

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αναπληρωτής Καθηγητής Σ.ΚΟΛΙΑΣ

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΡΙΧΟΕΙΔΗ
ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ: α) ΕΙΔΟΥΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ
β) Ν/Τ
γ) ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ
δ) ΗΛΙΚΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

ΑΣΗΜΗ ΦΩΤΕΙΝΗ

Με ιδιαίτερη θερμότητα εκφράζω τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου στον Αναπληρωτή καθηγητή κ.Στέλιο Κόλια για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές, καθώς και για την ψυχική και ηθική συμπαράσταση που μου προσέφερε καθ'όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, ευχαριστίες εκφράζω και στους Τάσο Καραχάλιο και Κώστα Ζόμπολα, οι οποίοι με βοήθησαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Περιεχόμενα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

ΜΕΡΟΣ Α΄: ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κεφάλαιο 1

ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1.1 ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ.....	1
1.1.1 Παραγωγή.....	1
1.1.2 Χημική σύνθεση.....	2
1.1.3 Τύποι τσιμέντων.....	3
1.1.4 Ενυδάτωση.....	4
1.2 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ.....	6
1.2.1 Γενικά.....	6
1.2.2 Προέλευση και αντοχή των αδρανών.....	7
1.2.3 Καθαρότητα.....	7
1.2.4 Η κοκκομετρική διαβάθμιση.....	9
1.2.5 Η μορφή των κόκκων.....	12
1.3 ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΕΙΞΕΩΣ.....	12

Κεφάλαιο 2

ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1 ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	14
2.1.1 Εξίδρωση.....	14
2.1.2 Απόμεριξη.....	15
2.1.3 Εργάσιμο.....	15
2.2 ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	16
2.2.1 Η αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις.....	16
2.2.1.1 Γενικά για την αντοχή.....	16
2.2.1.2 Η αντοχή στις διάφορες μορφές καταπονήσεων.....	18
2.2.1.3 Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο.....	20
2.2.1.4 Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες συνθέσεως.....	20
2.2.2 Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά.....	21
2.2.3 Χρόνια συστολή και διαστολή του σκυροδέματος.....	23
2.2.4 Ερπυσμός.....	25
2.2.5 Το πορώδες.....	26
2.2.6 Υδαταπορροφητικότητα και υδατοπερατότητα.....	27
2.2.7 Θερμοαγωγιμότητα.....	29
2.2.8 Θερμοδιαστολή.....	29
2.2.9 Απορρόφηση ραδιενεργών ακτινοβολιών.....	30

Κεφάλαιο 3

ΤΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ.....	31
3.1 ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ.....	32
3.2 ΑΕΡΑΚΤΙΚΑ.....	32
3.3 ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΙΚΑ.....	33
3.4 ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΙΚΑ.....	34
3.5 ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ.....	34

3.6 ΑΝΤΙΠΑΓΕΤΙΚΑ.....	35
-----------------------	----

Κεφάλαιο 4

ΑΛΛΑ ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	37
------------------------------------	-----------

4.1 ΕΛΑΦΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ.....	37
-----------------------------	----

ΜΕΡΟΣ Β΄: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κεφάλαιο 1

ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ.....	38
1.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	38
1.1.1 Διαθέσιμη υγρασία.....	38
1.1.2 Παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό.....	39
1.1.3 Θερμοκρασία.....	39
1.2 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	40
1.2.1 Σύσταση τσιμέντου.....	40
1.2.2 Λόγος Ν/Τ.....	40
1.2.3 Πορώδες.....	40
1.2.4 Συμπύκνωση.....	41
1.2.5 Συντήρηση.....	41
1.2.6 Ύπαρξη ρωγμών.....	42
1.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	42

Κεφάλαιο 2

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.0 ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΩΣ ΥΛΙΚΟ.....	44
2.1 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ.....	44
2.1.1 Μηχανική φθορά σκυροδέματος.....	44
2.1.1.1 Απότριψη σκυροδέματος.....	45
2.1.1.2 Υδροφθορά σκυροδέματος.....	48
2.1.1.3 Δράση σπηλαιώσεως.....	49
2.1.2 Επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων.....	49
2.1.2.1 Μηχανισμός φθοράς λόγω επιδράσεως παγετού.....	49
2.1.2.2 Επίδραση αντιπαγωτικών αλάτων.....	50
2.1.2.3 Μηχανισμός δράσεως των αντιπαγωτικών αλάτων.....	51
2.1.2.4 Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού.....	52
2.1.2.5 Πώς εμφανίζεται η φθορά λόγω επιδράσεως παγετού.....	55
2.2 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ.....	
2.2.1 Επίδραση μαλακού νερού.....	57
2.2.2 Επίδραση οξέων.....	58
2.2.3 Επίδραση αλάτων.....	58
2.2.4 Επίδραση ελαιωδών ουσιών.....	59
2.2.5 Επίδραση άλλων ουσιών.....	60
2.2.6 Βιολογική επίδραση.....	60
2.2.7 Αντίδραση αλκαλίων-αδρανών.....	61

Κεφάλαιο 3

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΣΥΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....63

Αιτίες ανεπαρκούς ανθεκτικότητας.....	63
Μεταφορά υγρών στο σκυρόδεμα.....	64
Επιρροή του πορώδους συστήματος.....	64
Ροή, Διάχυση και Απορρόφηση.....	65
Συντελεστής διαπερατότητας.....	66
Διάχυση.....	67
Συντελεστής διάχυσης.....	67
Διάχυση μέσω αέρα και νερού.....	67
Απορρόφηση.....	68
Επιφάνεια δοκιμών απορρόφησης.....	69
Απορροφητικότητα.....	70
Δοκιμή απορρόφησης νερού για σκυρόδεμα.....	71
Αποτελέσματα των πειραμάτων.....	72
Μέτρηση της απορρόφησης.....	74
Απορροφητικότητα των υλικών από τσιμέντο.....	75
Φαινόμενα τριχοειδών-Ρόφηση.....	76
1. Τριχοειδής ανύψωση.....	76
2. Εξάτμιση νερού μέσα σε τριχοειδή.....	79

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 1

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	82
2. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	84
2.1 ΥΛΙΚΑ.....	84
2.1.1 Εύρεση της πυκνότητας της άμμου σε κατάσταση κορεσμένου, επιφανειακά στεγνού υλικού.....	88
2.1.2 Εύρεση της πυκνότητας του γαρμπιλιού σε κατάσταση κορεσμένου, επιφανειακά στεγνού υλικού.....	89
2.2 ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ.....	90
2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	92
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ.....	95
3.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	95
3.2 ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ.....	96

Κεφάλαιο 2

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

2.0 ΓΕΝΙΚΑ.....	99
2.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕΣΟΥΣ ΟΡΟΥΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΒΑΡΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΛΟΓΩ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ.....	101
2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΛΟΓΟ Ν/Τ.....	103
2.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΗΛΙΚΙΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ.....	103
2.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΤΥΠΟ	

ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	104
Κεφάλαιο 3	
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΡΡΗΞΗ-ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	
3.0 ΠΕΡΙΦΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΘΡΑΥΣΕΩΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	106
3.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	107
Κεφάλαιο 4	
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ	
4.1 ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΒΑΡΟΥΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ.....	109
4.2 ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ.....	109
4.3 Η ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	110
4.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ Ν/Τ, ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ, ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	111
4.5 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	112
ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	113-160
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

ΜΕΡΟΣ Α΄: ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1.1 ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

1.1.1 Παραγωγή

Το τσιμέντο, σε αντίθεση με τις φυσικές κονίες, είναι προϊόν βιομηχανικό, που παρασκευάζεται από τη σύγχρονη όπτηση ασβεστολίθου και αργίλου.

Η σειρά των εργασιών από την εξόρυξη των πρώτων υλών ως το τελικό προϊόν είναι η ακόλουθη ^[1] :

- I. Εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων και αργιλικών εδαφών χωριστά. Τα πετρώματα αυτά περνούν από σπαστήρες, ώστε να τεμαχιστούν και να αποκτήσουν διάμετρο μερικών εκατοστών.
- II. Μετά την έξοδό τους από τους σπαστήρες γίνεται ανάμειξη των δύο υλικών (προομοιογενοποίηση)
- III. Έπειτα αλέθονται σε τριβεία, ώστε να αποκτήσουν διάμετρο λίγων χιλιοστών. Το προϊόν της αλέσεως, λεπτόκοκκο μείγμα ασβεστολιθικής και αργιλικής άμμου, αποθηκεύεται σε σιλό και ονομάζεται φαρίνα.
- IV. Το μείγμα εισάγεται στο επάνω άκρο κυλινδρικής καμίνου, η οποία περιστρέφεται αργά γύρω από τον άξονά της. Η θερμότητα παράγεται από καυστήρα πετρελαίου, τοποθετημένο στο κάτω άκρο της. Η θερμοκρασία μέσα στην κάμινο είναι περίπου 600 στο επάνω άκρο και φτάνει στους 1500 στο κάτω άκρο, που είναι και το σημείο εξόδου των προϊόντων. Τα προϊόντα της οπτήσεως ονομάζονται εκβολάδες ή διεθνώς klinker. Έχουν διάμετρο λίγων εκατοστών, χρώμα μαυροπράσινο και αποτελούν το βασικό υλικό του τσιμέντου Πόρτλαντ, ο οποίος τροφοδοτείται κυρίως με κάρβουνο ή πετρέλαιο ή κοκ πετρελαίου.

- V. Τα προϊόντα αυτά της οπτήσεως, οι εκβολάδες, αλέθονται και αποκτούν τη γνωστή μορφή του τσιμέντου.

1.1.2 Χημική σύνθεση

Η χημική σύνθεση του τσιμέντου δεν είναι απόλυτα σταθερή, αλλά εξαρτάται από τη χημική σύνθεση των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες και από τον τρόπο παραγωγής, και κυρίως από τον χρόνο και τη θερμοκρασία οπτήσεως.

Οι επικρατέστερες ενώσεις του τσιμέντου είναι το οξείδιο του ασβεστίου (CaO) και το οξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Ακολουθούν σε μικρότερες τα οξείδια άλλων μετάλλων, όπως του αργιλίου, του σιδήρου, του μαγνησίου κ.α. Τα τελευταία αυτά οξείδια, παρόλο τη μικρή ποσότητά τους, έχουν καθοριστική σημασία στις τελικές ιδιότητες του τσιμέντου.

Οι παραπάνω ενώσεις, που εμφανίζονται κατά τη χημική ανάλυση, βρίσκονται συνενωμένες στα ακόλουθα τέσσερα κύρια συστατικά^[1]:

- I. Το πυριτικό τριασβέστιο $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ σε ποσοστό 54% περίπου κατά βάρος.
- II. Το πυριτικό διασβέστιο $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Βρίσκεται σε ποσοστό ~17%.
- III. Το αργιλικό τριασβέστιο $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Βρίσκεται σε ποσοστό ~19%
- IV. Το αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Βρίσκεται σε ποσοστό ~9%

Εκτός από τα παρακάτω τέσσερα βασικά συστατικά υπάρχουν στο τσιμέντο, σε μικρότερες ποσότητες, και τα ακόλουθα δευτερεύοντα :

- I. Οξείδιο του μαγνησίου (MgO) ή μαγνησία. Όταν το οξείδιο του μαγνησίου ενωθεί με νερό, διογκώνονται αργά και προκαλεί ζημιές. Γι' αυτό και οι Κανονισμοί περιορίζουν την ποσότητα αυτού στο τσιμέντο σε 5% το πολύ. Στο οξείδιο του μαγνησίου οφείλεται το γκριζοπράσινο χρώμα του τσιμέντου. Τσιμέντα χωρίς MgO έχουν χρώμα καφετί.
- II. Γύψος (CaSO_4). Προσθέτουμε το γύψο στο klinker για τη ρύθμιση της ταχύτητας πήξεως. Η δράση του γύψου, ως προς την ταχύτητα πήξεως, είναι περίεργη. Ενώ ο γύψος μόνος του είναι ταχύπηκτος,

σε ποσότητα μέχρι 3% παρεμποδίζει το επίσης ταχύπηκτο αργλικό τριασβέστιο (C_3A) με επιβραδυντικό αποτέλεσμα. Σε ποσότητες όμως μεγαλύτερες από 3% αρχίζει και πάλι να επικρατεί η επιταχυντική του δράση.

- III. Αλκάλια (K_2O και Na_2O). Τα αλκάλια σε μικρές ποσότητες είναι αβλαβή, ενώ σε μεγαλύτερες προκαλούν ανωμαλίες στην ταχύτητα πήξεως.

1.1.3 Τύποι τσιμέντων

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

Γι' αυτό το λόγο, το πρότυπο προβλέπει μεγάλο αριθμό προϊόντων τσιμέντου, τα οποία όμως δεν κυκλοφορούν κατ' ανάγκη σε κάθε χώρα μέλος, λόγω των ιδιοτεροτήτων στις πρώτες ύλες και στο κλίμα αυτών.

Το πρότυπο EN 197-1 προδιαγράφει^[11] σε γενική μορφή τους εξής τύπους τσιμέντου:

Πίνακας 1 : Βασικοί τύποι τσιμέντου

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

Ο συμβολισμός των διαφόρων τσιμέντων, 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 CEM II / B - M 42,5 N

Οι διαφορές στις κατηγορίες αντοχών του υφιστάμενου ελληνικού κανονισμού ΠΔ 244/80 και του προτύπου ΕΛΟΤ EN 197 –1 δίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 2 : Διαφορές αντοχών ΠΔ 244/80
και ΕΛΟΤ EN 197-1

ΠΔ 244/80		ΕΛΟΤ EN 197-1	
Κατηγορία Αντοχών	ΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΩΝ (N/mm ²)	Κατηγορία Αντοχών	ΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΩΝ (N/mm ²)
35	25-45	32,5	32,5-52,5
45	35-55	42,5	42,5-62,5
55	≥ 45	52,5	≥ 52,5

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.

1.1.4 Ενυδάτωση

Η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος οφείλονται αποκλειστικά στη χημική δράση μεταξύ τσιμέντου και νερού. Τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό ύστερα από μία σειρά περίπλοκων χημικών αντιδράσεων που διαρκούν επί χρόνια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *ενυδάτωση* του τσιμέντου^[1].

Με την ανάμειξη του τσιμέντου με το νερό δημιουργείται μία γκριζοπράσινη πολτώδης μάζα, ο τσιμεντοπολτός. Η ρευστότητα του μείγματος εξαρτάται από τις αναλογίες μείξεως των δύο υλικών.

Για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, το μείγμα δε φαίνεται να παρουσιάζει καμία μεταβολή. Αργότερα όμως φαίνεται ότι αρχίζει να πήζει προοδευτικά έως ότου στερεοποιηθεί τελείως. Το φαινόμενο αυτό καλείται πήξη της τσιμεντοκονίας

και οι χαρακτηριστικές στιγμές αλλαγής της φυσικής καταστάσεως ονομάζονται αρχή και τέλος της πήξεως.

Κατά το χρονικό διάστημα έως την αρχή της πήξεως, ο τσιμεντοπολτός είναι ακόμη επιδεκτικός κατεργασίας και μεταφοράς. Γι' αυτό και οι Κανονισμοί ορίζουν ότι η αρχή της πήξεως για τα κοινά τσιμέντα δεν πρέπει να εμφανίζεται νωρίτερα από μία ώρα από την στιγμή αναμείξεως των δύο υλικών και το τέλος της πήξεως αργότερα από 12 ώρες.

Ο πίνακας 3 δίνει τα χρονικά όρια έναρξης πήξης σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-1.

Πίνακας 3: Απαιτήσεις μηχανικές και φυσικές οριζόμενες ως χαρακτηριστικές τιμές.

Κατηγορία Αντοχής	Αντοχή στη θλίψη MPa				Αρχικός χρόνος πήξης	Διόγκωση (Διαστολή)
	Αρχική αντοχή		Τυπική αντοχή			
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες		min	mm
32.5 N	-	≥16.0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32.5 R	≥10.0	-				
42.5 N	≥10.0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42.5 R	≥20.0	-				
52.5 N	>20.0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52.5 R	≥30.0	-				

Στην περίπτωση του σκυροδέματος, δηλαδή του μείγματος τσιμέντου, νερού και αδρανών υλικών, ο χρόνος έως την αρχή της πήξεως γίνεται δύο έως τέσσερις φορές μεγαλύτερος^[1].

Οι παρακάτω διαχωρισμοί έχουν πρακτική μόνο αξία και χρησιμεύουν για τον καθορισμό του χρόνου κατεργασίας και του χρόνου απομακρύνσεως των ξυλοτύπων.

Από χημική όμως άποψη η εξέλιξη είναι διαφορετική, χωρίς τις απότομες αυτές αλλαγές.

Οι χημικές διαδικασίες αρχίζουν αμέσως με την ανάμειξη των δύο υλικών και συνεχίζονται ομαλά επί χρόνια. Κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων αυτών τα

τέσσερα κύρια συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό και σχηματίζουν τα προϊόντα ενυδατώσεως-πήγμα. Τα προϊόντα ενυδάτωσης, εκτός από τους κρυστάλλους $\text{Ca}(\text{OH})_2$, είναι κολλοειδών διαστάσεων, άμορφα (όχι κρυσταλλικά) με πολύ μεγάλη ειδική επιφάνεια. Στην επιφάνειά τους συγκρατούν -δεσμεύουν- νερό το οποίο σε αντιδιαστολή από το χημικά δεσμευμένο νερό ονομάζεται επιφανειακά δεσμευμένο νερό^[12].

1.2 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

1.2.1 Γενικά

Το σκυρόδεμα αποτελείται από αδρανή υλικά και τσιμεντοκονία που χρησιμεύει ως συνδετική ύλη αυτών.

Τα αδρανή υλικά οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι παραμένουν χημικώς αδρανή, σε αντίθεση με το τσιμέντο και το νερό, στη χημική δράση των οποίων, οφείλεται η σκλήρυνση του σκυροδέματος. Τα αδρανή υλικά συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους και συμβάλλουν, μηχανικά μόνο, στην αντοχή του τελικού προϊόντος.

Για αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν θεωρητικά οποιαδήποτε υλικά συγκεντρώνουν τις τρεις βασικές απαιτήσεις : επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση και χημική ανεκτικότητα με την τσιμεντοκονία.

Το συγγενέστερο υλικό προς την τσιμεντοκονία είναι τα πετρώματα και γι' αυτό κατά κανόνα ως αδρανή υλικά για την παρασκευή του 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 προελεύσεως χρησιμοποιούνται για ειδικά σκυροδέματα, όπως τα ελαφρά ή τα βαριά σκυροδέματα ή σκυροδέματα με ειδικούς σκοπούς.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι το σχήμα και η διαβάθμισή τους και δευτερευόντως η αντοχή τους (αντοχή του μητρικού πετρώματος), η καθαρότητα (η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών), η πρόσφυση με την κονία, η χημική

συμπεριφορά τους με τα άλλα συστατικά του σκυροδέματος ή με ουσίες που μπορεί να διεισδύσουν μέσα στο σκυρόδεμα κατά την διάρκεια της ζωής του, το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων κ.α.

1.2.2 Προέλευση και αντοχή των 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. Εκτός από την παραπάνω αντοχή σε θλίψη, 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 πετρώματος. Τέλος, πρέπει το πέτρωμα να διαθέτει αρκετή αντοχή σε επιφανειακή φθορά, δηλαδή αντοχή σε επιφανειακή τριβή και επιφανειακές κρούσεις.

Οι παραπάνω ιδιότητες ελέγχονται με πρότυπες μεθόδους που καθορίζονται στους κανονισμούς κάθε χώρας ή τους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς prEN 12620.

1.2.3 Καθαρότητα

Με την έννοια αυτή εννοούμε ότι τα αδρανή δεν πρέπει να έχουν επάνω στην επιφάνειά τους ή μέσα στη μάζα τους ή αναμεταξύ τους ξένες ουσίες που μπορεί να εμποδίσουν την πρόσφυση με το κονίαμα ή να έχουν επιβλαβή χημική επίδραση στο τσιμέντο ή στο σίδηρο.

Τα κυριότερα από τα επιβλαβή αυτά πρόσμεικτα υλικά είναι:

α) Παιπάλη

Ως παιπάλη χαρακτηρίζεται το λεπτότερο τμήμα του υλικού, συνήθως διαμέτρου μικρότερης από 0,2 mm. Κατά τους Αμερικανικούς Κανονισμούς και τον ΚΤΣ'97 ως παιπάλη (filler) χαρακτηρίζεται το υλικό που περνάει από το κόσκινο No 200 (τετραγωνικής οπής 0,074mm). Κατά άλλους το όριο αυτό τοποθετείται στα 0,02mm και με τα πρόσφατα Ευρωπαϊκά πρόσθετα το όριο είναι 0,063mm.

Η παιπάλη μπορεί να είναι πηλός ή άργιλος ή σκόνη από το ίδιο το πέτρωμα. Ιδιαίτερη όμως σημασία έχει η κατανομή της παιπάλης μέσα στα αδρανή. Μπορεί να είναι α) κολλημένη επάνω στην επιφάνεια των χοντρότερων κόκκων, β) να

σχηματίζει μικρούς σβώλους και γ) να είναι διασκορπισμένη ομοιόμορφα ανάμεσα στους κόκκους των αδρανών.

Στην πρώτη περίπτωση εμποδίζει την πρόσφυση μεταξύ αδρανών και κονιάματος. Στη δεύτερη περίπτωση δημιουργεί αδύνατα σημεία μέσα στη μάζα του σκυροδέματος. Στην τρίτη περίπτωση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής αλλά συντελεί όμως, ως ένα βαθμό, και στην αύξηση της πυκνότητας και της πλαστικότητας του μείγματος.

Το μέγιστο αποδεκτό ποσοστό παιπάλης είναι 1 έως 5% του συνολικού βάρους των αδρανών, ανάλογα με την κοκκομετρική σύνθεση και την προέλευση των αδρανών. Αν τα αδρανή είναι θραυστά και η παιπάλη προέρχεται κυρίως από την θραύση του πετρώματος, τότε επιτρέπονται σημαντικά μεγαλύτερα ποσοστά απ'ότι επιτρέπονται σε συλλεκτά υλικά.

Η παιπάλη απομακρύνεται, όταν τα αδρανή πλυθούν με νερό.

β) Οργανικές προσμείξεις

Στις οργανικές προσμείξεις περιλαμβάνονται υλικά οργανικής (ζωικής ή φυτικής) προελεύσεως, γαιάνθρακες και λιγνίτες.

Τα οργανικά προϊόντα μπορεί να έχουν επίδραση στην πήξη της κονίας ή να δημιουργήσουν ρηγματώσεις ή αποφλειώσεις (σκασίματα) στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η επίδρασή τους στην πήξη είναι μάλλον επιβραδυντική. Την ύπαρξη οργανικών ουσιών μπορούμε να τη διαπιστώσουμε, αν αναμείξουμε τα αδρανή με διάλυμα υδροξειδίου του Νατρίου (NaOH) 3%.

γ) Θειούχες ενώσεις

Θειούχες ενώσεις μεταξύ των αδρανών έχουν δυσμενή επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος και σε μεγαλύτερη ποσότητα ή όταν είναι συγκεντρωμένες σε ορισμένα σημεία, μπορούν να προκαλέσουν 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 το να διεισδύσει έπειτα μέσα στη μάζα του σκυροδέματος αέρας ή υγρασία.

Οι Γερμανικοί Κανονισμοί ορίζουν ως μέγιστο ανεκτό όριο των θειούχων ενώσεων, μετρούμενο σε SO_3 το 1% του βάρους των στεγνών αδρανών.

1.2.4 Η κοκκομετρική διαβάθμιση

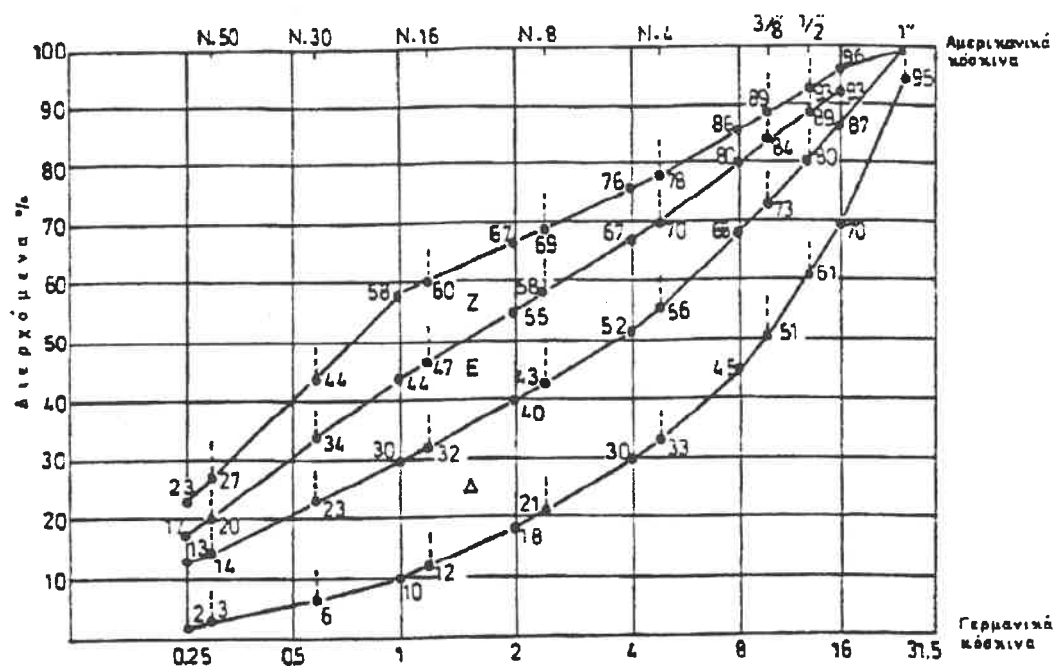
Κοκκομετρική διαβάθμιση είναι ο διαχωρισμός και η κατάταξη των κόκκων σε ομάδες από άποψη μεγέθους. Το μέγεθος των κόκκων προσδιορίζεται με πρότυπα κόσκινα που έχουν καθορισμένες διαμέτρους ή ανοίγματα οπών (ανάλογα από το αν έχουν κυκλικές ή τετραγωνικές οπές). Οι κόκκοι που περνούν από το κόσκινο με διάμετρο οπών 7mm και δεν παίρνουν από το κόσκινο με διάμετρο οπών 3mm, λέμε ότι έχουν διάμετρο μεταξύ 3 και 7mm.

Τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται κυρίως στην Ελλάδα είναι τα κόσκινα των Γερμανικών και των Αμερικανικών Κανονισμών αλλά σύντομα θα εναρμονιστούμε με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα, τα οποία υιοθετούν τα κόσκινα ISO. Με βάση τις συμβατικές διαμέτρους των κόκκων προσδιορίζεται η κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση ενός μείγματος κόκκων, ως η ποσοστιαία κατ'όγκο αναλογία κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων του υλικού.

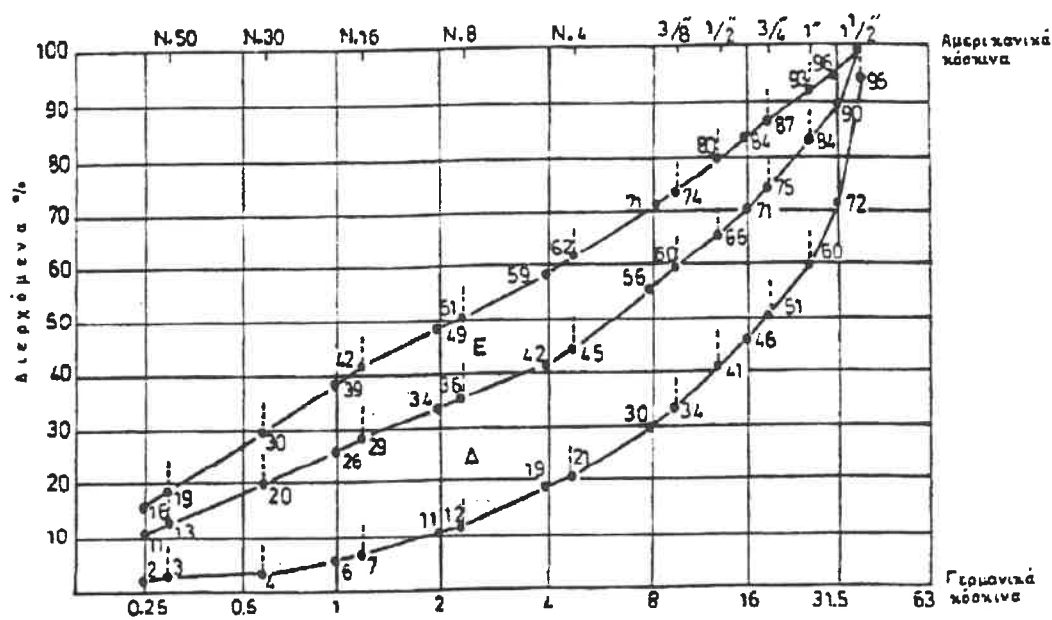
Η κοκκομετρική σύνθεση απεικονίζεται σε διάγραμμα με τις διαμέτρους στον οριζόντιο άξονα και τα ποσοστά του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο. Κάθε κοκκομετρική σύνθεση παριστάνεται με μια πολυγωνική γραμμή που λέγεται συνήθως "κοκκομετρική καμπύλη" επειδή υποθέτουμε ότι το υλικό έχει 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.

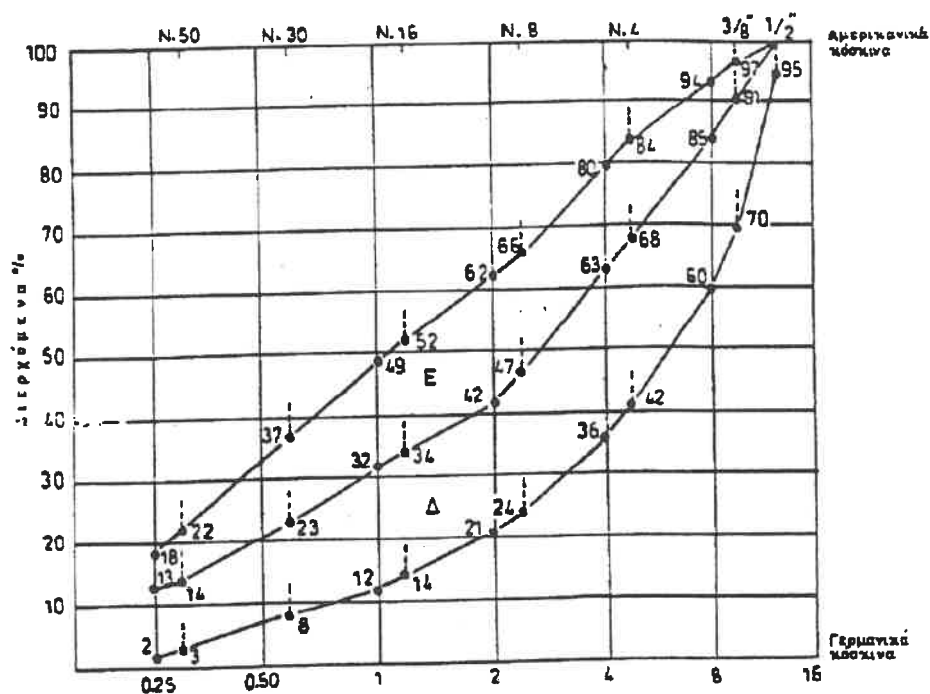
Ο Κ.Τ.Σ συνιστά τα ακόλουθα όρια^[13] ανάλογα με τον μέγιστο κόκκο αδρανούς:



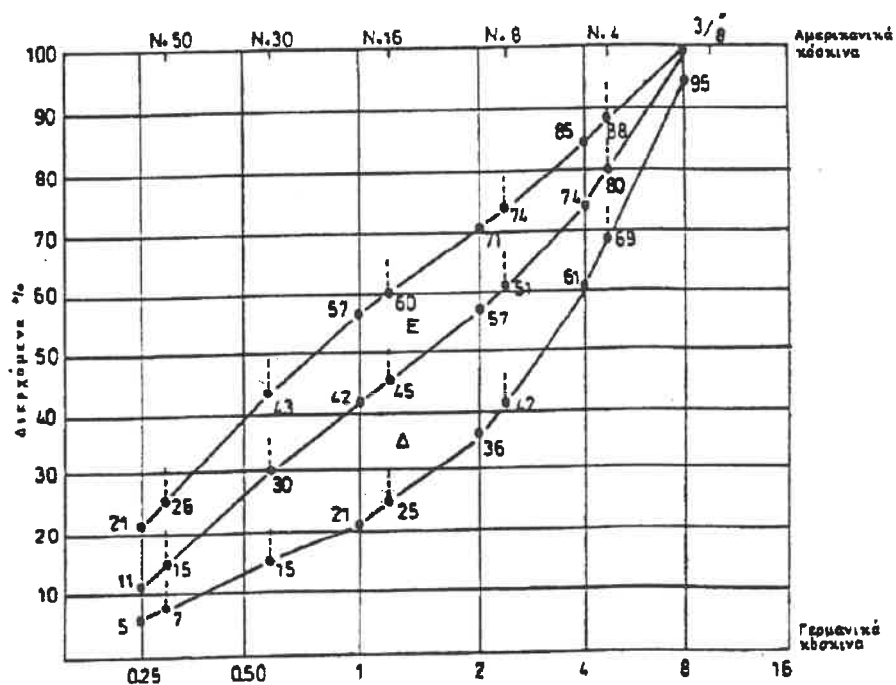
Διάγραμμα I: Ορια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 31,5 η 1"



Διάγραμμα II: Ορια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 63 η 1 1/2"



Διάγραμμα III: Ορια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μεγίστου κόκκου $\square$ 16 ή 1 1/2"



Διάγραμμα IV: Ορια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μεγίστου κόκκου $\square$ 8 ή 3/8"

1.2.5 Η μορφή των κόκκων

Οι κόκκοι των αδρανών δεν έχουν κανονική γεωμετρική μορφή αλλά τυχαία. Κατατάσσονται στις ακόλουθες γενικές κατηγορίες: στρογγυλοί, κυβοειδής, γωνιώδεις, πλαστικοειδείς, επιμήκεις. Το σχήμα ή η μορφή των κόκκων επηρεάζει, άσχετα από την επιρροή του μεγέθους, κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

Επηρεάζει πρώτον το εργάσιμο με την εσωτερική τριβή τους. Η σφαιρική μορφή παρουσιάζει τη μικρότερη γωνία τριβής και επομένως τη μεγαλύτερη ευκινησία (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.

Κατά τον ίδιο τρόπο και οι κυβοειδής και οι πλακοειδής κόκκοι συντελούν στη μηχανική αντοχή του σκυροδέματος λόγω της καλύτερης εδράσεως αυτών. Είναι καλύτερο οι κόκκοι των αδρανών να έχουν μορφή που πλησιάζει το σφαιρικό ή το κυβοειδές αλλά με ανώμαλη, γωνιώδη και όχι λεία εξωτερική επιφάνεια.

1.3 ΤΟ ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΕΙΞΕΩΣ

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 κρυστάλλων, στην πήξη και τη σκλήρυνση του μείγματος. Η βασική απαίτηση απέναντι στο νερό είναι να μην περιέχει συστατικά που μπορούν να βλάψουν ή να επηρεάσουν τις αντιδράσεις ενυδατώσεως.

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

α) Η ζάχαρη

Θεωρείται μία από τις πιο επιβλαβείς ουσίες γιατί ανακόπτει τελείως τη χημική αντίδραση ανάμεσα στο τσιμέντο και το νερό και επομένως εμποδίζει την

πήξη του σκυροδέματος. Η ελάχιστη ανεκτή ποσότητα της ζάχαρης μέσα στο σκυρόδεμα είναι εξαιρετικά χαμηλή.

Πριν από την απότομη ανακοπή της χημικής αντιδράσεως, φαίνεται από τα πειράματα, ότι προηγείται μικρή περιοχή επιταχύνσεως αυτής. Αποτελέσματα μετρήσεων σε τσιμεντοκονιάματα δείχνουν, κάτω από κάποιο όριο, αύξηση της αντοχής έως 30%, ενώ από το όριο αυτό και πάνω γρήγορη διακοπή της ενυδατώσεως. Το όριο αυτό δεν είναι απόλυτα εξακριβωμένο γιατί σε άλλες μετρήσεις έχει βρεθεί 0,25% κατά βάρος του τσιμέντου και σε άλλες 0,1% του βάρους του τσιμέντου.

Από τις παραπάνω μετρήσεις πάντως προκύπτει ότι το όριο αυτό της ανεκτής ποσότητας είναι τόσο χαμηλό, ώστε πρέπει να αποκλειστεί και η παραμικρή ποσότητα ζάχαρης ή ζαχαρούχων προϊόντων.

β) Τα οξέα

Τα οξέα, όπως το ανθρακικό οξύ ή άλλα οργανικής προελεύσεως, δεσμεύουν το ασβέστιο που είναι απαραίτητο για την πήξη. Η βλαπτικότητά του γίνεται περισσότερο αισθητή σε τσιμέντα με μικρή περιεκτικότητα σε ασβέστιο. Ως μέτρο για την οξύτητα ή αλκαλικότητα του νερού χρησιμεύει η τιμή του PH ,δηλαδή η πυκνότητα των ιόντων του υδρογόνου που υπάρχουν στο νερό. Επικίνδυνο θεωρείται το νερό με $pH < 4 - 6$

γ) Τα λάδια και λίπη

Δρουν μηχανικά περιβάλλοντας τους κόκκους του τσιμέντου και παρεμποδίζοντας με αυτό τον τρόπο την επαφή τους με τα μόρια του νερού.

δ) Οι οργανικές ουσίες

Γενικά επηρεάζουν ανασταλτικά την πήξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1 ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1.1 Εξίδρωση

Εξίδρωση ονομάζουμε το φαινόμενο του διαχωρισμού του νερού από τα στερεά του σκυροδέματος, που παρουσιάζεται στην περίοδο πριν από τη 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 σκυροδέματος λεπτό στρώμα νερού που μοιάζει με εξίδρωση. Το νερό αυτό τελικά εξατμίζεται. Η εξίδρωση επομένως έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του τελικού όγκου του δείγματος και την απομάκρυνση μέρους του νερού.

Η ελάττωση του νερού είναι βέβαια επιθυμητή γιατί έχει ευνοϊκό αποτέλεσμα στην αντοχή, αλλά το φαινόμενο του διαχωρισμού είναι επιβλαβές και ανεπιθύμητο λόγω της ανομοιογένειας που δημιουργείται μέσα στη μάζα του σκυροδέματος και ειδικότερα για τα ακόλουθα δυσμενή φαινόμενα:

- Όπως το νερό κινείται προς τα επάνω, συμπαρασύρει το λεπτόκοκκο τμήμα του τσιμέντου. Κατά τον τρόπο αυτό το μείγμα γίνεται φτωχότερο σε τσιμέντο και στην επάνω επιφάνεια δημιουργείται λεπτό στρώμα κονίας που ρηγματώνεται και αποφλειώνεται.
- Κατά την δίοδο του νερού ανάμεσα από τα στερεά συστατικά δημιουργούνται μέσα στον τσιμεντοπολτό λεπτοί σωληνίσκοι.
- Η συγκέντρωση του νερού δε γίνεται μόνο στην επάνω επιφάνεια του σκυροδέματος, αλλά το ίδιο φαινόμενο εμφανίζεται τοπικά και στις κοιλότητες μεταξύ των σκύρων, όπου γίνεται τοπική συγκέντρωση νερού με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενών. Στο φαινόμενο αυτό αποδίδεται και η γνωστή ανισοτροπία του σκυροδέματος σε σχέση με την διεύθυνση συμπίκνωσης και την διεύθυνση επιβολής δύναμης.
- Το ίδιο φαινόμενο δημιουργείται και σε όλο το μήκος κάτω από τις ράβδους του οπλισμού, όπου το κενό που σχηματίζεται μειώνει την επιφάνεια συνεργασίας ανάμεσα στο σκυρόδεμα και το σίδερο και συγχρόνως αυξάνει τον κίνδυνο διαβρώσεως των οπλισμών.

Το φαινόμενο της εξιδρώσεως επιτείνεται με την αύξηση του νερού αναμείξεως, καθώς και με την έλλειψη λεπτόκοκκων υλικών της άμμου και του τσιμέντου, γιατί με αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η κίνηση του νερού προς τα επάνω. Η ταχύτητα της ενυδατώσεως και επομένως ο χρόνος αρχής της πήξεως είναι αποφασιστικής σημασίας. Γι' αυτό και η χρήση επιβραδυντικών προσθέτων ενισχύει την εμφάνιση της εξιδρώσεως. Αντίθετα η αύξηση της περιεκτικότητας σε αέρα επιδρά ανασταλτικά στην εξιδρωση γιατί οι φυσαλίδες παρεμποδίζουν την κίνηση του νερού. Οι δυσμενείς επιδράσεις της εξιδρώσεως αίρονται τελείως αν στην αρχή της πήξεως αποκατασταθεί με αναμόχλευση και αναδόνηση της μάζας η ομοιογένεια του υλικού.

2.1.2 Απόμειξη

Τα στερεά συστατικά όχι μόνο σαν σύνολο διαχωρίζονται από το νερό αλλά και μεταξύ τους χωρίζονται κατά την κίνηση προς τα κάτω, ανάλογα με το βάρος τους. Τα βαρύτερα κινούνται προς τα χαμηλότερα στρώματα και έτσι τελικά τακτοποιούνται σε στρώσεις ανάλογα με το βάρος τους. Το φαινόμενο αυτό λέγεται απόμειξη του σκυροδέματος.

Το φαινόμενο της απομείξεως είναι από τα πιο καταστρεπτικά για την αντοχή και γενικά για την ποιότητα του σκυροδέματος, γιατί όπως είναι φανερό, μεταβάλλει τις αναλογίες μείξεως κατά τρόπο ανομοιόμορφο και απρόβλεπτο. Έτσι, δημιουργούνται περιοχές με μειωμένη αντοχή και μειωμένη πρόσφυση μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος από την έλλειψη κονιάματος.

2.1.3 Εργάσιμο

Με τον όρο εργάσιμο ή εργασιμότητα χαρακτηρίζουμε γενικά την ευκολία με την οποία μπορούμε να μεταφέρουμε, διαστρώσουμε και συμπυκνώσουμε το σκυρόδεμα. Επίσης μπορούμε να το ορίσουμε ως το έργο που απαιτείται για την υπερνίκηση των εσωτερικών τριβών έως ότου πετύχουμε πλήρη συμπίκνωση.

Το εργάσιμο είναι μία πολύ χρήσιμη για την πράξη έννοια γιατί αποδίδει ακριβώς αυτό που ενδιαφέρει τον κατασκευαστή κατά το χρόνο της σκυροδετήσεως. Οι ιδιότητες με τις οποίες συνδέεται είναι οι ακόλουθες^[1] :

α) Η ρευστότητα που σημαίνει την ευκολία με την οποία ρέει ένα υλικό.

β) Η πλαστικότητα με την οποία νοείται η ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή της συνέχειας τους.

γ) Η συνοχή, η οποία είναι το αποτέλεσμα των δυνάμεων που έλκουν τα μόρια του υλικού μεταξύ τους και επομένως είναι μία από τις ιδιότητες που συντελούν στην πλαστικότητα.

δ) Η συμπτυνωσιμότητα, δηλαδή η δυνατότητα του υλικού να συμπτυνωθεί και που εξαρτάται από τον αρχικό βαθμό συμπτυνώσεως.

ε) Η συνεκτικότητα που χρησιμοποιείται για να εκφράσουμε άλλοτε το εργάσιμο και άλλοτε τη ρευστότητα.

Το εργάσιμο αυξάνεται γενικά όσο αυξάνεται το νερό αναμείξεως, δηλαδή η ρευστότητα του μείγματος. Η ρευστότητα εξαρτάται περισσότερο από την ποσότητα του νερού αναμείξεως και πολύ λιγότερο από το λόγο νερού προς τσιμέντο.

Η μέτρηση του εργάσιμου δεν μπορεί να γίνει απευθείας. Γι' αυτό έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι με τις οποίες μετρούμε μία ή περισσότερες από τις άλλες ιδιότητες που αναφέρθηκαν. Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές είναι σε συντομία οι ακόλουθες:

I) Κάθιση

II) Μέτρο εξαπλώσεως

III) Μέτρο συμπτυνώσεως

IV) Δοκιμή VEBE

Τα τελευταία χρόνια προστέθηκε και μία ακόμη παράμετρος στο θέμα "εργασιμότητα" του σκυροδέματος. Η παράμετρος αυτή είναι ο χρόνος και η μεταβολή της εργασιμότητας με τον χρόνο.

2.2 ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.2.1 Η αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις

2.2.1.1 Γενικά για την αντοχή

Μία από τις βασικές ιδιότητες του υλικού είναι η αντοχή του. Αντοχή ονομάζουμε γενικά τη μέγιστη τιμή της δυνάμεως που μπορεί να παραληφθεί και μεταβιβαστεί από ένα στοιχειώδες τμήμα του υλικού στο γειτονικό, χωρίς καταστροφή ή επικίνδυνη παραμόρφωσή του. Στην τεχνολογία ως αντοχή εννοούμε

γενικότερα και την ικανότητα του υλικού να αναλαβαίνει και μεταβιβάζει δυνάμεις με οριακή τιμή την παραπάνω έννοια ^[1].

Η αντοχή εξαρτάται τόσο από τη φύση και την ποιότητα του υλικού, όσο και από τη μορφή της εντατικής καταστάσεως. Διαφορετική εμφανίζεται η αντοχή σε κάποια συγκεκριμένη καταπόνηση από ένα στοιχείο σ' ένα άλλο και διαφορετική για το ίδιο το στοιχείο, αν η καταπόνηση είναι αποτέλεσμα διαφορετικής εντατικής καταστάσεως. Οι παράγοντες που επιδρούν στην αντοχή του σκυροδέματος είναι:

- οι αναλογίες συνθέσεως, δηλαδή οι ποσότητες του τσιμέντου, του νερού και των αδρανών σε κάθε κυβικό μέτρο

- η ποιότητα των υλικών, στην οποία περιλαμβάνονται όχι μόνο η ποιότητα των τριών συστατικών αλλά και ο βαθμός αλέσεως του τσιμέντου, το σχήμα και η μορφή των αδρανών, η κοκκομετρική διαβάθμιση, η ποιότητα του πετρώματος των αδρανών

- τα παρασιτικά υλικά που αθέλητα εισχωρούν είτε μαζί με τους κόκκους των αδρανών, είτε με το νερό

- η συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος

- η ηλικία του σκυροδέματος

- ο τρόπος συντηρήσεως, δηλαδή οι θερμοκρασιακές και υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος

- η μορφή του δοκιμίου, στην οποία πρέπει να περιλάβουμε το σχήμα, το μέγεθος, την εξωτερική υφή, την επιπεδότητα ή καμπυλότητα των παρειών και την ακρίβεια των γωνιών

- η μορφή της καταπονήσεως, δηλαδή ο τρόπος και η ταχύτητα φορτίσεως

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

οι ρωγμές αποτελούν συνεχές πλέγμα και μεταξύ κονιάματος και αδρανών και μέσα στο κονίαμα. Με αύξηση του φορτίου πέρα από την τιμή αυτή το πλέγμα των ρωγμών επεκτείνεται πάρα πολύ γρήγορα έως την κατάρρευση του υλικού. Το δεύτερο τούτο όριο συμπίπτει με το σημείο της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων από το οποίο αρχίζει να οριζοντιώνεται.

2.2.1.2 Η αντοχή στις διάφορες μορφές καταπονήσεων

Στατική καταπόνηση

Οι θλιπτικές αντοχές που κατορθώνουμε να πετύχουμε βρίσκονται συνήθως ανάμεσα στα όρια 5 MPa και 100 MPa περίπου. Για ειδικούς όμως σκοπούς, όπως στην κατασκευή κώνων αγκυρώσεως νησίδων αντλήσεως πετρελαίου στη Β.θάλασσα, υψηλών κτιρίων κ.λ.π κατασκευάζονται σκυροδέματα με ακόμη μεγαλύτερες αντοχές.

Η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται στο 1/10 έως 1/15 της θλιπτικής αντοχής. Δεν έχει βρεθεί άμεση αντιστοιχία ανάμεσα στη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή. Από πειραματικά στοιχεία, προκύπτει ότι με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής αυξάνεται και η εφελκυστική αντοχή, όμως η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής δεν είναι ανάλογη με την αύξηση της θλιπτικής ^[1].

Πολυαξονική καταπόνηση

Η συμπεριφορά του σκυροδέματος σε πολυαξονική καταπόνηση, ιδίως θλιπτική, είναι γενικά παρόμοια με τη συμπεριφορά των άλλων υλικών. Σε περίπτωση σύγχρονης παρουσίας εγκάρσιων θλιπτικών τάσεων, η θλιπτική αντοχή εμφανίζεται αυξημένη. Πειράματα έδειξαν ότι με σύγχρονη παρουσία ίσης εγκάρσιας θλιπτικής δυνάμεως, η αντοχή σε θλίψη εμφανίζεται αυξημένη κατά 14-19% από την αντίστοιχη μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Η μεγαλύτερη αντοχή πετυχαίνεται όταν η εγκάρσια θλιπτική τάση είναι 0,5-0,6 της αντίστοιχης θλιπτικής τάσεως.

Καταπόνηση με μεγάλη διάρκεια

Στην περίπτωση παραμονής της καταπονήσεως σε μεγάλο χρονικό διάστημα η θλιπτική αντοχή μειώνεται βαθμιαία. Η μείωση αυτή είναι αρκετά έντονη τα πρώτα

λεπτά της καταπόνησεως (30'-60') και στη συνέχεια μειώνεται περίπου ανάλογα με τη χρονική διάρκεια της καταπόνησεως.

Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση - Κόπωση

Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση με το ίδιο φορτίο ή μεταβολή της τάσεως μεταξύ δύο ορίων σ_{min} και σ_{max} μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη θραύση του υλικού, έστω και αν η μέγιστη τάση σ_{max} δεν υπερβαίνει τη στατική αντοχή του υλικού. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται κόπωση του υλικού. Για να συμβεί όμως η αστοχία, πρέπει η τάση σ_{max} να υπερβαίνει κάποιο όριο που ονομάζεται όριο κοπώσεως. Το όριο αυτό στο σκυρόδεμα βρίσκεται στα 0,65-0,70 περίπου της στατικής αντοχής σε θλίψη. Αντίθετα, 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.

Διακοπή της καταπόνησεως για λίγα λεπτά έχει ως αποτέλεσμα να ανακτήσει το σκυρόδεμα μέρος της αντοχής του.

Το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων που αρχικά είναι καμπύλο, μετατρέπεται γρήγορα σε ευθύγραμμο (ύστερα από μερικές επαναλήψεις) και αργότερα (ύστερα από μερικές δεκάδες χιλιάδες επαναλήψεις) μετατρέπεται σε κυρτό. Η κύρτωση γίνεται έντονη λίγο πριν από τη θραύση.

Συνεργασία σκυροδέματος και χάλυβα

Η ιδιότητα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο όρος συνεργασία αποδίδει καλύτερα την πραγματικότητα από τον όρο συνάφεια, γιατί η συνεργασία αυτή είναι αποτέλεσμα συνάφειας, τριβής μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος καθώς και αντοχής του 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 στη διατμητική αντοχή του σκυροδέματος.

Η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται πάρα πολύ από την κατεύθυνση της ράβδου σε σχέση με την κατεύθυνση σκυροδετήσεως, καθώς και από τη θέση της ράβδου μέσα στη διατομή.

2.2.1.3 Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο

Η αντοχή είναι αποτέλεσμα της ενυδατώσεως του τσιμέντου και της δημιουργίας των ένυδρων ασβεστοπυριτικών ενώσεων και γι' αυτό η εξέλιξή της ακολουθεί τον ίδιο εκθετικό νόμο που ακολουθεί και η χημική αντίδραση. Η ανάπτυξη της αντοχής όμως είναι διαφορετική για καθένα από τα τέσσερα βασικά συστατικά του τσιμέντου και γι' αυτό και η χρονική εξέλιξη της αντοχής, ιδιαίτερα στις μικρές ηλικίες, εξαρτάται από τη σύνθεση του τσιμέντου. Άλλοι παράγοντες είναι ο βαθμός αλέσεως του τσιμέντου, δηλαδή το μέγεθος των κόκκων του, καθώς και οι θερμοκρασιακές και υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος.

Για όλους αυτούς τους λόγους, η ακριβής ποσοτική εκτίμηση της εξελίξεως της αντοχής μόνο με δοκιμές με τον ίδιο τύπο τσιμέντου, τα ίδια υλικά και τις ίδιες συνθήκες συντηρήσεως μπορεί να γίνει. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό να γίνει, οι Κανονισμοί προβλέπουν ορισμένους συντελεστές που δίνουν ένδειξη του μεγέθους της αντοχής, για συνηθισμένες μέσες συνθήκες συντηρήσεως.

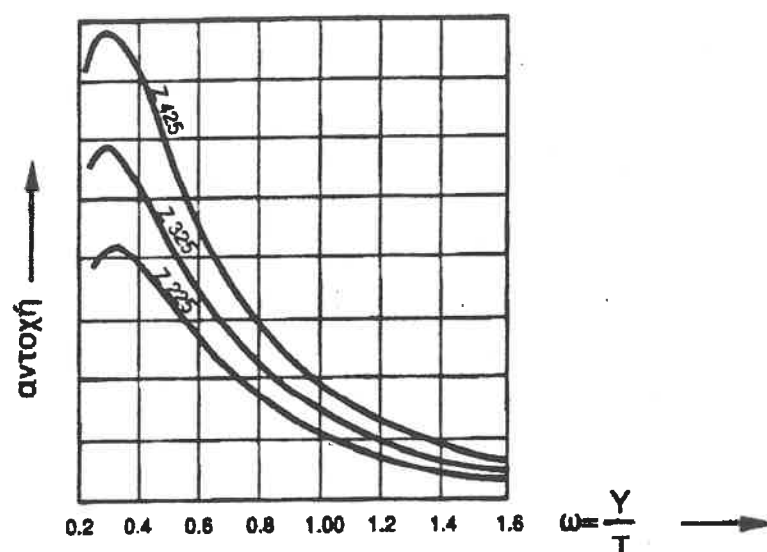
2.2.1.4 Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες συνθέσεως

Η περίσσεια του νερού αναμείξεως πέρα από εκείνο που δεσμεύεται (χημικά και κρυσταλλικά) από το τσιμέντο, οδηγεί στη δημιουργία του πορώδους του σκυροδέματος και επομένως στην ελάττωση και της πυκνότητας και της αντοχής.

Η άμεση και θεαματική εξάρτηση της αντοχής από το λόγο νερού προς τσιμέντο:

$$\omega = N/T$$

διατυπώθηκε πολύ νωρίς από τον Abrams. Η σχέση αυτή έχει τη μορφή που παριστάνεται στο σχ.1 .

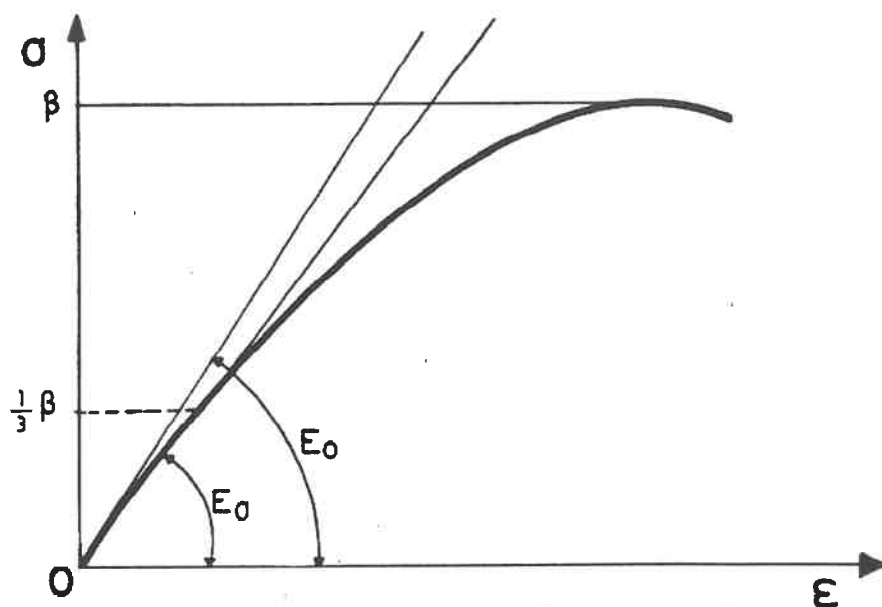


Σχ.1 : Ενδεικτική μορφή της εξάρτησης της αντοχής από τον λόγο $\omega = N/T$, για διάφορους τύπους τσιμέντου.

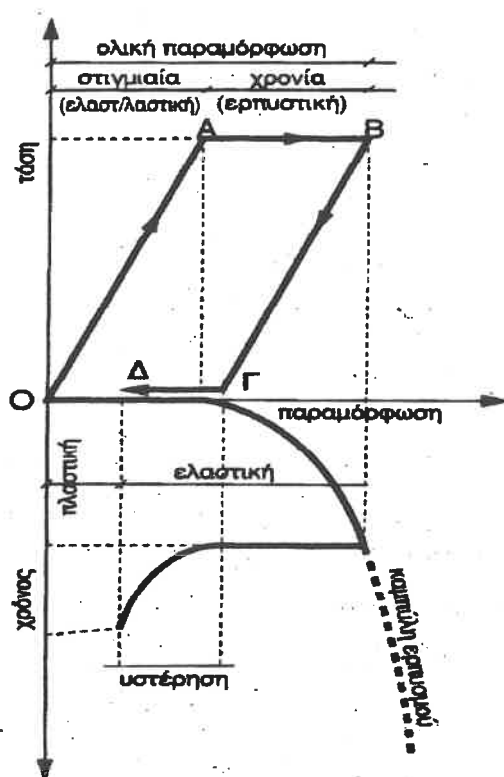
2.2.2 Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά

Την ελαστικοπλαστική συμπεριφορά ενός υλικού απεικονίζει η σχέση τάσεων - παραμορφώσεων. Για το σκυρόδεμα η σχέση αυτή έχει τη μορφή μίας συνεχούς καμπύλης όπως στο σχήμα 2. Μικρά μόνο τμήματά της μπορούν να θεωρηθούν σαν ευθύγραμμα. Ο νόμος του Hook επομένως μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύει για μικρές μόνο μεταβολές του φορτίου. Η καμπυλότητα του διαγράμματος οφείλεται στην προοδευτική επέκταση των μικρορωγμών μέσα στο υλικό, εκτός από την κυρίως παραμόρφωση του υλικού.

Αν το φορτίο παραμείνει αρκετό χρονικό διάστημα, η παραμόρφωση συνεχίζεται βαθμιαία (φαινόμενο ερπυσμού). Μετά την αφαίρεση του φορτίου, τμήμα της παραμορφώσεως αναιρείται (ελαστική παραμόρφωση), ενώ το υπόλοιπο τμήμα παραμένει (πλαστική παραμόρφωση). Με την πάροδο του χρόνου, μετά την αφαίρεση του φορτίου, η παραμόρφωση που παραμένει ελαττώνεται συνεχώς (υστέρηση). Η μείωση των τάσεων που συνοδεύει τον ερπυσμό ονομάζεται χαλάρωση. Τις μεταβολές αυτές παριστάνει το σχήμα 3.



Σχ.2 : Καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος.



Σχ.3 : Ενδεικτικές καμπύλες μεταβολής της παραμόρφωσης με την τάση και τον χρόνο.

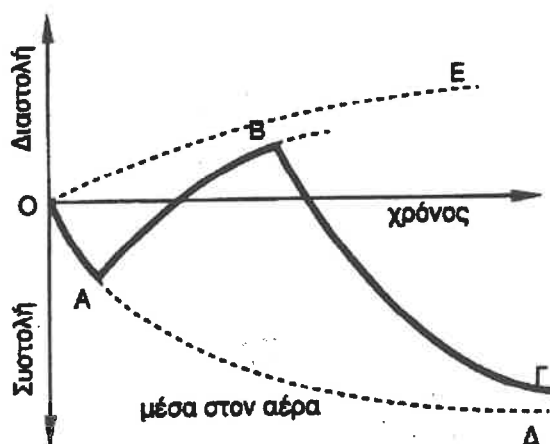
2.2.3 Χρόνια συστολή και διαστολή του σκυροδέματος

Έχει παρατηρηθεί ότι με την πάροδο του χρόνου το σκυρόδεμα συστέλεται στον αέρα, χωρίς την επίδραση καμιάς εξωτερικής δυνάμεως και μέσα στο νερό διαστέλεται ο όγκος του. Τα φαινόμενα αυτά τα ονομάζουμε χρόνια συστολή και διαστολή του σκυροδέματος (ή συστολή ξηράνσεως και διαστολή υγράνσεως).

Η συστολή αυτή στον αέρα δεν πρέπει να συγχέεται με τη συστολή της πήξεως που οφείλεται στη χημική δράση των ενεργών προϊόντων ούτε με τις ελαστικές ή πλαστικές παραμορφώσεις και τον ερπυσμό, που οφείλονται στη δράση των εξωτερικών δυνάμεων.

Έως τώρα έχουν διατυπωθεί πολλές θεωρίες 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 τριχοειδών του υλικού και ερμηνεύει το φαινόμενο μέχρι εξατίμισης "ισορροπίας" σε σχετική υγρασία 40%. Για μικρότερες σχετικές υγρασίες η θεωρία των τριχοειδών δεν επαρκεί και εφαρμόζονται άλλες θεωρίες.

Η καμπύλη εξελίξεως της χρόνιας συστολής στον αέρα και της διαστολής μέσα στο νερό είναι εκθετικής μορφής, όπως η καμπύλη ΟΑΔ του σχήματος 4.



Σχ.4 : Σχηματική μεταβολή της συστολής ή διαστολής του σκυροδέματος με τον χρόνο.

Η χρόνια συστολή είναι γενικά φαινόμενο βλαπτικό και ανεπιθύμητο. Όταν η συστολή παρεμποδίζεται, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ρηγματώσεων από τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται. Συνηθισμένη είναι η περίπτωση της ρηγματώσεως στοιχείων μεγάλου πάχους από την ανομοιόμορφη 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.

Άλλο σημείο αναπτύξεως εφελκυστικών τάσεων είναι η μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού επιφάνεια, λόγω της συρρικνώσεως του τελευταίου ως προς τα ακίνητα αδρανή. Στην επιφάνεια αυτή δημιουργούνται εγγενείς μικρορηγματώσεις.

Άλλη χαρακτηριστική συνέπεια της συστολής είναι η βαθμιαία μείωση που παρουσιάζει η δύναμη προεντάσεως στους προεντεταμένους φορείς.

Οι πειραματικές πληροφορίες που έχουμε για το φαινόμενο της χρόνιας συστολής του σκυροδέματος είναι ^[1] :

- το μέγεθος της συστολής εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα του τσιμεντοπολτού. Όσο πιο λεπτή είναι η άλεση τόσο περισσότερο αυξάνεται η συστολή. Επίσης η συστολή αυξάνεται με την αύξηση του Al_2O_3 του τσιμέντου.

- η συστολή αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου. Εφόσον έδρα των ογκομετρικών μεταβολών είναι ο τσιμεντοπολτός, είναι φυσικό να αυξάνονται όσο αυξάνεται η ποσοστιαία αναλογία του. Γι' αυτό τον λόγο η συστολή της τσιμεντοκονίας είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συστολή του σκυροδέματος.

- ελαττώνεται όσο αυξάνεται η αντοχή. Επομένως αυξάνεται με την αύξηση του ύδατος αναμείξεως και με το πορώδες.

- εξαρτάται από την ποιότητα και τη φύση των αδρανών.

Αδρανή πορώδη και υδαταπορροφητικά μεγαλώνουν τη συστολή, γιατί απορροφούν νερό επιταχύνοντας την ξήρανση, αλλά και λόγω της παραμορφωσιμότητας αυτών, δηλαδή του μικρού μέτρου ελαστικότητας. Η συστολή αυξάνεται επίσης όσο περισσότερο λεπτόκοκκα είναι τα αδρανή

- η συστολή εξαρτάται από τη μορφή και τις διαστάσεις του στοιχείου. Αυξάνεται όσο οι διαστάσεις του στοιχείου ελαττώνονται.

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

2.2.4 Ερπυσμός

Έχει παρατηρηθεί ότι το σκυρόδεμα από την επίδραση εξωτερικής θλιπτικής δυνάμεως που δρα για πολύ χρονικό διάστημα, παρουσιάζει πέρα από τη στιγμιαία παραμόρφωση, μία περαιτέρω συστολή που εξελίσσεται με αργό ρυθμό. Τη χρόνια αυτή παραμόρφωση που προέρχεται από την επίδραση εξωτερικής δυνάμεως ονομάζουμε ερπυσμό.

Για την εξήγηση του φαινομένου του ερπυσμού έχουν διατυπωθεί πολλές θεωρίες^[1]:

- υποστηρίζεται η άποψη ότι η αιτία του ερπυσμού είναι οι τοπικές μικροκαταστροφές του υλικού. Η συστολή δηλαδή οφείλεται σε προοδευτική μικρορηγματώση του στερεού σκελετού

- κατά τη γνώμη άλλων ο ερπυσμός εξηγείται από την ύπαρξη μικροεπιφανειών ολισθήσεως μεταξύ των κρυστάλλων

- η θερμοδυναμική θεωρία υποστηρίζει μετακινήσεις του νερού μέσα στα τριχοειδή αγγεία του υλικού, που οφείλονται στην πίεση των υδρατμών μέσα στα φορτιζόμενα τμήματα

- επικρατέστερη κρίνεται η θεωρία της ιξώδους ροής.

Κατά τη θεωρία αυτή το νερό που βρίσκεται στους πόρους και τα τριχοειδή αγγεία του στερεού, ως ασυμπύεστο, δέχεται στην αρχή ένα μέρος από το επιβαλλόμενο φορτίο, ενώ συγχρόνως αναγκάζεται να διαρρεύσει. Η διαρροή και η απομάκρυνση του νερού μέσα από τις διόδους γίνεται πάρα πολύ αργά, λόγω της τριβής. Με την αργή απομάκρυνση του νερού αντίστοιχο φορτίο μεταβιβάζεται βαθμιαία στο στερεό σκελετό, που συμπιέζεται κατά τους νόμους της ελαστικότητας. Η ασυμπυπτική πορεία του ερπυσμού εξηγείται, κατά τη θεωρία αυτή, από το ότι το νερό απομακρύνεται πρώτα από τους πόρους που έχουν μεγαλύτερη διάμετρο και βαθμιαία από πόρους ολοένα μικρότερης διαμέτρου, με αντίστοιχη μείωση της ταχύτητας ροής^[1].

Αξιοσημείωτο είναι ότι ο ερπυσμός ακολουθεί με μεγάλη προσέγγιση, το νόμο του Hook όταν το φορτίο είναι μικρότερο από το $1/3$ περίπου του φορτίου θραύσεως του υλικού. Πέρα από την τιμή αυτή η αύξηση του ερπυσμού γίνεται ολοένα γρηγορότερη με την αύξηση του φορτίου. Ανακεφαλαιωτικά αναφέρονται τα εξής χαρακτηριστικά^[1]:

-το μέγεθος του ερπυσμού είναι αντιστρόφως ανάλογο προς την ποιότητα του σκυροδέματος.

-μπορεί να φτάσει τελικά σε τιμή πολλαπλάσια της χρόνιας συστολής

-η διάρκεια του φαινομένου είναι 1 έως 10 χρόνια. Συνήθως ολοκληρώνεται μετά 1 έως 2 χρόνια

-η μορφή της εξελίξεως του είναι εκθετική, γρήγορη 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 αναπτύξεως της αντοχής

-εξαρτάται από το είδος των αδρανών και ειδικότερα από το μέτρο ελαστικότητας αυτών

-ελαττώνεται όσο περισσότερο χοντρόκοκκα είναι τα αδρανή

-αυξάνεται όσο αυξάνεται το νερό της αναμείξεως

-εξαρτάται από τις υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυξάνεται όσο ελαττώνεται η σχετική υγρασία

-ελαττώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία του σκυροδέματος κατά τη στιγμή της επιβολής του φορτίου

2.2.5 Το πορώδες

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 και πόροι ή κενά. Το σύνολο αυτών των κοιλοτήτων ονομάζουμε πορώδες του σκυροδέματος. Οι κοιλότητες αυτές μπορεί να περιέχουν αέρα ή να είναι γεμάτες νερό.

Ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε κατηγορίες^[1]. Έτσι υπάρχουν:

- ♦ πόροι των αδρανών υλικών, δηλαδή πόροι των κόκκων των σκύρων και της άμμου
- ♦ πόροι που δημιουργούνται από τον εγκλεισμό φυσαλίδων από αέρα μέσα στο τσιμεντοκονίαμα

- ♦ πόροι ή τριχοειδή κενά που δημιουργούνται μέσα στην τσιμεντοκονία μετά την εξάτμιση του νερού που περισσεύει
- ♦ κοιλότητες μεταξύ τσιμεντοκονιάματος και αδρανών, είτε από κακή πρόσφυση μεταξύ τους, είτε λόγω συστολής του τσιμεντοκονιάματος, είτε από το νερό που συγκεντρώνεται στην κάτω κυρίως πλευρά των κόκκων, λόγω της εξιδρώσεως του μείγματος
- ♦ μακροσκοπικές κοιλότητες που προέρχονται από κακή συμπίκνωση
- ♦ τριχοειδή κενά δημιουργημένα μετά τις μικριρηγματώσεις που οφείλονται στις συστολές του τσιμεντοκονιάματος ή και στις εξωτερικές καταπονήσεις

Το πορώδες του σκυροδέματος επηρεάζει κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητές του. Επηρεάζει τη χρόνια συστολή, τον ερπυσμό, την υδαταπορροφητικότητα, την υδατοστεγανότητα καθώς και την ανθεκτικότητα του υλικού στον παγετό, ως φορέα της υγρής φάσεως, στην οποία κυρίως οφείλονται τα φαινόμενα αυτά. Επίσης επηρεάζει την αντοχή, δεδομένου ότι η μετάδοση των δυνάμεων γίνεται μέσα από τον στερεό ιστό του υλικού. Οι περισσότερες από τις ιδιότητες του σκυροδέματος βελτιώνονται όσο, για το ολικό πορώδες, το μέγεθος των πόρων είναι μικρότερο και όσο περισσότερο ομοιόμορφα είναι κατανεμημένο μέσα στο υλικό και το σχήμα τους πλησιάζει το σφαιρικό.

2.2.6 Υδαταπορροφητικότητα και υδατοπερατότητα

Η διέλευση του νερού διαμέσου του σκυροδέματος πραγματοποιείται μέσα από τα διάκενα, δηλαδή τους πόρους, τις ρωγμές και τα τριχοειδή του υλικού. Η ποσότητα και η ταχύτητα με την οποία περνά το νερό δεν εξαρτώνται μόνο από το πλήθος και το σχήμα των διόδων, αλλά και από τις δυνάμεις έλξεως ή απώσεως ανάμεσα στα μόρια του νερού και του σκυροδέματος. Οι δυνάμεις αυτές είναι διαφορετικές στην περίπτωση διελεύσεως άλλου είδους υγρού. Στην περίπτωση των υδρατμών οι δυνάμεις αυτές είναι μηδενικές.

-Ως υδαταπορροφητικότητα εννοούμε την ικανότητα που έχει το υλικό να απορροφά ή να αναρροφά νερό χωρίς εξωτερική πίεση. Ορίζεται ως ο λόγος :

$$A=\beta_w/\beta_o$$

του νερού που απορροφήθηκε προς το βάρος του στεγνού υλικού.

-Ως υδατοπερατότητα εννοούμε την ικανότητα που έχει το νερό να περνά μέσα από το υλικό, όταν βρίσκεται υπό πίεση. Καθορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας του νερού που περνά δια της επιφάνειας και του χρόνου για διαφορά πίεσεως 1mm στήλης υδραργύρου:

$$Y=N/E*t*\Delta p$$

Η υδατοστεγανότητα της τσιμεντοκονίας είναι πάρα πολύ μεγάλη. Για μικρές τιμές του λόγου νερό/τσιμέντο πλησιάζει την υδατοστεγανότητα του μαρμάρου. Η υδατοστεγανότητα του σκυροδέματος όμως είναι σαφώς κατώτερη. Κυριότερη αιτία της ελαττώσεως της υδατοστεγανότητας του σκυροδέματος θεωρείται η ατελής προσκόλληση του τσιμεντοπολτού επάνω στα αδρανή. Η διέλευση του νερού γίνεται κατά κύριο λόγο από τις επιφάνειες των αδρανών και από τα διάκενα που βρίσκονται γύρω από αυτά.

Δεύτερη κατηγορία διοδίων για το νερό αποτελούν τα μακροσκοπικά κενά που δημιουργούνται από την ελλιπή συμπίκνωση, τη μη πλήρωση όλων των κενών μεταξύ των αδρανών από τσιμεντοκονία και από τις φυσαλίδες με αέρα που εγκλωβίζονται μέσα στη μάζα του σκυροδέματος κατά την ανάμειξη.

Άλλη κατηγορία αποτελούν οι ρηγματώσεις που προέρχονται από τις συστολοδιαστολές του υλικού λόγω της ξηράνσεως, των θερμοκρασιακών μεταβολών ή άλλων αιτίων.

Για την αύξηση της υδατοστεγανότητας του σκυροδέματος επιβάλλεται βασικά ο περιορισμός του πορώδους, δηλαδή :καλή κοκκομετρική διαβάθμιση (με επάρκεια λεπτόκοκκου υλικού), περιορισμός του νερού αναμείξεως, καλή πρόσφυση αδρανών-τσιμεντοκονίας, καλή συμπίκνωση και τέλος καλή συντήρηση για την αποφυγή ρηγματώσεως, κατά την πήξη και τις πρώτες ώρες της σκληρύνσεως.

Τα στεγανοποιητικά υλικά που προσθέτονται στη μάζα του σκυροδέματος από τη μία μεριά βελτιώνουν την πλαστικότητα του νωπού σκυροδέματος και έτσι βοηθούν στην καλύτερη συμπίκνωση με σύγχρονη μείωση του νερού αναμείξεως και από την άλλη μεριά αυξάνουν τις υδραπωθητικές ιδιότητες του υλικού.

2.2.7 Θερμοαγωγιμότητα

Τη θερμική αγωγιμότητα ενός υλικού χαρακτηρίζει ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ [$\text{kcal. m/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$], 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°C . Για τα σύνθετα υλικά, όπως το σκυρόδεμα, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας προκύπτει από τους συντελεστές των υλικών που το συνθέτουν. Το αντίστροφο του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\kappa = 1/\lambda$ ονομάζεται συντελεστής θερμικής αντιστάσεως. Ισχύει^[1]:

-Η θερμοαγωγιμότητα αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας του σκυροδέματος

-Αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου, αφού η αύξηση του τσιμέντου συντείνει στην αύξηση της πυκνότητας

-Αυξάνεται όσο αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία

-Αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του σκυροδέματος

-Αυξάνεται όσο μεγαλώνουν οι διαστάσεις του σώματος

Φαινόμενο που σχετίζεται με τη θερμοαγωγιμότητα του υλικού και που παρουσιάζεται συχνά στην πράξη είναι η διακίνηση θερμότητας από το εσωτερικό του σκυροδέματος στο γύρω χώρο ή αντίστροφα. Η πρώτη περίπτωση εμφανίζεται όταν η σκυροδέτηση γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ η δεύτερη εμφανίζεται όταν η σκυροδέτηση γίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να φροντίζουμε ώστε η θερμοκρασία του σκυροδέματος τις πρώτες ώρες μετά την σκυροδέτηση να παραμένει σε ορισμένα όρια.

2.2.8 Θερμοδιαστολή

Το σκυρόδεμα παρουσιάζει με τη θερμότητα αύξηση των διαστάσεών του, παθαίνει δηλαδή διαστολή. Η διαστολή ενός υλικού χαρακτηρίζεται από το συντελεστή θερμοδιαστολής α , δηλαδή το λόγο της επιμηκύνσεως προς το αρχικό μήκος για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C .

Ο συντελεστής θερμοδιαστολής της τσιμεντοκονίας είναι γενικά μεγαλύτερος από το συντελεστή των αδρανών. Γι' αυτό ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας του σκυροδέματος εξαρτάται από τις αναλογίες συνθέσεως των υλικών του. Ισχύει:

-Μείωση της ποσότητας του τσιμέντου ελαττώνει τη θερμοδιαστολή του σκυροδέματος, αφού ο συντελεστής της τσιμεντοκονίας είναι μεγαλύτερος από το συντελεστή των αδρανών.

-Τα ασβεστολιθικά αδρανή έχουν το μικρότερο συντελεστή θερμοδιαστολής. Επομένως σκυροδέματα με διαφορετικά αδρανή έχουν κατά κανόνα μεγαλύτερο συντελεστή.

-Η θερμοδιαστολή μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλικία τιν σκυροδέματος.

-Ο συντελεστής θερμοδιαστολής του χάλυβα για τις συνηθισμένες περιοχές θερμοκρασιών κυμαίνεται μέσα στα ίδια όρια με το συντελεστή του σκυροδέματος.

2.2.9 Απορρόφηση ραδιενεργών ακτινοβολιών

Άλλη ιδιότητα του σκυροδέματος, της οποίας τελευταία γίνεται χρήση, είναι η ιδιότητα που έχουν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό όλα τα υλικά να απορροφούν, περισσότερο ή λιγότερο, τις ραδιενεργές ακτινοβολίες. Εφαρμογή της ιδιότητας αυτής γίνεται στην κατασκευή θωρακίσεων σε ατομικούς αντιδραστήρες ή άλλες εγκαταστάσεις που εκπέμπουν ραδιενεργές ακτινοβολίες. Για την απορρόφηση απαιτούνται υλικά με μεγάλο ειδικό βάρος, όπως ο μόλυβδος. Το σκυρόδεμα προσφέρεται απέναντι στο μόλυβδο για μόνιμες εγκαταστάσεις λόγω του μικρότερου κόστους, έστω και αν απαιτούνται μεγαλύτερα πάχη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Πρόσθετα υλικά ή βελτιωτικά του σκυροδέματος ονομάζουμε υλικά που προσθέτονται μέσα στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του και τροποποιούν κατά ορισμένο τρόπο μερικές από τις ιδιότητές του. Τα πρόσθετα υλικά χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο που δρουν.

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 συνθέσεως του σκυροδέματος που τα υλικά αυτά προκαλούν.

Τα πρόσθετα υλικά κατατάσσονται ανάλογα με το αποτέλεσμα τους, στις ακόλουθες κατηγορίες^[1]:

- Ρευστοποιητικά και υπερ-ρευστοποιητικά
- Αερακτικά
- Επιβραδυντικά
- Επιταχυντικά
- Στεγανωτικά
- Αντιπαγετικά

Εκτός από τις κύριες αυτές κατηγορίες μπορούν ακόμη να αναφερθούν και οι παρακάτω που βρίσκονται όμως ακόμα σε πειραματικό στάδιο:

- Αεραπαγωγά
- Διογκωτικά
- Αντιδιαβρωτικά
- Δραστικά κατά των μηκύτων και των μικροβίων
- Χρώματα

Στην κατηγορία των προσθέτων πρέπει να περιληφθούν και τα αεριοποιητικά και αφροποιητικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των ελαφρών σκυροδεμάτων.

Όλα τα πρόσθετα υλικά έχουν κατά κανόνα επίδραση σε περισσότερες από μία ιδιότητες του σκυροδέματος και πολλές φορές έχουν δυσμενείς συνέπειες σε

μερικές από αυτές όπως π.χ στη συστολή και την αντοχή. Γι'αυτό και η χρήση τους πρέπει να γίνεται αφού ελεγχθούν και αντιμετωπιστούν οι συνέπειες αυτές.

Το αποτέλεσμα των προσθέτων εξαρτάται από τη σύνθεση του τσιμέντου, από τη σύγχρονη παρουσία και άλλων υλικών και από τον τρόπο συντηρήσεως του σκυροδέματος.

3.1 ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ

Με την ονομασία <<ρευστοποιητικά>> χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που προκαλούν αύξηση της ρευστότητας του μείγματος. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ελαττωθεί το νερό αναμείξεως για τον ίδιο βαθμό εργασιμότητας, με αποτέλεσμα επομένως να αυξηθεί η αντοχή ή ακόμα να αυξηθεί το εργάσιμο χωρίς μείωση της τελικής αντοχής.

Η δράση των ρευστοποιητικών στηρίζεται στην ελάττωση της επιφανειακής τάσεως του νερού και των δυνάμεων συνοχής που αναπτύσσονται ανάμεσα στους κόκκους του τσιμέντου, με συνέπεια την ελάττωση της εσωτερικής τριβής.

Οι κόκκοι του τσιμέντου, αφού περιβληθούν από μόρια νερού, δημιουργούν σωματίδια φορτισμένα με ομόσημο ηλεκτρικό φορτίο, που απωθούνται μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό παρεμποδίζεται η συγκόλλησή τους, δημιουργείται ένα ομοιόμορφο αιώρημα και ελαττώνεται η μεταξύ τους τριβή κατά την κίνηση του υλικού. Χαρακτηριστικό ενός τέτοιου αιωρήματος, στο οποίο οι κόκκοι απωθούνται μεταξύ τους, είναι ότι παραμένει πολύ περισσότερο διάστημα ως αιώρημα μετά την καθίζηση όμως των κόκκων δημιουργείται στρώμα πυκνότερο.

Τα ρευστοποιητικά προκαλούν κατά κανόνα καθυστέρηση της πήξεως καθώς και αύξηση της χρόνιας συστολής του σκυροδέματος. Γι'αυτό, σκοπός των Κανονισμών είναι να θέσουν όριο στα ανεπιθύμητα αυτά φαινόμενα, ενώ παράλληλα καθορίζουν και την ελάχιστη ελάττωση του νερού που πρέπει να πετυχαίνεται για να ονομάζονται τα υλικά αυτά ρευστοποιητικά.

3.2 ΑΕΡΑΚΤΙΚΑ

Τα αερακτικά είναι υλικά που προκαλούν την ανάπτυξη μικρών φυσαλίδων μέσα στο κονίαμα. Η ανάπτυξη φυσαλίδων σε μεγαλύτερο ποσοστό εφαρμόζεται

και για τη δημιουργία ελαφρού σκυροδέματος. Η δημιουργία όμως φυσαλίδων στην παρούσα περίπτωση έχει σκοπό να αυξήσει το εργάσιμο και την αντοχή στον παγετό, χωρίς αισθητή μείωση της θλιπτικής αντοχής.

Τα αερακτικά είναι ουσίες της ίδιας περίπου φύσεως με τα ρευστοποιητικά. Οι φυσαλίδες που δημιουργούνται είναι μεγέθους 0,02-0,2 mm και το συνολικό ποσοστό του αέρα που περικλείεται μέσα στο σκυρόδεμα κυμαίνεται μεταξύ 4 και 8% κατά όγκο περίπου. Οι φυσαλίδες συντελούν στη μείωση της εσωτερικής τριβής του υλικού και εργάζονται σαν ελαστικά μαξιλάρια μεταξύ των κόκκων. Εξάλλου η συμβολή των φυσαλίδων στην προστασία κατά του παγετού είναι ότι χρησιμεύουν σαν χώροι διαστολής του νερού κατά την πήξη του.

3.3 ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΙΚΑ

Ως επιβραδυντικά πρόσθετα χαρακτηρίζονται υλικά που επιβραδύνουν την εξέλιξη της ενυδατώσεως. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται όταν η διαδικασία της διαστρώσεως προβλέπεται ότι θα απαιτήσει περισσότερο χρόνο από τον συνηθισμένο (όπως σε περιπτώσεις τσιμεντενέσεων ή πασσάλων), όταν επιθυμούμε να αποφύγουμε τους αρμούς εργασίας, στην περίπτωση του έτοιμου σκυροδέματος και τέλος όταν επιδιώκεται απάλυνση των αιχμών της θερμοκρασίας που δημιουργείται από τη θερμότητα ενυδατώσεως.

Η δράση των υλικών αυτών στηρίζεται στην απομόνωση των αργιλικών αλάτων και κυρίως του αργιλικού τριασβεστίου του τσιμέντου και επομένως στην καθυστέρηση της επαφής τους με το νερό. Η δράση αυτή εξαρτάται πολύ από τη θερμοκρασία, τη σύσταση του νερού καθώς και από την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αργιλικό τριασβεστόιο.

Κατά κανόνα τα επιβραδυντικά δεν έχουν σημαντική επιρροή στη συστολή, έχουν όμως συνήθως και ρευστοποιητικό αποτέλεσμα επειδή αυξάνουν την περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε αέρα.

Η αντοχή εμφανίζεται αυξημένη ιδιαίτερα τις πρώτες ημέρες. Αυτό οφείλεται τόσο στη σχετική μείωση του νερού αναμείξεως λόγω της ρευστοποιητικής δράσεως των επιβραδυντικών, όσο και στην αναστολή της ενυδατώσεως των χαμηλής αντοχής αργιλικών ενώσεων του τσιμέντου που έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση των πυριτικών.

3.4 ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΙΚΑ

Ως επιταχυντικά πρόσθετα χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που επιταχύνουν τη διαδικασία της ενυδατώσεως του τσιμέντου. Η επιτάχυνση αυτή εκδηλώνεται είτε με συντόμευση του χρόνου έως την αρχή της πήξεως είτε με επιτάχυνση της σκληρύνσεως και της αναπτύξεως της αντοχής. Τα πρώτα χαρακτηρίζονται ειδικότερα με τον όρο επιταχυντικά της πήξεως, ενώ τα δεύτερα με τον όρο επιταχυντικά της σκληρύνσεως.

Τα επιταχυντικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται όταν επιδιώκεται γρήγορη απομάκρυνση των ξυλοτύπων, όπως στην παραγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων, όταν είναι αναγκαίο η σύντομη αποπεράτωση της κατασκευής ή όταν το στοιχείο πρόκειται να αναλάβει σύντομα εξωτερικά φορτία. Τα επιταχυντικά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλα υλικά όπως τα αερακτικά για την παρασκευή των λεγόμενων αντιπαγετικών προσθέτων, δηλαδή υλικών που μειώνουν τις δυσάρεστες συνέπειες του παγετού. Σε αντίθεση με τα επιβραδυντικά έχουν κατά κανόνα βλαβερή επίδραση στην τελική αντοχή. Γι' αυτό και η χρήση τους πρέπει να γίνεται μόνον όταν αυτό είναι απόλυτα αναγκαίο.

Η δράση των επιταχυντικών ουσιών στηρίζεται στη διευκόλυνση της ενυδατώσεως είτε του αργιλικού τριασβεστίου, είτε των πυριτικών ενώσεων του τσιμέντου. Στην πρώτη περίπτωση το σκυρόδεμα παρουσιάζει μειωμένη αντοχή λόγω της μειωμένης αντοχής των αργιλικών ενώσεων.

3.5 ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ

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 από τις μακροσκοπικές κοιλότητες που οφείλονται στην κακή συμπίκνωση και τις ρηγματώσεις που δημιουργούνται από τις μεταγενέστερες συστολοδιαστολές του υλικού. Διακρίνουμε δύο τρόπους διελεύσεως 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 διείδυση του νερού με πίεση. Η δράση των στεγανοποιητικών αποσκοπεί:

-στην αποφυγή μακροσκοπικών κοιλοτήτων και ρηγματώσεων

-στην ελάττωση του πορώδους
-στη μείωση της συνάφειας ή στην ανάπτυξη υδραπωθητικών δυνάμεων μεταξύ τσιμεντοκονιάματος και νερού.

Η επιτυχία των στεγανοποιητικών εξαρτάται πολύ από την καλή εφαρμογή καθώς και από τη σύγχρονη βελτίωση της ποιότητας του σκυροδέματος και επομένως όλης της εργοταξιακής τεχνικής.

Τα στεγανοποιητικά κατατάσσονται στις ακόλουθες γενικές κατηγορίες:

- Αδρανή υλικά σε μορφή λεπτής σκόνης που γεμίζουν απλώς τους πόρους και τα τριχοειδή κενά του τσιμεντοκονιάματος χωρίς να ασκούν καμιά άλλη δράση
- Υλικά ανόργανης προελεύσεως, τα οποία όταν ενυδατωθούν, διογκώνονται μέσα στους πόρους του υλικού και τους φράζουν
- Αδιάλυτοι σάπωνες σε κατάσταση λεπτής σκόνης ή στη μορφή γαλακτώματος
- Ρητινικά ή στεατικά άλατα του αμμωνίου σε μορφή πολτού ή γαλακτώματος με έντονες υδραπωθητικές ιδιότητες.
- Υγροί υδρογονάνθρακες ή ελαιώδη προϊόντα του πετρελαίου στη μορφή γαλακτώματος, τα οποία αποσυνθέτονται μέσα στη μάζα του σκυροδέματος και φράζουν τους πόρους και τα τριχοειδή κενά.

3.6 ΑΝΤΙΠΑΓΕΤΙΚΑ

Με αυτό τον όρο χαρακτηρίζονται πρόσθετα που έχουν σκοπό να μειώσουν ή άρουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις του παγετού κατά την περίοδο της πήξεως και επιτρέπουν έτσι τη σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η δράση τους κατά κανόνα δεν έχει αποτέλεσμα την ταπείνωση του σημείου πήξεως του νερού (γι' αυτό το σκοπό θα χρειαζόνταν ποσότητες που θα ήταν περισσότερο ή λιγότερο βλαβερές στις άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος) αλλά τη βελτίωση άλλων ιδιοτήτων που συντελούν στην αύξηση της αντοχής στον παγετό.

Τα αερακτικά 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 συστολοδιαστολές. Στα παραπάνω πρέπει να

προσθεθεί και κάποια μονωτική δράση των φυσαλίδων του αέρα, που παρεμποδίζει τη γρήγορη διαφυγή της θερμότητας ενυδατώσεως.

Τα περισσότερα από τα αντιπαγετικά που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι συνδυασμός αερακτικών, ρευστοποιητικών και επιταχυντικών. Οι Γερμανικοί Κανονισμοί επιτρέπουν τα αντιπαγετικά μόνο στο άοπλο σκυρόδεμα και εφόσον λάβει κανείς υπόψη μειωμένη αντοχή και μεγαλύτερη συστολή, ενώ στο οπλισμένο και το προεντεταμένο σκυρόδεμα τα απαγορεύουν τελείως για τον κίνδυνο διαβρώσεως του οπλισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΛΛΑ ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

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

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

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.

4.1 ΕΛΑΦΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ

Τα ελαφρά σκυροδέματα κατατάσσονται σε δύο μεγάλες ομάδες^[1]:

- στα σκυροδέματα με ελαφρά αδρανή
- στα κυψελωτά σκυροδέματα

Από την άποψη της λειτουργίας διαχωρίζονται:

- σε σκυροδέματα μονώσεως που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για σκοπούς θερμότητας και ήχου
- σε σκυροδέματα κατασκευής και μονώσεως που η αντοχή τους είναι τέτοια ώστε να μπορούν να φέρουν το ίδιο τους βάρος
- σε σκυροδέματα κατασκευής που η αντοχή τους επαρκεί για τις στατικές ανάγκες της κατασκευής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή οποιουδήποτε στατικού στοιχείου.

ΜΕΡΟΣ Β΄: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1****ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ****1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ**

Οι βασικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την ανθεκτικότητα των κατασκευών είναι:

- ♦ Οι περιβαλλοντικές συνθήκες
- ♦ Η διαπερατότητα του σκυροδέματος
- ♦ Η δυνατότητα πραγματοποίησης μίας συγκεκριμένης φυσικής ή χημικής επιδράσεως.

1.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η διαθέσιμη υγρασία, η παρουσία διαβρωτικών ουσιών και η θερμοκρασία, είναι οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη για τον "χαρακτηρισμό" ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος.

1.1.1 Διαθέσιμη υγρασία

Όλοι οι μηχανισμοί φθοράς για να πραγματοποιηθούν απαιτούν νερό. 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 την χάνει. Έτσι, η μέση υγρασία του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από την υγρασία της ατμόσφαιρας.

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

Με την βροχή ο κορεσμός μπορεί να επιτευχθεί πολύ γρήγορα, λόγω της τριχοειδούς απορροφήσεως. Ακόμα όμως και χωρίς βροχή, μια νυκτερινή πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να συνοδεύεται από υγρασία των υδατμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Με αυτό 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. Τέλος, παρατηρείται συνεχής μεταφορά ύδατος μέσα σε σκυρόδεμα το οποίο είναι μερικώς βυθισμένο σε νερό, όταν το νερό εξατμίζεται από τις εκτεθειμένες στον αέρα επιφάνειες.

1.1.2 Παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό

Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος “περιγράφει” τις περιβαλλοντικές συνθήκες, είναι βέβαια η παρουσία διαβρωτικών ουσιών μέσα στο νερό. Τέτοιες ουσίες που μπορεί να είναι διαλυμένες στο νερό το οποίο δρα στο σκυρόδεμα είναι: διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο, άλατα χλωρίου, οξέα, θειικά άλατα, αλκάλια ή ιόντα μαγνησίου.

Η διάχυση λ.χ των χλωριόντων στο σκυρόδεμα γίνεται από το λεπτό υδάτινο στρώμα που δημιουργείται στα τοιχώματα των πόρων ή μέσα από πόρους γεμάτους με νερό. Έτσι, η διάχυση των χλωριόντων μειώνεται όταν μειώνεται η ποσότητα υγρασίας στο σκυρόδεμα.

1.1.3 Θερμοκρασία

Όταν καθορίζεται η διαβρωτικότητα ενός περιβάλλοντος, η επίδραση της θερμοκρασίας αγνοείται συνήθως αν και παίζει σημαντικό ρόλο καθώς η αύξησή της επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις. Είναι γνωστό ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C διπλασιάζει την ταχύτητα της αντιδράσεως.

1.2 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σκυρόδεμα με χαμηλή διαπερατότητα έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε φυσικές και χημικές επιδράσεις. Η διαπερατότητα εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους:

- σύσταση του τσιμέντου
- λόγος N/T
- πορώδες
- συμπύκνωση
- συντήρηση
- ύπαρξη ρωγμών

1.2.1 Σύσταση τσιμέντου

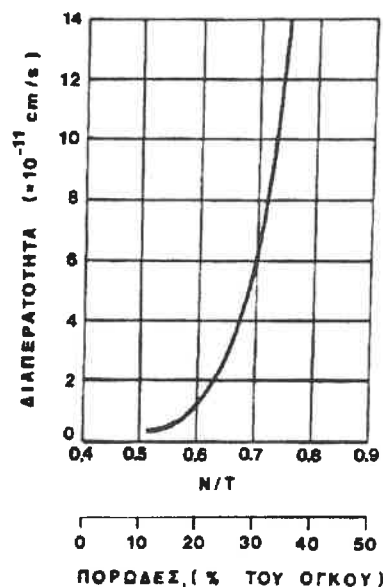
Όταν το σκυρόδεμα περιέχει τσιμέντο σε ποσότητα μεγαλύτερη από 300 kg/m³ (υπό τον όρο βέβαια ότι θα έχει μικρό λόγο N/T και ότι θα γίνει προσεκτική συντήρηση) τότε έχει σχετικώς μικρή διαπερατότητα. Διάφορα πρόσθετα στο τσιμέντο μπορεί να επηρεάσουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος. Γι'αυτό απαιτείται μεγάλη προσοχή κατά την συντήρηση του σκυροδέματος διότι τα τσιμέντα με πρόσθετα είναι πιο ευπαθή.

1.2.2 Λόγος N/T

Όταν ο λόγος N/T ξεπεράσει την τιμή 0,6 η διαπερατότητα του σκυροδέματος αυξάνεται δυσαναλόγως επειδή αυξάνεται το μέγεθος και ο αριθμός των τριχοειδών πόρων.

1.2.3 Πορώδες

Το μέγεθος και η κατανομή των πόρων, καθώς και η ποσότητα νερού το οποίο περιέχουν, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Συνήθως η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε φυσικές και χημικές επιδράσεις μειώνεται όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε τριχοειδείς πόρους. Είναι δυνατόν, όμως, σε ορισμένες περιπτώσεις, να επιδιώκεται η ύπαρξη ασύνδετων μεταξύ τους πόρων για να εξασφαλίσουμε υψηλή ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.



Σχ. 5 : Επίδραση του λόγου N/T στην διαπερατότητα του σκυροδέματος.

1.2.4 Συμπύκνωση

Με την συμπύκνωση προσπαθούμε να μειώσουμε τα κενά αέρα στο σκυρόδεμα σε περιεκτικότητα μικρότερη από 1%. Με την δόνηση ο αέρας και το νερό μεταφέρονται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος, μειώνοντας έτσι το πορώδες. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται κάπως η διαπερατότητα κατά την κατακόρυφη διεύθυνση διότι δημιουργούνται τριχοειδής πόροι. Η αύξηση της διαπερατότητας όμως είναι προσωρινή, διότι όσο συνεχίζεται η διαδικασία της ενυδατώσεως οι τριχοειδής πόροι σφραγίζονται.

1.2.5 Συντήρηση

Η συντήρηση γίνεται με σκοπό:

- Να βοηθήσει το σκυρόδεμα να συγκρατήσει αρκετή υγρασία ώστε να γίνει η ενυδάτωση του τσιμέντου και να επιτύχουμε την ανάπτυξη της επιθυμητής τελικής αντοχής.

- Να προστατεύσει το σκυρόδεμα από τις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας.

Η απαιτούμενη διάρκεια συντηρήσεως εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου το οποίο χρησιμοποιείται και από τις συνθήκες περιβάλλοντος κατά την σκυροδέτηση. Ο ελάχιστος χρόνος συντηρήσεως για σκυροδέματα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις

ανθεκτικότητας ορίζεται ίσος με 7 ημέρες. Η συντήρηση πρέπει να αρχίσει αμέσως μετά την σκυροδέτηση και να μην διακοπεί. Αν τα μέτρα συντηρήσεως ληφθούν μετά από ξήρανση του νεαρού σκυροδέματος θα έχουν πολύ μειωμένη αποτελεσματικότητα, διότι η διαδικασία σκληρύνσεως συνεχίζεται με δυσκολία όταν διακοπεί μία φορά.

1.2.6 Ύπαρξη ρωγμών

Με την ύπαρξη των ρωγμών διευκολύνεται η διείσδυση βλαβερών ουσιών προς τον οπλισμό του σκυροδέματος. Η δημιουργία αυτών των ρωγμών μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες π.χ.

Φυσικές : Συστελλόμενα αδρανή, Συστολή ξηράνσεως

Χημικές : Διάβρωση οπλισμού, Αντίδραση αδρανών- αλκαλίων

Θερμικές : Εναλλαγές παγετού- τήξεως, Εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας, πρόωρη θερμική συστολή

Κατασκευαστικές: Υπερφόρτιση, Ερπυσμός

Το νεαρό σκυρόδεμα είναι ιδιαίτερα επιρρεπές στην ρηγμάτωση. Λίγες ώρες μετά την χύτευση, η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, για 4 έως 16 ώρες περίπου, με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να ρηγματώνεται πολύ εύκολα.

1.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Γενικά, μία κατασκευή από σκυρόδεμα στη διάρκεια ζωής της είναι δυνατόν να υποστεί τις εξής δράσεις:

α) Μηχανικές

- Επιβαλλόμενα φορτία
- Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις
 - διαφορική καθίζηση
 - συστολή ξηράνσεως
 - ερπυσμός
 - σεισμός
 - μικρομεταβολές της θερμοκρασίας

β) Φυσικές

- Μηχανική φθορά
- Ο,-απότριψη

- Ακραίες θερμοκρασίες
 - υδροφθορά
 - σπηλαίωση
 - παγετός
 - πυρκαγιά

γ) Χημικές-Βιολογικές

- οξέα
- άλατα
- βάσεις
- βακτήρια

Από τις παραπάνω δράσεις, οι μηχανικές λαμβάνονται συνήθως υπόψη κατά τον στατικό σχεδιασμό της κατασκευής. Έτσι, σε αυτά που ακολουθούν, η έμφαση δίνεται στις φυσικές και τις χημικές επιδράσεις πάνω στο σκυρόδεμα και τον χάλυβα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.0 ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΩΣ ΥΛΙΚΟ

Το σκυρόδεμα είναι ένα σύνθετο υλικό, του οποίου η σύσταση και οι ιδιότητες μπορεί να ποικίλουν πάρα πολύ. Το βάρος του μπορεί να είναι 800 έως 4000 kg/m³, η τελική θλιπτική αντοχή 1 έως 140 Mpa, η δε διαπερατότητα σε αέρια μπορεί να είναι πολύ μεγάλη ή ελάχιστη. Το σκυρόδεμα είναι μίγμα τσιμεντοπολτού και αδρανών. Η σύσταση του τσιμεντοπολτού είναι ο πιο ευαίσθητος παράγοντας που επηρεάζει τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Μεγάλη σημασία έχουν επίσης οι μηχανικές ιδιότητες των αδρανών και η συνάφεια μεταξύ τσιμεντοπολτού και αδρανών. Το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο τσιμέντο είναι το Portland. Ωστόσο γίνεται χρήση και άλλων ειδών τσιμέντων. Τα τσιμέντα αυτά περιέχουν διάφορες προσμίξεις οι οποίες δρουν φυσικά ή χημικά και επηρεάζουν τις ιδιότητες του τσιμέντου. Οι προσμίξεις οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως είναι:

- Ιπτάμενες τέφρες
- Πυριτική παιπάλη
- Φυσικές ποζολάνες
- Φυσικοί ηφαιστειακοί λίθοι
- Σκωρίες υψικαμίνων
- Τέφρα κελύφους ρυζιού
- Άνυδρη ή ένυδρη γύψος
- Άνυδρο ή ένυδρο χλωριούχο ασβέστιο
- Οργανικές ενώσεις

2.1 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

2.1.1 Μηχανική φθορά σκυροδέματος

Ως μηχανική φθορά ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία η επιφάνεια του σκυροδέματος φθείρεται από μηχανικές επιρροές π.χ ολίσθηση, κρούση, κύλιση διαφόρων αντικειμένων. Γενικά, η μηχανική φθορά μπορεί να διακριθεί σε τρεις κατηγορίες^[2]:

- Μηχανική φθορά δαπέδων από σκυρόδεμα εκτεθειμένων στον αέρα (απότριψη)
- Μηχανική φθορά υδραυλικών κατασκευών (υδροφθορά)
- Δράση σπηλαιώσεως

Ας εξετάσουμε συνοπτικά καθεμιά από αυτές τις κατηγορίες.

2.1.1.1 Απότριψη σκυροδέματος

Προκαλείται από την κυκλοφορία πεζών, την ολίσθηση αντικειμένων, την πρόσκρουση οχημάτων ή αντικειμένων, την κυκλοφορία φορηγών, την κυκλοφορία οχημάτων τα οποία έχουν καρφιά ή αλυσίδες στα λάστιχά τους κ.λ.π.

α)Μηχανισμός φθοράς αποτρίψεως

Από τις δύο φάσεις του σκυροδέματος (τσιμεντοκονίαμα και χονδρά αδρανή) το τσιμεντοκονίαμα έχει συνήθως μικρότερη αντοχή σε απότριψη από τα χονδρά αδρανή και φθείρεται γρηγορότερα. Στο σχήμα συγκρίνονται οι αντοχές κονιάματος και σκυροδέματος όπως φαίνεται, το κονίαμα έχει μικρότερη αντοχή σε απότριψη από το σκυρόδεμα.

Όπως αναφέρει ο G.Hartl,(1983), η φθορά του τσιμεντοκονιάματος συνεχίζεται με γοργό ρυθμό μέχρις ότου τα χονδρά αδρανή αποκαλυφθούν αρκετά στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Με την εξακολούθηση της επιδράσεως τριβής, τα αδρανή αφαιρούνται από το σκυρόδεμα ,δημιουργώντας ανωμαλίες στην επιφάνεια του σκυροδέματος, η οποία γίνεται με αυτόν τον τρόπο περισσότερο επιρρεπής στη φθορά. Γίνεται έτσι αντιληπτό ότι το τσιμεντοκονίαμα πρέπει να έχει μεγάλη αντοχή για δύο λόγους: Αφενός μεν για να αντέχει το ίδιο, αφετέρου δε να συγκρατεί πολύ γερά τα αδρανή ώστε να εμποδίζεται η αφαίρεσή τους από το σκυρόδεμα.

β) Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε απότριψη

• Αντοχή σκυροδέματος

Από εμπειρία και από πειραματικές έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος επηρεάζει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε

απότριψη. Όσο αυξάνεται η θλιπτική αντοχή, τόσο αυξάνεται η ανθεκτικότητα σε απότριψη.

- **Λόγος N/T**

Για να έχει το σκυρόδεμα μεγάλη αντοχή και επομένως και μεγάλη ανθεκτικότητα σε απότριψη, πρέπει ο λόγος N/T να είναι μικρός. Χρήση ποσότητας νερού στο σκυρόδεμα μεγαλύτερης από μια βέλτιστη απαιτούμενη τιμή, προκαλεί τη δημιουργία αδύνατου επιφανειακού στρώματος και μειώνει τη συνάφεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντοκονιάματος. Η ποσότητα του προστιθέμενου νερού στο σκυρόδεμα εξαρτάται από τη μέγιστη διάσταση των χονδρών αδρανών (όσο αυξάνεται η μέγιστη διάσταση αδρανών, τόσο μειώνεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού), την κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών, την περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε αέρα, τα πρόσθετα, το σχήμα των κόκκων, την επιφανειακή δομή των λεπτών και χονδρών αδρανών, καθώς και από τη θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος κατά την ώρα χυτεύσεως του σκυροδέματος.

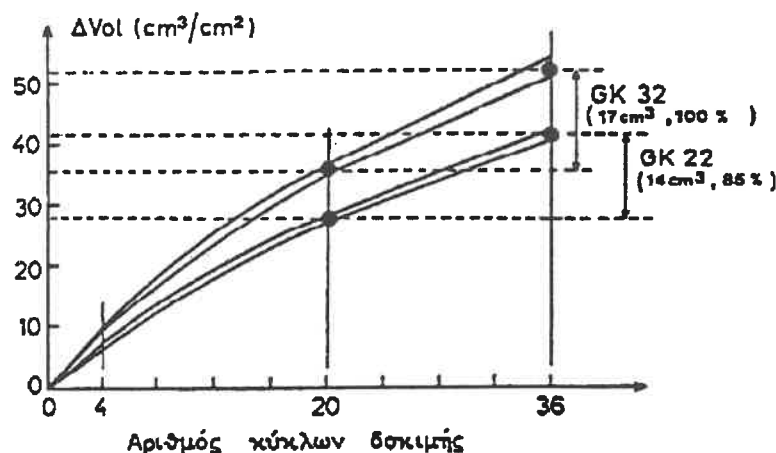
- **Ιδιότητες των αδρανών**

- **Είδος αδρανών**

Η σκληρότητα των αδρανών φαίνεται ότι δεν επηρεάζει την ανθεκτικότητα σε απότριψη σκυροδέματος μεγάλης αντοχής, διότι σ' αυτήν την περίπτωση το τσιμεντοκονίαμα φθείρεται πολύ αργά και έτσι η αποκάλυψη των αδρανών λαμβάνει χώρα κατά το τελευταίο στάδιο των δοκιμών. Θα πρέπει να αναφερθεί όμως ότι υπάρχουν διαφόρων ειδών μηχανές οι οποίες υποβάλλουν την επιφάνεια σκυροδέματος σε διαφορετικού είδους επιπονήσεις αποτρίψεως (επιφανειακή τριβή, τριβή και κρούση κ.λ.π). Επομένως, μπορούν να εξαχθούν διαφορετικά συμπεράσματα ανάλογα με τη δοκιμή που χρησιμοποιήθηκε.

- **Μέγιστος κόκκος**

Στο σχήμα 6 φαίνεται ότι για μέγιστη διάσταση κόκκων 22mm προκαλείται φθορά 14cm³, ενώ για μέγιστη διάσταση κόκκων 32mm προκαλείται φθορά 17cm³. Δηλαδή, ο κόκκος των 22mm προσφέρει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε απότριψη από τον κόκκο των 32mm. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι έχει διαπιστωθεί ότι κόκκοι 8/22mm ή 11/22mm στοιβάζονται πιο κοντά στην επιφάνεια απ' ότι οι κόκκοι 8/32mm.



Σχ.6 : Επίδραση της μέγιστης διαστάσεως των κόκκων στην απώλεια σε απότριψη με την μηχανή Bohme.

-Συντήρηση νωπού σκυροδέματος

Η συντήρηση του νωπού σκυροδέματος έχει ουσιώδη σημασία για την παραγωγή δαπέδου με σκληρή επιφάνεια. Σκοπός της συντηρήσεως είναι να αποφύγουμε την πρόωρη ξήρανση της επιφάνειας, έτσι ώστε το σκυρόδεμα να αποκτήσει την πλήρη αντοχή του και την αντοχή του σε απότριψη. Παρατηρείται επίσης ότι η κακή συντήρηση θα προκαλέσει επιφανειακή ρηγμάτωση του σκυροδέματος και θα προσθέσει έναν επιπλέον παράγοντα μείωσης της ανθεκτικότητας σε απότριψη.

Η συντήρηση πρέπει να αρχίζει αμέσως μετά την ολοκλήρωση των διαδικασιών διαστρώσεως. Καθυστερήση των μέτρων συντηρήσεως έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αδύνατου επιφανειακού στρώματος και τη μείωση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε απότριψη. Σκοπός της συντηρήσεως είναι να δημιουργήσει τις ιδανικές συνθήκες υπό τις οποίες σκληρύνεται το σκυρόδεμα και αποκτά αντοχή, διατηρώντας σταθερή την υγρασία και θερμοκρασία στο μίγμα για συγκεκριμένο διάστημα. Ειδικά οι πλάκες έχουν μεγάλη εκτεθειμένη επιφάνεια σε σχέση με τον όγκο τους' με αυτόν τον τρόπο, το νερό εξατμίζεται πάρα πολύ γρήγορα από την ελεύθερη επιφάνεια, προκαλώντας πρόωρη παύση της ενυδατώσεως του τσιμέντου (άρα μείωση της αντοχής) και πρόωρη ρηγμάτωση,

παράγοντες που συμβάλλουν αποφασιστικά στη μείωση της ανθεκτικότητας σε απότριψη.

-Διαδικασίες περατώσεως

Οι διαδικασίες περατώσεως της επιφάνειας του σκυροδέματος αποβλέπουν στο να αποκτήσει το σκυρόδεμα της επιφάνειας την ίδια ποιότητα με το σκυρόδεμα του υποστρώματος ή ακόμα και καλύτερη. Οι διαδικασίες περατώσεως της επιφάνειας του σκυροδέματος έχουν την ίδια (αν όχι μεγαλύτερη) σημασία από την αντοχή του σκυροδέματος, διότι επηρεάζουν το πάνω στρώμα της επιφάνειας του σκυροδέματος.

Αν όμως οι διαδικασίες περατώσεως γίνουν ενώ υπάρχει πλεόνασμα υγρασίας ή νερό εξιδρώσεως στην επιφάνεια του σκυροδέματος, τότε μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στο σκυρόδεμα.

Ο χρόνος ο οποίος μεσολαβεί για την έναρξη της διαδικασίας περατώσεως, επηρεάζει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε απότριψη. Οι διαδικασίες περατώσεως που εφαρμόζονται στο σκυρόδεμα εξαρτώνται από το είδος της κυκλοφορίας στα δάπεδα, απ'τα φορτία, απ'την πρόσκρουση οχημάτων ή αντικειμένων, απ'τις προβλεπόμενες χημικές επιδράσεις, απ'την απαιτούμενη αντιστοιχιστικότητα του δαπέδου κ.λπ.

2.1.1.2 Υδροφθορά σκυροδέματος

Η φθορά προκαλείται από τη συνεχή ροή του νερού ή των μεταφερόμενων από το νερό σωμάτων, σε κατασκευές όπως φράγματα, αγωγοί, βάθρα γεφυρών, υπερχειλιστές κ.λπ.

Ο μηχανισμός της υδροφθοράς δεν μπορεί να περιγραφεί με ευκολία.

Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το μέγεθος της υδροφθοράς είναι:

- Η ταχύτητα ροής του νερού.
- Η ταχύτητα και το είδος της κινήσεως την οποία εκτελούν τα σώματα που μεταφέρονται από το νερό.
- Η συνολική ποσότητα των μεταφερομένων σωμάτων.
- Το σχήμα, το μέγεθος και το βάρος των μεταφερομένων σωμάτων.
- Η σκληρότητα του σκυροδέματος.

Αύξηση της ταχύτητας του νερού προκαλεί άτακτη κίνηση των μεταφερομένων στερεών σωμάτων. Με αύξηση της ποσότητας των μεταφερομένων σωμάτων δεν προκαλείται αύξηση της υδροφθοράς, όπως θα αναμενόταν αρχικά. Ένα μέρος των σωμάτων τα οποία μεταφέρονται κατακάθονται, μειώνοντας έτσι τον βαθμό της υδροφθοράς.

2.1.1.3 Δράση σπηλαιώσεως

Το φαινόμενο σπηλαιώσεως εμφανίζεται όταν νερό κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα παράλληλα σε περιορισμένη επιφάνεια. Αν αλλάξει η γεωμετρία της επιφάνειας (π.χ συμβολή δύο αγωγών, αλλαγή διευθύνσεως ροής), τότε δημιουργούνται ασυνέχειες στη ροή οι οποίες προκαλούν αύξηση του τυρβώδους και μείωση της πίεσεως. Όταν η πίεση του ρέοντος νερού γίνει μικρότερη από την πίεση εξατμίσεως του νερού, σχηματίζονται φυσαλίδες με ατμό. Αν με τη ροή οι φυσαλίδες φθάσουν σε περιοχές όπου η πίεση είναι μεγαλύτερη από την πίεση εξατμίσεως του νερού, τότε ο ατμός στις φυσαλίδες συμπυκνώνεται και οι φυσαλίδες καταστρέφονται. Μ'αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται κρουστικά κύματα και κύματα πίεσεως προκαλώντας κοιλότητες και ανωμαλίες.

Η φθορά εμφανίζεται σε δύο φάσεις: Αρχικά προκαλείται μικρή φθορά, την οποία όμως ακολουθεί σοβαρή διάβρωση του σκυροδέματος, πιθανώς λόγω του μεγάλου τυρβώδους που αναπτύσσεται τοπικά.

2.1.2 Επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων

Ο παγετός είναι επίδραση η οποία απασχολεί την τεχνολογία του σκυροδέματος στις βόρειες κυρίως χώρες. Εντούτοις, η φθορά αυτής της κατηγορίας παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον και για τη χώρα μας.

2.1.2.1 Μηχανισμός φθοράς λόγω επιδράσεως παγετού

Ο μηχανισμός φθοράς λόγω δημιουργίας παγετού μέσα σε υλικά με πορώδη δομή, όπως είναι το σκυρόδεμα, δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως. Διάφορες εξηγήσεις έχουν δοθεί, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι ακόλουθες:

-Η κλασική εξήγηση είναι η αύξηση του όγκου η οποία προκαλείται με την ψύξη του νερού. Όταν το νερό γίνεται πάγος, ο όγκος του αυξάνεται κατά 9%. Αυτή

η διόγκωση θα προκαλέσει τοπικές θραύσεις του στερεού ιστού και μείωση της αντοχής του συνόλου.

-Η τάση ατμού σε κάποιον πόρο ο οποίος περιέχει νερό, είναι μεγαλύτερη από την τάση ατμού σε κάποιο γειτονικό πόρο ο οποίος περιέχει πάγο. Άρα, για να υπάρξει ισορροπία πιέσεως μεταξύ των δύο αυτών πόρων, είτε πρέπει το νερό να παγώσει και στον άλλο πόρο, είτε να φύγει μια ποσότητα νερού από τον πόρο που περιέχει το νερό. Εξ άλλου, στους μικρούς πόρους το νερό παγώνει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Όσο λοιπόν η θερμοκρασία χαμηλώνει, τόσο η διαφορά τάσεως ατμού μεταξύ πόρων με νερό και πόρων με πάγο αυξάνει και επομένως όλο και περισσότερο νερό “μεταναστεύει” από τους μικρότερους πόρους προς τους μεγαλύτερους, όπου και παγώνει.

Με αυτή την διαδικασία, γεμίζουν οι μεγάλοι πόροι και λόγω της δημιουργίας πάγου σ’ αυτούς, προκαλείται θραύση.

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

Εκτός από αυτούς τους μηχανισμούς, έχουν διατυπωθεί και άλλοι πιθανοί μηχανισμοί θράυσεως του σκυροδέματος λόγω επιδράσεως παγετού. Π.χ θερμικές ασυμβατότητες μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού, απορρόφηση από τα αδρανή του νερού ενυδατώσεως, ανάπτυξη πιέσεως λόγω κρυσταλλοποιήσεως, σχηματισμός πάγου στους μικρούς πόρους. Επίσης, οι χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν συστολή των πόρων και ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων μέσα στο σκυρόδεμα.

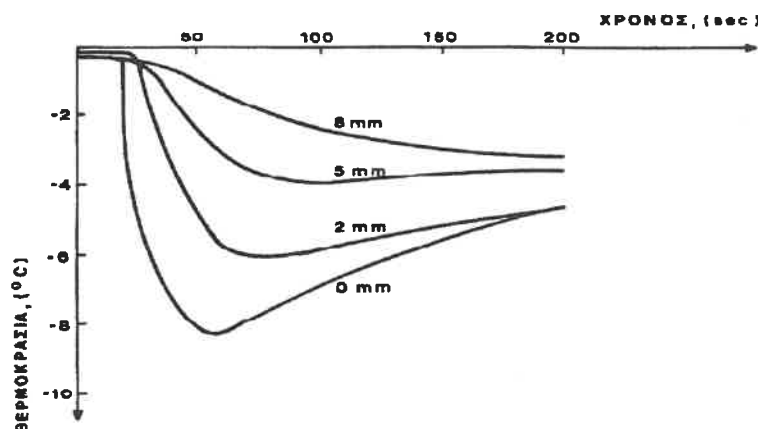
2.1.2.2 Επίδραση αντιπαγωτικών αλάτων

Τα αντιπαγωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2), το χλωριούχο νάτριο (NaCl) και σπανιότερα η ουρία ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) και η αιθυλική αλκοόλη ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Οι G.Verbeck – P.Klieger έκαναν μία σειρά πειραμάτων βυθίζοντας δοκίμια σκυροδέματος σε διαλύματα των προαναφερθέντων προϊόντων. Με τα πειράματα αυτά παρατήρησαν ότι μικρές

συγκεντρώσεις διαλύματος (2 έως 4% κ.β) είναι περισσότερο επιζήμιες από μεγάλες συγκεντρώσεις.

2.1.2.3 Μηχανισμός δράσεως των αντιπαγωτικών αλάτων

-Με την προσθήκη αντιπαγωτικού άλατος στην επιφάνεια του σκυροδέματος, προκαλείται απότομη πτώση της θερμοκρασίας (η ταχύτητα ψύξεως της επιφάνειας του σκυροδέματος μπορεί να φθάσει και τους $14^{\circ}\text{C}/\text{min}$). Αυτό συμβαίνει διότι η θερμότητα που απαιτείται για την τήξη του πάγου ή του χιονιού αφαιρείται από το σκυρόδεμα. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στο επιφανειακό στρώμα των 2 mm (σχ.7). Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφανειακής περιοχής και του εσωτερικού του σκυροδέματος δημιουργεί την ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων. Οι τάσεις αυτές είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε ρηγμάτωση των εξωτερικών στρωμάτων του σκυροδέματος.



Σχ. 7 : Μεταβολή της θερμοκρασίας του σκυροδέματος συναρτήσει του χρόνου, για διάφορες αποστάσεις από την επιφάνεια, μετά την προσθήκη διαλύματος NaCl. Θερμοκρασία σκυροδέματος $\approx 0,5^{\circ}\text{C}$, πάχος στρώματος πάγου 1mm.

-Η εμφάνιση του φαινομένου της ωσμώσεως μπορεί υπό δυσμενείς συνθήκες να προκαλέσει φθορά: Η ανάπτυξη ωσμωτικών πιέσεων δημιουργείται στους πόρους του σκυροδέματος οι οποίοι περιέχουν αντιπαγωτικά άλατα. Τα μόρια του νερού προσπαθούν να εξισορροπήσουν τη συγκέντρωση του διαλύματος των αλάτων με τη συγκέντρωση του καθαρού νερού. Γίνεται έτσι διάχυση των μορίων του νερού στους πόρους του τσιμεντοπολτού ή των αδρανών, με αποτέλεσμα να κορεσθούν οι πόροι.

-Τα αντιπαγωτικά άλατα αλλάζουν την πηκτική συμπεριφορά του νερού στους πόρους του σκυροδέματος. Με την ανακατανομή του νερού, η οποία συμβαίνει λόγω του φαινομένου της ωσμώσεως, το σημείο πήξεως του νερού στους πόρους επηρεάζεται πολύ περισσότερο από την περιεκτικότητα σε άλατα παρά απ' την ακτίνα των πόρων. Μ' αυτόν τον τρόπο, μπορεί γειτονικές περιοχές του σκυροδέματος (οι οποίες όμως περιέχουν διαφορετικές ποσότητες αλάτων) να υφίστανται την επίδραση παγετού σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

2.1.2.4 Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού.

α) Ποιότητα του σκυροδέματος

Για την παρασκευή σκυροδέματος το οποίο πιθανολογείται ότι θα υποστεί την επίδραση παγετού, πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην εκλογή των εξής παραμέτρων:

- μέγεθος αδρανών
- λόγος N/T
- είδος τσιμέντου -πρόσθετα
- προσθήκη αερακτικών

Ας εξετάσουμε πιο αναλυτικά πως επιδρά καθεμιά παράμετρος στην ανθεκτικότητα σκυροδέματος σε επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων.

• Μέγεθος αδρανών

Τα αδρανή καταλαμβάνουν περίπου το 70 έως 75% του όγκου του σκυροδέματος. Εκείνα τα αδρανή που δεν είναι ανθεκτικά σε επίδραση παγετού, απορροφούν νερό το οποίο παγώνει και ασκεί διογκωτικές πιέσεις στο σκυρόδεμα. Οι D.Stark – P.Klieger, (1973), έχουν βρει ότι η ανθεκτικότητα έναντι παγετού αυξάνεται σημαντικά όταν μειώνεται η μέγιστη διάσταση των τυχόν απορροφητικών αδρανών που χρησιμοποιούνται.

Ο H.Hilsdorf, (1980), όμως εκφράζει τη γνώμη ότι χρήση μεγάλης ποσότητας λεπτόκοκκων αδρανών οδηγεί σε προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων νερού για να γίνει το σκυρόδεμα πιο εργάσιμο. Έτσι μειώνεται η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού. Επιπλέον, τα μικρά αδρανή μπορεί να φτάσουν με μεγαλύτερη ευκολία στον κρίσιμο βαθμό κορεσμού.

Έχει βρεθεί ότι μερικά αδρανή προσβάλλονται χημικώς από τα αντιπαγωτικά άλατα. Μέσα στο σκυρόδεμα, όμως, ο τσιμεντοπολτός προσφέρει αρκετή προστασία στα αδρανή. Φθορά θα συμβεί αν το αντιπαγωτικό άλας έχει έρθει σε άμεση επαφή με τα αδρανή (λ.χ. όταν το επιφανειακό στρώμα του σκυροδέματος έχει φθαρεί και τα αδρανή εκτίθενται στην ατμόσφαιρα ή σε περιοχές ρωγμών).

- **Λόγος N/T**

Ο λόγος N/T επηρεάζει ως γνωστόν το πορώδες. Η επιρροή της τιμής του λόγου N/T στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού φαίνεται στο σχήμα. Για τιμή του λόγου N/T μικρότερη από 0.45 ,η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος αυξάνεται πολύ, τόσο σε κοινό σκυρόδεμα όσο και σε σκυρόδεμα με αερακτικά.

- **Είδος τσιμέντου – πρόσθετα**

Έχει βρεθεί πειραματικά (όπως αναφέρει ο g.Hartl, 1983), ότι η χρήση διαφόρων προσμίξεων στο τσιμέντο δεν βελτιώνει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων, λ.χ. χρήση τσιμέντου με 40 έως 80% σκωρία ή 15 έως 40% ιπτάμενες τέφρες, δεν βελτιώνει την ανθεκτικότητα σε παγετό. Μπορεί αντιθέτως οι προσμίξεις στο τσιμέντο να έχουν αρνητική επίδραση και να μειώσουν πολύ την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού. Αυτό συμβαίνει επειδή αλλάζουν την κατανομή των πόρων, δημιουργώντας άτακτη δομή του πορώδους συστήματος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται όταν χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα πρόσθετα συγχρόνως. Στο CEB Bull. 148 αναφέρεται ότι τα ανάμικτα τσιμέντα δείχνουν μεγάλη ευαισθησία σε επίδραση παγετού στις μικρές ηλικίες του σκυροδέματος. Μπορεί όμως σε μεγαλύτερες ηλικίες του σκυροδέματος να παρουσιάσουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα έναντι παγετού από τα τσιμέντα Portland.

Οι H.Cheng – yi, R.Feldman,(1985), έδειξαν^[2] πειραματικώς ότι προσθήκη πυριτικής παιπάλης σε κονιάματα, χωρίς ταυτόχρονη προσθήκη αερακτικών, βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό την ανθεκτικότητα των κονιαμάτων έναντι παγετού. Η πυριτική παιπάλη (silica fume) είναι πολύ λεπτό υλικό περίπου το 1/10 έως 1/100 του κόκκου του τσιμέντου και η δράση της είναι διτή. Αυξάνει την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος γιατί οι λεπτοί αυτοί κόκκοι γεμίζουν τα κενά του σκυροδέματος και μειώνουν το πορώδες και επιπλέον έχουμε έντονη ποζολανική αντίδραση (μεταξύ ποζολάνης και $\text{Ca}(\text{OH})_2$), σχηματίζοντας προϊόντα ενυδάτωσης παρόμοια

με το τσιμέντο και επομένως αυξάνεται η αντοχή. Τα αερακτικά προκαλούν κάποια μείωση της θλιπτικής αντοχής γιατί συντελούν στην αύξηση του περιεχόμενου αέρα και επομένως στη μείωση της αντοχής γιατί το πορώδες αυξάνει.

• Προσθήκη αερακτικών

Με τα αερακτικά πρόσθετα, το σκυρόδεμα εμπλουτίζεται με τεχνητούς πόρους. Αυτοί οι πόροι έχουν μέγεθος από 2 μm έως 2mm (είναι δηλαδή μεγαλύτεροι από τους τριχοειδείς πόρους και τους πόρους πήγματος). Η ύπαρξη των τεχνητών πόρων στο σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από τον δείκτη αποστάσεως "α".

Όταν ο κίνδυνος προσβολής του σκυροδέματος από επίδραση παγετού μεγαλώνει, πρέπει ο δείκτης αποστάσεως να μικραίνει όπως επίσης σε περίπτωση χρήσεως λεπτόκοκκων αδρανών σύμφωνα με τον G.Hartl. Βέβαια, η προσθήκη αερακτικών στο σκυρόδεμα δεν πρέπει να ξεπεράσει ένα ορισμένο όριο, γιατί τότε θα μειωθεί η αντοχή του σκυροδέματος σημαντικά. Οι τεχνητοί πόροι βελτιώνουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε επίδραση παγετού, διότι διατίθενται ως χώρος διαστολής του νερού. Ακόμα και στην περίπτωση κορεσμένου σκυροδέματος, οι τεχνητοί πόροι δεν είναι τελείως γεμάτοι. Έτσι, με τα φαινόμενα διαχύσεως τα οποία συμβαίνουν μεταξύ των πόρων, αποφεύγεται ο σχηματισμός πάγου στους μικρότερους πόρους και επομένως η θραύση του σκυροδέματος. Έχει βρεθεί πειραματικά ότι τα ρευστοποιητικά καταστρέφουν τους τεχνητούς πόρους. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε χημική αντίδραση μεταξύ του ρευστοποιητικού και του αερακτικού.

Τελευταίως γίνονται έρευνες για την αντικατάσταση των αερακτικών στο σκυρόδεμα με μικροσφαίρες κενού. Η δημιουργία μικροσφαιρών κενού στο σκυρόδεμα γίνεται με την προσθήκη πολυμερών. Το βέλτιστο μέγεθός τους, καθώς και η επίδραση την οποία έχουν στο σκυρόδεμα δεν έχουν καθοριστεί ακόμα. Προς το παρόν πάντως, το μεγάλο κόστος τους περιορίζει τη χρήση τους.

β) Συνθήκες περιβάλλοντος

Όταν οι συνθήκες στο περιβάλλον είναι τέτοιες ώστε η σχετική υγρασία του σκυροδέματος να είναι πολύ μεγάλη, π.χ. 97%, είναι πολύ πιθανό ότι θα συμβεί μελλοντική ξήρανση του σκυροδέματος. Έστω και αν η ξήρανση είναι πολύ μικρή, εφόσον συμβεί πριν απ' την επίδραση παγετού, θα βελτιώσει πολύ την

ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού, ανεξάρτητα από την τιμή του λόγου N/T και την περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε κενά αέρα.

Ο κορεσμός του σκυροδέματος γίνεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση γεμίζουν με νερό οι πόροι οι οποίοι δεν περιέχουν αέρα (έστω και αν περιέχουν μικρή ποσότητα νερού). Οι πόροι οι οποίοι περιέχουν αέρα παραμένουν κενοί. Στην δεύτερη φάση γεμίζουν με νερό οι πόροι οι οποίοι περιείχαν αέρα. Όταν ο βαθμός κορεσμού φθάσει σε ένα ορισμένο όριο και το σκυρόδεμα υποστεί την επίδραση παγετού, τότε θα προκληθεί ζημιά.

γ) Ηλικία του σκυροδέματος

Όσο αυξάνει η ηλικία του σκυροδέματος, αυξάνεται η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι παγετού, διότι μεταβάλλεται το μέγεθος και η κατανομή των πόρων.

Όπως αναφέρει ο M.Matti, (1986), το σκυρόδεμα μικρής ηλικίας έχει αρκετό νερό στους πόρους του, επειδή δεν έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία ενυδατώσεως του τσιμέντου. Επίδραση παγετού σε σκυρόδεμα μικρής ηλικίας θα προκαλέσει σημαντική φθορά.

Αυτό συμβαίνει επειδή το σκυρόδεμα δεν έχει αναπτύξει ακόμα αρκετή αντοχή, για να μπορεί να παραλάβει τις τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται με τον σχηματισμό του πάγου. Η μείωση της θλιπτικής αντοχής φτάνει μέχρι το 40% της αντοχής σκυροδέματος το οποίο δεν έχει υποστεί την επίδραση παγετού.

2.1.2.5 Πώς εμφανίζεται η φθορά λόγω επιδράσεως παγετού

- **Ρηγμάτωση**

Οι τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται μέσα στο σκυρόδεμα προκαλούν ρηγμάτωση. Συνήθως οι ρωγμές εμφανίζονται σ'όλη την επιφάνεια του σκυροδέματος. Το εύρος των ρωγμών δεν ξεπερνά τα 0.25mm, ενώ το βάθος τους περιορίζεται σε 35mm από την επιφάνεια.

- **Απολέπιση και αποφλείωση του σκυροδέματος**

Αφαιρούνται επιφανειακά μικρά κομμάτια σκυροδέματος υπό μορφή λεπίδων, και δημιουργούνται έτσι μικρές κοιλότητες. Σε περίπτωση πολύ σοβαρής φθοράς, είναι δυνατόν να αφαιρεθούν και μεγάλα κομμάτια σκυροδέματος

(αποφλείωση). Παρατηρείται δε ότι τα κομμάτια που αφαιρούνται μπορεί να έχουν και μεγάλη αντοχή.

- **Υγρή εμφάνιση του σκυροδέματος**

Όταν το σκυρόδεμα έχει υποστεί την επίδραση παγετού σε μικρή ηλικία, τότε φαίνεται σαν να είναι υγρό. Το σκυρόδεμα είναι σκουρόχρωμο και θραύεται εύκολα.

2.2 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

Η χημική διάβρωση του σκυροδέματος είναι αποτέλεσμα της επιδράσεως διαφόρων ουσιών οι οποίες επιδρούν χημικώς με το σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα να αλλάζει η σύσταση του σκυροδέματος και να επηρεάζονται ανεπανόρθωτα οι ιδιότητές του. Ένα σκυρόδεμα το οποίο έχει κατασκευαστεί σωστά, δεν θα υποστεί εύκολα φθορά λόγω χημικής προσβολής. Υπό ορισμένες συνθήκες, όμως, είναι δυνατόν το τσιμέντο, η άμμος ή τα σκύρα να φθαρούν. Όταν μάλιστα η φθορά αυτή δεν φανερώνεται από μόνη της, μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο η ασφάλεια της κατασκευής. Συνήθως, η φθορά γίνεται εμφανής όταν το σκυρόδεμα υποστεί συνδυασμό διαφορετικών επιδράσεων, π.χ. η φθορά λόγω αντιδράσεων αδρανών – αλκαλίων μπορεί να εκδηλωθεί όταν το σκυρόδεμα υποστεί και επίδραση παγετού.

Με τις χημικές επιδράσεις, ορισμένα διαβρωτικά συστατικά (μόρια ή ιόντα) μεταφέρονται από το περιβάλλον στο σκυρόδεμα. Για να πραγματοποιηθεί όμως χημική αντίδραση, πρέπει τα διαβρωτικά συστατικά να συναντηθούν με χημικώς ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Αυτή είναι η αιτία για την οποία πολλές φορές περνούν χρόνια για να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις.

Η χημική διάβρωση είναι σύνθετη διαδικασία, η οποία επηρεάζεται από τις εξής παραμέτρους:

- Ιδιότητες του σκυροδέματος, π.χ διαπερατότητα, είδος του τσιμέντου, είδος των αδρανών
- Ιδιότητες του διαβρωτικού μέσου, π.χ. συγκέντρωση του οξέος ή του άλατος στο διάλυμα, υγρή, στερεά ή αέρια κατάσταση του διαβρωτικού μέσου.
- Φύση των προϊόντων της αντιδράσεως, δηλαδή αν είναι αδιάλυτα (τότε μειώνουν τη διαπερατότητα του σκυροδέματος), ευδιάλυτα κ.λπ.

- Περιβαλλοντικές συνθήκες, π.χ. παρουσία νερού (υπό υγρή ή αέρια μορφή), θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα ροής.

Κατηγορίες της χημικής διαβρώσεως

Η χημική διάβρωση μπορεί να οφείλεται σε εξωτερικές επιδράσεις (π.χ. όξινο διάλυμα, θαλάσσιο νερό, έδαφος κ.λπ.) ή σε εσωτερικές επιδράσεις (π.χ. ευπρόσβλητα αδρανή κ.λπ.).

Ανάλογα με τον μηχανισμό με τον οποίο προκαλείται η φθορά, μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες χημικής διαβρώσεως^[2]:

- **Διάβρωση λόγω αποπλύσεως:** Αφαιρείται ένα τμήμα ή το σύνολο του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Η διάβρωση αποπλύσεως προκαλείται από νερό με μικρή σκληρότητα, από υδροχλωρικό οξύ και από ανθρακικό οξύ. Η φθορά είναι μικρή και εμφανίζεται κυρίως σε πορώδες σκυρόδεμα, ενώ σε πυκνό σκυρόδεμα δεν προκαλείται εύκολα. Η φθορά εμφανίζεται στην αρχή στα άκρα και στις γωνίες, ενώ αργότερα δημιουργούνται κοιλότητες μέχρις ότου επέλθει η τελική αποσύνθεση.
- **Διάβρωση λόγω αντιδράσεων ανταλλαγής μάζας:** Προκαλείται από οξέα, άλατα, φαινόλες κ.λπ. Τα προϊόντα της αντιδράσεως των διαβρωτικών στοιχείων με το σκυρόδεμα μπορεί να είναι ευδιάλυτα οπότε αποπλένονται από νερό, είτε παραμένουν μέσα στο σκυρόδεμα και χαλαρώνουν τη συνάφεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού.
- **Διάβρωση λόγω διογκώσεως:** Προκαλείται από θειικά άλατα κυρίως. Τα προϊόντα της αντιδράσεως είναι σταθερά, αλλά καταλαμβάνουν μεγάλο όγκο μέσα στο τσιμεντοκονίαμα. Ως αποτέλεσμα προκαλείται ρηγμάτωση λόγω των τάσεων τις οποίες ασκούν τα ογκώδη προϊόντα αντιδράσεως.

2.2.1 Επίδραση μαλακού νερού

Μαλακό είναι το νερό της βροχής, το νερό που προέρχεται από τήξη πάγου ή χιονιού, ή από ατμό, το νερό των λιμνών και των ποταμών, το νερό των πηγών από εκκριγενείς βράχους (π.χ. γρανίτη, βασάλτη, ανδεσίτη).

Η σκληρότητα εκφράζει την ποσότητα ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου και των ενώσεών τους στο νερό. Μερικοί βαθμοί σκληρότητας του νερού είναι:

Πολύ μαλακό	0 - 4 ^o
Σκληρό	18 ^o - 25 ^o
Εξαιρετικά σκληρό	> 50 ^o

Η σκληρότητα μεταβάλλεται με τον χρόνο. Για παράδειγμα, το νερό των ποταμών είναι πιο μαλακό τον χειμώνα και την άνοιξη, επειδή η περιεκτικότητα σε ορυκτά άλατα είναι μικρή λόγω αυξημένης ποσότητας νερού.

Η σκληρότητα του νερού οφείλεται κυρίως στα όξινα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, τα οποία είναι διαλυτά στο νερό όταν υπάρχει στο νερό αρκετή ποσότητα αδέσμευτου διοξειδίου του άνθρακα. Αν το διοξείδιο του άνθρακα δεν είναι αρκετό, τότε τα άλατα αυτά καθιζάνουν.

2.2.2 Επίδραση οξέων

Στη φύση, τα οξέα εμφανίζονται στο έδαφος και στα εδαφικά ύδατα π.χ. οργανικά οξέα, θειϊκό οξύ, νιτρικό οξύ, φωσφορικό οξύ κ.λπ.

Η φθορά που προκαλεί το οξύ στο σκυρόδεμα, εξαρτάται από την συγκέντρωση του οξέος 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.

