροδέματος θα μπαίνουν στον αναμικτήρα με τις αναλογίες που προβλέπονται στη Μελέτη Σύνθεσης, αφού οι αναλογίες άμμου και νερού διορθωθούν ανάλογα με τη φυσική υγρασία των αδρανών. Ο έλεγχος της υγρασίας των αδρανών και οι σχετικές διορθώσεις πρέπει να γίνονται πριν από κάθε σκυροδέτηση.

Τα αδρανή υλικά και το τσιμέντο πρέπει να μετριούνται σε βάρος και το νερό σε βάρος ή όγκο. Τα στερεά πρόσθετα σε σκόνη πρέπει να μετριούνται σε μέρη βάρους και τα υγρά πρόσθετα σε μέρη βάρους ή όγκου. Μέτρηση των αδρανών σε όγκο επιτρέπεται μόνο σε μικρά έργα. Τα αδρανή θα μετριούνται με ακρίβεια  $\pm 3\%$  του βάρους τους, το τσιμέντο με ακρίβεια  $\pm 2\%$  του βάρους του, το νερό με ακρίβεια  $\pm 2\%$  και τα πρόσθετα με ακρίβεια  $\pm 3\%$  του βάρους ή του όγκου τους ανάλογα με το αν είναι σε μορφή σκόνης ή υγρού.

Ο χρόνος ανάμιξης είναι εκείνος που αναγράφεται στις προδιαγραφές του αναμικτήρα, αλλά δεν μπορεί να είναι μικρότερος από ένα λεπτό. Ο χρόνος ανάμιξης

μετρίεται μετά την εισαγωγή όλων των υλικών στον αναμικτήρα. Μικρότερος ελάχιστος χρόνος ανάμιξης επιτρέπεται από τον Κ.Τ.Σ.-97 σε ειδικές περιπτώσεις. [1]

### 3. ΞΥΛΟΤΥΠΟΙ

Στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος Κ.Τ.Σ.-97, ο όρος «ξύλοτυπος» χρησιμοποιείται για όλα τα είδη των καλουπιών και των αναγκαίων ικριωμάτων, ανεξαρτήτως υλικού κατασκευής τους. Όπου χρειάζεται να γίνει διάκριση των μεταλλικών ή των πλαστικών τύπων χρησιμοποιούνται οι όροι «σιδηρότυπος» και «πλαστικότυπος».

Οι ξυλότυποι πρέπει να υπολογίζονται, όπου χρειάζεται, και να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να φέρουν όλες τις κατακόρυφες και οριζόντιες δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κατασκευή του σκελετού του σκυροδέματος, χωρίς να υποχωρούν ή να παραμορφώνονται. Απαγορεύεται η χρήση εύκαμπτων λεπτών φύλλων όπως λαμαρίνες και χαρτόνια, για τη συμπλήρωση του ξυλότυπου σε οποιαδήποτε θέση. Οι αρμοί μεταξύ των στοιχείων του ξυλότυπου πρέπει να είναι αρκετά κλειστοί, ώστε να εμποδίζουν την διαφυγή τσιμεντακονίας.

Πριν από τη διάστρωση πρέπει να απομακρύνονται από τον ξυλότυπο και τις επιφάνειες σκληρυμένου σκυροδέματος, που θα καλυφθούν με νέο σκυρόδεμα, όλα τα ξένα σώματα, όπως ξύλα, χαρτιά και πολυστερίνη. Αν ο ξυλότυπος είναι υδατοαπορροφητικός, τότε θα διαβρέχεται μέχρι κορεσμού.

Η αφαίρεση των ξυλοτύπων μπορεί να γίνει μόνο όταν το σκυρόδεμα έχει αποκτήσει ικανή αντοχή ώστε να φέρει, με τις προϋποθέσεις που έχουν ληφθεί υπόψη στο στατικό υπολογισμό, όλα τα φορτία με τα οποία φορτίζεται κατά τη στιγμή της αφαίρεσης των ξυλοτύπων ή τα φορτία με τα οποία πρόκειται να φορτιστεί μέχρι την ηλικία των 28 ημερών. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στις περιπτώσεις όπου σε στοιχεία που δεν έχουν ακόμη ενηλικιωθεί, στηρίζονται ξυλότυποι υπερκείμενων κατασκευών. Όταν η εξέλιξη της σκλήρυνσης δεν παρακολουθείται με δοκίμια, οι χρόνοι αφαίρεσης των ξυλοτύπων και οι αποκλίσεις από αυτούς, λόγω θερμοκρασίας και άλλων παραγόντων, δίνονται από τον Κ.Τ.Σ.-97.

Η αφαίρεση των ξυλοτύπων πρέπει να γίνεται χωρίς κρούσεις και δονήσεις. Θα αφαιρούνται πρώτα οι ξυλότυποι των κατακόρυφων στοιχείων, όπως των

υποστηλωμάτων και τοιχείων, μετά δε οι ξυλότυποι των οριζόντιων στοιχείων, όπως πλάκων και δοκών. [1]

#### 4. ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Μετά την ανάμιξη του σκυροδέματος ακολουθεί η μεταφορά και διάστρωσή του. Κατά τη μεταφορά του, το σκυρόδεμα πρέπει να προστατεύεται από τη βροχή ή την πρόσμιξή του με ξένα υλικά και δεν πρέπει να χάνει την ομοιογένειά του. Η εκφόρτωση πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη θέση της τελικής διάστρωσης, ώστε να αποφεύγεται η μετακίνηση του σκυροδέματος με φτυάρια ή τσουγκράνες. Αν η εκφόρτωση δεν είναι δυνατόν να γίνει στη θέση διάστρωσης, θα χρησιμοποιούνται, για την ενδιάμεση μεταφορά, αντλίες, κεκλιμένα επίπεδα, μεταφορικές ταινίες ή άλλα μέσα που δεν προκαλούν απόμιξη του μίγματος. Απαγορεύεται η ελεύθερη πτώση του σκυροδέματος από ύψος μεγαλύτερο των 2.5 μέτρων. Σ' αυτήν την περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλοι σωλήνες που θα κατεβάζουν το σκυρόδεμα μέχρι τη θέση διάστρωσης ή θα ανοίγονται παράθυρα στον ξυλότυπο σε ενδιάμεσα ύψη.

Το σκυρόδεμα θα διαστρώνεται στο έργο με την κάθιση που προβλέπεται στη Μελέτη Σύνθεσης. Η κάθιση του σκυροδέματος πρέπει να μετριέται πριν από τη διάστρωση, όπως προβλέπει ο Κ.Τ.Σ.-97. Ο Επιβλέπων ή η Υπηρεσία, έχει το δικαίωμα να μη δεχτεί ανάμιγμα ή φορτίο έτοιμου σκυροδέματος με κάθιση μεγαλύτερη από αυτήν που προβλέπει για κάθε περίπτωση ο Κ.Τ.Σ.-97. Μπορεί όμως να δεχτεί ανάμιγμα με κάθιση μικρότερη από αυτήν που προβλέπεται, αν αυτή αποκατασταθεί επί τόπου με την προσθήκη υπερρρευστοποιητικού. Αν στο μίγμα υπάρχει αερακτικό, το ποσοστό αέρα δεν πρέπει να διαφέρει από το αντίστοιχο ποσοστό της Μελέτης Σύνθεσης ή το ποσοστό της παραγγελίας αν πρόκειται για έτοιμο σκυρόδεμα, περισσότερο από  $\pm 1\%$ . Ο έλεγχος του ποσοστού αέρα θα γίνεται σύμφωνα με τη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-311 και με την ίδια διαδικασία που γίνεται και ο έλεγχος της κάθισης.

Εφόσον πρόκειται να διαστρωθεί στο έδαφος ένα οπλισμένο δομικό στοιχείο, με οπλισμό στην κάτω επιφάνειά του, όπως μια πλάκα θεμελίωσης, το έδαφος θα πρέπει να καλύπτεται με μια ισοπεδωτική στρώση σκυροδέματος, μέσου πάχους τουλάχιστον 50mm. [1]

## 5. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η συμπύκνωση του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται με δονητή. Όταν το σκυρόδεμα έχει κάθιση μεγαλύτερη από 20 cm και το πάχος του στοιχείου που διαστρώνεται είναι μικρό, τότε μετά από έγκριση του Επιβλέποντα ή της Υπηρεσίας, η δόνηση μπορεί να παραληφθεί και η τακτοποίηση του μίγματος να γίνει με σανίδα ή ράβδο. Το είδος του δονητή και ο αριθμός των δονητών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτώνται από τη μορφή του στοιχείου που σκυροδετείται και τη διαδικασία διάστρωσης, και προδιαγράφεται στη σύμβαση του έργου.

Όταν το πάχος του στοιχείου του σκυροδέματος είναι μεγάλο, η διάστρωση πρέπει να γίνεται σε στρώσεις με πάχος όχι μεγαλύτερο από 60 cm. Η επιφάνεια των στρώσεων πρέπει να διαμορφώνεται οριζόντια κατά τη διάστρωση και όχι να οριζοντιοποιείται με το δονητή. Κάθε στρώση πρέπει να διαστρώνεται όσο το σκυρόδεμα της προηγούμενης στρώσης είναι πλαστικό, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία αρμού εργασίας. Οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών θέσεων του δονητή θα είναι ίσες περίπου με  $1,5 A$ , όπου  $A$  η ακτίνα ενέργειας του δονητή. Κατά τη δόνηση, το στέλεχος του δονητή θα εισχωρεί στην υποκείμενη στρώση κατά 5 cm περίπου. Απαγορεύεται η δόνηση σιδηροπλισμού του οποίου ένα τμήμα βρίσκεται ήδη βυθισμένο σε σκληρυμένο σκυρόδεμα.

Η εξωτερική δόνηση, με δονητή ξυλότυπου ή επιφανείας, μπορεί να εφαρμοστεί μόνο όταν η ακαμψία και η ευστάθεια του ξυλότυπου ή του σιδηράτυπου το επιτρέπουν. Επαναδόνηση του σκυροδέματος επιτρέπεται μόνο όταν το σκυρόδεμα είναι αρκετά πλαστικό, ώστε το δονητικό στέλεχος, όταν ταλαντώνεται, να μπορεί να βυθίζεται στο σκυρόδεμα με το δικό του βάρος, χωρίς δηλαδή να πιέζεται από το χειριστή. [1]

## 6. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η συντήρηση του σκυροδέματος για κάθε έργο είναι υποχρεωτική. Αρχίζει αμέσως μετά τη διάστρωση και πρέπει να διαρκεί για χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και τις ειδικές απαιτήσεις του έργου. Το χρονικό αυτό

διάστημα δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερο από επτά (7) ημέρες για την πρώτη φάση συντήρησης.

Η συντήρηση πρέπει να δημιουργεί τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που θα επιτρέψουν να ενυδατωθεί το μεγαλύτερο ποσοστό τσιμέντου του μίγματος. Η απαραίτητη υγρασία για τη συντήρηση εξασφαλίζεται:

- Με μεθόδους που απαγορεύουν ή επιβραδύνουν την εξάτμιση του νερού του μίγματος, όπως ο ψεκασμός με ειδικά υγρά που σχηματίζουν επιφανειακή μεμβράνη, η επικάλυψη με λινάτσες, άμμο και αδιάβροχα φύλλα.
- Με μεθόδους που αντικαθιστούν το νερό που εξατμίζεται, όπως κατάβρεγμα και πλημμύρισμα.

Αν στη σύμβαση του έργου δεν αναφέρεται διαφορετικά και αν δεν προβλέπεται παγετός, η συντήρηση θα γίνεται ως εξής: Αμέσως μετά το τέλος της διάστρωσης, όλες οι ελεύθερες επιφάνειες του σκυροδέματος σκεπάζονται με λινάτσες. Οι λινάτσες θα διατηρούνται υγρές όλο το 24ωρο και για 7 τουλάχιστον ημέρες. Σε αυτό το διάστημα η κυκλοφορία του προσωπικού και κάθε άλλη εργασία, αναγκαία για τη συνέχιση του έργου, θα γίνεται πάνω στις λινάτσες. Η ίδια μέθοδος και για το ίδιο χρονικό διάστημα θα εφαρμόζεται και στις κατακόρυφες επιφάνειες, μετά την απομάκρυνση του ξυλοτύπου τους. Αν οι λινάτσες απομακρυνθούν πριν από τη συμπλήρωση των 14 ημερών από τη διάστρωση, για το χρονικό διάστημα από τις 7 έως τις 14 ημέρες, το σκυρόδεμα θα διαβρέχεται μέχρι κορεσμού της επιφάνειάς του δύο φορές την ημέρα και από τις 14 έως τις 28 ημέρες μια φορά την ημέρα.

Η διαβροχή λίγης ώρας και γενικά η διαβροχή που δε συνεχίζεται όλο το 24ωρο δε θεωρείται ικανοποιητική συντήρηση για τις μικρές ηλικίες σκυροδέματος. Εφαρμόζεται μόνο μετά το τέλος της φάσης της κύριας συντήρησης, όπως προαναφέρθηκε. [1]

## **7. ΟΔΗΓΙΕΣ ΛΗΨΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Για την παρασκευή των δοκιμίων σκυροδέματος του έργου ισχύουν οι διατάξεις του άρθρου 13 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος '97 και των Προδιαγραφών

ΣΚ-303 και ΣΚ-305 του Υπουργείου Δημοσίων έργων. Υπομνηστική παράθεση των κυριότερων διατάξεων, των συνηθέστερων περιπτώσεων, περιλαμβάνεται περιληπτικά στα επόμενα:

Τα συμβατικά δοκίμια, που προορίζονται για τους ελέγχους συμμόρφωσης, θα είναι για ολόκληρο το έργο κυβικά δοκίμια διαστάσεων 15x15x15 cm, λαμβανόμενα με χυτοσιδηρές μήτρες.

Ο αριθμός των δοκιμών που απαιτείται για κάθε διαστρωμένο τμήμα είναι, ανά ημέρα, έξι (6) για ποσότητα σκυροδέματος μέχρι 150 m<sup>3</sup>, ή δώδεκα (12) δοκίμια για ποσότητα σκυροδέματος μεγαλύτερη των 150 m<sup>3</sup>. Αριθμός δοκιμών μικρότερος των έξι (6) ή των δώδεκα (12) αντίστοιχα, δεν επιτρέπει την εφαρμογή των Κριτηρίων Συμμόρφωσης Α και Β αντίστοιχως, που προβλέπει ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος. Υποδεικνύεται η λήψη και εβδόμου ή δεκάτου τρίτου δοκιμίου, που θα καλύψει την περίπτωση καταστροφής ή τραυματισμού ή εμφανών ελαττωμάτων ενός από τα υπόλοιπα έξι ή δώδεκα δοκίμια. Στις περιπτώσεις που απαιτείται έλεγχος δοκιμών και σε ηλικίες μικρότερες των 28 ημερών, τότε θα πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερος αριθμός δοκιμών.

Από κάθε αυτοκίνητο, βαρέλο, δεν επιτρέπεται η λήψη περισσότερων του ενός δοκιμών, εκτός εάν το τμήμα που διαστρώνεται απαιτεί λιγότερα από έξι αυτοκίνητα σκυροδέματος. Στην περίπτωση αυτή πρέπει μεταξύ της λήψης του πρώτου και του δεύτερου δοκιμίου από το ίδιο αυτοκίνητο να έχει διαστρωθεί όγκος σκυροδέματος τουλάχιστον 1 m<sup>3</sup>.

Κατ' εξαίρεση, για ημερήσια ποσότητα σκυροδέματος μικρότερη των 20 m<sup>3</sup> ισχύουν οι απαιτήσεις του άρθρου 13.3.10 του Κ.Τ.Σ.-97 και εφαρμόζεται το Κριτήριο Συμμόρφωσης Ε. Συνοπτικά, θα λαμβάνονται τρία δοκίμια από κάθε αυτοκίνητο, από ένα ή δύο τυχαία αυτοκίνητα, που καθένα τους θα θεωρείται ότι αποτελεί ξεχωριστή παρτίδα.

Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται για την παρασκευή δοκιμών δεν πρέπει να ανήκει στο αρχικό 15 έως 20% του όγκου του σκυροδέματος του αυτοκινήτου που εκφορτώνεται, ούτε στο τελευταίο 15 έως 20%. Αν χρησιμοποιηθεί υπερρευστοποιητικό, η λήψη του δοκιμίου θα γίνεται μετά την ανάμιξή του.

Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της λήψης του σκυροδέματος και της παρασκευής του δοκιμίου, δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 15 λεπτά της ώρας.

Οι μήτρες πριν από τη χρήση τους πρέπει να έχουν λαδωθεί ελαφρά με ορυκτέλαιο.

Κάθε μήτρα γεμίζεται με τη σέσαυλα, όχι μυστρί γιατί διαφεύγει το λεπτό υλικό, σε δύο στρώσεις, μισή και μισή κάθε φορά, και κάθε στρώση συμπυκνώνεται ιδιαίτερα. Η συμπύκνωση κάθε στρώσης απαιτεί 25 χτυπήματα με τη σχετική ράβδο.

Η ράβδος συμπύκνωσης είναι Φ16, μήκους 60cm, με στρογγυλεμένα άκρα. Κατά τη συμπύκνωση της κατώτερης στρώσης, η ράβδος πρέπει να εισχωρεί μέχρι τον πυθμένα της μήτρας. Η συμπύκνωση θα γίνεται αμέσως μετά την τοποθέτηση του σκυροδέματος στη μήτρα και χωρίς διακοπή μεταξύ πρώτης και δεύτερης στρώσης. Μετά τη συμπύκνωση, ελιπεδώνεται η τελική επιφάνεια και αριθμείται το δοκίμιο.

Τα δοκίμια πρέπει να παραμείνουν στη σκιά, μέσα στις μήτρες, χωρίς χτυπήματα, δονήσεις και ξήρανση, τουλάχιστον 20 ώρες και όχι περισσότερο από 32 ώρες.

Μετά την αφαίρεσή τους από τις μήτρες, τα δοκίμια μεταφέρονται το ταχύτερο δυνατόν στο δημόσιο ή αναγνωρισμένο ιδιωτικό εργαστήριο, όπου θα θραυσθούν σύμφωνα με την προδιαγραφή ΣΚ-304. Σε περίπτωση που προβλέπεται σημαντική καθυστέρηση παράδοσης στο εργαστήριο, τα δοκίμια πρέπει να διατηρηθούν συσκευασμένα μέσα σε υγρή άμμο ή πριονίδια για τη διατήρηση της υγρασίας τους. Κρούσεις και δονήσεις κατά την μεταφορά και αποκλίσεις από τη θερμοκρασία συντήρησης, περίπου  $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ , πρέπει να αποφεύγονται.

Για κάθε δοκίμιο, επιβάλλεται η αναγραφή του αριθμού του δελτίου αποστολής και του αριθμού κυκλοφορίας του αυτοκινήτου, καθώς και της ώρας λήψεώς του. [1]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ανάλογα με το βάρος τους, τα σκυροδέματα κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Στα κοινά σκυροδέματα, με ειδικό βάρος  $2,00-2,50 \text{ tn/m}^3$
- Στα ελαφρά σκυροδέματα, με ειδικό βάρος  $0,30-2,00 \text{ tn/m}^3$
- Στα βαριά σκυροδέματα, με ειδικό βάρος  $3,00-5,00 \text{ tn/m}^3$

Τα κοινά σκυροδέματα αποτελούν το πρώτο ιστορικά και το πιο διαδεδομένο, μέχρι σήμερα, είδος σκυροδέματος, ενώ τα άλλα δύο αποτελούν νεώτερες εξελίξεις που αποκτούν, καθένα στον τομέα του, όλο και μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής.

Όσα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα, αφορούν γενικά τα κοινά σκυροδέματα. Πολλά όμως από αυτά ισχύουν με μικρές παραλλαγές και για τα άλλα δύο είδη σκυροδέματος.[4]

#### 1. ΕΛΑΦΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ

Οι πιο χαρακτηριστικές ιδιότητες των ελαφρών σκυροδεμάτων, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ιδιότητες του κοινού σκυροδέματος, είναι οι ακόλουθες:

- Το φαινόμενο ειδικό βάρος είναι πάντοτε μικρότερο, αφού αυτό είναι από τα κύρια χαρακτηριστικά των ελαφρών σκυροδεμάτων.
- Το απόλυτο ειδικό βάρος κυμαίνεται μέσα στα ίδια όρια, γιατί το συμπαγές υλικό είναι βασικά, το ίδιο. Το απόλυτο ειδικό βάρος των συστατικών του είναι, κατά κανόνα, το ίδιο.

- Το ολικό πορώδες είναι πάντοτε μεγαλύτερο, αφού είναι αυτό που κατά κύριο λόγο δημιουργεί τη μείωση του βάρους.
- Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι ίσος προς το 1/2 έως 1/8 του αντίστοιχου συντελεστή του κοινού σκυροδέματος.
- Η αντοχή σε θλίψη είναι γενικά, κατώτερη. Με αύξηση όμως, της ποσότητας του τσιμέντου κατορθώνουμε να πετύχουμε αντοχή μέχρι 500-600 kg/cm<sup>2</sup>.
- Η αντοχή σε εφελκυσμό είναι περίπου η ίδια ή λίγο μικρότερη.
- Το μέτρο ελαστικότητας είναι κατά κανόνα μικρότερο, όμως τα βέλη κάμψεως δεν είναι μεγαλύτερα, αφού έχουμε παράλληλη μείωση του ίδιου βάρους.
- Η χρονία συστολή είναι περίπου διπλάσια.
- Τέλος, λόγω της μεγάλης ποικιλίας των υλικών, καθώς και των μεθόδων παρασκευής, η κατηγορία των ελαφρών σκυροδεμάτων παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη ποικιλία, παρά η κατηγορία του κοινού σκυροδέματος. Η ονομασία λοιπόν, «ελαφρό σκυρόδεμα» είναι τόσο γενική, ώστε δύσκολα περιγράφει το υλικό. Κατά συνέπεια, η περιοχή μέσα στην οποία διακυμαίνονται οι ιδιότητες του υλικού, αλλά και η δυσκολία στη γενίκευση των αποτελεσμάτων είναι μεγάλη.

Το απόλυτο ειδικό βάρος των συστατικών του σκυροδέματος μεταβάλλεται μέσα σε στενά όρια. Γι' αυτό το λόγο, τη μείωση του φαινόμενου βάρους στα ελαφρά σκυροδέματα μπορούμε να την πετύχουμε με την αύξηση του πορώδους. Ανάλογα με την επίδραση στους παράγοντες που επηρεάζουν το πορώδες του σκυροδέματος, όπως είναι το πορώδες των αδρανών και του κονιάματος και η κοκκομετρική καμπύλη, τα ελαφρά σκυροδέματα κατατάσσονται σε δύο μεγάλες ομάδες: τα σκυροδέματα με ελαφρά αδρανή και τα κυψελωτά σκυροδέματα. [4]

## 1.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ ΜΕ ΕΛΑΦΡΑ ΑΔΡΑΝΗ

Πρόκειται για σκυροδέματα στα οποία δε χρησιμοποιούνται ασβεστολιθικά, αλλά είδη αδρανών με μεγάλο πορώδες και μικρό ειδικό βάρος. Τα αδρανή αυτά είναι φυσικά ή τεχνητά, ανόργανα ή οργανικά προϊόντα. Τα κυριότερα σκυροδέματα αυτής της κατηγορίας είναι τα ακόλουθα. [4]

### 1.1.1. Κισηρομπετόν

Παρασκευάζεται από την κίσηρη, ως αδρανές υλικό, και από τσιμεντοκονίαμα, ως συνδετική ύλη. Η κίσηρη είναι πέτρωμα που παράγεται από την απότομη ψύξη λάβας με σύγχρονη αποβολή των αερίων που περιέχονται σ' αυτή. Αποτελεί το κυριότερο, και ίσως το φτηνότερο, αδρανές για την παρασκευή ελαφρού σκυροδέματος. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στη χώρα μας, στην οποία δεν είναι ακόμη ανεπτυγμένη η βιομηχανική παραγωγή ελαφρών αδρανών. Το τσιμεντοκονίαμα μπορεί να έχει ασβεστολιθική άμμο ή λεπτόκοκκο υλικό από το ίδιο πέτρωμα της κίσηρης. Οι αναλογίες συνθέσεως εξαρτώνται από το σκαπό για τον οποίο προορίζεται το κισηρομπετόν, δηλαδή από το βαθμό στεγανότητας, καθώς και το βάρος ή την αντοχή που επιθυμούμε.

Το κισηρομπετόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για φέρουσες κατασκευές, δηλαδή ως οπλισμένο κισηρομπετόν, γιατί έχει εξακριβωθεί ότι η κίσηρη, τουλάχιστον μόνη, δεν προσβάλλει το χάλυβα. Για την αξιείδωση του οπλισμού υπεύθυνο είναι το πορώδες του υλικού και της κίσηρης και η δυνατότητα να διεισδύσουν νερό και αέρας μέσα στο υλικό. Στην περίπτωση αυτή, η ύπαρξη θείου μέσα στην κίσηρη είναι δυνατόν να επιδεινώσει τις συνθήκες διαβρώσεως. Γι' αυτό στην περίπτωση ενσωματώσεως οπλισμού ή σωληνώσεων, αναγκαία προϋπόθεση είναι η πυκνότητα και στεγανότητα του ιστού. [4]

### 1.1.2. Σκωριοκισσηρομπετόν

Παρασκευάζεται από την σκωριοκίαση ως αδρανές υλικό. Το αδρανές αυτό υλικό είναι ένα είδος τεχνητής κίασης που γίνεται από τη "σκωρία" των υψικαμίνων. Συγκεκριμένα, τα υποπροϊόντα των υψικαμίνων που περιέχουν αργιλικά, σιβεστολιθικά και πυριτικά υλικά, όταν ψυχθούν παρουσιάζουν υαλώδη μορφή. Στη συνέχεια, όταν αυτά λιώσουν, περίπου στους 1600 °C, μετατρέπονται με τη διείσδυση υδρατμών σε αφρώδη μάζα. Το τελικό στερεό πορώδες υλικό περνάει από σπαστήρες και τριβεία και αποκτά το επιθυμητό μέγεθος κόκκων. Το φαινόμενο ειδικό βάρος του σωρού των κόκκων είναι 0,60-1,10 tn/m<sup>3</sup>.

Οι ιδιότητες του σκωριοκισσηρομπετόν είναι ανάλογες με τις ιδιότητες του κισσηρομπετόν με φυσική κίαση. [4]

### 1.1.3. Σπογγοκεραμομπετόν

Παρασκευάζεται από τον σπογγοκέραμο ή διογκωμένο άργιλο, όπως αλλιώς ονομάζεται, ιδίως στις ξένες χώρες. Πιο αναλυτικά, το υλικό αυτό παράγεται από αργίλους που περιέχουν οξείδια του σιδήρου, οι οποίοι όταν θερμανθούν απότομα σε θερμοκρασίες έως 1200 °C, διογκώνονται ως το πενταπλάσιο του αρχικού όγκου και αποκτούν πορώδη υφή.

Η διογκωση οφείλεται στην αποσύνθεση των οξειδίων του σιδήρου και την παραγωγή αερίων. Ο άργιλος πρέπει να έχει παράλληλα και αρκετή ιερώδη συνεκτικότητα, ώστε τα αέρια αυτά να μη διασπύσουν τη μάζα και διαφύγουν, αλλά να εγκλωβιστούν δημιουργώντας πορώδη ιστό. Το φαινόμενο βάρος του σωρού είναι 0,3-0,7 tn/m<sup>3</sup>. [4]

### 1.1.4. Περλιτομπετόν

Παρασκευάζεται από κόκκους διογκωμένου περλίτη. Ο περλίτης είναι φυσικό ηφαιστειακό υλικό και προέρχεται από την απότομη ψύξη λάβας. Χημικά, αποτελείται από οξείδια του πυριτίου και αλουμινίου σαν ένα είδος φυσικού γυαλιού. Όταν οι

υαλώδεις κόκκοι θερμανθούν στους 900-1200 °C, λιώνουν σε μια "πυροπλαστική" κατάσταση και διαγκώνονται, όπως και η κίσηρη, εξαιτίας των υδρατμών που δημιουργούνται από το νερό που είναι χημικά ενωμένο μέσα στον περλίτη.

Στην Ελλάδα υπάρχει περλίτης σε μεγάλα αποθέματα στη Μήλο. Εξορύσσεται από την επιφάνεια του εδάφους και σπάζεται σε ορισμένα μεγέθη. Τα προϊόντα της εξορύξεως θερμαίνονται απότομα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 950 °C, διογκώνονται κατά δέκα περίπου φορές και σχηματίζουν μικρούς λευκούς κόκκους.

Οι αναλογίες συνθέσεως του περλίτη με το τσιμέντο είναι 4:1 έως 8:1 και το φαινόμενο βάρος κυμαίνεται από 0,35 έως 0,60 t/m<sup>3</sup>. [4]

### 1.1.5. Ξυλομπετόν

Είναι αντιπροσωπευτικός τύπος σκυροδέματος με οργανικά αδρανή, στο οποίο το ρόλο των αδρανών παίζουν ίνες ξύλου.

Ωστόσο, προβληματική είναι η πρόσφυση του ξύλου με το κονίαμα. Εάν χρησιμοποιηθεί κονίαμα με μαγνησιακό τσιμέντο, η πρόσφυση είναι ικανοποιητική. Εάν χρησιμοποιηθεί κονίαμα με κاینό τσιμέντο, απαιτείται προηγούμενη επεξεργασία του ξύλου. Η επεξεργασία αυτή γίνεται με διαποτισμό των ινών του ξύλου με γαλάκτωμα από ασβέστη, υδρύαλο, χλωριούχο ασβέστιο, ασφαλτικά υλικά ή και απλή τσιμεντοκονία.

Η ιδιότητα του ξυλομπετόν είναι ότι παρουσιάζει τις ίδιες περίπου αντοχές σε θλίψη και εφελκυσμό, τουλάχιστον στην περιοχή των μικρών αντοχών. [4]

## 1.2. ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ

Τα σκυροδέματα αυτά δεν έχουν, κατά κανόνα, χονδρόκοκκα αδρανή και γι' αυτό θα ήταν ακριβέστερο να ονομάζονται κυψελοκονιάματα. Η κεντρική ιδέα του κυψελομπετόν είναι η δημιουργία πορώδους ιστού με τον εγκλεισμό φυσαλίδων από αέρα ή αέρια μέσα στη μάζα του κονιάματος.

Τα κυψελομπετόν γενικά, είναι κατάλληλα μόνο για πρόχυτες βιομηχανικές κατασκευές, γιατί η ακρίβεια που απαιτείται στις αναλογίες και στη μέθοδο παρασκευής

είναι τέτοια που δεν επιτρέπει την εργοταξιακή παραγωγή. Τα χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τους, καθώς και η μέθοδος παρασκευής, είναι συνήθως τυποποιημένα και κυκλοφορούν με κάποια εμπορική ονομασία.

Τα κυψελομετὸν χωρίζονται σε αερομετὸν και αφρομετὸν, ανάλογα με τον τρόπο που αναπτύσσονται οι φυσαλίδες. [4]

### **1.2.1. Αερομετὸν**

Στο αερομετὸν οι φυσαλίδες δημιουργούνται με τον εγκλείσμό αερίου που παράγεται από χημική αντίδραση. Ως χημικά πρόσθετα για την παραγωγή αερίου μέσα στη μάζα του κονιάματος, χρησιμοποιούνται σκόνη από αλουμίνιο, σκόνη από σίδηρο, υπεροξειδίο του υδρογόνου μαζί με υποχλωριώδες ασβέστιο, και ανθρακικά ασβέστιο.[4]

### **1.2.2. Αφρομετὸν**

Στο αφρομετὸν, για την παραγωγή των φυσαλίδων μέσα στο κονίαμα προσθέτουμε ένα αφροποιητικό υλικό και ένα σταθεροποιητή. Ως αφροποιητικά υλικά χρησιμοποιούνται το ρεταίνι πεύκου, σαπωνοποιημένο με καυστικό νάτριο και κόλλα, παραφίνη, αίμα ζώων και άλλα. Ως σταθεροποιητές χρησιμοποιούνται υδρύαλος, κόλλα, σκόνη από άνθρακα, στάχτη και άλλα.

Τα αφροποιητικά έχουν σκοπό τη δημιουργία φυσαλίδων από αέρα, που επιτυγχάνεται με τη μείωση της επιφανειακής τάσεως της ρευστής μάζας και οι σταθεροποιητές την αύξηση της συνεκτικότητας, δηλαδή την αύξηση της αντοχής του περιβλήματος των φυσαλίδων για την συγκράτηση του αέρα μέσα στη μάζα. [4]

## 2. ΒΑΡΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ

Σκυροδέματα με ειδικό βάρος μεγαλύτερο από  $3,00 \text{ t/m}^3$  περίπου τα ονομάζουμε βαριά σκυροδέματα. Τα σκυροδέματα αυτά παράγονται με την χρήση αδρανών από βαρύτερα πετρώματα.

Χαρακτηριστικό των σκυροδεμάτων αυτών, είναι το μεγάλο ειδικό βάρος, χωρίς αντίστοιχη αύξηση της αντοχής, που περιορίζεται από την αντοχή του κονιάματος και την πρόσφυση ανάμεσα στο κονίαμα και τα αδρανή. Γι' αυτό το λόγο και επειδή τα αδρανή αυτά είναι, κατά κανόνα, δυσεύρετα και πιο ακριβά, τα βαριά σκυροδέματα χρησιμοποιούνται μόνο όπου είναι αναγκαίο μεγαλύτερο βάρος ή μεγαλύτερη πυκνότητα. Τέτοιες περιπτώσεις είναι τα θεμέλια μηχανών και τα τελευταία χρόνια, η κατασκευή θωρακίσεων για τις ραδιενεργές ακτινοβολίες στους πυρηνικούς αντιδραστήρες και στις εγκαταστάσεις πυρηνικών εφαρμογών. [4]

#### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά από ένα διάστημα συντήρησης σε υγρό περιβάλλον, η υγρασία του σκυροδέματος συνδέεται άμεσα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Σε κατασκευές που εκτίθενται άμεσα σε συνθήκες εσωτερικού ή εξωτερικού περιβάλλοντος, η περιεχόμενη υγρασία τους είναι αποτέλεσμα του τοπικού κλίματος. Εκτός από τις υπόγειες και τις υποθαλάσσιες κατασκευές, τα έκθετα στοιχεία αλληλεπιδρούν άμεσα με το φυσικό περιβάλλον. [14]

Η περιεχόμενη υγρασία στους πόρους του σκυροδέματος αποτελεί την κρίσιμότερη παράμετρο για την ανάπτυξη όλων των ειδών των φυσικοχημικών επιδράσεων που υφίσταται. Για παράδειγμα, η αλκαλοπυριτική αντίδραση απαιτεί συγκεκριμένη ποσότητα υγρασίας για να αναπτυχθεί και σε πολύ χαμηλές συνθήκες ο κίνδυνος φθοράς από τον παγετό συνδέεται με το βαθμό κορεσμού του σκυροδέματος. Επίσης, η διάβρωση του οπλισμού, που αποτελεί προς το παρόν τον πιο συχνό τύπο φθοράς, εξαρτάται από την περιεχόμενη υγρασία του σκυροδέματος. Τα χλωριόντα απαιτούν την ύπαρξη νερού στους πόρους για τη διάχυσή τους, ενώ το φαινόμενο της ενανθράκωσης αναπτύσσεται μόνο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες υγρασίας. [14]

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την εκτίμηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε καθορισμένες υδροθερμικές συνθήκες περιβάλλοντος, δηλαδή σχετική υγρασία RH και θερμοκρασία T. Συγκεκριμένα, μελετάται ο μηχανισμός με τον οποίο το σκυρόδεμα "επικοινωνεί" με το περιβάλλον και μεταβάλλει την περιεχόμενη υγρασία του ανάλογα με την εξωτερική υγρασία. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξάγονται κάποια γενικά συμπεράσματα για τη διαπερατότητα του υλικού, η οποία συνδέεται άμεσα με την ανθεκτικότητά του, σε εργαστηριακές και όχι πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος.

Στην προσπάθεια να προσομοιάσουμε τις συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος στις οποίες υποβάλλονται οι κατασκευές από σκυρόδεμα, παρασκευάστηκαν δοκίμια με

τέσσερις λόγους νερού προς τσιμέντο N/T και μελετήθηκαν σε διαφορετικά ποσοστά υγρασίας περιβάλλοντος:

- Λόγος N/T

Επιλέχθηκαν οι εξής λόγοι N/T:

**0,4 - 0,5 - 0,6 - 0,7**

- Συνθήκες υγρασίας του περιβάλλοντος

Αποφασίστηκαν οι εξής συνθήκες, οι οποίες δημιουργούν διαφορετικό ποσοστό σχετικής υγρασίας RH:

**Θάλαμος NaCl – RH = 75%**

**Θάλαμος KCl – RH = 85%**

**Φούρνος – RH = 20% – 25%**

**Θάλαμος K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – RH = 43%**

Η επιλογή των αλάτων του NaCl, KCl και K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> για την επίτευξη των αντίστοιχων συνθηκών σχετικής υγρασίας, βασίστηκε σε πειραματική έρευνα. Η έρευνα αυτή, υπέδειξε τις συνθήκες σχετικής υγρασίας RH στις οποίες ισορροπεί το περιβάλλον όπου βρίσκονται υπέρκορα διαλύματα των παραπάνω αλάτων σε συνάρτηση με την θερμοκρασία.

Με βάση τον παρακάτω πίνακα, στον οποίο παρουσιάζονται οι σχετικές υγρασίες RH πέντε διαλυμάτων αλάτων και για θερμοκρασίες από 0-100 °C, έγινε η επιλογή των αλάτων του NaCl, KCl και K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> τα οποία ισορροπούν την υγρασία του περιβάλλοντος σε συνθήκες που προσομοιώνουν τις συνθήκες περιβάλλοντος των πραγματικών κατασκευών σε θερμοκρασία 20 °C.

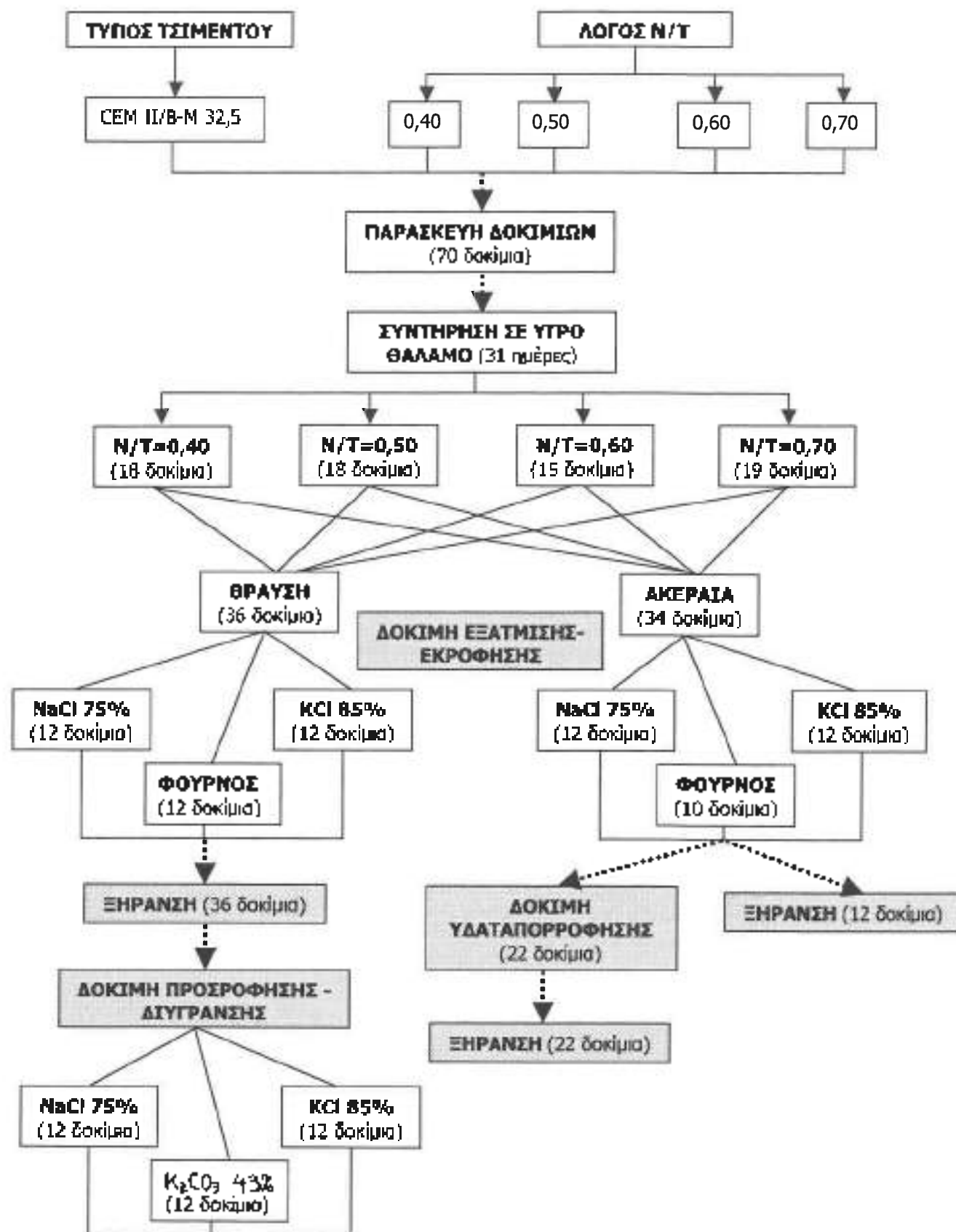
| Temperature<br>°C | Relative Humidity (% RH)       |                                   |              |              |                  |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|------------------|
|                   | K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | NaCl         | KCl          | KNO <sub>3</sub> |
| 0                 | 43.13 ± 0.68                   | 60.35 ± 0.55                      | 75.51 ± 0.34 | 86.61 ± 0.53 | 96.33 ± 2.9      |
| 5                 | 43.13 ± 0.50                   | 58.86 ± 0.43                      | 75.85 ± 0.27 | 87.67 ± 0.46 | 96.27 ± 2.1      |
| 10                | 43.14 ± 0.39                   | 57.36 ± 0.33                      | 75.87 ± 0.22 | 86.77 ± 0.39 | 95.96 ± 1.4      |
| 15                | 43.15 ± 0.33                   | 55.87 ± 0.27                      | 75.81 ± 0.18 | 85.82 ± 0.33 | 95.41 ± 0.96     |
| 20                | 43.16 ± 0.33                   | 54.38 ± 0.23                      | 75.47 ± 0.14 | 85.11 ± 0.28 | 94.82 ± 0.66     |
| 25                | 43.16 ± 0.39                   | 52.89 ± 0.22                      | 75.28 ± 0.12 | 84.34 ± 0.28 | 93.58 ± 0.55     |
| 30                | 43.17 ± 0.50                   | 51.40 ± 0.24                      | 75.09 ± 0.11 | 83.62 ± 0.25 | 92.31 ± 0.60     |
| 35                |                                | 49.91 ± 0.29                      | 74.87 ± 0.12 | 82.95 ± 0.25 | 90.79 ± 0.83     |
| 40                |                                | 48.42 ± 0.37                      | 74.88 ± 0.13 | 82.32 ± 0.25 | 89.03 ± 1.2      |
| 45                |                                | 46.93 ± 0.47                      | 74.52 ± 0.16 | 81.74 ± 0.28 | 87.03 ± 1.8      |
| 50                |                                | 45.44 ± 0.60                      | 74.43 ± 0.18 | 81.20 ± 0.31 | 84.78 ± 2.5      |
| 55                |                                |                                   | 74.41 ± 0.24 | 80.70 ± 0.35 |                  |
| 60                |                                |                                   | 74.50 ± 0.30 | 80.25 ± 0.41 |                  |
| 65                |                                |                                   | 74.71 ± 0.37 | 79.85 ± 0.48 |                  |
| 70                |                                |                                   | 75.08 ± 0.45 | 79.49 ± 0.57 |                  |
| 75                |                                |                                   | 75.58 ± 0.55 | 79.17 ± 0.66 |                  |
| 80                |                                |                                   | 76.29 ± 0.65 | 78.90 ± 0.77 |                  |
| 85                |                                |                                   |              | 78.68 ± 0.89 |                  |
| 90                |                                |                                   |              | 78.50 ± 1.0  |                  |
| 95                |                                |                                   |              |              |                  |
| 100               |                                |                                   |              |              |                  |

**Πίνακας 7-1:** Σχετική υγρασία RH διαλυμάτων αλάτων για θερμοκρασίες από 0 - 100 °C.

Για τη μελέτη του μηχανισμού "επικοινωνίας" του σκυροδέματος με το εξωτερικό περιβάλλον χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τρεις πειραματικές μέθοδοι:

- Η μέθοδος της εκρόφησης - εξάτμισης.
- Η μέθοδος της προσρόφησης - διύγρυνσης.
- Η μέθοδος της υδαταπορρόφησης.

Η συνολική διαδικασία που ακολουθήθηκε φαίνεται παραστατικά στο διάγραμμα ροής στο σχήμα 7-1, όπως επίσης και στο χρονοδιάγραμμα παρασκευής δοκιμών και διενέργειας πειραμάτων στους πίνακες 7-2(α) και (β).



Σχήμα 7-1: Διάγραμμα ροής πειραματικής διαδικασίας.

| Δοκίμιο  | Λόγοι<br>H/T | Παρασκευή<br>δοκιμίων | Τρόπος<br>συντήρησης | Πειράματα                                 | Τρόπος<br>ξηρανσης | Ημερομηνία<br>ξηρανσης     | Έναρξη<br>πειράματος |
|----------|--------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|
| A1-A2-A3 | 0,6          | 14/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση                                    | Φούρνος            | 24/01/2003 -<br>30/01/2003 | 15/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόσφιση NaCl                            |                    |                            | 19/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόφιση NaCl                           |                    |                            | 30/01/2003           |
| A4-A5-A6 | 0,6          | 14/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση                                    | Φούρνος            | 24/01/2003 -<br>27/01/2003 | 15/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόσφιση KCl                             |                    |                            | 19/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόφιση KCl                            |                    |                            | 27/01/2003           |
| A7-A8-A9 | 0,6          | 14/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση                                    | Φούρνος            | 24/01/2003 -<br>06/02/2003 | 15/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόσφιση ψαύματος                        |                    |                            | 19/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόφιση K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> |                    |                            | 06/02/2003           |
| A10-A11  | 0,6          | 14/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόσφιση NaCl                            | Φούρνος            | 17/03/2003 -<br>27/03/2003 | 19/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόφιση                            |                    |                            | 04/03/2003           |
| A12      | 0,6          | 14/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόσφιση NaCl                            | Φούρνος            | 04/03/2003 -<br>17/03/2003 | 19/12/2002           |
| A13-A14  | 0,6          | 14/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόσφιση KCl                             | Φούρνος            | 17/03/2003 -<br>27/03/2003 | 19/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόφιση                            |                    |                            | 04/03/2003           |
| A15      | 0,6          | 14/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόσφιση KCl                             | Φούρνος            | 04/03/2003 -<br>17/03/2003 | 19/12/2002           |
| B1-B2-B3 | 0,4          | 18/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση                                    | Φούρνος            | 24/01/2003 -<br>30/01/2003 | 19/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόσφιση NaCl                            |                    |                            | 23/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόφιση NaCl                           |                    |                            | 30/01/2003           |
| B4-B5-B6 | 0,4          | 18/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση                                    | Φούρνος            | 24/01/2003 -<br>27/01/2003 | 19/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόσφιση KCl                             |                    |                            | 23/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόφιση KCl                            |                    |                            | 27/01/2003           |
| B7-B8-B9 | 0,4          | 18/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση                                    | Φούρνος            | 24/01/2003 -<br>05/02/2003 | 19/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόσφιση ψαύματος                        |                    |                            | 23/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόφιση K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> |                    |                            | 05/02/2003           |
| B10-B11  | 0,4          | 18/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόσφιση NaCl                            | Φούρνος            | 17/03/2003 -<br>27/03/2003 | 23/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόφιση                            |                    |                            | 04/03/2003           |
| B12      | 0,4          | 18/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόσφιση NaCl                            | Φούρνος            | 04/03/2003 -<br>17/03/2003 | 23/12/2002           |
| B13-B14  | 0,4          | 18/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόσφιση KCl                             | Φούρνος            | 17/03/2003 -<br>27/03/2003 | 23/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόφιση                            |                    |                            | 04/03/2003           |
| B15      | 0,4          | 18/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόσφιση KCl                             | Φούρνος            | 04/03/2003 -<br>17/03/2003 | 23/12/2002           |
| B16-B17  | 0,4          | 18/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόσφιση ψαύματος                        | Φούρνος            | 17/03/2003 -<br>27/03/2003 | 23/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόφιση                            |                    |                            | 04/03/2003           |
| B18      | 0,4          | 18/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόσφιση ψαύματος                        | Φούρνος            | 04/03/2003 -<br>17/03/2003 | 23/12/2002           |

Πίνακας 7-2(α): Χρονοδιάγραμμα παρασκευής 70 δοκιμίων και διενέργειας πειραμάτων.

| Δοκίμιο  | Λόγος<br>N/T | Παρασκευή<br>δοκιμίων | Τρόπος<br>συντήρησης | Πειράματα            | Τρόπος<br>ξηράνσης | Ημερομηνία<br>ξηράνσης     | Έναρξη<br>πειράματος |
|----------|--------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|
| Γ1-Γ2-Γ3 | 0,5          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση               | Φούρνος            | 24/01/2003 –<br>03/02/2003 | 20/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόμηση NaCl        |                    |                            | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόμηση NaCl      |                    |                            | 03/02/2003           |
| Γ4-Γ5-Γ6 | 0,5          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση               | Φούρνος            | 24/01/2003 –<br>27/01/2003 | 20/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόμηση KCl         |                    |                            | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόμηση KCl       |                    |                            | 27/01/2003           |
| Γ7-Γ8-Γ9 | 0,5          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση               | Φούρνος            | 24/01/2003 –<br>06/02/2003 | 20/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόμηση φούρνου     |                    |                            | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόμηση $K_2CO_3$ |                    |                            | 06/02/2003           |
| Γ10-Γ11  | 0,5          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση NaCl        | Φούρνος            | 17/03/2003 –<br>27/03/2003 | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόμηση       |                    |                            | 04/03/2003           |
| Γ12      | 0,5          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση NaCl        | Φούρνος            | 04/03/2003 –<br>17/03/2003 | 24/12/2002           |
| Γ13-Γ14  | 0,5          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση KCl         | Φούρνος            | 17/03/2003 –<br>27/03/2003 | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόμηση       |                    |                            | 04/03/2003           |
| Γ15      | 0,5          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση KCl         | Φούρνος            | 04/03/2003 –<br>17/03/2003 | 24/12/2002           |
| Γ16-Γ17  | 0,5          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση φούρνου     | Φούρνος            | 17/03/2003 –<br>27/03/2003 | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόμηση       |                    |                            | 04/03/2003           |
| Γ18      | 0,5          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση φούρνου     | Φούρνος            | 04/03/2003 –<br>17/03/2003 | 24/12/2002           |
| Δ1-Δ2-Δ3 | 0,7          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση               | Φούρνος            | 24/01/2003 –<br>03/02/2003 | 20/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόμηση NaCl        |                    |                            | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόμηση NaCl      |                    |                            | 03/02/2003           |
| Δ4-Δ5-Δ6 | 0,7          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση               | Φούρνος            | 24/01/2003 –<br>30/01/2003 | 20/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόμηση KCl         |                    |                            | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόμηση KCl       |                    |                            | 30/01/2003           |
| Δ7-Δ8-Δ9 | 0,7          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Θραύση               | Φούρνος            | 24/01/2003 –<br>10/02/2003 | 20/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Εκρόμηση φούρνου     |                    |                            | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Προσρόμηση $K_2CO_3$ |                    |                            | 10/02/2003           |
| Δ10-Δ11  | 0,7          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση NaCl        | Φούρνος            | 17/03/2003 –<br>27/03/2003 | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόμηση       |                    |                            | 04/03/2003           |
| Δ12      | 0,7          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση NaCl        | Φούρνος            | 04/03/2003 –<br>17/03/2003 | 24/12/2002           |
| Δ13-Δ14  | 0,7          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση KCl         | Φούρνος            | 17/03/2003 –<br>27/03/2003 | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόμηση       |                    |                            | 04/03/2003           |
| Δ15      | 0,7          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση KCl         | Φούρνος            | 04/03/2003 –<br>17/03/2003 | 24/12/2002           |
| Δ16-Δ17  | 0,7          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση φούρνου     | Φούρνος            | 17/03/2003 –<br>27/03/2003 | 24/12/2002           |
|          |              |                       |                      | Υδατοπερρόμηση       |                    |                            | 04/03/2003           |
| Δ18      | 0,7          | 19/11/2002            | Υγρός θάλαμος        | Εκρόμηση φούρνου     | Φούρνος            | 04/03/2003 –<br>17/03/2003 | 24/12/2002           |

**Πίνακας 7-2(β):** Χρονοδιάγραμμα παρασκευής 70 δοκιμίων και διενέργειας πειραμάτων.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

### • Τσιμέντο

Χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο CEM II/B-M 32,5. Το τσιμέντο ζυγίστηκε σε ζυγαριά με ακρίβεια ανάγνωσης  $\pm 0,1$  gr.

### • Νερό

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του σκυροδέματος ήταν νερό βρύσης (του δικτύου Ε.Μ.Π.) και ζυγίστηκε σε ζυγαριά με ακρίβεια ανάγνωσης  $\pm 0,1$  gr.

### • Αδρανή

Χρησιμοποιήθηκαν θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή (άμμος και γαρπίλι) λατομείων Αττικής, τα οποία ζυγίστηκαν με ακρίβεια ανάγνωσης  $\pm 20$  gr.

### • Πρόσθετο

Για την παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε ρευστοποιητικό CHEMIUM-184 και ζυγίστηκε με ακρίβεια ανάγνωσης  $\pm 0,1$  gr.

### 2.1. Κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών

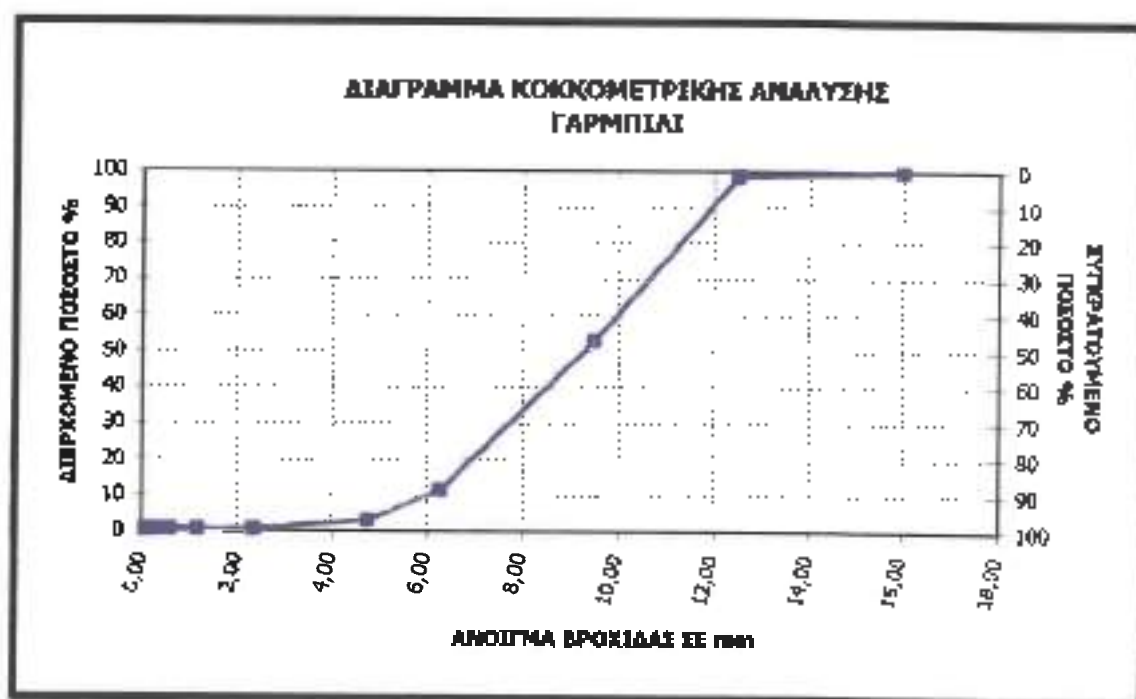
Για την παρασκευή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή, για τα οποία κατασκευάστηκαν οι κοκκομετρικές καμπύλες τους με την εξής διαδικασία:

Αρχικά, πήραμε από καθένα από τα είδη των αδρανών, δηλαδή από το γαρπίλι και την άμμο, ποσότητα περίπου 40 kg. Κάναμε τετραμερισμό του δείγματος, δηλαδή αφού ανακατέψαμε το γαρπίλι, το χωρίσαμε σε 4 ίσα μέρη και επαναλάβαμε τη διαδικασία για το 1/4 της συνολικής ποσότητας του αδρανούς, λαμβάνοντας ως τελικό δείγμα το 1/16 της αρχικής ποσότητας. Αυτό το δείγμα πλύθηκε με νερό μέσα σε κόσκινο Νο200, ώστε να αφαιρεθεί η παιπάλη, δηλαδή οι κόκκοι με διάμετρο μικρότερη από 0,075 mm. Στη συνέχεια ξηράθηκε και υποβλήθηκε σε κοκκομετρική διαβάθμιση στα Αμερικάνικα πρότυπα κόσκινα που διαθέτει το εργαστήριο Οδοποιίας του Ε.Μ.Π. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής διαβάθμισης της

άμμου. Οι κοκκομετρικές καμπύλες σχεδιάστηκαν και φαίνονται στα σχήματα 7-2 και 7-3.

| ΓΑΡΜΠΙΛΙ                        |              |                     |                  |        |
|---------------------------------|--------------|---------------------|------------------|--------|
| Πρότυπο μέγεθος κόσκινου, σε mm | Αρ. κόσκινου | Συγκρατούμενο βάρος | Διερχόμενο βάρος |        |
|                                 |              | gr                  | gr               | %      |
| 25,00                           | 1"           | 0,00                | 2998,37          | 100,00 |
| 19,00                           | 3/4"         | 0,00                | 2998,37          | 100,00 |
| 16,00                           | 5/8"         | 0,00                | 2998,37          | 100,00 |
| 12,50                           | 1/2"         | 43,05               | 2955,32          | 98,56  |
| 9,50                            | 3/8"         | 1370,53             | 1584,79          | 52,86  |
| 6,30                            | 1/4"         | 1243,32             | 341,47           | 11,39  |
| 4,75                            | No4          | 252,36              | 89,11            | 2,97   |
| 2,36                            | No8          | 74,57               | 14,54            | 0,48   |
| 1,18                            | No16         | 0,27                | 14,27            | 0,48   |
| 0,60                            | No30         | 0,09                | 14,18            | 0,47   |
| 0,30                            | No50         | 0,10                | 14,08            | 0,47   |
| 0,15                            | No100        | 0,33                | 13,75            | 0,46   |
| 0,075                           | No200        | 1,08                | 12,67            | 0,42   |
|                                 | Παιπάλη      | 12,67               | 0,00             | 0,00   |
|                                 | Ολικό βάρος  | 2998,37             |                  |        |

**Πίνακας 7-3:** Στοιχεία της κοκκομετρικής διαβάθμισης του γαρμπιλιού.



**Σχήμα 7-2:** Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης γαρμπιλιού

| ΑΜΜΟΣ                              |             |                     |                  |        |
|------------------------------------|-------------|---------------------|------------------|--------|
| Πρότυπο μέγεθος<br>κόσκινου, σε mm | Αρ.κόσκινου | Συγκρατούμενο βάρος | Διερχόμενο βάρος |        |
|                                    |             | αr                  | αr               | %      |
| 25,00                              | 1"          | 0,00                | 2492,07          | 100,00 |
| 19,00                              | 3/4"        | 0,00                | 2492,07          | 100,00 |
| 16,00                              | 5/8"        | 0,00                | 2492,07          | 100,00 |
| 12,50                              | 1/2"        | 0,00                | 2492,07          | 100,00 |
| 9,50                               | 3/8"        | 0,00                | 2492,07          | 100,00 |
| 6,30                               | 1/4"        | 0,00                | 2492,07          | 100,00 |
| 4,75                               | No4         | 0,00                | 2492,07          | 100,00 |
| 2,36                               | No8         | 561,03              | 1931,04          | 77,49  |
| 1,18                               | No16        | 673,50              | 1257,54          | 50,46  |
| 0,60                               | No30        | 617,48              | 640,06           | 25,68  |
| 0,30                               | No50        | 292,18              | 347,88           | 13,96  |
| 0,15                               | No100       | 217,84              | 130,04           | 5,22   |
| 0,075                              | No200       | 126,48              | 3,56             | 0,14   |
|                                    | Παιτάλη     | 3,56                | 0,00             | 0,00   |
|                                    | Ολικό βάρος | 2492,07             |                  |        |

**Πίνακας 7-4:** Στοιχεία της κοκκομετρικής διαβάθμισης της άμμου.



**Σχήμα 7-3:** Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης άμμου.

## 2.2. Προσδιορισμός της πυκνότητας των αδρανών

Η εύρεση των πυκνοτήτων των αδρανών έγινε με τη μέθοδο του πυκνόμετρου, σύμφωνα με το πρότυπο EN 1097-6:2000. Η μέθοδος αυτή διαφοροποιείται ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων των αδρανών. Συνεπώς, προσδιορίσαμε χωριστά τις πυκνότητες και την υδατοπορρόφηση του γαρμπιλιού και της άμμου με τη μεθοδολογία που περιγράφεται ακολούθως.

### • Μέθοδος πυκνόμετρου για αδρανή με κόκκους διαμέτρου από 4 mm έως 31,5 mm (γαρμπίλι)

Η δειγματοληψία των αδρανών γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο EN 932-1 και ο προσδιορισμός των πυκνοτήτων με το EN 932-2, με τη διαφορά ότι αντί του κόσκινου ανοίγματος 0,063 mm χρησιμοποιήθηκε το Αμερικανικό κόσκινο Νο 200, ανοίγματος 0,075 mm.

Αρχικά, η προετοιμασία των αδρανών περιλαμβάνει πλύσιμο αυτών με νερό μέσα σε κόσκινο Νο200 ώστε να αφαιρεθεί η παχιά, δηλαδή οι κόκκοι με διάμετρο μικρότερη από 0,075 mm. Έπειτα, το δείγμα βυθίζεται σε νερό θερμοκρασίας  $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$  και παραμένει εκεί περίπου για  $(24 \pm 0,5)$  h, ώστε το αδρανές να απορροφήσει νερό και να κορεστούν οι πόροι του. Μετά το πέρας των 24 h, τοποθετούμε τα κορεσμένα αδρανή σε πυκνόμετρο, γεμίζουμε το πυκνόμετρο με νερό και αφαιρούμε τον εγκλωβισμένο αέρα, χτυπώντας το απαλά σε μια σταθερή θέση. Τοποθετούμε το σκέπασμα στο πυκνόμετρο και προσθέτουμε νερό μέχρι τη χαρακτηριστική στάθμη του πυκνόμετρου, προσέχοντας να μην εγκλωβιστεί αέρας. Σκουπίζουμε εξωτερικά το πυκνόμετρο και το ζυγίζουμε. Η μάζα αυτή είναι η μάζα του δείγματος των κορεσμένων αδρανών μαζί με νερό,  $M_2$ .

Στη συνέχεια, αποστραγγίζουμε προσεκτικά τα αδρανή, ώστε να μη χάσουμε ποσότητα από το δείγμα, και σκουπίζουμε απαλά τους κόκκους με μια πετσέτα, μακριά από πηγή θερμότητας και ήλιο, έως ότου αφαιρεθεί από τους κόκκους η επιφανειακή υγρασία, ενώ θα έχουν παραμείνει εσωτερικά κορεσμένοι. Ζυγίζουμε το δείγμα και η μάζα που προκύπτει είναι η μάζα του κορεσμένου και επιφανειακά στεγνού δείγματος,  $M_1$ . Έπειτα, τοποθετούμε το δείγμα στο φούρνο σε θερμοκρασία  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  και το

ξηραίνουμε μέχρι σταθερότητας της μάζας του. Το ζυγίζουμε και η μάζα αυτή είναι η μάζα των ξηραμένων στο φούρνο αδρανών,  $M_4$ .

Τέλος, γεμίζουμε το πυκνόμετρο με νερό, αφαιρούμε τον αέρα, το στεγνώνουμε εξωτερικά και ζυγίζουμε τη μάζα του με το νερό,  $M_3$ .

Υπολογίζουμε τις πυκνότητες με εφαρμογή των ακόλουθων σχέσεων:

$$\rho_s = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \quad \rho_m = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad WA_{24} = \frac{(M_2 - M_3)}{M_3} * 100\%$$

όπου,  $M_1$  = η μάζα των κορεσμένων-επιφανειακά στεγνών αδρανών, σε gr.

$M_2$  = η μάζα του πυκνόμετρου με τα κορεσμένα αδρανή και νερό, σε gr.

$M_3$  = η μάζα πυκνόμετρου με νερό μόνο, σε gr.

$M_4$  = η μάζα των ξηραμένων στο φούρνο αδρανών, σε gr.

$\rho_o$  = η φαινόμενη πυκνότητα των αδρανών, σε  $Mgr/m^3$ .

$\rho_m$  = η πυκνότητα των ξηραμένων στο φούρνο αδρανών, σε  $Mgr/m^3$ .

$\rho_{ssd}$  = η πυκνότητα των κορεσμένων-επιφανειακά στεγνών αδρανών, σε  $Mgr/m^3$ .

$WA_{24}$  = η υδαταπορρόφηση των αδρανών, σε ποσοστό %.

Οι τιμές των πυκνοτήτων που θα υπολογιστούν πρέπει να επαληθεύουν τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\rho_{ssd} \approx 1 + \rho_o - \frac{\rho_m}{\rho_w} \quad (\text{Έλεγχος 1})$$

$$WA = 100 \left[ \frac{1}{\rho_w} - \frac{1}{\rho_s} \right] \quad (\text{Έλεγχος 2})$$

$$WA = 100 \left[ \frac{\rho_{ssd}}{\rho_w} - 1 \right] \quad (\text{Έλεγχος 3})$$

$$WA = 100 \left[ \frac{1 - \frac{\rho_{ssd}}{\rho_u}}{\rho_{ssd} - 1} \right] \quad (\text{Έλεγχος 4})$$

Αφού μετρήθηκαν οι μάζες  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  και  $M_4$ , υπολογίστηκαν οι πυκνότητες και η υδαταπορρόφηση του γαρμπιλιού, έγιναν οι έλεγχοι και τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

| A          | B          | C          | D          | E                                | F                                   | G                                    | H                  | I                          | J                          | K                          | L                          |
|------------|------------|------------|------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $M_1$ [gr] | $M_2$ [gr] | $M_3$ [gr] | $M_4$ [gr] | $\rho_u$<br>[Mg/m <sup>3</sup> ] | $\rho_{rd}$<br>[Mg/m <sup>3</sup> ] | $\rho_{ssd}$<br>[Mg/m <sup>3</sup> ] | WA <sub>24</sub> % | Έλεγχος 1<br>Πρέπει<br>I=G | Έλεγχος 2<br>Πρέπει<br>J=H | Έλεγχος 3<br>Πρέπει<br>K=H | Έλεγχος 4<br>Πρέπει<br>L=H |
| 155,06     | 774,44     | 677,60     | 153,66     | 2,7043                           | 2,6393                              | 2,6633                               | 0,9111             | 2,6633                     | 0,9111                     | 0,9111                     | 0,9111                     |

**Πίνακας 7-5:** Οι έλεγχοι και τα αποτελέσματα των μετρήσεων της μεθόδου του πυκνόμετρου για το γαρμπίλι.

• **Μέθοδος πυκνόμετρου για αδρανή με κόκκους διαμέτρου από 0,075 mm έως 4 mm (άμμος)**

Η δειγματοληψία των αδρανών γίνεται σύμφωνα με το EN 932-1 και η αναγωγή σε πυκνότητες με το EN 932-2.

