

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ ΚΑΙ
ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ Ν/Τ ΣΤΗΝ ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Αναπληρωτής καθηγητής Στέλιος Κόλιας

ΚΟΥΦΟΓΙΑΝΝΗ ΦΩΤΕΙΝΗ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2000

Με ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον Αναπληρωτή καθηγητή κύριο Στέλιο Κόλια για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές του. Τα εύστοχα σχόλια, η συνεχής ενθάρρυνση και υποστήριξη υπήρξαν πολύτιμα για την έρευνα, τη συγγραφή και την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Ένα εξίσου μεγάλο ευχαριστώ αναλογεί στον κύριο Κώστα Γεωργίου, ο οποίος γενναιόδωρα μου προσέφερε τη βοήθεια του κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έχει αρχίσει να καταλαμβάνει ένα σημαντικό τμήμα της γενικότερης έρευνας γύρω από το σκυρόδεμα. Μέχρι πρότινος ο έλεγχος της αντοχής ήταν πρωταρχικής σημασίας. Όμως η ανθεκτικότητα είναι εξίσου σημαντική και πρέπει να ελέγχεται ξεχωριστά, αφού η υψηλή αντοχή δεν εξασφαλίζει πάντοτε και μεγάλη ανθεκτικότητα (ιδίως όταν το σκυρόδεμα βρίσκεται σε διαβρωτικό περιβάλλον).

Η διερεύνηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος είναι αρκετά πολύπλοκη διότι παρεμβαίνουν πάρα πολλοί παράγοντες που την επηρεάζουν (περιβάλλον, μέθοδοι κατασκευής και συντήρησης, μηχανισμός διείδυσης στο σκυρόδεμα των διαβρωτικών παραγόντων). Ο σπουδαιότερος παράγων είναι η διαπερατότητα του σκυροδέματος και μία μέθοδος διερεύνησης της είναι η δοκιμή τριχοειδούς προσρόφησης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία με δύο διαφορετικές πρότυπες μεθόδους δοκιμής.

Αρχικά εφαρμόστηκε το πρόσφατο σχέδιο πρότυπης δοκιμής της RILEM. Σύμφωνα με τη δοκιμή αυτή, υπολογίστηκε η απαιτούμενη απώλεια βάρους για κάθε δοκίμιο, έτσι ώστε να βρίσκονται σε υγρασιακή ισορροπία σε περιβάλλον με υγρασία 75%. Κατόπιν τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στο φούρνο στους 50°C για να φτάσουν στην απαιτούμενη αυτή ισορροπία. Τέλος μετρήθηκε η τριχοειδής απορρόφηση του νερού από τα δοκίμια.

Μετά το τέλος των παραπάνω πειραμάτων, εφαρμόστηκε και μία παλιότερη μέθοδος προσδιορισμού της διαπερατότητας. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν ξανά στο φούρνο στους 50°C μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος τους, και μετά μετρήθηκε η υδατοαπορρόφηση. Η εφαρμογή της δεύτερης μεθόδου έγινε κυρίως για να ελεγχθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μέθοδο της RILEM, αφού αυτή είναι καινούργια και δεν είναι ακόμα γνωστή η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα της.

Η εργασία είναι διαχωρισμένη σε δύο τμήματα:

- Το θεωρητικό μέρος, στο οποίο αναπτύσσονται οι βασικές αρχές της τεχνολογίας του σκυροδέματος. Περιλαμβάνονται επίσης στοιχεία για

την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος, καθώς και τη διάβρωση του οπλισμού

- Το πειραματικό μέρος, το οποίο αποτελεί το κύριο τμήμα της εργασίας. Σ' αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα πειράματα που έγιναν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Περιλαμβάνονται επίσης ο σχολιασμός και η ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων εξήχθησαν συμπεράσματα για την επίδραση της ποσότητας του τσιμεντοπολτού και του λόγου N/T στην τριχοειδή απορρόφηση του νερού και κατ' επέκταση στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1.1	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	1
1.1.1	Συστατικά σκυροδέματος	1
1.2	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	1
1.2.1	Συστατικά τσιμέντου	2
1.2.2	Τύποι τσιμέντου	3
1.2.2.1	Κατηγορίες αντοχής τσιμέντων	3
1.2.3	Ενυδάτωση – πήξη τσιμέντου	4
1.2.3.1	Ενυδάτωση	4
1.2.3.2	Πήξη	5
1.2.4	Χαρακτηριστικές ιδιότητες των τσιμέντων	5
1.3	ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	6
1.3.1	Ιδιότητες αδρανών	6
1.3.2	Κοκκομετρική διαβάθμιση	7
1.3.3	Μορφή και μέγεθος των κόκκων	8
1.4	ΝΕΡΟ	9
1.5	ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	10
1.5.1	Επιβραδυντές	11
1.5.2	Επιταχυντές	12
1.5.3	Μειωτές νερού και ρυθμιστές πήξεως Ρευστοποιητές...	12
1.5.4	Αερακτικά	14
1.6	ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	14
1.6.1	Αντοχή	16
1.6.2	Εργασιμότητα	16
1.6.3	Αναλογίες αδρανών	17
1.6.4	Μέγιστος κόκκος	18
1.6.5	Ποσότητα τσιμέντου	18
1.6.6	Τεχνική της μελέτης σύνθεσης	18

2. ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1	ΑΝΤΟΧΗ	20
2.1.1	Ορισμοί	20
2.2	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΘΡΑΥΣΕΩΣ	21
2.3	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	22
2.4	ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	23
2.5	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ..	23
2.5.1	Επιρροή των συστατικών του σκυροδέματος	25
2.5.1.1	Τσιμέντο	25
2.5.1.2	Νερό	26
2.5.1.3	Αδρανή	26
2.5.1.4	Πρόσθετα	27
2.5.2	Επιρροή των μεθόδων παρασκευής	27
2.5.3	Επιρροή της συντήρησης	28
2.5.4	Επιρροή των συνθηκών δοκιμής	29
2.5.4.1	Μέγεθος και σχήμα των δοκιμών	29
2.5.4.2	Περιεχόμενη υγρασία και θερμοκρασία δοκιμίου	29
2.5.4.3	Μέθοδος φόρτισης	30

3.	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	
3.1	ΟΡΙΣΜΟΣ	31
3.2	ΑΙΤΙΕΣ ΑΝΕΠΑΡΚΟΥΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	32
3.3	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	33
3.3.1	Διαπερατότητα	33
3.3.1.1	Συντελεστής διαπερατότητας	33
3.3.1.2	Επιρροή του πορώδους	34
3.3.1.3	Επιρροή του λόγου N/T	35
3.3.1.4	Διάχυση	36
3.3.1.5	Απορρόφηση	36
3.4	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ	37
3.4.1	Επίδραση θεικών αλάτων	37
3.4.2	Επίδραση οξέων	38
3.4.3	Εξαλάτωση	40
3.4.4	Επίδραση του θαλασσίου ύδατος	40
3.5	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ	42
3.5.1	Μηχανική φθορά σκυροδέματος	42
3.5.1.1	Απότριψη	42
3.5.1.2	Υδροφθορά σκυροδέματος	43
3.5.1.3	Σπηλαίωση	44
3.5.2	Επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων	44
3.5.2.1	Επίδραση παγετού	44
3.5.2.2	Επίδραση αντιπαγωτικών αλάτων	46
4.	ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	
4.1	ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	48
4.2	ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ	49
4.2.1	Παράγοντες που επηρεάζουν την ενανθράκωση	49
4.2.2	Βάθος ενανθράκωσης	50
4.3	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ	51
4.4	ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	52
5.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ	
5.1	ΣΚΟΠΟΣ	54
5.2	ΜΙΓΜΑΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	54
5.3	ΥΛΙΚΑ	61
5.4	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	61
5.4.1	Παρασκευή δοκιμίων	61
5.4.2	Συντήρηση δοκιμίων	62
5.5	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	62
5.5.1	Προεπεξεργασία δοκιμίων	62
5.5.1.1	Προσδιορισμός της υγρασίας ισορροπίας	62
5.5.1.2	Προξήρανση	68
5.5.1.3	Φάση ανακατανομής υγρασίας	68
5.5.2	Τριχοειδής απορρόφηση του νερού	68
5.6	Πρόσθετα πειράματα	70

6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	71
6.1.1	Απώλεια βάρους	71
6.1.2	Προεπεξεργασία δοκιμίων	71
6.1.2.1	Μετρήσεις απώλειας βάρους για τον προσδιορισμό του W_{75}	71
6.1.2.2	Υπολογισμός της απαιτούμενης απώλειας βάρους Δm	71
6.1.2.3	Προξήρανση	72
6.1.3	Υδατοαπορρόφηση. Προετοιμασία των δοκιμίων σύμφωνα με τη μέθοδο RILEM TC-116 PCD	72
6.1.4	Πρόσθετα πειράματα υδατοαπορρόφησης. Προετοιμασία δοκιμίων με ξήρανση στους 50°C μέχρι σταθερού βάρους	72
6.2	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	73
6.2.1	Προξήρανση	73
6.2.2	Υδατοαπορρόφηση	73
6.2.2.1	Επίδραση του λόγου N/T	74
6.2.2.2	Επίδραση της ποσότητας του τσιμεντοπολτού	75
6.2.3	Πρόσθετα πειράματα υδατοαπορρόφησης	79
6.2.4	Μεταβολή της απορρόφησης με το λόγο N/T	81
6.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	83
6.4	ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	84

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1.1 Σκυρόδεμα

Σκυρόδεμα ονομάζεται το μίγμα από τσιμέντο, άμμο, αδρανή και νερό αναμίξεως. Το μίγμα των ξερών υλικών με την προσθήκη νερού αποκτά συνοχή, πλαστικότητα και με την πάροδο του χρόνου σημαντικές μηχανικές αντοχές. Μετά την σκλήρυνση του το σκυρόδεμα διατηρεί το σχήμα και τη μορφή του γι'αυτό έχει γίνει απαραίτητο στις κατασκευές.

Η κατάταξη του σκυροδέματος σε διάφορες κατηγορίες είναι δυνατόν να γίνει με διάφορα κριτήρια όπως : το είδος των κονιών ή των αδρανών που χρησιμοποιούνται, το χρόνο σκλήρυνσης καθώς και την ποσότητα του νερού αναμίξεως. Επειδή η κατάταξη με ένα από τα παραπάνω κριτήρια δεν μπορεί να δώσει αποτελέσματα που να έχουν γενική χρήση, έχει θεσπιστεί από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος το κριτήριο της αντοχής σε θραύση. Χρησιμοποιούνται κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια τα οποία θραύονται στις 28 ημέρες από την παρασκευή τους. [9]

1.1.1 Συστατικά σκυροδέματος

Τα κύρια συστατικά του σκυροδέματος είναι :

- το τσιμέντο
- τα αδρανή και
- το νερό

Σε ορισμένες περιπτώσεις προστίθενται στα συστατικά του σκυροδέματος κάποιες χημικές ουσίες, που τροποποιούν το μίγμα και ονομάζονται πρόσθετα σκυροδέματος.

1.2 Τσιμέντο

Το τσιμέντο είναι βιομηχανικό προϊόν που παράγεται από την όπτηση ασβεστόλιθου και αργίλου. Είναι το υλικό που συνδέει τα αδρανή με το νερό και αναπτύσσει αντοχές ώστε να δημιουργηθεί το σκυρόδεμα.

1.2.1 Συστατικά τσιμέντου

Η χημική σύνθεση του τσιμέντου δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από τα πετρώματα που χρησιμοποιούνται, τον τρόπο παραγωγής καθώς και από το χρόνο και τη θερμοκρασία σπτήσεως. Στο τσιμέντο περιέχονται διάφορες χημικές ενώσεις οι οποίες συνίστανται από οξείδια που προσδιορίζονται και εκφράζονται με εκατοστιαία αναλογία στους διάφορους τύπους τσιμέντων. Στον πίνακα 1 φαίνεται η αναλογία των οξειδίων σε τέσσερις βασικούς τύπους τσιμέντων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Χημικά συστατικά διαφόρων τύπων τσιμέντων σε οξείδια με την % αναλογία του βάρους τους. [6]

Τύποι Τσιμέντου	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	SO ₃
Τσιμ. Πόρτλαντ	61-69	18-24	4-8	1-8	0-0,5	0,5-0,4	1-3,5
Σιδηρικό Τσιμέντο	52-66	19-26	4-10	1-4	0-0,5	0,5-5	1-4
Τσιμ. Υψικαμίνου	43-66	21-30	6-14	0,5-3	0,1-2,5	1-8,5	1-4,5
Ποζολανικό τσιμ.	43-58	20-22	6-9	2,5-3,5	0,1-0,3	1-2	2-3

Οι κυριότερες ενώσεις του τσιμέντου Portland είναι : [1]

- Το πυριτικό τριασβέστιο C₃S σε ποσοστό 54% κ.β
- Το πυριτικό διασβέστιο C₂S σε ποσοστό περίπου 17% κ.β
- Το αργιλικό τριασβέστιο C₃A σε ποσοστό 19% κ.β
- Το αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο C₄AF σε ποσοστό 9% κ.β

Η αναλογία των παραπάνω συστατικών έχει επίδραση στην ταχύτητα ανάπτυξης της αντοχής και στην ποσότητα θερμότητας που εκλύεται κατά τη διάρκεια της χημικής αντίδρασης. Δεν έχει όμως τόσο μεγάλη σημασία στην τελική τιμή της αντοχής.

Δευτερεύουσες ενώσεις που περιέχονται στο τσιμέντο είναι :

- Το οξείδιο του μαγνησίου MgO, που δεν πρέπει να ξεπερνά το 5%
- Η γύψος CaSO₄
- Αλκάλια K₂O και Na₂O

1.2.2 Τύποι τσιμέντου

Το τσιμέντο ανάλογα με τη σύνθεση, το βαθμό αλέσεως και τα πρόσθετα υλικά κατατάσσεται σε διάφορους τύπους και κατηγορίες αντοχής. [1]

Τύπος I : Τσιμέντο Πόρτλαντ

Ονομάζεται το τσιμέντο που προέρχεται από άλεση του κλίνκερ με τις ελάχιστες αναγκαίες προσθήκες. Οι προσθήκες αυτές είναι : γύψος όση απαιτείται για τη ρύθμιση της πήξης (συνήθως 2-3%) και φίλλερ ως 3%κ.β.

Τύπος II : τσιμέντο Πόρτλαντ με Ποζολάνες

Ονομάζεται το τσιμέντο που περιέχει εκτός από τα προηγούμενα υλικά ποζολάνη σε ποσοστό 20% κ.β.

Το τσιμέντο με ποσοστό 10% ποζολάνης ονομάζεται «Τσιμέντο Πόρτλαντ Ελληνικού Τύπου».

Τύπος III : Ποζολανικά Τσιμέντα Πόρτλαντ

Τα ποζολανικά τσιμέντα περιέχουν ποζολάνη σε ποσοστό 20 – 40% κ.β. Παρουσιάζουν μικρότερη θερμότητα ενυδάτωσης και ανθεκτικότητα σε διαβρωτικά μέσα. Αυτά τα τσιμέντα πρέπει να ικανοποιούν τη δοκιμή ποζολανικότητας.

Τύπος IV : Τσιμέντα Πόρτλαντ ανθεκτικά στα θειικά άλατα

Τα τσιμέντα αυτού του τύπου δεν έχουν προσθήκες αλλά το αργιλικό τριασβέστιο C_3A περιορίζεται σ'ένα ποσοστό κάτω από 5% ενώ στον τύπο I φτάνει ως 10 – 12 %

1.2.2.1 Κατηγορίες αντοχής τσιμέντων

Τα τσιμέντα από άποψη αντοχής κατατάσσονται στις κατηγορίες

35 , 45 , 55

Οι αριθμοί εκφράζουν την αντοχή των τσιμέντων σε MPa όπως προσδιορίζεται από τον Κανονισμό.

1.2.3 Ενυδάτωση – Πήξη Τσιμέντου

1.2.3.1 Ενυδάτωση

Ενυδάτωση ονομάζεται η χημική διαδικασία κατά την οποία το τσιμέντο ενώνεται με το νερό έπειτα από μια σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων. Το φαινόμενο της ενυδάτωσης αρχίζει αμέσως μετά την ανάμιξη του νερού με το τσιμέντο και συνεχίζεται για χρόνια. Κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό και σχηματίζουν διάφορες κολλοειδών διαστάσεων κυρίως άμορφες, ενώσεις. Ο όγκος των προϊόντων της αντίδρασης ελαττώνεται κατά το $\frac{1}{4}$ περίπου του αρχικού όγκου του νερού. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται συστολή ενυδάτωσης και είναι διαφορετική για κάθε σκυρόδεμα. Εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα του τσιμέντου, αφού από αυτούς τους παράγοντες εξαρτάται και η ποσότητα του νερού που χρειάζεται, καθώς και από το λόγο N/T. Όσο περισσότερο νερό υπάρχει τόσο περισσότερο τσιμέντο δεσμεύεται, ενώ αν η ποσότητα του νερού δεν είναι επαρκής μπορεί ορισμένη ποσότητα τσιμέντου να μείνει αδρανής.

Δύο πολύ σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να είναι γνωστοί είναι η θερμότητα ενυδάτωσης και η ταχύτητα αντίδρασης. Η θερμότητα ενυδάτωσης άλλες φορές είναι υποβοηθητική (π.χ. στις σκυροδετήσεις το χειμώνα σε χαμηλές θερμοκρασίες, γιατί με τα κατάλληλα μέσα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προστασία του έργου από τον παγετό) ενώ άλλες είναι παρεμποδιστική (π.χ. στις ογκώδεις κατασκευές γιατί υπάρχει κίνδυνος ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων ή ρηγματώσεων εξαιτίας της ανομοιόμορφης κατανομής της θερμότητας).

Η ταχύτητα ενυδάτωσης προσδιορίζει το χρόνο πήξης και σκλήρυνσης. Πρέπει να είναι τόσο αργή ώστε να χυθεί το σκυρόδεμα στα καλούπια και τόσο γρήγορη ώστε αμέσως μετά αυτό να αρχίσει να πήζει.

1.2.3.2 Πήξη

Ο όρος πήξη προϋποθέτει στερεοποίηση του πλαστικού πολτού τσιμέντου. Η έναρξη της στερεοποίησης ονομάζεται αρχική πήξη και οριοθετείται από το σημείο που ο πολτός δεν μπορεί να δουλευτεί. Η πήξη αρχίζει μαζί με την ενυδάτωση. Ένα τσιμέντο που μόλις έχει αρχίσει να πήζει εμφανίζει μικρές ή καθόλου αντοχές. Η επόμενη φάση είναι η σκλήρυνση οπότε και αναπτύσσονται οι αντοχές.

1.2.4 Χαρακτηριστικές ιδιότητες των τσιμέντων

Τα τσιμέντα σύμφωνα με τον Κανονισμό πρέπει να έχουν συγκεκριμένες φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες. [7]

1. Η περιεκτικότητα του τσιμέντου σε μαγνησία MgO δεν πρέπει να υπερβαίνει το 6%, η δε σε τριοξείδιο του θείου SO_3 το 3,5%. Εφόσον η ειδική επιφάνεια είναι μεγαλύτερη των $4000cm^2/gr$, το SO_3 επιτρέπεται να φθάνει μέχρι 4,0%

Η απώλεια πυρώσεως του τσιμέντου κατά την παράδοση στο εργοστάσιο επιτρέπεται να ανέρχεται κατ' ανώτατο όριο μέχρι 3%.

Το αδιάλυτο υπόλειμμα του αμιγούς τσιμέντου πόρτλαντ δεν πρέπει να υπερβαίνει το 3%, του ανθεκτικού στα θειικά άλατα το 1,5%, του δε τσιμέντου πόρτλαντ με ποζολάνη το 20% και του ποζολανικού το 40%.

2. Η λεπτότητα αλέσεως του τσιμέντου πρέπει να είναι τέτοια ώστε το υπόλειμμα στο κόσκινο των 4000 βροχίδων να μην είναι μεγαλύτερο του 10%, η δε ειδική επιφάνεια αυτού (συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας των κόκκων ενός γραμμαρίου τσιμέντου), που προσδιορίζεται με τη συσκευή Blaine πρέπει να είναι τουλάχιστον $2600cm^2/gr$.

3. Η πήξη του τσιμέντου, όταν ελέγχεται με τη συσκευή VICAT, πρέπει να αρχίζει όχι νωρίτερα από 1 ώρα και να λήγει όχι αργότερα από 8 ώρες από την προσθήκη νερού στο τσιμέντο της παρασκευής του κανονικού πολτού.

4. Το τσιμέντο πρέπει να παρουσιάζει σταθερότητα όγκου. Η διόγκωση του όταν μετριέται με την μέθοδο προσδιορισμού σταθερότητας όγκου, πρέπει να είναι μικρότερη των 10mm (Δακτύλιος Le Chatelier).

5. Δοκίμια από κονίαμα τσιμέντου με πρότυπη άμμο, που παρασκευάζονται και ελέγχονται σύμφωνα με τα καθοριζόμενα στον Κανονισμό [7] πρέπει να παρουσιάζουν ανάλογα με την κατηγορία του τσιμέντου, τις αντοχές του πίνακα 1.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2

Κατηγορία αντοχών (ονομαστική)	Αντοχή σε θλίψη σε N/mm ²			
	2 ημερών	7 ημερών	28 ημερών	
	Ελάχιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	ελάχιστη	μέγιστη
35	--	15	25	45
45	10	--	35	55
55	15	--	45	Χωρίς όριο

1.3 Αδρανή Υλικά

Τα αδρανή υλικά οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι παραμένουν χημικώς αδρανή σε αντίθεση με το τσιμέντο και το νερό. Συμβάλλουν μόνο μηχανικά στην αντοχή του τελικού προϊόντος. Τα αδρανή αποτελούνται από λίθινους κόκκους, είτε φυσικούς, οπότε ονομάζονται «φυσικά ή συλλεκτά», είτε από κόκκους που προκύπτουν από τη θραύση όγκων πετρώματος ή τη θραύση φυσικών αδρανών οπότε ονομάζονται «θραυστά».

Σαν αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν θεωρητικά οποιαδήποτε υλικά συγκεντρώνουν τις βασικές απαιτήσεις : επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση και χημική ανεκτικότητα με την τσιμεντοκονία. Συνήθως χρησιμοποιούνται πετρώματα γιατί είναι το συγγενέστερο υλικό προς την τσιμεντοκονία. Τα καταλληλότερα πετρώματα είναι τα ασβεστολιθικά και τα πυριτικά.

1.3.1 Ιδιότητες αδρανών

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες ιδιότητες : [6]

1. Αντοχή του μητρικού πετρώματος. Το μητρικό πέτρωμα χωρίζεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη συμβατική του αντοχή α) με συμβατική αντοχή μεγαλύτερη των 650 kg/cm^2 και β) με συμβατική αντοχή $450\text{-}650 \text{ kg/cm}^2$
2. Ανθεκτικότητα στη φθορά από τριβή και κρούση. Πρέπει η φθορά να είναι μικρότερη από 40%.
3. Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση. Η ανθεκτικότητα της άμμου συνίσταται σε απώλεια του βάρους της κάτω από 10%, ενώ στα χονδρόκοκκα αδρανή η απώλεια πρέπει να είναι μικρότερη από 12%.
4. Έλεγχος ορυκτολογικής σύστασης. Αποσκοπεί στον προσδιορισμό των συστατικών των αδρανών που μπορούν να προκαλέσουν δυσμενή προβλήματα με την πάροδο του χρόνου στο σκυρόδεμα. Τέτοιες ενώσεις είναι οι ενώσεις του θείου, του σιδήρου, του μολύβδου, των νιτρικών αλάτων, οι χλωριούχες καθώς και οι ενώσεις του αργιλίου.
5. Επιβλαβείς προσμίξεις. Χαρακτηρίζονται οι ουσίες που με την παρουσία τους μπορούν να επιφέρουν διατάραξη στην πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος καθώς και μεταβολές στις ιδιότητες του. Οι κυριότερες προσμίξεις είναι : α) η παιπάλη η οποία κατά τον Ελληνικό Κανονισμό [7] δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% κ.β. της άμμου και το 1% κ.β. των χονδρότερων αδρανών. β) οι οργανικές προσμίξεις. γ) η άργιλος στην άμμο, η οποία είναι προτιμότερο να μην υπάρχει καθόλου γιατί μειώνει την αντοχή του σκυροδέματος και δημιουργεί ανώμαλες συστολές με συνέπεια μικρορηγματώσεις.

1.3.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Ονομάζεται η διαδικασία που γίνεται στο μίγμα των αδρανών για τον προσδιορισμό της ποσοστιαίας αναλογίας των επιμέρους μεγεθών των κόκκων των αδρανών. [6] Η κατανομή των κόκκων γίνεται με πρότυπα κόσκινα και η διαβάθμιση των κόκκων απεικονίζεται σε διάγραμμα. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνονται οι διάμετροι των οπών και στον κατακόρυφο τα ποσοστά βάρους των αδρανών που διέρχονται από κάθε κόσκινο. Κάθε κοκκομετρική σύνθεση παριστάνεται με μια πολυγωνική γραμμή που ονομάζεται «κοκκομετρική καμπύλη». Όταν υπάρχει ποσοστό διερχόμενου υλικού για όλα τα κόσκινα ονομάζεται

συνεχείς, στην αντίθετη περίπτωση ασυνεχείς. Ο Κανονισμός καθορίζει πρότυπες ζώνες μέσα στα όρια των οποίων πρέπει να βρίσκεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών που επιλέγονται. Οι καμπύλες αυτές είναι συνεχείς. Αν έχουμε μίγμα αδρανών ασυνεχούς κοκκομετρικής διαβάθμισης η καμπύλη έχει ευθύγραμμα τμήματα παράλληλα στον άξονα οπών του κόσκινου.

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος χρησιμοποιούνται δύο σειρές πρότυπων κόσκινων : [9]

- « Σειρά Γερμανικών Κόσκινων » με τετραγωνικές οπές κατά DIN 4187 και DIN 4188, με άνοιγμα οπών 0,2mm – 31,5mm.
- « Σειρά Αμερικάνικων Κόσκινων » κατά ASTM E11, με άνοιγμα οπών από 0,2mm – 38mm.

Συνήθως επιδιώκεται οι κοκκομετρικές καμπύλες των αδρανών να είναι συνεχείς γιατί τότε επιτυγχάνεται μικρότερο ποσοστό κενών στο μίγμα των αδρανών οπότε και μεγαλύτερη αντοχή και πυκνότητα σκυροδέματος.

1.3.3 Μορφή και μέγεθος των κόκκων

Οι κόκκοι των αδρανών κατατάσσονται ανάλογα με τη γεωμετρική τους μορφή στις ακόλουθες κατηγορίες : στρογγυλοί, κυβοειδείς, γωνιώδεις, πλακοειδείς και επιμήκεις. Από το σχήμα των κόκκων επηρεάζονται οι ιδιότητες του σκυροδέματος.

Από την εσωτερική τριβή μεταξύ τους επηρεάζεται το εργάσιμο του μίγματος. Οι σφαιρικοί κόκκοι δίνουν την μεγαλύτερη εργασιμότητα γιατί έχουν μικρή γωνία τριβής. Η πολυγωνικότητα όμως, των κόκκων βελτιώνει τη στήριξη μεταξύ τους και την πρόσφυση με το κονίαμα. Γι'αυτό οι κυβοειδείς και πλακοειδείς κόκκοι αυξάνουν τη μηχανική αντοχή του σκυροδέματος. Γενικότερα για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος στο μίγμα του σκυροδέματος οι κόκκοι των αδρανών θα πρέπει να είναι σφαιρικής ή κυβοειδούς μορφής με γωνιώδη επιφάνεια.

Το μέγεθος των κόκκων είναι εξίσου σημαντικό για το σκυρόδεμα ιδιαίτερα η μέγιστη διάστασή τους. Όσο αυξάνει αυτή μειώνεται η επιφάνεια των αδρανών που είναι διαθέσιμη για συνάφεια, χρειάζεται λιγότερο νερό για διαβροχή των αδρανών και λιγότερο τσιμέντο. Άρα

μειώνεται η αντοχή του σκυροδέματος. Στο μίγμα πρέπει να υπάρχει ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού διότι επηρεάζει τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Αν η ποσότητα του είναι μικρότερη από την απαιτούμενη τα επιμέρους συστατικά του μίγματος τείνουν να διαχωριστούν. Συνήθως η απαιτούμενη ποσότητα ισούται με το 1/5 της άμμου. [1]

1.4 Νερό

Βασικό συστατικό του σκυροδέματος είναι το νερό, το οποίο μαζί με το τσιμέντο παίρνει μέρος σε μια σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν στην πήξη και σκλήρυνση του τσιμεντοπολτού. Το νερό δεν πρέπει να περιέχει ουσίες οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν την ενυδάτωση του τσιμέντου. Δεν είναι όμως δυνατόν να καθορισθούν ακριβώς τα επιτρεπτά όρια των ουσιών αυτών γιατί η δράση τους είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως η θερμοκρασία, η ποιότητα του τσιμέντου και η ύπαρξη άλλων ουσιών στο μίγμα. Γενικότερα δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση, γι' αυτό είναι προτιμότερο πριν την παρασκευή του σκυροδέματος να γίνεται έλεγχος της καταλληλότητας του νερού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Ο έλεγχος περιλαμβάνει την παρασκευή δοκιμίων με τα ίδια ακριβώς υλικά και συντήρηση αυτών στις ίδιες συνθήκες που θα συντηρηθεί το έργο.

Μεγάλη προσοχή χρειάζεται στον έλεγχο του νερού που δρα εξωτερικά στο σκυρόδεμα, γιατί οι βλαβερές ουσίες που τυχόν περιέχει δρουν συνέχεια, εφόσον το νερό υπάρχει και ανανεώνεται συνέχεια. Αντίθετα στο νερό αναμίξεως η δράση τους εξαντλείται κάποια στιγμή, αφού δεν ανανεώνονται.

Οι πιο σημαντικές χημικές ουσίες που επιδρούν αρνητικά στο σκυρόδεμα επιβραδύνοντας την πήξη του ή μειώνοντας την αντοχή του είναι : [1]

- Η ζάχαρη, η οποία θεωρείται από τις πιο επιβλαβείς ουσίες γιατί ανακόπτει την πήξη του σκυροδέματος. Το επιτρεπτό όριο ζάχαρης σύμφωνα με μετρήσεις που έχουν γίνει είναι 0,25% κ.β. τσιμέντου, ενώ σύμφωνα με κάποιες άλλες 0,1%. Σε οποιαδήποτε

περίπτωση όμως τα ανεκτά όρια είναι πολύ χαμηλά οπότε και είναι προτιμότερο να μην υπάρχει καθόλου στο μίγμα.

- Τα οξέα οργανικής προέλευσης, που δεσμεύουν το ασβέστιο με αποτέλεσμα να παρατηρούνται προβλήματα στην πήξη.
- Τα λίπη, τα οποία περιβάλλουν τους κόκκους του τσιμέντου και εμποδίζουν την επαφή τους με το νερό.
- Οι οργανικές ουσίες γιατί επηρεάζουν ανασταλτικά την πήξη.

Για την παρασκευή σκυροδέματος καταλληλότερο θεωρείται το πόσιμο νερό αφού από διάφορα πειράματα που έγιναν προέκυψε ότι το σκυρόδεμα με πόσιμο νερό εμφανίζει μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό από το σκυρόδεμα που παρασκευάστηκε με απεσταγμένο ή θαλασσινό νερό.

1.5 Πρόσθετα σκυροδέματος

Πρόσθετα ονομάζονται οι χημικές ουσίες που προστίθενται στα συστατικά του σκυροδέματος σε μικρές ποσότητες (μέχρι 5%κ.β. του τσιμέντου) και τροποποιούν τις ιδιότητες του.

Ανάλογα με το αποτέλεσμα που έχουν στο σκυρόδεμα διακρίνονται σε : [8]

- i. Επιβραδυντές
- ii. Επιταχυντές
- iii. Μειωτές νερού και ρυθμιστές πήξεως
- iv. Ρευστοποιητές
- v. Αερακτικά
- vi. Διαφόρων ειδικών χρήσεων όπως αφρογόνο, αντιδιαβρωτικό, στεγανοποιητικά κτλ.

Ανάλογα με τη δράση τους στο σύστημα τσιμέντο – νερό διακρίνονται σε ουσίες που επηρεάζουν την επιφανειακή τάση του νερού και προσροφώνται στην επιφάνεια των κόκκων του τσιμέντου (άμεση δράση) και σε άλλα χημικά πρόσθετα που διασπώνται σε ιόντα και επιδρούν στις χημικές αντιδράσεις των ενώσεων του τσιμέντου με το νερό. Η δράση των τελευταίων αρχίζει λίγα λεπτά μετά την προσθήκη νερού και μπορεί να συνεχίζεται για μερικές ώρες. Στην πρώτη

κατηγορία ανήκουν τα αερακτικά, οι μειωτές νερού και οι ρευστοποιητές ενώ στη δεύτερη οι επιταχυντές και οι επιβραδυντές.

Αρκετά συχνά τα πρόσθετα επιδρούν αρνητικά στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Γι' αυτό πρέπει η χρήση τους να γίνεται με μεγάλη προσοχή και αφού έχει προηγηθεί έλεγχος του αποτελέσματος που θα προκύψει, σε όμοιο μίγμα σκυροδέματος με αυτό που θα χρησιμοποιηθεί.

1.5.1 Επιβραδυντές

Διακρίνονται δύο τύποι, οι επιβραδυντές και οι μειωτές ύδατος επιβραδυντές. Η διαφορά τους έγκειται στο ποσοστό μείωσης του νερού που επιτρέπουν και στη μεταβολή της αντοχής του σκυροδέματος. Για τον πρώτο τύπο η μείωση του νερού είναι από 0 – 3% και η μεταβολή της θλιπτικής αντοχής στις 28 ημέρες είναι $\pm 10\%$. Αντίστοιχα στο δεύτερο τύπο η μείωση του νερού είναι 0 – 5% και η μεταβολή της αντοχής από 10 – 15% σε σχέση με το μίγμα του σκυροδέματος χωρίς πρόσθετα.

Συνήθως χρησιμοποιούνται σε σκυροδετήσεις σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος και στη μεταφορά ετοιμού σκυροδέματος για να επιβραδυνθεί ο χρόνος πήξεως. Επίσης εφαρμόζονται για την αποφυγή αρμών διακοπής εργασίας και μικρορηγματώσεων σε κατασκευές μεγάλης έκτασης.

Η δράση τους στηρίζεται στην επιβράδυνση της ενυδάτωσης του πυριτικού τριασβεστίου (C_3S) και του αργιλικού τριασβεστίου (C_3A). Η αποτελεσματικότητα των επιβραδυντών εξαρτάται από το ποσοστό περιεκτικότητάς τους στο μίγμα (δεν πρέπει να ξεπερνά το 3%) και από το χρόνο προσθήκης (καθυστέρηση στην προσθήκη ελαττώνει τη δράση του).

Οι επιβραδυντές γενικά αυξάνουν το χρόνο πήξης του σκυροδέματος, την εργασιμότητα και σε μικρή κλίμακα το ποσοστό κενών. Μειώνουν επίσης την εξίδρωση και τη θερμότητα ενυδάτωσης. Η αντοχή παρουσιάζεται αυξημένη τις πρώτες μέρες λόγω της μείωσης του νερού στο μίγμα.

1.5.2 Επιταχυντές

Οι επιταχυντές μειώνουν το χρόνο πήξεως και επιταχύνουν την ανάπτυξη μηχανικής αντοχής του τσιμέντου. Υπάρχουν δύο κατηγορίες επιταχυντών, αυτοί που επιταχύνουν τον κανονικό ρυθμό πήξης και σκλήρυνσης και οι ταχείας πήξεως που χρησιμοποιούνται στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και σε σφραγίσεις ρωγμών όπου επιτυγχάνεται πήξη μέσα σε λίγα λεπτά.

Το κυριότερο επιταχυντικό είναι το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2) το οποίο επιταχύνει τη χημική αντίδραση μεταξύ τσιμέντου και νερού και αναπτύσσεται ταχύτερα η αντοχή. Δεν συνιστάται η χρήση του σε οπλισμένο σκυρόδεμα και απαγορεύεται για προεντεταμένο, λόγω της τάσης του χλωριόντος να προκαλεί ηλεκτροχημική διάβρωση του χάλυβα παρουσία οξυγόνου και υγρασίας.

Τα επιταχυντικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται στις σκυροδετήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες, καθώς και όταν επιδιώκεται η γρήγορη απομάκρυνση των ξυλοτύπων. Πρέπει όμως να μη χρησιμοποιούνται συχνά γιατί επιδρούν αρνητικά στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Μειώνουν την αντοχή του, ενώ αυξάνουν τον ερπυσμό και τη συστολή ξήρανσης (ιδιαίτερα το CaCl_2).

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος [9] το ποσοστό των επιταχυντικών δεν πρέπει να υπερβαίνει το 2% κ.β. του τσιμέντου εφόσον πρόκειται για προεντεταμένο ή οπλισμένο σκυρόδεμα που θα εκτεθεί σε διαβρωτικό περιβάλλον. Η αποτελεσματικότητά τους επηρεάζεται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και από τα υλικά του σκυροδέματος.

1.5.3 Μειωτές νερού και ρυθμιστές πήξεως. Ρευστοποιητές

Οι δύο αυτές κατηγορίες προσθέτων εξετάζονται μαζί γιατί η δράση τους στο σύστημα τσιμέντο – νερό είναι ίδια. Σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM C494 και την Ελληνική ΣΚ – 308 τα πρόσθετα χωρίζονται στους εξής τύπους: [8]

Τύπος Α : πλαστικοποιητές ή ρευστοποιητικά

Τύπος D : ρευστοποιητικά – επιβραδυντικά

Τύπος E : ρευστοποιητικά – επιταχυντικά

Οι παραπάνω τύποι αποτελούν τους μειωτές νερού και ρυθμιστές πήξεως

Τύπος F : υπερρευστοποιητικά

Τύπος G : υπερρευστοποιητικά - επιβραδυντικά

Οι παραπάνω τύποι αποτελούν τους ρευστοποιητές

Τα πρόσθετα αυτών των τύπων είναι τα περισσότερα διαδεδομένα γιατί βρίσκουν εφαρμογή με περισσότερους από έναν τρόπους στην παραγωγή μιγμάτων σκυροδέματος. Λόγω της αύξησης της ρευστότητας που προκαλούν μπορεί να μειωθεί η ποσότητα του νερού στο σκυρόδεμα (μείωση του λόγου N/T) χωρίς μεταβολή της εργασιμότητας αλλά με αύξηση της αντοχής. Επίσης μπορεί να μειωθεί η ποσότητα του τσιμέντου για σταθερό λόγο N/T και έτσι χωρίς μεταβολή της αντοχής να έχουμε οικονομία στο τσιμέντο. Οι ρευστοποιητές επιτρέπουν μείωση του νερού αναμίξεως ως και 30% και καθιστούν δυνατή τη σκυροδέτηση και διάστρωση μιγμάτων με λόγο $N/T=0,3$ τα οποία είναι εξαιρετικά υψηλής αντοχής. [8]

Χαρακτηριστικό των προσθέτων τύπου A, D, E είναι η ελάττωση της επιφανειακής τάσης του νερού. Οι ρευστοποιητές τύπου F, G έχουν την ίδια δράση, δηλαδή την ελάττωση της επιφανειακής τάσης, ενώ δεν προκαλούν τις παρενέργειες που προκαλούν τα πρόσθετα της πρώτης κατηγορίας (εξίδρωση , απόμιξη). Μπορούν λοιπόν να χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερες δοσολογίες και να έχουν καλύτερα αποτελέσματα.

Τα πρόσθετα είναι συνήθως διαλύματα που προστίθενται μαζί με το νερό αναμίξεως. Η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τη σύσταση του τσιμέντου και τη λεπτότητα αλέσεως. Τσιμέντα με υψηλό ποσοστό αργλικού τριασβεστίου C_3A και αλκαλίων απαιτούν μεγαλύτερη δοσολογία προσθέτου.

1.5.4 Αερακτικά

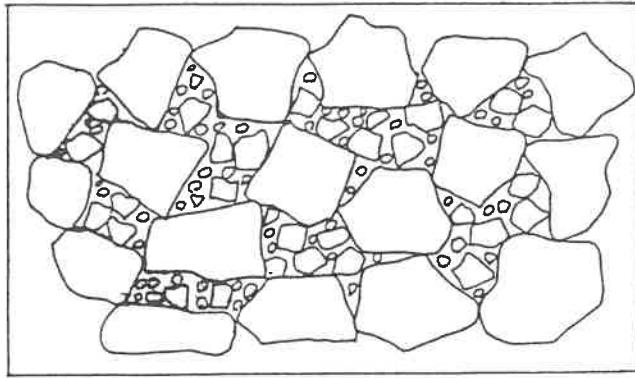
Τα αερακτικά είναι πρόσθετα που προκαλούν την ανάπτυξη μικρών φυσαλίδων μέσα στο σκυρόδεμα. Οι φυσαλίδες δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι ενώ η αύξηση του όγκου του αέρα που εισάγεται δεν ξεπερνά το 3 ως 4% του όγκου του σκυροδέματος. Το σύστημα των κενών αυξάνει την αντοχή του σκυροδέματος στον παγετό χωρίς να μειώνει ιδιαίτερα τη θλιπτική αντοχή.

Ο βαθμός αποτελεσματικότητας των αερακτικών εξαρτάται από το τσιμέντο και τα λεπτόκοκκα υλικά (ποζολανικά υλικά, τέφρες κλπ.) τα οποία μειώνουν την αποτελεσματικότητά τους. Συνήθως τα αερακτικά είναι σε μορφή διαλύματος. Η ποσότητα αερακτικών που πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το σχήμα, την υφή και την κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών καθώς και τη σκληρότητα του νερού.

Η σημαντικότερη επίδραση των αερακτικών είναι η αύξηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος στον παγετό και σε άλλους διαβρωτικούς παράγοντες εξαιτίας της μείωσης της υδατοπερατότητας που προκαλούν. Επίσης βελτιώνουν την εργασιμότητα και τη συνεκτικότητα του νωπού σκυροδέματος. Εξαιτίας των κενών που εισάγονται στο σκυρόδεμα μειώνεται η αντοχή του, ιδίως όταν είναι υψηλό το ποσοστό τσιμέντου και λεπτόκοκκων αδρανών. Η αρνητική αυτή επίδραση μπορεί να ελαχιστοποιηθεί αν μειωθεί η ποσότητα του νερού και των λεπτόκοκκων αδρανών κρατώντας σταθερή την ποσότητα του τσιμέντου.

1.6 Μελέτη συνθέσεως σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα αποτελείται από τους χημικώς αδρανείς κόκκους (αδρανή) και το πήγμα. Θεωρητικά πιο ανθεκτικό είναι το σκυρόδεμα που έχει τα λιγότερα κενά στη σύνθεσή του. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με κόκκους διαφορετικών μεγεθών, κατανεμημένους κατά τρόπο που οι κόκκοι μικρότερου μεγέθους να συμπληρώνουν τα κενά των μεγαλύτερων. Τα κενά που τελικώς απομένουν συμπληρώνει η τσιμεντοκονία (σχ.1.1)



Σχήμα 1.1 Δομή του θεωρητικώς πυκνού σκυροδέματος [8]

Ένα τέτοιο σκυρόδεμα είναι ίσως αδύνατο να κατασκευαστεί γιατί δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί η κατανομή των κόκκων με τον τρόπο που περιγράφεται στο θεωρητικό πρότυπο. Εξάλλου παρά τη μεγάλη αντοχή του, θα έχει μικρό εργάσιμο με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η χρήση του. Γι'αυτό στην πράξη αποκλίνουμε από τις θεωρητικές αναλογίες για να επιτύχουμε ένα σκυρόδεμα που να ικανοποιεί τις βασικές απαιτήσεις της κατασκευής, καθώς και ορισμένες ιδιότητες που υπαγορεύονται από την κατασκευή και τα διαθέσιμα υλικά.

Μελέτη συνθέσεως ονομάζουμε την κατάλληλη εκλογή των αναλογιών σύνθεσης, ώστε να επιτύχουμε συγκεκριμένες ιδιότητες για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του έργου, ανάλογα με τις ιδιότητες των υλικών και τα εργοταξιακά μέσα που διαθέτουμε. [8]

Η μελέτη συνθέσεως επιβάλλεται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος για κάθε κατηγορία και ποιότητα σκυροδέματος. Πρέπει να γίνεται στην αρχή του έργου και να επαναλαμβάνεται όταν αλλάζει η προέλευση ή η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών, καθώς και όταν αλλάζουν τα πρόσθετα ή ο τύπος τσιμέντου.

Για να πραγματοποιηθεί μια μελέτη συνθέσεως πρέπει να έχουν καθορισθεί :

- ♦ Οι απαιτήσεις της κατασκευής
- ♦ Τα διαθέσιμα υλικά
- ♦ Τα εργοταξιακά μέσα
- ♦ Οι καιρικές συνθήκες
- ♦ Οι ειδικές ιδιότητες που απαιτεί το έργο όπως στεγανότητα, ανθεκτικότητα, καλή εμφάνιση κλπ.

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται τα δεδομένα και τα ζητούμενα του προβλήματος : [1]

	Μορφή , σπλισμός	→ μέγιστος κόκκος
Κατασκευή	Στατική λειτουργία	→ αντοχή
	Λειτουργία →	Υδατοστεγανότητα, εμφάνιση
Εργοταξιακά μέσα		→ εργάσιμο
Διαθέσιμα μέσα		→ κοκκομετρική διαβάθμιση
Ειδικές συνθήκες		→ πρόσθετα μάζας

1.6.1 Αντοχή

η αντοχή καθορίζεται από τη στατική μελέτη του έργου. Η απαιτούμενη αντοχή f_a , από τη μελέτη συνθέσεως, πρέπει να έχει τέτοια τιμή ώστε να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να επιτευχθεί από το σκυρόδεμα η αντοχή f_{ck} που επιθυμούμε να έχει.

Για την απαιτούμενη αντοχή ο Κανονισμός δίνει τις ακόλουθες σχέσεις : [1]

α) Μεγάλα έργα $f_a = f_{ck} + 2,01s$

Η τυπική απόκλιση s πρέπει να προκύπτει από τουλάχιστον 60 διαδοχικά δοκίμια διαφορετικών αναμιγμάτων με τα ίδια όμως υλικά, στις ίδιες εγκαταστάσεις. Αν αυτό δεν είναι δυνατό η τυπική απόκλιση πολλαπλασιάζεται με κατάλληλους συντελεστές που δίνει ο Κανονισμός.

β) Μικρά έργα $f_a = f_{ck} + 2,14s$

Σ'αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχουν τιμές για την τυπική απόκλιση και θεωρούμε $s = 5 \text{ MPa}$ για θραυστά αδρανή
 $s = 6 \text{ MPa}$ για φυσικά αδρανή

γ) Έτοιμο σκυρόδεμα $f_m \geq f_{ck} + 1,64s$

Η τυπική απόκλιση καθορίζεται από το εργοστάσιο και πρέπει να είναι τουλάχιστον $3,0 \text{ MPa}$.

1.6.2 Εργασιμότητα

Η εργασιμότητα μετρίεται με τις ακόλουθες μεθόδους : [8]

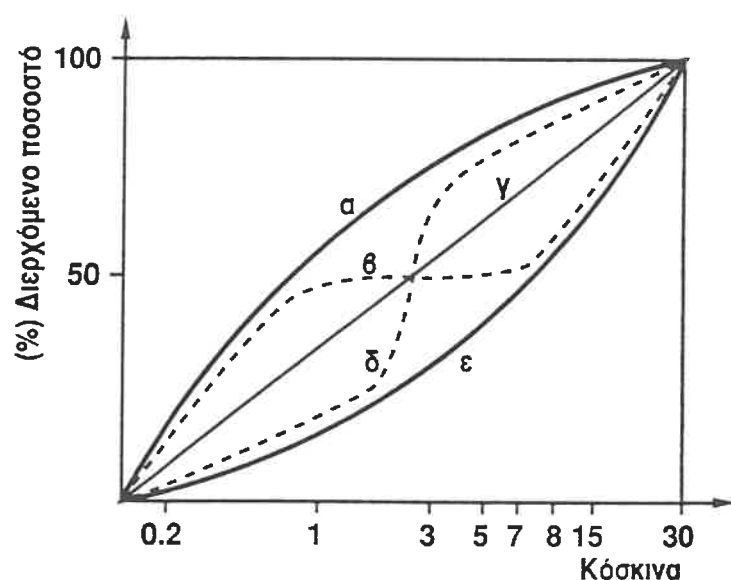
α) Κάθηση, μετριέται σε εκατοστά με τον κώνο του Abrams σύμφωνα με την προδιαγραφή ΣΚ-309. Για συνήθη οικοδομικά έργα πρέπει να είναι τουλάχιστον 5cm για θραυστά αδρανή και 3cm για φυσικά.

β) Εξάπλωση, μετριέται σε εκατοστά με τη συσκευή Graf σύμφωνα με την προδιαγραφή ΣΚ-318.

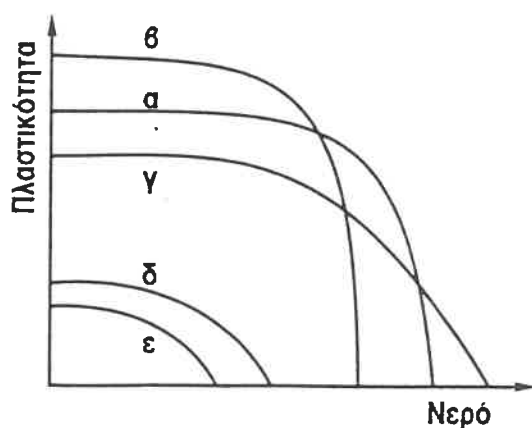
γ) Χρόνος VEBE, μετριέται σε δευτερόλεπτα με τη συσκευή VEBE σύμφωνα με την ΣΚ-310.

1.6.3 Αναλογίες αδρανών

Η μορφή και η θέση της κοκκομετρικής καμπύλης επιδρά στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Ανάλογα με τις ιδιότητες που επιθυμούμε να έχει το μίγμα καθορίζουμε την καμπύλη η οποία ονομάζεται «καμπύλη επιλογής». Στην επιλογή της κατάλληλης καμπύλης βοηθά το σχ. 1.2 [1]



- α. Πλαστικότητα, συνοχή-μικρή ρευστότητα, μεγάλη συστολή ξηράνσεως
- β. Μεγάλη ρευστότητα, αντοχή-τάση για απόμιξη
- γ. ομοιογένεια, λίγα κενά
- δ. μικρή ρευστότητα
- ε. ούτε πλαστικότητα, ούτε ρευστότητα, πολύ τσιμέντο



ΣΧΗΜΑ 1.2 Γενικές ιδιότητες των διαφόρων τύπων των κοκκομετρικών καμπυλών των αδρανών.

Η μελέτη σύνθεσης πρέπει να καθορίσει τις αναλογίες κλασμάτων ώστε το μίγμα των αδρανών να πλησιάζει την καμπύλη επιλογής που έχουμε επιλέξει.

1.6.4 Μέγιστος κόκκος

Ο μέγιστος κόκκος των αδρανών δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το 1/3 του ελάχιστου πάχους του στοιχείου που θα κατασκευαστεί από το σκυρόδεμα. [8]

1.6.5 Ποσότητα τσιμέντου

Η αύξηση της ποσότητας τσιμέντου αυξάνει την αντοχή, την πλαστικότητα και το κόστος. Με τη μελέτη σύνθεσης γίνεται προσπάθεια να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες πλαστικότητας και αντοχής με τη μικρότερη δυνατή ποσότητα τσιμέντου. Η ποσότητα αυτή καθορίζεται από τον Κανονισμό στον ακόλουθο πίνακα 1.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3 [8]

Σκυρόδεμα μεγίστου κόκκου	Επιχρισμένο kg/m ³	Ανεπίχριστο kg/m ³
Ø15, □16, ½"	310	340
Ø30, □ 31,5, 1"	270	300
Ø50, □ 63,1 ½"	270	300
Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά		350
Σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας		350
Σκυρόδεμα μέσα στο νερό		350
Σκυρόδεμα μέσα στη θάλασσα		400

1.6.6 Τεχνική της μελέτης σύνθεσης

Η μελέτη σύνθεσης είναι δύσκολη στην πραγματοποίηση της και απαιτεί μεγάλη εμπειρία. Οι βασικές αρχές που καθοδηγούν την εκλογή της σύνθεσης είναι : [1]

- ♦ Μικρότερη δυνατή ποσότητα τσιμέντου : οικονομία, μείωση συστολής
- ♦ Μεγαλύτερη δυνατή συνεκτικότητα : αύξηση αντοχής

- ♦ Μεγαλύτερος δυνατός κόκκος αδρανών : αύξηση αντοχής, ελάττωση κονιάματος.

Μια λογική σειρά των εργασιών για τον καθορισμό της σύνθεσης είναι:

- ♦ Προσδιορισμός των δεδομένων
- ♦ Προσδιορισμός των απαιτήσεων των κανονισμών
- ♦ Εκτίμηση συνθέσεως
- ♦ Δοκιμή

Το πιο σημαντικό από τα παραπάνω είναι η εκτίμηση της σύνθεσης, διότι με σωστή εκτίμηση συντομεύει ο χρόνος των δοκιμών και μειώνεται το κόστος. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η δοκιμή, αφού μόνο με αυτή μπορεί να καθορισθεί αν η σύνθεση είναι η κατάλληλη για τη χρήση που προορίζεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η αντοχή του σκυροδέματος είναι από τις σημαντικότερες ιδιότητες του. Αφορά το σκληρυμένο σκυρόδεμα για όλη τη διάρκεια της ζωής του. Γενικά με την αντοχή καθορίζεται η ποιότητα του σκυροδέματος, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι η μόνη ιδιότητα που εξετάζεται. Μια άλλη εξίσου σημαντική ιδιότητα είναι η ανθεκτικότητα στις χρόνιες επιδράσεις του περιβάλλοντος. Ειδικότερα για το οπλισμένο σκυρόδεμα εκτός από την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος ως υλικού, επιπλέον μεγάλη σημασία έχει η προστασία έναντι διάβρωσης που προσφέρει στον οπλισμό. Σε ειδικές περιπτώσεις ελέγχονται πρώτα άλλες ιδιότητες και κατόπιν η αντοχή. Για παράδειγμα όταν πρόκειται για κατασκευές στο νερό απαιτείται κατ'αρχήν χαμηλή διαπερατότητα την οποία πρέπει να ελέγξουμε πρώτα και μετά την αντοχή. Συνήθως βελτίωση της αντοχής συνεπάγεται βελτίωση και άλλων ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Κάτι τέτοιο όμως, δεν αποτελεί κανόνα οπότε χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή.

2.1 Αντοχή

Ορίζεται σαν το μέγιστο φορτίο που μπορεί να παραλάβει το σκυρόδεμα χωρίς να παραμορφωθεί ή να καταστραφεί.