2.2.3 Επίδραση αλάτων

Στη φύση, τα άλατα υπάρχουν στο έδαφος, σε εδαφικά νερά και στο θαλάσσιο νερό. Τα άλατα τα οποία συναντώνται συνηθέστερα είναι:

- **Χλωριούχα άλατα** (νατρίου, ασβεστίου, αμμωνίου και μαγνησίου). Υπάρχουν στο θαλάσσιο νερό, σε βιομηχανικά απόβλητα και σε λιπάσματα. Μερικά από αυτά τα άλατα, χρησιμοποιούνται ως αντιπαγωτικά άλατα. Άλλα χλωριούχα άλατα χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του για να επηρεάσουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Τα χλωριούχα άλατα είναι ευδιάλυτα στο νερό.

- **Νιτρικά και νιτρώδη άλατα** (νατρίου, καλίου και αμμωνίου). Είναι άλατα ευδιάλυτα στο νερό. Όπως αναφέρει ο V.Zivica, η διαβρωτική δράση των χλωριούχων και των νιτρικών αλάτων εξαρτάται πολύ από το είδος του κατιόντος του άλατος. Αν το κατιόν του άλατος είναι λιγότερο βασικό από το ασβέστιο, τότε η διάβρωση του σκυροδέματος οφείλεται στη φύση του παραγόμενου προϊόντος. Εάν όμως το κατιόν είναι περισσότερο βασικό από το ασβέστιο, όπως είναι το κάλιο και το νάτριο, τότε συμβαίνει πρόσθετη διάβρωση του σκυροδέματος λόγω ανταλλαγής βάσεων. Με τη διαδικασία αυτή καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες υδροξειδίου του ασβεστίου του σκυροδέματος.
- **Ανθρακικά άλατα**. Προσβάλλουν μόνο σκυρόδεμα το οποίο έχει παρασκευασθεί από αργιλικό τσιμέντο. Το ανθρακικό μαγνήσιο είναι αδιάλυτο στο νερό και δεν προκαλεί φθορά στο σκυρόδεμα.
- **Θειικά άλατα**. Είναι τα περισσότερο επικίνδυνα για το σκυρόδεμα άλατα. Ο μηχανισμός δράσεώς τους διαφέρει πολύ από τον μηχανισμό δράσεως των άλλων αλάτων. Λόγω διαφορετικού μηχανισμού φθοράς του σκυροδέματος, εξετάζονται χωριστά η επίδραση γύψου και η επίδραση θειικών αλάτων μαγνησίου και αμμωνίου.

2.2.4 Επίδραση ελαιωδών ουσιών

Έλαια τα οποία μπορεί να επιδράσουν στο σκυρόδεμα είναι:

- έλαια θερμάνσεως με μικρό ιξώδες, π.χ. πετρέλαιο
- έλαια θερμάνσεως με μεγάλο ιξώδες, π.χ. ορυκτέλαιο με βάση την παραφίνη
- πετρέλαιο καύσεως κινητήρων
- λιπαντικά έλαια π.χ. γράσσο, μέσου ή μεγάλου ιξώδους.

Η ποσότητα του απορροφούμενου ελαίου και το βάθος διεισδύσεως του ελαίου στο σκυρόδεμα εξαρτώνται από το ιξώδες του ελαίου και από την διαπερατότητα του σκυροδέματος. Στην περίπτωση επιδράσεως ελαίου με μεγάλο ιξώδες στο σκυρόδεμα, γεμίζουν οι μεγάλοι πόροι του σκυροδέματος (υπό κανονική πίεση και χαμηλή θερμοκρασία), ενώ οι μικρότεροι πόροι παραμένουν κενοί.

Όταν σκυρόδεμα εμποτισμένο σε έλαιο εκτεθεί στον αέρα, θα χάσει μικρή ή μεγάλη ποσότητα του απορροφημένου ελαίου, ανάλογα με το ιξώδες του ελαίου.

Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες του ελαίου, τόσο μικρότερη είναι η απώλεια ελαίου με την ξήρανση.

Τα έλαια διαβρώνουν το σκυρόδεμα λόγω των οξειδωτικών συστατικών τα οποία συγκρατούν. Τα έλαια εμποδίζουν την πραγματοποίηση των φαινομένων τα οποία συμβαίνουν με την έκθεση του σκυροδέματος στον αέρα π.χ. διείσδυση νερού, ενανθράκωση κ.λπ.

Για σκυρόδεμα το οποίο θα υποστεί την επίδραση ελαίων σε νεαρή ηλικία, συνιστάται η παρασκευή σκυροδέματος με ποιότητα ανώτερη από την ποιότητα την οποία εκλέγουμε κατά τον στατικό σχεδιασμό. Εμποτισμός σκυροδέματος μεγάλης ηλικίας με έλαια δεν προκαλεί διάβρωση στο σκυρόδεμα.

2.2.5 Επίδραση άλλων ουσιών

Διάφορες οργανικές ενώσεις, όπως είναι 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.

2.2.6 Βιολογική επίδραση

Διάβρωση του σκυροδέματος λόγω βιολογικών επιδράσεων μπορεί να προκληθεί από διάφορους φυτικούς ή ζωϊκούς μικροοργανισμούς. Οι μικροοργανισμοί αυτοί για την ανάπτυξή τους χρειάζονται ίχνη μεταλλικών στοιχείων τα οποία προμηθεύονται από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Μ' αυτόν τον τρόπο προκαλούν διάβρωση στο σκυρόδεμα. Η επίδραση των μικροοργανισμών μπορεί να συμβεί σε επιφάνειες του σκυροδέματος οι οποίες βρίσκονται κοντά στη θάλασσα, σε υγρό περιβάλλον ή στο εσωτερικό αγωγών αποχευτέσεως. Βιολογική επίδραση στο σκυρόδεμα μπορεί να προκαλείται από τους εξής παράγοντες^[2]:

- **Ρίζες φυτών.** Εισδύουν στο σκυρόδεμα από τις διάφορες μικρορωγμές και από τα αδύνατα σημεία του σκυροδέματος. Με τις διαρρηκτικές δυνάμεις τις οποίες ασκούν, προκαλούν πρόσθετη ρηγμάτωση. Με την ανάπτυξη των φυτών συγκρατείται νερό στην επιφάνεια του σκυροδέματος λόγω επιδράσεως παγετού. Η έκκριση οξέων από τις ρίζες

μπορεί να προκαλέσει χημική διάβρωση του τσιμεντοκονιάματος. Η σήψη των ριζών δίνει χουμικό οξύ το οποίο επίσης προκαλεί διάβρωση.

- **Λειχήνες και βρύα.** Αναπτύσσονται σε υγρό σκυρόδεμα, συνήθως δε η παρουσία τους περνά απαρατήρητη. Μείωση της τιμής του pH στην επιφάνεια του σκυροδέματος φαίνεται ότι επιταχύνει την ανάπτυξή τους. Με την παρουσία ανθρακικού οξέος η δράση τους γίνεται ελαφρώς διαβρωτική.
- **Βακτήρια.** Αναπτύσσονται σε απορρίματα και σε αγωγούς αποχετεύσεως, αντέχουν δε σε μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας.
- **Φύκια.** Η επίδρασή τους είναι λιγότερο επιζήμια από την επίδραση των ζωικών μικροοργανισμών (βακτηρίων). Συνήθως προστατεύουν το σκυρόδεμα και τον χάλυβα από διάβρωση, επειδή καταναλώνουν το οξυγόνο του νερού, προτού να εισδύσει το οξυγόνο στο σκυρόδεμα. Είναι δυνατόν, όμως να προκαλέσουν φθορά στο σκυρόδεμα όταν βρίσκονται σε περιοχή η οποία διαβρέχεται διαδοχικά και ξηραίνεται, διότι τότε συγκεντρώνουν θαλάσσιο νερό στο οποίο η συγκέντρωση αλάτων αυξάνεται με την εξάτμιση. Επίσης, διάβρωση του σκυροδέματος μπορεί να προκαλέσουν ορισμένα μαλάκια τα οποία προσκολλώνται στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

2.2.7 Αντίδραση αλκαλίων - αδρανών

Για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση αλκαλίων – αδρανών, χρειάζεται η παρουσία των εξής τριών παραγόντων:

- επαρκής ποσότητα αλκαλίων στο σκυρόδεμα
- αντιδρώντα αδρανή
- επαρκής υγρασία

Τα αλκάλια μπορεί να προέρχονται από τα αδρανή ή να μεταφερθούν στο σκυρόδεμα π.χ. από διαλύματα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, από αντιπαγωτικά άλατα αλκαλίων σε καταστρώματα γεφυρών, από θαλάσσιο νερό κ.λπ. Κυρίως όμως βρίσκονται στο τσιμέντο, από τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του τσιμέντου.

Τα αλκάλια ενδέχεται να έχουν προστεθεί στο τσιμέντο για να βελτιώσουν την ποιότητά του: Αυξάνοντας την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε αλκάλια, αυξάνεται η αντοχή του τσιμεντοπολτού τις πρώτες ημέρες, ενώ η αντίστοιχη αντοχή των 28 ημερών μειώνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΣΥΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Είναι σημαντικό η δομή του σκυροδέματος να συνεχίσει να εκπληρώνει τις επιδιωκόμενες λειτουργίες του, οι οποίες είναι η αντοχή και η λειτουργικότητα κατά τη διάρκεια της προσδιορισμένης αναμενόμενης ζωής του. Το σκυρόδεμα πρέπει να αντέχει τη διαδικασία της φθοράς στην οποία εκτίθεται. Ανθεκτικότητα δεν σημαίνει μία αόριστη ζωή ούτε σημαίνει αντοχή σε οποιαδήποτε ιδιότητα του σκυροδέματος. Στις σημερινές ημέρες έχει διαπιστωθεί ότι απαιτείται η συντήρηση του σκυροδέματος^[9].

Μέχρι πρόσφατα, ανακαλύψεις στην τεχνολογία του τσιμέντου και του σκυροδέματος έχουν επικεντρωθεί στην επίτευξη υψηλότερων αντοχών. Υπήρχε μία υπόθεση ότι το σκυρόδεμα με υψηλή αντοχή είναι και ανθεκτικό σκυρόδεμα. Τώρα είναι γνωστό ότι για πολλές συνθήκες έκθεσης της δομής του σκυροδέματος, η αντοχή και η ανθεκτικότητα πρέπει να θεωρηθούν μαζί στο αρχικό στάδιο σχεδιασμού.

Αιτίες ανεπαρκούς ανθεκτικότητας

Η ανεπαρκής ανθεκτικότητα φανερώνεται από την καταστροφή που προκαλείται είτε από εξωτερικούς παράγοντες είτε από εσωτερικές αιτίες μέσα στο ίδιο το σκυρόδεμα. Οι ποικίλες δραστηριότητες μπορεί να είναι φυσικές, χημικές ή μηχανικές. Μηχανική ζημιά μπορεί να συμβεί από κρούση, απότριψη, απότριψη από νερό ή σπηλαίωση. Οι χημικές αιτίες καταστροφής περιλαμβάνουν τις αλκαλοπυριτικές και αλκαλοανθρακικές αντιδράσεις. Εξωτερική χημική προσβολή συμβαίνει κυρίως μέσα από την επίδραση των επιθετικών ιόντων όπως χλωρίδια, άλατα, ή διοξείδιο του άνθρακα, όπως επίσης πολλά φυσικά ή βιομηχανικά υγρά και αέρια. Η καταστροφή μπορεί να είναι πολλών ειδών και μπορεί να συμβεί άμεσα ή έμμεσα.

Φυσικές αιτίες καταστροφής περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα από υψηλές θερμοκρασίες ή στη θερμική διαστολή των αδρανών και του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Μία σημαντική αιτία καταστροφής είναι επίσης οι εναλλαγές

παγετού – τήξεως του σκυροδέματος και την συσχετισμένη δράση των αντιπαγωτικών αλάτων.

Πρέπει να παρατηρηθεί ότι η φυσική και χημική διεργασία της καταστροφής του σκυροδέματος μπορεί να συμβεί με ένα συνεργατικό τρόπο. Η καταστροφή του σκυροδέματος σπάνια οφείλεται σε ένα μεμονωμένο αίτιο: το σκυρόδεμα μπορεί συχνά να είναι ικανοποιητικό παρόλο κάποια ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά, με ένα όμως επιπρόσθετο παράγοντα καταστροφή μπορεί να συμβεί. Γι' αυτό το λόγο είναι δύσκολο να ανάγεις την καταστροφή σε ένα μόνο συγκεκριμένο παράγοντα. Οι παράγοντες αυτοί αφορούν την μεταφορά υγρών μέσα από το σκυρόδεμα. Γι' αυτό το λόγο θεώρηση της ανθεκτικότητας απαιτεί την κατανόηση των φαινομένων αυτών.

Μεταφορά υγρών στο σκυρόδεμα

Υπάρχουν τρία υγρά κυρίαρχα τα οποία είναι σχετικά με την ανθεκτικότητα και μπορούν να διεισδύσουν στο σκυρόδεμα: νερό (καθαρό ή με επιθετικά ιόντα), διοξείδιο του άνθρακα και οξυγόνο. Μπορούν να περάσουν μέσα από το σκυρόδεμα με διαφορετικούς τρόπους, αλλά όλη η μεταφορά εξαρτάται αρχικά από την δομή του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος εξαρτάται πολύ από την ευκολία με την οποία τα υγρά και τα αέρια μπορούν να εισέλθουν και να μεταφερθούν μέσα από το σκυρόδεμα αυτό ονομάζεται διαπερατότητα του σκυροδέματος. Η διαπερατότητα αναφέρεται σε ροή μέσα από ένα πορώδες μέσο. Η κίνηση των διαφόρων υγρών μέσα από το σκυρόδεμα συμβαίνει όχι μόνο με ροή μέσα από πορώδες μέσο αλλά επίσης και με διάχυση και απορρόφηση. Πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ των διαφόρων ειδών ροής.

Επιρροή του πορώδους συστήματος

Η δομή του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού που είναι σχετική με την διαπερατότητα αφορά το πορώδες σύστημα της μάζας του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού και επίσης την ζώνη κοντά στην διεπιφάνεια μεταξύ της πάστας και των αδρανών. Η διεπιφάνεια που ονομάζεται και "μεταβατική ζώνη" καταλαμβάνει από 1/3 έως 1/2 του συνολικού όγκου του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού στο σκυρόδεμα και είναι γνωστό να έχει διαφορετική δομή από την μάζα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Η διεπιφάνεια επίσης είναι το κέντρο δράσης για

πρώωρες μικρορωγμές. Γι' αυτό τον λόγο, η διεπιφάνεια μπορεί να θεωρηθεί ότι συνεισφέρει σημαντικά στην διαπερατότητα του σκυροδέματος. Ωστόσο, ο Larbi βρήκε ότι παρόλο την υψηλή ποσότητα σε πόρους της διεπιφάνειας, η διαπερατότητα του σκυροδέματος ελέγχεται από την μάζα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού, όπου είναι η μόνη συνεχόμενη φάση στο σκυρόδεμα.

Σύμφωνα με την άποψη του Larbi^[9], η διαπερατότητα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού δεν είναι χαμηλότερη από αυτή του σκυροδέματος που είναι φτιαγμένο με μία όμοια πάστα. Επίσης σχετικό είναι το γεγονός ότι κάθε κίνηση των υγρών έχει να ακολουθήσει μια πορεία μακρύτερη και πιο περίπλοκη από την παρουσία των αδρανών, όπου επίσης μειώνει την αποτελεσματική περιοχή για ροή. Γι' αυτό τον λόγο, η σημαντικότητα της διεπιφάνειας παραμένει αβέβαιη. Γενικά, η σχέση μεταξύ της διαπερατότητας και της πορώδους δομής του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού είναι ποιοτική.

Οι πόροι που είναι σχετικοί με την διαπερατότητα είναι αυτοί με διάμετρο τουλάχιστον 120 ή 160 nm. Αυτοί οι πόροι πρέπει να είναι συνεχόμενοι. Πόροι που είναι μη αποτελεσματικοί σε σχέση με την ροή περιλαμβάνουν, σε αντίθεση με τους διακεκομμένους πόρους, αυτούς που περιέχουν απορροφημένο νερό και αυτούς που έχουν μία στενή είσοδο, ακόμα και αν οι ίδιοι οι πόροι είναι μεγάλοι.

Τα αδρανή μπορεί επίσης να περιέχουν πόρους, αλλά είναι κυρίως διακεκομμένοι και περιβάλλονται από πάστα έτσι ώστε να μπορεί να λεχθεί ότι οι πόροι στα αδρανή να μην συνεισφέρουν στην διαπερατότητα του σκυροδέματος.

Ροή, διάχυση και απορρόφηση

Λόγω της παρουσίας πόρων διαφορετικών ειδών, μερικοί από τους οποίους συνεισφέρουν στην διαπερατότητα και μερικοί από τους οποίους όχι, είναι σημαντικό να διαχωριστούν το πορώδες από την διαπερατότητα. Το πορώδες είναι ένα μέτρο της αναλογίας του συνολικού όγκου του σκυροδέματος καταλαμβανόμενο από πόρους και εκφράζεται επί της %. Εάν το πορώδες είναι υψηλό και οι πόροι είναι αλληλοσυνδεδεμένοι, συνεισφέρουν στην μεταφορά υγρών μέσα από το σκυρόδεμα έτσι ώστε η διαπερατότητα να είναι επίσης υψηλή. Από την άλλη πλευρά, εάν οι πόροι είναι διακεκομμένοι ή μη αποτελεσματικοί σε σχέση με την μεταφορά, τότε η διαπερατότητα του σκυροδέματος είναι χαμηλή, ακόμα και αν το πορώδες είναι υψηλό.

Όσον αφορά την κίνηση των υγρών μέσα από το σκυρόδεμα, μπορούμε να ξεχωρίσουμε τρεις μηχανισμούς. Η διαπερατότητα αναφέρεται στην ροή η οποία οφείλεται σε διαφορά πιέσεων. Διάχυση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα υγρό κινείται λόγω διαφορετικών συγκεντρώσεων ή ανάλογη ιδιότητα του σκυροδέματος είναι η διαχυτότητα. Αέρια μπορούν να διεισδύσουν μέσα από κενά γεμάτα με νερό ή κενά γεμάτα με αέρα.

Απορρόφηση (Ρόφηση) είναι το αποτέλεσμα της τριχοειδούς κίνησης μέσα στους πόρους του σκυροδέματος που είναι ανοιχτοί. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να συμβεί μόνο όταν το σκυρόδεμα είναι μερικώς ξηρό. Δεν υπάρχει απορρόφηση νερού σε τελείως ξηρό ή κορεσμένο σκυρόδεμα.

Συντελεστής διαπερατότητας

Η ροή σε τριχοειδής πόρους σε κορεσμένο σκυρόδεμα ακολουθεί το νόμο του Darcy μέσα από ένα πορώδες περιβάλλον^[9]:

$$Dq/dt \cdot (1/A) = (K' \rho g \Delta h) / (\eta L)$$

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

A = η εξεταζόμενη περιοχή του δείγματος σε m^2

Δh = πτώση που συμβαίνει στο μίγμα σε m

L = η λεπτότητα του δείγματος σε m

η = το δυναμικό ιξώδες του υγρού σε $N \cdot s/m^2$

ρ = η πυκνότητα του υγρού σε kg/m^3

g = η επιτάχυνση λόγω της βαρύτητας

Ο συντελεστής K' , ο οποίος εκφράζεται σε m^2 και παριστάνει την εσωτερική διαπερατότητα ενός υλικού ανεξάρτητα από το υγρό το οποίο ρέει.

Αν θεωρήσουμε ότι το υγρό που ρέει είναι νερό, τότε:

$$K = K' \rho g / \eta$$

Τότε, ο συντελεστής K εκφράζεται σε m/sec και αναφέρεται ως ο συντελεστής της διαπερατότητας του σκυροδέματος, όταν το νερό είναι σε θερμοκρασία δωματίου.

Διάχυση

Όπως αναφέρθηκε και πριν, όταν η μεταφορά ενός αερίου ή αεριοποιημένου υγρού μέσα από το σκυρόδεμα είναι αποτέλεσμα μίας μεταβολής της συγκέντρωσης και όχι πίεσης, τότε συμβαίνει διάχυση.

Συντελεστής διάχυσης

Η εξίσωση διαχύσεως που εφαρμόζεται για υγρό νερό ή αέρα μπορεί να εκφραστεί από τον νόμο του Fick:

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

όπου dc/dL = μεταβολή συγκέντρωσης σε kg/m^4 ή μόρια/m^4

D = συντελεστής διάχυσης σε m^2/s

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

L = λεπτότητα του δείγματος σε m

Διάχυση μέσω αέρα και νερού

Ο Παπαδάκης παρουσιάζει εκφράσεις για τον αποτελεσματικό συντελεστή διάχυσης του διοξειδίου του άνθρακα ως μία λειτουργία σε σχέση με την υγρασία του αέρα και το πορώδες του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού ή την συμπιεστή αντοχή του σκυροδέματος. Η διάχυση μέσω νερού είναι 4 τάξεις μεγέθους πιο χαμηλή αντί δια μέσου του αέρα. Ο συντελεστής διάχυσης αλλάζει με την ηλικία γιατί το πορώδες σύστημα στο σκυρόδεμα με τον χρόνο, ειδικά όταν η ενυδάτωση του τσιμέντου συνεχίζεται.

Η διάχυση του οξυγόνου μέσα από το σκυρόδεμα επηρεάζεται σημαντικά από τη συντήρηση σε υγρασία, όπου η συντήρηση αυτή μειώνει τον συντελεστή διάχυσης κατά έναν παράγοντα 6. Η κατάσταση υγρασίας του σκυροδέματος που βρίσκεται σε δοκιμή επηρεάζει σημαντικά γιατί το νερό στους πόρους σημαντικά μειώνει την διάχυση. Για να γίνει κατανοητό, ο συντελεστής διάχυσης του οξυγόνου σε καλά συντηρημένο σκυρόδεμα σε συνθήκες υγρασίας κοντά στο 55%, είναι μικρότερος από $5 \cdot 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$ για υψηλή ποιότητα σκυροδέματος και περισσότερο από $50 \cdot 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$ για χαμηλής ποιότητας σκυροδέματος.

Η κίνηση ενός υγρού αερίου μέσα από το σκυρόδεμα μπορεί να συμβεί ως αποτέλεσμα της διαφορετικής υγρασίας στις δύο αντίθετες πλευρές. Η σχετική υγρασία στις δύο πλευρές του σκυροδέματος πρέπει να είναι γνωστή γιατί αύξηση

στην σχετική υγρασία μειώνει τα κενά πόρων γεμάτα με αέρα, τα οποία είναι διαθέσιμα για διάχυση. Αν η υγραμένη πλευρά είναι για παράδειγμα κορεσμένη, αύξηση στην σχετική υγρασία της ξηρής πλευράς μειώνει την διαπερατότητα. Η μεταφορά του νερού μέσα από το σκυρόδεμα, γενικά επηρεάζεται με τον ίδιο τρόπο με την διαπερατότητα του αέρα.

Σε αντίθεση με την διάχυση των αερίων, ιόντα με επιθετικό χαρακτήρα, κυρίως χλωρίδια και άλατα, κινούνται με διάχυση μέσα από το νερό των πόρων. Μέσα στο νερό των πόρων γίνονται αντιδράσεις με τον ενυδατωμένο τσιμεντοπολτό έτσι ώστε η διάχυση ιόντων να είναι σημαντική σε σχέση με την επίθεση αλάτων του σκυροδέματος και την επίθεση των χλωριδίων στον ενσωματωμένο χάλυβα. Η ιονική διάχυση είναι πιο αποτελεσματική όταν οι πόροι στο σκληρυνόμενο σκυρόδεμα είναι κορεσμένοι, αλλά μπορεί επίσης να συμβεί σε μερικώς κορεσμένο σκυρόδεμα.

Όπως και η διαπερατότητα, η διάχυση είναι χαμηλότερη σε μικρότερο λόγο N/T , αλλά η επιρροή του λόγου N/T στην διάχυση είναι πολύ μικρότερη απ' ότι στην διαπερατότητα.

Απορρόφηση

Ο όγκος των κενών πόρων στο σκυρόδεμα μετριούνται με την απορρόφηση. Η απορρόφηση μετριέται συνήθως ξηραίνοντας ένα δείγμα σε μία σταθερή μάζα, βυθίζοντάς το σε νερό, και μετρώντας την αύξηση της μάζας επί της % της στεγνής μάζας. Πολλές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πολλά διαφορετικά αποτελέσματα μπορούν να βγουν. Ένας λόγος γι' αυτή την ποικιλία στις τιμές της απορρόφησης είναι ότι η ξήρανση σε συνηθισμένη θερμοκρασία είναι πιθανόν να μην είναι αποτελεσματική στην απομάκρυνση όλου του νερού. Επιπρόσθετα, η ξήρανση σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να απομακρύνει μερική ποσότητα από το χημικά ενωμένο με το τσιμέντο νερό. Ωστόσο, η απορρόφηση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο της ποιότητας του σκυροδέματος, αλλά τα περισσότερα καλά σκυροδέματα έχουν μία απορρόφηση καλή κάτω από 10% της μάζας. Αν είναι να υπολογιστεί ο όγκος του νερού, πρέπει να γίνει διευκρίνιση της διαφορετικότητας της συγκεκριμένης βαρύτητας του νερού και του σκυροδέματος.

Στο πρότυπο ASTM C 642-90 περιγράφεται μία δοκιμή απορρόφησης για πολλά μικρά κομμάτια σκυροδέματος με ξήρανση στους 100 με 110 °C και βύθιση

σε νερό στους 21°C για τουλάχιστον 48 ώρες. Οι απαιτήσεις του BS 1881: Part 122:1983 είναι ίδιες εκτός από το γεγονός ότι η δοκιμή γίνεται σε ολόκληρους πυρήνες δείγματος.

Επιφάνεια δοκιμών απορρόφησης

Για πρακτικούς λόγους, τα χαρακτηριστικά απορρόφησης της εξωτερικής ζώνης του σκυροδέματος (η οποία προσφέρει προστασία της ενίσχυσης) παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Γι' αυτό τον λόγο, έχουν αναπτυχθεί δοκιμές που μετρούν την απορρόφηση της επιφάνειας.

Μία δοκιμή για να μετρηθεί η αρχική απορρόφηση της επιφανείας περιγράφεται από το πρότυπο BS 1881:Part 5:1970^[9]. Στην ουσία, ο ρυθμός απορρόφησης του νερού από την εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος προσδιορίζεται κατά την διάρκεια μίας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (κυμαίνεται μεταξύ 10 λεπτών και 1 ώρας) για υδροστατική πίεση 200mm του νερού. Ο ρυθμός της αρχικής απορρόφησης εκφράζεται σε mm/m²/sec.

Ένα συμπέρασμα της δοκιμής της αρχικής απορρόφησης είναι ότι η ροή του νερού μέσα από το σκυρόδεμα δεν είναι μονοκατευθυντική. Για να διορθωθεί αυτό, πολλές τροποποιημένες δοκιμές έχουν προταθεί αλλά καμία δεν έχει γίνει γενικά αποδεκτή.

Η μάζα του νερού που απορροφείται από το σκυρόδεμα κατά την διάρκεια της δοκιμής εξαρτάται από την προϋπάρχουσα περιεχόμενη υγρασία. Γι' αυτό τον λόγο, τα αποτελέσματα από την δοκιμή αρχικής απορρόφησης της επιφάνειας δεν μπορούν εύκολα να ερμηνευτούν εκτός και αν το σκυρόδεμα προσδιοριστεί σε συγκεκριμένες υγρομετρικές συνθήκες πριν από τις δοκιμές. Ως αποτέλεσμα, μία χαμηλή τιμή της αρχικής απορρόφησης της επιφάνειας, μπορεί να οφείλεται είτε στο ενδεγενή χαμηλής απορρόφησης χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, είτε στο γεγονός ότι οι πόροι σε χαμηλής ποιότητας σκυροδέματος είναι ήδη γεμάτα με νερό.

Έχοντας αυτό στο μυαλό, η δοκιμή αρχικής απορρόφησης της επιφάνειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύγκριση της αποτελεσματικότητας της συντήρησης της εξωτερικής πλευράς του σκυροδέματος.

Μία δοκιμή που δίνει ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία το νερό ή ο αέρας εισέρχονται στο σκυρόδεμα αναπτύχθηκε από τον Figg. Ανοίγεται μία μικρή τρύπα και καλύπτεται αεροστεγώς με λαστιχένια σιλικόνη. Αυτό το έμβολο είναι τρυπημένο

από μία υποδερμική βελόνα, η οποία είναι συνδεδεμένη με μία αναρροφητική αντλία κενού, και η πίεση στο σύστημα μειώνεται κατά ένα συγκεκριμένο ποσό. Ο χρόνος που χρειάζεται για τον αέρα να διαπεράσει μέσα από το σκυρόδεμα και να αυξήσει την πίεση στην εσοχή σε μία συγκεκριμένη τιμή, είναι μία ένδειξη της διαπερατότητας του αέρα στο σκυρόδεμα. Ένα άλλο μοντέλο της συσκευής κάνει δυνατή την εκτίμηση της διαπερατότητας του νερού στο σκυρόδεμα, μετρώντας τον χρόνο για ένα συγκεκριμένο ποσό νερού να εισέλθει σε αυτό.

Απορροφητικότητα

Επειδή από την μία μεριά οι δοκιμές απορροφητικότητας παρουσιάζουν δυσκολίες και από την άλλη οι δοκιμές διαπερατότητας μετρούν την αντίδραση του σκυροδέματος στο σκυρόδεμα, το οποίο σπάνια είναι η αιτία για την εισχώρηση υγρών μέσα από το σκυρόδεμα, υπάρχει η ανάγκη για άλλα είδη δοκιμών. Τέτοιες δοκιμές μετρούν την ροή της απορρόφησης του νερού από τα τριχοειδή του μη κορεσμένου σκυροδέματος που τοποθετείται σε επαφή με το νερό.

Έχει αποδεικτεί ότι υπάρχει σχέση της μορφής:

$$i = S \cdot t^{0.5} \quad \text{όπου:}$$

i = αύξηση της μάζας σε g/mm^2 από την αρχή της δοκιμής της διατομής σε επαφή με το νερό

t = χρόνος μετρημένος σε λεπτά όπου προσδιορίζεται η μάζα

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

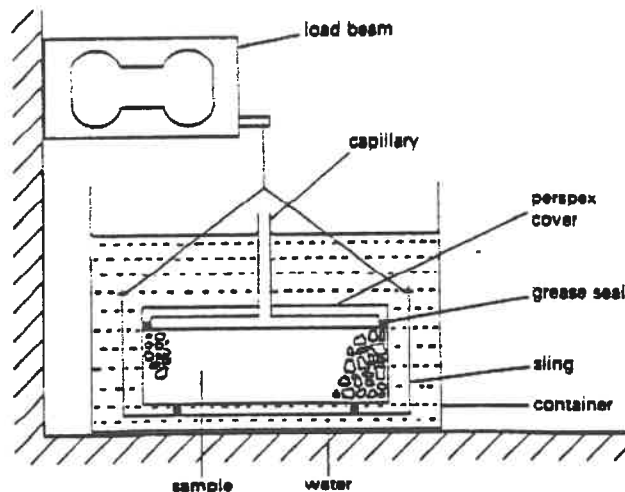
Στην πράξη, είναι πιο εύκολο να μετρήσεις την τιμή του i ως ανύψωση του επιπέδου του νερού στο σκυρόδεμα, το οποίο φανερώνεται από μόνο του με ένα σκούρο χρώμα. Σε αυτή την περίπτωση το i μετριέται απευθείας σε mm.

Στη δοκιμή, πολλές μετρήσεις παίρνονται σε μία περίοδο πάνω από 4 ώρες, και μία ευθεία γραμμή σχηματίζεται στο διάγραμμα για την αύξηση της μάζας ή την ανύψωση του νερού σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου.

Όπως συμβαίνει και στην δοκιμή αρχικής απορρόφησης, όσο πιο υψηλή είναι η περιεκτικότητα υγρασίας στο σκυρόδεμα, τόσο πιο χαμηλή απορροφητικότητα μετριέται, έτσι ώστε εάν είναι δυνατό, το δείγμα να μετριέται σε συνθήκες 105°C πριν από την δοκιμή διαφορετικά η υγρή κατάσταση του δείγματος θα έπρεπε να θεωρηθεί.

Δοκιμή απορρόφησης νερού για σκυρόδεμα

Το σχήμα 8 δίνει μία σχηματική αναπαράσταση συσκευής^[6], η οποία σχεδιάστηκε να παρακολουθεί το βάρος ενός κυλινδρικού σκυροδέματος καθώς απορροφά νερό κάτω από συνθήκες οι οποίες περιγράφονται παρακάτω. Το δείγμα είναι στην φόρμα ενός κυλίνδρου με διάμετρο 150 mm και ύψος 50mm. Η κυρτή πλευρά είναι σφραγισμένη με άσφαλτο και μετά καλυμμένη με αδιάβροχη συγκολλητική ταινία. Η επάνω επιφάνεια είναι σκεπασμένη με γυάλινο δίσκο. Ο δίσκος είναι αεροστεγής με γράσσο στην άκρη της πάνω επιφάνειας του δείγματος και στην ταινία και περιέχει ένα κενό αέρα των 2mm πάνω από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Ένα μεταλλικό τριχοειδές συνδέει αυτό το κενό με την ατμόσφαιρα. Το δείγμα και το σκέπασμα είναι κρεμασμένα σε αλυσίδα από μαδέρι ικανότητας 5kg, του οποίου η έξοδος μπορεί και καταγράφεται από έναν computer με δεδομένα. Στην αρχή του πειράματος, νερό χύνεται μέσα στο δοχείο που περικλείει το δείγμα σε ένα βάθος 50mm από την επάνω επιφάνεια του δείγματος. Το τριχοειδές είναι 60mm μακρύ και γι'αυτό προεξέχει πάνω από την επιφάνεια του νερού. Η επάνω επιφάνεια του δείγματος γι'αυτό παραμένει στεγνή και ανοιχτή στην ατμόσφαιρα, επιτρέποντας τον αέρα να δραπετεύσει ως νερό που απορροφιέται απ' την χαμηλότερη επιφάνεια του δείγματος. Το βάρος του δείγματος καταγράφεται μέχρι ο ρυθμός της αύξησης να γίνει πολύ αργός, που υποδεικνύει ότι το δείγμα είναι αποτελεσματικά κορεσμένο. Η επιπλέον αργή αύξηση συσχετίζεται με κίνηση του νερού σε λιγότερο προσβάσιμους πόρους και τη ροή του νερού στο χώρο μεταξύ του δείγματος και του σκεπάσματος. Η μετρημένη αλλαγή του βάρους είναι στην πραγματικότητα η αλλαγή της άνωσης του σκυροδέματος καθώς το νερό αντικαθιστά τον αέρα μέσα σε αυτό. Για ομοειδή δείγματα που δίνουν παρόμοια αποτελέσματα με την εξάρτηση του $t^{1/2}$, τα αρχικά και τελικά βάρη και δύο μεταξύ της απορρόφησης είναι ικανοποιητικά για να υπολογιστούν η απορροφητικότητα και τα πορώδη. Ωστόσο, με χρόνο κορεσμού κυμαίνοντας μεταξύ 2 ώρες και πολλές μέρες (για καλά συντηρημένο σκυρόδεμα), ο προσδιορισμός χρόνου για να παρθούν μετρήσεις θα έπρεπε να γίνει με προσοχή. Επιπλέον, το διάγραμμα του βάρους σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου δίνει μία χρήσιμη ένδειξη για την ομογένεια του δείγματος.



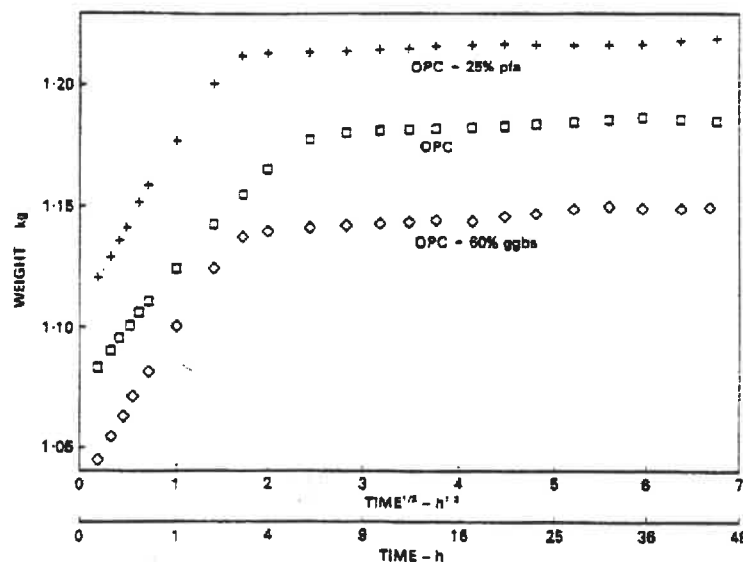
Σχ. 8 : Διάταξη δοκιμής απορρόφησης νερού για το σκυρόδεμα.

Αποτελέσματα των πειραμάτων

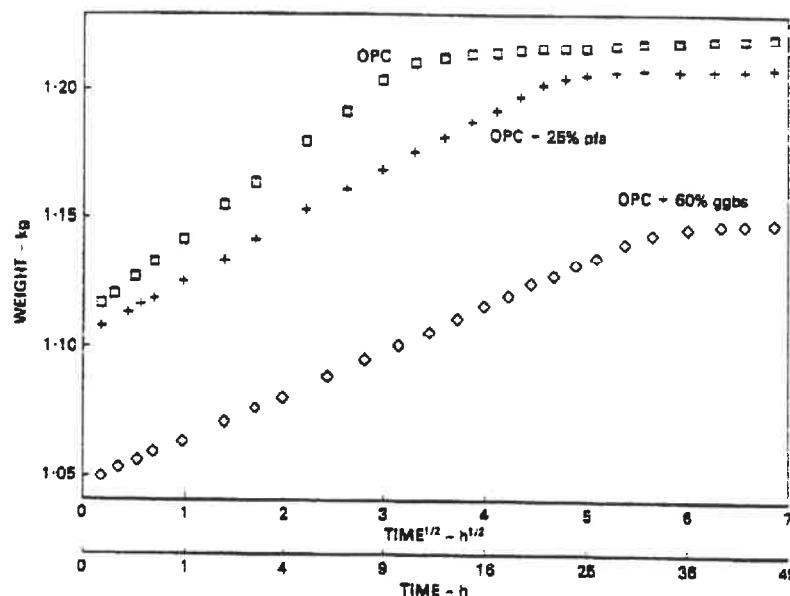
Παραδείγματα των αποτελεσμάτων που πάρθηκαν από τρία μείγματα παρουσιάζονται στα σχήματα 9 και 10. Τα σκυροδέματα βασιζόνταν σε μία 1:2.5:3.5 (τσιμέντο: άμμος: τραχιά αδρανή) μίξη με το περιεχόμενο νερό αποτιμώντας να δώσει μία βύθιση των 60mm. Το μείγμα 1 περιέχει OPC. Το μείγμα 2, 25% του OPC αντικαταστάθηκε από κονιορτοποιημένη στάχτη και στο μείγμα 3, 60% αντικαταστάθηκε από κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων. Μία παρτίδα από δείγματα ήταν ξεκαλουπωμένα για 24 ώρες και συντηρήθηκαν σε νερό για 27 ημέρες, ξηράθηκαν στους 105 °C για 6 ημέρες και κρύωσαν σε έναν ξηραντήρα για 1 ημέρα πριν από την δοκιμή. Τα αποτελέσματα, τα οποία δείχνονται στο σχήμα 9, συμμορφώνονται πολύ κοντά στην τετραγωνική ρίζα του χρόνου^[6] σε εξάρτηση με όλη την περίοδο της απορρόφησης και αλλάζει γρήγορα σε μία συνεχόμενη τιμή όταν ο κορεσμός έχει ολοκληρωθεί. Το σχήμα 10 δείχνει τα αποτελέσματα που αποκτήθηκαν από την δεύτερη παρτίδα των δειγμάτων από τα ίδια μείγματα. Συντηρήθηκαν στον αέρα στους 20°C και με σχετική υγρασία 50% για 27 ημέρες ύστερα από το ξεκαλούπωμα των 24 ωρών. Αυτά τα δείγματα ξηράθηκαν στον φούρνο κατά τον ίδιο τρόπο με τα δείγματα που συντηρήθηκαν στο νερό. Ο συντελεστής συσχέτισης των ελαχίστων τετραγώνων που ταιριάζει στο γραμμικό τμήμα του σχεδιαγράμματος είναι γενικά καλύτερα από 0.999 για τα δείγματα συντηρημένα στο νερό, αλλά ακόμα χαμηλότερα γύρω στα 0.99 για δείγματα

συντηρημένα στον αέρα. Αυτό οφείλεται στην ανομοιογένεια που προκαλείται από την μεταβολή της ενυδάτωσης μέσα στο δείγμα που είναι συσχετισμένο με συντήρηση στον αέρα.

Τα αποτελέσματα για τα δείγματα συντηρημένα στο νερό δείχνουν τα ευεργετικά αποτελέσματα της ενυδάτωσης με κονιορτοποιημένη στάχτη και κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων στις μεταφορικές ιδιότητες του σκυροδέματος, παρόλο την μείωση της αντοχής. Ο χρόνος που παίρνει για κορεσμό βάθους 50mm είναι το λιγότερο διπλάσιος απ'ότι χρειάζεται για το σκυρόδεμα με OPC. Τα αποτελέσματα των δειγμάτων με συντήρηση στον αέρα δείχνουν την αύξηση της ευαισθησίας των σκυροδεμάτων που περιέχουν κονιορτοποιημένη στάχτη ή κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων σε φτωχή συντήρηση. Για το σκυρόδεμα με OPC, ο χρόνος που χρειάστηκε για να κορεσθούν τα δείγματα που συντηρήθηκαν στον αέρα ήταν ο μισός από αυτόν για τα δείγματα με συντήρηση στο νερό, αλλά για σκυρόδεμα που περιέχει κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνων ο χρόνος κορεσμού μειώθηκε κατά μία τάξη όταν οι συνθήκες συντήρησης άλλαξαν.



Σχ.9 : Αποτελέσματα πειραμάτων – σκυρόδεμα συντηρημένο σε νερό.



Σχ. 10 : Αποτελέσματα πειραμάτων – σκυρόδεμα συντηρημένο σε αέρα

Μέτρηση της απορρόφησης

Καθώς η απορρόφηση είναι μία φυσική ιδιότητα καλά ορισμένη, υπάρχουν περισσότεροι από έναν τρόπους για να προσδιοριστεί. Μία απλή μέθοδος εργαστηρίου βρίσκεται σε χρήση περισσότερο από δέκα χρόνια στο UMIST, κατά τη διάρκεια της οποίας έχουν γίνει πολλές δοκιμές με μία μεγάλη ποικιλία από υλικά. Στην πράξη, δεδομένα ταιριάζουν με την παρακάτω εξίσωση^[7]:

$$i = A + St^{1/2}$$

επειδή μία μετρήσιμη (γενικά μικρή, θετική) i διακοπή συνήθως βρίσκεται. Η πλειοψηφία των ανόργανων κτιριακών υλικών υπακούουν στον νόμο $t^{1/2}$ της τριχοειδούς απορρόφησης πολύ καλά.

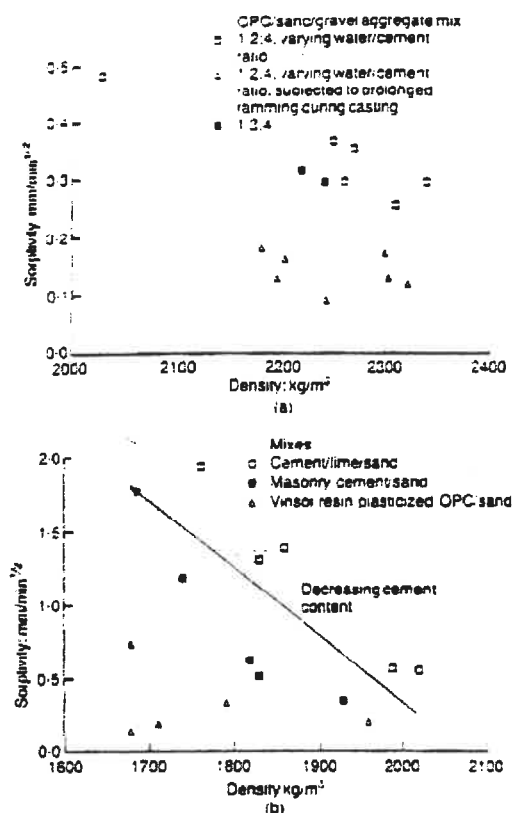
Μερικά υλικά με πολύ τραχιά δομή (φτωχά συμπιεσμένα σκυροδέματα για παράδειγμα) μπορεί να δείξουν προς τα κάτω καμπυλότητα στο διάγραμμα i ($t^{1/2}$). Η θεωρία μη κορεσμένης ροής στην τριχοειδή ανύψωση δείχνει ότι η παρέκκλιση από το $t^{1/2}$ αναμένεται όταν οι μεταβολές των τριχοειδών στο δείγμα είναι τόσο χαμηλά ώστε να συγκριθούν με τις μεταβολές λόγω βαρύτητας. Αυτή είναι υπόθεση για πολύ μεγάλες πορώδεις δομές. Σε αυτές τις περιπτώσεις, δεδομένα ταιριάζουν στην εξίσωση:

$$i = A + St^{1/2} - Ct$$

για να αποκτήσουμε την απορροφητικότητα S .

Απορροφητικότητα των υλικών από τσιμέντο

Η μελέτη της απορροφητικότητας του σκυροδέματος, η οποία μελετήθηκε από τους Yau και Hall^[7] έδειξε πώς η απορροφητικότητα ποικίλει σε ένα set από δείγματα σκυροδέματος διαφορετικής μίξης και διαφορετικού βαθμού συμπίεσης. Το διάγραμμα χρησιμοποιεί την πυκνότητα ως μία ανεξάρτητη μεταβλητή: υπάρχει μία γενικότερη τάση για χαμηλότερη απορροφητικότητα για υψηλότερη πυκνότητα σε κάθε set από υλικά. Ωστόσο, η απορροφητικότητα εξαρτάται από ένα πλήθος από παραμέτρους σύνθεσης και επίσης από την μέθοδο της προετοιμασίας. Είναι προφανές ότι η απορροφητικότητα ανακλά περίπλοκες αλλαγές στις ιδιότητες των υλικών, αν και παραμένει ακόμα πολύ να γίνουν για την πλήρη εξερεύνηση της εξάρτησης της σύνθεσης του φαινομένου της τριχοειδούς απορρόφησης. Το σχήμα 11β. ανακεφαλαιώνει τα δεδομένα που προήλθαν από τους Hall και Tse για τα ασβεστοκονιάματα.



Σχ.11 : Διακύμανση της απορρόφησης σε ασβεστοκονιάματα και σκυροδέματα:

α)δείγματα σκυροδέματος β)δείγματα ασβεστοκονιαμάτων

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΡΙΧΟΕΙΔΩΝ - ΡΟΦΗΣΗ

1. ΤΡΙΧΟΕΙΔΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗ (ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗ)

Η ισορροπία των δυνάμεων όπως φαίνεται στο σχήμα 12 στον κατακόρυφο άξονα δίνει^[12]:

$$2\pi r T \cos\theta = \pi r^2 \rho g h,$$

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

όπου ρ είναι η πυκνότητα του υγρού.

$$\text{Για } r = 1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m και } T = 73 \cdot 10^{-3}\text{J/m}^2$$

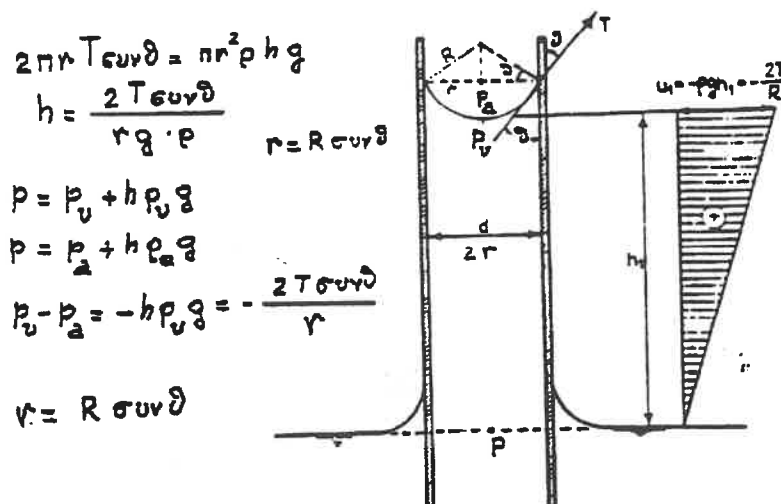
$$\theta = 0, \cos\theta = 1, g = 9.81 \text{ ms}^{-2} \text{ τότε } h = 15 \text{ m.}$$

Επομένως σε ένα πόρο σκυροδέματος διαμέτρου $1\mu\text{m}$ η τριχοειδής ανύψωση φθάνει τα 15 m.

Αν p_u είναι η πίεση του υγρού αμέσως κάτω από τον μηνίσκο, p_a είναι η πίεση των υδρατμών αμέσως πάνω από το μηνίσκο, και p η πίεση του υγρού στην ελεύθερη στάθμη του (στάθμη του δοχείου) ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$p = p_u + h \rho_u g$ και $p = p_a + h \rho_a g$ όπου ρ_u και ρ_a είναι οι πυκνότητες του υγρού και του αερίου αντίστοιχα. Επειδή όμως η πυκνότητα του αερίου είναι ασήμαντη σε σχέση με την πυκνότητα του υγρού προκύπτει:

$$\rho_u - \rho_a = -h \rho_u g = -2T \cos\theta / r \quad [1]$$



Σχ.12 : Αναπτυσσόμενες πιέσεις σε τριχοειδή κυλινδρικό σωλήνα

Επομένως κάτω από το μηνίσκο επικρατεί υποπίεση τέτοια ώστε να ανυψώσει το υγρό κατά h . Η υποπίεση αυτή μηδενίζεται στο επίπεδο της ελεύθερης στάθμης του νερού και είναι μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του τριχοειδούς πόρου. Είναι επίσης φανερό ότι εφόσον το υγρό βρίσκεται μέσα στον τριχοειδή πόρο υπό εφελκυσμό το στερεό του πόρου θα βρίσκεται υπό θλίψη.

Στο σκυρόδεμα ή στον σκληρυμένο τσιμεντοπολτό, που είναι υλικά με μεγάλο αριθμό και μεγάλη ποικιλία ανοιγμάτων τριχοειδών πόρων, όταν τα τριχοειδή είναι τελείως γεμάτα ή τελείως άδεια δεν υπάρχουν τριχοειδής ανυψώσεις και δεν υπάρχουν τριχοειδής τάσεις. Αντιθέτως όταν τα τριχοειδή είναι εν μέρει γεμάτα τότε αναπτύσσονται τάσεις εφελκυστικές μέσα στο νερό των τριχοειδών και θλιπτικές στη στερεά μάζα. Οι θλιπτικές αυτές τάσεις δρουν καθόλες τις διευθύνσεις αφού τα τριχοειδή δεν έχουν καθορισμένο προσανατολισμό και επομένως η στερεά μάζα του σκυροδέματος ή του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού βρίσκεται υπό τριαξονική θλίψη η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου του τριχοειδούς. Όταν δημιουργείται μεταβολή στο περιεχόμενο νερό στην μάζα του σκυροδέματος τότε οι μεγαλύτεροι τριχοειδείς πόροι στεγνώνουν οπότε παύουν να υφίστανται τριχοειδής δυνάμεις στις περιοχές αυτές αλλά ταυτόχρονα πόροι μικρότερης διαμέτρου παύουν να είναι πλήρεις και επομένως δημιουργούνται τριχοειδείς τάσεις μεγαλύτερης έντασης, οπότε η στερεά μάζα υφίσταται μεγαλύτερη παραμόρφωση λόγω των υψηλότερων τάσεων. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να ερμηνεύσει το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης μέχρι ενός ορίου υγρασίας 40%-50%. Ερμηνεύεται επίσης το γεγονός ότι στην αρχή της απώλειας νερού από το σκυρόδεμα η συστολή ξήρανσης δεν είναι τόσο μεγάλη όσο θα αναμενόταν από την ποσότητα του νερού που εξατμίστηκε ενώ σε επόμενα στάδια η συστολή είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με το νερό που εξατμίστηκε. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι στα αρχικά στάδια εξατμίζονται σχετικά μεγάλες ποσότητες νερού επειδή οι τριχοειδής πόροι από όπου εξατμίζεται είναι σχετικά μεγάλοι. Στα επόμενα στάδια το νερό που εξατμίζεται είναι σχετικά λιγότερο αλλά επειδή εξατμίζεται από μικρότερους πόρους οι τάσεις που προκαλούνται είναι μεγαλύτερες και επομένως μεγαλύτερες είναι και οι προκαλούμενες παραμορφώσεις.

Η κοίλη επιφάνεια του μηνίσκου προϋποθέτει διαφορά πίεσης $p_a - p_v = T(1/r_1 + 1/r_2)$ [2] όπου r_1 και r_2 είναι οι ακτίνες καμπυλότητας της επιφάνειας και T η επιφανειακή τάση.

Για σφαιρική επιφάνεια : ($r_1=r_2=R$)

$$p_a - p_u = 2T/R \quad [3]$$

αλλά $r=R \sin \theta$ όπου $2r$ είναι η διάμετρος του πόρου, σχ.12 οπότε

$$p_a - p_u = 2T \sin \theta / r \quad [4]$$

Σε υγρές σταγόνες π.χ. η πίεση του υγρού στο εσωτερικό της σταγόνας είναι $2T/R$ ενώ σε περιπτώσεις σφαιρικής φυσαλίδας (λεπτό υμένιο) τότε λόγω των δύο όψεων του υμενίου η επιφανειακή τάση του είναι $4T/r$.

Η σχέση [1] επαναυπολογίζεται εξισώνοντας τη διαφορά πίεσης $p_a - p_u$ αυτή με την υδροστατική υποπίεση $h\rho g$ από την τριχοειδή ανύψωση κατά h .

Για κυλινδρική επιφάνεια, σχ.13

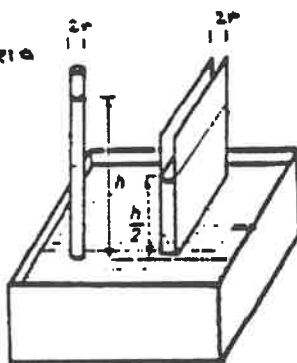
$$p_a - p_u = T/r$$

$$h = T / r\rho g$$

Κυλινδρική επιφάνεια

$$p_a - p_u = \frac{T}{r}$$

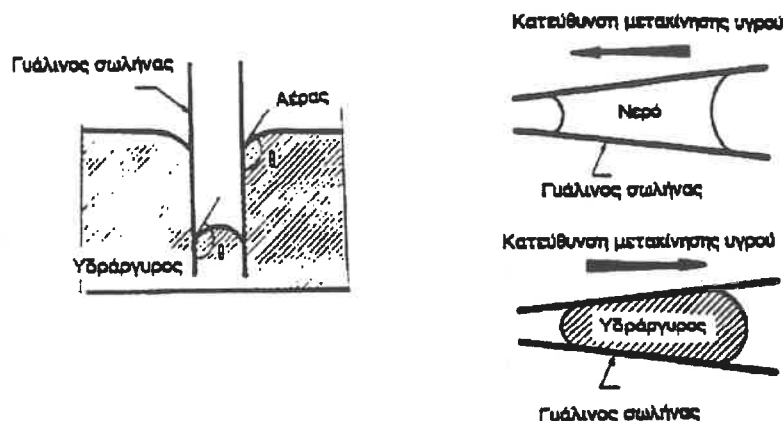
$$h = \frac{T \sin \theta}{r \rho g}$$



Σχ.13 : Τριχοειδές άνοιγμα μεταξύ δύο επιπέδων στερεών επιφανειών.

Σύγκριση ύψους αναρρόφησης με τριχοειδή σωλήνα (σφαιρική - κυλινδρική επιφάνεια μηνίσκου)

Αν το υγρό δεν "διαβρέχει" την επιφάνεια του στερεού υλικού που σχηματίζει τον τριχοειδή πόρο^[12], τότε το υγρό δεν μπορεί να αναρριχηθεί μέσα στο σωλήνα αλλά αντιθέτως παρατηρείται ταπείνωση της στάθμης του υγρού (σχ.14).



Σχ.14 : Ταπείνωση στάθμης υγρού σε περίπτωση που αυτό δεν διαβρέχει την επιφάνεια του στερεού υλικού. Μετακίνηση νερού και μετακίνηση υδραργύρου σε γυάλινο σωλήνα μεταβλητής διαμέτρου.

Ο υδράργυρος δεν διαβρέχει τα περισσότερα στερεά μεταξύ των οποίων και την επιφάνεια του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Για να εισέλθει επομένως ο υδράργυρος μέσα σε ένα τριχοειδή πόρο του τσιμεντοπολτού διαμέτρου $2r$ θα πρέπει να ασκηθεί πίεση που δίνεται από την σχέση [4]. Αν με μία ειδική συσκευή ασκηθούν διαδοχικά αυξανόμενες πιέσεις p_i σε υδράργυρο που περιβάλλει ένα μικρό τεμάχιο σκληρυμένου τσιμεντοπολτού και μετράται σε κάθε επίπεδο πίεσης η ποσότητα του υδραργύρου η οποία εισέρχεται στο τεμάχιο τότε με την βοήθεια της σχέσης

$$r_i = 2T \cos \theta / p_i$$

είναι δυνατόν να υπολογιστεί η ακτίνα των πόρων r_i και ο όγκος των πόρων που αντιστοιχεί στην ακτίνα r_i . Η διαδικασία αυτή αποτελεί την αρχή της λειτουργίας του πορομέτρου υδραργύρου.

2. ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΑ ΣΕ ΤΡΙΧΟΕΙΔΗ

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_k , δηλαδή όταν η σχετική υγρασία γίνει μικρότερη από 100%. (Σχετική υγρασία $RH\% < 100 p_a / p_k < 100$). Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός των μορίων 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. Σε περίπτωση που η επιφάνεια του νερού έχει δημιουργήσει

μηνίσκο δηλαδή καμπύλη επιφάνεια, η έλξη που δέχεται ένα μόριο λίγο πάνω από την επιφάνεια του νερού είναι μεγαλύτερη σε περίπτωση κοίλης επιφάνειας νερού (μηνίσκος) απ' ό,τι σε περίπτωση επίπεδης επιφάνειας (σχ.12). 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 τον λόγο αυτό για δεδομένη σχετική υγρασία (πχ.85%) μία επίπεδη επιφάνεια στεγνώνει πολύ πιο γρήγορα από μία πορώδη επιφάνεια γιατί το νερό μέσα από τα τριχοειδή των πόρων δεν εξατμίζεται εύκολα, θα υπάρχουν δε πόροι μικρής διαμέτρου, οι οποίοι δεν θα εξατμιστούν. Η εξάτμιση του νερού μέσα από τριχοειδείς πόρους εξαρτάται από την καμπυλότητα των μηνίσκων και διέπεται από την σχέση Kelvin^[12]:

$$p_u - p_a = \ln(p_a/p_k) \Theta R' \rho / M \quad [5]$$

όπου

M είναι η μοριακή μάζα του νερού $18 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mole}$

R' είναι η σταθερά των αερίων $8.3 \text{ J/mole}^\circ\text{K}$

Θ είναι η θερμοκρασία σε $^\circ\text{K}$

ρ είναι η πυκνότητα του νερού [$\sim 1000 \text{ kg/m}^3$ ανάλογα με τη θερμοκρασία]

p_u είναι η πίεση του υγρού αμέσως κάτω από το μηνίσκο

p_a είναι η πίεση των υδρατμών αμέσως πάνω από τον μηνίσκο

$$(p_u - p_a) = 0.4611 \ln(p_a/p_k) \Theta \text{ [Mpa]}$$

Η σχέση [6] παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της πίεσης ($p_u - p_a$) για διάφορες τιμές της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας Θ.

Από την σχέση [4], υποθέτοντας $\theta=0$ (συνθ=1), προκύπτει:

$$p_u - p_a = -2T/r = \ln(p_a/p_k) R' \Theta \rho / M \quad [7]$$

$$r = -2TM / \ln(p_a/p_k) R' \Theta \rho \quad [8]$$

Η σχέση [8] παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της διαμέτρου τριχοειδούς που εξατμίζεται για διάφορες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Από τη σχέση [8] για $T=73 \cdot 10^{-3} \text{ Jm}^{-2} = 73 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$ και $\Theta=293^\circ\text{K}$ προκύπτει

$$r = 1.08 / \ln(p_a/p_k) \text{ [nm]}$$

σχετική υγρασία %	98	95	90	80	70	60	40
r (nm)	53	21	10,2	4,8	3	2	1

Είναι επομένως φανερό ότι όταν η σχετική υγρασία κατέλθει σε 95% δεν εξατμίζονται οι πόροι με ακτίνα μικρότερη από 21nm και η πίεση που δέχεται η στερεά μάζα είναι 7 Mpa ενώ όταν η σχετική υγρασία κατέλθει στο 60% οι πόροι που είναι μικρότεροι από 2nm 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 εξατμισμού στους πόρους από 21nm μέχρι 2nm και η πίεση στη μάζα των στερεών αυξάνει από 7 Mpa σε 69Mpa. Οι πιέσεις αυτές θεωρούνται ότι είναι από τις βασικές αιτίες της συστολής των πορωδών υλικών, όπως ο τσιμεντοπολτός, για διακυμάνσεις υγρασίας από 100% έως 40% περίπου. Όπως φαίνεται και από τις τιμές του παραπάνω πίνακα για υγρασίες κάτω του 40% όλοι οι πόροι με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση με 1nm είναι στεγνοί. Οι πόροι με άνοιγμα μικρότερο από περίπου 1nm δεν θεωρούνται τριχοειδείς το δε νερό στους πόρους αυτούς δεν έχει συμπεριφορά νερού (δεν σχηματίζει μηνίσκο) λόγω των έντονων ελκτικών επιφανειακών τάσεων. Το φαινόμενο της μεταβολής της συμπεριφοράς του νερού είναι αυτονόητο ότι γίνεται βαθμιαία και όχι απότομα.

Τονίζεται ότι η σχέση Kelvin εφαρμόζεται στο σκυρόδεμα μόνο κατά προσέγγιση διότι προϋποθέτει τριχοειδείς πόρους κυλινδρικού σχήματος.

Η διαδικασία εξατμισμού είναι η ακόλουθη:

Έστω ότι ένας τριχοειδής πόρος είναι πλήρης με νερό. Τότε στο άκρο του δεν σχηματίζεται μηνίσκος και η επιφάνεια του νερού είναι επίπεδη. Αν η πίεση p_a/p_k ελαττωθεί (σχετική υγρασία < 100%) τότε αρχίζει εξατμισμό και η επιφάνεια του νερού στο άκρο του πόρου σχηματίζει μηνίσκο του οποίου η καμπυλότητα συνεχώς μεταβάλλεται όσο η εξατμισμό προχωρεί. Η ακτίνα $R=r/\sin\theta$ της επιφάνειας του μηνίσκου ικανοποιεί την σχέση Kelvin. Η ακτίνα καμπυλότητας συνεχώς μικραίνει έως ότου λάβει την οριακή τιμή $R=d/2$ όπου d είναι η διάμετρος του πόρου. (Για $R=r=d/2$ η γωνία $\theta=0$ και η σφαιρική επιφάνεια του μηνίσκου εφάπτεται στις παρειές του πόρου). Μετά, εφόσον η εξατμισμό συνεχίζεται, ($p_a/p_k < 1$), η καμπυλότητα παραμένει σταθερή και το νερό μέσα στο τριχοειδές χάνει ύψος έως ότου τελικά αδειάσει τελείως. Όσο μικραίνει η ακτίνα καμπυλότητας τόσο αυξάνει η τιμή της T μέχρις ότου λάβει την μέγιστη τιμή της για $R=d/2$.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

1.ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα του σκυροδέματος είναι η ανθεκτικότητά του στις περιβαντολλογικές επιδράσεις που δέχεται κατά τη διάρκεια της λειτουργικής του ζωής. Μία από τις βασικές παραμέτρους που καθορίζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος είναι η διαπερατότητα σε υγρά και αέρια, η οποία διακρίνεται αντίστοιχα σε υδατοπερατότητα και αεροπερατότητα. Η διαπερατότητα επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως τον λόγο N/T , τον τύπο του τσιμέντου και τον τρόπο συντήρησης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η υδατοπερατότητα του σκυροδέματος μέσω της δοκιμής υδαταπορρόφησης όπως περιγράφεται από τα πρότυπα RILEM με κάποιες τροποποιήσεις. Συγκεκριμένα καταγράφεται η τριχοειδής απορρόφηση νερού σε δοκίμια που παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο.

Για την παρασκευή των δοκιμών επιλέχθηκαν τρεις νέοι τύποι τσιμέντου με κριτήριο τα δύο τσιμέντα να παρουσιάζουν τις ίδιες αντοχές και διαφορετική σύσταση, και το τρίτο να είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο στην Ελλάδα με μικρότερες αντοχές από τα άλλα δύο. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν το αμιγές τσιμέντο Πόρτλαντ CEM I 42,5N και το σύνθετο ποζολανικό τσιμέντο Πόρτλαντ CEM II/A-M 42,5N (σκυροδέματα υψηλών απαιτήσεων) για να διερευνηθεί η επίδραση της ποζολάνης στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος και το σύνθετο τσιμέντο Πόρτλαντ CEM II/B-M 32,5N το οποίο είναι διαδεδομένο και έχει μικρότερες αντοχές από τα άλλα δύο. Με αυτό τον τρόπο γίνεται συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ των τριών τσιμέντων ως προς την επιρροή τους στην υδαταπορρόφηση μέσω τριχοειδών και κατ'επέκταση στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε σχέση με την αντοχή τους και την σύστασή τους.

Επιπλέον, για την παρασκευή των δοκιμών επιλέχθηκαν οι δύο λόγοι $N/T=0,6$ και $N/T=0,4$. Ο πρώτος είναι συνηθισμένος και σχετικά μεγάλος και ο δεύτερος συμβάλλει σε υψηλότερες αντοχές και κατ'επέκταση και σε υψηλότερες

ανθεκτικότητες. Για τον λόγο $N/T=0,6$ έγιναν τρία μίγματα (ένα για κάθε τύπο τσιμέντου) όπως επίσης και για τον λόγο $N/T=0,4$.

Όσον αφορά τις συνθήκες συντήρησης, επιλέχθηκαν δύο ακραίες περιπτώσεις. Η πρώτη (συντήρηση των δοκιμών σε νερό) θεωρείται πολύ καλή σε αντίθεση με την δεύτερη (συντήρηση των δοκιμών σε συνθήκες περιβάλλοντος-προσομείωση σε πραγματικές συνθήκες), η οποία είναι δυσμενής για την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Η επιλογή των συνθηκών συντήρησης έγινε πολύ προσεκτικά καθώς παίζουν σημαντικό ρόλο στην συμπεριφορά των σκυροδεμάτων και αυτό γιατί οι χώρες της Μεσογείου και ειδικότερα η Ελλάδα εμφανίζουν ξηρό κλίμα με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να στεγνώνει γρήγορα και συνεπώς να μην ολοκληρώνεται η ενυδάτωση του τσιμέντου. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του εθνικού παρατηρητηρίου της Αθήνας^[15] για το διάστημα 1961-1990, η μέση ετήσια θερμοκρασία στην Ελλάδα είναι $17,6^{\circ}\text{C}$ και η μέση σχετική υγρασία 62%. Ειδικότερα για το διάστημα Ιούλιος-Σεπτέμβρης στο οποίο πραγματοποιήθηκε η συντήρηση των δοκιμών, η μέση θερμοκρασία είναι $25,63^{\circ}\text{C}$ και η μέση σχετική υγρασία 51%. Οι τιμές αυτές της σχετικής υγρασίας είναι πολύ χαμηλότερες από άλλων χωρών καθιστώντας δυσμενείς τις συνθήκες για τη συντήρηση του σκυροδέματος. Είναι επομένως πολύ σημαντική η διερεύνηση των συνθηκών αυτών ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τη συντήρηση των σκυροδεμάτων σε μεγάλες κατασκευές. Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν ξεκαλουπώθηκαν σε μία μέρα και ο όγκος τους είναι πολύ μικρότερος από αυτών των κατασκευών με αποτέλεσμα η ξήρανσή τους να είναι πιο ραγδαία απ'ότι στις μεγάλες κατασκευές.

Παρασκευάστηκαν 6 μίγματα (3 τύποι τσιμέντου *2 λόγους N/T) από 12 δοκίμια το καθένα, συνολικά δηλαδή 72 δοκίμια. Από τα 12 δοκίμια του κάθε μίγματος τα 6 χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή της απορρόφησης 22 ημέρες και τα υπόλοιπα 78 ημέρες μετά την παρασκευή τους. Από την εξάδα τα 3 συντηρήθηκαν στον αέρα (για τους 3 τύπους τσιμέντου) και τα υπόλοιπα στο νερό (για τους 3 τύπους τσιμέντου επίσης).

2. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

2.1 ΥΛΙΚΑ

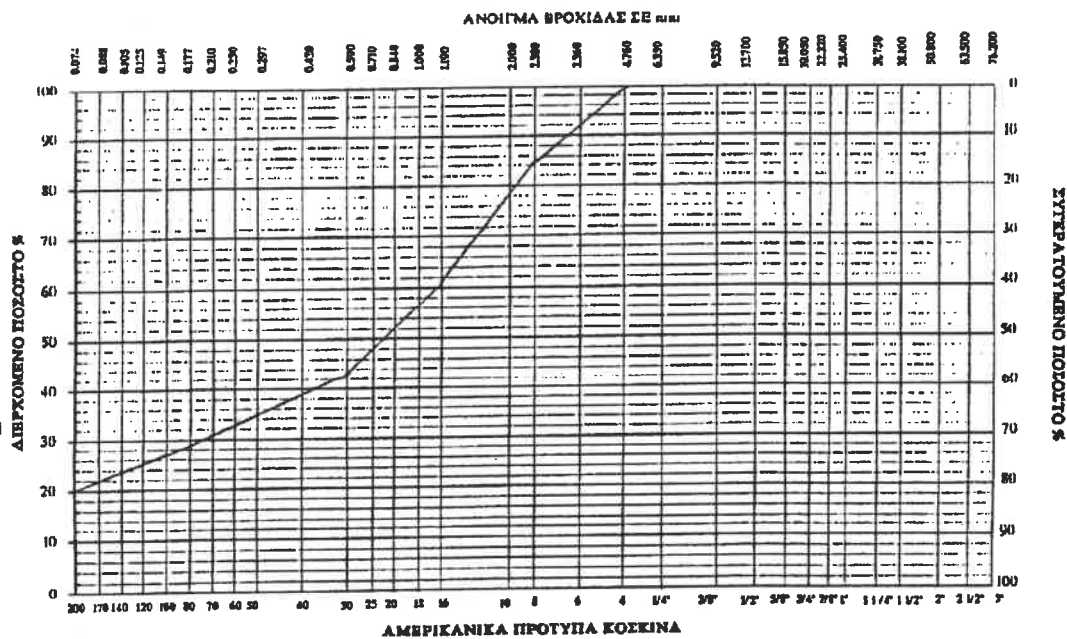
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

Τσιμέντο τύπος CEMI42,5N, CEMII/A-M42,5N και CEMII/B-M32,5N. Οι ποσότητες ζυγίστηκαν σε ζυγαριά με ανάγνωση 0,1g.

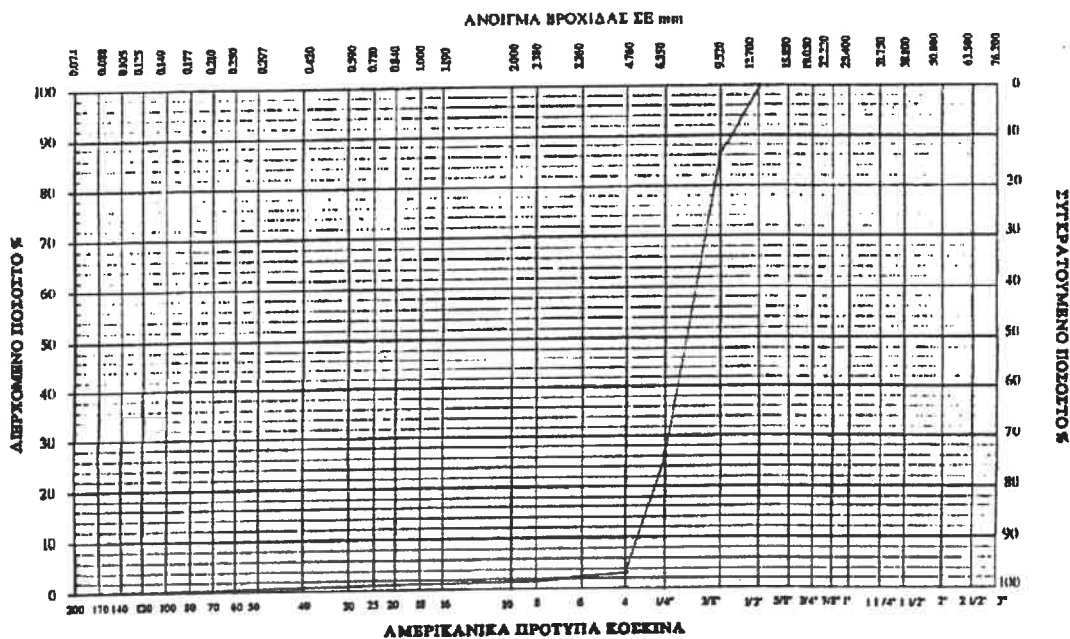
Νερό κοινό νερό βρύσης (δίκτυο Ε.Μ.Π.) ,το οποίο ζυγίστηκε σε ζυγαριά με ανάγνωση 0,1g.

Αδρανή τα αδρανή παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:
-άμμος με κοκκομετρία όπως φαίνεται στο σχ.15
-γαρμπίλι με κοκκομετρία όπως φαίνεται στο σχ.16
Η κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου και του γαρμπιλιού έγινε με πρό-τυπα κόσκινα διαφόρων μεγεθών, όπως φαίνεται στα σχήματα 15 και 16, αφού πρώτα έγινε τετραμερισμός των δειγμάτων.
Το γαρμπίλι και η άμμος ζυγίστηκαν σε ζυγαριά με ανάγνωση 0,1g και 20g αντίστοιχα.

Πρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν υπερρρευστοποιητικά δύο τύπων : SPL-P και CHEM 172. Το πρώτο χρησιμοποιήθηκε για τον λόγο $N/T=0,6$ και το δεύτερο για τον $N/T=0,4$.



Σχ.15 : Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης για την άμμο.



Σχ.16 : Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης για το γαρμπίλι.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στοιχεία δείγματος : άμμος

Βάρος ολικού δείγματος			Διερχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κοσκίνου (mm)	Αρ.κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (g)	(g)	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
19.00	3/4"			
16.00	5/8"			
12.50	1/2"			
9.50	3/8"			
6.30	1/4"			
4.75	No4	2,0	1998,0	99,9
2.36	No8	311,7	1686,3	84,3
2.00	No10			
1.18	No16	458,9	1227,4	61,4
0.60	No30	362,0	865,4	43,3
0.43	No40			
0.30	No50	165,9	699,5	35,0
0.18	No80			
0.15	No100	151,5	548,0	27,4
0.08	No200	141,8	406,2	20,3
	Παιπάλη	406,2	0,0	0,0
	Ολικό βάρος	2000,0		

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στοιχεία δείγματος : γαρμπίλι

Βάρος ολικού δείγματος			Διερχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κοσκίνου (mm)	Αρ.κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (g)		
			(g)	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
19.00	3/4"			
16.00	5/8"			
12.50	1/2"	0,0	2500,0	100,0
9.50	3/8"	341,5	2158,5	86,3
6.30	1/4"	1505,8	652,7	26,1
4.75	No4	563,7	89,0	3,6
2.36	No8	42,4	46,6	1,9
2.00	No10			
1.18	No16			
0.60	No30			
0.43	No40			
0.30	No50			
0.18	No80			
0.15	No100			
0.08	No200			
	Παιπάλη	46,6	0,0	0,0
	Ολικό βάρος	2500,0		

2.1.1 Εύρεση της πυκνότητας της άμμου σε κατάσταση κορεσμένου, επιφανειακά στεγνού υλικού.

Η εύρεση των πυκνοτήτων της άμμου έγινε με την μέθοδο του πυκνομέτρου για μέγεθος αδρανών μεταξύ 0,063 και 4 mm σύμφωνα με τη δοκιμή EN 1097-6. Η μέθοδος αυτή περιγράφεται ως εξής :

Βυθίζεται ποσότητα της άμμου σε νερό μέσα στο πυκνόμετρο και απομακρύνεται ο εγκλωβισμένος αέρας χτυπώντας το πυκνόμετρο απαλά σε μία σταθερή θέση. Τοποθετείται το πυκνόμετρο κάτω από τη βρύση ώστε να γεμίσει και απομακρύνεται όσος εγκλωβισμένος αέρας έχει παραμείνει με τον ίδιο τρόπο. Στη συνέχεια τοποθετείται το καπάκι στην κορυφή του δοχείου, σκουπίζοντας εξωτερικά το πυκνόμετρο και ζυγίζοντας (M_2).

Ξαναγεμίζεται το πυκνόμετρο με νερό και τοποθετείται το κάλυμα στην κορυφή όπως προηγουμένως, σκουπίζοντας εξωτερικά και ζυγίζοντας (M_3).

Στη συνέχεια διασκορπίζεται η άμμος σε ένα ταψί και θερμαίνεται με ένα πιστολάκι ώστε να εξατμιστεί η υγρασία από την επιφάνειά της. Οι κινήσεις πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να προκαλέσουν ένα ομοιόμορφο αποτέλεσμα ως προς την εξάτμισή της. Για να επιβεβαιωθεί αν η επιφανειακή στεγνή κατάσταση έχει επιτευχθεί, χρησιμοποιείται ένας μεταλλικός κώνος με την μεγαλύτερη διάμετρο προς τα κάτω. Γεμίζοντας τον κώνο με την άμμο που έχει στεγνώσει εξωτερικά, συμπυκνώνεται το δείγμα με 25 ραβδισμούς από την κορυφή του κώνου. Αν ο κώνος της άμμου δεν καταρρεύσει σύμφωνα με τη δοκιμή EN 1097-6 συνεχίζεται το στέγνωμα της άμμου μέχρι να αποκτήσει το κατάλληλο σχήμα. Ζυγίζεται η επιφανειακή στεγνή μάζα (M_1).

Τέλος, η άμμος ξηραίνεται σε φούρνο στους $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ μέχρι να δημιουργηθεί μία σταθερή μάζα και ζυγίζεται (M_4). Έτσι βρέθηκε :

$$M_1 = 534,23 \text{ g}$$

$$M_2 = 1008,32 \text{ g}$$

$$M_3 = 677,66 \text{ g}$$

$$M_4 = 528,35 \text{ g}$$

Υπολογίζονται οι πυκνότητες της άμμου σύμφωνα με τους τύπους :

$$\blacklozenge \text{ φαινόμενη πυκνότητα : } \rho_a = M_4 / [M_4 - (M_2 - M_3)] = 2,6726 \text{ Mg/m}^3$$

$$\blacklozenge \text{ πυκνότητα της ξηρής άμμου : } \rho_{rd} = M_4 / [M_1 - (M_2 - M_3)] = 2,5954 \text{ Mg/m}^3$$

♦ πυκνότητα της κορεσμένης επιφανειακά στεγνής άμμου: $\rho_{ssd} = M_1 / [M_1 - (M_2 - M_3)] = 2,6243 \text{ Mg/m}^3$

Η απορρόφηση νερού από την άμμο υπολογίζεται από τον τύπο :

♦ $WA_{24} = 100 \times (M_1 - M_4) / M_4 = 1,112899\%$

Η παραπάνω μέτρηση επιβεβαιώνεται με την εφαρμογή των παρακάτω σχέσεων^[14] :

$$\text{abs}(\%) = 100 \times (1/RD_{OD} - 1/ARD) = 100 \times (1/2,595422 - 1/2,672619) = 1,112898\%$$

$$\text{abs}(\%) = 100 \times (RD_{SSD}/RD_{OD} - 1) = 100 \times (2,624306/2,595422 - 1) = 1,112883\%$$

$$\text{abs}(\%) = 100 \times (1 - RD_{SSD}/ARD) / (RD_{SSD} - 1) = 100 \times (1 - 2,624306/2,672619) / (2,624306 - 1) = 1,112908\%$$

Τα ποσοστά αυτά πλησιάζουν αρκετά την τιμή $WA_{24} = 1,112899\%$, επιβεβαιώνοντας την απορρόφηση νερού από την άμμο κατά το ποσό αυτό.

2.1.2 Εύρεση της πυκνότητας του γαρμπιλιού σε κατάσταση κορεσμένου, επιφανειακά στεγνού υλικού.

Η εύρεση των πυκνοτήτων του γαρμπιλιού έγινε με την μέθοδο του πυκνομέτρου για αδρανή με διάμετρο από 4 έως 31,5 mm σύμφωνα με τη μέθοδο EN 1097-6 όπως παραπάνω, με την διαφορά ότι για την εύρεση της μάζας M_1 τα αδρανή σκουπίζονται με μία πετσέτα για να απορροφηθεί το επιφανειακό νερό. Έτσι βρέθηκε :

$$M_1 = 216,67 \text{ g}$$

$$M_2 = 814,27 \text{ g}$$

$$M_3 = 677,66 \text{ g}$$

$$M_4 = 216,15 \text{ g}$$

Υπολογίζω τις πυκνότητες του γαρμπιλιού σύμφωνα με τους τύπους :

♦ φαινόμενη πυκνότητα : $\rho_a = M_4 / [M_4 - (M_2 - M_3)] = 2,717501 \text{ Mg/m}^3$

♦ πυκνότητα του ξηρού γαρμπιλιού : $\rho_{rd} = M_4 / [M_1 - (M_2 - M_3)] = 2,69985 \text{ Mg/m}^3$

♦ πυκνότητα του κορεσμένου επιφανειακά στεγνού γαρμπιλιού :

$$\rho_{ssd} = M_1 / [M_1 - (M_2 - M_3)] = 2,706345 \text{ Mg/m}^3$$

Η απορρόφηση νερού από το γαρμπίλι υπολογίζεται από τον τύπο :

♦ $WA_{24} = 100 \times (M_1 - M_4) / M_4 = 0,240574\%$. Επείσης :

$$\text{abs}(\%) = 100 \times (1/RD_{OD} - 1/ARD) = 100 \times (1/2,69985 - 1/2,717501) = 0,24058\%$$

$$\text{abs}(\%) = 100 \cdot (\text{RD}_{\text{SSD}} / \text{RD}_{\text{OD}} - 1) = 100 \cdot (2,706345 / 2,69985 - 1) = 0,240569\%$$

$$\text{abs}(\%) = 100 \cdot (1 - \text{RD}_{\text{SSD}} / \text{ARD}) / (\text{RD}_{\text{SSD}} - 1) = 100 \cdot (1 - 2,706345 / 2,717501) / (2,706345 - 1) = 0,240587\%$$

Τα ποσοστά αυτά πλησιάζουν αρκετά την τιμή $\text{WA}_{24} = 0,240574\%$, επιβεβαιώνοντας την απορρόφηση νερού από το γαρμπίλι κατά το ποσό αυτό.

2.2 ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Οι αναλογίες σύνθεσης και η ποσότητα του τσιμεντοπολτού κάθε μίγματος παρουσιάζονται αναλυτικά:

-Λόγος N/T= 0.6

<u>Μίγμα Α :</u>	Τσιμέντο	2,8485 kg	294,81 kg/m ³
CEMI42,5N	Άμμος	12,5808 kg	1302,09 kg/m ³
	Γαρμπίλι	5,7824 kg	598,47 kg/m ³
	SPL-P	0,0300 kg ⇒	3,10 kg/m ³
	Νερό	1,9085 kg	197,53 kg/m ³
	N _{eff}	1,7846 kg	184,70 kg/m ³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού (N_{eff}+T): 479,51 kg/m³

<u>Μίγμα Β:</u>	Τσιμέντο	2,8485 kg	293,21 kg/m ³
CEMII/B-M32,5N	Άμμος	12,5808 kg	1294,98 kg/m ³
	Γαρμπίλι	5,7824 kg	595,20 kg/m ³
	SPL-P	0,0296 kg ⇒	3,05 kg/m ³
	Νερό	1,9085 kg	196,45 kg/m ³
	N _{eff}	1,7842 kg	183,66 kg/m ³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού (N_{eff}+T): 476,86 kg/m³

<u>Μίγμα Γ:</u>	Τσιμέντο	2,8485 kg	294,30 kg/m ³
CEMII/A-M42,5N	Άμμος	12,5808 kg	1299,80 kg/m ³
	Γαρμπίλι	5,7824 kg	597,42 kg/m ³
	SPL-P	0,0226 kg ⇒	2,34 kg/m ³
	Νερό	1,9085 kg	197,18 kg/m ³
	N _{eff}	1,7772 kg	183,62 kg/m ³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού ($N_{eff}+T$): 477,91 kg/m³

-Λόγος N/T=0.4

<u>Μίγμα Δ:</u>	Τσιμέντο	3,3230 kg	341,80 kg/m ³
CEMII/A-M42,5N	Άμμος	12,6189 kg	1297,97 kg/m ³
	Γαρμπίλι	6,3617 kg	654,36 kg/m ³
	SPL-P	0,0409 kg ⇒	4,20 kg/m ³
	Νερό	1,5315 kg	157,53 kg/m ³
	N_{eff}	1,4166 kg	145,71 kg/m ³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού ($N_{eff}+T$): 487,52 kg/m³

<u>Μίγμα Ε:</u>	Τσιμέντο	3,3230 kg	343,57 kg/m ³
CEMI42,5N	Άμμος	12,6189 kg	1304,68 kg/m ³
	Γαρμπίλι	6,3617 kg	657,74 kg/m ³
	SPL-P	0,0334 kg ⇒	3,45 kg/m ³
	Νερό	1,5315 kg	158,34 kg/m ³
	N_{eff}	1,4091 kg	145,69 kg/m ³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού ($N_{eff}+T$): 489,26 kg/m³

<u>Μίγμα Ζ:</u>	Τσιμέντο	3,3230 kg	341,20 kg/m ³
CEMII/B-M32,5N	Άμμος	12,6189 kg	1295,71 kg/m ³
	Γαρμπίλι	6,3617 kg	653,21 kg/m ³
	SPL-P	0,0360 kg ⇒	3,69 kg/m ³
	Νερό	1,5315 kg	157,25 kg/m ³
	N_{eff}	1,4117 kg	144,96 kg/m ³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού ($N_{eff}+T$): 486,16 kg/m³

Όσον αφορά την ποσότητα των υπερρευστοποιητικών, σε κάθε μίγμα γινόταν πρόσθετη χρήση τους ανάλογα με την εργασιμότητα του σκυροδέματος . Έτσι, προστέθηκαν επιπλέον στα μίγματα που παρασκευάστηκαν : 14,7g στο μίγμα Α, 14g στο Β, 15g στο Δ και 5,2g στο Ζ. Οι επιπλέον αυτές ποσότητες υπερρευστοποιητικών ανηγμένες σε kg/m³ είναι :

- Μίγμα Α: $1,548 \text{ kg/m}^3$
- Μίγμα Β: $1,474 \text{ kg/m}^3$
- Μίγμα Δ: $1,579 \text{ kg/m}^3$
- Μίγμα Ζ: $0,547 \text{ kg/m}^3$

Η προσθήκη των υπερ-ρευστοποιητικών έγινε αφού το σκυρόδεμα είχε αναμιχθεί , καθώς παρουσιάζεται μεγαλύτερη απόδοση όταν αναμιχθούν μετά το πέρας των αναμείξεων των άλλων υλικών μέσα σε 5-6min.

Οι αναλογίες σύνθεσης προέκυψαν με βάση την παρακάτω σχέση, αφού μετρήθηκαν οι πυκνότητες αδρανών και εδώθησαν από τον παραγωγό οι πυκνότητες των τσιμέντων:

$$T/\gamma_1 + N_{\text{eff}}/\gamma_2 + A/\gamma_3 + \Gamma/\gamma_4 + \alpha = 1 \text{ όπου:}$$

T = η ποσότητα του τσιμέντου σε kg/m^3

N_{eff} = η ποσότητα του ενεργού νερού σε kg/m^3

A = η ποσότητα της άμμου σε kg/m^3

Γ = η ποσότητα του γαρμπιλιού σε kg/m^3

α = η ποσότητα του αέρα (%) που περιέχεται μέσα στο σκυρόδεμα

γ_1 =το ειδικό βάρος του εκάστοτε τσιμέντου σε kg/m^3

γ_2 =το ειδικό βάρος του ενεργού νερού που ισούται με 1000 kg/m^3

γ_3 =το ειδικό βάρος της κορεσμένης, επιφανειακά στεγνής άμμου σε kg/m^3

γ_4 =το ειδικό βάρος του κορεσμένου, επιφανειακά στεγνού γαρμπιλιού σε kg/m^3

2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Για την ανάμιξη των υλικών ο αναμικτήρας βράχθηκε έτσι ώστε να μην απορροφήσουν τα τοιχώματά του νερό από το μίγμα. Πρώτα τοποθετήθηκε το γαρμπίλι και μετά η άμμος μαζί με την μισή περίπου ποσότητα νερού και στη συνέχεια αναμίχθηκαν για τόσο χρόνο ώστε να γίνει ένα ομογενές μίγμα. Στη συνέχεια παρέμειναν στον αναμικτήρα για 15 min ώστε τα αδρανή να απορροφήσουν το μέγιστο του νερού απορρόφησης.



Σχ.17: Ο αναμεικτήρας που χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή δοκιμίων

Αξίζει να επισημάνουμε ότι ο χρόνος αναμονής των 15 min προέκυψε από παλιότερη εργασία, με την οποία αποδείχτηκε ότι αυτό το διάστημα είναι αρκετό ώστε η υγρασία των αδρανών να πλησιάσει, κατά 70% -90%, την αναμενόμενη υγρασία απορρόφησης ($N_{ολ}-N_{eff}$).

Μετά την πάροδο των 15 min προστέθηκε το υπόλοιπο νερό και το τσιμέντο μέχρι να αναμειχθούν αρκετά και τέλος το πρόσθετο. Τα υλικά αναμίχθηκαν για μερικά λεπτά ακόμη μέχρι να προκύψει ένα ομοιογενές και καλής εργασιμότητας μίγμα. Ανάλογα με την εργασιμότητά του προσθέτουμε επιπλέον ρευστοποιητικό ή όχι.

Κατόπιν αφού το μίγμα τοποθετήθηκε σε κυλινδρικά καλούπια από PVC διαμέτρου 12 cm και ύψους περίπου 5,5 cm (αλειμμένα στον πυθμένα και στις εσωτερικές πλευρικές επιφάνειες με γράσσο ώστε τα δοκίμια να ξεκαλουπωθούν εύκολα και με κολλητικές ταινίες στις εγκοπές για να μην χυθεί υλικό),

συμπυκνώθηκε σε δονητική τράπεζα για χρόνο 30 sec περίπου και έπειτα επιπεδώθηκε η ελεύθερη επιφάνεια των δοκιμίων με μυστρί.

Στη συνέχεια προσδιορίζεται η πυκνότητα του σκυροδέματος που μόλις παρασκευάστηκε. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιείται ένα ειδικό καλούπι, το οποίο έχει γνωστές διαστάσεις παραπλήσιες με εκείνες των δοκιμίων και ένα επίπεδο διαφανές γυαλί. Ζυγίζονται το καλούπι και το γυαλί ξεχωριστά. Μετά ρίχνεται νερό μέσα στο καλούπι τόσο ώστε βάζοντας το γυαλί από πάνω να υπάρχει πλήρης επαφή μεταξύ του νερού και του γυαλιού και ζυγίζεται. Από το καθαρό βάρος του νερού προκύπτει ο όγκος του δοκιμίου. Έπειτα αδειάζεται το καλούπι και τοποθετείται μέσα σε αυτό σκυρόδεμα από το μίγμα. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται ώστε η βάση που είναι κολλημένο το καλούπι όπως και οι πλαϊνές πλευρές του καλουπιού να μην έχουν περιχυθεί από σκυρόδεμα. Τοποθετείται το γυαλί πάνω από το καλούπι ώστε η ποσότητα του μίγματος να καταλαμβάνει πλήρως το δοχείο και μετά ζυγίζεται χωρίς το γυαλί.

Η πυκνότητα του σκυροδέματος προκύπτει από τον τύπο:

$$\rho = m_{\text{γμ.}-\text{άδειου}} / V_{\text{βάρους νερού}}$$

όπου : $m_{\text{γμ.}}$ = η μάζα του πρότυπου δοχείου με το μίγμα

$m_{\text{άδειου}}$ = η μάζα του άδειου δοχείου

$m_{\text{γυαλιού}}$ = η μάζα του γυαλιού που χρησιμοποιούμε για να οριοθετίσουμε με απόλυτη ακρίβεια την ποσότητα του νερού και μίγματος που χωράει στο πρότυπο καλούπι.

$$V_{\text{βάρους νερού}} = m_{\text{γμ.}} - m_{\text{γυαλιού}} - m_{\text{άδειου}}$$

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στο παράρτημα Γ.

Μετά το τέλος της παραπάνω διαδικασίας τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στον υγρό θάλαμο του εργαστηρίου όπου επικρατούν συνθήκες τουλάχιστον 95% σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Σκεπάστηκαν με νάυλον καλύμματα για να μην βραχούν και πάρουν και άλλη ποσότητα νερού από την υγρασία αναμείξεως, και έμειναν εκεί για 24 ώρες. Μετά όλα τα δοκίμια ξεκαλουπώθηκαν με προσοχή ώστε να μην θραυστούν, αριθμήθηκαν και ζυγίστηκαν αυτά που προορίζονται για συντήρηση στον αέρα.

Τα μισά δοκίμια συντηρήθηκαν στον αέρα σε πρεβάζια του εργαστηρίου και καταγράφονται οι καθημερινές θερμοκρασίες για το χρονικό διάστημα που παρέμειναν εκεί. Τα άλλα μισά συντηρήθηκαν στον υγρό θάλαμο μέσα σε λεκάνες

με νερό, κορεσμένο σε $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Η προσθήκη αυτή έγινε γιατί το τσιμέντο κατά την ενυδάτωση παράγει $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και όταν είναι στεγνό, το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ είναι υπό μορφή κρυστάλλων αλλά στο νερό διαλύεται και μπορεί να βγει από τους πόρους ώστε η $C_{\text{Ca}(\text{OH})_2\text{νερού}} = C_{\text{Ca}(\text{OH})_2\text{πόρων τσιμέντου}}$. Αυτό έχει ως συνέπεια το πορώδες του τσιμέντου να αυξηθεί. Η χρήση νερού κορεσμένου σε $\text{Ca}(\text{OH})_2$ εμποδίζει το φαινόμενο αυτό.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

3.1 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Πριν τις δοκιμές της υδαταπορρόφησης τα δοκίμια ξηράνθηκαν έτσι ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία που πλεονάζει και που έφραζε τους πόρους. Σε ηλικία 14 και 70 ημερών για την πρώτη και δεύτερη σειρά πειραμάτων αντίστοιχα από την ημέρα παρασκευής τους, τα δοκίμια μπήκαν στον φούρνο στους 50°C και παρέμειναν για 4 ημέρες. Η ξήρανση στους 50°C για 4 ημέρες γίνεται για να αποκτήσουν τα δοκίμια σταθερό βάρος^[17], καθώς περιέχουν διαφορετική ποσότητα νερού για κάθε συντήρηση πριν τις πειραματικές μετρήσεις. Επομένως, η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα είναι ακριβέστερη. Ο Kelham όπως και άλλοι ερευνητές, στα πειράματα που εκτελούν, ξηραίνουν τα δοκίμια στους 105°C για 6 ημέρες. Ωστόσο, σε αυτή τη θερμοκρασία ο ιστός του σκυροδέματος υφίσταται αλλοιώσεις (εσωτερικές μικρορηγματώσεις) λόγω διαστολών^[17] και επιπλέον είναι επιθυμητή η προσομείωση των πειραμάτων στις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον. Γι'αυτούς τους λόγους, επιλέγεται ως θερμοκρασία ξήρανσης οι 50°C . Η επιλογή της χρονικής διάρκειας της ξήρανσης έγινε βάση παλαιότερης διπλωματικής εργασίας, κατά την οποία η μείωση του βάρους των δοκιμίων μετά τις 4 ημέρες είναι ασήμαντη, συμπεραίνοντας ότι το νερό που απομένει δεν θα επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Σύμφωνα με το νόμο του Kelvin^[12], για συνθήκες 50°C και 48% σχετικής υγρασίας μέσα στο φούρνο, δεν εξατμίζονται οι πόροι με ακτίνα μικρότερη από 1,34nm. Συνεπώς, οι συνθήκες αυτές συντελούν σε πολύ καλή ξήρανση των δοκιμίων, αφού εξατμίζονται πόροι μέχρι αυτού του ορίου.

Τα δοκίμια αφού βγήκαν από τον φούρνο και ζυγίστηκαν, τυλίχθηκαν με σελοφάν και έμειναν έτσι για 3 ημέρες. Αυτό έγινε σε μία προσπάθεια να εξισορροπηθεί η υγρασία στο εσωτερικό των δοκιμίων έτσι ώστε να είναι

ομοιόμορφη παντού, αφού κατά την ξήρανση η υγρασία μετακινείται από το εσωτερικό προς τα έξω και έτσι σε κάποιο βάθος μπορεί να έχουμε μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό από ότι σε άλλο βάθος.

Στη συνέχεια τα δοκίμια βγήκαν από τα σελοφάν και βάφτηκαν οι πλευρικές επιφάνειές τους με εποξειδική ρητίνη σε πολλαπλές στρώσεις ώστε να ελαχιστοποιηθεί η απορρόφηση και εξάτμιση νερού από τις πλευρές αυτές.

3.2 ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Η δοκιμή της υδαταπορρόφησης έγινε όταν τα δοκίμια ήταν ηλικίας 22 και 78 ημερών για την πρώτη και δεύτερη σειρά πειραμάτων αντίστοιχα. Σε κάθε δοκιμή εξετάζονται 6 δοκίμια από κάθε μίγμα (σειρά παρασκευής δοκιμίων), από τα οποία τα 3 συντηρήθηκαν στον αέρα και τα άλλα 3 στο νερό. Τα δοκίμια αυτά, αφού ζυγίστηκαν, τοποθετήθηκαν σε μία λεκάνη στον πυθμένα της οποίας τοποθετήθηκε πλαστικό πλέγμα έτσι ώστε όλα τα δοκίμια να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, να είναι το ίδιο βυθισμένα στο νερό και το νερό να έρχεται σε επαφή με την κάτω έδρα των δοκιμίων. Στην πλαεινή πλευρά της λεκάνης ανοίχτηκε μία μικρή τρύπα έτσι ώστε η στάθμη του νερού από τη βάση του δοκιμίου να μην ξεπερνάει τα 2 mm. Για να διατηρηθεί η στάθμη του νερού σταθερή στο δοχείο, παρεχέονταν νερό με σταθερή και ρυθμιζόμενη ροή.

Τα δοκίμια ζυγίστηκαν στα χρονικά διαστήματα των 0.25h, 0.75h, 1.75h, 3.75h, 7.75h, 24h, 48h, 72h, 96h, 120h, 144h, 168h. Πριν από κάθε ζύγισμα η επιφάνεια των δοκιμίων που ήταν σε επαφή με το νερό σκουπιζόταν πρώτα με χαρτί και μετά με πανί για να μην υπάρχουν ελεύθερα σταγονίδια νερού πάνω σε αυτή. Το σκούπισμα γινόταν με ομοιόμορφο τρόπο για κάθε δοκίμιο ώστε τα αποτελέσματα να είναι επαναλήψιμα. Οι μετρήσεις αυτές όπως άλλωστε και όλες των δοκιμίων έγιναν σε ζυγαριά με δυνατότητα ανάγνωσης 0,01 g.

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα φαίνεται στο σχ.18.



Σχ.18 : Δοκιμή υδαταπορρόφησης

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής υδαταπορρόφησης, προσδιορίζονταν οι καθημερινές θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες με τη βοήθεια του υγρόμετρου για όλα τα μίγματα και για όσο χρονικό διάστημα ζυγίζονταν τα δοκίμια (και για τις δύο χρονικές περιόδους). Από τις καθημερινές μετρήσεις υπολογίστηκαν οι μέσες θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες για την εβδομάδα μετρήσεων κάθε μίγματος και έπειτα με το νόμο Kelvin^[12] (ιδανικές συνθήκες) οι ακτίνες των πόρων που δεν εξατμίστηκαν σε αυτές τις συνθήκες. Συνεπώς, με το νόμο αυτό υπολογίζονται οι πόροι που δεν εξατμίστηκαν στην επάνω επιφάνεια των δοκιμίων για όλα τα μίγματα και για τις δύο χρονικές περιόδους. Οι διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ των ακτίνων πόρων για κάθε μίγμα είναι ελάχιστες.

Δοκίμια ηλικίας 22 ημερών

	Μίγμα Α CEMI42,5N	Μίγμα Β CEMII/B-M32,5N	Μίγμα Γ CEMII/A-M42,5N	Μίγμα Δ CEMII/A-M42,5N	Μίγμα Ε CEMI42,5N	Μίγμα Ζ CEMII/B-M32,5N
Μ.Θερμ.	23,58	22,79	22,86	24,15	24,50	24,44
Μ.Υγρασ.	57,78	64,44	62,48	67,63	65,53	67,56
r (nm)	1,94	2,43	2,27	2,72	2,51	2,71

Δοκίμια ηλικίας 78 ημερών

	Μίγμα Α CEMI42,5N	Μίγμα Β CEMII/B-M32,5N	Μίγμα Γ CEMII/A-M42,5N	Μίγμα Δ CEMII/A-M42,5N	Μίγμα Ε CEMI42,5N	Μίγμα Ζ CEMII/B-M32,5N
Μ.Θερμ.	22,92	22,96	22,96	23,15	23,38	23,31
Μ.Υγρασ.	70,67	68,56	67,02	70,52	67,88	65,46
r (nm)	3,08	2,83	2,67	3,05	2,75	2,52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

2.0 ΓΕΝΙΚΑ

Με βάση τα σχήματα 17-28 βγαίνουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα ως προς την γενικότερη μορφή της καμπύλης της μεταβολής του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης που είναι συντηρημένα είτε στο νερό είτε στον αέρα και για τις δύο χρονικές περιόδους σε συνάρτηση με τον χρόνο. Η μορφή αυτή είναι καμπύλη και πλησιάζει την μορφή της παραβολής. Στην αρχή η μεταβολή του βάρους αυξάνεται απότομα όπως φαίνεται και από τα σχήματα 29-40 και από ένα χρονικό διάστημα και μετά σταθεροποιείται αφού έχουν πληρωθεί οι μεγάλοι πόροι με νερό. Αυτό δηλώνει τον κορεσμό των δοκιμίων, όπου πλέον υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ του νερού που απορροφάται και του νερού που εξατμίζεται. Το διάστημα αυτό κυμαίνεται γύρω στις (120-130)h από την στιγμή που αρχίζει η δοκιμή της υδαταπορρόφησης. Άλλα συμπεράσματα που βγαίνουν είναι τα εξής :

- Τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στο νερό παρουσιάζουν πολύ μικρότερη απορρόφηση νερού απ'ότι τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στον αέρα. Αυτό συμβαίνει γιατί η ενυδάτωση του σκυροδέματος συνεχίζεται για τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στο νερό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μικρότεροι πόροι και επομένως μικρότερη απορρόφηση νερού. Αντίθετα, η ενυδάτωση του σκυροδέματος σταματάει απότομα για τα δοκίμια που συντηρούνται στον αέρα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται περισσότεροι πόροι και να αυξάνεται η υδαταπορρόφηση. Επιπρόσθετα, δημιουργούνται εσωτερικές ρηγματώσεις κατά την έκθεσή τους στις συνθήκες περιβάλλοντος καθώς παρουσιάζεται το φαινόμενο της συστολής ξηράνσεως, φαινόμενο που ενισχύει την αύξηση της υδαταπορρόφησης.
- Η απορρόφηση νερού για λόγο $N/T=0,6$ είναι πολύ μεγαλύτερη απ'ότι για λόγο $N/T=0,4$. Για λόγο $N/T=0,6$ το πορώδες του σκυροδέματος των δοκιμίων είναι πολύ μεγαλύτερο απ'ότι για $N/T=0,4$, με συνέπεια η απορρόφηση νερού για τα δοκίμια με $N/T=0,6$ να είναι πολύ μεγαλύτερη.
- Όσον αφορά τις δύο χρονικές περιόδους, για την δεύτερη περίοδο (δοκίμια ηλικίας 78 ημερών), για τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στο

νερό και για τους δύο λόγους N/T παρουσιάζεται μικρότερη απορρόφηση νερού σε σχέση με τα δοκίμια της πρώτης χρονικής περιόδου (ηλικίας 22 ημερών). Επείσης, τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στο νερό παρουσιάζουν μικρότερη απορρόφηση από αυτά που είναι συντηρημένα στον αέρα. Τα αποτελέσματα αυτά είναι αναμενόμενα και δείχνουν ότι μεγαλύτερη διάρκεια υγρής συντήρησης συνετέλεσε στη μείωση των τριχοειδών πόρων. Αντίθετα η συντήρηση στον αέρα δεν προκαλεί την ίδια ενιαία εικόνα, αλλά συμβάλλει στην αύξηση της υδαταπορρόφησης. Αυτό αποδίδεται στο ενδεχόμενο κατά την παρατεταμένη συντήρηση στον αέρα να δημιουργήθηκαν μεγαλύτεροι πόροι ή μικρορηγματώσεις που αύξησαν την προσρόφηση. Το γεγονός ότι το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κυρίως για λόγους $N/T=0,6$ συνηγορεί υπέρ της παραπάνω αιτιολόγησης δεδομένου ότι τα δοκίμια με $N/T=0,6$ είναι μικρότερης αντοχής και επομένως πιο επιρρεπή σε ρηγμάτωση. Για τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στον αέρα, άλλοτε παρουσιάζουν μεγαλύτερη και άλλοτε μικρότερη τριχοειδή απορρόφηση σε σχέση με την ηλικία τους.

Σε επιβεβαίωση των παραπάνω, για λόγο $N/T=0,6$, για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στον αέρα εμφανίζεται δύο φορές μεγαλύτερη μεταβολή βάρους και μία φορά μικρότερη. Συγκεκριμένα από τα σχήματα 17 και 23 φαίνεται ότι τα δοκίμια με τσιμέντο CEMI42,5N παρουσιάζουν μεγαλύτερη απορρόφηση τη δεύτερη χρονική περίοδο όπως επίσης και από τα σχήματα 18 και 24 για τα δοκίμια με τσιμέντο CEMII/B-M32,5N. Από τα σχήματα 19 και 25 φαίνεται ότι το τσιμέντο CEMII/A-M42,5N εμφανίζει μικρότερη απορρόφηση τη δεύτερη χρονική περίοδο. Για λόγο $N/T=0,4$ όμως, παρουσιάζεται δύο φορές μικρότερη μεταβολή βάρους (σχ.21 και 27, 20 και 26) για τη δεύτερη χρονική περίοδο και μία φορά μεγαλύτερη μεταβολή βάρους (σχ.22 και 28).

- Το τσιμέντο CEMI42,5N εμφανίζει την μικρότερη απορρόφηση σε σχέση με τα άλλα δύο τσιμέντα, γεγονός που μπορεί να υποδηλώνει την καλύτερη συμπεριφορά του ως προς την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

- Σε ορισμένες περιπτώσεις από ένα χρονικό διάστημα και μετά εμφανίζεται μείωση της μεταβολής βάρους αντί αύξηση ή σταθεροποίηση. (σχ.18,19,24,25). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται μόνο για τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στον αέρα, για λόγο $N/T=0,6$, για τις δύο χρονικές περιόδους και για τα τσιμέντα CEMII/B-M32,5N και CEMII/A-M42,5N. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην πιθανότητα εξάτμισης του νερού πιο γρήγορα απ'ότι η απορρόφησή του λόγω της ύπαρξης μεγάλων πόρων. Άλλοι παράγοντες που μπορεί να εξεταστούν είναι η ύπαρξη ρηγματώσεων από την θέρμανση των δοκιμίων στο φούρνο. Επειδή όμως το γεγονός αυτό παρατηρείται στα δοκίμια που είναι συντηρημένα στον αέρα, οδηγούμαστε σε συσχετισμό μεταξύ της μεθόδου συντηρήσεως και της ύπαρξης μεγαλύτερων πόρων λόγω της ελαττωμένης ενυδάτωσης ή σε πιθανές εσωτερικές ρηγματώσεις. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα δοκίμια που συντηρήθηκαν στον αέρα, μεταφέρθηκαν από τα πρεβάζια των παραθύρων του πολυτεχνείου στον εσωτερικό χώρο για λίγες ημέρες λόγω βροχόπτωσης ώστε να μην βραχούν. Η μεταφορά αυτή των δοκιμίων στο εσωτερικό όπου ήταν κλιματιζόμενος χώρος (χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος) και η μεταβολή των θερμοκρασιακών συνθηκών μπορεί να οδήγησε στην εσωτερική μικρορηγμάτωση. Ωστόσο όμως, οι θερμοκρασιακές μεταβολές δεν ήταν τόσο μεγάλες ώστε να δικαιολογήσουν τη δημιουργία ρηγματώσεων. Άλλοι παράγοντες που μπορούν να εξεταστούν είναι η επιρροή της θερμοκρασίας και της υγρασίας στο δωμάτιο (υπόγειο του Ε.Μ.Π) όπου πραγματοποιήθηκε η δοκιμή της υδαταπορρόφησης. Από τα σχετικά διαγράμματα της θερμοκρασίας-υγρασίας σε συνάρτηση με τον χρόνο που υπάρχουν στο παράρτημα Α φαίνεται ότι δεν υπάρχουν ουσιαστικές μεταβολές. Συνεπώς, η επίδραση των μεταβολών της θερμοκρασίας και της υγρασίας είναι μηδαμινή. Το παραπάνω φαινόμενο χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση.

2.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕΣΟΥΣ ΟΡΟΥΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΒΑΡΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΛΟΓΩ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ.

Με βάση τα σχήματα 1-16 που αφορούν τους μέσους όρους μεταβολής των βαρών των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης σε σχέση με τον χρόνο και την τετραγωνική ρίζα του χρόνου, βγαίνουν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς την συμπεριφορά των τριών διαφορετικών τσιμέντων σε σχέση με τον λόγο N/T , την μέθοδο συντήρησης και την επιροή της ηλικίας των δοκιμίων κατά την δοκιμή της υδαταπορρόφησης. Με βάση τους μέσους όρους βγαίνουν τα εξής πρώτα συμπεράσματα :

- Η συντήρηση στον αέρα αυξάνει σημαντικά την απορρόφηση νερού από το σκυρόδεμα, φαινόμενο το οποίο επιδρά καταστροφικά στην ανθεκτικότητα. Η επίδραση αυτή μειώνεται όσο μειώνεται ο λόγος N/T .
 - Όσο αυξάνεται ο λόγος N/T η απορρόφηση νερού μεγαλώνει, όπως αναλύθηκε και στην παράγ.2.0
 - Όσο αυξάνεται η ηλικία των δοκιμίων παρατηρείται μείωση της απορρόφησης νερού για τα δοκίμια που έχουν συντηρηθεί στο νερό, η οποία είναι σαφής αλλά όχι πάντοτε σημαντική. Αυτό συμβαίνει γιατί περισσότερος χρόνος συντήρησης συνεπάγεται μεγαλύτερη ενυδάτωση τσιμέντου, μικρότερο πορώδες και αύξηση αντοχών.
 - Η απορρόφηση νερού κατατάσσεται από την μικρότερη στην μεγαλύτερη με βάση τον τύπο τσιμέντου ως εξής: πρώτα για το CEMI42,5N ,μετά για το CEMII/A-M42,5N και τέλος για το CEMII/B-M32,5N και για τους δύο λόγους N/T .
 - Για το τσιμέντο CEMI42,5N η απορρόφηση νερού για συντήρηση στον αέρα αυξάνει πολύ λιγότερο από τα άλλα τσιμέντα (σχ.11, 12, 13, 14, 15, 16).
 - Η απορρόφηση νερού για συντήρηση στον αέρα για το CEMI42,5N πλησιάζει την απορρόφηση νερού για συντήρηση στο νερό του CEMII/B-M32,5N τόσο για $N/T=0,6$ όσο και για $N/T=0,4$. Συνεπώς η συμπεριφορά του CEMI42,5N έναντι της ανθεκτικότητας εκτιμάται ότι είναι καλύτερη από των άλλων δύο ακόμα και για δυσμενή συντήρηση δοκιμίων.
- ✓ Τα συμπεράσματα εξάγονται για κάθε παράμετρο ξεχωριστά και ανεξάρτητα από τις προηγούμενες εξετασθείσες περιπτώσεις. Γι'αυτό το

λόγο, υπάρχει επανάληψη των συμπερασμάτων όταν αυτά προκύπτουν από περισσότερες παραμέτρους που εξετάζονται. Ακολουθεί λεπτομερής σύγκριση των μετρήσεων με βάση τον λόγο N/T .

2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΛΟΓΟ N/T

Λαμβάνοντας υπόψη τα σχήματα 1-10 προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις :

- Οι μέσες μεταβολές των βαρών και για τα τρία τσιμέντα είναι πολύ μικρότερες για λόγο $N/T=0,4$, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.
- Οι μεταβολές αυτές είναι πιο έντονες για τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στον αέρα και ειδικά για τα τσιμέντα CEMII/A-M42,5N και CEMII/B-M32,5N.
- Από τα σχήματα 5 και 6 φαίνεται ότι για τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στον αέρα και για το τσιμέντο CEMI42,5N, ενώ για λόγο $N/T=0,6$ παρουσιάζονται μεγαλύτερες μεταβολές βαρών κατά την δεύτερη χρονική περίοδο, για λόγο $N/T=0,4$ παρουσιάζονται μεγαλύτερες μεταβολές στην πρώτη χρονική περίοδο.
- Από τα σχήματα 7 και 8 φαίνεται ότι για τους δύο λόγους N/T , για το τσιμέντο CEMII/B-M32,5N και για τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στον αέρα παρουσιάζονται μεγαλύτερες μεταβολές βαρών κατά την δεύτερη σειρά πειραμάτων.
- Από τα σχήματα 9 και 10, το τσιμέντο CEMII/A-M42,5N απορροφάει περισσότερο νερό και για τους δύο λόγους N/T κατά την πρώτη χρονική περίοδο.

2.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΗΛΙΚΙΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ.

Με βάση τα σχήματα 11-16 παρατηρούνται τα εξής :

- Δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερες μεταβολές βαρών ανάμεσα στις δύο χρονικές περιόδους.
- Τα δοκίμια με τσιμέντο CEMI42,5N ,λόγο $N/T=0,6$ και συντήρηση στον αέρα απορροφούν περισσότερο νερό στην δεύτερη χρονική περίοδο ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις στην πρώτη.

- Τα δοκίμια με τσιμέντο CEMII/A-M42,5N απορροφούν περισσότερο νερό και για τους δύο λόγους N/T και μεθόδους συντήρησης την πρώτη χρονική περίοδο.
- Τα δοκίμια με τσιμέντο CEMII/B-M32,5N, λόγο $N/T=0,6$ και συντήρηση στον αέρα παρουσιάζουν μικρότερη απορρόφηση κατά την 1η χρονική περίοδο ενώ για τις υπόλοιπες περιπτώσεις στην 2η.

2.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΤΥΠΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.

Ισχύουν όλα τα προηγούμενα συμπεράσματα. Γενικά ισχύουν τα εξής :

- Είναι εμφανές ότι για υγρή συντήρηση το ποσοστό του νερού που απορροφάει ο τσιμεντοπολτός του κάθε μείγματος είναι σημαντικά μικρότερο από το ποσοστό που απορροφάται για συντήρηση στον αέρα. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι η υγρή συντήρηση δημιουργεί μικρότερο πορώδες, άρα υπάρχουν λιγότεροι και μικρότεροι πόροι στον τσιμεντοπολτό και συνεπώς μικρότερη υδαταπορρόφηση.
- Το τσιμέντο CEMI42,5N παρουσιάζει τις μικρότερες απορροφήσεις νερού κατά την δοκιμή της υδαταπορρόφησης.
- Το τσιμέντο CEMII/A-M42,5N παρουσιάζει ελαφρώς βελτιωμένη συμπεριφορά σε σχέση με το τσιμέντο CEMII/B-M32,5N. Το φαινόμενο αυτό συσχετίζεται με την αντοχή των τσιμέντων. Όσο μεγαλύτερη αντοχή έχει ένα τσιμέντο τόσο μικρότερο πορώδες παρουσιάζει και επομένως και απορρόφηση. Βέβαια αυτό έχει απόλυτη σχέση και με την μέθοδο συντήρησης.
- Η απορρόφηση νερού για το τσιμέντο CEMI42,5N και συντήρηση στον αέρα πλησιάζει την απορρόφηση νερού για δοκίμια συντηρημένα στον αέρα για το τσιμέντο CEMII/B-M32,5N τόσο για $N/T=0,6$ όσο και για $N/T=0,4$.
- Για την πρώτη χρονική περίοδο, για συντήρηση στο νερό και για τους δύο λόγους N/T καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζει πρώτα το CEMI42,5N ,μετά το CEMII/A-M42,5N και έπειτα το CEMII/B-M32,5N. Για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για λόγο $N/T=0,6$ τα τσιμέντα CEMII/A-M42,5 και

CEMII/B-M32,5N έχουν περίπου την ίδια απορρόφηση ενώ το CEMI42,5N λίγο πιο βελτιωμένη συμπεριφορά. Για λόγο $N/T=0,4$ και τα τρία τσιμέντα πλησιάζουν στις τιμές τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΡΡΗΞΗ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.0 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΘΡΑΥΣΕΩΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Μετά το τέλος της δοκιμής της υδαταπορρόφησης, μετρήθηκαν τα ύψη και οι διαμέτροι των δοκιμίων με τη βοήθεια του παχύμετρου για την εύρεση της μέσης ενιαίας διαμέτρου και των μέσων υψών για κάθε δοκίμιο. Για το σκοπό αυτό πάρθηκαν 3 μετρήσεις υψών και διαμέτρου για κάθε δοκίμιο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παράρτημα Β. Στη συνέχεια τα δοκίμια της πρώτης χρονικής περιόδου τοποθετήθηκαν στην μηχανή θραύσεως του εργαστηρίου του Πολυτεχνείου για την εύρεση των αντοχών τους σε διάρρηξη. Η θραύση όλων των δοκιμίων έγινε με ταχύτητα 0,60KN/sec. Τα αποτελέσματα και η εύρεση των μέσων αντοχών για κάθε μέθοδο συντήρησης ξεχωριστά φαίνονται στο παράρτημα Β.

Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για την θραύση των δοκιμίων της δεύτερης χρονικής περιόδου με τη διαφοροποίηση ότι η θραύση τους πραγματοποιήθηκε σε διαφορετική πρέσσα, καθώς η πρώτη χάλασε. Γι'αυτό τον λόγο η πρώτη σειρά δοκιμίων καταστράφηκε, χωρίς να παρθούν οι κατάλληλες μετρήσεις.

Η πρέσσα που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στο σχ.19



Σχ.19 : Μηχανή δοκιμής σε θλίψη

3.1 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με βάση της εύρεση των αντοχών σε διάρρηξη για κάθε δοκίμιο, δημιουργήθηκαν διαγράμματα που συσχετίζουν την αντοχή με τους δύο λόγους $N/T=0,6$ και $N/T=0,4$, για τις δύο μεθόδους συντηρήσεως, για τις δύο χρονικές περιόδους και για τα τρία τσιμέντα. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η μεταβολή της αντοχής σε σχέση με τον λόγο N/T δεν είναι ευθύγραμμη (η βιβλιογραφία δείχνει ότι η συνάρτηση είναι εκθετική). Για να υποδηλωθεί το γεγονός αυτό, στα διαγράμματα 41-44 τα αντίστοιχα σημεία ενώθηκαν με διακεκομμένη γραμμή.

Τονίζεται ότι τα αποτελέσματα των αντοχών στηρίζονται σε μέσους όρους αντοχών τριών δοκιμών για κάθε περίπτωση. Ο αριθμός αυτός θεωρείται ότι δεν είναι επαρκής για να εξαχθούν ασφαλή αποτελέσματα. Ο σχολιασμός που ακολουθεί γίνεται με την επιφύλαξη αυτή.

Από τα διαγράμματα στα σχήματα 41-44, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Για λόγο $N/T=0,4$ εμφανίζονται μεγαλύτερες αντοχές απ'ότι για $N/T=0,6$ για τα τρία είδη τσιμέντου, για τις δύο μεθόδους συντήρησης και για τις δύο χρονικές περιόδους. Αυτό συμβαίνει γιατί μικρότερος λόγος N/T συνεπάγεται μικρότερο πορώδες και κατά συνέπεια μεγαλύτερες αντοχές.
- Τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στο νερό παρουσιάζουν πάντα και ανεξάρτητα από την ηλικία τους μεγαλύτερες αντοχές σε σχέση με τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στον αέρα. Η συντήρηση στο νερό δίνει τη δυνατότητα πληρέστερης ενυδάτωσης του τσιμέντου σε αντίθεση με τη συντήρηση στον αέρα, όπου η ενυδάτωση σταματάει όταν η σχετική υγρασία $RH \leq 80\%$, άρα δεν παρουσιάζεται περαιτέρω αύξηση της αντοχής.
- Οι ευθείες που ενώνουν τους δύο λόγους για τις αντίστοιχες αντοχές πλησιάζουν την παραλληλία.
- Για τα δοκίμια της 1ης χρονικής περιόδου που είναι συντηρημένα στο νερό, το τσιμέντο CEMII/A-M42,5N παρουσιάζει ελαφρώς μεγαλύτερη αντοχή από το CEMI42,5N για λόγο $N/T=0,4$. Αντίθετα για λόγο $N/T=0,6$, το CEMI42,5N παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή από το CEMII/A-M42,5N (σχ.44)

- Για τα δοκίμια της 1ης χρονικής περιόδου που είναι συντηρημένα στον αέρα, το τσιμέντο CEMII/A-M42,5N παρουσιάζει λίγο μικρότερες αντοχές από το CEMI42,5N για λόγο $N/T=0,4$. Αντίθετα για λόγο $N/T=0,6$, το CEMI42,5N παρουσιάζει λίγο μικρότερες αντοχές από το CEMII/A-M42,5N (σχ.44)
- Για τα δοκίμια της 1ης χρονικής περιόδου που είναι συντηρημένα στο νερό και για λόγο $N/T=0,4$, τις μεγαλύτερες αντοχές παρουσιάζει το CEMII/B-M32,5N (συγκρινόμενο με τα άλλα δύο). Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι αναμενόμενο και κρίνεται ανασφαλές. Είναι ενδεικτικό των επιφυλάξεων που διατυπώθηκαν παραπάνω. Για λόγο $N/T=0,6$, τις μεγαλύτερες αντοχές έχει το CEMI42,5N (σχ.41-43)
- Για τα δοκίμια της 1ης χρονικής περιόδου που είναι συντηρημένα στον αέρα και για λόγο $N/T=0,4$, τις μεγαλύτερες αντοχές παρουσιάζει το CEMI42,5N (συγκρινόμενο με τα άλλα δύο). Για λόγο $N/T=0,6$, τις μεγαλύτερες αντοχές έχει το CEMII/A-M42,5N (σχ.41-44)
- Για τα δοκίμια της 2ης χρονικής περιόδου που είναι συντηρημένα στο νερό και για τους δύο λόγους, μεγαλύτερες αντοχές παρουσιάζει όπως θα έπρεπε να αναμένεται το CEMII/A-M42,5N απ'ότι το CEMII/B-M32,5N.
- Για τα δοκίμια της 2ης χρονικής περιόδου που είναι συντηρημένα στον αέρα και για τους δύο λόγους, μεγαλύτερες αντοχές παρουσιάζει το CEMII/B-M32,5N απ'ότι το CEMII/A-M42,5N. Φαίνεται ότι το CEMII/B-M32,5N παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά για συντήρηση στον αέρα απ'ότι το CEMII/A-M42,5N αλλά όπως αναφέρθηκε παραπάνω απαιτείται σημαντικά μεγαλύτερος αριθμός δοκιμών για εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΘΕΩΡΙΕΣ****4.1 ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΒΑΡΟΥΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ**

Η μορφή της μεταβολής του βάρους των δοκιμίων σε σχέση με τον χρόνο είναι καμπύλη και πλησιάζει την παραβολή όπως επιβεβαιώνεται και από παλαιότερες διπλωματικές εργασίες. Στην αρχή της καμπύλης παρουσιάζεται απότομη αύξηση της μεταβολής του βάρους και μετά από τρεις ημέρες περίπου η καμπύλη σταθεροποιείται.

4.2 ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΡΙΖΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Σύμφωνα με τη θεωρητική ανάλυση του φαινομένου της τριχοειδούς απορρόφησης των C.Hall^[7] και S.Kelham^[6], η συνολική απορρόφηση νερού i αυξάνει με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου που έχει διανυθεί:

$$i = S \cdot t^{1/2}$$

όπου: S = δείκτης ρόφησης που προσδιορίζει την ικανότητα του υλικού να απορροφά και να μεταφέρει νερό μέσα από τα τριχοειδή.

Ο S.Kelham διεξήγαγε ιδιαίτερος ακριβείς και προσεκτικές μετρήσεις με τις οποίες απέδειξε και πειραματικά τα θεωρητικά του συμπεράσματα. Οι μετρήσεις αυτές ήταν αυτοματοποιημένες και εξασφάλιζαν μεγάλη ακρίβεια στην ταύτιση του χρόνου μετρήσεως του βάρους του δοκιμίου.

Εντούτοις, στις μετρήσεις που γίνονται στην πράξη στα εργαστήρια, τόσο σε σκυροδέματα όσο και σε κονιάματα τοιχοποιίας και σε λίθους τοιχοποιίας, τα αποτελέσματα ακολουθούν ελαφρώς διαφορετική σχέση που εκφράζεται με την εξίσωση:

$$i = A + S \cdot t^{1/2}$$

Η σχέση αυτή δεν διέρχεται από την αρχή των αξόνων, αλλά για $t=0$ η γραμμή διέρχεται από κάποιο σημείο του άξονα των y .

Οι M.A.Wilson, M.A.Carter και W.D.Hoff^[16] αποδίδουν την ύπαρξη της σταθεράς A σε δύο λόγους. Ο πρώτος αφορά το βάθος στο οποίο τα δοκίμια

βυθίζονται στο νερό, επιτρέποντας νερό να απορροφηθεί εκτός από τη βάση και από τις πλευρικές επιφάνειες. Αυτή η υπόθεση δεν ισχύει για τα συγκεκριμένα πειράματα που διεξήχθησαν, γιατί οι πλευρικές επιφάνειες των δοκιμίων βάφτηκαν με εποξειδική ρητίνη για την αποτροπή του φαινομένου αυτού. Ένας δεύτερος λόγος που συμβάλλει στην θετική ή αρνητική σταθερά (διακοπή), αφορά την ακρίβεια της διαδικασίας χρονομέτρησης. Καθώς ο ρυθμός απορρόφησης είναι πολύ υψηλός για μικρές χρονικές περιόδους, μία μικρή καθυστέρηση στο ξεκίνημα της χρονομέτρησης θα συμβάλλει σε αρνητική διακοπή. Αν η χρονομέτρηση αρχίσει ελαφρώς νωρίτερα, η διακοπή θα αυξηθεί σε θετική κατεύθυνση. Η διακοπή είναι ένα μέτρο του αρχικού πειραματικού λάθους. Συνεπώς η εμφάνιση της σταθεράς μπορεί να οφείλεται στην καθυστέρηση των μετρήσεων λόγω της ύπαρξης 6 δοκιμίων από κάθε μίγμα, αν και η χρονομέτρηση έγινε κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα δοκίμια να ζυγίζονται την κατάλληλη στιγμή. Ωστόσο, η μέτρηση του χρόνου πραγματοποιείται με το χέρι και επομένως δεν είναι δυνατό να υπάρχει απόλυτη ακρίβεια.

Επιπλέον, οι μορφές των μεταβολών των βαρών σε σχέση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου δεν είναι ευθείες (σχ.45-72), αλλά πλησιάζουν την μορφή των διαγραμμάτων που παρουσιάζει ο S.Kelham και για τις δύο μεθόδους συντήρησης, όπως φαίνεται στο θεωρητικό μέρος της διπλωματικής στα σχήματα 9 και 10.

4.3 Η ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Σύμφωνα με τον Neville^[9], σκυρόδεμα υψηλής αντοχής δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ανθεκτικό σκυρόδεμα, αλλά η αντοχή και η ανθεκτικότητα πρέπει να εξετάζονται μαζί στο αρχικό στάδιο σχεδιασμού. Η άποψη αυτή επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Με βάση τα σχήματα 41-43, για τα δοκίμια της 2ης χρονικής περιόδου που είναι συντηρημένα στον αέρα και για τους δύο λόγους, μεγαλύτερες αντοχές παρουσιάζει το CEMII/B-M32,5N απ'ότι το CEMII/A-M42,5N. Φαίνεται ότι το CEMII/B-M32,5N παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά για συντήρηση στον αέρα απ'ότι το CEMII/A-M42,5N. Συνεπώς, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η μέθοδος συντήρησης για την διαμόρφωση των αντοχών και της ανθεκτικότητας.

4.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ Ν/Τ, ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ , ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.

- Σύμφωνα με τον Neville^[9] όπως και πολλών άλλων επιστημόνων, όσο αυξάνεται ο λόγος Ν/Τ ,τόσο αυξάνει το πορώδες του σκυροδέματος και κατά συνέπεια η υδαταπορρόφηση. Η άποψη αυτή επιβεβαιώνεται από όλα τα σχεδιαγράμματα, καθώς αύξηση του πορώδους οδηγεί σε μείωση της ανθεκτικότητας.
- Σημαντικός παράγοντας για την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος αποτελεί η μέθοδος συντήρησης όπως φαίνεται από τα πειράματα της υδαταπορρόφησης. Η συντήρηση στο νερό συντελεί στην πολύ μικρότερη υδαταπορρόφηση των δοκιμών σε σχέση με τη συντήρηση στον αέρα. Αυτό συμβαίνει γιατί η συντήρηση στο νερό συνεπάγεται παρατεταμένη ενυδάτωση του τσιμέντου, δημιουργία λιγότερων πόρων και επομένως αυξημένη ανθεκτικότητα. Αντίθετα, η συντήρηση στον αέρα συμβάλλει στην μεγαλύτερη υδαταπορρόφηση λόγω του γεγονότος ότι η ενυδάτωση σταματάει όταν η σχετική υγρασία $RH \leq 80\%$, άρα δεν παρουσιάζεται περαιτέρω αύξηση της αντοχής και του φαινομένου της συστολής ξηράνσεως, με συνέπεια την εμφάνιση εσωτερικών μικρορηγματώσεων.
- Το τσιμέντο CEMII/B-M32,5N δίνει τα χειρότερα αποτελέσματα ως προς την υδαταπορρόφηση, γεγονός αναμενόμενο αφού αυτό το τσιμέντο είναι μικρότερης αντοχής από τα άλλα δύο εξεταζόμενα τσιμέντα. Για τα τσιμέντα CEMII/A-M42,5N και CEMI42,5N δεν προκύπτει ασφαλές συμπέρασμα από την σύγκριση μεταξύ των αντοχών τους, ωστόσο το CEMI42,5N εμφανίζει πολύ καλύτερη συμπεριφορά ως προς την υδαταπορρόφηση, ιδιαίτερα για συντήρηση των δοκιμών στο νερό. Η συμπεριφορά του CEMII/A-M42,5N φαίνεται ότι επηρεάζεται σημαντικά από την μέθοδο συντήρησης, αφού για συντήρηση στον αέρα παρουσιάζει μειωμένη ανθεκτικότητα.
- Η ηλικία των δοκιμών (22 και 78 ημερών) δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά τους ως προς την υδαταπορρόφηση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στο νερό

εμφανίζουν μικρότερη απορρόφηση σε μεγαλύτερη ηλικία λόγω της δυνατότητας πληρέστερης ενυδάτωσης του τσιμέντου, ενώ τα δοκίμια που είναι συντηρημένα στον αέρα εμφανίζουν μικρότερη απορρόφηση σε μικρότερη ηλικία που οφείλεται στις λιγότερες εσωτερικές μικρορηγματώσεις λόγω της συστολής ξηράνσεως.

4.5 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Ο έλεγχος του σκυροδέματος με την μέθοδο της υδαταπορρόφησης για τον προσδιορισμό της ανθεκτικότητας είναι πολύ σημαντικός, ωστόσο πρέπει να ελεγχθούν και άλλοι παράμετροι, όπως η ενανθράκωση και η διάχυση. Θα ήταν χρήσιμο σε τέτοιες δοκιμές να γίνεται και έλεγχος του πορώδους, για να διαπιστωθεί πόσο νερό φεύγει από τους πόρους κατά την διάρκεια της προξήρανσης και πόσο γεμίζουν οι πόροι με τη δοκιμή υδαταπορρόφησης.

Ο αριθμός των δοκιμών που χρησιμοποιούνται θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερος, γιατί είναι εξακριβωμένο και από άλλες έρευνες ότι υπάρχει μεγάλη διασπορά στις μετρήσεις υδαταπορρόφησης.

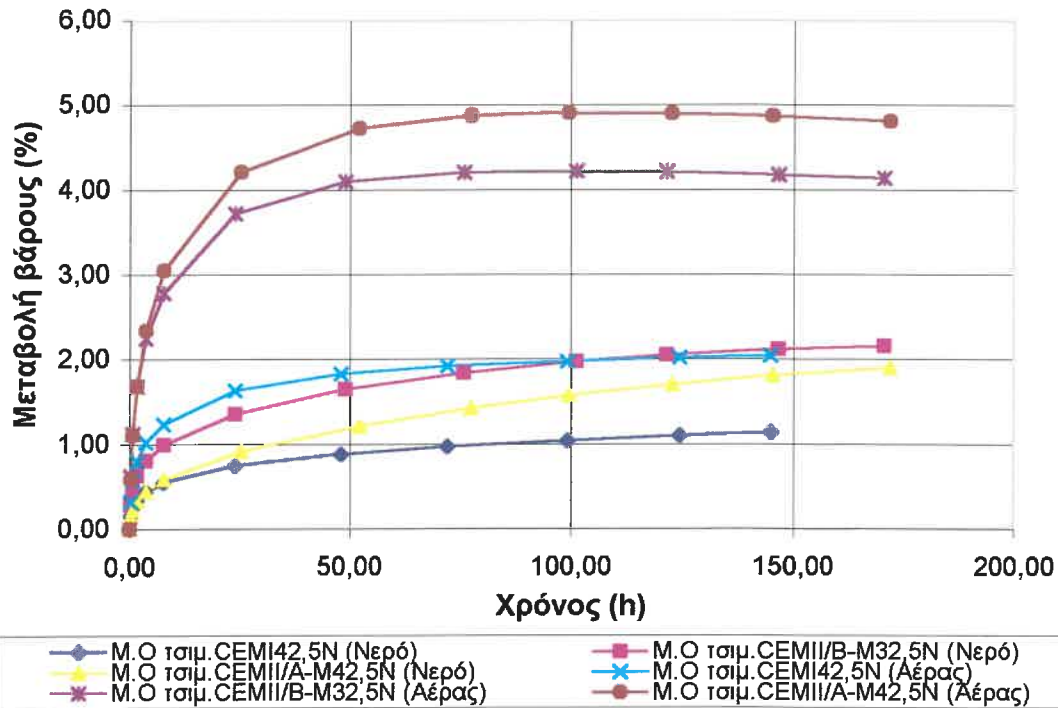
Επιπλέον, προτείνεται επανάληψη των πειραμάτων για το τσιμέντο CEMIII/A-M42,5N με περισσότερες συνθήκες συντήρησης ώστε να προσδιοριστεί πλήρως η συμπεριφορά του, καθώς παρουσιάζει ιδιαίτερα “ευαισθησία” στις μεθόδους συντήρησης.