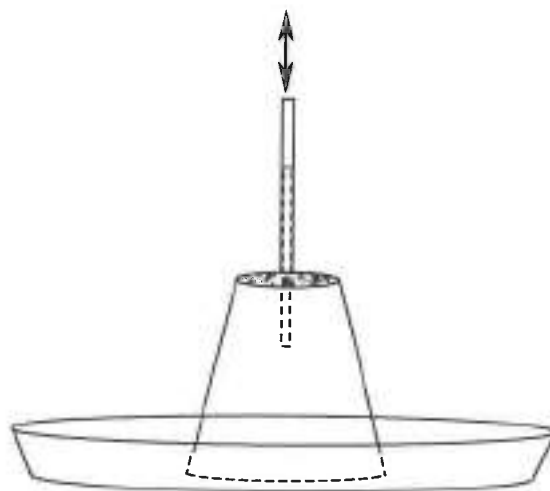
Η προετοιμασία των αδρανών, και στην περίπτωση της άμμου όπως και στο γαρμπίλι, περιλαμβάνει πλύσιμο αυτών με νερό μέσα σε κόσκινο Νο200, ώστε να αφαιρεθεί η πηλόαλη. Έπειτα, το δείγμα βυθίζεται σε νερό θερμοκρασίας  $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$  και παραμένει εκεί περίπου για  $(24 \pm 0,5)$  h, ώστε το αδρανές να απορροφήσει νερό και να κορεστούν οι πόροι του. Μετά το πέρας των 24 h, τοποθετούμε τα κορεσμένα αδρανή σε πυκνόμετρο, γεμίζουμε με νερό και αφαιρούμε τον εγκλωβισμένο αέρα, χτυπώντας το απαλά σε μια σταθερή θέση. Τοποθετούμε το σκέπασμα στο πυκνόμετρο και το γεμίζουμε νερό μέχρι τη χαρακτηριστική στάθμη του, προσέχοντας να μην εγκλωβιστεί αέρας. Σκουπίζουμε εξωτερικά το πυκνόμετρο και το ζυγίζουμε. Η μάζα αυτή είναι η μάζα του δείγματος των κορεσμένων αδρανών μαζί με νερό,  $M_2$ .

Στη συνέχεια, αποστραγγίζουμε προσεκτικά τα αδρανή, ώστε να μη χάσουμε ποσότητα από το δείγμα και το απλώνουμε σε έναν επίπεδο μεταλλικό δίσκο.

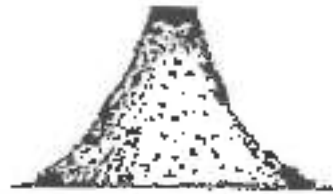
Στεγνώνουμε επικρانيةκά την άμμο εφαρμόζοντας θερμό αέρα και αναδεύοντας συγχρόνως το δείγμα, ώστε να αφαιρεθεί όλη η επικρانيةκή υγρασία των αδρανών, να μην παρουσιάζουν υγρή όψη και οι κόκκοι να μην προσκολλώνται μεταξύ τους σχηματίζοντας ουσσωματώματα.

Για να διαπιστώσουμε ότι έχει επιτευχθεί στον επιθυμητό βαθμό το στέγνωμα της άμμου ακολουθούμε την εξής δοκιμή:

Τοποθετούμε ένα πρότυπο μεταλλικό καλούπι σχήματος κόλαυρου κώνου με τη μεγάλη διάμετρο σε επαφή με το δίσκο, όπως φαίνεται στο σχήμα 7-4. Γεμίζουμε τον κώνο με το δείγμα και με μια μεταλλική ράβδο πιέζουμε ελαφρώς την επικρانية του δείγματος 25 φορές. Δεν συμπληρώνουμε δείγμα μετά τα 25 χτυπήματα. Αφαιρούμε προσεκτικά το καλούπι και το δείγμα σχηματίζει έναν κώνο. Το δείγμα πρέπει να είναι της μορφής του σχήματος 7-5(γ). Αν το δείγμα παρουσιάζει τη μορφή των σχημάτων 7-5(α), (β), (δ), τότε απαιτείται περαπέρω στέγνωμα του δείγματος και επανάληψη της δοκιμής με τον κώνο, μέχρι το δείγμα να είναι επικρانيةκά επαρκώς στεγνό, ενώ θα έχει παραμείνει εσωτερικά κορεσμένα.



**Σχήμα 7-4:** Συμπύκνωση άμμου με πρότυπο τρόπο.



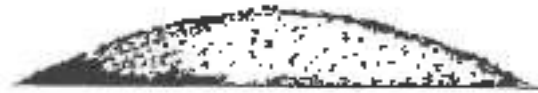
(α) Ψερό αδρανή: Παρατηρούν σχεδόν το σφαιρικό σχήμα των μεταλλικών εδαικτιπών



(β) Αδρανή ελαφρώς υγρά: Παρατηρείται εμφανής αόθια του υλικού.



(γ) Κορεσμένα, επιφανειακά στεγνά αδρανή: Ξηρές ολική ημερησία επώρυξη υλικού με εμφανή αόθια και αόθια που σχηματίζουν γωνίες.



(δ) Στεγνά αδρανή: Δεν υπάρχει πλέον κορυφή και η εξωτερική γραμμή είναι σχεδόν καμαυλή.

**Σχήμα 7-5:** Τυπικά σχήματα των κορεσμένων και επιφανειακά στεγνών λεπτόκοκκων αδρανών.

Ζυγίζουμε το δείγμα και η μάζα που προκύπτει είναι η μάζα του κορεσμένου και επιφανειακά στεγνού δείγματος,  $M_1$ . Έπειτα, τοποθετούμε το δείγμα στο φούρνο σε θερμοκρασία  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  και το ξηραίνουμε μέχρι σταθερότητας της μάζας του. Το ζυγίζουμε και η μάζα αυτή είναι η μάζα των ξηραμένων στο φούρνο αδρανών,  $M_4$ .

Τέλος, γεμίζουμε το πυκνόμετρο με νερό, αφαιρούμε τον αέρα, στεγνώνουμε εξωτερικά και ζυγίζουμε τη μάζα του πυκνόμετρου με το νερό,  $M_3$ .

Υπολογίζουμε τις πυκνότητες με εφαρμογή των ίδιων σχέσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των πυκνοτήτων του γαρμπιλιού.

Αφού μετρήθηκαν οι μάζες  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  και  $M_4$ , υπολογίστηκαν οι πυκνότητες και η υδαταπορρόφηση της άρμυ, έγιναν οι έλεγχοι και τα αποτελέσματα φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

| A          | B          | C          | D          | E                                 | F                                    | G                                             | H                  | I                          | J                          | K                          | L                          |
|------------|------------|------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $M_1$ [gr] | $M_2$ [gr] | $M_3$ [gr] | $M_4$ [gr] | $\rho_0$<br>[Mgr/m <sup>3</sup> ] | $\rho_{10}$<br>[Mgr/m <sup>3</sup> ] | $\rho_{\text{ρεστ}}$<br>[Mgr/m <sup>3</sup> ] | WA <sub>24</sub> % | Έλεγχος 1<br>Πρέπει<br>I=G | Έλεγχος 2<br>Πρέπει<br>J=H | Έλεγχος 3<br>Πρέπει<br>K=H | Έλεγχος 4<br>Πρέπει<br>L=H |
| 339,19     | 882,12     | 677,38     | 333,10     | 2,5950                            | 2,4775                               | 2,5228                                        | 1,8283             | 2,5228                     | 1,8283                     | 1,8283                     | 1,8283                     |

**Πίνακας 7-6:** Οι έλεγχοι και τα αποτελέσματα των μετρήσεων της μεθόδου του πυκνόμετρου για την άμμο.

### 2.3. Προσδιορισμός της πυκνότητας του ρευστοποιητικού

Για την εύρεση της πυκνότητας του ρευστοποιητικού που χρησιμοποιήθηκε στα μίγματα, γεμίζουμε έναν ογκομετρικό σωλήνα με ρευστοποιητικό μέχρι μια χαρακτηριστική στάθμη και το ζυγίζουμε ( $M_1$ ). Έπειτα, αφού αδειάσουμε το ρευστοποιητικό, γεμίζουμε τον ίδιο σωλήνα με νερό μέχρι την ίδια στάθμη και ζυγίζουμε ( $M_2$ ). Επίσης, ζυγίζουμε το σωλήνα άδαιο ( $M_3$ ). Η μάζα του νερού ( $M_2 - M_3$ ) είναι ίση με τον όγκο του νερού, άρα και του ρευστοποιητικού, αφού  $\rho_{\text{νερού}} = 1 \text{ Mgr/m}^3$ .

Η πυκνότητα του ρευστοποιητικού προκύπτει ως εξής:

$$\rho_{\text{ρεστ.}} = \frac{M_1}{M_2 - M_3} = \frac{86,87}{84,60 - 34,88} = 1,046 \text{ Mgr/m}^3.$$

## 3. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Οι αναλογίες σύνθεσης προέκυψαν με χρήση της θεμελιώδους σχέσης:

$$\frac{T}{\gamma_T} + \frac{N_{\text{eff}}}{\gamma_N} + \frac{N_{\text{υγρ}}}{\gamma_N} + \frac{A}{\gamma_A} + \frac{\Gamma}{\gamma_{\Gamma}} + \alpha = 1$$

όπου,  $T$  = η ποσότητα του τσιμέντου, σε kg/m<sup>3</sup>.

$N_{\text{eff}}$  = η ποσότητα του ενεργού νερού, σε kg/m<sup>3</sup>.

$A$  = η ποσότητα της άμμου, σε kg/m<sup>3</sup>.

$\Gamma$  = η ποσότητα του γαρμηνιού, σε kg/m<sup>3</sup>.

$\alpha$  = το ποσοστό του αέρα που περιέχεται στα νωπὸ σκυρόδεμα  $\approx 1\%$ .

$\gamma_T$  = το ειδικό βάρος του τσιμέντου, σε  $\text{kg/m}^3$ .

$\gamma_N$  = το ειδικό βάρος του νερού =  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

$\gamma_A$  = το ειδικό βάρος της κορεσμένης-επιφανειακά στεγνής άμμου, σε  $\text{kg/m}^3$ .

$\gamma_r$  = το ειδικό βάρος του κορεσμένου-επιφανειακά στεγνού γαρμπιλιού, σε  $\text{kg/m}^3$ .

Στην παραπάνω σχέση εισάγεται χωριστά το ενεργό νερό, το οποίο δεσμεύεται χημικά από το τσιμέντο και σχηματίζει το τσιμεντοπολτό, από το απορροφούμενο που διεισδύει στους πόρους των αδρανών και δε συμμετέχει στην ενυδάτωση του τσιμέντου. Το απορροφούμενο νερό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_{\text{απορ}} = \frac{\Gamma * \kappa\delta\alpha\tau\alpha\pi\omicron\rho\eta\rho\acute{\omicron}\psi\eta_{\Gamma} + A * \kappa\delta\alpha\tau\alpha\pi\omicron\rho\eta\rho\acute{\omicron}\psi\eta_A}{100}$$

Όσον αφορά τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν, η σύνθεση γαρμπιλιού και άμμου έγινε με λόγο  $\Gamma/A=1/2$ . Επίσης, επιδιώξαμε να διατηρήσουμε την ποσότητα του τσιμεντοπολτού περίπου σταθερή για όλα τα μίγματα που παρασκευάστηκαν.

Έτσι, με γνωστό το λόγο  $N_{\text{eff}}/T$  (0.4, 0.5, 0.6 και 0.7), την ποσότητα τσιμεντοπολτού  $N_{\text{eff}}+T$  και το λόγο  $\Gamma/A$  βρίσκουμε τις ποσότητες  $\Gamma$ ,  $A$ ,  $T$ ,  $N_{\text{eff}}$  και  $N_{\text{απορ}}$  που αντιστοιχούν σε  $1 \text{ m}^3$  σκυροδέματος. Για την παρασκευή 18 περίπου δοκιμίων από κάθε μίγμα σκυροδέματος έγινε αναγωγή των παραπάνω αναλογιών στον απαιτούμενο όγκο και οι υπολογισμοί τους παρουσιάζονται σε διπλανή στήλη.

Μίγμα Α με λόγο  $N/T=0,6$

|                 |                   |                                      |                                  |
|-----------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Υλικά μίγματος: | Τσιμέντο          | $\Rightarrow 291,03 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 2840,0 \text{ gr}$  |
|                 | Άμμος             | $\Rightarrow 1289,23 \text{ kg/m}^3$ | $\Rightarrow 12581,0 \text{ gr}$ |
|                 | Γαρμπίλι          | $\Rightarrow 592,51 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 5782,0 \text{ gr}$  |
|                 | Απορροφημένο νερό | $\Rightarrow 28,97 \text{ kg/m}^3$   | $\Rightarrow 282,7 \text{ gr}$   |
|                 | Ενεργό νερό       | $\Rightarrow 166,55 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 1625,3 \text{ gr}$  |
|                 | Ρευστοποιητικό    | $\Rightarrow 2,29 \text{ kg/m}^3$    | $\Rightarrow 22,3 \text{ gr}$    |
|                 |                   |                                      | <u>23133,3 gr</u>                |

Ποσότητα τσιμεντοπολτού ( $N_{\text{eff}} + T$ ):  $457,58 \text{ kg/m}^3$

Μίγμα Β με λόγο  $N/T=0,4$ 

|                 |                   |                                      |                                  |
|-----------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Υλικά μίγματος: | Τσιμέντο          | $\Rightarrow 339,64 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 3988,0 \text{ gr}$  |
|                 | Άμμος             | $\Rightarrow 1289,66 \text{ kg/m}^3$ | $\Rightarrow 15143,0 \text{ gr}$ |
|                 | Γαρμπίλι          | $\Rightarrow 650,15 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 7634,0 \text{ gr}$  |
|                 | Απορροφημένο νερό | $\Rightarrow 29,50 \text{ kg/m}^3$   | $\Rightarrow 346,4 \text{ gr}$   |
|                 | Ενεργό νερό       | $\Rightarrow 127,03 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 1491,6 \text{ gr}$  |
|                 | Ρευστοποιητικό    | $\Rightarrow 3,68 \text{ kg/m}^3$    | $\Rightarrow 43,2 \text{ gr}$    |
|                 |                   |                                      | <u>28646,2 gr</u>                |

Ποσότητα τσιμεντοπολτού ( $N_{\text{eff}} + T$ ):  $466,67 \text{ kg/m}^3$ Μίγμα Γ με λόγο  $N/T=0,5$ 

|                 |                   |                                      |                                  |
|-----------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Υλικά μίγματος: | Τσιμέντο          | $\Rightarrow 308,68 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 3874,1 \text{ gr}$  |
|                 | Άμμος             | $\Rightarrow 1262,57 \text{ kg/m}^3$ | $\Rightarrow 15846,0 \text{ gr}$ |
|                 | Γαρμπίλι          | $\Rightarrow 631,28 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 7923,0 \text{ gr}$  |
|                 | Απορροφημένο νερό | $\Rightarrow 28,83 \text{ kg/m}^3$   | $\Rightarrow 361,9 \text{ gr}$   |
|                 | Ενεργό νερό       | $\Rightarrow 154,34 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 1937,1 \text{ gr}$  |
|                 | Ρευστοποιητικό    | $\Rightarrow 4,58 \text{ kg/m}^3$    | $\Rightarrow 57,5 \text{ gr}$    |
|                 |                   |                                      | <u>29999,6 gr</u>                |

Ποσότητα τσιμεντοπολτού ( $N_{\text{eff}} + T$ ):  $463,02 \text{ kg/m}^3$ Μίγμα Δ με λόγο  $N/T=0,7$ 

|                 |                   |                                      |                                  |
|-----------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Υλικά μίγματος: | Τσιμέντο          | $\Rightarrow 287,69 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 3724,7 \text{ gr}$  |
|                 | Άμμος             | $\Rightarrow 1199,50 \text{ kg/m}^3$ | $\Rightarrow 15530,0 \text{ gr}$ |
|                 | Γαρμπίλι          | $\Rightarrow 599,74 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 7764,9 \text{ gr}$  |
|                 | Απορροφημένο νερό | $\Rightarrow 27,39 \text{ kg/m}^3$   | $\Rightarrow 354,7 \text{ gr}$   |
|                 | Ενεργό νερό       | $\Rightarrow 201,38 \text{ kg/m}^3$  | $\Rightarrow 2607,2 \text{ gr}$  |
|                 | Ρευστοποιητικό    | $\Rightarrow 1,44 \text{ kg/m}^3$    | $\Rightarrow 18,6 \text{ gr}$    |
|                 |                   |                                      | <u>30000,1 gr</u>                |

Ποσότητα τσιμεντοπολτού ( $N_{\text{eff}} + T$ ):  $489,07 \text{ kg/m}^3$

#### 4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Για την παρασκευή των δοκιμίων ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά έγινε διαβροχή του αναμικτήρα και των λεπίδων του, ώστε να μην απορροφήσουν ποσότητα νερού από το μίγμα, και αναμίχθηκε όλη η ποσότητα της άμμου και του γαρμπιλιού με το μισό νερό. Μετά την πρώτη ανάμιξη, για περίπου 3 min, το μίγμα παρέμεινε σκεπασμένο με νάilon, για την αποφυγή εξάτμισης του νερού, για σχεδόν 15 min. Στο διάστημα αυτό, τα αδρανή απορροφούν το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας που μπορούν και καθίστανται με αυτόν τον τρόπο τελείως κορεσμένα, δηλαδή τα αδρανή απορρόφησαν το  $N_{\text{απερ}}$  που υπολογίστηκε από τις υδατοπορροφήσεις των αδρανών. Κατόπιν, προστέθηκαν το υπόλοιπο νερό και όλα τα τσιμέντο και αναμίχθηκαν μέχρι να προκύψει ένα ομοιογενές μίγμα. Τέλος, προστέθηκε επαρκής ποσότητα ρευστοποιητικού, ώστε ανάλογα και με το λόγο  $N/T$ , το μίγμα να είναι ικανοποιητικό εργάσιμο.

Το μίγμα τοποθετήθηκε σε κυλινδρικές μήτρες από PVC, διαμέτρου 12 cm και ύψους περίπου 5,5 cm, αφού προηγήθηκε επάλειψή τους με γράσο, και συμπυκνώθηκε στη δονητική τράπεζα για 15-25 sec, ανάλογα με το εργάσιμο του μίγματος. Κατόπιν, επιπεδώθηκε η ελεύθερη επιφάνεια με μυστρί και τα καλούπια τοποθετήθηκαν σε οριζόντια θέση, σε συνήθεις συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας, όπου και καλύφθηκαν με νάilon. Εκεί παρέμειναν για 24 h και έπειτα ακολούθησε ξεκαλούπωμα και καθαρισμός των δοκιμίων από τρίμματα σκυραδέματος.

##### 4.1. Προσδιορισμός της πυκνότητας των μιγμάτων

- Πειραματικός προσδιορισμός μετρούμενης πυκνότητας

Κατά την παρασκευή των μιγμάτων προσδιορίσθηκε με πειραματικό τρόπο η πυκνότητα του σκυραδέματος. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε μια κυλινδρική μήτρα από PVC, με διαστάσεις παραπλήσιες με αυτές των καλουπών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμίων, και ένα επίπεδο κομμάτι γυαλιού.

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για τον προσδιορισμό της πυκνότητας είναι η εξής: Ζυγίζουμε το καλούπι μαζί με το γυαλί και προσδιορίζουμε το νεκρό βάρος  $M_0$ .

Έπειτα, γεμίζουμε το καλούπι με νερό και τοποθετούμε προσεκτικά το γυαλί πάνω του, ώστε να μη μείνει αέρας μέσα στο καλούπι. Στεγνώνουμε το καλούπι και το γυαλί εξωτερικά, ζυγίζουμε, και προσδιορίζουμε τη μάζα της μήτρας με το νερό,  $M_{\text{νερ.}}$ . Η μάζα αυτή, σε kg, μας δίνει τον όγκο του καλουπιού, σε  $10^{-3} \text{ m}^3$ , αφού η πυκνότητα του νερού είναι  $\rho_{\text{νερού}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ . Γεμίζουμε επαρκώς τη μήτρα με σκυρόδεμα, συμπυκνώνουμε με τον ίδιο τρόπο που συμπυκνώθηκαν και τα δοκίμια κατά την παράσκευή τους και τοποθετούμε το γυαλί πάνω στη μήτρα, προσέχοντας να μη μείνει αέρας μέσα στη μάζα του σκυροδέματος. Καθαρίζουμε εξωτερικά τη μήτρα και ζυγίζουμε τη μάζα της μήτρας με το σκυρόδεμα,  $M_{\text{σκυρ.}}$ . Η μετρούμενη πυκνότητα προκύπτει ως ο λόγος της μετρούμενης μάζας του σκυροδέματος προς τον όγκο του, ως εξής:

$$\rho_{\mu} = \frac{M_{\text{σκυρ.}} - M_0}{M_{\text{νερ.}} - M_0}$$

Επαναλάβαμε την ίδια διαδικασία δύο φορές για το κάθε μίγμα, προκειμένου να βγάλουμε μια μέση τιμή για τη μετρούμενη πυκνότητα και να ελαχιστοποιήσουμε τυχόν σφάλμα. Τα αποτελέσματα για τις δύο επαναλήψεις φαίνονται στον πίνακα 7-7.

| ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΜΙΓΜΑΤΩΝ                  |                          |                          |                          |                          |
|------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                                | Μίγμα Α<br>Λόγος Ν/Τ=0,6 | Μίγμα Β<br>Λόγος Ν/Τ=0,4 | Μίγμα Γ<br>Λόγος Ν/Τ=0,5 | Μίγμα Δ<br>Λόγος Ν/Τ=0,7 |
| $\rho_{\text{μίστ.}} (10^{-3} \text{ kg/m}^3)$ | 2,413                    | 2,430                    | 2,426                    | 2,380                    |
|                                                | 2,388                    | 2,427                    | 2,411                    | 2,375                    |

**Πίνακας 7-7:** Πίνακας παρουσίασης μετρούμενης πυκνότητας μιγμάτων.

#### • Υπολογισμός θεωρητικής πυκνότητας

Η θεωρητική πυκνότητα των μιγμάτων υπολογίστηκε με βάση τις αναλογίες σύνθεσής τους. Ο υπολογισμός έγινε με αναγωγή των μαζών των συστατικών σε όγκους, με τη βοήθεια των πυκνοτήτων που γνωρίζουμε, π.χ. νερό, τσιμέντο, ή προσδιορίζουμε πειραματικά, π.χ. γαρμπίλι, άμμος, ρευστοποιητικό. Έτσι για κάθε μίγμα ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία υπολογισμού της θεωρητικής πυκνότητας:

## Μίγμα Α με λόγο Ν/Τ=0,6

$$2.840,0 \text{ gr τσιμέντου καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{2840,0 \text{ gr}}{2,980 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 0,953 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$12.581,0 \text{ gr άμμου καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{12581,0 \text{ gr}}{2,523 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 4,987 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$5.782,0 \text{ gr γαρμπιλιού καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{5782,0 \text{ gr}}{2,663 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 2,171 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$1.625,3 \text{ gr ενεργού νερού καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{1625,3 \text{ gr}}{1,000 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 1,625 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$22,3 \text{ gr ρευστοποιητικού καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{22,3 \text{ gr}}{1,046 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 0,021 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$23.133,3 \text{ gr μίγματος καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow 9,758 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \rho_A^{\text{m}} = \frac{M_A^{\text{m}}}{V_A^{\text{m}}} = \frac{23133,3 \text{ gr}}{9,758 * 10^{-3} \frac{\text{Kgr}}{\text{m}^3}} = 2,371 * 10^{-3} \text{ kgr/m}^3$$

## Μίγμα Β με λόγο Ν/Τ=0,6

$$3.988,0 \text{ gr τσιμέντου καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{3988,0 \text{ gr}}{2,980 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 1,338 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$15.143,0 \text{ gr άμμου καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{15143,0 \text{ gr}}{2,523 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 6,002 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$7.634,0 \text{ gr γαρμπιλιού καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{7634,0 \text{ gr}}{2,663 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 2,866 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$1.491,6 \text{ gr ενεργού νερού καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{1491,6 \text{ gr}}{1,000 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 1,492 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$43,2 \text{ gr ρευστοποιητικού καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{43,2 \text{ gr}}{1,046 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 0,041 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$28.646,2 \text{ gr μίγματος καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow 11,740 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\Leftrightarrow \rho_{\text{μ}}^{\text{μ}} = \frac{M_{\text{μ}}^{\text{μ}}}{V_{\text{μ}}^{\text{μ}}} = \frac{28646,2 \text{ gr}}{11,740 * 10^{-3} \frac{\text{Kgr}}{\text{m}^3}} = 2,440 * 10^{-3} \text{ kgr/m}^3$$

Μίγμα Γ με λόγο N/T=0,5

$$3.874,1 \text{ gr τσιμέντου καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{3874,1 \text{ gr}}{2,980 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 1,300 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$15.846,0 \text{ gr άμμου καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{15846,0 \text{ gr}}{2,523 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 6,281 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$7.923,0 \text{ gr γαρμπιλιού καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{7923,0 \text{ gr}}{2,663 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 2,975 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$1937,1 \text{ gr ενεργού νερού καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{1937,1 \text{ gr}}{1,000 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 1,937 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$57,5 \text{ gr ρευστοποιητικού καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow \frac{57,5 \text{ gr}}{1,046 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 0,055 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$29.999,6 \text{ gr μίγματος καταλαμβάνουν όγκο} \Rightarrow 12,548 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\Leftrightarrow \rho_{\text{Γ}}^{\text{μ}} = \frac{M_{\text{Γ}}^{\text{μ}}}{V_{\text{Γ}}^{\text{μ}}} = \frac{29999,6 \text{ gr}}{12,548 * 10^{-3} \frac{\text{Kgr}}{\text{m}^3}} = 2,391 * 10^{-3} \text{ kgr/m}^3$$

Μίγμα Δ με λόγο Ν/Τ=0,7

$$3.724,7 \text{ gr τσιμέντου καταλαμβάνουν όγκο} \quad \Leftrightarrow \frac{3724,7 \text{ gr}}{2,980 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 1,250 * 10^{-3} \text{m}^3$$

$$15.530,0 \text{ gr άμμου καταλαμβάνουν όγκο} \quad \Leftrightarrow \frac{15530,0 \text{ gr}}{2,523 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 6,156 * 10^{-3} \text{m}^3$$

$$7.764,9 \text{ gr γαρμπιλιού καταλαμβάνουν όγκο} \quad \Leftrightarrow \frac{7764,9 \text{ gr}}{2,663 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 2,916 * 10^{-3} \text{m}^3$$

$$2607,2 \text{ gr ενεργού νερού καταλαμβάνουν όγκο} \quad \Leftrightarrow \frac{2607,2 \text{ gr}}{1,000 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 2,607 * 10^{-3} \text{m}^3$$

$$18,6 \text{ gr ρευστοποιητικού καταλαμβάνουν όγκο} \quad \Leftrightarrow \frac{18,6 \text{ gr}}{1,046 * 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = 0,018 * 10^{-3} \text{m}^3$$

$$30.000,1 \text{ gr μίγματος καταλαμβάνουν όγκο} \quad \Leftrightarrow \quad 12,946 * 10^{-3} \text{m}^3$$

$$\Leftrightarrow \rho_s^{\text{μν}} = \frac{M_s^{\text{μν}}}{V_s^{\text{μν}}} = \frac{30000,1 \text{ gr}}{12,946 * 10^3 \frac{\text{Kgr}}{\text{m}^3}} = 2,317 * 10^{-3} \text{kg/m}^3$$

## 5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Τα 70 δοκίμια μετά το ξεκαλούπωμά τους και αφού αριθμήθηκαν και ζυγίστηκαν, τυλίχθηκαν σε νάιλον σακούλες, ώστε να μη χάσουν την περιεχόμενη υγρασία τους. Στη συνέχεια, συντηρήθηκαν για 31 ημέρες στον υγρό θάλαμο του εργαστηρίου Οδοποιίας του Ε.Μ.Π., σε συνθήκες σχετικής υγρασίας  $\geq 95\%$  και θερμοκρασίας  $18 \pm 2^\circ \text{C}$ , ώστε να επιτευχθεί η ενυδάτωση του μεγαλύτερου ποσοστού του τσιμέντου του μίγματος και να αναπτυχθεί το μεγαλύτερο ποσοστό της τελικής αντοχής του.

Τα δοκίμια μετά την 31<sup>η</sup> ημέρα συντήρησής τους στον υγρό θάλαμο υποβλήθηκαν στις παρακάτω δοκιμές σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα διεξαγωγής των πειραμάτων που παρουσιάζεται στον πίνακα 7-2:

- α. Δοκιμή θραύσης
- β. Δοκιμή εκρόφησης - εξάτμισης
- γ. Δοκιμή προσρόφησης - διύγρυνσης
- δ. Δοκιμή υδαταπορρόφησης

Στη συνέχεια αναλύεται η διαδικασία προετοιμασίας των δοκιμίων και η εφαρμογή κάθε μίας από τις παραπάνω δοκιμές.

## 6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΩΝ

### 6.1. Δοκιμή θραύσης

Για την επιτάχυνση της διεξαγωγής των πειραμάτων αποφασίστηκε ο θρυμματισμός μερικών δοκιμίων και η εφαρμογή των δοκιμών εκρόφησης - εξάτμισης, προσρόφησης - διύγρυνσης σε σπασμένα και σκέραια δοκίμια. Η μεθοδολογία αυτή ακολουθήθηκε και στις πειραματικές διαδικασίες της ερευνητικής ομάδας RILEM. [15]

Έτσι, μετά την συντήρηση όλων των δοκιμίων σε υγρό θάλαμο για 31 ημέρες, εννέα (9) δοκίμια από κάθε λόγο N/T (συνολικά 36) που επιλέχθηκαν για θρυμματισμό, μεταφέρθηκαν πρώτα στην πρέσα του Εργαστηρίου Οηλισμένου Σκυροδέματος και υποβλήθηκαν σε αντιδιαμετρική θλίψη.

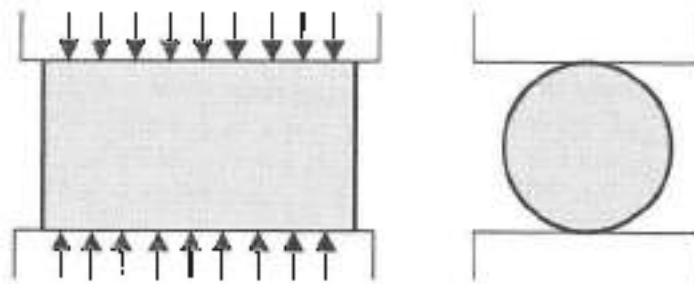
Με τη δοκιμή της αντιδιαμετρικής θλίψης σε κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος, εκτιμάται η αντοχή θραύσεως σε εφελκυσμό του σκυροδέματος. Η τοποθέτηση των δοκιμίων στη μηχανή φόρτισης γίνεται όπως στο σχήμα 7-6, έτσι ώστε το επιβαλλόμενο φορτίο να ασκείται σε δύο αντιδιαμετρικές γενέτειρες του δοκιμίου και κατά το ίδιο αξονικό επίπεδο. Πριν από τη δοκιμή μετρήθηκε το πλάτος και η διάμετρος κάθε δοκιμίου. Στη συνέχεια, κάθε ένα τοποθετήθηκε στις πλάκες της μηχανής φόρτισης, έτσι ώστε το αξονικό επίπεδο φορτίσεως του δοκιμίου να συμπίπτει με το αξονικό επίπεδο φορτίσεως της μηχανής δοκιμής. Το φορτίο επιβλήθηκε αμαλό και με μια σταθερή ταχύτητα  $\mu=2,0$  kN/sec. Στο τέλος της δοκιμής καταγράφηκε το μέγιστο φορτίο θραύσης και εκτιμήθηκε η τάση θραύσης από εφελκυσμό με αντιδιαμετρική θλίψη, από τη σχέση:

$$\sigma_t = \frac{2 * P_u}{\pi * L * d}$$

όπου, L= το πλάτος του δοκιμίου

$d$  = η διάμετρος του

$P'_a$  = το φορτίο θραύσης



**Σχήμα 7-6:** Αντιδιαμετρική καταπόνηση δοκιμίου από σκυρόδεμα.

Τα φορτία θραύσης και των 36 δοκιμίων καταγράφονται στη στήλη «ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ» στο παράρτημα «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ».

## 6.2. Δοκιμή εκρόφησης - εξάτμισης

Στη δοκιμή εκρόφησης - εξάτμισης, με την οποία αναλύεται ο μηχανισμός της “επικοινωνίας” του σκυροδέματος με το εξωτερικό περιβάλλον, καταγράφεται η μεταβολή του βάρους των δοκιμίων σε συνθήκες σχετικής υγρασίας 75% RH, 85% και 25%.

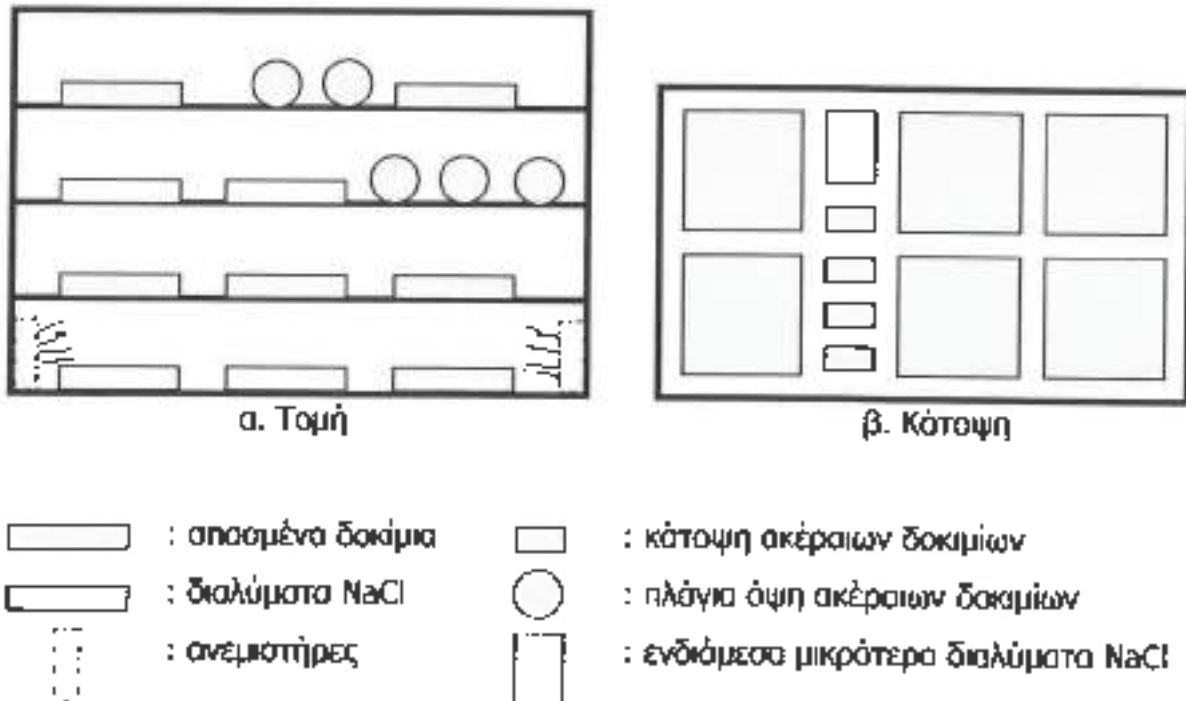
Μετά τη θραύση των δοκιμίων και την καταγραφή των φορτίων θραύσης, τα ήδη ρηγματωμένα δοκίμια θρυμματίστηκαν στο Εργαστήριο Οδοποιίας σε τεμάχια με μέγιστη διάσταση περίπου το 1 cm, τυλίχθηκαν πάλι σε πλαστικές σακούλες για την αποφυγή ανταλλαγής υγρασίας με το εξωτερικό περιβάλλον και τοποθετήθηκαν για τέσσερις ημέρες ακόμη στο θάλαμο υγρασίας.

Εν τω μεταξύ ετοιμάστηκαν οι θάλαμοι του NaCl, του KCl και ο φούρνος.

- Για τις συνθήκες υγρασίας στο θάλαμο του NaCl με σχετική υγρασία 75%, τοποθετήθηκαν κορεσμένα διαλύματα του αλατος αυτού μέσα σε ένα μεγάλο δοχείο από plexy-glass. Από πειραματικές μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι το κορεσμένο διάλυμα του NaCl έχει την ιδιότητα να ισορροπεί την υγρασία του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται σε συνθήκες σχετικής υγρασίας 75% RH. Για τον έλεγχο των συνθηκών υγρασίας, μέσα στο θάλαμο τοποθετήθηκε και ένα υγρόμετρο, το οποίο προηγουμένως είχε βαθμονομηθεί σε διάλυμα NaCl.

Για την ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θαλάμου τοποθετήθηκαν δύο ανεμιστήρες κοντά στα διαλύματα και σε θέσεις που να μην έρχονται σε άμεση επαφή με τα δοκίμια, ώστε να μην τα στεγνώνουν. Επίσης, αποφασίστηκε η περιοδική λειτουργία τους, συγκεκριμένα ανά ένα τέταρτο της ώρας, ρυθμιζόμενη από χρονοδιακόπτη.

Στο σχήμα 7-7 δίνεται σκαρίφημα της τυπικής διάταξης των δοκιμών και διαλυμάτων στο θάλαμο υγρασίας του NaCl.



**Σχήμα 7-7:** Σκαρίφημα της διάταξης των διαλυμάτων και των δοκιμών στο θάλαμο του NaCl.

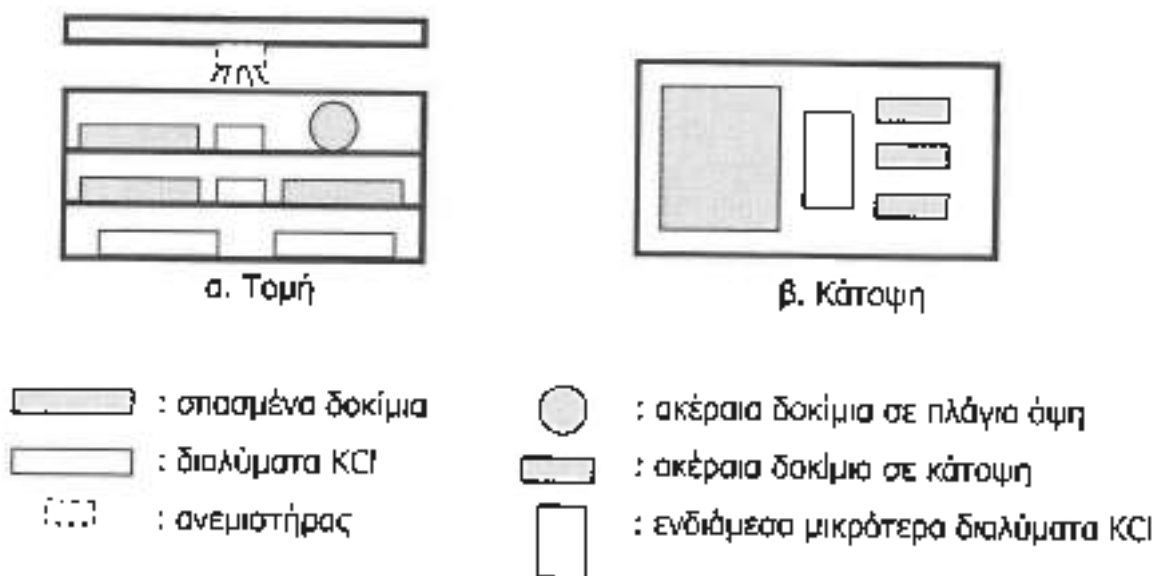


**Φωτογραφία 7-1:** Διάταξη των διαλυμάτων και των δοκιμών στο θάλαμο του NaCl.

• Για τις συνθήκες υγρασίας σε θαλάμους του KCl με σχετική υγρασία 85%, τοποθετήθηκαν κορεσμένα διαλύματα του άλατος αυτού μέσα σε τέσσερα αεροστεγή δοχεία. Όπως και το NaCl, έχει διαπιστωθεί ότι το κορεσμένο διάλυμα του KCl έχει την ίδια ιδιότητα να ισορροπεί την υγρασία του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται σε συνθήκες σχετικής υγρασίας 85% RH. Για τον έλεγχο των συνθηκών υγρασίας, μέσα σε έναν από τα τέσσερα δοχεία τοποθετήθηκε ενδεικτικά και ένα υγρόμετρο, το οποίο προηγουμένως είχε βαθμονομηθεί σε διάλυμα KCl.

Για την ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό των δοχείων τοποθετήθηκε από ένας ανεμιστήρας στο καπάκι τους με τέτοιο τρόπο που να μην έρχεται σε άμεση επαφή με τα δοκίμια. Επίσης, η λειτουργία και αυτών ήταν περιοδική, ρυθμιζόμενη από χρονοδιακόπτη, όπως στην περίπτωση του θαλάμου του NaCl.

Στο σχήμα 7-8 δίνεται σκαρίφημα της τυπικής διάταξης των διαλυμάτων και των δοκιμών σε θάλαμο KCl.



**Σχήμα 7-8:** Σκαρίφημα της διάταξης των διαλυμάτων και των δοκιμών σε θάλαμο KCl.



**Φωτογραφία 7-2:** Διάταξη των διαλυμάτων και των δοκιμίων σε θάλαμο KCl.

Μετά την 35<sup>η</sup> ημέρα από την παρασκευή κάθε μίγματος σκυροδέματος τοποθετήθηκαν μέσα στο θάλαμο του NaCl συνολικά 24 δοκίμια, τρία (3) ακέρακα και τρία (3) σπασμένα από κάθε λόγο N/T, ενώ σε κάθε δοχείο με διάλυμα KCl τοποθετήθηκαν χωριστά για κάθε έναν από τους τέσσερις λόγους, συνολικά έξι (6), τρία (3) ακέρακα και τρία (3) σπασμένα. Επειδή η παρασκευή των τεσσάρων (4) μιγμάτων σκυροδέματος δεν έγινε την ίδια ημέρα, η τοποθέτησή τους στους θαλάμους έγινε σταδιακά, έτσι ώστε τα δοκίμια να έχουν την ίδια ηλικία όταν τοποθετούνται μέσα στο δοχείο. Τα σπασμένα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε μικρά αλουμινένια ταψιά σε τέτοια ποσότητα που να καλύπτουν μόνο την επικρόνεια των ταψιών και με το ίδιο ή περίπου το ίδιο πάχος, ώστε να επιταχυνθεί το φαινόμενο της εκρόφησης – εξάτμισης. Μάλιστα, έγινε προσεχτική επιλογή θρυμματισμένου υλικού κάθε δοκιμίου, ώστε να υπάρχει στο τελικό δείγμα τόσο λεπτόκοκκο όσο και χονδρόκοκκο υλικό. Τα ακέρακα δοκίμια τοποθετήθηκαν απ' ευθείας πάνω στις μεταλλικές σχάρες των θαλάμων χωρίς να έρχονται σε επαφή με τα υπόλοιπα δοκίμια, ώστε να μην επηρεαστεί ο μηχανισμός εκρόφησης - εξάτμισης. Μεταξύ των δοκιμίων σκυροδέματος σε κάθε θάλαμο τοποθετήθηκαν και μικρότερα αλουμινένια ταψιά με διαλύματα, για την όσο το δυνατόν ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας στο θάλαμο.

- Η τοποθέτηση των υπόλοιπων ακέρακων και σπασμένων δοκιμίων (συνολικά 22) στο φούρνο δεν απαιτήσε τίποτα περισσότερο από ένα υγρόμετρο, βαθμονομημένο

σε χαμηλές συνθήκες υγρασίας. Η θερμοκρασία του φούρνου ρυθμίστηκε στους 40 °C και παρέμειναν ανοιχτοί οι δίοδοι εξαέρωσής του για την απομάκρυνση των υδρατμών.



**Φωτογραφία 7-3:** Διάταξη των δοκιμών στο φούρνο.

Οι μετρήσεις του βάρους των δοκιμών ξεκινούν την επόμενη μέρα της τοποθέτησής τους στους θαλάμους και το φούρνο, και διεξάγονται αρχικά κάθε μέρα σε βαθμονομημένη ζυγαριά με ακρίβεια ανάγνωσης  $\pm 0,01\text{gr}$ . Όσο μειώνεται ο ρυθμός μεταβολής του βάρους τους, οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται ανά μία ημέρα μέχρι την σταθεροποίησή του με ακρίβεια  $\pm 0,04\text{gr}$ .

Οι μετρήσεις και των 70 δοκιμών καταγράφονται στη στήλη «ΕΚΡΟΦΗΣΗ - ΕΞΑΤΜΙΣΗ» στο παράρτημα «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ».

### 6.3. Δοκιμή προσρόφησης – διύγρανσης

Στη δοκιμή προσρόφησης - διύγρανσης, καταγράφεται όπως προηγουμένως η μεταβολή του βάρους των θρυμματισμένων δοκιμών σε συνθήκες σχετικής υγρασίας 75%, 85% και 43% RH, με την διαφορά ότι τα δοκίμια πρώτα ξηραίνονται σε θερμοκρασία 105 °C και έπειτα τοποθετούνται στους θαλάμους. Στην πραγματικότητα η διαδικασία της προσρόφησης - διύγρανσης είναι η αντίστροφη της εκρόφησης - εξάτμισης.

Μετά το τέλος λοιπόν της δοκιμής εκρόφησης, δηλαδή μετά την επίτευξη της υγρασίας ισορροπίας των δοκιμίων για τις διάφορες συνθήκες σχετικής υγρασίας, τα δοκίμια τοποθετούνται στο φούρνο στους 105 °C μέχρι σταθεροποίηση του βάρους τους.

Στη δοκιμή της προσρόφησης δεν υποβάλλονται τα ακέραια δοκίμια και από τους τέσσερις λόγους Ν/Τ (συνολικά 34) καθώς η υγρασία ισορροπίας στο εσωτερικό τους στη δοκιμή εκρόφησης απαιτούσε περισσότερο χρόνο για να επιτευχθεί, σε σύγκριση με τα θρυμματισμένα. Τα δοκίμια αυτά παραμένουν στους θαλάμους για αρκετό χρονικό διάστημα ακόμη, και αμέσως μετά τη δοκιμή εκρόφησης προετοιμάζονται για τη δοκιμή υδαταπορρόφησης.

Μετά την ξήρανση στους 105 °C τα 36 θρυμματισμένα δοκίμια τοποθετούνται στους θαλάμους υγρασίας με τον ίδιο τρόπο και την ίδια διάταξη, ακριβώς όπως τοποθετήθηκαν στην προηγούμενη δοκιμή. Έτσι, τα δοκίμια που είχαν τοποθετηθεί στο θάλαμο του NaCl τοποθετούνται και πάλι στον ίδιο θάλαμο. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα μελέτης του μηχανισμού "επικοινωνίας" ενός, είτε πλήρως κορεσμένου είτε ξηρού, σκυροδέματος με το περιβάλλον στις ίδιες εξωτερικές συνθήκες σχετικής υγρασίας.

Ωστόσο, η δυνατότητα αυτή δεν δίνεται για τα θρυμματισμένα δοκίμια που στη δοκιμή εκρόφησης είχαν τοποθετηθεί στο φούρνο. Τα δοκίμια αυτά, στη δοκιμή προσρόφησης τοποθετούνται σε θαλάμους ανθρακικού καλίου  $K_2CO_3$  με σχετική υγρασία RH 43%. Η επιλογή διαφορετικών συνθηκών υγρασίας για τα παραπάνω δοκίμια έγινε με σκοπό να μελετηθεί η συμπεριφορά του σκυροδέματος σε συνθήκες υγρασίας που συναντώνται περισσότερο στην Ελλάδα. Πράγματι, οι συνθήκες υγρασίας στο φούρνο είναι πολύ χαμηλές (RH-25% και 40°C) και μπορούν να θεωρηθούν ότι πλησιάζουν τις συνθήκες στις οποίες υποβάλλονται οι κατασκευές στη χώρα μας μόνο κατά τις πολύ ζεστές μέρες του καλοκαιριού. Έτσι, ίσως η επιλογή των θαλάμων του ανθρακικού καλίου  $K_2CO_3$  θα έπρεπε να γίνει και στην δοκιμή της εκρόφησης.

Οι μετρήσεις του βάρους των δοκιμίων ξεκινούν την επόμενη μέρα της τοποθέτησής τους στους θαλάμους και διεξάγονται αρχικά κάθε μέρα σε βαθμονομημένη ζυγαριά με ακρίβεια ανάγνωσης  $\pm 0,01\text{gr}$ . Όσο μειώνεται ο ρυθμός μεταβολής του βάρους τους, οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται ανά μία ημέρα μέχρι την σταθεροποίησή του με ακρίβεια  $\pm 0,04\text{gr}$ .

Οι μετρήσεις και των 36 δοκιμών καταγράφονται στη στήλη «ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ - ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ» στο παράρτημα «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ».

#### 6.4. Δοκιμή υδαταπορρόφησης

Στη δοκιμή υδαταπορρόφησης υποβάλλονται μόνο είκοσι δύο (22) από τα ακέραια δοκίμια με κατάλληλη προετοιμασία μετά την δοκιμή εκρόφησης – εξάτμισης. Τα υπόλοιπα 12 ακέραια δοκίμια τοποθετήθηκαν στο φούρνο για την εύρεση του ξηρού βάρους τους.

Μετά το τέλος της δοκιμής εκρόφησης, τα δοκίμια τυλίχθηκαν με ζελατίνες και πλαστικές σακούλες ώστε να διατηρηθεί η περιεχόμενη υγρασία τους αλλά και να κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο εσωτερικό τους. Μετά τη δοκιμή εκρόφησης είναι αναμενόμενο οι πόροι που βρίσκονται προς τις άκρες των δοκιμών να μην περιέχουν την ίδια ποσότητα νερού με τους πόρους στο εσωτερικό τμήμα τους. Η ομοιόμορφη κατανομή της εσωτερικής υγρασίας απαιτείται για τη σωστή εφαρμογή της δοκιμής υδαταπορρόφησης, έτσι ώστε όλοι οι τριχαειδείς πόροι να έχουν, όσο είναι δυνατόν, την ίδια ικανότητα προσρόφησης νερού.

Αμέσως μετά το τύλιγμα, τα δοκίμια τοποθετήθηκαν πάλι στους ίδιους θαλάμους σχετικής υγρασίας 75%, 85% και το φούρνο με την ίδια διάταξη όπως στη δοκιμή εκρόφησης για 13 ημέρες. Την 14<sup>η</sup> ημέρα τα δοκίμια ξετυλίγονται και βάζονται με εποξιδική ρητίνη για την αποφυγή εξάτμισης του νερού από την περιφέρεια των δοκιμών κατά την εφαρμογή της δοκιμής της υδαταπορρόφησης. Στη συνέχεια, τοποθετούνται και πάλι στους θαλάμους και το φούρνο όπως πριν, μέχρι την επόμενη ημέρα.

Για την εφαρμογή της δοκιμής, εκτός από την κατάλληλη προετοιμασία των δοκιμών, απαιτήθηκαν:

- Δύο ορθογώνια μεταλλικά δοχεία, στην πλαϊνή πλευρά των οποίων να υπάρχει μία οπή, ώστε η στάθμη του νερού μέσα σε αυτά να μην ξεπερνά τα 2 cm.

- Πλαστικό πλέγμα, που τοποθετήθηκε στον πυθμένα των παραπάνω δοχείων. Πάνω σε αυτό τοποθετήθηκαν τα δοκίμια, ώστε να είναι δυνατή η

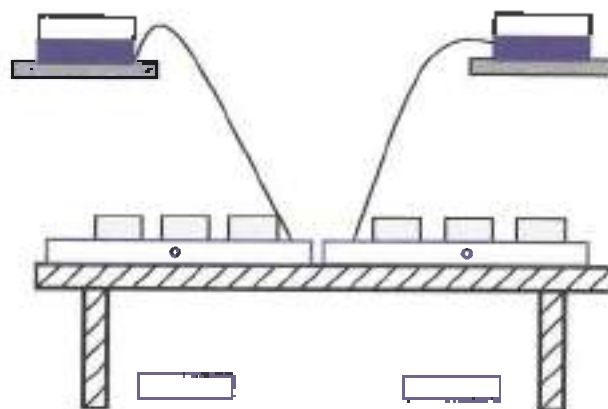
προσρόφηση νερού από τη βάση τους, αλλά και να εξασφαλίζεται ότι όλα θα βρίσκονται βυθισμένα στο νερό κατά το ίδιο πάχος.

- Μια συσκευή που να εξασφαλίζει σταθερή ροή νερού μέσα στα μεταλλικά δοχεία. Χρησιμοποιήθηκαν λοιπόν για το σκοπό αυτό δύο πλαστικά δοχεία, ένα για κάθε μεταλλικό δοχείο, με ένα ροοστάτη ορού το κάθε ένα για τη ρύθμιση της σταθερής ροής του νερού.

Την 15<sup>η</sup> ημέρα λοιπόν, μετά το τέλος της δοκιμής εκρόφησης, βάλαμε νερό στα μεταλλικά δοχεία, ζυγίσαμε τα 22 βαμμένα δοκίμια και τα τοποθετήσαμε στα πλέγματα των δοχείων. Ακολούθησαν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις βάρους την πρώτη ημέρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα (με μια αύξουσα χρονική ακολουθία), ενώ τις επόμενες μέρες ανά 24 ώρες.

Τα δοκίμια, πριν από κάθε ζύγισμα, σκουπίζονται προσεκτικά με απορροφητικό χαρτί, ώστε η μεταβολή του βάρους που μετρούμε να οφείλεται μόνο στο νερό που αυτά απορρόφησαν και όχι σε σταγονίδια που μπορεί να υπάρχουν στις παράπλευρες επιφάνειες.

Στο σχήμα 7-9 δίνεται σκαρίφημα της τυπικής διάταξης των δοκιμών στο μεταλλικό δοχείο της δοκιμής της υδαταπορρόφησης.



**Σχήμα 7-9:** Σκαρίφημα της τυπικής διάταξης των δοκιμών της δοκιμής της υδαταπορρόφησης.



**Φωτογραφία 7-4:** Διάταξη των δοκιμίων της δοκιμής της υδαταπορρόφησης.

Οι μετρήσεις και των 22 δοκιμίων καταγράφονται στη στήλη «ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ» στο παράρτημα «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ».

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

#### 1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

##### 1.1. Μετρήσεις και στοιχεία δοκιμίων

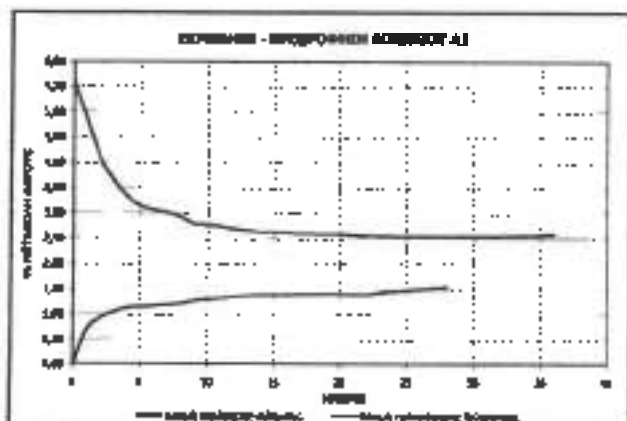
Σύμφωνα με τη διαδικασία των πειραμάτων, η οποία περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 7, καταγράφηκε μια σειρά μετρήσεων για κάθε δοκίμιο. Οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα «ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ».

Κάθε σελίδα του παραρτήματος αντικατοίχει σε ένα δοκίμιο. Παραπλεύρως φαίνεται μια τέτοια χαρακτηριστική σελίδα, η οποία περιλαμβάνει 3 στήλες και 1 διάγραμμα.

ΔΟΚΙΜΙΟ Α1

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                        |                            | ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΣΥΓΡΑΝΣΗ   |                        |                            |
|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| Ημερομηνία<br>μετρήσεων | Βάρος<br>δοκιμίου (gr) | Χημική ανάλυση<br>NaCl 82% | Ημερομηνία<br>μετρήσεων | Βάρος<br>δοκιμίου (gr) | Χημική ανάλυση<br>NaCl 82% |
| 19/12/2002              | 661,60                 | -                          | 30/02/2003              | 664,61                 | -                          |
| 20/12/2002              | 676,10                 | 80%                        | 31/02/2003              | 648,85                 | 77%                        |
| 21/12/2002              | 671,49                 | 80%                        | 01/03/2003              | 658,48                 | 77%                        |
| 22/12/2002              | 668,59                 | 80%                        | 02/03/2003              | 651,77                 | 78%                        |
| 23/12/2002              | 666,34                 | 80%                        | 05/03/2003              | 652,08                 | 77%                        |
| 24/12/2002              | 665,69                 | 80%                        | 07/03/2003              | 655,35                 | 78%                        |
| 25/12/2002              | 649,45                 | 80%                        | 08/03/2003              | 652,70                 | 77%                        |
| 26/12/2002              | 654,75                 | 80%                        | 10/03/2003              | 653,56                 | 78%                        |
| 27/12/2002              | 663,63                 | 80%                        | 11/03/2003              | 653,44                 | 77%                        |
| 28/12/2002              | 662,82                 | 80%                        | 14/03/2003              | 653,48                 | 78%                        |
| 29/12/2002              | 662,67                 | 80%                        | 15/03/2003              | 653,52                 | 77%                        |
| 30/12/2002              | 662,21                 | 80%                        | 17/03/2003              | 653,60                 | 77%                        |
| 31/12/2002              | 661,91                 | 80%                        | 19/03/2003              | 653,66                 | 75%                        |
| 02/01/2003              | 661,53                 | 80%                        | 21/03/2003              | 653,57                 | 75%                        |
| 03/01/2003              | 660,49                 | 80%                        | 23/03/2003              | 651,01                 | 77%                        |
| 04/01/2003              | 661,41                 | 80%                        | 25/03/2003              | 654,20                 | 78%                        |
| 05/01/2003              | 664,31                 | 80%                        | 27/03/2003              | 651,53                 | 78%                        |
| 06/01/2003              | 664,74                 | 80%                        |                         |                        |                            |
| 07/01/2003              | 664,18                 | 80%                        |                         |                        |                            |
| 08/01/2003              | 663,11                 | 80%                        |                         |                        |                            |
| 10/01/2003              | 662,05                 | 79%                        |                         |                        |                            |
| 11/01/2003              | 660,76                 | 78%                        |                         |                        |                            |
| 14/01/2003              | 660,51                 | 78%                        |                         |                        |                            |
| 15/01/2003              | 660,51                 | 78%                        |                         |                        |                            |
| 18/01/2003              | 660,88                 | 78%                        |                         |                        |                            |
| 20/01/2003              | 660,92                 | 78%                        |                         |                        |                            |
| 22/01/2003              | 661,03                 | 78%                        |                         |                        |                            |
| 23/01/2003              | 661,15                 | 78%                        |                         |                        |                            |

| ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|----------------------------|--------|
| Υψος δοκιμίου (cm)         | 5,4    |
| Μέγιστο βάρος (kg)         | 83     |
| Συνολ. βάρος (gr)          | 660,14 |
| Απόκλιση μέτρηση 0-4%      | 3,61   |



- Στη στήλη «ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ» καταγράφονται οι ημερομηνίες και οι μετρήσεις του βάρους του δοκιμίου που υποβλήθηκε στη δοκιμή της εκρόφησης.

- Στη στήλη «ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΣΥΓΡΑΝΣΗ» καταγράφονται οι ημερομηνίες και οι μετρήσεις του βάρους του δοκιμίου που υποβλήθηκε στη δοκιμή της προσρόφησης.

- Στη στήλη «ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ» καταγράφονται κάποια από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του δοκιμίου.

• Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή βάρους του δοκιμίου ως ποσοστό % του αρχικού βάρους του για τις δοκιμές στις οποίες υποβλήθηκε. Το ποσοστό αυτό  $\alpha$ , υπολογίζεται για κάθε χρονική στιγμή από την παρακάτω σχέση:

$$\alpha = \frac{|B_t - B_0|}{B_0} * 100\%$$

όπου,  $B_t$  = το βάρος τη χρονική στιγμή  $t$ , σε gr

$B_0$  = το βάρος τη χρονική στιγμή έναρξης της δοκιμής, σε gr

Ωστόσο, τα δοκίμια δεν έχουν υποβληθεί όλα στις ίδιες δοκιμές και κατά συνέπεια η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων σε κάθε σελίδα διαφέρει από δοκίμιο σε δοκίμιο.

## 1.2. Ανάλυση μετρήσεων

Μετά την καταγραφή των μετρήσεων για κάθε δοκίμιο, υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των μετρήσεων αυτών ανά 3 δοκίμια. Τα δοκίμια ομαδοποιήθηκαν σε τριάδες με κριτήριο να έχουν κοινά τα εξής χαρακτηριστικά:

- Λόγο N/T
- Μορφή του δείγματος
- Συνθήκες σχετικής υγρασίας

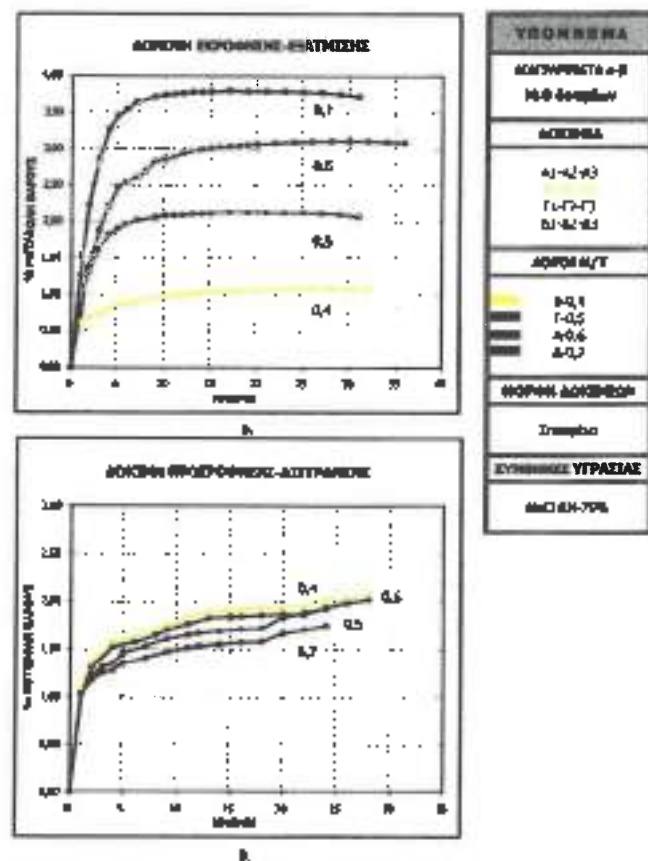
Κατόπιν, συνδυάστηκαν οι μέσοι όροι των μετρήσεων των τεσσάρων μιγμάτων με 3 διαφορετικούς τρόπους, ώστε για κάθε δοκιμή να φανεί η επίδραση:

- Του λόγου N/T
- Της μορφής του δείγματος / δοκίμια συγκρινόμενα με δείγματα θρυμματισμένου υλικού
- Των εξωτερικών συνθηκών σχετικής υγρασίας

Κατασκευάστηκαν 3 κατηγορίες διαγραμμάτων (I, II, III). Στην κάθε κατηγορία διατηρούμε σταθερές τις δύο από τις παραπάνω μεταβλητές και μεταβάλλουμε την τρίτη.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ενδεικτικά μια κατηγορία διαγραμμάτων, συγκεκριμένα η I<sub>1</sub>, και ακολουθείται η εξής ανάλυση:

Σ1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΔΟΓΩΝ Ν/Τ



- Στην κάθε κατηγορία διαγραμμάτων μελετάται η επίδραση ενός από τους τρεις παράγοντες που εξετάζονται. Έτσι, στα διαγράμματα I<sub>1-6</sub> φαίνεται η επίδραση του λόγου Ν/Τ στη μεταβολή του βάρους για το μέσο όρο των δοκιμίων, στη μορφή και τις συνθήκες στις οποίες υποβάλλονται κάθε φορά.

- Στην κάθε υποκατηγορία διαγραμμάτων, δηλαδή 1 - 6 της αντίστοιχης κατηγορίας I - III, μελετάται η επίδραση του λόγου Ν/Τ στη μεταβολή βάρους για κάθε συνδυασμό μορφής δοκιμίων και συνθηκών σχετικής υγρασίας.

- Στην κάθε υποκατηγορία διαγραμμάτων, δηλαδή 1 - 6, παρουσιάζονται οι καμπύλες των δοκιμίων στις οποίες υποβάλλονται τα δοκίμια. Το διάγραμμα α., το οποίο αφορά τη δοκιμή εκρόφησης - εξάτμισης, απεικονίζει κάθε φορά την % απώλεια βάρους συναρτήσει του χρόνου σε ημέρες. Το διάγραμμα β., που αφορά αντίστοιχα τη δοκιμή προσρόφησης - διύγρυνσης, απεικονίζει την % αύξηση βάρους των δοκιμίων συναρτήσει του χρόνου. Κατ' εξαίρεση, για τα ολόκληρα δοκίμια, και για όσα από αυτά υποβλήθηκαν στη δοκιμή υδαταπορρόφησης, το διάγραμμα β., απεικονίζει την % αύξηση βάρους συναρτήσει του χρόνου.

- Ειδικότερα στην υποκατηγορία I<sub>7</sub>, παρουσιάζονται ένα ραβδόγραμμα και ένα διάγραμμα, στα οποία φαίνονται τα αποτελέσματα της δοκιμής θραύσης των δοκιμίων. Στο ραβδόγραμμα φαίνεται η αντοχή σε διάρρηξη των 36 δοκιμίων (9 από κάθε λόγο N/T) που υποβλήθηκαν σε αυτήν τη δοκιμή. Οι αντοχές διακρίνονται με διαφορετικό χρώμα ανάλογα με το λόγο N/T με τον οποίο παρασκευάστηκαν. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η συσχέτιση της αντοχής σε διάρρηξη με το λόγο N/T του μίγματος. Το διάγραμμα αυτό έχει προκύψει από τους μέσους όρους των 9 δοκιμίων από κάθε λόγο N/T.