Γενικότερα σαν αντοχή εννοείται η ικανότητα του υλικού να αναλαμβάνει και να μεταβιβάζει δυνάμεις με οριακή τιμή την παραπάνω έννοια. Εξαρτάται από τη φύση και την ποιότητα του υλικού, αλλά και από τη μορφή της καταπόνησης. Είναι λοιπόν σωστότερο να αναφέρουμε την αντοχή σαν «αντοχή συγκεκριμένου υλικού σώματος σε συγκεκριμένη εξωτερική καταπόνηση». [1]

2.1.1 Ορισμοί

Ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος [9] αναφέρει τις παρακάτω έννοιες σχετικά με την αντοχή του σκυροδέματος:

«Συμβατική αντοχή σε θλίψη δοκιμίου, f_{28} » είναι η αντοχή ενός «συμβατικού» δοκιμίου δηλαδή ενός δοκιμίου που έχει τις διαστάσεις και τη μορφή που προβλέπονται στον Κανονισμό και που παρασκευάζεται και συντηρείται σύμφωνα με τη Μέθοδο ΣΚ – 303 και ελέγχεται σύμφωνα με τη Μέθοδο ΣΚ – 304 σε ηλικία 28 ημερών.

«Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη, f_{ck} » είναι η αντοχή σε θλίψη κάτω από την οποία αναμένεται να βρεθεί το 5% των συμβατικών αντοχών του συνόλου των δοκιμίων που θα μπορούσαν να παρασκευαστούν από μια σημαντικά μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος, αν ολόκληρη αυτή η ποσότητα μετατρεπόταν σε δοκίμια.

«Μέση αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη, f_m » είναι ο μέσος όρος αντοχής όλων των συμβατικών δοκιμίων που θα μπορούσαν να παρασκευαστούν από μια σημαντικά μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος αν ολόκληρη αυτή η ποσότητα μετατρεπόταν σε δοκίμια. Οι αναλογίες υλικών για την παρασκευή σκυροδέματος με μια ορισμένη μέση αντοχή f_m δίνονται από τη Μελέτη Συνθέσεως. Το σκυρόδεμα της «σημαντικά μεγάλης ποσότητας» στην οποία αναφέρονται οι προηγούμενοι ορισμοί πρέπει να έχει παρασκευαστεί με τα ίδια υλικά, τις ίδιες αναλογίες και τα ίδια μηχανικά μέσα.

«Απαιτούμενη αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη, f_a » είναι η τιμή της μέσης αντοχής f_m για την οποία το σκυρόδεμα του έργου έχει μια ορισμένη πιθανότητα αποδοχής, όταν εξετάζεται με τα Κριτήρια συμμορφώσεως του Κανονισμού. Οι αναλογίες υλικών της Μελέτης Συνθέσεως πρέπει να εξασφαλίζουν μέση αντοχή f_m τουλάχιστον ίση με την απαιτούμενη.

2.2 Μηχανισμός θραύσεως

Το σκυρόδεμα αποτελείται από διαφορετικά υλικά (αδρανή, τσιμεντοκονία), κατά συνέπεια είναι ανομοιογενές υλικό. Σ'αυτή την ανομοιογένεια προστίθενται και οι μικρορωγμές που υπάρχουν στη μάζα του πριν από οποιαδήποτε φόρτιση. Αιτία της δημιουργίας των μικρορωγμών είναι η συστολή του τσιμεντοπολτού. Οι ρωγμές δεν μεταβάλλονται αν το φορτίο που θα επιβληθεί ισούται με το 1/3 του φορτίου θραύσεως. Όταν ξεπεράσει αυτή την τιμή οι ρωγμές

επεκτείνονται και πολλαπλασιάζονται μέχρι το φορτίο να φτάσει στα 2/3 του φορτίου θραύσεως. Στο στάδιο αυτό οι ρωγμές αποτελούν συνεχές πλέγμα και μεταξύ κονιάματος και αδρανών και μέσα στο κονίαμα. Η περαιτέρω αύξηση του φορτίου έχει σαν συνέπεια την επέκταση των ρωγμών ως την κατάρρευση του υλικού. [11]

Η επιβολή εξωτερικού φορτίου στο σκυρόδεμα δημιουργεί ανομοιόμορφη κατανομή των τάσεων μέσα στη μάζα του σκυροδέματος. Δημιουργούνται σημεία συγκέντρωσης τάσεων, εξαιτίας των διαφορετικών χαρακτηριστικών μεταξύ αδρανών και πηγματος. Από τα σημεία αυτά αρχίζει η θραύση του υλικού. [11]

Η ποσοτική εκτίμηση την κατανομής των τάσεων σ'ένα ψαθυρό μικρορηγματωμένο υλικό μπορεί να γίνει με τη θεωρία του A. A. Griffith. Εξισώνεται η ελαστική ενέργεια των επιφανειακών τάσεων που αναπτύσσονται στην επιφάνεια της ρωγμής, σ'ένα στοιχειώδες τμήμα του υλικού.

Προκύπτουν έτσι οι σχέσεις :

$$\sigma_{cr} = \sqrt{2ET/\pi C} \quad C_{cr} = 2ET/\pi\sigma^2$$

που εκφράζουν την κρίσιμη τάση, την τάση που απαιτείται για τη δημιουργία ρωγμών και το κρίσιμο μήκος της ρωγμής.

Η θεωρία δεν μπορεί να εφαρμοσθεί με ακρίβεια στο σκυρόδεμα εξαιτίας της ύπαρξης των αδρανών που έχουν διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας από την τσιμεντοκονία. [1]

2.3 Θλιπτική αντοχή

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος λαμβάνεται σαν το μέγιστο θλιπτικό φορτίο που μπορεί να παραλάβει ανά μονάδα επιφάνειας. Οι αντοχές που μπορούν να επιτευχθούν κυμαίνονται από 5MPa ως 200MPa. Οι κατασκευές σκυροδέματος σχεδιάζονται με την παραδοχή ότι το σκυρόδεμα αντέχει μόνο τη θλίψη και ο εφελκυσμός παραλαμβάνεται εξ'ολοκλήρου από τον οπλισμό.

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος [9] ο έλεγχος της αντοχής σε θλίψη γίνεται με κυβικά δοκίμια ακμής 20cm ή 15cm ή κυλινδρικά διαμέτρου 15cm και ύψους 30cm. Οι

διαστάσεις των δοκιμίων εξαρτώνται από το μέγεθος του μεγίστου κόκκου αδρανών. Πρέπει η μικρότερη διάσταση του δοκιμίου να είναι τουλάχιστον τετραπλάσια της μέγιστης διάστασης του μεγίστου κόκκου. Οι αντοχές σε θλίψη αυτών των δοκιμίων πρέπει να ικανοποιούν τα κριτήρια συμμόρφωσης που αναφέρονται στον Κανονισμό. Ο έλεγχος πρέπει απαραίτητα να γίνεται σε ηλικία 7 και 14 ημερών. Ο αριθμός των δοκιμίων που απαιτούνται για τον έλεγχο διαφέρει ανάλογα με το έργο που κατασκευάζεται (μικρό ή μεγάλο) και τον τρόπο παρασκευής του σκυροδέματος (εργοστασιακό ή εργοταξιακό).

2.4 Εφελκυστική αντοχή

Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος ενδιαφέρει κυρίως στο σχεδιασμό δρόμων από σκυρόδεμα. Τα τμήματα του σκυροδέματος πρέπει να αντέχουν εφελκυστικές τάσεις που προκύπτουν από περιορισμούς της κατασκευής εξαιτίας της ξήρανσης ή της μεταβολής της θερμοκρασίας.

Συνήθως η εφελκυστική αντοχή ισούται με το 1/10 της θλιπτικής. Από πειραματικά στοιχεία προκύπτει ότι η αύξηση της θλιπτικής αντοχής αυξάνει και την εφελκυστική. Ο υπολογισμός της δεν είναι εύκολο να γίνει άμεσα. Με τις έμμεσες μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί είναι δυνατή η εκτίμηση της.

2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή

Η αντοχή επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

- Τα υλικά του μίγματος (αναλογία και ποιότητα τους)
- Η μέθοδος παρασκευής
- Η συντήρηση
- Η μορφή της φόρτισης (τρόπος και ταχύτητα φόρτισης)

Αναλυτικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος φαίνονται στο σχήμα 2.1

2.5.1 Επίρροή των συστατικών του σκυροδέματος

2.5.1.1 Τσιμέντο

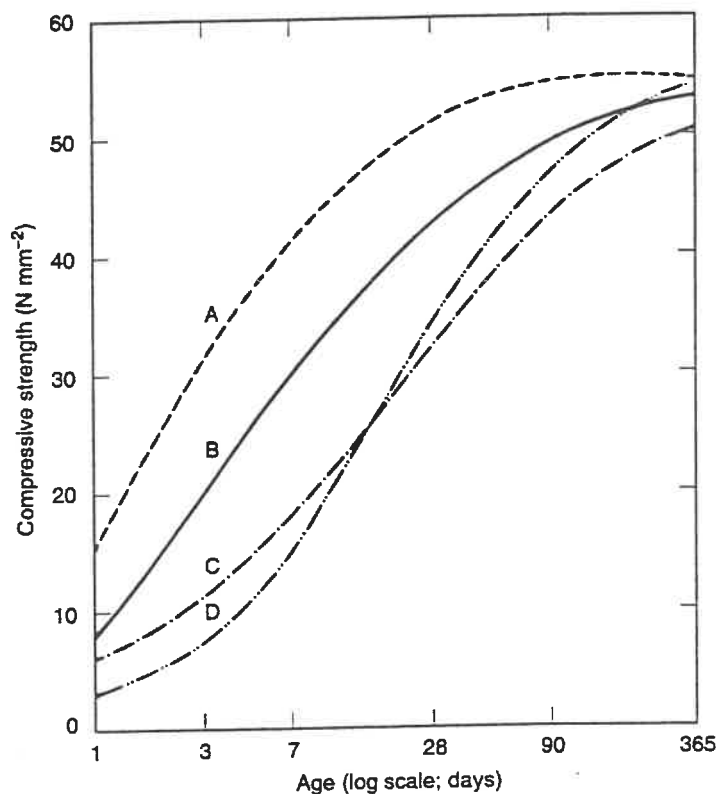
Η επίδραση του τύπου του τσιμέντου στην αντοχή του σκυροδέματος εξαρτάται από τη λεπτότητα και τη χημική του σύνθεση.

Αύξηση της λεπτότητας του τσιμέντου αυξάνει και την αντοχή. Η αύξηση παρουσιάζεται εντονότερη τις πρώτες ημέρες, ενώ μετά τις 28 ημέρες η σχετική αύξηση της αντοχής είναι μειωμένη. Σε μεγαλύτερες ηλικίες η αντοχή του σκυροδέματος δεν έχει σημαντική διαφορά μεταξύ δύο μιγμάτων που φτιάχτηκαν με τσιμέντο διαφορετικής άλεσης.

Όσον αφορά τη χημική σύνθεση τα τσιμέντα που περιέχουν μεγάλο ποσοστό πυριτικού τριασβεστίου (C_3S) αποκτούν αντοχή γρηγορότερα από αυτά με πυριτικό διασβέστιο (C_2S). Με την πάροδο του χρόνου όμως η διαφορά αυτή στην αντίστοιχη αντοχή μειώνεται. Η επίδραση της χημικής σύνθεσης του τσιμέντου στην αντοχή φαίνεται στον πίνακα 2.1 και το σχήμα 2.1

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 Χημική σύνθεση διαφόρων τσιμέντων Portland με όμοια λεπτότητα [10]

Τσιμέντο	Σύνθεση μίγματος (%)			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
A	55	16	12	8
B	50	21	11	9
C	43	33	5	11
D	35	41	6	12



Σχήμα 2.1 Ανάπτυξη αντοχής τυπικών σκυροδεμάτων με διαφορετικά τσιμέντα Portland

2.5.1.2 Νερό

Ένα μίγμα σκυροδέματος με την μικρότερη απαιτούμενη ποσότητα νερού για την πλήρη ενυδάτωση του τσιμέντου, αν μπορεί να συμπυκνωθεί πλήρως, θα αναπτύξει τη μέγιστη αντοχή. Αν το μίγμα είναι μερικώς συμπυκνωμένο δημιουργούνται κενά με αέρα στη μάζα του με αποτέλεσμα να έχει μειωμένη αντοχή. Αν πάλι η ποσότητα νερού είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη το σκυρόδεμα αποκτά πορώδη δομή που έχει επίσης σαν αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής.

Στην πράξη ένα μίγμα σκυροδέματος παρασκευάζεται ώστε να είναι δυνατή η μέγιστη συμπίκνωση, χωρίς να μειώνεται η αναμενόμενη αντοχή.

2.5.1.3 Αδρανή

Η αντοχή του σκυροδέματος δεν επηρεάζεται από την αντοχή των αδρανών, αφού γενικά τα αδρανή έχουν συνήθως μεγαλύτερη αντοχή από τον τσιμεντοπολτό. Η συνάφεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού είναι που επηρεάζει την αντοχή. Αν δεν έχει

δημιουργηθεί ικανοποιητική συνάφεια μεταξύ τους η αντοχή του σκυροδέματος μειώνεται. Η συνάφεια εξαρτάται από το σχήμα, την υφή και την καθαρότητα των αδρανών. Γενικά για να επιτευχθεί ικανοποιητική συνάφεια τα αδρανή θα πρέπει να είναι γωνιώδη, με τραχεία επιφάνεια χωρίς πρόσθετες ουσίες (όπως άργιλος ή ιλύς) στην επιφάνεια τους.

Το μέγεθος των κόκκων των αδρανών επηρεάζει εξίσου την αντοχή. Αύξηση του μεγέθους του μέγιστου κόκκου με σταθερό λόγο N/T προκαλεί μείωση της αντοχής. Το βέλτιστο μέγιστο μέγεθος αδρανών κυμαίνεται μεταξύ 10 και 50mm.

2.5.1.4 Πρόσθετα

Τα πρόσθετα λόγω της επίδρασης που έχουν στις ιδιότητες του σκυροδέματος, επιδρούν και στην αντοχή του. Ειδικότερα τα επιταχυντικά, τα οποία μειώνουν το ρυθμό πήξης και προσφέρουν αυξημένη αρχική αντοχή η οποία δεν διαφοροποιείται με την πάροδο του χρόνου. Αντίθετα τα επιβραδυντικά που έχουν αντίθετη δράση, μειώνουν την αρχική αντοχή η οποία αυξάνεται και φθάνει στο απαιτούμενο επίπεδο με την πάροδο του χρόνου. Η χρήση ρευστοποιητικών μπορεί να αυξήσει την αντοχή του σκυροδέματος αν συνοδεύεται από μείωση της απαιτούμενης ποσότητας νερού. [10]

Παρά τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν για την επίδραση των πρόσθετων στο σκυρόδεμα, δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί επακριβώς το αποτέλεσμα της δράσης τους. Κυρίως διότι η επίδραση τους εξαρτάται από τη σύνθεση κάθε μίγματος και κάθε πρόσθετου καθώς και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

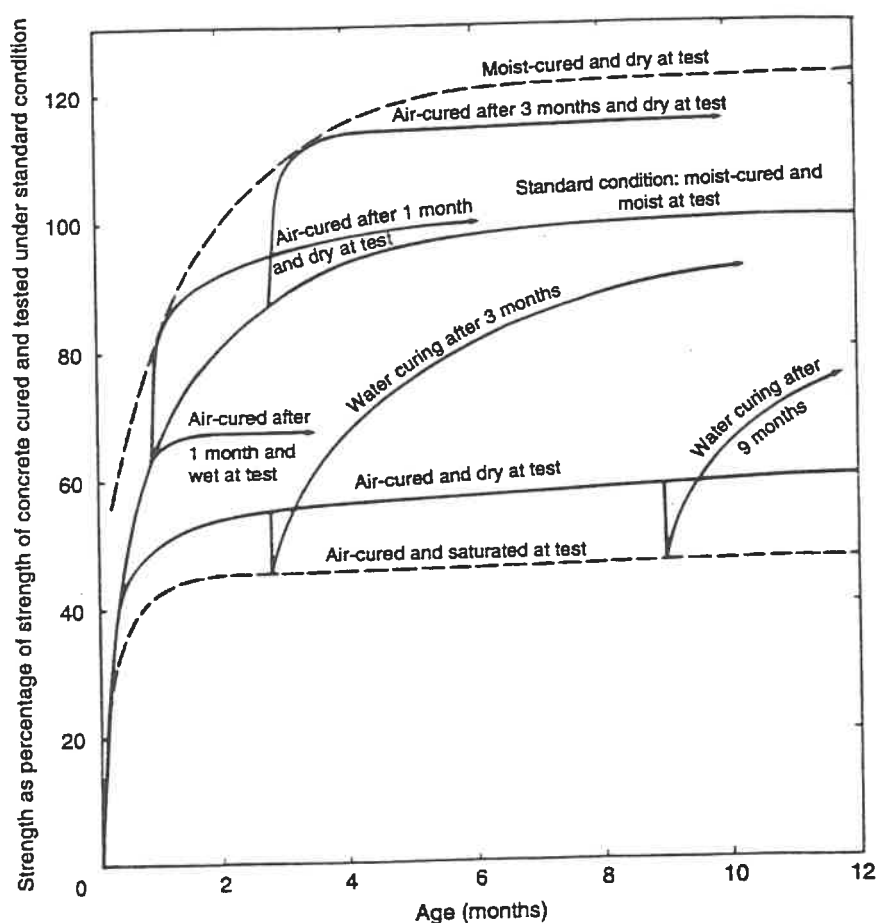
2.5.2 Επιρροή των μεθόδων παρασκευής

Κατά τη διάρκεια της παρασκευής του σκυροδέματος πρέπει να προσεχθεί η ανάμιξη των υλικών. Αν δεν αναμιχθούν επαρκώς θα προκύψει σκυρόδεμα χαμηλής αντοχής. Εξίσου πρέπει να προσεχθεί η διάστρωση και συμπίκνωση του για να μην υπάρξουν παρενέργειες όπως απόμιξη, εξίδρωση ή κυψελίδες αέρα. Όλα τα παραπάνω συντελούν αρνητικά στην αντοχή του σκυροδέματος.

2.5.3 Επιρροή της συντήρησης

Η συντήρηση του σκυροδέματος, πριν αυτό χρησιμοποιηθεί είναι απαραίτητη για την ενυδάτωση του τσιμέντου. Γενικά είναι προτιμότερο να διατηρείται το σκυρόδεμα σε νερό για κάποιο χρονικό διάστημα, διότι αυξάνεται η τελική αντοχή του.

Η ανάπτυξη της αντοχής του σκυροδέματος κάτω από διαφορετικές συνθήκες συντήρησης φαίνεται στο σχήμα 2.2



Σχήμα 2.2 Επίδραση της συντήρησης στην αντοχή του σκυροδέματος.

[10]

Είναι φανερό ότι το σκυρόδεμα που έχει συντηρηθεί στον αέρα αποκτά τη μικρότερη αντοχή σε όλες τις ηλικίες εξαιτίας της εξάτμισης του ελεύθερου νερού από τη μάζα του.

Η θερμοκρασία συντήρησης είναι σημαντική ως προς την ανάπτυξη της αντοχής του με το χρόνο. Ο ρυθμός αύξησης της αντοχής του σκυροδέματος που γίνεται με συνηθισμένο τσιμέντο Portland αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας σε μικρές ηλικίες. Κατά τη διάρκεια της εντύπισης και πήξης του σκυροδέματος η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη της αντοχής του. [11]

2.5.4 Επιρροή των συνθηκών δοκιμής

Οι συνθήκες στις οποίες γίνονται τα πειράματα για τον καθορισμό της αντοχής επηρεάζουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Πρέπει λοιπόν οι επιδράσεις να είναι γνωστές από πριν, ώστε να ερμηνευθούν σωστά τα αποτελέσματα των πειραμάτων.

2.5.4.1 Μέγεθος και σχήμα των δοκιμίων

Τα βασικά σχήματα δοκιμίων που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της θλιπτικής αντοχής είναι ο κύβος, ο κύλινδρος και το τετραγωνικό πρίσμα. Κάθε σχήμα δίνει διαφορετικά αποτελέσματα αντοχής. Αν χρησιμοποιείται συγκεκριμένο σχήμα η αντοχή μεταβάλλεται με το μέγεθος του. Αύξηση της διαμέτρου συνεπάγεται μείωση της φαινόμενης αντοχής. Γενικά αύξηση του όγκου συνεπάγεται μείωση της αντοχής και της μεταβλητότητας των αποτελεσμάτων. [4]

2.5.4.2 Περιεχόμενη υγρασία και θερμοκρασία δοκιμίου.

Η αντοχή του σκυροδέματος μπορεί να επηρεαστεί από την παρουσία ή απουσία υγρασίας καθώς και τη θερμοκρασία. Η επίδραση τους στην αντοχή διαφέρει ανάλογα με τα πειράματα που γίνονται.

Στα πειράματα για τον καθορισμό της θλιπτικής αντοχής το σκυρόδεμα που έχει ξηρανθεί στον αέρα έχει σημαντικά υψηλότερη αντοχή από αυτό που βρίσκεται σε κορεσμένη κατάσταση. Αντίθετα όταν πρόκειται για εφελκυσμό η αντοχή κορεσμένων δοκιμίων είναι υψηλότερη

από την αντοχή των μερικώς στεγνών και αυτό αποδίδεται στη μικρορηγμάτωση των δοκιμίων που προκαλείται από την ξήρανση.

2.5.4.3 Μέθοδος φόρτισης

Η φαινόμενη αντοχή του σκυροδέματος επηρεάζεται από την ταχύτητα φόρτισης. Γενικά όσο πιο μεγάλη είναι η ταχύτητα τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντοχή. Αν και οι σχετικές επιδράσεις της ταχύτητας φόρτισης μεταβάλλονται με την ονομαστική αντοχή, την ηλικία καθώς και τη διάρκεια της υγρής συντήρησης.

Αν μια κατασκευή υφίσταται επαναλαμβανόμενη φόρτιση και αποφόρτιση, θα εμφανιστεί κόπωση και κατά συνέπεια μείωση της αντοχής. Η μείωση μπορεί να φτάσει και το 30% της αρχικής αντοχής.

Αύξηση της αντοχής είναι πιθανό να επιτευχθεί με τη διατήρηση σταθερού φορτίου μικρότερου από το φορτίο αστοχίας. Το μέγεθος του μπορεί να είναι μέχρι 85% της στατικής αντοχής. Η αύξηση βέβαια εξαρτάται από τη διάρκεια εφαρμογής και το μέγεθος του φορτίου, τον τύπο και την ηλικία του σκυροδέματος. [10]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κάθε κατασκευή από σκυρόδεμα πρέπει να διατηρήσει την απαιτούμενη αντοχή και λειτουργικότητα κατά τη διάρκεια της αναμενόμενης λειτουργικής ζωής της. Παρόλο που το σκυρόδεμα είναι γενικά ανθεκτικό υλικό, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να φθαρεί πολύ γρηγορότερα από ότι αναμενόταν. Αιτία αυτής της φθοράς (αποσάθρωσης) του σκυροδέματος μπορεί να αποτελέσει οποιοδήποτε από τα τρία κύρια συστατικά του, δηλαδή τα αδρανή, ο σκληρυμένος τσιμεντοπολτός (πήγμα) ή ο σπλισμός, τα οποία επηρεάζονται από εξωτερικούς παράγοντες και συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο από τον προβλεπόμενο.

Ένα σκυρόδεμα θεωρείται ανθεκτικό όταν μπορεί να αντέξει τη διαδικασία αποσάθρωσης στην οποία πρόκειται να εκτεθεί. Δεν σημαίνει ότι το σκυρόδεμα θα έχει απεριόριστη ζωή ούτε ότι θα αντέχει οποιαδήποτε κατάσταση.

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

3.1 Ορισμός: Ανθεκτικότητα μιας κατασκευής ονομάζουμε την ικανότητα της να ανθίσταται στις περιβαλλοντικές επιδράσεις (φυσικές ή χημικές) χωρίς να χάνει τις ιδιότητες αντοχής και λειτουργίας κάτω από ένα ανεκτό όριο. [2]

3.2 Αιτίες ανεπαρκούς ανθεκτικότητας

Η ανεπαρκής ανθεκτικότητα γίνεται αντιληπτή με την αποσάθρωση του σκυροδέματος, η οποία μπορεί να οφείλεται είτε σε εξωτερικούς, είτε σε εσωτερικούς παράγοντες. Οι αιτίες αποσάθρωσης μπορεί να είναι φυσικές, χημικές ή μηχανικές. Μηχανική ζημιά προκαλείται από κρούση, λείανση ή διάβρωση. Οι χημικές αιτίες της αποσάθρωσης περιλαμβάνουν τις αλκαλοπυριτικές και αλκαλοανθρακικές αντιδράσεις οι οποίες γίνονται μεταξύ του τσιμέντου και των πυριτικών και ανθρακικών συστατικών των αδρανών. Το διοξείδιο του άνθρακα, τα χλωριόντα καθώς και μερικά φυσικά ή εργοστασιακά υγρά και αέρια είναι παράγοντες που επηρεάζουν το σκυρόδεμα εξωτερικά.

Οι φυσικές αιτίες της αποσάθρωσης περιλαμβάνουν τις επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας ή της διαφορετικής θερμικής διόγκωσης των αδρανών και του τσιμέντου. Σημαντικός παράγοντας επίσης είναι και η εναλλασσόμενη πήξη και τήξη του σκυροδέματος καθώς και η επίδραση των αντιπαγωτικών αλάτων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η αποσάθρωση του σκυροδέματος είναι συνήθως αποτέλεσμα της δράσης διαφορετικών παραγόντων οι οποίοι συνεργούν στο σκυρόδεμα. Πάντως η ποιότητα του σκυροδέματος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. [4]

3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα

3.3.1 Διαπερατότητα

Διαπερατότητα ονομάζουμε την ευκολία με την οποία τα ρευστά μπορούν να κινηθούν μέσα στο σκυρόδεμα. Τέτοια ρευστά είναι το νερό και τα αέρια οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα.

Όταν το σκυρόδεμα έχει μικρή διαπερατότητα αυξάνεται η δυσκολία στην κίνηση των ρευστών σωματιδίων μέσα σ' αυτό. Συνεπώς αυξάνεται και η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Όσον αφορά την κίνηση των ρευστών μέσα στο σκυρόδεμα, που γενικότερα ονομάζεται διαπερατότητα, μπορεί να χωρισθεί σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες. 1) Διαπερατότητα, η οποία αναφέρεται σε ροή λόγω διαφορικής πίεσης. 2) Διάχυση, που είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα ρευστό κινείται λόγω διαφορικής συγκέντρωσης. 3) Απορρόφηση, που είναι το αποτέλεσμα της τριχοειδούς κίνησης στους πόρους του σκυροδέματος.

3.3.1.1 Συντελεστής διαπερατότητας

Η ροή στους τριχοειδείς πόρους στο κορεσμένο σκυρόδεμα ακολουθεί το νόμο του Darcy για την αστρόβιλη ροή :

$$(dq/dt) \cdot (1/A) = (k' \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta h) / (n \cdot L)$$

όπου : dq/dt η ταχύτητα ροής του νερού σε m^3/sec

A η διατομή του δοκιμίου σε m^2

Δh η πτώση του υδραυλικού ύψους μέσα στο δοκίμιο σε m

L το πάχος του δοκιμίου σε m

N το ιξώδες του ρευστού σε $Nsec/m^2$

ρ η πυκνότητα του ρευστού σε kg/m^3

g η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/sec^2

Ο συντελεστής k' προκύπτει σε m^2 και εκφράζει την πραγματική διαπερατότητα του υλικού ανεξάρτητα από το ρευστό που χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή.

Το πιο συνηθισμένο ρευστό είναι το νερό, μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε ότι:

$$k = k' \cdot \rho \cdot g / \eta$$

Εδώ ο συντελεστής k' εκφράζεται σε m/sec και αποτελεί το συντελεστή διαπερατότητας του σκυροδέματος. Αναφέρεται μόνο για νερό σε θερμοκρασία δωματίου. Η τελευταία απαίτηση είναι πολύ σημαντική γιατί με την αλλαγή της θερμοκρασίας αλλάζει και το ιξώδες του νερού.

Η εξίσωση της ροής μπορεί πλέον να γραφτεί :

$$(dq/dt) \cdot (1/A) = k \cdot (\Delta h/L)$$

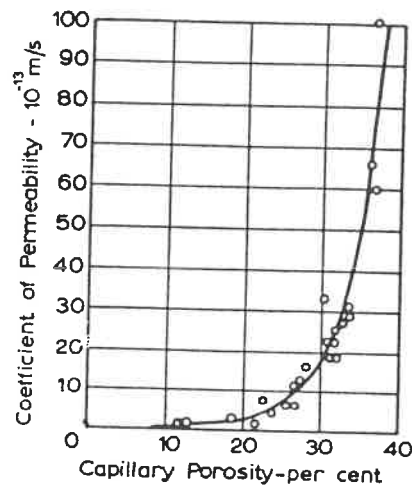
Αν επιτευχθεί σταθερή ροή ο συντελεστής k μπορεί να καθορισθεί επακριβώς. [4]

3.3.1.2 Επιρροή του πορώδους

Το μέγεθος και η κατανομή των πόρων του σκυροδέματος σχετίζονται με την διαπερατότητα. Ιδιαίτερα ευνοούν τη διαπερατότητα πόροι με διάμετρο τουλάχιστον 120 – 160 nm οι οποίοι είναι συνεχόμενοι διότι επιτρέπουν την κίνηση των ρευστών σωματιδίων. Κατά συνέπεια η διαπερατότητα του σκυροδέματος οφείλεται στη μάζα της τσιμεντοκονίας η οποία είναι η μοναδική συνεχής φάση στο σκυρόδεμα. Οι πόροι των αδρανών είναι συνήθως ασυνεχείς. Επιπλέον οι κόκκοι των αδρανών περιβάλλονται από τσιμεντοκονία, οπότε οι πόροι των αδρανών δεν συμβάλουν στη διαπερατότητα. Το ίδιο ισχύει και για τα κενά αέρα που περιέχονται στο σκυρόδεμα καθώς και τους πόρους που περιέχουν νερό.

Αν το πορώδες είναι υψηλό και οι πόροι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους συνεισφέρουν στη μεταφορά ρευστών σωματιδίων, οπότε η διαπερατότητα είναι υψηλή. Αν οι πόροι είναι ασυνεχείς τότε η διαπερατότητα του σκυροδέματος είναι χαμηλή ακόμα και αν το πορώδες είναι υψηλό.

Το σχήμα 1 δείχνει τη σχέση μεταξύ διαπερατότητας και πορώδους.

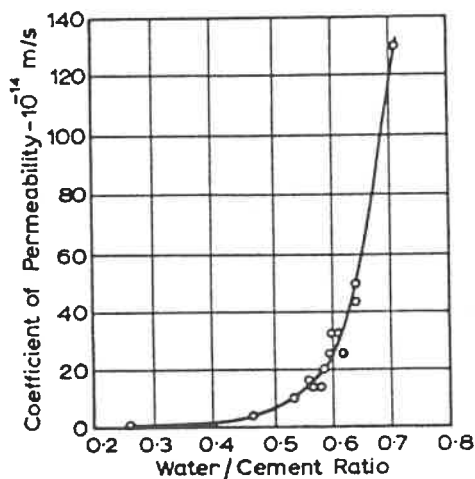


Σχήμα 3.1 Σχέση μεταξύ διαπερατότητας και πορώδους [4]

3.3.1.3 Επιρροή του λόγου N/T

Ο λόγος N/T είναι πολύ σημαντική παράμετρος στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Όσο μικρότερος είναι τόσο μικρότερη είναι η διαπερατότητα. Για λόγο N/T μεγαλύτερο του 0,70 δεν μπορεί να υπάρξει ασυνέχεια των πόρων, συνεπώς το σκυρόδεμα θα έχει πολύ μεγάλη διαπερατότητα. Αντίθετα όταν ο λόγος N/T είναι μικρότερος του 0.40 οι πόροι είναι διαχωρισμένοι με αποτέλεσμα η διαπερατότητα να είναι πολύ μικρή.

Στο διάγραμμα 2 φαίνεται πως επηρεάζεται ο συντελεστής διαπερατότητας από το λόγο N/T .



Σχήμα 3.2 Σχέση μεταξύ διαπερατότητας και λόγου N/T [4]

3.3.1.4 Διάχυση

όταν η μεταφορά αερίου ή ατμού μέσα στο σκυρόδεμα είναι το αποτέλεσμα μιας διαφορικής συγκέντρωσης και όχι διαφορικής πίεσης τότε έχουμε το φαινόμενο της διάχυσης. Όσον αφορά τη διάχυση αερίων το διοξείδιο του άνθρακα και το οξυγόνο είναι πρωταρχικού ενδιαφέροντος. Το πρώτο γιατί οδηγεί στην ενανθράκωση της ενυδατωμένης τσιμεντοκονίας και το δεύτερο γιατί κάνει πιθανή τη διάβρωση του χάλυβα.

Ο συντελεστής διάχυσης είναι αντιστρόφως ανάλογος της τετραγωνικής ρίζας της μοριακής του μάζας. Έτσι το οξυγόνο διαχέεται, θεωρητικά, 1,17 φορές γρηγορότερα από το διοξείδιο του άνθρακα.

Όσον αφορά το συντελεστή διάχυσης του διοξειδίου του άνθρακα έχει βρεθεί ότι είναι ανάλογος της σχετικής υγρασίας του αέρα και του πορώδους της σκληρυμένης πάστας τσιμέντου ή της αντοχής σε θλίψη του σκυροδέματος. Η διάχυση του οξυγόνου μέσα στο σκυρόδεμα επηρεάζεται σημαντικά από την συντήρηση. Η παρατεταμένη συντήρηση μειώνει το συντελεστή διάχυσης. Η υγρασία του σκυροδέματος έχει επίσης μεγάλη επίδραση γιατί οι πόροι του νερού μειώνουν σημαντικά τη διάχυση. [4]

3.3.1.5 Απορρόφηση

Ο όγκος των πόρων στο σκυρόδεμα όπως γίνεται σαφής από την ευκολία με την οποία ένα ρευστό μπορεί να διεισδύσει σ' αυτό μετράται με την απορρόφηση. Η απορρόφηση συνήθως μετράται με στέγνωμα του δοκιμίου μέχρι μια σταθερή μάζα, εμβάπτιση του σε νερό και κατόπιν μέτρηση της αύξησης της μάζας σαν ποσοστό της ξηρής μάζας. Από τις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούνται εξάγονται διαφορετικά αποτελέσματα. Ένας λόγος αυτής της διαφοροποίησης είναι ότι με το στέγνωμα σε συνηθισμένη θερμοκρασία δεν φεύγει όλο το ελεύθερο νερό, ενώ το στέγνωμα σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να μετακινήσει όλο το δεσμευμένο νερό.

Η απορρόφηση λοιπόν, δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη μέθοδος ελέγχου της ποιότητας του σκυροδέματος. Μπορεί να δώσει μια πρώτη ένδειξη για την ποιότητα, αφού τα περισσότερα «καλά» σκυροδέματα

έχουν απορρόφηση πολύ μικρότερη από το 10% της μάζας τους. Χρειάζεται όμως περαιτέρω έλεγχος για τον καθορισμό της ποιότητας του σκυροδέματος.

3.4 Ανθεκτικότητα του σκυροδέματος έναντι χημικών επιδράσεων

Το σκυρόδεμα γενικότερα είναι ανθεκτικό σε χημικές επιδράσεις, με την προϋπόθεση ότι θα κατασκευαστεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε κατασκευής στην οποία θα χρησιμοποιηθεί. Είναι όμως δυνατόν κάτω από ορισμένες συνθήκες να υποστεί φθορά. Για να διαβρωθεί το σκυρόδεμα εξαιτίας χημικών επιδράσεων πρέπει να πραγματοποιηθεί χημική αντίδραση μεταξύ των χημικώς ενεργών συστατικών του σκυροδέματος και των διαβρωτικών ουσιών που υπάρχουν στο περιβάλλον.

Η χημική διάβρωση είναι σύνθετη διαδικασία η οποία επηρεάζεται από τις εξής παραμέτρους : [2]

- Τις ιδιότητες του σκυροδέματος, π.χ. διαπερατότητα, είδος του τσιμέντου, είδος των αδρανών.
- Τις ιδιότητες του διαβρωτικού μέσου, π.χ. τη συγκέντρωση του οξέος ή του άλατος στο διάλυμα.
- Τη φύση των προϊόντων της αντίδρασης, δηλαδή αν είναι αδιάλυτα (μειώνουν τη διαπερατότητα του σκυροδέματος), ευδιάλυτα κλπ.
- Τις περιβαλλοντικές συνθήκες, π.χ. την παρουσία νερού, τη θερμοκρασία, την πίεση, την ταχύτητα ροής.

3.4.1 Επίδραση θειικών αλάτων

Η πιο κοινή μορφή χημικής φθοράς του σκυροδέματος, είναι η επίδραση των θειικών αλάτων, κυρίως των αλάτων νατρίου, ασβεστίου, αμμωνίου και μαγνησίου. Τα άλατα αυτά βρίσκονται κατά κύριο λόγο στο έδαφος και στα υπόγεια νερά. Τα θειικά άλατα μερικές φορές περιέχουν

θειικό αμμώνιο το οποίο επιδρά στην ενυδατωμένη τσιμεντοκονία παράγοντας γύψο.

Η διάβρωση από τα θειικά μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σειρά τριών διαδικασιών :

1. Η πρώτη είναι η διάχυση των θειικών ιόντων στους πόρους του σκυροδέματος, η οποία εξαρτάται από το συντελεστή διαπερατότητας και το συντελεστή διάχυσης των ιόντων.

2. Στα αρχικά στάδια η διάβρωση από τη γύψο μπορεί να είναι ευεργετική αφού η γύψος είναι πιο διαλυτή από το υδροξείδιο του ασβεστίου και η αντίδραση διάλυσης – κρυσταλοποίησης επιτρέπει στη γύψο να κρυσταλλωθεί χωρίς διόγκωση. Η έκταση του σχηματισμού της γύψου εξαρτάται από το αν τα ιόντα υδροξειδίου έχουν απομακρυνθεί.

3. Η διάβρωση από θειικά άλατα προκαλεί εσωτερικές ρωγμές, οπότε αυξάνεται ο συντελεστής διαπερατότητας και προκαλείται περαιτέρω διάβρωση.

Η επίδραση των θειικών αλάτων προκαλεί όχι μόνο διόγκωση και ρωγμές αλλά και μείωση της αντοχής του σκυροδέματος εξαιτίας της απώλειας συνοχής της τσιμεντοκονίας και της απώλειας πρόσφυσης μεταξύ αυτής και των αδρανών. Η διάβρωση λόγω θειικών αλάτων συνήθως ξεκινά από τις άκρες και τις γωνίες ενώ ακολουθεί ρηγμάτωση.

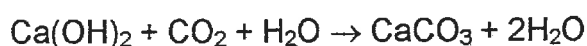
Σκυροδέματα ανθεκτικά στα θειικά άλατα είναι τα αργιλικά και τα υπερθειικά, καθώς και αυτά που έχουν προσμίξεις (π.χ. ποζολάνες ή σκωρίες υφικαμίνων). [3]

3.4.2 Επίδραση οξέων

Το σκυρόδεμα επειδή είναι αλκαλικό υλικό δεν είναι ανθεκτικό στην επίδραση οξέων. Γενικά η χημική διάβρωση του σκυροδέματος εμφανίζεται με αποσύνθεση των προϊόντων της ενυδάτωσης και δημιουργία νέων ενώσεων οι οποίες αν είναι διαλυτές μπορεί να αποπλυθούν, ενώ αν δεν είναι μπορεί να δημιουργήσουν διάβρωση στο σημείο που βρίσκονται. Το πιο «τρωτό» συστατικό του σκυροδέματος είναι το υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)_2 αλλά και το C-S-H μπορεί

να προσβληθεί από τα οξέα. Τα ασβεστολιθικά αδρανή είναι επίσης ευπρόσβλητα.

Η πιο συνηθισμένη μορφή διάβρωσης από οξέα είναι αυτή που προέρχεται από το ανθρακικό οξύ. Το ανθρακικό οξύ είναι το υδάτινο διάλυμα του διοξειδίου του άνθρακα. Συνήθως βρίσκεται σε επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα. Το ανθρακικό οξύ αντιδρά με τα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου και δίνει τα αντίστοιχα όξινα ανθρακικά άλατα, τα οποία είναι αβλαβή για το σκυρόδεμα. Αν όμως δεν υπάρχουν στο μίγμα τα συγκεκριμένα άλατα το ανθρακικό οξύ μπορεί να διαβρώσει το σκυρόδεμα. Η ενανθράκωση είναι η κυριότερη μορφή διάβρωσης του ανθρακικού οξέος.



Το ανθρακικό ασβέστιο που παράγεται φράσσει τους πόρους του τσιμεντοκονιάματος και προκαλείται αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Κατόπιν το ανθρακικό ασβέστιο αντιδρά με το ανθρακικό οξύ δίνοντας όξινο ανθρακικό ασβέστιο, το οποίο είναι ευδιάλυτο στο νερό και προκαλείται απόπλυση. Το ανθρακικό ασβέστιο μπορεί να αντιδράσει και με τα ένυδρα άλατα αργιλικού τριασβεστίου ($\text{C}_3 - \text{A} - \text{H}_6$) και σιδηρικού τριασβεστίου ($\text{C}_3 - \text{F} - \text{H}_6$) τα οποία στηρίζουν τη συνάφεια μεταξύ του τσιμεντοπολτού και των αδρανών προκαλώντας χαλάρωση.

Ορισμένα οξέα όπως το υδροχλωρικό οξύ, το νιτρικό οξύ, το οξικό οξύ και το γαλακτικό οξύ αντιδρούν με τις ενώσεις του τσιμεντοπολτού και δίνουν ευδιάλυτα άλατα ασβεστίου τα οποία αποπλένονται από το σκυρόδεμα. Οξέα όπως το φωσφορικό, το υδροφθορικό και το αλκαλικό σχηματίζουν αδιάλυτα άλατα αργιλίου τα οποία προστατεύουν το σκυρόδεμα από περαιτέρω φθορά. [2]

Υπάρχουν διάφοροι έλεγχοι για την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος στα οξέα. Πρέπει όμως να γίνονται σε πραγματικές συνθήκες γιατί όταν χρησιμοποιείται ένα συγκεντρωμένο οξύ όλα τα σκυροδέματα διαλύονται και δεν είναι δυνατόν να υπάρξει συμπέρασμα σχετικά με την ποιότητα τους.

Η χρήση μιγμάτων τσιμεντών που περιέχουν ποζολάνες και σκωρίες υφικαμίνων μειώνει την επίδραση των διαβρωτικών παραγόντων.

Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος στην επίδραση των οξέων αυξάνεται αν μείνει να στεγνώσει πριν την έκθεση του στο περιβάλλον υπό την προϋπόθεση ότι θα συντηρηθεί σωστά. Δηλαδή το προκατασκευασμένο σκυρόδεμα είναι γενικά λιγότερο ευπρόσβλητο από το σκυρόδεμα που καλουπώνεται επί τόπου.

3.4.3 Εξαλάτωση

Η εξαλάτωση εμφανίζεται αρκετά συχνά στην επιφάνεια του σκυροδέματος, όταν το νερό διεισδύει μέσα στο υλικό είτε συνεχόμενα, είτε περιοδικά, ή όταν η εκτεθειμένη του πλευρά βρέχεται και στεγνώνει εναλλασσόμενα. Η εξαλάτωση συνίσταται από ιζήματα αλάτων τα οποία αποπλύθηκαν από το σκυρόδεμα και κρυσταλοποιήθηκαν από επακόλουθη εξάτμιση του νερού ή αντίδραση με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας.

Η εξαλάτωση είναι περισσότερο αισθητικό πρόβλημα παρά πρόβλημα ανθεκτικότητας. Είναι όμως ενδεικτική της απόπλυσης που συμβαίνει μέσα στο σκυρόδεμα. Η παρατεταμένη απόπλυση αυξάνει το πορώδες, συνεπώς μειώνει την αντοχή του σκυροδέματος και την ανθεκτικότητά του σε διάβρωση.

Το συστατικό του σκυροδέματος που αποπλένεται συνήθως είναι το υδροξείδιο του ασβεστίου. Το $C-S-H$ είναι κατά βάση αδιάλυτο και αποσυντίθεται μόνο κάτω από έντονες συνθήκες απόπλυσης για μεγάλες χρονικές περιόδους. Συνεπώς τα μίγματα με υψηλή περιεκτικότητα σε υδροξείδιο του ασβεστίου είναι πιο επιρρεπή στην απόπλυση και εξαλάτωση. [3]

Η εξαλάτωση είναι πιο πιθανό να συμβεί σε σκυροδέματα που είναι πορώδη κοντά στην επιφάνεια. Το είδος του ξυλότυπου καθώς και ο λόγος N/T και η συμπύκνωση σχετίζονται άμεσα με το φαινόμενο.

3.4.4 Επίδραση του θαλασσίου ύδατος

Η φθορά του σκυροδέματος λόγω θαλασσίου ύδατος προέρχεται από το συνδυασμό διαφόρων φυσικών και χημικών επιδράσεων. Σ' αυτές περιλαμβάνονται η υδροφθορά, η επίδραση παγετού-τήξης, η επίδραση του CO_2 της ατμόσφαιρας, η επίδραση των αλάτων στο νερό, η

επίδραση των αλκαλίων, ο σχηματισμός βιολογικής μεμβράνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η επίδραση των παραπάνω παραγόντων εξαρτάται από τη θέση του σκυροδέματος σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας.

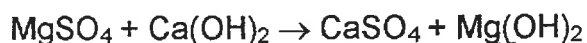
Η ανάλυση της σύστασης του θαλασσινού νερού δίνει τις εξής περιεκτικότητες σε άλατα : [2]

<u>Άλατα</u>	<u>gr/lt</u>	<u>Ποσοστό % των συνολικών αλάτων</u>
NaCl	26,9	78,32
MgCl ₂	3,2	9,44
CaCl ₂	0,6	1,69
MgSO ₄	2,2	6,40
CaSO ₄	1,3	3,94
Διάφορα	==	<u>0,21</u>
	34,2	100,00

Η μεγάλη περιεκτικότητα του θαλάσσιου νερού σε θειικά άλατα θα μπορούσε να σημαίνει τη διάβρωση λόγω θεικών αλάτων. Κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει γιατί ο εντριγκίτης και η γύψος που σχηματίζονται είναι πολύ διαλυτά με την παρουσία των χλωριόντων και έτσι αποπλένονται από το θαλάσσιο νερό.

Το φαινόμενο της εναλλασσόμενης πήξης και παγετού δημιουργεί σοβαρά προβλήματα γιατί συσσωρεύονται άλατα μέσα στο σκυρόδεμα με την είσοδο του θαλάσσιου νερού και την εξάτμιση του καθαρού νερού τα οποία παραμένουν μέσα. Τα άλατα αυτά διαβρώνουν τον οπλισμό.

Από την αντίδραση του θειικού μαγνησίου (MgSO₄) που βρίσκεται στο θαλάσσιο νερό με το υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)₂) του σκυροδέματος σχηματίζεται το υδροξείδιο του μαγνησίου (Mg(OH)₂)



το οποίο δημιουργεί μια προστατευτική επιφάνεια που αποτρέπει περαιτέρω διάβρωση. Η αντίδραση είναι περιορισμένη εξαιτίας της παρεμποδιστικής λειτουργίας του Mg(OH)₂. Αν όμως απομακρυνθεί η επίστρωση του υδροξειδίου του μαγνησίου η αντίδραση συνεχίζεται. [4]

Για να είναι ένα σκυρόδεμα ανθεκτικό στο θαλάσσιο νερό πρέπει να έχει μικρή διαπερατότητα. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με τη

χρήση σκυροδεμάτων με μικρό λόγο Ν/Τ, επιλογή των σωστών υλικών, καλή συμπύκνωση και απουσία ρωγμών εξαιτίας της συστολής ή θερμοκρασιακής μεταβολής. Το σκυρόδεμα πρέπει να έχει συντηρηθεί πριν την έκθεση του στο θαλάσσιο νερό εκτός αν το σκυρόδεμα παραμείνει μόνιμα βυθισμένο. Δοκιμές σε διάφορα κονιάματα έδειξαν ότι χρειάζεται μια ελάχιστη περίοδος επτά ημερών συντήρησης σε καθαρό νερό ανεξάρτητα του τύπου του τσιμέντου που χρησιμοποιείται.

3.5 Ανθεκτικότητα σκυροδέματος έναντι φυσικών επιδράσεων

3.5.1 Μηχανική φθορά σκυροδέματος

Ως μηχανική φθορά ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία προκαλείται φθορά στην επιφάνεια του σκυροδέματος εξαιτίας μηχανικών επιρροών π.χ. ολίσθηση, κρούση. Γενικά η μηχανική φθορά διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες : [2]

- Μηχανική φθορά δαπέδων από σκυρόδεμα εκτεθειμένο στον αέρα (απότριψη)
- Μηχανική φθορά υδραυλικών κατασκευών (υδροφθορά)
- Σπηλαίωση

3.5.1.1 Απότριψη

Απότριψη του σκυροδέματος προκαλείται από την κυκλοφορία πεζών, την ολίσθηση αντικειμένων, την πρόσκρουση οχημάτων ή αντικειμένων, την κυκλοφορία φορτηγών κλπ.

Το τσιμεντοκονίαμα έχει μικρότερη αντοχή σε απότριψη από τα αδρανή που περιέχονται στο σκυρόδεμα. Έτσι αυτό φθείρεται πρώτο με αποτέλεσμα να εμφανίζονται τα αδρανή στην επιφάνεια του σκυροδέματος και με την τριβή να αποκολλώνται και αυτά, δημιουργώντας ορατές ανωμαλίες.

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

- Η αντοχή του σκυροδέματος.

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

- Ο λόγος N/T .

Όταν ο λόγος N/T είναι μικρός, η αντοχή του σκυροδέματος και κατά συνέπεια η ανθεκτικότητα σε απότριψη, είναι μεγάλη.

- Το είδος των αδρανών.

Το είδος των αδρανών φαίνεται ότι παίζει ρόλο σε σκυροδέματα με χαμηλή αντοχή (21 – 35 MPa) όπου προτιμώνται σκληρά αδρανή αφού δίνουν ανθεκτικότερα σκυροδέματα σε απότριψη. Αντίθετα σε σκυροδέματα μεγάλης αντοχής το είδος των κόκκων δεν επηρεάζει την ανθεκτικότητα γιατί η τσιμεντοκονία φθείρεται αργά και τα αδρανή αργούν να εμφανιστούν στην επιφάνεια.

- Η συντήρηση του νωπού σκυροδέματος

Η συντήρηση είναι πολύ σημαντική, αφού αν δεν πραγματοποιηθεί σωστά προκαλείται επιφανειακή ρηγμάτωση η οποία βοηθά την απότριψη. Από πειράματα βρέθηκε ότι η επιφάνεια σκυροδέματος που συντηρήθηκε για 7 ημέρες έχει περίπου διπλάσια αντοχή σε απότριψη, σε σχέση με την επιφάνεια σκυροδέματος που συντηρήθηκε για 3 ημέρες.

- Οι 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. Είναι πολύ σημαντικές αφού επηρεάζουν το πάνω στρώμα της επιφάνειας του σκυροδέματος. [2]

3.5.1.2 Υδροφθορά σκυροδέματος

Η φθορά που προκαλείται από τη ροή του νερού ή των μεταφερομένων από το νερό σωμάτων σε κατασκευές όπως φράγματα, αγωγοί, υπερχειλιστές κλπ. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την υδροφθορά 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.

3.5.1.3 Σπηλαίωση

Το φαινόμενο της σπηλαίωσης εμφανίζεται όταν η πίεση του νερού είναι μικρότερη από την τάση των κορεσμένων υδρατμών. Τότε δημιουργούνται φυσαλίδες ατμού μέσα στην υγρή μάζα που ανέρχονται στην επιφάνεια δημιουργώντας φαινόμενο ανάλογο με το βρασμό. Όταν δημιουργούνται οι παραπάνω συνθήκες στη ροή του νερού οι φυσαλίδες ακολουθούν τη ροή, αν όμως φθάσουν σε θέσεις όπου η πίεση αυξάνεται θραύονται και ο ατμός που περιέχουν συμπυκνώνεται και πάλι σε υγρό. Τη θραύση ακολουθεί εισόρμηση του περιβάλλοντος υγρού για να συμπληρώσει το κενό, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ισχυρότατων τοπικών πιέσεων.

Η εναλλαγή σχηματισμού και θραύσης των φυσαλίδων είναι δυνατόν να γίνεται συνέχεια και με μεγάλη συχνότητα. Τι φαινόμενο αυτό προκαλεί στις κατασκευές που βρίσκονται στην περιοχή όπου εμφανίζεται, αστάθειες, δονήσεις, θόρυβο, διάβρωση και κόπωση των υλικών. [5]

3.5.2 Επίδραση παγετού και αντιπαγωτικών αλάτων

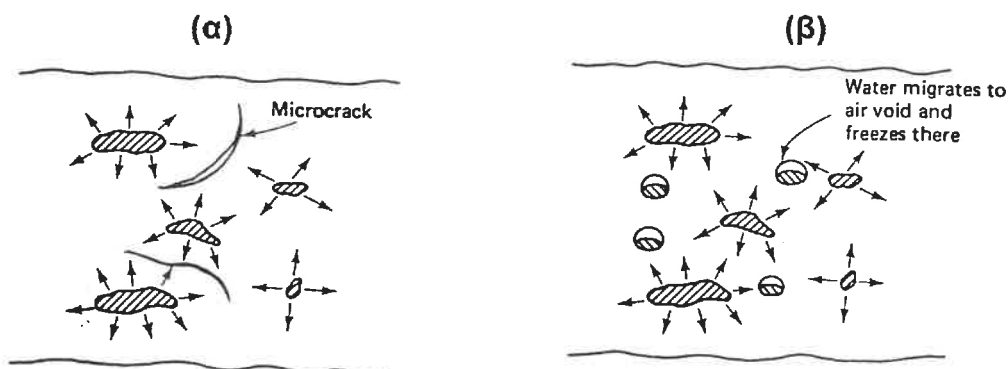
3.5.2.1 Επίδραση παγετού

Τα πορώδη υλικά που περιέχουν νερό στη μάζα τους, όπως το σκυρόδεμα, είναι ευπαθή σε φθορά λόγω παγετού. Ιδιαίτερα στα βόρεια κλίματα όπου το φαινόμενο του παγετού είναι συνηθισμένο το σκυρόδεμα μπορεί να καταστραφεί μέσα σ'ένα χειμώνα.

Όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 0°C δεν παγώνει αμέσως όλο το νερό των πόρων. Αιτία είναι τα διαφορετικά μεγέθη πόρων που υπάρχουν στο μίγμα. Για παράδειγμα πόροι διαμέτρων 10nm παγώνουν στους -5°C ενώ διαμέτρων $3,5\text{nm}$ στους -20°C .