Τέλος, θα πρέπει να εξεταστεί το φαινόμενο κατά το οποίο σε ορισμένα δοκίμια η καμπύλη της μεταβολής του βάρους τους σε σχέση με τον χρόνο ελαφρώς “πέφτει” μετά από ένα χρονικό διάστημα σταθεροποίησης. Θα πρέπει να διερευνηθούν οι παράγοντες που συμβάλλουν στην πτώση αυτή.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

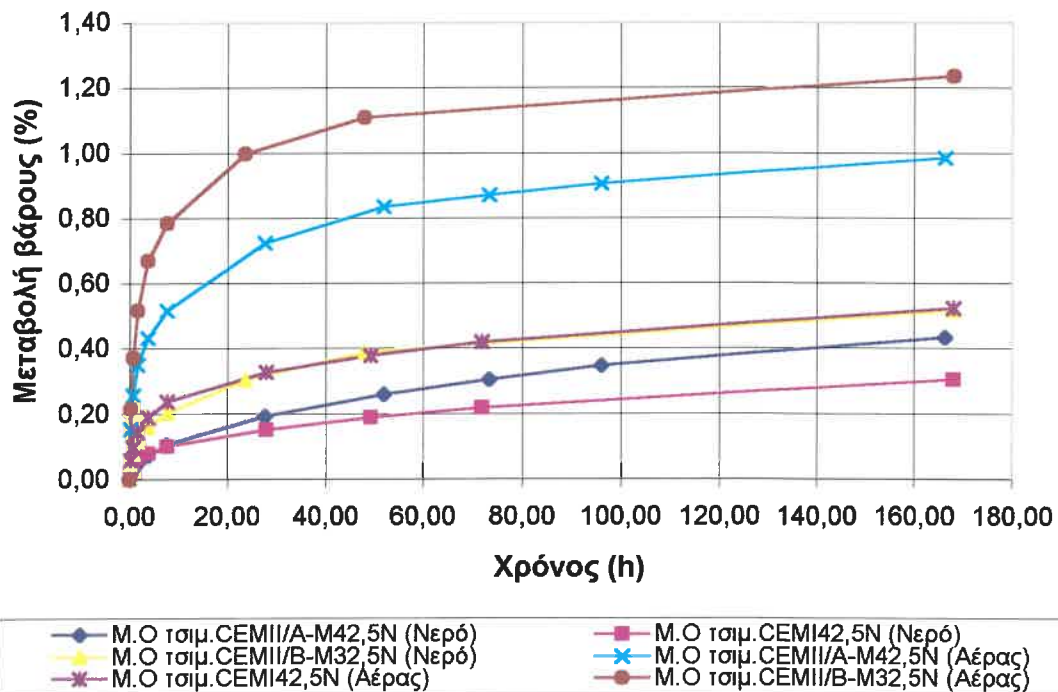
Κατηγορία διαγραμμάτων A

**Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων
λόγω υδαταπορρόφησης για μετρήσεις 7
ημερών**

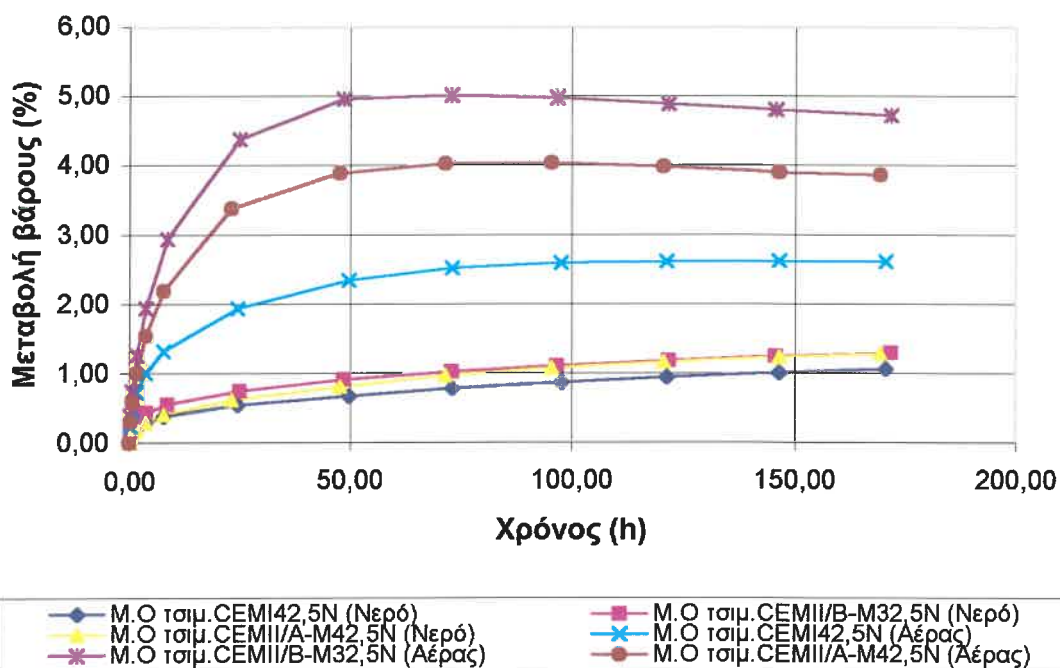


Σχ. 1: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για τα τρία είδη τσιμέντου, τις δύο μεθόδους συντήρησης και λόγο $N/T=0,6$

1η χρονική περίοδος

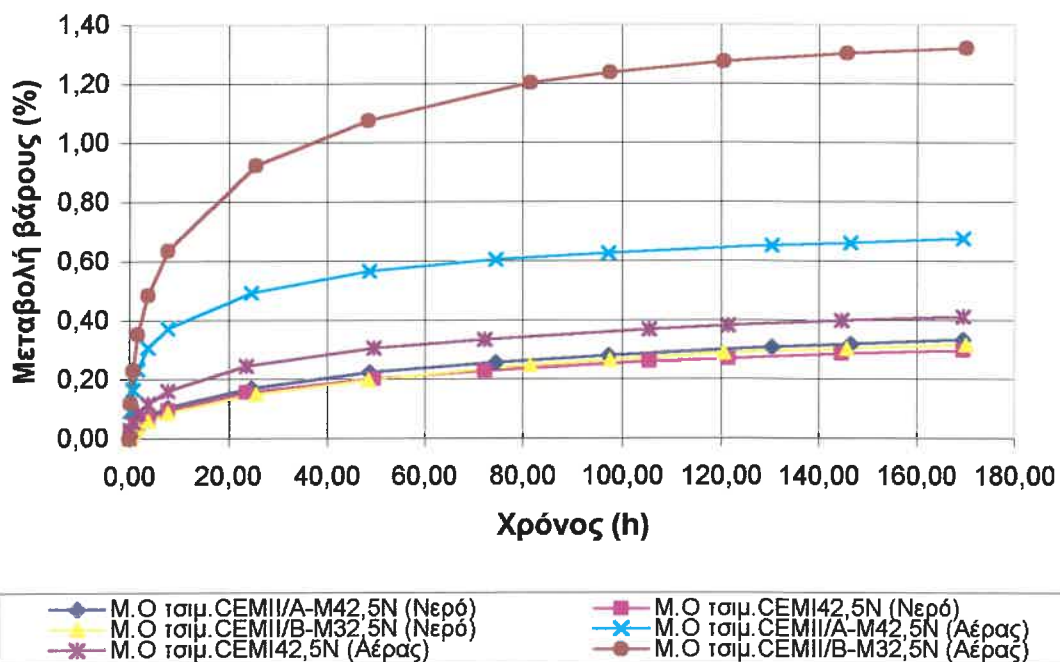


Σχ. 2: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για τα τρία είδη τσιμέντου, τις δύο μεθόδους συντήρησης και λόγο $N/T=0,4$

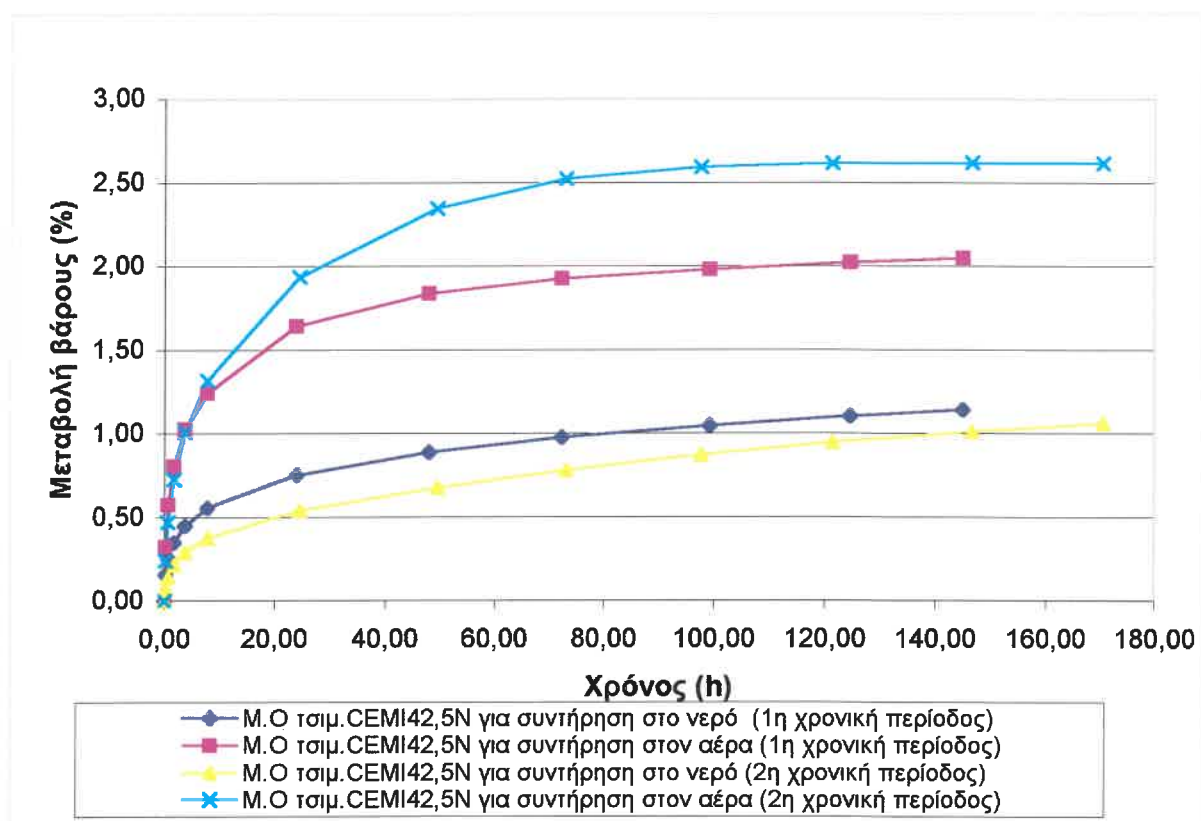


Σχ. 3: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για τα τρία είδη τσιμέντου, τις δύο μεθόδους συντήρησης και λόγο $N/T=0,6$

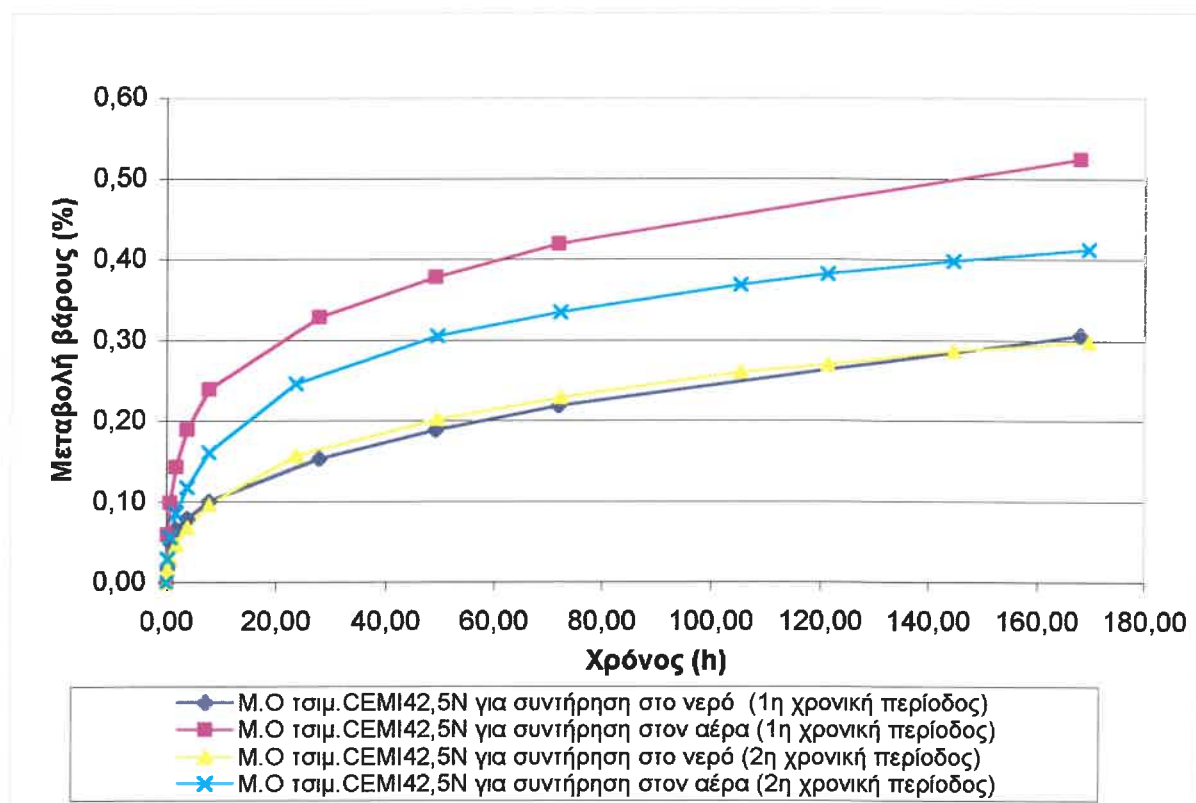
2η χρονική περίοδος



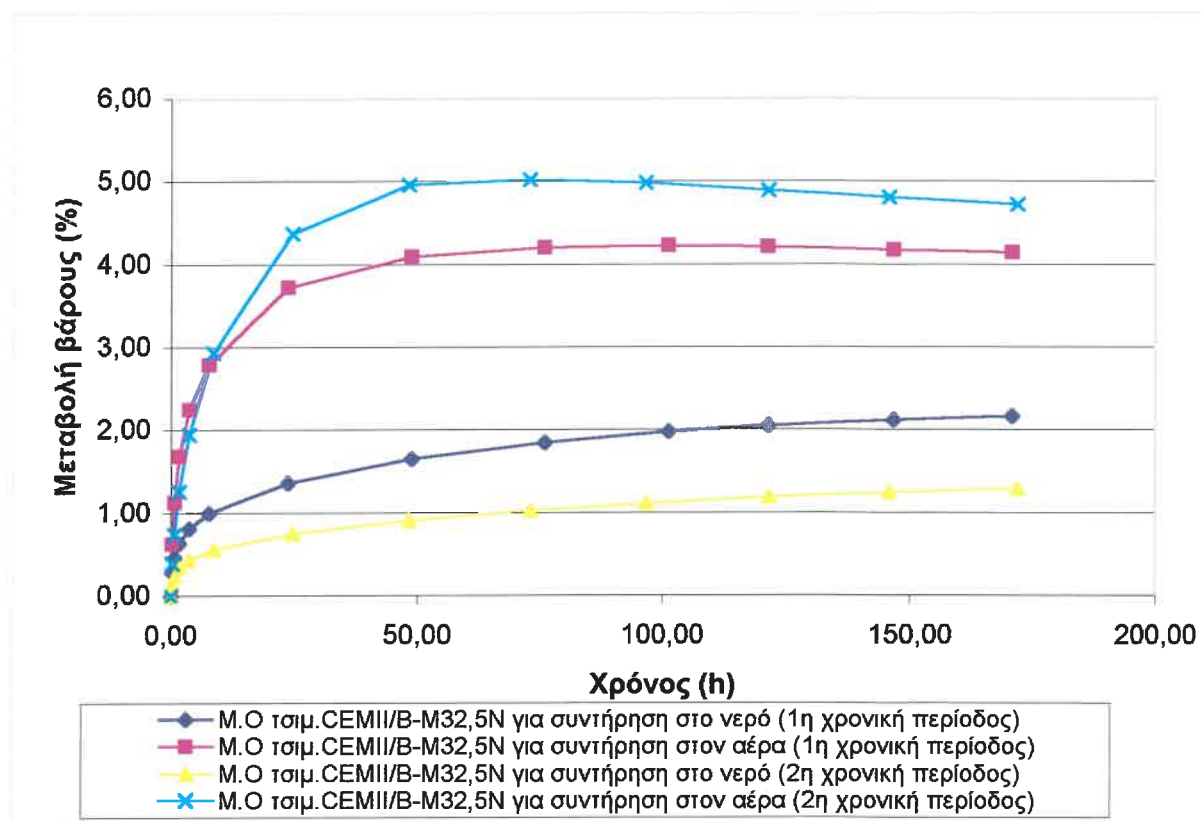
Σχ. 4: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για τα τρία είδη τσιμέντου, τις δύο μεθόδους συντήρησης και λόγο $N/T=0,4$



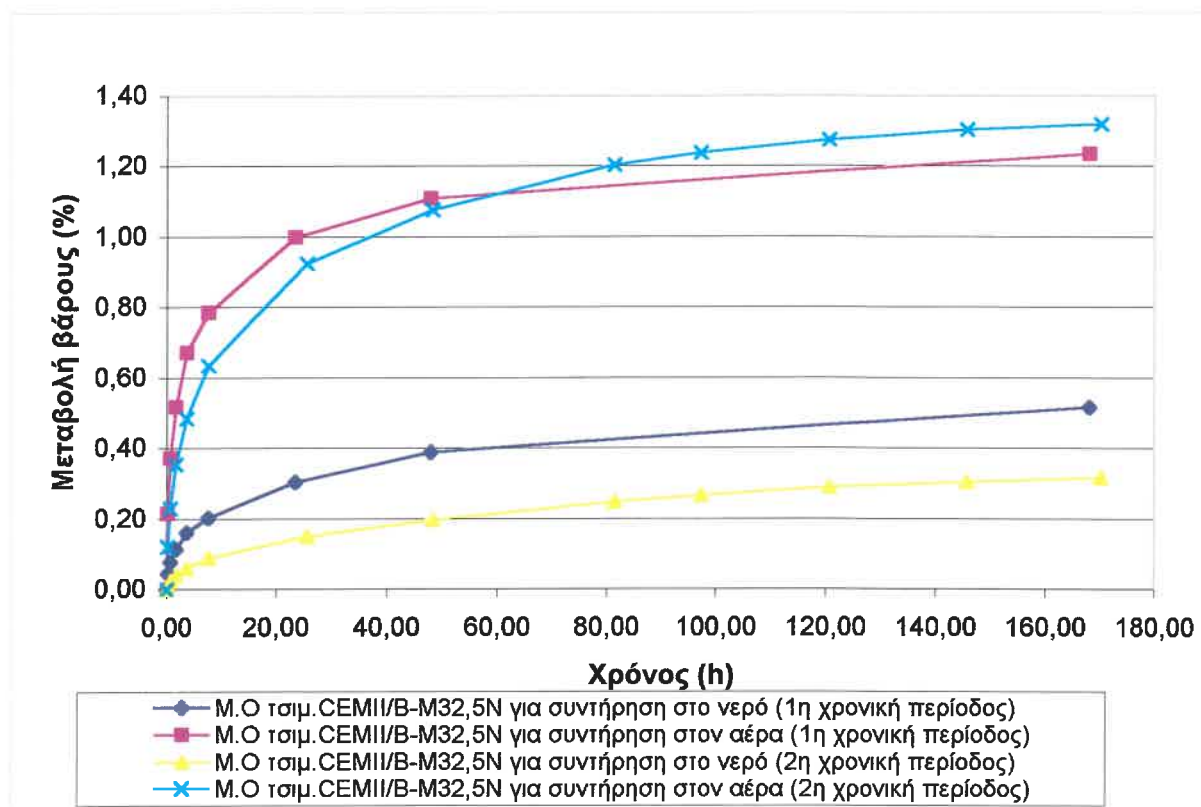
Σχ. 5: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για το τσιμέντο CEMI42,5N, τις δύο μεθόδους συντήρησης, τις δύο χρονικές περιόδους και λόγο $N/T=0,6$



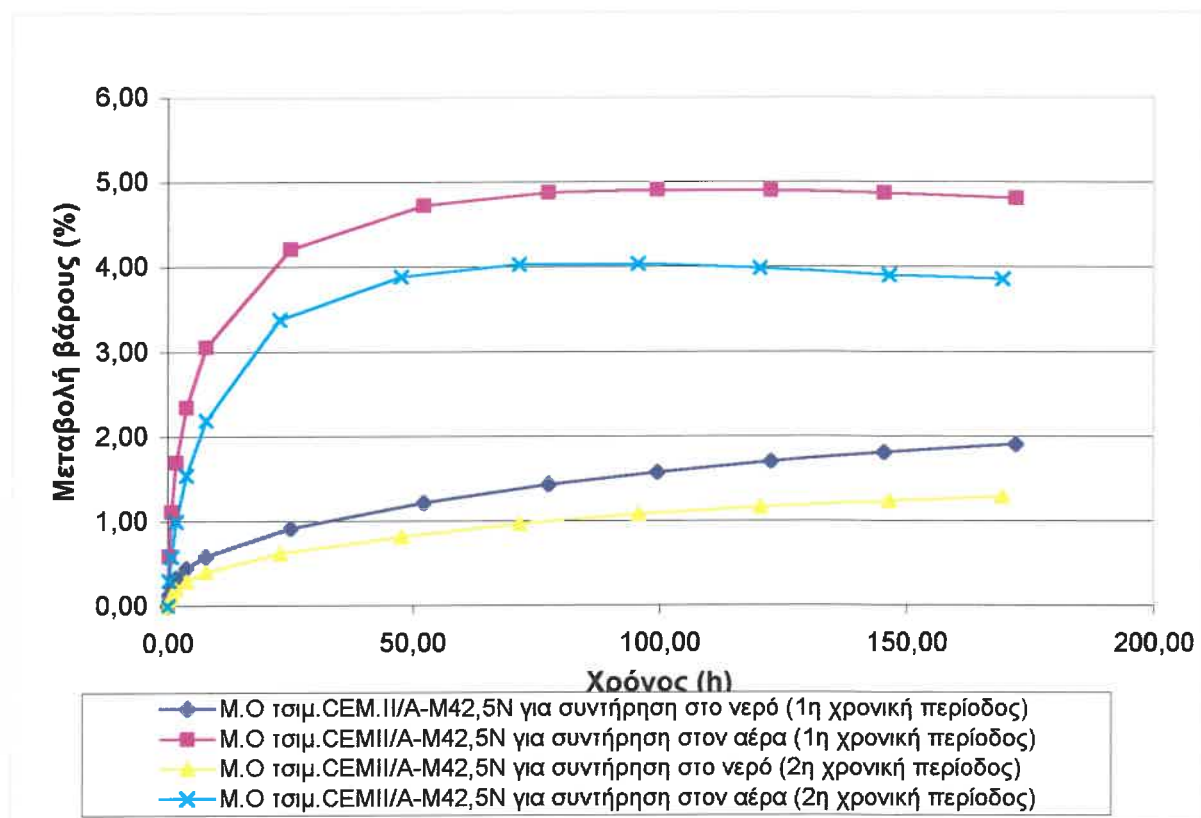
Σχ. 6: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για το τσιμέντο CEMI42,5N, τις δύο μεθόδους συντήρησης, τις δύο χρονικές περιόδους και λόγο $N/T=0,4$



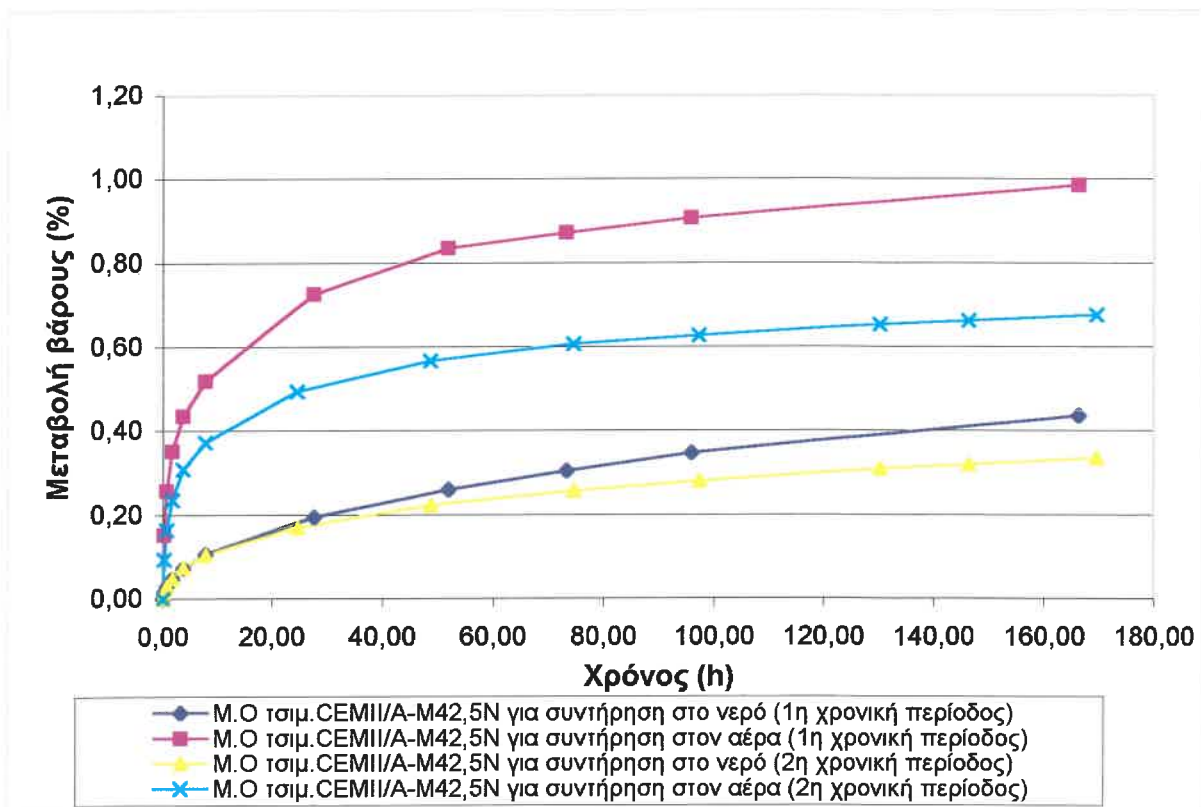
Σχ. 7: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για το τσιμέντο CEM II/B-M32,5N, τις δύο μεθόδους συντήρησης, τις δύο χρονικές περιόδους και λόγο $N/T=0,6$



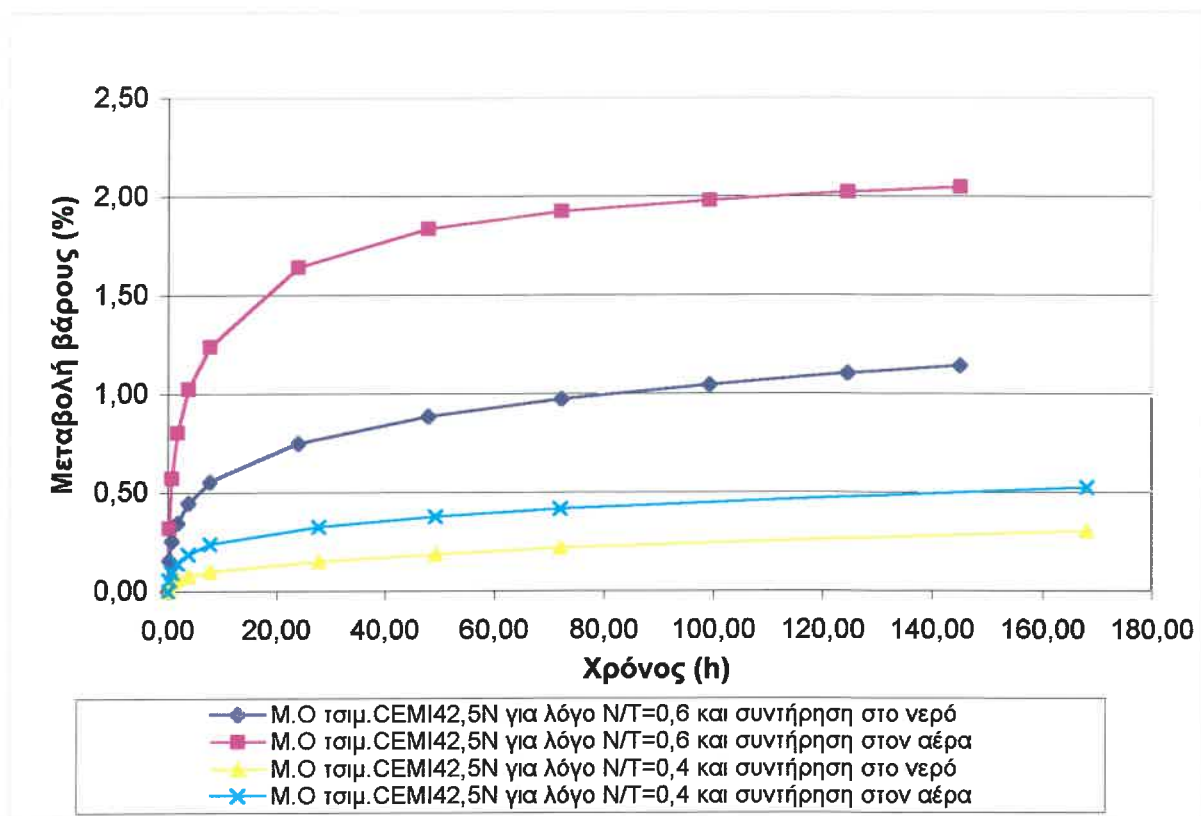
Σχ. 8: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για το τσιμέντο CEM II/B-M32,5N, τις δύο μεθόδους συντήρησης, τις δύο χρονικές περιόδους και λόγο $N/T=0,4$



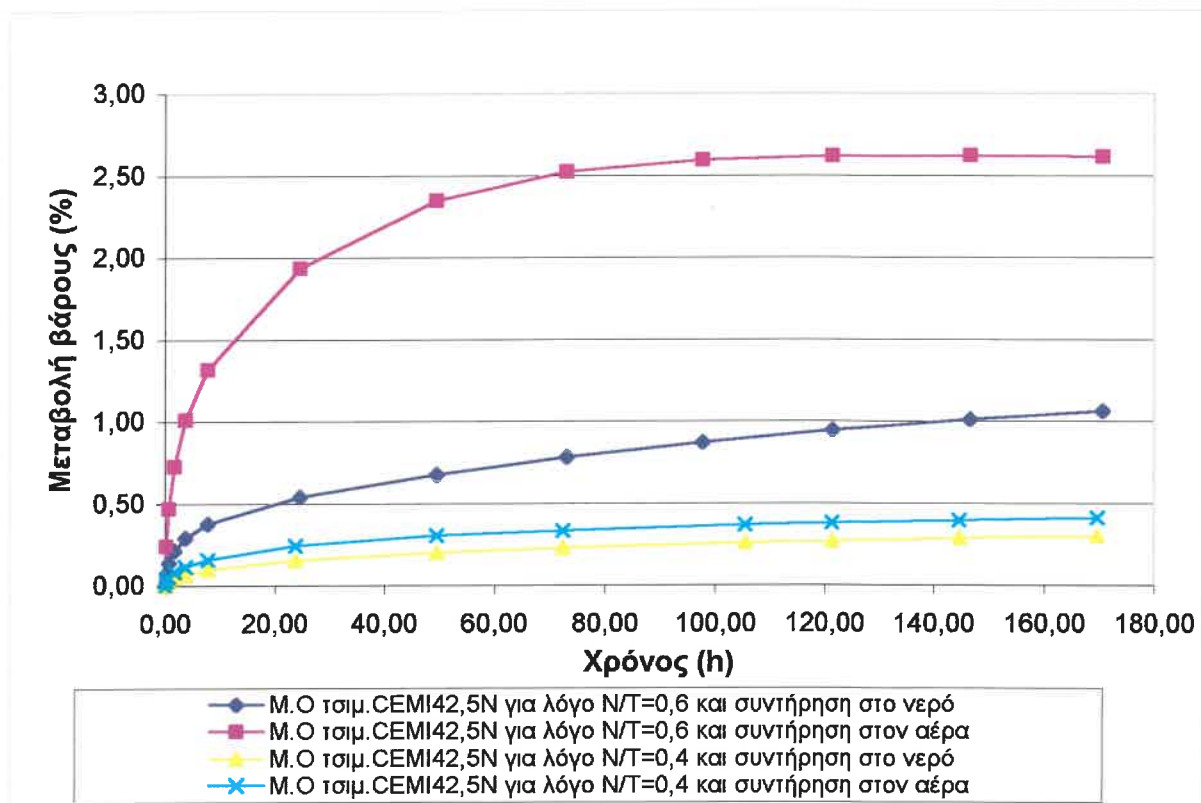
Σχ. 9: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για το τσιμέντο CEM II/A-M42,5N, τις δύο μεθόδους συντήρησης, τις δύο χρονικές περιόδους και λόγο $N/T=0,6$



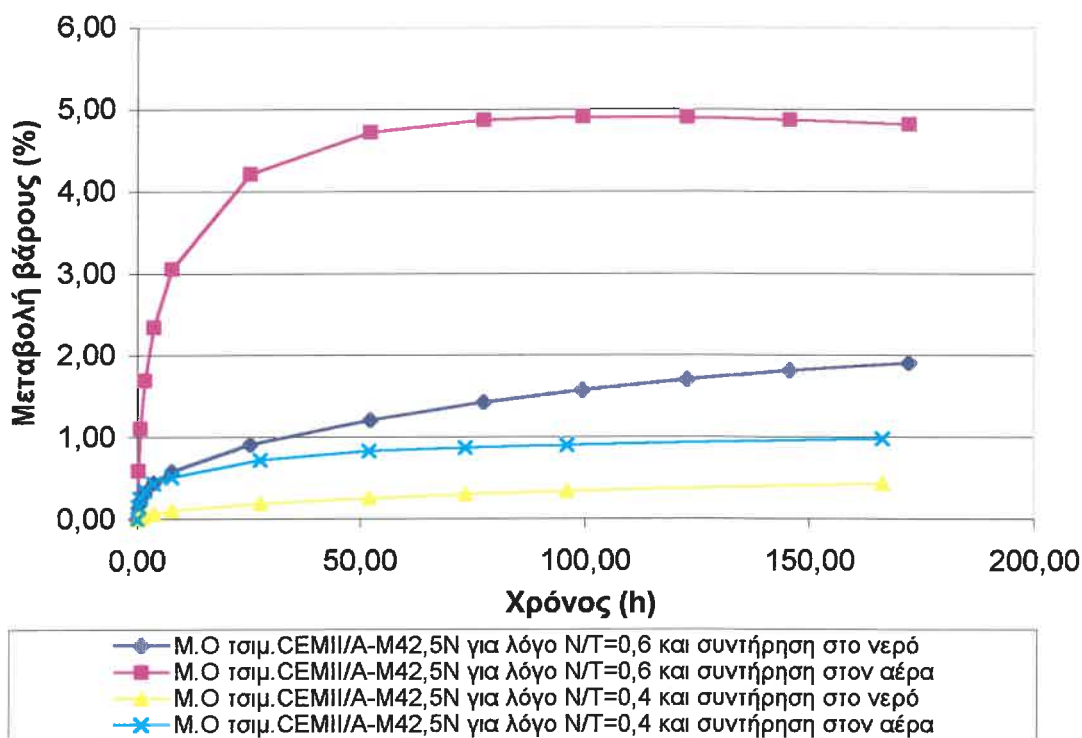
Σχ. 10: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για το τσιμέντο CEM II/A-M42,5N, τις δύο μεθόδους συντήρησης, τις δύο χρονικές περιόδους και λόγο $N/T=0,4$



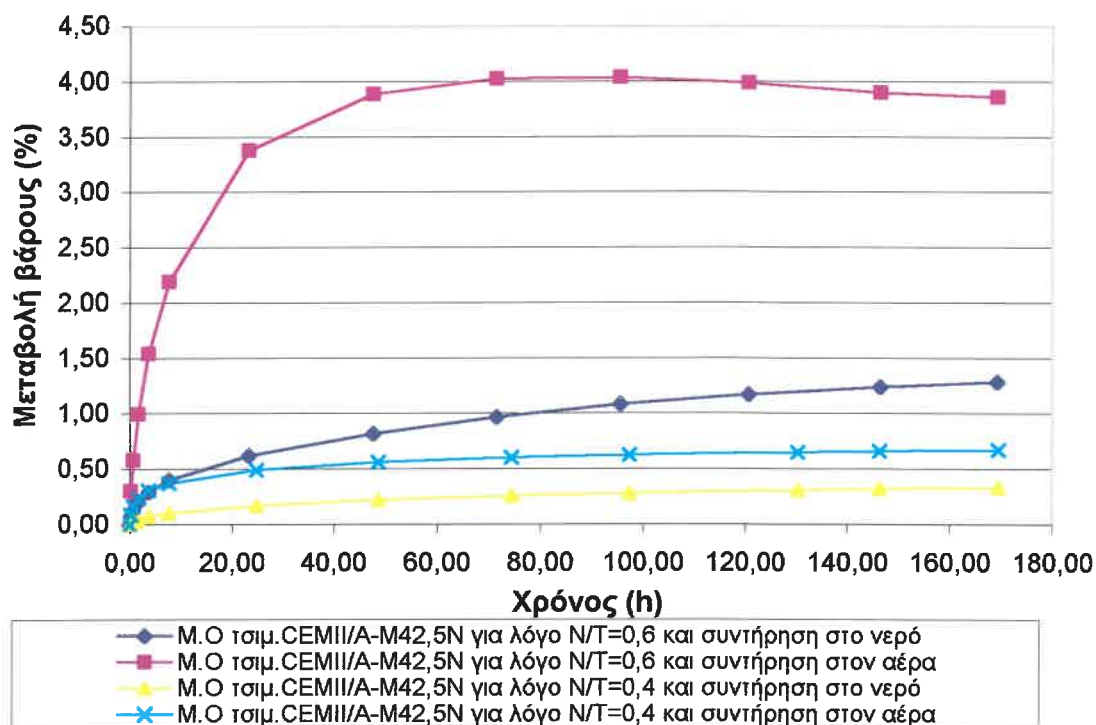
Σχ. 11: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για το τσιμέντο CEMI42,5N, τους δύο λόγους N/T, τις δύο μεθόδους συντήρησης και για την πρώτη χρονική περίοδο .



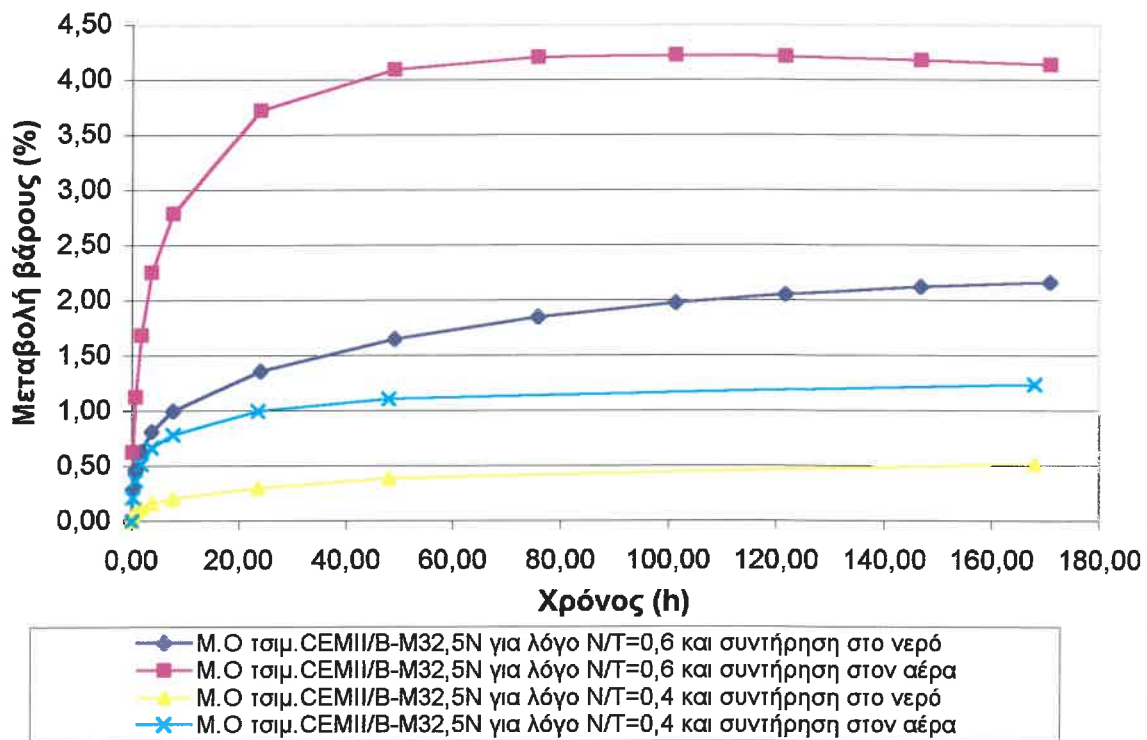
Σχ. 12: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για το τσιμέντο CEMI42,5N, τους δύο λόγους N/T, τις δύο μεθόδους συντήρησης και για την δεύτερη χρονική περίοδο .



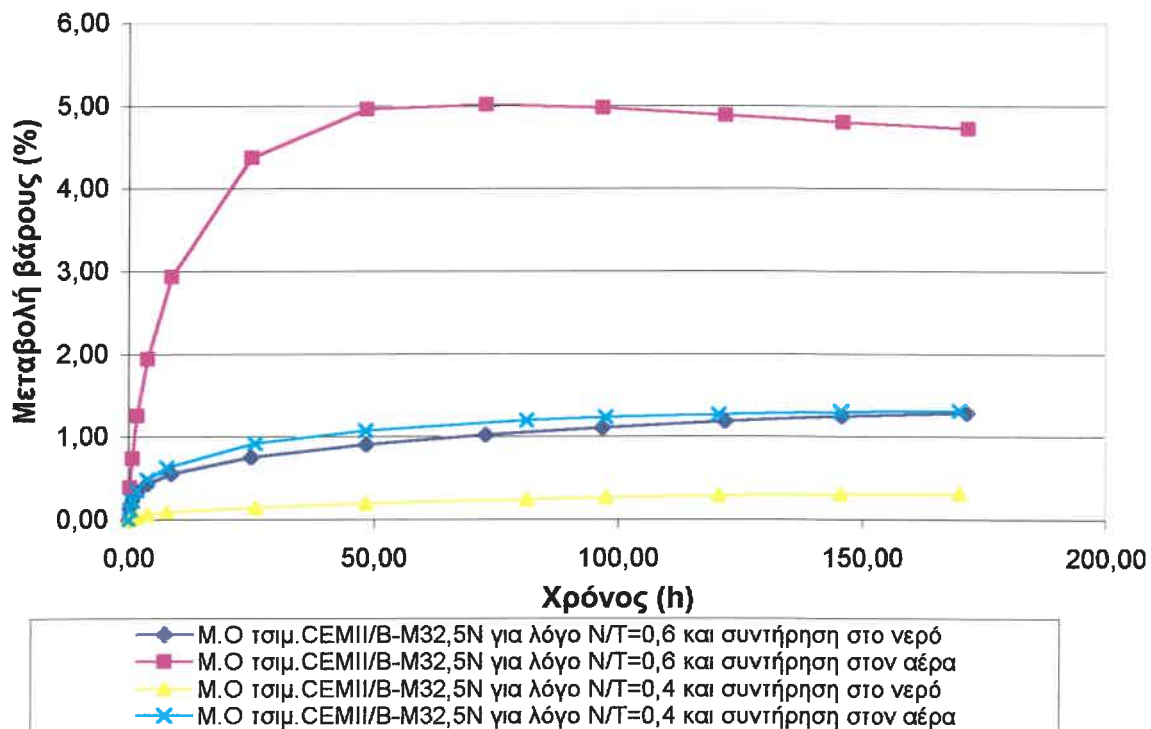
Σχ. 13: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για τους δύο λόγους N/T , το τσιμέντο CEMII/A-M42,5N ,τις δύο μεθόδους συντήρησης και την πρώτη χρονική περίοδο.



Σχ. 14: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για τους δύο λόγους N/T , το τσιμέντο CEMII/A-M42,5N ,τις δύο μεθόδους συντήρησης και την δεύτερη χρονική περίοδο.



Σχ. 15: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για τους δύο λόγους N/T , το τσιμέντο CEMII/B-M32,5N, τις δύο μεθόδους συντήρησης και την πρώτη χρονική περίοδο.



Σχ. 16: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων λόγω υδαταπορρόφησης για τους δύο λόγους N/T , το τσιμέντο CEMII/B-M32,5N, τις δύο μεθόδους συντήρησης και την δεύτερη χρονική περίοδο.

Κατηγορία διαγραμμάτων Β

**Υδαταπορρόφηση δοκιμίων για μετρήσεις 7
ημερών**

Διάγραμμα Α

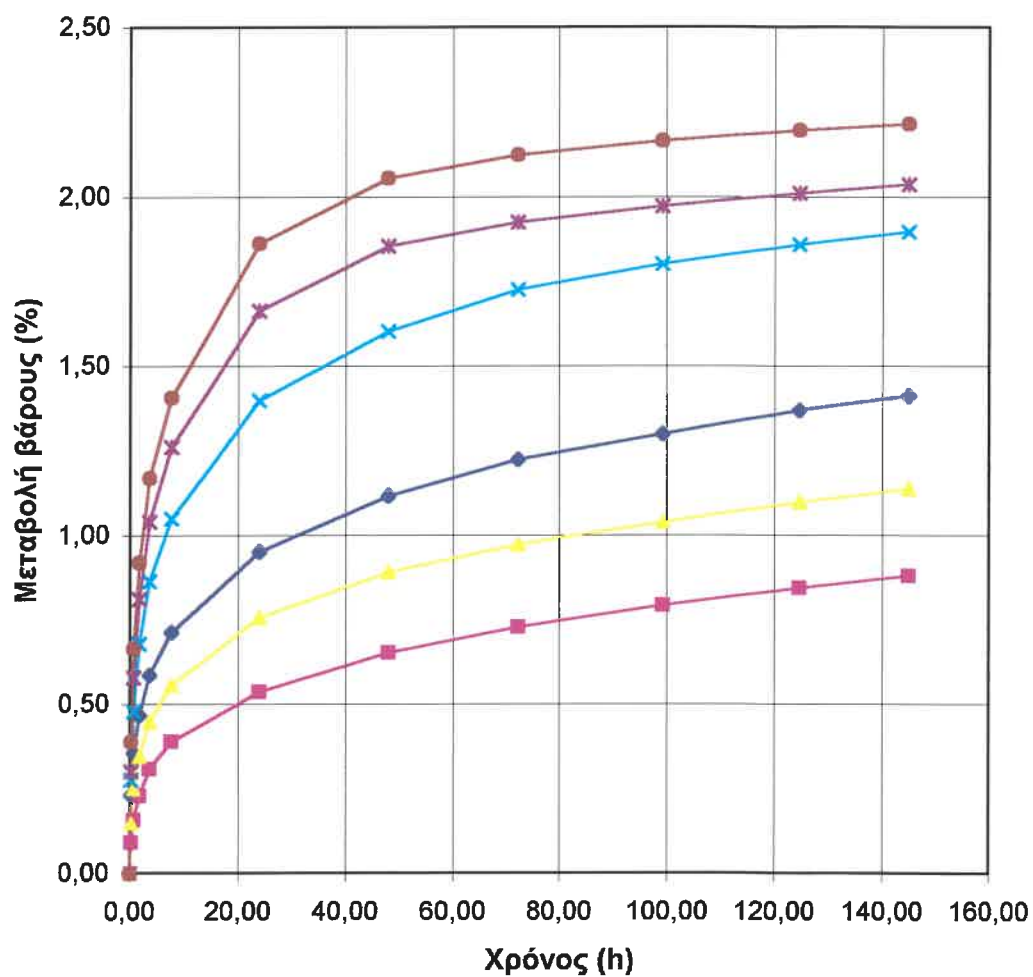
Μίγμα Α

N/T=0,6

N=197,53kg/m³

T=294,82kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMI42,5N



Σχ. 17: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Β

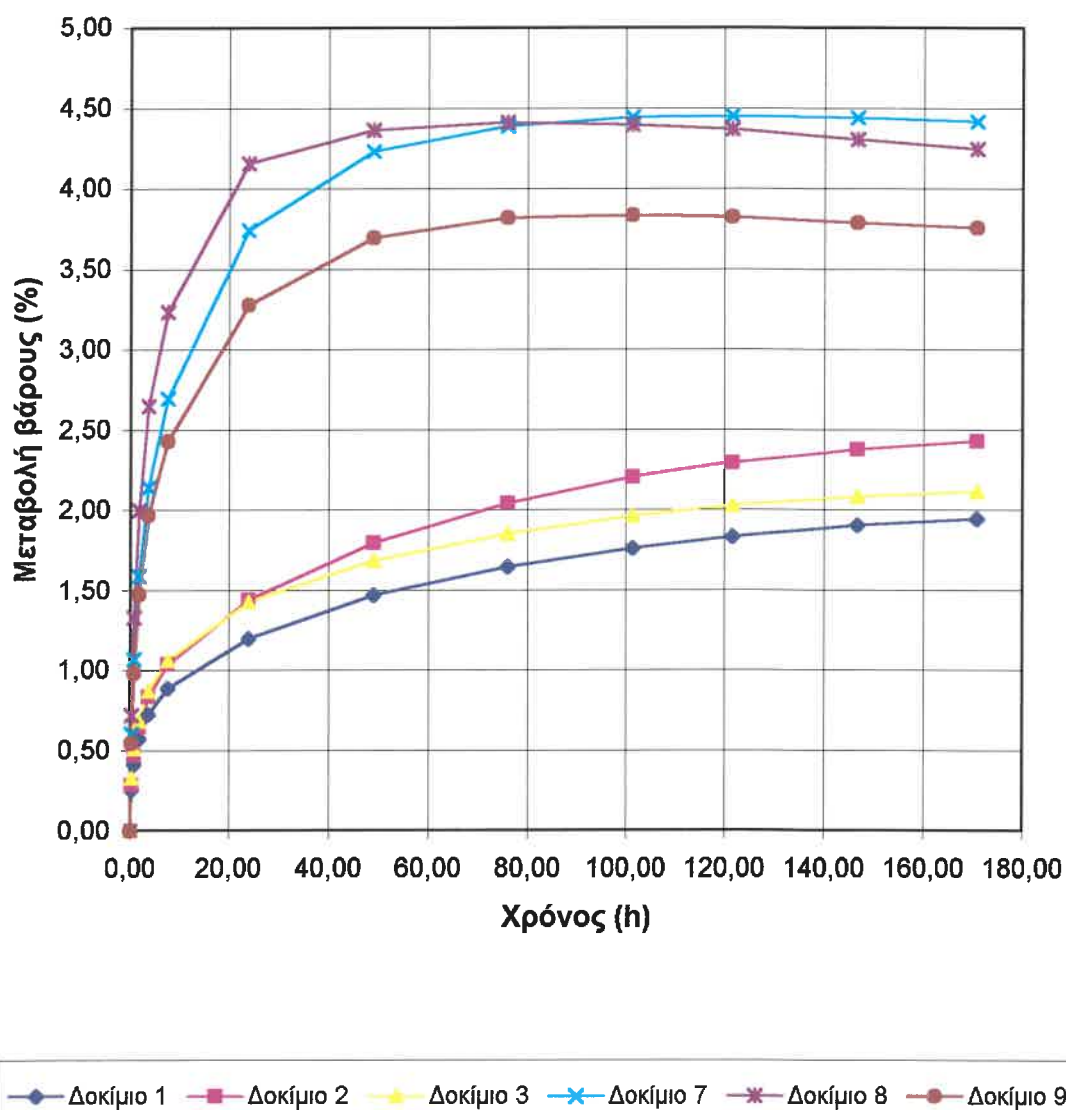
Μίγμα Β

N/T=0,6

N=196,45kg/m³

T=293,21kg/m³

Είδος τσιμέντου : CEMII/B-M32,5N



Σχ. 18: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Γ

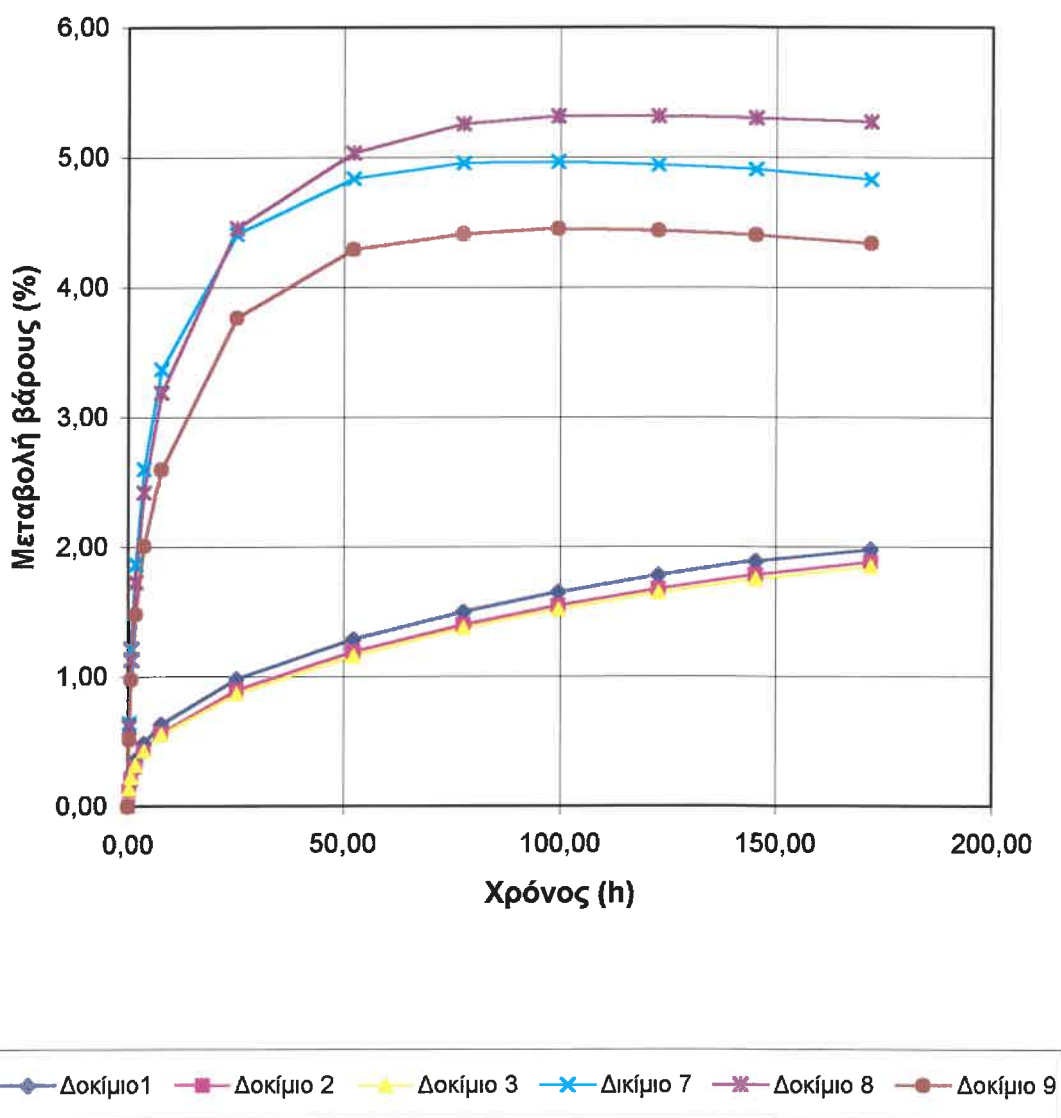
Μίγμα Γ

N/T=0,6

N=197,18kg/m³

T=294,29kg/m³

Είδος τσιμέντου : CEMII/A-M42,5N



Σχ. 19: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 1,2,3 : Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 7,8,9 : Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Δ