## 2. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μέσα από τις δοκιμές στις οποίες υποβλήθηκαν τα δοκίμια, μελετάται ο μηχανισμός με τον οποίο το σκυρόδεμα “επικοινωνεί” με το περιβάλλον. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξαγονται γενικά συμπεράσματα για τη διαπερατότητα του υλικού σε εργαστηριακές συνθήκες περιβάλλοντος, η οποία συνδέεται άμεσα με την ανθεκτικότητά του. Τα συμπεράσματα αυτά θα παρουσιαστούν με βάση τους εξεταζόμενους παράγοντες στην κάθε δοκιμή που πραγματοποιήθηκε.

### 2.1. Επίδραση λόγου N/T

✓ Από τα διαγράμματα I<sub>1-6</sub>(α.) και (β.) στις σελίδες 191-196 διαπιστώνουμε ότι σε όλες τις δοκιμές, τις πρώτες ημέρες, οι καμπύλες παρουσιάζουν έντονη κλίση. Τα δοκίμια που υποβλήθηκαν στη δοκιμή εκρόφησης – εξάτμισης και σε περιβάλλον με σχετικές υγρασίες RH 85%, 75% ή 25%, προηγουμένως είχαν συντηρηθεί τυλιγμένα σε σχετική υγρασία σχεδόν 100%. Σε αυτή τη διαφοροποίηση των υγρασιών στο περιβάλλον της δοκιμής της εκρόφησης οφείλεται η έναρξη του φαινομένου της εξάτμισης. Ανάλογα, στην περίπτωση της δοκιμής προσρόφησης – διύγρυνσης, τα δοκίμια ξηράθηκαν μέχρι την πλήρη εξάτμιση του ελεύθερου νερού των πόρων και τοποθετήθηκαν σε θαλάμους με μεγαλύτερη RH. Τέλος, και στην περίπτωση της δοκιμής υδσταπορρόφησης, τα δοκίμια βρέθηκαν σε περιβάλλον με διαφορετική εξωτερική RH σε σχέση με την εσωτερική τους (υγρασία του περιβάλλοντος στο οποίο

πριν ισορροπήσαν) και τις πρώτες μέρες εμφανίζουν έντονα το φαινόμενο της τριχοειδούς ανύψωσης. Ειδικότερα για τα σκέραια δοκίμια, η επικοινωνία του δοκιμίου με το περιβάλλον κατά τις δοκιμές της προσρόφησης και εκρόφησης γίνεται μέσω των πόρων που βρίσκονται σε μικρό βάθος από την επιφάνειά του. Όμως, με την πάροδο του χρόνου, η περιοχή αυτή έρχεται σε ισορροπία με το περιβάλλον, ενώ περιοχές στο εσωτερικό του δοκιμίου δε βρίσκονται σε ισορροπία και η επικοινωνία γίνεται μέσω μετακίνησης υδροτμών νερού δια του στρώματος που παρεμβάλλεται, και επομένως επιβραδύνεται. Αυτό εξηγεί την αρχικά έντονη και έπειτα ομαλότερη κλίση των καμπυλών.

✓ Από τα διαγράμματα  $I_{1-6}(\alpha.)$  της εκρόφησης – εξάτμισης στις σελίδες 191-196 και  $I_{4-6}(\beta.)$  της υδαταπορρόφησης στις σελίδες 194-196 διαπιστώνουμε ότι τα δοκίμια ίδιας μορφής (σπασμένα ή σκέραια) και στις ίδιες συνθήκες σχετικής υγρασίας (85%, 75%, 25% ή 63%) μεταβάλλουν το βάρος τους ανάλογα με το πορώδες τους και την ποσότητα νερού που περιέχουν. Δηλαδή οι καμπύλες παρουσιάζονται κατά αύξουσα σειρά ανάλογα με το λόγο  $N/T$ , αφού τα δοκίμια με μεγαλύτερο λόγο  $N/T$  έχουν μεγαλύτερο πορώδες και περισσότερο περιεχόμενο νερό και εμφανίζουν μεγαλύτερη μεταβολή της ποσότητας υγρασίας τους μέχρι να ισορροπήσουν. Αξιοσημείωτη είναι η πολύ μικρή μεταβολή βάρους των δοκιμίων με λόγο  $N/T = 0,4$  κατά τη δοκιμή της υδαταπορρόφησης, γεγονός που δικαιολογείται από το μικρό τους πορώδες.

✓ Το παραπάνω συμπέρασμα δεν εξάγεται από τα διαγράμματα της δοκιμής προσρόφησης  $I_{1-3}(\beta.)$  στις σελίδες 191-193, δηλαδή οι καμπύλες δοκιμίων που τοποθετήθηκαν σε ίδιες συνθήκες RH δεν παρουσιάζουν εμφανή αλληλουχία ανάλογα με το λόγο  $N/T$ , αλλά σχεδόν συμπίπτουν. Αυτή η ισορροπία των δοκιμίων με διαφορετικό λόγο  $N/T$  περίπου στο ίδιο ποσοστό σχετικής υγρασίας μπορεί να αποδοθεί στη σημαντική αλλαίωση που υφίσταται το πορώδες σύστημα των δοκιμίων κατά το θρυμματισμό τους. Όταν τα θρυμματισμένα δοκίμια διαφορετικού λόγου  $N/T$  υποβάλλονται σε ξήρανση και έπειτα στη δοκιμή προσρόφησης είναι αναμενόμενο να παρουσιάσουν παραπλήσια μεταβολή βάρους, αφού αρχικά περιέχουν το ίδιο ποσοστό υγρασίας (περίπου 0%) ενώ η διαφοροποίηση της δομής του πορώδους συστήματός τους δεν υφίσταται πλέον.

Ωστόσο, και στα τρία διαγράμματα προσρόφησης  $I_{1-3}(\beta.)$  μπορεί να παρατηρηθεί μια ελαφρώς μεγαλύτερη αύξηση βάρους για τα δοκίμια με λόγο  $N/T = 0,4$ . Η αύξηση αυτή, μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι κατά την προσρόφηση πληρώνονται αρχικά

οι μικροί πόροι του υλικού, οι οποίοι είναι περισσότεροι σε δοκίμια με μικρότερο λόγο  $N/T$ .

✓ Μια γενικότερη παρατήρηση στα διαγράμματα της κατηγορίας I στις σελίδες 191-196 αφορά στους χρόνους σταθεροποίησης του βάρους των δοκιμίων. Στη δοκιμή της εκρόφησης – εξάτμισης απαιτήθηκαν 7 ημέρες για τη σταθεροποίηση της υγρασίας των σπασμένων δοκιμίων, με εξαίρεση όσων τοποθετήθηκαν στο φούρνο που ισορρόπησαν σε 3 ημέρες, ενώ τα ακέραια δοκίμια χρειάστηκαν 50 ημέρες. Στη δοκιμή προσρόφησης – διύγρυνσης τα σπασμένα δοκίμια ισορρόπησαν σε 15 ημέρες, τόσο σε περιβάλλον  $\text{NaCl}$  όσο και σε  $\text{KCl}$ , ενώ στο περιβάλλον  $\text{K}_2\text{CO}_3$  η ισορροπία πραγματοποιήθηκε περίπου σε 2 ημέρες. Στη δοκιμή υδαταπορρόφησης δε μπορούμε να εξαγάγουμε ένα γενικευμένο συμπέρασμα για το χρόνο σταθεροποίησης της υγρασίας όλων των δοκιμίων.

✓ Σε όλα τα διαγράμματα  $I_{1-6}(\alpha.)$  και  $(\beta.)$  παρατηρείται η άμεση συσχέτιση της υγρασίας ισορροπίας με τις συνθήκες σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, για τη δοκιμή της εκρόφησης – εξάτμισης δοκίμια με ίδιο λόγο  $N/T$  και ίδιας μορφής σε περιβάλλον με μεγαλύτερη σχετική υγρασία, όπως ο θάλαμος του  $\text{KCl}$ , ισορροπούν με μικρότερη μεταβολή του βάρους τους σε σχέση με το θάλαμο του  $\text{NaCl}$ . Με τη σχέση *Kelvin* μάλιστα, από την οποία διέπεται η εξάτμιση του νερού μέσα από τους τριχοειδείς πόρους, δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού του μεγέθους των πόρων από τους οποίους πραγματοποιείται η διαφυγή του νερού στις διάφορες υδροθερμικές συνθήκες, όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4, §3.2.2. Έτσι, για το νερό και για θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$ , υπολογίστηκε σύμφωνα με την παρακάτω σχέση ότι, στο θάλαμο του  $\text{NaCl}$  με σχετική υγρασία  $RH (p_a/p_k) = 75\%$ , η εκρόφηση του νερού πραγματοποιήθηκε από τους πόρους των ακέραιων δοκιμίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 3,75 nm.

$$r = -1,08 / \ln(p_a/p_k) \text{ [nm]}$$

Αντίστοιχα, για το θάλαμο του  $\text{KCl}$  με σχετική υγρασία  $RH (p_a/p_k) = 85\%$  η εξάτμιση του νερού πραγματοποιήθηκε από πόρους με διάμετρο μεγαλύτερη από 6,64 nm, ενώ για το φούρνο με σχετική υγρασία 25% πραγματοποιήθηκε από πόρους με διάμετρο μεγαλύτερη από 0,78 nm.

Η συσχέτιση της υγρασίας ισορροπίας με τις συνθήκες σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος ισχύει και για τη δοκιμή της υδαταπορρόφησης. Δοκίμια με ίδιο λόγο

N/T, που είχαν ισορροπήσει προηγουμένως στο θάλαμο του KCl, κατά τη δοκιμή της υδατοαπορρόφησης ισορροπούν με μικρότερη μεταβολή του βάρους τους σε σχέση με αυτά που είχαν ισορροπήσει σε θάλαμο του NaCl. Ωστόσο, στη δοκιμή της ηρασρόφησης – διύγρυνσης, δοκίμια με ίδιο λόγο N/T σε περιβάλλον δοκιμής με μεγαλύτερη RH ισορροπούν μετά από μεγαλύτερη μεταβολή βάρους.

✓ Στα διαγράμματα I<sub>7</sub>(α.) και (β.) της σελίδας 197 φαίνονται τα αποτελέσματα της δοκιμής θραύσης των δοκιμίων. Στο ραβδόγραμμα I<sub>7</sub>(α.) φαίνεται η αντοχή σε διάρρηξη των 36 δοκιμίων (9 από κάθε λόγο N/T) και η διασπορά των τιμών του φορτίου που υποβλήθηκε στα δοκίμια κάθε μίγματος. Ο συντελεστής μεταβλητότητας των τιμών αυτών, όπως υπολογίστηκε και παρουσιάζεται στον πίνακα 8-1, προέκυψε αρκετά μεγαλύτερος από την τιμή 5% που υποδεικνύει ο κανονισμός ASTM/C496. Ο κανονισμός, ωστόσο, δέχεται την τιμή αυτή ως μέγιστη για κυλινδρικά δοκίμια τυποποιημένων διαστάσεων 150x300 mm. Επομένως, στην περίπτωση μας, που τα καλούπια ήταν μικρότερων διαστάσεων και όχι τυποποιημένων, μπορούν να δικαιολογηθούν μεγαλύτεροι συντελεστές μεταβλητότητας.

| Μίγματα                               | A = 0,6 | B = 0,4 | Γ = 0,5 | Δ = 0,7 |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Συντελεστής μεταβλητότητας            |         |         |         |         |
| $S.M. = \frac{\sigma_{n-1}}{\bar{x}}$ | 12,1%   | 13,2%   | 14,5%   | 9,0%    |

**Πίνακας 8-1:** Συντελεστές μεταβλητότητας των τιμών θραύσης των μινμάτων.

όπου,  $\sigma_{n-1} = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right\}^{1/2}$ , η τυπική απόκλιση

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \text{ η μέση τιμή}$$

Στο διάγραμμα I<sub>7</sub>(β.) της σελίδας 197, το οποίο έχει προκύψει από πολυωνυμική παλινδρόμηση στους μέσους όρους των 9 δοκιμίων από κάθε λόγο N/T, παρουσιάζεται η συσχέτιση της αντοχής σε διάρρηξη με το λόγο N/T του μίγματος. Το διάγραμμα αυτό επαληθεύει πειραματικά το γεγονός ότι σκυρόδεμα με μικρό λόγο N/T εμφανίζεται να έχει μεγαλύτερη αντοχή, το οποίο έχει αναλυθεί στο Κεφάλαιο 3, §2.1.2. Πράγματι, τα

δοκίμια με λόγο  $N/T = 0,4$  εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με οποιοδήποτε άλλο λόγο  $N/T$ .

## 2.2. Επίδραση μορφής του δείγματος

✓ Από τα διαγράμματα  $II_{1-11}(a.)$  στις σελίδες 198-208 διαπιστώνουμε έντονη κλίση των καμπυλών τις πρώτες μέρες, η οποία όπως και στα διαγράμματα της κατηγορίας I αφέλλεται στη διαφοροποίηση της υγρασίας στο περιβάλλον δοκιμής σε σχέση με την υγρασία συντήρησης.

✓ Στα διαγράμματα  $II_{1-11}(a.)$  παρατηρούμε ότι τα δοκίμια ίδιου λόγου  $N/T$  και για τις ίδιες συνθήκες RH ισορροπούν στο ίδιο ποσοστό υγρασίας ανεξάρτητα από τη μορφή τους, δηλαδή εάν είναι ακέραια ή σπασμένα. Ωστόσο, εξαίρεση αποτελούν τα δοκίμια με λόγο  $N/T = 0,4$ , τα οποία τοποθετήθηκαν στο θάλαμο KCl και φαίνονται στο διάγραμμα  $II_4(a.)$  στη σελίδα 201, καθώς και όλα τα δοκίμια που τοποθετήθηκαν στο φούρνο και παρουσιάζονται στα διαγράμματα  $II_5$ ,  $II_8$  και  $II_{11}$  στις σελίδες 202, 205, και 208 αντίστοιχα.

Η πρώτη εξαίρεση μπορεί να αποδοθεί στο μικρό λόγο  $N/T$  σε συνδυασμό με το φαινόμενο της ενυδάτωσης του τσιμέντου που αναλύθηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 1, §3.1.9. Λόγω της περιορισμένης ποσότητας νερού στο εσωτερικό του υλικού, είναι πιθανό κατά τη συντήρηση των δοκιμίων να μην ολοκληρώθηκε η διαδικασία της ενυδάτωσης. Όταν, αμέσως μετά, τα δοκίμια βρέθηκαν σε περιβάλλον KCl με σχετική υγρασία RH=85%, η προσρόφηση νερού επανεκκίνησε την ενυδάτωση του ανυδάτωτου τσιμέντου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία προϊόντων ενυδάτωσης που φράσσουν πόρους και διακόπτουν τη συνέχεια του πορώδους συστήματος του σκυροδέματος. Σε αυτό το λόγο πιθανόν αποδίδεται το γεγονός ότι τα ακέραια δοκίμια ισορροπούν μετά από μικρότερη απώλεια βάρους σε σχέση με τα σπασμένα. Αντίθετα, τα δοκίμια του ίδιου λόγου  $N/T$  που βρέθηκαν στο θάλαμο NaCl και το φούρνο, σε σχετική υγρασία 75% και 25% αντίστοιχα, δεν είχαν τη δυνατότητα επανεκκίνησης της ενυδάτωσης, οι πόροι παρέμειναν ανοικτοί και τελικά το φαινόμενο της εκρόφησης ολοκληρώθηκε με την ίδια μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας. Η διακοπή της διαδικασίας της ενυδάτωσης σε σχετική υγρασία περιβάλλοντος μικρότερη από 80% έχει αποδειχθεί πειραματικά.

Η δεύτερη εξαίρεση παρατηρήθηκε στα δοκίμια που τοποθετήθηκαν στο φούρνο και μπορεί πιθανότατα να δικαιολογηθεί από την ανομοιομορφή κατανομή των συνθηκών υγρασίας στο εσωτερικό του φούρνου.

✓ Η ίδια διαφοροποίηση στους χρόνους σταθεροποίησης του βάρους των δοκιμίων, ανάλογα με τη μορφή τους, που παρατηρήθηκε στα διαγράμματα της κατηγορίας I παρατηρείται και σε αυτά τα διαγράμματα. Δηλαδή, τα θρυμματισμένα δοκίμια ισορροπούν ταχύτερα από τα ακέραια, αφού ο θρυμματισμός επιτάχυνε το φαινόμενο.

### 2.3. Επίδραση συνθηκών σχετικής υγρασίας

✓ Από τα διαγράμματα III<sub>1-8</sub>(α.) και (β.) στις σελίδες 209-216 επισημαίνεται ξανά η έντονη κλίση των καμπυλών τις πρώτες μέρες, η οποία όπως εξηγήθηκε και για τις άλλες κατηγορίες διαγραμμάτων, οφείλεται στη διαφοροποίηση της υγρασίας στο περιβάλλον δοκιμής σε σχέση με την υγρασία συντήρησης.

✓ Σε όλα τα διαγράμματα III<sub>1-8</sub>(α.) και (β.) παρατηρείται η άμεση συσχέτιση της υγρασίας ισορροπίας με τις συνθήκες σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, για τη δοκιμή της εκρόφησης - εξάτμισης δοκίμια με ίδιο λόγο N/T και ίδια μορφή σε περιβάλλον με μεγαλύτερη σχετική υγρασία, όπως ο θάλαμος του KCl, ισορροπούν με μικρότερη μεταβολή του βάρους τους σε σχέση με το θάλαμο του NaCl ή το φούρνο. Ωστόσο, στη δοκιμή της προσρόφησης - διύγρυνσης, δοκίμια με ίδιο λόγο N/T σε περιβάλλον δοκιμής με μεγαλύτερη RH ισορροπούν μετά από μεγαλύτερη μεταβολή βάρους.

✓ Και στα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι ο χρόνος ισορροπίας των θρυμματισμένων δοκιμίων στη δοκιμή εκρόφησης - εξάτμισης είναι 7 ημέρες σε περιβάλλον NaCl και KCl, ενώ όσα τοποθετήθηκαν στο φούρνο ισορρόπησαν σε 3 ημέρες. Για τα ακέραια δοκίμια χρειάστηκαν 50 ημέρες για να ισορροπήσουν στην ίδια δοκιμή. Στη δοκιμή προσρόφησης - διύγρυνσης τα θρυμματισμένα δοκίμια ισορρόπησαν σε 15 ημέρες, τόσο σε περιβάλλον NaCl όσο και σε KCl, ενώ στο περιβάλλον K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> η ισορροπία πραγματοποιήθηκε περίπου σε 2 ημέρες.

### 3. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

✓ Γενικότερα, παρατηρείται σημαντικότερη μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας των δοκιμίων με την αύξηση του λόγου  $N/T$ . Αυτό υποδηλώνει μεγαλύτερο πορώδες στη μάζα των δοκιμίων με μεγαλύτερο λόγο  $N/T$  και συνεπάγεται μεγαλύτερη διαπερατότητα του σκυροδέματος, επιβεβαιώνοντας όσα αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 4, §2.2.3. σχετικά με την επίδραση του λόγου  $N/T$  στη διαπερατότητα και κατ'επέκταση στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

✓ Επίσης, διαπιστώθηκε η άμεση εξάρτηση της υγρασίας ισορροπίας από τις συνθήκες σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος των δοκιμών. Τη μικρότερη μεταβολή περιεχόμενης υγρασίας παρουσίασαν τα δοκίμια που εκτέθηκαν σε περιβάλλον δοκιμής με μικρότερη διαφορά σχετικής υγρασίας από την εσωτερική υγρασία των δοκιμίων. Επομένως, κατασκευή που πρόκειται να εκτεθεί σε ξηρό περιβάλλον συνιστάται να σχεδιάζεται με μικρό λόγο  $N/T$  για την κατά το δυνατόν μείωση της μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας και την αποφυγή των επιπτώσεων από την μετακίνηση ρευστών στη μάζα της, όπως χημική συστολή στην περίπτωση της εκρόφησης και χημικής διάβρωσης στην περίπτωση της προσρόφησης. Αντίστοιχα, σε υγρό περιβάλλον και με τη βασική προϋπόθεση ότι οι υγραμετρικές συνθήκες παραμένουν αμετάβλητες, καλύτερη συμπεριφορά ως προς τα φαινόμενα της διάχυσης θα εμφανίσουν κατασκευές που θα σχεδιαστούν με μεγάλο λόγο  $N/T$ . Επειδή όμως στην πραγματικότητα οι συνθήκες υγρασίας του περιβάλλοντος δεν παραμένουν σταθερές, δεν προτείνεται ο σχεδιασμός με μεγάλο λόγο  $N/T$  καθώς επιδρά αρνητικά σε πολλές από τις βασικές ιδιότητες του σκυροδέματος, όπως την αντοχή και τον έρπυσμό.

✓ Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων εκρόφησης και προσρόφησης στο παράρτημα, και μόνο για τα δοκίμια τα οποία και για τις δύο δοκιμές οι συνθήκες τους παρέμειναν ίδιες, δηλαδή για τα διαγράμματα στις σελίδες 217-222, 232-237, 250-255 και 268-273, προέκυψε διαφορά στις υγρασίες ισορροπίας. Δηλαδή, σπασμένα δοκίμια που υποβλήθηκαν στη δοκιμή εκρόφησης σε περιβάλλον  $NaCl$  απέβαλλαν λιγότερο νερό από ότι απορρόφησαν στη δοκιμή προσρόφησης σε περιβάλλον  $NaCl$ , στην οποία υποβλήθηκαν μετά. Αυτή η διαφορά επαληθεύει το φαινόμενο της υστέρησης, που έχει αναλυθεί στο Κεφάλαιο 4, §3.2.3., σύμφωνα με το οποίο στα κορεσμένα δοκίμια η διαφυγή νερού, από κάποιο σημείο και μετά, εμποδίζεται λόγω της συρρίκνωσης των φυλλιδίων των ασβεστοπυριτικών ενώσεων  $C-S-H$ . Κατά συνέπεια, στις ίδιες συνθήκες

υγρασίας περιβάλλοντας τα δοκίμια κατά την εκρόφηση, στην οποία υποβάλλονται οι κατασκευές την άνοιξη, περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα νερού από ότι κατά την προσρόφηση, στην οποία υποβάλλονται οι κατασκευές το φθινόπωρο.

✓ Επειδή τα συμπεράσματα που εξάγονται από τις δοκιμές της εκρόφησης και υδατοπορρόφησης είναι συγκρίσιμα και λόγω της ευκολίας διεξαγωγής της πρώτης σε σχέση με τη δεύτερη, θα μπορούσε να εξεταστεί η δυνατότητα να πραγματοποιούνται πειράματα εκρόφησης αντί υδατοπορρόφησης. Θα πρέπει σε αυτή την περίπτωση να ληφθεί υπόψη ο χρόνος διεξαγωγής του πειράματος, ο οποίος είναι μεγαλύτερος για τη δοκιμή εκρόφησης.

✓ Η διεξαγωγή της δοκιμής της εκρόφησης σε θρυμματισμένα και ακέραια δοκίμια οδήγησε στη διαπίστωση ότι η συμπεριφορά του σκυροδέματος, σε ότι αφορά την κατανομή των πόρων στο εσωτερικό του, δεν μπορεί να μελετηθεί σε θρυμματισμένα δοκίμια, αφού καταστρέφεται η δομή του πορώδους συστήματος. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι η μορφή του δείγματος δεν επέδρασε στο τελικό ποσοστό υγρασίας κατά την ολοκλήρωση της δοκιμής εκρόφησης. Δηλαδή, θρυμματισμένα και ακέραια δοκίμια ισορρόπησαν με ίση περίπου μεταβολή βάρους. Κατά συνέπεια, επαληθεύεται η θεώρηση πάνω στην οποία στηρίχθηκε έρευνα της RILEM, σύμφωνα με την οποία οι δοκιμές εκρόφησης μπορούν να επιτευχθούν σε θρυμματισμένα δοκίμια και να εξάγουν ταχύτερα συμπεράσματα για τις περιεχόμενες υγρασίες των ακέραιων δοκιμίων. [15]

#### 4. ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

✓ Στην παρούσα διπλωματική εργασία η μελέτη της “επικοινωνίας” του σκυροδέματος με το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται, πραγματοποιήθηκε σε σταθερές εργαστηριακές συνθήκες και προσομοιώνουν κατά το δυνατόν τις συνθήκες περιβάλλοντος. Ωστόσο, μια πραγματική κατασκευή υπόκειται σε μεταβαλλόμενες υδροθερμικές συνθήκες και η συμπεριφορά της εξαρτάται άμεσα από αυτές. Επομένως, για τη μελέτη της συμπεριφοράς του σκυροδέματος στις πραγματικές κατασκευές προτείνεται η διεξαγωγή μακροχρόνιων δοκιμών σε εξωτερικό περιβάλλον, ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση των εποχιακών μεταβολών.

✓ Στο Κεφάλαιο 4, §2.2.1. έχει αναλυθεί η σημαντική επίδραση της λεπτότητας του τσιμέντου, της σύνθεσης των συστατικών του, ιδίως της περιεχόμενης ποσότητας ποζολανών, και της ποσότητας του τσιμεντοπολτού στη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Κρίνεται λοιπόν σκόπιμη η επανάληψη των ίδιων δοκιμών για διαφορετικές ποιότητες τσιμέντου που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές.

✓ Επίσης, ο τρόπος συντήρησης του σκυροδέματος, που καθορίζει την εξέλιξη της διαδικασίας της ενυδάτωσης, παίζει αποφασιστικό ρόλο στην τελική αντοχή του σκυροδέματος. Προτείνεται, επομένως, η διεξαγωγή των δοκιμών σε δοκίμια που έχουν συντηρηθεί με διάφορους τρόπους.

✓ Για τη μεγαλύτερη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα η ομοιόμορφη κατανομή της σχετικής υγρασίας στους θαλάμους δοκιμών. Στα συγκεκριμένα πειράματα, οι ανεμιστήρες ανακύκλωσης του αέρα που χρησιμοποιήθηκαν πιθανόν να εισήγαγαν σφάλματα στις μετρήσεις των δοκιμών που είχαν τοποθετηθεί κοντά σε αυτούς, αφού έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι η σχετική υγρασία RH εξαρτάται από την ταχύτητα του πνέοντος αέρα. Επίσης, σφάλματα υπεισέρχονται στις μετρήσεις των δοκιμών που τοποθετήθηκαν στο φούρνο λόγω της διαφορετικής τους θέσης ως προς τους αγωγούς αερισμού του φούρνου.

✓ Για ακριβέστερη ανάλυση της συμπεριφοράς του σκυροδέματος προτείνεται η διεξαγωγή των δοκιμών σε μεγαλύτερο δείγμα δοκιμών. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε να γίνει στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

✓ Τέλος, συνιστάται η διερεύνηση της κατανομής των πόρων με πορομετρικές μεθόδους για την πληρέστερη μελέτη του μηχανισμού της διαπερατότητας και κατ' επέκταση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος.

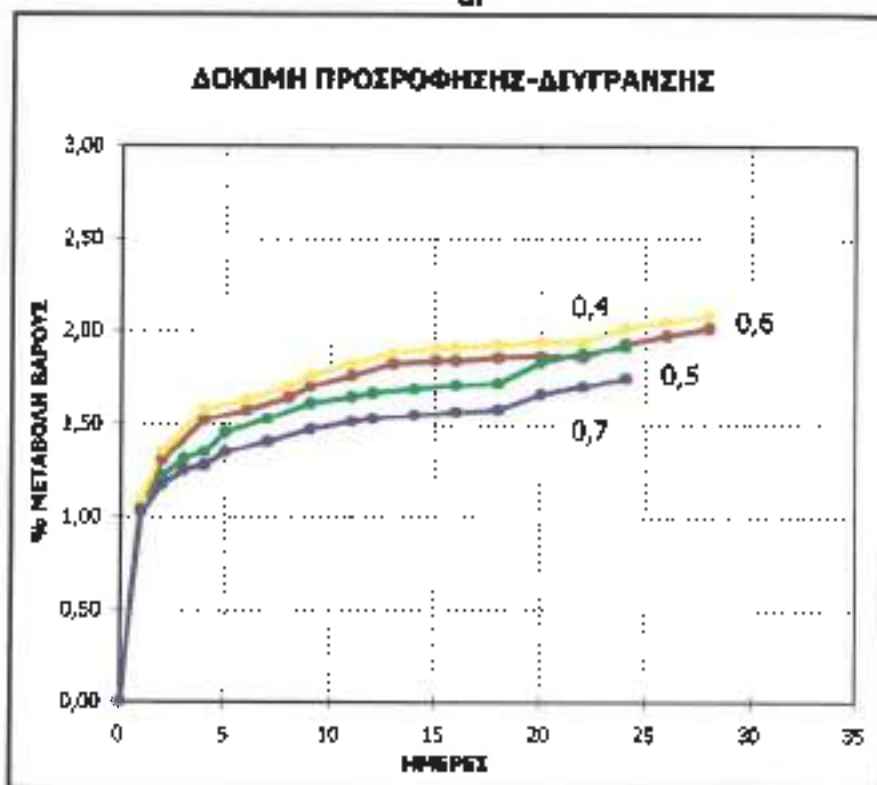
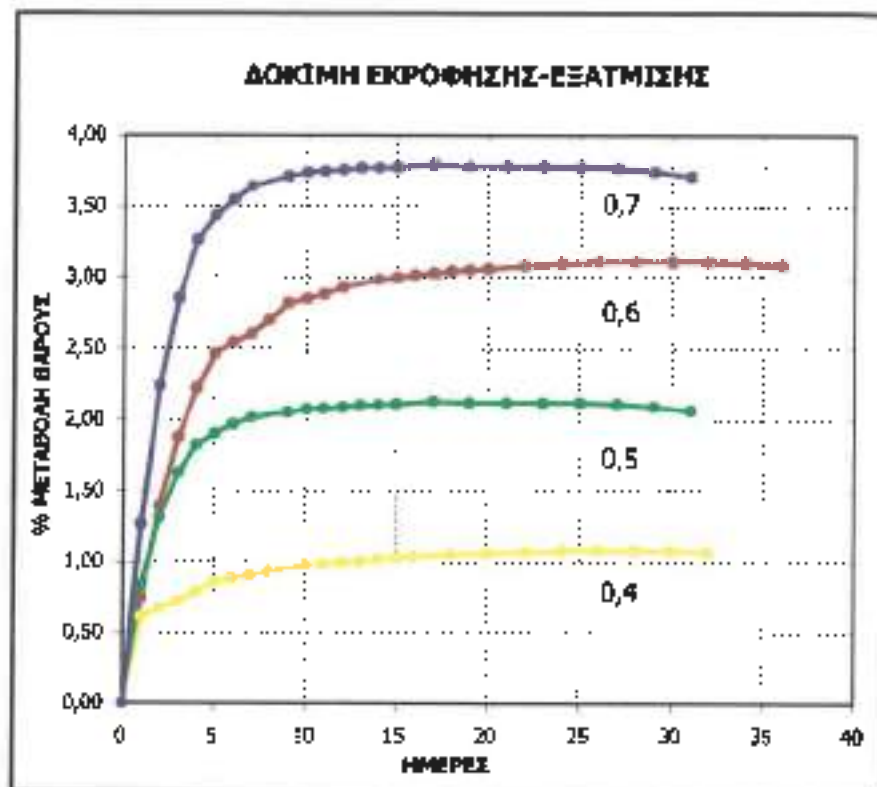


## Κατηγορία Διαγραμμάτων Ι

### «ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΛΟΓΟΥ Ν/Τ»

#### Λόγοι Ν/Τ

1. **A = 0,6**
2. **B = 0,4**
3. **Γ = 0,5**
4. **Δ = 0,7**

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ α-β  
Μ.Ο δοκιμίων

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

A1-A2-A3  
B1-B2-B3  
Γ1-Γ2-Γ3  
Δ1-Δ2-Δ3

**ΛΟΓΟΙ Ν/Τ**

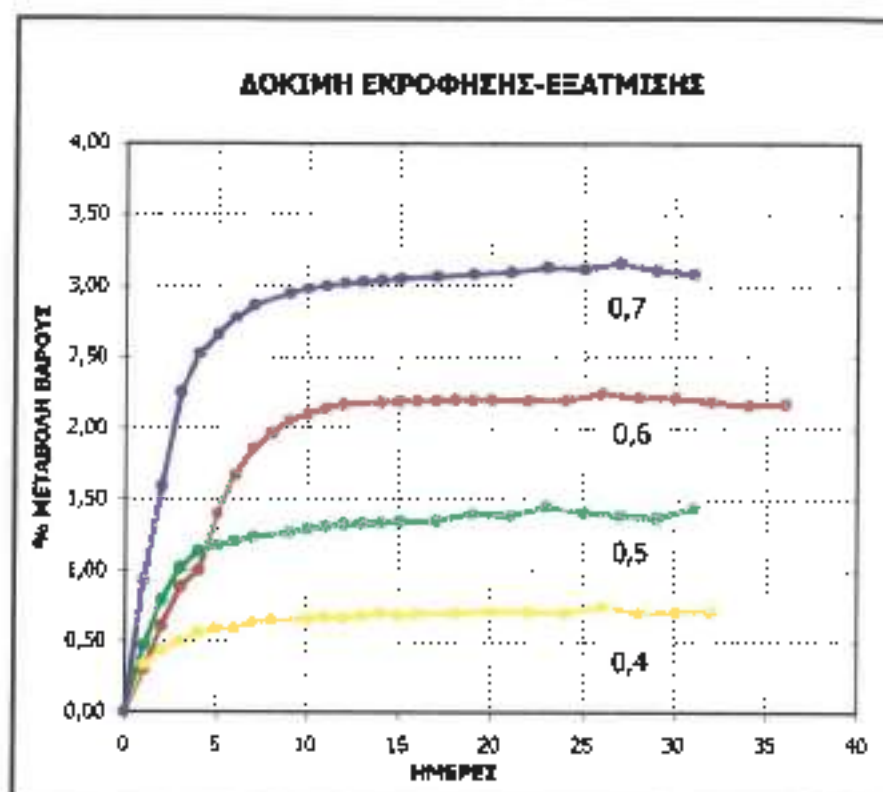
Β-0,4  
Γ-0,5  
Α-0,6  
Δ-0,7

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

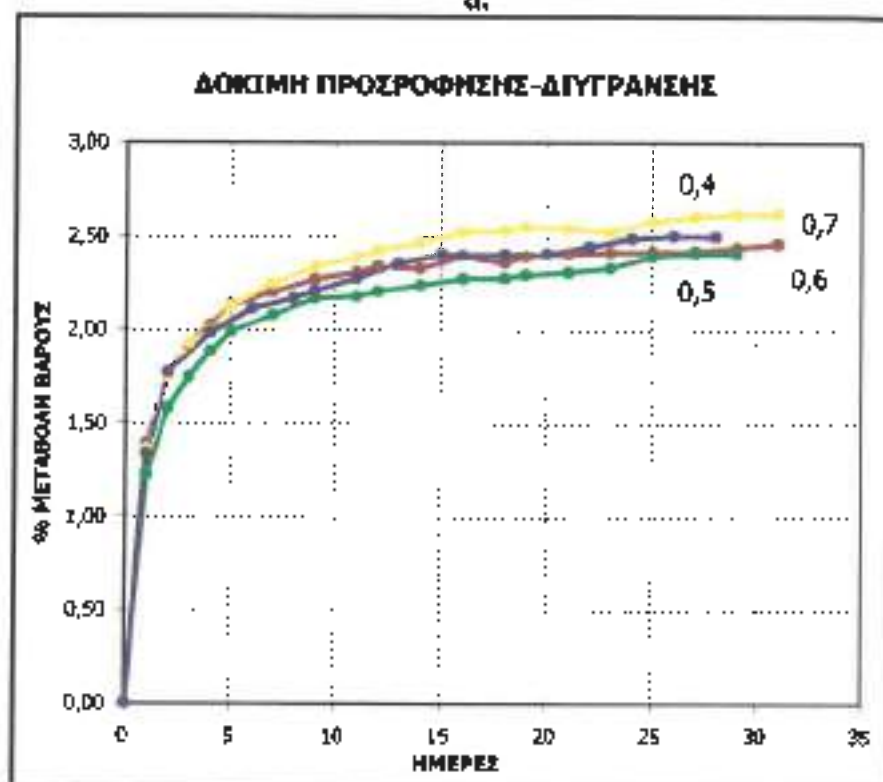
Στασμένα

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

NaCl RH-75%



α.



β.

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ α-β  
Μ.Ο δοκιμίων**ΔΟΚΙΜΙΑ**

Α4-Α5-Α6

Β4-Β5-Β6

Γ4-Γ5-Γ6

Δ4-Δ5-Δ6

**ΛΟΓΟΙ Ν/Τ**

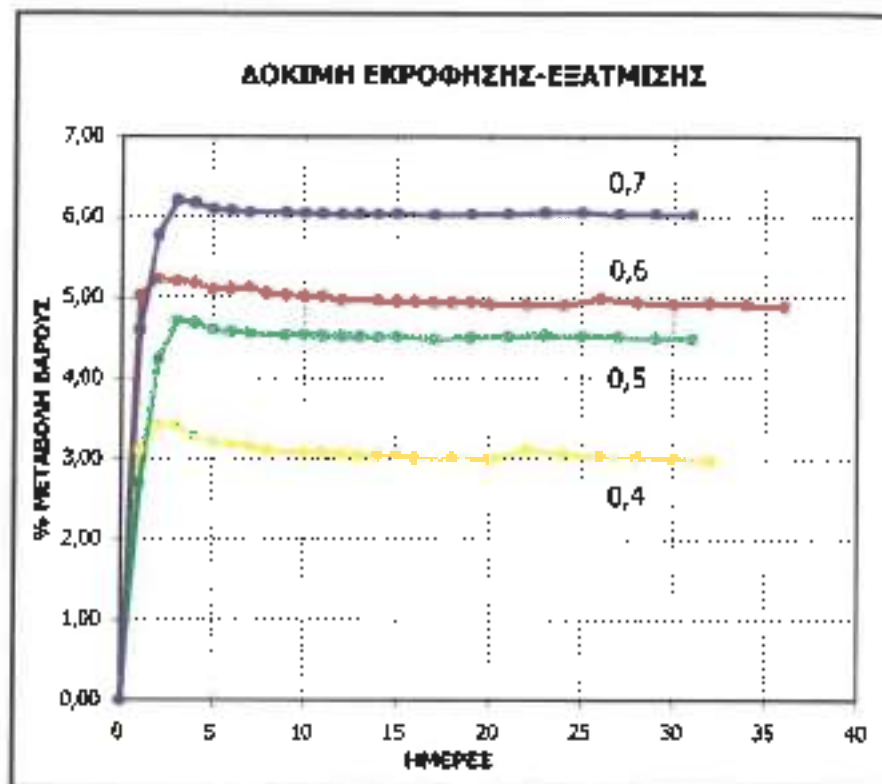
Β-0,4  
Γ-0,5  
Α-0,6  
Δ-0,7

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

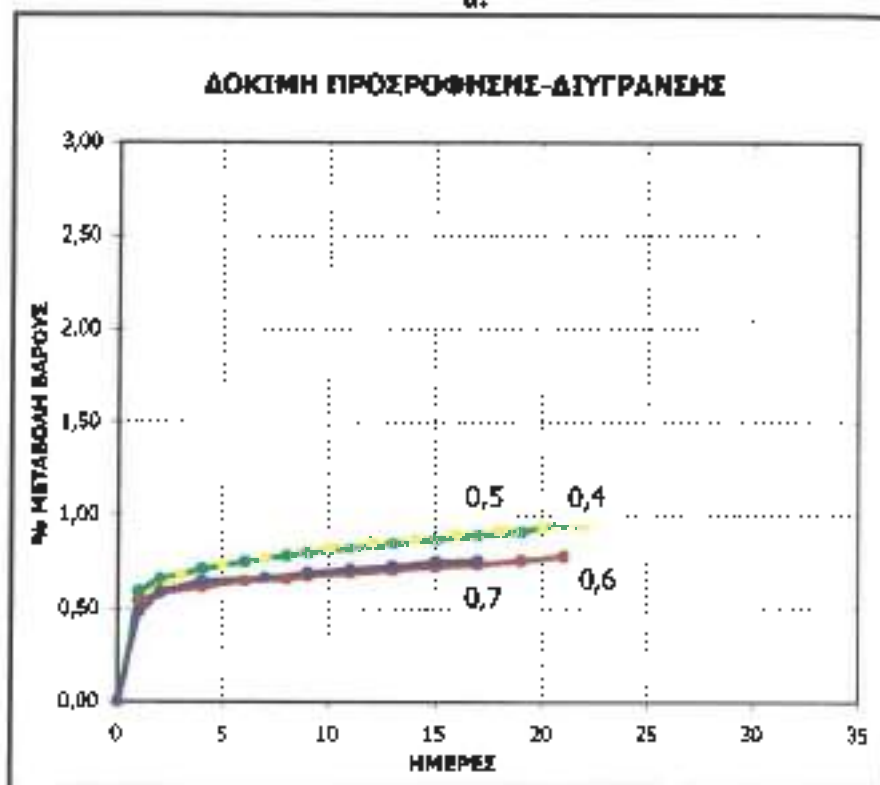
Σπασμένα

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

ΚCl RH=85%



α.



β.

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ α-β**  
**Μ.Ο δοκιμίων**

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

Α7-Α8-Α9

Β7-Β8-Β9

Γ7-Γ8-Γ9

Δ7-Δ8-Δ9

**ΛΟΓΟΙ Ν/Τ**

Β-0,4  
Γ-0,5  
Α-0,6  
Δ-0,7

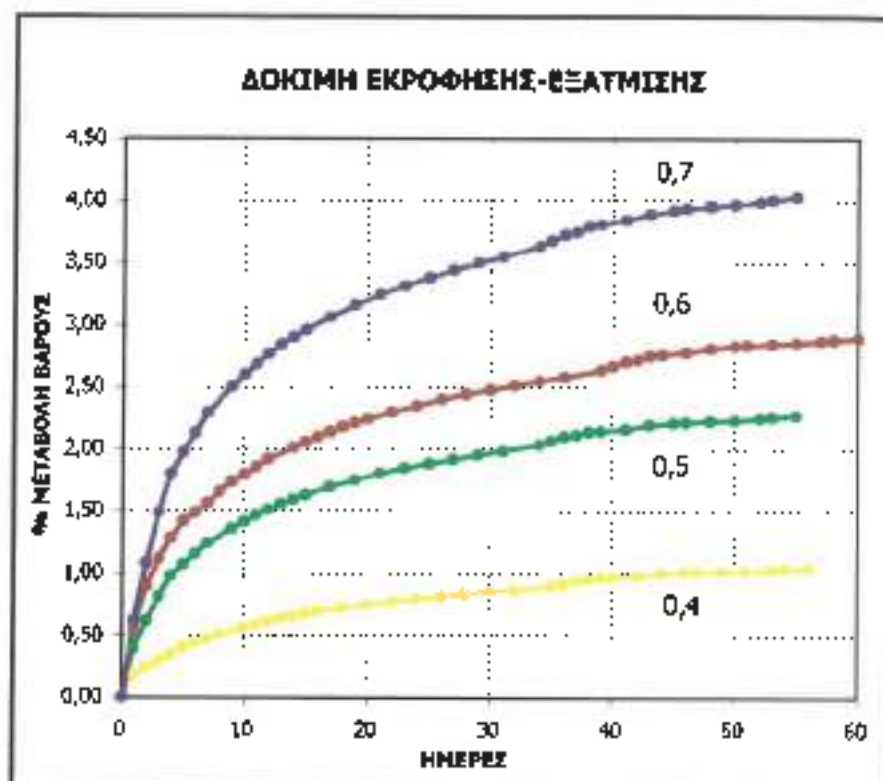
**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

Σπασμένο

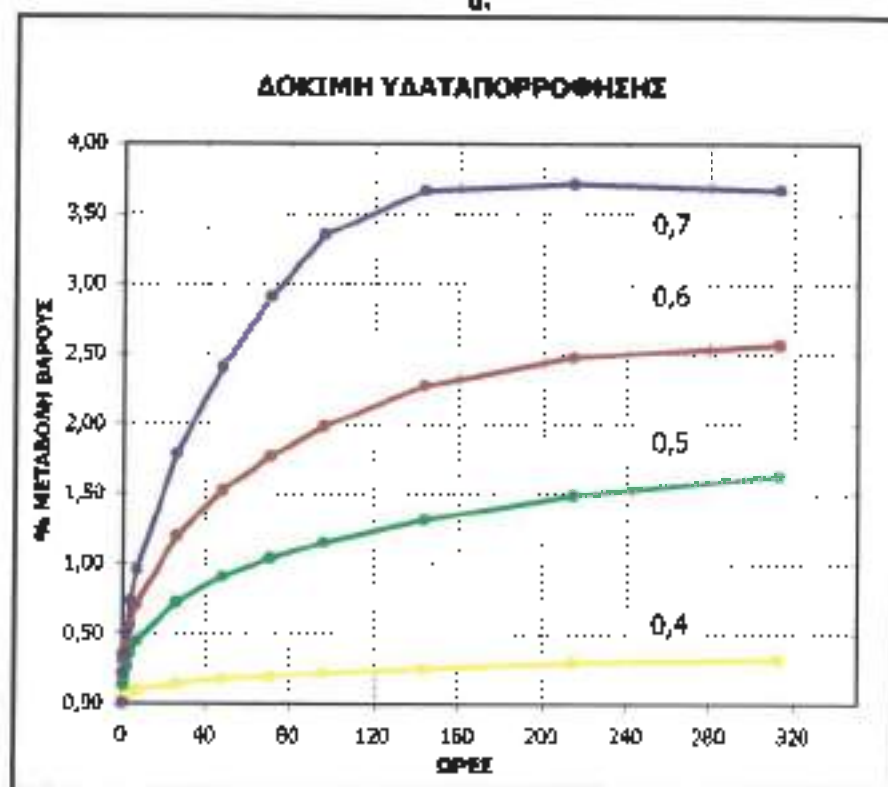
**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

α. Φούρνος RH 20-25%

β. K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> RH-43%



α.



β.

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ α-β  
Μ.Ο δοκιμών

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

Α10-Α11-(Α12)  
Β10-Β11-(Β12)  
Γ10-Γ11-(Γ12)  
Δ10-Δ11-(Δ12)

**ΛΟΓΟΙ Ν/Τ**

Β-0,4  
Γ-0,5  
Α-0,6  
Δ-0,7

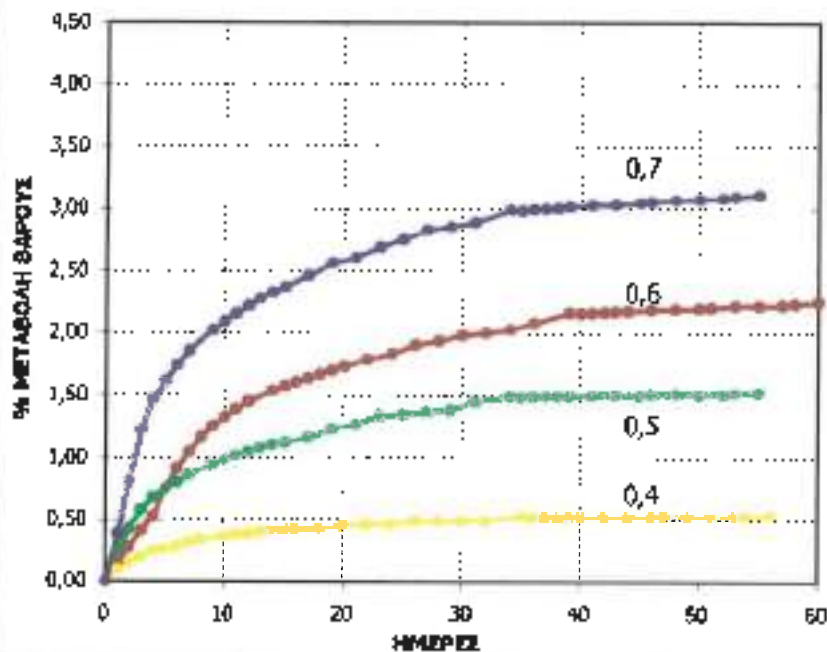
**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

Αέριο

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

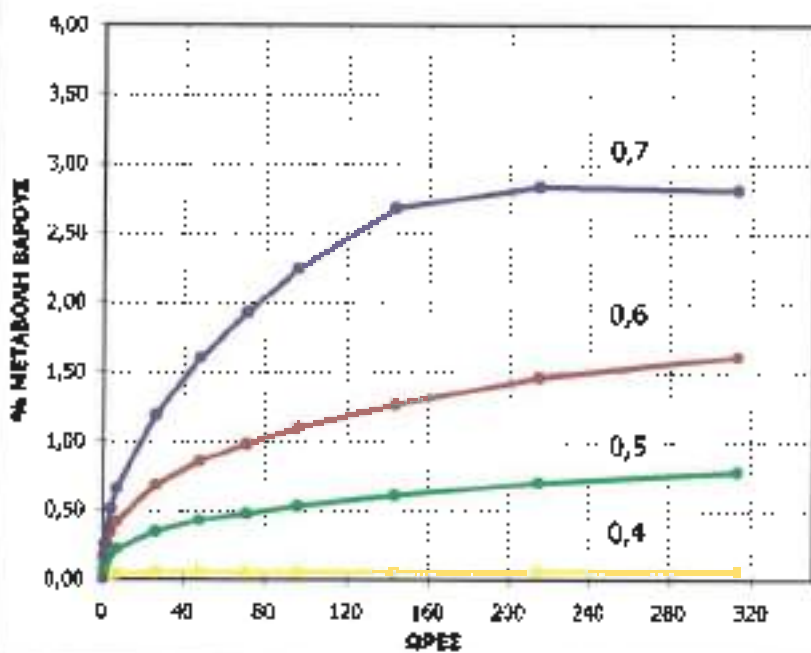
α. NaCl RH-75%  
β. Περιβ. ερη. RH-63%

## ΔΟΚΙΜΗ ΕΚΡΟΦΗΣΗΣ-ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ



α.

## ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ



β.

## ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ α-β  
Μ.Ο. δοκιμών

## ΔΟΚΙΜΙΑ

Α13-Α14 (Α15)  
Β13-Β14 (Β15)  
Γ13-Γ14 (Γ15)  
Δ13-Δ14 (Δ15)

## ΛΟΓΟΙ Ν/Τ

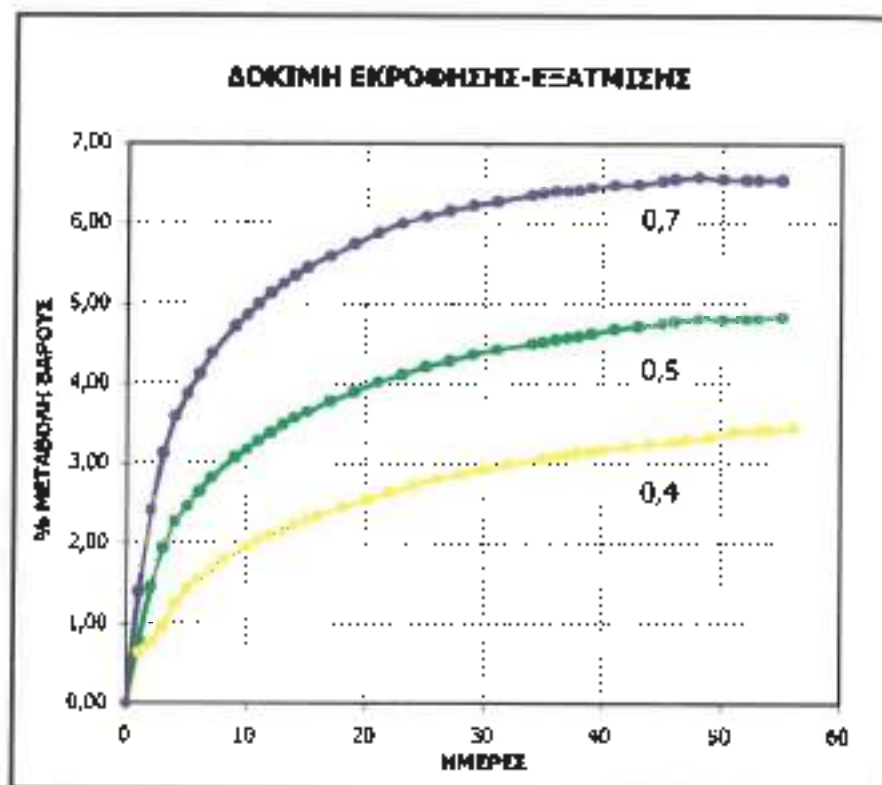
Β-0,4  
Γ-0,5  
Α-0,6  
Δ-0,7

## ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

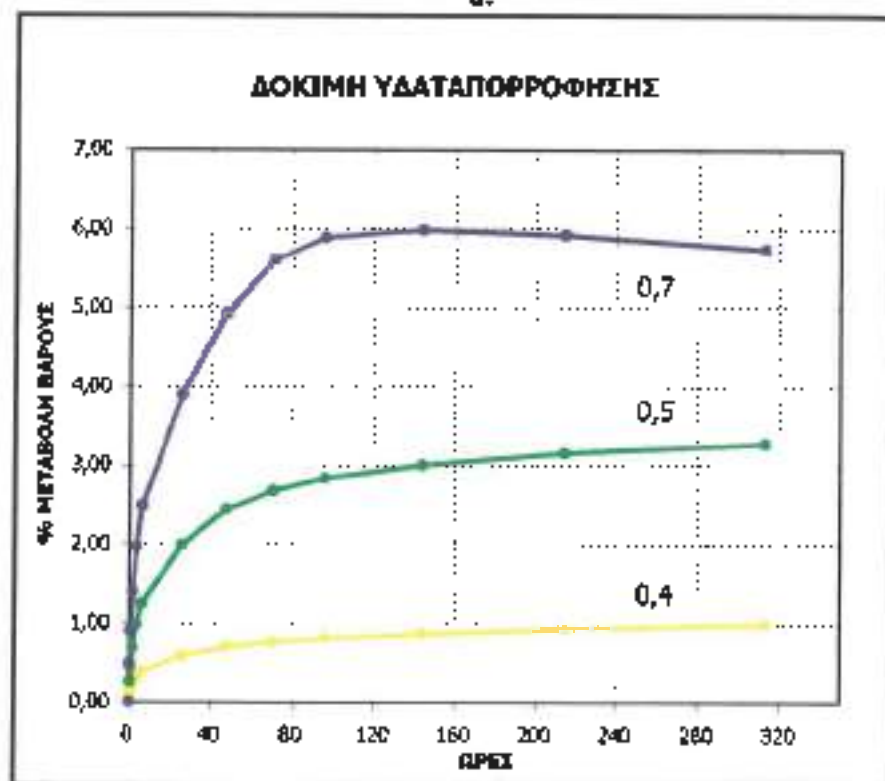
Ακέραια

## ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

α. ΚCl RH-85%  
β. Περιβ. ερυ. RH-63%



α.



β.

**ΥΛΟΜΗΝΗ Α**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ α-β  
Μ.Ο δοκιμίων

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

Β16-Β17-(Β18)  
Γ16-Γ17-(Γ18)  
Δ16-Δ17-(Δ18-Δ19)

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

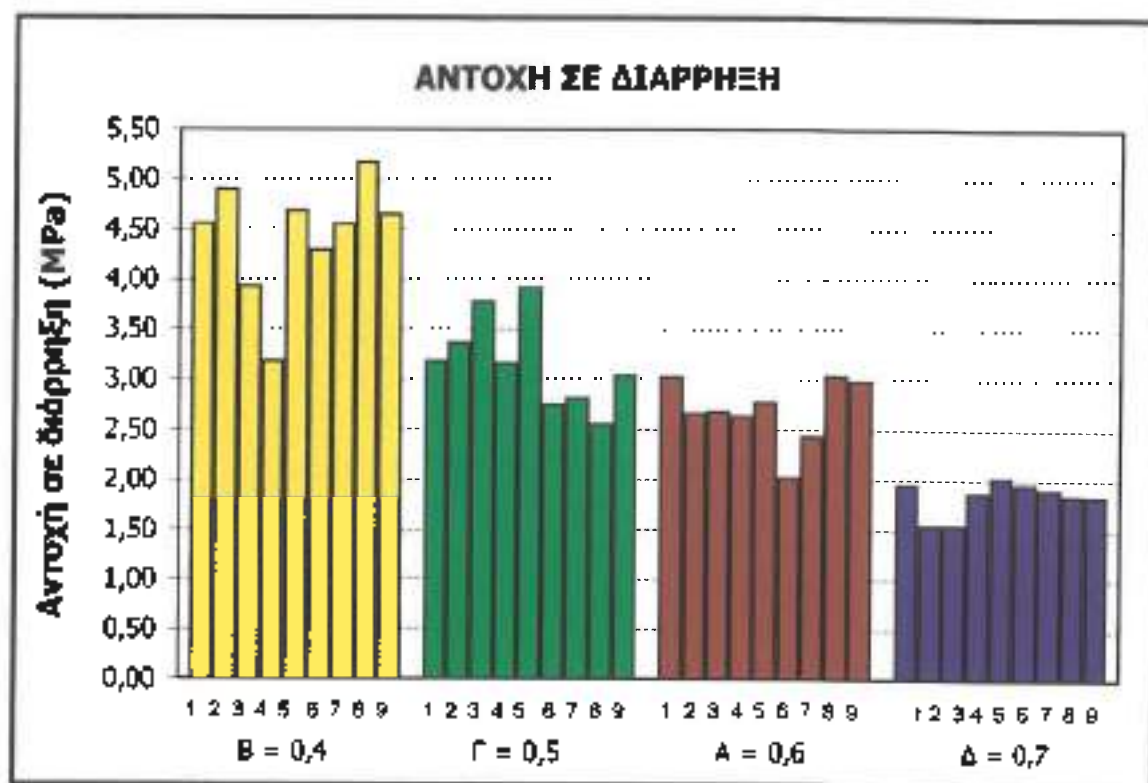
Β-0,4  
Γ-0,5  
Α-0,6  
Δ-0,7

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

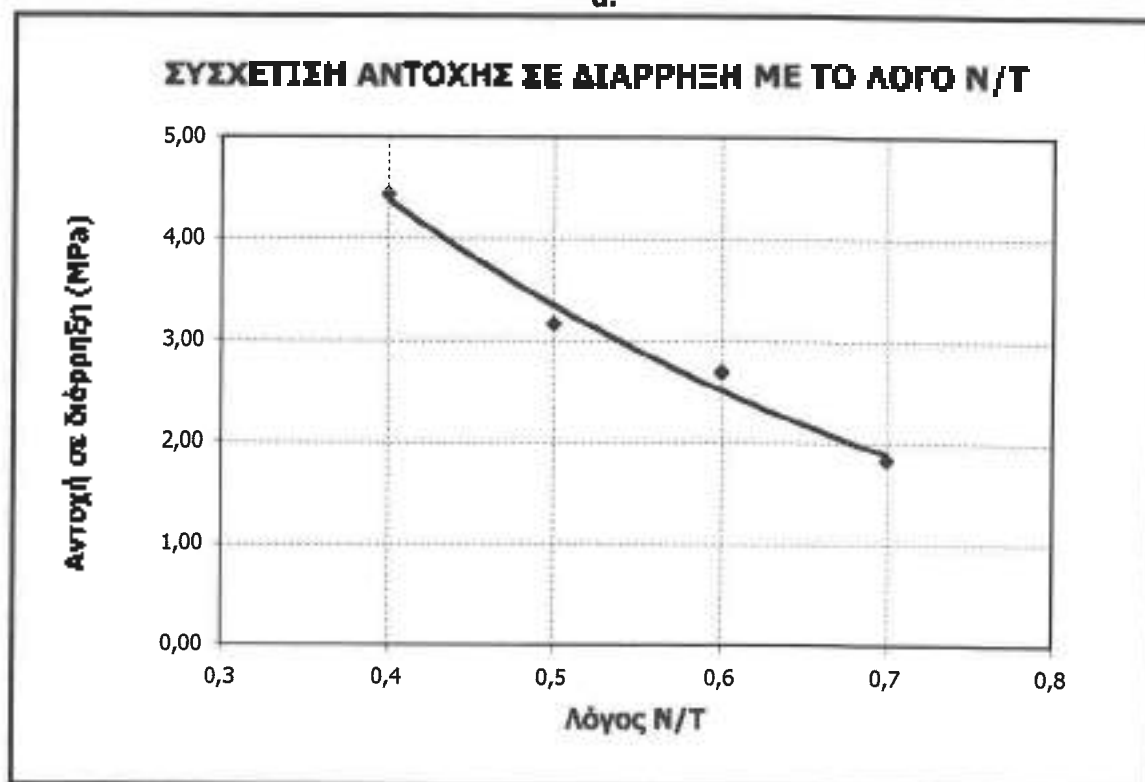
Ακέραια

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

α. Φούρνος, RH 20-25%  
β. Περιβ. εργ. RH-63%



α.



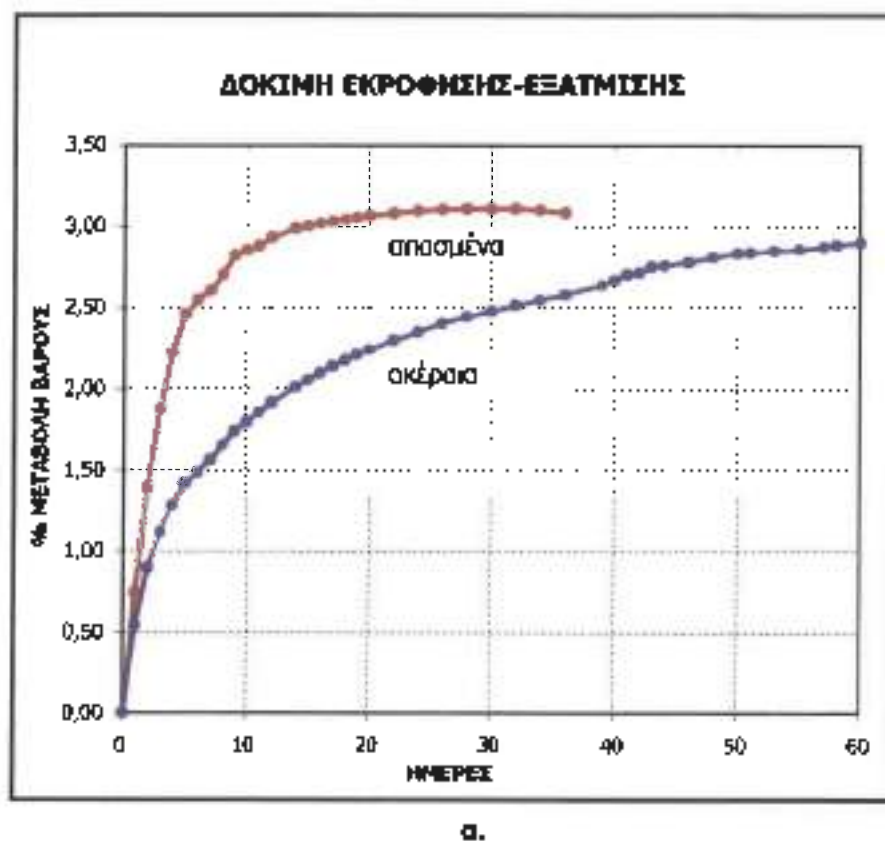
β.

## Κατηγορία Διαγραμμάτων II

.....«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΟΡΦΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ».....

### Μορφή του δείγματος

1. **Θρυμματισμένα**
2. **Ακέραια**

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμίων

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

A1-A2-A3  
A10-A11-A12

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

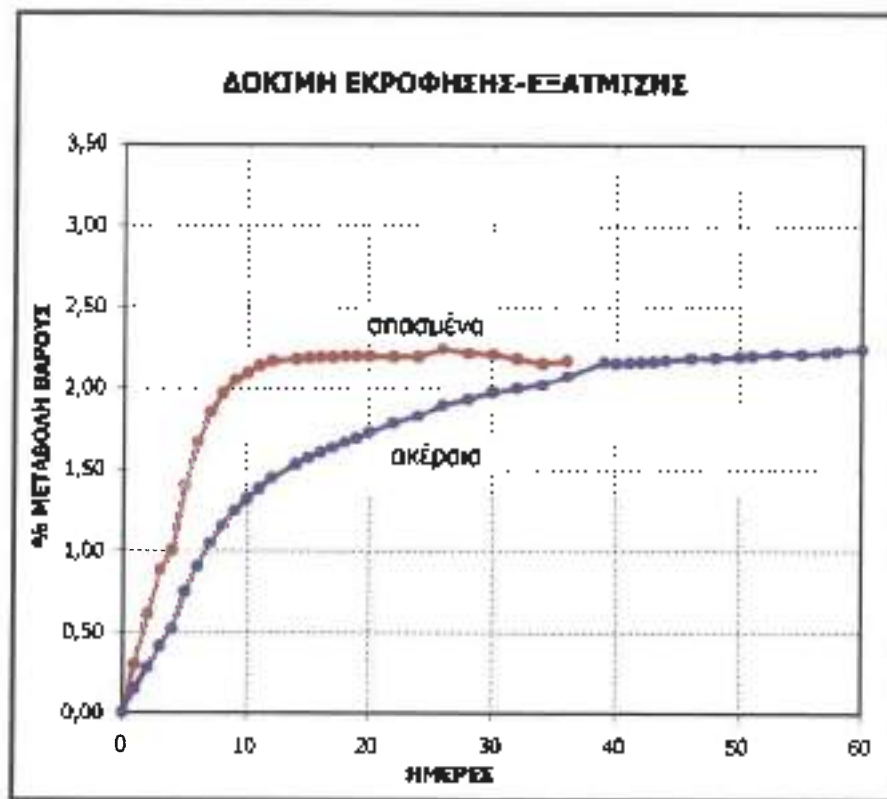
Σπασμένα  
Ακέραια

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

A-0,6

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

NaCl RH-75%



α.