Αρκετοί διαφορετικοί παράγοντες συμβάλλουν στη φθορά λόγω παγετού. Αυτοί προέρχονται από την υδραυλική πίεση, την απορρόφηση νερού από το C – S – H και τον διαχωρισμό του πάγου. Όταν το νερό παγώνει προκαλείται αύξηση του όγκου κατά 9%, αλλά δεν είναι αρκετή για να εξηγηθεί η συνολική διαστολή που παρατηρείται.

Η υδραυλική πίεση είναι αυτή που προκαλεί τη σημαντικότερη διαστολή στο σκυρόδεμα. Όταν δημιουργείται ο πάγος σ'έναν πόρο, η επακόλουθη αύξηση όγκου προκαλεί πίεση στο νερό των γειτονικών πόρων. Για να εξισορροπηθεί η πίεση θα πρέπει το νερό να βρει διέξοδο σ'ένα κενό χώρο. Αν δεν υπάρχει τέτοιο κενό ο πόρος διογκώνεται με αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσεων σ'εκείνο το σημείο, οι οποίες προκαλούν μικρορωγμές.



Σχήμα 3.3 Δημιουργία υδραυλικής πίεσης στο σκυρόδεμα (α) σκυρόδεμα χωρίς αερακτικό (β) σκυρόδεμα με αερακτικό [3]

Με τη μείωση της θερμοκρασίας παγώνει περισσότερο το νερό στους τριχοειδείς πόρους, αυξάνεται η υδραυλική πίεση και κατά συνέπεια η διαστολή και οι μικρορωγμές.

Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος στον παγετό εξαρτάται από τη διαπερατότητα, το βαθμό κορεσμού του τσιμεντοπολτού, την ποσότητα του νερού που είναι ελεύθερο και μπορεί να παγώσει και την ταχύτητα σχηματισμού του πάγου. Μερικώς στεγνό σκυρόδεμα δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από τον παγετό γιατί οι πόροι μεγάλου μεγέθους είναι άδειοι και προσφέρουν το απαραίτητο κενό για να διαφύγει το νερό.

Τη μεγαλύτερη προστασία στο σκυρόδεμα έναντι παγετού προσφέρουν τα αερακτικά πρόσθετα, διότι δημιουργούν κενά αέρα στη μάζα του. Πρέπει όμως το σκυρόδεμα να έχει αναπτύξει ένα τμήμα της

συνολικής του αντοχής ώστε να μπορέσει να αντέξει τη φθορά. Θεωρητικά για λόγους N/T μικρότερους από 0,36 δεν είναι απαραίτητη η χρήση αερακτικού γιατί υπάρχει ελάχιστο ελεύθερο νερό ικανό να παγώσει μέσα στο μίγμα. Είναι όμως προτιμότερο να χρησιμοποιούνται αερακτικά σε όλα τα σκυροδέματα που αναμένεται να εκτεθούν σε παγετό.

3.5.2.2 Επίδραση αντιπαγωτικών αλάτων

Η επίδραση των αντιπαγωτικών αλάτων, ιδίως σε συνδυασμό με τον παγετό, είναι ιδιαίτερα επιζήμια για το σκυρόδεμα. Συνήθως χρησιμοποιούνται το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2) και το χλωριούχο νάτριο (NaCl).

Η προσθήκη αντιπαγωτικού άλατος προκαλεί απότομη πτώση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του εσωτερικού οδηγεί στην ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων, οι οποίες δημιουργούν μικρορωγμές. Το φαινόμενο της οσμώσεως επίσης προκαλεί φθορά. Η ανάπτυξη οσμωτικών πιέσεων δημιουργείται στους πόρους του σκυροδέματος που περιέχουν αντιπαγωτικά άλατα. Τα μόρια του νερού προσπαθούν να εξισορροπήσουν τη συγκέντρωση του διαλύματος των αλάτων με τη συγκέντρωση καθαρού νερού. Γίνεται έτσι διάχυση των μορίων του νερού στους πόρους του τσιμεντοπολτού ή των αδρανών με αποτέλεσμα να κορεσθούν οι πόροι. [2]

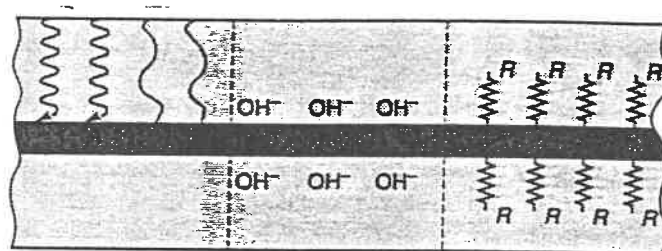
Για να αποφευχθεί η φθορά λόγω αντιπαγωτικών αλάτων πρέπει να γίνουν με μεγάλη προσοχή οι εργασίες ανάμιξης, εντύπισης και φινιρίσματος. Επίσης καλό είναι μετά την υγρή συντήρηση να υπάρξει μια περίοδος στεγνώματος πριν την εφαρμογή των αντιπαγωτικών αλάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Το σκυρόδεμα γενικά παρέχει πολύ καλή προστασία στον χάλυβα, η οποία οφείλεται σ'ένα αριθμό φυσικών και χημικών φαινομένων (σχ. 4.1). Μόνο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θα καταστραφεί η προστασία και θα συμβεί διάβρωση του οπλισμού.

<u>Φυσική/ Χημική</u>	<u>Ηλεκτροχημική</u>	<u>Ηλεκτρική</u>
Ελικοειδής διείσδυση	Υψηλή αλκαλικότητα και παθητικότητα	Ηλεκτρική αντίσταση



Σχήμα 4.1 Προστασία του οπλισμού από την επικάλυψη σκυροδέματος [10]

Η υψηλή αλκαλικότητα του σκυροδέματος που οφείλεται στο υδροξείδιο του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) που παράγεται από την ενυδάτωση του τσιμέντου και στα αλκαλικά μέταλλα που υπάρχουν στο τσιμέντο εξασφαλίζει στον οπλισμό συνθήκες που τον αφήνουν σε μια θερμοδυναμικά σταθερή ή παθητική και μη διαβρωτική κατάσταση. Για μεγάλες τιμές του pH (από 9 – 12,8) σχηματίζεται στην επιφάνεια του χάλυβα ένα πολύ λεπτό στρώμα οξειδίων του σιδήρου. Όσο υπάρχει το προστατευτικό στρώμα δεν μπορεί να συμβεί διάβρωση, ακόμα και αν υπάρχουν παράγοντες που την ευνοούν.

Η διάβρωση του οπλισμού εμφανίζεται συνήθως σαν αποτέλεσμα της επίδρασης των διαβρωτικών παραγόντων μέσα στο σκυρόδεμα και την καταστροφή των παθητικών συνθηκών. Οι δύο διαδικασίες που είναι κυρίως υπεύθυνες γι'αυτή τη μορφή διάβρωσης είναι η ενανθράκωση

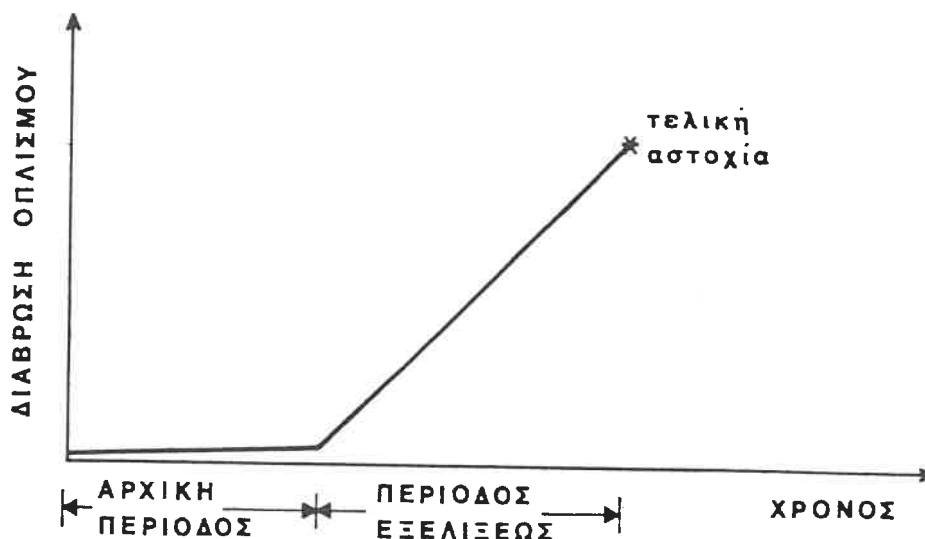
και η διάβρωση λόγω χλωριόντων. Η ζημιά τις περισσότερες φορές γίνεται εμφανής στην επιφάνεια του σκυροδέματος με τη μορφή ρωγμών, ξεφλουδίσματος ή λεκέδων σκουριάς.

4.1 Εξέλιξη του φαινομένου της διάβρωσης

Η διάρκεια ζωής μιας κατασκευής εξαρτάται άμεσα από την καλή κατάσταση του οπλισμού της. Είναι λοιπόν σημαντικό να γνωρίζουμε πότε θα εμφανιστεί η διάβρωση και από ποιες παραμέτρους επηρεάζεται.

Σύμφωνα με τον Κ. Tuutti η διάρκεια ζωής χωρίζεται σε δύο περιόδους: την αρχική περίοδο (t_0)

και την περίοδο εξέλιξης (t_1)



Σχήμα 4.2 Εξέλιξη της διάβρωσης του χάλυβα στο σκυρόδεμα [2]

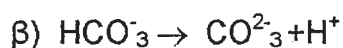
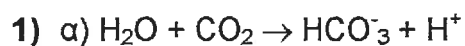
Σαν αρχική περίοδος χαρακτηρίζεται το χρονικό διάστημα που συμβαίνουν οι διαδικασίες οι οποίες καταστρέφουν την παθητική προστασία του χάλυβα (π.χ. ενανθράκωση). Η περίοδος εξέλιξεως έπεται της αρχικής και σ'αυτήν εντείνεται η διαδικασία διάβρωσης μέχρι την τελική αστοχία. Να σημειωθεί ότι σαν τελική αστοχία θεωρείται η

κατάσταση της κατασκευής στην οποία αντιστοιχεί μια απαράδεκτη στάθμη επιτελεστικότητας. [2]

4.2 Ενανθράκωση

Ενανθράκωση είναι η διαδικασία κατά την οποία το διοξείδιο του άνθρακα που βρίσκεται στον αέρα διαχέεται στο σκυρόδεμα και αντιδρά χημικά με το υδροξείδιο του ασβεστίου του σκυροδέματος. Το προϊόν της αντίδρασης είναι το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), ενώ μειώνεται και η αλκαλικότητα (το pH παίρνει περίπου την τιμή 8,0)

Οι χημικές αντιδράσεις που συνδέονται με το φαινόμενο είναι: [10]



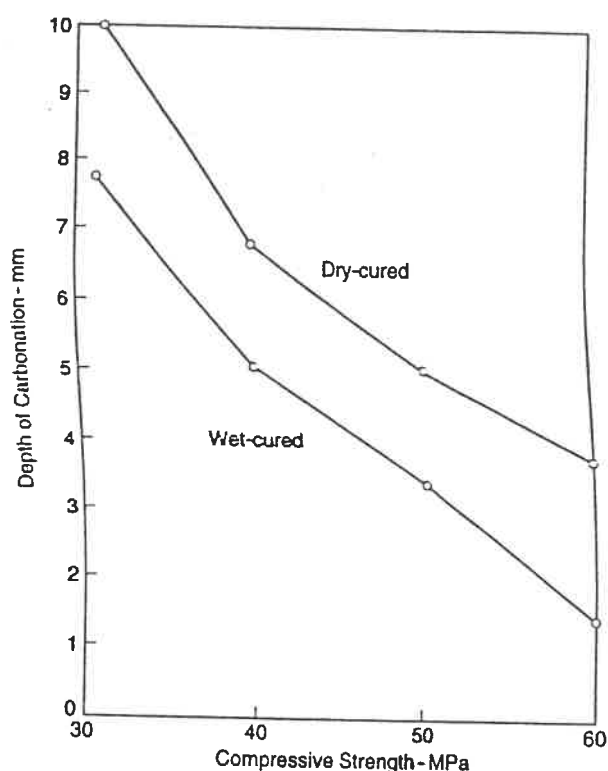
4.2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενανθράκωση

▪ Συνθήκες περιβάλλοντος

Περιλαμβάνονται η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία και η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα. Η μέγιστη ενανθράκωση συνήθως συμβαίνει σε σχετική υγρασία 50-70%. Σε μικρότερες υγρασίες δεν υπάρχει αρκετό νερό στους πόρους για να γίνουν οι αντιδράσεις, ενώ σε υψηλότερες το νερό στους πόρους αναστέλλει τη διάχυση του διοξειδίου του άνθρακα. Ο βαθμός ενανθράκωσης συνήθως αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε διοξείδιο του άνθρακα. Σε συγκεκριμένη υγρασία η αύξηση της ενανθράκωσης μπορεί να αναμένεται με αύξηση της θερμοκρασίας.

▪ Συντήρηση σκυροδέματος

Η επίδραση της συντήρησης είναι πολύ σημαντική για το βάθος ενανθράκωσης. Όταν το σκυρόδεμα υπόκειται σε υγρή συντήρηση το βάθος ενανθράκωσης μειώνεται. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 4.3 όπου παρουσιάζεται το βάθος ενανθράκωσης σε σχέση με την αντοχή 28 ημερών α) για συντήρηση στο νερό για 28 ημέρες και β) για συντήρηση στον αέρα σε σχετική υγρασία 65%. [4]



Σχήμα 4.3 Σχέση μεταξύ βάθους ενανθράκωσης και αντοχής. [4]

Κάποια άλλα εργαστηριακά αποτελέσματα έδειξαν ότι η αύξηση της υγρής συντήρησης από 1 σε 3 ημέρες μείωσε το βάθος ενανθράκωσης περίπου 40%.

▪ Ποιότητα και πάχος επικάλυψης

Επικάλυψη με χαμηλή διαπερατότητα μειώνει ή και αναστέλλει τη διείσδυση του CO_2 . Αύξηση του πάχους της επικάλυψης αυξάνει το χρόνο για την έναρξη της διάβρωσης. Δεν εξασφαλίζει όμως το χάλυβα από τη διάβρωση, ιδιαίτερα αν δεν είναι καλής ποιότητας. Επίσης δεν πρέπει να ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο πάχος γιατί τότε απαιτείται πρόσθετος οπλισμός για να περιορισθεί το εύρος των ρωγμών. Συνήθως η επικάλυψη έχει πάχος 15 – 50 mm. [2]

4.2.2 Βάθος ενανθράκωσης

Όταν οι υγρομετρικές συνθήκες παραμένουν σταθερές το βάθος της ενανθράκωσης αυξάνει ανάλογα με την τετραγωνική ρίζα του

χρόνου. Μπορούμε λοιπόν να εκφράσουμε το βάθος της ενανθράκωσης D σε mm με τον τύπο : [4]

$$D = k \cdot t^{0.5} \text{ όπου } k: \text{ δείκτης ενανθράκωσης σε mm/χρόνο}^{0.5}$$

t : χρόνος έκθεσης σε χρόνια

Για μικρής αντοχής σκυρόδεμα το k είναι μεγαλύτερο από 3-4 mm/χρόνο^{0.5}

Το βάθος ενανθράκωσης είναι μεγαλύτερο σε εσωτερικά τμήματα μιας κατασκευής παρά σε εξωτερικά. Αυτό συμβαίνει γιατί τα εξωτερικά τμήματα έχουν περισσότερο νερό στους πόρους τους (λόγω της επαφής τους με τα νερά της βροχής), οπότε το CO_2 διαχέεται λιγότερο.

Ο Lawrence υπολόγισε ότι το βάθος ενανθράκωσης του σκυροδέματος κατά το πρώτο έτος της ζωής μιας κατασκευής μπορεί να ποικίλει από 0,5 ως 19,5mm, για μικρές τιμές του λόγου N/T το βάθος ενανθράκωσης κατά το πρώτο έτος είναι 1-2 mm. Ο M. Roberts αναφέρει ότι για σχετικά καλό τσιμέντο Portland το βάθος ενανθράκωσης είναι 5-8mm μετά από 10 χρόνια από την κατασκευή του και αυξάνεται σε 10-15mm μετά από 50 χρόνια. [2]

4.3 Επίδραση χλωριόντων

Τα χλωριόντα είτε προϋπάρχουν στο σκυρόδεμα μέσα σ'ένα από τα συστατικά του, είτε διεισδύουν σ'αυτό από τους πόρους του. Η αρχική παρουσία των χλωριόντων περιορίζεται με την κατάλληλη επιλογή των υλικών. Διείσδυση θα υπάρξει όταν στο σκυρόδεμα έχουν χρησιμοποιηθεί αντιπαγωτικά άλατα ή όταν η κατασκευή βρίσκεται σε επαφή με θαλάσσιο νερό.

Τα χλωριόντα υπάρχουν μέσα στο σκυρόδεμα με μία ή περισσότερες από τις παρακάτω μορφές :

- Ελεύθερα στους πόρους του σκυροδέματος
- Απορροφημένα από τα τοιχώματα των πόρων
- Χημικώς δεσμευμένα από τον τσιμεντοπολτό

Τα ελεύθερα χλωριόντα αποτελούν τη σοβαρότερη απειλή για το σκυρόδεμα, γιατί μπορούν να διεισδύσουν βαθύτερα και να φτάσουν μέχρι το προστατευτικό στρώμα του χάλυβα, το οποίο καταστρέφουν. Τα χημικώς δεσμευμένα ή τα απορροφούμενα χλωριόντα δεν είναι ικανά να προκαλέσουν διάβρωση.

Η επίδραση των χλωριόντων εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και από το περιβάλλον.

- Χαρακτηριστικά σκυροδέματος

⇒ Λόγος Ν/Τ. Μικρός λόγος Ν/Τ εξασφαλίζει μικρή διαπερατότητα, άρα η ποσότητα των χλωριόντων που μπορούν να διαχυθούν είναι μικρή.

⇒ Περιεκτικότητα σε τσιμέντο. Τα χλωριόντα δεσμεύονται χημικά από το C_3A του τσιμέντου και δεν προκαλούν διάβρωση. Έχει υπολογιστεί ότι χρειάζεται 5 –8 % κ.β. τσιμέντου από το C_3A για τη δέσμευση των χλωριόντων. Οι προσμίξεις του τσιμέντου επηρεάζουν την ικανότητα δέσμευσης των χλωριόντων από το σκυρόδεμα. Σκυρόδεμα με ιπτάμενη τέφρα έχει μεγάλη αντίσταση στη διείσδυση χλωριόντων. Τα αερακτικά μειώνουν τον κίνδυνο διάχυσης επειδή μειώνουν τη διαπερατότητα. Τα τσιμέντα με σκωρίες υψικαμίνων και ποζολάνες αλλάζουν το πορώδες του σκυροδέματος μειώνοντας τη διαπερατότητα του.

- Περιβαλλοντικές συνθήκες

Αν στην επιφάνεια του σκυροδέματος συμβαίνει εναλλασσόμενη διαβροχή και ξήρανση τα χλωριόντα διεισδύουν στο σκυρόδεμα είτε με απορρόφηση, όταν είναι στεγνό, είτε με διάχυση, όταν οι πόροι περιέχουν νερό. Τα χλωριόντα κινούνται γρηγορότερα με την απορρόφηση, επιδρούν όμως μόνο στα πρώτα χιλιοστά της επιφάνειας του σκυροδέματος. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει τη διείσδυση και τη διάβρωση.

4.4 Διάβρωση σιδηροπλισμένου σκυροδέματος

Παρουσιάζεται ένα απλοποιημένο προσομοίωμα της εξέλιξης του φαινομένου της διάβρωσης του οπλισμού. [11]

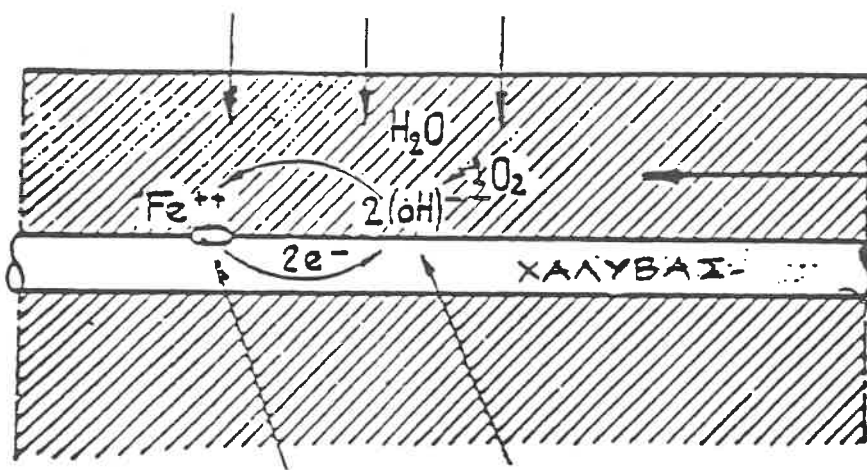
Πρακτικά γίνεται ηλεκτρόλυση όπου σαν άνοδος συμπεριφέρεται το τμήμα του χάλυβα στο οποίο έχει καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα και σαν κάθοδος το τμήμα όπου υπάρχει νερό και οξυγόνο. Η ράβδος του χάλυβα αποτελεί την ηλεκτρική σύνδεση και το νερό των πόρων τον ηλεκτρολύτη.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Απλοποιημένο πρόβλημα.

Διάχυση οξυγόνου μέσω των πόρων του σκυροδέματος.

O_2

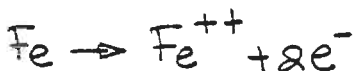


Ηλεκτρολύτης το νερό των πόρων του σκυροδέματος

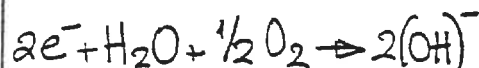
(Η προστατευτική στρώση οξειδίων έχει καταστραφεί λόγω ενανδράκωσης ή υπέρβασης συγκέντρωσης χλωριόντων.)

ΑΝΟΔΙΚΗ ΔΡΑΣΗ:

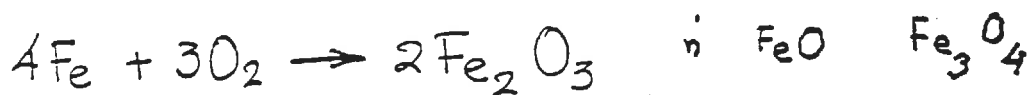
Διάχυση βιδίου



ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΔΡΑΣΗ



ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΗ: ύπαρξη H_2O ή O_2 .



↓ μεγαλύτερος όγκος

σκουριά διόγκωση $\Rightarrow$ ρωγμάτωση
(παράτητη προς οπτισμό)
επιτάχυνση της διάβρωσης
απόσπαση τεμαχίων
απώλεια οπτισμού

ΧΡΩΜΑ

κόκκινο
καφέ
πράσινο
μαύρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

5.1 Σκοπός

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που καθορίζουν τη ποιότητα του σκυροδέματος είναι η ανθεκτικότητά του στις περιβαλλοντικές επιδράσεις που δέχεται κατά τη διάρκεια της λειτουργικής του ζωής. Η μελέτη της ανθεκτικότητας είναι ένας σχετικά πρόσφατος τομέας έρευνας, ο οποίος είναι πολυσύνθετος και πολύπλοκος. Παρόλες αυτές τις δυσκολίες υπάρχει γενική συμφωνία ότι μια από τις σπουδαιότερες παραμέτρους που καθορίζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος είναι η «διαπερατότητα» σε υγρά και αέρια. Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι μέτρησης της διαπερατότητας του σκυροδέματος με διαφορετικό τομέα εφαρμογής η κάθε μία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται μία από αυτές τις μεθόδους.

Όπως ήδη αναφέρθηκε σκοπός της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της ανθεκτικότητας διαφορετικών μίγμάτων σκυροδέματος. Συγκεκριμένα θέλουμε να ελέγξουμε τη μεταβολή της ανθεκτικότητας σε σχέση με την ποσότητα του τσιμεντοπολτού του μίγματος. Η πειραματική μέθοδος εξετάζει την τριχοειδή απορρόφηση νερού από τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν. Το νερό απορροφάται από το πορώδες υλικό του σκυροδέματος, τον τσιμεντοπολτό. Υπάρχει δηλαδή άμεση εξάρτηση μεταξύ ανθεκτικότητας και ποσότητας τσιμεντοπολτού.

5.2 Μίγματα σκυροδέματος

Τα μίγματα που παρασκευάστηκαν, διαχωρίζονται σε τέσσερις ομάδες. Σε κάθε μία είναι σταθερός ο λόγος N/T και μεταβάλλεται η ποσότητα του τσιμεντοπολτού.

Οι λόγοι N/T που εξετάστηκαν είναι :

- Ομάδα Ι $N/T = 0.6$

- Ομάδα II $N/T = 0.5$
- Ομάδα III $N/T = 0.4$
- Ομάδα IV $N/T = 0.3$

Οι αναλογίες σύνθεσης και η ποσότητα του τσιμεντοπολτού κάθε μίγματος, καθώς και οι ημερομηνίες παρασκευής παρουσιάζονται παρακάτω αναλυτικά.

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 5

N/T=0,60

Ημερομηνία παρασκευής

5A 30/6/1999

5B 27/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

Τσιμέντο

Νερό

Άμμος

Ρυζάκι

Πρόσθετο

CHEM 172

396 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

5A 2,5 cm

5B 2,2 cm

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

233 Kg/m³

163 Kg/m³

1489 Kg/m³

608 Kg/m³

7,89 Kg/m³

15,83%

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

6A 3,8 cm

6B 1,4 cm

Ημερομηνία παρασκευής

6A 30/6/1999

6B 27/7/1999

Τσιμέντο

Νερό

Άμμος

Ρυζάκι

Πρόσθετο

SPL - P

501 Kg/m³

4,77%

4,77 Kg/m³

300 Kg/m³

201 Kg/m³

1325 Kg/m³

609 Kg/m³

4,77 Kg/m³

4,77%

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 6

N/T=0,60

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 7

N/T=0,60

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 8

N/T=0,60

Ημερομηνία παρασκευής

7A 30/6/1999

7B 27/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

Τσιμέντο

Νερό

Άμμος

Ρυζάκι

Πρόσθετο

SPL - P

606 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

7A 3,5 cm

7B 3,0 cm

Ημερομηνία παρασκευής

8A 30/6/1999

8B 27/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

367 Kg/m³

239 Kg/m³

1160 Kg/m³

611 Kg/m³

1,2 Kg/m³

25,48%

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

8A —

8B 5,2 cm

Τσιμέντο

Νερό

Άμμος

Ρυζάκι

Πρόσθετο

710 Kg/m³

30,63%

433 Kg/m³

277 Kg/m³

1013 Kg/m³

595 Kg/m³

—

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 9

NT=0.50

Ημερομηνία παρασκευής

9A 7/7/1999

9B 27/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

Τσιμέντο

Νερό

Άμμος

Ρυζάκι

Πρόσθετο

CHEM 172

442 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

9A 2,6 cm

9B 2,9 cm

280 Kg/m³162 Kg/m³1420 Kg/m³638 Kg/m³4,91 Kg/m³

17,64%

Ημερομηνία παρασκευής

10A 7/7/1999

10B 27/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

Τσιμέντο

Νερό

Άμμος

Ρυζάκι

Πρόσθετο

SPL - P

560 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

10A 1,7 cm

10B 1,5 cm

360 Kg/m³200 Kg/m³1243 Kg/m³640 Kg/m³4,97 Kg/m³

22,88%

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 10

NT=0.50

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 11

NT=0.50

Ημερομηνία παρασκευής

7/7/1999

27/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

Τσιμέντο

Νερό

Άμμος

Ρυζάκι

Πρόσθετο

SPL - P

677,7 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

11A 3,5 cm

11B 2,5 cm

440 Kg/m³237,7 Kg/m³1068 Kg/m³641 Kg/m³1,63 Kg/m³

28,37%

Ημερομηνία παρασκευής

7/7/1999

27/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

Τσιμέντο

Νερό

Άμμος

Ρυζάκι

Πρόσθετο

SPL - P

795,6 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

12A 4,0 cm

12B 3,9 cm

520 Kg/m³275,6 Kg/m³913 Kg/m³621 Kg/m³0,63 Kg/m³

34,14%

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 13

N/T=0.40

Ημερομηνία παρασκευής

13A 13/7/1999

13B 29/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

Τσιμέντο

350 Kg/m³

Νερό

161,3 Kg/m³

Άμμος

1329 Kg/m³

Ρυζάκι

670 Kg/m³

Πρόσθετο

CHEM 172

7,03 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

511,3 Kg/m³

20,31%

Κάθιση

13A 4,4 cm

13B 1,8 cm

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 15

N/T=0.40

Ημερομηνία παρασκευής

15A 13/7/1999

15B 29/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

Τσιμέντο

550 Kg/m³

Νερό

236,3 Kg/m³

Άμμος

937 Kg/m³

Ρυζάκι

678 Kg/m³

Πρόσθετο

SPL - P

4,17 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

786,3 Kg/m³

32,69%

Κάθιση

15A

15B

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 14

N/T=0.40

Ημερομηνία παρασκευής

14A 13/7/1999

14B 29/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

Τσιμέντο

450 Kg/m³

Νερό

198,7 Kg/m³

Άμμος

1120 Kg/m³

Ρυζάκι

687 Kg/m³

Πρόσθετο

SPL - P

7,51 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

648,7 Kg/m³

26,34%

Κάθιση

14A 3,4 cm

14B 1,9 cm

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 16

N/T=0.40

Ημερομηνία παρασκευής

16A 13/7/1999

16B 29/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

Τσιμέντο

650 Kg/m³

Νερό

274 Kg/m³

Άμμος

768 Kg/m³

Ρυζάκι

655 Kg/m³

Πρόσθετο

SPL - P

1,29 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

924 Kg/m³

39,35%

Κάθιση

16A

16B

ΟΜΑΔΑ IV

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 17

NT=0.30

Ημερομηνία παρασκευής

17A 16/7/1999

17B 29/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

487 Kg/m³

Τσιμέντο

159,6 Kg/m³

Νερό

1168 Kg/m³

Άμμος

731 Kg/m³

Ρυζάκι

Πρόσθετο

8,09 Kg/m³

CHEM 172

24,73%

626,6 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

17A —

17B 5,0 cm

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 19

NT=0.30

Ημερομηνία παρασκευής

19A 16/7/1999

19B 29/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

733 Kg/m³

Τσιμέντο

234 Kg/m³

Νερό

737 Kg/m³

Άμμος

722 Kg/m³

Ρυζάκι

Πρόσθετο

11,29 Kg/m³

SPL - P

39,67%

967 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

19A 5,4 cm

19B 5,9 cm

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 18

NT=0.30

Ημερομηνία παρασκευής

18A 16/7/1999

18B 29/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

600 Kg/m³

Τσιμέντο

196,6 Kg/m³

Νερό

940 Kg/m³

Άμμος

739 Kg/m³

Ρυζάκι

Πρόσθετο

3,18 Kg/m³

CHEM 172

32,18%

796,6 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

18A 5,5 cm

18B 6,5 cm

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 20

NT=0.30

Ημερομηνία παρασκευής

20A 16/7/1999

20B 29/7/1999

Υλικά ανά κυβικό μέτρο

867 Kg/m³

Τσιμέντο

271 Kg/m³

Νερό

557 Kg/m³

Άμμος

681 Kg/m³

Ρυζάκι

Πρόσθετο

5,09 Kg/m³

SPL - P

47,79%

1138 Kg/m³

Τσιμεντοπολτός

Κάθιση

20A 2,4 cm

20B 1,8 cm

5.3 Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι :

Τσιμέντο τύπος II/45

Νερό κοινό νερό βρύσης

Αδρανή θραυστά ασβεστολιθικά

Πρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν δύο ειδών πρόσθετα, τα υπερρευστοποιητικά CHEM – 172 και SPL - P

5.4 Παρασκευή και συντήρηση δοκιμών

5.4.1 Παρασκευή δοκιμών

Συνολικά παρασκευάστηκαν 80 δοκίμια. Από κάθε μίγμα παρασκευάστηκαν πέντε δοκίμια. Κατά την πρώτη φάση των πειραμάτων παρασκευάστηκαν δύο από κάθε μίγμα και κατά τη δεύτερη τρία. Η διαδικασία παρασκευής ήταν κοινή για όλα τα δοκίμια.

Για την ανάμιξη των μιγμάτων ο αναμικτήρας βράχθηκε έτσι ώστε να μην απορροφήσει νερό από το μίγμα. Στη συνέχεια αναμίχθηκαν όλα τα αδρανή (άμμος – ρυζάκι) με το νερό και παρέμειναν στον αναμικτήρα σκεπασμένα με νάιλον για δεκαπέντε λεπτά για να απορροφήσουν τα αδρανή όσο το δυνατόν περισσότερο νερό. Μετά την πάροδο των 15 λεπτών προστέθηκε το τσιμέντο και το πρόσθετο σε όποια μίγματα χρειαζόταν. Τα υλικά αναμίχθηκαν για μερικά λεπτά μέχρι να προκύψει ένα ομοιογενές μίγμα.

Σε κάθε ανάμιγμα μετρήθηκε η κάθιση και κατόπιν τοποθετήθηκε σε κυλινδρικά καλούπια από PVC διαμέτρου 12cm και ύψους 5cm. Στη συνέχεια τα δοκίμια συμπυκνώθηκαν με ράβδο συμπύκνωσης με πενήντα κτυπήματα τα οποία έγιναν κυκλικά σε όλο το δοκίμιο. Τέλος επιπεδώθηκε η ελεύθερη επιφάνεια των δοκιμών με μυστρί.

Μετά το τέλος της παραπάνω διαδικασίας τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε υγρό θάλαμο σκεπασμένα με νάιλον, όπου παρέμειναν 24 ώρες. Αφού πέρασαν οι 24 ώρες τα δοκίμια ξεκαλουπώθηκαν και αριθμήθηκαν.

5.4.2 Συντήρηση δοκιμών

Η συντήρηση που έγινε ήταν κοινή για όλα τα δοκίμια. Χρησιμοποιήθηκε υγρός θάλαμος, στον οποίο διατηρήθηκαν σταθερές οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας (θερμοκρασία $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ και υγρασία $\geq 95\%$). Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε δοχεία με νερό όπου και παρέμειναν μέχρι να χρησιμοποιηθούν για τα πειράματα.

5.5 Περιγραφή πειραμάτων

Για την μέτρηση της τριχοειδούς απορρόφησης ακολουθήθηκε η μέθοδος που προτείνεται στην προδιαγραφή της RILEM TC: 116-PCD: Permeability of Concrete as a Criterion of its Durability. Σύμφωνα με την προδιαγραφή η πειραματική διαδικασία απαρτίζεται από δύο στάδια. Κατ'αρχήν γίνεται η προεπεξεργασία των δοκιμών, η οποία ακολουθείται από τη δοκιμή της υδαταπορρόφησης.

5.5.1 Προεπεξεργασία δοκιμών

Η προεπεξεργασία γίνεται για να αποκτήσουν τα δοκίμια που θα χρησιμοποιηθούν στις δοκιμές μία μέση υγρασία ισορροπίας, η οποία καθορίζεται στο $75\pm 2\%$, και ομοιόμορφη κατανομή του εξατμίσιμου νερού στη μάζα τους. Η διαδικασία περιλαμβάνει το στάδιο της προξήρανσης και τη φάση ανακατανομής της υγρασίας.

Σύμφωνα με την προδιαγραφή πρέπει να χρησιμοποιηθούν κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150mm και ύψους 50mm. Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα είχαν διάμετρο 120mm και ύψος 50mm.

5.5.1.1 Προσδιορισμός της υγρασίας ισορροπίας

Θεωρούμε ότι τα δοκίμια έχουν φτάσει στην απαιτούμενη υγρασία ισορροπίας όταν έχουν χάσει συγκεκριμένο βάρος. Η ζητούμενη απώλεια βάρους είναι διαφορετική για κάθε μίγμα και υπολογίστηκε πειραματικά, ακολουθώντας τα βήματα που καθόριζε η προδιαγραφή.

Για κάθε ανάμικμα χρησιμοποιήθηκε ένα δοκίμιο. Τα δοκίμια ήταν αυτά που παρασκευάστηκαν αρχικά και συμβολίζονται με το γράμμα «Α» στην αρίθμηση. Ο υψηλός λόγος επιφάνειας/όγκο των δοκιμών θα προκαλούσε

επιταχυνόμενη ξήρανση. Γι' αυτό σπάσαμε τα δοκίμια σε κόκκους διαμέτρου περίπου 5mm.

Οι κόκκοι τοποθετήθηκαν σε ταψάκια και ζυγίστηκαν. Η προδιαγραφή απαιτούσε ελάχιστο βάρος από κάθε μίγμα 500gr. Κατόπιν τα ταψάκια τοποθετήθηκαν μέσα σ' ένα ειδικό θάλαμο από πλεξιγκλάς, στον οποίο επικρατούσαν σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) και σχετικής υγρασίας ($75 \pm 2\%$). Για να επιτευχθεί η απαιτούμενη υγρασία μέσα στο θάλαμο τοποθετήθηκε ένα δοχείο που περιείχε κορεσμένο διάλυμα νερού και χλωριούχου νατρίου με αρκετή ποσότητα στερεού αλατιού. Σύμφωνα με τον κανονισμό αυτό το διάλυμα δημιουργεί σχετική υγρασία $75 \pm 2\%$ στον χώρο όπου βρίσκεται. Για να αποφευχθεί η ενανθράκωση διοχετευόταν άζωτο στο θάλαμο έτσι ώστε να διώχνει το διοξείδιο του άνθρακα του αέρα. Μέσα στο θάλαμο υπήρχαν ακόμα θερμόμετρο και υγρόμετρο για να ελέγχονται οι συνθήκες, καθώς και ζυγαριά με ακρίβεια ανάγνωσης 0,01gr για να ζυγίζονται τα ταψάκια.

Στη φωτογραφία φαίνεται ο θάλαμος που χρησιμοποιήθηκε.



Τα ταψάκια ζυγίζονταν κάθε 24 ώρες μέχρι η μεταβολή του βάρους τους μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων να είναι μικρότερη από 0.1gr. Κατόπιν τοποθετήθηκαν στο φούρνο στους 105°C και ζυγίζονταν μέχρι η μεταβολή του βάρους να είναι μικρότερη από 0.5gr.

Υπολογισμός της απώλειας βάρους για την επίτευξη της υγρασίας ισορροπίας

Συμβολίζουμε

m_o την αρχική μάζα του δοκιμίου που τοποθετήθηκε στο ταψάκι

$m_{e,75}$ τη μάζα του δοκιμίου στην ισορροπία με σχετική υγρασία 75±2%

m_d την ξηρή μάζα του δοκιμίου (μετά την ξήρανση στους 105°C)

Το εξατμίσσιμο νερό στην ισορροπία $W_{e,75}$ ισούται με

$$W_{e,75} = m_{e,75} - m_d$$

ενώ το συνολικό εξατμίσσιμο νερό W_e ισούται με

$$W_e = m_o - m_d$$

Η περιεκτικότητα υγρασίας στην ισορροπία υπολογίζεται από τον τύπο

$$w_{e,75} = W_{e,75}/m_d$$

Η εξατμίσσιμη περιεκτικότητα υγρασίας υπολογίζεται

$$w_e = W_e/m_d$$

Η απαιτούμενη απώλεια βάρους κατά τη διάρκεια της προξήρανσης υπολογίζεται από τον τύπο

$$\Delta m = (w_e - w_{e,75} / 1 - w_e) * m_o$$

Η μάζα m_o είναι η μάζα κάθε δοκιμίου μετά τη συντήρηση.

Παρακάτω δίνονται οι υπολογισμοί του Δm για κάθε μίγμα συναρτήσει της αρχικής μάζας m_o . Η απαιτούμενη απώλεια βάρους Δm κάθε δοκιμίου παρουσιάζεται στο παράρτημα III.

ΜΙΓΜΑ 5

$$m_o = 505,00 \text{ gr}$$

$$m_{e,75} = 502,64 \text{ gr}$$

$$m_d = 491,29 \text{ gr}$$

$$W_e = 13,71 \text{ gr}$$

$$w_e = 0,027906$$

$$W_{e,75} = 11,35 \text{ gr}$$

$$w_{e,75} = 0,023102$$

$$\Delta m = 4,673579 * 10^{-3} m_o$$

МИГМА 6

$$\begin{aligned}
 m_o &= 537,79 \text{ gr} & m_{e,75} &= 534,43 \text{ gr} & m_d &= 516,05 \text{ gr} \\
 W_e &= 21,74 \text{ gr} & w_e &= 0,042128 \\
 W_{e,75} &= 18,38 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,035617 \\
 \Delta m &= 6,247793 \cdot 10^{-3} m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 7

$$\begin{aligned}
 m_o &= 509,70 \text{ gr} & m_{e,75} &= 503,16 \text{ gr} & m_d &= 482,92 \text{ gr} \\
 W_e &= 26,78 \text{ gr} & w_e &= 0,055454 \\
 W_{e,75} &= 20,24 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,041912 \\
 \Delta m &= 0,012830 m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 8

$$\begin{aligned}
 m_o &= 507,29 \text{ gr} & m_{e,75} &= 500,60 \text{ gr} & m_d &= 475,83 \text{ gr} \\
 W_e &= 31,46 \text{ gr} & w_e &= 0,066116 \\
 W_{e,75} &= 24,77 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,052056 \\
 \Delta m &= 0,01388 m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 9

$$\begin{aligned}
 m_o &= 518,40 \text{ gr} & m_{e,75} &= 516,63 \text{ gr} & m_d &= 502,72 \text{ gr} \\
 W_e &= 15,68 \text{ gr} & w_e &= 0,031190 \\
 W_{e,75} &= 13,91 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,027669 \\
 \Delta m &= 3,414502 \cdot 10^{-3} m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 10

$$\begin{aligned}
 m_o &= 533,81 \text{ gr} & m_{e,75} &= 530,52 \text{ gr} & m_d &= 509,32 \text{ gr} \\
 W_e &= 31,09 \text{ gr} & w_e &= 0,061042 \\
 W_{e,75} &= 21,20 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,041624 \\
 \Delta m &= 0,0183009 m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 11

$$\begin{aligned}
 m_o &= 528,53 \text{ gr} & m_{e,75} &= 523,62 \text{ gr} & m_d &= 499,14 \text{ gr} \\
 W_e &= 29,39 \text{ gr} & w_e &= 0,058881 \\
 W_{e,75} &= 24,48 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,049044 \\
 \Delta m &= 9,2899958 \cdot 10^{-3} m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 12

$$\begin{aligned}
 m_o &= 520,20 \text{ gr} & m_{e,75} &= 513,48 \text{ gr} & m_d &= 485,57 \text{ gr} \\
 W_e &= 34,63 \text{ gr} & w_e &= 0,071318 \\
 W_{e,75} &= 27,91 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,057479 \\
 \Delta m &= 0,0129177 m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 13

$$\begin{aligned}
 m_o &= 515,78 \text{ gr} & m_{e,75} &= 510,84 \text{ gr} & m_d &= 495,17 \text{ gr} \\
 W_e &= 20,61 \text{ gr} & w_e &= 0,041622 \\
 W_{e,75} &= 15,67 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,031170 \\
 \Delta m &= 0,010034 m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 14

$$\begin{aligned}
 m_o &= 590,18 \text{ gr} & m_{e,75} &= 584,98 \text{ gr} & m_d &= 557,77 \text{ gr} \\
 W_e &= 32,41 \text{ gr} & w_e &= 0,058106 \\
 W_{e,75} &= 27,21 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,048783 \\
 \Delta m &= 8,811026 \cdot 10^{-3} m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 15

$$\begin{aligned}
 m_o &= 525,49 \text{ gr} & m_{e,75} &= 521,03 \text{ gr} & m_d &= 493,99 \text{ gr} \\
 W_e &= 31,50 \text{ gr} & w_e &= 0,063766 \\
 W_{e,75} &= 27,04 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,054738 \\
 \Delta m &= 8,486829 \cdot 10^{-3} m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 16

$$\begin{aligned}
 m_o &= 521,55 \text{ gr} & m_{e,75} &= 516,10 \text{ gr} & m_d &= 484,52 \text{ gr} \\
 W_e &= 37,03 \text{ gr} & w_e &= 0,076426 \\
 W_{e,75} &= 31,58 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,065178 \\
 \Delta m &= 0,010449 m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 17

$$\begin{aligned}
 m_o &= 503,92 \text{ gr} & m_{e,75} &= 500,6 \text{ gr} & m_d &= 484,88 \text{ gr} \\
 W_e &= 19,04 \text{ gr} & w_e &= 0,039267 \\
 W_{e,75} &= 15,72 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,032420 \\
 \Delta m &= 6,588297 \cdot 10^{-3} m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 18

$$\begin{aligned}
 m_o &= 534,42 \text{ gr} & m_{e,75} &= 532,83 \text{ gr} & m_d &= 508,54 \text{ gr} \\
 W_e &= 25,88 \text{ gr} & w_e &= 0,050891 \\
 W_{e,75} &= 24,29 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,047764 \\
 \Delta m &= 2,975570 \cdot 10^{-3} m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 19

$$\begin{aligned}
 m_o &= 508,79 \text{ gr} & m_{e,75} &= 506,83 \text{ gr} & m_d &= 479,05 \text{ gr} \\
 W_e &= 29,74 \text{ gr} & w_e &= 0,062081 \\
 W_{e,75} &= 27,28 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,057989 \\
 \Delta m &= 4,537274 \cdot 10^{-3} m_o
 \end{aligned}$$

МИГМА 20

$$\begin{aligned}
 m_o &= 511,29 \text{ gr} & m_{e,75} &= 508,97 \text{ gr} & m_d &= 476,26 \text{ gr} \\
 W_e &= 35,03 \text{ gr} & w_e &= 0,0735552 \\
 W_{e,75} &= 32,71 \text{ gr} & w_{e,75} &= 0,068681 \\
 \Delta m &= 4,537274 \cdot 10^{-3} m_o
 \end{aligned}$$

5.5.1.2 Προξήρανση

Κατά τη διαδικασία της προξήρανσης τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στο φούρνο στους 50°C και παρέμειναν μέχρι η απώλεια βάρους τους να είναι ίση με την ποσότητα Δm που υπολογίστηκε από το προηγούμενο βήμα. Χρησιμοποιήθηκαν τρία δοκίμια από κάθε ανάμιγμα (αυτά που είχαν χαρακτηριστεί με το γράμμα Β στην αρίθμηση).

Για να αποφευχθεί η δημιουργία διαφοράς υγρασίας μεταξύ κεντρικών και περιφερειακών σημείων, οι περιφερειακές επιφάνειες των δοκιμίων σφραγίστηκαν με ειδική ασφαλτική ταινία, η οποία δεν επηρεαζόταν από την υψηλή θερμοκρασία.

Τα δοκίμια ζυγίζονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα έτσι ώστε να βγουν από το φούρνο, αμέσως μόλις φτάσουν το επιθυμητό βάρος. Αυτό θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί όταν η μετρούμενη απώλεια βάρους πλησιάζει την υπολογισμένη σε ποσοστό 5%. Όταν δηλαδή ισχύει ο τύπος

$$\Delta m_{obs} - \Delta m_{cal} / \Delta m_{cal} < 0,05$$

όπου Δm_{obs} : η μετρούμενη απώλεια βάρους

Δm_{cal} : η απαιτούμενη απώλεια βάρους όπως υπολογίστηκε

5.5.1.3 Φάση ανακατανομής υγρασίας

Σ' αυτό το στάδιο των πειραμάτων τα δοκίμια αφού έχουν χάσει το απαιτούμενο βάρος σφραγίζονται και παραμένουν κάποιες μέρες σε σταθερές συνθήκες, έτσι ώστε η υγρασία που υπάρχει στη μάζα τους να κατανεμηθεί ομοιόμορφα σε όλη τη μάζα του δοκιμίου.

Η προδιαγραφή καθόριζε ότι τα δοκίμια πρέπει να παραμείνουν σε θερμοκρασία 50°C για χρονικό διάστημα 27 ημερών με ελάχιστο τις 14 ημέρες. Εμείς τοποθετήσαμε τα σφραγισμένα δοκίμια στο θάλαμο που έχει περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα για 14 ημέρες και κατόπιν προχωρήσαμε στη μέτρηση της υδατοαπορρόφησης.

5.5.2 Τριχοειδής απορρόφηση του νερού

Κατά τη δοκιμή της απορρόφησης έγιναν τα ακόλουθα βήματα:

- ο Μετρήθηκαν οι διαστάσεις των δοκιμίων με ακρίβεια 0,1cm

- ο Ζυγίστηκαν σε ζυγαριά με ακρίβεια ανάγνωσης 0,01gr ακριβώς πριν την έναρξη του πειράματος
- ο Κατόπιν τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε μεταλλικό δοχείο το οποίο περιείχε νερό βάθους περίπου 2cm, σταθερό κατά τη διάρκεια των μετρήσεων
- ο Τα δοκίμια ζυγίστηκαν στα χρονικά διαστήματα των 15min, 30min, 1h, 1:30h, 4h, 4:30h και 24h. Πριν από κάθε ζύγισμα η επιφάνεια των δοκιμίων που ήταν σε επαφή με το νερό σκουπιζόταν με πανί για να μην υπάρχουν ελεύθερα σταγονίδια νερού πάνω σ'αυτήν.

Ο κανονισμός καθόριζε τα χρονικά διαστήματα των μετρήσεων στα 10min, 1h, 4h, 24h, αλλά αποφασίστηκε να γίνονται μετρήσεις πιο συχνά για να υπάρχει καλύτερη εικόνα του φαινομένου.

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα αποτελείτο από, α) ένα μεταλλικό δοχείο το οποίο είχε μία τρύπα στη μια πλευρά έτσι ώστε να μην ξεπερνά το νερό τα 2cm. β) μία μεταλλική σχάρα μέσα στο δοχείο, πάνω στην οποία τοποθετήθηκαν τα δοκίμια. Η σχάρα εξασφάλιζε την επαφή του νερού με την κάτω επιφάνεια των δοκιμίων σε σταθερό ύψος (περίπου 3mm). γ) ένα πλαστικό δοχείο γεμάτο με νερό στην άκρη του οποίου υπήρχε λάστιχο μικρής διαμέτρου που ρύθμιζε τη ροή του νερού στο μεταλλικό δοχείο.

Η διάταξη που περιγράφηκε φαίνεται στη φωτογραφία.



5.6 Πρόσθετα πειράματα

Η μέθοδος της RILEM που εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό της ανθεκτικότητας, είναι αρκετά καινούργια και δεν είναι γνωστή η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα της. Για να κάνουμε έλεγχο των αποτελεσμάτων που προέκυψαν κάναμε επιπλέον δοκιμές απορρόφησης.

Μετά το πέρας των δοκιμών τριχοειδούς απορρόφησης κατά τη μέθοδο RILEM 1999, τοποθετήθηκαν τα δοκίμια στο φούρνο στους 50°C μέχρι να απομακρυνθεί όλο το νερό που μπορεί να εξατμιστεί κάτω από τις συνθήκες αυτές από τη μάζα τους. Θεωρήθηκε ότι είχαν φτάσει την επιθυμητή κατάσταση όταν η διαφορά του βάρους τους μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων ήταν περίπου 1gr. Στη συνέχεια μετρήθηκε η απορρόφηση με τον ίδιο τρόπο που καθόριζε η προδιαγραφή της RILEM με μόνη διαφορά τη μέτρηση και στις 48h.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

6.1.1 Απώλεια βάρους

Η μεταβολή του βάρους κάθε δοκιμίου από την παρασκευή ως και την προξήρανση παρουσιάζεται στο **Παράρτημα Ι**. Περιλαμβάνεται επίσης η μεταβολή του βάρους σαν ποσοστό κατά βάρος του τσιμεντοπολτού.

6.1.2 Προεπεξεργασία δοκιμίων

6.1.2.1 Μετρήσεις απώλειας βάρους για τον προσδιορισμό του W_{75}

Στο **Παράρτημα ΙΙ** παρουσιάζονται οι μετρήσεις απώλειας βάρους των μιγμάτων που τοποθετήθηκαν στο θάλαμο και στο φούρνο στους 105°C.

Τα διαγράμματα που δείχνουν την απώλεια βάρους συναρτήσει του χρόνου αποτελούν τα **Διαγράμματα Ι** της ενότητας των διαγραμμάτων (διαγράμματα 1 – 32).

6.1.2.2 Υπολογισμός απαιτούμενης απώλειας βάρους Δm

Η απαιτούμενη απώλεια βάρους κάθε δοκιμίου έτσι ώστε να βρεθεί σε ισορροπία με 75±2% σχετική υγρασία υπολογίζεται από τον τύπο

$$\Delta m = (w_e - w_{e,75} / 1 + w_e) * m_0$$

με m_0 το βάρος του δοκιμίου στο τέλος της συντήρησης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του τύπου δίνονται στο **Παράρτημα ΙΙΙ**.

6.1.2.3 Προξήρανση

Το **Παράρτημα IIIa** περιλαμβάνει τις μετρήσεις από την προξήρανση στους 50°C, καθώς και την ακρίβεια που απαιτείται από τον κανονισμό μεταξύ της μετρούμενης και της υπολογισμένης απώλειας βάρους Δm .

Στα **Διαγράμματα II** (διαγράμματα 33 – 64) παρουσιάζονται η μεταβολή του βάρους κατά τη διάρκεια της προξήρανσης και η μεταβολή του βάρους κατά βάρος του τσιμεντοπολτού.

6.1.3 Υδατοαπορρόφηση. Προετοιμασία των δοκιμίων σύμφωνα με τη μέθοδο RILEM TC 116-PCD

Στο **Παράρτημα IV** παρουσιάζονται οι μετρήσεις της υδαταπορρόφησης, η μάζα του απορροφούμενου νερού $w(t)=m(t)-m_0$ για κάθε δοκίμιο καθώς και η απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας. Περιλαμβάνονται επίσης και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- ημερομηνία δοκιμής και ηλικία του δοκιμίου
- σύνθεση κάθε μίγματος
- συνθήκες και διάρκεια συντήρησης
- διαστάσεις και επιφάνεια απορρόφησης κάθε δοκιμίου

Τα διαγράμματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων είναι τα **Διαγράμματα III** (διαγράμματα 65 – 96).

6.1.4 Πρόσθετα πειράματα υδατοαπορρόφησης. Προετοιμασία των δοκιμίων με ξήρανση στους 50°C μέχρι σταθερού βάρους

Οι μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ξήρανσης στο φούρνο στους 50°C περιλαμβάνονται στο παράρτημα Va. Στο παράρτημα Vb παρουσιάζονται οι μετρήσεις από τα πειράματα της υδατοαπορρόφησης καθώς τα ακόλουθα στοιχεία:

- Η ημερομηνία δοκιμής για κάθε ανάμιγμα
- Η σύνθεση κάθε μίγματος
- Οι συνθήκες και η διάρκεια συντήρησης
- Οι συνθήκες (θερμοκρασία, σχετική υγρασία) που επικρατούσαν στο εργαστήριο κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Τα αντίστοιχα διαγράμματα αποτελούν τα **Διαγράμματα IV** (διαγράμματα 97 – 128).