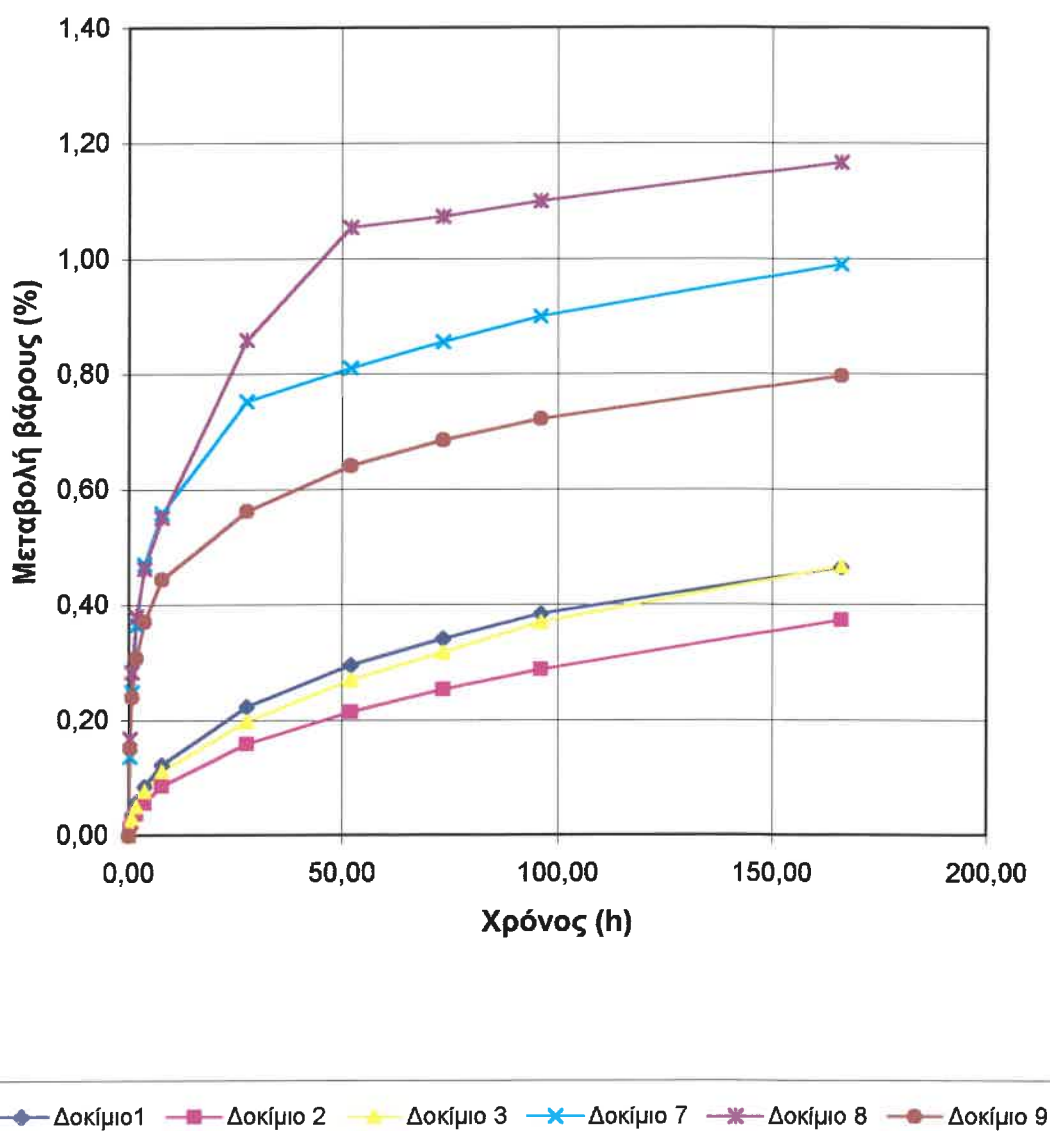
Μίγμα Δ

N/T=0,4

N=157,53kg/m³

T=341,80kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMII/A-M42,5N



Σχ. 20: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Ε

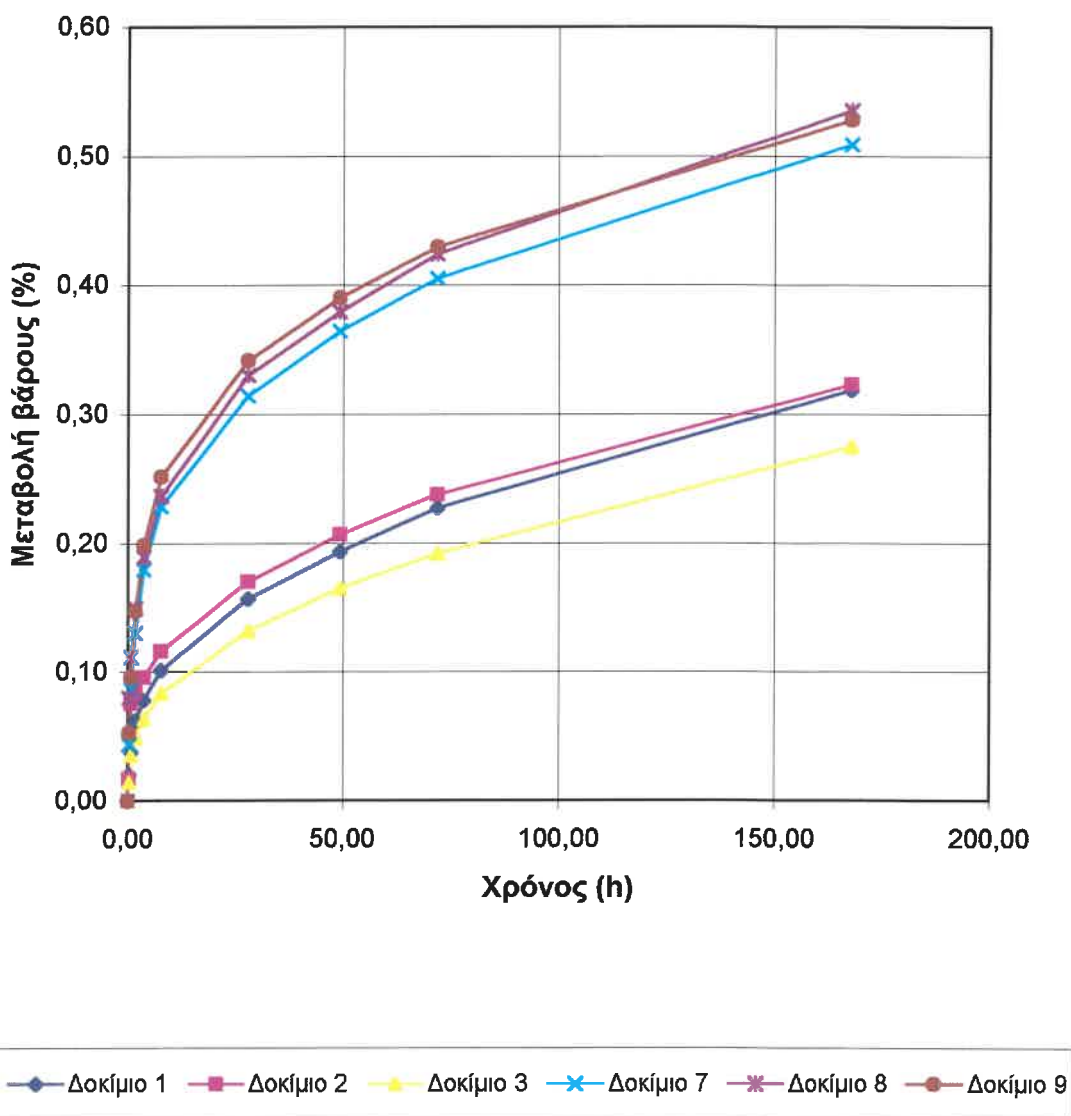
Μίγμα Ε

$N/T=0,4$

$N=158,34\text{kg/m}^3$

$T=343,57\text{kg/m}^3$

Είδος τσιμέντου : CEMI42,5N



Σχ. 21: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Z

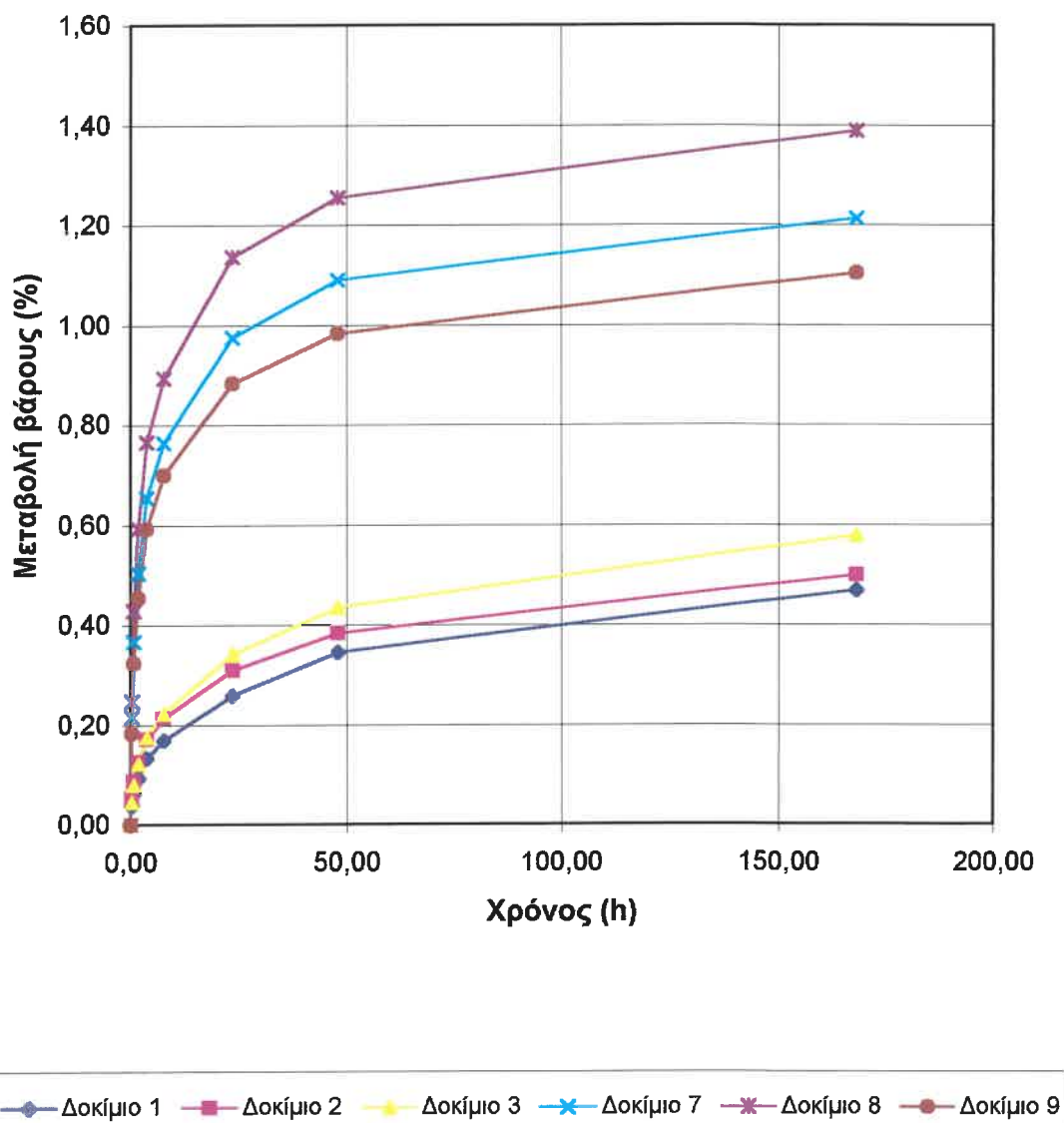
Μίγμα Z

N/T=0,4

N=157,25kg/m³

T=341,21kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMII/B-M32,5N



Σχ. 22: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Α

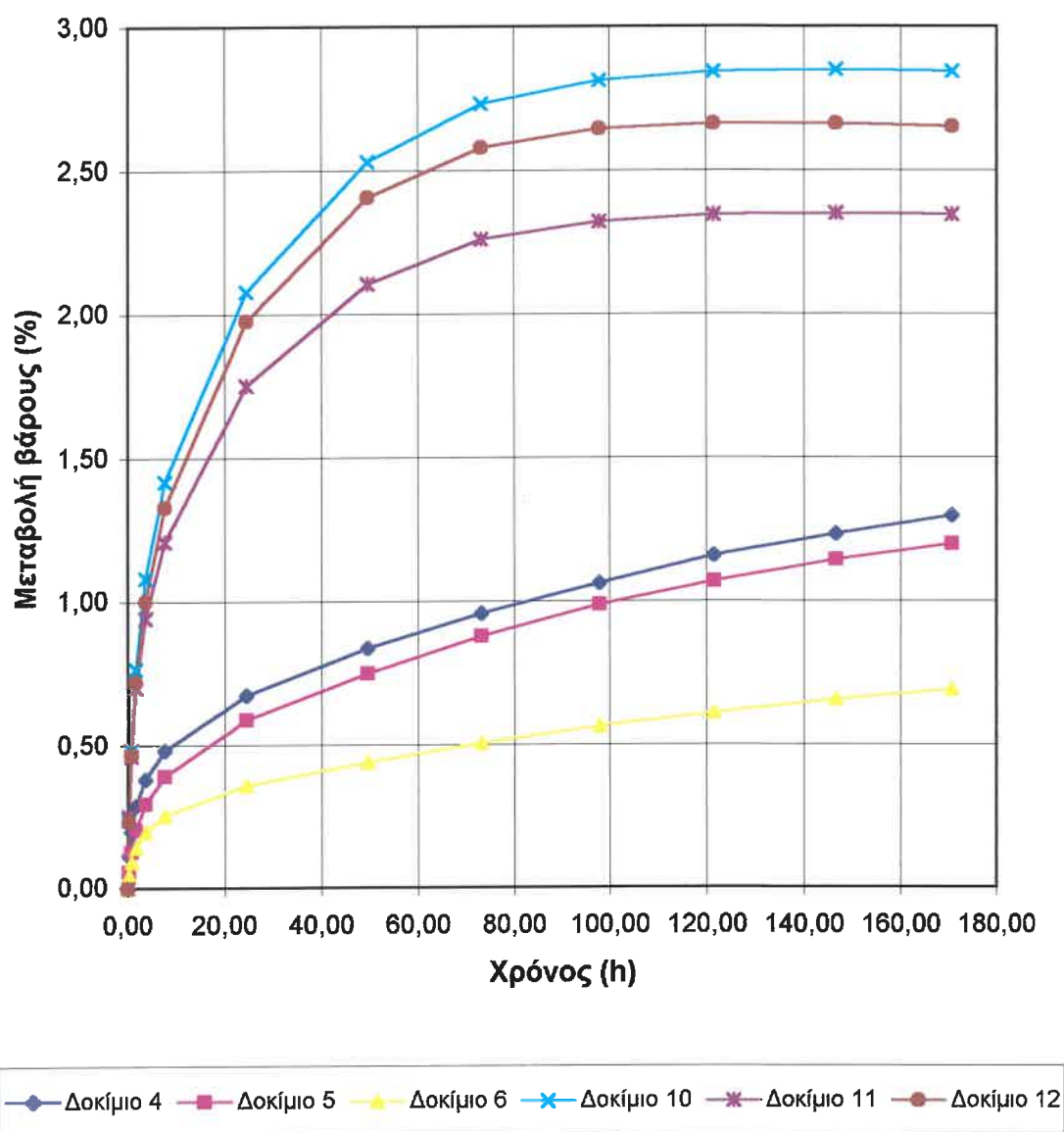
Μίγμα Α

N/T=0,6

N=197,53kg/m³

T=294,81kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMI42,5N



Σχ.23 : Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Β

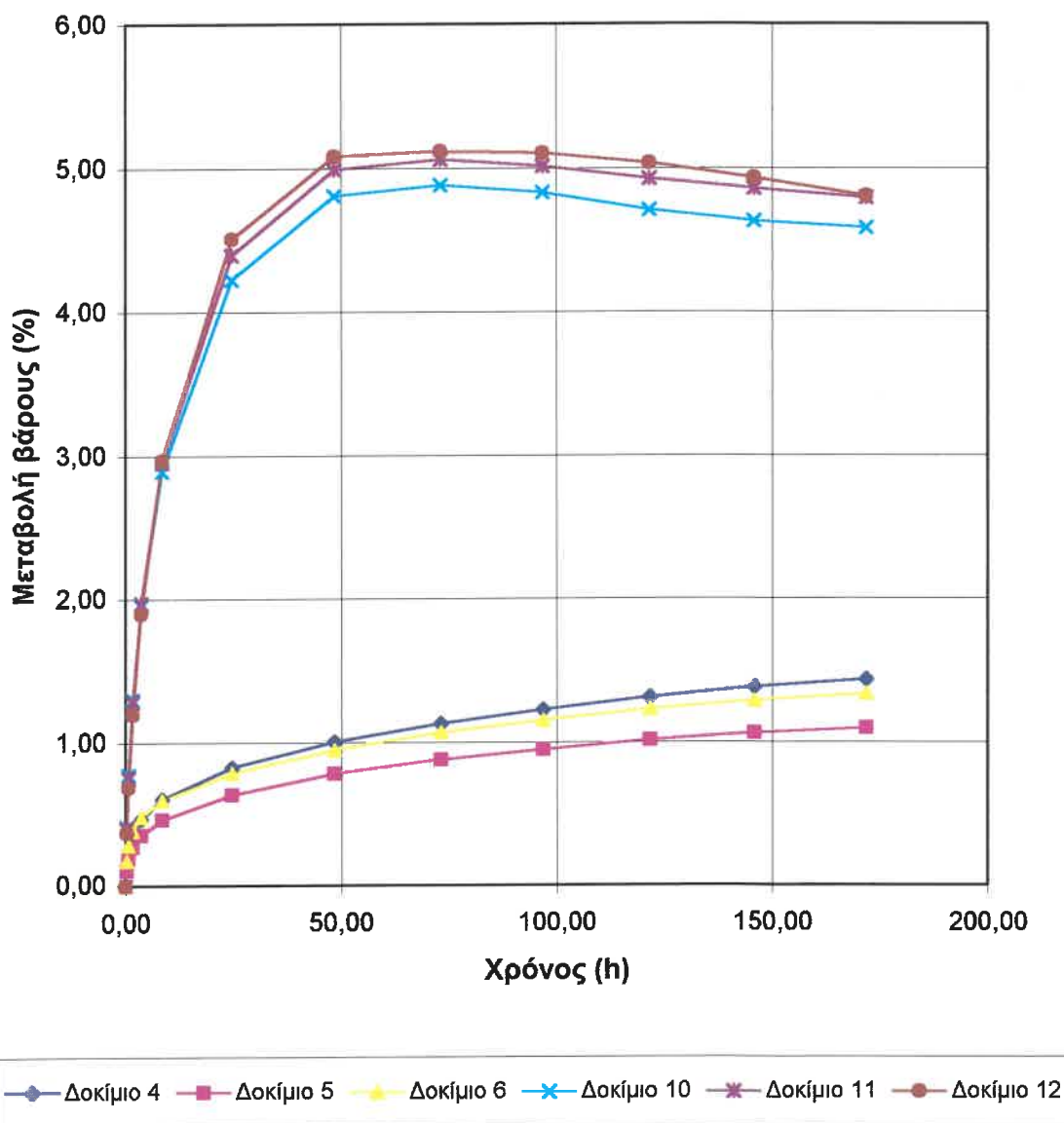
Μίγμα Β

N/T=0,6

N=196,45kg/m³

T=293,21kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMII/ B-M32,5N



Σχ.24 : Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Γ

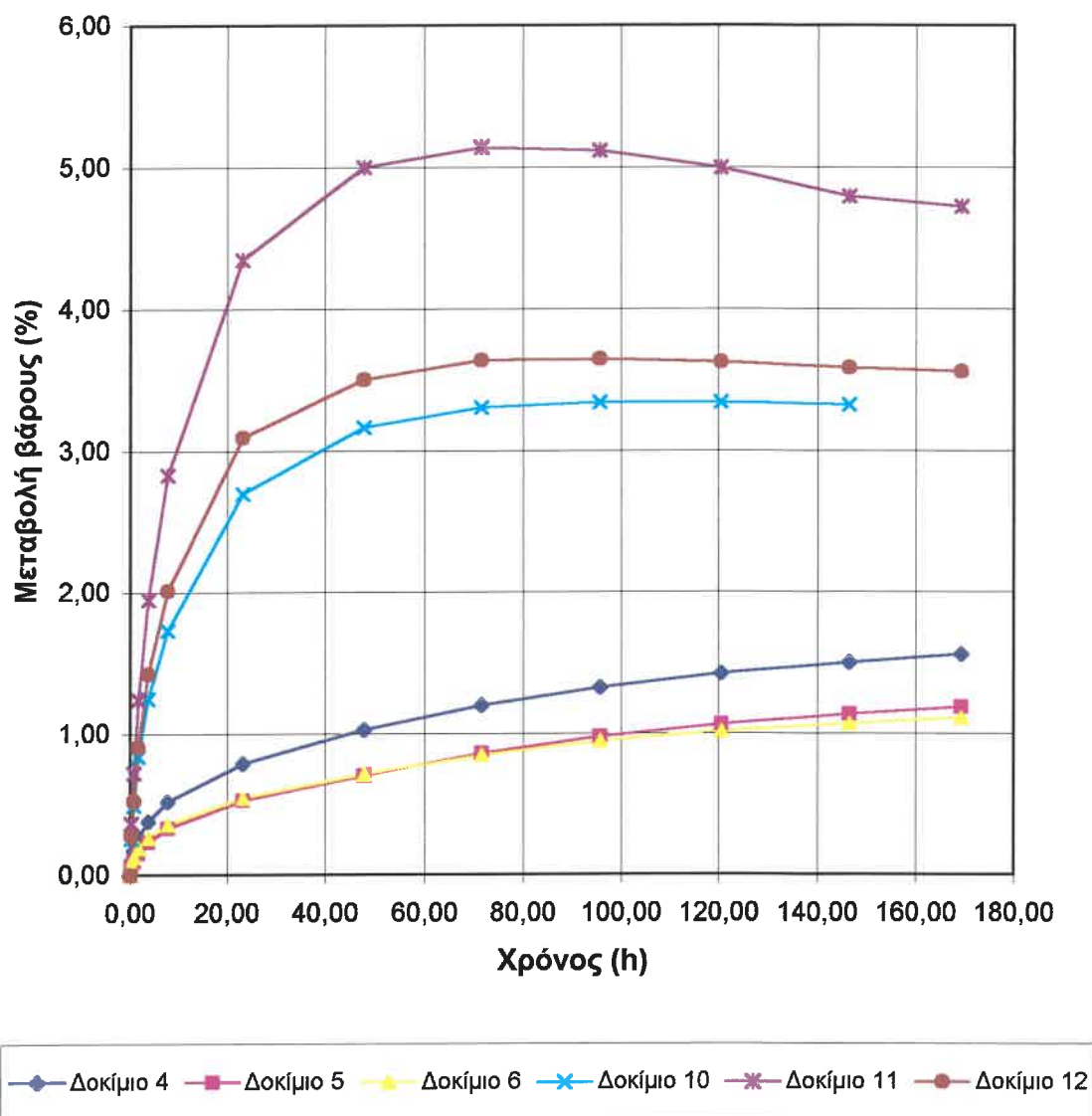
Μίγμα Γ

N/T=0,6

N=197,18kg/m³

T=294,29kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMII/A-M42,5N



Σχ.25 : Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Δ

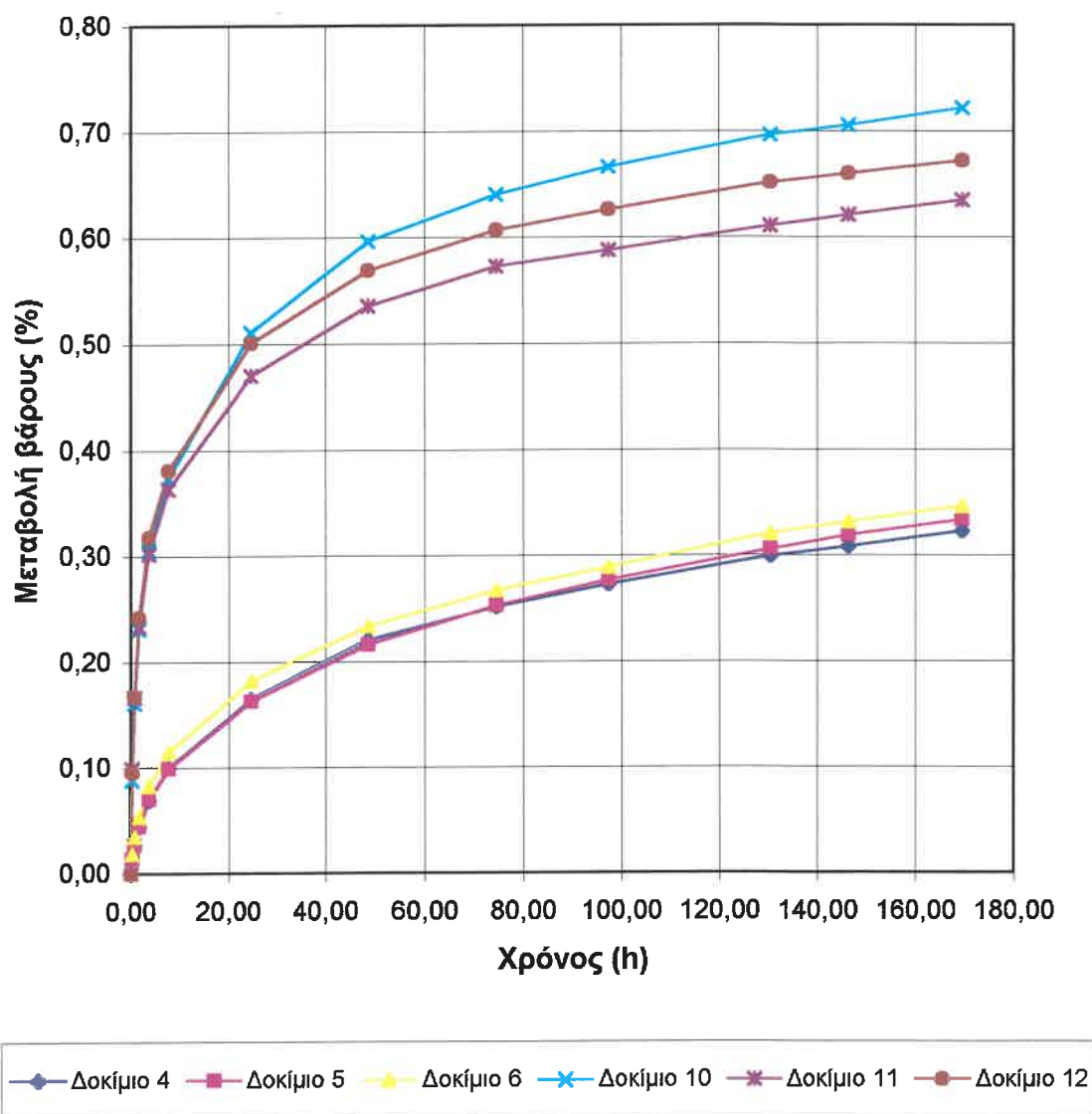
Μίγμα Δ

N/T=0,4

N=157,53kg/m³

T=341,80kg/m³

Είδος τσιμέντου : CEMII/A-M42,5N



Σχ.26 : Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Ε

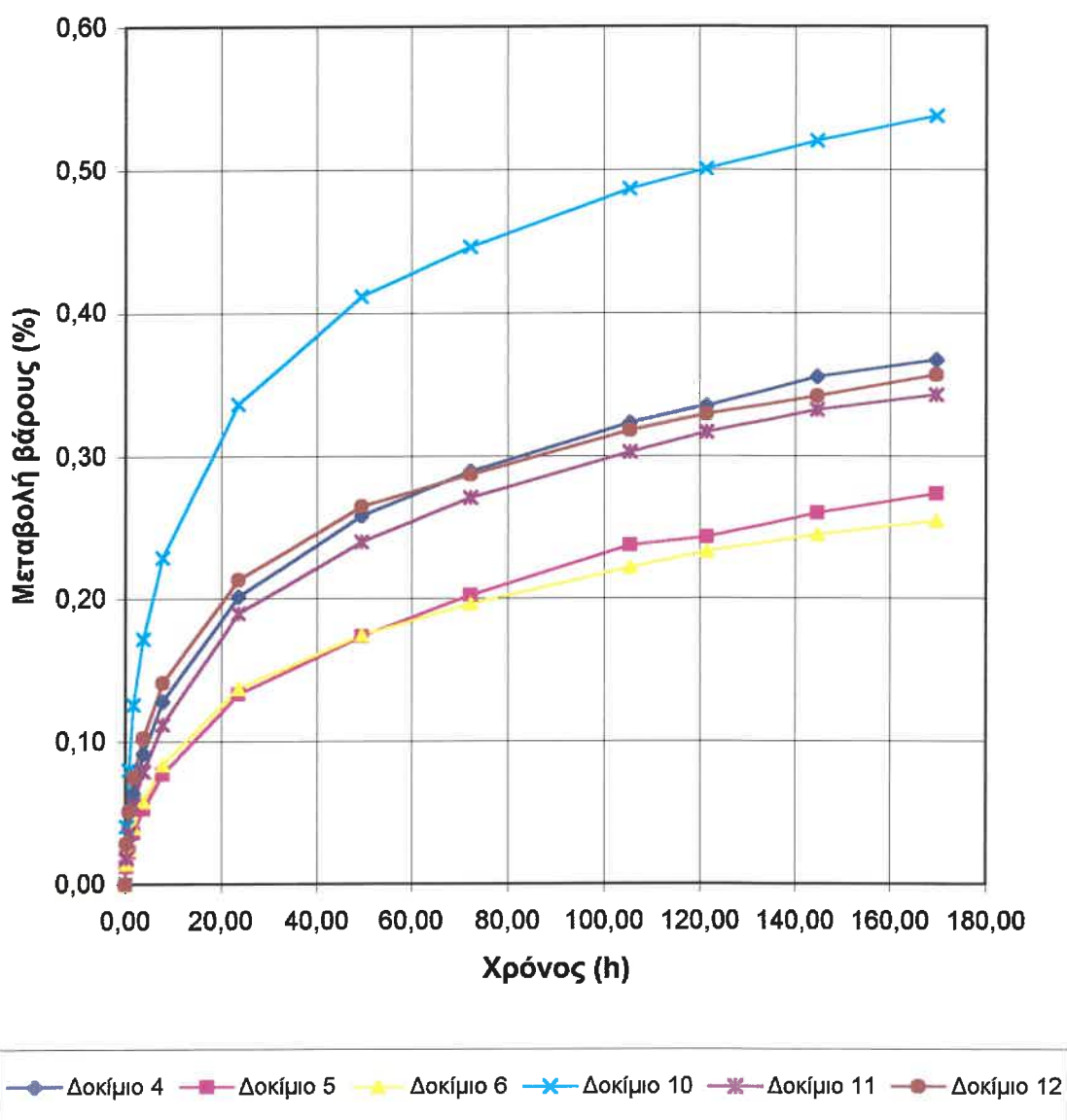
Μίγμα Ε

N/T=0,4

N=158,34kg/m³

T=343,57kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMI42,5N



Σχ.27 : Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Z

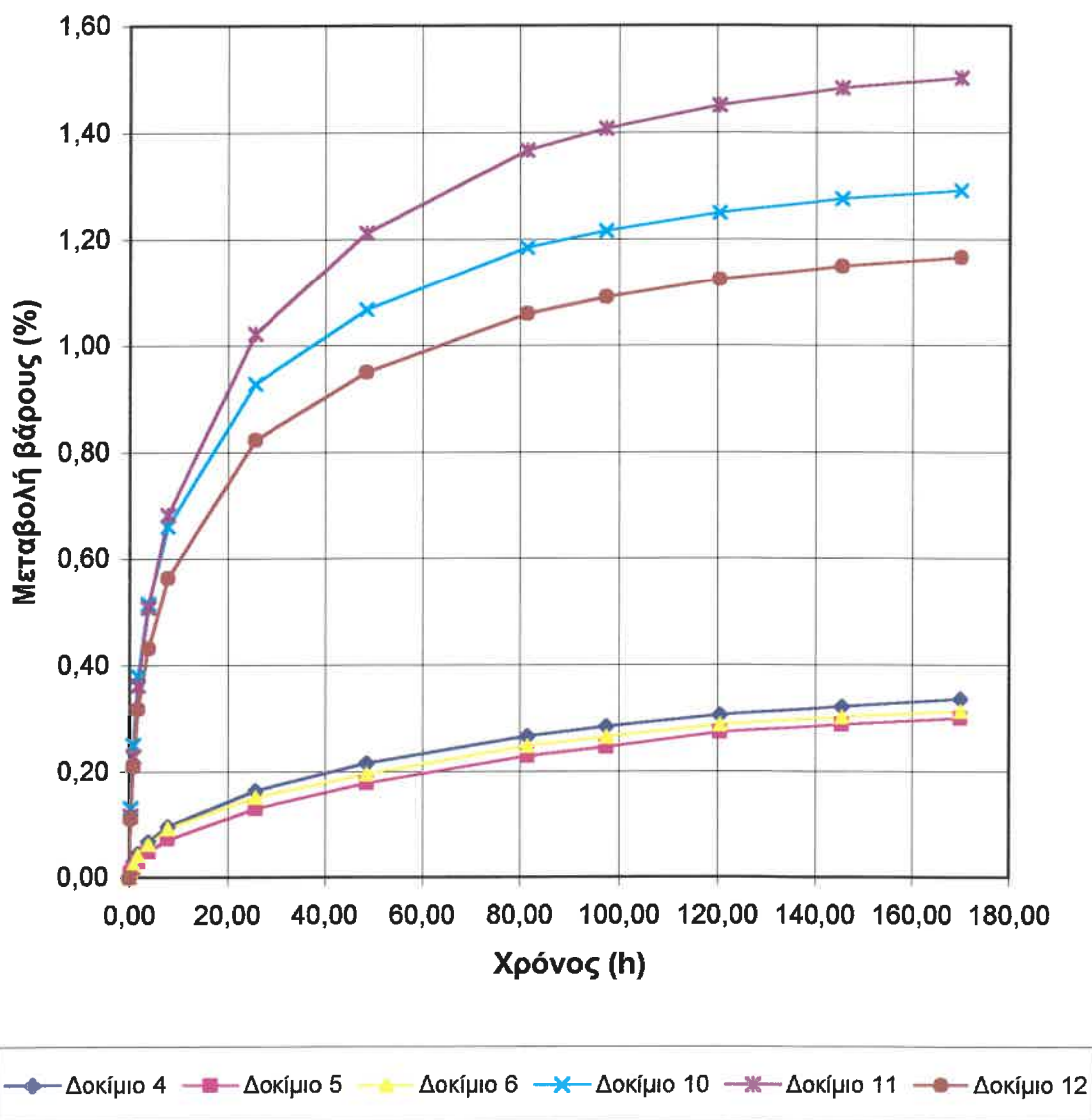
Μίγμα Z

N/T=0,4

N=157,25kg/m³

T=341,21kg/m³

Είδος τσιμέντου : CEMII/ B-M32,5N



Σχ.28 : Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Κατηγορία διαγραμμάτων Γ

Υδαταπορρόφηση δοκιμίων μέχρι τις 30 ώρες

Διάγραμμα Α

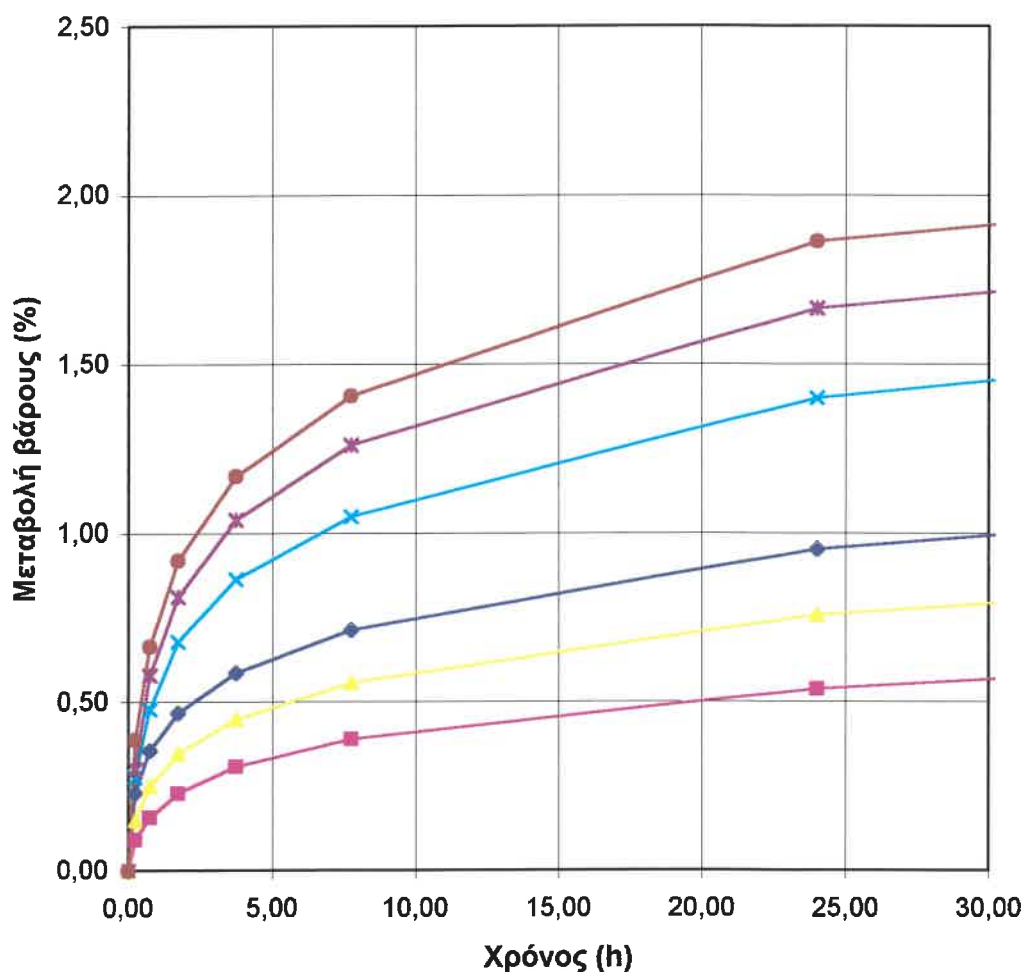
Μίγμα Α

N/T=0,6

N=197,53kg/m³

T=294,81kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMI42,5N



Σχ.29 : Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Β

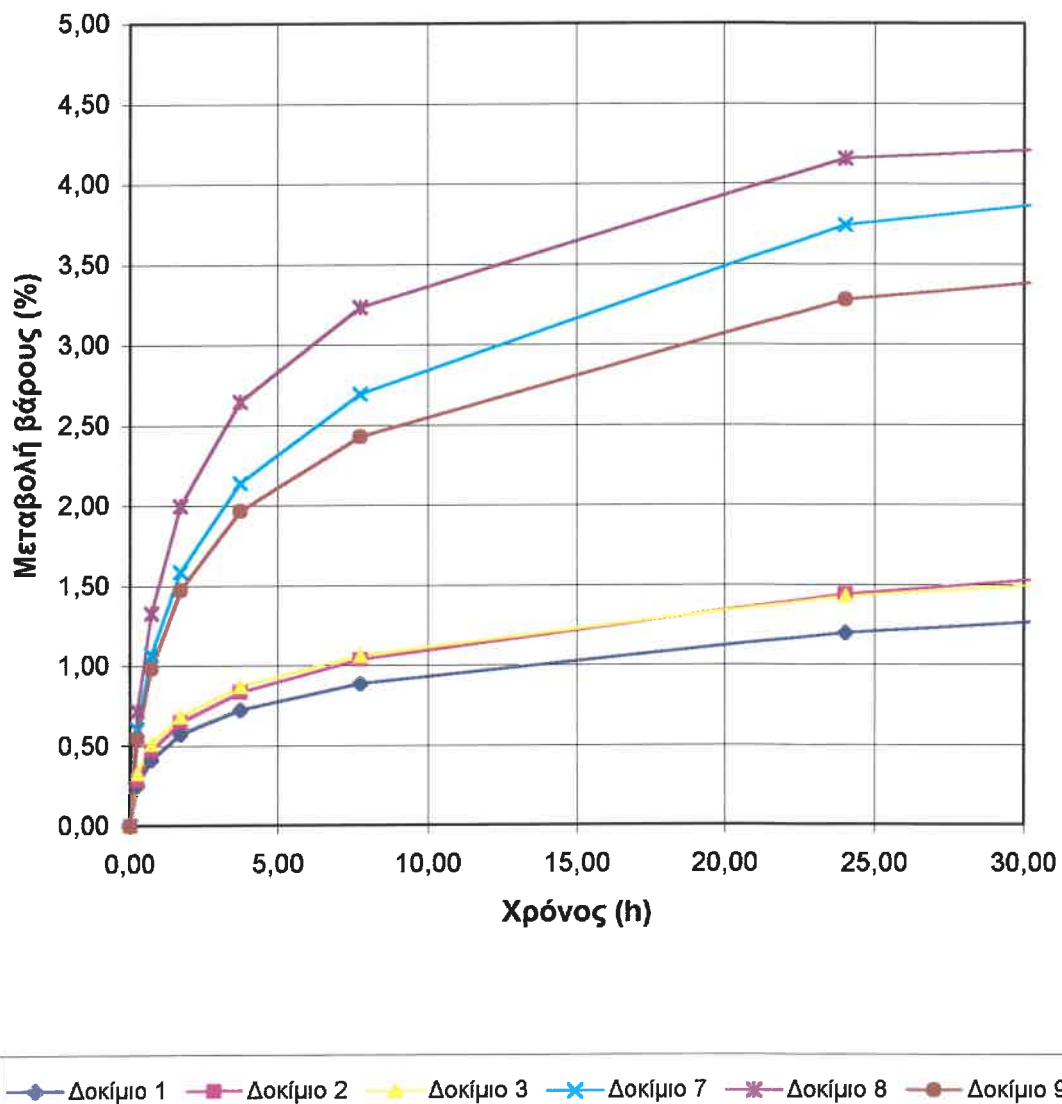
Μίγμα Β

N/T=0,6

N=196,45kg/m³

T=293,21kg/m³

Είδος τσιμέντου : CEMII/B-M32,5N



Σχ.30: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Γ

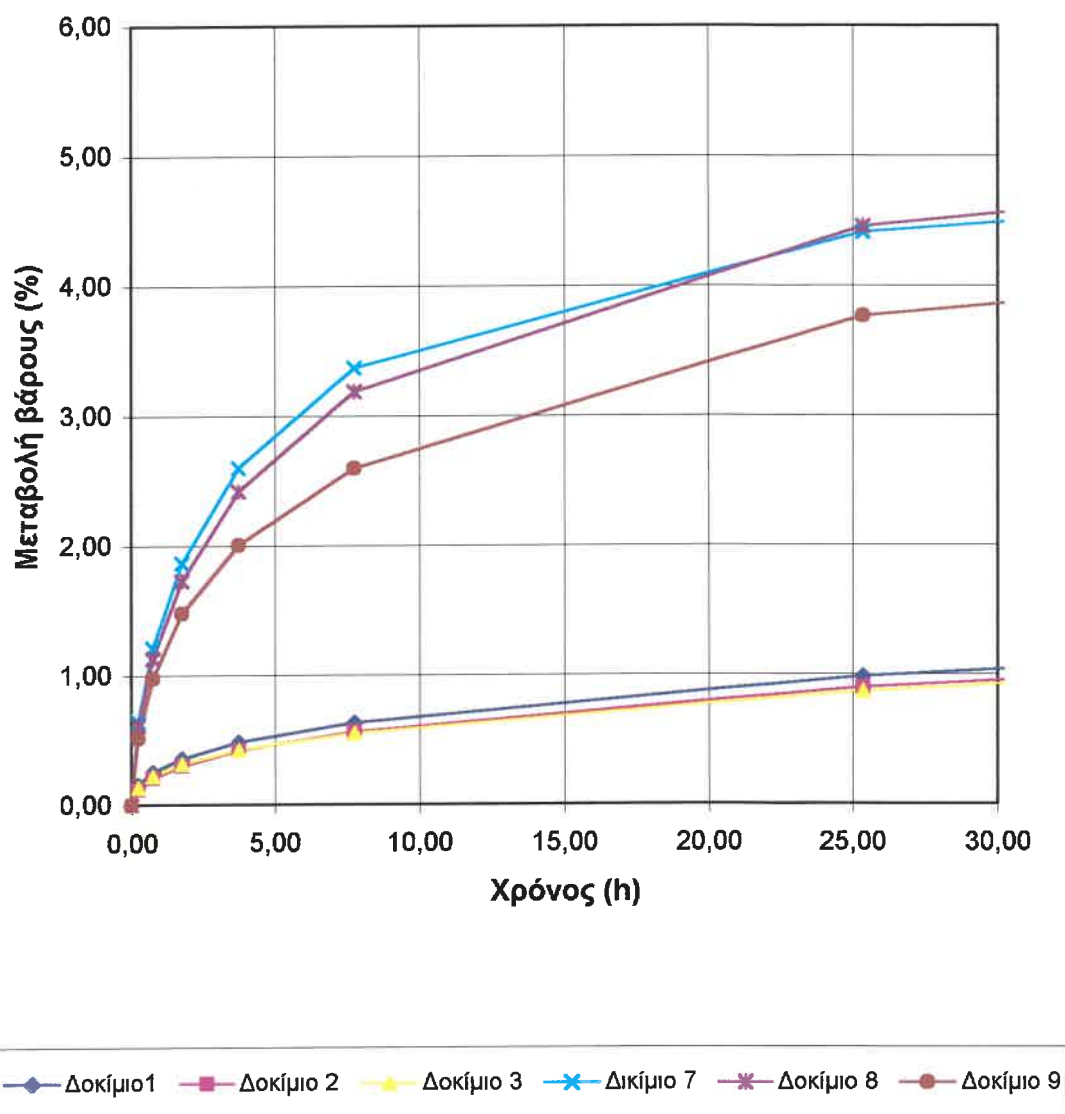
Μίγμα Γ

N/T=0,6

N=197,18kg/m³

T=294,29kg/m³

Είδος τσιμέντου : CEMII/A-M42,5N



Σχ.31: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Δ

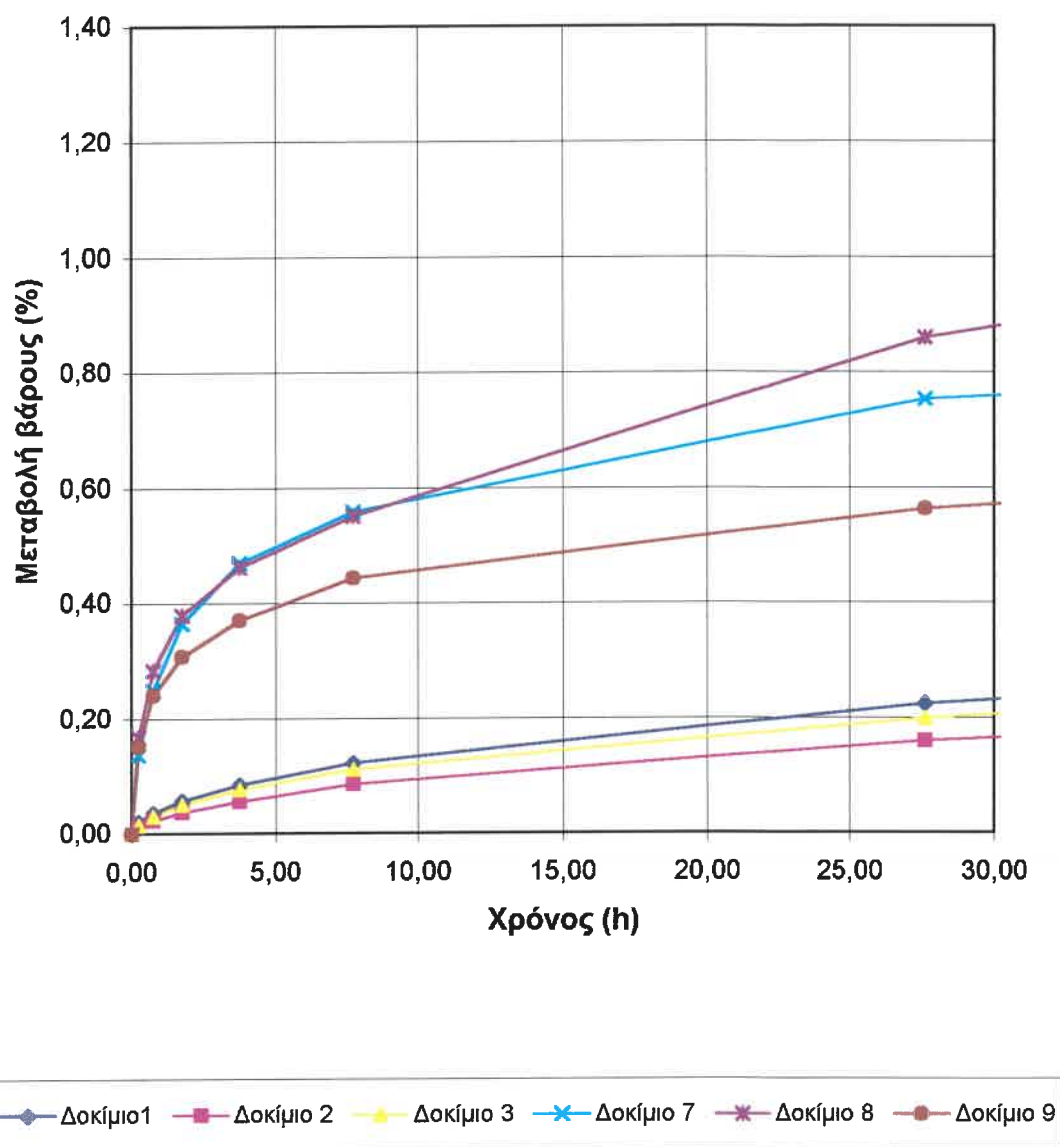
Μίγμα Δ

N/T=0,4

N=157,53kg/m³

T=341,80kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMII/A-M42,5N



Σχ.32: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Ε

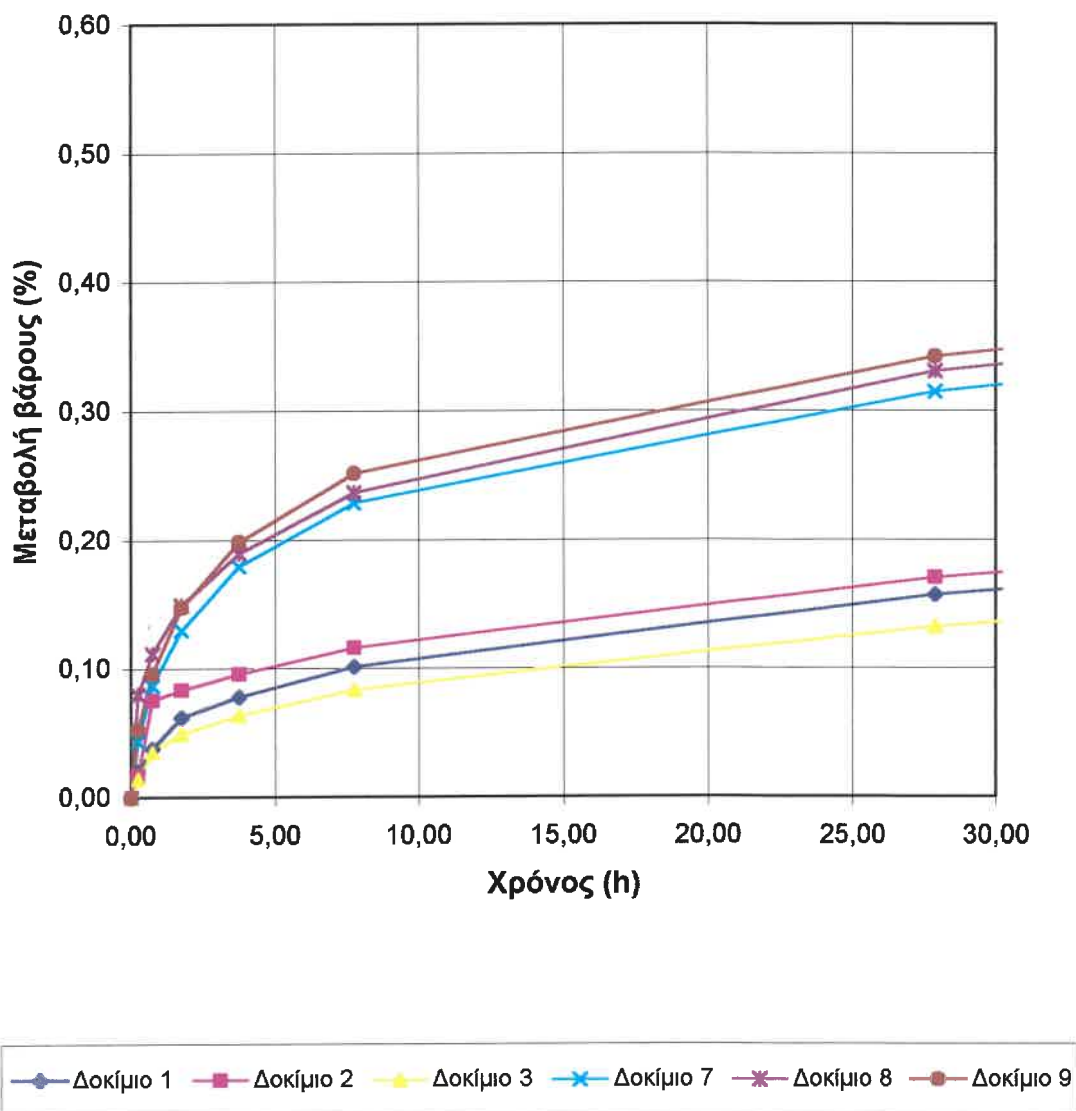
Μίγμα Ε

N/T=0,4

N=158,34kg/m³

T=343,57kg/m³

Είδος τσιμέντου : CEM I 42,5N



Σχ.33: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Z

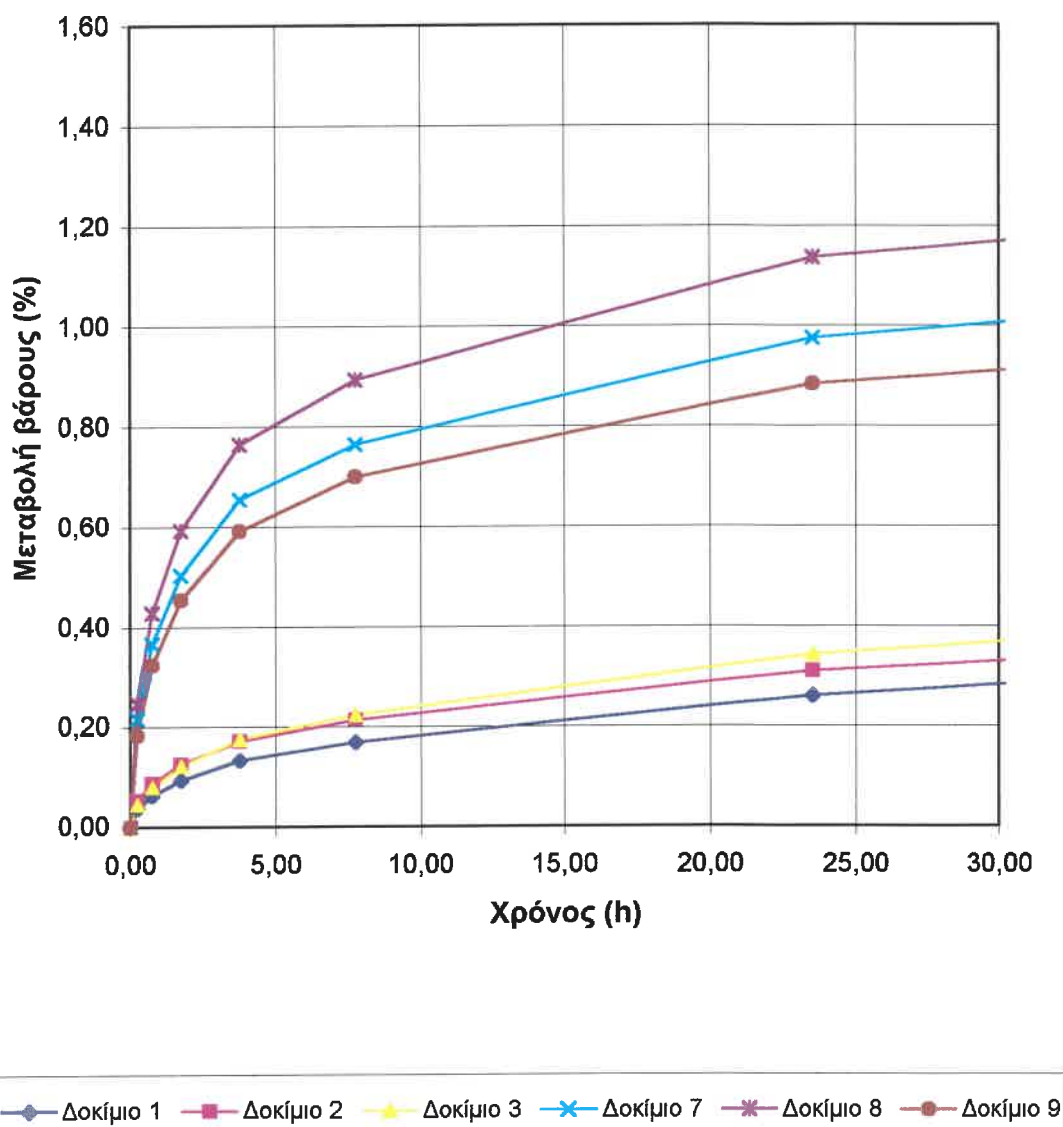
Μίγμα Z

N/T=0,4

N=157,25kg/m³

T=341,21kg/m³

Είδος τσιμέντου : CEMII/B-M32,5N



Σχ.34: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για την πρώτη χρονική περίοδο και τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 1,2,3 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 7,8,9 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Α

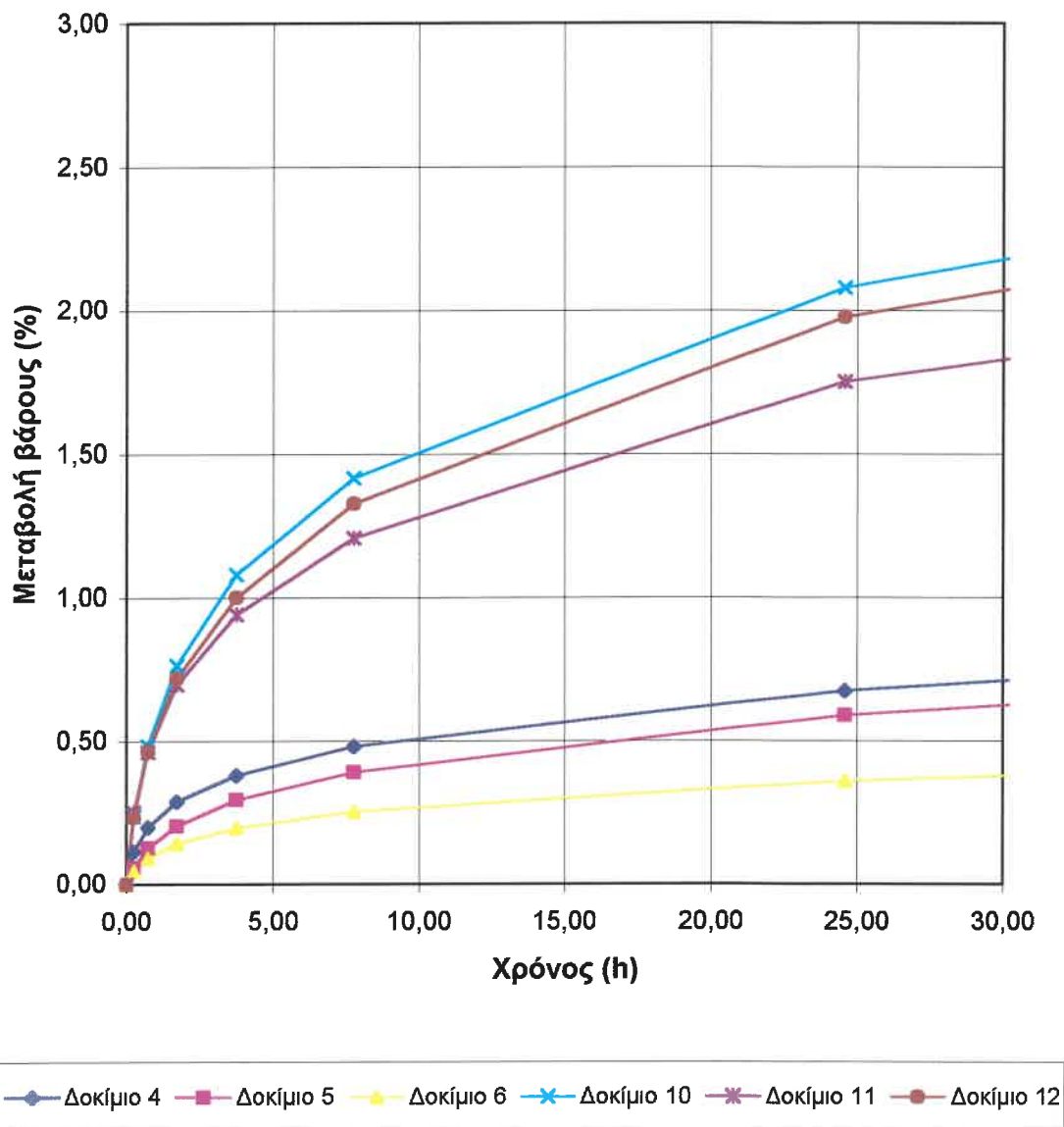
Μίγμα Α

N/T=0,6

N=197,53kg/m³

T=294,81kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMI42,5N



Σχ.35: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Β

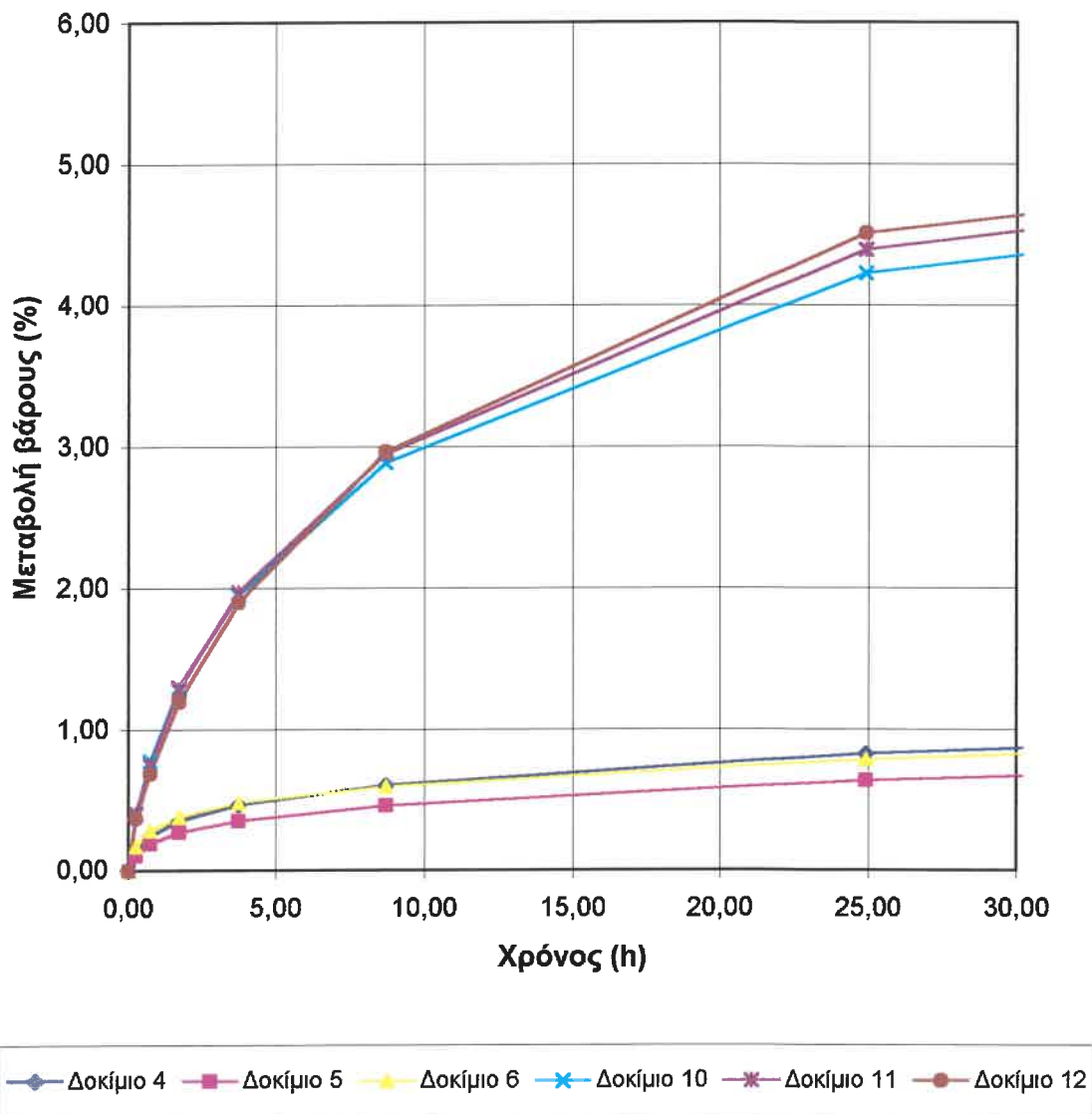
Μίγμα Β

N/T=0,6

N=196,45kg/m³

T=293,21kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMIII/ B-M32,5N



Σχ.36: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Γ

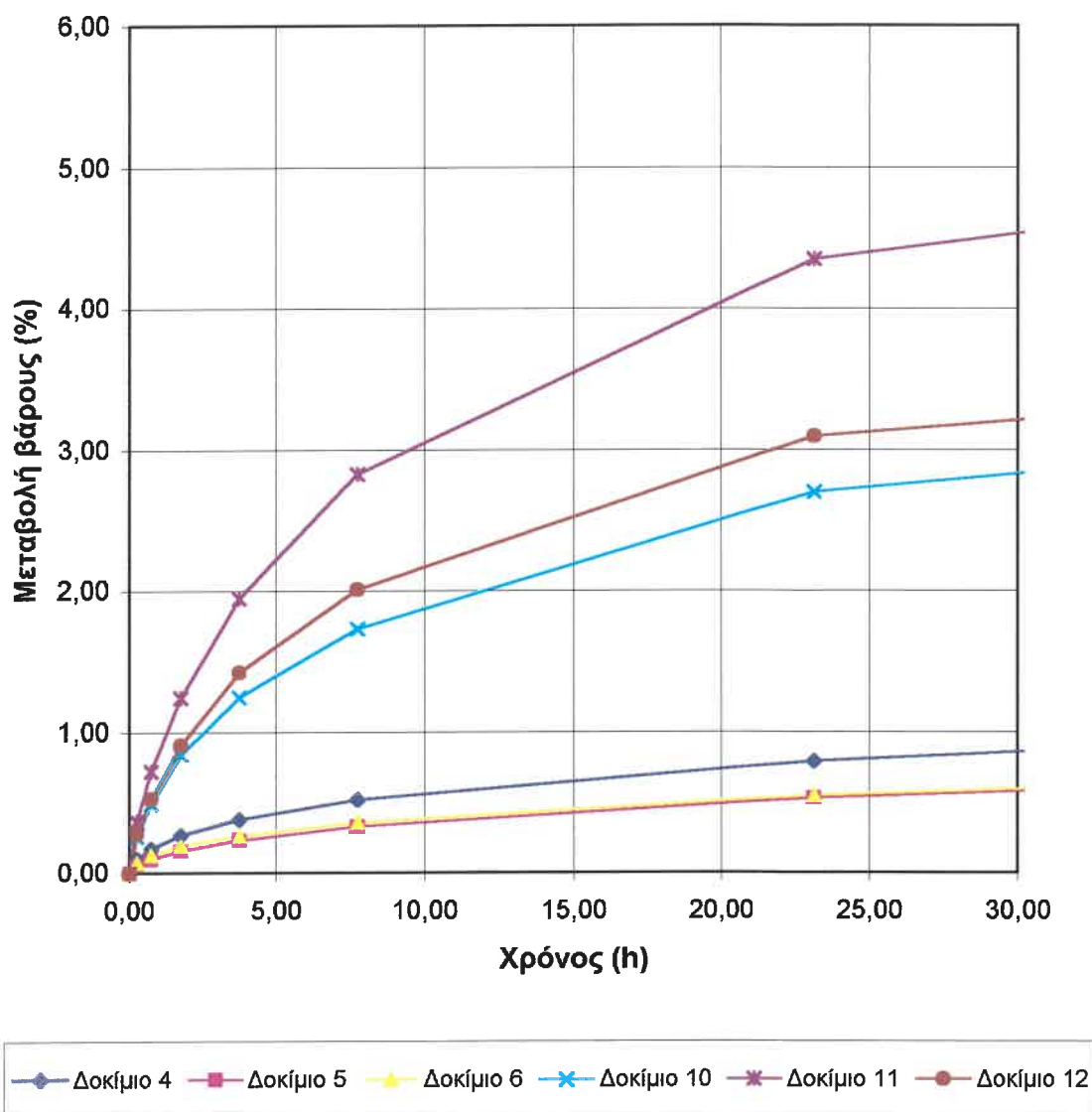
Μίγμα Γ

N/T=0,6

N=197,18kg/m³

T=294,29kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMII/A-M42,5N



Σχ.37: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Δ

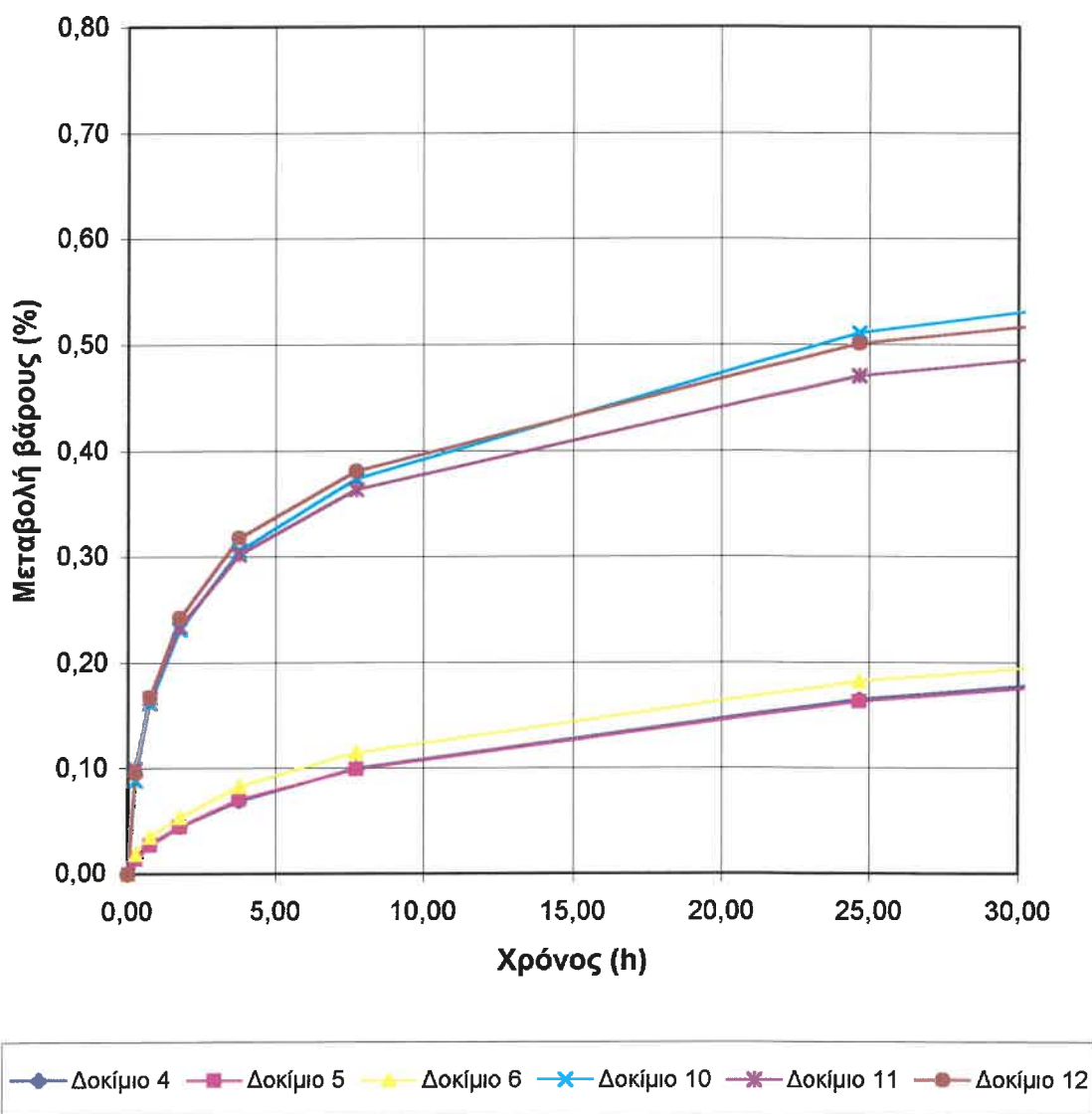
Μίγμα Δ

N/T=0,4

N=157,53kg/m³

T=341,80kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMII/A-M42,5N



Σχ.38 : Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό

Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Ε

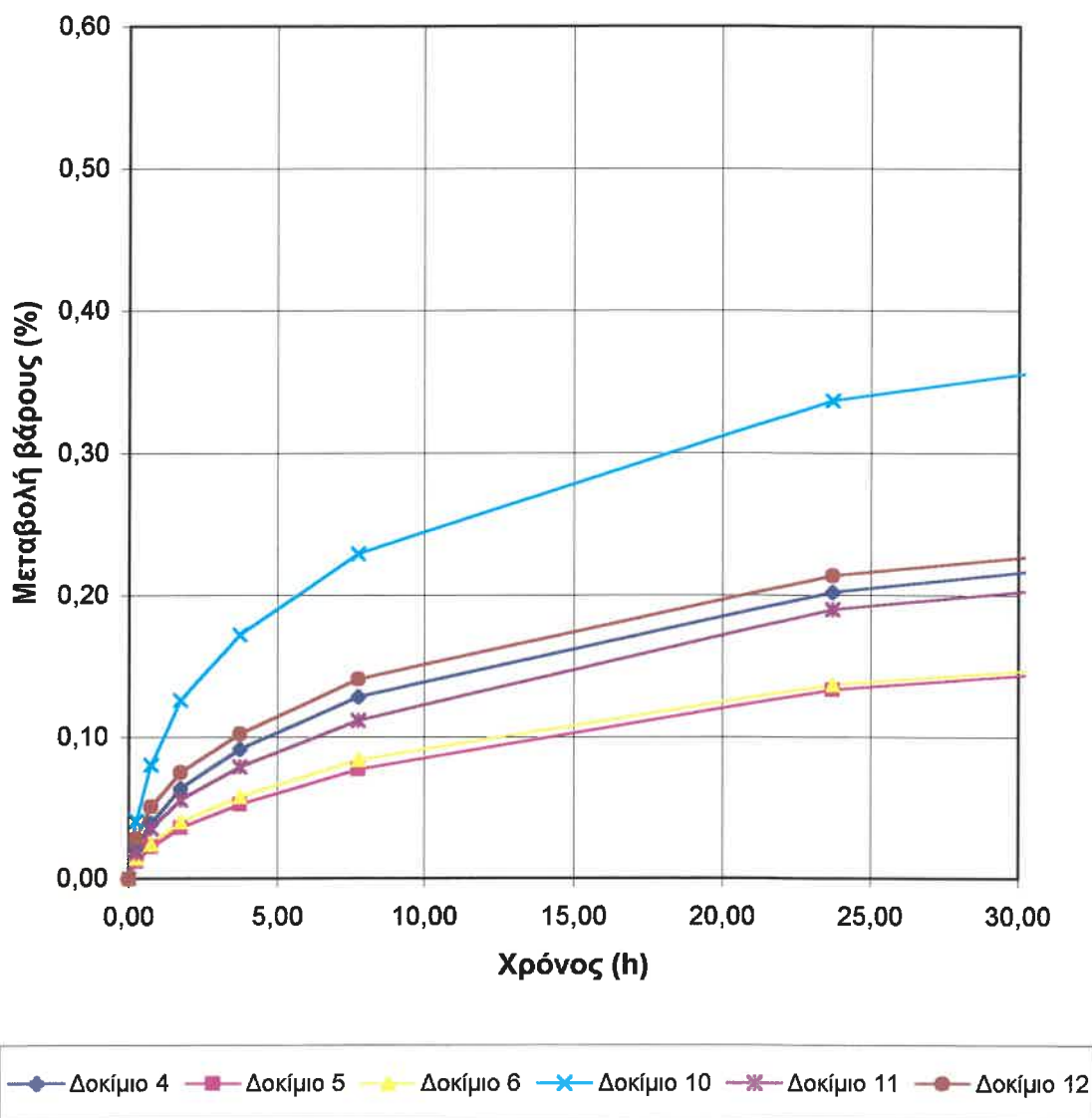
Μίγμα Ε

N/T=0,4

N=158,34kg/m³

T=343,57kg/m³

Είδος τσιμέντου : CEMI42,5N



Σχ.39: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.
Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό
Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Διάγραμμα Z

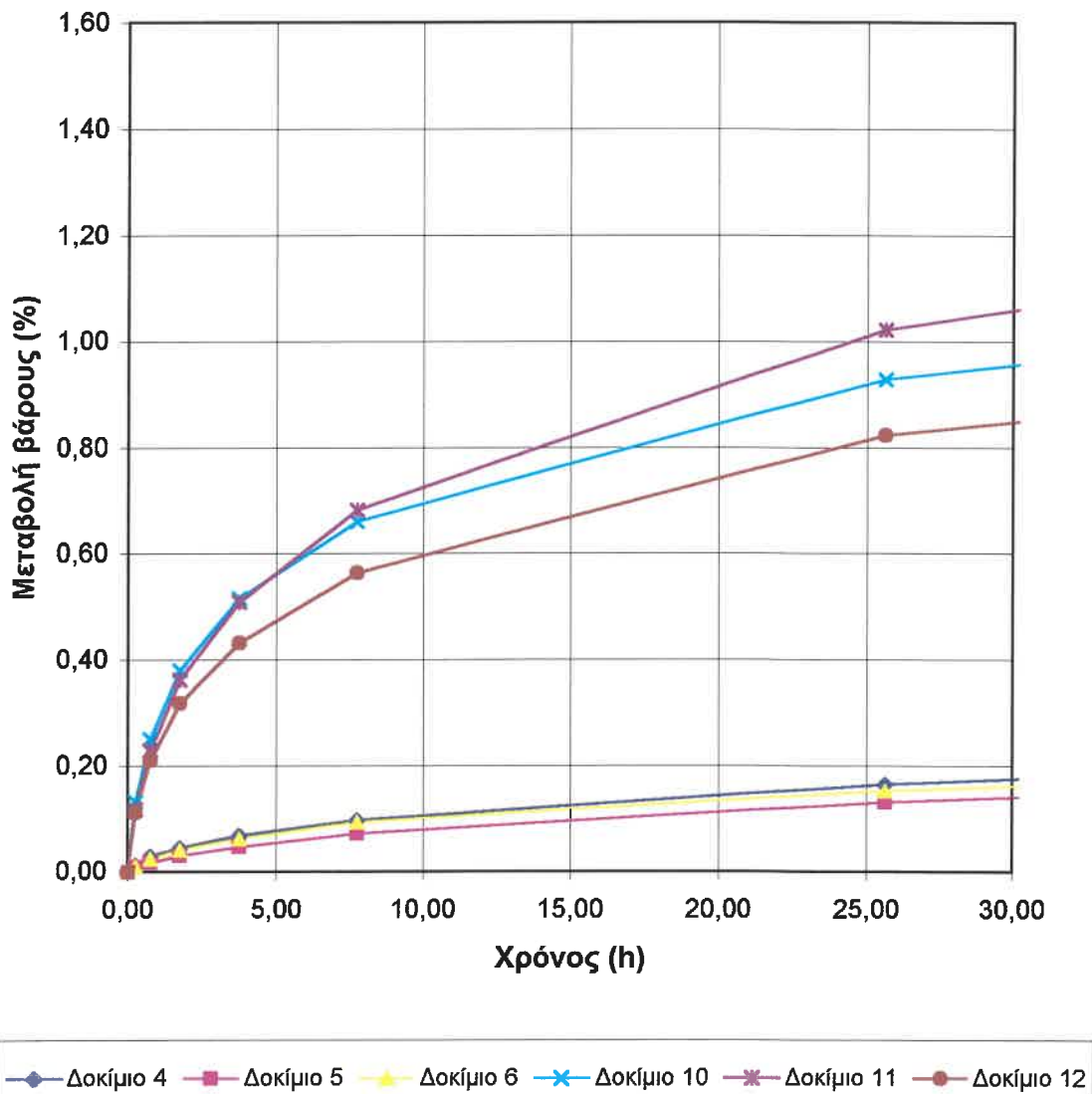
Μίγμα Z

N/T=0,4

N=157,25kg/m³

T=341,21kg/m³

Είδος τσιμέντου :CEMII/ B-M32,5N



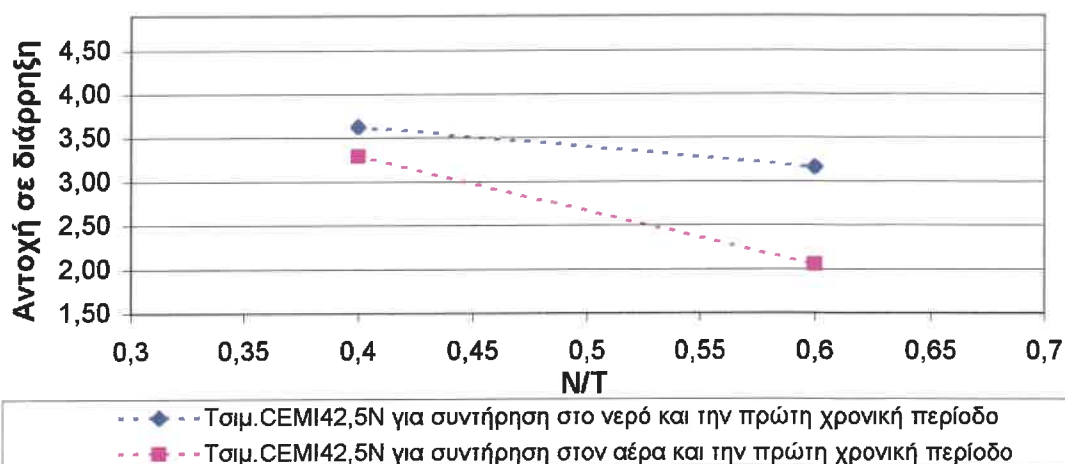
Σχ.40: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με τον χρόνο για τη δεύτερη χρονική περίοδο και για τις δύο μεθόδους συντήρησης.