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμίων

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

A4-A5-A6  
A13-A14-A15

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

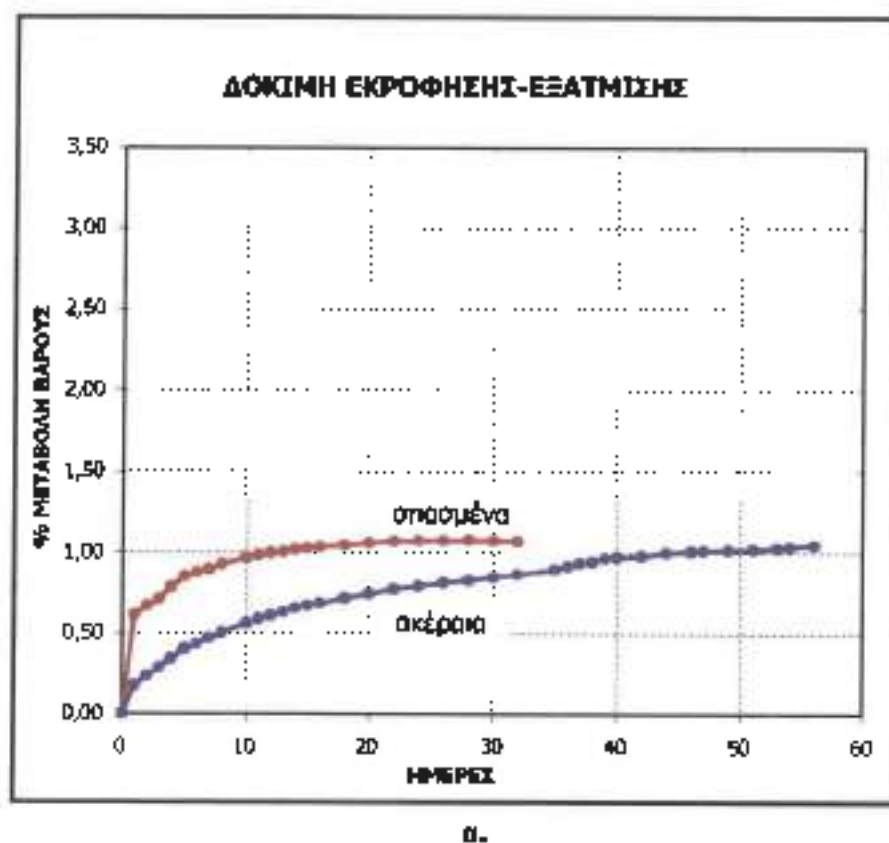
Σπασμένα  
Ακέραια

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

A-0,6

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

ΚΟ RH-85%

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ο  
Μ.Ο δοκιμίων

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

B1-B2-B3  
B10-B11-B12

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

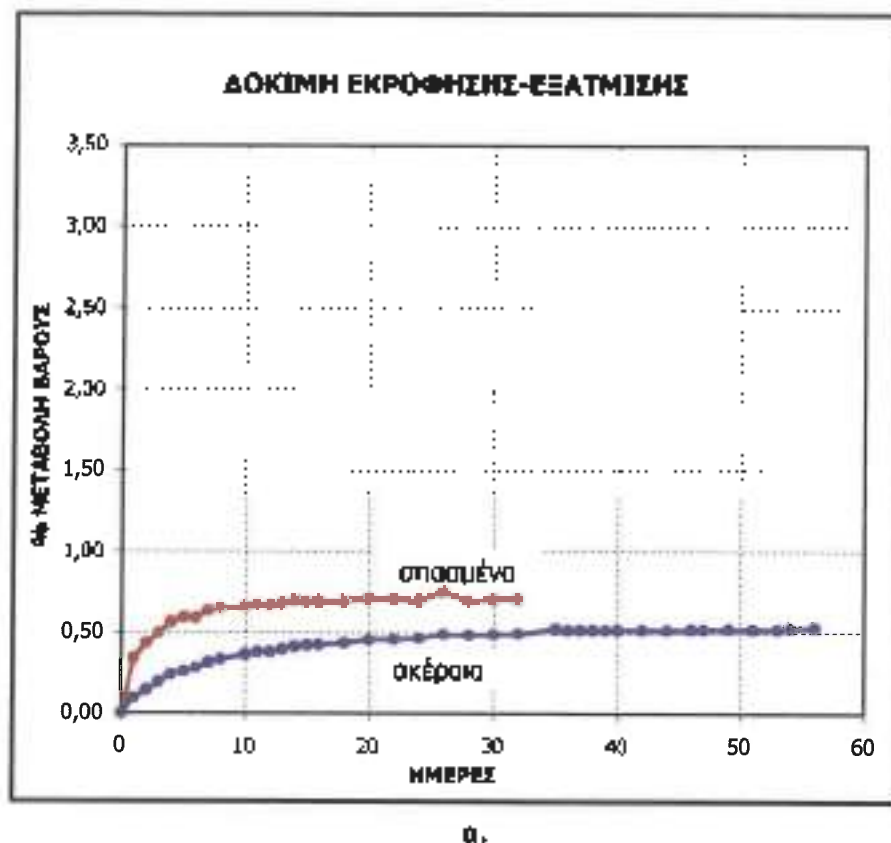
Σπασμένα  
Ακέραια

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

B-0,4

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

NaCl RH-75%



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμίων

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

B4-B5-B6  
B13-B14-B15

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

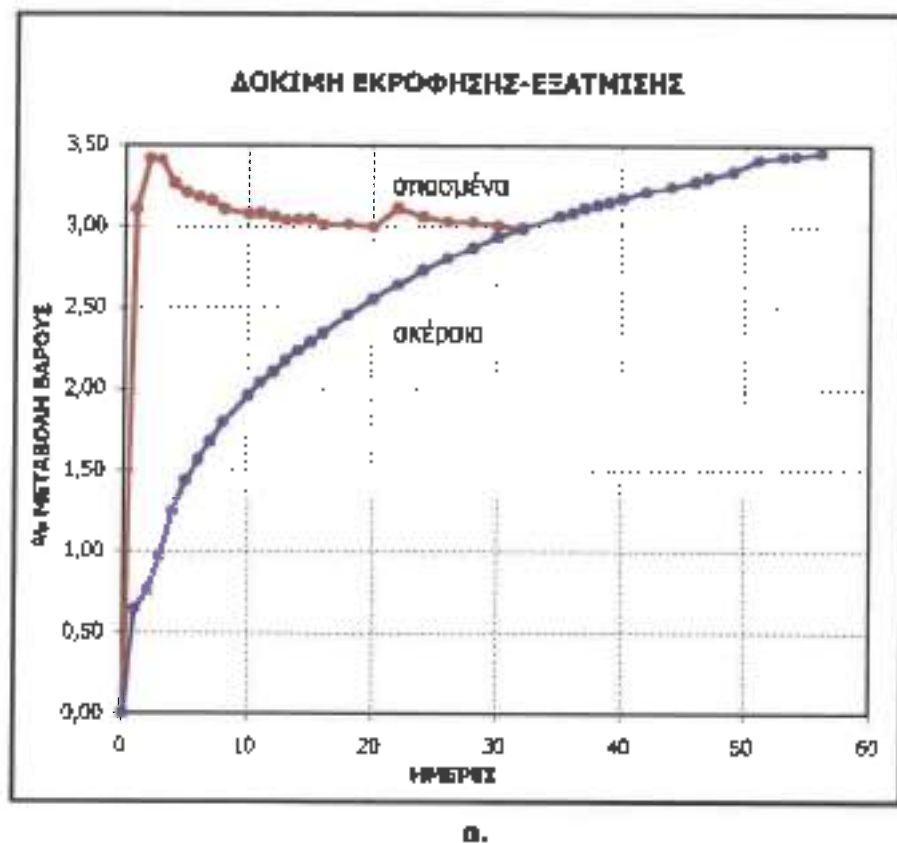
Σπασμένα  
Ακέραια

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

B-0,4

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

KCI RH-85%

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 0  
Μ.Ο δοκιμίων

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

B7-B8-B9  
B16-B17-B18

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

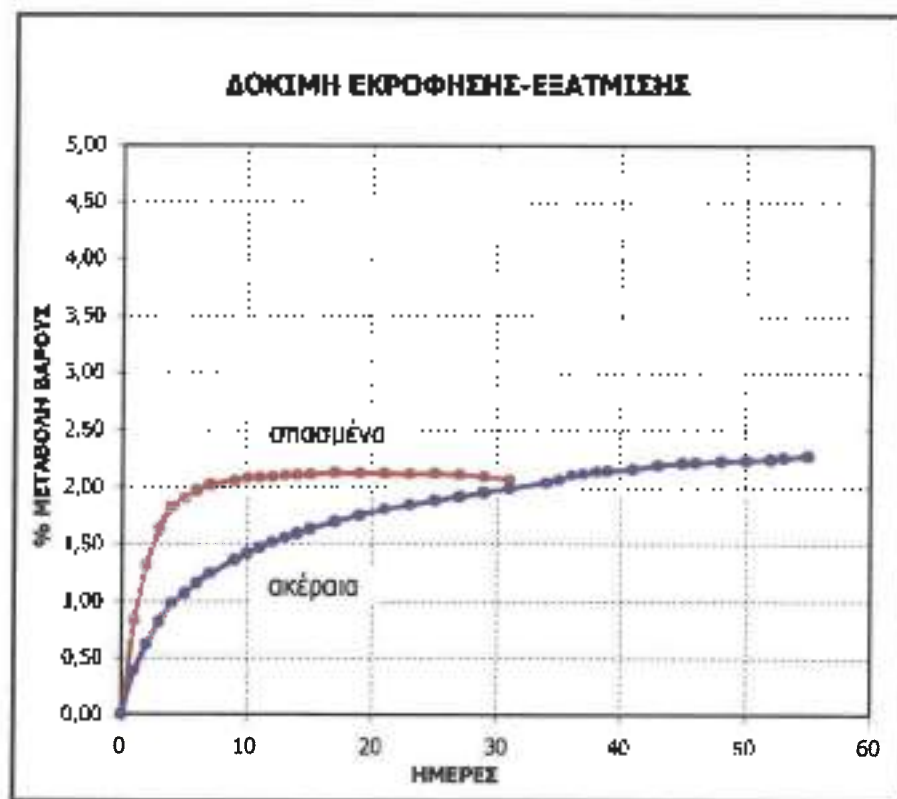
— Σπασμένα  
— Ακέραια

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

B-0,4

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

Φούρνος RH 20-25%



α.

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμίων

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

Γ1-Γ2-Γ3  
Γ10-Γ11-Γ12

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

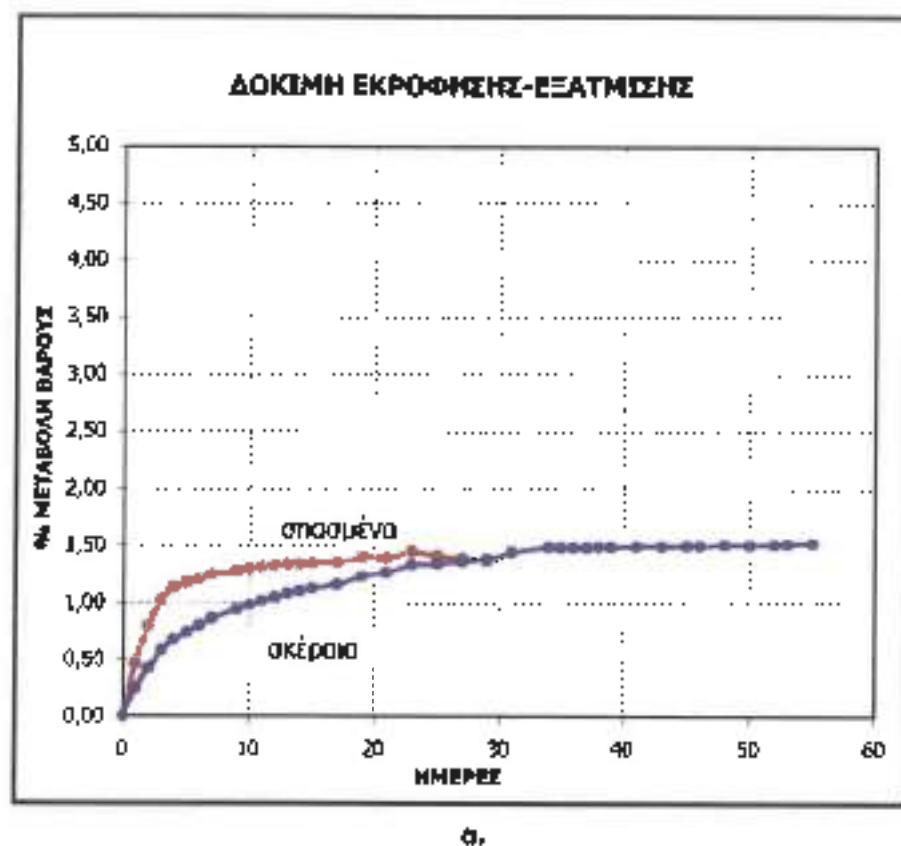
Σπασμένα  
Ακέραια

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

Γ-0,5

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

NaCl RH-75%

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμίων

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

Γ4-Γ5-Γ6  
Γ13-Γ14-Γ15

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

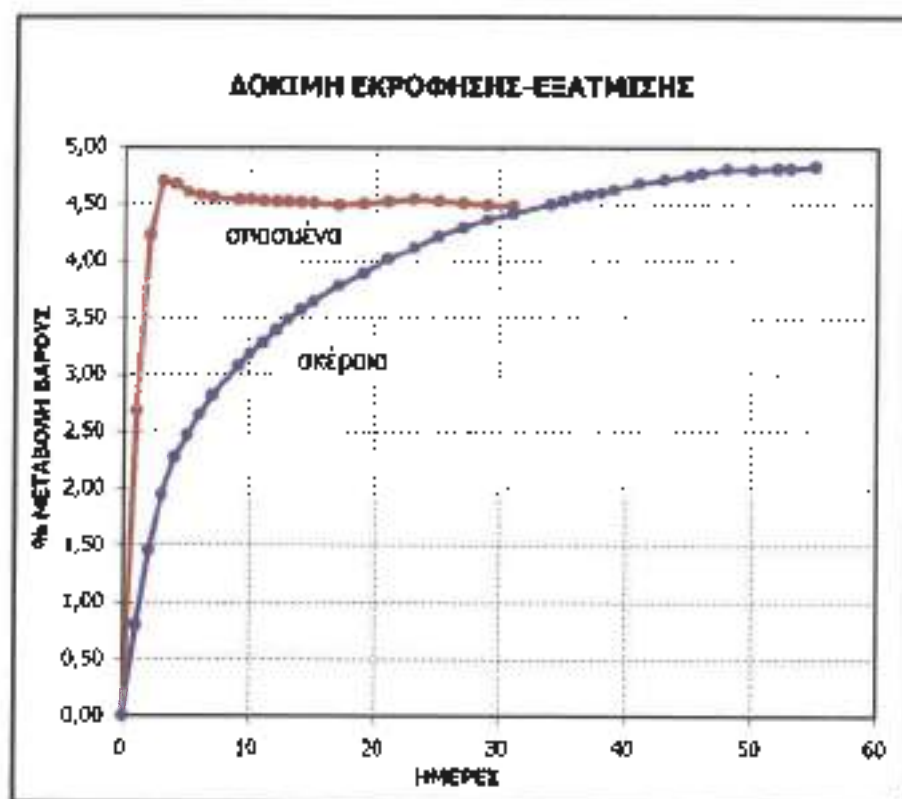
Σπασμένα  
Ακέραια

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

Γ-0,5

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

KOL RH-85%



α.

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμίων

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

Γ7-Γ8-Γ9  
Γ16-Γ17-Γ18

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

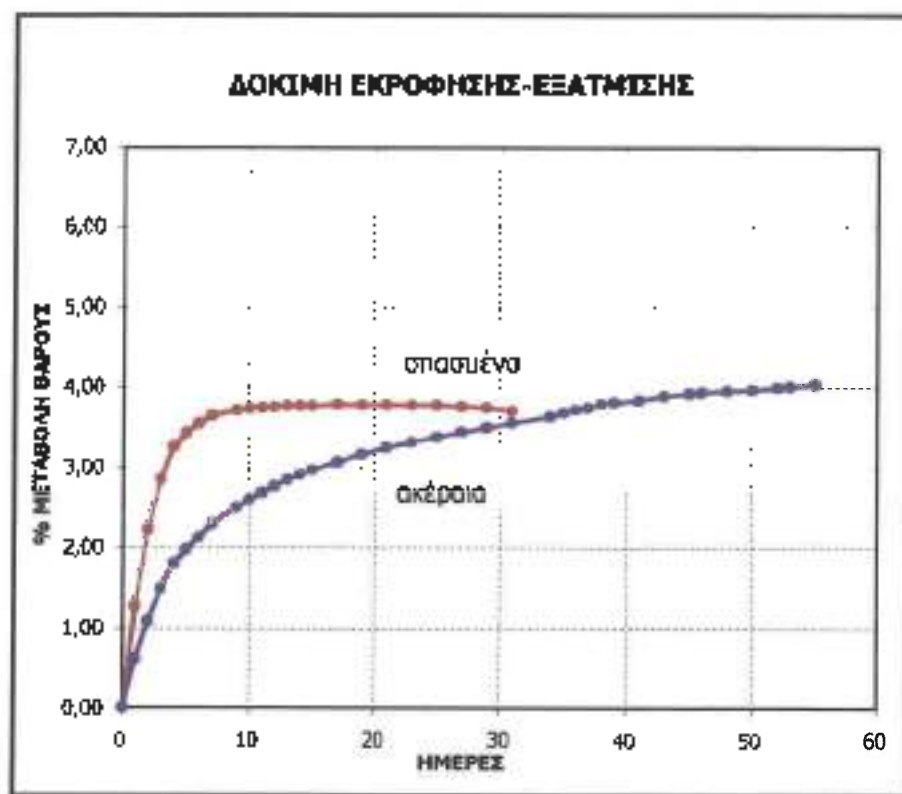
Σπασμένα  
Ακέραια

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

Γ-0,5

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

Φούρνος RH 20-25%



α.

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμών

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

Δ1-Δ2-Δ3  
Δ10-Δ11-Δ12

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

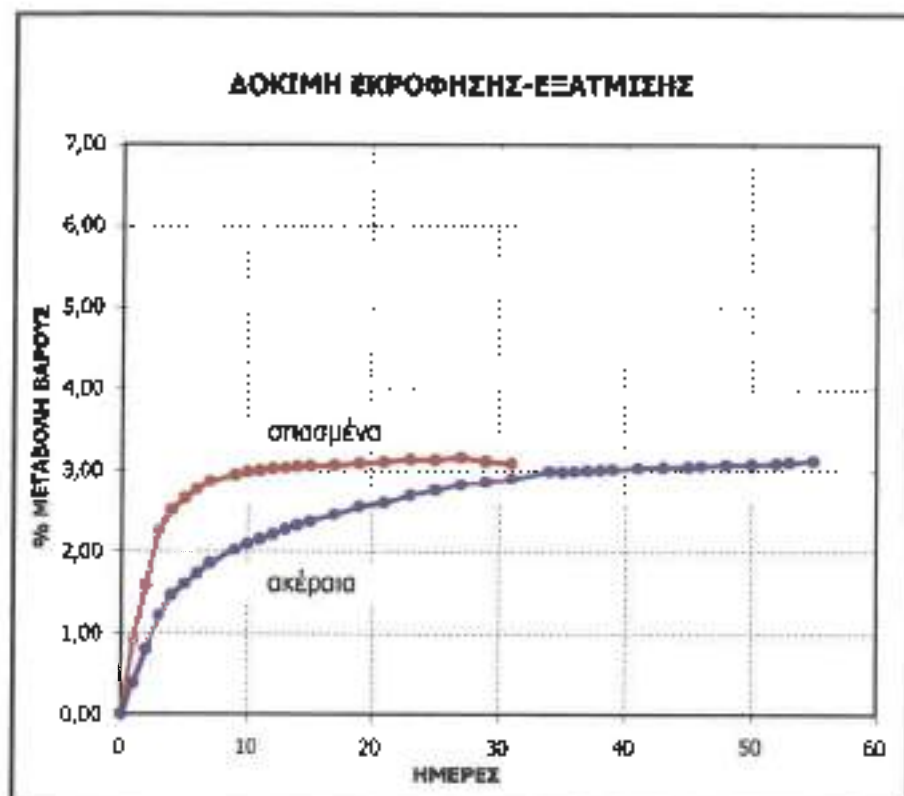
Σπασμένο  
Ακέραιο

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

Δ-0,7

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

NaCL RH-75%



α.

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμών

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

Δ4-Δ5-Δ6  
Δ13-Δ14-Δ15

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

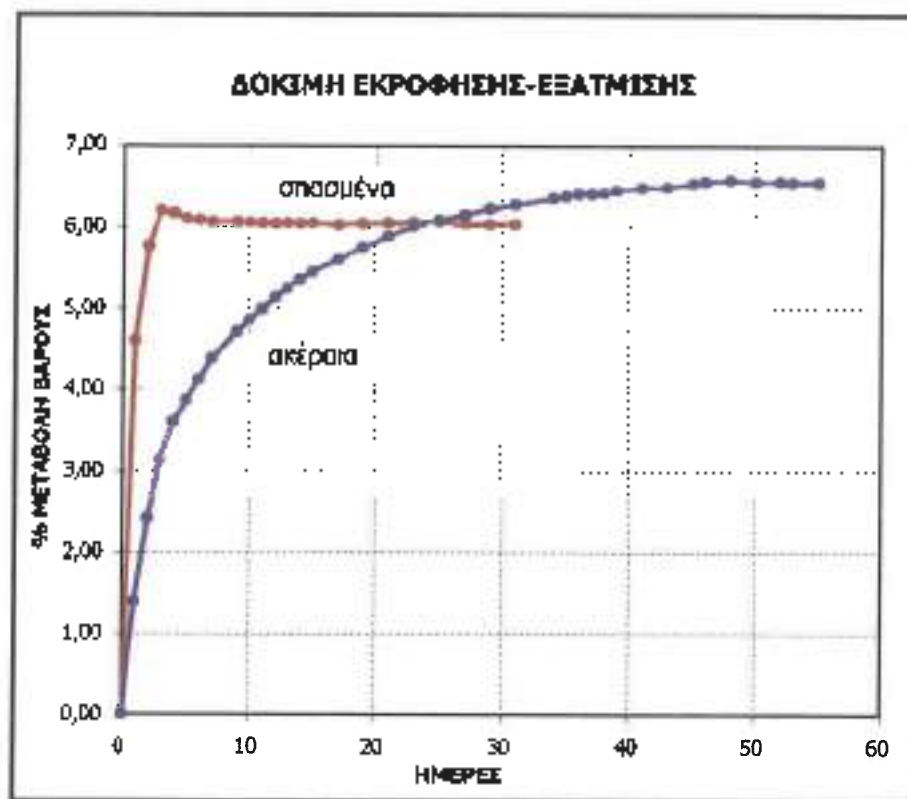
■ Σπασμένα  
■ Ακέραια

**ΛΟΓΟΣ Ν/Τ**

Δ-0,7

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

KCL RH-75%



α.

**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμών

**ΔΟΚΙΜΙΑ**

Δ7-Δ8-Δ9  
Δ16-Δ17-Δ18-Δ19

**ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

Σπασμένα  
Ακέραια

**ΛΟΓΟΣ Η/Τ**

Δ-0,7

**ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

Φούρνος RH 20-25%

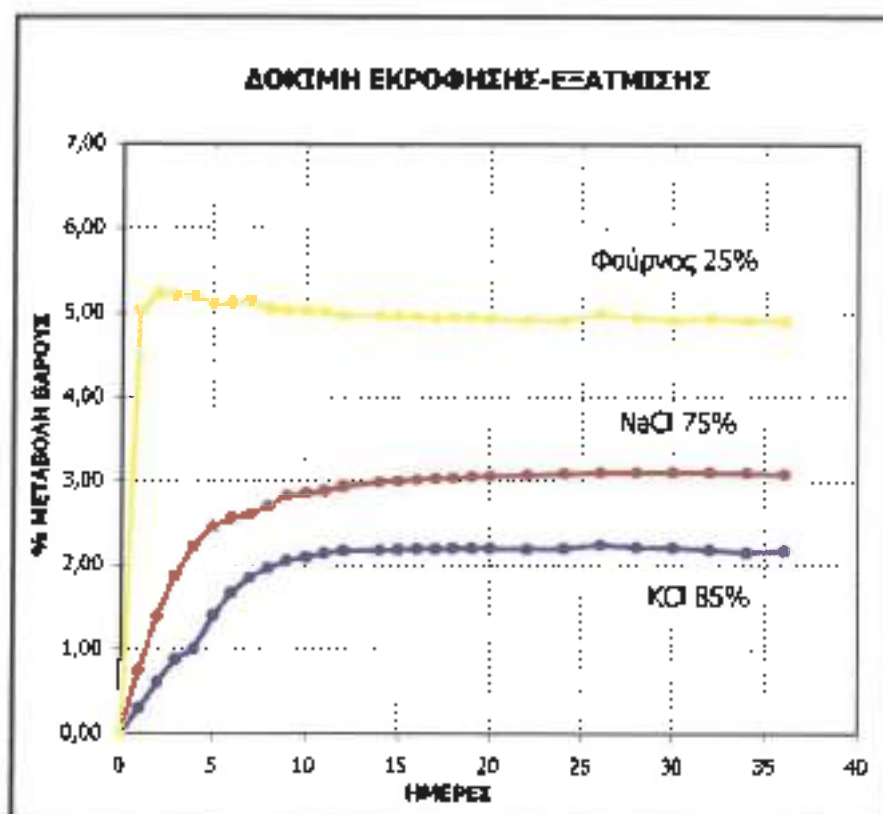
## **Κατηγορία Διαγραμμάτων ΙΙΙ**

### **.....« ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ».....**

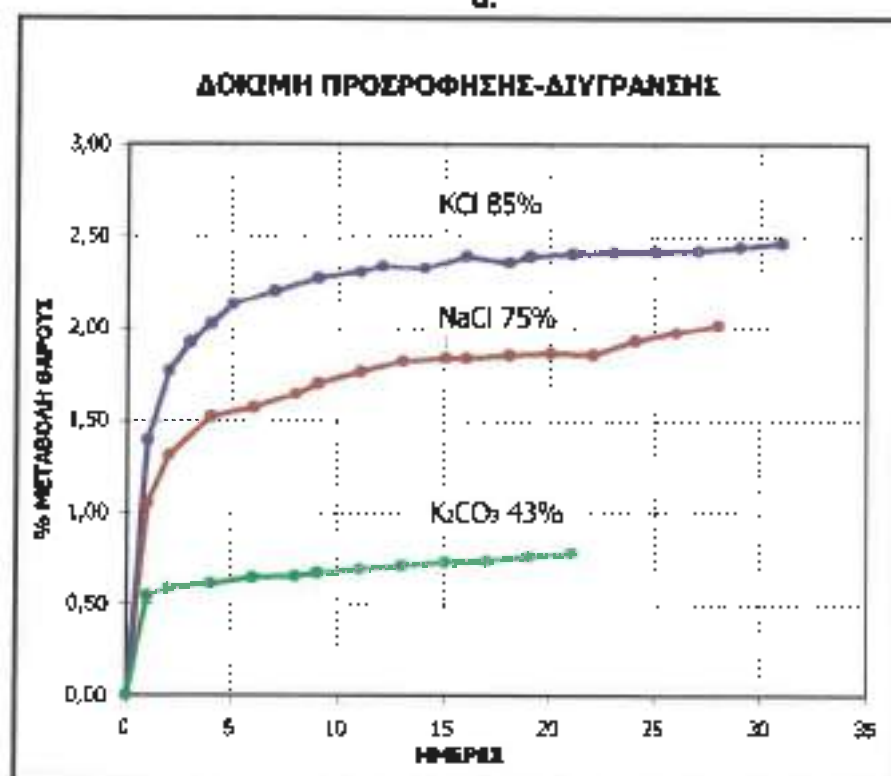
#### **Συνθήκες σχετικής υγρασίας**

- 1.         $\text{NaCl}$  RH – 75%**
- 2.         $\text{KCl}$  RH – 85%**
- 3.        Φούρνος RH – 25%**
- 4.         $\text{K}_2\text{CO}_3$  RH – 43%**

### III.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



α.



β.

#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ α-β  
Μ.Ο δοκιμών

#### ΔΟΚΙΜΙΑ

A1-A2-A3

A4-A5-A6

A7-A8-A9

#### ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

NaCl RH-75%

KCl RH-85%

Φούρνος RH 20-25%

K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> RH-43%

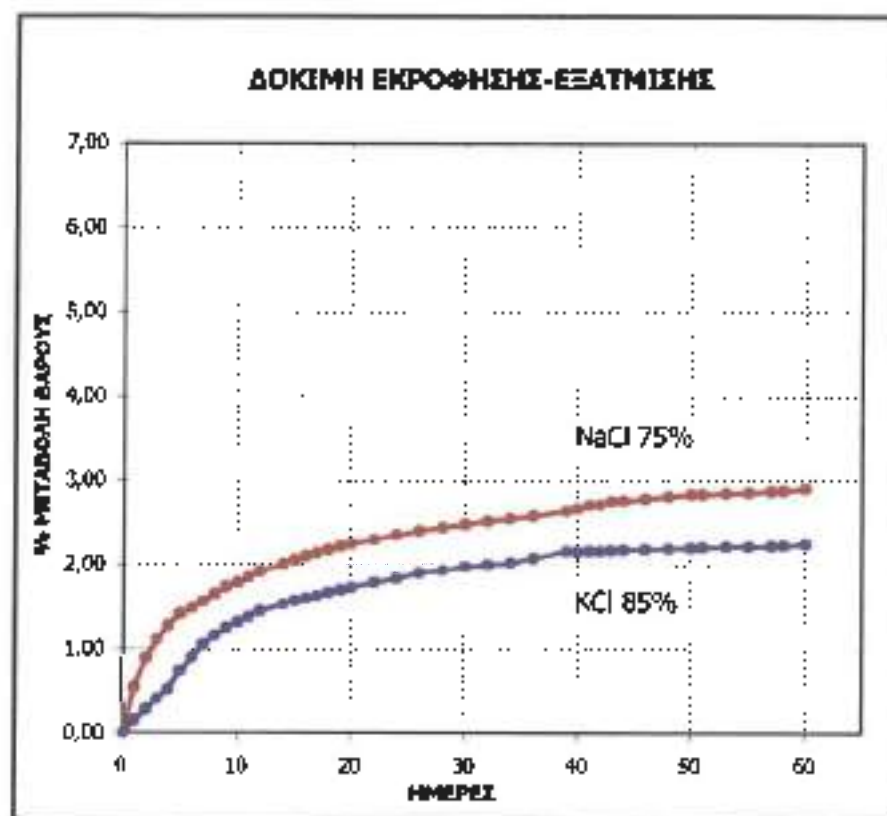
#### ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Σπασμένα

ΛΟΓΟΣ Ν/Τ

A-0,6

## ΠΙ2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



α.

### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμίων

### ΔΟΚΙΜΙΑ

A10-A11-A12  
A13-A14-A15

### ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

NaCl RH-75%  
KCl RH-85%

### ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

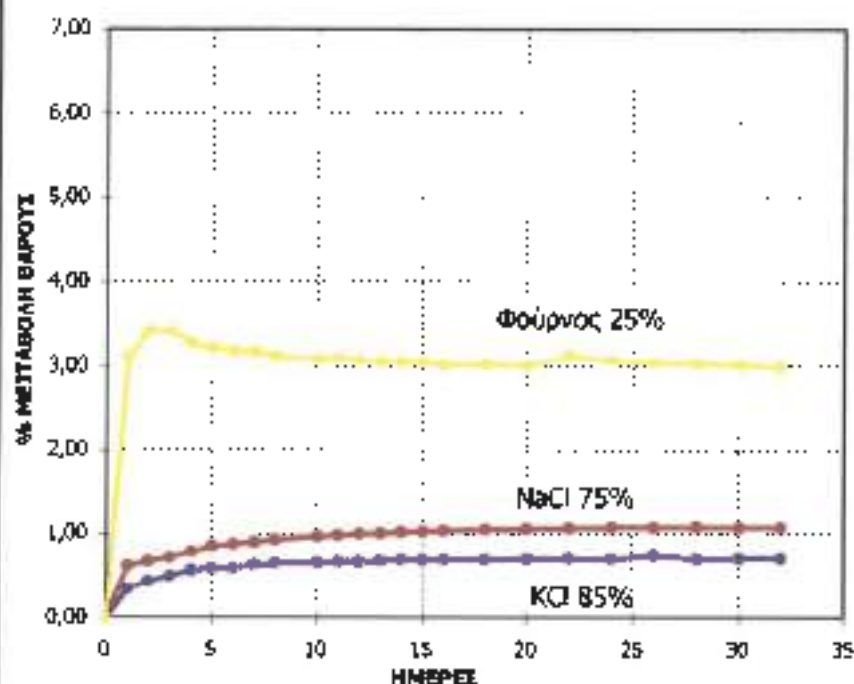
Ακέραιο

### ΛΟΓΟΣ Ν/Τ

A-0,6

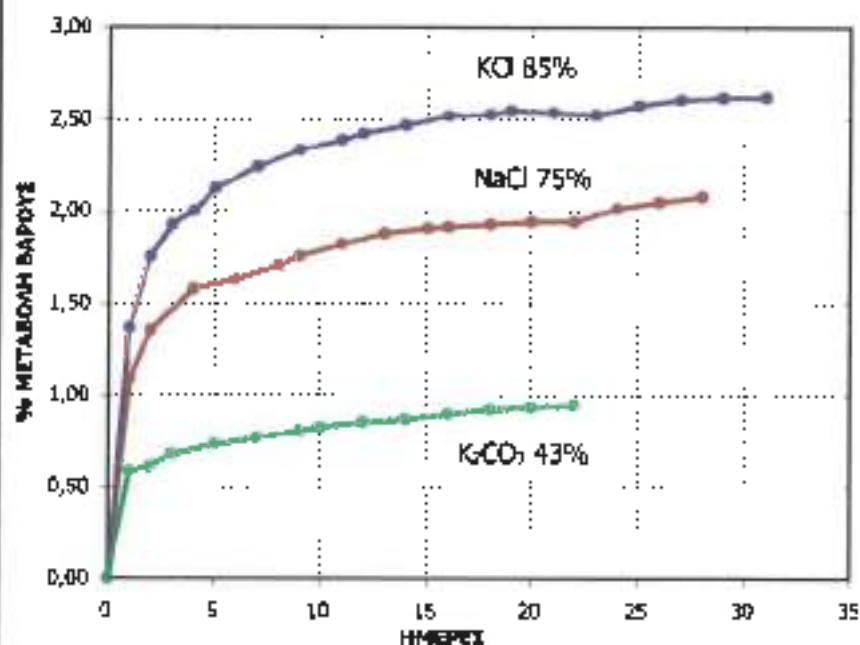
### III ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

#### ΔΟΚΙΜΗ ΕΚΡΟΦΗΣΗΣ-ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ



α.

#### ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗΣ



β.

#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ α-β

Μ.Ο δοκιμίων

#### ΔΟΚΙΜΙΑ

B1-B2-B3

B4-B5-B6

B7-B8-B9

#### ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

NaCl RH-75%

KCl RH-85%

Φούρνος RH 20-25%

K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> RH-43%

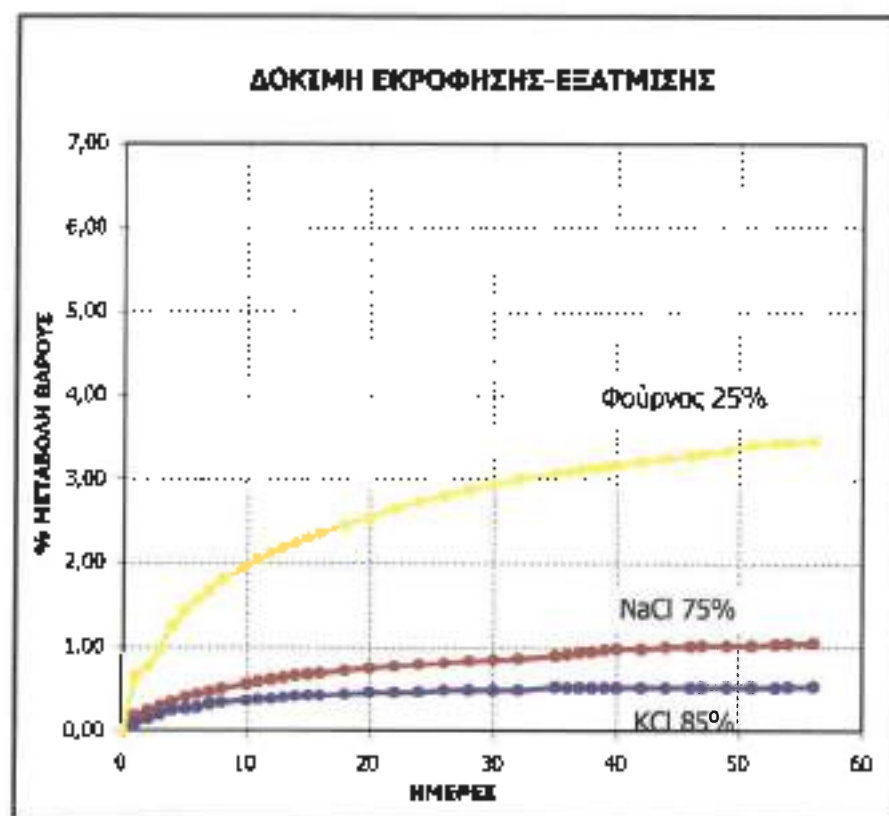
#### ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Σπασμένα

ΛΟΓΟΣ Ν/Υ

B-0,4

### III.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



α.

#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμών

#### ΔΟΚΙΜΙΑ

B10-B11-B12  
B13-B14-B15  
B16-B17-B18

#### ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

NaCl RH-75%  
KCl RH-85%  
Φούρνος RH 20-25%

#### ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

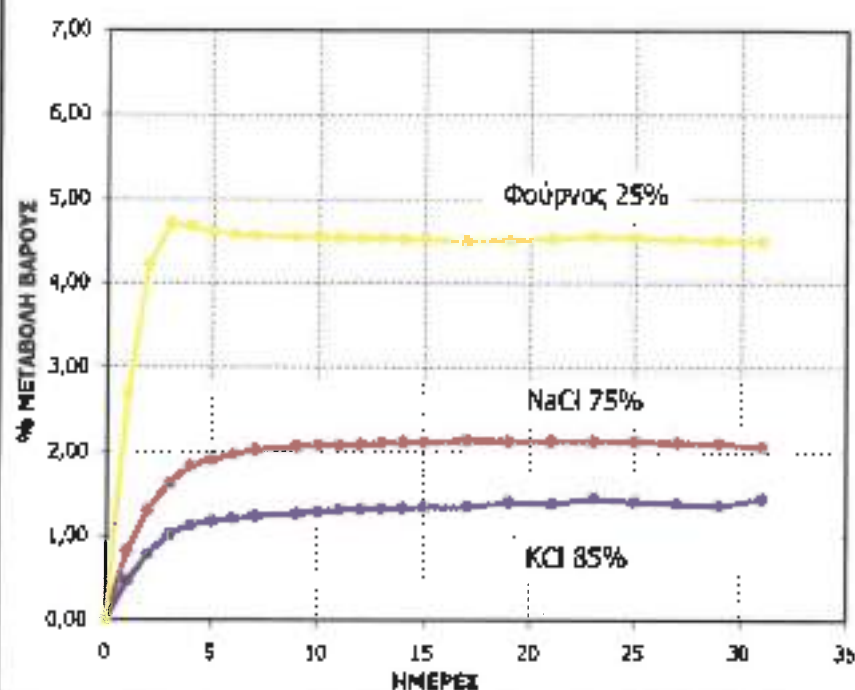
Ακέραια

#### ΛΟΓΟΣ Ν/Τ

B-0,4

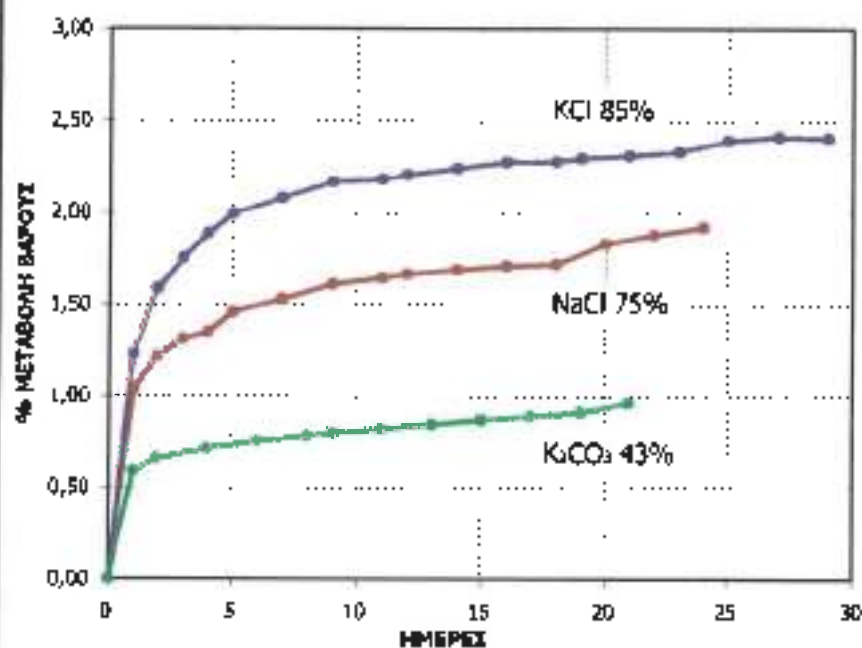
### IIIb ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

#### ΔΟΚΙΜΗ ΕΚΡΟΦΗΣΗΣ-ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ



α.

#### ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗΣ



β.

#### ΥΠΟΜΗΝΗΜΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ α-β  
Μ.Ο δοκιμίων

#### ΔΟΚΙΜΙΑ

Γ1-Γ2-Γ3  
Γ4-Γ5-Γ6  
Γ7-Γ8-Γ9

#### ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

NaCl RH-75%  
KCl RH-85%  
Φούρνος RH 20-25%  
K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> RH-43%

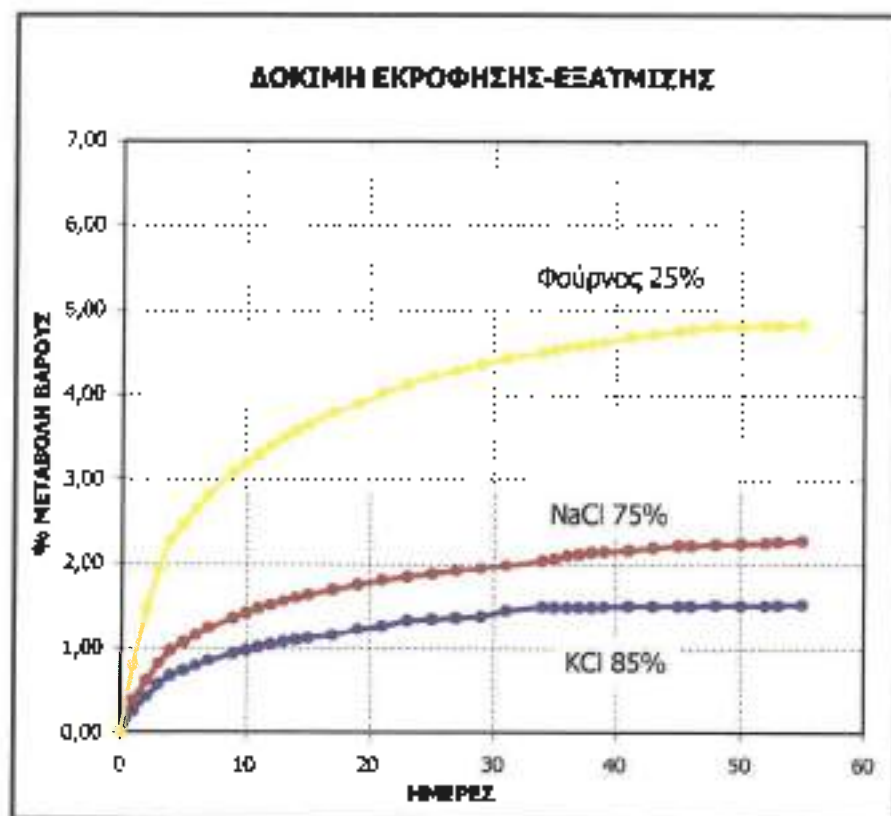
#### ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Σηπασμένο

ΛΟΓΟΣ Ν/Τ

Γ-0,5

### III. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



α.

#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο. δοκιμίων

#### ΔΟΚΙΜΙΑ

Γ10-Γ11-Γ12  
Γ13-Γ14-Γ15  
Γ16-Γ17-Γ18

#### ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

NaCl RH-75%  
KCl RH-85%  
Φούρνος RH 20-25%

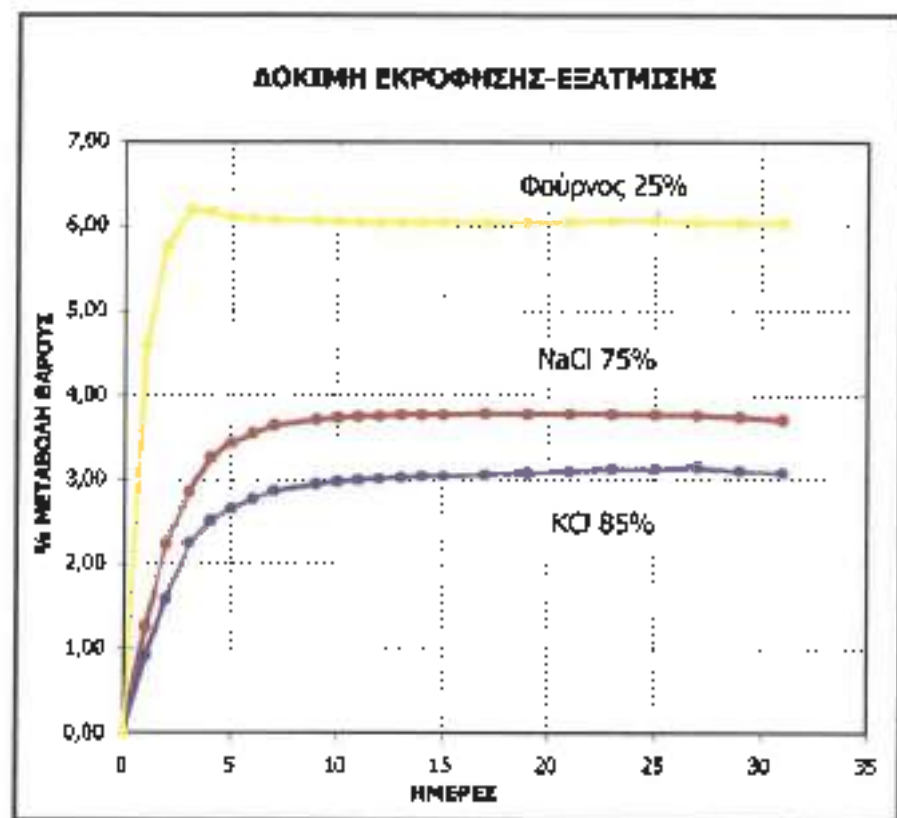
#### ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Ακέραιο

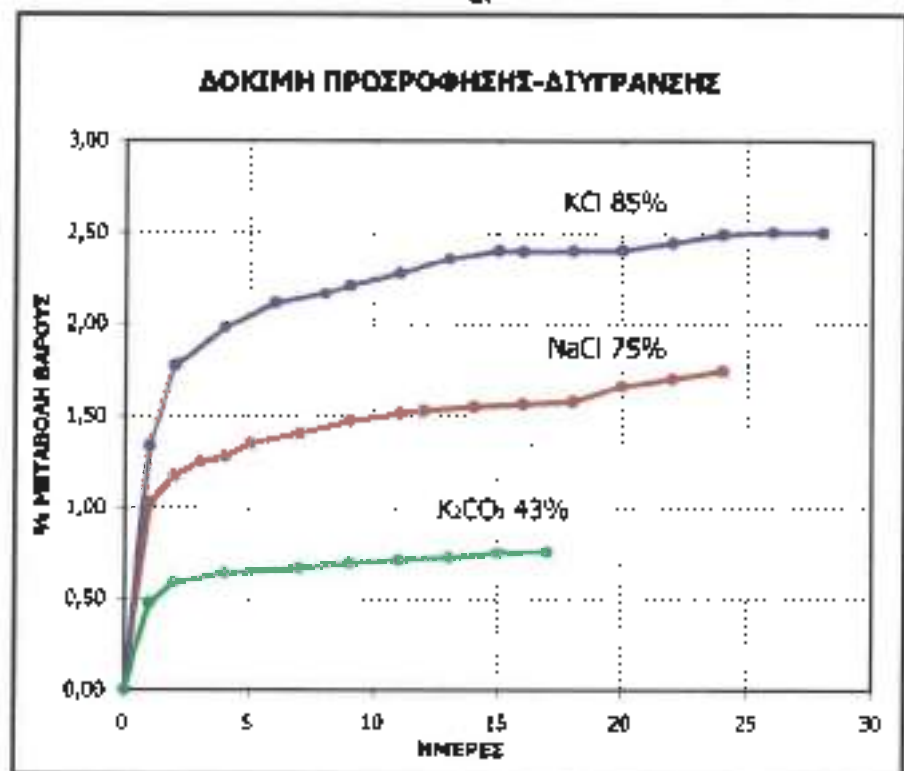
ΛΟΓΟΣ Μ/Τ

Γ-0,5

### III.7 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



α.



β.

#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ α-β

Μ.Ο δοκιμών

#### ΔΟΚΙΜΙΑ

Δ1-Δ2-Δ3

Δ4-Δ5-Δ6

Δ7-Δ8-Δ9

#### ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

NaCl RH-75%

KCl RH-85%

Φούρνος RH 20-25%

K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> RH-43%

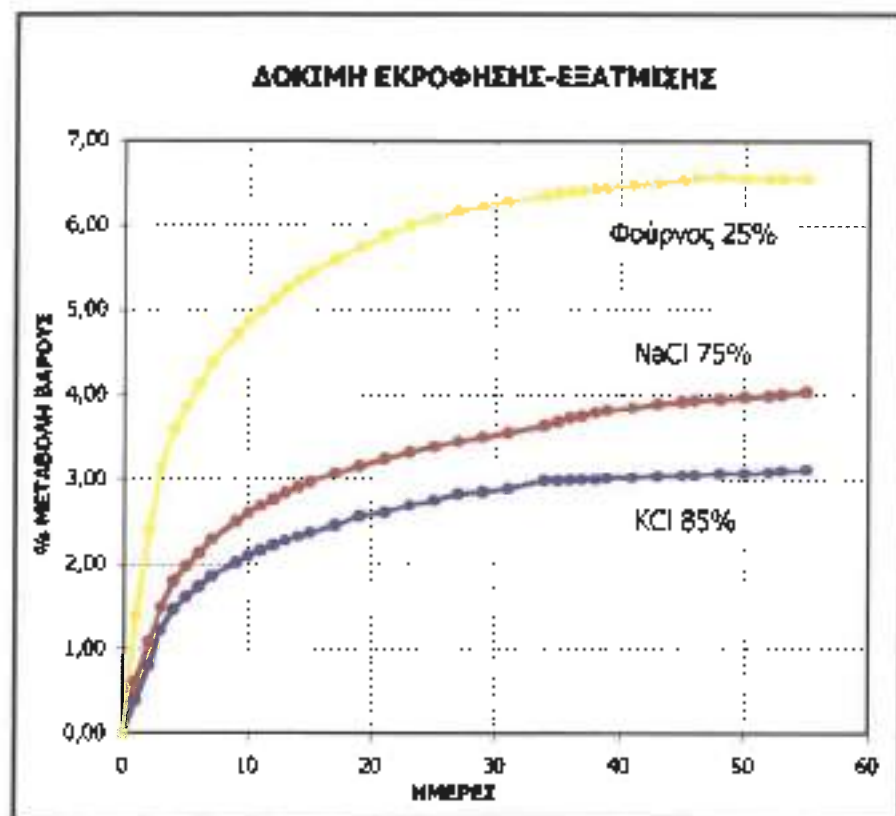
#### ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Σπασμένα

ΛΟΓΟΣ Ν/Τ

Δ=0,7

### III. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



α.

#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ α  
Μ.Ο δοκιμίων

#### ΔΟΚΙΜΙΑ

Δ10-Δ11-Δ12  
Δ13-Δ14-Δ15  
Δ16-Δ17 / Δ18-Δ19

#### ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

NaCl RH-75%  
KCl RH-85%  
Φούρνος RH 20-25%

#### ΜΟΡΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Ακέραιο

ΛΟΓΟΣ Η/Τ

Δ-0,7



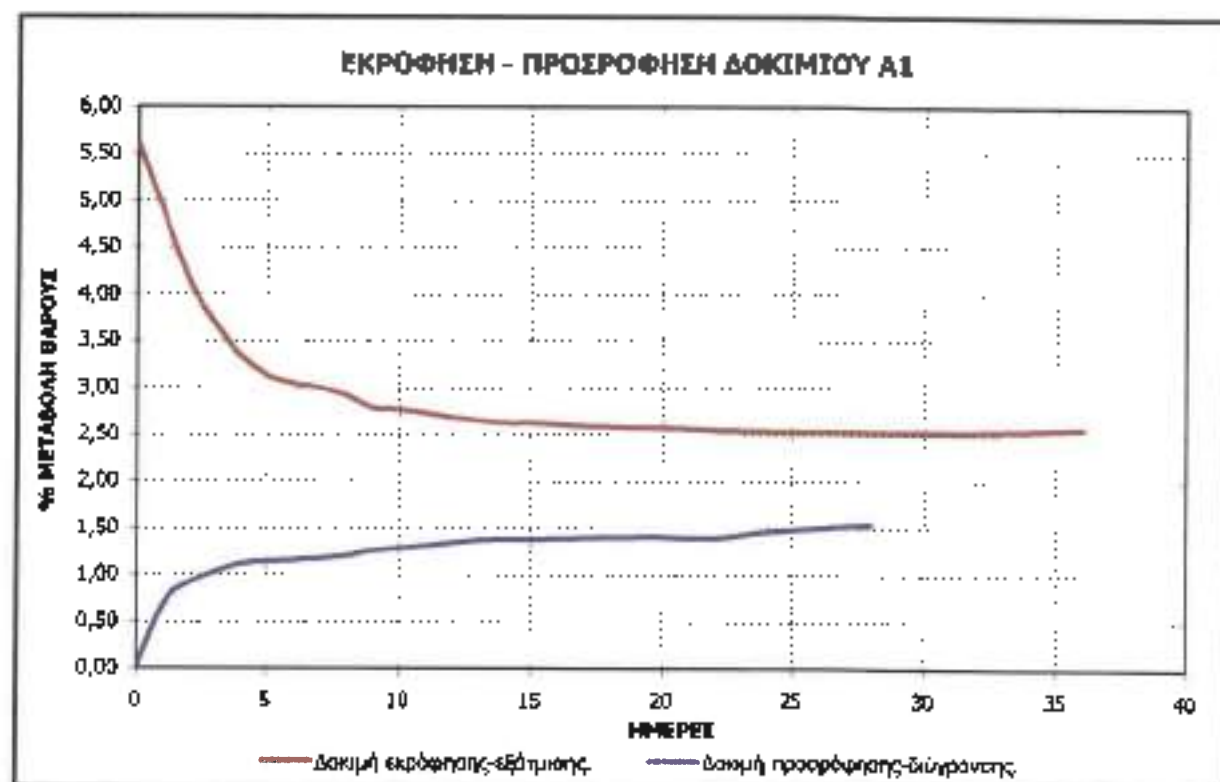
**« Στοιχεία και Μετρήσεις δοκιμών »**

## ΔΟΚΙΜΙΟ Α1

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 19/12/2002          | 681,00              | -                        |
| 20/12/2002          | 676,10              | 85%                      |
| 21/12/2002          | 671,40              | 86%                      |
| 22/12/2002          | 668,50              | 85%                      |
| 23/12/2002          | 666,34              | 85%                      |
| 24/12/2002          | 665,00              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 664,46              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 664,19              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 663,63              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 662,82              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 662,67              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 662,21              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 661,91              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 661,53              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 661,49              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 661,41              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 661,31              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 661,24              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 661,18              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 661,18              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 661,05              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 660,96              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 660,91              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 660,91              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 660,88              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 660,92              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 661,03              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 661,15              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΙΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                          |
|----------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 30/01/2003           | 644,61              | -                        |
| 31/01/2003           | 648,95              | 77%                      |
| 01/02/2003           | 650,48              | 77%                      |
| 03/02/2003           | 651,77              | 78%                      |
| 05/02/2003           | 652,01              | 77%                      |
| 07/02/2003           | 652,35              | 76%                      |
| 08/02/2003           | 652,70              | 77%                      |
| 10/02/2003           | 653,06              | 76%                      |
| 12/02/2003           | 653,44              | 77%                      |
| 14/02/2003           | 653,48              | 78%                      |
| 15/02/2003           | 653,52              | 77%                      |
| 17/02/2003           | 653,60              | 77%                      |
| 19/02/2003           | 653,66              | 75%                      |
| 21/02/2003           | 653,57              | 73%                      |
| 23/02/2003           | 654,01              | 75%                      |
| 25/02/2003           | 654,29              | 76%                      |
| 27/02/2003           | 654,53              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,4    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 669,19 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 3,03   |

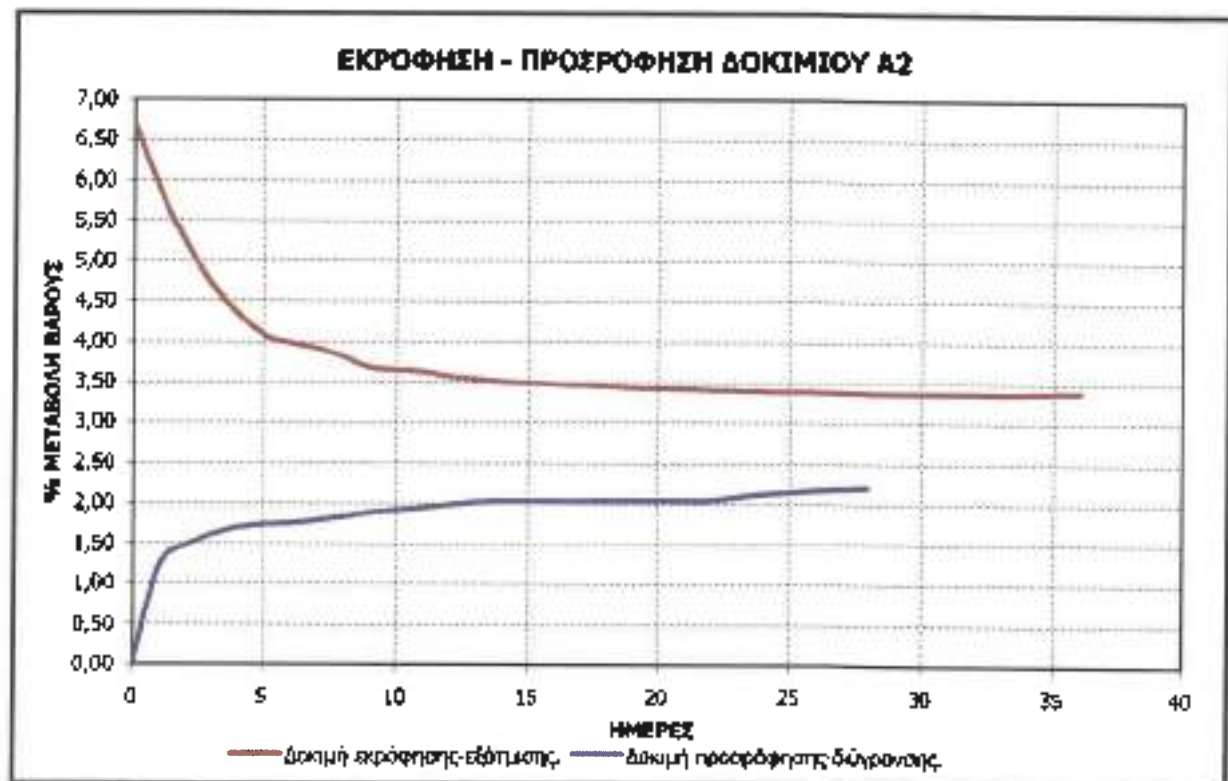


## ΔΟΚΙΜΙΟ Α2

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 19/12/2002          | 705,92              | -                        |
| 20/12/2002          | 700,41              | 85%                      |
| 21/12/2002          | 696,13              | 86%                      |
| 22/12/2002          | 692,79              | 85%                      |
| 23/12/2002          | 690,35              | 85%                      |
| 24/12/2002          | 688,60              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 687,98              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 687,56              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 686,79              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 685,99              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 685,77              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 685,61              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 685,26              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 684,85              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 684,71              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 684,62              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 684,53              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 684,44              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 684,33              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 684,24              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 684,16              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 684,07              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 683,97              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 683,94              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 683,91              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 683,91              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 683,93              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 684,04              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΤΡΑΝΣΗ |                     |                          |
|----------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 30/01/2003           | 661,62              | -                        |
| 31/01/2003           | 669,69              | 77%                      |
| 01/02/2003           | 671,36              | 77%                      |
| 03/02/2003           | 672,80              | 78%                      |
| 05/02/2003           | 673,19              | 77%                      |
| 07/02/2003           | 673,67              | 76%                      |
| 08/02/2003           | 674,08              | 77%                      |
| 10/02/2003           | 674,47              | 76%                      |
| 12/02/2003           | 674,94              | 77%                      |
| 14/02/2003           | 674,99              | 78%                      |
| 15/02/2003           | 674,98              | 77%                      |
| 17/02/2003           | 675,08              | 77%                      |
| 19/02/2003           | 675,13              | 75%                      |
| 21/02/2003           | 675,13              | 73%                      |
| 23/02/2003           | 699,91              | 75%                      |
| 25/02/2003           | 700,19              | 76%                      |
| 27/02/2003           | 700,45              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,7    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 685,89 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 2,66   |

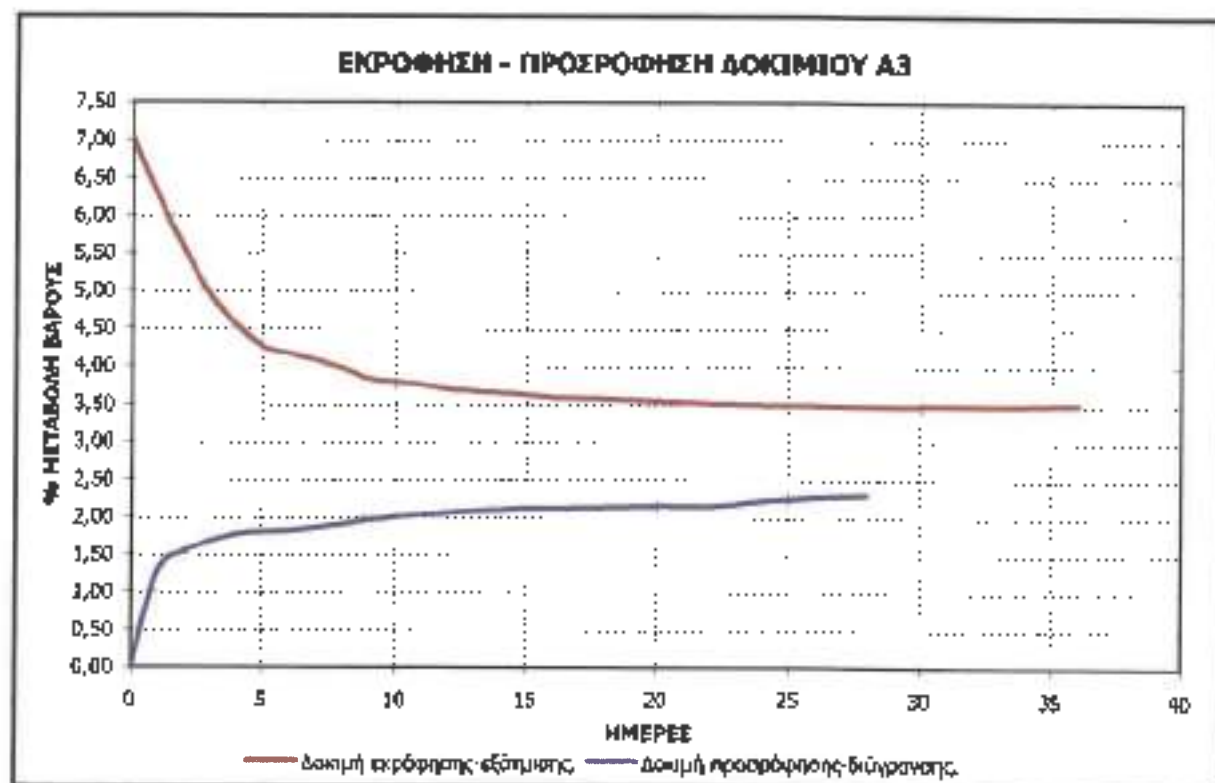


## ΔΟΚΙΜΙΟ Α3

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 19/12/2002          | 698,91              | -                        |
| 20/12/2002          | 693,83              | 85%                      |
| 21/12/2002          | 689,30              | 86%                      |
| 22/12/2002          | 685,39              | 85%                      |
| 23/12/2002          | 682,85              | 85%                      |
| 24/12/2002          | 680,91              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 680,27              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 679,73              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 678,99              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 678,14              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 677,86              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 677,62              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 677,23              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 676,88              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 676,74              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 676,54              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 676,46              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 676,39              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 676,29              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 676,20              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 676,05              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 675,93              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 675,87              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 675,82              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 675,88              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 675,84              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 675,92              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 676,01              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 30/01/2003          | 653,07              | -                        |
| 31/01/2003          | 661,32              | 77%                      |
| 01/02/2003          | 663,10              | 77%                      |
| 03/02/2003          | 664,55              | 78%                      |
| 05/02/2003          | 664,89              | 77%                      |
| 07/02/2003          | 665,48              | 76%                      |
| 08/02/2003          | 665,86              | 77%                      |
| 10/02/2003          | 666,32              | 76%                      |
| 12/02/2003          | 666,68              | 77%                      |
| 14/02/2003          | 666,89              | 78%                      |
| 15/02/2003          | 666,90              | 77%                      |
| 17/02/2003          | 667,02              | 77%                      |
| 19/02/2003          | 667,10              | 75%                      |
| 21/02/2003          | 667,05              | 73%                      |
| 23/02/2003          | 667,57              | 75%                      |
| 25/02/2003          | 667,88              | 76%                      |
| 27/02/2003          | 668,14              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,3    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 677,41 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 2,68   |