6.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από όλες τις πειραματικές διαδικασίες παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραμμάτων στην αντίστοιχη ενότητα των διαγραμμάτων. Από τη μελέτη τους εξάγονται συμπεράσματα, σχετικά με την επίδραση του λόγου N/T και της ποσότητας του τσιμεντοπολτού του μίγματος, στην τριχοειδή απορρόφηση του νερού. Αυτά τα συμπεράσματα παραθέτονται παρακάτω.

6.2.1 Προξήρανση

Τα δοκίμια ζυγίζονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2 ή 3 φορές την ημέρα), έτσι ώστε να βγουν από το φούρνο αμέσως μόλις φτάσουν στο επιθυμητό βάρος. Εντούτοις ορισμένα από τα δοκίμια έχασαν περισσότερο βάρος από το απαιτούμενο. Αυτά είναι τα δοκίμια **5.1, 5.2, 5.3, 6.1, 6.2, 6.3**. Για να ανακτήσουν το βάρος τους τοποθετήθηκαν στον υγρό θάλαμο στην αρχή χωρίς κάλυμμα και μετά καλυμμένα με υγρό πανί. Με τη διαδικασία αυτή ανέκτησαν λίγο από το βάρος τους, δεν έφτασαν όμως στην επιθυμητή κατάσταση.

6.2.2 Υδατοαπορρόφηση

Το σκυρόδεμα είναι σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκληρυμένο τσιμεντοπολτό και αδρανή. Τα συνήθη αδρανή που χρησιμοποιούνται στη χώρα μας έχουν υδατοαπορρόφηση πολύ μικρή (της τάξεως του 1%), ενώ ο τσιμεντοπολτός, έστω και μικρού λόγου N/T , έχει πολύ μεγαλύτερη. Είναι επομένως αναμενόμενο τα σκυροδέματα με μεγάλο ποσοστό τσιμεντοπολτού να έχουν μεγαλύτερη υδατοαπορρόφηση σε σύγκριση με σκυροδέματα με ίδιο λόγο N/T αλλά με μικρότερο ποσοστό τσιμεντοπολτού. Άρα η περατότητα και επομένως η ανθεκτικότητα εξαρτάται άμεσα από την υδατοαπορρόφηση.

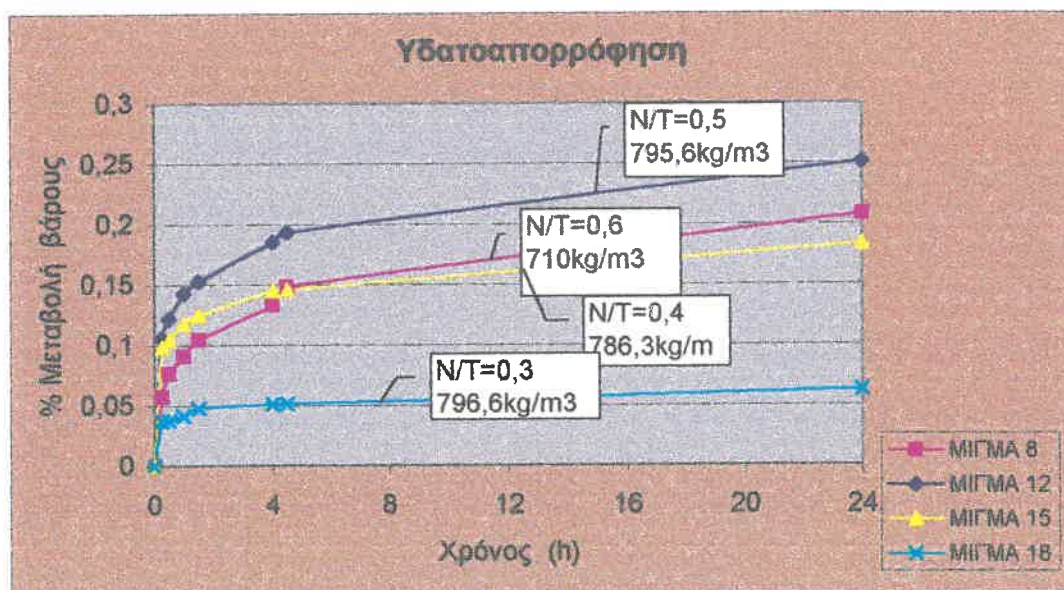
Αυτό που ήταν αναμενόμενο από τα πειράματα ήταν η απορρόφηση νερού από τα δοκίμια σκυροδέματος. Όμως, ορισμένα μίγματα και

3, συγκεκριμένα τα 5, 6, 9 αντί να απορροφήσουν, έχασαν νερό. Το φαινόμενο αυτό δεν έγινε δυνατό να εξηγηθεί. Τα αποτελέσματα από αυτά τα μίγματα παρουσιάζονται στα διαγράμματα, αλλά δεν συμμετέχουν στο σχολιασμό.

6.2.2.1 Επίδραση του λόγου N/T

Κάνοντας σύγκριση μεταξύ των μιγμάτων που έχουν περίπου ίδια ποσότητα τσιμεντοπολτού και διαφορετικό λόγο N/T , προκύπτει ότι, η μείωση του λόγου N/T επιφέρει γενικά μείωση στην ποσότητα του απορροφούμενου νερού. Ενδεικτικά παρατίθεται το παρακάτω διάγραμμα, στο οποίο περιλαμβάνονται τέσσερα μίγματα με διαφορετικούς λόγους N/T .

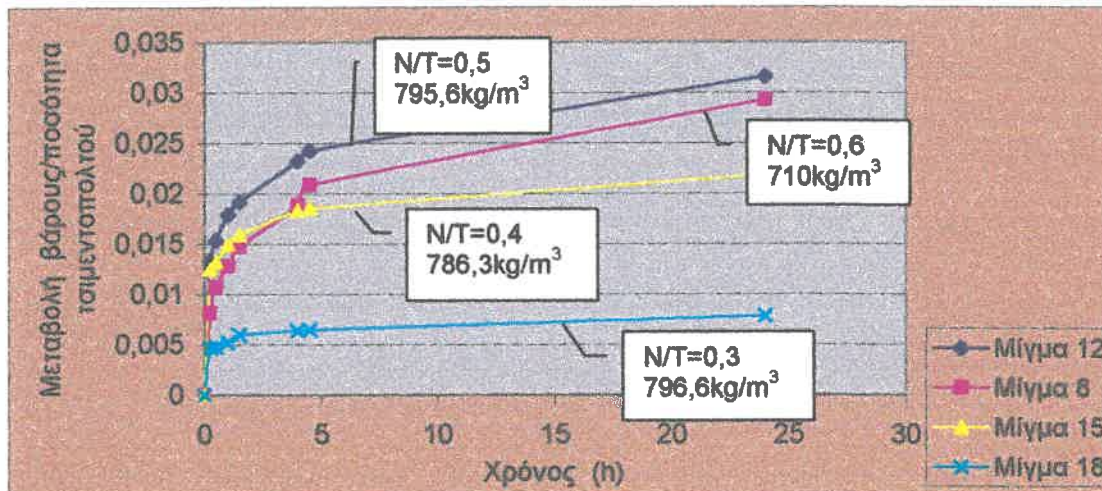
Μίγμα 8	$N/T=0,60$	τσιμεντοπολτός = 710kg/m^3
Μίγμα 12	$N/T=0,50$	τσιμεντοπολτός = $795,6\text{kg/m}^3$
Μίγμα 15	$N/T=0,40$	τσιμεντοπολτός = $786,3\text{kg/m}^3$
Μίγμα 18	$N/T=0,30$	τσιμεντοπολτός = $796,6\text{kg/m}^3$



Σχήμα 6.1 % Μεταβολή βάρους για διαφορετικούς λόγους N/T

Το μίγμα 8 έχει λιγότερο τσιμεντοπολτό από τα υπόλοιπα, όμως η απορρόφηση είναι αρκετά μεγάλη σε σχέση με τα άλλα μίγματα, γιατί έχει το μεγαλύτερο λόγο N/T . Εντούτοις, η υδαταπορρόφηση του μίγματος 8

με λόγο $N/T=0,6$ είναι μικρότερη από εκείνη του μίγματος με $N/T=0,5$, γεγονός, το οποίο δεν μπορεί να ερμηνευθεί. Για τον λόγο αυτό γίνεται αναγωγή της υδατοαπορρόφησης ανά μονάδα βάρους του τσιμεντοπολτού (βλ. σχήμα 6.1α).



Σχήμα 6.1α Μεταβολή βάρους ανά ποσότητα τσιμεντοπολτού για διαφορετικούς λόγους N/T .

Στο σχήμα 6.1α παρουσιάζεται για τα ίδια μίγματα η υδατοαπορρόφηση ανηγμένη ανά kg τσιμεντοπολτού για να απαλειφθεί ο παράγων «διαφορετικές ποσότητες τσιμεντοπολτού». Η υδατοαπορρόφηση γενικά αυξάνει με την αύξηση του λόγου N/T , με εξαίρεση το μίγμα 12 με $N/T=0,5$ που παρουσιάζει μεγαλύτερη απορρόφηση από το μίγμα με $N/T=0,6$, αλλά η διαφορά είναι μικρή μέσα στην ακρίβεια των μετρήσεων.

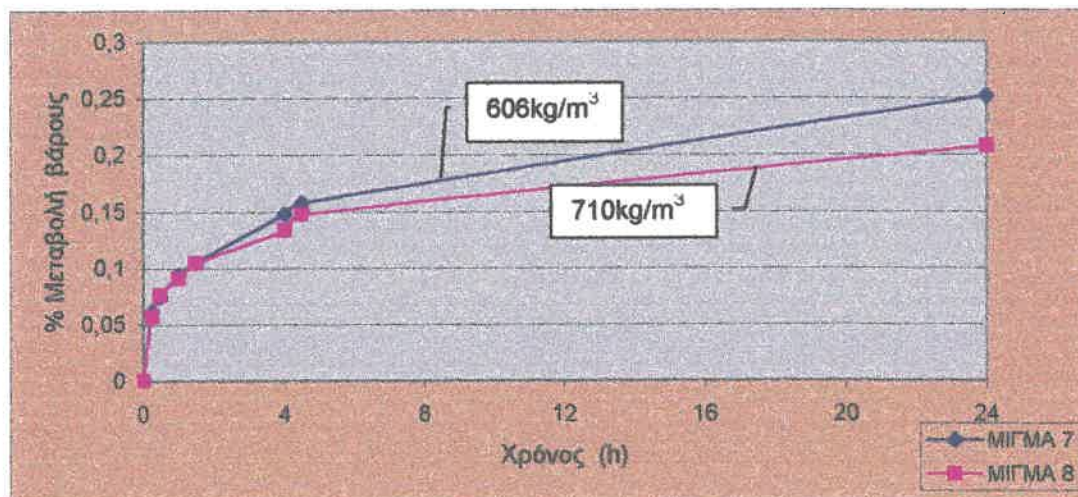
6.2.2.2 Επίδραση της ποσότητας του τσιμεντοπολτού

Το σκυρόδεμα είναι ένα σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκληρυμένο τσιμεντοπολτό και αδρανή. Επομένως οι ιδιότητες του, όπως π.χ. η διαπερατότητα, θα είναι συνάρτηση των ιδιοτήτων των υλικών που συνθέτουν το σύνθετο υλικό καθώς και των αναλογιών με τις οποίες αυτά συμμετέχουν.

Τα συνήθη αδρανή, όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν, έχουν μικρό πορώδες και μικρή υδατοαπορρόφηση (0,8-1,2% κ.β.) και επομένως πολύ λίγο συμβάλλουν στη συνολική προσρόφηση νερού. Είναι επομένως φυσικό να αναμένεται ότι για σταθερό λόγο N/T άρα και σταθερό όγκο

τριχοειδών ή τιμή πορώδους τσιμεντοπολτού, όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα (μάζα) του τσιμεντοπολτού τόσο μεγαλύτερη μάζα νερού θα προσροφάται λόγω τριχοειδούς αναρρόφησης.

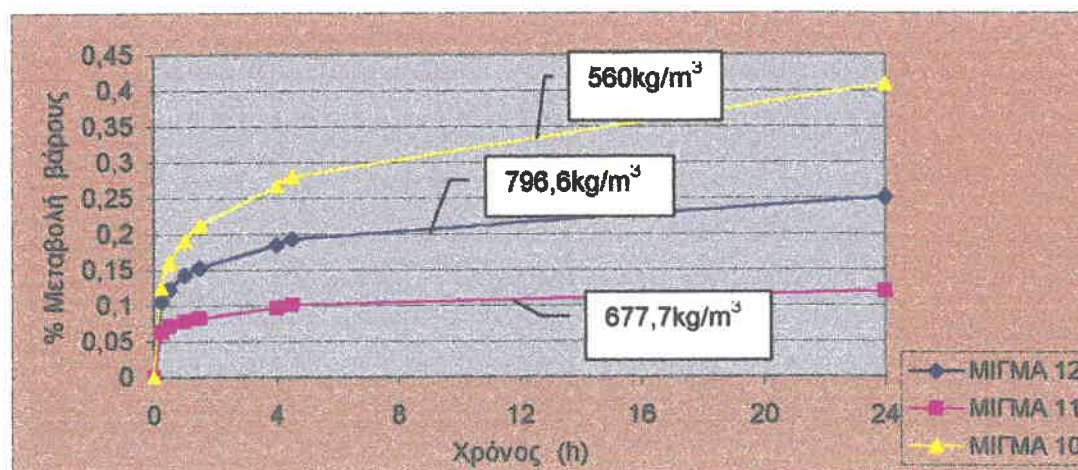
Τα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζουν τη μέση τιμή (από τα τρία δοκίμια) απορρόφησης κατά βάρος του τσιμεντοπολτού συναρτήσει του χρόνου για κάθε ανάμιγμα. Κάθε διάγραμμα αντιστοιχεί σε διαφορετικό λόγο N/T.



Σχήμα 6.2 % Μεταβολή βάρους για λόγο N/T=0,60

Το μίγμα 7 έχει ποσότητα τσιμεντοπολτού = 606kg/m^3 ενώ το μίγμα 8 ποσότητα τσιμεντοπολτού = 710kg/m^3

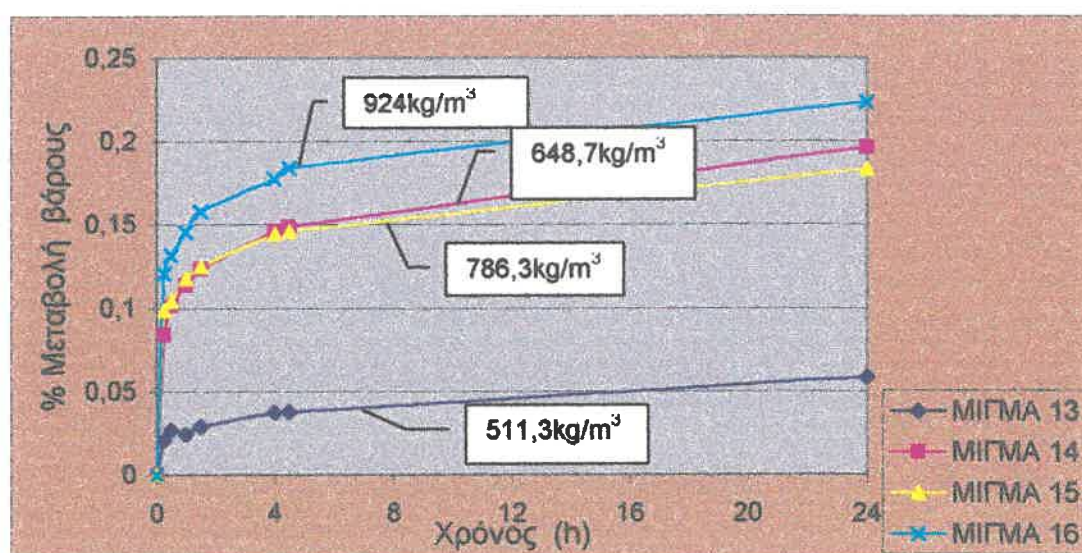
Όπως φαίνεται η απορρόφηση είναι ελαφρώς μεγαλύτερη στο ανάμιγμα 7.



Σχήμα 6.3 % Μεταβολή βάρους για λόγο N/T=0,50

Το μίγμα 10 έχει ποσότητα τσιμεντοπολτού = 560kg/m^3 , το μίγμα 11 έχει ποσότητα τσιμεντοπολτού = $677,7\text{ kg/m}^3$, ενώ το μίγμα 12 ποσότητα τσιμεντοπολτού = $796,6\text{ kg/m}^3$.

Ανάμεσα στα μίγματα 11 και 12 υπάρχει η αναμενόμενη αντιστοιχία ποσότητας τσιμεντοπολτού με την τριχοειδή απορρόφηση, δηλαδή η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη στο μίγμα που έχει περισσότερο τσιμεντοπολτό. Αντίθετα το μίγμα 10 έχει πολύ μεγαλύτερη απορρόφηση από τα άλλα δύο.



Σχήμα 6.4 % Μεταβολή βάρους για λόγο $N/T=0,40$

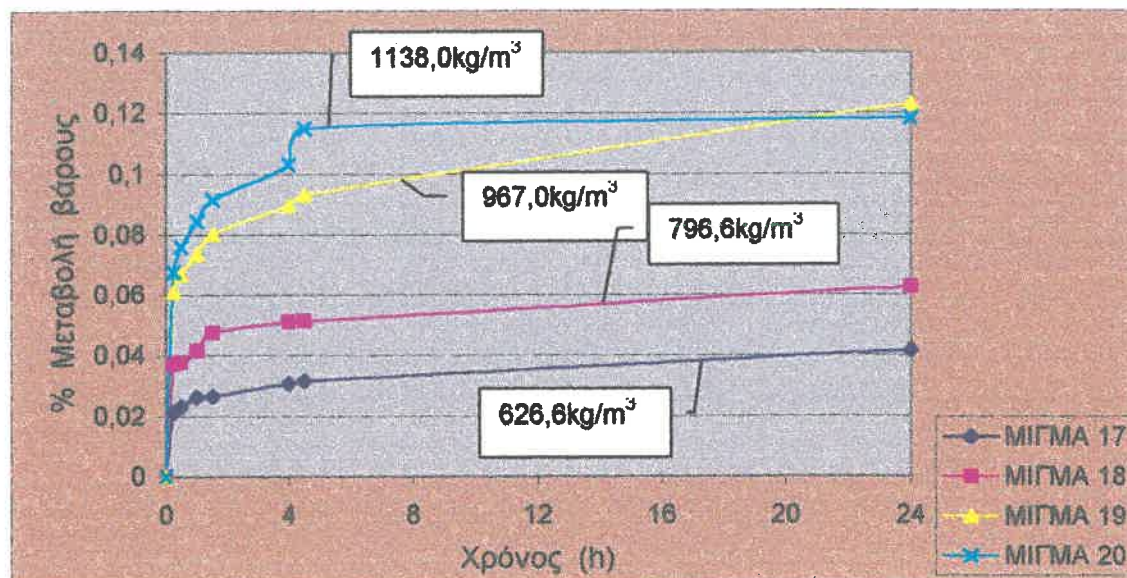
Μίγμα 13 ποσότητα τσιμεντοπολτού = $511,3\text{kg/m}^3$

Μίγμα 14 ποσότητα τσιμεντοπολτού = $648,7\text{kg/m}^3$

Μίγμα 15 ποσότητα τσιμεντοπολτού = $786,3\text{kg/m}^3$

Μίγμα 16 ποσότητα τσιμεντοπολτού = 924kg/m^3

Σ' αυτή την περίπτωση το μόνο μίγμα που δεν έχει την αναμενόμενη συμπεριφορά είναι το μίγμα 14 που παρουσιάζει μεγαλύτερη απορρόφηση από το μίγμα 15. Η διαφορά όμως είναι πολύ μικρή και μέσα στα όρια του πειραματικού σφάλματος.



Σχήμα 6.5 % Μεταβολή βάρους για λόγο $N/T=0.30$

Μίγμα 17 ποσότητα τσιμεντοπολτού = 626.6kg/m³

Μίγμα 18 ποσότητα τσιμεντοπολτού = 796.6kg/m³

Μίγμα 19 ποσότητα τσιμεντοπολτού = 967.0kg/m³

Μίγμα 20 ποσότητα τσιμεντοπολτού = 1138.0kg/m³

Το μίγμα 20 παρόλο που έχει τον περισσότερο τσιμεντοπολτό δεν έχει την μεγαλύτερη απορρόφηση. Στα υπόλοιπα τρία μίγματα η απορρόφηση αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του τσιμεντοπολτού.

Σε όλα τα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρατηρούνται αποκλίσεις από την αναμενόμενη συμπεριφορά. Αυτές μπορεί να οφείλονται είτε σε πειραματικό λάθος, είτε στην ύπαρξη μεταβατικής ζώνης ή ακόμα και σε συνδυασμό των δύο παραγόντων.

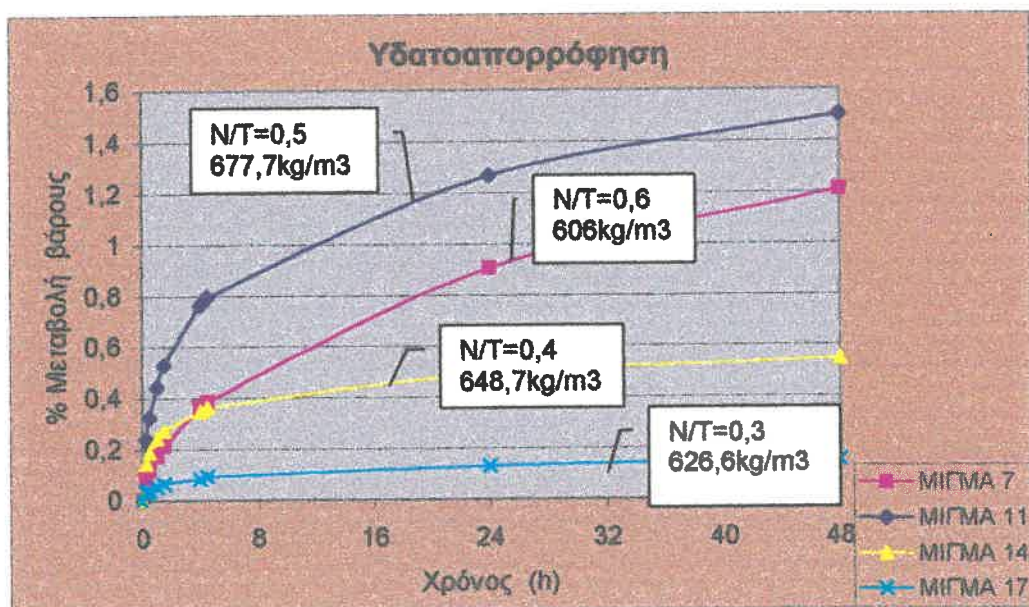
Η μεταβατική ζώνη είναι μια περιοχή περί τα αδρανή πολύ μικρού πάχους η οποία αποτελείται από τσιμεντοπολτό με ελαττωμένες μηχανικές ιδιότητες (μικρότερη πυκνότητα, υποδεέστερη δομή λόγω συγκέντρωσης κρυστάλλων $Ca(OH)_2$, παρουσία μικρορηγματώσεων οφειλόμενων στη συστολή του τσιμεντοπολτού). Όσο αυξάνει η ποσότητα των αδρανών μέσα στο μίγμα τόσο αυξάνει και η συνολική επιφάνεια των αδρανών και επομένως και η επιφάνεια της μεταβατικής ζώνης. Θα μπορούσε λοιπόν κανείς να αποδώσει τις μη αναμενόμενες διαφορές των αποτελεσμάτων

στην επίδραση μεγαλύτερης μεταβατικής ζώνης. Πάντως το φαινόμενο χρειάζεται περισσότερη έρευνα για να διερευνηθεί πλήρως.

6.2.3 Πρόσθετα πειράματα υδατοαπορρόφησης

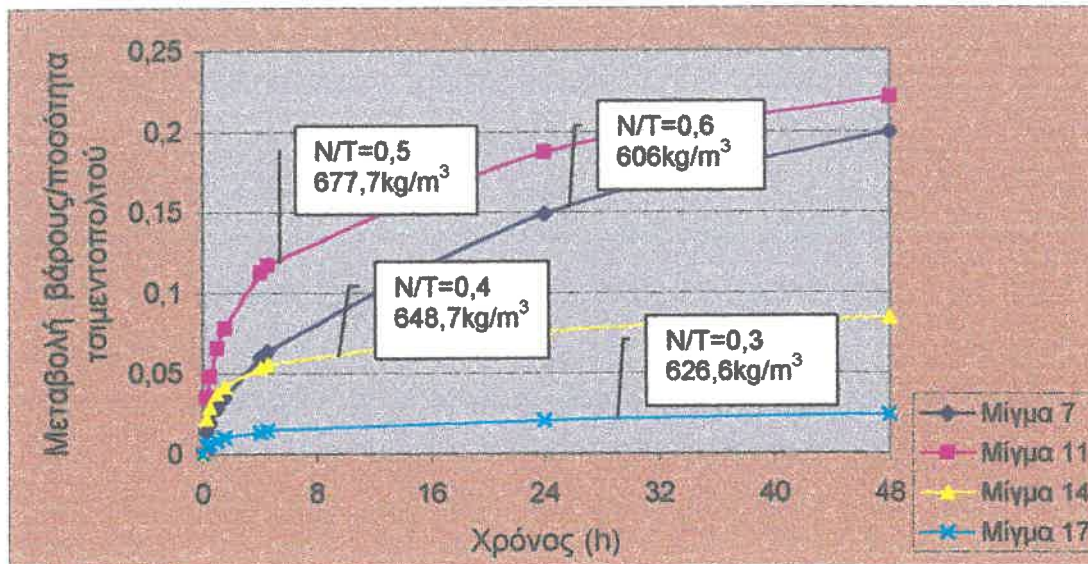
Από τα διαγράμματα που αφορούν τα συγκεκριμένα πειράματα (Διαγράμματα IV), προκύπτουν οι ίδιες διακυμάνσεις που υπήρχαν και στα προηγούμενα πειράματα. Δηλαδή δεν επαληθεύεται σε όλα τα αναμίγματα η θεωρία (αύξηση N/T και τσιμεντοπολτού $\Rightarrow$ αύξηση απορρόφησης).

Τα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζουν την υδατοαπορρόφηση
α) για ίδιο λόγο N/T και διαφορετική ποσότητα τσιμεντοπολτού και
β) για διαφορετικό λόγο N/T και περίπου ίδια ποσότητα τσιμεντοπολτού



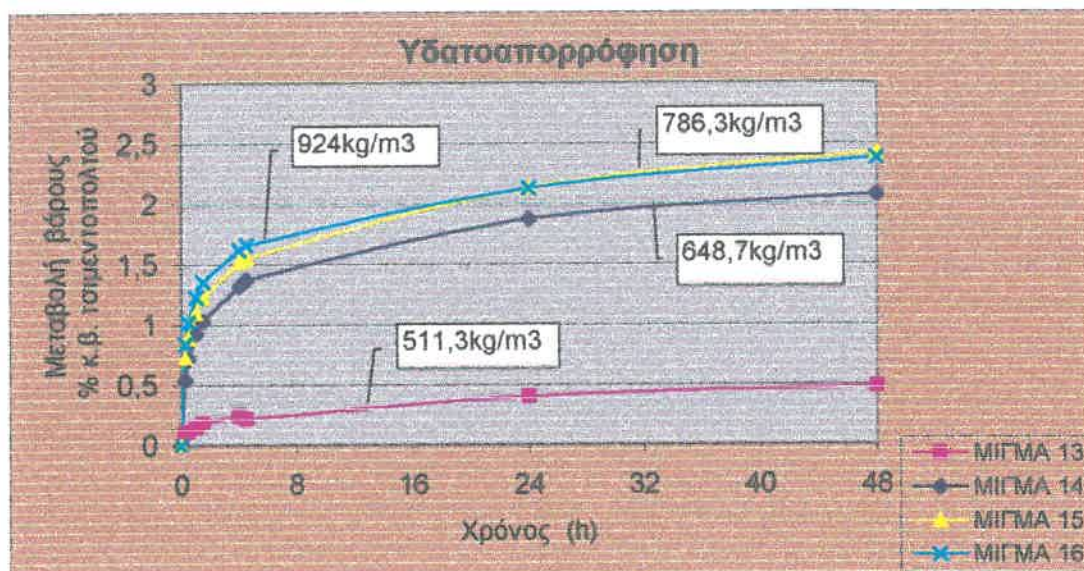
Σχήμα 6.6 % Μεταβολή βάρους για διαφορετικούς λόγους N/T

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της απορρόφησης στα μίγματα 7 και 11 συνέβη κάποιο σφάλμα, γι'αυτό τα αποτελέσματα δεν είναι τα αναμενόμενα. Κανονικά το μίγμα 7 έπρεπε να έχει μεγαλύτερη απορρόφηση από το μίγμα 11 αφού έχει μεγαλύτερο λόγο N/T .



Σχήμα 6.6α Μεταβολή βάρους ανά ποσότητα τσιμεντοπολτού για διαφορετικούς λόγους N/T.

Στο σχήμα 6.6α παρουσιάζεται για τα ίδια μίγματα με το σχήμα 6.6 η υδατοαπορρόφηση ανηγμένη ανά kg τσιμεντοπολτού, για να απαλειφθεί ο παράγων «διαφορετικές ποσότητες τσιμεντοπολτού». Παρατηρείται ότι γενικά τα δοκίμια με μικρότερο λόγο N/T έχουν μικρότερη υδατοαπορρόφηση από εκείνα με μεγαλύτερο N/T. Εξαίρεση αποτελεί το μίγμα με N/T=0,5 το οποίο παρουσιάζει υδατοαπορρόφηση λίγο μεγαλύτερη από εκείνη του μίγματος με N/T=0,6. Οι λόγοι αυτής της διαφοράς δεν έγινε δυνατό να εντοπισθούν στην έρευνα αυτή και θα μπορούσε να αποδοθεί είτε σε πειραματικό σφάλμα είτε σε διαφορά συμπίκνωσης των μιγμάτων αυτών. Θα ήταν σκόπιμο σε περαιτέρω έρευνα να μετράται η πυκνότητα των δοκιμίων και η περιεκτικότητά τους σε αέρα για να μπορούν να δοθούν ερμηνείες σε διαφορές της μορφής αυτής.



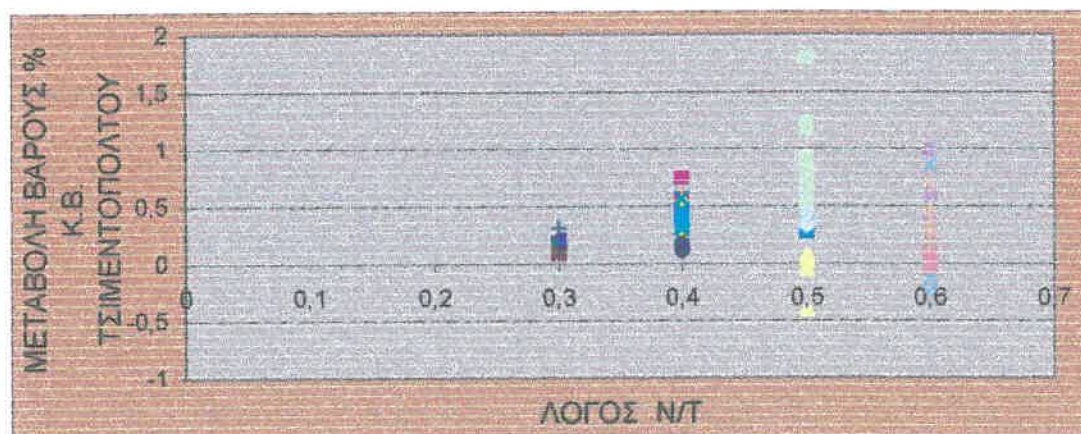
Σχήμα 6.7 Μεταβολή βάρους κατά βάρος τσιμεντοπολτού για λόγο $N/T=0,40$

Από το σχήμα 6.7 είναι φανερό ότι η αύξηση του τσιμεντοπολτού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της υδατοαπορρόφησης. Φαίνεται επίσης ότι μετά τις 24 ώρες ο ρυθμός απορρόφησης μειώνεται πολύ και παρουσιάζει μια τάση σταθεροποίησης. Προφανώς οι τριχοειδείς πόροι του σκυροδέματος έχουν πληρωθεί με νερό στο μεγαλύτερο μέρος τους και βρίσκονται στο όριο του κορεσμού.

6.2.4 Μεταβολή της απορρόφησης με το λόγο N/T

♦ Πειραματική μέθοδος RILEM

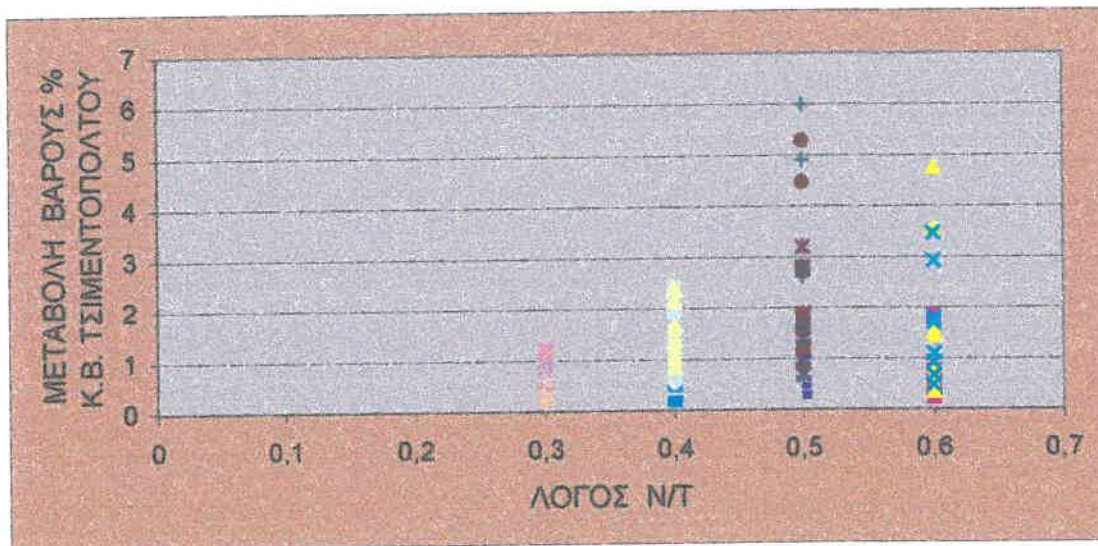
Το σχήμα 6.8 παρουσιάζει ομαδοποιημένα για όλα τα μίγματα την % μεταβολή του βάρους κ.β. του τσιμεντοπολτού συναρτήσει του λόγου N/T .



Σχήμα 6.8 Μεταβολή της απορρόφησης με το λόγο N/T .

Η απορρόφηση θα έπρεπε να αυξάνει με την αύξηση του λόγου N/T . Αν εξαιρεθεί ο λόγος $N/T=0,6$ παρατηρείται αύξηση με το N/T για τα υπόλοιπα μίγματα.

◆ Πειραματική μέθοδος με ξήρανση στους 50°C μέχρι σταθερού βάρους



Σχήμα 6.9 Μεταβολή της απορρόφησης με το λόγο N/T .

Και σ'αυτή τη μέθοδο παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο με τη μέθοδο RILEM. Δηλαδή αύξηση της απορρόφησης με το λόγο N/T για τα μίγματα με $N/T=0,3$, $N/T=0,4$ και $N/T=0,5$ και αδικαιολόγητη μείωση στο λόγο $N/T=0,6$.

6.3 Συμπεράσματα

Η τριχοειδής απορρόφηση που ελέγχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Όσο μικρότερη είναι η απορρόφηση του νερού από το σκυρόδεμα τόσο μεγαλύτερη είναι η ανθεκτικότητά του.

Το νερό απορροφάται από τους τριχοειδείς πόρους του σκυροδέματος που υπάρχουν στον τσιμεντοπολτό. Δηλαδή εξαρτάται από το λόγο N/T του μίγματος, αλλά και από την ποσότητα του τσιμεντοπολτού σ' αυτό.

Όσον αφορά το λόγο N/T η απορρόφηση αυξάνεται όσο ο λόγος N/T αυξάνει. Ιδίως για $N/T > 0,5$ η υδαταπορρόφηση αυξάνεται σημαντικά. Επομένως η ανθεκτικότητα μειώνεται με την αύξηση του λόγου N/T , αφού όσο μεγαλύτερη είναι η απορρόφηση τόσο μικρότερη είναι η ανθεκτικότητα.

Σημαντικότερη είναι η επίδραση της ποσότητας του τσιμεντοπολτού, αφού επηρεάζει και αυτή την απορρόφηση. Για τον ίδιο λόγο N/T , όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του τσιμεντοπολτού τόσο μεγαλύτερη είναι υδαταπορροφητικότητα και επομένως τόσο μικρότερη είναι η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Επομένως με τα σημερινά δεδομένα (της δυνατότητας διαφοροποιήσεως σημαντικά των αναλογιών τσιμεντοπολτού και αδρανών στο μίγμα) η απλή εξέταση του λόγου N/T δεν είναι επαρκής. Απαιτείται και η ταυτόχρονη εξέταση των αναλογιών αδρανών/τσιμεντοπολτού στο μίγμα. Θα πρέπει βέβαια να τονισθεί ότι για τα συνήθη μίγματα στα οποία οι αναλογίες αδρανών/τσιμεντοπολτού στο μίγμα δεν διαφοροποιούνται σημαντικά ένας τέτοιος έλεγχος δεν είναι απαραίτητος.

Σύγκριση δοκιμών υδαταπορρόφησης λόγω τριχοειδούς αναρρόφησης

Η διαφορά μεταξύ των δύο δοκιμών είναι η διαφορετική προετοιμασία αυτών πριν τη δοκιμή υδαταπορρόφησης. Με την πρόσφατη δοκιμή RILEM η υδαταπορρόφηση μετράται σε δοκίμια που βρίσκονται σε υγρομετρική ισορροπία σε περιβάλλον σχετικής υγρασίας 75% γεγονός που σημαίνει ότι ένα μέρος των τριχοειδών πόρων περιέχει νερό. Επομένως με την δοκιμή πληρούται το υπόλοιπο μέρος των τριχοειδών με μεγαλύτερη διάμετρο. Αντίθετα η προετοιμασία των δοκιμών σε φούρνο 50°C μέχρι σταθερότητας βάρους (υγρομετρική ισορροπία) προκαλεί

σχεδόν πλήρη ξήρανση των τριχοειδών πόρων και η υδαταπορρόφηση περιλαμβάνει την πλήρωση με νερό, πόρων με πολύ μικρότερη διάμετρο από εκείνη της πρώτης μεθόδου. Επομένως η υδαταπορρόφηση που μετράται πρέπει να είναι μεγαλύτερη από εκείνη της πρώτης μεθόδου. Επιπλέον η έκθεση των δοκιμίων σε θερμοκρασία 50°C και σχετικής υγρασίας 20% 9^η οποία μετρήθηκε μέσα στο φούρνο) είναι δυνατόν να προκαλεί έντονη συστολή στο δοκίμιο και πιθανόν μικρορηγματώσεις που να αλλοιώνουν τις μετρήσεις.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο δοκιμών δεν φαίνεται γενικά να προκύπτουν διαφορετικά συμπεράσματα που να επιβάλλουν τη χρήση της μεθόδου RILEM. Σημειώνεται ότι η μέθοδος αυτή είναι χρονοβόρος, απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και λεπτές μετρήσεις που αυξάνουν την πιθανότητα πειραματικού σφάλματος. Φυσικά πρέπει να τονιστεί ότι με τη μέθοδο RILEM τα δοκίμια εξετάζονται σε υγρομετρική κατάσταση που πλησιάζει τις πραγματικές υγρομετρικές συνθήκες που βρίσκονται οι κατασκευές από σκυρόδεμα σε εξωτερικούς χώρους.

6.4 Συστάσεις για περαιτέρω έρευνα

Ο έλεγχος του σκυροδέματος με τη μέθοδο της απορρόφησης δεν είναι αρκετός για να ελεγχθεί η ποιότητα του. Είναι μια καλή πρώτη ένδειξη, πρέπει όμως να ελεγχθούν και άλλοι παράμετροι, όπως η αντοχή, η ενανθράκωση και η διάχυση.

Καλό θα ήταν σε τέτοιες δοκιμές να γίνεται και έλεγχος του πορώδους, για να διαπιστωθεί πόσο νερό φεύγει από τους πόρους κατά τη διάρκεια της προξηράνσης καθώς και πόσο γεμίζουν οι πόροι με τη δοκιμή της υδατοαπορρόφησης.

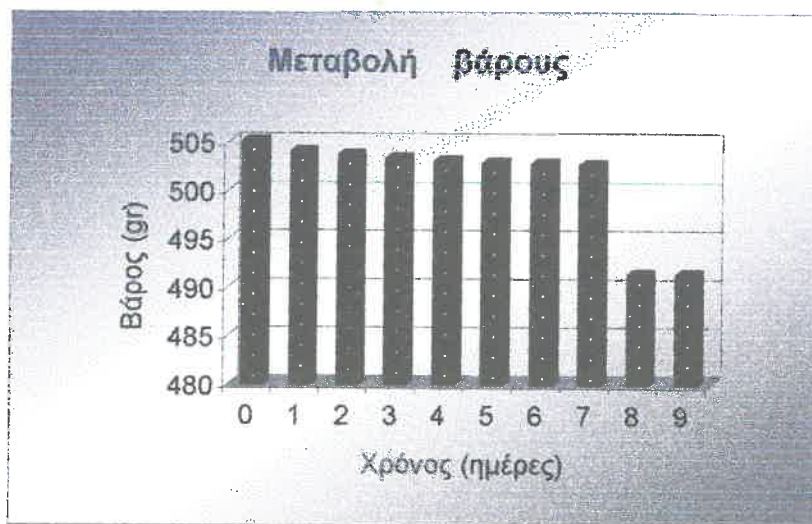
Ο αριθμός των δοκιμίων που χρησιμοποιούνται θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερος, γιατί είναι εξακριβωμένο και από άλλες έρευνες ότι υπάρχει μεγάλη διασπορά στις μετρήσεις υδατοαπορρόφησης.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ Ι

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ W_{75}

ΜΙΓΜΑ 5

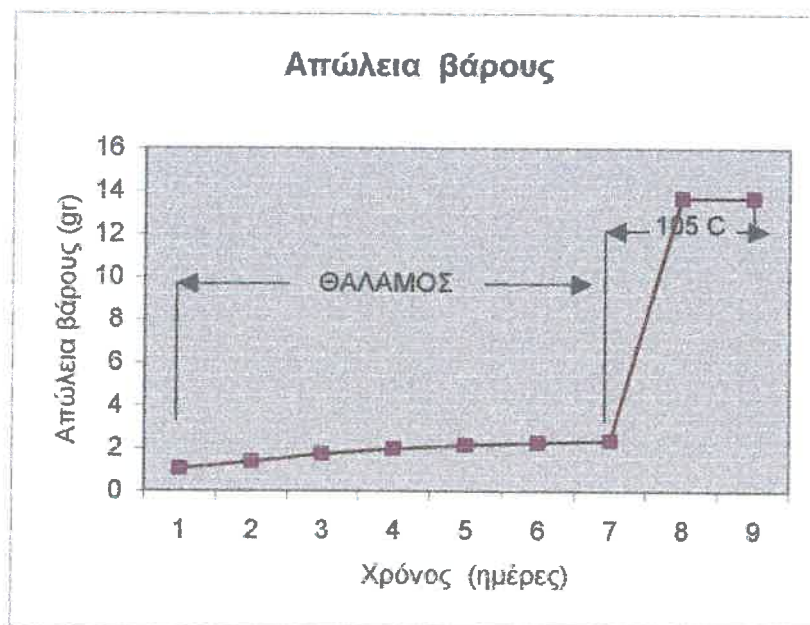
Διάγραμμα 1



$$N/T = 0,6$$

Τσιμεντοπολτός
 396kg/m^3
 15,83%

Διάγραμμα 2



$$N/T = 0,6$$

Τσιμεντοπολτός
 396kg/m^3
 15,83%

ΜΙΓΜΑ 6

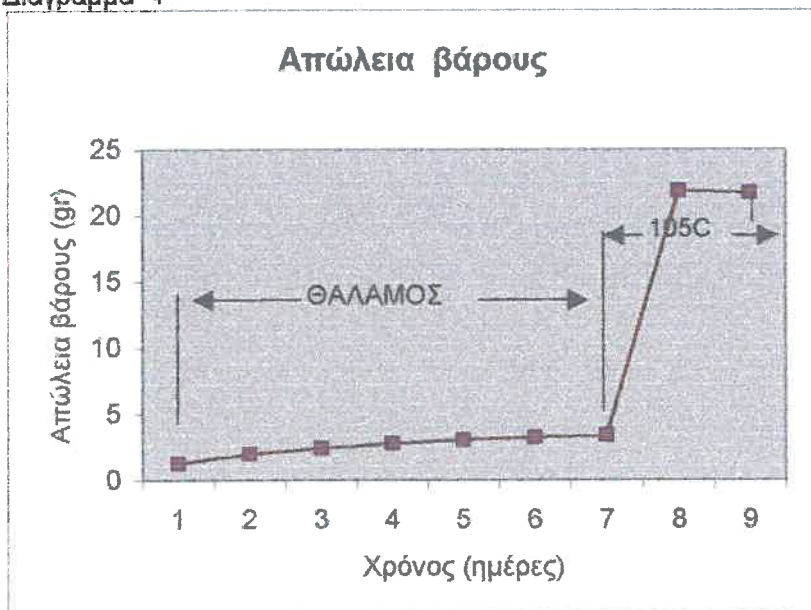
Διάγραμμα 3



$$N/T = 0,6$$

Τσιμεντοπολτός
 501kg/m^3
 20,53%

Διάγραμμα 4



$$N/T = 0,6$$

Τσιμεντοπολτός
 501kg/m^3
 20,53%

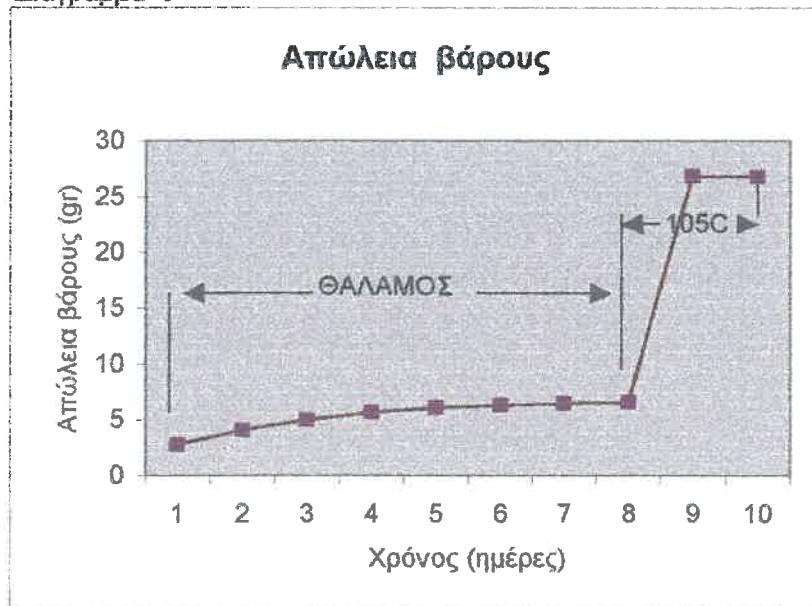
ΜΙΓΜΑ 7

Διάγραμμα 5

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
 606kg/m^3
 25,48%

Διάγραμμα 6

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
 606kg/m^3
 25,48%

ΜΙΓΜΑ 8

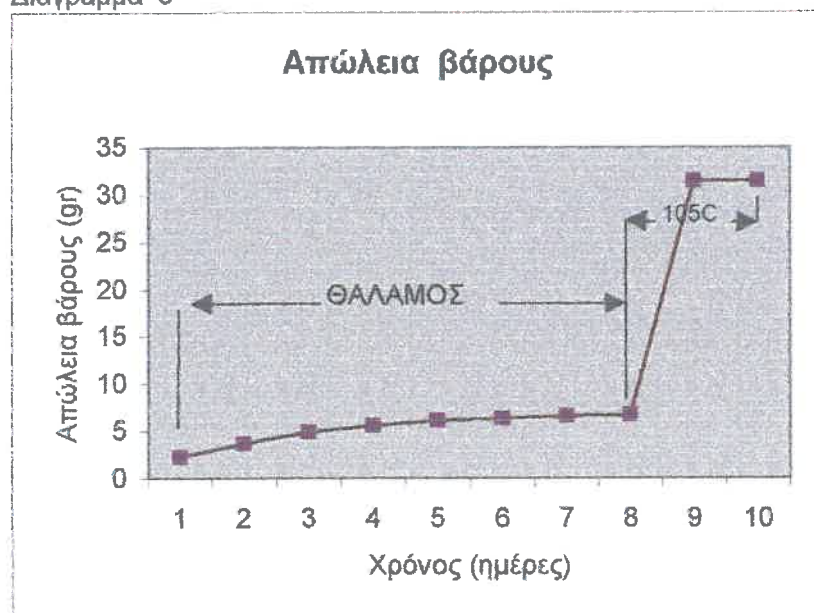
Διάγραμμα 7



$$N/T = 0,6$$

Τσιμεντοπολτός
 710kg/m^3
 30,63%

Διάγραμμα 8

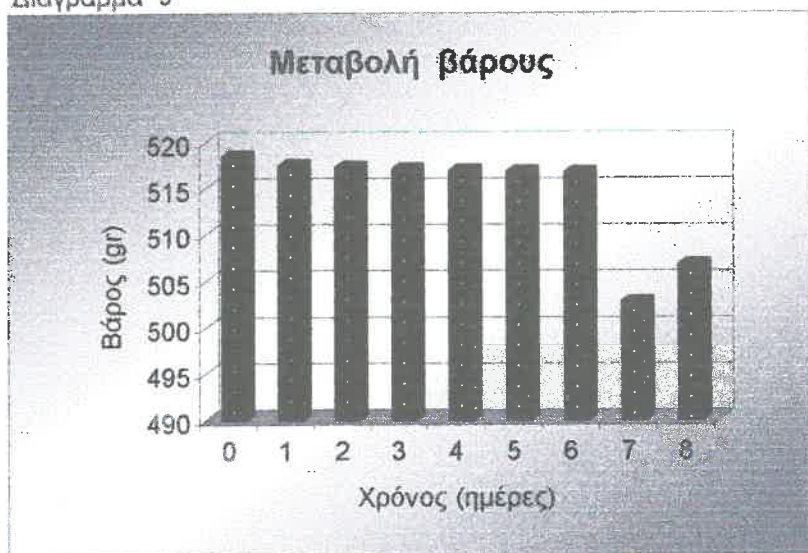


$$N/T = 0,6$$

Τσιμεντοπολτός
 710kg/m^3
 30,63%

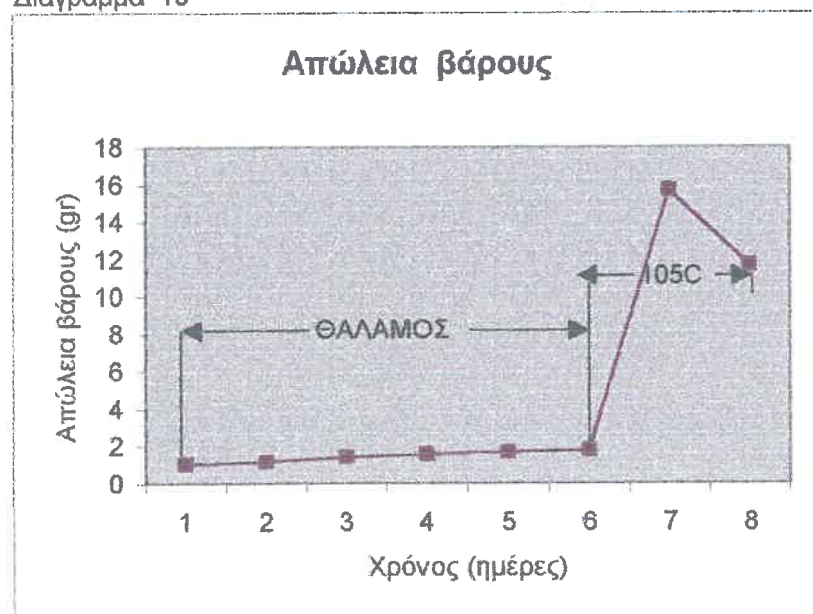
ΜΙΓΜΑ 9

Διάγραμμα 9


 $N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
 442kg/m^3
 17,64%

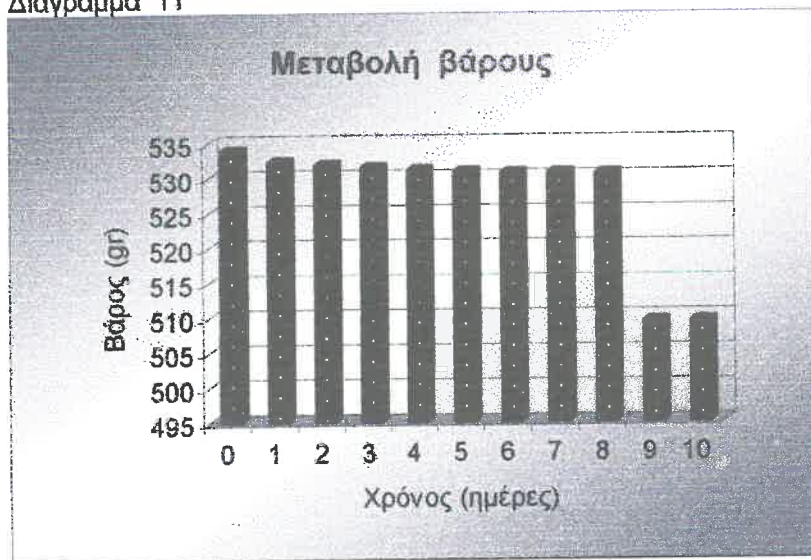
Διάγραμμα 10


 $N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
 442kg/m^3
 17,64%

ΜΙΓΜΑ 10

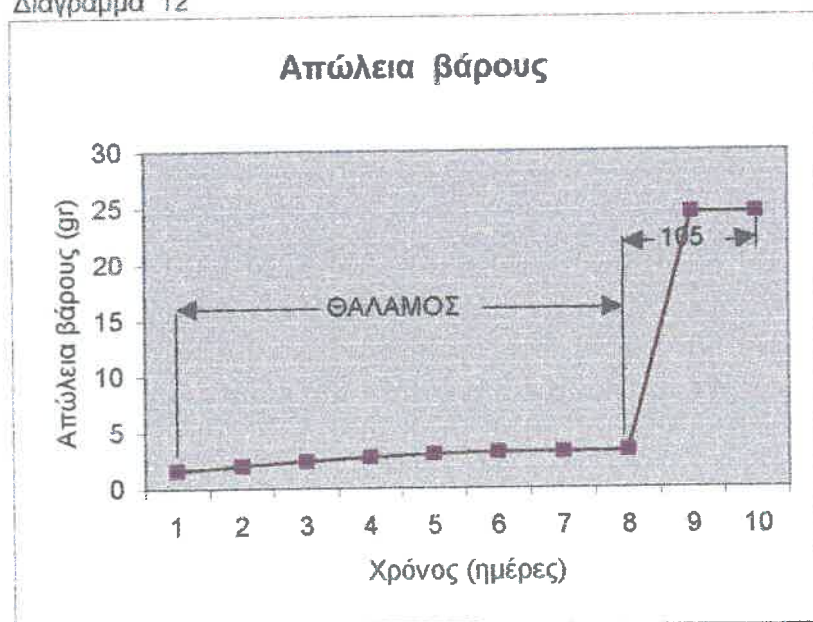
Διάγραμμα 11



$N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολιτός
 560kg/m^3
 22,88%

Διάγραμμα 12



$N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολιτός
 560kg/m^3
 22,88%

ΜΙΓΜΑ 11

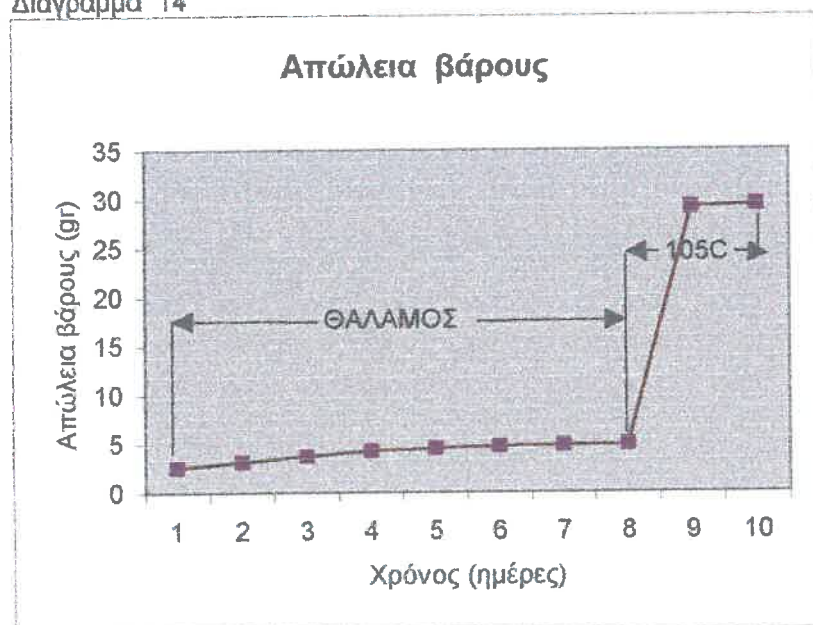
Διάγραμμα 13



$$N/T = 0,5$$

Τσιμεντοπολτός
 $677,7\text{kg/m}^3$
 28,37%

Διάγραμμα 14



$$N/T = 0,5$$

Τσιμεντοπολτός
 $677,7\text{kg/m}^3$
 28,37%

ΜΙΓΜΑ 12

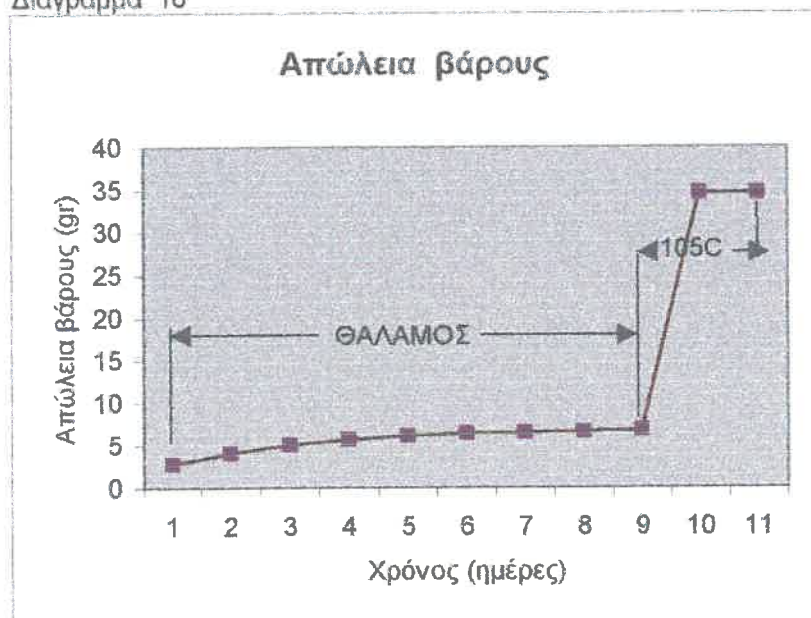
Διάγραμμα 15



$N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
 $795,6 \text{ kg/m}^3$
 34,14%