Δοκίμια 4,5,6 :Συντηρημένα στο νερό

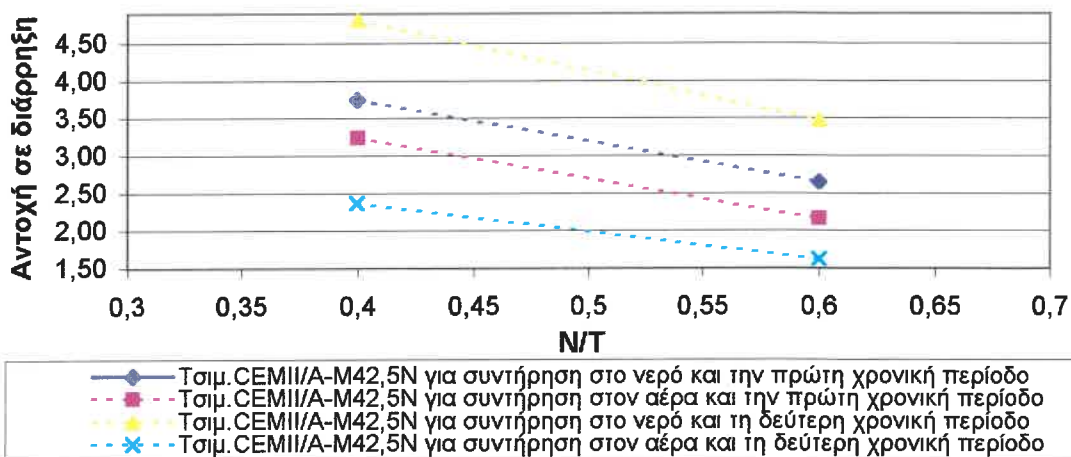
Δοκίμια 10,11,12 :Συντηρημένα στον αέρα

Κατηγορία διαγραμμάτων Δ

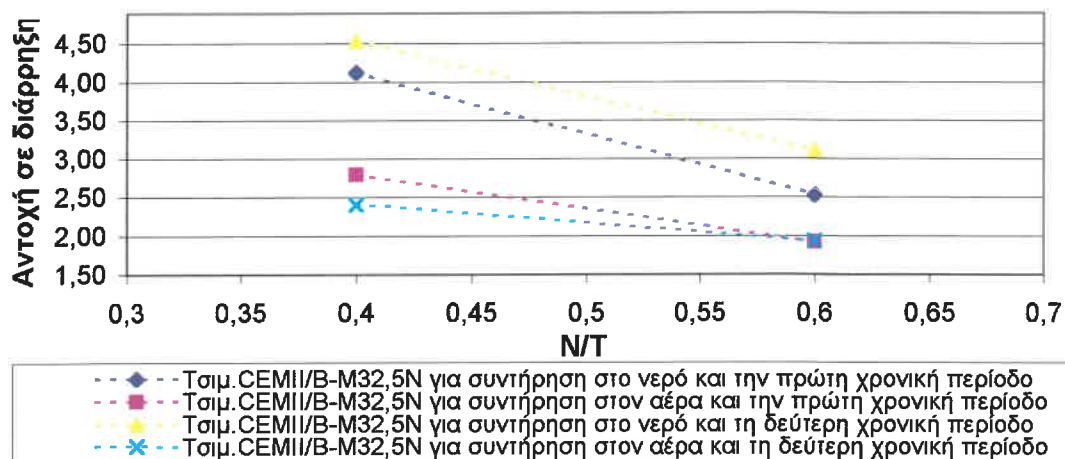
Μεταβολή της αντοχής των τσιμέντων για τους
δύο λόγους N/T



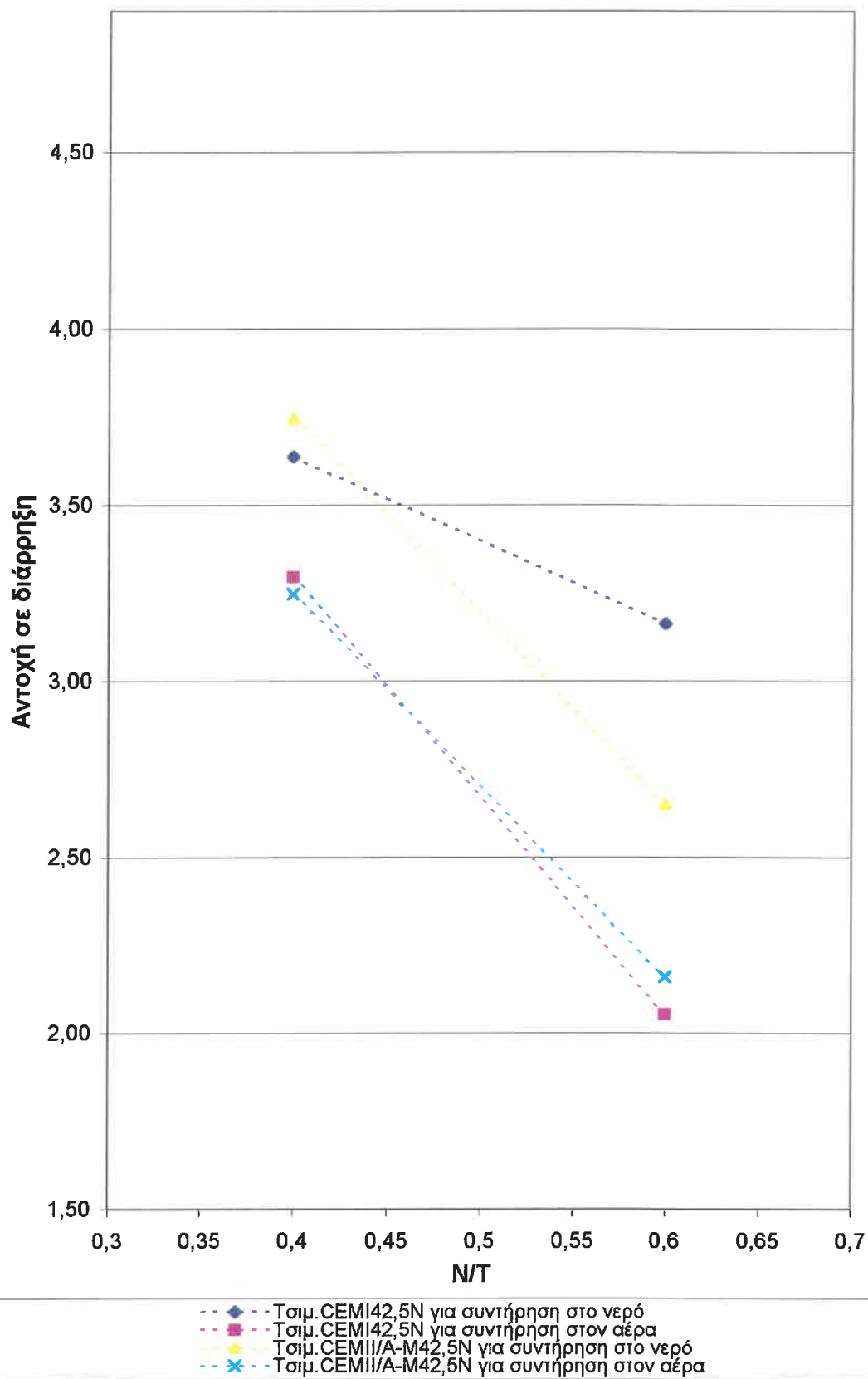
Σχ. 41: Μεταβολή της αντοχής του τσιμέντου CEMI42,5N για λόγο $N/T=0,6$ και $N/T=0,4$, για τις δύο συντηρήσεις και για την πρώτη χρονική περίοδο.



Σχ. 42: Μεταβολή της αντοχής του τσιμέντου CEMII/A-M42,5N για λόγο $N/T=0,6$ και $N/T=0,4$, για τις δύο συντηρήσεις και για τις δύο χρονικές περιόδους.



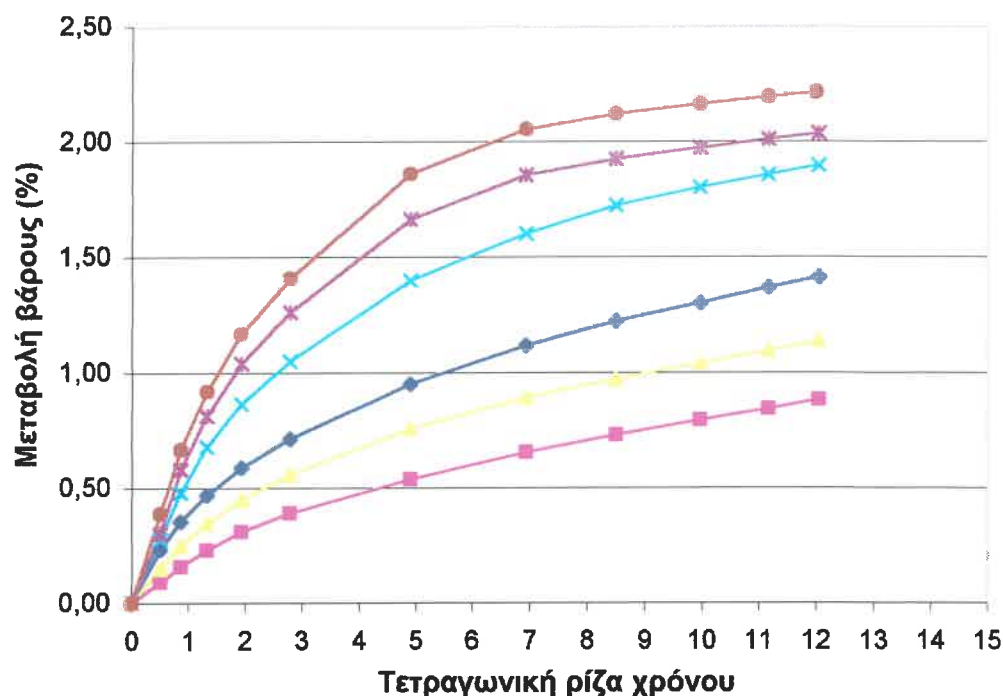
Σχ. 43: Μεταβολή της αντοχής του τσιμέντου CEMII/B-M32,5N για λόγο $N/T=0,6$ και $N/T=0,4$, για τις δύο συντηρήσεις και για τις δύο χρονικές περιόδους.



Σχ.44: Μεταβολή της αντοχής των τσιμεντών CEMII/A-M42,5N και CEMI42,5N για λόγο $N/T=0,6$ και $N/T=0,4$, για τις δύο συντηρήσεις και για την πρώτη χρονική περίοδο.

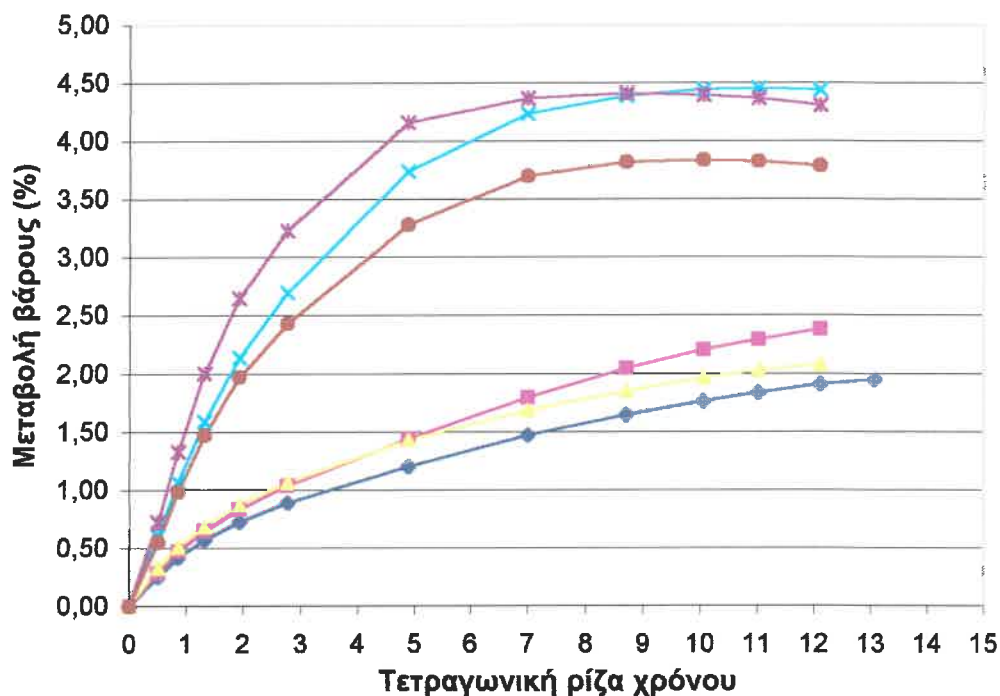
Κατηγορία διαγραμμάτων Ε

Υδαταπορρόφηση δοκιμίων συναρτήσει της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου για μετρήσεις 7 ημερών



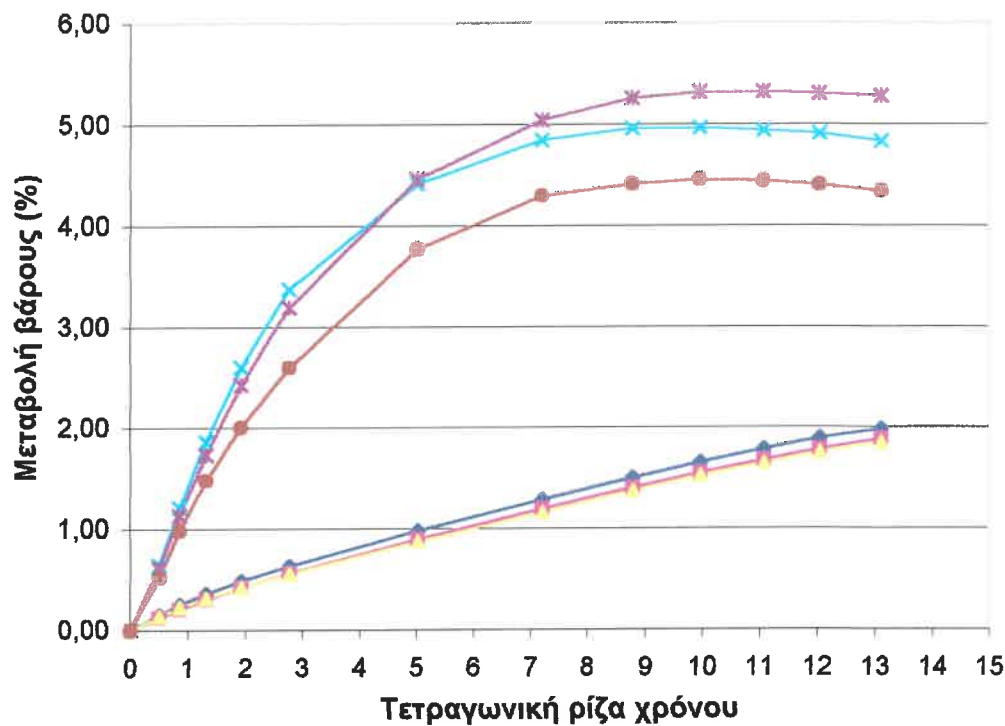
Μίγμα Α
N/T=0,6
CEMI42,5N
Ηλικία δοκιμών :
22 ημερών

Σχ.45: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου

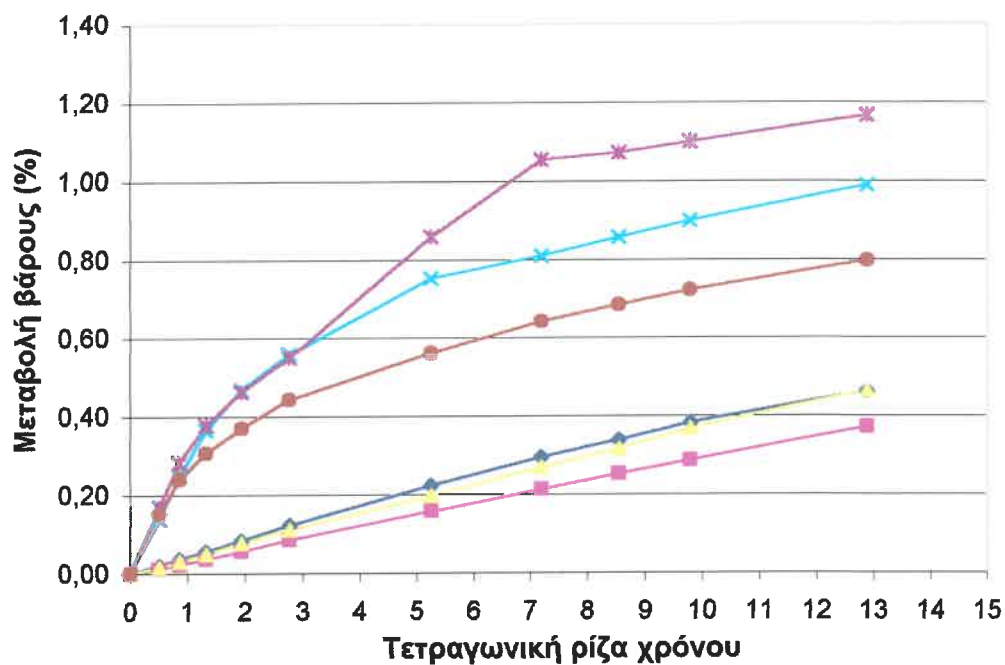


Μίγμα Β
N/T=0,6
CEMII/B-M32,5N
Ηλικία δοκιμών :
22 ημερών

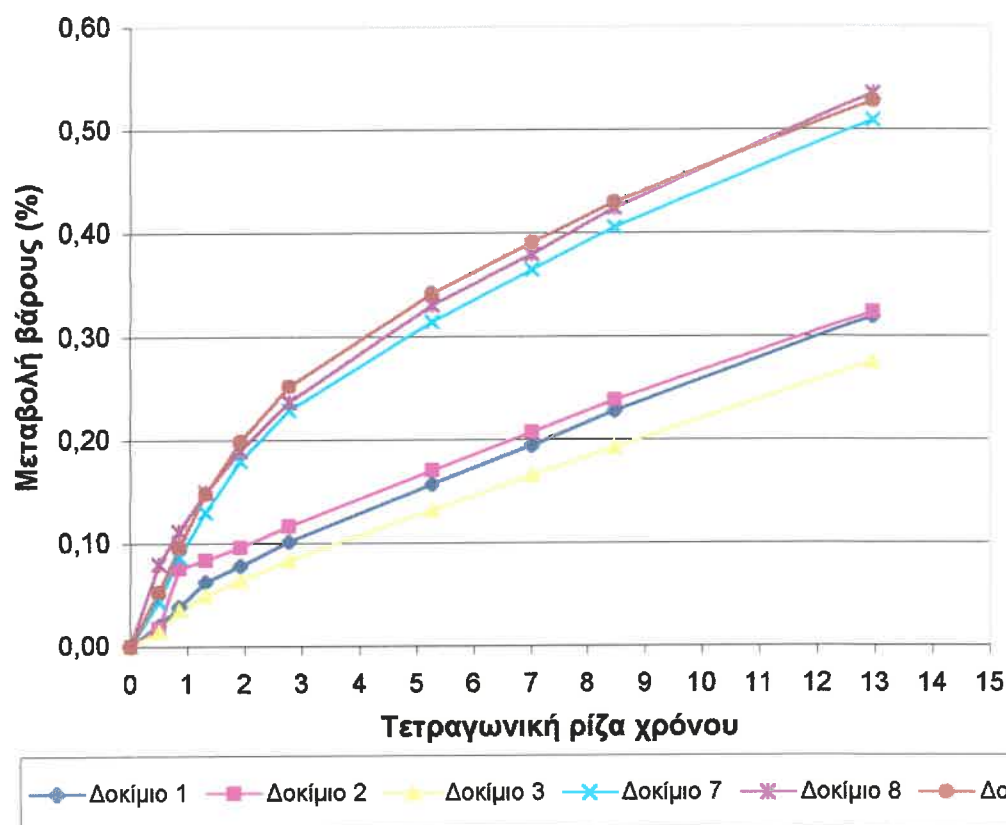
Σχ.46: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



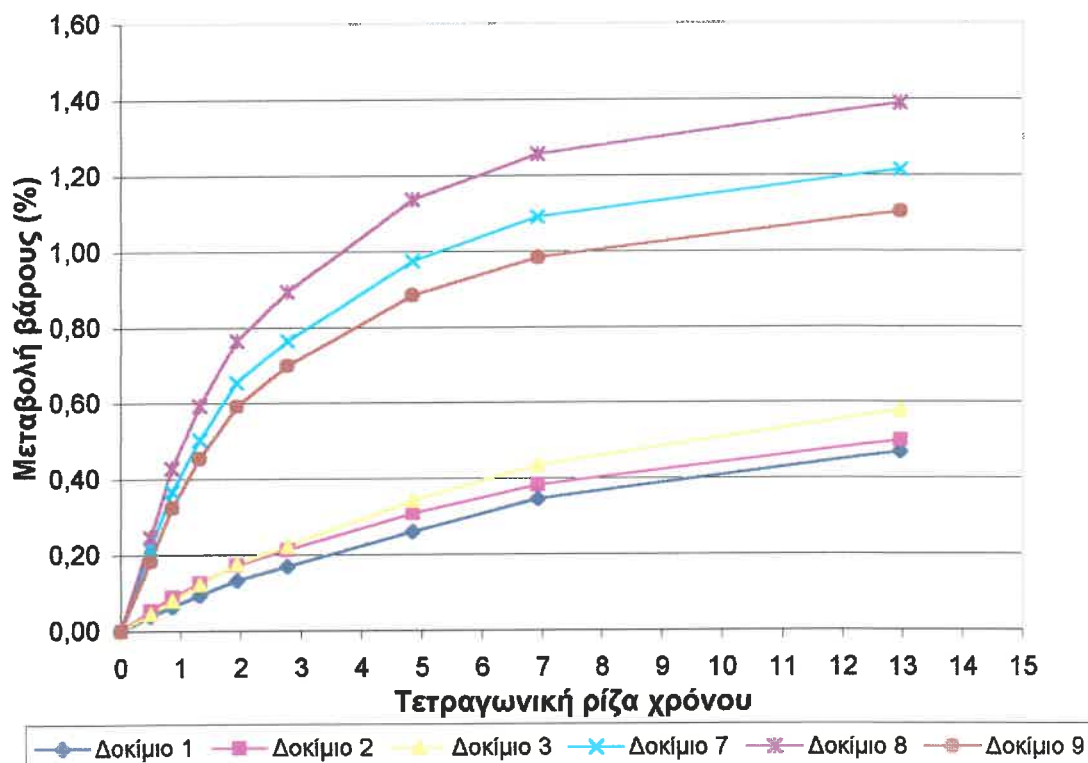
Σχ.47: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



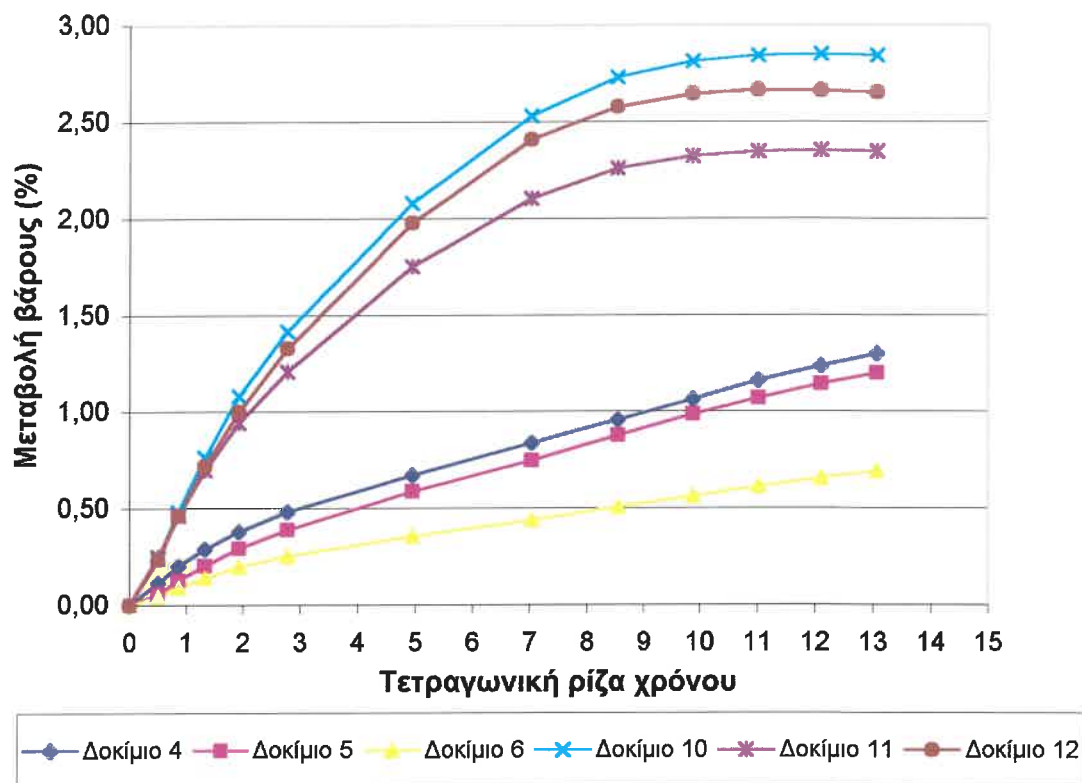
Σχ.48: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



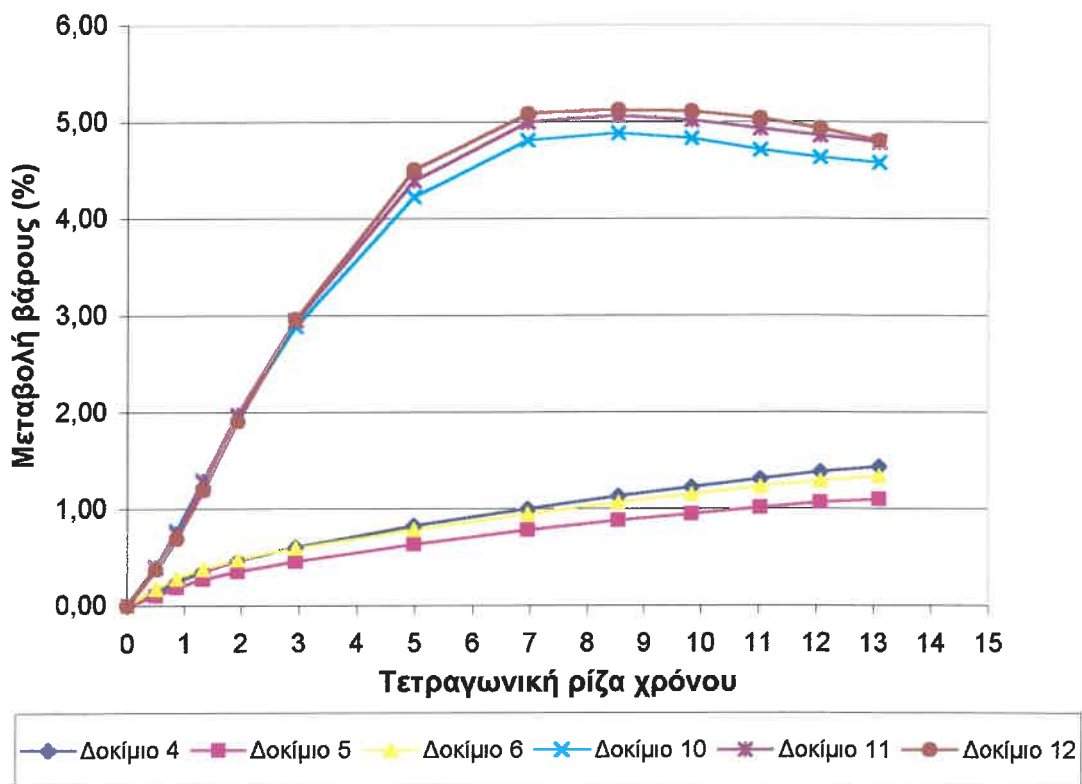
Σχ.49: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



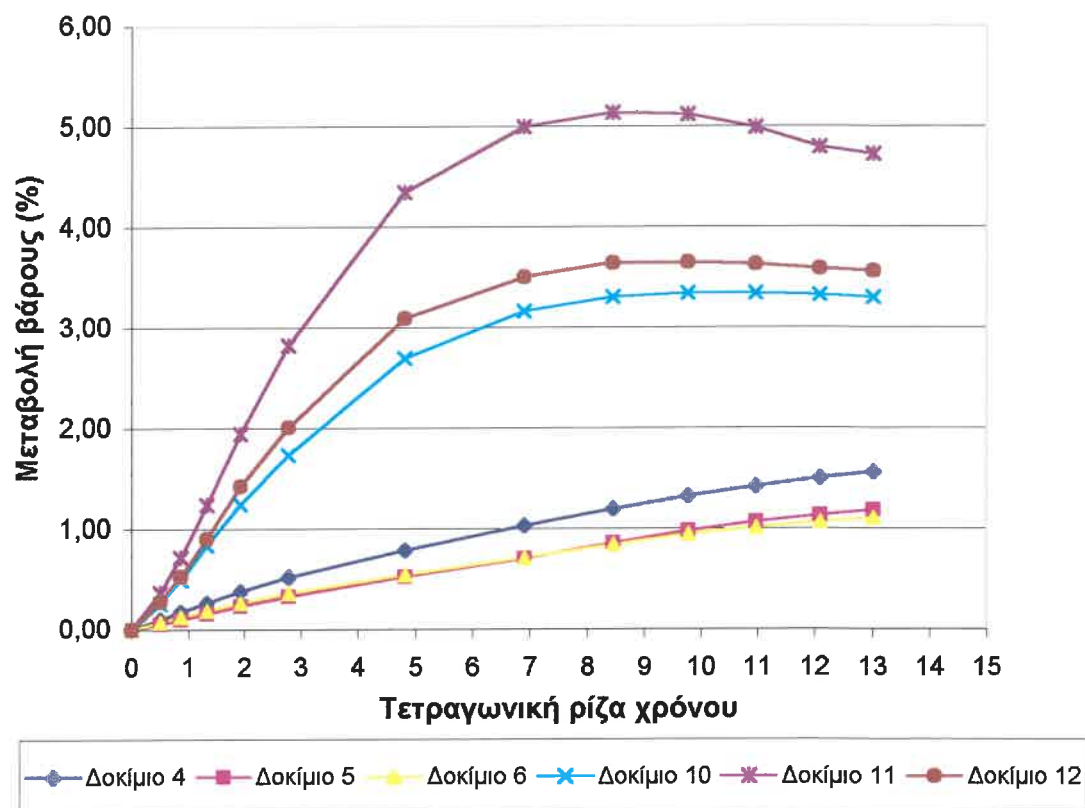
Σχ.50: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



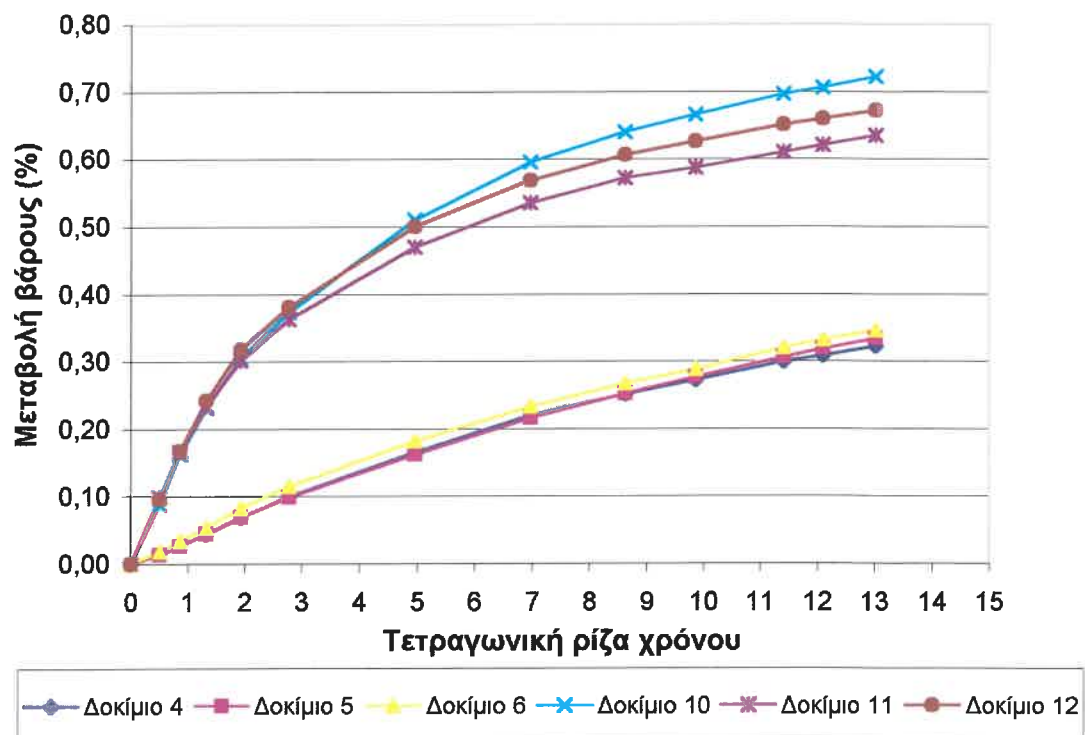
Σχ.51: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



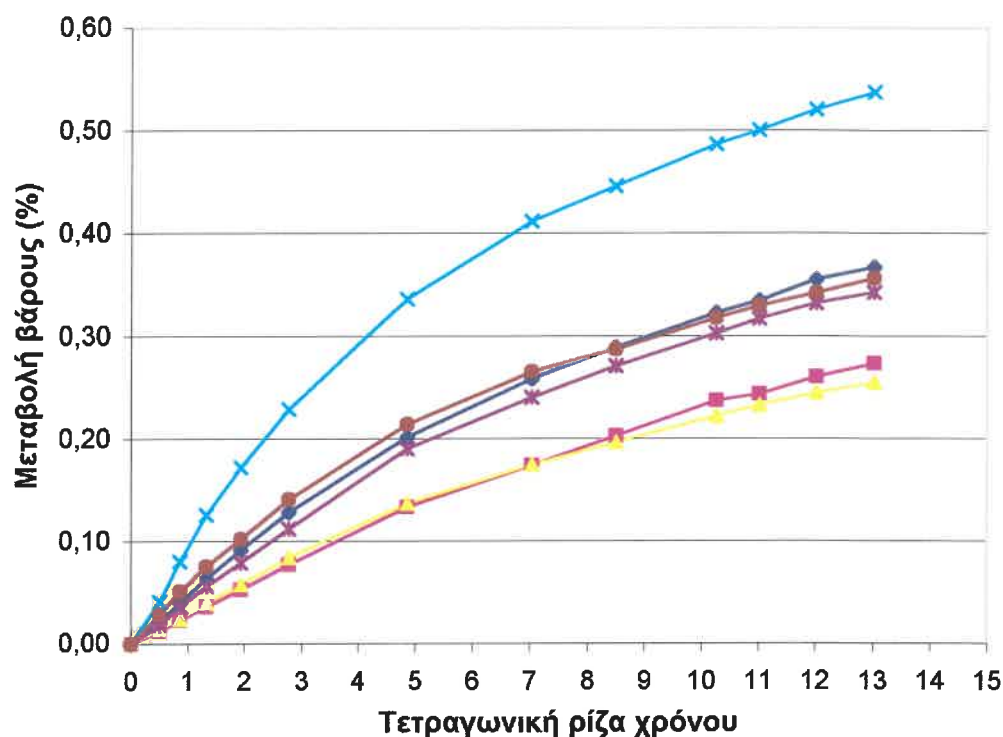
Σχ.52: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



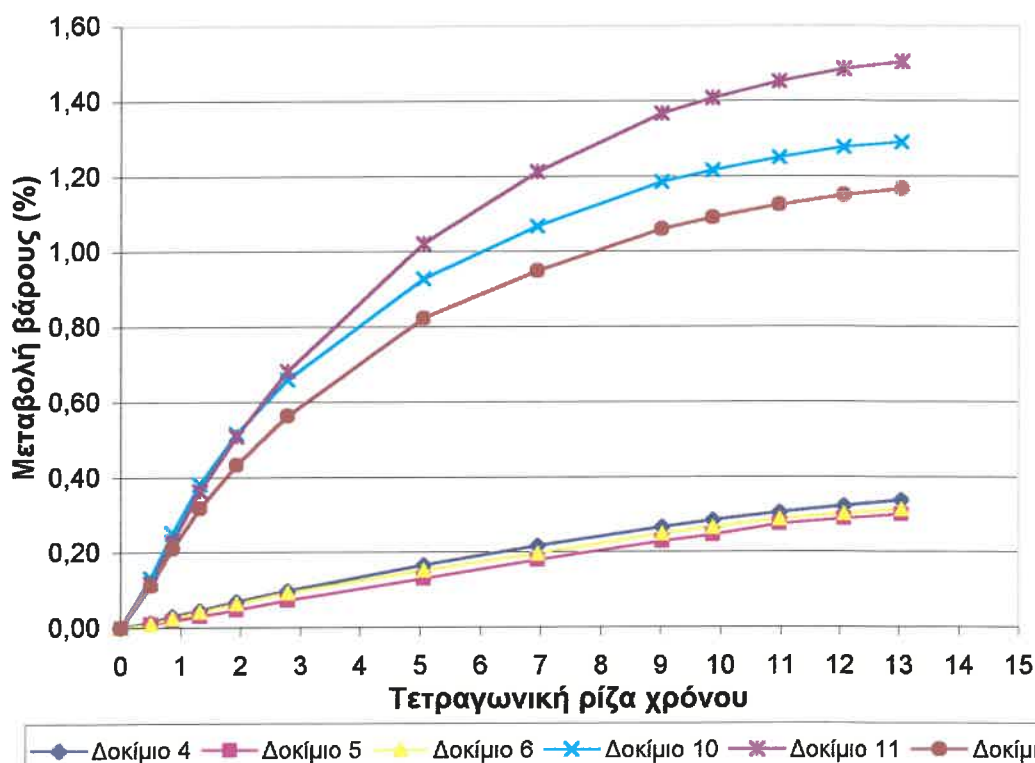
Σχ.53: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



Σχ.54: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



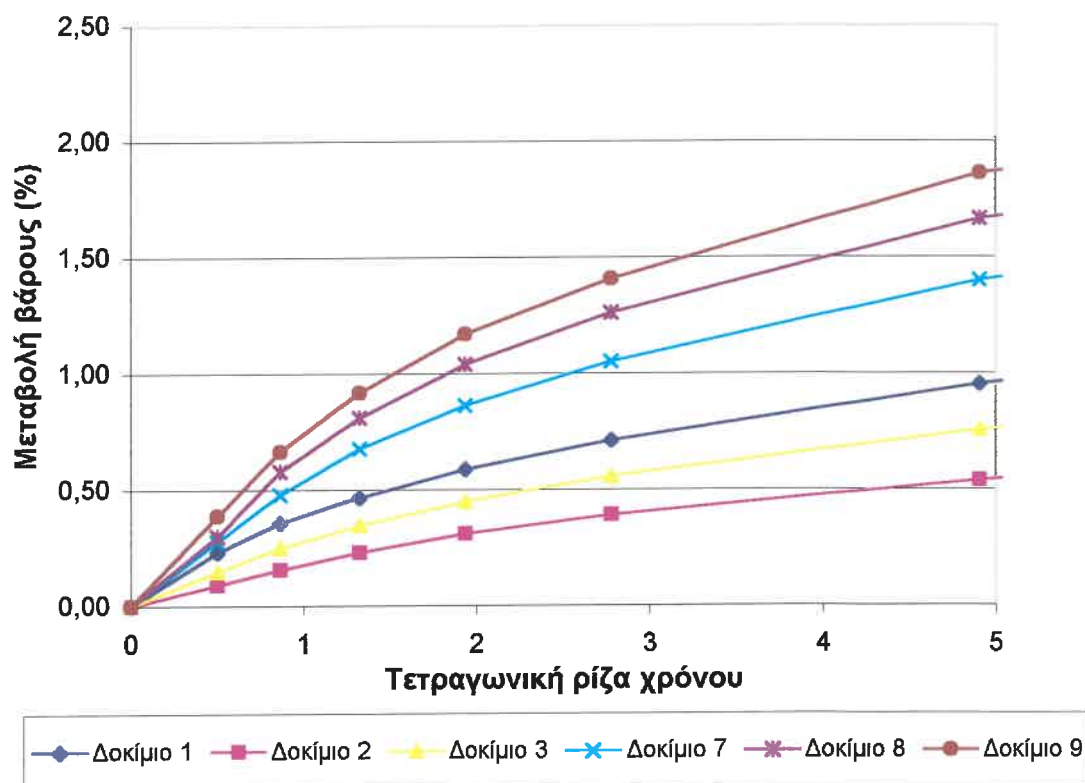
Σχ.55: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



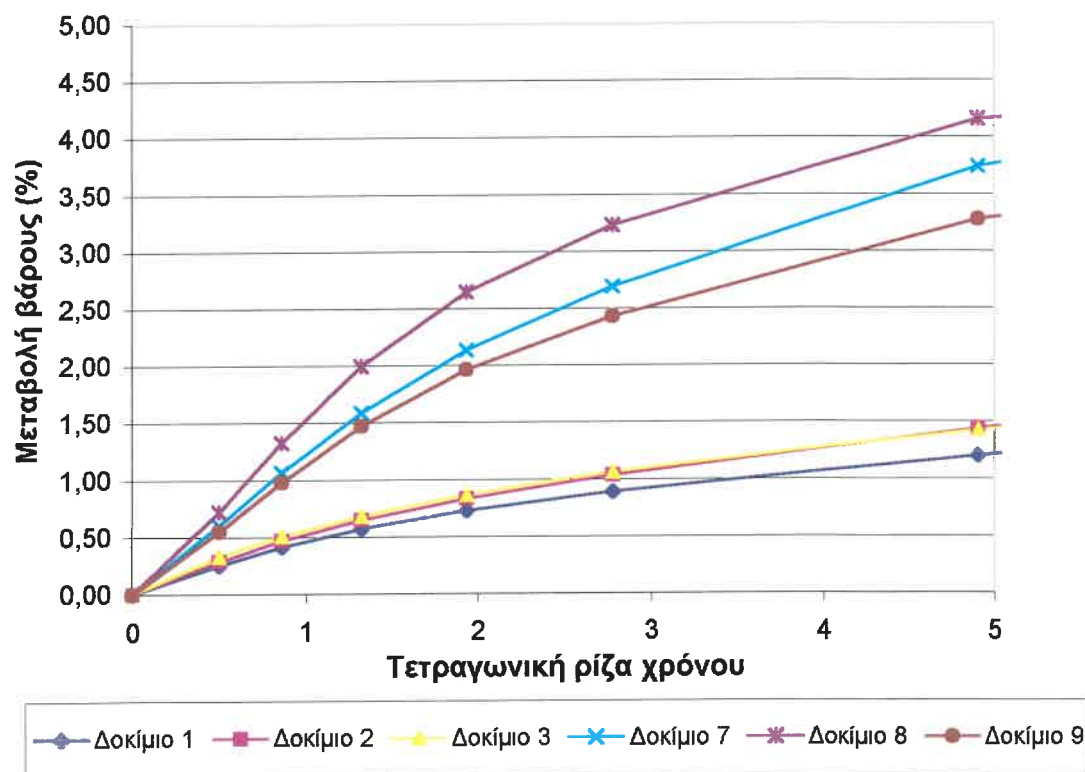
Σχ.56: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου

Κατηγορία διαγραμμάτων Z

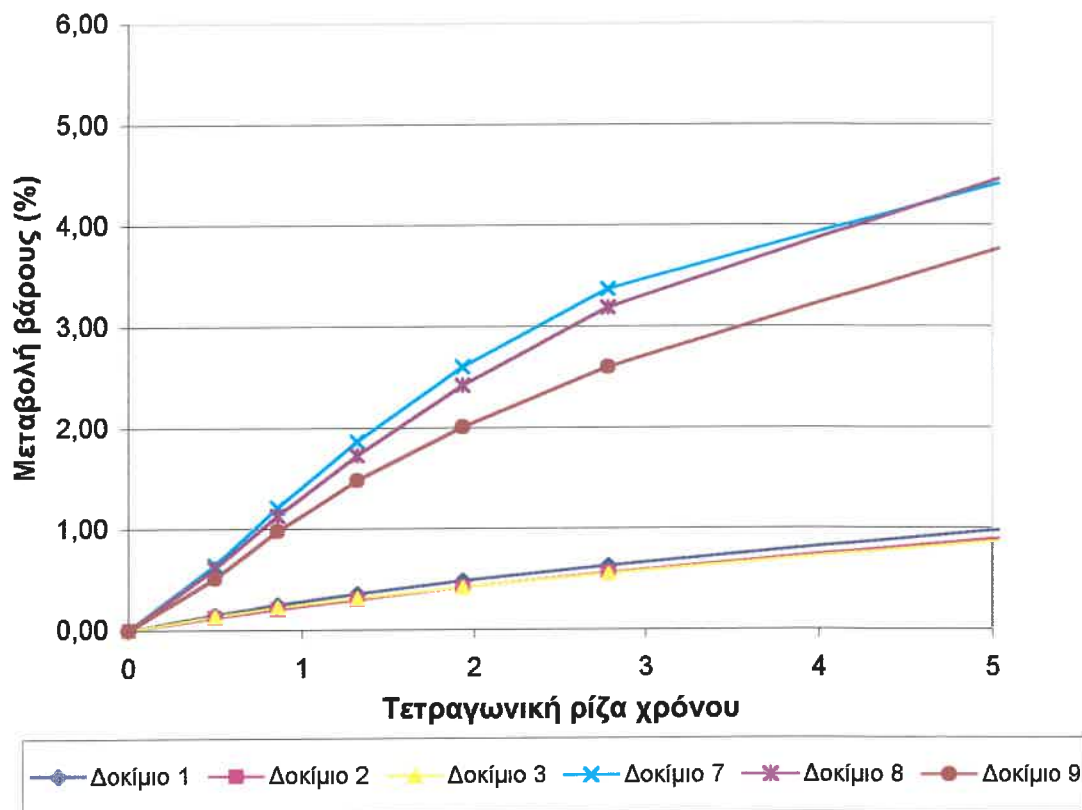
Υδαταπορρόφηση δοκιμίων συναρτήσει της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου μέχρι τις 24 ώρες



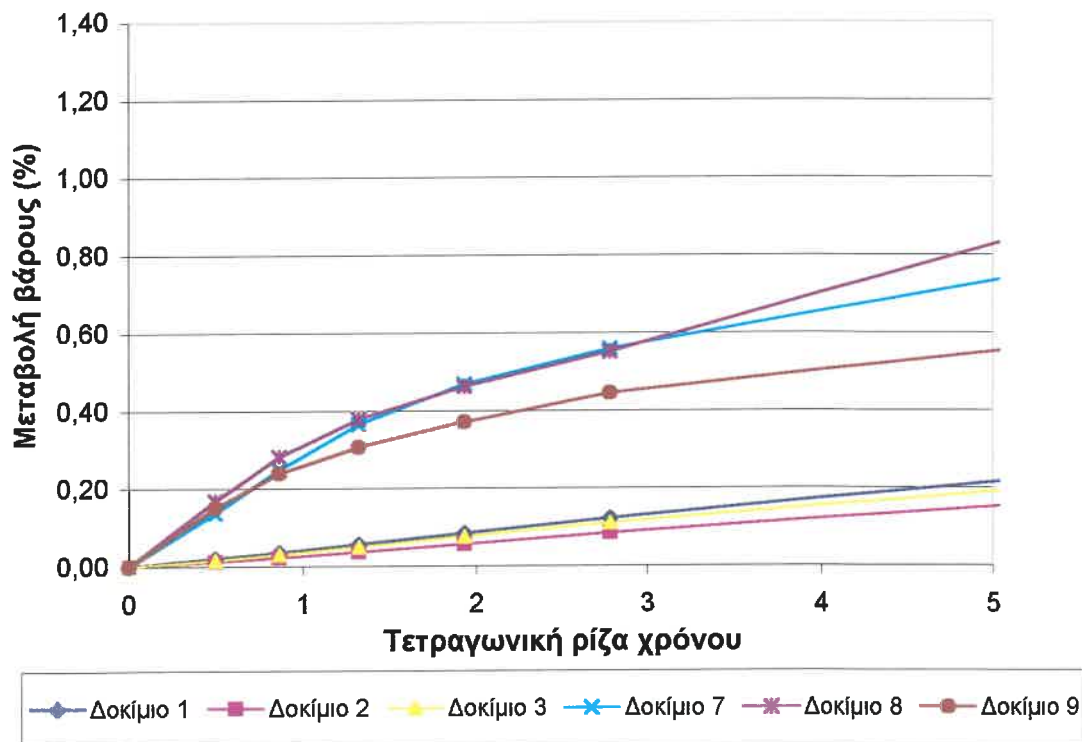
Σχ.57: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



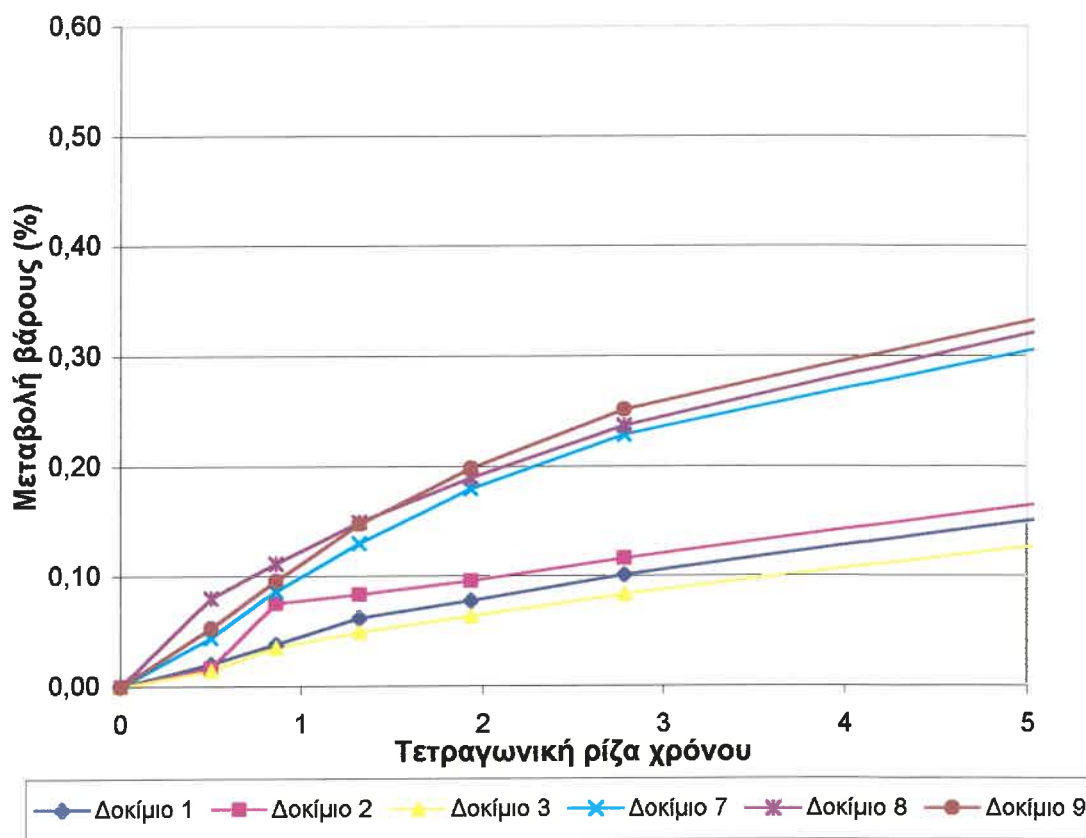
Σχ.58: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



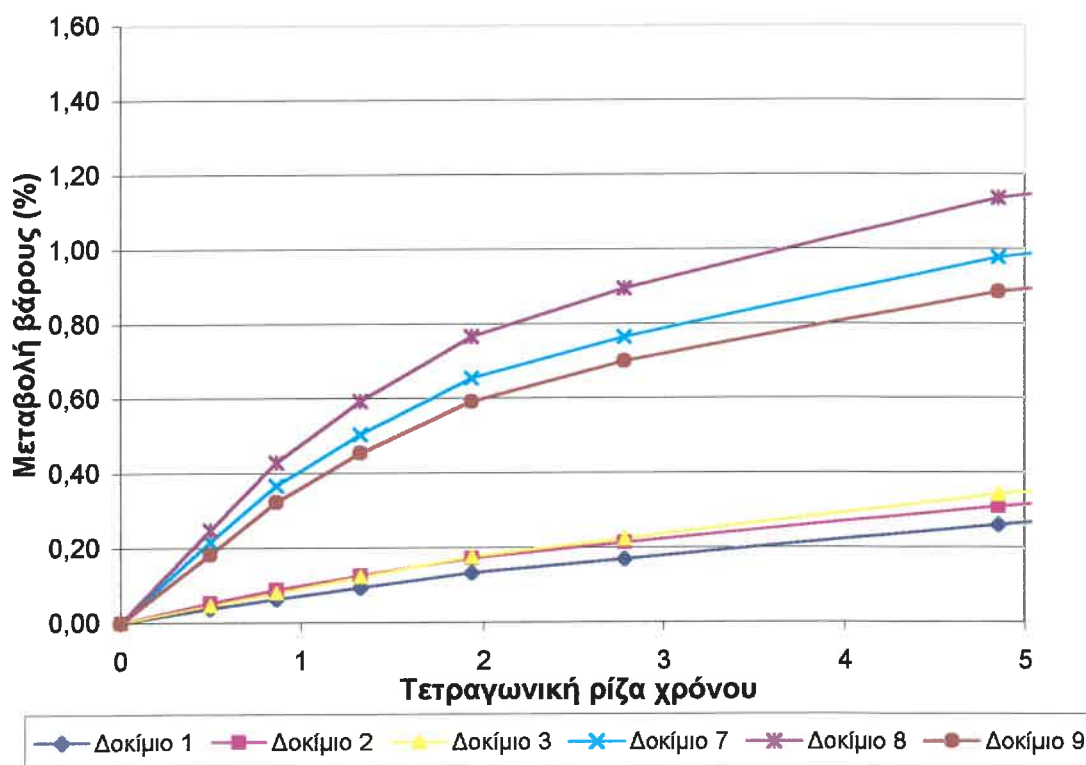
Σχ. 59: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



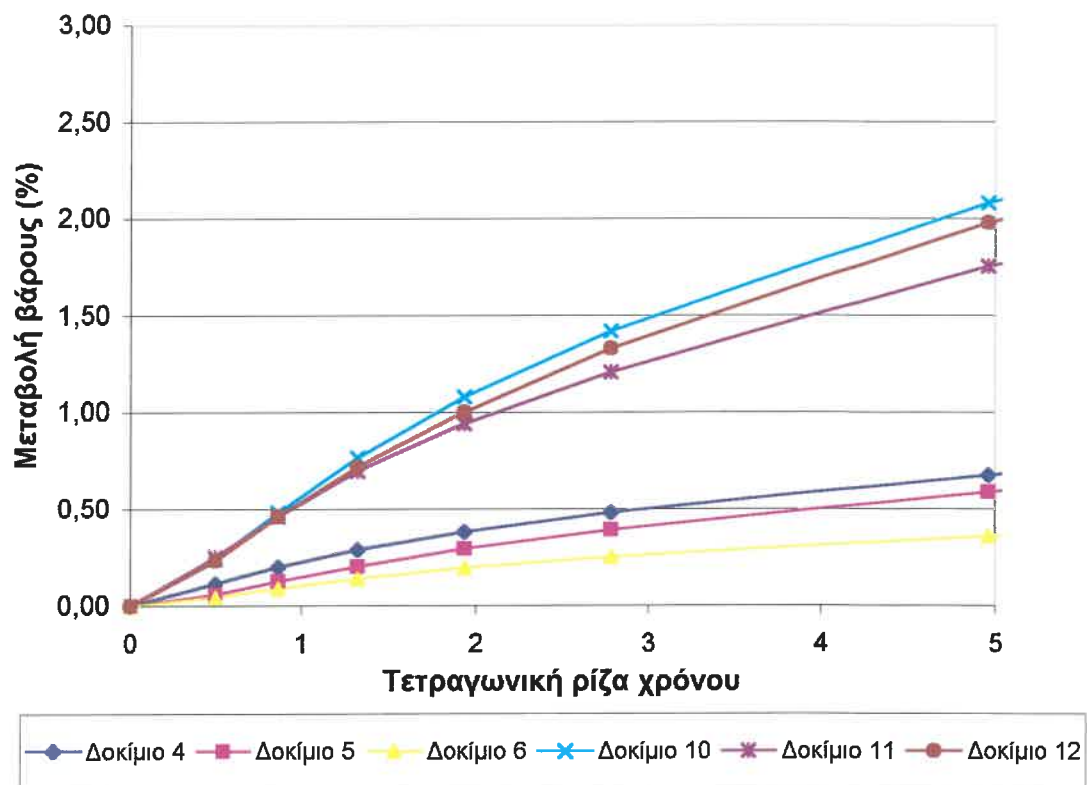
Σχ. 60: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



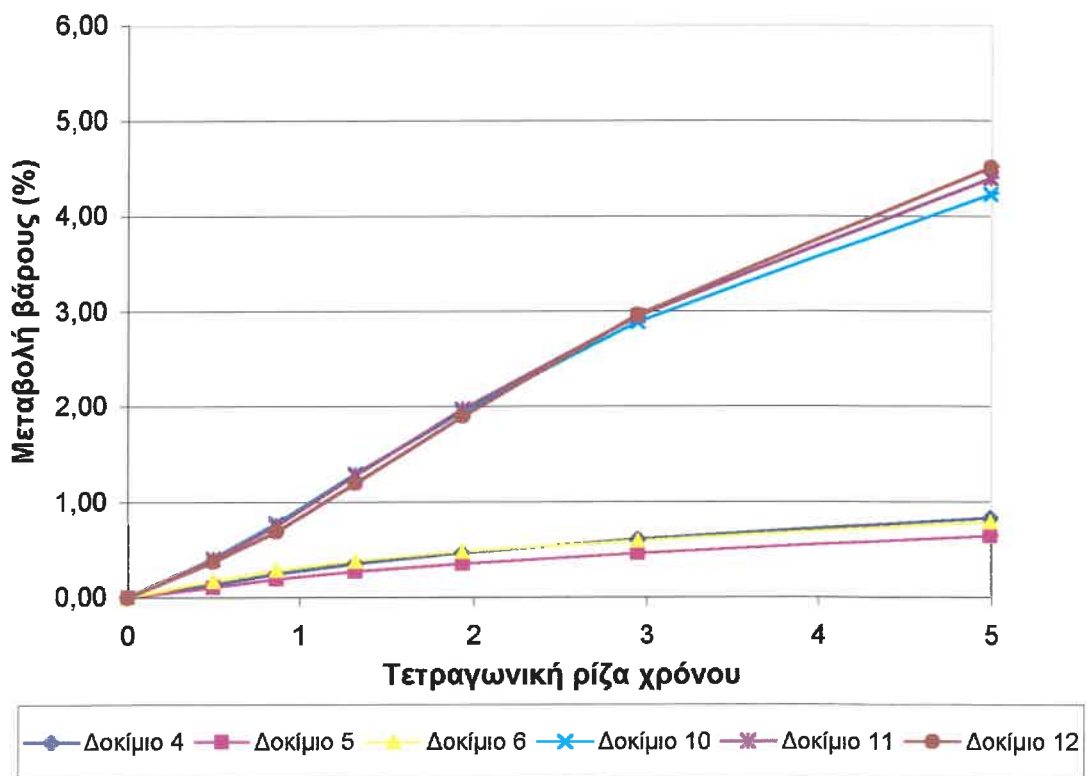
Σχ.61: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



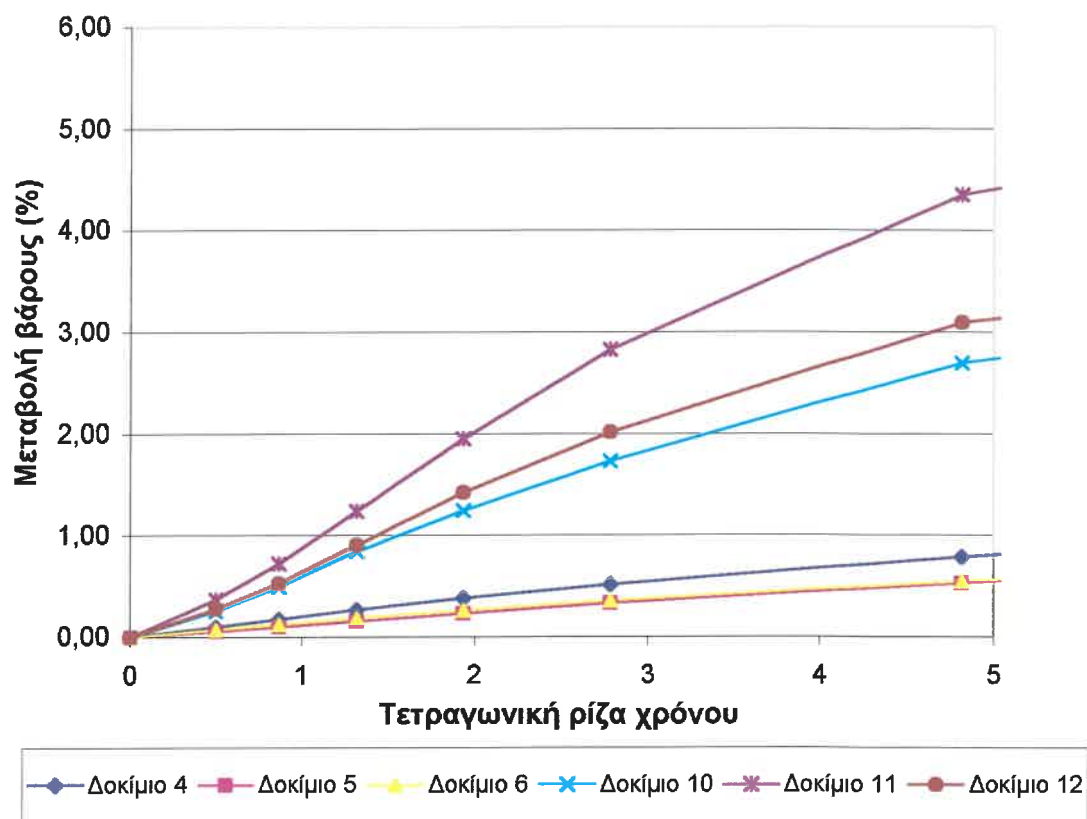
Σχ.62: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



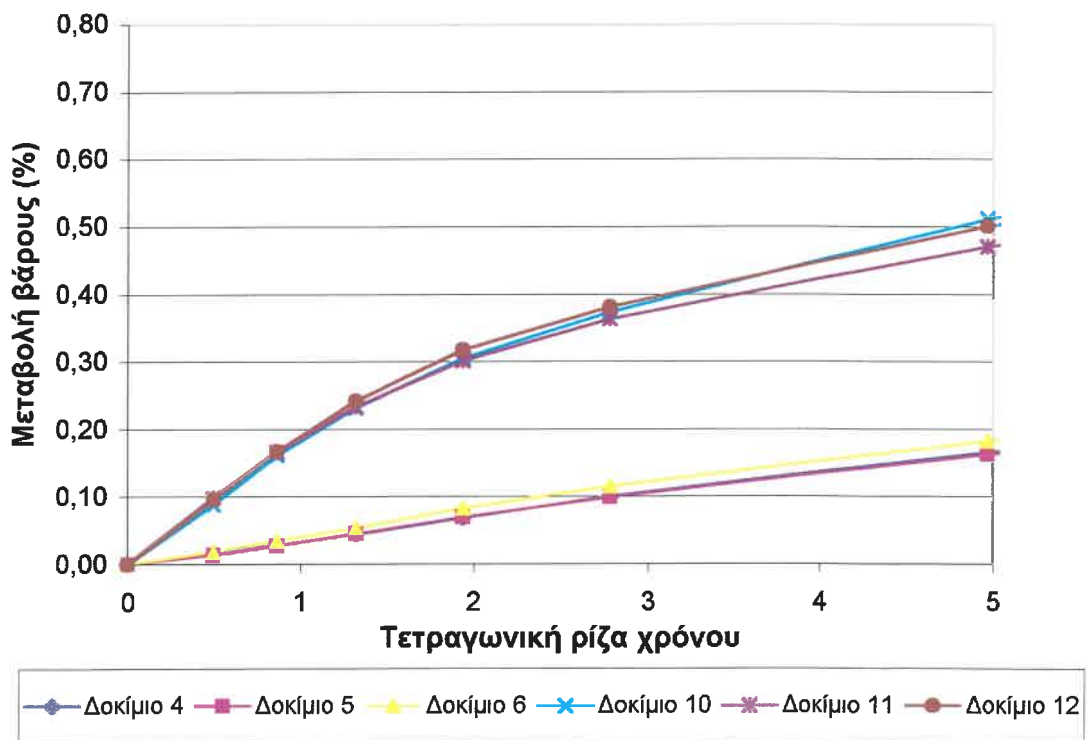
Σχ.63: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



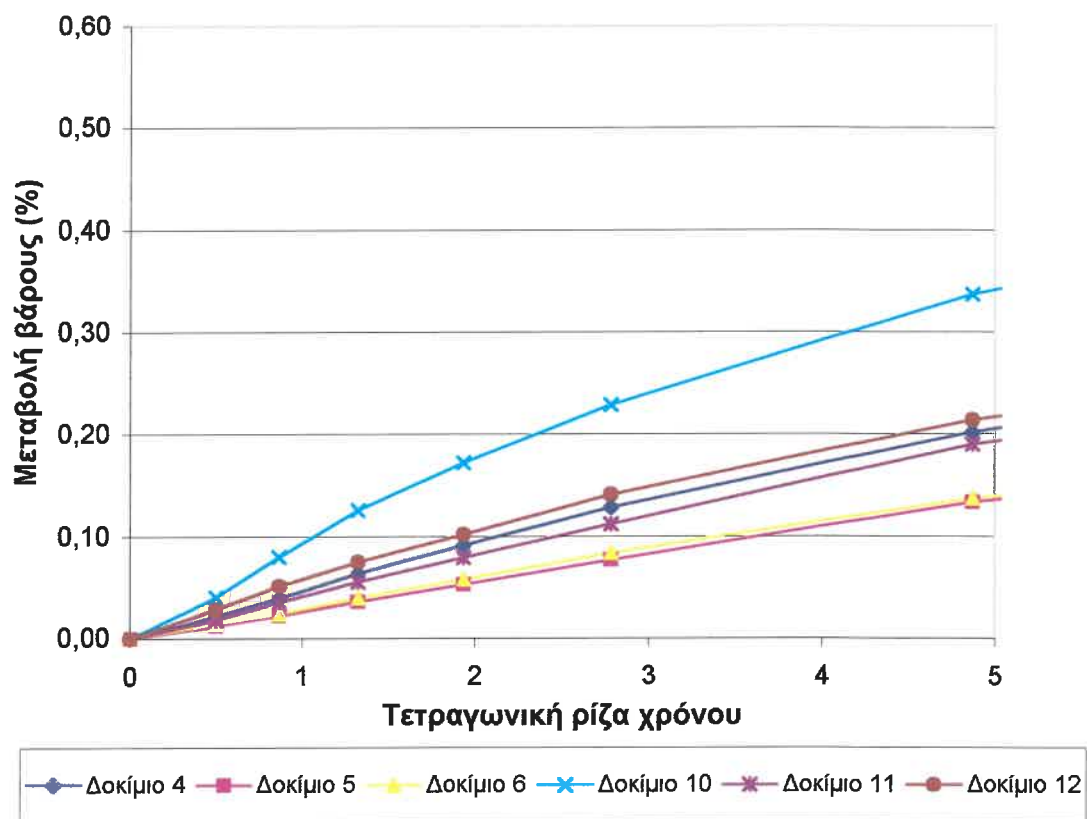
Σχ.64: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



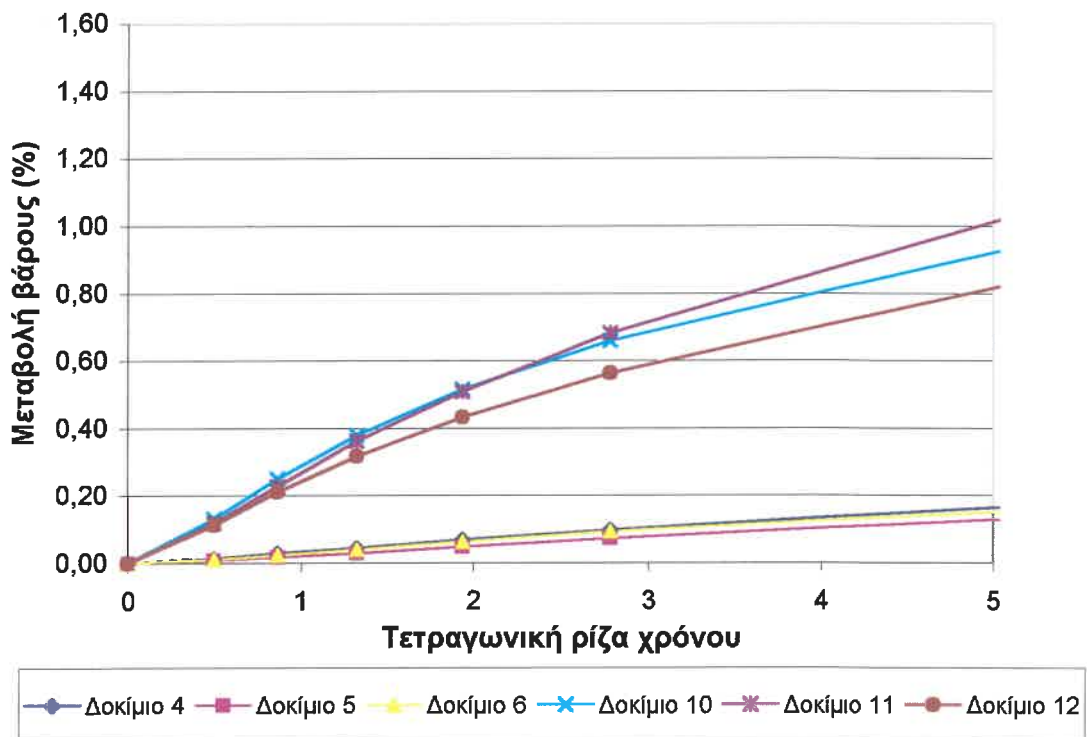
Σχ.65: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