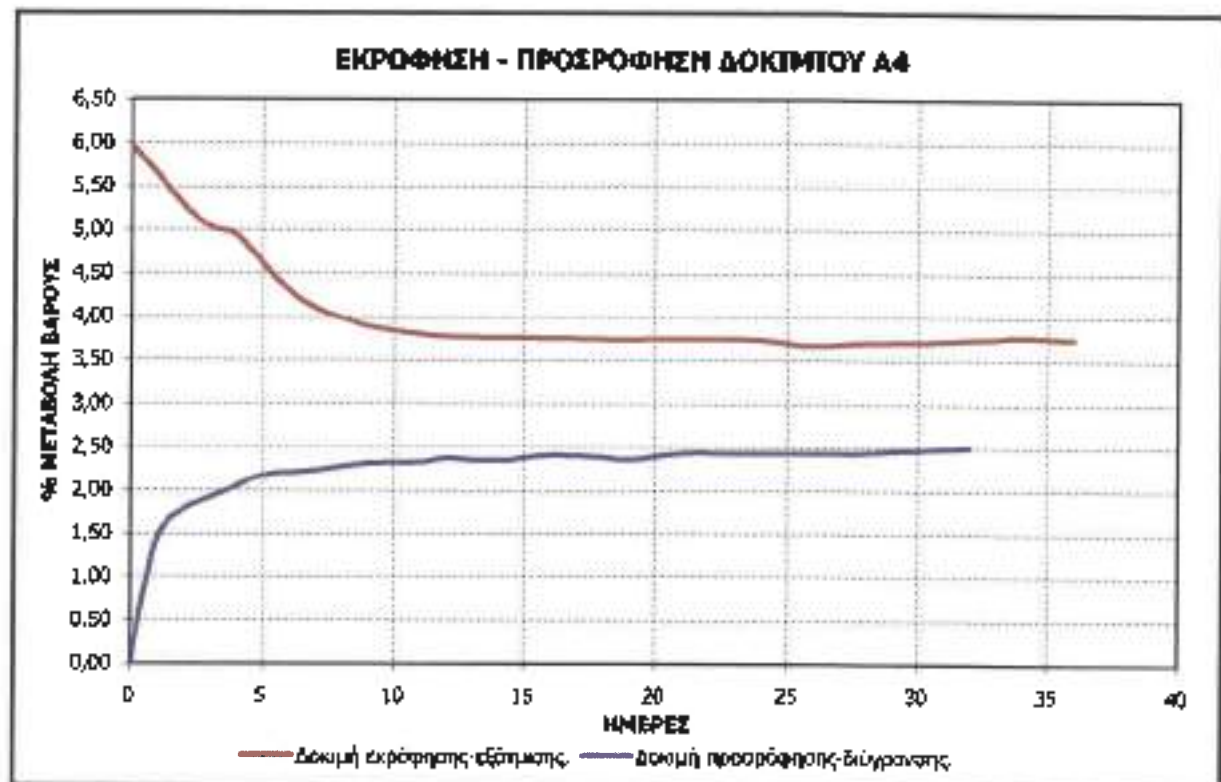


## ΔΟΚΙΜΙΟ Α4

| ΕΚΡΟΦΗΞΗ-ΞΕΑΤΜΙΣΗ   |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία KCl RH% |
| 19/12/2002          | 718,25              | -                       |
| 20/12/2002          | 715,90              | 88%                     |
| 21/12/2002          | 713,53              | 91%                     |
| 22/12/2002          | 711,89              | 91%                     |
| 23/12/2002          | 711,26              | 91%                     |
| 24/12/2002          | 709,02              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 706,87              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 705,50              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 704,79              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 704,12              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 703,78              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 703,50              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 703,32              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 703,22              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 703,22              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 703,20              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 703,16              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 703,11              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 703,09              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 703,11              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 703,13              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 703,07              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 702,63              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 702,86              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 702,92              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 703,14              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 703,31              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 703,16              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΞΗ-ΔΥΓΤΡΑΝΣΗ |                     |                         |
|----------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία KCl RH% |
| 27/01/2003           | 677,74              | -                       |
| 28/01/2003           | 687,38              | 82%                     |
| 29/01/2003           | 689,74              | 81%                     |
| 30/01/2003           | 690,70              | 84%                     |
| 31/01/2003           | 691,52              | 86%                     |
| 01/02/2003           | 692,42              | 88%                     |
| 03/02/2003           | 692,82              | 87%                     |
| 05/02/2003           | 693,38              | 82%                     |
| 07/02/2003           | 693,47              | 83%                     |
| 08/02/2003           | 693,76              | 84%                     |
| 10/02/2003           | 693,63              | 83%                     |
| 12/02/2003           | 694,00              | 83%                     |
| 14/02/2003           | 693,87              | 84%                     |
| 15/02/2003           | 693,66              | 83%                     |
| 17/02/2003           | 694,17              | 84%                     |
| 19/02/2003           | 694,16              | 83%                     |
| 21/02/2003           | 694,19              | 78%                     |
| 23/02/2003           | 694,17              | 82%                     |
| 25/02/2003           | 694,48              | 84%                     |
| 27/02/2003           | 694,64              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,3    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 701,62 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 2,63   |

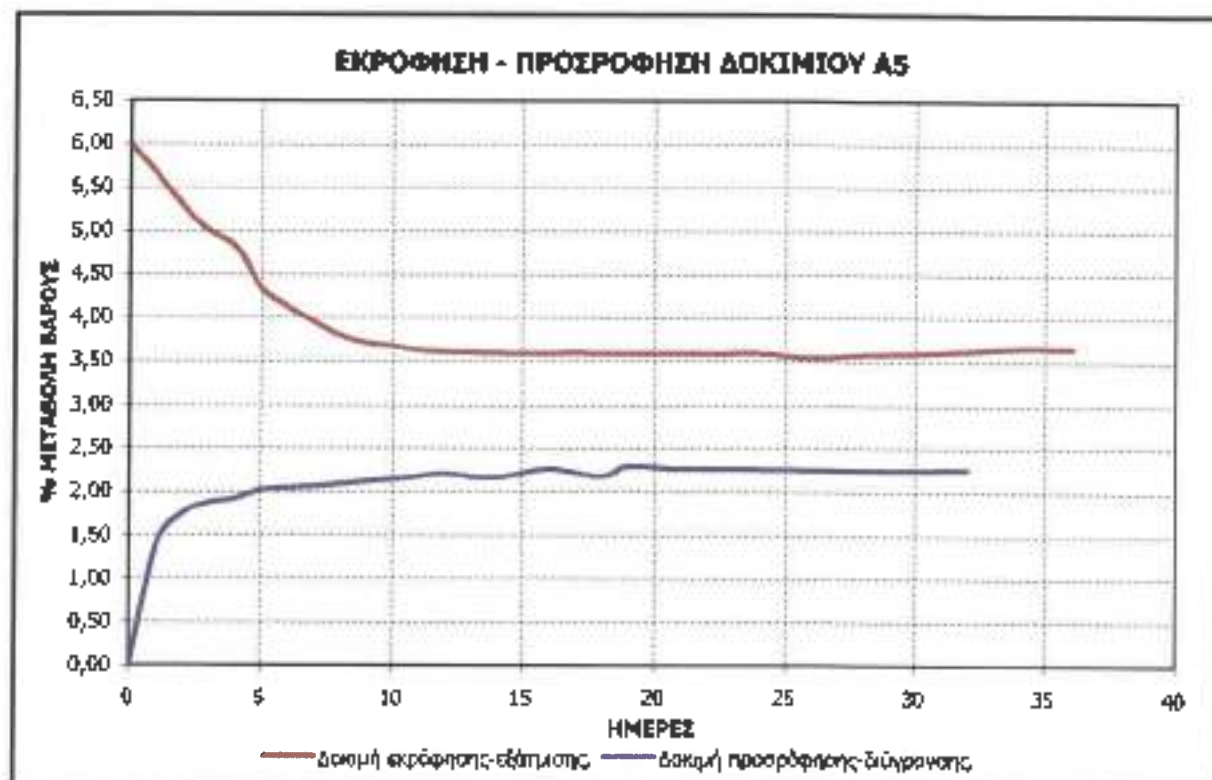


## ΔΟΚΙΜΙΟ Α5

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                        |
|---------------------|---------------------|------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚΙ RH% |
| 19/12/2002          | 711,92              | -                      |
| 20/12/2002          | 709,64              | 88%                    |
| 21/12/2002          | 707,14              | 91%                    |
| 22/12/2002          | 705,21              | 91%                    |
| 23/12/2002          | 703,99              | 91%                    |
| 24/12/2002          | 700,80              | 90%                    |
| 25/12/2002          | 699,35              | 92%                    |
| 26/12/2002          | 698,20              | 94%                    |
| 27/12/2002          | 697,13              | 90%                    |
| 28/12/2002          | 696,62              | 90%                    |
| 29/12/2002          | 696,36              | 90%                    |
| 30/12/2002          | 696,04              | 90%                    |
| 31/12/2002          | 695,85              | 90%                    |
| 02/01/2003          | 695,76              | 90%                    |
| 03/01/2003          | 695,74              | 90%                    |
| 04/01/2003          | 695,74              | 90%                    |
| 05/01/2003          | 695,75              | 90%                    |
| 06/01/2003          | 695,73              | 90%                    |
| 07/01/2003          | 695,72              | 90%                    |
| 08/01/2003          | 695,74              | 90%                    |
| 10/01/2003          | 695,74              | 90%                    |
| 12/01/2003          | 695,78              | 90%                    |
| 14/01/2003          | 695,43              | 90%                    |
| 16/01/2003          | 695,65              | 90%                    |
| 18/01/2003          | 695,75              | 90%                    |
| 20/01/2003          | 695,97              | 90%                    |
| 22/01/2003          | 696,22              | 90%                    |
| 24/01/2003          | 696,15              | 90%                    |

| ΠΡΟΣΡΟΦΙΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                        |
|----------------------|---------------------|------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚΙ RH% |
| 27/01/2003           | 671,65              | -                      |
| 28/01/2003           | 680,99              | 82%                    |
| 29/01/2003           | 683,37              | 81%                    |
| 30/01/2003           | 684,21              | 84%                    |
| 31/01/2003           | 684,54              | 88%                    |
| 01/02/2003           | 685,16              | 88%                    |
| 03/02/2003           | 685,48              | 87%                    |
| 05/02/2003           | 685,86              | 82%                    |
| 07/02/2003           | 686,26              | 83%                    |
| 08/02/2003           | 686,45              | 84%                    |
| 10/02/2003           | 686,14              | 83%                    |
| 12/02/2003           | 686,85              | 83%                    |
| 14/02/2003           | 686,24              | 84%                    |
| 15/02/2003           | 687,03              | 83%                    |
| 17/02/2003           | 686,86              | 84%                    |
| 19/02/2003           | 686,90              | 83%                    |
| 21/02/2003           | 686,78              | 78%                    |
| 23/02/2003           | 686,76              | 82%                    |
| 25/02/2003           | 686,73              | 84%                    |
| 27/02/2003           | 686,82              | 84%                    |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,0    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 695,66 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 2,77   |

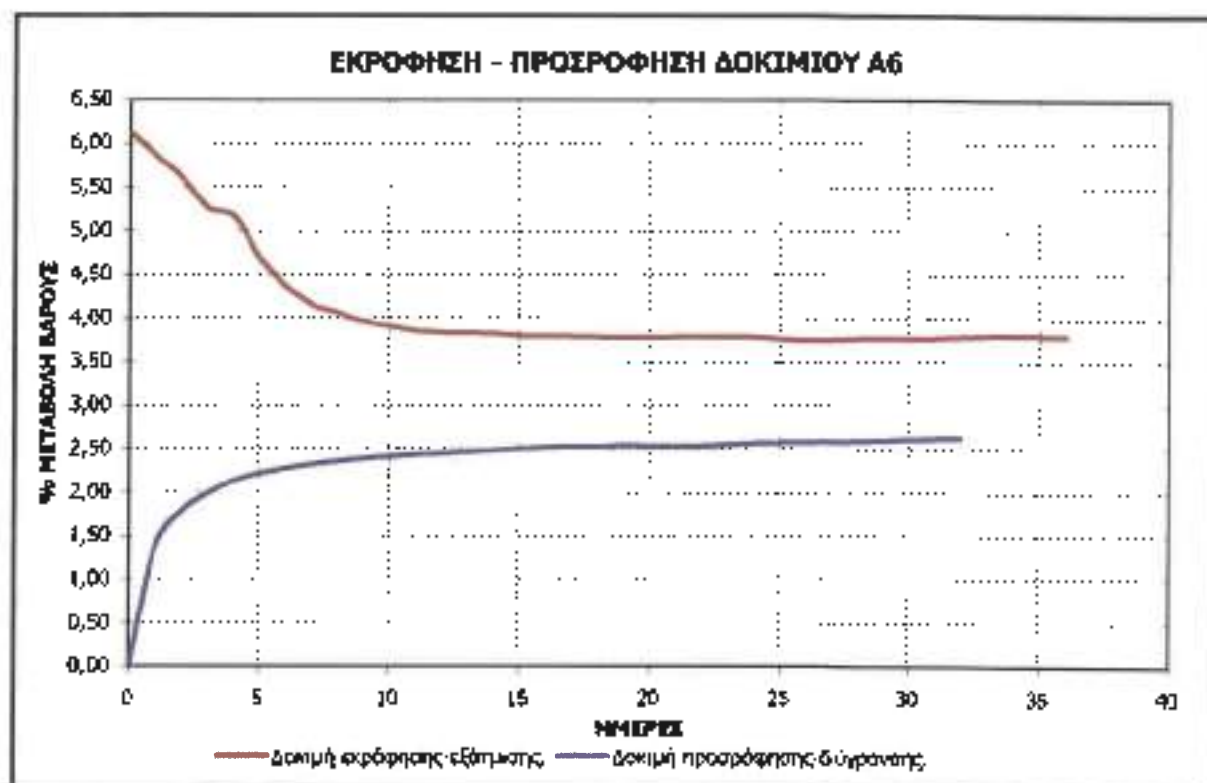


## ΔΟΚΙΜΙΟ Α6

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 19/12/2002          | 710,11              | -                       |
| 20/12/2002          | 708,34              | 88%                     |
| 21/12/2002          | 706,61              | 91%                     |
| 22/12/2002          | 704,32              | 91%                     |
| 23/12/2002          | 703,68              | 91%                     |
| 24/12/2002          | 700,52              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 698,37              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 696,90              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 696,29              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 695,62              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 695,27              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 694,93              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 694,77              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 694,66              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 694,54              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 694,50              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 694,48              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 694,41              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 694,40              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 694,39              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 694,43              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 694,43              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 694,19              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 694,34              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 694,33              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 694,47              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 694,63              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 694,53              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                         |
|----------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 27/01/2003           | 669,11              | -                       |
| 28/01/2003           | 678,22              | 82%                     |
| 29/01/2003           | 680,99              | 81%                     |
| 30/01/2003           | 682,36              | 84%                     |
| 31/01/2003           | 683,34              | 88%                     |
| 01/02/2003           | 683,92              | 88%                     |
| 03/02/2003           | 684,62              | 87%                     |
| 05/02/2003           | 685,10              | 82%                     |
| 07/02/2003           | 685,35              | 83%                     |
| 08/02/2003           | 685,49              | 84%                     |
| 10/02/2003           | 685,71              | 83%                     |
| 12/02/2003           | 685,94              | 83%                     |
| 14/02/2003           | 685,99              | 84%                     |
| 15/02/2003           | 686,10              | 83%                     |
| 17/02/2003           | 686,05              | 84%                     |
| 19/02/2003           | 686,19              | 83%                     |
| 21/02/2003           | 686,34              | 78%                     |
| 23/02/2003           | 686,42              | 82%                     |
| 25/02/2003           | 686,59              | 84%                     |
| 27/02/2003           | 686,72              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,2    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 693,45 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 2,02   |

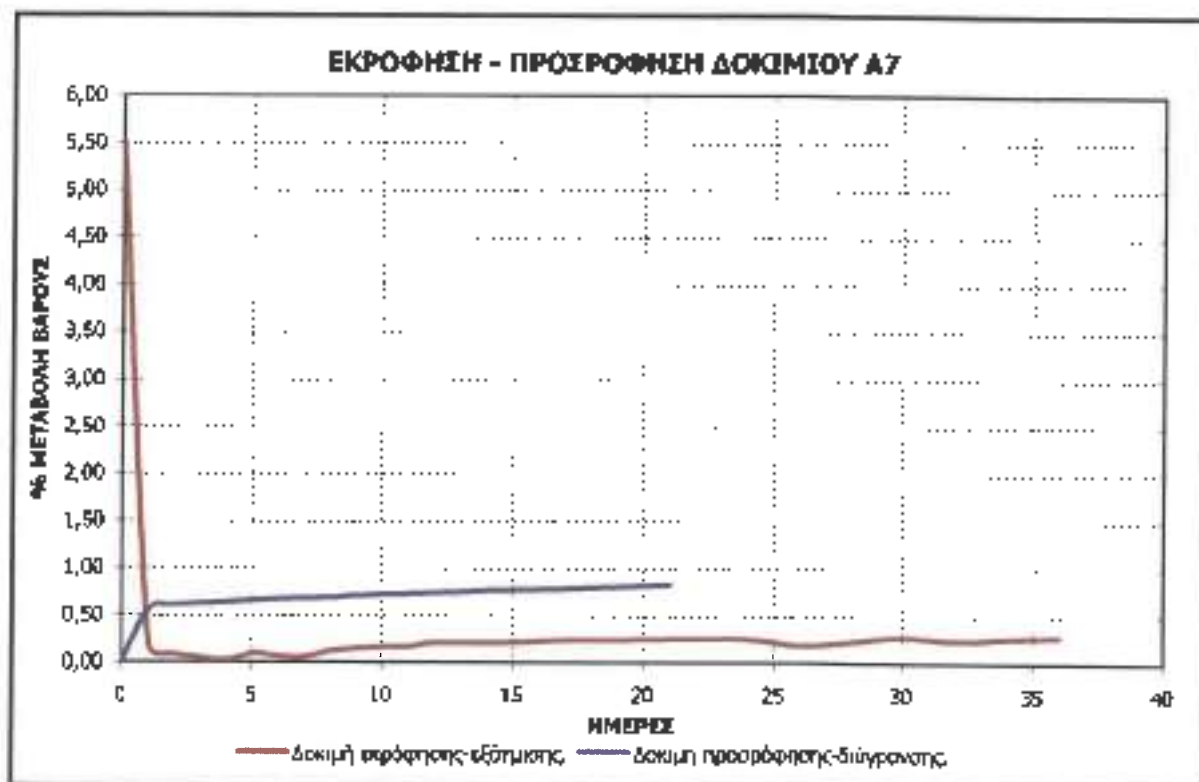


# ΔΟΚΙΜΙΟ Α7

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΞΕΑΤΜΙΣΗ   |                     |                            |
|---------------------|---------------------|----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φαύρος RH% |
| 19/12/2002          | 712,11              | -                          |
| 20/12/2002          | 676,25              | -                          |
| 21/12/2002          | 674,50              | -                          |
| 22/12/2002          | 674,76              | -                          |
| 23/12/2002          | 674,94              | -                          |
| 24/12/2002          | 675,66              | -                          |
| 25/12/2002          | 675,46              | -                          |
| 26/12/2002          | 675,41              | 59%                        |
| 27/12/2002          | 675,84              | 17%                        |
| 28/12/2002          | 676,03              | 21%                        |
| 29/12/2002          | 676,10              | 14%                        |
| 30/12/2002          | 676,13              | 15%                        |
| 31/12/2002          | 676,37              | 14%                        |
| 02/01/2003          | 676,39              | 16%                        |
| 03/01/2003          | 676,41              | 15%                        |
| 04/01/2003          | 676,52              | 15%                        |
| 05/01/2003          | 676,59              | 15%                        |
| 06/01/2003          | 676,61              | 16%                        |
| 07/01/2003          | 676,59              | 14%                        |
| 08/01/2003          | 676,66              | 14%                        |
| 10/01/2003          | 676,69              | 15%                        |
| 12/01/2003          | 676,71              | 17%                        |
| 14/01/2003          | 676,25              | 17%                        |
| 16/01/2003          | 676,51              | 20%                        |
| 18/01/2003          | 676,87              | 24%                        |
| 20/01/2003          | 676,59              | 17%                        |
| 22/01/2003          | 676,79              | 14%                        |
| 24/01/2003          | 676,94              | 14%                        |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                                                    |
|----------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RH% |
| 06/02/2003           | 675,06              | -                                                  |
| 07/02/2003           | 678,81              | 50%                                                |
| 08/02/2003           | 679,12              | 52%                                                |
| 10/02/2003           | 679,34              | 52%                                                |
| 12/02/2003           | 679,58              | 54%                                                |
| 14/02/2003           | 679,64              | 52%                                                |
| 15/02/2003           | 679,78              | 52%                                                |
| 17/02/2003           | 679,93              | 52%                                                |
| 19/02/2003           | 680,08              | 54%                                                |
| 21/02/2003           | 680,23              | 50%                                                |
| 23/02/2003           | 680,29              | 50%                                                |
| 25/02/2003           | 680,44              | 50%                                                |
| 27/02/2003           | 680,57              | 50%                                                |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,8    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 699,40 |
| Αντοχή σε διάτρηση (MPa) | 2,43   |

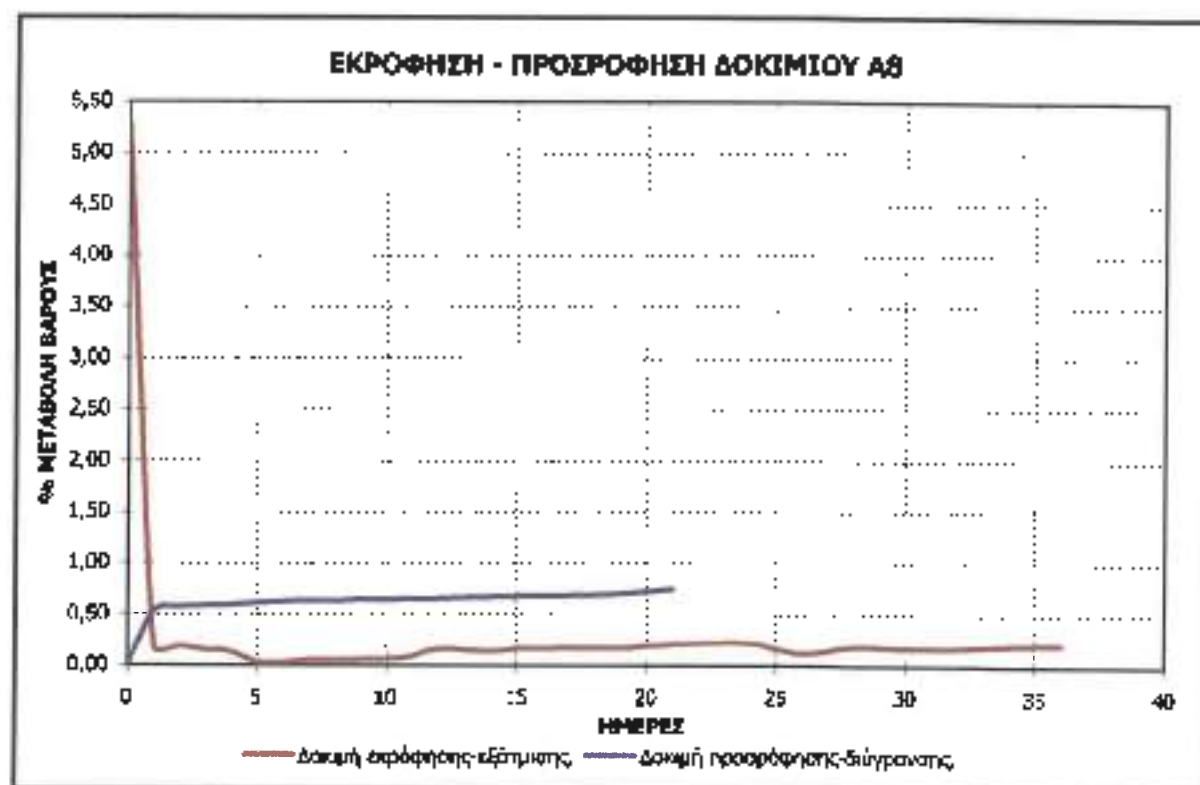


## ΔΟΚΙΜΙΟ Α8

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 19/12/2002          | 724,99              | -                           |
| 20/12/2002          | 689,87              | -                           |
| 21/12/2002          | 687,25              | -                           |
| 22/12/2002          | 687,50              | -                           |
| 23/12/2002          | 687,65              | -                           |
| 24/12/2002          | 688,33              | -                           |
| 25/12/2002          | 688,34              | -                           |
| 26/12/2002          | 688,18              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 688,87              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 688,90              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 688,95              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 689,13              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 689,60              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 689,47              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 689,64              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 689,63              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 689,68              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 689,69              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 689,68              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 689,81              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 690,04              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 690,05              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 689,34              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 689,78              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 689,70              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 689,73              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 689,92              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 689,95              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                               |
|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία $K_2CO_3$ RH% |
| 06/02/2003           | 688,53              | -                             |
| 07/02/2003           | 692,11              | 50%                           |
| 08/02/2003           | 692,46              | 52%                           |
| 10/02/2003           | 692,60              | 52%                           |
| 12/02/2003           | 692,81              | 54%                           |
| 14/02/2003           | 692,84              | 52%                           |
| 15/02/2003           | 692,93              | 52%                           |
| 17/02/2003           | 692,98              | 52%                           |
| 19/02/2003           | 693,10              | 54%                           |
| 21/02/2003           | 693,19              | 50%                           |
| 23/02/2003           | 693,26              | 50%                           |
| 25/02/2003           | 693,38              | 50%                           |
| 27/02/2003           | 693,68              | 50%                           |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Υψος δοκιμίου (cm)       | 5,3    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 712,80 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 3,04   |



## ΔΟΚΙΜΙΟ Α9

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 19/12/2002          | 720,15              | -                           |
| 20/12/2002          | 682,83              | -                           |
| 21/12/2002          | 682,60              | -                           |
| 22/12/2002          | 682,72              | -                           |
| 23/12/2002          | 682,80              | -                           |
| 24/12/2002          | 683,25              | -                           |
| 25/12/2002          | 683,22              | -                           |
| 26/12/2002          | 683,13              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 683,57              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 683,79              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 683,79              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 683,81              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 684,10              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 684,17              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 684,17              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 684,29              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 684,40              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 684,32              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 684,30              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 684,47              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 684,46              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 684,53              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 683,96              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 684,23              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 684,60              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 684,43              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 684,58              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 684,67              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                                                    |
|---------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RH% |
| 06/02/2003          | 683,02              | -                                                  |
| 07/02/2003          | 686,74              | 50%                                                |
| 08/02/2003          | 686,94              | 52%                                                |
| 10/02/2003          | 687,18              | 52%                                                |
| 12/02/2003          | 687,43              | 54%                                                |
| 14/02/2003          | 687,47              | 52%                                                |
| 15/02/2003          | 687,62              | 52%                                                |
| 17/02/2003          | 687,75              | 52%                                                |
| 19/02/2003          | 687,88              | 54%                                                |
| 21/02/2003          | 688,01              | 50%                                                |
| 23/02/2003          | 688,11              | 50%                                                |
| 25/02/2003          | 688,24              | 50%                                                |
| 27/02/2003          | 688,28              | 50%                                                |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,4    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 707,40 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 2,99   |

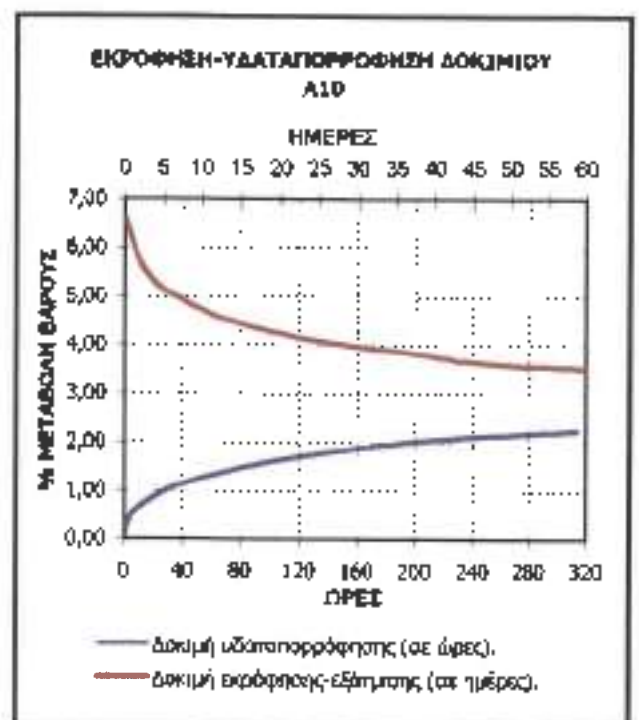


# ΔΟΚΙΜΙΟ Α10

| ΕΚΡΩΦΗΝ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ    |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 19/12/2002          | 1386,89             | -                        |
| 20/12/2002          | 1380,16             | 85%                      |
| 21/12/2002          | 1374,86             | 86%                      |
| 22/12/2002          | 1371,67             | 85%                      |
| 23/12/2002          | 1369,27             | 85%                      |
| 24/12/2002          | 1367,36             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1366,43             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1365,43             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1364,13             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1363,02             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1362,23             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1361,36             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1360,43             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1359,15             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1358,50             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1357,91             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1357,35             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1356,79             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1356,35             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1355,91             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1355,04             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1354,30             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1353,55             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1353,00             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1352,46             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1351,91             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1351,47             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1351,02             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1350,21             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1349,82             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1349,38             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1349,20             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1348,53             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1348,41             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1348,13             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1347,74             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1347,40             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1347,33             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1347,17             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1347,04             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1346,84             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1346,70             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1346,45             | 77%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Υψος δοκιμίου (cm)       | 5,2     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1300,80 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1349,12             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1351,46             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1352,52             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1353,75             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1355,26             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1356,82             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1362,02             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1365,46             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1367,92             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1370,17             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1373,41             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1376,70             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1379,13             | 62%<br>18 |

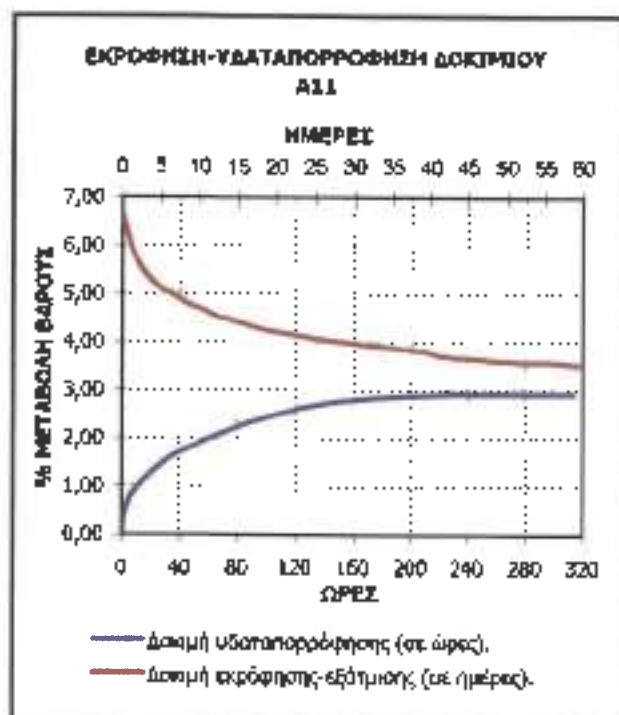


# ΔΟΚΙΜΙΟ Α11

| ΕΚΡΟΦΗ-ΞΕΑΤΜΙΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 19/12/2002          | 1292,96             | -                        |
| 20/12/2002          | 1285,46             | 85%                      |
| 21/12/2002          | 1280,94             | 86%                      |
| 22/12/2002          | 1277,91             | 85%                      |
| 23/12/2002          | 1275,84             | 85%                      |
| 24/12/2002          | 1274,09             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1273,19             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1272,14             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1270,86             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1269,70             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1268,98             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1268,20             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1267,37             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1266,15             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1265,54             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1265,01             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1264,46             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1263,95             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1263,50             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1263,16             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1262,48             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1261,83             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1261,21             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1260,68             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1260,23             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1259,76             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1259,36             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1258,94             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1258,26             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1257,78             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1257,25             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1257,07             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1256,74             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1256,62             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1256,36             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1255,96             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1255,70             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1255,66             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1255,49             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1255,41             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1255,20             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1255,02             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1254,78             | 77%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Υψος δοκιμίου (cm)       | 5,4     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1212,12 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

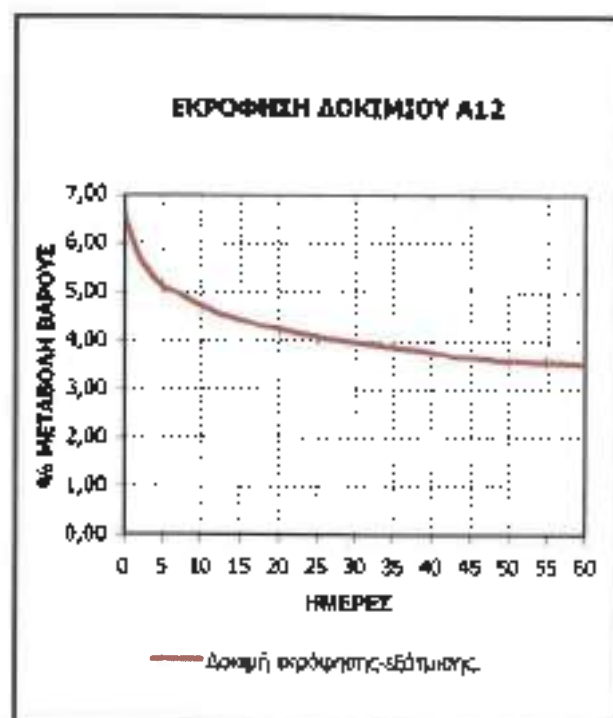
| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003 11:30    | 1256,32             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 11:45    | 1259,39             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003 12:15    | 1260,79             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003 13:15    | 1262,49             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003 15:15    | 1264,69             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 18:15    | 1266,94             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003 13:15    | 1274,33             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003 11:15      | 1279,23             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003 10:15      | 1283,04             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003 11:15      | 1286,39             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003 11:00    | 1290,61             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003 9:45     | 1292,73             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003 12:15    | 1292,75             | 62%<br>18 |



## ΔΟΚΙΜΙΟ Α12

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 19/12/2002          | 1356,38             | -                        |
| 20/12/2002          | 1348,72             | 85%                      |
| 21/12/2002          | 1344,27             | 86%                      |
| 22/12/2002          | 1341,56             | 85%                      |
| 23/12/2002          | 1339,36             | 85%                      |
| 24/12/2002          | 1337,54             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1336,66             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1335,63             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1334,47             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1333,38             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1332,68             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1331,87             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1331,01             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1329,84             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1329,22             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1328,64             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1328,09             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1327,59             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1327,16             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1326,71             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1325,93             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1325,21             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1324,52             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1323,97             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1323,48             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1323,02             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1322,56             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1322,16             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1321,37             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1320,97             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1320,46             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1320,28             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1319,91             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1319,80             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1319,52             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1319,08             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1318,82             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1318,71             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1318,58             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1318,46             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1318,28             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1318,13             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1317,88             | 77%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1272,63 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

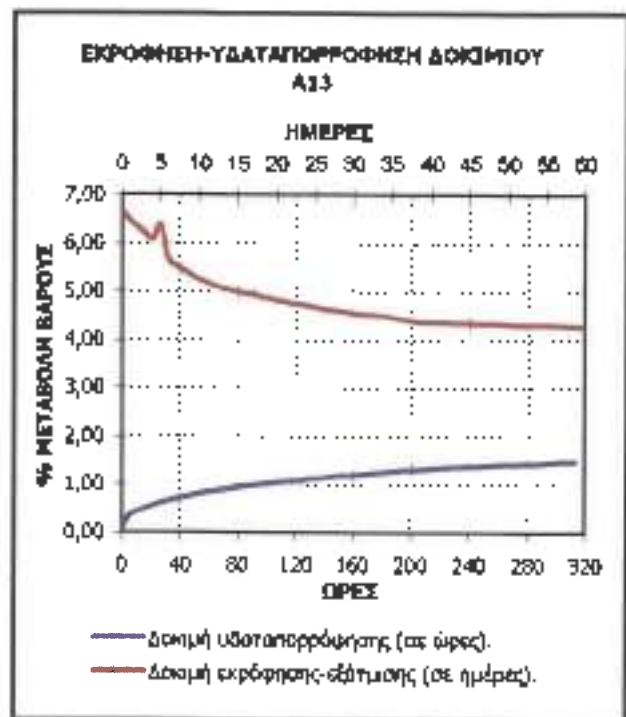


# ΔΟΚΙΜΙΟ Α13

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚΟΙ RH% |
| 19/12/2002          | 1358,31             | -                       |
| 20/12/2002          | 1356,06             | 88%                     |
| 21/12/2002          | 1354,31             | 91%                     |
| 22/12/2002          | 1352,46             | 91%                     |
| 23/12/2002          | 1351,02             | 91%                     |
| 24/12/2002          | 1355,03             | 90%                     |
| 25/12/2002          | 1345,94             | 92%                     |
| 26/12/2002          | 1344,09             | 94%                     |
| 27/12/2002          | 1342,61             | 90%                     |
| 28/12/2002          | 1341,36             | 90%                     |
| 29/12/2002          | 1340,51             | 90%                     |
| 30/12/2002          | 1339,70             | 90%                     |
| 31/12/2002          | 1338,78             | 90%                     |
| 02/01/2003          | 1337,65             | 90%                     |
| 03/01/2003          | 1337,07             | 90%                     |
| 04/01/2003          | 1336,63             | 90%                     |
| 05/01/2003          | 1336,22             | 90%                     |
| 06/01/2003          | 1335,78             | 90%                     |
| 07/01/2003          | 1335,35             | 90%                     |
| 08/01/2003          | 1334,89             | 90%                     |
| 10/01/2003          | 1334,13             | 90%                     |
| 12/01/2003          | 1333,51             | 90%                     |
| 14/01/2003          | 1332,56             | 90%                     |
| 16/01/2003          | 1332,16             | 90%                     |
| 18/01/2003          | 1331,53             | 90%                     |
| 20/01/2003          | 1331,22             | 90%                     |
| 22/01/2003          | 1330,91             | 90%                     |
| 24/01/2003          | 1330,16             | 90%                     |
| 27/01/2003          | 1329,04             | 86%                     |
| 28/01/2003          | 1329,10             | 93%                     |
| 29/01/2003          | 1329,06             | 91%                     |
| 30/01/2003          | 1328,99             | 91%                     |
| 31/01/2003          | 1328,91             | 93%                     |
| 01/02/2003          | 1328,82             | 93%                     |
| 03/02/2003          | 1328,69             | 91%                     |
| 05/02/2003          | 1328,63             | 92%                     |
| 07/02/2003          | 1328,53             | 92%                     |
| 08/02/2003          | 1328,43             | 92%                     |
| 10/02/2003          | 1328,28             | 92%                     |
| 12/02/2003          | 1328,28             | 92%                     |
| 14/02/2003          | 1328,19             | 92%                     |
| 15/02/2003          | 1328,04             | 92%                     |
| 17/02/2003          | 1327,86             | 92%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Υψος δοκιμίου (cm)       | 5,7     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1273,58 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

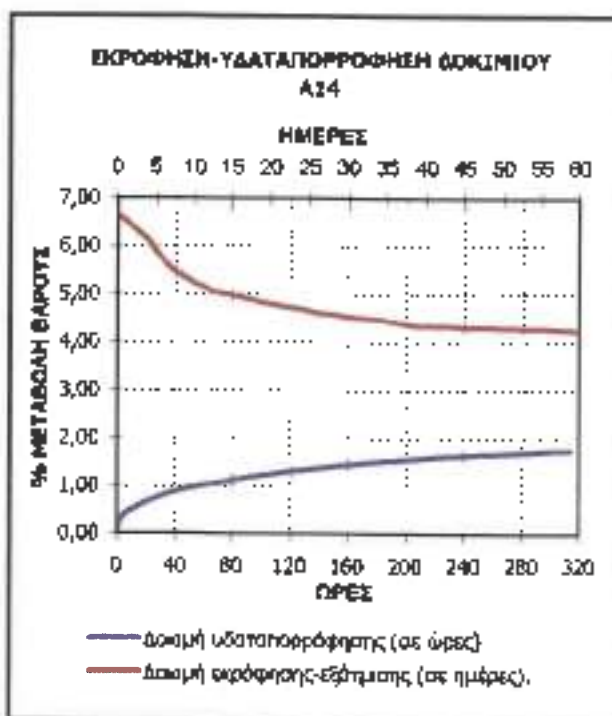
| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1330,05             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1331,70             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1332,33             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1333,12             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1334,12             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1335,08             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1338,18             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1340,31             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1341,76             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1343,26             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1345,35             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1347,77             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1349,71             | 62%<br>18 |



| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 19/12/2002          | 1302,31             | -                       |
| 20/12/2002          | 1300,58             | 88%                     |
| 21/12/2002          | 1298,91             | 91%                     |
| 22/12/2002          | 1297,26             | 91%                     |
| 23/12/2002          | 1295,62             | 91%                     |
| 24/12/2002          | 1292,60             | 90%                     |
| 25/12/2002          | 1290,43             | 92%                     |
| 26/12/2002          | 1288,50             | 94%                     |
| 27/12/2002          | 1287,04             | 90%                     |
| 28/12/2002          | 1285,84             | 90%                     |
| 29/12/2002          | 1284,71             | 90%                     |
| 30/12/2002          | 1283,97             | 90%                     |
| 31/12/2002          | 1283,12             | 90%                     |
| 02/01/2003          | 1282,00             | 90%                     |
| 03/01/2003          | 1281,53             | 90%                     |
| 04/01/2003          | 1281,11             | 90%                     |
| 05/01/2003          | 1280,71             | 90%                     |
| 06/01/2003          | 1280,27             | 90%                     |
| 07/01/2003          | 1279,89             | 90%                     |
| 08/01/2003          | 1279,45             | 90%                     |
| 10/01/2003          | 1278,72             | 90%                     |
| 12/01/2003          | 1278,13             | 90%                     |
| 14/01/2003          | 1277,28             | 90%                     |
| 16/01/2003          | 1276,82             | 90%                     |
| 18/01/2003          | 1276,25             | 90%                     |
| 20/01/2003          | 1275,92             | 90%                     |
| 22/01/2003          | 1275,65             | 90%                     |
| 24/01/2003          | 1274,99             | 90%                     |
| 27/01/2003          | 1273,78             | 86%                     |
| 28/01/2003          | 1273,89             | 93%                     |
| 29/01/2003          | 1273,84             | 91%                     |
| 30/01/2003          | 1273,79             | 91%                     |
| 31/01/2003          | 1273,73             | 93%                     |
| 01/02/2003          | 1273,61             | 93%                     |
| 03/02/2003          | 1273,51             | 91%                     |
| 05/02/2003          | 1273,45             | 92%                     |
| 07/02/2003          | 1273,35             | 92%                     |
| 08/02/2003          | 1273,29             | 92%                     |
| 10/02/2003          | 1273,09             | 92%                     |
| 12/02/2003          | 1273,14             | 92%                     |
| 14/02/2003          | 1273,04             | 92%                     |
| 15/02/2003          | 1272,91             | 92%                     |
| 17/02/2003          | 1272,73             | 92%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,3     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1220,84 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

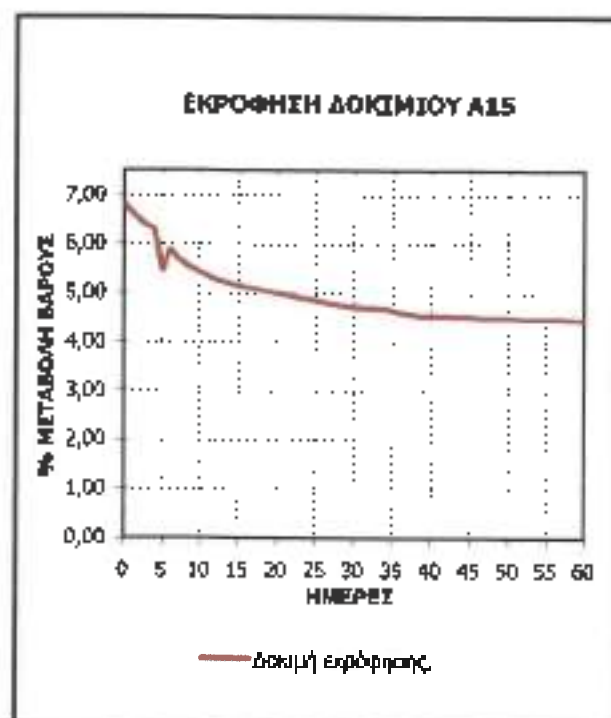
| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗ        |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1275,91             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1277,93             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1278,62             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1279,47             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1280,54             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1281,65             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1285,28             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1287,70             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1289,44             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1291,10             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1293,48             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1296,03             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1298,04             | 62%<br>18 |



# ΔΟΚΙΜΙΟ Α15

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΞΕΑΤΜΙΣΗ   |                     |                        |
|---------------------|---------------------|------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚΙ RH% |
| 19/12/2002          | 1365,08             | -                      |
| 20/12/2002          | 1362,96             | 88%                    |
| 21/12/2002          | 1361,19             | 91%                    |
| 22/12/2002          | 1359,56             | 91%                    |
| 23/12/2002          | 1358,10             | 91%                    |
| 24/12/2002          | 1347,99             | 90%                    |
| 25/12/2002          | 1352,99             | 92%                    |
| 26/12/2002          | 1351,04             | 94%                    |
| 27/12/2002          | 1349,48             | 90%                    |
| 28/12/2002          | 1348,25             | 90%                    |
| 29/12/2002          | 1347,24             | 90%                    |
| 30/12/2002          | 1346,44             | 90%                    |
| 31/12/2002          | 1345,54             | 90%                    |
| 02/01/2003          | 1344,39             | 90%                    |
| 03/01/2003          | 1343,86             | 90%                    |
| 04/01/2003          | 1343,42             | 90%                    |
| 05/01/2003          | 1343,00             | 90%                    |
| 06/01/2003          | 1342,57             | 90%                    |
| 07/01/2003          | 1342,19             | 90%                    |
| 08/01/2003          | 1341,72             | 90%                    |
| 10/01/2003          | 1340,93             | 90%                    |
| 12/01/2003          | 1340,32             | 90%                    |
| 14/01/2003          | 1339,36             | 90%                    |
| 16/01/2003          | 1338,83             | 90%                    |
| 18/01/2003          | 1338,28             | 90%                    |
| 20/01/2003          | 1337,96             | 90%                    |
| 22/01/2003          | 1337,67             | 90%                    |
| 24/01/2003          | 1336,92             | 90%                    |
| 27/01/2003          | 1335,88             | 86%                    |
| 28/01/2003          | 1335,97             | 93%                    |
| 29/01/2003          | 1335,90             | 91%                    |
| 30/01/2003          | 1335,87             | 91%                    |
| 31/01/2003          | 1335,78             | 93%                    |
| 01/02/2003          | 1335,68             | 93%                    |
| 03/02/2003          | 1335,55             | 91%                    |
| 05/02/2003          | 1335,50             | 92%                    |
| 07/02/2003          | 1335,37             | 92%                    |
| 08/02/2003          | 1335,30             | 92%                    |
| 10/02/2003          | 1335,15             | 92%                    |
| 12/02/2003          | 1335,10             | 92%                    |
| 14/02/2003          | 1335,03             | 92%                    |
| 15/02/2003          | 1334,88             | 92%                    |
| 17/02/2003          | 1334,71             | 92%                    |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Υψος δοκιμίου (cm)       | 5,1     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1278,01 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

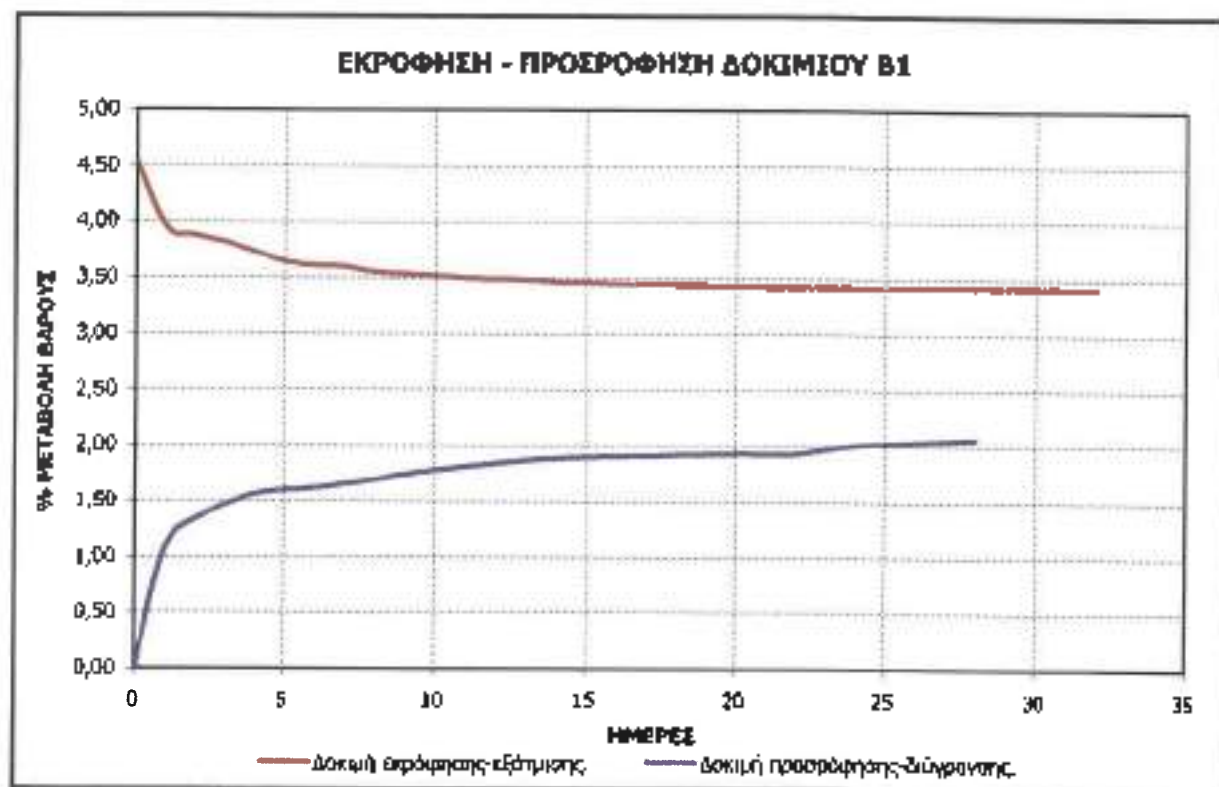


## ΔΟΚΙΜΙΟ Β1

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 23/12/2002          | 718,75              | 85%                      |
| 24/12/2002          | 714,62              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 714,14              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 713,75              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 713,13              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 712,54              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 712,32              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 712,23              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 711,94              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 711,71              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 711,58              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 711,51              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 711,45              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 711,35              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 711,30              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 711,22              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 711,15              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 711,06              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 710,99              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 710,98              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 710,99              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 710,97              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 710,98              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 711,03              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 30/01/2003          | 687,51              | -                        |
| 31/01/2003          | 694,92              | 77%                      |
| 01/02/2003          | 696,70              | 77%                      |
| 03/02/2003          | 698,23              | 78%                      |
| 05/02/2003          | 698,60              | 77%                      |
| 07/02/2003          | 699,11              | 76%                      |
| 08/02/2003          | 699,48              | 77%                      |
| 10/02/2003          | 699,93              | 76%                      |
| 12/02/2003          | 700,32              | 77%                      |
| 14/02/2003          | 700,53              | 78%                      |
| 15/02/2003          | 700,57              | 77%                      |
| 17/02/2003          | 700,68              | 77%                      |
| 19/02/2003          | 700,75              | 75%                      |
| 21/02/2003          | 700,76              | 73%                      |
| 23/02/2003          | 701,29              | 75%                      |
| 25/02/2003          | 701,51              | 76%                      |
| 27/02/2003          | 701,69              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,4    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 711,58 |
| Αντοχή σε θωρόρηξη (MPa) | 4,56   |

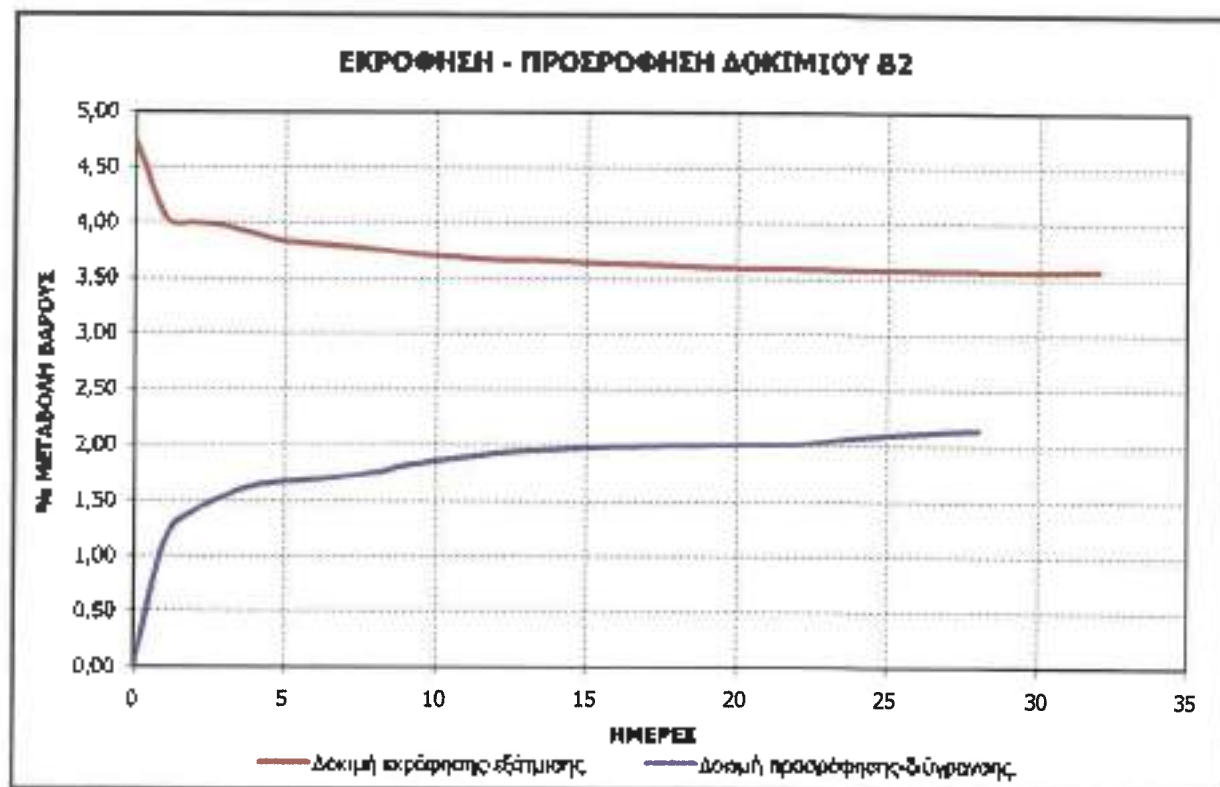


## ΔΟΚΙΜΙΟ Β2

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 23/12/2002          | 702,86              | 85%                      |
| 24/12/2002          | 698,24              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 697,90              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 697,68              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 697,22              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 696,79              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 696,64              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 696,51              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 696,32              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 695,93              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 695,79              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 695,70              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 695,64              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 695,59              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 695,51              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 695,46              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 695,34              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 695,24              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 695,18              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 695,10              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 695,11              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 695,08              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 695,04              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 695,10              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΤΡΑΝΣΗ |                     |                          |
|----------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 30/01/2003           | 671,07              | -                        |
| 31/01/2003           | 678,61              | 77%                      |
| 01/02/2003           | 680,48              | 77%                      |
| 03/02/2003           | 681,99              | 78%                      |
| 05/02/2003           | 682,34              | 77%                      |
| 07/02/2003           | 682,83              | 76%                      |
| 08/02/2003           | 683,23              | 77%                      |
| 10/02/2003           | 683,73              | 76%                      |
| 12/02/2003           | 684,14              | 77%                      |
| 14/02/2003           | 684,29              | 78%                      |
| 15/02/2003           | 684,35              | 77%                      |
| 17/02/2003           | 684,42              | 77%                      |
| 19/02/2003           | 684,52              | 75%                      |
| 21/02/2003           | 684,54              | 73%                      |
| 23/02/2003           | 684,99              | 75%                      |
| 25/02/2003           | 685,23              | 76%                      |
| 27/02/2003           | 685,45              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,7    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 695,37 |
| Αντοχή σε δαβρηξη (MPa)  | 4,91   |

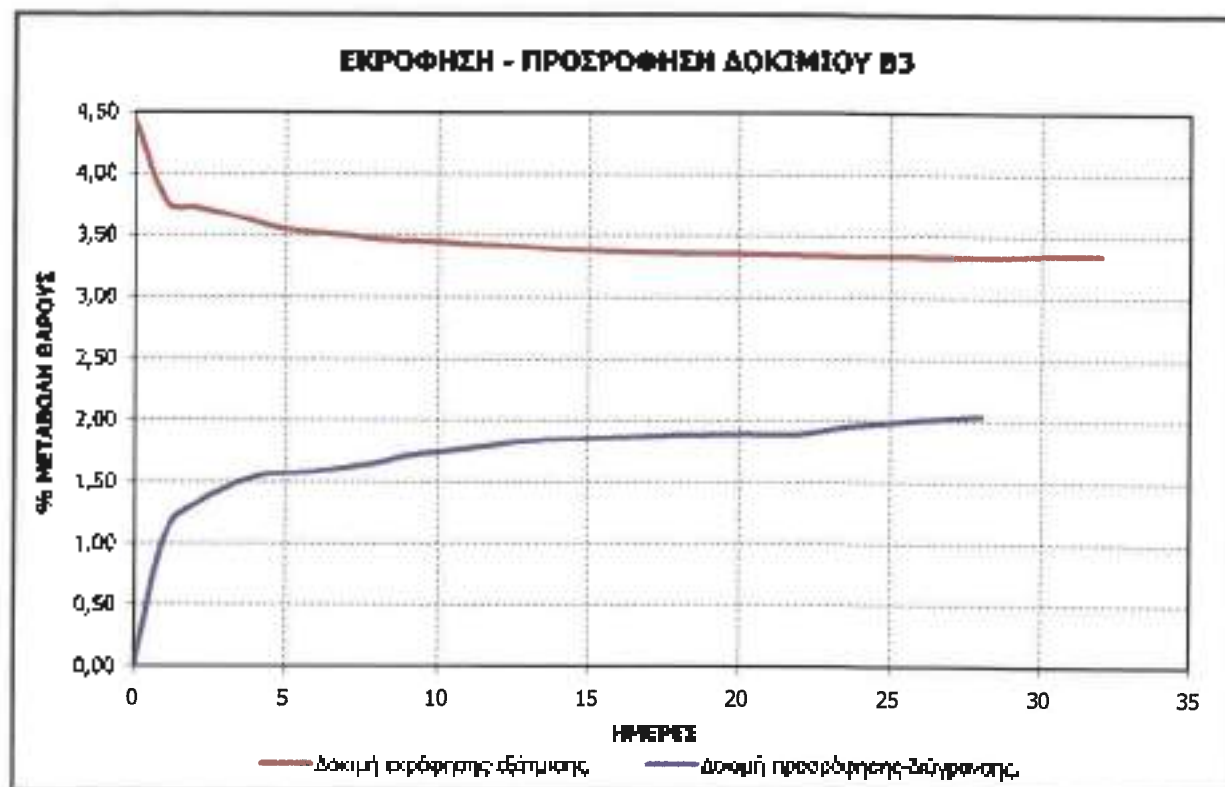


### ΔΟΚΙΜΙΟ Β3

| ΕΚΡΟΦΗ-ΞΕΑΤΜΙΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 23/12/2002          | 735,53              | 85%                      |
| 24/12/2002          | 731,07              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 730,66              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 730,29              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 729,83              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 729,44              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 729,25              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 729,10              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 728,87              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 728,69              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 728,58              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 728,51              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 728,40              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 728,29              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 728,23              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 728,16              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 728,09              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 728,04              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 727,95              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 727,91              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 727,89              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 727,87              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 727,95              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 727,98              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 30/01/2003          | 704,43              | -                        |
| 31/01/2003          | 711,85              | 77%                      |
| 01/02/2003          | 713,70              | 77%                      |
| 03/02/2003          | 715,24              | 78%                      |
| 05/02/2003          | 715,59              | 77%                      |
| 07/02/2003          | 716,08              | 76%                      |
| 08/02/2003          | 716,48              | 77%                      |
| 10/02/2003          | 716,88              | 76%                      |
| 12/02/2003          | 717,32              | 77%                      |
| 14/02/2003          | 717,49              | 78%                      |
| 15/02/2003          | 717,55              | 77%                      |
| 17/02/2003          | 717,69              | 77%                      |
| 19/02/2003          | 717,76              | 75%                      |
| 21/02/2003          | 717,76              | 73%                      |
| 23/02/2003          | 718,28              | 75%                      |
| 25/02/2003          | 718,56              | 76%                      |
| 27/02/2003          | 718,79              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 728,58 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 3,93   |

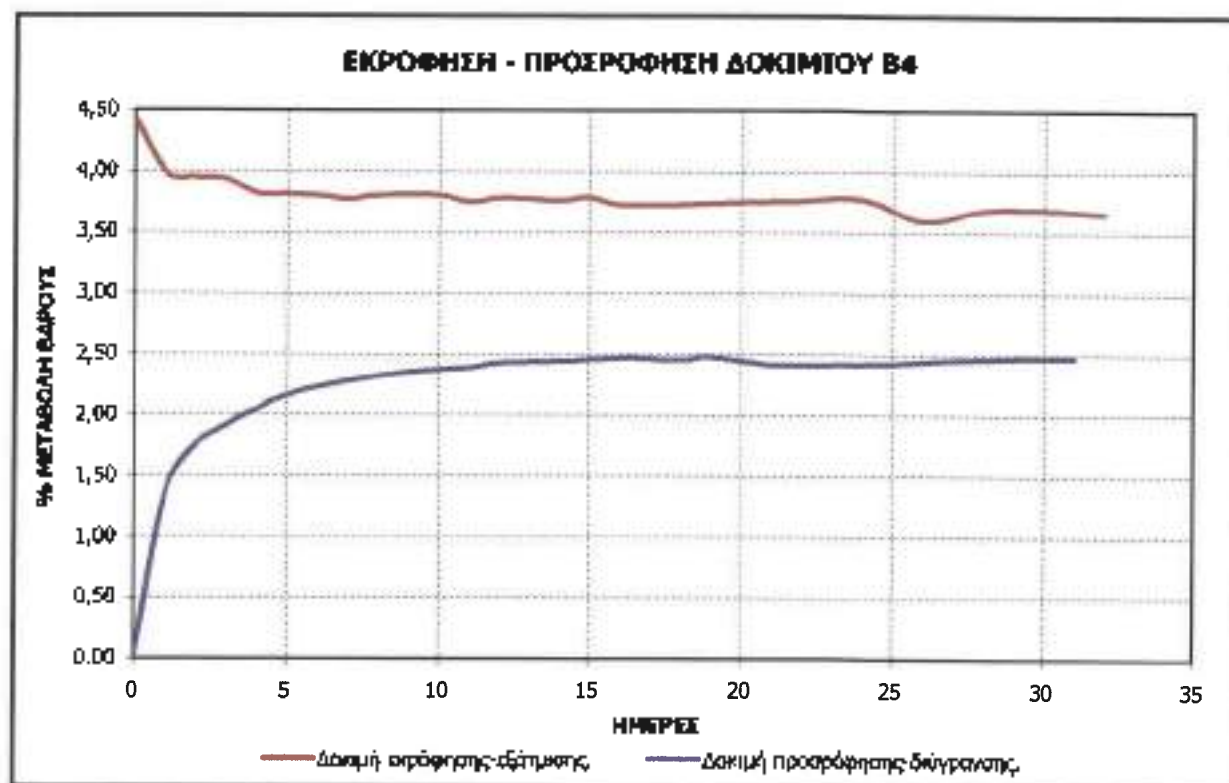


## ΔΟΚΙΜΙΟ Β4

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 23/12/2002          | 707,82              | 91%                     |
| 24/12/2002          | 704,89              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 704,63              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 704,54              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 703,71              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 703,68              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 703,59              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 703,40              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 703,61              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 703,60              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 703,25              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 703,45              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 703,42              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 703,33              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 703,50              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 703,12              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 703,10              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 703,26              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 703,33              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 703,43              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 702,23              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 702,81              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 702,87              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 702,65              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 27/01/2003          | 677,85              | -                       |
| 28/01/2003          | 686,98              | 82%                     |
| 29/01/2003          | 689,76              | 81%                     |
| 30/01/2003          | 690,83              | 84%                     |
| 31/01/2003          | 691,71              | 86%                     |
| 01/02/2003          | 692,52              | 86%                     |
| 03/02/2003          | 693,29              | 87%                     |
| 05/02/2003          | 693,79              | 82%                     |
| 07/02/2003          | 694,05              | 83%                     |
| 08/02/2003          | 694,28              | 84%                     |
| 10/02/2003          | 694,38              | 83%                     |
| 12/02/2003          | 694,58              | 83%                     |
| 14/02/2003          | 694,45              | 84%                     |
| 15/02/2003          | 694,64              | 83%                     |
| 17/02/2003          | 694,20              | 84%                     |
| 19/02/2003          | 694,20              | 83%                     |
| 21/02/2003          | 694,3               | 78%                     |
| 23/02/2003          | 694,49              | 82%                     |
| 25/02/2003          | 694,61              | 84%                     |
| 27/02/2003          | 694,61              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,9    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 702,40 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 3,18   |

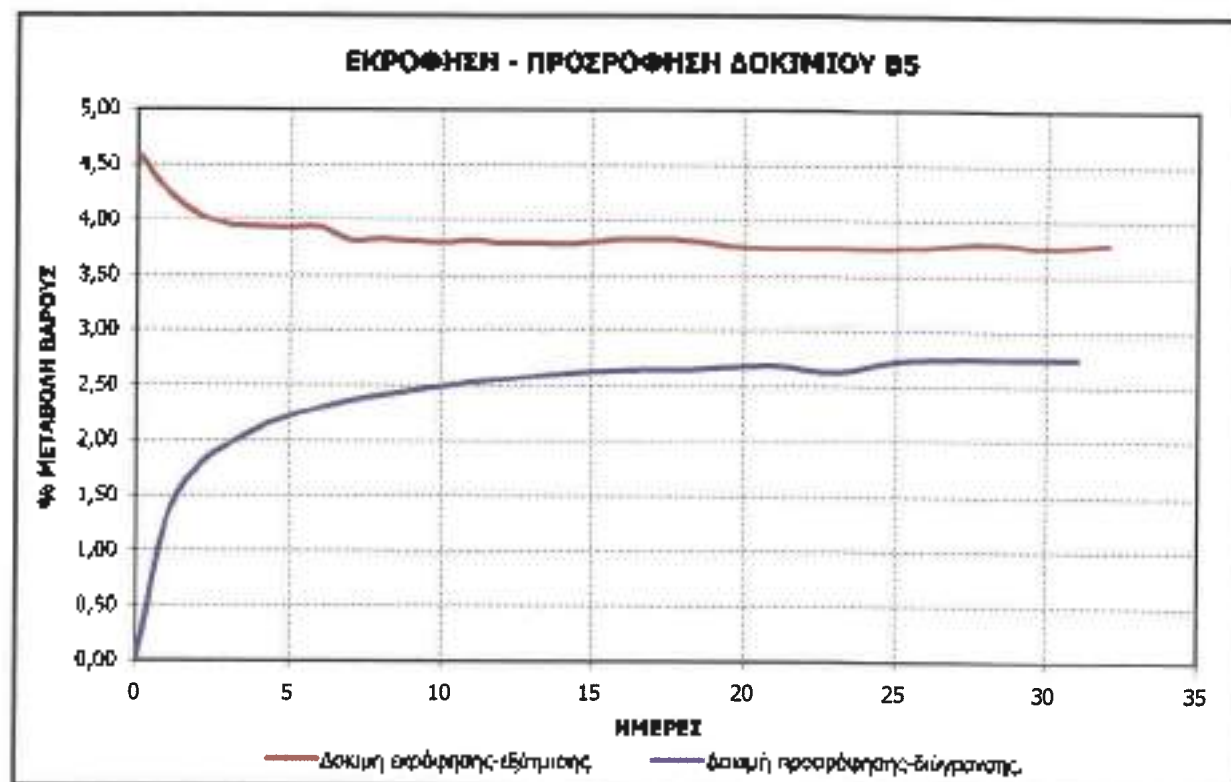


## ΔΟΚΙΜΙΟ Β5

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 23/12/2002          | 700,97              | 91%                     |
| 24/12/2002          | 698,70              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 697,31              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 696,69              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 696,55              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 696,49              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 696,52              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 695,75              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 695,83              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 695,65              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 695,77              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 695,60              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 695,63              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 695,54              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 695,68              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 695,82              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 695,77              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 695,37              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 695,29              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 695,30              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 695,35              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 695,63              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 695,37              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 695,58              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 27/01/2003          | 670,18              | -                       |
| 28/01/2003          | 678,75              | 82%                     |
| 29/01/2003          | 681,94              | 81%                     |
| 30/01/2003          | 683,28              | 84%                     |
| 31/01/2003          | 684,31              | 88%                     |
| 01/02/2003          | 685,00              | 88%                     |
| 03/02/2003          | 685,97              | 87%                     |
| 05/02/2003          | 686,56              | 82%                     |
| 07/02/2003          | 687,06              | 83%                     |
| 08/02/2003          | 687,26              | 84%                     |
| 10/02/2003          | 687,62              | 83%                     |
| 12/02/2003          | 687,86              | 83%                     |
| 14/02/2003          | 687,90              | 84%                     |
| 15/02/2003          | 687,99              | 83%                     |
| 17/02/2003          | 688,17              | 84%                     |
| 19/02/2003          | 687,78              | 83%                     |
| 21/02/2003          | 688,43              | 78%                     |
| 23/02/2003          | 688,59              | 82%                     |
| 25/02/2003          | 688,59              | 84%                     |
| 27/02/2003          | 688,57              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,8    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 694,68 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 4,69   |