Διάγραμμα 16

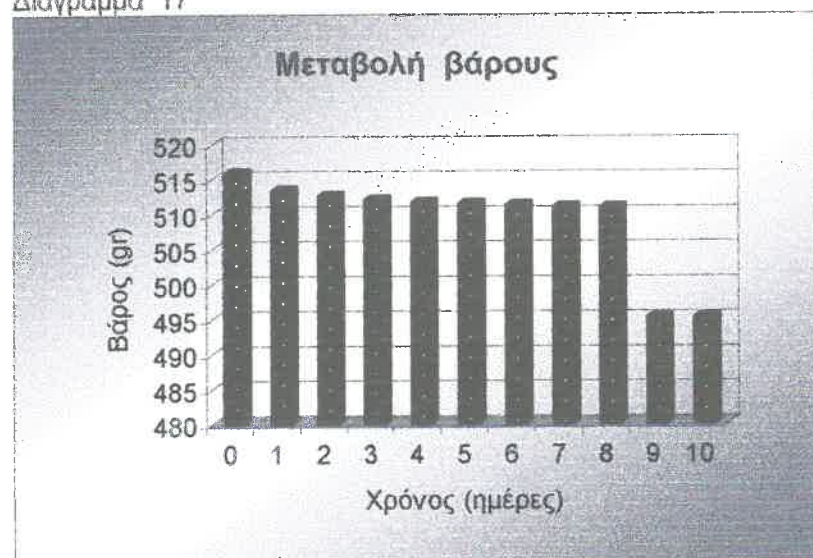


$N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
 $795,6 \text{ kg/m}^3$
 34,14%

ΜΙΓΜΑ 13

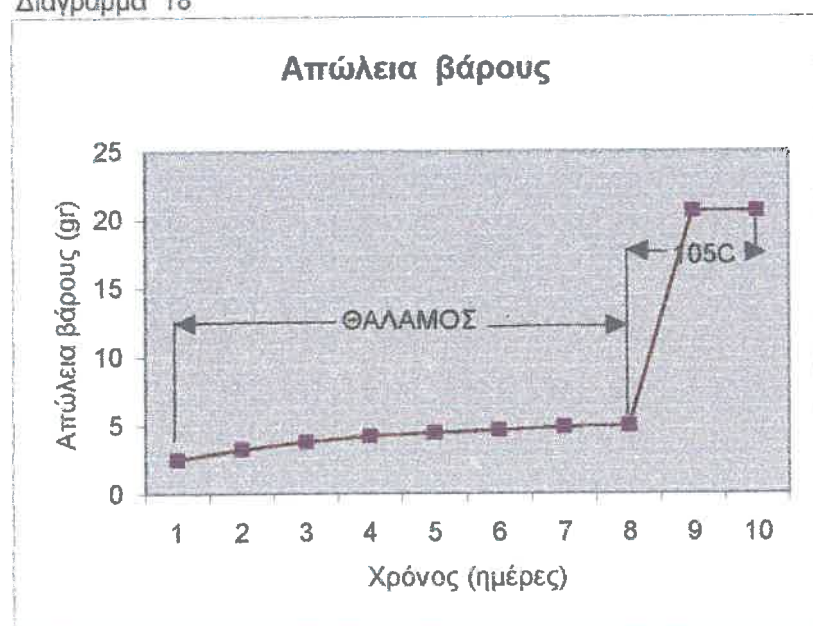
Διάγραμμα 17



$$N/T = 0,4$$

Τσιμεντοπολτός
 $511,3\text{kg/m}^3$
 20,31%

Διάγραμμα 18



$$N/T = 0,4$$

Τσιμεντοπολτός
 $511,3\text{kg/m}^3$
 20,31%

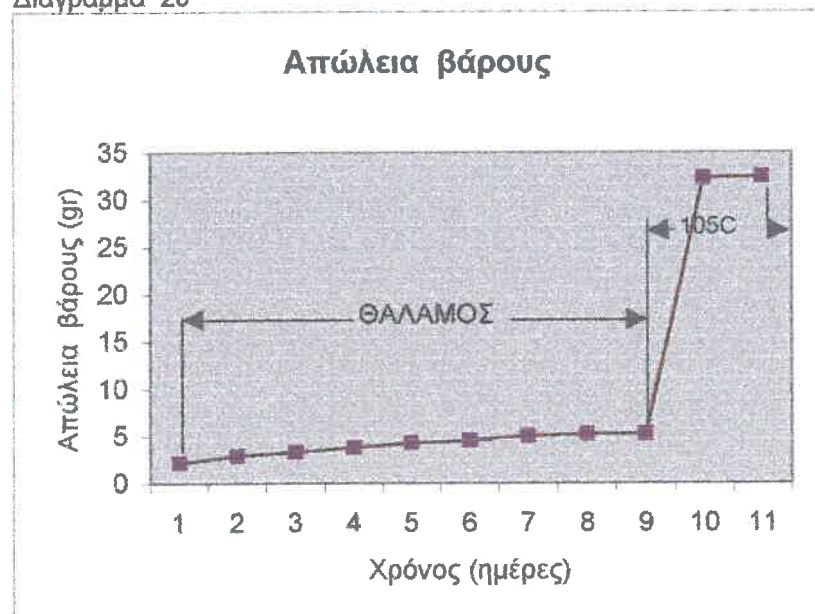
ΜΙΓΜΑ 14

Διάγραμμα 19

 $N/T = 0,4$

Τσιμεντοπολτός
 $648,7\text{kg/m}^3$
 26,34%

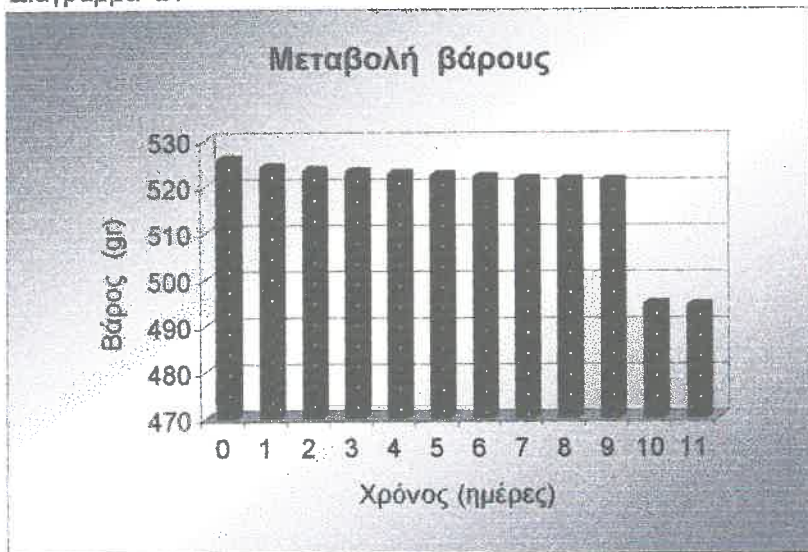
Διάγραμμα 20

 $N/T = 0,4$

Τσιμεντοπολτός
 $648,7\text{kg/m}^3$
 26,34%

ΜΙΓΜΑ 15

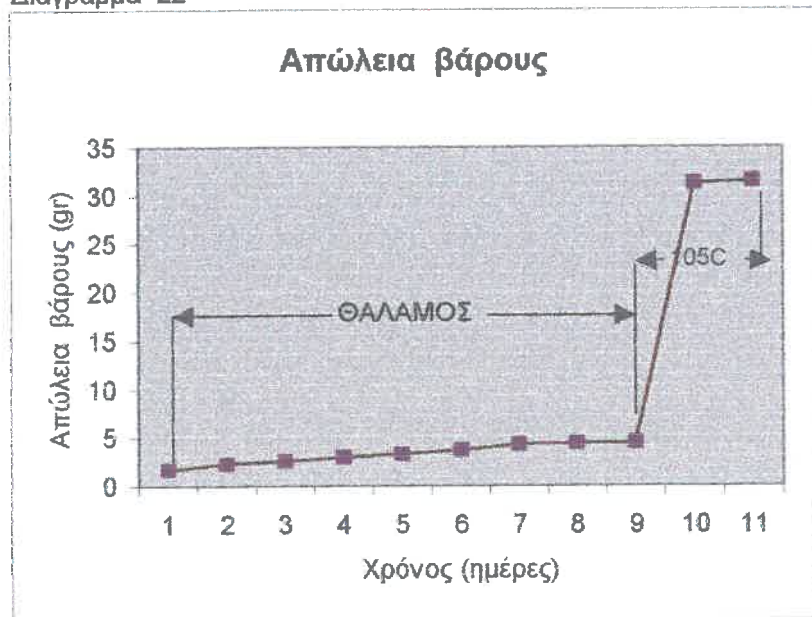
Διάγραμμα 21



$$N/T = 0,4$$

Τσιμεντοπολτός
 $786,3\text{kg/m}^3$
 32,69%

Διάγραμμα 22

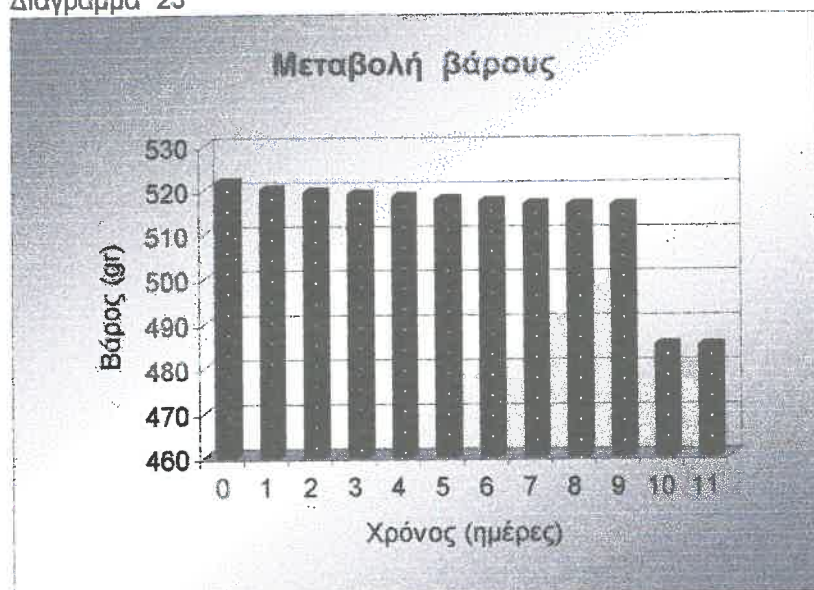


$$N/T = 0,4$$

Τσιμεντοπολτός
 $786,3\text{kg/m}^3$
 32,69%

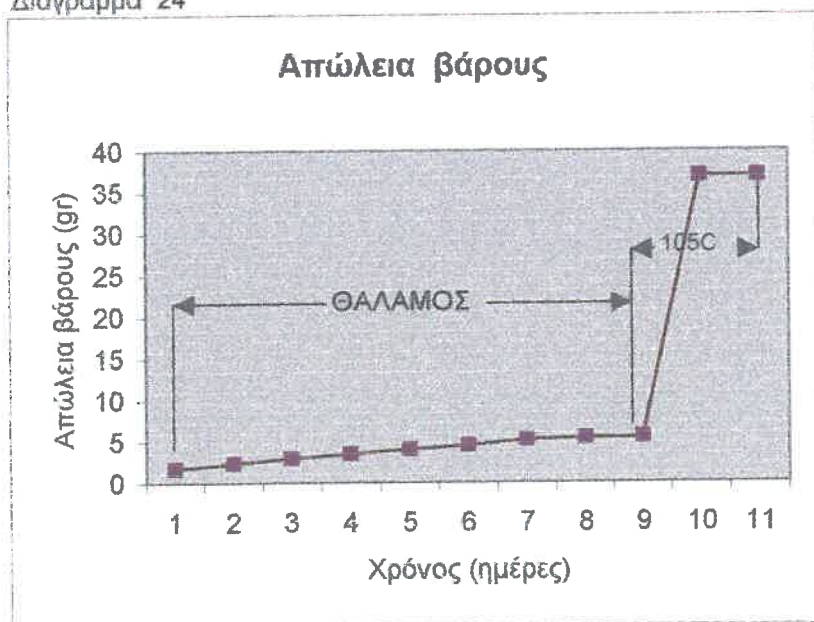
ΜΙΓΜΑ 16

Διάγραμμα 23

 $N/T = 0,4$

Τσιμεντοπολτός
 924kg/m^3
 39,35%

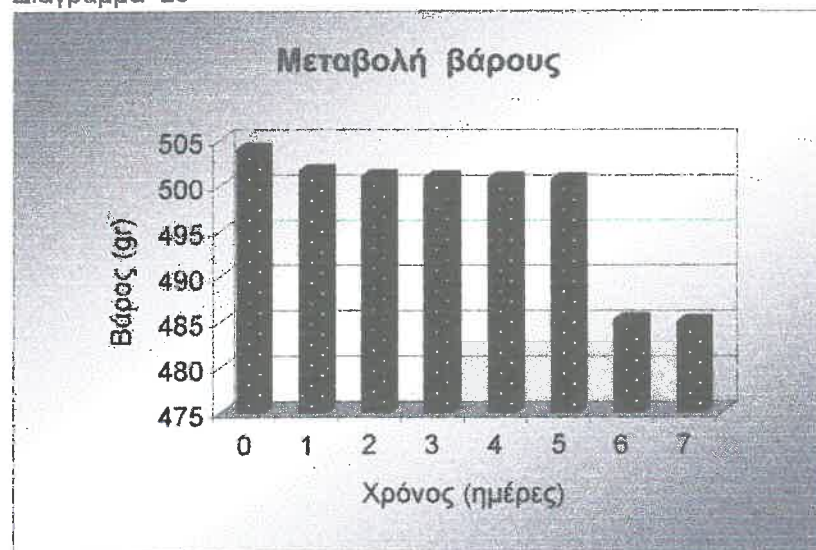
Διάγραμμα 24

 $N/T = 0,4$

Τσιμεντοπολτός
 924kg/m^3
 39,35%

ΜΙΓΜΑ 17

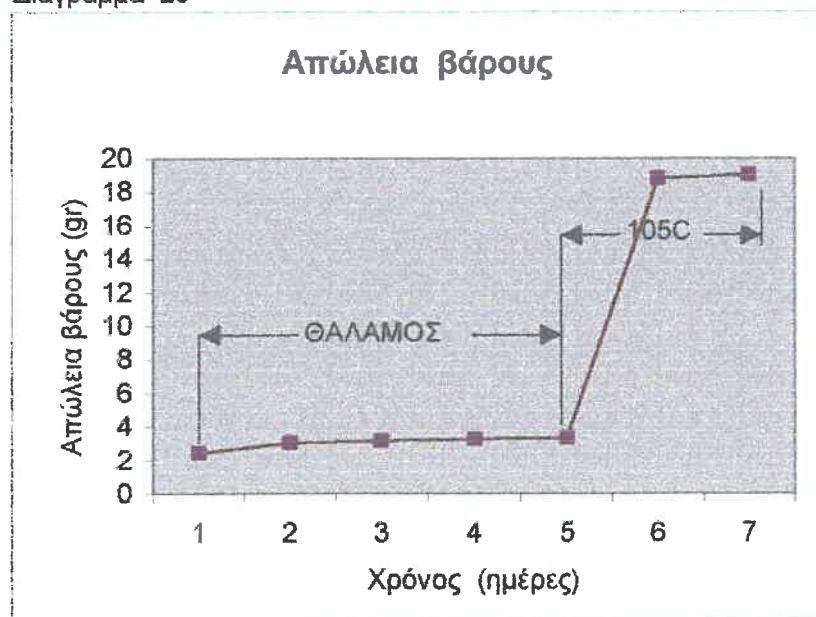
Διάγραμμα 25



$$N/T = 0,3$$

Τσιμεντοπολτός
 $626,6 \text{ kg/m}^3$
 24,73%

Διάγραμμα 26

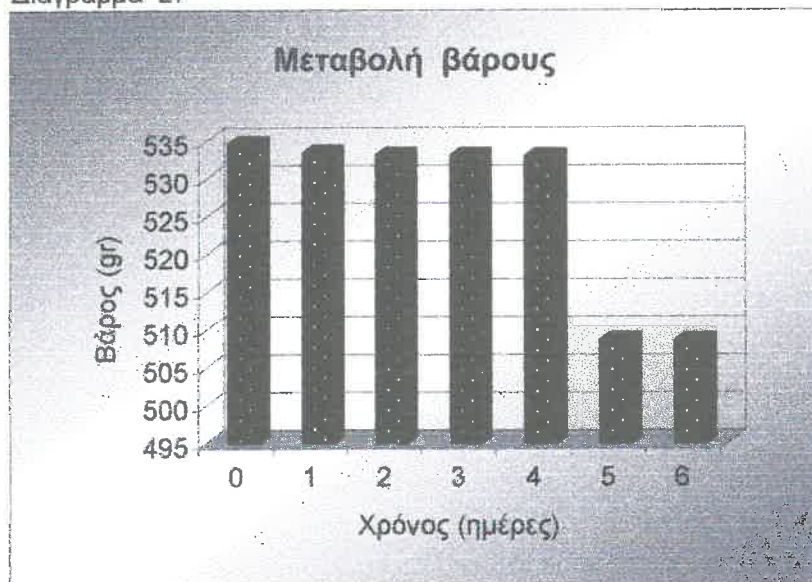


$$N/T = 0,3$$

Τσιμεντοπολτός
 $626,6 \text{ kg/m}^3$
 24,73%

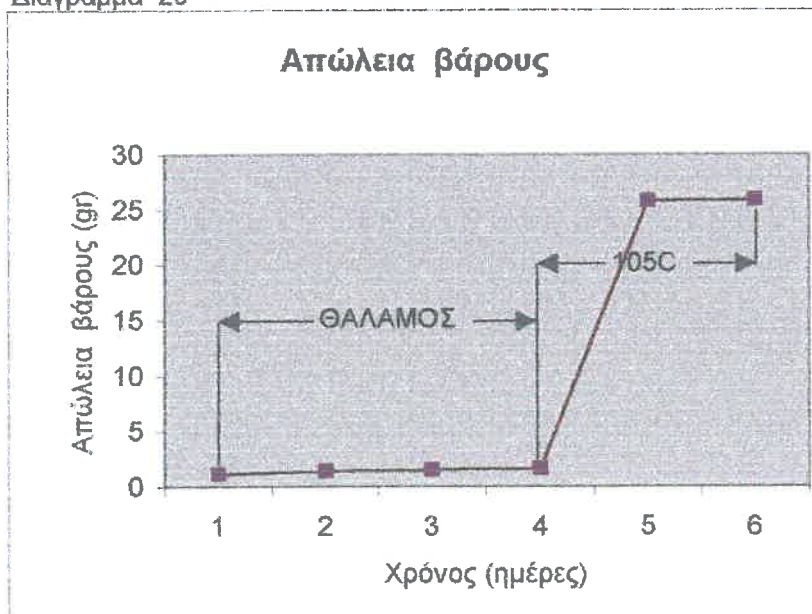
ΜΙΓΜΑ 18

Διάγραμμα 27


 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολτός
 $796,6 \text{ kg/m}^3$
 32,18%

Διάγραμμα 28


 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολτός
 $796,6 \text{ kg/m}^3$
 32,18%

ΜΙΓΜΑ 19

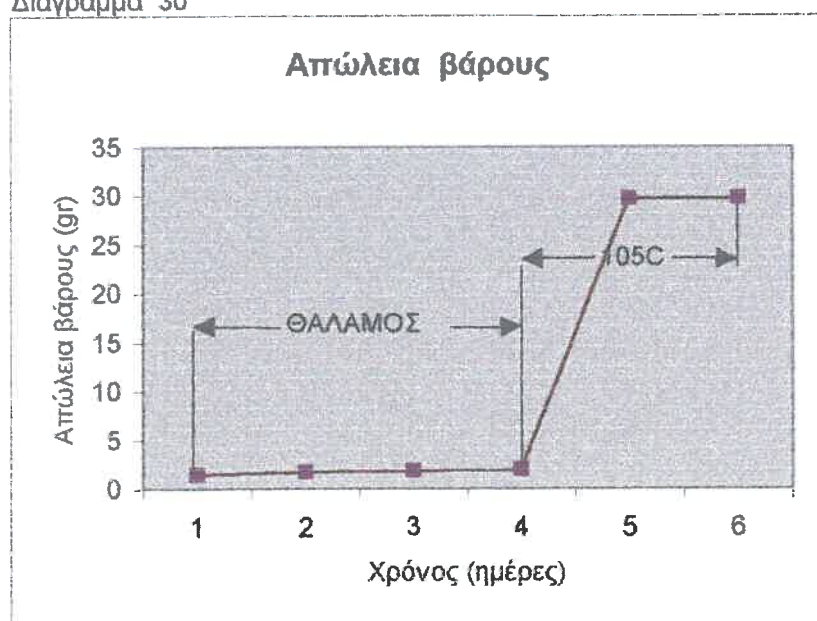
Διάγραμμα 29



N/T =0,3

Τσιμεντοπολιτός
 967kg/m^3
 39,67%

Διάγραμμα 30

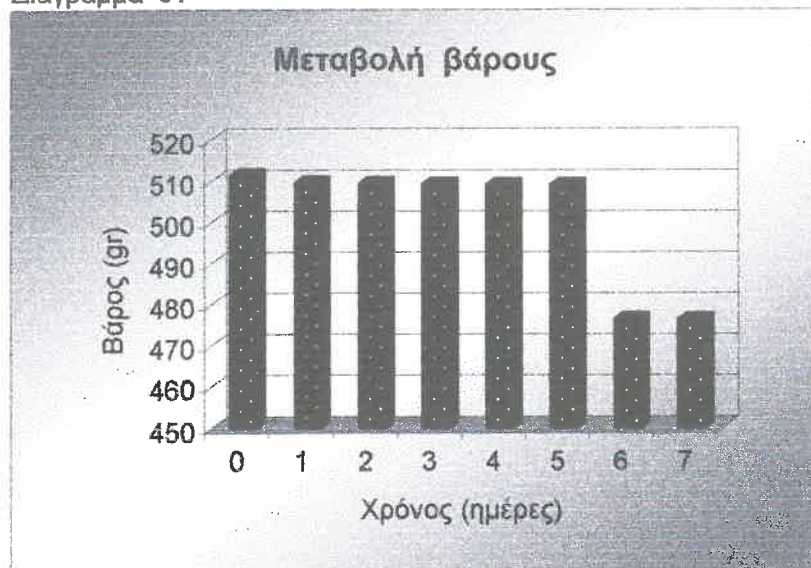


N/T =0,3

Τσιμεντοπολιτός
 967kg/m^3
 39,67%

ΜΙΓΜΑ 20

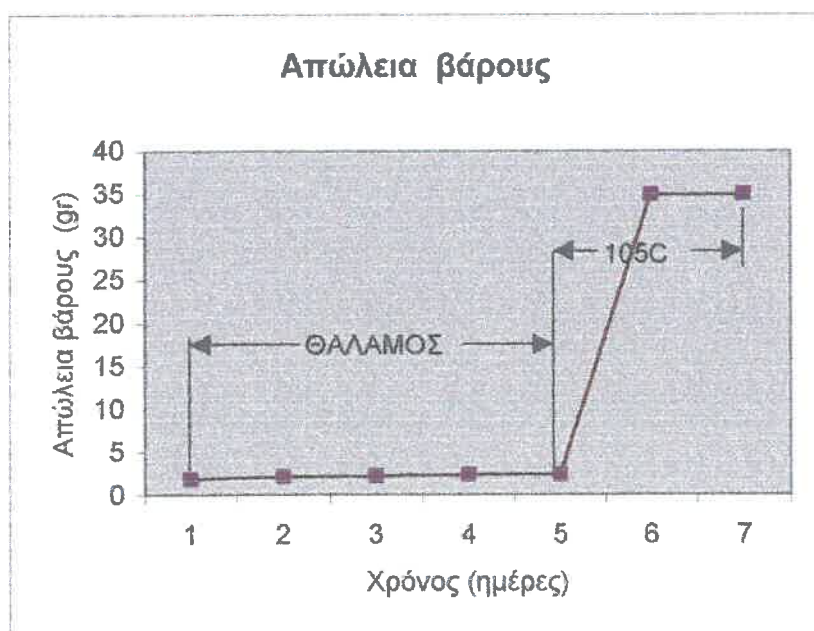
Διάγραμμα 31



N/T =0,3

Τσιμεντοπολτός
 1138kg/m^3
 47,79%

Διάγραμμα 32



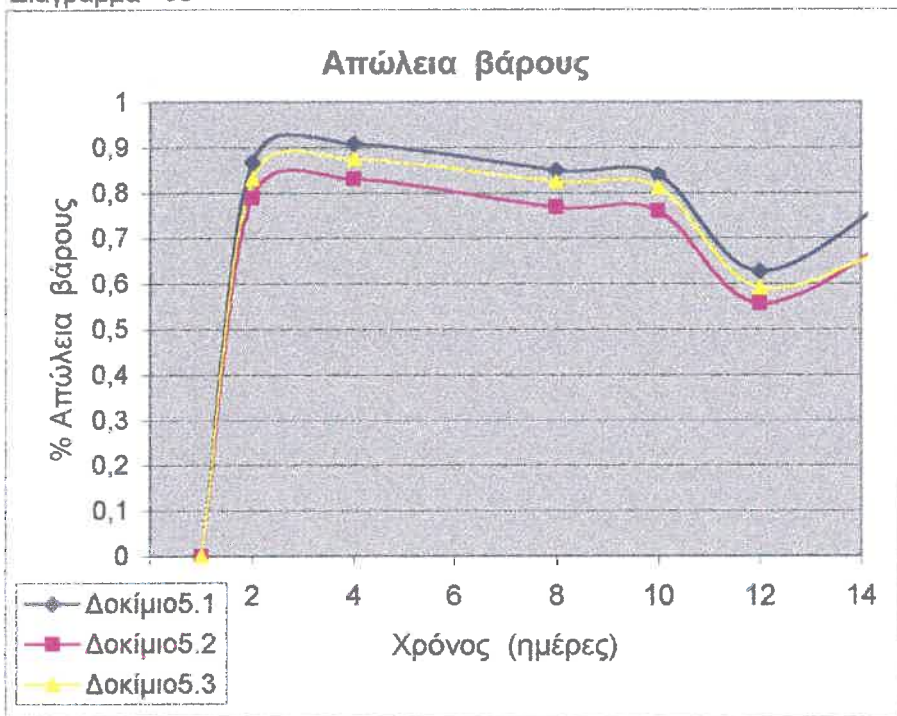
N/T =0,3

Τσιμεντοπολτός
 1138kg/m^3
 47,79%

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ II
ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ

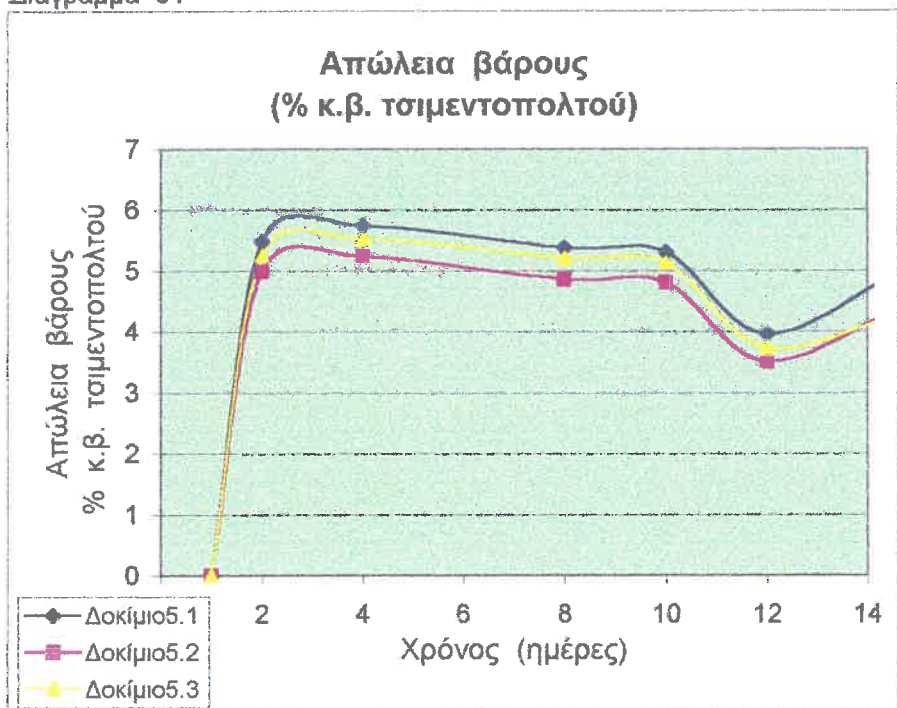
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 5

Διάγραμμα 33

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολιτός
 396kg/m^3
 15,83%

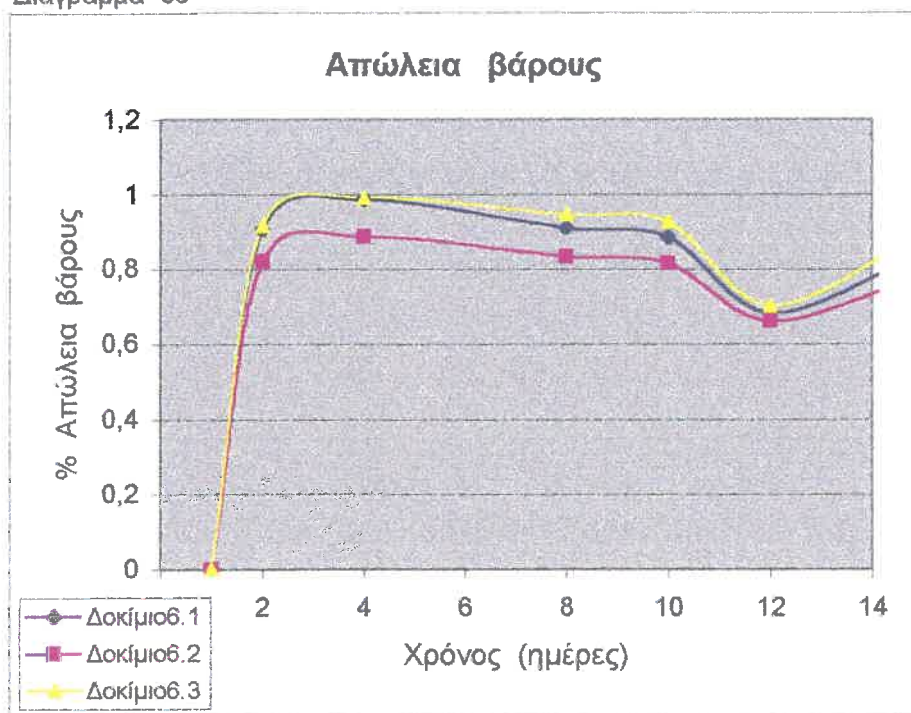
Διάγραμμα 34

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολιτός
 396kg/m^3
 15,83%

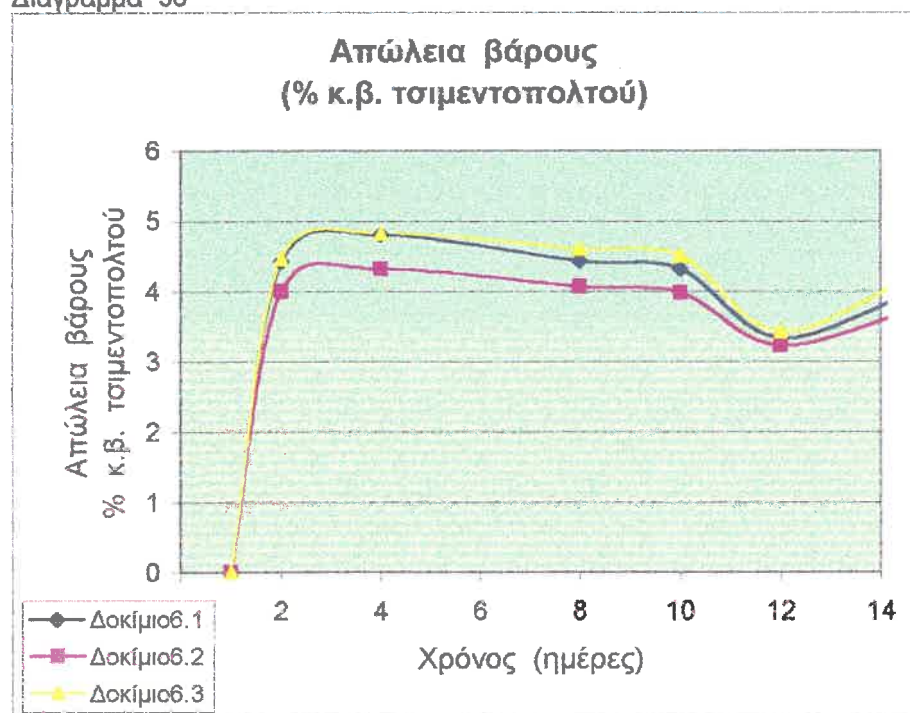
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 6

Διάγραμμα 35

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
 501kg/m^3
 20,53%

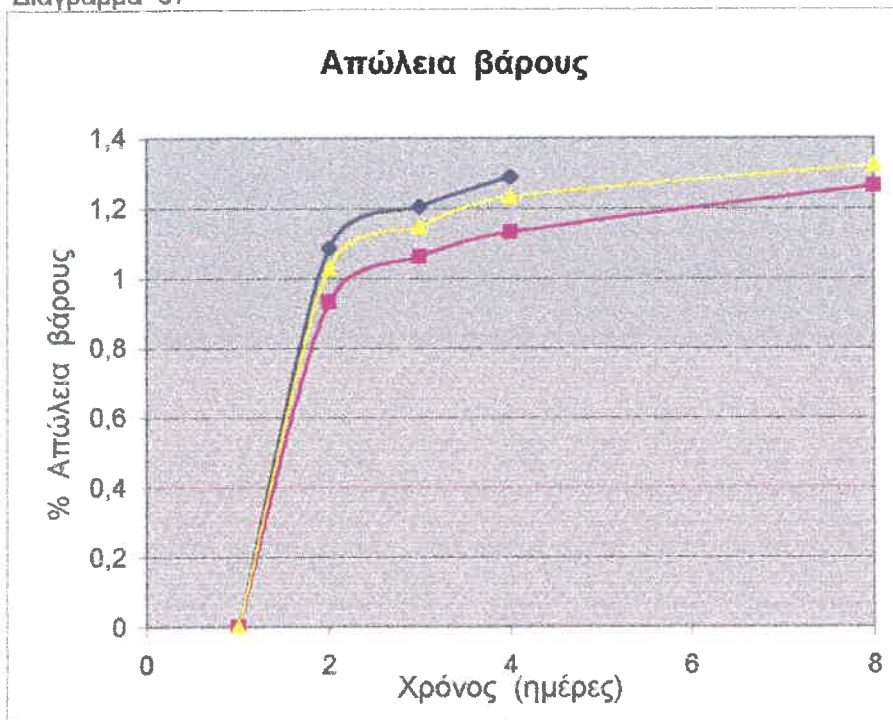
Διάγραμμα 36

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
 501kg/m^3
 20,53%

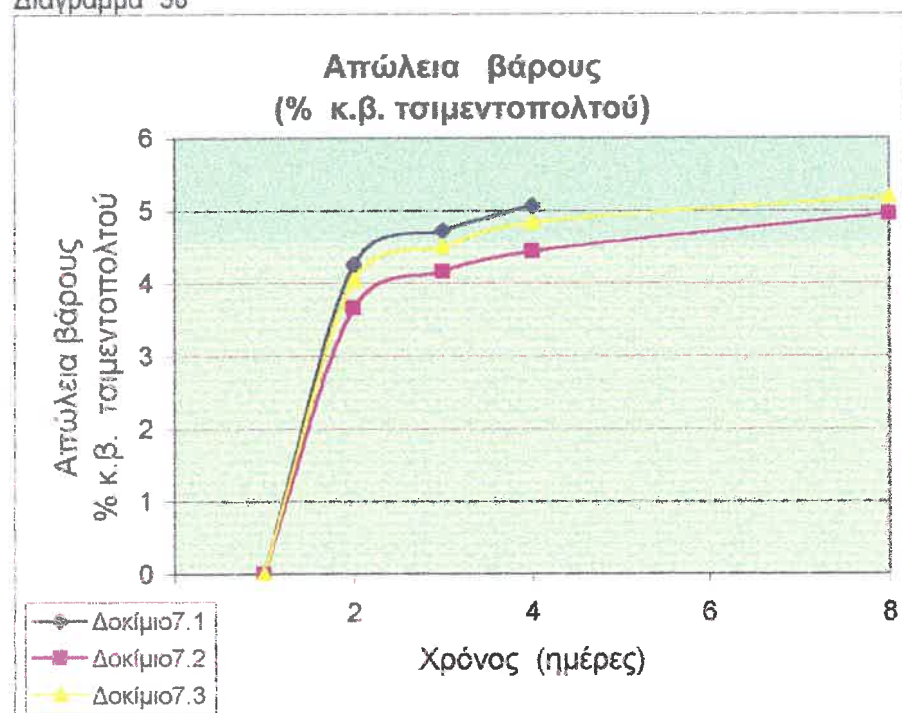
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 7

Διάγραμμα 37

**N/T = 0,6**

Τσιμεντοπολτός
 606kg/m^3
 25,48%

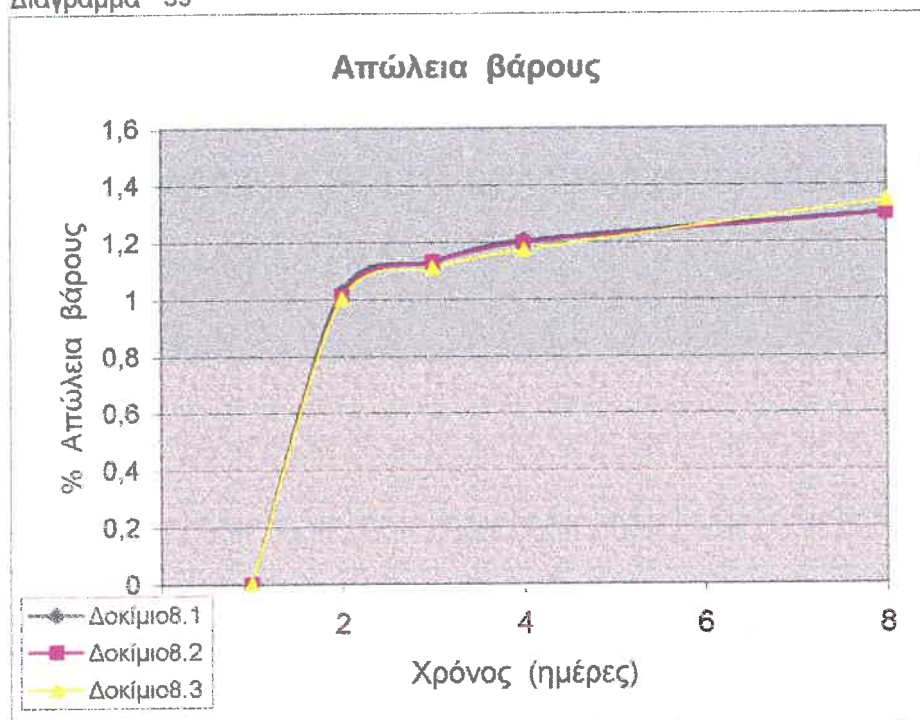
Διάγραμμα 38

**N/T = 0,6**

Τσιμεντοπολτός
 606kg/m^3
 25,48%

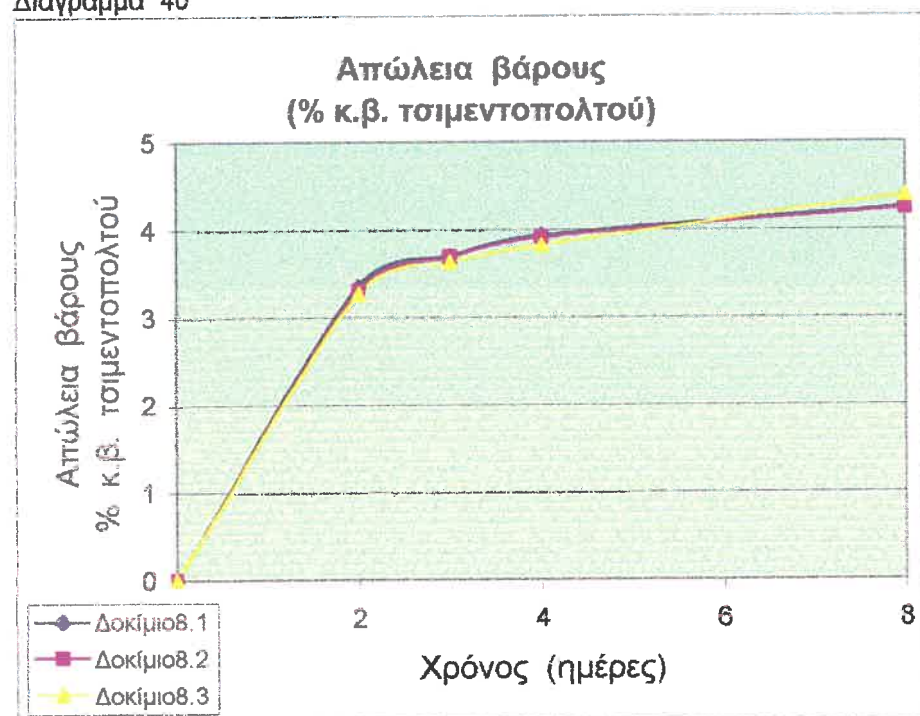
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 8

Διάγραμμα 39

**N/T = 0,6**

Τσιμεντοπολτός
 710kg/m^3
 30,63%

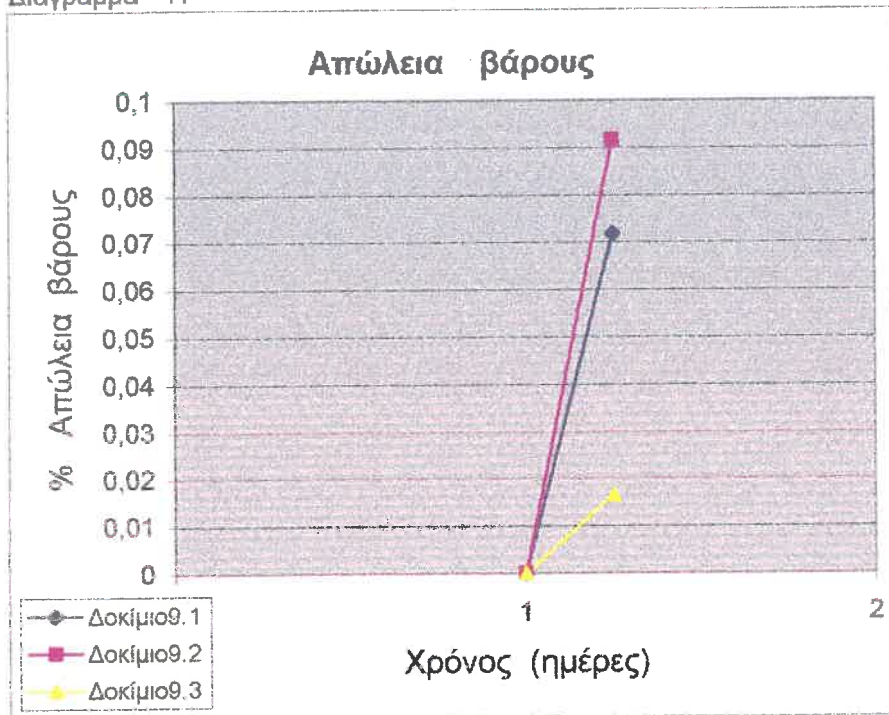
Διάγραμμα 40

**N/T = 0,6**

Τσιμεντοπολτός
 710kg/m^3
 30,63%

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 9

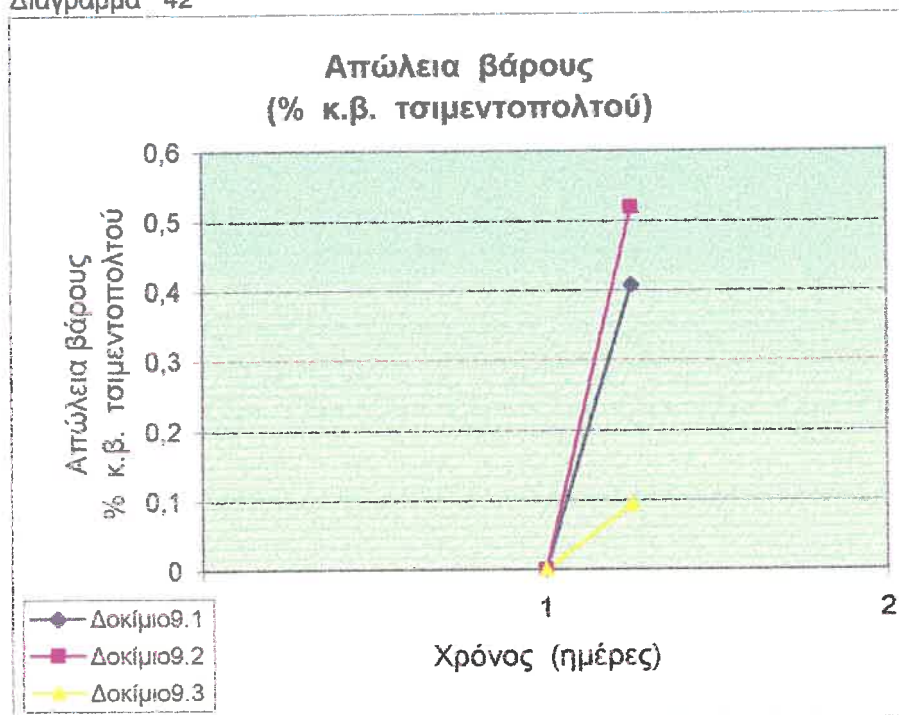
Διάγραμμα 41



$$N/T = 0,5$$

Τσιμεντοπολτός
 442kg/m^3
 17,64%

Διάγραμμα 42

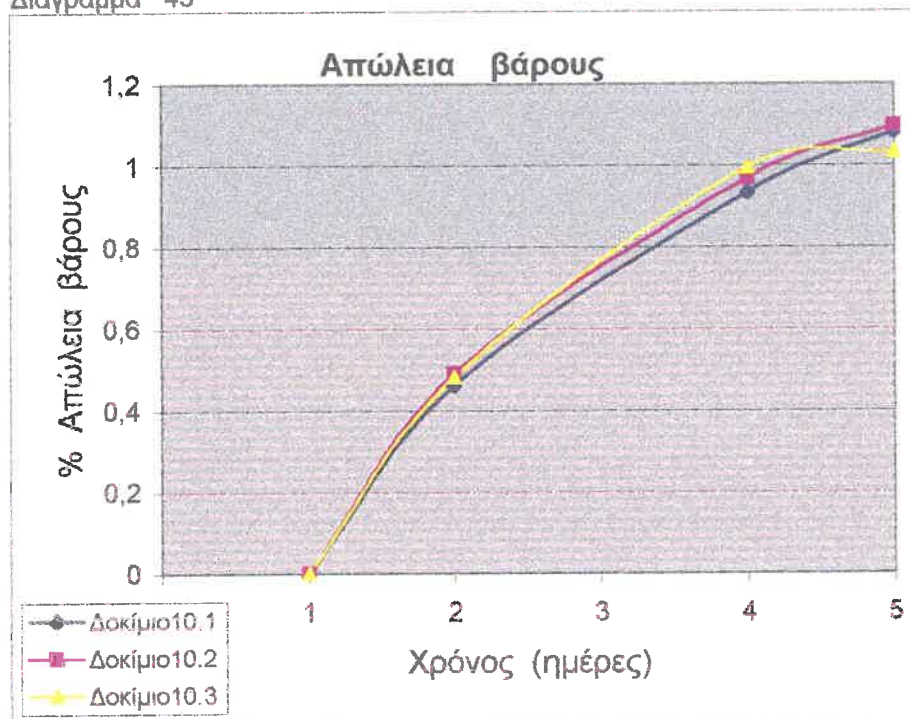


$$N/T = 0,5$$

Τσιμεντοπολτός
 442kg/m^3
 17,64%

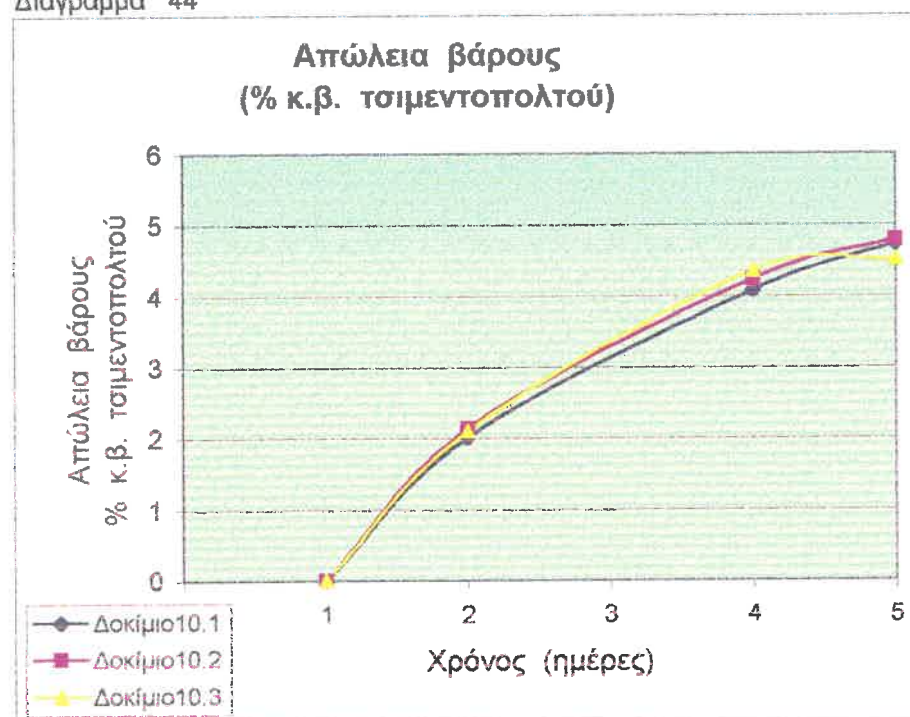
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 10