Σχ.66: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



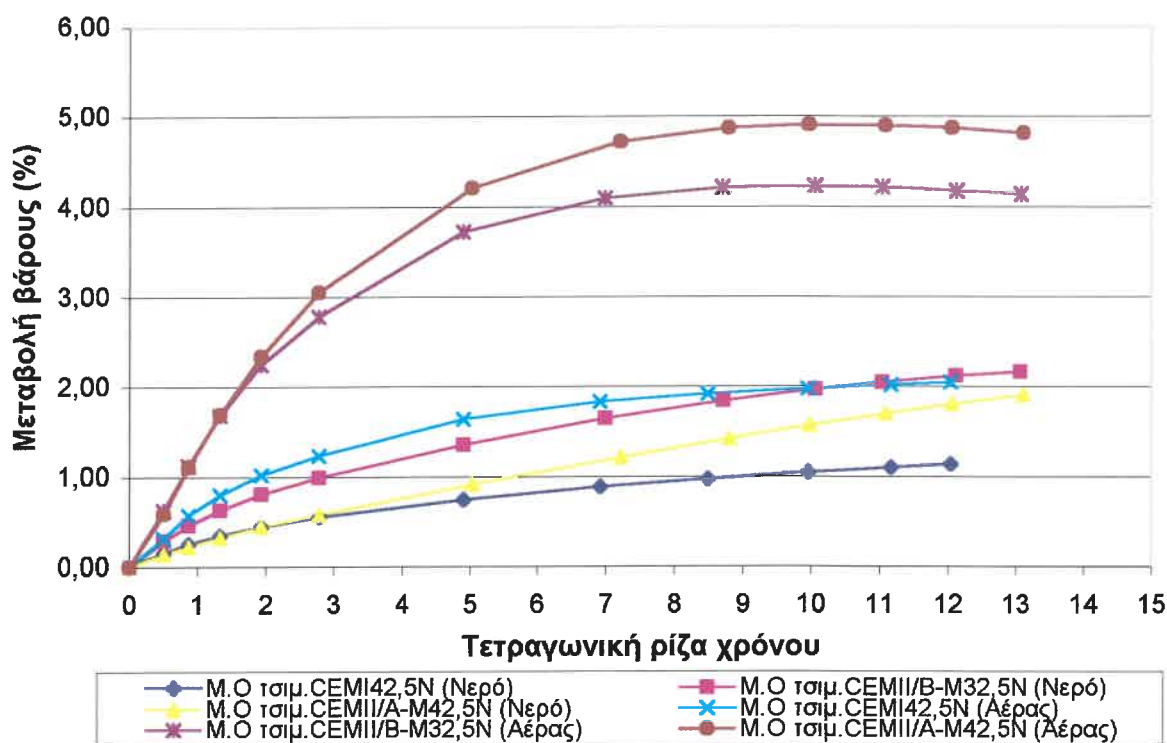
Σχ. 67: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου



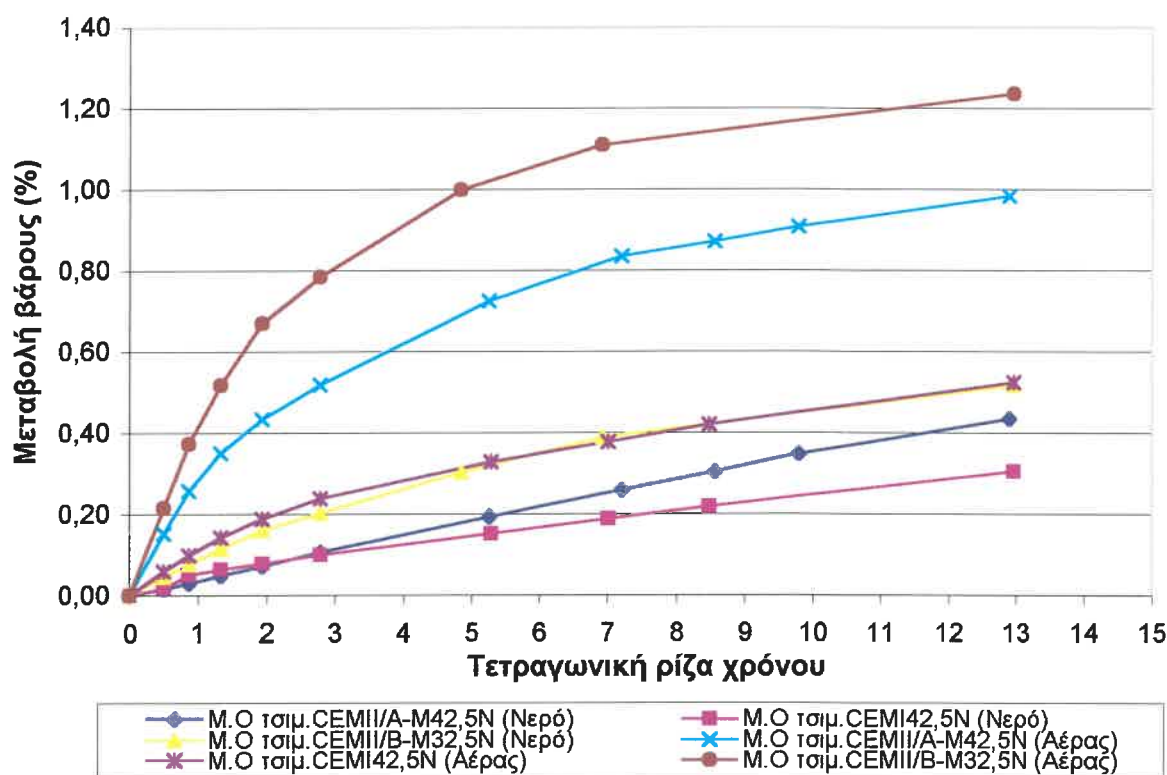
Σχ. 68: Μεταβολή της υδαταπορρόφησης λόγω των τριχοειδών (εκφράζεται ως μεταβολή του βάρους των δοκιμών ως % του αρχικού βάρους) σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου

Κατηγορία διαγραμμάτων ΣΤ

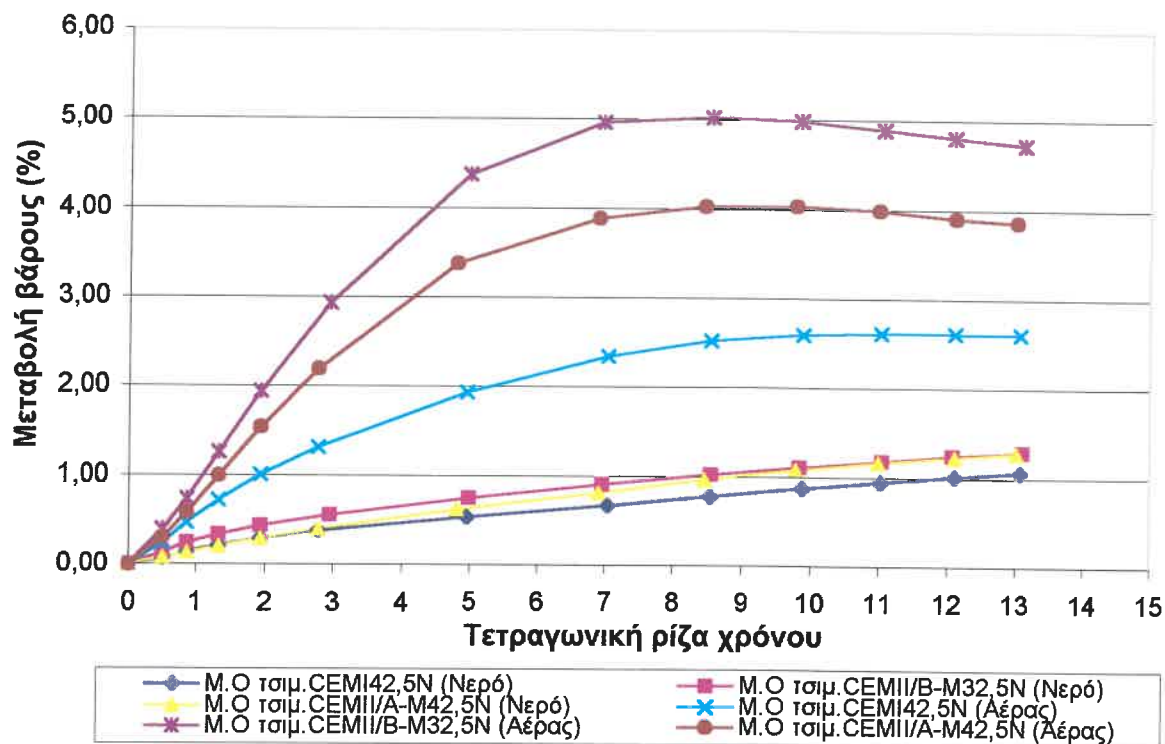
**Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων
λόγω υδαταπορρόφησης συναρτήσει της
τετραγωνικής ρίζας του χρόνου για μετρήσεις
7 ημερών**



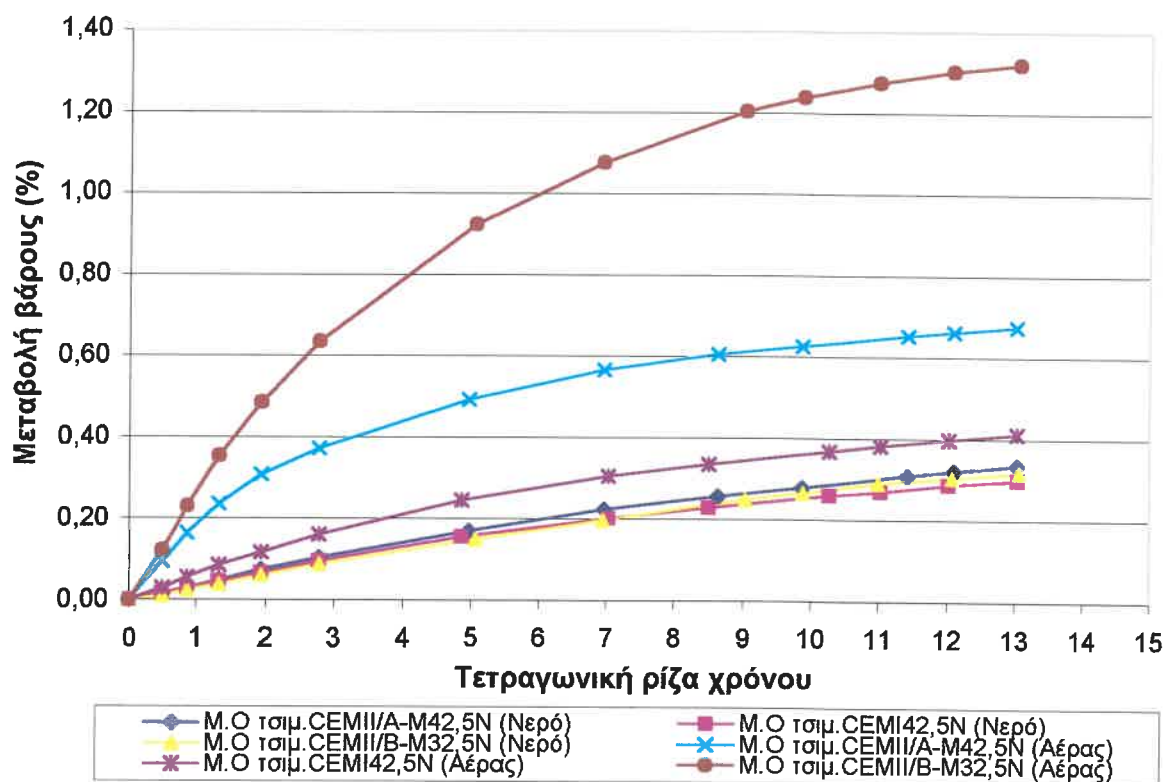
Σχ. 69: Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμών ηλικίας 22 ημερών για λόγο $N/T=0,6$, για τους τρεις τύπους τσιμέντου και τις δύο συνθήκες συντήρησης σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου.



Σχ. 70 : Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμών ηλικίας 22 ημερών για λόγο $N/T=0,4$, για τους τρεις τύπους τσιμέντου και τις δύο συνθήκες συντήρησης σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου.



Σχ. 71 : Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ηλικίας 78 ημερών για λόγο $N/T=0,6$, για τους τρεις τύπους τσιμέντου και τις δύο συνθήκες συντήρησης σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου.



Σχ.72 : Μέση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ηλικίας 78 ημερών για λόγο $N/T=0,4$, για τους τρεις τύπους τσιμέντου και τις δύο συνθήκες συντήρησης σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α

Πίνακας 1 : Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Α : CEM142,5N

N/T=0,6

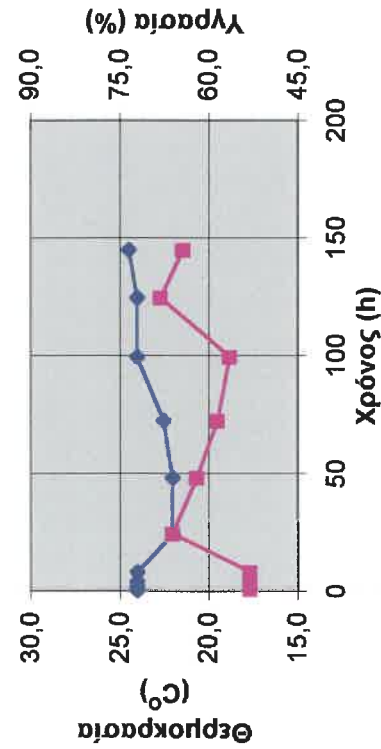
T=294,81kg/m³

N=197,53 kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 22 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ													
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ							ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ						
1	2	3	M.O	Σ.Μ.(%)	7	8	9	M.O	Σ.Μ.(%)				
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής
0,00	1383,23	0,00	1463,91	0,00	1474,95	0,00	1407,59	0,00	1297,75	0,00	1292,88	0,00	0,00
0,25	1386,44	0,23	1465,26	0,09	1477,15	0,15	1411,50	0,28	1301,67	0,30	1297,91	0,39	0,32
0,75	1388,16	0,36	1466,22	0,16	1478,65	0,25	1414,34	0,48	1305,28	0,58	1301,49	0,67	0,58
1,75	1389,70	0,47	1467,29	0,23	1480,07	0,35	1417,16	0,68	1308,30	0,81	1304,77	0,92	0,80
3,75	1391,36	0,59	1468,46	0,31	1481,59	0,45	1419,78	0,87	1311,25	1,04	1308,01	1,17	1,03
7,75	1393,10	0,71	1469,65	0,39	1483,18	0,56	1422,39	1,05	1314,14	1,26	1311,09	1,41	1,24
24,03	1396,40	0,95	1471,80	0,54	1486,12	0,76	1427,31	1,40	1319,36	1,67	1316,96	1,86	1,64
48,03	1398,69	1,12	1473,48	0,65	1488,11	0,89	1430,16	1,60	1321,84	1,86	1319,45	2,06	1,84
72,25	1400,16	1,22	1474,60	0,73	1489,29	0,97	1431,89	1,73	1322,75	1,93	1320,33	2,12	1,93
99,33	1401,22	1,30	1475,53	0,79	1490,29	1,04	1432,97	1,80	1323,35	1,97	1320,87	2,16	1,98
124,66	1402,17	1,37	1476,27	0,84	1491,13	1,10	1433,77	1,86	1323,85	2,01	1321,27	2,20	2,02
145,00	1402,76	1,41	1476,81	0,88	1491,72	1,14	1434,3	1,90	1324,18	2,04	1321,51	2,21	2,05
ΧΡΟΝΟΣ													

Μεταβολή Θερμοκρασίας-Υγρασίας



M.O.= Μέσος όρος
 Σn-1= Τυπική απόκλιση
 Σ.Μ.= (Σn-1/M.O.)*100%

Πίνακας 2: Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Β : CEMIII/B-M32,5N

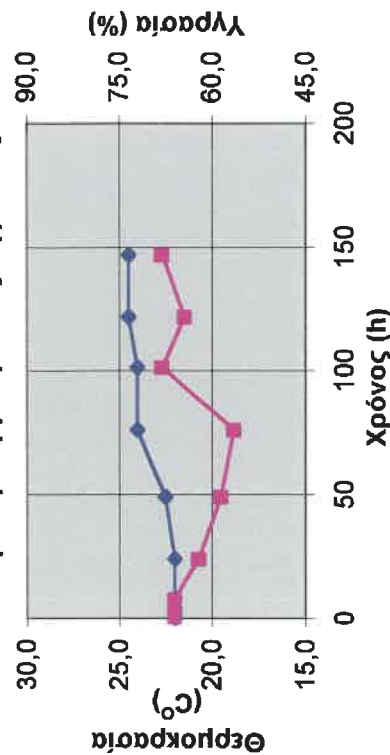
N/T=0,6

T=293,21kg/m³ N=196,45kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 22 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ													
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ							ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ						
1	2	3	M.O	Σ.Μ.(%)	7	8	9	M.O	Σ.Μ.(%)				
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)
0,00	1416,64	0,00	1297,32	0,00	1385,29	0,00	1383,68	0,00	1147,35	0,00	1364,37	0,00	0,00
0,25	1420,23	0,25	1301,02	0,29	1389,86	0,33	1392,08	0,61	1155,64	0,72	1371,83	0,55	0,63
0,75	1422,52	0,42	1303,43	0,47	1392,39	0,51	1398,49	1,07	1162,61	1,33	1377,78	0,98	1,13
1,75	1424,74	0,57	1305,74	0,65	1394,77	0,68	1405,67	1,59	1170,31	2,00	1384,47	1,47	1,69
3,75	1426,94	0,73	1308,16	0,84	1397,36	0,87	1413,32	2,14	1177,74	2,65	1391,22	1,97	2,25
7,75	1429,23	0,89	1310,79	1,04	1400,05	1,07	1421,02	2,70	1184,47	3,24	1397,54	2,43	2,79
24,03	1433,65	1,20	1316,03	1,44	1405,10	1,43	1435,48	3,74	1195,07	4,16	1409,13	3,28	3,73
49,05	1437,49	1,47	1320,62	1,80	1408,66	1,69	1442,28	4,24	1197,46	4,37	1414,83	3,70	4,10
76,03	1439,93	1,64	1323,85	2,04	1410,95	1,85	1444,45	4,39	1197,99	4,41	1416,48	3,82	4,21
101,37	1441,59	1,76	1325,95	2,21	1412,50	1,96	1445,20	4,45	1197,80	4,40	1416,69	3,83	4,23
121,70	1442,63	1,83	1327,10	2,30	1413,38	2,03	1445,31	4,45	1197,49	4,37	1416,58	3,83	4,22
146,75	1443,61	1,90	1328,19	2,38	1414,13	2,08	1445,12	4,44	1196,77	4,31	1416,06	3,79	4,18
170,75	1444,19	1,94	1328,84	2,43	1414,59	2,12	1444,82	4,42	1196,1	4,25	1415,62	3,76	4,14

Μεταβολή Θερμοκρασίας-Υγρασίας



M.O.= Μέσος όρος
Sn-1= Τυπική απόκλιση
Σ.Μ.= (Sn-1/M.O.)*100%

Πίνακας 3: Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Γ: CEMIII/A-M42,5N

N/T=0,6

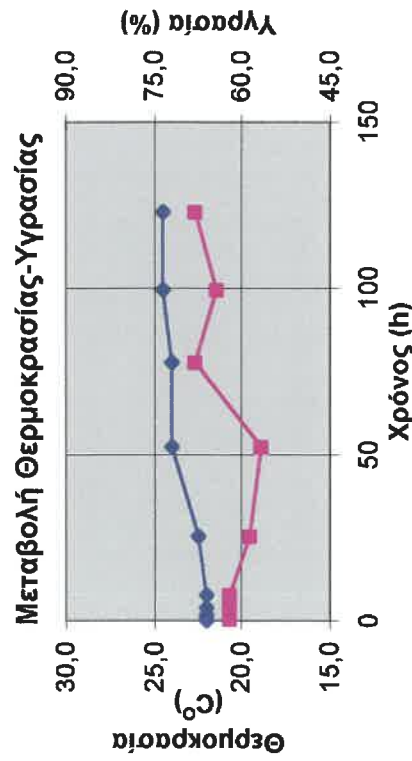
T=294,29kg/m³

N=197,18 kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 22 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ													
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ							ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ						
1	2	3	M.O	Σ.Μ.(%)	7	8	9	M.O	Σ.Μ.(%)				
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μ.Ο	Σ.Μ.(%)
0,00	1417,38	0,00	1448,35	0,00	1434,29	0,00	0,00	1269,26	0,00	1380,81	0,00	1377,65	0,00
0,25	1419,58	0,16	1450,16	0,12	1436,27	0,14	0,14	1277,45	0,65	1389,28	0,61	1384,77	0,52
0,75	1420,98	0,25	1451,40	0,21	1437,53	0,23	0,23	1284,72	1,22	1396,47	1,13	1391,15	0,98
1,75	1422,51	0,36	1452,80	0,31	1438,87	0,32	0,33	1293,02	1,87	1404,75	1,73	1398,09	1,48
3,75	1424,28	0,49	1454,50	0,42	1440,41	0,43	0,45	1302,31	2,60	1414,28	2,42	1405,35	2,01
7,75	1426,40	0,64	1456,52	0,56	1442,29	0,56	0,59	1312,10	3,38	1424,90	3,19	1413,45	2,60
25,35	1431,33	0,98	1461,40	0,90	1446,80	0,87	0,92	1325,29	4,41	1442,36	4,46	1429,57	3,77
52,23	1435,64	1,29	1465,68	1,20	1450,94	1,16	1,22	1330,75	4,84	1450,41	5,04	1436,84	4,30
77,57	1438,68	1,50	1468,70	1,41	1454,05	1,38	1,43	1332,24	4,96	1453,46	5,26	1438,37	4,41
99,58	1440,83	1,65	1470,85	1,55	1456,15	1,52	1,58	1332,33	4,97	1454,24	5,32	1438,99	4,45
122,83	1442,67	1,78	1472,68	1,68	1457,94	1,65	1,70	1332,01	4,94	1454,30	5,32	1438,80	4,44
145,50	1444,21	1,89	1474,27	1,79	1459,43	1,75	1,81	1331,58	4,91	1454,05	5,30	1438,31	4,40
172,00	1445,48	1,98	1475,71	1,89	1460,84	1,85	1,91	1330,59	4,83	1453,65	5,28	1437,44	4,34

M.O.= Μέσος όρος
 Sn-1= Τυπική απόκλιση
 Σ.Μ.= (Sn-1/M.O.)*100%



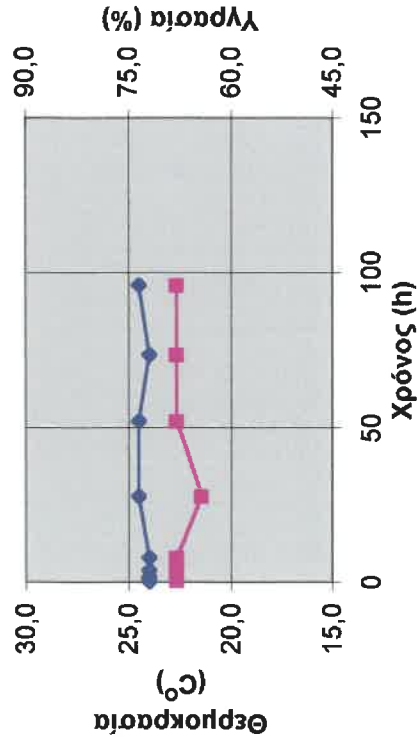
Πίνακας 4: Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Δ: CEMIII/A-M42,5N
 N/T=0,4 T=341,80kg/m³ N=157,53kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 22 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ													
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ							ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ						
1	2	3	M.O	Σ.Μ.(%)	7	8	9	M.O	Σ.Μ.(%)				
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής
0,00	1519,24	0,00	1531,24	0,00	1377,16	0,00	1327,62	0,00	1337,57	0,00	1488,47	0,00	0,00
0,25	1519,56	0,02	1531,43	0,01	1377,38	0,02	26,39	1329,45	0,14	1339,83	0,17	1490,73	0,15
0,75	1519,80	0,04	1531,60	0,02	1377,59	0,03	21,95	1330,93	0,25	1341,36	0,28	1492,05	0,24
1,75	1520,11	0,06	1531,82	0,04	1377,86	0,05	20,29	1332,48	0,37	1342,65	0,38	1493,05	0,31
3,75	1520,53	0,08	1532,11	0,06	1378,23	0,08	19,95	1333,87	0,47	1343,77	0,46	1493,99	0,37
7,75	1521,11	0,12	1532,56	0,09	1378,70	0,11	17,66	1335,05	0,56	1344,96	0,55	1495,09	0,44
27,62	1522,65	0,22	1533,68	0,16	1379,90	0,20	16,89	1337,63	0,75	1352,80	0,86	1496,85	0,56
52,00	1523,73	0,30	1534,53	0,21	1380,88	0,27	15,86	1338,39	0,81	1351,69	1,06	1498,03	0,64
73,38	1524,42	0,34	1535,12	0,25	1381,54	0,32	14,93	1339,00	0,86	1351,93	1,07	1498,68	0,69
96,00	1525,08	0,38	1535,66	0,29	1382,26	0,37	14,86	1339,58	0,90	1352,29	1,10	1499,23	0,72
166,33	1526,30	0,46	1536,96	0,37	1383,58	0,47	12,20	1340,77	0,99	1353,18	1,17	1500,34	0,80
187,77													0,98

Μεταβολή Θερμοκρασίας-Υγρασίας



Πίνακας 5: Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Ε: CEMI42,5N

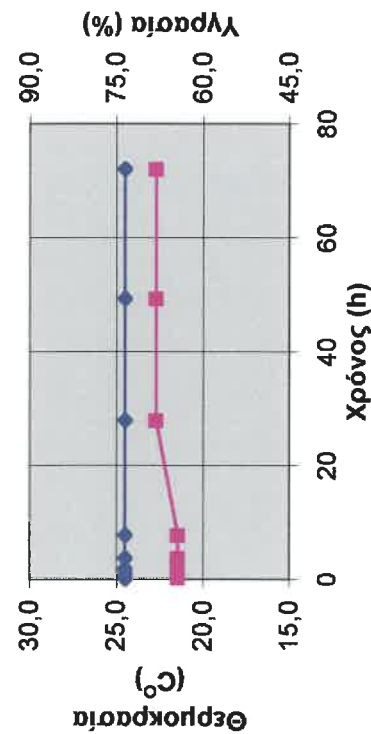
N/T=0,4

T=343,57kg/m³ N=158,34 kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 22 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ													
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ							ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ						
1	2	3	M.O	Σ.Μ.(%)	7	8	9	M.O	Σ.Μ.(%)				
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)
0,00	1458,69	0,00	1516,26	0,00	1487,23	0,00	1487,23	0,00	1487,23	0,00	1487,23	0,00	1487,23
0,25	1458,99	0,02	1516,52	0,01	1487,45	0,01	1487,45	0,01	1487,45	0,01	1487,45	0,01	1487,45
0,75	1459,25	0,04	1517,41	0,08	1487,76	0,04	1487,76	0,04	1487,76	0,04	1487,76	0,04	1487,76
1,75	1459,60	0,06	1517,53	0,08	1487,97	0,05	1487,97	0,05	1487,97	0,05	1487,97	0,05	1487,97
3,75	1459,83	0,08	1517,72	0,10	1488,18	0,06	1488,18	0,06	1488,18	0,06	1488,18	0,06	1488,18
7,75	1460,17	0,10	1518,03	0,12	1488,48	0,08	1488,48	0,08	1488,48	0,08	1488,48	0,08	1488,48
27,92	1460,98	0,16	1518,85	0,17	1489,20	0,13	1489,20	0,13	1489,20	0,13	1489,20	0,13	1489,20
49,27	1461,52	0,19	1519,40	0,21	1489,69	0,17	1489,69	0,17	1489,69	0,17	1489,69	0,17	1489,69
72,00	1462,01	0,23	1519,87	0,24	1490,09	0,19	1490,09	0,19	1490,09	0,19	1490,09	0,19	1490,09
168,00	1463,34	0,32	1521,16	0,32	1491,32	0,28	1491,32	0,28	1491,32	0,28	1491,32	0,28	1491,32

Μεταβολή Θερμοκρασίας-Υγρασίας



M.O.= Μέσος όρος
 Sn-1= Τυπική απόκλιση
 Σ.Μ.= (Sn-1/M.O.)*100%

Πίνακας 7: Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Α : CEM142,5N

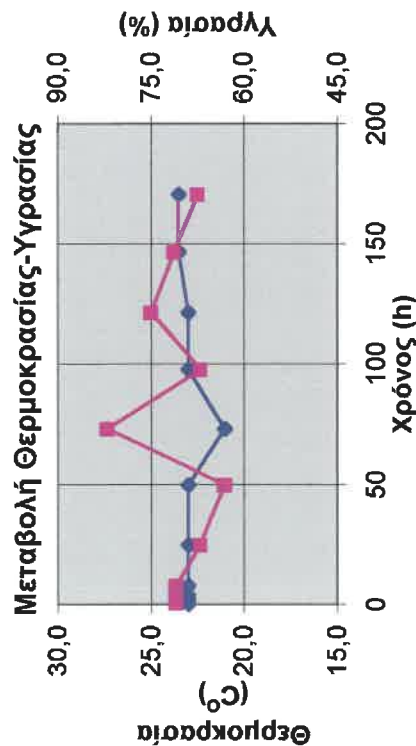
N/T=0,6

T=294,81kg/m³ N=197,53 kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 78 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ													
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ							ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ						
4	5		6		M.O		10		11		12		M.O
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής Σ.Μ.(%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής Σ.Μ.(%)
0,00	1436,53	0,00	1322,17	0,00	1431,94	0,00	1442,21	0,00	1437,66	0,00	1393,46	0,00	0,00
0,25	1438,18	0,11	1322,94	0,06	1432,62	0,05	1445,68	0,24	1441,29	0,25	1396,75	0,24	0,24
0,75	1439,43	0,20	1323,86	0,13	1433,27	0,09	1449,19	0,48	1444,33	0,46	1399,94	0,47	0,47
1,75	1440,70	0,29	1324,89	0,21	1434,00	0,14	1453,27	0,77	1447,70	0,70	1403,49	0,72	0,73
3,75	1442,03	0,38	1326,09	0,30	1434,80	0,20	1457,83	1,08	1451,23	0,94	1407,43	1,00	1,01
7,75	1443,47	0,48	1327,36	0,39	1435,61	0,26	1462,68	1,42	1455,05	1,21	1412,00	1,33	1,32
24,58	1446,22	0,67	1329,96	0,59	1437,09	0,36	1472,23	2,08	1462,88	1,75	1421,03	1,98	1,94
49,63	1448,58	0,84	1332,09	0,75	1438,25	0,44	1478,74	2,53	1467,94	2,11	1427,02	2,41	2,35
73,17	1450,30	0,96	1333,80	0,88	1439,20	0,51	1481,62	2,73	1470,18	2,26	1429,41	2,58	2,52
97,80	1451,80	1,06	1335,24	0,99	1440,03	0,56	1482,79	2,81	1471,07	2,32	1430,33	2,65	2,59
121,50	1453,18	1,16	1336,32	1,07	1440,70	0,61	1483,23	2,84	1471,39	2,35	1430,59	2,66	2,62
146,58	1454,26	1,23	1337,29	1,14	1441,35	0,66	1483,33	2,85	1471,48	2,35	1430,57	2,66	2,62
170,58	1455,16	1,30	1338,02	1,20	1441,86	0,69	1483,24	2,84	1471,41	2,35	1430,42	2,65	2,61

M.O.= Μέσος όρος
 Sn-1= Τυπική απόκλιση
 Σ.Μ.= (Sn-1/M.O.)*100%



Πίνακας 8: Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Β: CEMIII/B-M32,5N

N/T=0,6

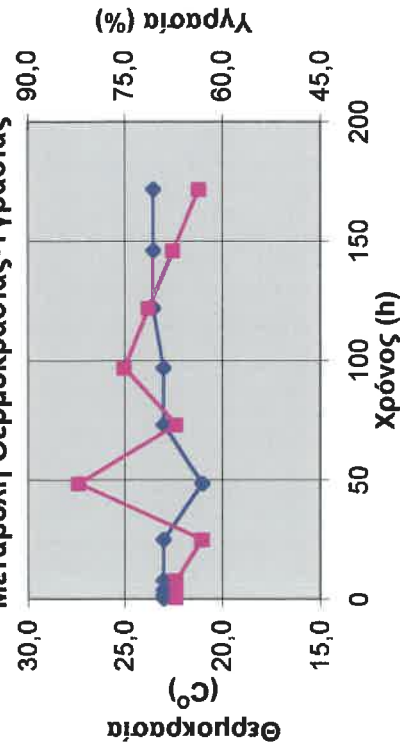
T=293,21kg/m³

N=196,45kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 78 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ														
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ							ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ							
4		5		6		M.O	Σ.Μ.(%)	10		11		12		M.O
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής
0,00	1291,96	0,00	1437,77	0,00	1436,84	0,00	0,00	1407,75	0,00	1421,69	0,00	1271,13	0,00	0,00
0,25	1293,69	0,13	1439,33	0,11	1439,37	0,18	0,14	1413,53	0,41	1427,43	0,40	1275,90	0,38	0,40
0,75	1295,18	0,25	1440,54	0,19	1440,95	0,29	0,24	1418,69	0,78	1432,41	0,75	1279,89	0,69	0,74
1,75	1296,57	0,36	1441,73	0,28	1442,37	0,38	0,34	1426,06	1,30	1439,95	1,28	1286,34	1,20	1,26
3,75	1298,00	0,47	1442,89	0,36	1443,74	0,48	0,43	1435,30	1,96	1449,77	1,98	1295,31	1,90	1,94
8,70	1299,80	0,61	1444,45	0,46	1445,44	0,60	0,56	1448,49	2,89	1463,68	2,95	1308,86	2,97	2,94
24,92	1302,66	0,83	1446,97	0,64	1448,19	0,79	0,75	1467,30	4,23	1484,22	4,40	1328,48	4,51	4,38
48,45	1304,95	1,01	1449,05	0,78	1450,49	0,95	0,91	1475,49	4,81	1492,71	5,00	1335,78	5,09	4,96
73,10	1306,59	1,13	1450,44	0,88	1452,23	1,07	1,03	1476,49	4,88	1493,67	5,06	1336,23	5,12	5,02
96,80	1307,84	1,23	1451,46	0,95	1453,43	1,15	1,11	1475,78	4,83	1493,01	5,02	1336,06	5,11	4,99
121,87	1308,94	1,31	1452,39	1,02	1454,52	1,23	1,19	1474,08	4,71	1491,76	4,93	1335,13	5,03	4,89
145,87	1309,86	1,39	1453,08	1,06	1455,38	1,29	1,25	1472,99	4,63	1490,78	4,86	1333,81	4,93	4,81
171,75	1310,50	1,44	1453,56	1,10	1456,07	1,34	1,29	1472,30	4,59	1489,83	4,79	1332,22	4,81	4,73

Μεταβολή Θερμοκρασίας-Υγρασίας



M.O.= Μέσος όρος
Sn-1= Τυπική απόκλιση
Σ.Μ.= (Sn-1/M.O.)*100%

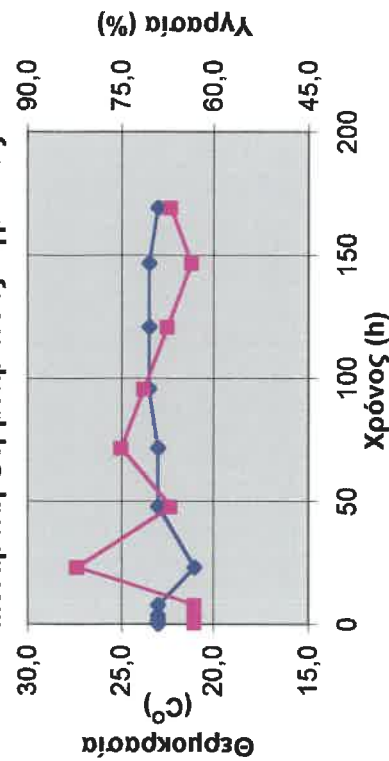
Πίνακας 9: Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Γ: CEMIII/A-M42,5N
N/T=0,6 T=294,29kg/m³ N=197,18kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 78 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ													
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ							ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ						
4		5		6		M.O	10		11		12		Σ.Μ.(%)
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής
0,00	1331,08	0,00	1431,61	0,00	1523,46	0,00	1430,53	0,00	1273,90	0,00	1281,55	0,00	0,00
0,25	1332,43	0,10	1432,40	0,06	1524,65	0,08	1434,26	0,26	1278,62	0,37	1285,12	0,28	0,30
0,75	1333,43	0,18	1433,04	0,10	1525,42	0,13	1437,63	0,50	1283,10	0,72	1288,31	0,53	0,58
1,75	1334,68	0,27	1433,88	0,16	1526,38	0,19	1442,58	0,84	1289,74	1,24	1293,16	0,91	1,00
3,75	1336,19	0,38	1434,96	0,23	1527,51	0,27	1448,39	1,25	1298,75	1,95	1299,81	1,42	1,54
7,75	1337,99	0,52	1436,39	0,33	1528,95	0,36	1455,36	1,74	1309,96	2,83	1307,36	2,01	2,19
23,17	1341,60	0,79	1439,21	0,53	1531,79	0,55	1469,14	2,70	1329,30	4,35	1321,21	3,09	3,38
47,70	1344,79	1,03	1441,69	0,70	1534,33	0,71	1475,84	3,17	1337,61	5,00	1326,45	3,50	3,89
71,62	1347,06	1,20	1443,94	0,86	1536,40	0,85	1477,82	3,31	1339,39	5,14	1328,23	3,64	4,03
95,65	1348,74	1,33	1445,63	0,98	1537,88	0,95	1478,34	3,34	1339,10	5,12	1328,33	3,65	4,04
120,65	1350,02	1,42	1446,89	1,07	1538,92	1,01	1478,34	3,34	1337,55	5,00	1328,05	3,63	3,99
146,53	1351,08	1,50	1447,88	1,14	1539,75	1,07	1478,09	3,32	1335,01	4,80	1327,52	3,59	3,90
169,30	1351,83	1,56	1448,61	1,19	1540,35	1,11	1477,75	3,30	1334,09	4,72	1327,14	3,56	3,86

Μεταβολή Θερμοκρασίας-Υγρασίας



M.O.= Μέσος όρος
Sn-1= Τυπική απόκλιση
Σ.Μ.= (Sn-1/M.O.)*100%

Πίνακας 10: Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Δ: CEMIII/A-M42,5N

N/T=0,4

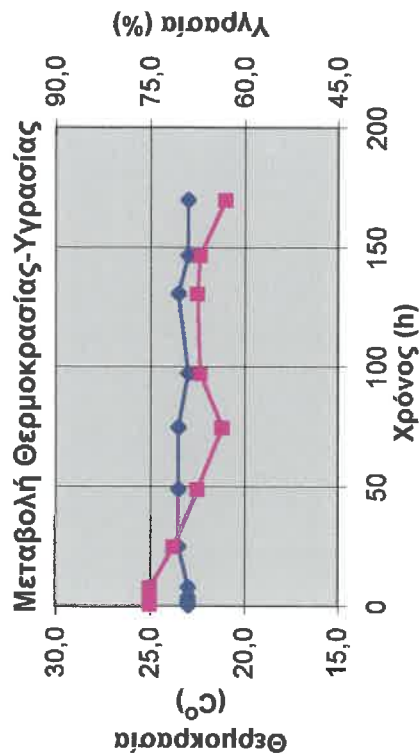
T=341,80kg/m³

N= 157,53kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 78 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ														
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ							ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ							
4		5		6		M.O	Σ.Μ.(%)	10		11		12		M.O Σ.Μ.(%)
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής
0,00	1494,93	0,00	1488,85	0,00	1532,29	0,00	0,00	1492,83	0,00	1326,11	0,00	1510,27	0,00	0,00
0,25	1495,18	0,02	1489,06	0,01	1532,58	0,02	0,02	1494,16	0,09	1327,43	0,10	1511,72	0,10	0,09
0,75	1495,35	0,03	1489,26	0,03	1532,83	0,04	0,03	1495,24	0,16	1328,32	0,17	1512,80	0,17	0,17
1,75	1495,60	0,04	1489,52	0,05	1533,12	0,05	0,05	1496,29	0,23	1329,21	0,23	1513,93	0,24	0,24
3,75	1495,97	0,07	1489,90	0,07	1533,57	0,08	0,07	1497,40	0,31	1330,12	0,30	1515,07	0,32	0,31
7,75	1496,43	0,10	1490,33	0,10	1534,06	0,12	0,11	1498,41	0,37	1330,93	0,36	1516,03	0,38	0,37
24,68	1497,40	0,17	1491,28	0,16	1535,09	0,18	0,17	1500,46	0,51	1332,35	0,47	1517,84	0,50	0,49
48,68	1498,23	0,22	1492,08	0,22	1535,88	0,23	0,22	1501,74	0,60	1333,22	0,54	1518,87	0,57	0,57
74,57	1498,70	0,25	1492,62	0,25	1536,39	0,27	0,26	1502,40	0,64	1333,71	0,57	1519,44	0,61	0,61
97,33	1499,01	0,27	1492,98	0,28	1536,72	0,29	0,28	1502,78	0,67	1333,91	0,59	1519,73	0,63	0,63
130,43	1499,41	0,30	1493,41	0,31	1537,21	0,32	0,31	1503,23	0,70	1334,21	0,61	1520,11	0,65	0,65
146,42	1499,54	0,31	1493,60	0,32	1537,38	0,33	0,32	1503,37	0,71	1334,35	0,62	1520,24	0,66	0,66
169,55	1499,76	0,32	1493,82	0,33	1537,60	0,35	0,33	1503,61	0,72	1334,53	0,63	1520,42	0,67	0,68

M.O.= Μέσος όρος
 Σn-1= Τυπική απόκλιση
 Σ.Μ.= (Σn-1/M.O.)*100%



Πίνακας 11: Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Ε: CEM142,5N

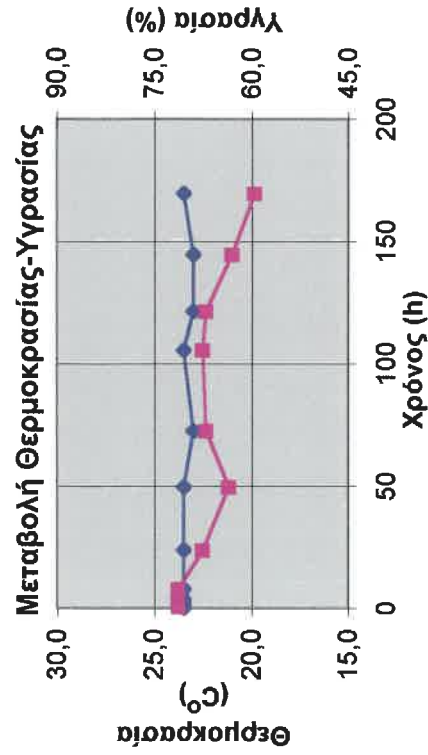
N/T=0,4

T=343,57kg/m³ N=158,34 kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 78 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ																			
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ										ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ									
4		5		6		M.O		Σ.Μ.(%)		10		11		12		M.O		Σ.Μ.(%)	
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)
0,00	1361,81	0,00	1356,64	0,00	1544,36	0,00	0,00			1339,29	0,00	1498,70	0,00	1365,46	0,00	0,00			
0,25	1362,11	0,02	1356,81	0,01	1544,59	0,01	0,02	30,00	0,04	1339,84	0,04	1498,98	0,02	1365,85	0,03	0,03			38,11
0,75	1362,35	0,04	1356,95	0,02	1544,74	0,02	0,03	31,81	0,08	1340,37	0,08	1499,24	0,04	1366,16	0,05	0,06			40,51
1,75	1362,68	0,06	1357,13	0,04	1544,98	0,04	0,05	32,12	0,13	1340,98	0,13	1499,54	0,06	1366,49	0,08	0,09			42,17
3,75	1363,06	0,09	1357,36	0,05	1545,26	0,06	0,07	31,03	0,17	1341,60	0,17	1499,89	0,08	1366,86	0,10	0,12			41,02
7,75	1363,56	0,13	1357,69	0,08	1545,66	0,08	0,10	28,71	0,23	1342,36	0,23	1500,38	0,11	1367,39	0,14	0,16			37,89
23,72	1364,56	0,20	1358,45	0,13	1546,48	0,14	0,16	24,43	0,34	1343,80	0,34	1501,55	0,19	1368,38	0,21	0,25			31,87
49,60	1365,33	0,26	1359,00	0,17	1547,06	0,17	0,20	23,98	0,41	1344,81	0,41	1502,30	0,24	1369,08	0,27	0,31			30,38
72,37	1365,75	0,29	1359,39	0,20	1547,40	0,20	0,23	22,55	0,45	1345,27	0,45	1502,76	0,27	1369,38	0,29	0,33			28,99
105,47	1366,21	0,32	1359,86	0,24	1547,79	0,22	0,26	20,87	0,49	1345,81	0,49	1503,24	0,30	1369,80	0,32	0,37			27,67
121,45	1366,37	0,33	1359,94	0,24	1547,96	0,23	0,27	20,73	0,50	1346,00	0,50	1503,45	0,32	1369,96	0,33	0,38			26,88
144,58	1366,65	0,36	1360,17	0,26	1548,14	0,24	0,29	20,89	0,52	1346,26	0,52	1503,68	0,33	1370,13	0,34	0,40			26,60
169,63	1366,81	0,37	1360,35	0,27	1548,29	0,25	0,30	20,22	0,54	1346,49	0,54	1503,84	0,34	1370,33	0,36	0,41			26,34

ΧΡΟΝΟΣ



M.O.= Μέσος όρος
Sn-1= Τυπική απόκλιση
Σ.Μ.= (Sn-1/M.O.)*100%

Πίνακας 12: Μεταβολή του βάρους των δοκιμών σε σχέση με τον χρόνο

Μίγμα Z: CEMII/B-M32,5N

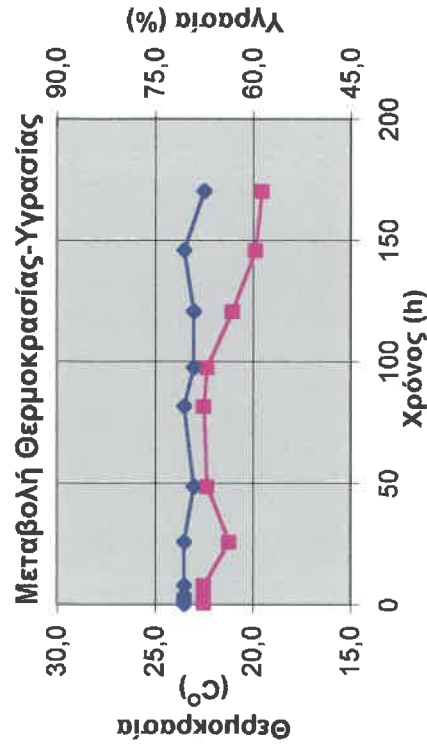
N/T=0,4

T=341,21kg/m³

N=157,25kg/m³

Δοκίμια ηλικίας 78 ημερών

ΔΟΚΙΜΙΑ														
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ							ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ							
4		5		6		M.O	Σ.Μ.(%)	10		11		12		Σ.Μ.(%)
Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής		Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Βάρος (g)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής
0,00	1399,64	0,00	1428,61	0,00	1549,12	0,00		1486,43	0,00	1496,96	0,00	1505,28	0,00	0,00
0,25	1399,83	0,01	1428,75	0,01	1549,29	0,01	16,87	1488,41	0,13	1498,74	0,12	1506,98	0,11	0,12
0,75	1400,06	0,03	1428,87	0,02	1549,51	0,03	24,27	1490,17	0,25	1500,40	0,23	1508,46	0,21	0,23
1,75	1400,28	0,05	1429,05	0,03	1549,77	0,04	19,65	1492,10	0,38	1502,40	0,36	1510,07	0,32	0,35
3,75	1400,61	0,07	1429,30	0,05	1550,11	0,06	18,03	1494,10	0,52	1504,58	0,51	1511,80	0,43	0,49
7,75	1401,02	0,10	1429,66	0,07	1550,58	0,09	15,11	1496,26	0,66	1507,18	0,68	1513,77	0,56	0,64
25,63	1401,96	0,17	1430,49	0,13	1551,50	0,15	11,52	1500,24	0,93	1512,27	1,02	1517,68	0,82	0,93
48,40	1402,68	0,22	1431,18	0,18	1552,17	0,20	9,43	1502,31	1,07	1515,12	1,21	1519,58	0,95	1,08
81,50	1403,38	0,27	1431,89	0,23	1552,98	0,25	7,57	1504,05	1,19	1517,43	1,37	1521,23	1,06	1,20
97,48	1403,64	0,29	1432,14	0,25	1553,24	0,27	7,27	1504,51	1,22	1518,04	1,41	1521,70	1,09	1,24
120,62	1403,93	0,31	1432,53	0,27	1553,60	0,29	5,54	1505,01	1,25	1518,69	1,45	1522,20	1,12	1,28
145,67	1404,16	0,32	1432,73	0,29	1553,81	0,30	5,70	1505,41	1,28	1519,17	1,48	1522,59	1,15	1,30
170,12	1404,36	0,34	1432,90	0,30	1553,98	0,31	5,90	1505,63	1,29	1519,46	1,50	1522,84	1,17	1,32



M.O.= Μέσος όρος
Sn-1= Τυπική απόκλιση
Σ.Μ.= (Sn-1/M.O.)*100%

Παράρτημα Β

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΡΡΗΞΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

ταχύτητα=0,60 KN/sec

Τσιμέντο CEMII42,5N με λόγο Ν/Τ=0,6

Θραύση δοκιμών σε 29 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμών στις 1/8/02		Υψος δοκιμών (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Mpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	1	2	3						
Νερό	1Α	32,51	52,40	52,00	53,00	52,47	117,60	3,35	3,16	0,25	8,01
	2Α	33,50	55,00	56,60	55,20	55,60	117,60	3,26			
	3Α	30,13	56,80	56,60	56,70	56,70	117,60	2,88			
Αέρας	7Α	19,42	54,30	54,20	54,70	54,40	117,60	1,93	2,05	0,31	15,26
	8Α	16,67	49,00	49,70	50,00	49,57	117,60	1,82			
	9Α	22,24	49,60	50,70	49,50	49,93	117,60	2,41			

Τσιμέντο CEMII/B-M32,5N με λόγο Ν/Τ=0,6

Θραύση δοκιμών σε 29 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμών στις 2/8/02		Υψος δοκιμών (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Mpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	1	2	3						
Νερό	1Β	24,76	54,10	55,00	54,40	54,50	117,60	2,46	2,53	0,07	2,91
	2Β	23,23	50,60	49,40	50,00	50,00	117,60	2,52			
	3Β	25,92	54,10	53,70	53,80	53,87	117,60	2,60			
Αέρας	7Β	19,30	54,90	54,20	54,70	54,60	117,60	1,91	1,92	0,07	3,40
	8Β	16,65	44,50	45,20	46,30	45,33	117,60	1,99			
	9Β	18,48	54,20	53,10	54,20	53,83	117,60	1,86			

Τσιμέντο CEMII/A-M42,5N με λόγο Ν/Τ=0,6

Θραύση δοκιμών σε 31 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμών στις 5/8/02		Υψος δοκιμών (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Mpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	1	2	3						
Νερό	1Γ	24,13	54,60	54,70	54,70	54,67	117,60	2,39	2,65	0,23	8,79
	2Γ	29,05	55,10	55,80	55,50	55,47	117,60	2,84			
	3Γ	27,39	53,00	54,60	55,30	54,30	117,60	2,73			
Αέρας	7Γ	17,67	49,60	48,60	50,20	49,47	117,60	1,93	2,16	0,24	10,88
	8Γ	21,68	55,10	54,90	53,80	54,60	117,60	2,15			
	9Γ	23,95	54,00	54,00	53,80	53,93	117,60	2,40			

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΡΡΗΞΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

ταχύτητα=0,60 KN/sec

Τσιμέντο CEMII/A-M42,5N με λόγο N/T=0,4

Θραύση δοκιμών σε 29 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμών στις 6/8/02		Υψος δοκιμών (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Mpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	1	2	3						
Νερό	1Δ	30,35	55,60	55,80	55,70	55,70	117,60	2,95	3,75	1,00	26,55
	2Δ	49,80	55,30	55,70	55,30	55,43	117,60	4,86			
	3Δ	31,95	50,10	49,80	51,30	50,40	117,60	3,43			
Αέρας	7Δ	31,34	49,20	49,80	50,20	49,73	117,60	3,41	3,25	0,15	4,51
	8Δ	28,56	49,20	48,80	50,20	49,40	117,60	3,13			
	9Δ	32,94	55,60	55,60	55,90	55,70	117,60	3,20			

Τσιμέντο CEMII42,5N με λόγο N/T=0,4

Θραύση δοκιμών σε 29 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμών στις 7/8/02		Υψος δοκιμών (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Mpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	1	2	3						
Νερό	1Ε	34,31	52,40	53,70	52,80	52,97	117,60	3,51	3,64	0,30	8,34
	2Ε	34,75	54,80	56,00	54,10	54,97	117,60	3,42			
	3Ε	40,22	53,80	55,30	54,80	54,63	117,60	3,99			
Αέρας	7Ε	31,40	55,30	55,80	55,90	55,67	117,60	3,05	3,30	0,21	6,41
	8Ε	34,01	53,80	54,20	54,50	54,17	117,60	3,40			
	9Ε	35,11	55,50	54,70	55,70	55,30	117,60	3,44			

Τσιμέντο CEMII/B-M32,5N με λόγο N/T=0,4

Θραύση δοκιμών σε 29 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμών στις 8/8/02		Υψος δοκιμών (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Mpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	1	2	3						
Νερό	1Ζ	40,62	55,70	57,00	56,60	56,43	117,60	3,90	4,13	0,21	5,16
	2Ζ	47,00	57,80	61,00	58,00	58,93	117,60	4,32			
	3Ζ	39,65	51,50	51,40	51,80	51,57	117,60	4,16			
Αέρας	7Ζ	22,93	49,30	49,50	51,90	50,23	117,60	2,47	2,80	0,30	10,58
	8Ζ	30,30	54,10	52,40	55,00	53,83	117,60	3,05			
	9Ζ	30,30	57,00	56,70	57,30	57,00	117,60	2,88			

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΡΡΗΞΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

ταχύτητα=0,60 KN/sec

Τσιμέντο CEMII42,5N με λόγο Ν/Τ=0,6

Θραύση δοκιμίων σε 99 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμίων στις 10/10/02		Υψος δοκιμίων (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Μpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	Μ.Ο	1	2	3					
Νερό	4A			55,50	55,50	55,50	117,60				
	5A			51,10	51,85	51,30	117,60				
	6A			55,25	55,20	55,45	117,60				
	10A			57,10	56,85	56,70	117,60				
Αέρας	11A			56,00	55,90	56,10	117,60				
	12A			54,40	54,60	54,50	117,60				

Τσιμέντο CEMII/B-M32,5N με λόγο Ν/Τ=0,6

Θραύση δοκιμίων σε 98 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμίων στις 10/10/02		Υψος δοκιμίων (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Μpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	Μ.Ο	1	2	3					
Νερό	4B	26,80		50,00	49,10	49,20	117,60	2,93	49,43		
	5B	26,90	30,80	56,00	55,40	55,40	117,60	2,62	55,60	0,59	19,05
	6B	38,70		55,40	55,85	55,70	117,60	3,76	55,65		
	10B	20,60		55,70	55,20	55,70	117,60	2,01	55,53		
Αέρας	11B	18,90	19,43	57,90	56,60	56,80	117,60	1,79	57,10	0,13	6,63
	12B	18,80		50,60	50,10	50,40	117,60	2,02	50,37		

Τσιμέντο CEMII/A-M42,5N με λόγο Ν/Τ=0,6

Θραύση δοκιμίων σε 97 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμίων στις 10/10/02		Υψος δοκιμίων (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Μpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	Μ.Ο	1	2	3					
Νερό	4Γ	33,40		51,30	50,30	50,40	117,60	3,57	50,67		
	5Γ	39,60	34,97	53,70	55,20	55,90	117,60	3,90	54,93	0,48	13,79
	6Γ	31,90		58,30	58,10	58,80	117,60	2,96	58,40		
	10Γ	15,90		56,00	54,20	55,00	117,60	1,56	55,07		
Αέρας	11Γ	17,30	15,47	49,80	49,90	49,20	117,60	1,89	49,63	0,23	14,25
	12Γ	13,20		50,30	50,20	48,70	117,60	1,44	49,73		

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΡΡΗΞΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

ταχύτητα=0,60 KN/sec

Τοιμέντο CEMII/A-M42,5N με λόγο N/T=0,4

Θραύση δοκιμών σε 94 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμών στις 10/10/02		Υψος δοκιμών (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (ΜΡα)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	1	2	3						
Νερό	4Δ	40,80	55,00	55,90	55,80	55,57	117,60	3,97			
	5Δ	55,30	55,80	55,60	54,60	55,33	117,60	5,41	4,81	0,75	15,53
	6Δ	52,80	56,00	56,50	57,20	56,57	117,60	5,05			
Αέρας	10Δ	26,60	55,20	55,30	56,10	55,53	117,60	2,59			
	11Δ	18,70	49,90	49,50	49,60	49,67	117,60	2,04	2,37	0,29	12,28
	12Δ	26,00	57,50	57,20	56,60	57,10	117,60	2,46			

Τοιμέντο CEMII/A-M42,5N με λόγο N/T=0,4

Θραύση δοκιμών σε 93 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμών στις 10/10/02		Υψος δοκιμών (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Μpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	1	2	3						
Νερό	4E	52,40	51,40	49,00	49,90	50,10	117,60	5,66		1,13	24,99
	5E	41,40	49,50	50,00	50,00	49,83	117,60	4,50	4,52		
	6E	35,60	56,30	57,60	56,00	56,63	117,60	3,40			
Αέρας	10E	25,70	49,20	48,50	49,20	48,97	117,60	2,84		0,44	13,18
	11E	37,20	55,50	55,10	55,30	55,30	117,60	3,64	3,35		
	12E	32,90	50,00	49,70	50,20	49,97	117,60	3,56			

Τοιμέντο CEMII/B-M32,5N με λόγο N/T=0,4

Θραύση δοκιμών σε 92 ημέρες από την παρασκευή τους

Συντήρηση	Θραύση δοκιμών στις 10/10/02		Υψος δοκιμών (mm)			Μ.Ο	διάμετρος (mm)	αντοχή (Mpa)	Μ.Ο	Sn-1	Σ.Μ%
	A/A	φορτίο (KN)	1	2	3						
Νερό	4Z	41,80	50,80	51,70	51,00	51,17	117,60	4,42			
	5Z	46,10	52,90	52,40	51,90	52,40	117,60	4,76		0,19	4,15
	6Z	47,00	56,80	57,60	57,10	57,17	117,60	4,45			
Αέρας	10Z	23,60	57,30	55,90	57,20	56,80	117,60	2,25			
	11Z	26,00	57,40	56,10	56,60	56,70	117,60	2,48		0,14	5,81
	12Z	26,70	58,40	57,00	58,00	57,80	117,60	2,50			

Εύρεση της μέσης διαμέτρου των δοκιμίων

Μίγμα	Διάμετρος των δοκιμίων (cm)			Μ.Ο.
	1	2	3	
4Α	11,76	11,86	11,76	11,79
5Α	11,89	11,85	11,72	11,82
6Α	11,77	11,65	11,77	11,73
10Α	11,75	11,72	11,91	11,79
11Α	11,82	11,73	11,83	11,79
12Α	11,64	11,81	11,76	11,74
				11,78

Μίγμα	Διάμετρος των δοκιμίων (cm)			Μ.Ο.
	1	2	3	
4Β	11,67	11,83	11,71	11,74
5Β	11,69	11,70	11,78	11,72
6Β	11,78	11,80	11,71	11,76
10Β	11,80	11,74	11,65	11,73
11Β	11,73	11,61	11,80	11,71
12Β	11,77	11,70	11,77	11,75
				11,74

Μίγμα	Διάμετρος των δοκιμίων (cm)			Μ.Ο.
	1	2	3	
4Γ	11,81	11,73	11,84	11,79
5Γ	11,89	11,69	11,86	11,81
6Γ	11,54	11,82	11,57	11,64
10Γ	11,84	11,78	11,66	11,76
11Γ	11,79	11,76	11,80	11,78
12Γ	11,78	11,74	11,74	11,75
				11,76

Μέση διάμετρος δοκιμίων : 11,76 cm

Μίγμα	Διάμετρος των δοκιμίων (cm)			Μ.Ο.
	1	2	3	
4Δ	11,70	11,90	11,69	11,76
5Δ	11,68	11,77	11,69	11,71
6Δ	11,70	11,86	11,74	11,77
10Δ	11,81	11,74	11,84	11,80
11Δ	11,76	11,76	11,74	11,75
12Δ	11,63	11,82	11,70	11,72
				11,75

Μίγμα	Διάμετρος των δοκιμίων (cm)			Μ.Ο.
	1	2	3	
4Ε	11,79	11,80	11,72	11,77
5Ε	11,74	11,88	11,70	11,77
6Ε	11,80	11,68	11,78	11,75
10Ε	11,83	11,73	11,82	11,79
11Ε	11,79	11,79	11,82	11,80
12Ε	11,74	11,82	11,75	11,77
				11,78

Μίγμα	Διάμετρος των δοκιμίων (cm)			Μ.Ο.
	1	2	3	
4Ζ	11,82	11,84	11,79	11,82
5Ζ	11,81	11,73	11,83	11,79
6Ζ	11,74	11,78	11,89	11,80
10Ζ	11,77	11,64	11,85	11,75
11Ζ	11,82	11,76	11,83	11,80
12Ζ	11,69	11,82	11,66	11,72
				11,78

Παράρτημα Γ

**ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΤΗΣ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟ ΝΕΡΟ**

Μίγμα	Πυκνότητα μίγματος (kg/m ³)	Δοκίμια	Πριν την συντήρηση (g)	Μετά την συντήρηση (g)	Μετά τον φούρνο (g)	Μετά την ισορροπία (g)	Μετά την ρητίνη (g)
Α	2,42	1	-	1431,40	1380,01	1381,02	1383,23
		2	-	1510,81	1460,72	1461,76	1463,91
		3	-	1522,03	1471,66	1472,75	1474,95
		4	-	1481,44	1432,66	1432,77	1436,53
		5	-	1364,67	1318,71	1318,77	1322,17
		6	-	1475,89	1428,38	1428,48	1431,94
Β	2,40	1	-	1473,50	1412,48	1412,57	1416,64
		2	-	1351,50	1293,17	1293,26	1297,32
		3	-	1441,00	1380,87	1380,95	1385,29
		4	-	1332,82	1288,82	1288,78	1291,96
		5	-	1482,50	1434,04	1433,99	1437,77
		6	-	1481,99	1433,03	1432,97	1436,84
Γ	2,40	1	-	1465,07	1412,34	1412,37	1417,38
		2	-	1496,58	1443,11	1443,07	1448,35
		3	-	1481,88	1429,17	1429,11	1434,29
		4	-	1371,23	1327,43	1327,41	1331,08
		5	-	1475,08	1428,64	1428,48	1431,61
		6	-	1567,90	1519,51	1519,46	1523,46
Δ	2,44	1	-	1547,18	1515,81	1515,87	1519,24
		2	-	1559,56	1527,33	1527,41	1531,24
		3	-	1405,57	1373,55	1373,58	1377,16
		4	-	1517,35	1491,09	1491,15	1494,93
		5	-	1512,09	1485,16	1485,23	1488,85
		6	-	1556,32	1528,58	1528,64	1532,29
Ε	2,46	1	-	1482,68	1455,46	1455,63	1458,69
		2	-	1542,69	1512,56	1512,73	1516,26
		3	-	1511,74	1484,24	1484,36	1487,23
		4	-	1382,72	1358,13	1358,18	1361,81
		5	-	1378,44	1352,08	1352,12	1356,64
		6	-	1564,97	1539,92	1539,96	1544,36
Ζ	2,42	1	-	1558,60	1522,70	1522,81	1527,02
		2	-	1635,81	1600,85	1600,92	1605,80
		3	-	1420,03	1384,37	1384,22	1387,82
		4	-	1423,79	1396,59	1396,65	1399,64
		5	-	1452,18	1425,10	1425,16	1428,61
		6	-	1575,33	1545,22	1545,29	1549,12

**ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΤΗΣ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ**

Μίγμα	Πυκνότητα μίγματος (kg/m ³)	Δοκίμια	Πριν την συντήρηση (g)	Μετά την συντήρηση (g)	Μετά τον φούρνο (g)	Μετά την ισορροπία (g)	Μετά την ρητίνη (g)
Α	2,42	7	1467,00	1414,70	1402,54	1403,75	1407,59
		8	1349,40	1304,13	1292,85	1294,33	1297,75
		9	1348,60	1300,63	1288,83	1289,99	1292,88
		10	1497,60	1445,49	1435,35	1435,64	1442,21
		11	1490,70	1440,38	1430,72	1430,98	1437,66
		12	1442,80	1397,13	1387,46	1387,74	1393,46
Β	2,40	7	1458,09	1387,87	1377,39	1377,63	1383,68
		8	1211,61	1150,04	1142,11	1142,25	1147,35
		9	1436,97	1367,24	1357,25	1357,43	1364,37
		10	1473,31	1409,33	1400,09	1400,28	1407,75
		11	1489,16	1423,79	1413,88	1414,03	1421,69
		12	1330,02	1273,22	1264,22	1264,39	1271,13
Γ	2,40	7	-	1270,61	1261,32	1261,49	1269,26
		8	-	1383,61	1372,36	1372,50	1380,81
		9	-	1380,04	1369,37	1369,54	1377,65
		10	-	1432,01	1422,65	1422,80	1430,53
		11	-	1276,56	1267,17	1267,30	1273,90
		12	-	1283,43	1274,48	1274,61	1281,55
Δ	2,44	7	1360,60	1331,70	1322,63	1322,74	1327,62
		8	1370,80	1341,86	1332,89	1332,97	1337,57
		9	1521,62	1492,50	1483,26	1483,37	1488,47
		10	1530,16	1495,65	1487,87	1488,00	1492,83
		11	1361,07	1328,30	1321,30	1321,46	1326,11
		12	1546,19	1511,96	1504,53	1504,67	1510,27
Ε	2,46	7	1548,98	1520,35	1511,31	1511,59	1515,98
		8	1516,54	1487,84	1479,53	1479,81	1484,29
		9	1529,55	1497,06	1487,73	1488,02	1493,71
		10	1367,93	1341,37	1334,32	1334,46	1339,29
		11	1529,48	1501,11	1493,59	1493,75	1498,70
		12	1393,55	1366,98	1360,16	1360,28	1365,46
Ζ	2,42	7	1398,03	1354,19	1345,54	1345,77	1351,75
		8	1475,16	1429,91	1420,94	1421,05	1426,59
		9	1565,29	1516,52	1506,00	1506,24	1512,01
		10	1531,29	1488,52	1480,69	1480,87	1486,43
		11	1544,49	1500,42	1491,50	1491,65	1496,96
		12	1552,16	1508,12	1499,64	1499,80	1505,28

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Χ.Μ.Οικονόμου, "Τεχνολογία του σκυροδέματος"
Εκδόσεις Βιβλιοοικοδομική, Αθήνα 1978
2. Θ.Π.Τάσιος, Κ.Αλιγιάκη, "Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου σκυροδέματος"
Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα 1993
3. Πτυχιακή εργασία "Συμβολή στη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος"
Αθήνα, 1998
4. Πτυχιακή εργασία "Επιρροή της ποσότητας του τσιμέντου και του νερού στην υδαταπορρόφηση του σκυροδέματος"
Αθήνα, Μάρτιος 2001
5. Αφιέρωμα : "Ο νέος κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος '97"
6. S.Kelham "A water absorption test for concrete"
Magazine of concrete Research :Vol.40,No.143:June 1988
7. C.Hall "Water sorptivity of mortars and concretes: a review"
Magazine of concrete Research ,1989,41,No.147,June,51-61
8. EUROPEAN STANDARD EN 1097-6, September 2000.
Tests for mechanical and physical properties of aggregates-Part 6:
Determination of particle density and water absorption.
9. A.M.Neville , "Properties of concrete"
Fourth Edition
10. J.H.Bungey, "Testing of concrete in structures", 2nd edition
Surrey University Press, USA: Chapman and Hall, New York
11. ΕΛΟΤ EN 197-1
12. "Προχωρημένη Τεχνολογία Σκυροδέματος"
Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος Δ.Π.Μ.Σ "Δομικός Σχεδιασμός και ανάλυση κατασκευών", Κόλλιας
13. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Αθήνα, 1999
14. J.D.Dewar and R.Anderson, "Manual of ready-mixed concrete"
Second edition
15. National observatory of Athens, "Climatological bulletin"
Institute of meteorology and physics of the atmospheric environment
Athens, 1994

16. M.A.Wilson, M.A.Carter and W.D.Hoff, "British Standard and RILEM water absorption tests: A critical evaluation
Materials and Structures
17. M.G.Alexander and J.R.Mackechnie, "Discussion of 'A water sorptivity test for water and concrete'
Materials and Structures
18. Stefan Jacobsen and Lars-Ivar Aarseth, "Effect of wind on drying from wet porous building materials surfaces- A simple model in steady state"
Materials and Structures