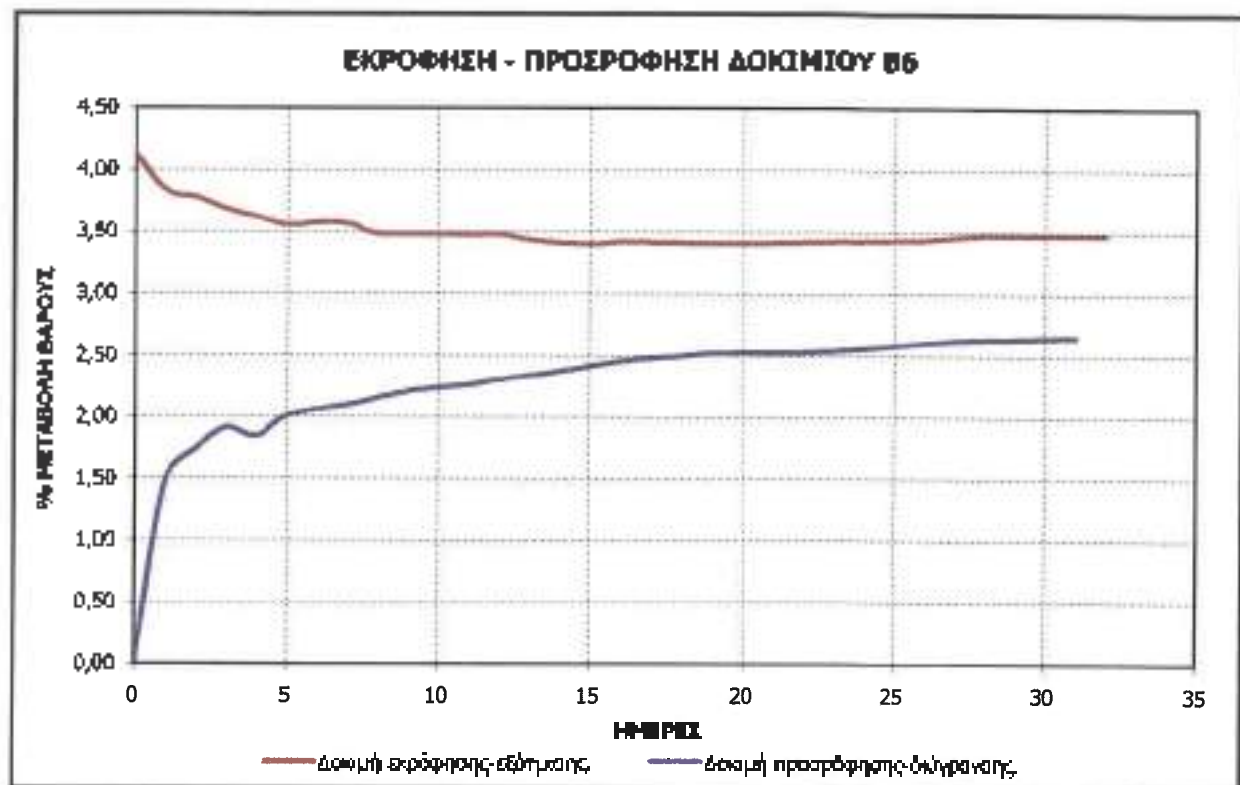


## ΔΟΚΙΜΙΟ Β6

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 23/12/2002          | 706,28              | 91%                     |
| 24/12/2002          | 704,32              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 703,95              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 703,33              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 702,90              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 702,45              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 702,57              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 702,52              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 701,99              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 701,94              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 701,93              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 701,95              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 701,67              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 701,50              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 701,42              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 701,52              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 701,51              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 701,46              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 701,55              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 701,61              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 701,69              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 701,92              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 701,93              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 701,93              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                         |
|----------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 27/01/2003           | 678,36              | -                       |
| 28/01/2003           | 688,39              | 82%                     |
| 29/01/2003           | 690,15              | 81%                     |
| 30/01/2003           | 691,34              | 84%                     |
| 31/01/2003           | 690,89              | 88%                     |
| 01/02/2003           | 691,97              | 88%                     |
| 03/02/2003           | 692,62              | 87%                     |
| 05/02/2003           | 693,36              | 82%                     |
| 07/02/2003           | 693,71              | 83%                     |
| 08/02/2003           | 693,98              | 84%                     |
| 10/02/2003           | 694,42              | 83%                     |
| 12/02/2003           | 695,00              | 83%                     |
| 14/02/2003           | 695,27              | 84%                     |
| 15/02/2003           | 695,40              | 83%                     |
| 17/02/2003           | 695,46              | 84%                     |
| 19/02/2003           | 695,55              | 83%                     |
| 21/02/2003           | 695,88              | 78%                     |
| 23/02/2003           | 696,14              | 82%                     |
| 25/02/2003           | 696,26              | 84%                     |
| 27/02/2003           | 696,35              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,6    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 702,61 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 4,29   |

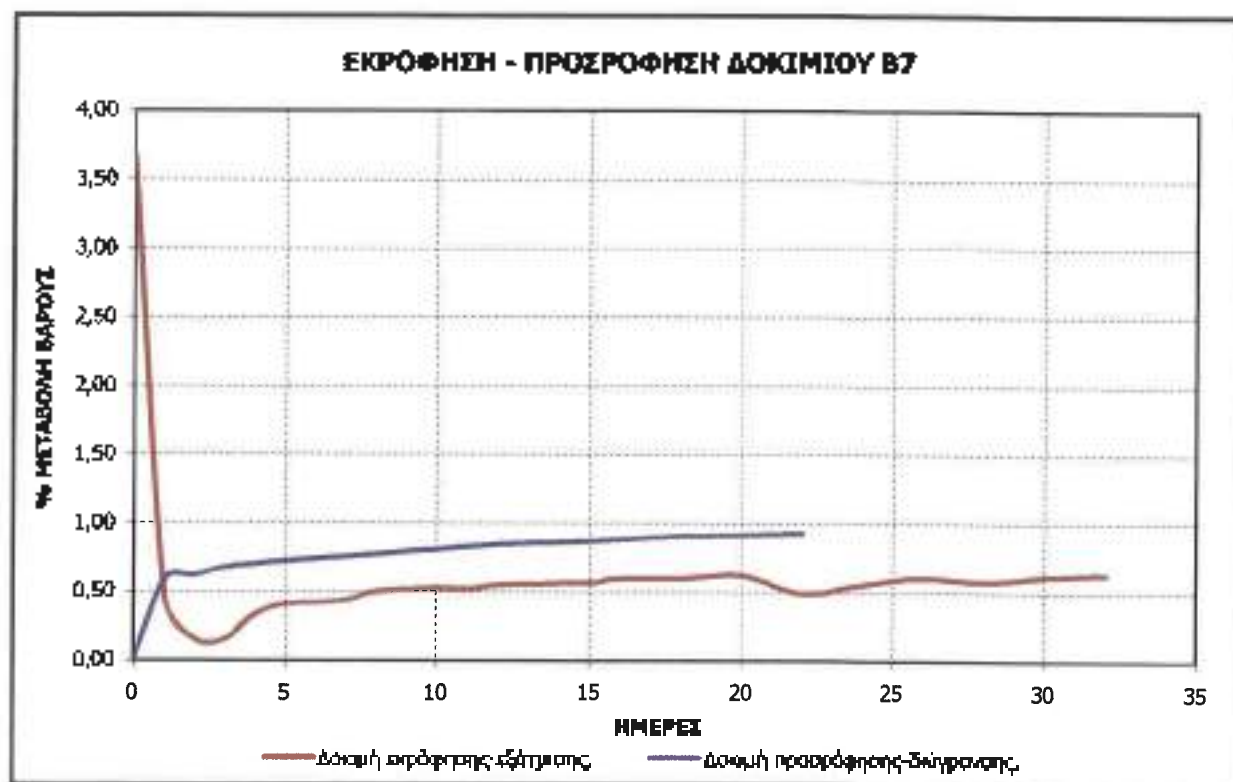


## ΔΟΚΙΜΙΟ Β7

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 23/12/2002          | 742,98              | -                           |
| 24/12/2002          | 720,00              | -                           |
| 25/12/2002          | 717,79              | -                           |
| 26/12/2002          | 717,78              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 719,10              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 719,63              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 719,69              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 719,88              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 720,30              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 720,48              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 720,44              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 720,62              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 720,67              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 720,72              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 720,72              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 720,96              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 720,96              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 721,13              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 720,19              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 720,65              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 721,03              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 720,83              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 721,10              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 721,22              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                                                    |
|---------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RH% |
| 05/02/2003          | 716,71              | -                                                  |
| 06/02/2003          | 720,90              | 50%                                                |
| 07/02/2003          | 721,12              | 50%                                                |
| 08/02/2003          | 721,55              | 52%                                                |
| 10/02/2003          | 721,90              | 52%                                                |
| 12/02/2003          | 722,14              | 54%                                                |
| 14/02/2003          | 722,39              | 52%                                                |
| 15/02/2003          | 722,49              | 52%                                                |
| 17/02/2003          | 722,74              | 52%                                                |
| 19/02/2003          | 722,84              | 54%                                                |
| 21/02/2003          | 723,03              | 50%                                                |
| 23/02/2003          | 723,19              | 50%                                                |
| 25/02/2003          | 723,27              | 50%                                                |
| 27/02/2003          | 723,36              | 50%                                                |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,2    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 740,68 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 4,55   |

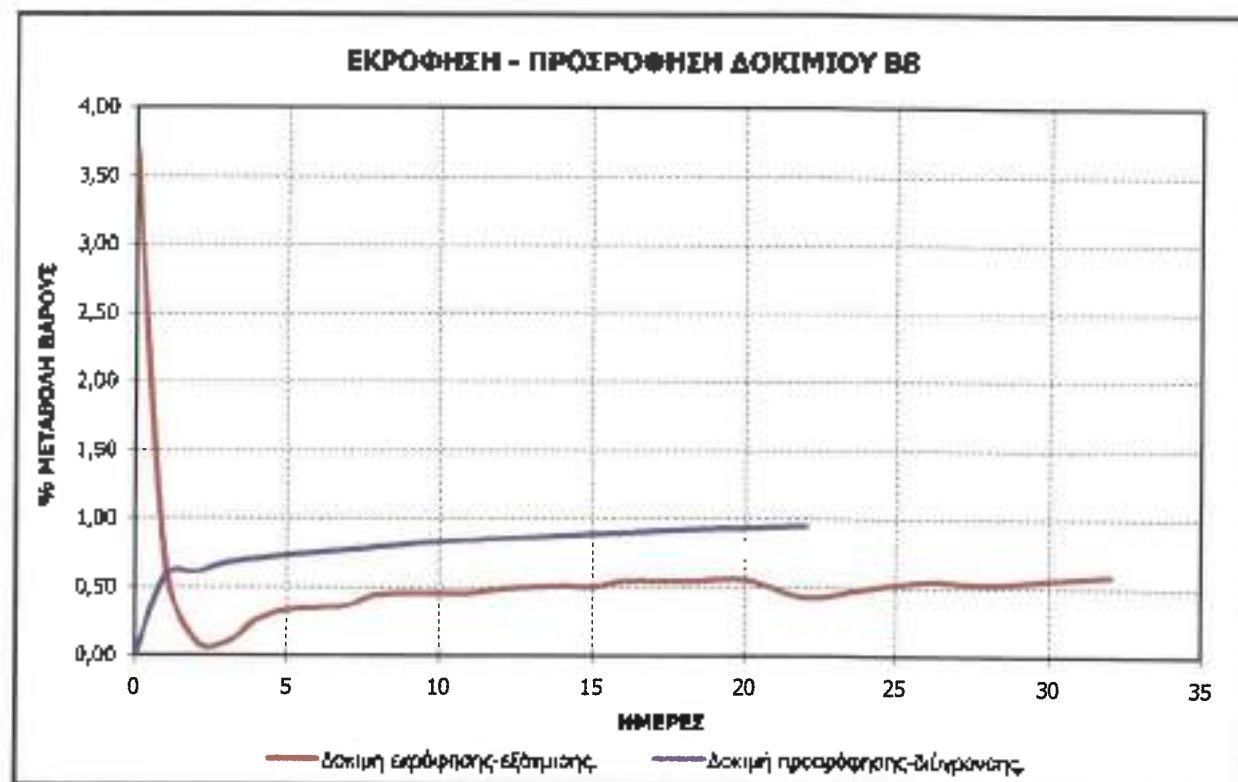


## ΔΟΚΙΜΙΟ Β8

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνος RH% |
| 23/12/2002          | 699,58              | -                           |
| 24/12/2002          | 678,88              | -                           |
| 25/12/2002          | 675,34              | -                           |
| 26/12/2002          | 675,27              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 676,41              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 676,86              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 676,97              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 677,12              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 677,64              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 677,70              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 677,73              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 677,91              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 678,03              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 678,09              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 678,03              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 678,30              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 678,29              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 678,39              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 677,54              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 677,94              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 678,29              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 678,19              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 678,38              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 678,58              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                                                    |
|----------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RH% |
| 05/02/2003           | 674,66              | -                                                  |
| 06/02/2003           | 678,58              | 50%                                                |
| 07/02/2003           | 678,74              | 50%                                                |
| 08/02/2003           | 679,22              | 52%                                                |
| 10/02/2003           | 679,60              | 52%                                                |
| 12/02/2003           | 679,84              | 54%                                                |
| 14/02/2003           | 680,11              | 52%                                                |
| 15/02/2003           | 680,24              | 52%                                                |
| 17/02/2003           | 680,39              | 52%                                                |
| 19/02/2003           | 680,55              | 54%                                                |
| 21/02/2003           | 680,72              | 50%                                                |
| 23/02/2003           | 680,87              | 50%                                                |
| 25/02/2003           | 680,98              | 50%                                                |
| 27/02/2003           | 681,07              | 50%                                                |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,0    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό Βάρος (gr)          | 698,57 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 5,17   |

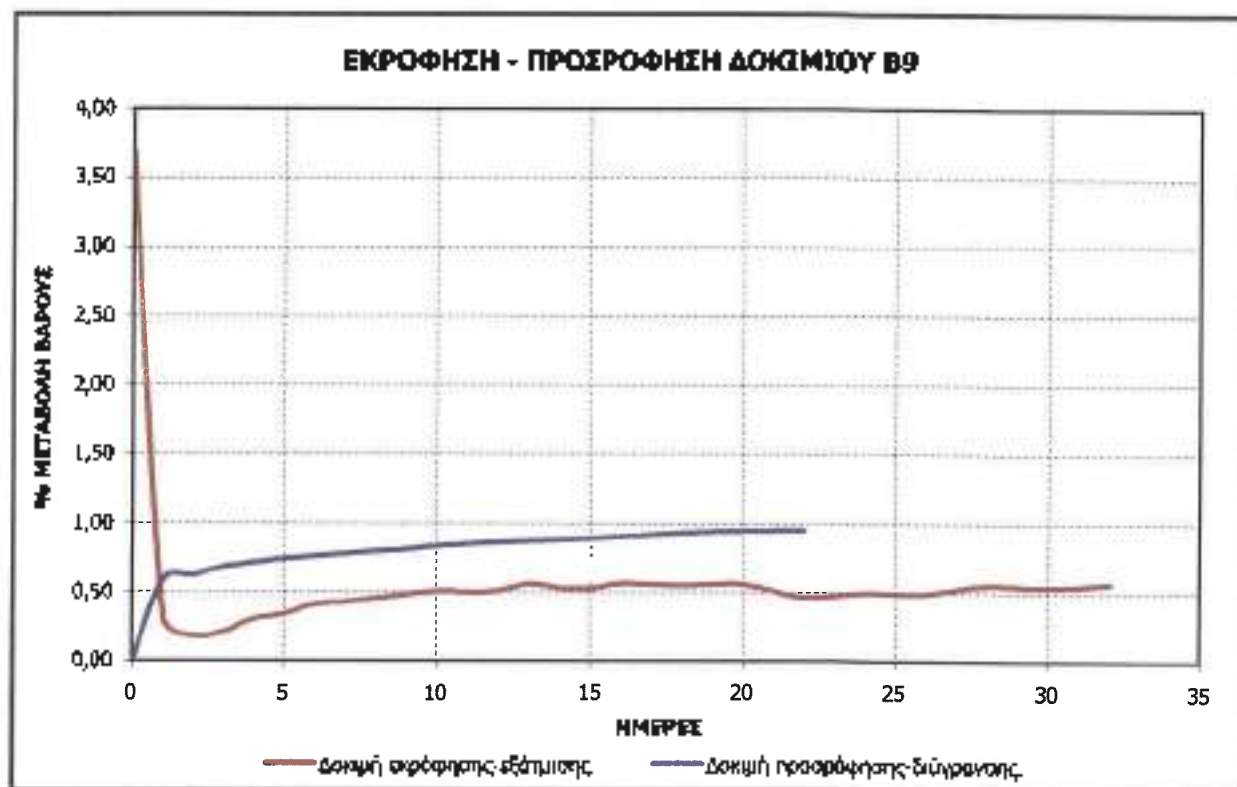


## ΔΟΚΙΜΙΟ Β9

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΞΕΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνος RH% |
| 23/12/2002          | 723,96              | -                           |
| 24/12/2002          | 700,33              | -                           |
| 25/12/2002          | 699,39              | -                           |
| 26/12/2002          | 699,59              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 700,21              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 700,50              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 700,97              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 701,11              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 701,29              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 701,66              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 701,59              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 701,69              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 702,03              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 701,82              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 701,78              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 702,04              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 701,93              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 702,01              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 701,34              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 701,59              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 701,56              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 701,96              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 701,86              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 702,07              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                                                    |
|----------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RH% |
| 05/02/2003           | 698,13              | -                                                  |
| 06/02/2003           | 702,23              | 50%                                                |
| 07/02/2003           | 702,46              | 50%                                                |
| 08/02/2003           | 702,87              | 52%                                                |
| 10/02/2003           | 703,28              | 52%                                                |
| 12/02/2003           | 703,54              | 54%                                                |
| 14/02/2003           | 703,77              | 52%                                                |
| 15/02/2003           | 703,94              | 52%                                                |
| 17/02/2003           | 704,13              | 52%                                                |
| 19/02/2003           | 704,25              | 54%                                                |
| 21/02/2003           | 704,43              | 50%                                                |
| 23/02/2003           | 704,62              | 50%                                                |
| 25/02/2003           | 704,71              | 50%                                                |
| 27/02/2003           | 704,75              | 50%                                                |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,7    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 722,34 |
| Αντοχή σε διάτρηση (MPa) | 4,66   |

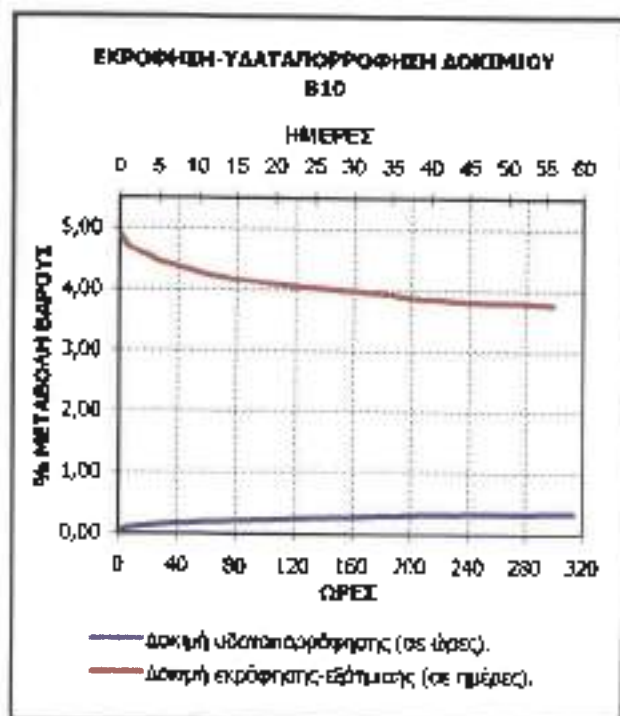


# ΔΟΚΙΜΙΟ Β10

| ΕΚΡΟΦΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ    |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 23/12/2002          | 1350,49             | 85%                      |
| 24/12/2002          | 1348,05             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1347,12             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1346,28             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1345,61             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1344,76             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1344,37             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1343,90             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1343,34             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1342,56             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1342,21             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1341,89             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1341,56             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1341,26             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1340,99             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1340,78             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1340,36             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1339,98             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1339,62             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1339,35             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1339,07             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1338,82             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1338,57             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1338,32             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1337,90             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1337,64             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1337,31             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1337,20             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1336,98             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1336,91             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1336,81             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1336,48             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1336,33             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1336,28             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1336,22             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1336,18             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1336,06             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1335,96             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1335,81             | 77%                      |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΣΗ       |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003 11:30    | 1337,57             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 11:45    | 1338,09             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003 12:15    | 1338,22             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003 13:15    | 1338,37             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003 15:15    | 1338,56             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 18:15    | 1338,77             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003 13:15    | 1339,42             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003 11:15      | 1339,86             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003 10:15      | 1340,16             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003 11:15      | 1340,53             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003 11:00    | 1341,06             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003 9:45     | 1341,69             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003 12:15    | 1342,10             | 62%<br>18 |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,3     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1287,34 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

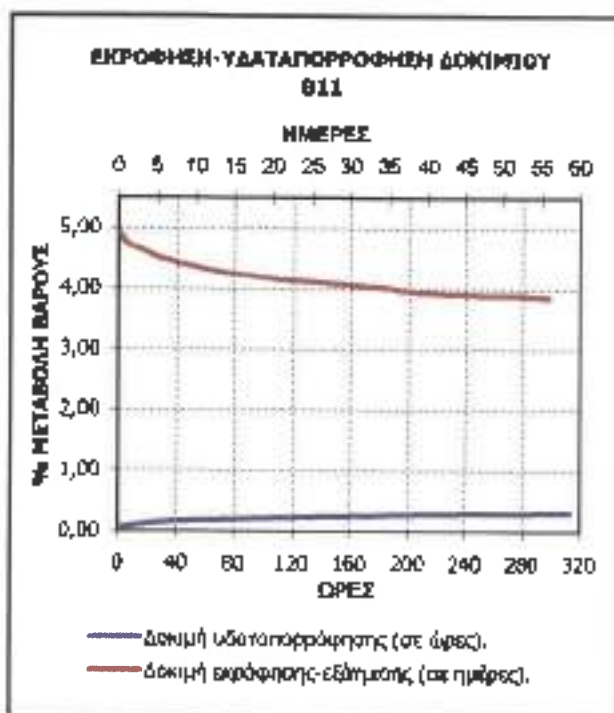


# ΔΟΚΙΜΙΟ Β11

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 23/12/2002          | 1538,97             | 85%                      |
| 24/12/2002          | 1536,20             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1535,26             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1534,61             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1533,75             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1532,90             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1532,44             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1531,88             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1531,37             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1530,57             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1530,15             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1529,81             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1529,49             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1529,15             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1528,89             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1528,62             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1528,18             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1527,78             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1527,37             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1527,08             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1526,77             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1526,50             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1526,23             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1525,96             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1525,50             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1525,21             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1524,84             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1524,72             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1524,44             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1524,36             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1524,26             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1524,00             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1523,85             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1523,82             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1523,72             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1523,71             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1523,53             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1523,42             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1523,23             | 77%                      |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1524,98             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1525,47             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1525,64             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1525,82             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1526,06             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1526,32             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1527,07             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1527,59             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1527,88             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1528,21             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1528,70             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1529,27             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1529,58             | 62%<br>18 |

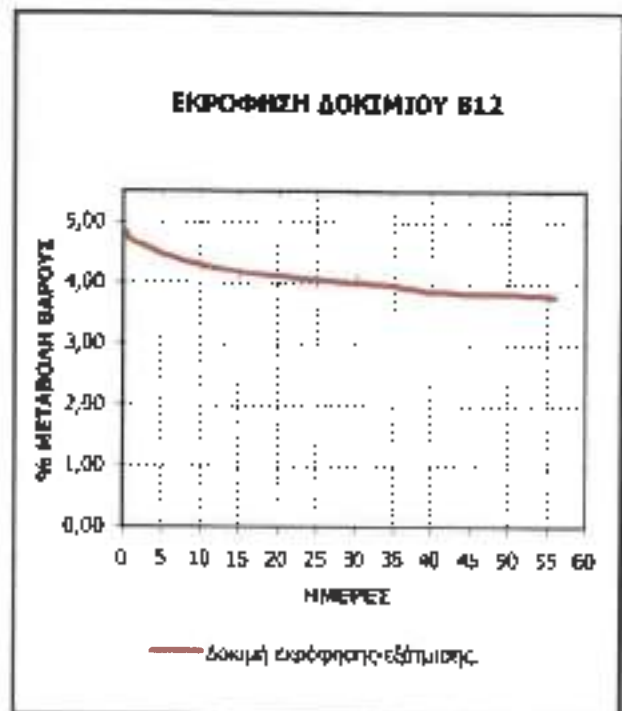
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,6     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1466,69 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |



## ΔΟΚΙΜΙΟ Β12

| ΕΚΡΟΦΗΞΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 23/12/2002          | 1342,09             | 85%                      |
| 24/12/2002          | 1339,92             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1339,08             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1338,42             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1337,67             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1336,91             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1336,45             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1335,99             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1335,48             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1334,79             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1334,39             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1334,09             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1333,79             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1333,52             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1333,29             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1333,06             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1332,66             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1332,31             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1331,94             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1331,67             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1331,42             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1331,19             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1330,95             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1330,75             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1330,30             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1330,08             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1329,79             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1329,69             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1329,26             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1329,20             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1329,12             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1328,93             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1328,78             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1328,76             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1328,70             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1328,69             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1328,54             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1328,42             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1328,27             | 77%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,2     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1279,77 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

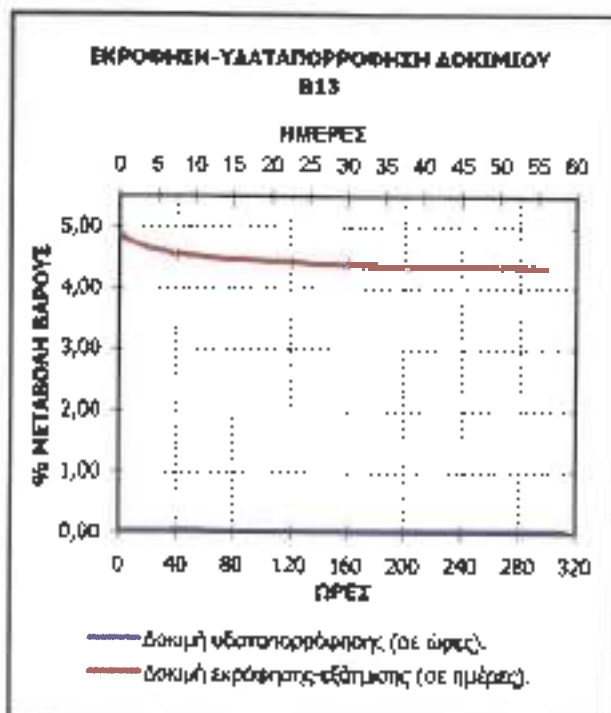


# ΔΟΚΙΜΙΟ Β13

| ΕΚΡΩΣΗΝ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ    |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCI RH% |
| 23/12/2002          | 1507,75             | 91%                     |
| 24/12/2002          | 1506,21             | 90%                     |
| 25/12/2002          | 1505,43             | 92%                     |
| 26/12/2002          | 1504,79             | 94%                     |
| 27/12/2002          | 1504,10             | 90%                     |
| 28/12/2002          | 1503,79             | 90%                     |
| 29/12/2002          | 1503,45             | 90%                     |
| 30/12/2002          | 1502,90             | 90%                     |
| 31/12/2002          | 1502,74             | 90%                     |
| 02/01/2003          | 1502,48             | 90%                     |
| 03/01/2003          | 1502,22             | 90%                     |
| 04/01/2003          | 1502,15             | 90%                     |
| 05/01/2003          | 1501,92             | 90%                     |
| 06/01/2003          | 1501,74             | 90%                     |
| 07/01/2003          | 1501,71             | 90%                     |
| 08/01/2003          | 1501,65             | 90%                     |
| 10/01/2003          | 1501,54             | 90%                     |
| 12/01/2003          | 1501,29             | 90%                     |
| 14/01/2003          | 1501,15             | 90%                     |
| 16/01/2003          | 1501,00             | 90%                     |
| 18/01/2003          | 1500,59             | 90%                     |
| 20/01/2003          | 1500,59             | 90%                     |
| 22/01/2003          | 1500,54             | 90%                     |
| 24/01/2003          | 1500,50             | 90%                     |
| 27/01/2003          | 1499,98             | 86%                     |
| 28/01/2003          | 1500,08             | 93%                     |
| 29/01/2003          | 1500,08             | 91%                     |
| 30/01/2003          | 1500,09             | 91%                     |
| 31/01/2003          | 1500,09             | 93%                     |
| 01/02/2003          | 1500,07             | 93%                     |
| 03/02/2003          | 1500,04             | 91%                     |
| 05/02/2003          | 1500,07             | 92%                     |
| 07/02/2003          | 1500,01             | 92%                     |
| 08/02/2003          | 1500,01             | 92%                     |
| 10/02/2003          | 1499,98             | 92%                     |
| 12/02/2003          | 1500,04             | 92%                     |
| 14/02/2003          | 1499,99             | 92%                     |
| 15/02/2003          | 1499,92             | 92%                     |
| 17/02/2003          | 1499,80             | 92%                     |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΝ       |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1502,46             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1502,68             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1502,73             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1502,78             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1502,88             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1502,91             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1502,99             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1503,06             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1502,95             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1502,99             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1502,93             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1502,94             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1503,00             | 62%<br>18 |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,8     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1437,41 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

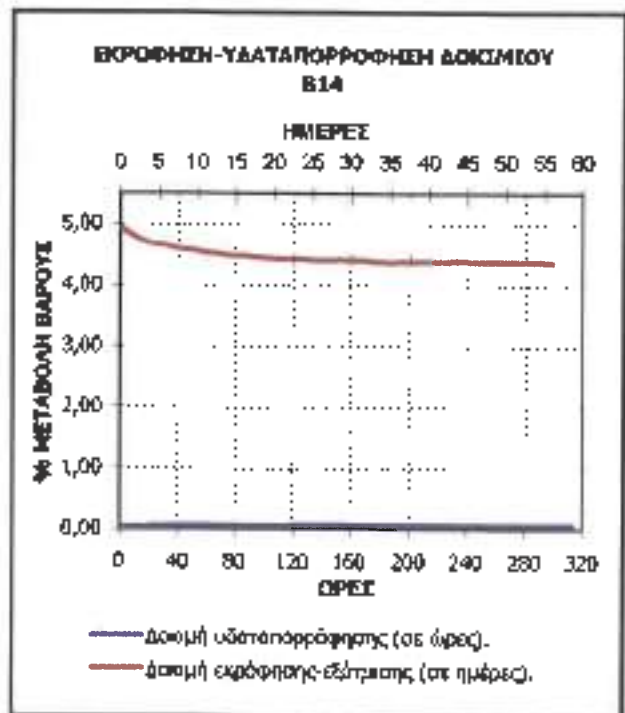


# ΔΟΚΙΜΙΟ Β14

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΞΕΑΤΜΙΣΗ   |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΧCl RH% |
| 23/12/2002          | 1462,23             | 91%                     |
| 24/12/2002          | 1460,90             | 90%                     |
| 25/12/2002          | 1459,92             | 92%                     |
| 26/12/2002          | 1459,17             | 94%                     |
| 27/12/2002          | 1458,46             | 90%                     |
| 28/12/2002          | 1458,12             | 90%                     |
| 29/12/2002          | 1457,94             | 90%                     |
| 30/12/2002          | 1457,45             | 90%                     |
| 31/12/2002          | 1457,13             | 90%                     |
| 02/01/2003          | 1456,66             | 90%                     |
| 03/01/2003          | 1456,35             | 90%                     |
| 04/01/2003          | 1456,27             | 90%                     |
| 05/01/2003          | 1456,04             | 90%                     |
| 06/01/2003          | 1455,77             | 90%                     |
| 07/01/2003          | 1455,70             | 90%                     |
| 08/01/2003          | 1455,66             | 90%                     |
| 10/01/2003          | 1455,44             | 90%                     |
| 12/01/2003          | 1455,09             | 90%                     |
| 14/01/2003          | 1454,97             | 90%                     |
| 16/01/2003          | 1454,94             | 90%                     |
| 18/01/2003          | 1454,70             | 90%                     |
| 20/01/2003          | 1454,75             | 90%                     |
| 22/01/2003          | 1454,66             | 90%                     |
| 24/01/2003          | 1454,65             | 90%                     |
| 27/01/2003          | 1454,21             | 86%                     |
| 28/01/2003          | 1454,30             | 93%                     |
| 29/01/2003          | 1454,32             | 91%                     |
| 30/01/2003          | 1454,34             | 91%                     |
| 31/01/2003          | 1454,33             | 93%                     |
| 01/02/2003          | 1454,30             | 93%                     |
| 03/02/2003          | 1454,27             | 91%                     |
| 05/02/2003          | 1454,29             | 92%                     |
| 07/02/2003          | 1454,27             | 92%                     |
| 08/02/2003          | 1454,23             | 92%                     |
| 10/02/2003          | 1454,20             | 92%                     |
| 12/02/2003          | 1454,24             | 92%                     |
| 14/02/2003          | 1454,22             | 92%                     |
| 15/02/2003          | 1454,15             | 92%                     |
| 17/02/2003          | 1454,05             | 92%                     |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1456,37             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1456,66             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1456,72             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1456,80             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1456,92             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1457,04             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1457,18             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1457,26             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1457,27             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1457,35             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1457,38             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1457,47             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1457,50             | 62%<br>18 |

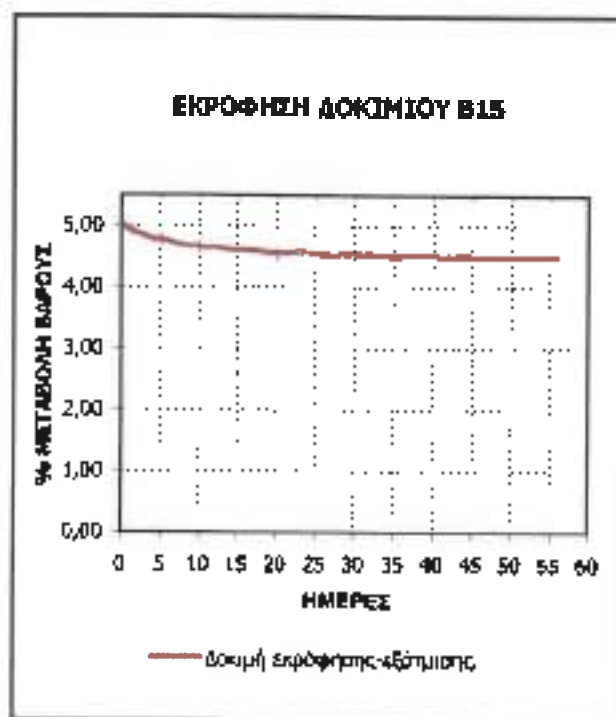
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,3     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό Βάρος (gr)          | 1393,29 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |



# ΔΟΚΙΜΙΟ Β15

| ΕΚΡΟΦΗΞΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCI RH% |
| 23/12/2002          | 1422,52             | 91%                     |
| 24/12/2002          | 1421,28             | 90%                     |
| 25/12/2002          | 1420,66             | 92%                     |
| 26/12/2002          | 1420,03             | 94%                     |
| 27/12/2002          | 1419,34             | 90%                     |
| 28/12/2002          | 1419,18             | 90%                     |
| 29/12/2002          | 1418,90             | 90%                     |
| 30/12/2002          | 1418,31             | 90%                     |
| 31/12/2002          | 1417,95             | 90%                     |
| 02/01/2003          | 1417,51             | 90%                     |
| 03/01/2003          | 1417,40             | 90%                     |
| 04/01/2003          | 1417,40             | 90%                     |
| 05/01/2003          | 1417,25             | 90%                     |
| 06/01/2003          | 1416,93             | 90%                     |
| 07/01/2003          | 1416,84             | 90%                     |
| 08/01/2003          | 1416,77             | 90%                     |
| 10/01/2003          | 1416,54             | 90%                     |
| 12/01/2003          | 1416,16             | 90%                     |
| 14/01/2003          | 1416,24             | 90%                     |
| 16/01/2003          | 1416,23             | 90%                     |
| 18/01/2003          | 1415,75             | 90%                     |
| 20/01/2003          | 1415,85             | 90%                     |
| 22/01/2003          | 1415,88             | 90%                     |
| 24/01/2003          | 1415,78             | 90%                     |
| 27/01/2003          | 1415,35             | 86%                     |
| 28/01/2003          | 1415,48             | 93%                     |
| 29/01/2003          | 1415,49             | 91%                     |
| 30/01/2003          | 1415,48             | 91%                     |
| 31/01/2003          | 1415,49             | 93%                     |
| 01/02/2003          | 1415,48             | 93%                     |
| 03/02/2003          | 1415,47             | 91%                     |
| 05/02/2003          | 1415,50             | 92%                     |
| 07/02/2003          | 1415,46             | 92%                     |
| 08/02/2003          | 1415,41             | 92%                     |
| 10/02/2003          | 1415,40             | 92%                     |
| 12/02/2003          | 1415,44             | 92%                     |
| 14/02/2003          | 1415,44             | 92%                     |
| 15/02/2003          | 1415,29             | 92%                     |
| 17/02/2003          | 1415,28             | 92%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,4     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό Βάρος (gr)          | 1354,45 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

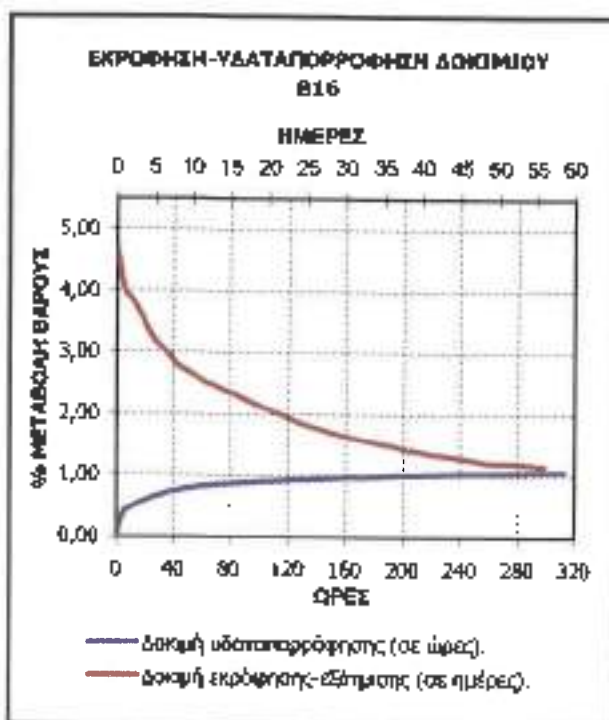


# ΔΟΚΙΜΙΟ Β16

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 23/12/2002          | 1384,23             | -                           |
| 24/12/2002          | 1375,40             | -                           |
| 25/12/2002          | 1373,63             | -                           |
| 26/12/2002          | 1371,02             | 59%                         |
| 27/12/2002          | 1367,24             | 17%                         |
| 28/12/2002          | 1364,67             | 21%                         |
| 29/12/2002          | 1362,95             | 14%                         |
| 30/12/2002          | 1361,36             | 15%                         |
| 31/12/2002          | 1359,64             | 14%                         |
| 02/01/2003          | 1357,57             | 16%                         |
| 03/01/2003          | 1356,47             | 15%                         |
| 04/01/2003          | 1355,53             | 15%                         |
| 05/01/2003          | 1354,91             | 15%                         |
| 06/01/2003          | 1354,21             | 16%                         |
| 07/01/2003          | 1353,61             | 14%                         |
| 08/01/2003          | 1353,03             | 14%                         |
| 10/01/2003          | 1351,32             | 15%                         |
| 12/01/2003          | 1349,85             | 17%                         |
| 14/01/2003          | 1348,49             | 17%                         |
| 16/01/2003          | 1347,20             | 20%                         |
| 18/01/2003          | 1346,09             | 24%                         |
| 20/01/2003          | 1345,17             | 17%                         |
| 22/01/2003          | 1344,32             | 14%                         |
| 24/01/2003          | 1343,56             | 14%                         |
| 27/01/2003          | 1342,51             | 24%                         |
| 28/01/2003          | 1342,30             | 25%                         |
| 29/01/2003          | 1341,80             | 24%                         |
| 30/01/2003          | 1341,45             | 18%                         |
| 31/01/2003          | 1341,16             | 15%                         |
| 01/02/2003          | 1340,81             | 22%                         |
| 03/02/2003          | 1340,29             | 27%                         |
| 05/02/2003          | 1339,88             | 17%                         |
| 07/02/2003          | 1339,36             | 30%                         |
| 08/02/2003          | 1339,02             | 46%                         |
| 10/02/2003          | 1338,51             | 41%                         |
| 12/02/2003          | 1338,46             | 13%                         |
| 14/02/2003          | 1338,34             | 14%                         |
| 15/02/2003          | 1338,29             | 21%                         |
| 17/02/2003          | 1337,96             | 17%                         |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1322,50 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1338,93             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1340,24             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1341,14             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1342,27             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1343,60             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1344,85             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1347,70             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1349,35             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1350,28             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1350,91             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1351,73             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1352,57             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1353,39             | 62%<br>18 |

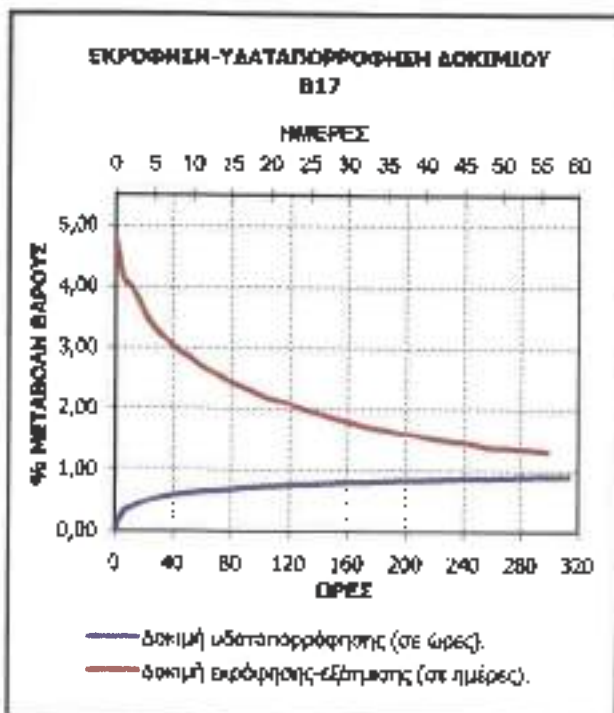


# ΔΟΚΙΜΙΟ Β17

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΞΕΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 23/12/2002          | 1428,41             | -                           |
| 24/12/2002          | 1419,85             | -                           |
| 25/12/2002          | 1418,21             | -                           |
| 26/12/2002          | 1415,57             | 59%                         |
| 27/12/2002          | 1411,62             | 17%                         |
| 28/12/2002          | 1409,02             | 21%                         |
| 29/12/2002          | 1407,31             | 14%                         |
| 30/12/2002          | 1405,76             | 15%                         |
| 31/12/2002          | 1404,15             | 14%                         |
| 02/01/2003          | 1401,82             | 16%                         |
| 03/01/2003          | 1400,66             | 15%                         |
| 04/01/2003          | 1399,74             | 15%                         |
| 05/01/2003          | 1398,71             | 15%                         |
| 06/01/2003          | 1397,74             | 16%                         |
| 07/01/2003          | 1396,92             | 14%                         |
| 08/01/2003          | 1396,12             | 14%                         |
| 10/01/2003          | 1394,61             | 15%                         |
| 12/01/2003          | 1393,29             | 17%                         |
| 14/01/2003          | 1392,42             | 17%                         |
| 16/01/2003          | 1391,06             | 20%                         |
| 18/01/2003          | 1390,03             | 24%                         |
| 20/01/2003          | 1389,10             | 17%                         |
| 22/01/2003          | 1388,15             | 14%                         |
| 24/01/2003          | 1387,30             | 14%                         |
| 27/01/2003          | 1386,35             | 24%                         |
| 28/01/2003          | 1386,04             | 25%                         |
| 29/01/2003          | 1385,67             | 24%                         |
| 30/01/2003          | 1385,42             | 18%                         |
| 31/01/2003          | 1385,21             | 15%                         |
| 01/02/2003          | 1384,83             | 22%                         |
| 03/02/2003          | 1384,21             | 27%                         |
| 05/02/2003          | 1383,80             | 17%                         |
| 07/02/2003          | 1383,28             | 30%                         |
| 08/02/2003          | 1382,92             | 46%                         |
| 10/02/2003          | 1382,42             | 41%                         |
| 12/02/2003          | 1382,37             | 13%                         |
| 14/02/2003          | 1382,03             | 14%                         |
| 15/02/2003          | 1381,95             | 21%                         |
| 17/02/2003          | 1381,70             | 17%                         |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΙΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1382,89             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1383,72             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1384,51             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1385,36             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1386,42             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1387,45             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1389,93             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1391,38             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1392,19             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1392,87             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1393,67             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1394,57             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1395,38             | 62%<br>18 |

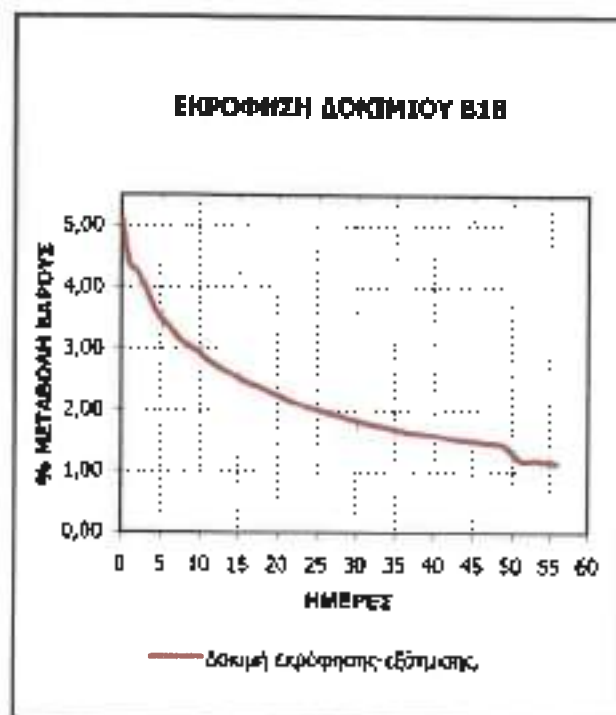
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,0     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1363,70 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | .       |



# ΔΟΚΙΜΙΟ Β18

| ΕΚΡΟΦΗΞΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 23/12/2002          | 1321,72             | -                           |
| 24/12/2002          | 1312,64             | -                           |
| 25/12/2002          | 1311,19             | -                           |
| 26/12/2002          | 1307,89             | 59%                         |
| 27/12/2002          | 1304,08             | 17%                         |
| 28/12/2002          | 1301,30             | 21%                         |
| 29/12/2002          | 1299,77             | 14%                         |
| 30/12/2002          | 1298,05             | 15%                         |
| 31/12/2002          | 1296,43             | 14%                         |
| 02/01/2003          | 1294,17             | 16%                         |
| 03/01/2003          | 1293,07             | 15%                         |
| 04/01/2003          | 1292,08             | 15%                         |
| 05/01/2003          | 1291,08             | 15%                         |
| 06/01/2003          | 1290,15             | 16%                         |
| 07/01/2003          | 1289,29             | 14%                         |
| 08/01/2003          | 1288,50             | 14%                         |
| 10/01/2003          | 1287,07             | 15%                         |
| 12/01/2003          | 1285,77             | 17%                         |
| 14/01/2003          | 1284,40             | 17%                         |
| 16/01/2003          | 1283,29             | 20%                         |
| 18/01/2003          | 1282,32             | 24%                         |
| 20/01/2003          | 1281,51             | 17%                         |
| 22/01/2003          | 1280,62             | 14%                         |
| 24/01/2003          | 1279,90             | 14%                         |
| 27/01/2003          | 1278,90             | 24%                         |
| 28/01/2003          | 1278,58             | 25%                         |
| 29/01/2003          | 1278,26             | 24%                         |
| 30/01/2003          | 1278,08             | 18%                         |
| 31/01/2003          | 1277,89             | 15%                         |
| 01/02/2003          | 1277,66             | 22%                         |
| 03/02/2003          | 1277,02             | 27%                         |
| 05/02/2003          | 1276,66             | 17%                         |
| 07/02/2003          | 1276,26             | 30%                         |
| 08/02/2003          | 1275,97             | 46%                         |
| 10/02/2003          | 1275,57             | 41%                         |
| 12/02/2003          | 1272,78             | 13%                         |
| 14/02/2003          | 1272,54             | 14%                         |
| 15/02/2003          | 1272,39             | 21%                         |
| 17/02/2003          | 1272,02             | 17%                         |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,3     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1257,65 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

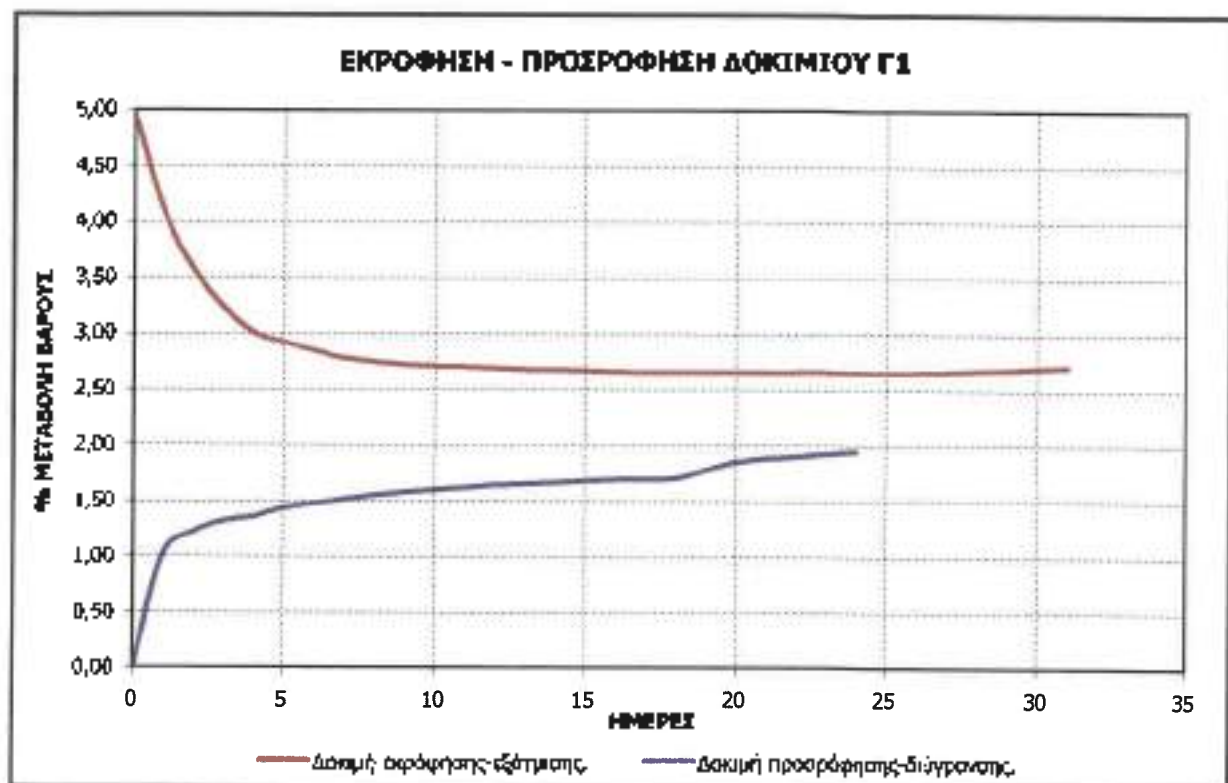


## ΔΟΚΙΜΙΟ Γ1

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 709,68              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 703,67              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 700,17              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 697,95              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 696,37              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 695,82              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 695,29              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 694,82              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 694,46              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 694,38              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 694,34              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 694,26              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 694,16              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 694,14              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 694,11              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 693,97              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 694,00              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 694,00              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 694,01              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 693,98              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 694,08              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 694,20              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 694,42              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 03/02/2003          | 676,06              | 78%                      |
| 04/02/2003          | 682,98              | 76%                      |
| 05/02/2003          | 684,28              | 77%                      |
| 06/02/2003          | 684,93              | 78%                      |
| 07/02/2003          | 685,22              | 76%                      |
| 08/02/2003          | 685,72              | 77%                      |
| 10/02/2003          | 686,31              | 76%                      |
| 12/02/2003          | 686,74              | 77%                      |
| 14/02/2003          | 686,99              | 78%                      |
| 15/02/2003          | 687,14              | 77%                      |
| 17/02/2003          | 687,30              | 77%                      |
| 19/02/2003          | 687,49              | 75%                      |
| 21/02/2003          | 687,57              | 73%                      |
| 23/02/2003          | 688,56              | 75%                      |
| 25/02/2003          | 688,92              | 76%                      |
| 27/02/2003          | 689,25              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,2    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 700,30 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 3,17   |

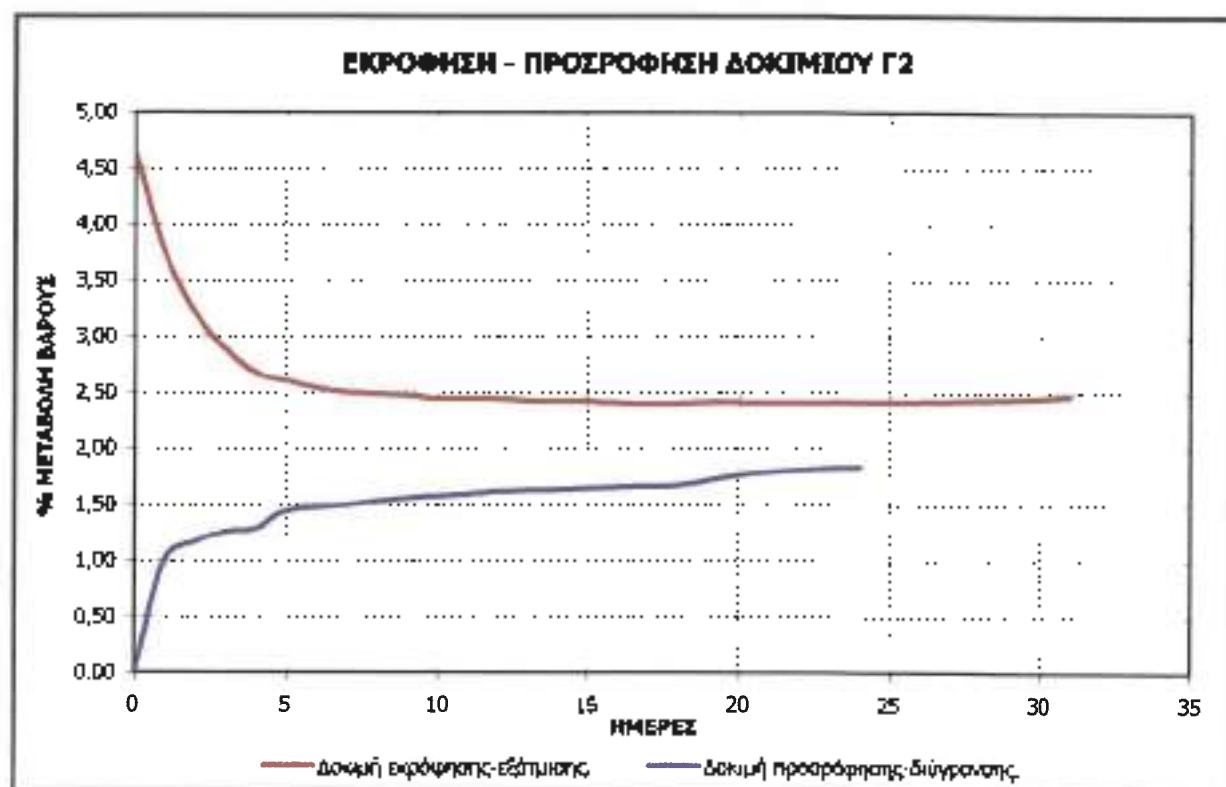


## ΔΟΚΙΜΙΟ Γ2

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 714,43              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 708,34              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 704,70              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 702,47              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 701,06              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 700,56              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 700,17              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 699,88              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 699,68              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 699,51              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 699,54              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 699,50              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 699,38              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 699,34              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 699,33              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 699,17              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 699,29              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 699,25              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 699,31              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 699,30              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 699,37              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 699,49              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 699,70              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 03/02/2003          | 682,81              | 78%                      |
| 04/02/2003          | 689,68              | 76%                      |
| 05/02/2003          | 690,78              | 77%                      |
| 06/02/2003          | 691,36              | 78%                      |
| 07/02/2003          | 691,58              | 76%                      |
| 08/02/2003          | 692,63              | 77%                      |
| 10/02/2003          | 693,03              | 76%                      |
| 12/02/2003          | 693,43              | 77%                      |
| 14/02/2003          | 693,69              | 78%                      |
| 15/02/2003          | 693,83              | 77%                      |
| 17/02/2003          | 693,96              | 77%                      |
| 19/02/2003          | 694,10              | 75%                      |
| 21/02/2003          | 694,21              | 73%                      |
| 23/02/2003          | 694,83              | 75%                      |
| 25/02/2003          | 695,14              | 76%                      |
| 27/02/2003          | 695,34              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,7    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 707,04 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 3,37   |

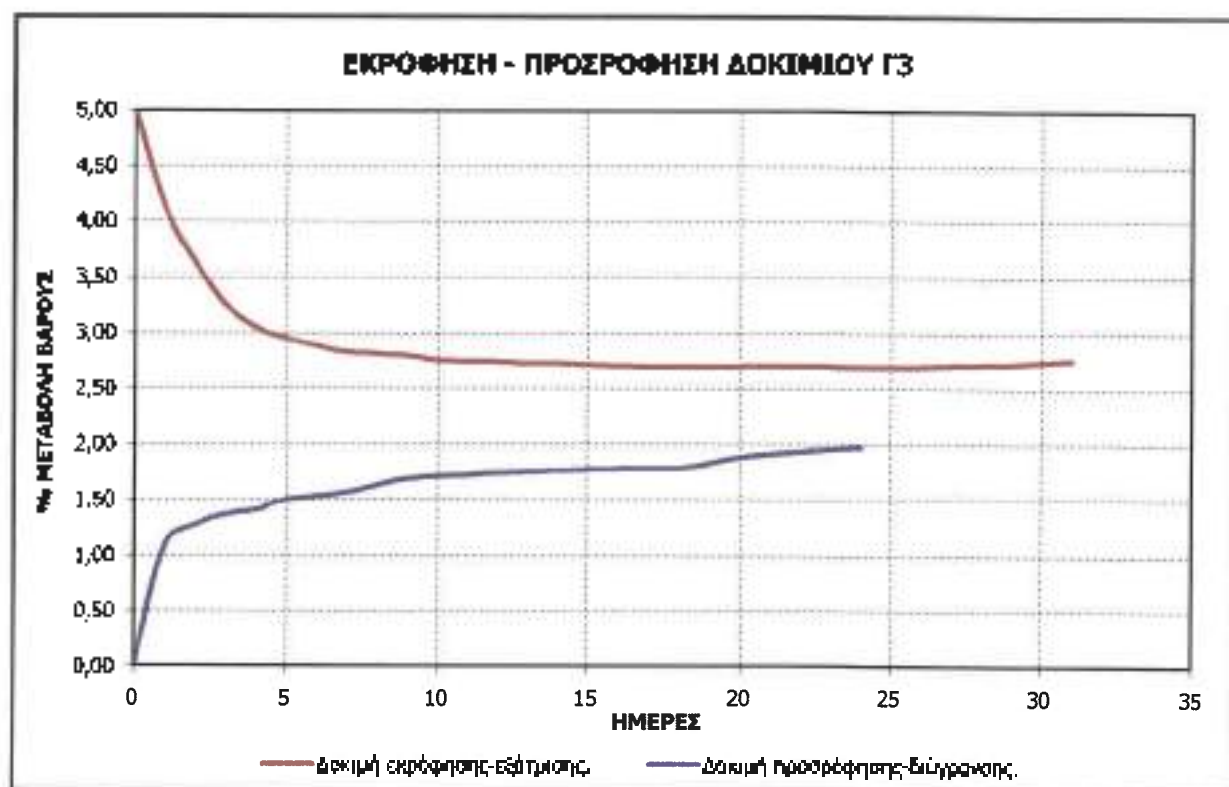


### ΔΟΚΙΜΙΟ Γ3

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 705,38              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 699,41              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 696,05              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 693,54              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 692,20              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 691,55              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 691,09              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 690,74              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 690,48              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 690,24              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 690,17              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 690,14              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 690,05              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 690,03              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 689,97              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 689,86              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 689,84              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 689,89              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 689,89              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 689,85              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 689,96              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 690,05              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 690,27              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 03/02/2003          | 671,74              | 78%                      |
| 04/02/2003          | 678,01              | 76%                      |
| 05/02/2003          | 680,30              | 77%                      |
| 06/02/2003          | 680,92              | 78%                      |
| 07/02/2003          | 681,19              | 76%                      |
| 08/02/2003          | 681,79              | 77%                      |
| 10/02/2003          | 682,27              | 76%                      |
| 12/02/2003          | 683,07              | 77%                      |
| 14/02/2003          | 683,28              | 78%                      |
| 15/02/2003          | 683,42              | 77%                      |
| 17/02/2003          | 683,58              | 77%                      |
| 19/02/2003          | 683,67              | 75%                      |
| 21/02/2003          | 683,73              | 73%                      |
| 23/02/2003          | 684,38              | 75%                      |
| 25/02/2003          | 684,71              | 76%                      |
| 27/02/2003          | 684,98              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,3    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 695,49 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 3,78   |

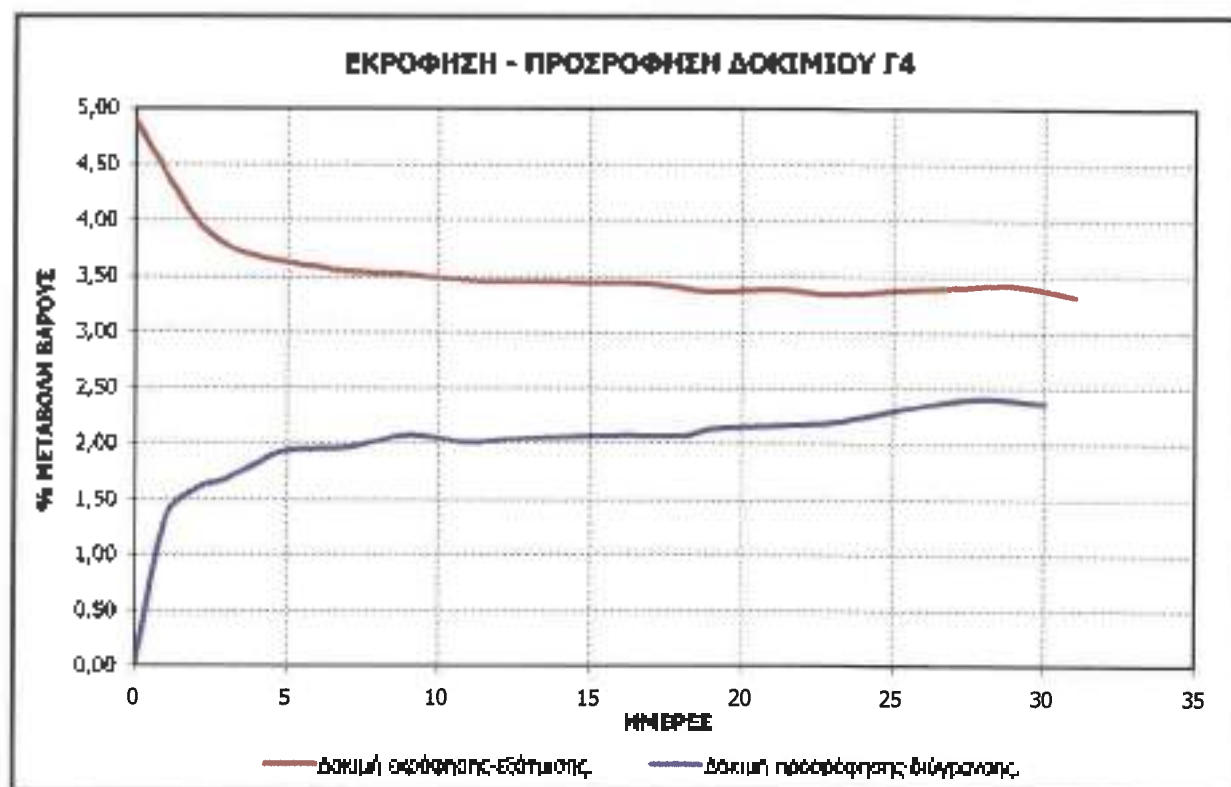


# ΔΟΚΙΜΙΟ Γ4

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 24/12/2002          | 699,90              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 696,84              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 694,00              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 692,58              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 691,91              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 691,55              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 691,28              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 691,03              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 690,82              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 690,65              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 690,47              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 690,37              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 690,38              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 690,36              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 690,28              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 690,25              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 689,81              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 689,94              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 689,65              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 689,87              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 690,01              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 690,18              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 689,51              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 27/01/2003          | 667,37              | -                       |
| 28/01/2003          | 676,18              | 82%                     |
| 29/01/2003          | 677,99              | 81%                     |
| 30/01/2003          | 678,55              | 84%                     |
| 31/01/2003          | 679,49              | 88%                     |
| 01/02/2003          | 680,27              | 88%                     |
| 03/02/2003          | 680,44              | 87%                     |
| 05/02/2003          | 681,20              | 82%                     |
| 07/02/2003          | 680,74              | 83%                     |
| 08/02/2003          | 680,90              | 84%                     |
| 10/02/2003          | 681,08              | 83%                     |
| 12/02/2003          | 681,21              | 83%                     |
| 14/02/2003          | 681,19              | 84%                     |
| 15/02/2003          | 681,60              | 83%                     |
| 17/02/2003          | 681,77              | 84%                     |
| 19/02/2003          | 681,96              | 83%                     |
| 21/02/2003          | 683,01              | 78%                     |
| 23/02/2003          | 683,44              | 82%                     |
| 25/02/2003          | 683,17              | 84%                     |
| 27/02/2003          | 683,25              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΟΔΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ  |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,2    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 690,73 |
| Αντοχή σε διάθρηξη (MPa) | 3,15   |