Διάγραμμα 43

**N/T = 0,5**

Τσιμεντοπολτός
560kg/m³
22,88%

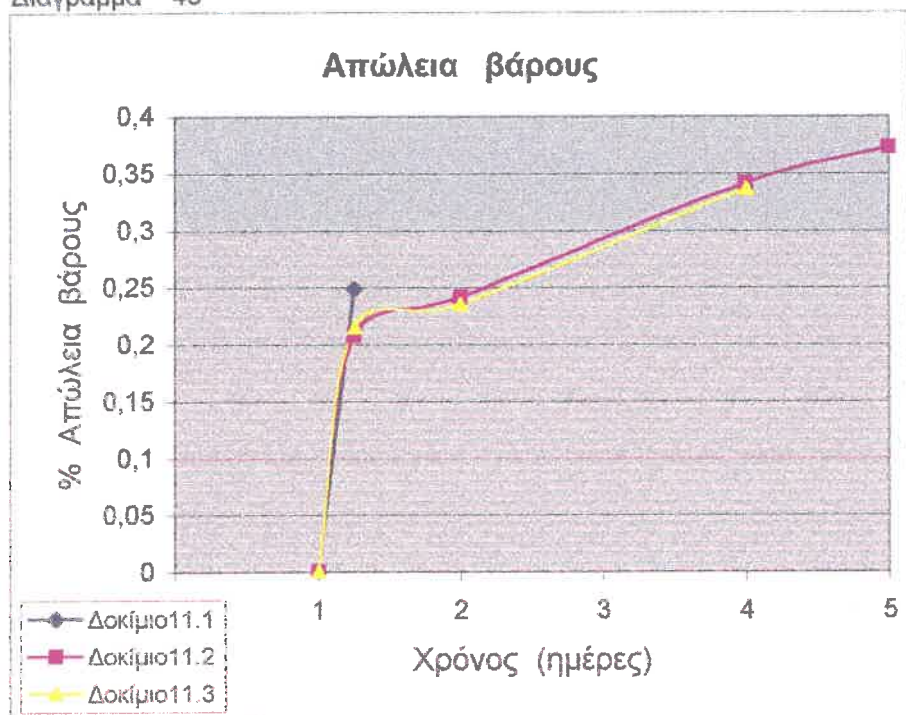
Διάγραμμα 44

**N/T = 0,5**

Τσιμεντοπολτός
560kg/m³
22,88%

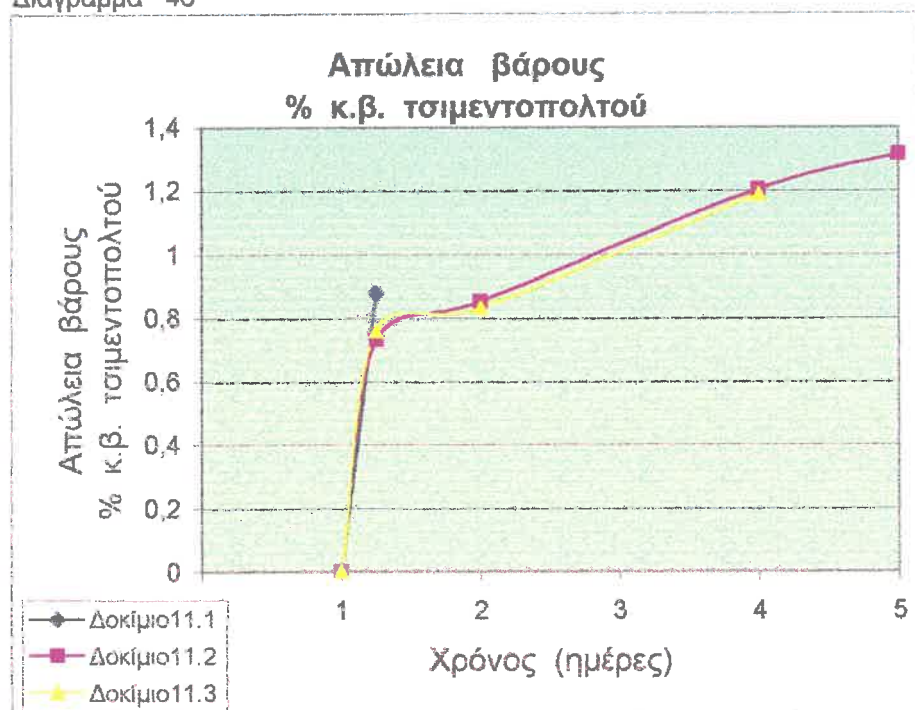
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 11

Διάγραμμα 45

**N/T = 0,5**

Τσιμεντοπολτός
677,7kg/m³
28,37%

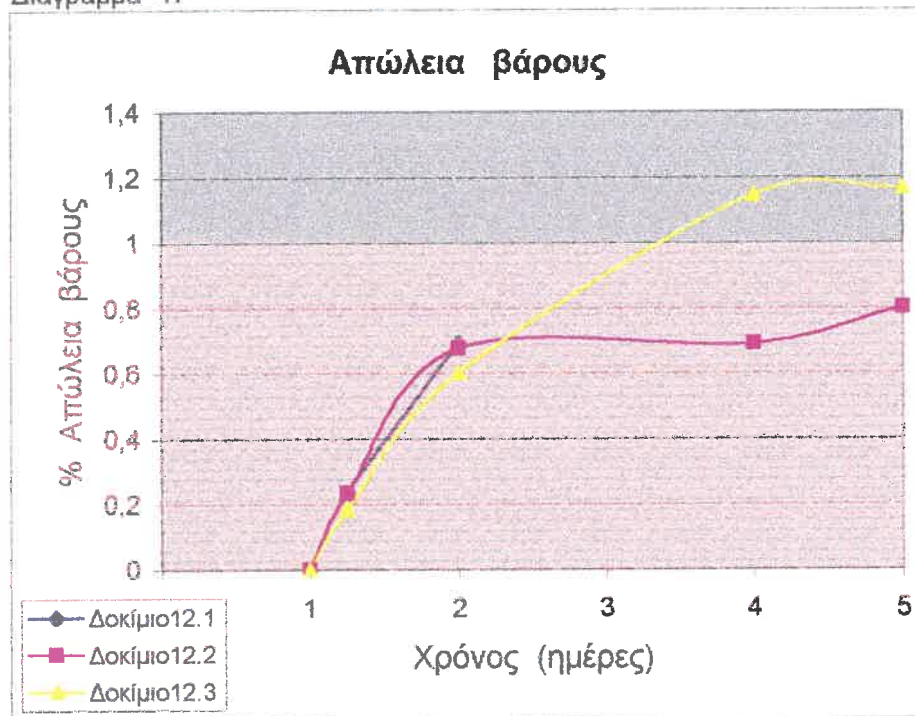
Διάγραμμα 46

**N/T = 0,5**

Τσιμεντοπολτός
677,7kg/m³
28,37%

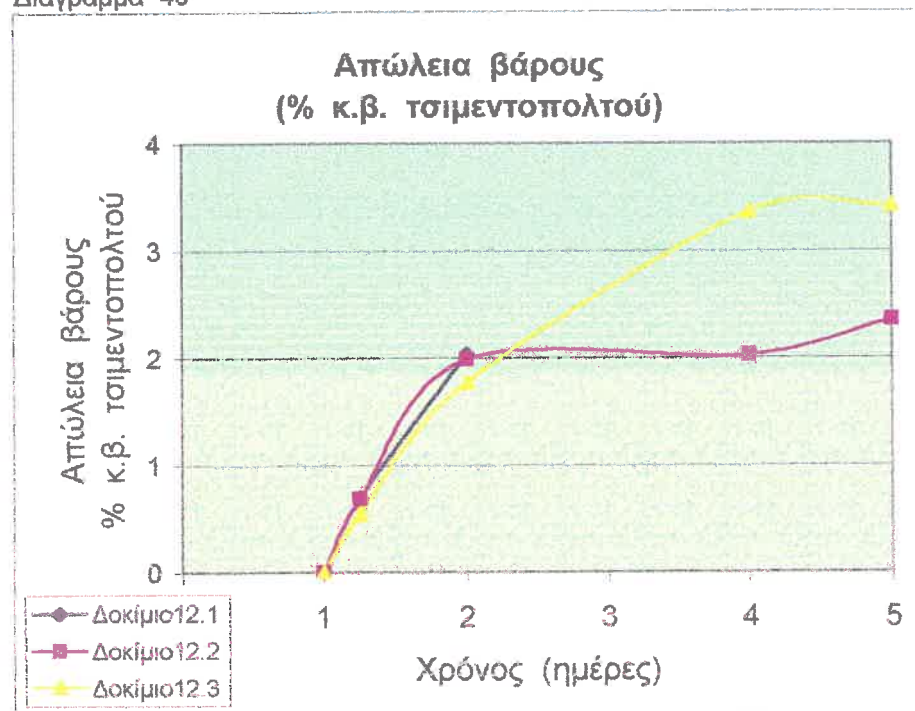
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 12

Διάγραμμα 47

**N/T = 0,5**

Τσιμεντοπολτός
795,6kg/m³
34,14%

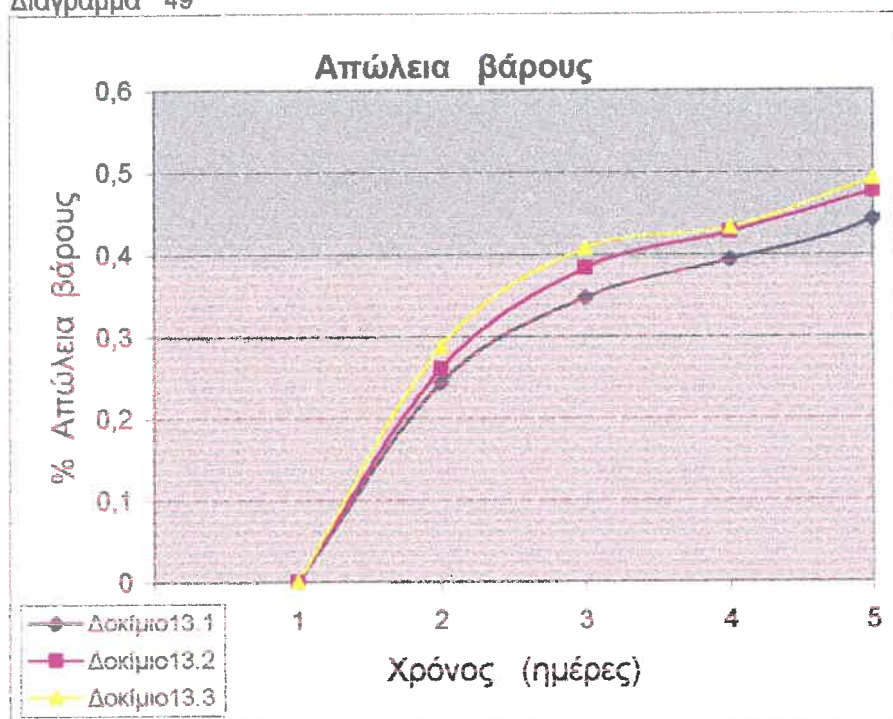
Διάγραμμα 48

**N/T = 0,5**

Τσιμεντοπολτός
795,6kg/m³
34,14%

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 13

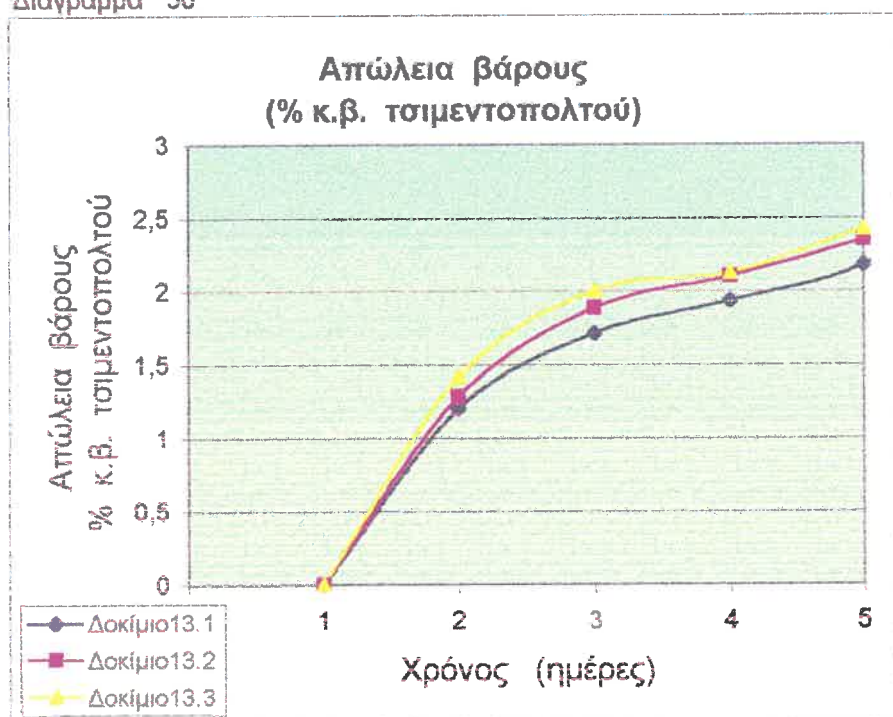
Διάγραμμα 49



$$N/T = 0,4$$

Τσιμεντοπολτός
 $511,3\text{kg/m}^3$
 20,31%

Διάγραμμα 50

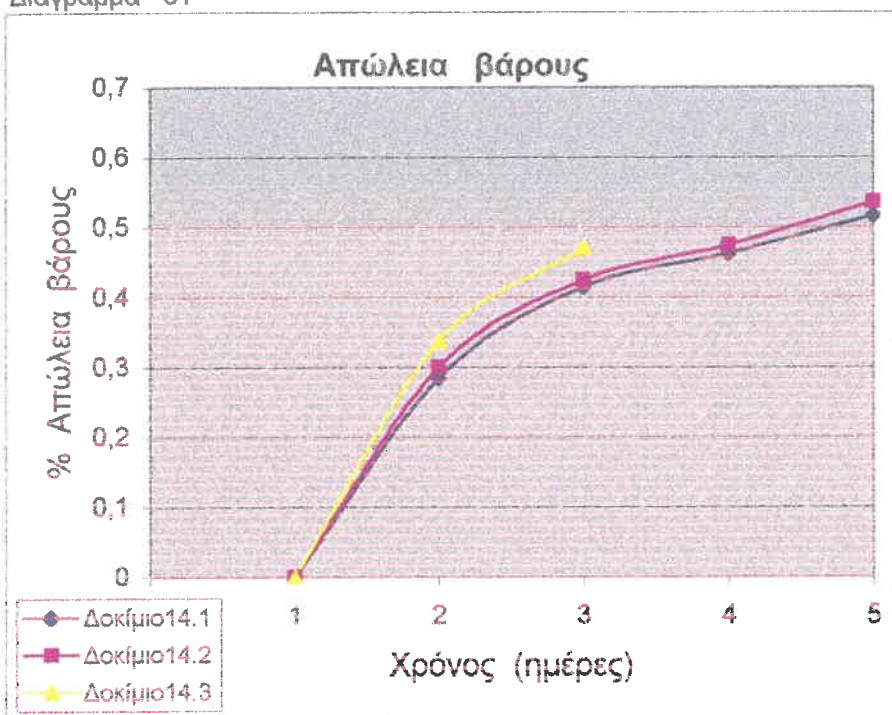


$$N/T = 0,4$$

Τσιμεντοπολτός
 $511,3\text{kg/m}^3$
 20,31%

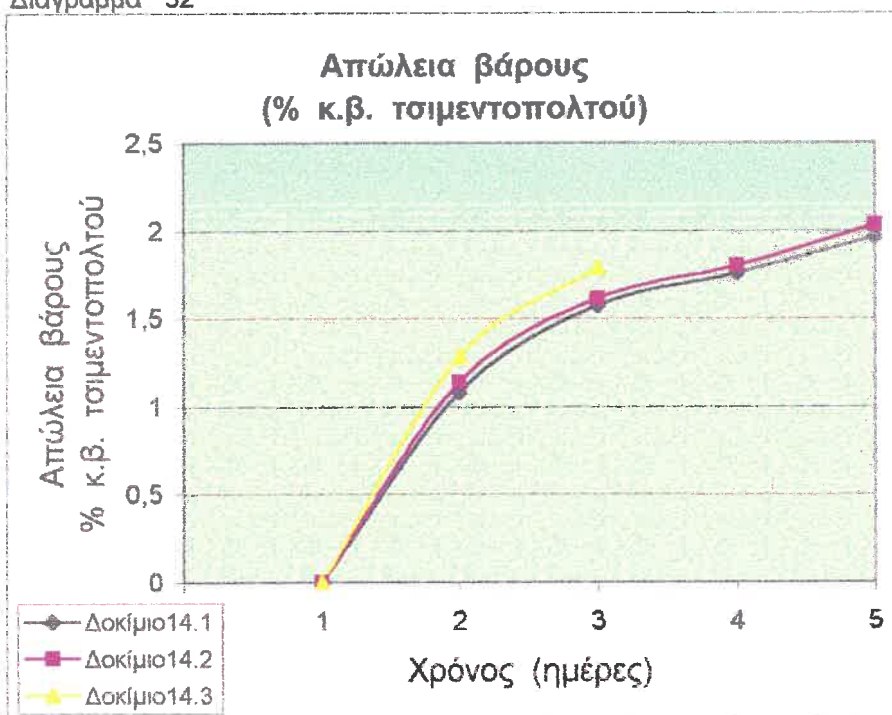
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 14

Διάγραμμα 51

 $N/T = 0,4$

Τσιμεντοπολτός
 $648,7\text{kg/m}^3$
 26,34%

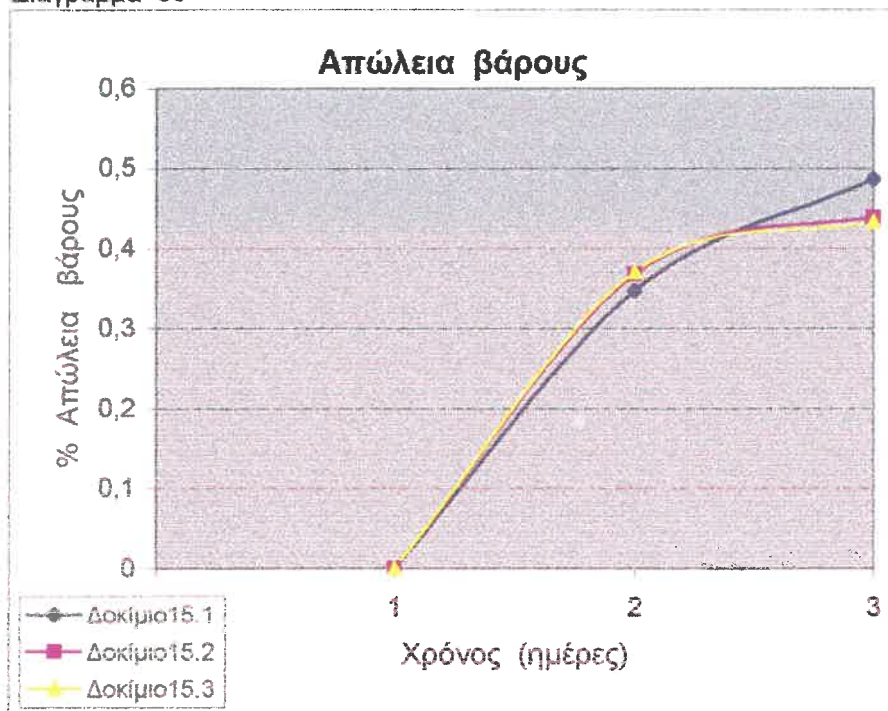
Διάγραμμα 52

 $N/T = 0,4$

Τσιμεντοπολτός
 $648,7\text{kg/m}^3$
 26,34%

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 15

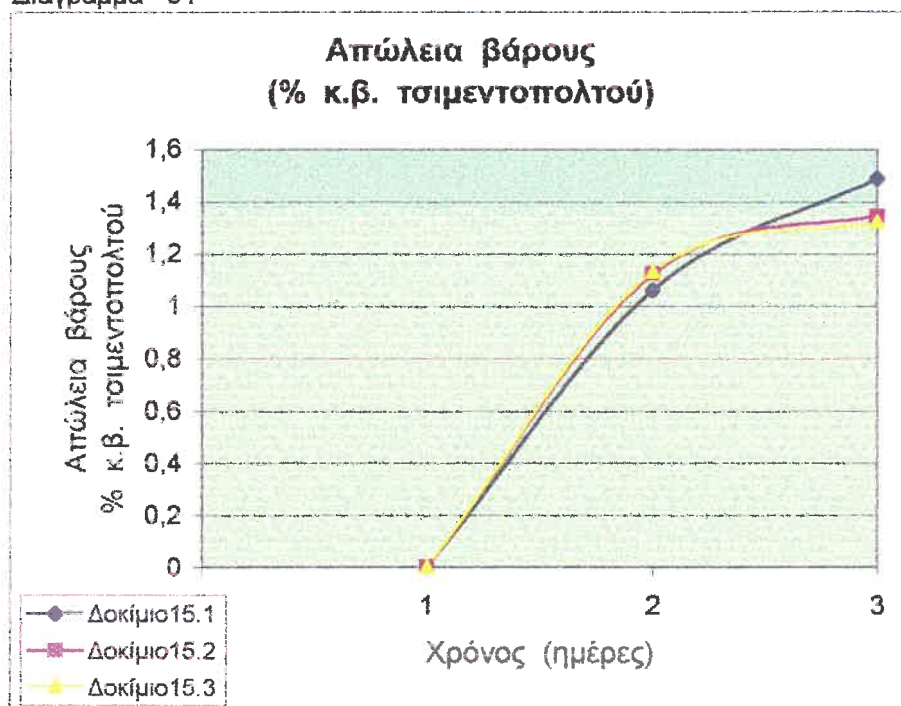
Διάγραμμα 53



$$N/T = 0,4$$

Τσιμεντοπολτός
786,3kg/m³
32,69%

Διάγραμμα 54

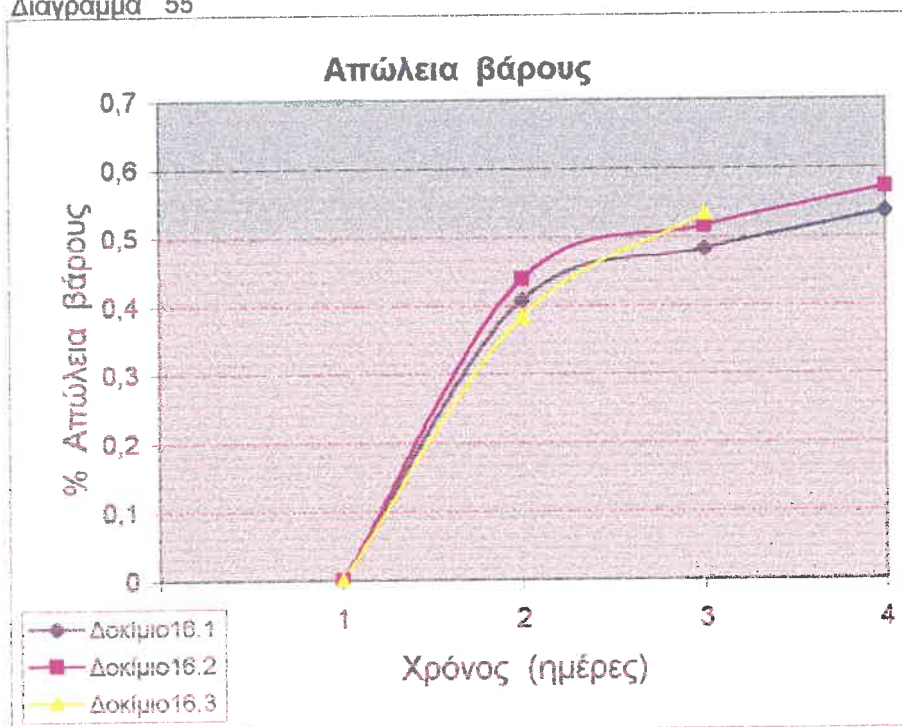


$$N/T = 0,4$$

Τσιμεντοπολτός
786,3kg/m³
32,69%

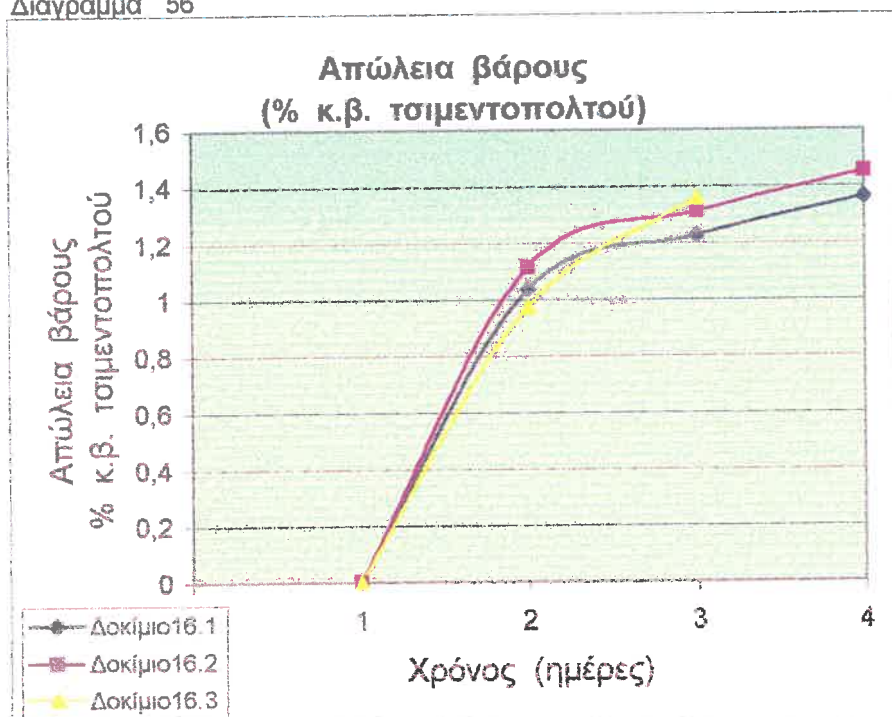
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 16

Διάγραμμα 55

**N/T = 0,4**

Τσιμεντοπολτός
786,3kg/m³
32,69%

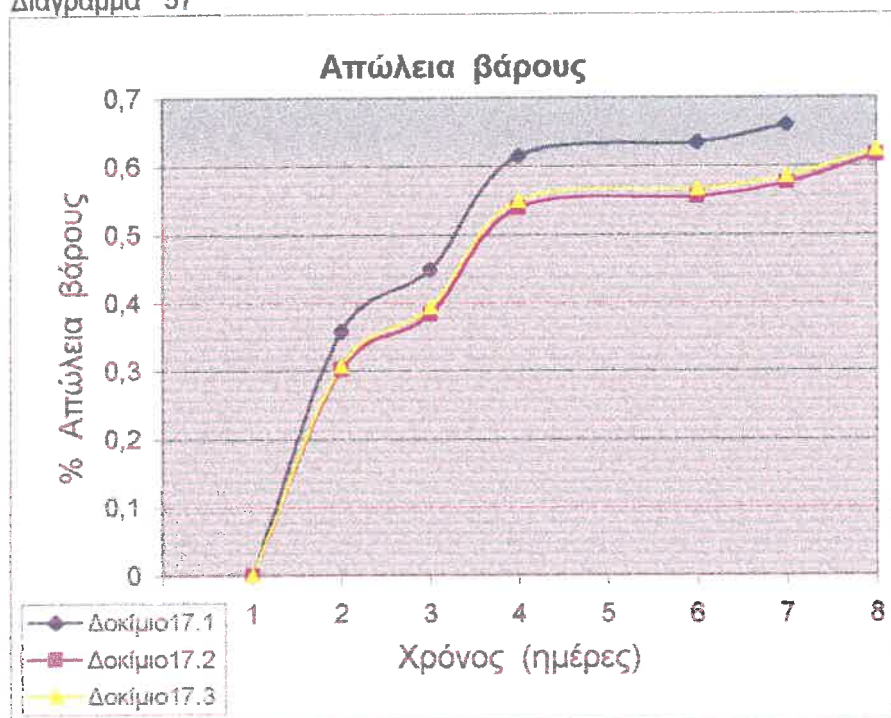
Διάγραμμα 56

**N/T = 0,4**

Τσιμεντοπολτός
786,3kg/m³
32,69%

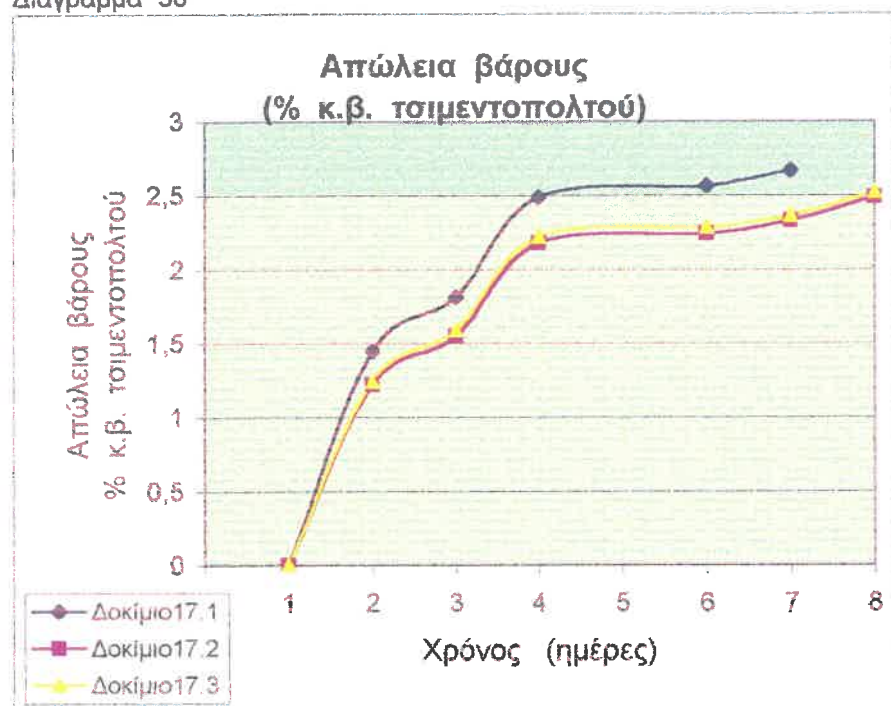
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 17

Διάγραμμα 57

**N/T = 0,3**

Τσιμεντοπολιτός
626,6kg/m³
24,73%

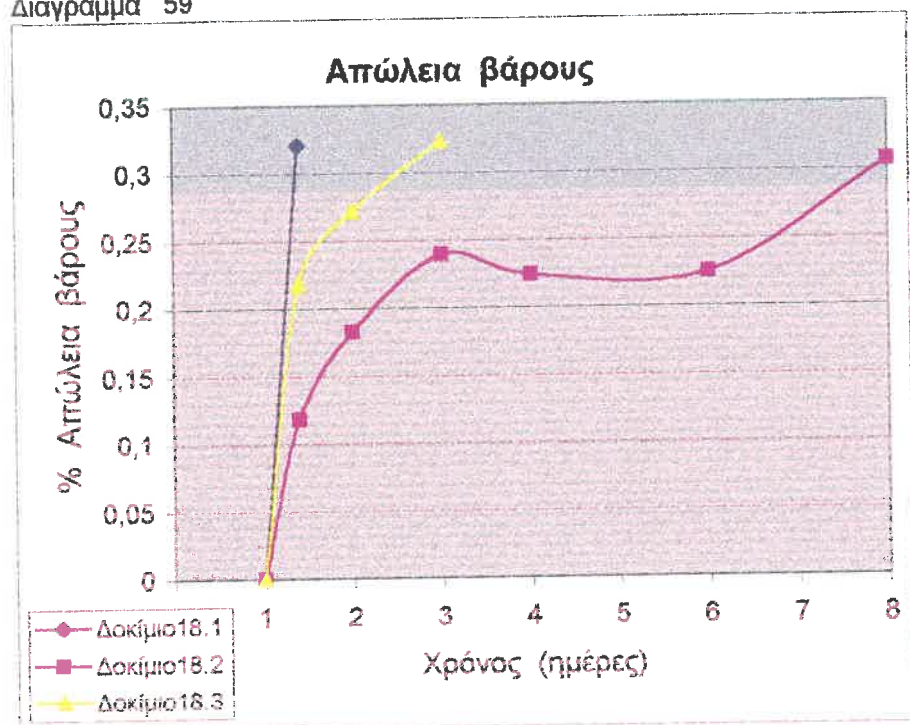
Διάγραμμα 58

**N/T = 0,3**

Τσιμεντοπολιτός
626,6kg/m³
24,73%

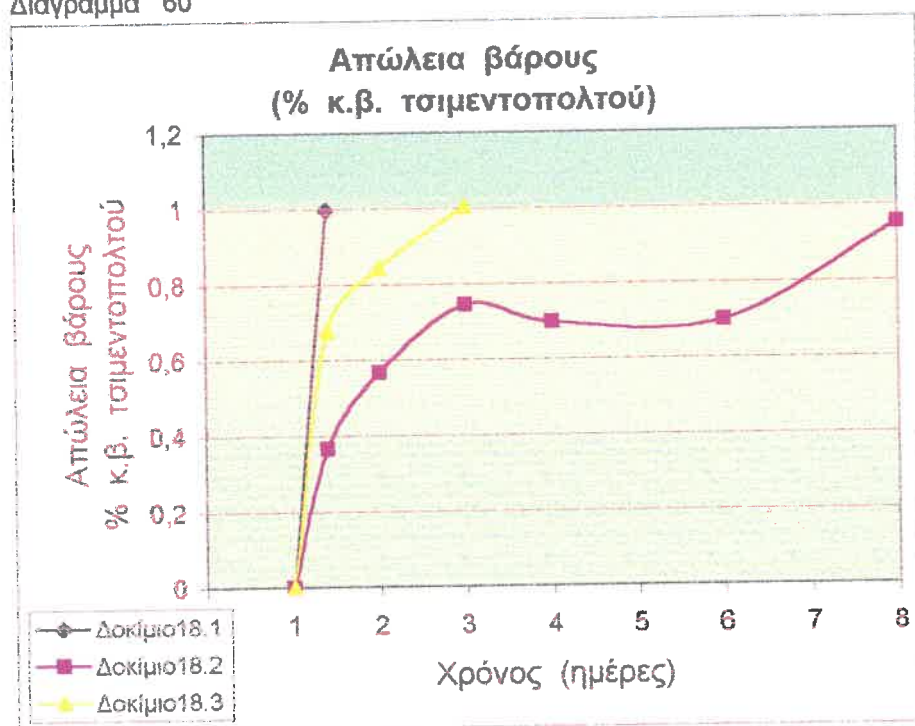
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 18

Διάγραμμα 59

**N/T = 0,3**

Τσιμεντοπολτός
796,6kg/m³
32,18%

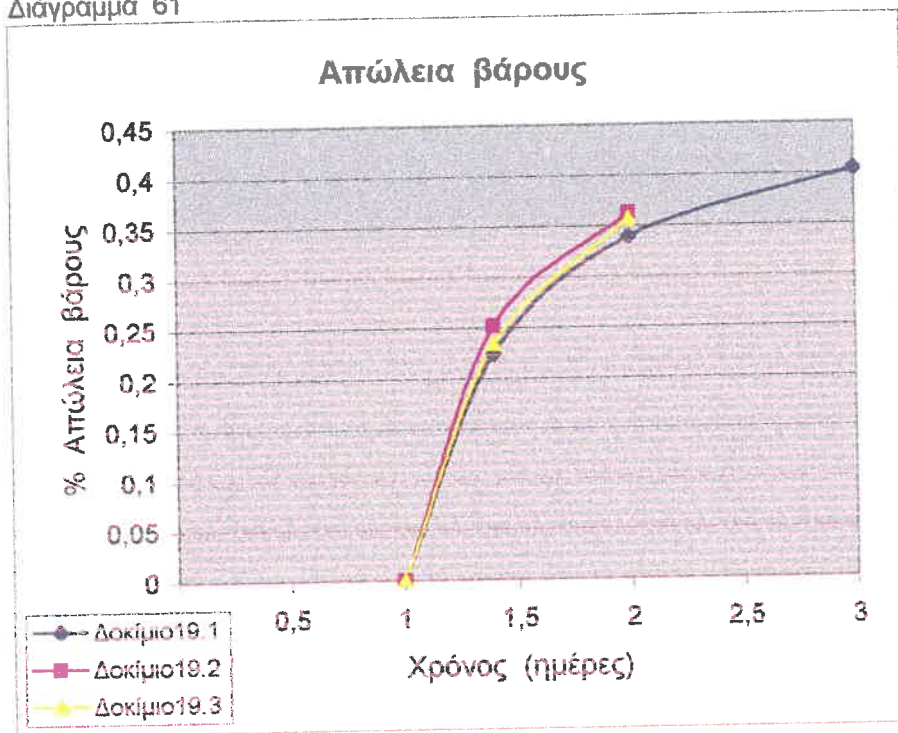
Διάγραμμα 60

**N/T = 0,3**

Τσιμεντοπολτός
796,6kg/m³
32,18%

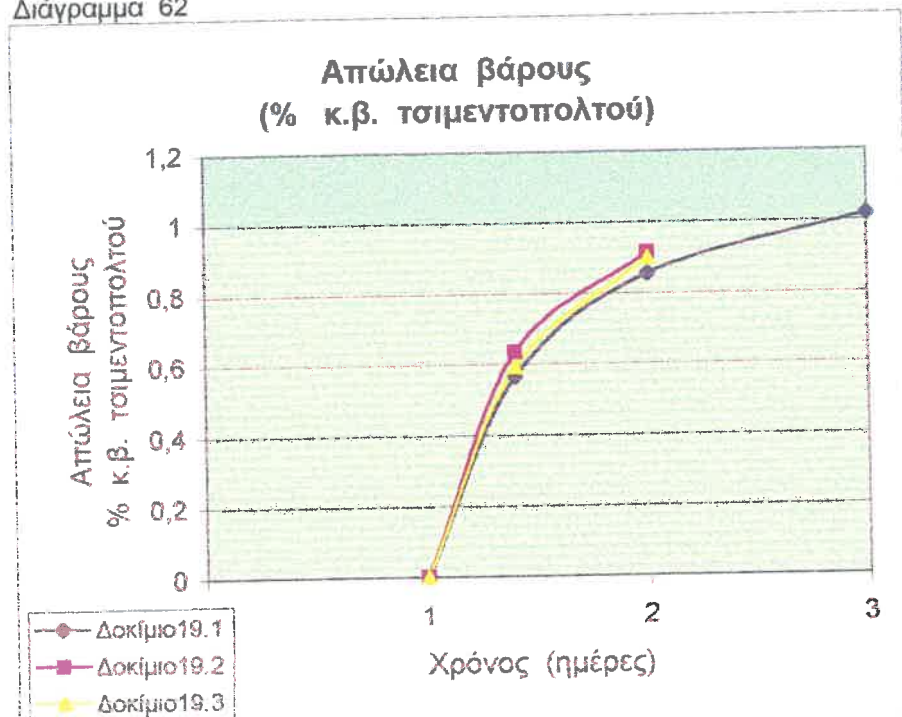
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 19

Διάγραμμα 61

 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολτός
 967kg/m^3
 39,67%

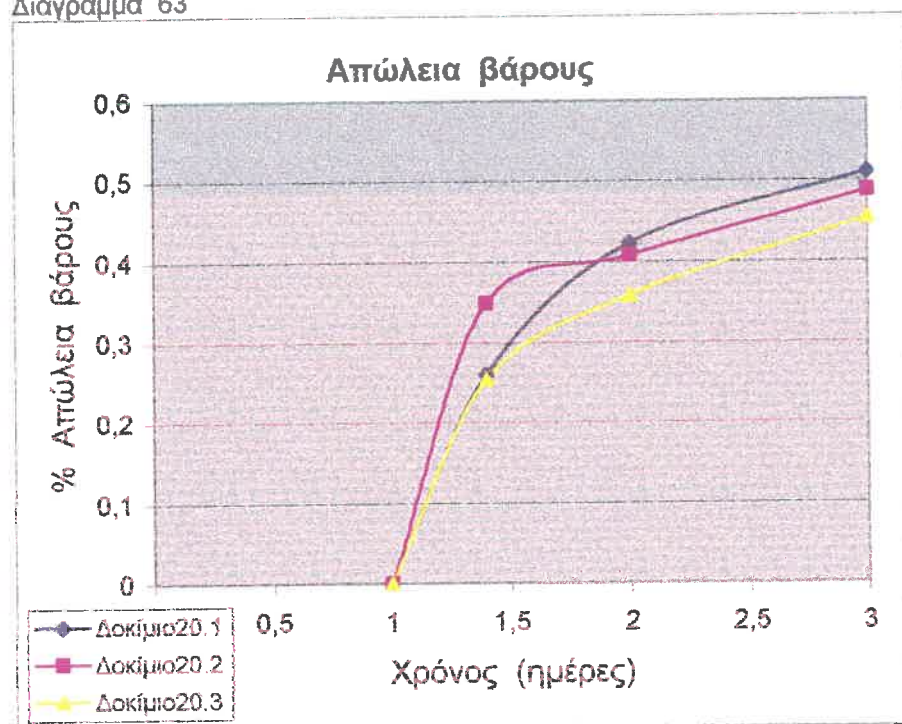
Διάγραμμα 62

 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολτός
 967kg/m^3
 39,67%

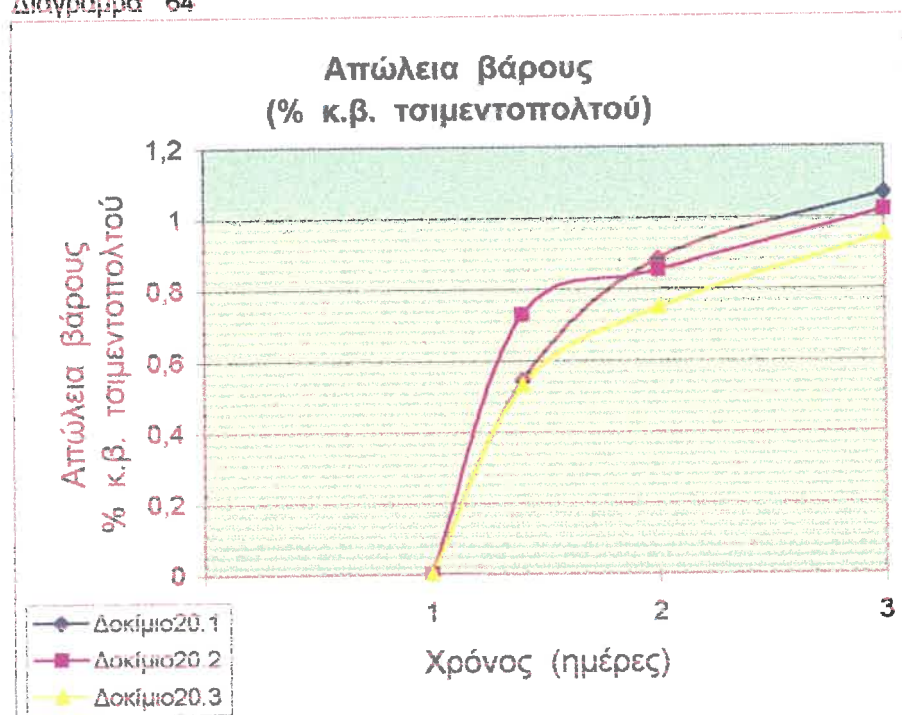
ΑΝΑΜΙΓΜΑ 20

Διάγραμμα 63

 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολιτός
1138kg/m³
47,79%

Διάγραμμα 64

 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολιτός
1138kg/m³
47,79%

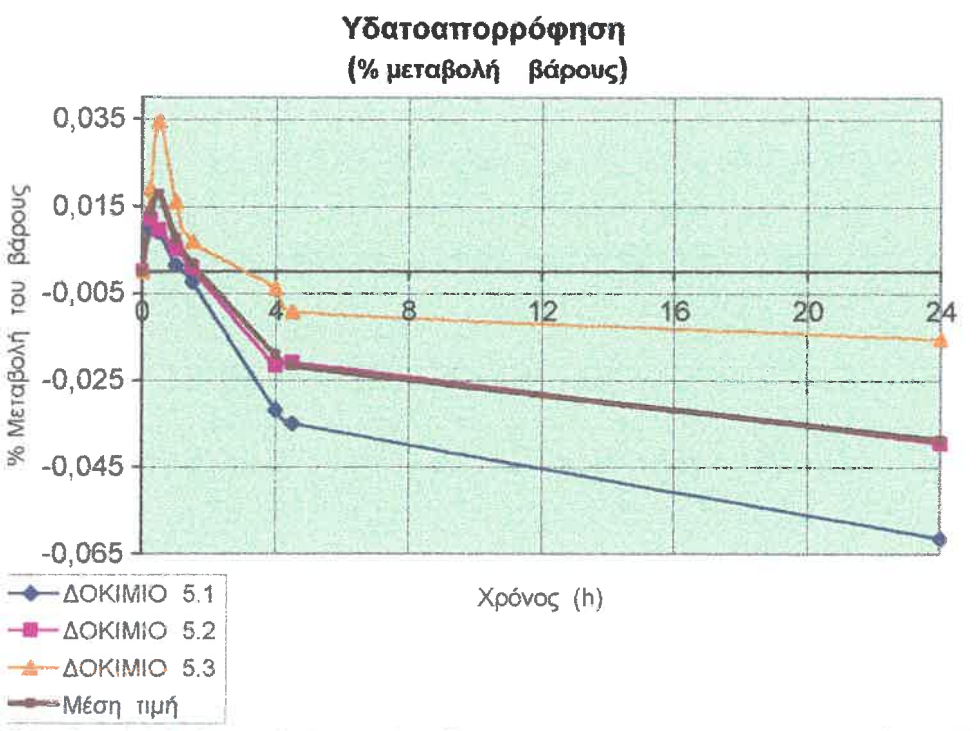
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ III

ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

(Με τη μέθοδο RILEM TC 116 – PCD)