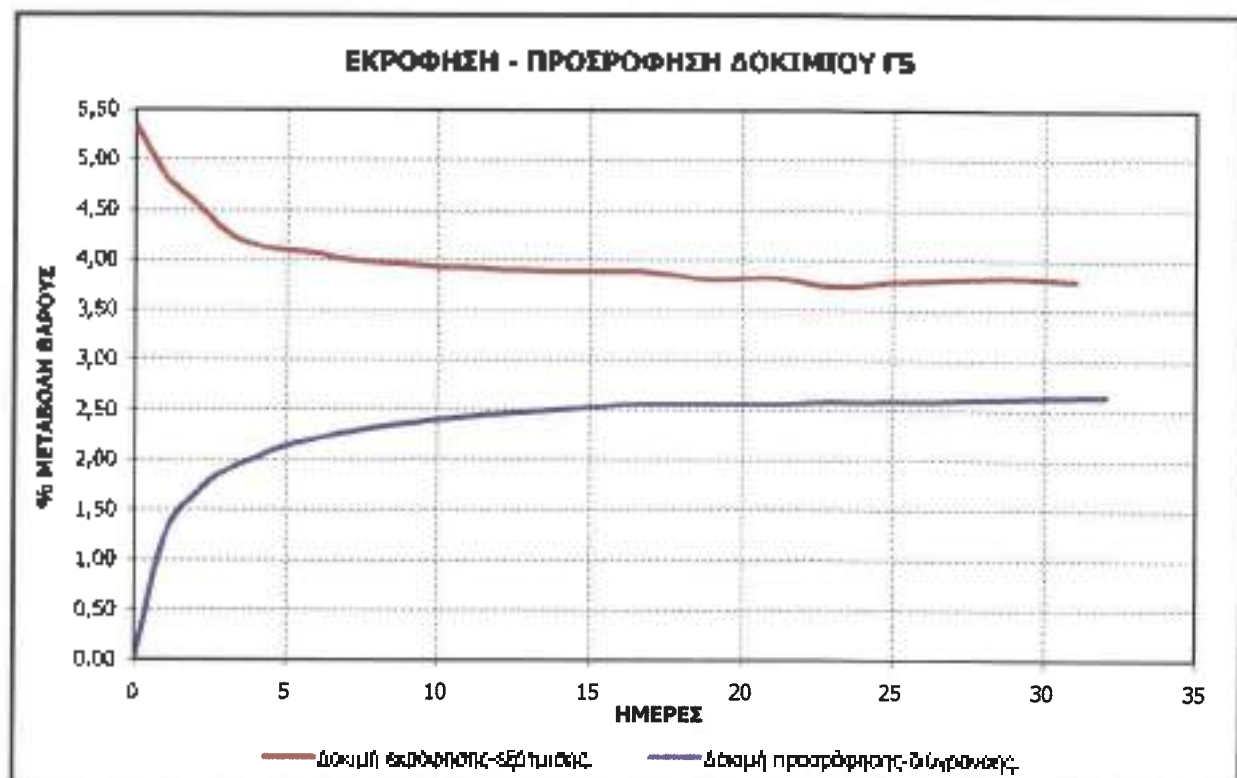


## ΔΟΚΙΜΙΟ Γ5

| ΕΚΡΟΦΗ-ΞΕΑΤΜΩΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 24/12/2002          | 712,40              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 708,94              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 707,10              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 705,19              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 704,30              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 703,93              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 703,73              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 703,35              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 703,06              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 702,88              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 702,82              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 702,72              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 702,67              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 702,58              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 702,55              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 702,51              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 702,03              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 702,12              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 701,54              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 701,85              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 702,02              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 702,13              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 701,91              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 27/01/2003          | 676,28              | -                       |
| 28/01/2003          | 684,65              | 82%                     |
| 29/01/2003          | 687,48              | 81%                     |
| 30/01/2003          | 689,03              | 84%                     |
| 31/01/2003          | 689,96              | 88%                     |
| 01/02/2003          | 690,71              | 88%                     |
| 03/02/2003          | 691,67              | 87%                     |
| 05/02/2003          | 692,27              | 82%                     |
| 07/02/2003          | 692,68              | 83%                     |
| 08/02/2003          | 692,88              | 84%                     |
| 10/02/2003          | 693,18              | 83%                     |
| 12/02/2003          | 693,54              | 83%                     |
| 14/02/2003          | 693,57              | 84%                     |
| 15/02/2003          | 693,56              | 83%                     |
| 17/02/2003          | 693,56              | 84%                     |
| 19/02/2003          | 693,72              | 83%                     |
| 21/02/2003          | 693,8               | 78%                     |
| 23/02/2003          | 693,94              | 82%                     |
| 25/02/2003          | 694,09              | 84%                     |
| 27/02/2003          | 694,16              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,0    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 699,48 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 3,92   |

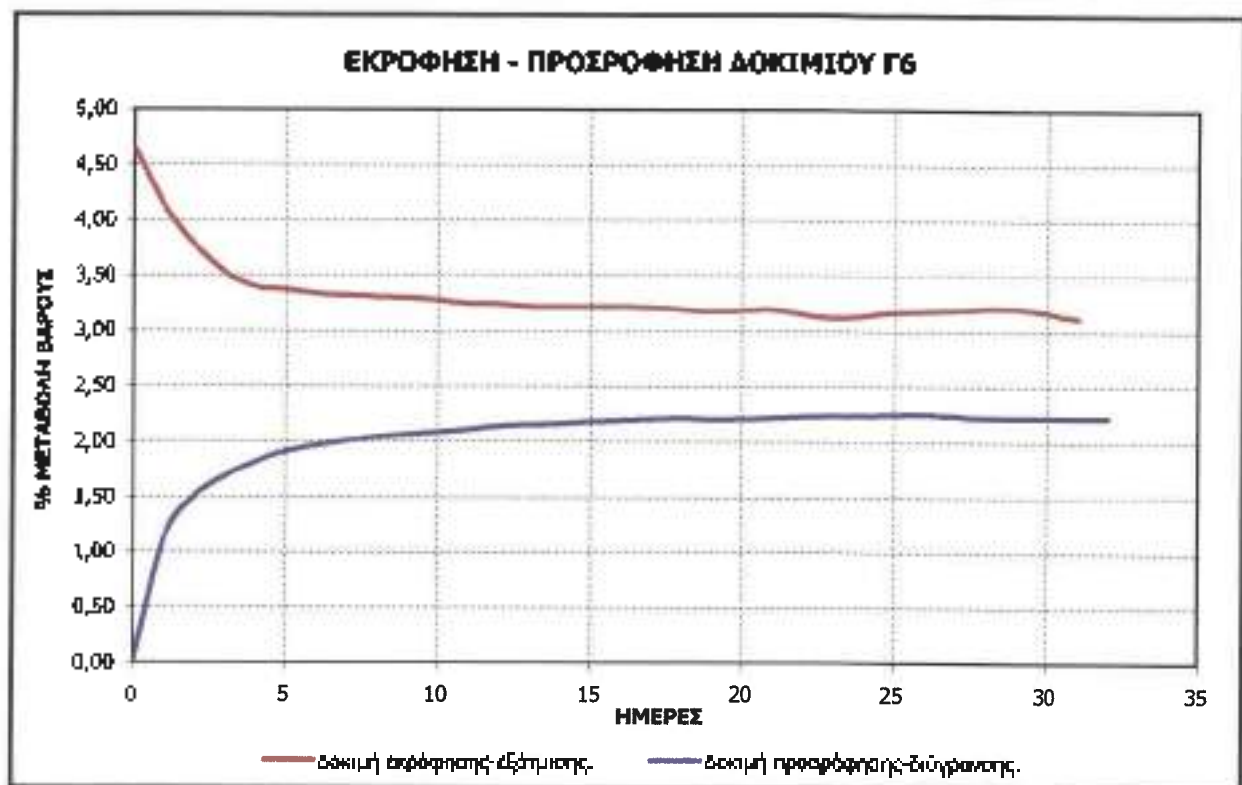


## ΔΟΚΙΜΙΟ Γ6

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCI RH% |
| 24/12/2002          | 701,38              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 697,78              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 695,46              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 693,83              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 692,97              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 692,79              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 692,58              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 692,46              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 692,32              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 692,18              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 692,00              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 691,94              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 691,81              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 691,77              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 691,75              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 691,72              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 691,49              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 691,59              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 691,09              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 691,45              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 691,59              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 691,73              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 691,10              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCI RH% |
| 27/01/2003          | 670,22              | -                       |
| 28/01/2003          | 677,75              | 82%                     |
| 29/01/2003          | 680,29              | 81%                     |
| 30/01/2003          | 681,51              | 84%                     |
| 31/01/2003          | 682,40              | 86%                     |
| 01/02/2003          | 683,01              | 88%                     |
| 03/02/2003          | 683,65              | 87%                     |
| 05/02/2003          | 684,05              | 82%                     |
| 07/02/2003          | 684,36              | 83%                     |
| 08/02/2003          | 684,53              | 84%                     |
| 10/02/2003          | 684,71              | 83%                     |
| 12/02/2003          | 684,91              | 83%                     |
| 14/02/2003          | 685,02              | 84%                     |
| 15/02/2003          | 684,94              | 83%                     |
| 17/02/2003          | 685,04              | 84%                     |
| 19/02/2003          | 685,16              | 83%                     |
| 21/02/2003          | 685,28              | 78%                     |
| 23/02/2003          | 685,07              | 82%                     |
| 25/02/2003          | 685,07              | 84%                     |
| 27/02/2003          | 685,13              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,2    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 693,46 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 2,75   |

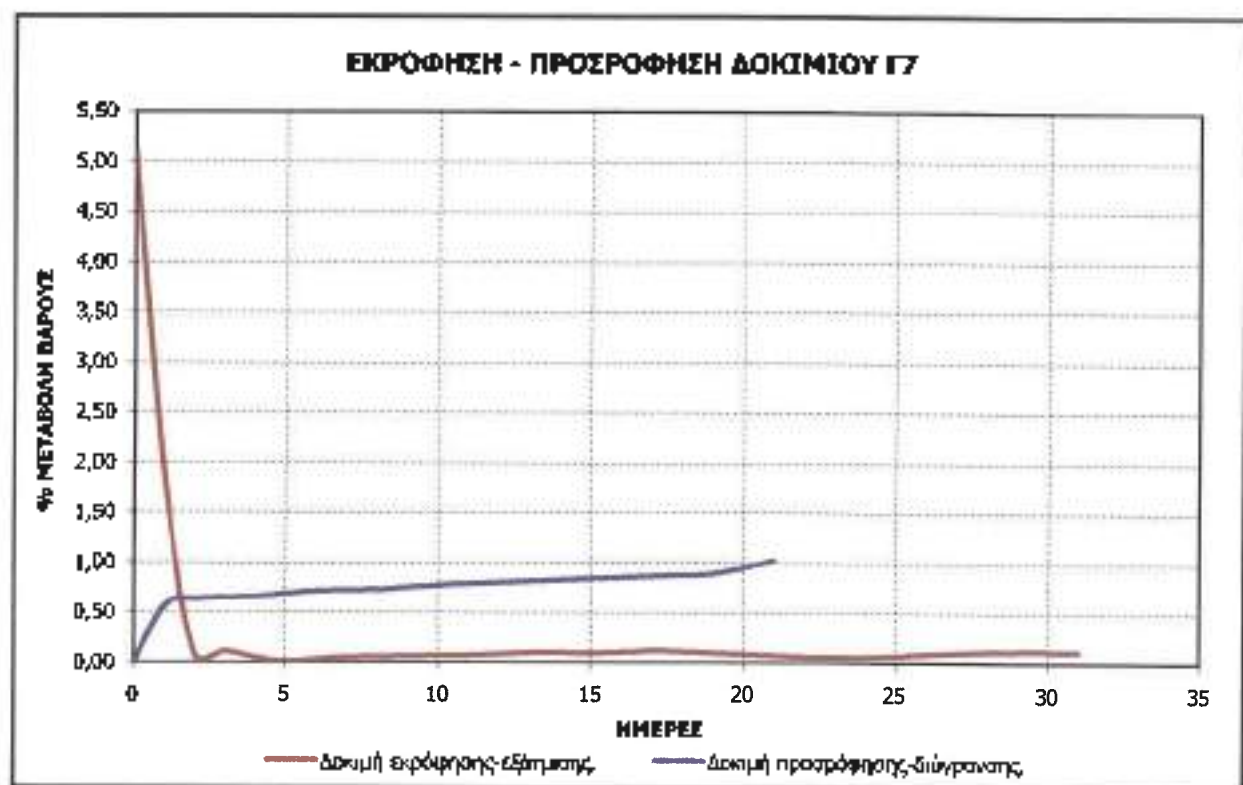


## ΔΟΚΙΜΙΟ Γ7

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 699,91              | -                           |
| 25/12/2002          | 677,88              | -                           |
| 26/12/2002          | 666,53              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 665,18              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 665,60              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 666,05              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 666,18              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 666,30              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 666,37              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 666,44              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 666,45              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 666,57              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 666,63              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 666,62              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 666,58              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 666,75              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 666,65              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 666,48              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 666,36              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 666,45              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 666,66              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 666,81              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 666,78              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                                                    |
|---------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Κ <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RH% |
| 06/02/2003          | 665,98              | 50%                                                |
| 07/02/2003          | 669,72              | 50%                                                |
| 08/02/2003          | 670,14              | 52%                                                |
| 10/02/2003          | 670,34              | 52%                                                |
| 12/02/2003          | 670,72              | 54%                                                |
| 14/02/2003          | 670,80              | 52%                                                |
| 15/02/2003          | 670,98              | 52%                                                |
| 17/02/2003          | 671,21              | 52%                                                |
| 19/02/2003          | 671,39              | 54%                                                |
| 21/02/2003          | 671,57              | 50%                                                |
| 23/02/2003          | 671,73              | 50%                                                |
| 25/02/2003          | 671,89              | 50%                                                |
| 27/02/2003          | 672,79              | 50%                                                |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,8    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 690,20 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 2,81   |

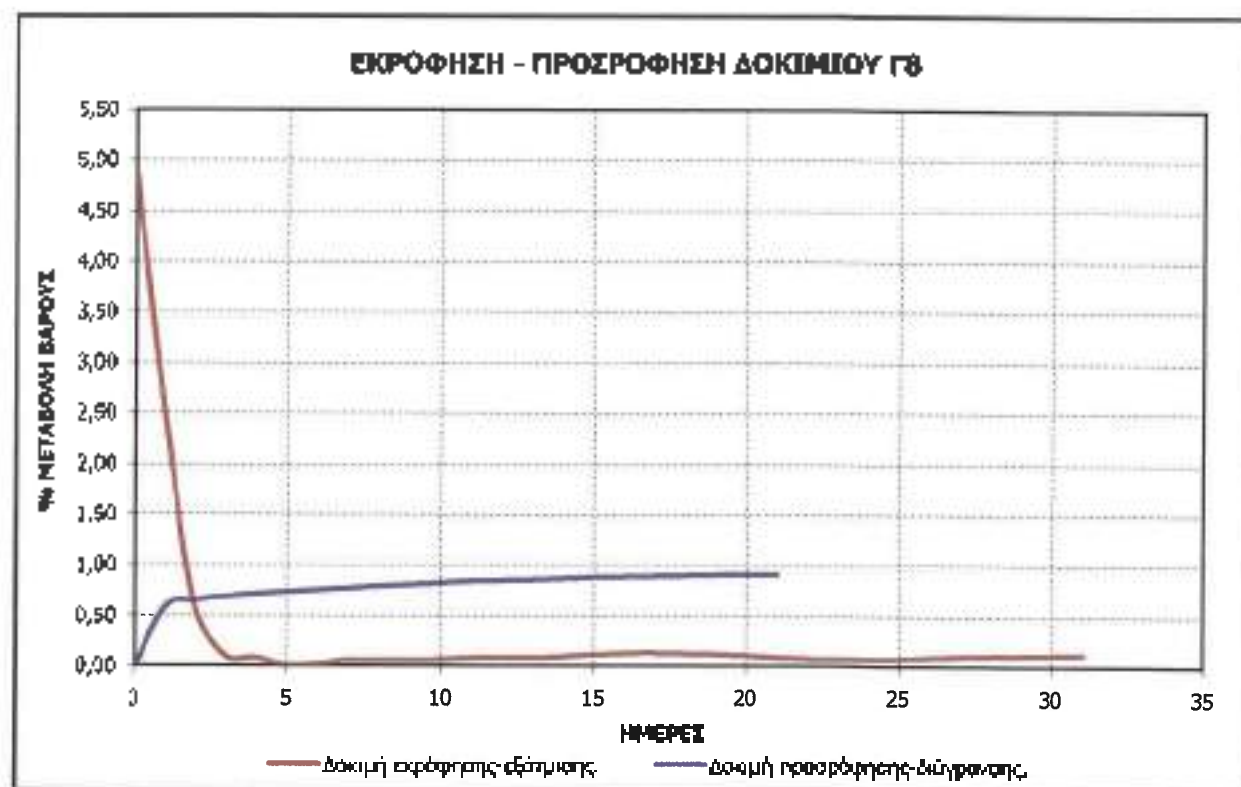


## ΔΟΚΙΜΙΟ Γ8

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΞΕΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 716,40              | -                           |
| 25/12/2002          | 699,78              | -                           |
| 26/12/2002          | 687,09              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 682,55              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 682,69              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 683,20              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 683,40              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 683,64              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 683,65              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 683,70              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 683,83              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 683,87              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 683,83              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 683,89              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 684,03              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 684,17              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 684,08              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 683,85              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 683,73              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 683,76              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 683,92              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 684,03              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 684,11              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                                       |
|----------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚεCO <sub>2</sub> RH% |
| 06/02/2003           | 683,25              | 50%                                   |
| 07/02/2003           | 687,24              | 50%                                   |
| 08/02/2003           | 687,70              | 52%                                   |
| 10/02/2003           | 688,13              | 52%                                   |
| 12/02/2003           | 688,37              | 54%                                   |
| 14/02/2003           | 688,62              | 52%                                   |
| 15/02/2003           | 688,73              | 52%                                   |
| 17/02/2003           | 688,96              | 52%                                   |
| 19/02/2003           | 689,07              | 54%                                   |
| 21/02/2003           | 689,22              | 50%                                   |
| 23/02/2003           | 689,34              | 50%                                   |
| 25/02/2003           | 689,41              | 50%                                   |
| 27/02/2003           | 689,45              | 50%                                   |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 707,70 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 2,55   |

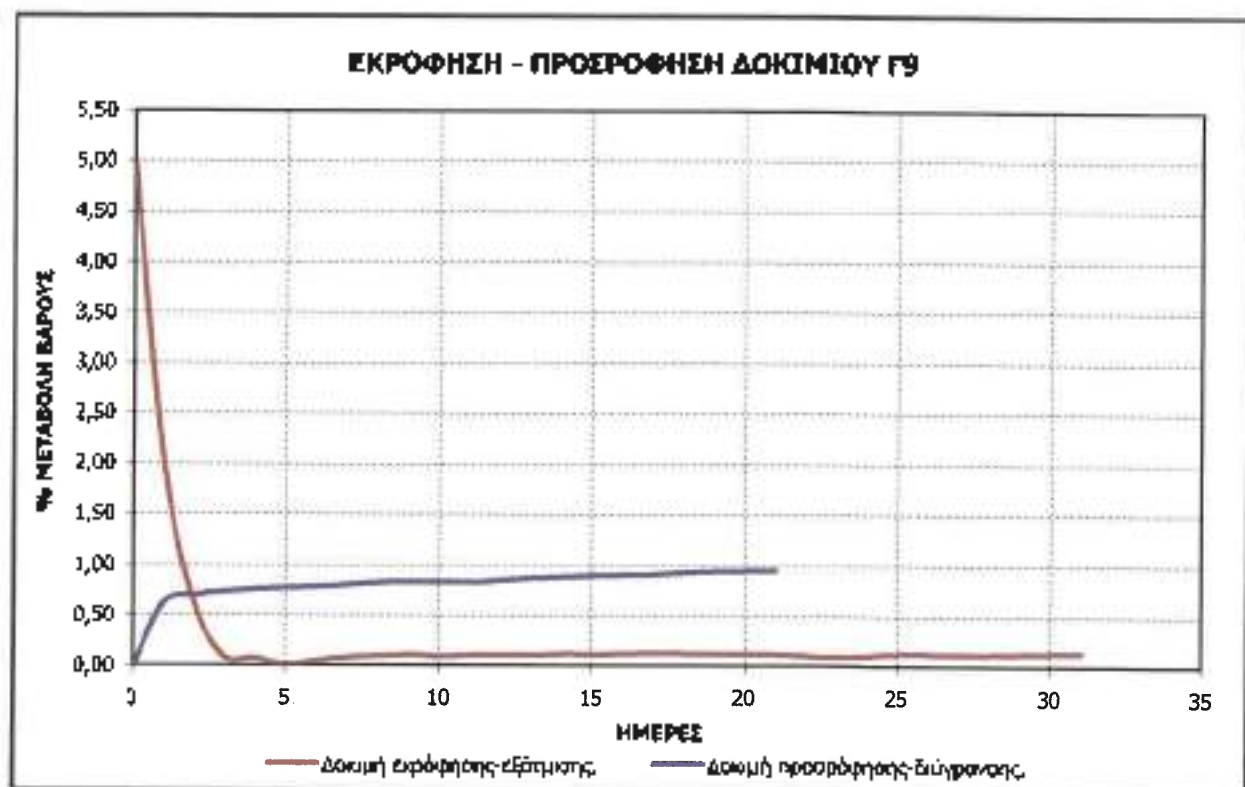


## ΔΟΚΙΜΙΟ Γ9

| ΕΚΡΟΦΗΞΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 686,55              | -                           |
| 25/12/2002          | 667,25              | -                           |
| 26/12/2002          | 658,09              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 653,46              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 653,60              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 654,15              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 654,43              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 654,61              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 654,80              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 654,72              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 654,77              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 654,81              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 654,78              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 654,86              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 654,81              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 654,92              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 654,87              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 654,85              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 654,71              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 654,89              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 654,86              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 654,94              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 655,02              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΥΡΟΦΗΞΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                                                    |
|-----------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης   | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RH% |
| 06/02/2003            | 654,08              | 50%                                                |
| 07/02/2003            | 658,12              | 50%                                                |
| 08/02/2003            | 658,67              | 52%                                                |
| 10/02/2003            | 659,05              | 52%                                                |
| 12/02/2003            | 659,20              | 54%                                                |
| 14/02/2003            | 659,44              | 52%                                                |
| 15/02/2003            | 659,48              | 52%                                                |
| 17/02/2003            | 659,50              | 52%                                                |
| 19/02/2003            | 659,72              | 54%                                                |
| 21/02/2003            | 659,89              | 50%                                                |
| 23/02/2003            | 660,00              | 50%                                                |
| 25/02/2003            | 660,19              | 50%                                                |
| 27/02/2003            | 660,28              | 50%                                                |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 677,68 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 3,04   |

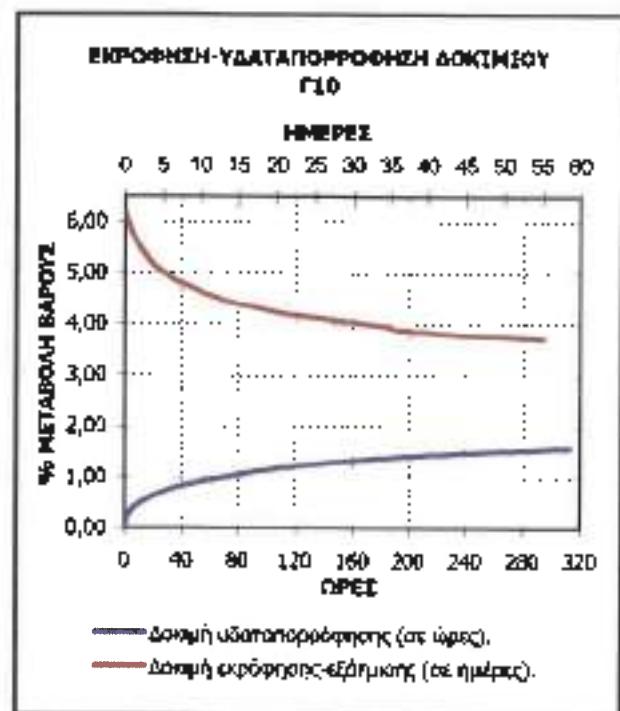


# ΔΟΚΙΜΙΟ Γ10

| ΕΚΡΟΦΣΗ-ΕΞΑΤΜΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 1294,28             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1289,15             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1286,20             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1283,47             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1281,37             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1280,19             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1279,08             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1277,92             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1276,40             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1275,58             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1274,90             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1274,30             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1273,73             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1273,23             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1272,78             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1271,96             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1271,24             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1270,56             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1270,02             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1269,55             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1269,13             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1268,66             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1268,25             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1267,57             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1267,21             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1266,76             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1266,59             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1266,30             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1266,21             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1265,98             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1265,55             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1265,34             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1265,31             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1265,17             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1265,10             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1264,93             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1264,77             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1264,53             | 77%                      |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΣΗ       |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003 11:30    | 1266,64             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 11:45    | 1268,17             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003 12:15    | 1268,89             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003 13:15    | 1269,75             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003 15:15    | 1270,81             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 18:15    | 1271,86             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003 13:15    | 1275,43             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003 11:15      | 1277,74             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003 10:15      | 1279,36             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003 11:15      | 1280,82             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003 11:00    | 1282,87             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003 9:45     | 1284,98             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003 12:15    | 1286,65             | 62%<br>18 |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,0     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1219,23 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

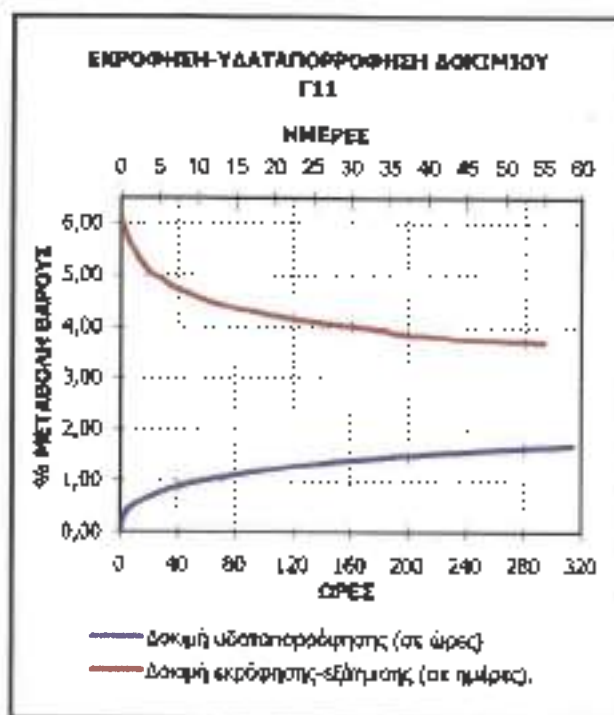


# ΔΟΚΙΜΙΟ Γ11

| ΕΚΡΩΦΗΞΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 1359,10             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1353,81             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1350,69             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1347,91             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1345,66             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1344,53             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1343,29             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1342,25             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1340,69             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1339,88             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1339,25             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1338,60             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1338,03             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1337,53             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1337,08             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1336,29             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1335,55             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1334,85             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1334,31             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1333,81             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1333,34             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1332,90             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1332,47             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1331,75             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1331,38             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1330,91             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1330,73             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1330,41             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1330,31             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1330,09             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1329,64             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1329,35             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1329,29             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1329,17             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1329,07             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1328,92             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1328,79             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1328,58             | 77%                      |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1330,43             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1332,31             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1333,21             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1334,23             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1335,47             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1336,65             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1340,48             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1342,91             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1344,67             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1346,17             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1348,41             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1350,81             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1352,81             | 62%<br>18 |

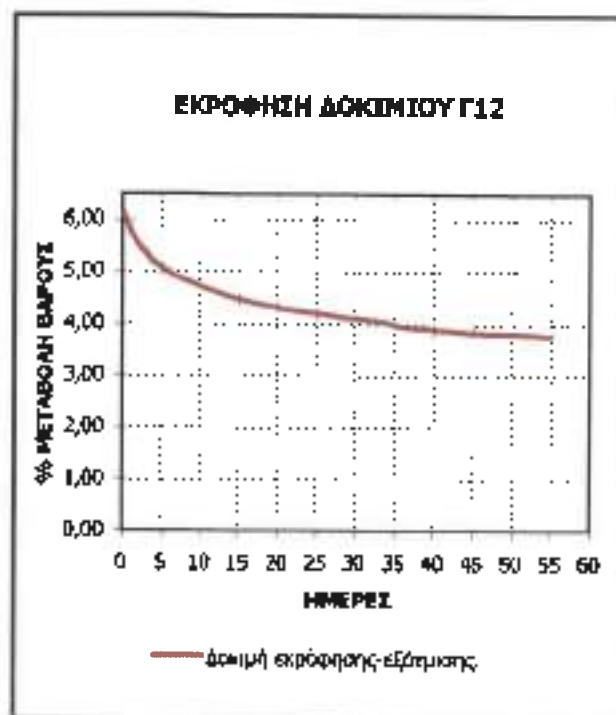
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,3     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1281,33 |
| Αντοχή σε διαρρηξη (MPa) | -       |



## ΔΟΚΙΜΙΟ Γ12

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 1333,62             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1328,69             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1325,71             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1323,16             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1320,95             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1319,72             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1318,67             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1317,45             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1315,86             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1315,08             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1314,43             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1313,81             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1313,18             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1312,67             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1312,12             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1311,19             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1310,41             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1309,64             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1309,07             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1308,56             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1308,12             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1307,58             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1307,19             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1306,41             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1306,03             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1305,54             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1305,40             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1305,06             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1304,96             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1304,73             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1304,34             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1304,08             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1304,00             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1303,86             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1303,76             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1303,63             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1303,48             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1303,24             | 77%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Υψος δοκιμίου (cm)       | 5,5     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1255,92 |
| Αντοχή σε διάτρηση (MPa) | -       |

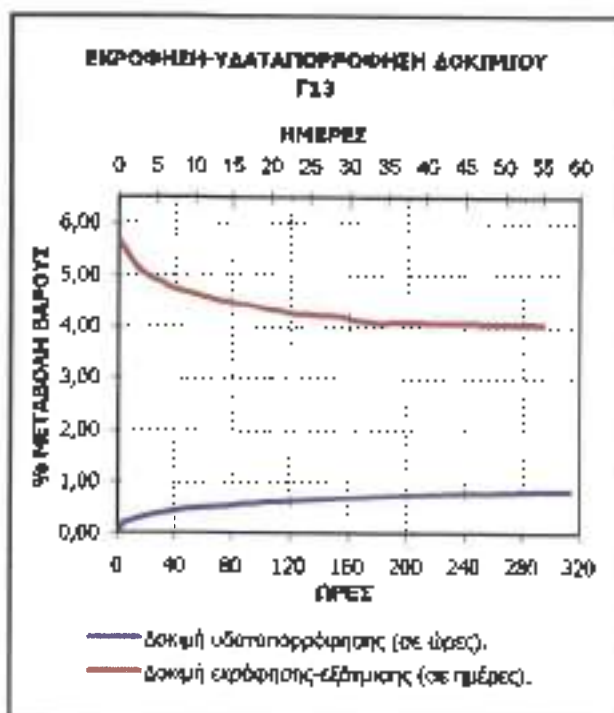


## ΔΟΚΙΜΙΟ Γ13

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 24/12/2002          | 1347,03             | 90%                     |
| 25/12/2002          | 1343,66             | 92%                     |
| 26/12/2002          | 1341,32             | 94%                     |
| 27/12/2002          | 1339,21             | 90%                     |
| 28/12/2002          | 1337,75             | 90%                     |
| 29/12/2002          | 1336,93             | 90%                     |
| 30/12/2002          | 1336,06             | 90%                     |
| 31/12/2002          | 1335,19             | 90%                     |
| 02/01/2003          | 1334,14             | 90%                     |
| 03/01/2003          | 1333,58             | 90%                     |
| 04/01/2003          | 1333,09             | 90%                     |
| 05/01/2003          | 1332,62             | 90%                     |
| 06/01/2003          | 1332,16             | 90%                     |
| 07/01/2003          | 1331,82             | 90%                     |
| 08/01/2003          | 1331,50             | 90%                     |
| 10/01/2003          | 1331,00             | 90%                     |
| 12/01/2003          | 1330,07             | 90%                     |
| 14/01/2003          | 1329,61             | 90%                     |
| 16/01/2003          | 1328,70             | 90%                     |
| 18/01/2003          | 1328,54             | 90%                     |
| 20/01/2003          | 1328,27             | 90%                     |
| 22/01/2003          | 1328,06             | 90%                     |
| 24/01/2003          | 1327,18             | 90%                     |
| 27/01/2003          | 1326,59             | 86%                     |
| 28/01/2003          | 1326,70             | 93%                     |
| 29/01/2003          | 1326,68             | 91%                     |
| 30/01/2003          | 1326,69             | 91%                     |
| 31/01/2003          | 1326,67             | 93%                     |
| 01/02/2003          | 1326,64             | 93%                     |
| 03/02/2003          | 1326,56             | 91%                     |
| 05/02/2003          | 1326,55             | 92%                     |
| 07/02/2003          | 1326,53             | 92%                     |
| 08/02/2003          | 1326,51             | 92%                     |
| 10/02/2003          | 1326,35             | 92%                     |
| 12/02/2003          | 1326,45             | 92%                     |
| 14/02/2003          | 1326,42             | 92%                     |
| 15/02/2003          | 1326,34             | 92%                     |
| 17/02/2003          | 1326,23             | 92%                     |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1328,44             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1329,36             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1329,79             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1330,29             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1330,95             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1331,56             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>19:15 | 1333,39             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1334,58             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1335,34             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1336,13             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1337,25             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1338,60             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1339,61             | 62%<br>18 |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,7     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1274,62 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

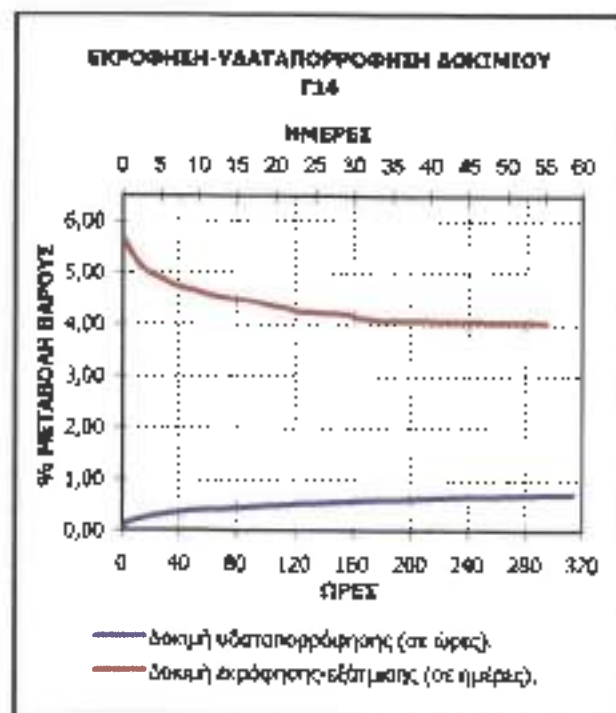


# ΔΟΚΙΜΙΟ Γ14

| ΕΚΡΟΦΗ-ΞΕΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 24/12/2002          | 1488,02             | 90%                     |
| 25/12/2002          | 1484,13             | 92%                     |
| 26/12/2002          | 1481,56             | 94%                     |
| 27/12/2002          | 1479,27             | 90%                     |
| 28/12/2002          | 1477,84             | 90%                     |
| 29/12/2002          | 1476,96             | 90%                     |
| 30/12/2002          | 1476,05             | 90%                     |
| 31/12/2002          | 1475,11             | 90%                     |
| 02/01/2003          | 1473,98             | 90%                     |
| 03/01/2003          | 1473,39             | 90%                     |
| 04/01/2003          | 1472,88             | 90%                     |
| 05/01/2003          | 1472,38             | 90%                     |
| 06/01/2003          | 1471,95             | 90%                     |
| 07/01/2003          | 1471,60             | 90%                     |
| 08/01/2003          | 1471,27             | 90%                     |
| 10/01/2003          | 1470,77             | 90%                     |
| 12/01/2003          | 1469,67             | 90%                     |
| 14/01/2003          | 1469,05             | 90%                     |
| 16/01/2003          | 1467,90             | 90%                     |
| 18/01/2003          | 1467,79             | 90%                     |
| 20/01/2003          | 1467,49             | 90%                     |
| 22/01/2003          | 1467,23             | 90%                     |
| 24/01/2003          | 1466,23             | 90%                     |
| 27/01/2003          | 1465,55             | 86%                     |
| 28/01/2003          | 1465,65             | 93%                     |
| 29/01/2003          | 1465,62             | 91%                     |
| 30/01/2003          | 1465,62             | 91%                     |
| 31/01/2003          | 1465,59             | 93%                     |
| 01/02/2003          | 1465,51             | 93%                     |
| 03/02/2003          | 1465,45             | 91%                     |
| 05/02/2003          | 1465,44             | 92%                     |
| 07/02/2003          | 1465,40             | 92%                     |
| 08/02/2003          | 1465,31             | 92%                     |
| 10/02/2003          | 1465,22             | 92%                     |
| 12/02/2003          | 1465,26             | 92%                     |
| 14/02/2003          | 1465,18             | 92%                     |
| 15/02/2003          | 1465,16             | 92%                     |
| 17/02/2003          | 1464,98             | 92%                     |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1466,95             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1467,77             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1468,17             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1468,68             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1469,29             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1469,85             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1471,42             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1472,57             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1473,19             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1473,92             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1474,99             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1476,28             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1477,36             | 62%<br>18 |

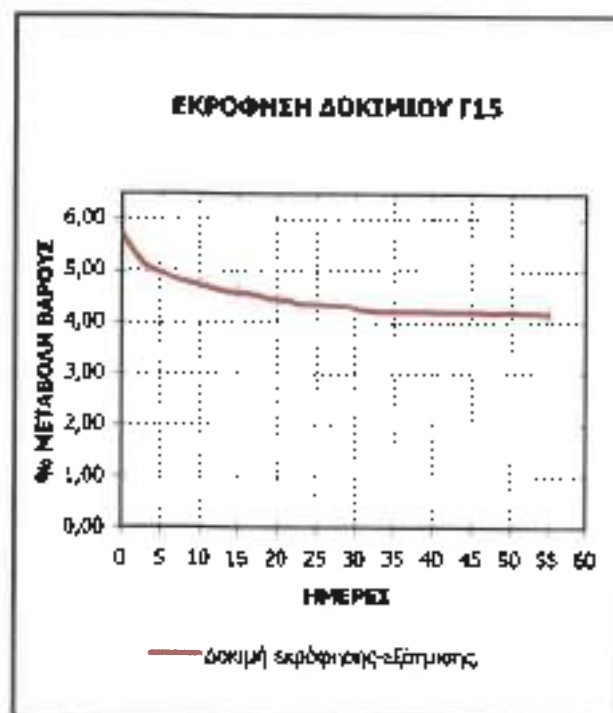
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Υψος δοκιμίου (cm)       | 5,3     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1408,12 |
| Αντοχή σε διάτρηση (MPa) | -       |



# ΔΟΚΙΜΙΟ Γ15

| ΕΚΡΟΦΗΝ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ    |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 24/12/2002          | 1500,16             | 90%                     |
| 25/12/2002          | 1496,63             | 92%                     |
| 26/12/2002          | 1493,97             | 94%                     |
| 27/12/2002          | 1491,68             | 90%                     |
| 28/12/2002          | 1490,41             | 90%                     |
| 29/12/2002          | 1489,55             | 90%                     |
| 30/12/2002          | 1488,62             | 90%                     |
| 31/12/2002          | 1487,78             | 90%                     |
| 02/01/2003          | 1486,61             | 90%                     |
| 03/01/2003          | 1486,00             | 90%                     |
| 04/01/2003          | 1485,44             | 90%                     |
| 05/01/2003          | 1484,94             | 90%                     |
| 06/01/2003          | 1484,50             | 90%                     |
| 07/01/2003          | 1484,17             | 90%                     |
| 08/01/2003          | 1483,86             | 90%                     |
| 10/01/2003          | 1483,36             | 90%                     |
| 12/01/2003          | 1482,35             | 90%                     |
| 14/01/2003          | 1481,88             | 90%                     |
| 16/01/2003          | 1480,87             | 90%                     |
| 18/01/2003          | 1480,71             | 90%                     |
| 20/01/2003          | 1480,40             | 90%                     |
| 22/01/2003          | 1480,17             | 90%                     |
| 24/01/2003          | 1479,22             | 90%                     |
| 27/01/2003          | 1478,53             | 86%                     |
| 28/01/2003          | 1478,66             | 93%                     |
| 29/01/2003          | 1478,63             | 91%                     |
| 30/01/2003          | 1478,61             | 91%                     |
| 31/01/2003          | 1478,61             | 93%                     |
| 01/02/2003          | 1478,54             | 93%                     |
| 03/02/2003          | 1478,46             | 91%                     |
| 05/02/2003          | 1478,46             | 92%                     |
| 07/02/2003          | 1478,40             | 92%                     |
| 08/02/2003          | 1478,38             | 92%                     |
| 10/02/2003          | 1478,29             | 92%                     |
| 12/02/2003          | 1478,38             | 92%                     |
| 14/02/2003          | 1478,28             | 92%                     |
| 15/02/2003          | 1478,17             | 92%                     |
| 17/02/2003          | 1478,04             | 92%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,2     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1419,06 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

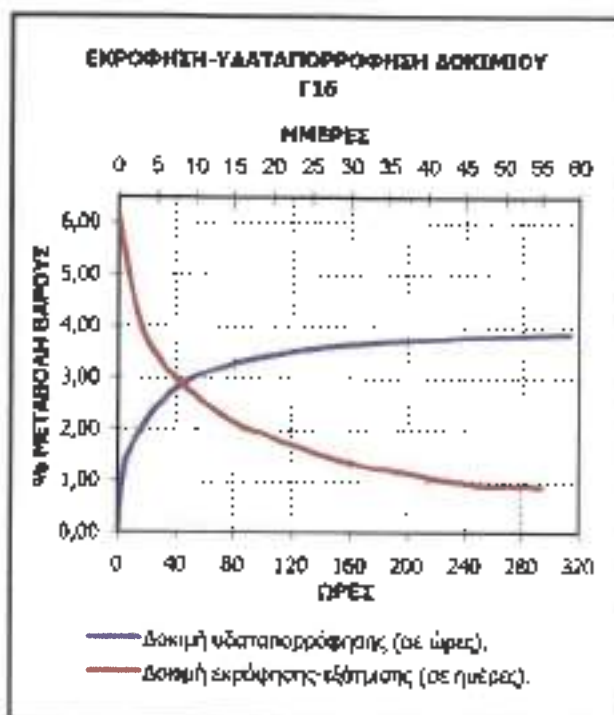


# ΔΟΚΙΜΙΟ Γ16

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνος RH% |
| 24/12/2002          | 1360,52             | -                           |
| 25/12/2002          | 1349,52             | -                           |
| 26/12/2002          | 1340,59             | 59%                         |
| 27/12/2002          | 1333,57             | 17%                         |
| 28/12/2002          | 1328,97             | 21%                         |
| 29/12/2002          | 1326,24             | 14%                         |
| 30/12/2002          | 1323,47             | 15%                         |
| 31/12/2002          | 1321,64             | 14%                         |
| 02/01/2003          | 1317,77             | 16%                         |
| 03/01/2003          | 1316,33             | 15%                         |
| 04/01/2003          | 1314,85             | 15%                         |
| 05/01/2003          | 1313,40             | 15%                         |
| 06/01/2003          | 1312,04             | 16%                         |
| 07/01/2003          | 1310,83             | 14%                         |
| 08/01/2003          | 1309,80             | 14%                         |
| 10/01/2003          | 1307,90             | 15%                         |
| 12/01/2003          | 1306,85             | 17%                         |
| 14/01/2003          | 1304,90             | 17%                         |
| 16/01/2003          | 1303,88             | 20%                         |
| 18/01/2003          | 1302,39             | 24%                         |
| 20/01/2003          | 1301,24             | 17%                         |
| 22/01/2003          | 1300,21             | 14%                         |
| 24/01/2003          | 1299,30             | 14%                         |
| 27/01/2003          | 1298,20             | 24%                         |
| 28/01/2003          | 1297,93             | 25%                         |
| 29/01/2003          | 1297,50             | 24%                         |
| 30/01/2003          | 1297,27             | 18%                         |
| 31/01/2003          | 1297,08             | 15%                         |
| 01/02/2003          | 1296,60             | 22%                         |
| 03/02/2003          | 1295,80             | 27%                         |
| 05/02/2003          | 1295,26             | 17%                         |
| 07/02/2003          | 1294,87             | 30%                         |
| 08/02/2003          | 1294,52             | 46%                         |
| 10/02/2003          | 1294,05             | 41%                         |
| 12/02/2003          | 1294,16             | 13%                         |
| 14/02/2003          | 1294,04             | 14%                         |
| 15/02/2003          | 1294,10             | 21%                         |
| 17/02/2003          | 1293,88             | 17%                         |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΙΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1296,17             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1300,36             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1303,21             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1306,84             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1311,43             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1315,93             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1327,45             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1334,23             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1337,72             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1340,13             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1342,71             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1344,82             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1346,36             | 62%<br>18 |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,6     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1282,29 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

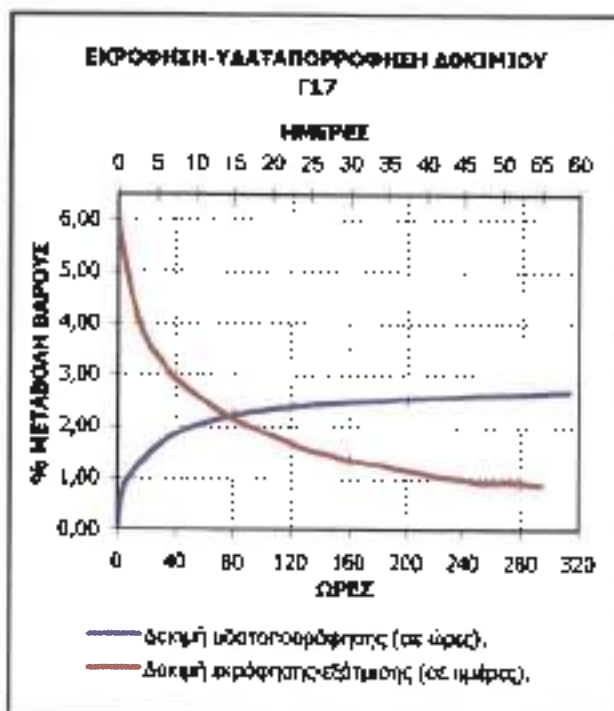


# ΔΟΚΙΜΙΟ Γ17

| ΕΚΡΟΦΣΗ-ΕΞΑΤΜΣΗ     |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 1518,82             | -                           |
| 25/12/2002          | 1506,91             | -                           |
| 26/12/2002          | 1497,19             | 59%                         |
| 27/12/2002          | 1490,10             | 17%                         |
| 28/12/2002          | 1484,97             | 21%                         |
| 29/12/2002          | 1482,20             | 14%                         |
| 30/12/2002          | 1479,56             | 15%                         |
| 31/12/2002          | 1476,78             | 14%                         |
| 02/01/2003          | 1472,96             | 16%                         |
| 03/01/2003          | 1471,41             | 15%                         |
| 04/01/2003          | 1469,91             | 15%                         |
| 05/01/2003          | 1468,39             | 15%                         |
| 06/01/2003          | 1466,95             | 16%                         |
| 07/01/2003          | 1465,77             | 14%                         |
| 08/01/2003          | 1464,74             | 14%                         |
| 10/01/2003          | 1462,76             | 15%                         |
| 12/01/2003          | 1460,86             | 17%                         |
| 14/01/2003          | 1459,08             | 17%                         |
| 16/01/2003          | 1457,44             | 20%                         |
| 18/01/2003          | 1456,03             | 24%                         |
| 20/01/2003          | 1455,00             | 17%                         |
| 22/01/2003          | 1453,93             | 14%                         |
| 24/01/2003          | 1452,97             | 14%                         |
| 27/01/2003          | 1452,06             | 24%                         |
| 28/01/2003          | 1451,53             | 25%                         |
| 29/01/2003          | 1451,03             | 24%                         |
| 30/01/2003          | 1450,67             | 18%                         |
| 31/01/2003          | 1450,36             | 15%                         |
| 01/02/2003          | 1449,92             | 22%                         |
| 03/02/2003          | 1449,12             | 27%                         |
| 05/02/2003          | 1448,53             | 17%                         |
| 07/02/2003          | 1448,01             | 30%                         |
| 08/02/2003          | 1447,61             | 46%                         |
| 10/02/2003          | 1447,12             | 41%                         |
| 12/02/2003          | 1447,27             | 13%                         |
| 14/02/2003          | 1447,08             | 14%                         |
| 15/02/2003          | 1446,98             | 21%                         |
| 17/02/2003          | 1446,57             | 17%                         |

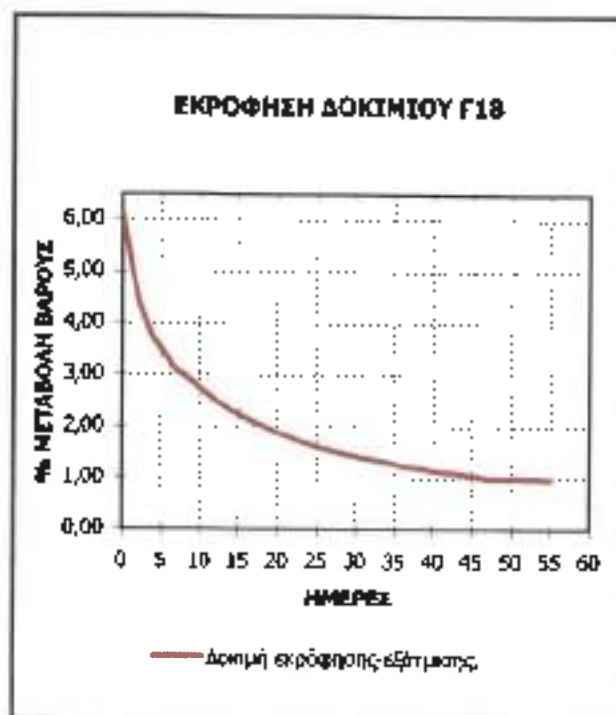
| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΣΗ       |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003 11:30    | 1449,04             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 11:45    | 1451,90             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003 12:15    | 1454,23             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003 13:15    | 1457,01             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003 15:15    | 1460,33             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 18:15    | 1463,13             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003 13:15    | 1471,91             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003 11:15      | 1477,34             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003 10:15      | 1480,26             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003 11:15      | 1482,11             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003 11:00    | 1484,24             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003 9:45     | 1486,18             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003 12:15    | 1487,95             | 62%<br>18 |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1434,00 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |



| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 1413,12             | -                           |
| 25/12/2002          | 1401,88             | -                           |
| 26/12/2002          | 1392,22             | 59%                         |
| 27/12/2002          | 1385,46             | 17%                         |
| 28/12/2002          | 1380,91             | 21%                         |
| 29/12/2002          | 1378,07             | 14%                         |
| 30/12/2002          | 1375,65             | 15%                         |
| 31/12/2002          | 1373,00             | 14%                         |
| 02/01/2003          | 1369,58             | 16%                         |
| 03/01/2003          | 1367,95             | 15%                         |
| 04/01/2003          | 1366,69             | 15%                         |
| 05/01/2003          | 1365,08             | 15%                         |
| 06/01/2003          | 1363,77             | 16%                         |
| 07/01/2003          | 1362,46             | 14%                         |
| 08/01/2003          | 1361,50             | 14%                         |
| 10/01/2003          | 1359,46             | 15%                         |
| 12/01/2003          | 1357,80             | 17%                         |
| 14/01/2003          | 1356,00             | 17%                         |
| 16/01/2003          | 1354,52             | 20%                         |
| 18/01/2003          | 1353,17             | 24%                         |
| 20/01/2003          | 1352,21             | 17%                         |
| 22/01/2003          | 1351,12             | 14%                         |
| 24/01/2003          | 1350,31             | 14%                         |
| 27/01/2003          | 1349,28             | 24%                         |
| 28/01/2003          | 1348,79             | 25%                         |
| 29/01/2003          | 1348,30             | 24%                         |
| 30/01/2003          | 1347,96             | 18%                         |
| 31/01/2003          | 1347,66             | 15%                         |
| 01/02/2003          | 1347,41             | 22%                         |
| 03/02/2003          | 1346,65             | 27%                         |
| 05/02/2003          | 1346,28             | 17%                         |
| 07/02/2003          | 1345,75             | 30%                         |
| 08/02/2003          | 1345,39             | 46%                         |
| 10/02/2003          | 1344,93             | 41%                         |
| 12/02/2003          | 1345,07             | 13%                         |
| 14/02/2003          | 1344,91             | 14%                         |
| 15/02/2003          | 1344,92             | 21%                         |
| 17/02/2003          | 1344,64             | 17%                         |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,0     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1331,82 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |



## ΔΟΚΙΜΙΟ Δ1

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 695,31              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 687,06              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 680,90              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 676,77              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 674,02              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 672,76              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 671,94              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 671,25              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 670,75              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 670,53              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 670,44              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 670,41              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 670,29              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 670,30              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 670,32              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 670,19              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 670,24              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 670,26              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 670,29              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 670,31              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 670,39              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 670,59              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 670,81              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                          |
|----------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 03/02/2003           | 654,67              | 78%                      |
| 04/02/2003           | 681,35              | 76%                      |
| 05/02/2003           | 662,26              | 77%                      |
| 06/02/2003           | 662,77              | 78%                      |
| 07/02/2003           | 662,97              | 76%                      |
| 08/02/2003           | 663,37              | 77%                      |
| 10/02/2003           | 663,72              | 76%                      |
| 12/02/2003           | 664,12              | 77%                      |
| 14/02/2003           | 664,40              | 78%                      |
| 15/02/2003           | 664,48              | 77%                      |
| 17/02/2003           | 664,61              | 77%                      |
| 19/02/2003           | 664,71              | 75%                      |
| 21/02/2003           | 664,79              | 73%                      |
| 23/02/2003           | 665,32              | 75%                      |
| 25/02/2003           | 665,58              | 76%                      |
| 27/02/2003           | 665,82              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 678,89 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 1,95   |

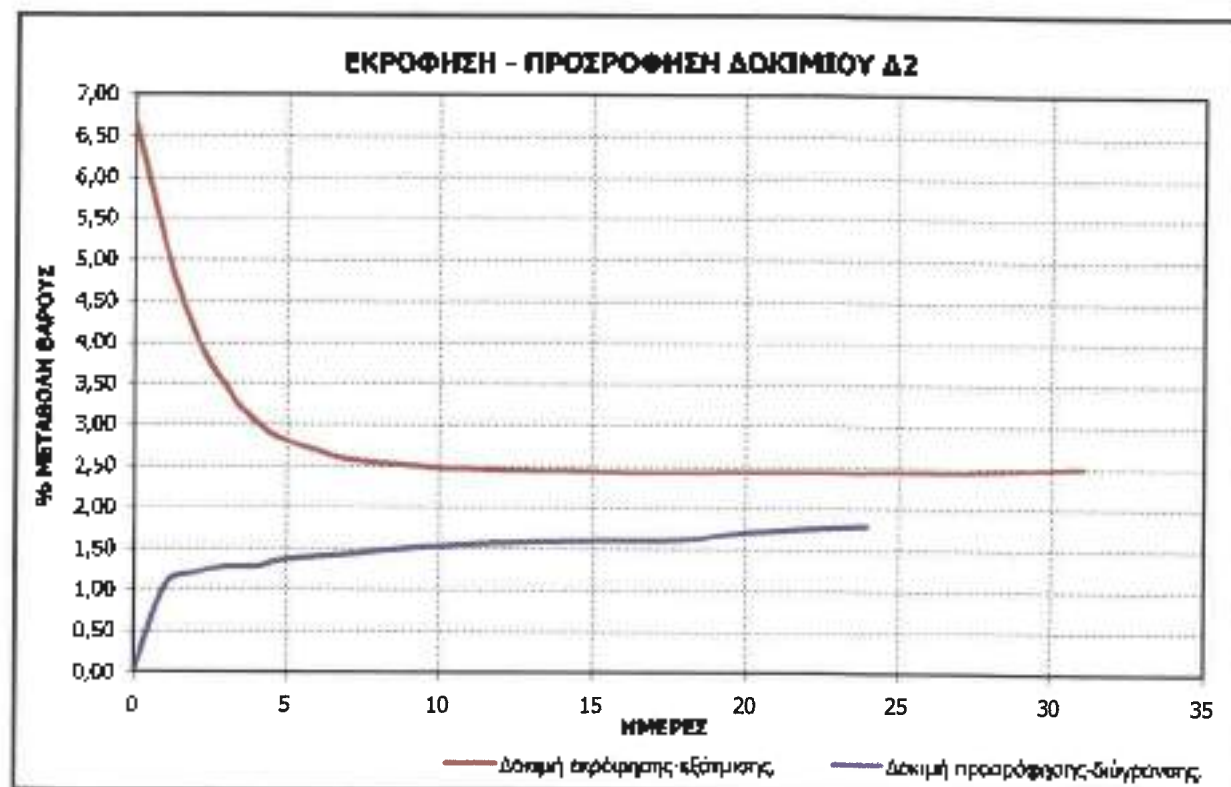


## ΔΟΚΙΜΙΟ Δ2

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΕΞΑΥΤΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 704,85              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 694,99              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 687,77              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 683,66              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 680,76              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 679,31              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 678,52              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 677,86              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 677,39              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 677,21              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 677,13              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 677,02              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 676,97              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 676,94              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 676,91              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 676,77              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 676,85              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 676,84              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 676,84              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 676,86              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 676,91              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 677,07              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 677,30              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΙΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                          |
|----------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 03/02/2003           | 660,77              | 78%                      |
| 04/02/2003           | 667,84              | 78%                      |
| 05/02/2003           | 668,70              | 77%                      |
| 06/02/2003           | 669,22              | 78%                      |
| 07/02/2003           | 669,28              | 76%                      |
| 08/02/2003           | 669,87              | 77%                      |
| 10/02/2003           | 670,23              | 76%                      |
| 12/02/2003           | 670,73              | 77%                      |
| 14/02/2003           | 671,03              | 78%                      |
| 15/02/2003           | 671,14              | 77%                      |
| 17/02/2003           | 671,27              | 77%                      |
| 19/02/2003           | 671,34              | 75%                      |
| 21/02/2003           | 671,43              | 73%                      |
| 23/02/2003           | 672,03              | 75%                      |
| 25/02/2003           | 672,33              | 76%                      |
| 27/02/2003           | 672,62              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,5    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 685,18 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 1,54   |

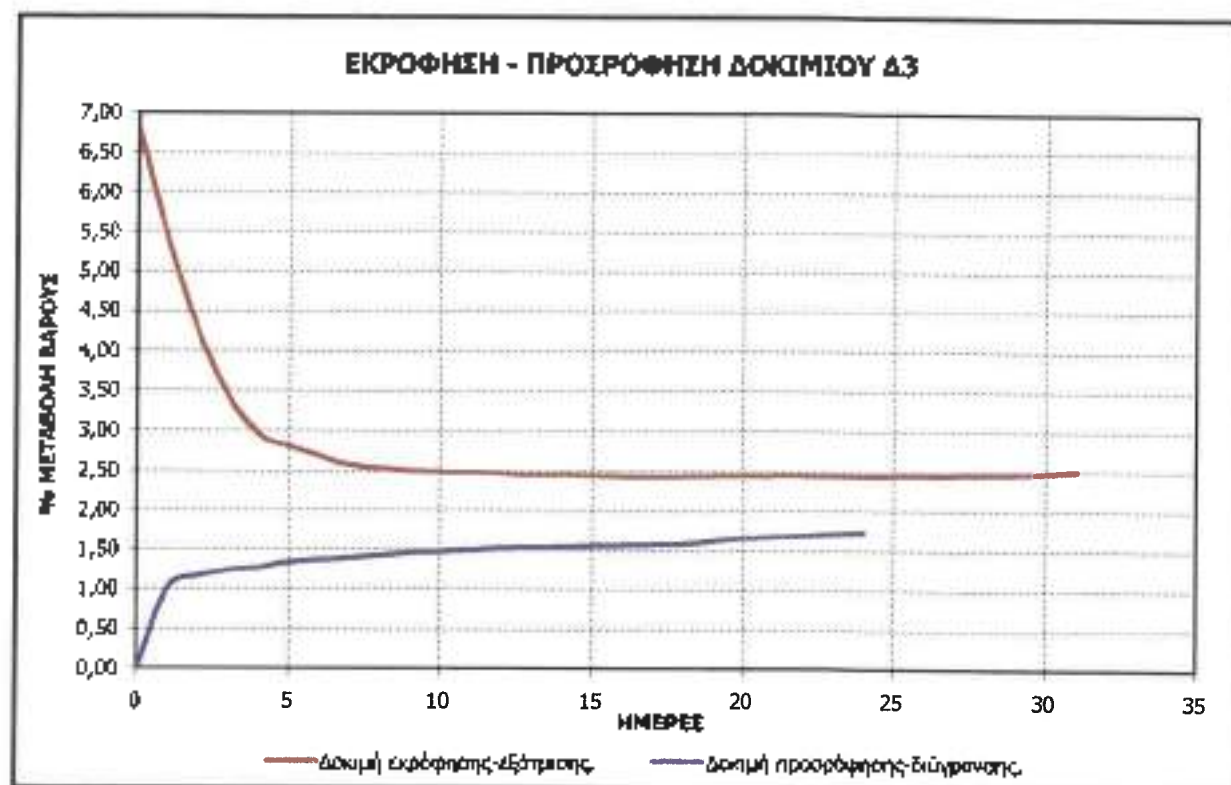


### ΔΟΚΙΜΙΟ Δ3

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 716,65              | 85%                      |
| 25/12/2002          | 707,27              | 85%                      |
| 26/12/2002          | 699,54              | 85%                      |
| 27/12/2002          | 694,22              | 83%                      |
| 28/12/2002          | 691,02              | 82%                      |
| 29/12/2002          | 689,93              | 81%                      |
| 30/12/2002          | 689,16              | 80%                      |
| 31/12/2002          | 688,43              | 80%                      |
| 02/01/2003          | 687,94              | 80%                      |
| 03/01/2003          | 687,80              | 80%                      |
| 04/01/2003          | 687,74              | 80%                      |
| 05/01/2003          | 687,70              | 80%                      |
| 06/01/2003          | 687,56              | 80%                      |
| 07/01/2003          | 687,58              | 80%                      |
| 08/01/2003          | 687,52              | 80%                      |
| 10/01/2003          | 687,41              | 79%                      |
| 12/01/2003          | 687,49              | 78%                      |
| 14/01/2003          | 687,53              | 78%                      |
| 16/01/2003          | 687,49              | 78%                      |
| 18/01/2003          | 687,53              | 78%                      |
| 20/01/2003          | 687,60              | 78%                      |
| 22/01/2003          | 687,72              | 78%                      |
| 24/01/2003          | 688,00              | 78%                      |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 03/02/2003          | 671,17              | 78%                      |
| 04/02/2003          | 677,97              | 78%                      |
| 05/02/2003          | 678,96              | 77%                      |
| 06/02/2003          | 679,45              | 78%                      |
| 07/02/2003          | 679,67              | 76%                      |
| 08/02/2003          | 680,16              | 77%                      |
| 10/02/2003          | 680,56              | 76%                      |
| 12/02/2003          | 680,95              | 77%                      |
| 14/02/2003          | 681,21              | 78%                      |
| 15/02/2003          | 681,34              | 77%                      |
| 17/02/2003          | 681,48              | 77%                      |
| 19/02/2003          | 681,64              | 75%                      |
| 21/02/2003          | 681,71              | 73%                      |
| 23/02/2003          | 682,26              | 75%                      |
| 25/02/2003          | 682,49              | 76%                      |
| 27/02/2003          | 682,82              | 76%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 695,41 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 1,54   |