ΠΑΜΙΓΜΑ 5

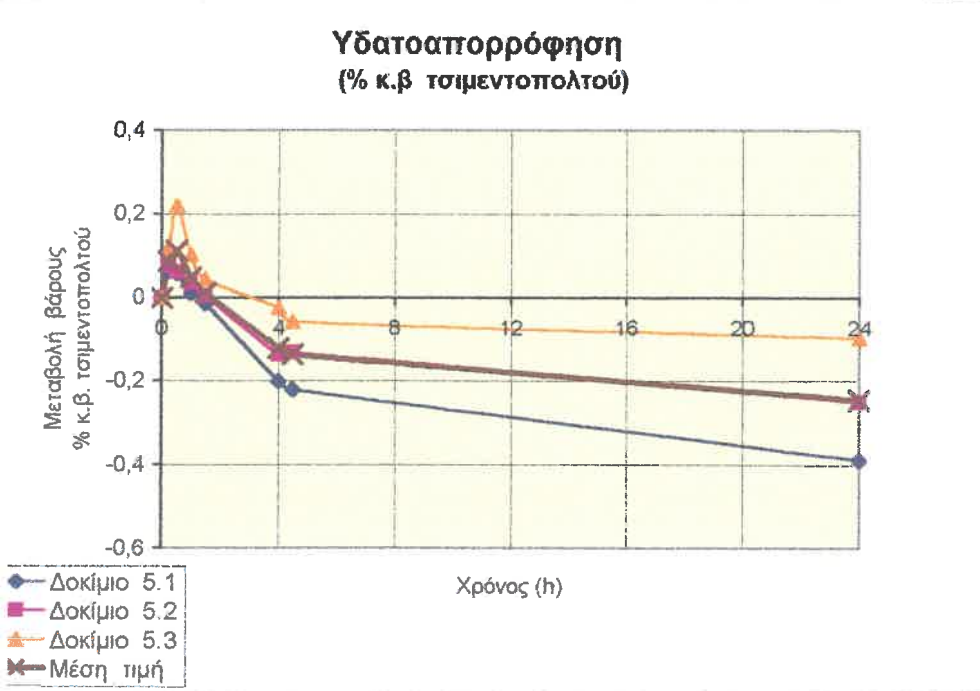
Γράμμα 65



N/T = 0,8

Τσιμεντοπολτός
396 Kg/m³

Γράμμα 66

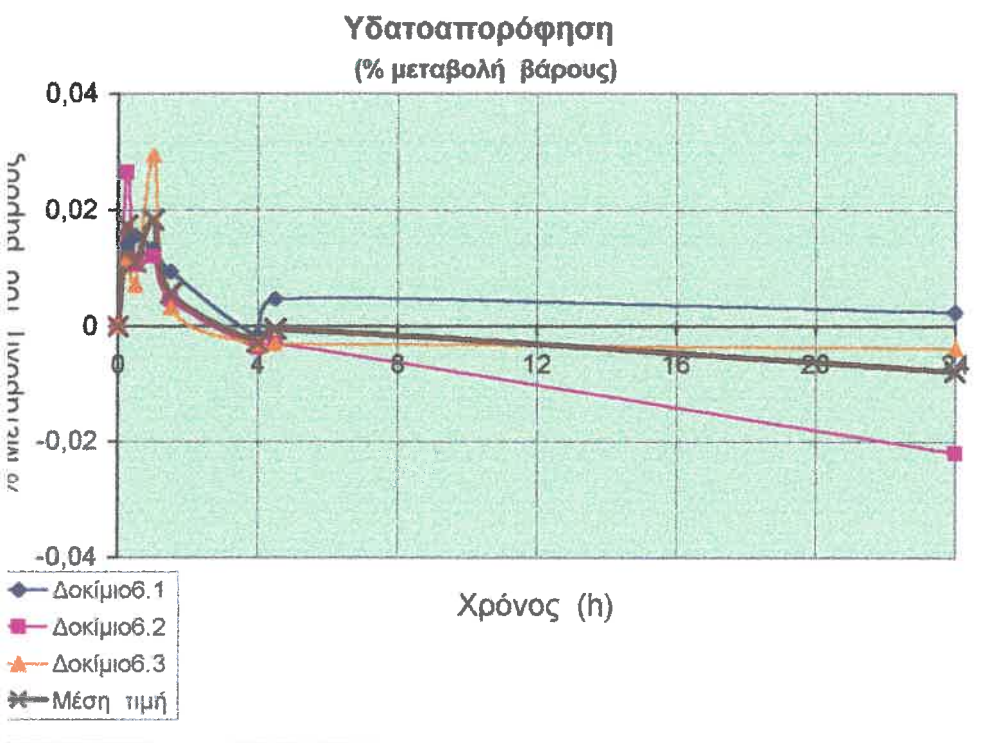


N/T = 0,8

Τσιμεντοπολτός
396 Kg/m³

ΠΑΜΙΓΜΑ 6

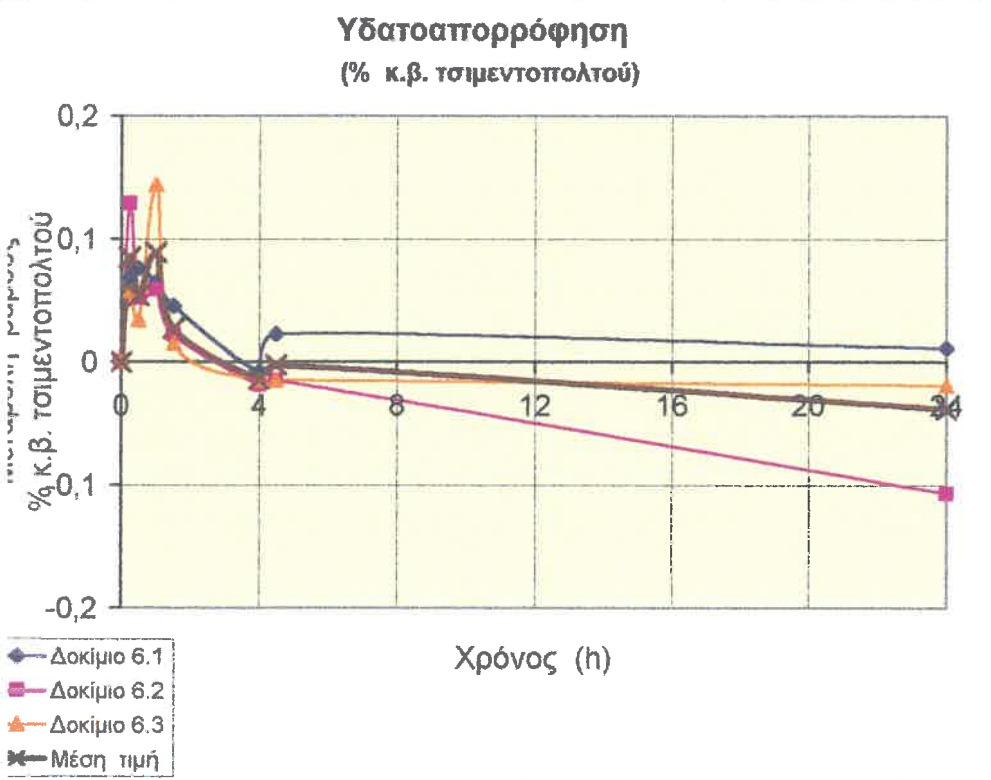
Γράμμα 67



NT = 0.6

Τσιμεντοπολτός
501 Kg/m³

Γράμμα 68

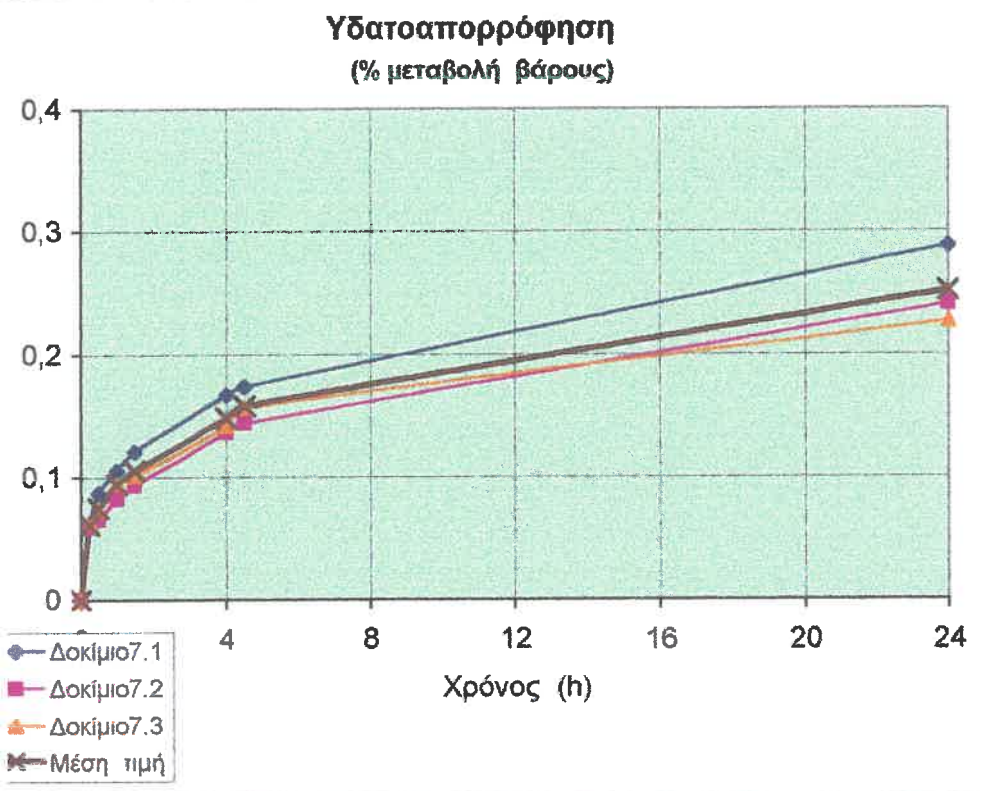


NT = 0.5

Τσιμεντοπολτός
501 Kg/m³

ΑΜΙΓΜΑ 7

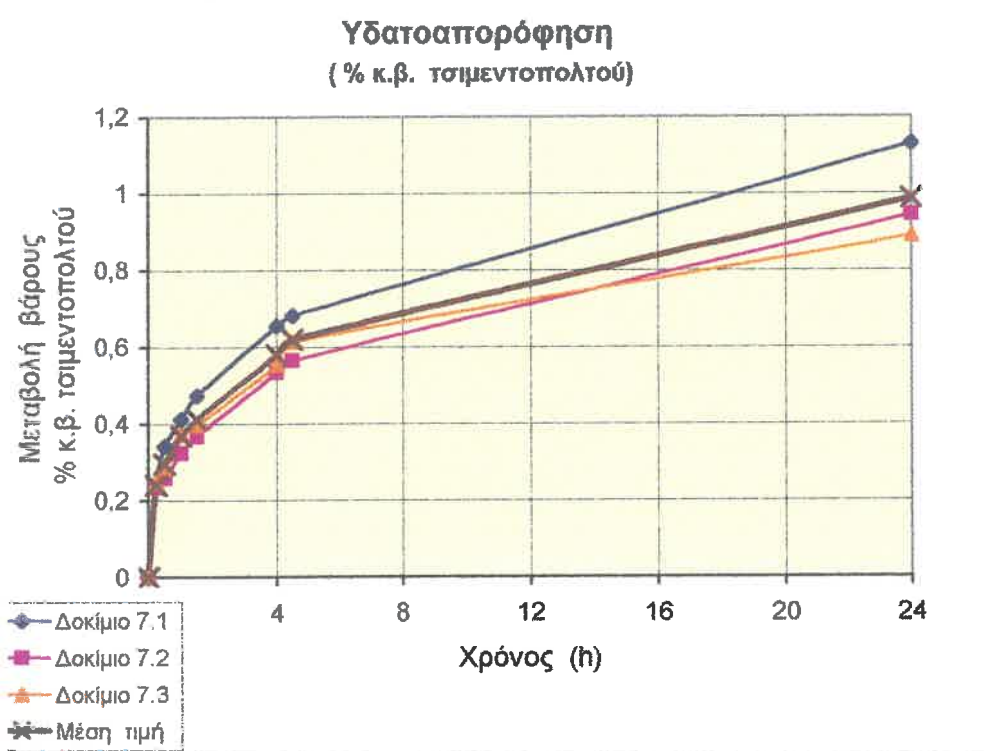
γραμμά 69



W/T = 0.6

Τσιμεντοπολτός
606 Kg/m³

γραμμά 70

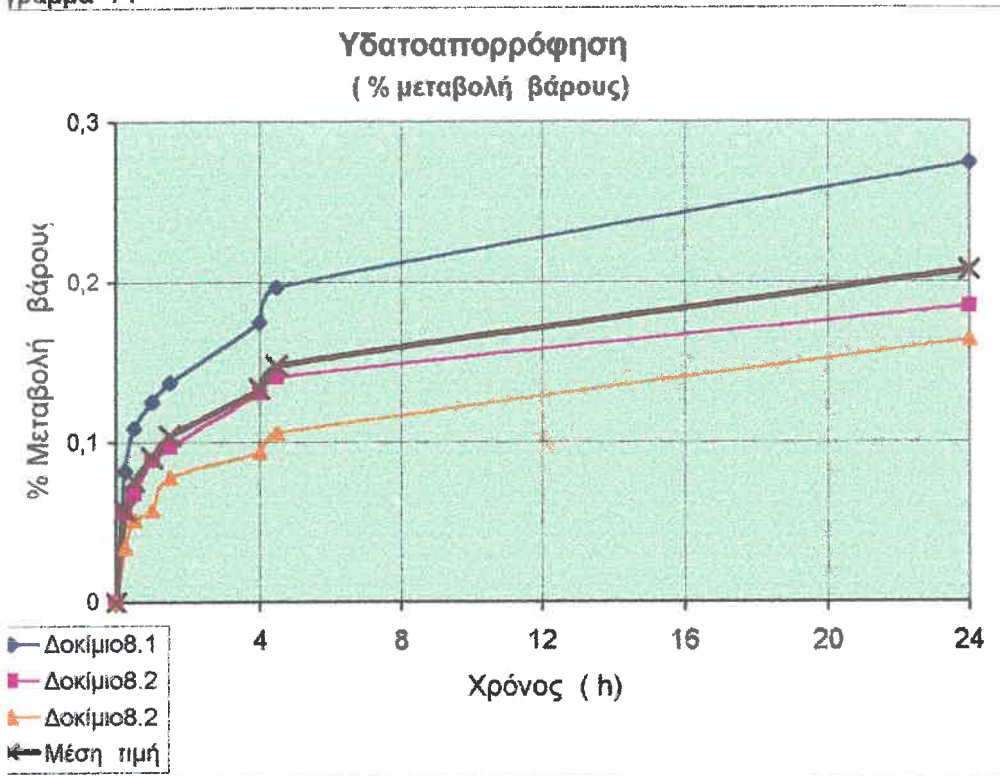


W/T = 0.5

Τσιμεντοπολτός
606 Kg/m³

ΑΜΙΓΜΑ 8

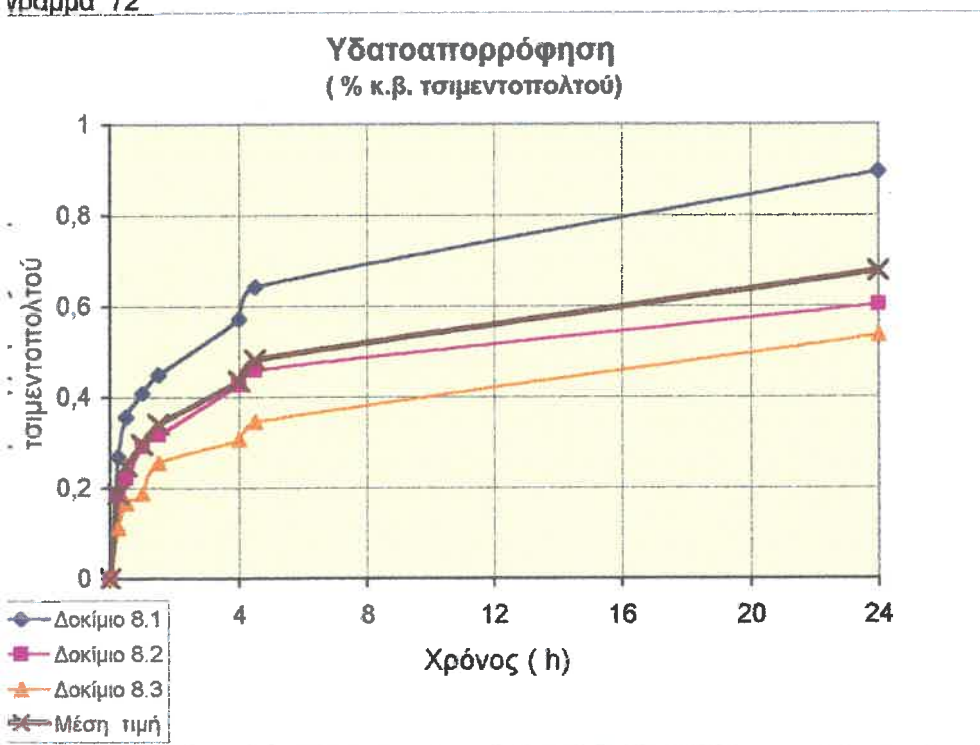
γρaμμα 71



$W/T \approx 0,8$

Τσιμεντοπολτός
710 Kg/m³

γρaμμα 72

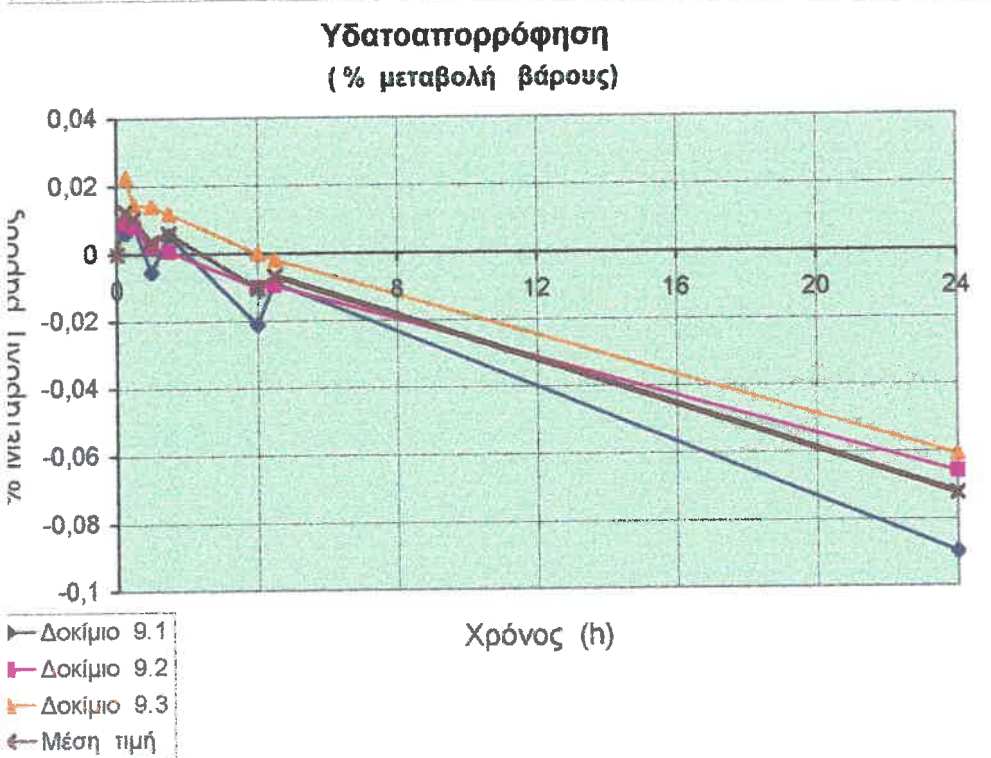


$W/T \approx 0,8$

Τσιμεντοπολτός
710 Kg/m³

ΑΜΙΓΜΑ 9

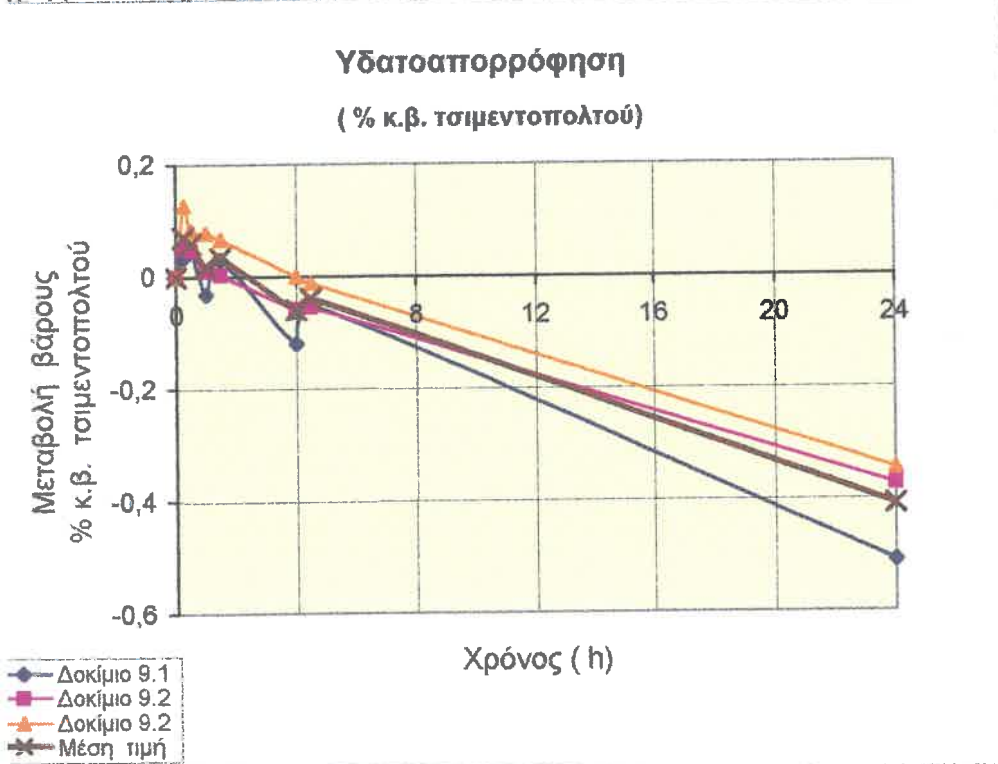
γραμμά 73



W/T = 0,8

Τσιμεντοπολτός
442 Kg/m³

γραμμά 74

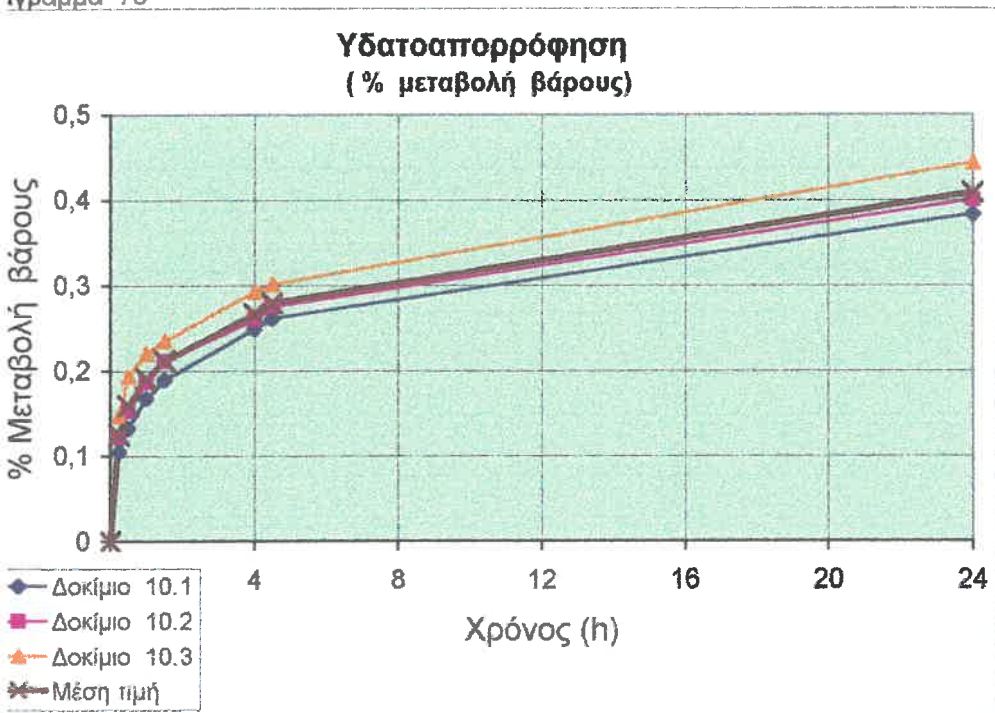


W/T = 0,8

Τσιμεντοπολτός
442 Kg/m³

ΜΙΓΜΑ 10

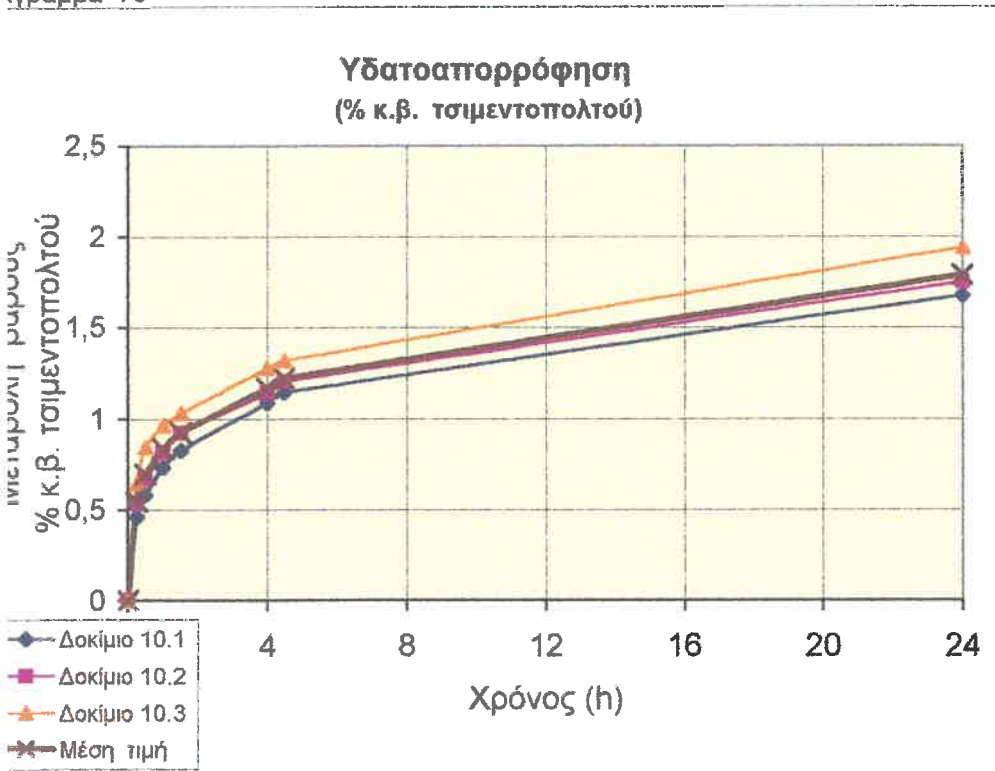
Γράφημα 75



NT = 0.5

Τσιμεντοπολτός
560 Kg/m³

Γράφημα 76

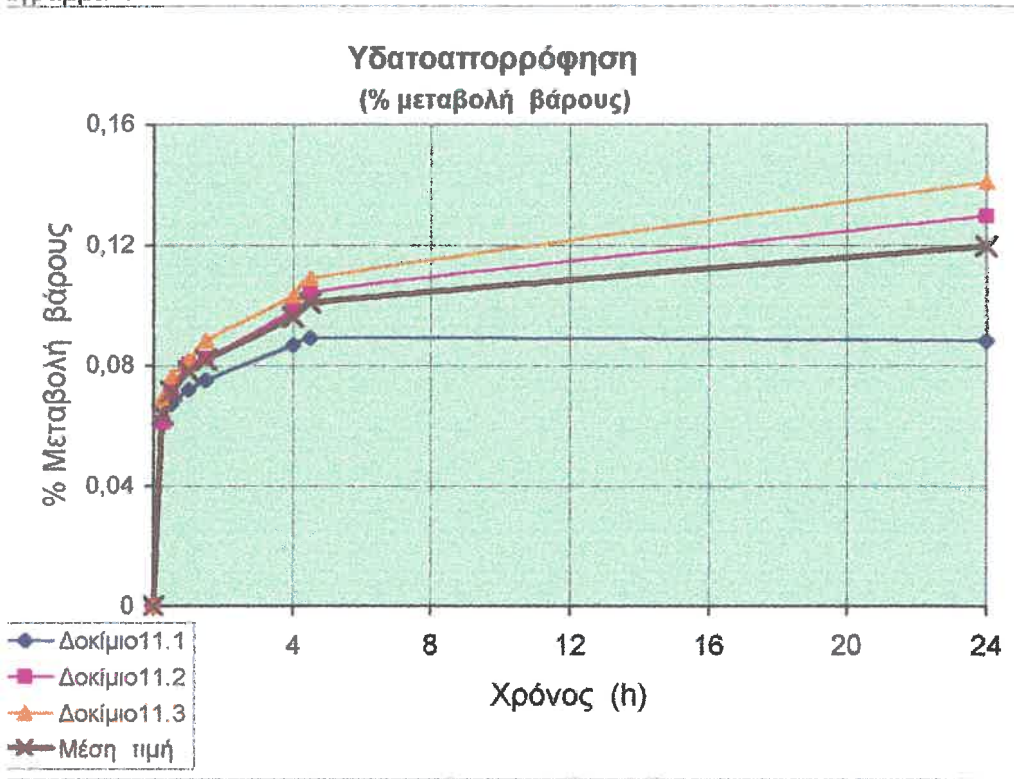


NT = 0.5

Τσιμεντοπολτός
560 Kg/m³

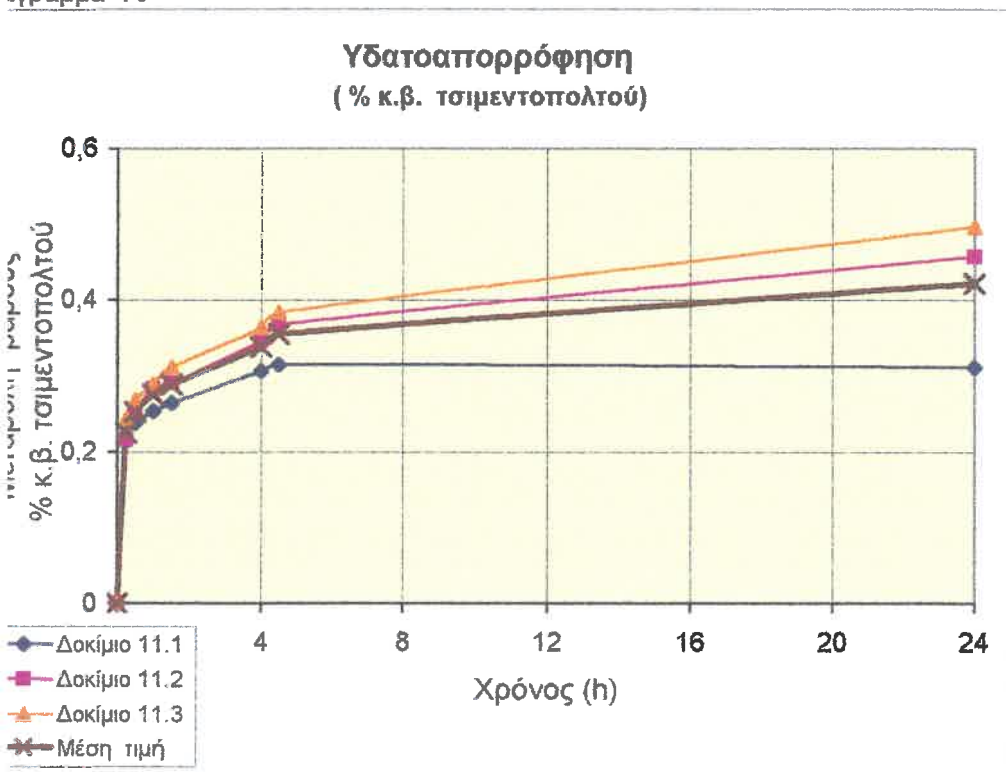
ΠΑΜΙΓΜΑ 11

Γράμμα 77

W_T = 0,5

Τσιμεντοπολτός
677,7 Kg/m³

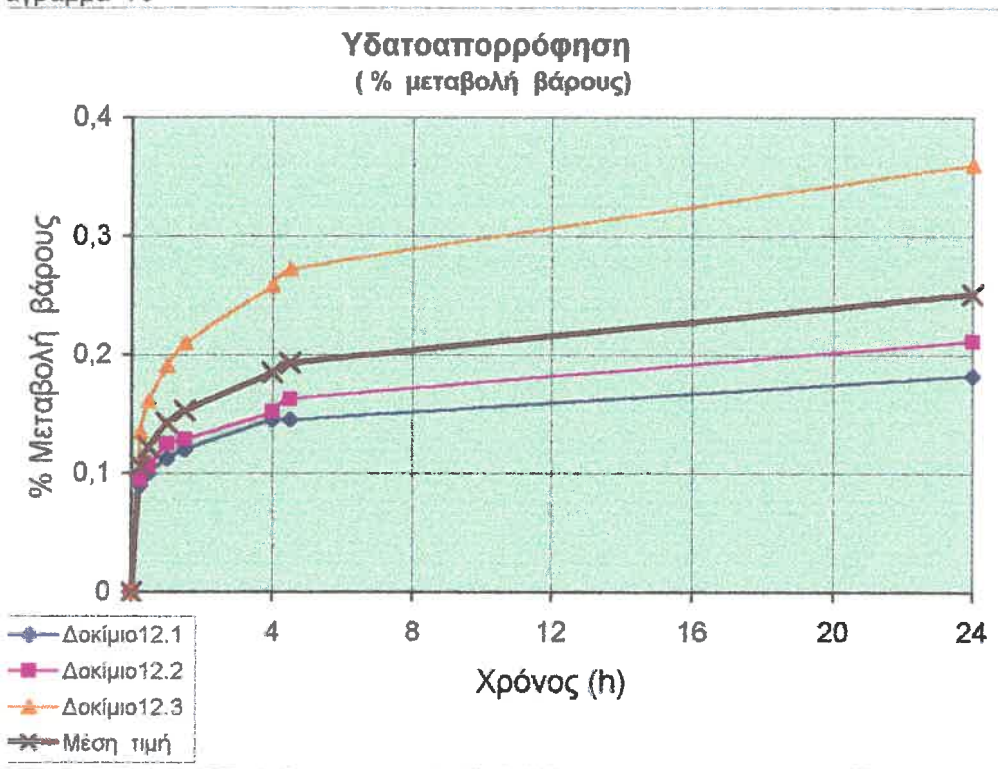
Γράμμα 78

W_T = 0,5

Τσιμεντοπολτός
677,7 Kg/m³

ΠΑΜΙΓΜΑ 12

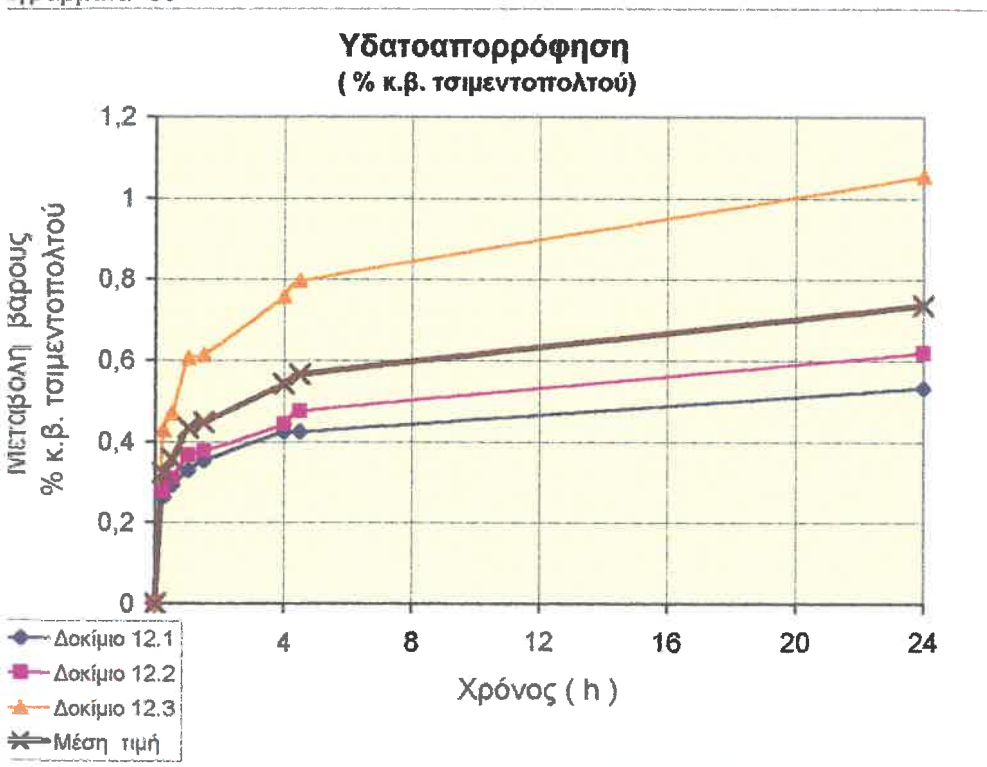
άγραμα 79



NT ≈ 0.5

Τσιμεντοπολτός
795,6 Kg/m³

ιγράμματα 80

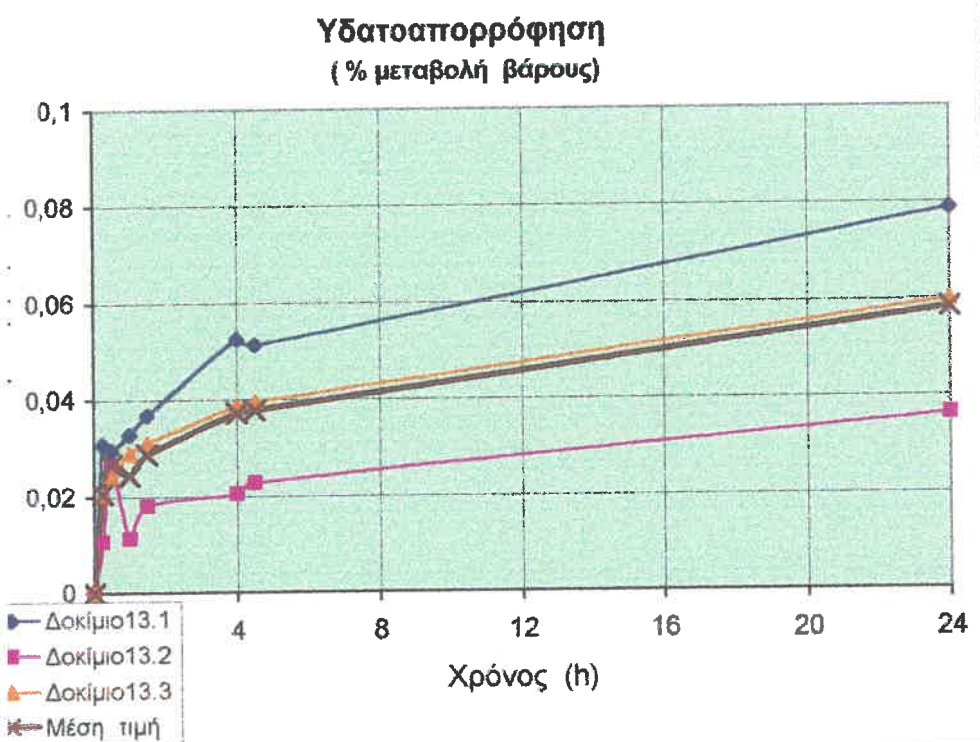


NT ≈ 0.5

Τσιμεντοπολτός
795,6 Kg/m³

ΑΜΙΓΜΑ 13

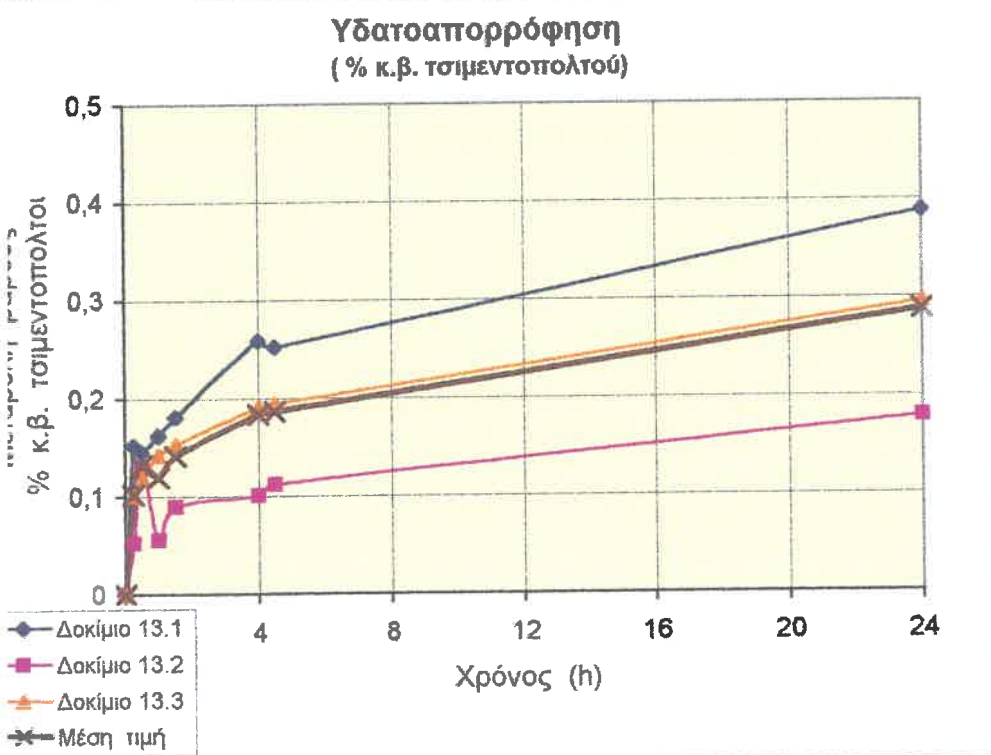
Γράμμα 81



NT = 0,4

Τσιμεντοπολτός
511,3 Kg/m³

Γράμμα 82

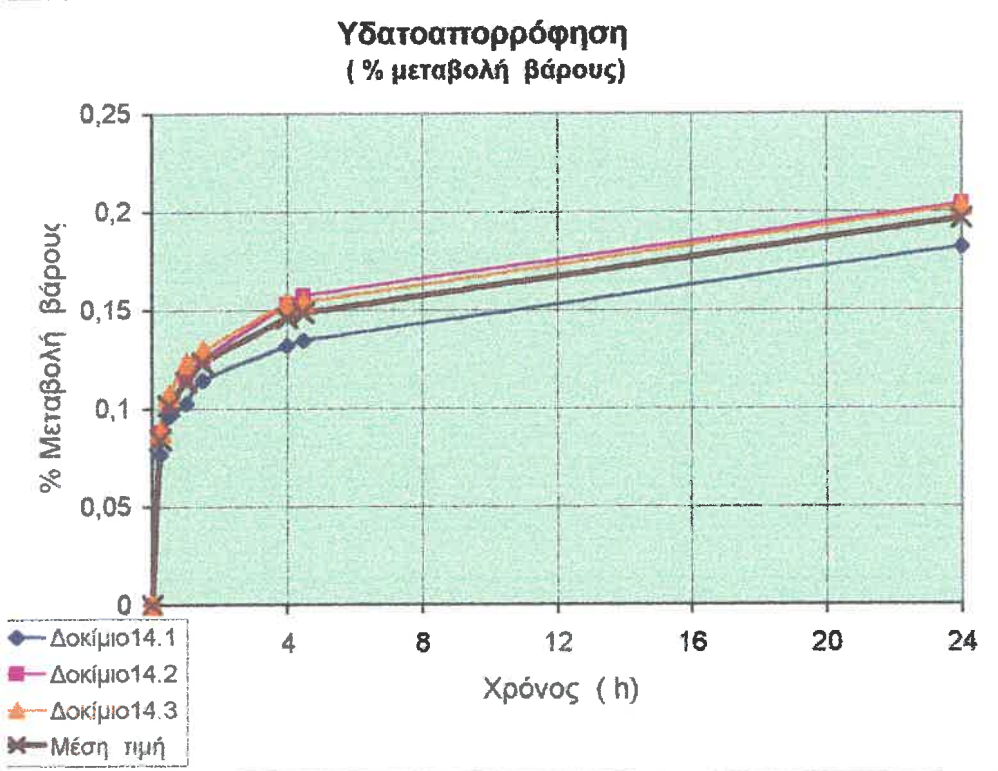


NT = 0,4

Τσιμεντοπολτός
511,3 Kg/m³

ΙΑΜΙΓΜΑ 14

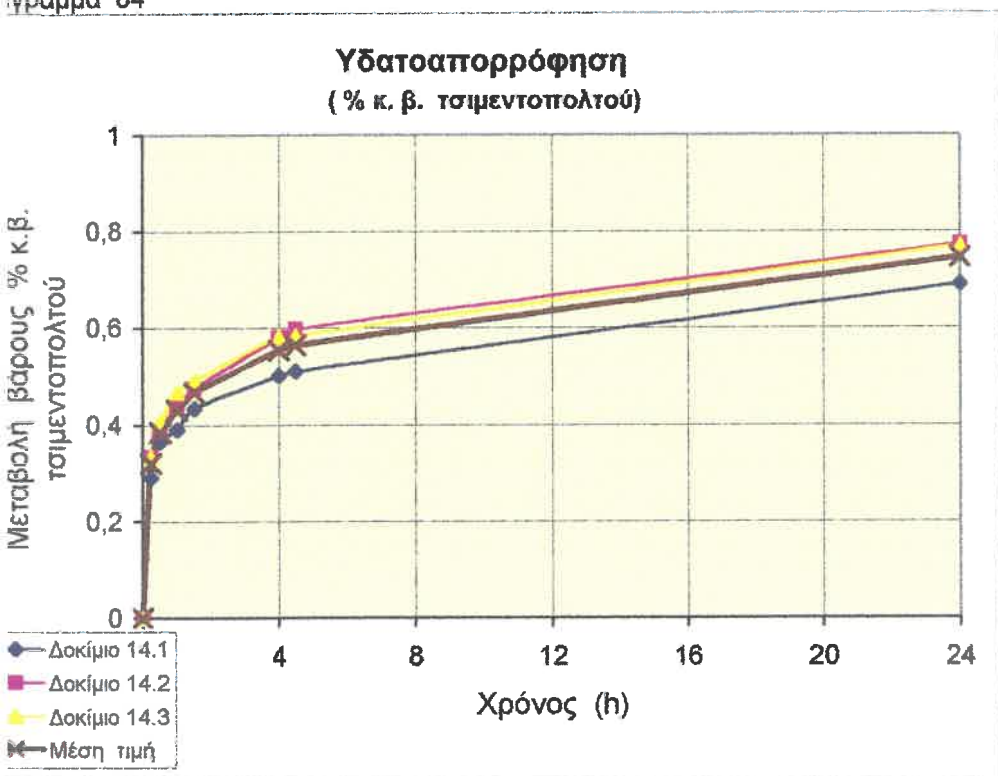
γράμμα 83



N/T = 0.4

Τσιμεντοπολιτός
648,7 Kg/m³

γράμμα 84

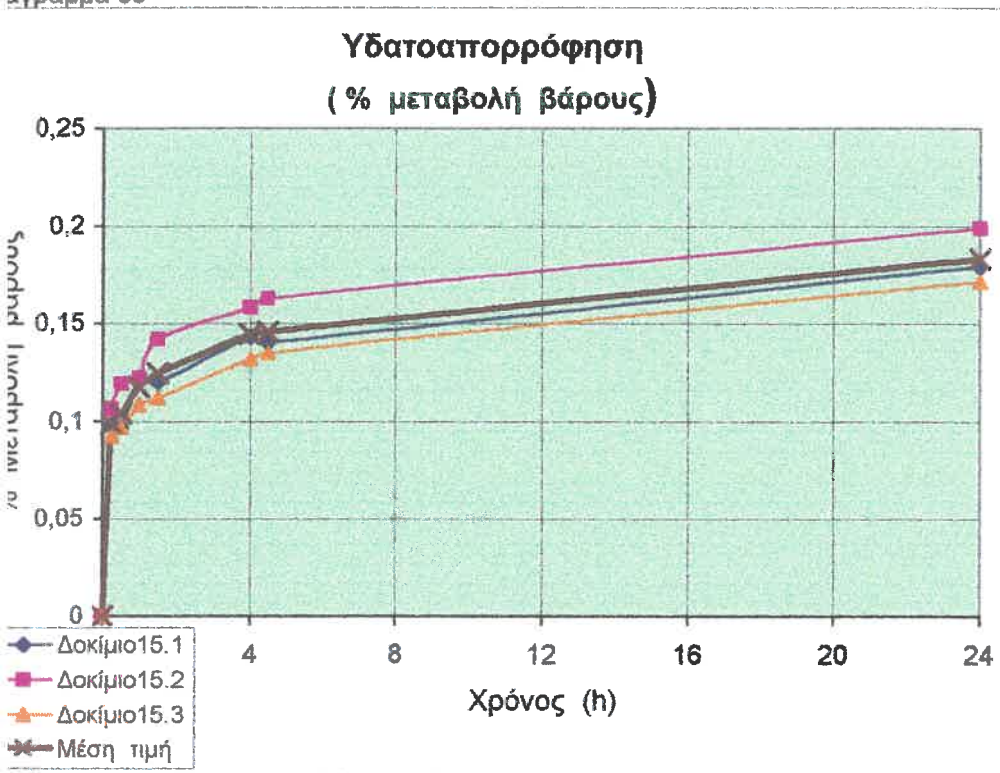


N/T = 0.4

Τσιμεντοπολιτός
648,7 Kg/m³

ΠΑΜΙΓΜΑ 15

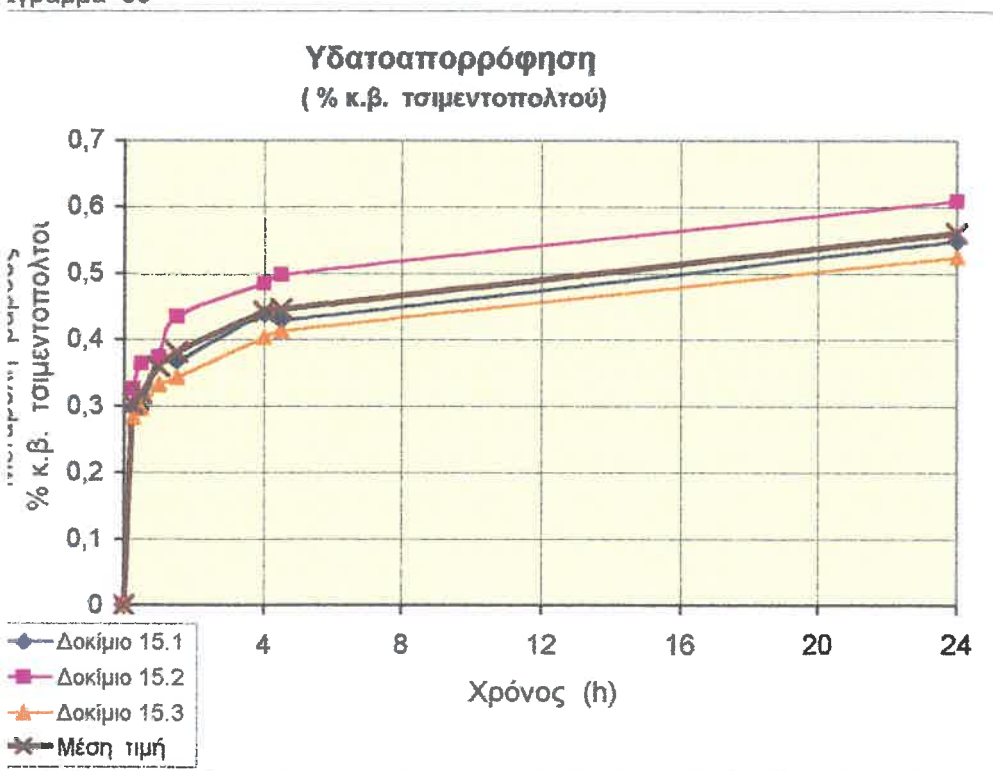
Γράμμα 85



W/T = 0,4

Τσιμεντοπολτός
786,3 Kg/m³

Γράμμα 86

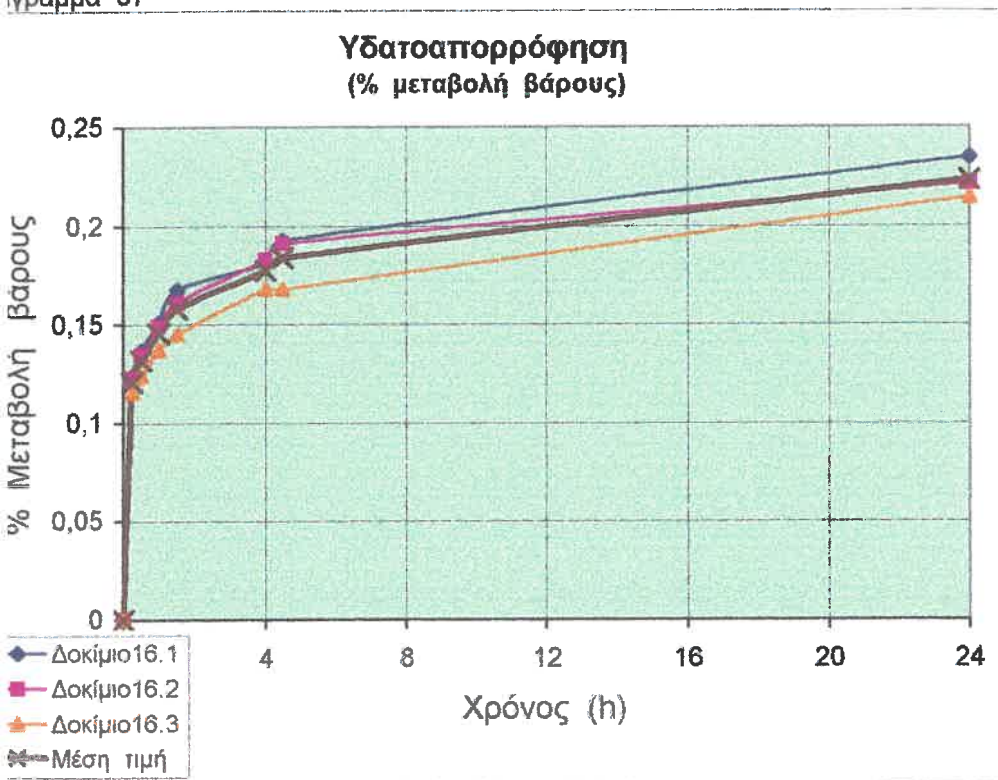


W/T = 0,4

Τσιμεντοπολτός
786,3 Kg/m³

ΙΑΜΙΓΜΑ 16

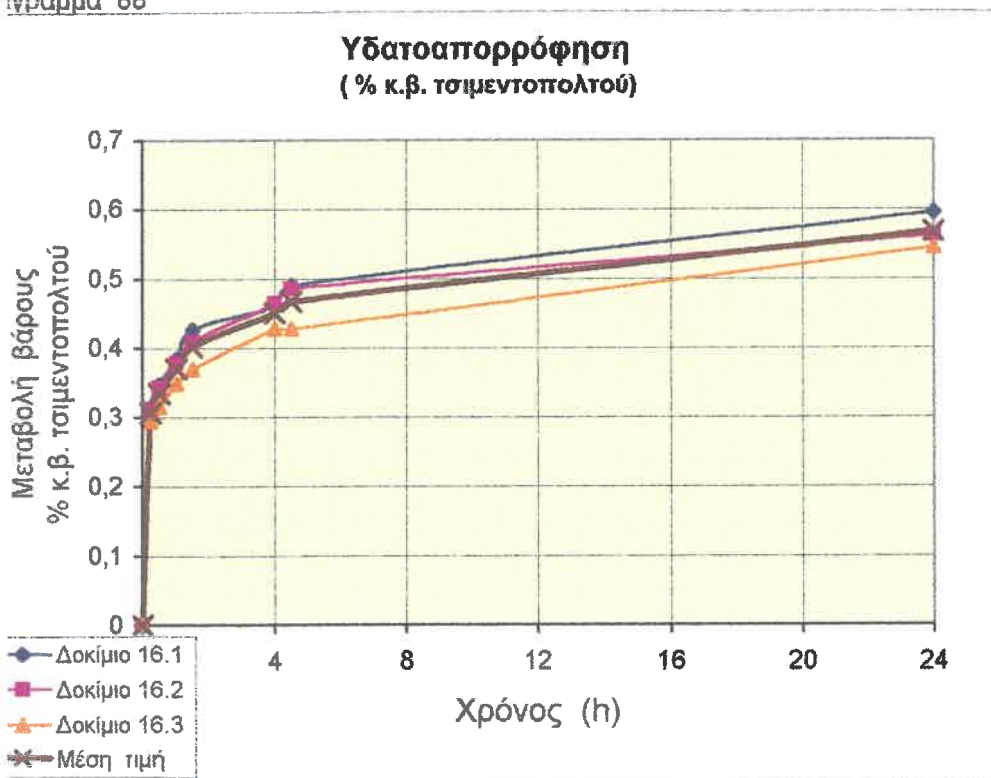
Γράμμα 87



N/T = 0,4

Τσιμεντοπολτός
924Kg/m³

Γράμμα 88

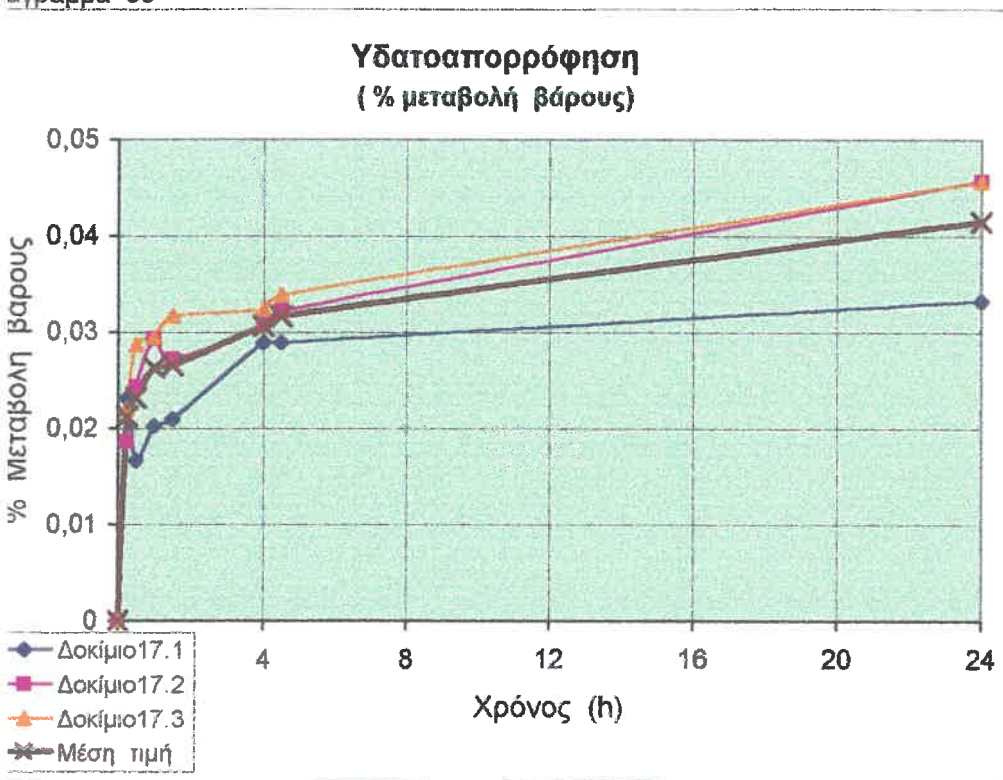


N/T = 0,4

Τσιμεντοπολτός
924Kg/m³

ΠΑΜΙΓΜΑ 17

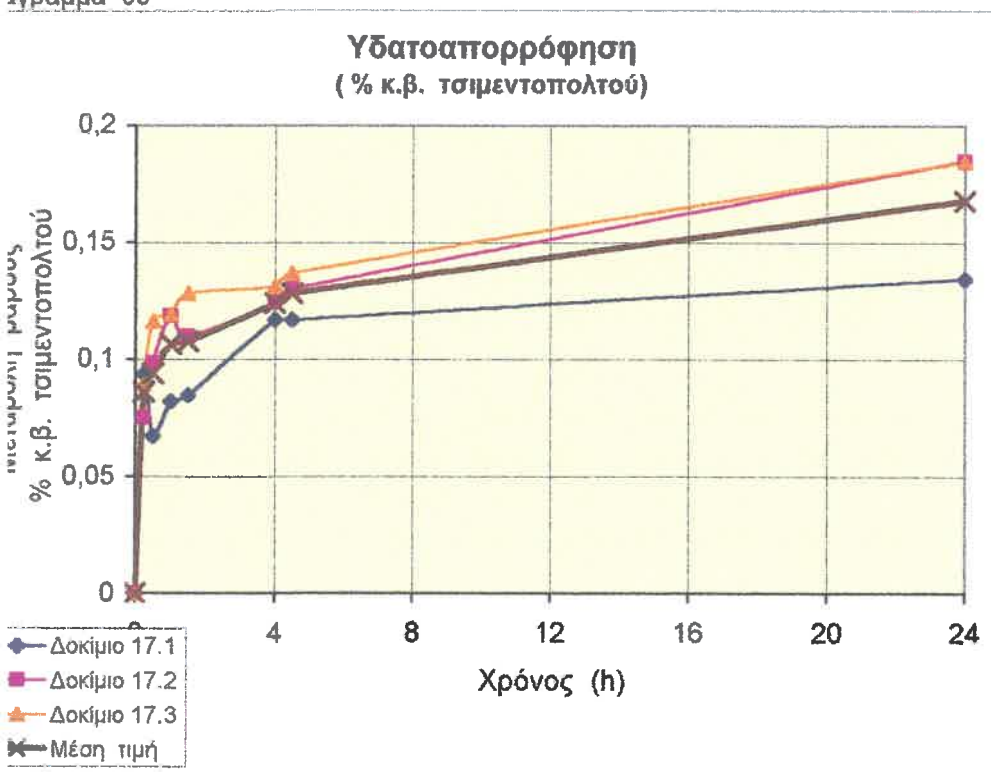
άγραμμα 89



$N/T = 0.3$

Τσιμεντοπολτός
 $626,6 \text{ Kg/m}^3$

άγραμμα 90

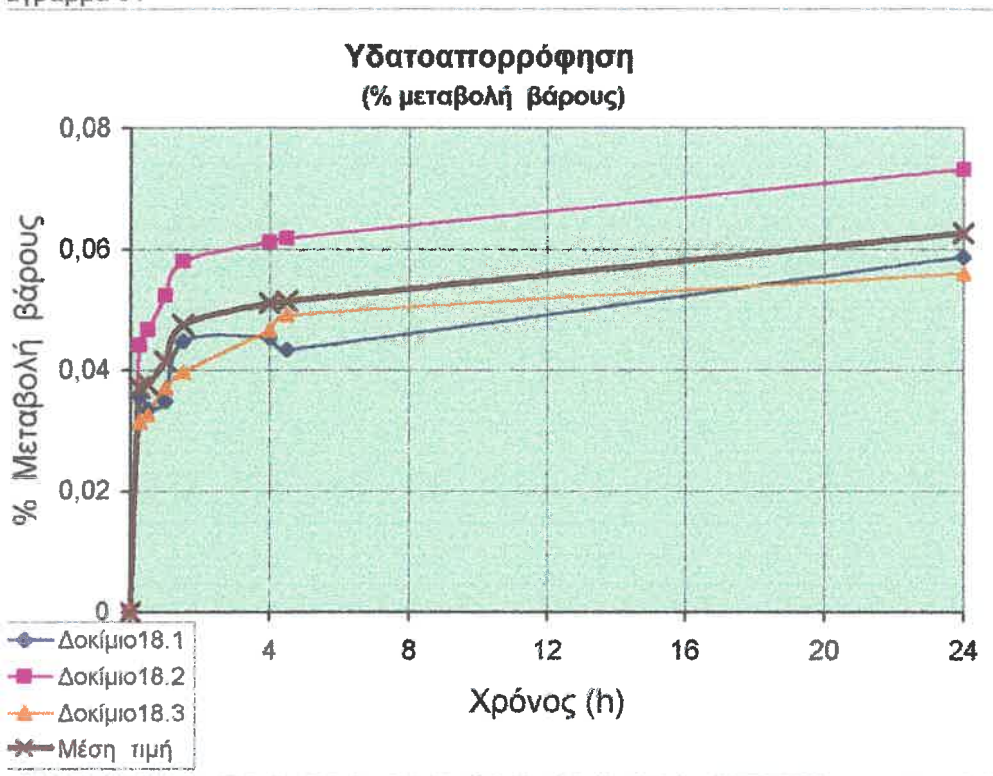


$N/T = 0.3$

Τσιμεντοπολτός
 $626,6 \text{ Kg/m}^3$

ΠΑΜΙΓΜΑ 18

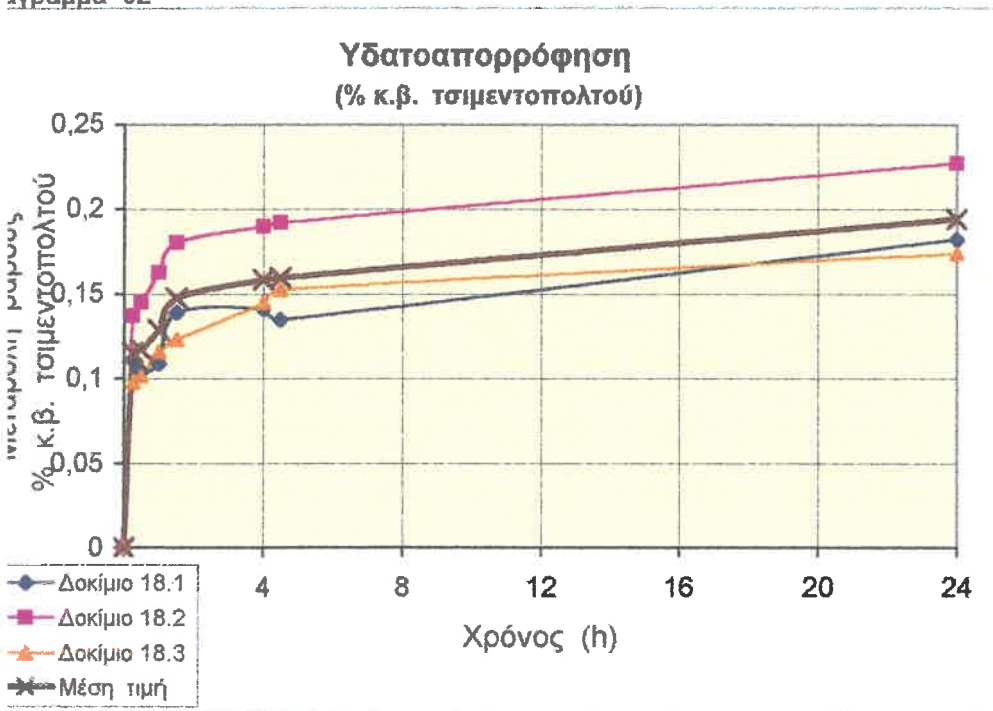
Διάγραμμα 91



W/T = 0,3

Τσιμεντοπολτός
796,6Kg/m³

Διάγραμμα 92