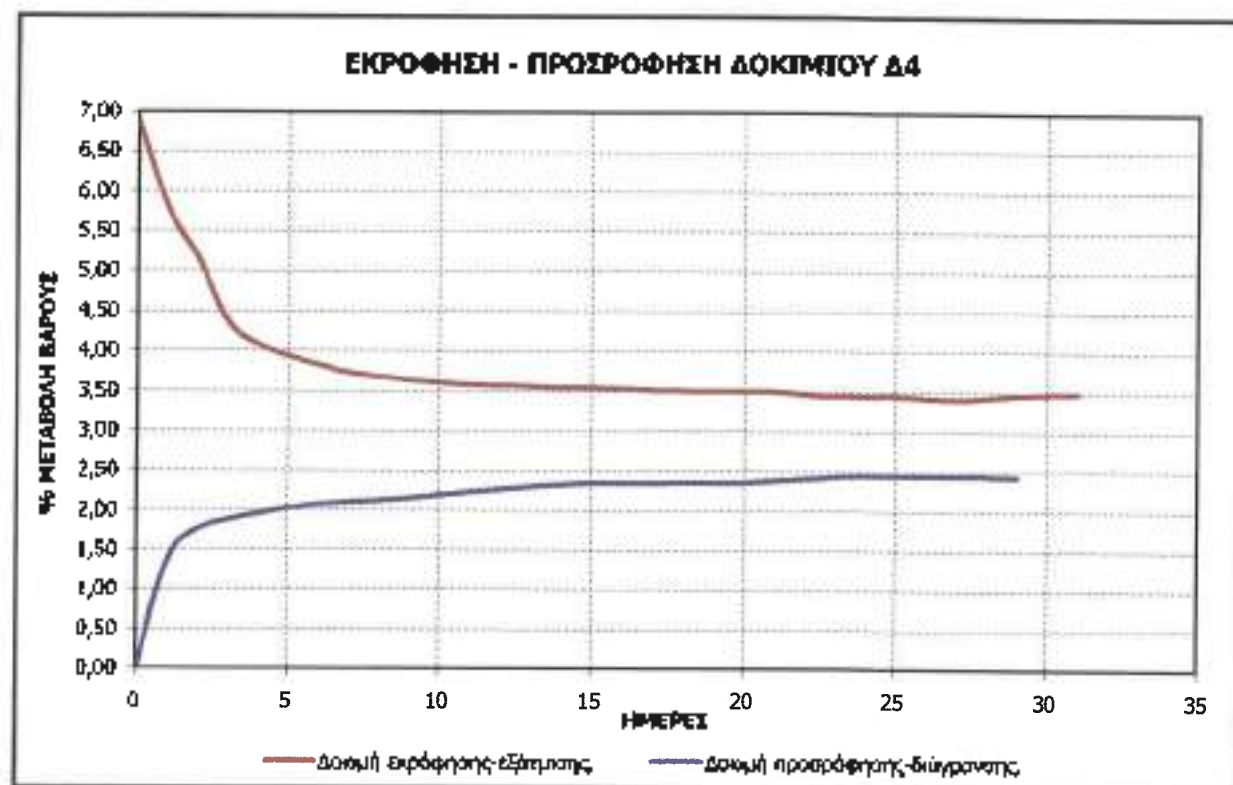


# ΔΟΚΙΜΙΟ Δ4

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCI RH% |
| 24/12/2002          | 688,57              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 681,41              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 677,28              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 672,24              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 670,39              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 669,38              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 668,74              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 668,12              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 667,51              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 667,27              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 667,14              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 667,00              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 666,98              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 666,86              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 666,84              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 666,73              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 666,62              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 666,59              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 666,22              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 666,28              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 666,05              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 666,38              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 666,53              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCI RH% |
| 30/01/2003          | 644,09              | 84%                     |
| 31/01/2003          | 652,71              | 88%                     |
| 01/02/2003          | 655,40              | 88%                     |
| 03/02/2003          | 656,62              | 87%                     |
| 05/02/2003          | 657,40              | 82%                     |
| 07/02/2003          | 657,75              | 83%                     |
| 08/02/2003          | 657,93              | 84%                     |
| 10/02/2003          | 658,43              | 83%                     |
| 12/02/2003          | 658,85              | 83%                     |
| 14/02/2003          | 659,12              | 84%                     |
| 15/02/2003          | 659,10              | 83%                     |
| 17/02/2003          | 659,17              | 84%                     |
| 19/02/2003          | 659,23              | 83%                     |
| 21/02/2003          | 659,52              | 78%                     |
| 23/02/2003          | 659,8               | 82%                     |
| 25/02/2003          | 659,81              | 84%                     |
| 27/02/2003          | 659,74              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,8    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 667,75 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 1,87   |

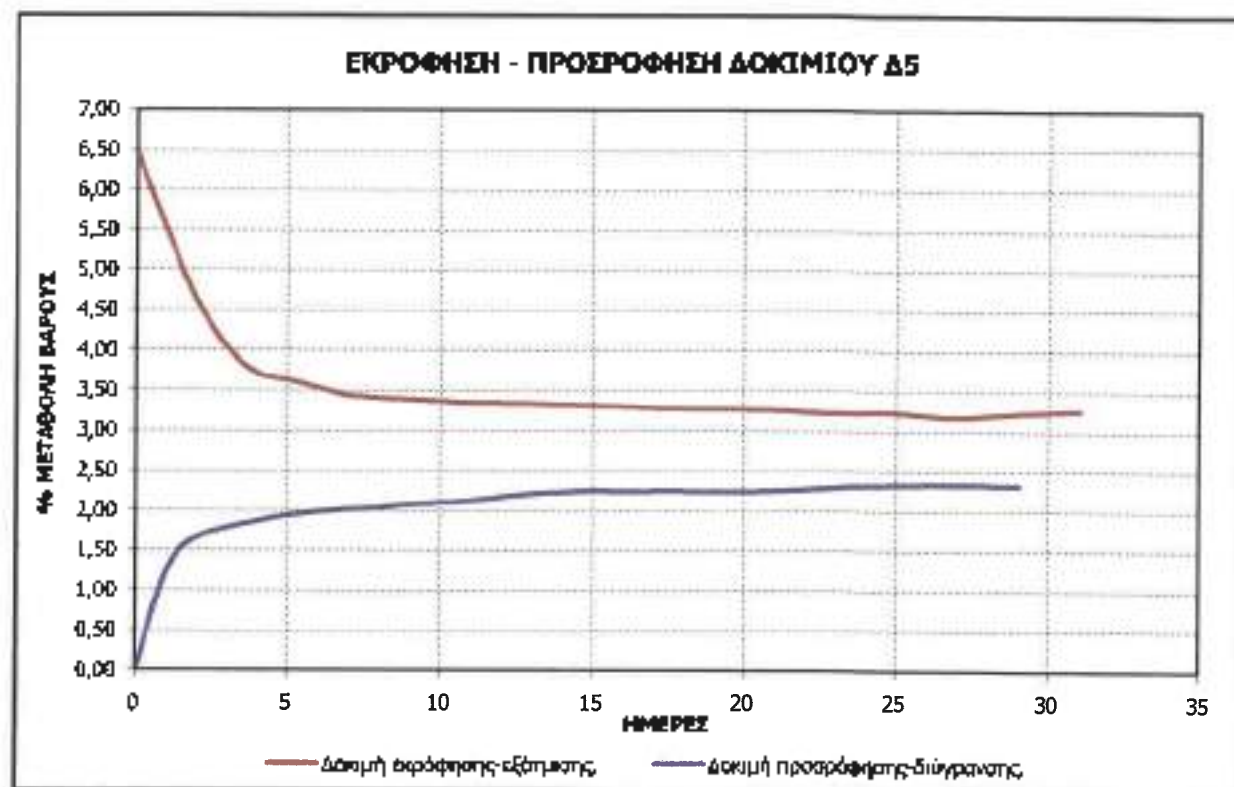


## ΔΟΚΙΜΙΟ Δ5

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 24/12/2002          | 701,28              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 694,78              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 689,07              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 685,32              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 683,23              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 682,61              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 682,02              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 681,39              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 681,01              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 680,88              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 680,77              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 680,76              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 680,67              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 680,61              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 680,53              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 680,39              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 680,29              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 680,20              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 679,98              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 680,02              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 679,66              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 680,01              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 680,25              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 30/01/2003          | 658,74              | 84%                     |
| 31/01/2003          | 666,85              | 88%                     |
| 01/02/2003          | 669,63              | 88%                     |
| 03/02/2003          | 670,98              | 87%                     |
| 05/02/2003          | 671,78              | 82%                     |
| 07/02/2003          | 672,08              | 83%                     |
| 08/02/2003          | 672,34              | 84%                     |
| 10/02/2003          | 672,69              | 83%                     |
| 12/02/2003          | 673,24              | 83%                     |
| 14/02/2003          | 673,52              | 84%                     |
| 15/02/2003          | 673,47              | 83%                     |
| 17/02/2003          | 673,50              | 84%                     |
| 19/02/2003          | 673,47              | 83%                     |
| 21/02/2003          | 673,7               | 78%                     |
| 23/02/2003          | 673,98              | 82%                     |
| 25/02/2003          | 674,09              | 84%                     |
| 27/02/2003          | 674,06              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 682,01 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 2,02   |

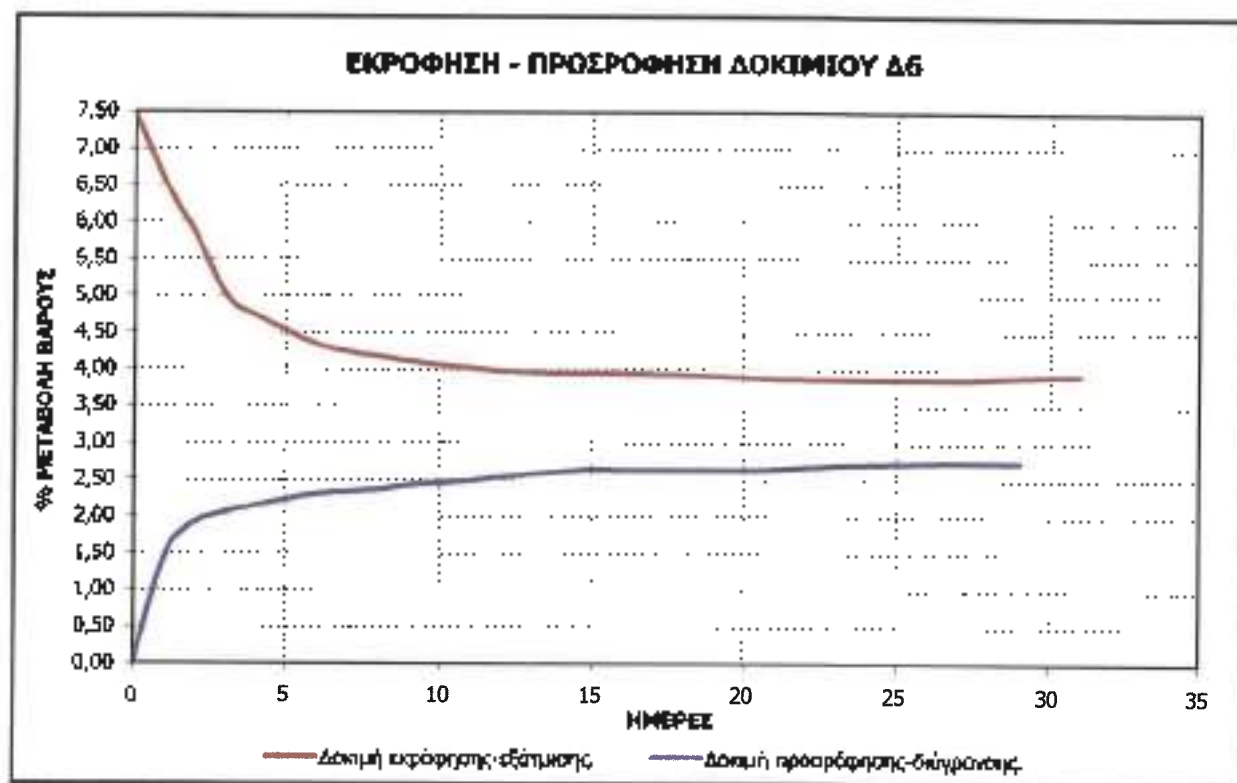


# ΔΟΚΙΜΙΟ Δ6

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 24/12/2002          | 703,23              | 90%                     |
| 25/12/2002          | 697,06              | 92%                     |
| 26/12/2002          | 692,64              | 94%                     |
| 27/12/2002          | 687,20              | 90%                     |
| 28/12/2002          | 685,32              | 90%                     |
| 29/12/2002          | 683,98              | 90%                     |
| 30/12/2002          | 682,77              | 90%                     |
| 31/12/2002          | 682,07              | 90%                     |
| 02/01/2003          | 681,30              | 90%                     |
| 03/01/2003          | 680,94              | 90%                     |
| 04/01/2003          | 680,72              | 90%                     |
| 05/01/2003          | 680,46              | 90%                     |
| 06/01/2003          | 680,34              | 90%                     |
| 07/01/2003          | 680,23              | 90%                     |
| 08/01/2003          | 680,18              | 90%                     |
| 10/01/2003          | 680,14              | 90%                     |
| 12/01/2003          | 679,97              | 90%                     |
| 14/01/2003          | 679,74              | 90%                     |
| 16/01/2003          | 679,64              | 90%                     |
| 18/01/2003          | 679,72              | 90%                     |
| 20/01/2003          | 679,62              | 90%                     |
| 22/01/2003          | 679,93              | 90%                     |
| 24/01/2003          | 680,07              | 90%                     |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 30/01/2003          | 654,39              | 84%                     |
| 31/01/2003          | 663,80              | 88%                     |
| 01/02/2003          | 666,88              | 88%                     |
| 03/02/2003          | 668,43              | 87%                     |
| 05/02/2003          | 669,44              | 82%                     |
| 07/02/2003          | 669,81              | 83%                     |
| 08/02/2003          | 670,20              | 84%                     |
| 10/02/2003          | 670,64              | 83%                     |
| 12/02/2003          | 671,24              | 83%                     |
| 14/02/2003          | 671,62              | 84%                     |
| 15/02/2003          | 671,59              | 83%                     |
| 17/02/2003          | 671,56              | 84%                     |
| 19/02/2003          | 671,60              | 83%                     |
| 21/02/2003          | 671,87              | 78%                     |
| 23/02/2003          | 672,16              | 82%                     |
| 25/02/2003          | 672,3               | 84%                     |
| 27/02/2003          | 672,33              | 84%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 678,32 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 1,95   |

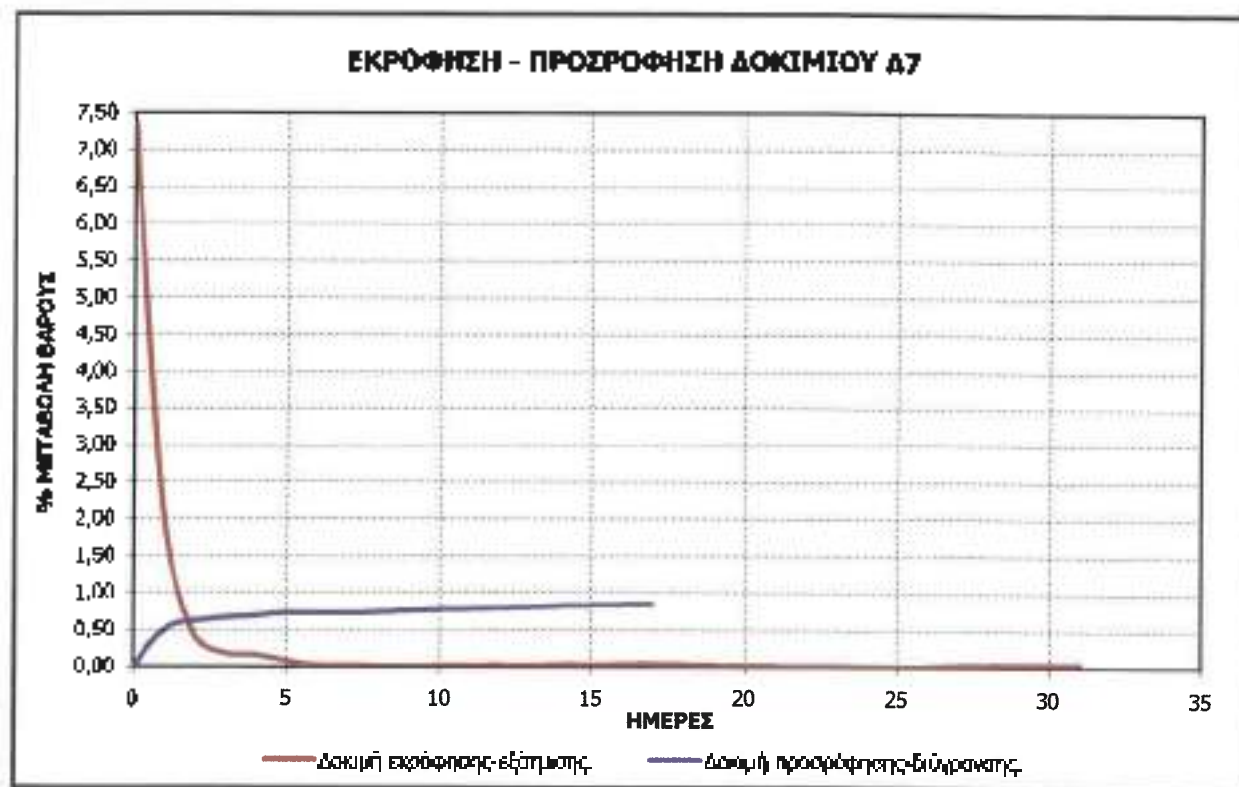


# ΔΟΚΙΜΙΟ Δ7

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 700,48              | -                           |
| 25/12/2002          | 665,06              | -                           |
| 26/12/2002          | 655,29              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 651,31              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 651,47              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 651,96              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 652,31              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 652,60              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 652,56              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 652,58              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 652,63              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 652,67              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 652,61              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 652,69              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 652,68              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 652,77              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 652,66              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 652,62              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 652,45              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 652,55              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 652,70              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 652,77              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 652,83              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΞΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                                                    |
|----------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RH% |
| 10/02/2003           | 652,49              | 52%                                                |
| 11/02/2003           | 655,76              | 52%                                                |
| 12/02/2003           | 656,57              | 54%                                                |
| 14/02/2003           | 657,02              | 52%                                                |
| 15/02/2003           | 657,21              | 52%                                                |
| 17/02/2003           | 657,20              | 52%                                                |
| 19/02/2003           | 657,44              | 54%                                                |
| 21/02/2003           | 657,64              | 50%                                                |
| 23/02/2003           | 657,76              | 50%                                                |
| 25/02/2003           | 657,93              | 50%                                                |
| 27/02/2003           | 658,00              | 50%                                                |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,3    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 677,07 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 1,90   |

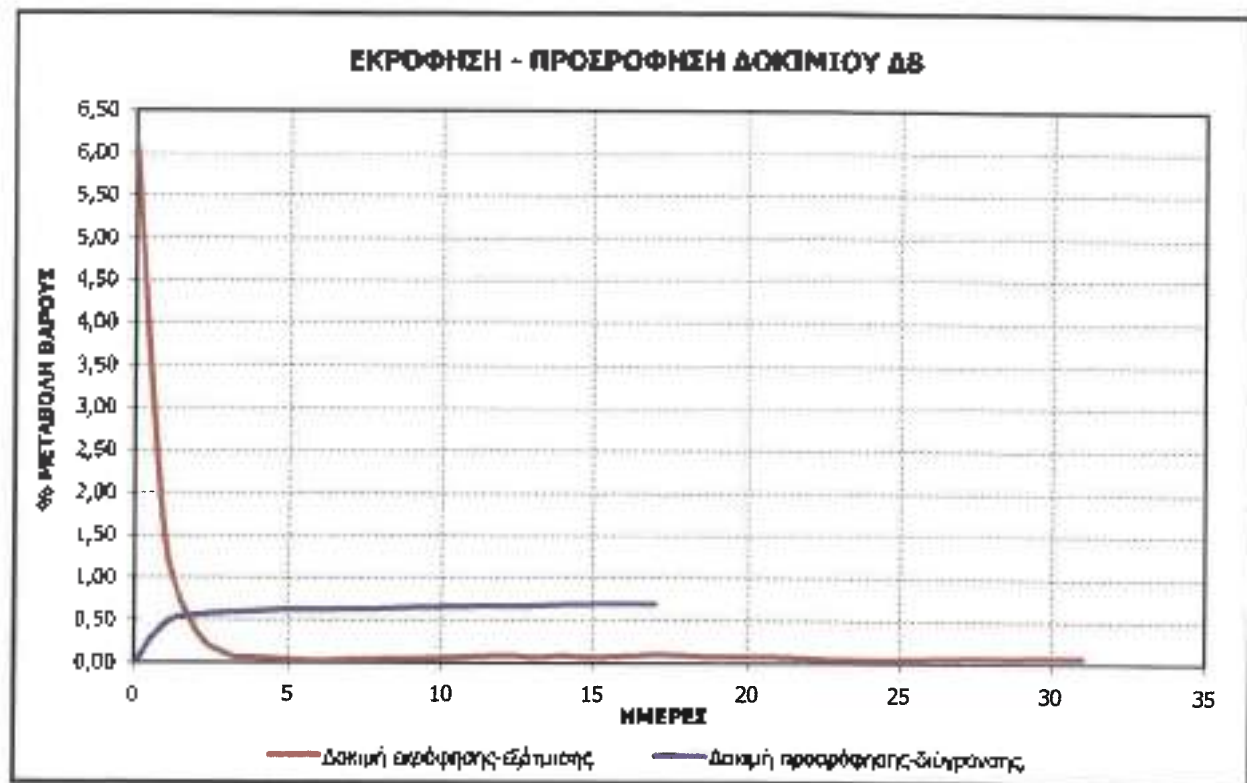


## ΔΟΚΙΜΙΟ Δ8

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 712,11              | -                           |
| 25/12/2002          | 680,78              | -                           |
| 26/12/2002          | 673,91              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 670,74              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 671,01              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 671,63              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 671,56              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 671,63              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 671,69              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 671,80              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 671,90              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 671,97              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 671,83              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 671,94              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 671,86              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 672,02              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 671,90              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 671,90              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 671,71              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 671,72              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 671,85              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 671,90              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 671,91              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ  |                     |                                                    |
|---------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RH% |
| 10/02/2003          | 671,39              | 52%                                                |
| 11/02/2003          | 674,46              | 52%                                                |
| 12/02/2003          | 675,13              | 54%                                                |
| 14/02/2003          | 675,41              | 52%                                                |
| 15/02/2003          | 675,51              | 52%                                                |
| 17/02/2003          | 675,55              | 52%                                                |
| 19/02/2003          | 675,71              | 54%                                                |
| 21/02/2003          | 675,81              | 50%                                                |
| 23/02/2003          | 675,88              | 50%                                                |
| 25/02/2003          | 676,02              | 50%                                                |
| 27/02/2003          | 676,02              | 50%                                                |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,7    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 695,85 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 1,84   |

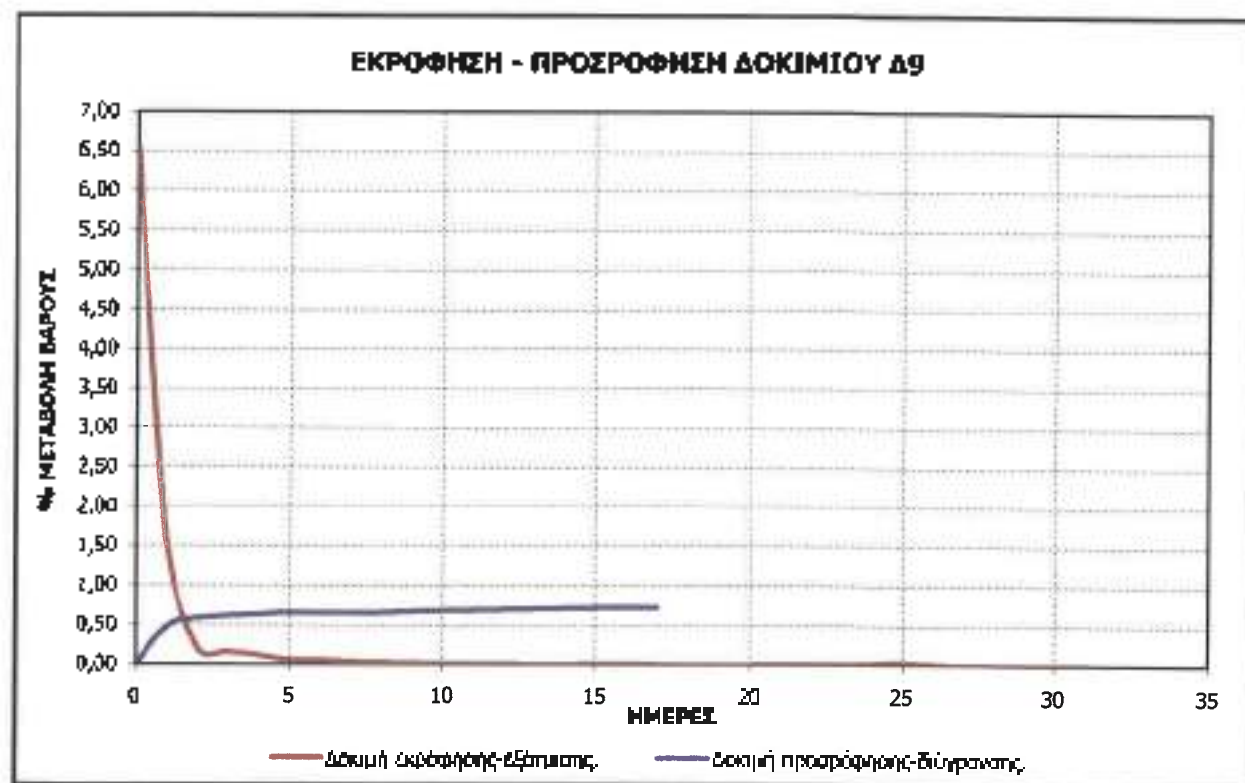


## ΔΟΚΙΜΙΟ Δ9

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 710,22              | -                           |
| 25/12/2002          | 676,64              | -                           |
| 26/12/2002          | 667,93              | 59%                         |
| 27/12/2002          | 665,55              | 17%                         |
| 28/12/2002          | 665,84              | 21%                         |
| 29/12/2002          | 666,24              | 14%                         |
| 30/12/2002          | 666,25              | 15%                         |
| 31/12/2002          | 666,38              | 14%                         |
| 02/01/2003          | 666,50              | 16%                         |
| 03/01/2003          | 666,51              | 15%                         |
| 04/01/2003          | 666,53              | 15%                         |
| 05/01/2003          | 666,52              | 15%                         |
| 06/01/2003          | 666,58              | 16%                         |
| 07/01/2003          | 666,57              | 14%                         |
| 08/01/2003          | 666,56              | 14%                         |
| 10/01/2003          | 666,56              | 15%                         |
| 12/01/2003          | 666,60              | 17%                         |
| 14/01/2003          | 666,49              | 17%                         |
| 16/01/2003          | 666,52              | 20%                         |
| 18/01/2003          | 666,40              | 24%                         |
| 20/01/2003          | 666,60              | 17%                         |
| 22/01/2003          | 666,61              | 14%                         |
| 24/01/2003          | 666,66              | 14%                         |

| ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ-ΔΙΥΓΡΑΝΣΗ |                     |                                                    |
|----------------------|---------------------|----------------------------------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης  | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> RH% |
| 10/02/2003           | 666,59              | 52%                                                |
| 11/02/2003           | 669,74              | 52%                                                |
| 12/02/2003           | 670,49              | 54%                                                |
| 14/02/2003           | 670,79              | 52%                                                |
| 15/02/2003           | 670,91              | 52%                                                |
| 17/02/2003           | 670,92              | 52%                                                |
| 19/02/2003           | 671,08              | 54%                                                |
| 21/02/2003           | 671,17              | 50%                                                |
| 23/02/2003           | 671,26              | 50%                                                |
| 25/02/2003           | 671,4               | 50%                                                |
| 27/02/2003           | 671,45              | 50%                                                |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |        |
|--------------------------|--------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,0    |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12     |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 690,88 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | 1,84   |

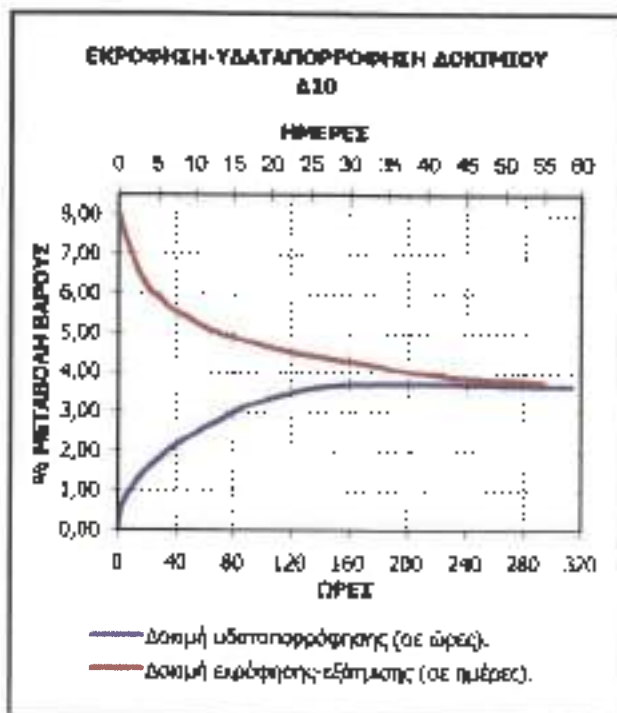


# ΔΟΚΙΜΙΟ Δ10

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 1452,07             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1443,09             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1436,45             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1430,72             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1426,40             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1424,00             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1421,76             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1419,49             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1416,49             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1415,11             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1413,93             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1412,76             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1411,69             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1410,81             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1409,99             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1408,52             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1407,16             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1405,92             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1404,90             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1403,97             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1403,10             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1402,30             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1401,51             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1400,33             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1399,73             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1399,06             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1398,75             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1398,06             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1397,84             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1397,36             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1396,64             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1396,16             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1396,00             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1395,74             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1395,49             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1395,21             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1394,98             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1394,58             | 77%                      |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1398,18             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1401,36             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1403,11             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1405,30             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1408,24             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1411,30             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1422,57             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1430,75             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1437,29             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1443,23             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1448,94             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1449,86             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1449,28             | 62%<br>18 |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,0     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό Βάρος (gr)          | 1344,44 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | .       |

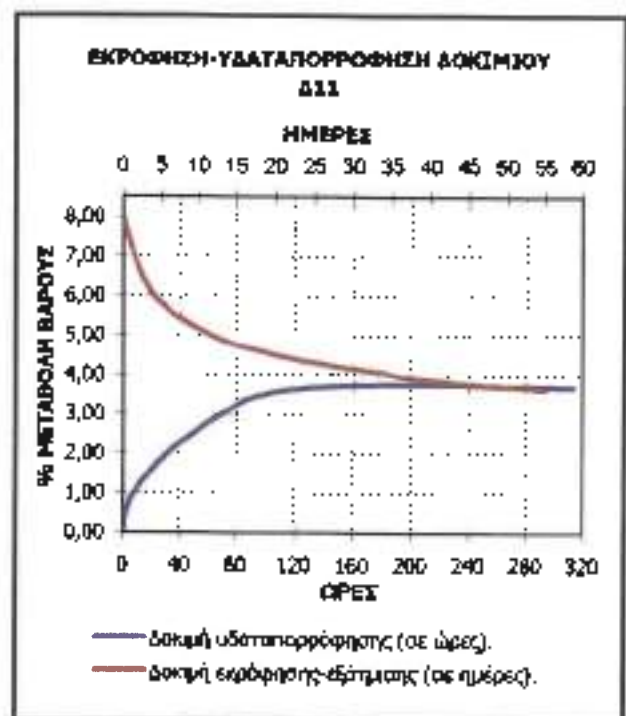


# ΔΟΚΙΜΙΟ Δ11

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 1346,78             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1338,58             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1331,99             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1326,78             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1322,78             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1320,48             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1318,46             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1316,25             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1313,57             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1312,30             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1311,22             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1310,13             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1309,13             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1308,28             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1307,51             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1306,15             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1304,92             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1303,83             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1302,87             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1302,02             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1301,21             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1300,48             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1299,75             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1298,73             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1298,12             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1297,54             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1297,25             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1296,72             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1296,50             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1296,07             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1295,45             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1295,05             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1294,88             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1294,62             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1294,42             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1294,16             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1293,94             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1293,59             | 77%                      |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1295,27             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1297,94             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1299,80             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1302,05             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1304,93             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1307,86             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1318,85             | 55%<br>19 |
| 06/03/2003<br>11:15 | 1327,32             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1334,34             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1340,32             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1343,27             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1343,75             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1343,02             | 62%<br>18 |

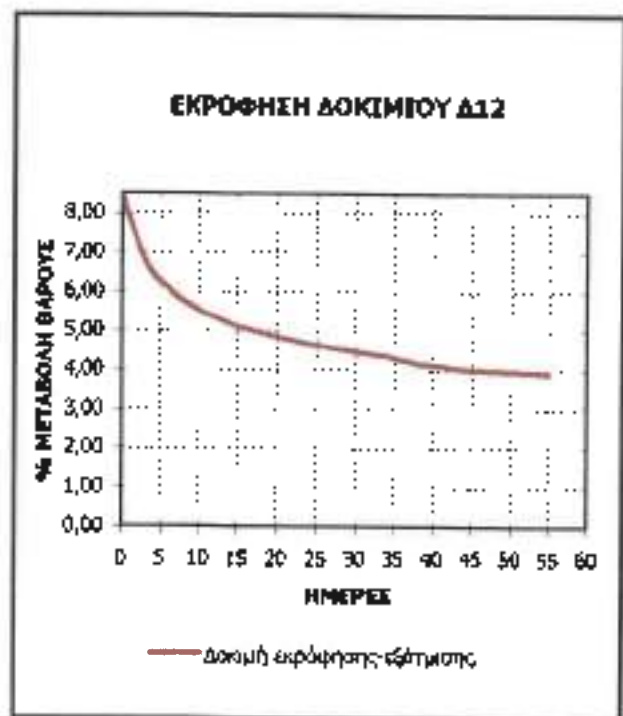
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,4     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1248,14 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |



## ΔΟΚΙΜΙΟ Δ12

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                          |
|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία NaCl RH% |
| 24/12/2002          | 1458,43             | 85%                      |
| 25/12/2002          | 1449,55             | 85%                      |
| 26/12/2002          | 1442,83             | 85%                      |
| 27/12/2002          | 1436,38             | 83%                      |
| 28/12/2002          | 1431,52             | 82%                      |
| 29/12/2002          | 1428,74             | 81%                      |
| 30/12/2002          | 1426,37             | 80%                      |
| 31/12/2002          | 1423,80             | 80%                      |
| 02/01/2003          | 1420,51             | 80%                      |
| 03/01/2003          | 1419,03             | 80%                      |
| 04/01/2003          | 1417,71             | 80%                      |
| 05/01/2003          | 1416,46             | 80%                      |
| 06/01/2003          | 1415,35             | 80%                      |
| 07/01/2003          | 1414,37             | 80%                      |
| 08/01/2003          | 1413,52             | 80%                      |
| 10/01/2003          | 1411,97             | 79%                      |
| 12/01/2003          | 1410,52             | 78%                      |
| 14/01/2003          | 1409,23             | 78%                      |
| 16/01/2003          | 1408,13             | 78%                      |
| 18/01/2003          | 1407,15             | 78%                      |
| 20/01/2003          | 1406,23             | 78%                      |
| 22/01/2003          | 1405,39             | 78%                      |
| 24/01/2003          | 1404,56             | 78%                      |
| 27/01/2003          | 1403,36             | 76%                      |
| 28/01/2003          | 1402,66             | 75%                      |
| 29/01/2003          | 1401,96             | 72%                      |
| 30/01/2003          | 1401,66             | 75%                      |
| 31/01/2003          | 1400,73             | 77%                      |
| 01/02/2003          | 1400,50             | 77%                      |
| 03/02/2003          | 1400,04             | 78%                      |
| 05/02/2003          | 1399,29             | 77%                      |
| 07/02/2003          | 1398,85             | 76%                      |
| 08/02/2003          | 1398,66             | 77%                      |
| 10/02/2003          | 1398,41             | 76%                      |
| 12/02/2003          | 1398,19             | 77%                      |
| 14/02/2003          | 1397,89             | 78%                      |
| 15/02/2003          | 1397,65             | 77%                      |
| 17/02/2003          | 1397,27             | 77%                      |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Υψος δοκιμίου (cm)       | 5,2     |
| Διάμετρος δοκιμίου (cm)  | 12      |
| Ξηρό βάρος (gr)          | 1344,70 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

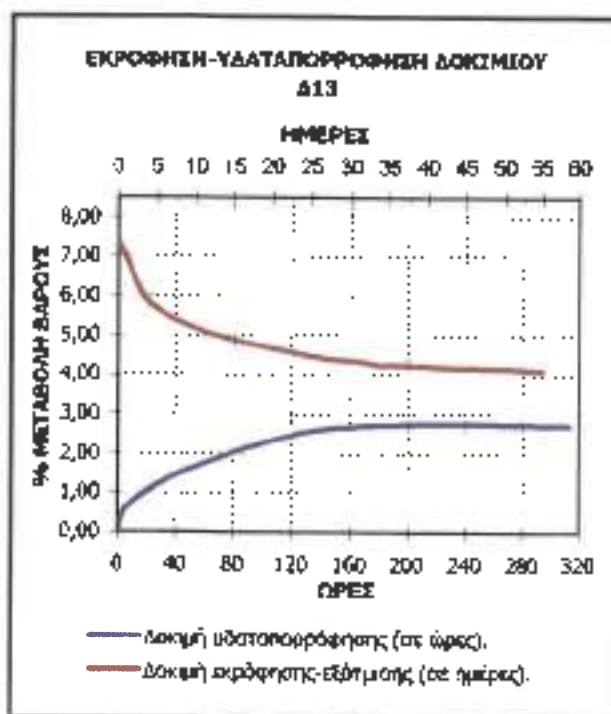


# ΔΟΚΙΜΙΟ Δ13

| ΕΚΡΟΦΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ    |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚCl RH% |
| 24/12/2002          | 1408,61             | 90%                     |
| 25/12/2002          | 1403,22             | 92%                     |
| 26/12/2002          | 1397,44             | 94%                     |
| 27/12/2002          | 1391,69             | 90%                     |
| 28/12/2002          | 1388,32             | 90%                     |
| 29/12/2002          | 1386,31             | 90%                     |
| 30/12/2002          | 1384,57             | 90%                     |
| 31/12/2002          | 1382,90             | 90%                     |
| 02/01/2003          | 1380,63             | 90%                     |
| 03/01/2003          | 1379,65             | 90%                     |
| 04/01/2003          | 1378,79             | 90%                     |
| 05/01/2003          | 1377,96             | 90%                     |
| 06/01/2003          | 1377,14             | 90%                     |
| 07/01/2003          | 1376,45             | 90%                     |
| 08/01/2003          | 1375,88             | 90%                     |
| 10/01/2003          | 1374,60             | 90%                     |
| 12/01/2003          | 1373,52             | 90%                     |
| 14/01/2003          | 1372,56             | 90%                     |
| 16/01/2003          | 1371,40             | 90%                     |
| 18/01/2003          | 1370,50             | 90%                     |
| 20/01/2003          | 1369,49             | 90%                     |
| 22/01/2003          | 1369,16             | 90%                     |
| 24/01/2003          | 1368,65             | 90%                     |
| 27/01/2003          | 1367,54             | 86%                     |
| 28/01/2003          | 1367,58             | 93%                     |
| 29/01/2003          | 1367,47             | 91%                     |
| 30/01/2003          | 1367,39             | 91%                     |
| 31/01/2003          | 1367,30             | 93%                     |
| 01/02/2003          | 1367,16             | 93%                     |
| 03/02/2003          | 1366,97             | 91%                     |
| 05/02/2003          | 1366,87             | 92%                     |
| 07/02/2003          | 1366,70             | 92%                     |
| 08/02/2003          | 1366,57             | 92%                     |
| 10/02/2003          | 1366,33             | 92%                     |
| 12/02/2003          | 1366,34             | 92%                     |
| 14/02/2003          | 1366,18             | 92%                     |
| 15/02/2003          | 1366,03             | 92%                     |
| 17/02/2003          | 1365,78             | 92%                     |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΣΗ       |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003<br>11:30 | 1369,45             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>11:45 | 1371,61             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003<br>12:15 | 1372,87             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003<br>13:15 | 1374,37             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003<br>15:15 | 1376,38             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003<br>18:15 | 1378,42             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003<br>13:15 | 1385,52             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003<br>11:15   | 1390,92             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003<br>10:15   | 1395,33             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003<br>11:15   | 1399,67             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003<br>11:00 | 1405,29             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003<br>9:45  | 1407,06             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003<br>12:15 | 1406,64             | 62%<br>18 |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Υψος δοκιμίου (cm)       | 5,7     |
| Διάμετρος δοκιμίου       | 12      |
| Ξηρό βάρος               | 1311,91 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

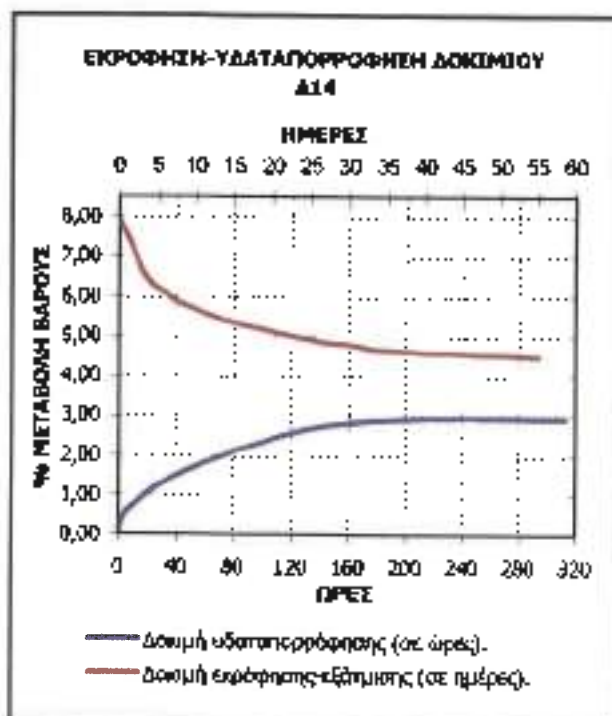


# ΔΟΚΙΜΙΟ Δ14

| ΕΚΡΟΦΙΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                        |
|---------------------|---------------------|------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚΩ RH% |
| 24/12/2002          | 1430,30             | 90%                    |
| 25/12/2002          | 1425,04             | 92%                    |
| 26/12/2002          | 1419,15             | 94%                    |
| 27/12/2002          | 1413,34             | 90%                    |
| 28/12/2002          | 1409,72             | 90%                    |
| 29/12/2002          | 1407,57             | 90%                    |
| 30/12/2002          | 1405,79             | 90%                    |
| 31/12/2002          | 1404,02             | 90%                    |
| 02/01/2003          | 1401,56             | 90%                    |
| 03/01/2003          | 1400,50             | 90%                    |
| 04/01/2003          | 1399,54             | 90%                    |
| 05/01/2003          | 1398,63             | 90%                    |
| 06/01/2003          | 1397,73             | 90%                    |
| 07/01/2003          | 1396,98             | 90%                    |
| 08/01/2003          | 1396,34             | 90%                    |
| 10/01/2003          | 1394,98             | 90%                    |
| 12/01/2003          | 1393,83             | 90%                    |
| 14/01/2003          | 1392,71             | 90%                    |
| 16/01/2003          | 1391,56             | 90%                    |
| 18/01/2003          | 1390,66             | 90%                    |
| 20/01/2003          | 1389,55             | 90%                    |
| 22/01/2003          | 1389,13             | 90%                    |
| 24/01/2003          | 1388,51             | 90%                    |
| 27/01/2003          | 1387,01             | 86%                    |
| 28/01/2003          | 1387,03             | 93%                    |
| 29/01/2003          | 1386,89             | 91%                    |
| 30/01/2003          | 1386,78             | 91%                    |
| 31/01/2003          | 1386,69             | 93%                    |
| 01/02/2003          | 1386,54             | 93%                    |
| 03/02/2003          | 1386,34             | 91%                    |
| 05/02/2003          | 1386,18             | 92%                    |
| 07/02/2003          | 1386,01             | 92%                    |
| 08/02/2003          | 1385,86             | 92%                    |
| 10/02/2003          | 1385,65             | 92%                    |
| 12/02/2003          | 1385,58             | 92%                    |
| 14/02/2003          | 1385,40             | 92%                    |
| 15/02/2003          | 1385,21             | 92%                    |
| 17/02/2003          | 1384,99             | 92%                    |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003 11:30    | 1388,72             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 11:45    | 1391,00             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003 12:15    | 1392,24             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003 13:15    | 1393,75             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003 15:15    | 1395,70             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 18:15    | 1397,75             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003 13:15    | 1405,40             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003 11:15      | 1411,27             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003 10:15      | 1415,95             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003 11:15      | 1420,38             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003 11:00    | 1426,76             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003 9:45     | 1429,36             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003 12:15    | 1429,14             | 62%<br>18 |

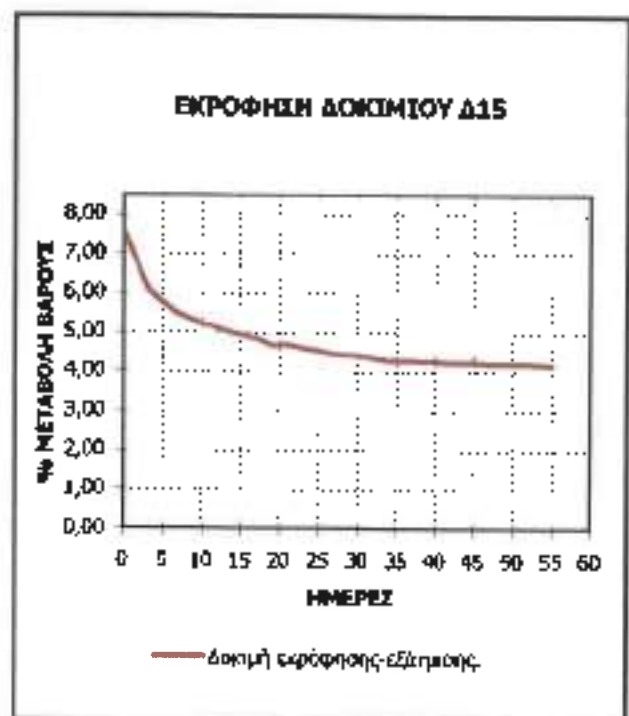
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,1     |
| Διάμετρος δοκιμίου       | 12      |
| Ξηρό βάρος               | 1325,54 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | .       |



## ΔΟΚΙΜΙΟ Δ15

| ΕΚΡΟΦΗΣΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                         |
|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία ΚΚΙ RH% |
| 24/12/2002          | 1315,26             | 90%                     |
| 25/12/2002          | 1310,06             | 92%                     |
| 26/12/2002          | 1304,34             | 94%                     |
| 27/12/2002          | 1298,53             | 90%                     |
| 28/12/2002          | 1295,37             | 90%                     |
| 29/12/2002          | 1293,39             | 90%                     |
| 30/12/2002          | 1291,73             | 90%                     |
| 31/12/2002          | 1290,13             | 90%                     |
| 02/01/2003          | 1288,00             | 90%                     |
| 03/01/2003          | 1287,11             | 90%                     |
| 04/01/2003          | 1286,33             | 90%                     |
| 05/01/2003          | 1285,54             | 90%                     |
| 06/01/2003          | 1284,77             | 90%                     |
| 07/01/2003          | 1284,13             | 90%                     |
| 08/01/2003          | 1283,61             | 90%                     |
| 10/01/2003          | 1282,44             | 90%                     |
| 12/01/2003          | 1280,49             | 90%                     |
| 14/01/2003          | 1280,56             | 90%                     |
| 16/01/2003          | 1279,50             | 90%                     |
| 18/01/2003          | 1278,66             | 90%                     |
| 20/01/2003          | 1277,66             | 90%                     |
| 22/01/2003          | 1277,39             | 90%                     |
| 24/01/2003          | 1276,86             | 90%                     |
| 27/01/2003          | 1275,56             | 86%                     |
| 28/01/2003          | 1275,59             | 93%                     |
| 29/01/2003          | 1275,52             | 91%                     |
| 30/01/2003          | 1275,42             | 91%                     |
| 31/01/2003          | 1275,35             | 93%                     |
| 01/02/2003          | 1275,24             | 93%                     |
| 03/02/2003          | 1275,10             | 91%                     |
| 05/02/2003          | 1274,99             | 92%                     |
| 07/02/2003          | 1274,87             | 92%                     |
| 08/02/2003          | 1274,78             | 92%                     |
| 10/02/2003          | 1274,59             | 92%                     |
| 12/02/2003          | 1274,58             | 92%                     |
| 14/02/2003          | 1274,45             | 92%                     |
| 15/02/2003          | 1274,28             | 92%                     |
| 17/02/2003          | 1274,05             | 92%                     |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,6     |
| Διάμετρος δοκιμίου       | 12      |
| Ξηρό βάρος               | 1223,13 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

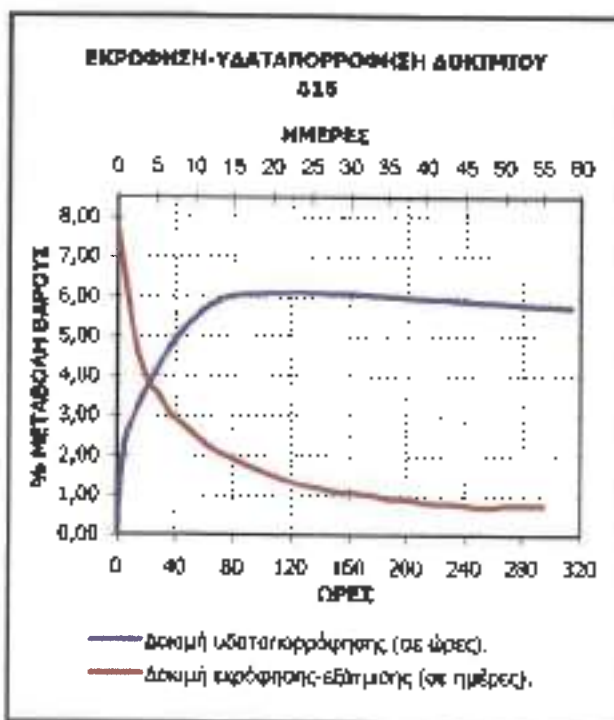


# ΔΟΚΙΜΙΟ Δ16

| ΕΚΡΩΦΗΞΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 1353,93             | -                           |
| 25/12/2002          | 1337,53             | -                           |
| 26/12/2002          | 1322,59             | 59%                         |
| 27/12/2002          | 1312,68             | 17%                         |
| 28/12/2002          | 1306,29             | 21%                         |
| 29/12/2002          | 1302,61             | 14%                         |
| 30/12/2002          | 1298,97             | 15%                         |
| 31/12/2002          | 1295,65             | 14%                         |
| 02/01/2003          | 1291,26             | 16%                         |
| 03/01/2003          | 1289,23             | 15%                         |
| 04/01/2003          | 1287,55             | 15%                         |
| 05/01/2003          | 1285,77             | 15%                         |
| 06/01/2003          | 1284,20             | 16%                         |
| 07/01/2003          | 1282,77             | 14%                         |
| 08/01/2003          | 1281,66             | 14%                         |
| 10/01/2003          | 1279,50             | 15%                         |
| 12/01/2003          | 1277,64             | 17%                         |
| 14/01/2003          | 1275,83             | 17%                         |
| 16/01/2003          | 1274,25             | 20%                         |
| 18/01/2003          | 1272,99             | 24%                         |
| 20/01/2003          | 1272,06             | 17%                         |
| 22/01/2003          | 1271,17             | 14%                         |
| 24/01/2003          | 1270,96             | 14%                         |
| 27/01/2003          | 1269,87             | 24%                         |
| 28/01/2003          | 1269,41             | 25%                         |
| 29/01/2003          | 1269,14             | 24%                         |
| 30/01/2003          | 1269,10             | 18%                         |
| 31/01/2003          | 1268,97             | 15%                         |
| 01/02/2003          | 1268,55             | 22%                         |
| 03/02/2003          | 1267,97             | 27%                         |
| 05/02/2003          | 1267,70             | 17%                         |
| 07/02/2003          | 1267,29             | 30%                         |
| 08/02/2003          | 1266,98             | 46%                         |
| 10/02/2003          | 1266,72             | 41%                         |
| 12/02/2003          | 1267,26             | 13%                         |
| 14/02/2003          | 1267,35             | 14%                         |
| 15/02/2003          | 1267,39             | 21%                         |
| 17/02/2003          | 1267,40             | 17%                         |

| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003 11:30    | 1270,54             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 11:45    | 1277,12             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003 12:15    | 1282,55             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003 13:15    | 1289,13             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003 15:15    | 1296,77             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 18:15    | 1303,60             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003 13:15    | 1322,47             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003 11:15      | 1337,58             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003 10:15      | 1345,67             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003 11:15      | 1347,81             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003 11:00    | 1347,90             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003 9:45     | 1346,17             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003 12:15    | 1343,45             | 62%<br>18 |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,5     |
| Διάμετρος δοκιμίου       | 12      |
| Ξηρό βάρος               | 1257,82 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |

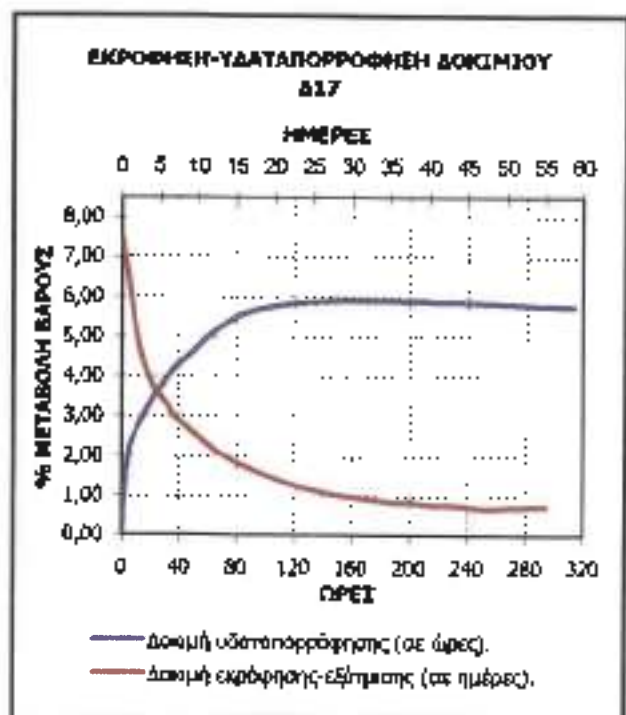


# ΔΟΚΙΜΙΟ Δ17

| ΕΚΡΟΦΗΞΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ   |                     |                            |
|---------------------|---------------------|----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φαύρος RH% |
| 24/12/2002          | 1329,98             | -                          |
| 25/12/2002          | 1314,59             | -                          |
| 26/12/2002          | 1299,59             | 59%                        |
| 27/12/2002          | 1290,26             | 17%                        |
| 28/12/2002          | 1284,16             | 21%                        |
| 29/12/2002          | 1280,50             | 14%                        |
| 30/12/2002          | 1277,68             | 15%                        |
| 31/12/2002          | 1273,99             | 14%                        |
| 02/01/2003          | 1269,60             | 16%                        |
| 03/01/2003          | 1267,61             | 15%                        |
| 04/01/2003          | 1265,82             | 15%                        |
| 05/01/2003          | 1263,98             | 15%                        |
| 06/01/2003          | 1262,48             | 16%                        |
| 07/01/2003          | 1261,09             | 14%                        |
| 08/01/2003          | 1259,99             | 14%                        |
| 10/01/2003          | 1257,77             | 15%                        |
| 12/01/2003          | 1255,96             | 17%                        |
| 14/01/2003          | 1254,16             | 17%                        |
| 16/01/2003          | 1252,61             | 20%                        |
| 18/01/2003          | 1251,41             | 24%                        |
| 20/01/2003          | 1250,45             | 17%                        |
| 22/01/2003          | 1249,60             | 14%                        |
| 24/01/2003          | 1248,99             | 14%                        |
| 27/01/2003          | 1248,17             | 24%                        |
| 28/01/2003          | 1247,82             | 25%                        |
| 29/01/2003          | 1247,53             | 24%                        |
| 30/01/2003          | 1247,60             | 18%                        |
| 31/01/2003          | 1247,55             | 15%                        |
| 01/02/2003          | 1247,23             | 22%                        |
| 03/02/2003          | 1246,83             | 27%                        |
| 05/02/2003          | 1246,80             | 17%                        |
| 07/02/2003          | 1246,35             | 30%                        |
| 08/02/2003          | 1246,05             | 46%                        |
| 10/02/2003          | 1245,77             | 41%                        |
| 12/02/2003          | 1246,20             | 13%                        |
| 14/02/2003          | 1246,26             | 14%                        |
| 15/02/2003          | 1246,41             | 21%                        |
| 17/02/2003          | 1246,47             | 17%                        |

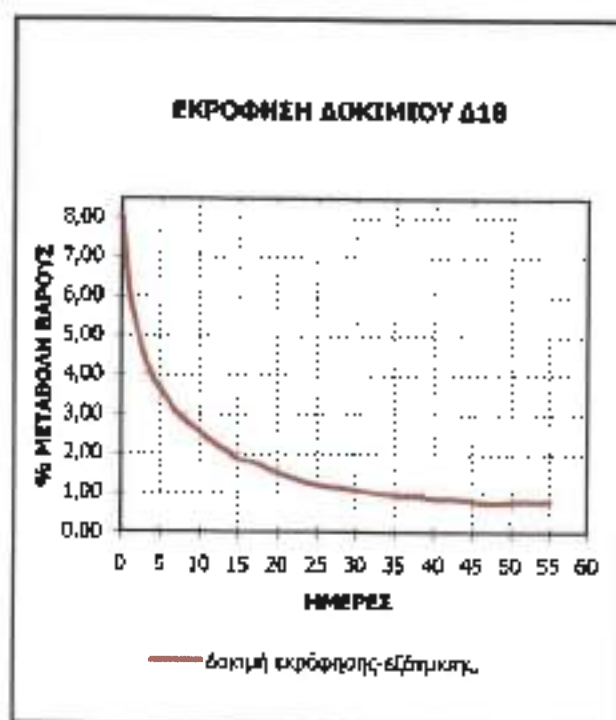
| ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΞΗ      |                     |           |
|---------------------|---------------------|-----------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | RH% - C   |
| 04/03/2003 11:30    | 1250,98             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 11:45    | 1256,80             | 65%<br>19 |
| 04/03/2003 12:15    | 1261,76             | 72%<br>19 |
| 04/03/2003 13:15    | 1267,51             | 67%<br>19 |
| 04/03/2003 15:15    | 1274,44             | 63%<br>19 |
| 04/03/2003 18:15    | 1280,77             | 63%<br>19 |
| 05/03/2003 13:15    | 1297,28             | 55%<br>19 |
| 6/3/2003 11:15      | 1308,19             | 55%<br>19 |
| 7/3/2003 10:15      | 1317,26             | 59%<br>19 |
| 8/3/2003 11:15      | 1322,13             | 67%<br>19 |
| 10/03/2003 11:00    | 1324,58             | 63%<br>19 |
| 13/03/2003 9:45     | 1324,61             | 56%<br>20 |
| 17/03/2003 12:15    | 1322,89             | 62%<br>18 |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,8     |
| Διάμετρος δοκιμίου       | 12      |
| Ξηρό βάρος               | 1237,47 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |



| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 1305,91             | -                           |
| 25/12/2002          | 1282,21             | -                           |
| 26/12/2002          | 1271,66             | 59%                         |
| 27/12/2002          | 1262,41             | 17%                         |
| 28/12/2002          | 1256,31             | 21%                         |
| 29/12/2002          | 1252,73             | 14%                         |
| 30/12/2002          | 1249,13             | 15%                         |
| 31/12/2002          | 1245,76             | 14%                         |
| 02/01/2003          | 1241,40             | 16%                         |
| 03/01/2003          | 1239,51             | 15%                         |
| 04/01/2003          | 1237,77             | 15%                         |
| 05/01/2003          | 1236,15             | 15%                         |
| 06/01/2003          | 1234,55             | 16%                         |
| 07/01/2003          | 1233,23             | 14%                         |
| 08/01/2003          | 1231,58             | 14%                         |
| 10/01/2003          | 1230,32             | 15%                         |
| 12/01/2003          | 1228,18             | 17%                         |
| 14/01/2003          | 1226,35             | 17%                         |
| 16/01/2003          | 1224,87             | 20%                         |
| 18/01/2003          | 1223,57             | 24%                         |
| 20/01/2003          | 1223,11             | 17%                         |
| 22/01/2003          | 1222,56             | 14%                         |
| 24/01/2003          | 1221,65             | 14%                         |
| 27/01/2003          | 1220,76             | 24%                         |
| 28/01/2003          | 1220,38             | 25%                         |
| 29/01/2003          | 1219,99             | 24%                         |
| 30/01/2003          | 1219,91             | 18%                         |
| 31/01/2003          | 1219,96             | 15%                         |
| 01/02/2003          | 1219,51             | 22%                         |
| 03/02/2003          | 1219,05             | 27%                         |
| 05/02/2003          | 1219,10             | 17%                         |
| 07/02/2003          | 1218,55             | 30%                         |
| 08/02/2003          | 1218,22             | 46%                         |
| 10/02/2003          | 1217,91             | 41%                         |
| 12/02/2003          | 1218,31             | 13%                         |
| 14/02/2003          | 1218,39             | 14%                         |
| 15/02/2003          | 1218,45             | 21%                         |
| 17/02/2003          | 1218,55             | 17%                         |

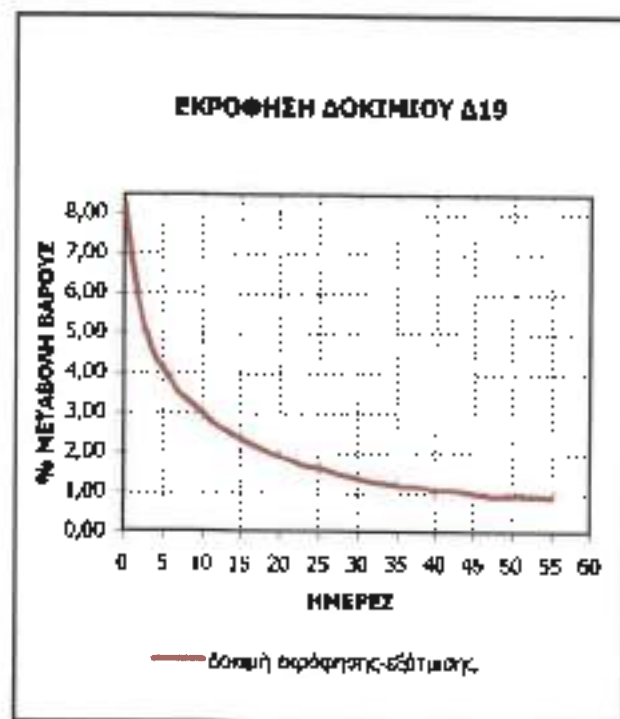
| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Υψος δοκιμίου (cm)       | 5,3     |
| Διάμετρος δοκιμίου       | 12      |
| Ξηρό βάρος               | 1208,94 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |



# ΔΟΚΙΜΙΟ Δ19

| ΕΚΡΟΦΗ-ΕΞΑΤΜΙΣΗ     |                     |                             |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Ημερομηνία μέτρησης | Βάρος δοκιμίου (gr) | Σχετική υγρασία Φούρνου RH% |
| 24/12/2002          | 1506,57             | -                           |
| 25/12/2002          | 1485,63             | -                           |
| 26/12/2002          | 1469,84             | 59%                         |
| 27/12/2002          | 1459,16             | 17%                         |
| 28/12/2002          | 1452,13             | 21%                         |
| 29/12/2002          | 1447,72             | 14%                         |
| 30/12/2002          | 1444,00             | 15%                         |
| 31/12/2002          | 1440,13             | 14%                         |
| 02/01/2003          | 1434,98             | 16%                         |
| 03/01/2003          | 1432,71             | 15%                         |
| 04/01/2003          | 1430,58             | 15%                         |
| 05/01/2003          | 1428,38             | 15%                         |
| 06/01/2003          | 1426,67             | 16%                         |
| 07/01/2003          | 1424,96             | 14%                         |
| 08/01/2003          | 1423,69             | 14%                         |
| 10/01/2003          | 1421,09             | 15%                         |
| 12/01/2003          | 1418,71             | 17%                         |
| 14/01/2003          | 1416,55             | 17%                         |
| 16/01/2003          | 1414,48             | 20%                         |
| 18/01/2003          | 1413,57             | 24%                         |
| 20/01/2003          | 1412,02             | 17%                         |
| 22/01/2003          | 1410,68             | 14%                         |
| 24/01/2003          | 1409,54             | 14%                         |
| 27/01/2003          | 1408,16             | 24%                         |
| 28/01/2003          | 1407,83             | 25%                         |
| 29/01/2003          | 1407,29             | 24%                         |
| 30/01/2003          | 1407,13             | 18%                         |
| 31/01/2003          | 1407,00             | 15%                         |
| 01/02/2003          | 1406,47             | 22%                         |
| 03/02/2003          | 1405,99             | 27%                         |
| 05/02/2003          | 1405,67             | 17%                         |
| 07/02/2003          | 1404,77             | 30%                         |
| 08/02/2003          | 1404,22             | 46%                         |
| 10/02/2003          | 1403,61             | 41%                         |
| 12/02/2003          | 1403,76             | 13%                         |
| 14/02/2003          | 1403,58             | 14%                         |
| 15/02/2003          | 1403,62             | 21%                         |
| 17/02/2003          | 1403,35             | 17%                         |

| ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ |         |
|--------------------------|---------|
| Ύψος δοκιμίου (cm)       | 5,4     |
| Διάμετρος δοκιμίου       | 12      |
| Ξηρό βάρος               | 1391,32 |
| Αντοχή σε διάρρηξη (MPa) | -       |



- [1]** Ν. Μαρσέλλας, «ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ-Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97)», Εκδόσεις π-SYSTEMS INTERNATIONAL ΑΕ, Αθήνα Νοέμβριος 1997.
- [2]** Ν. Μαρσέλλας, «ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ-Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97 και η προσαρμογή 2002)», Εκδόσεις π-SYSTEMS INTERNATIONAL ΑΕ, Τέταρτη Έκδοση, Αθήνα Σεπτέμβριος 2002.
- [3]** Σ. ΚΟΛΙΑΣ, «Προχωρημένη Τεχνολογία Σκυροδέματος», Σημειώσεις Μεταπτυχιακών Μαθημάτων, 1998.
- [4]** ΧΡΙΣΤΟΥ Μ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, «ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ», Εκδόσεις ART of TEXT, Δεύτερη Έκδοση 1993.
- [5]** Τσίμας Σταμάτης, Παρισάκης Γεώργιος, «ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΧΗΜΕΙΑ, Χημεία Τσιμέντου», Σημειώσεις Μαθημάτων, Αθήνα 1993.
- [6]** ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ EN 197-1, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης Α.Ε.
- [7]** P. K. Mehta, «Concrete Structure, Properties and Materials», Prentice Hall, 1986.
- [8]** A. M. Neville, «Properties of Concrete», Longman Scientific & Technical, Third edition.
- [9]** R. Zimbelmann, «A Contribution to the Problem of Cement-Aggregate Bond», Cement and Concrete Research, Otto-Graf-Institut, F. R. Germany, Pergamon Press 1985.
- [10]** A. M. Neville & J. J. Brooks, «Concrete Technology», Revised Longman Scientific & Technical.

- [11] Θ. Π. Τάσιος, Κ. Αλιγιζάκη, «ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ», Εκδόσεις Φαίρος, Αθήνα 1993.
- [12] M. Lusche, «Beitrag zum Bruchmechanismus von auf Druck beanspruchtem Normal- und Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge», Verein Deutscher Zementwerke e.V., D.s.seldorf, Heft 39/1972.
- [13] Γ. Νουτσόπουλος – Γ. Χριστοδούλου, «ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ», Πρώτη Έκδοση, Αθήνα 1996.
- [14] Cement and Concrete Research 29, «Relative humidity in the Interior of concrete exposed to natural and artificial weathering”, C. Andrade, J. Sarria, C. Alonso, June 1999.
- [15] RILEM TC 116-PCD: Permeability of Concrete as a Criterion of its Durability, «Concrete durability – An approach towards performance testing», Materials and Structures, Vol.32, April 1999, pp 163-173.