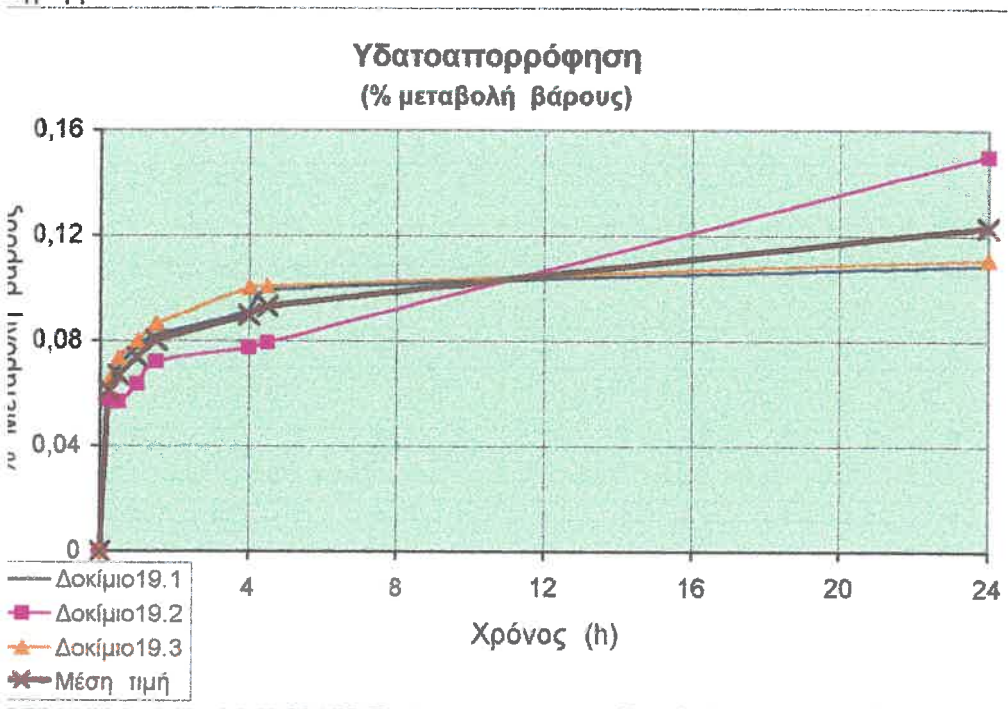


W/T = 0,3

Τσιμεντοπολτός
796,6Kg/m³

ΠΑΡΑΓΡΑΦΟ 19

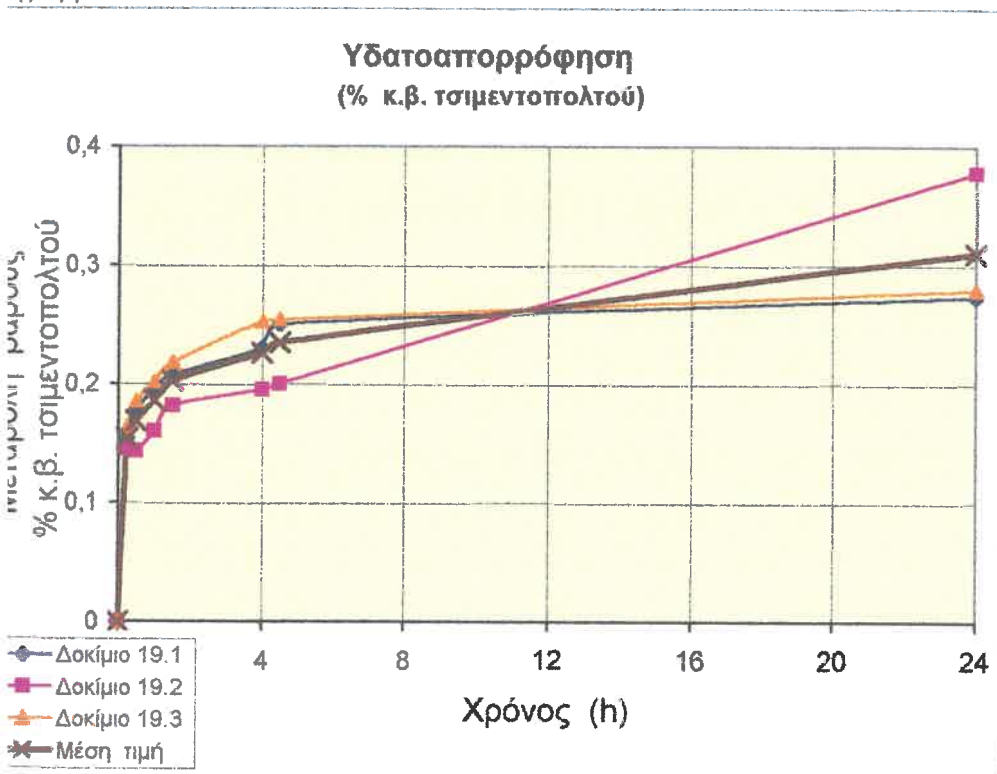
Γράφημα 93



$W/T = 0,3$

Τσιμεντοπολτός
967Kg/m³

Γράφημα 94

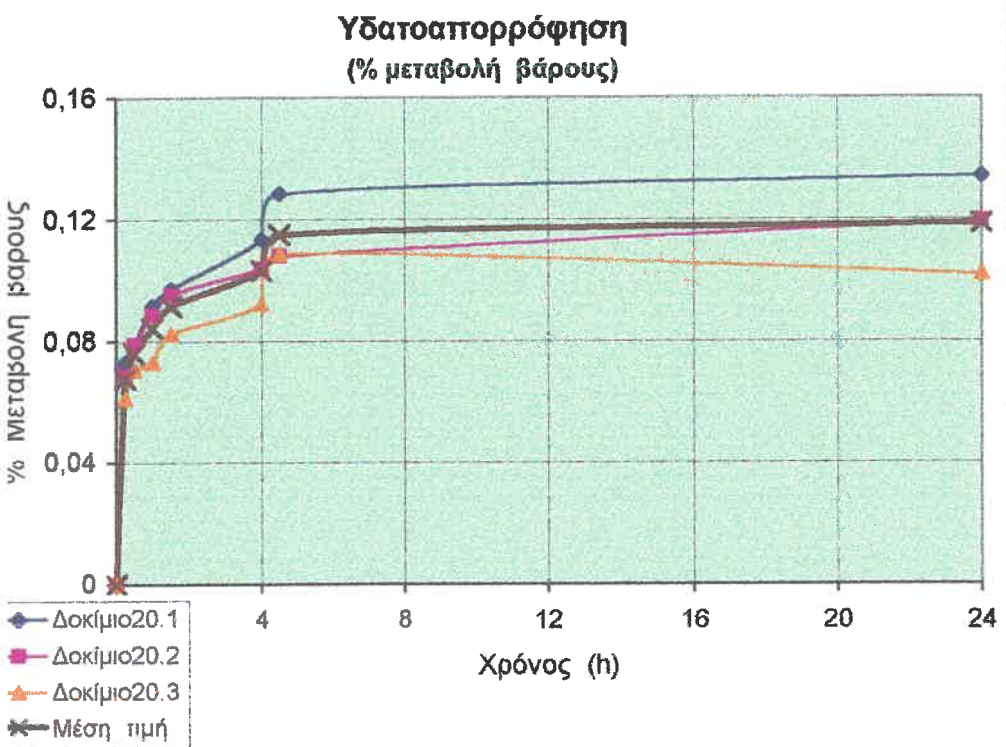


$W/T = 0,3$

Τσιμεντοπολτός
967Kg/m³

ΙΑΜΙΓΜΑ 20

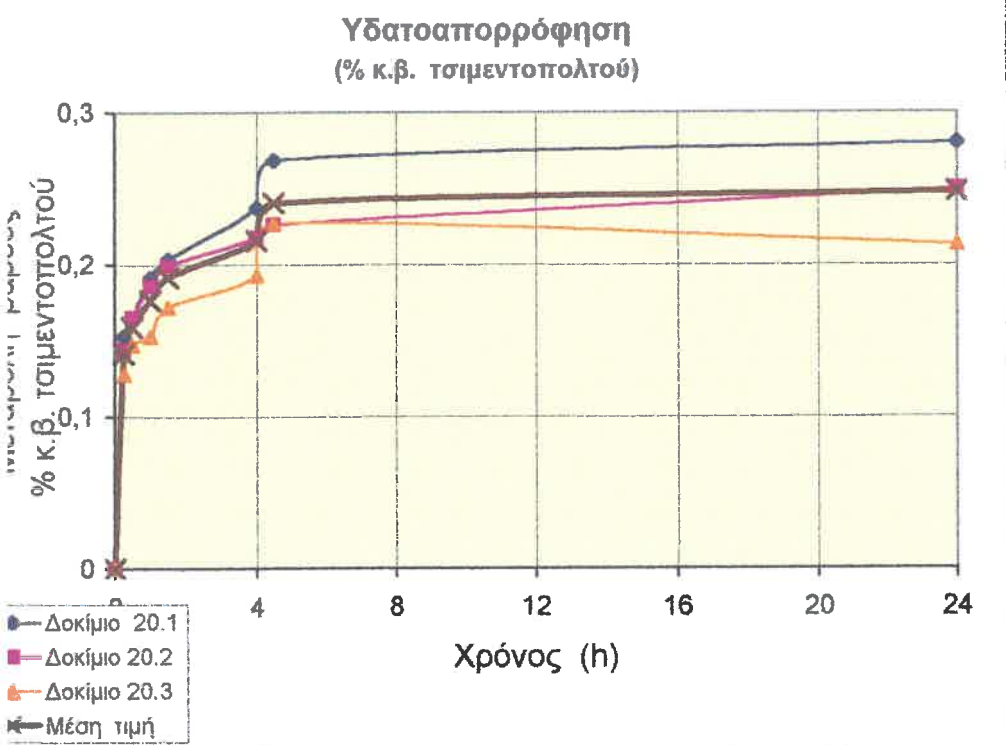
γράμμα 95



NT = 0.3

Τσιμεντοπολτός
1138Kg/m³

γράμμα 96



NT = 0.3

Τσιμεντοπολτός
1138Kg/m³

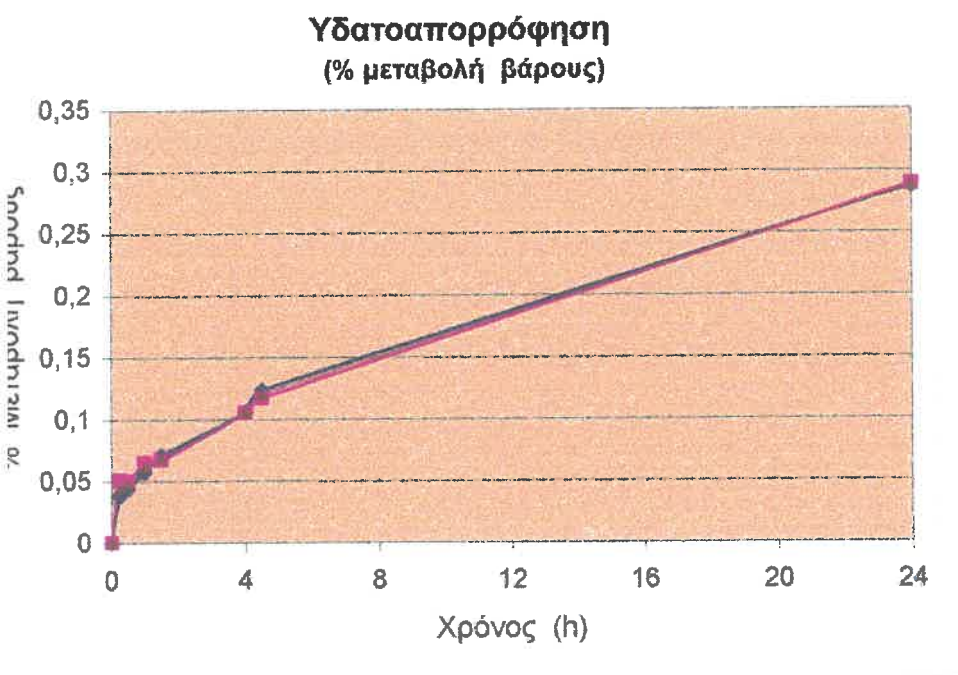
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ IV

ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

(Με ξήρανση στους 50°C μέχρι σταθερού βάρους)

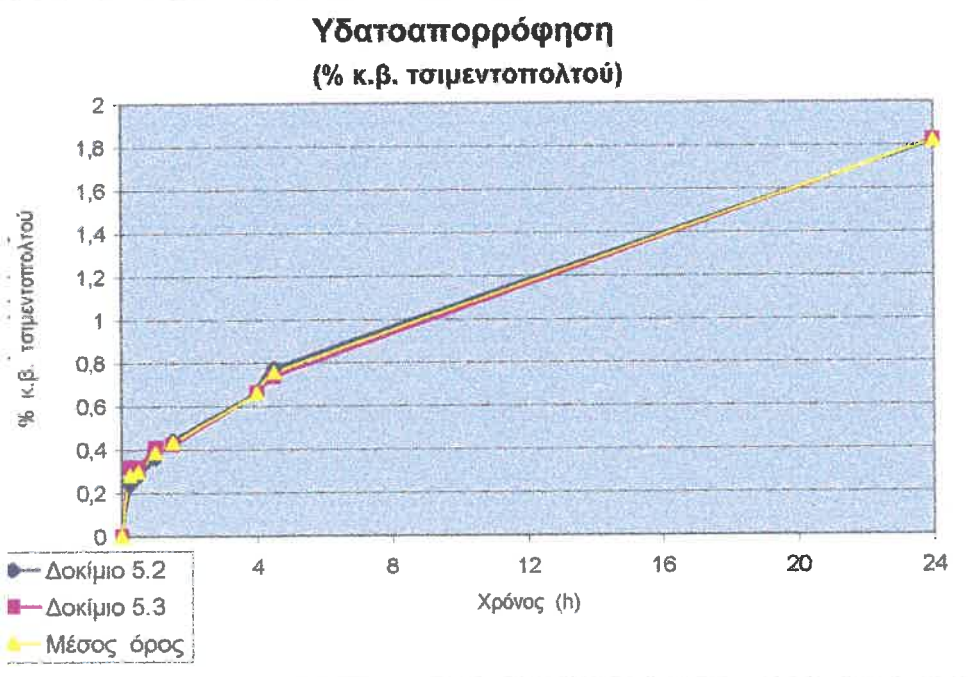
ΑΜΙΓΜΑ 5

Γραμμα 97

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
396Kg/m³
15,83%

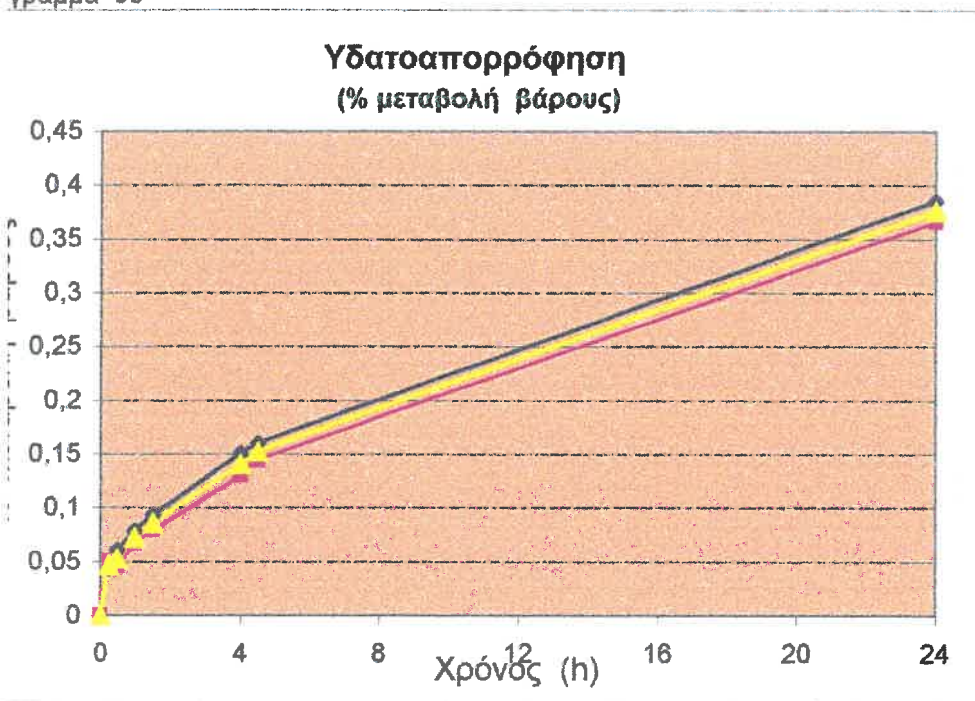
Γραμμα 98

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
396Kg/m³
15,83%

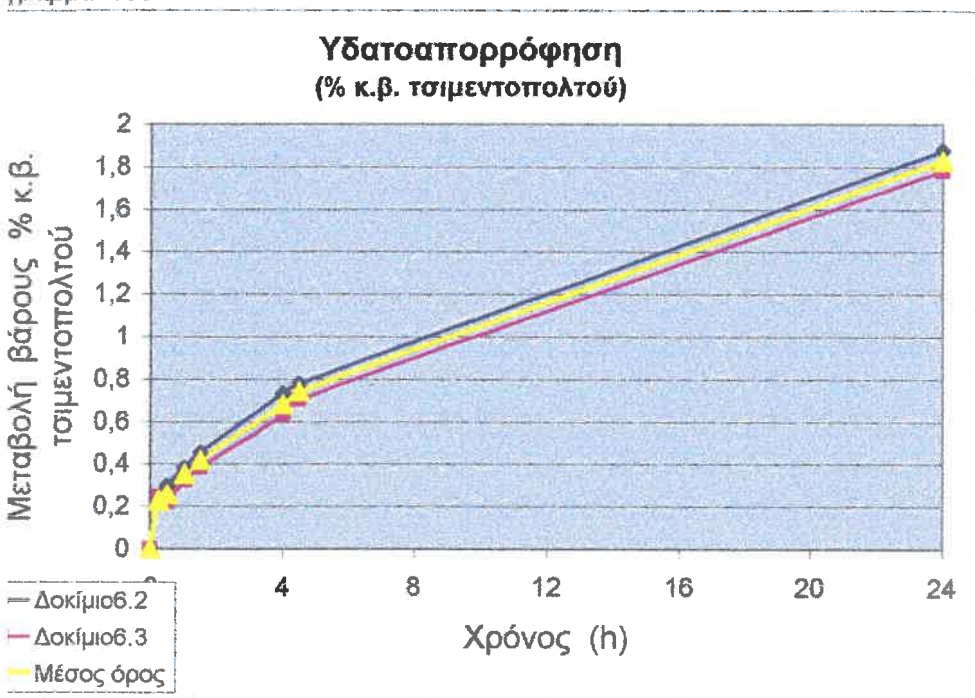
ΙΑΜΙΓΜΑ 6

γραμμά 99

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
501Kg/m³
20,53%

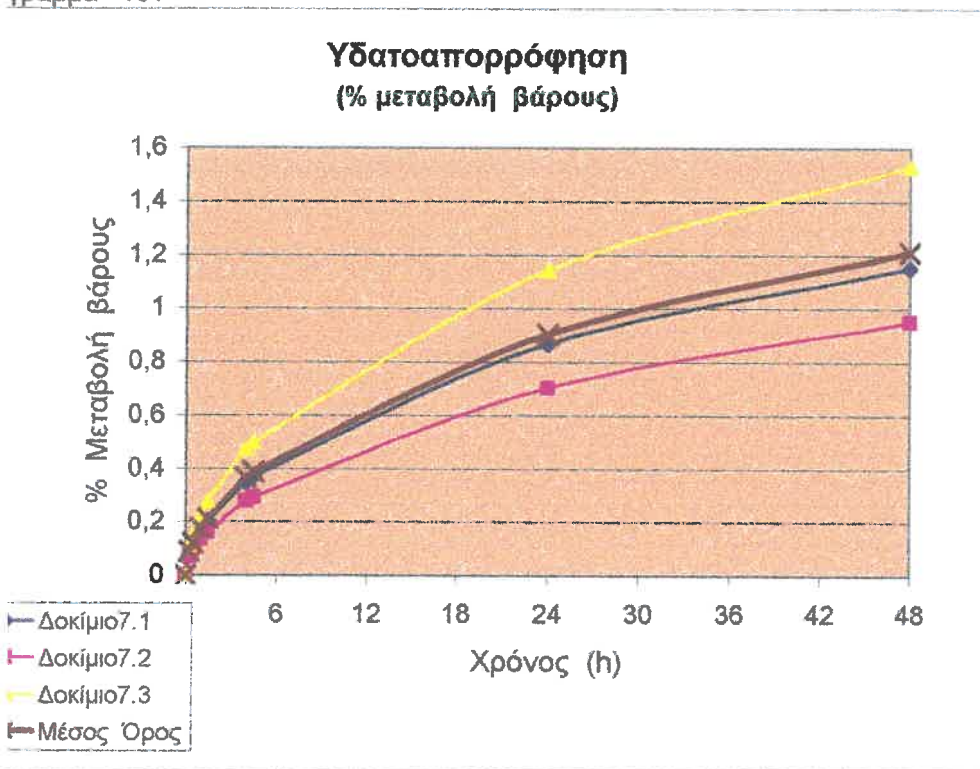
γραμμά 100

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
501Kg/m³
20,53%

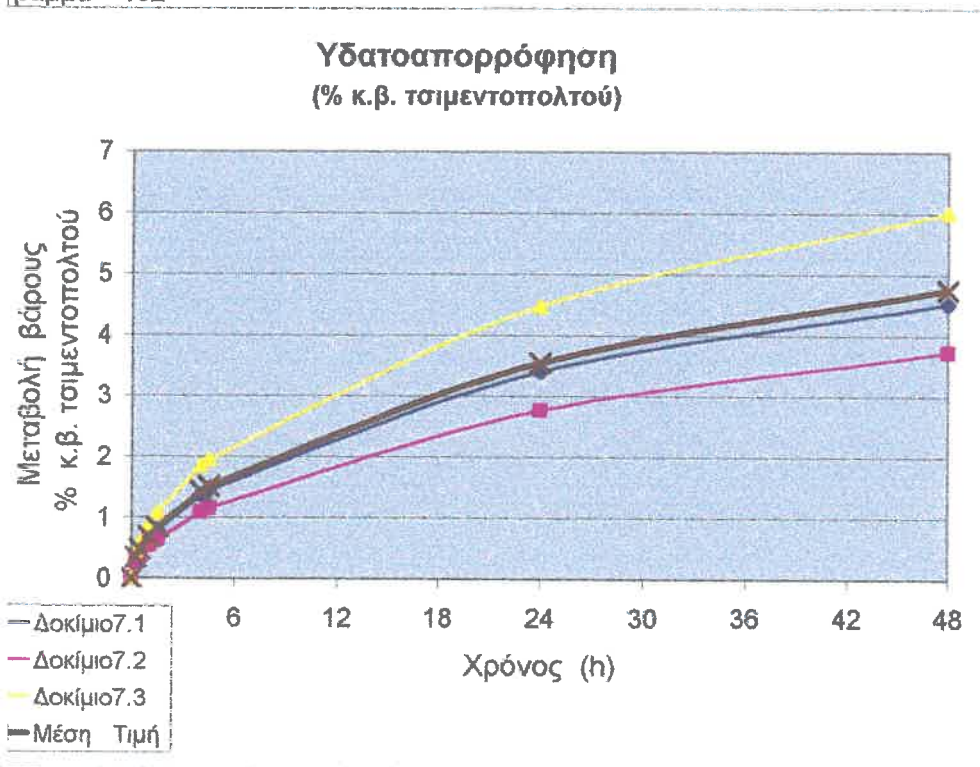
ΙΑΜΙΓΜΑ 7

γραμμά 101

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
606Kg/m³
25,48%

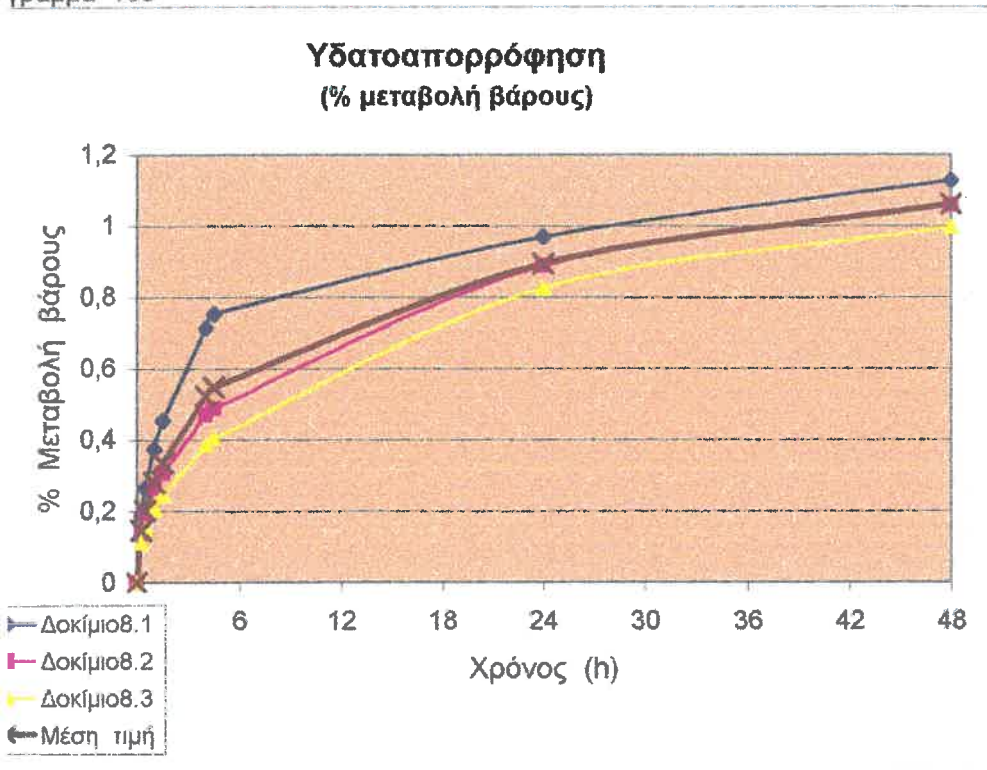
γραμμά 102

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
606Kg/m³
25,48%

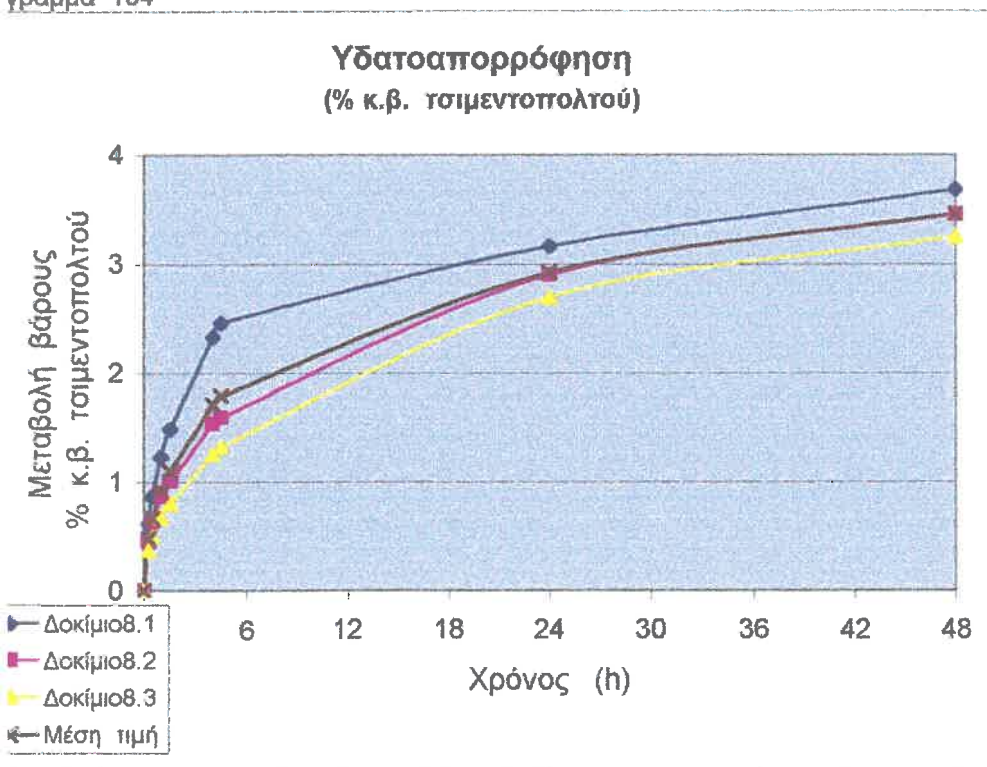
ΙΑΜΙΓΜΑ 8

γράμμα 103

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
710Kg/m³
30,63%

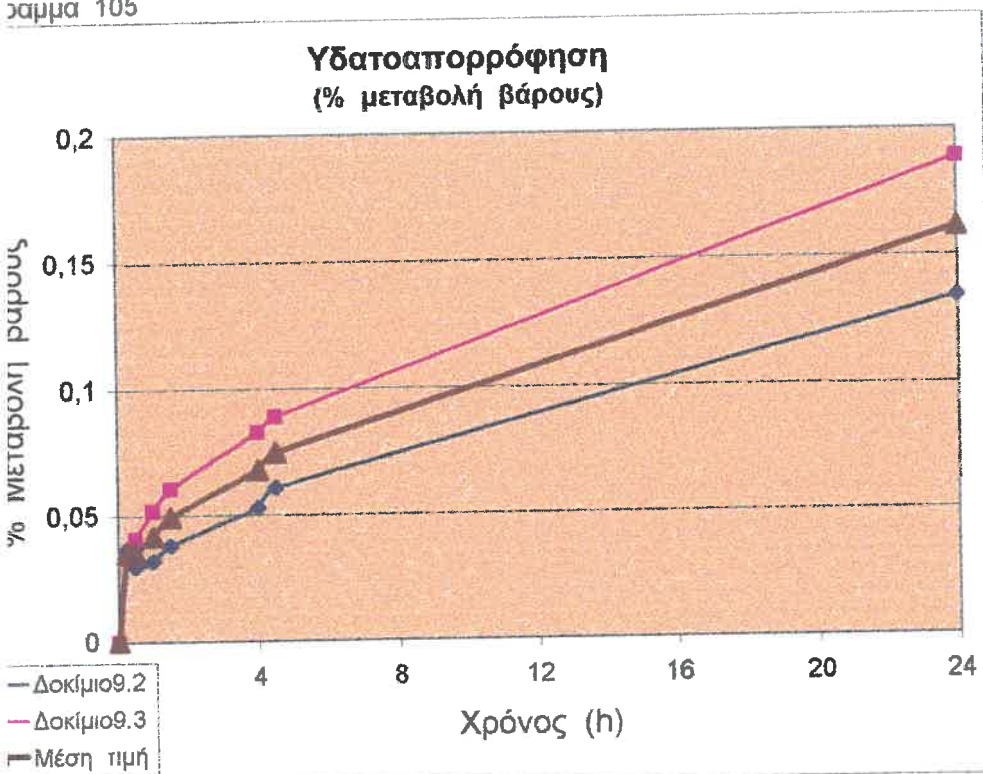
γράμμα 104

 $N/T = 0,6$

Τσιμεντοπολτός
710Kg/m³
30,63%

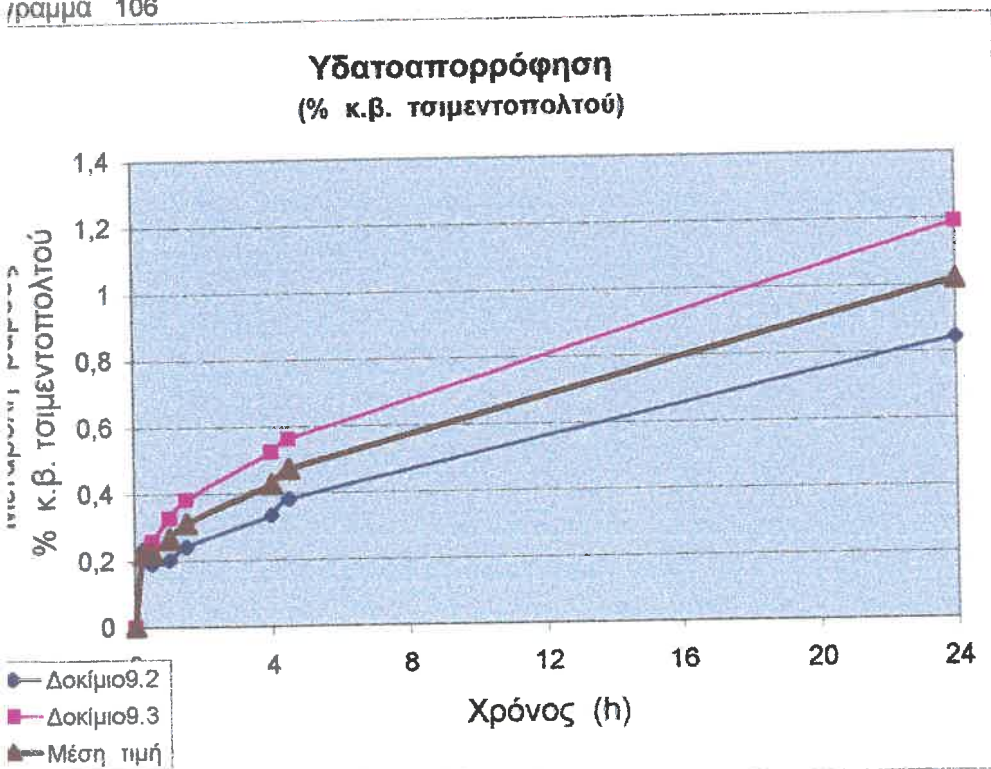
ΜΙΓΜΑ 9

Γράμμα 105

 $N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
442Kg/m³
17,64%

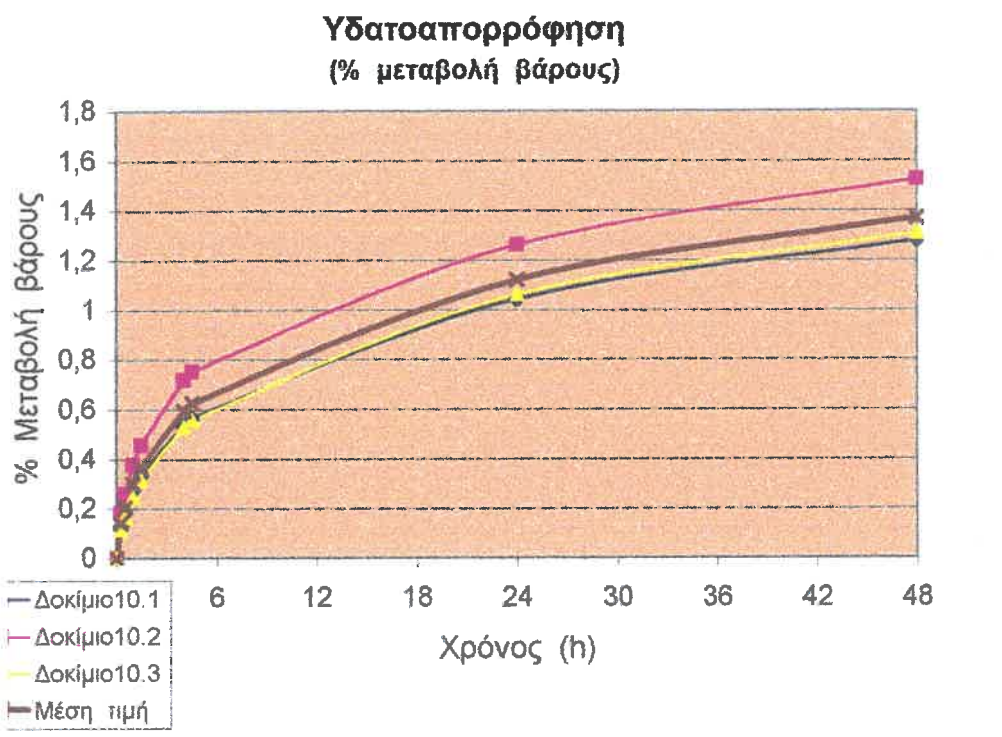
Γράμμα 106

 $N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
442Kg/m³
17,64%

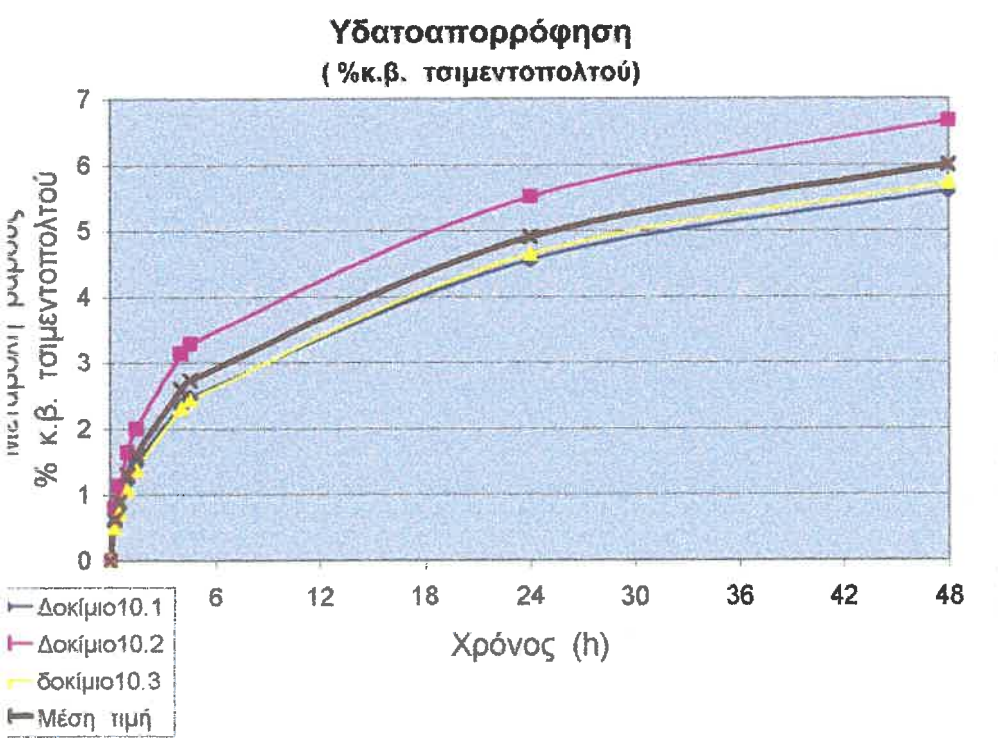
ΑΜΙΓΜΑ 10

Γραμμα 107

 $N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
560Kg/m³
22,88%

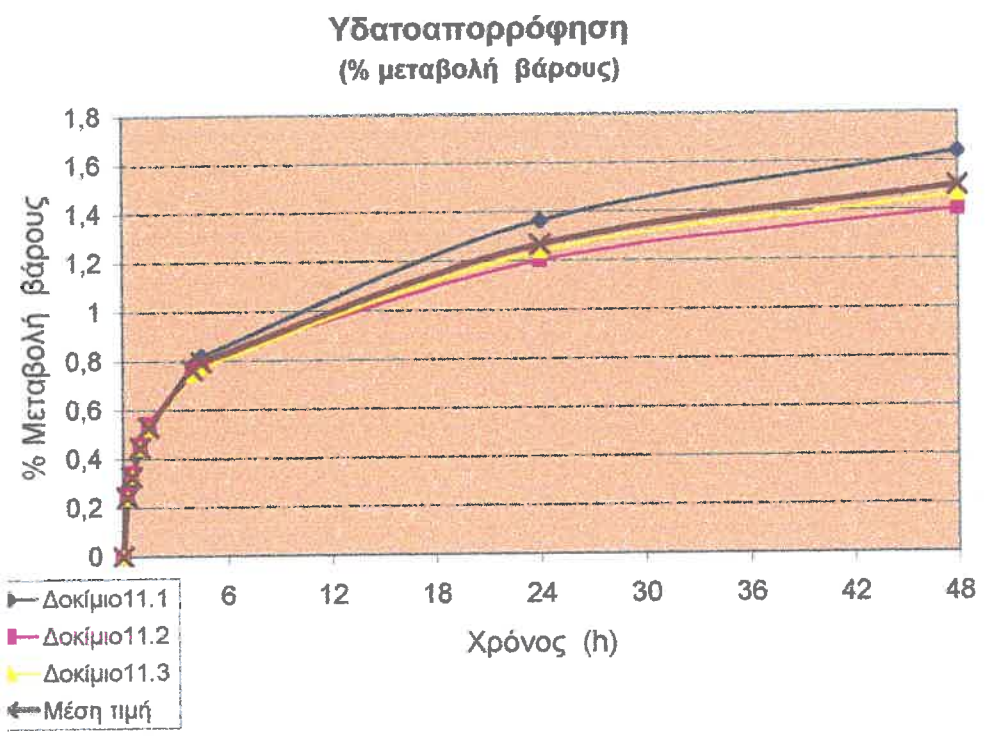
Γραμμα 108

 $N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
560Kg/m³
22,88%

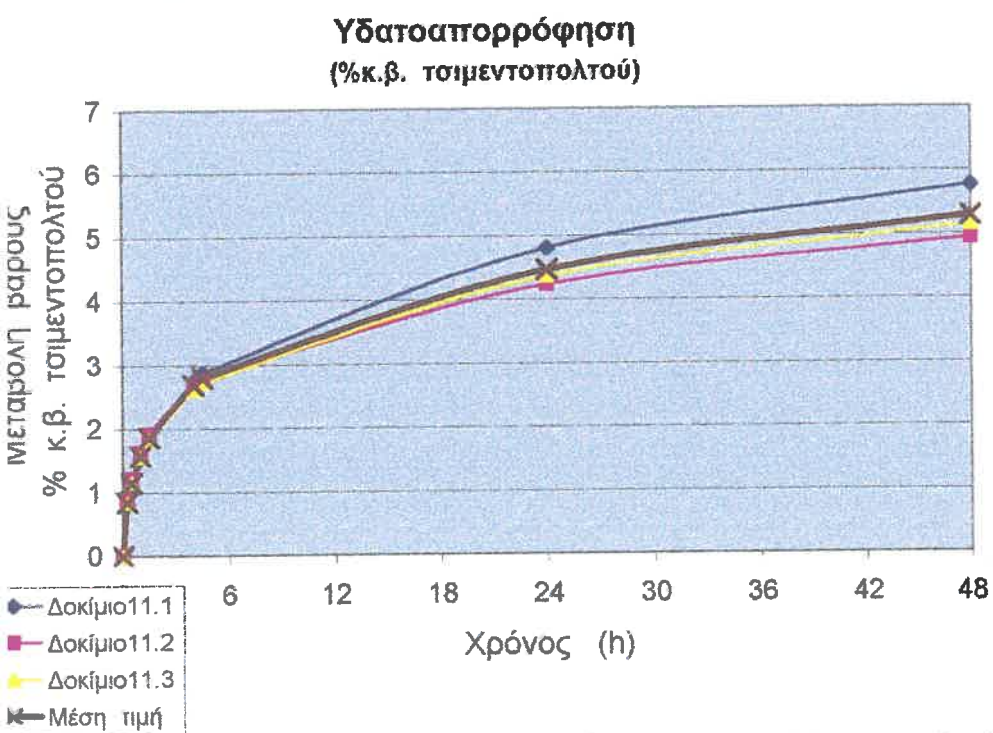
ΑΜΙΓΜΑ 11

Γραμμα 109

 $N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
 $677,7 \text{ Kg/m}^3$
 28,37%

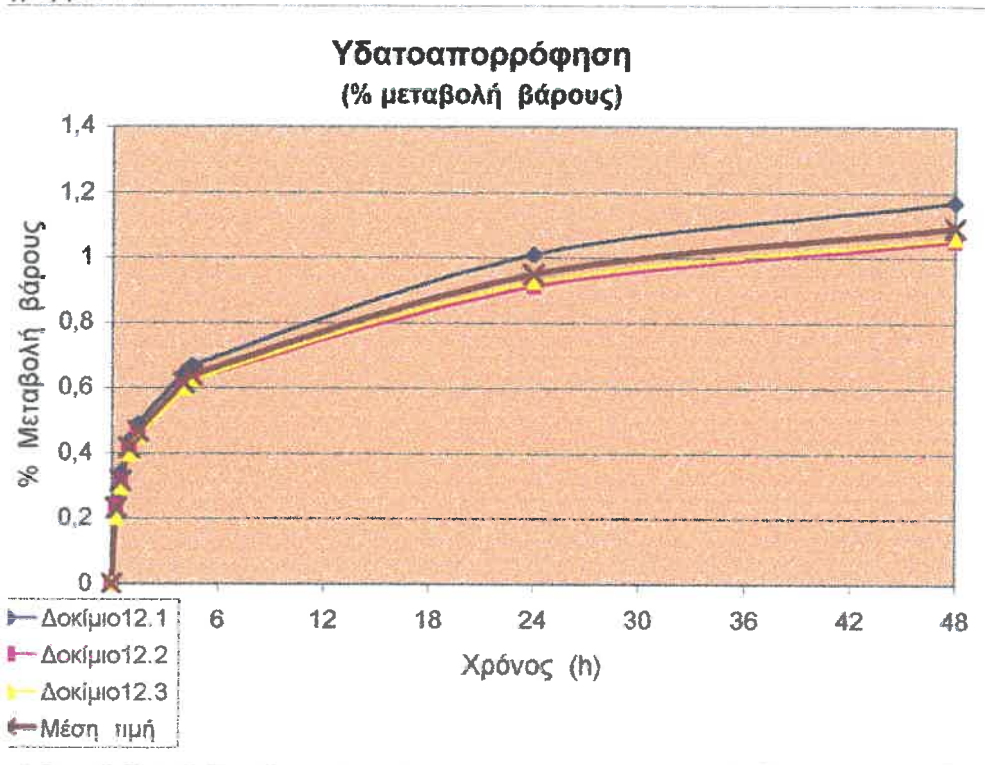
Γραμμα 110

 $N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
 $677,7 \text{ Kg/m}^3$
 28,37%

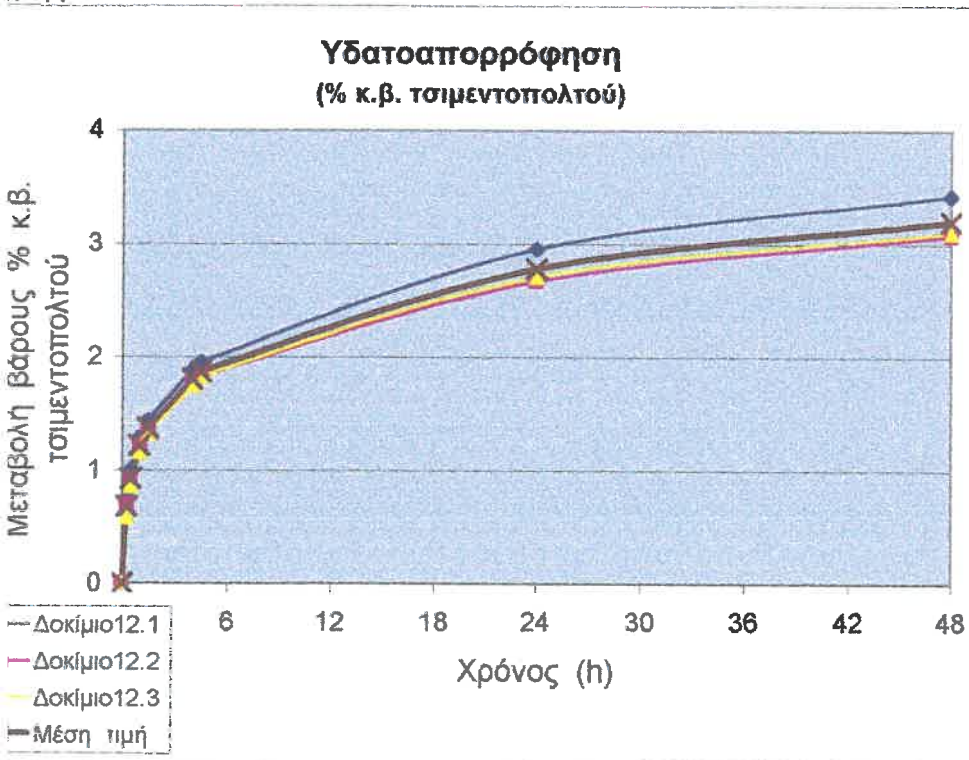
ΙΑΜΙΓΜΑ 12

γράμμα 111

 $N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
795,6Kg/m³
34,14%

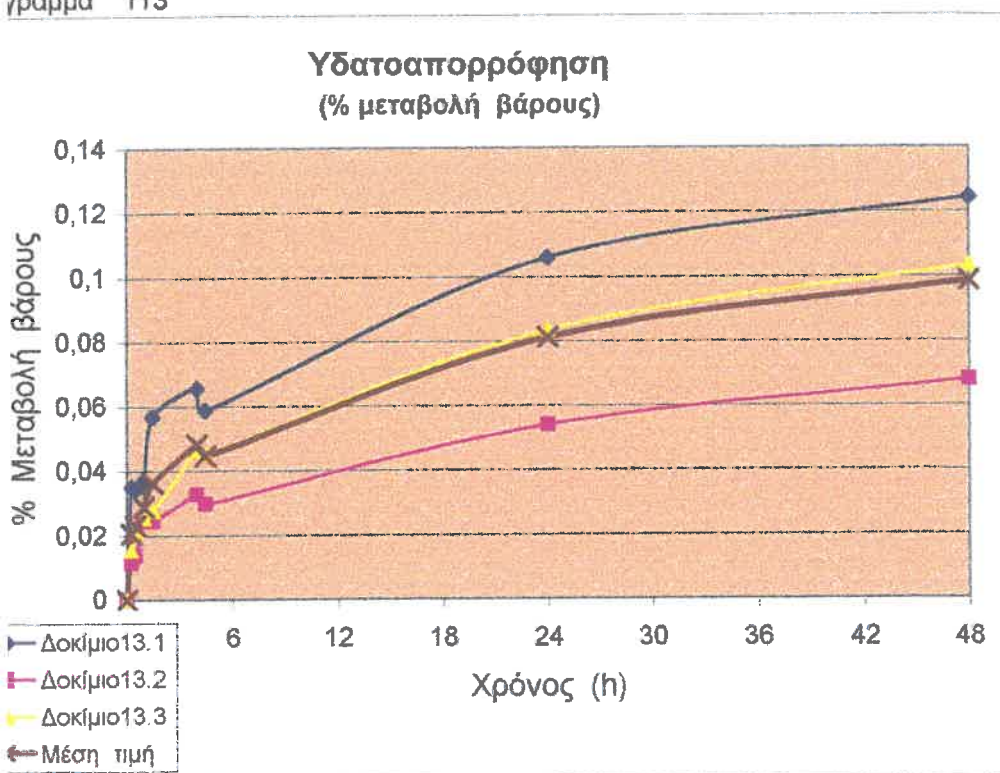
γράμμα 112

 $N/T = 0,5$

Τσιμεντοπολτός
795,6Kg/m³
34,14%

ΑΜΙΓΜΑ 13

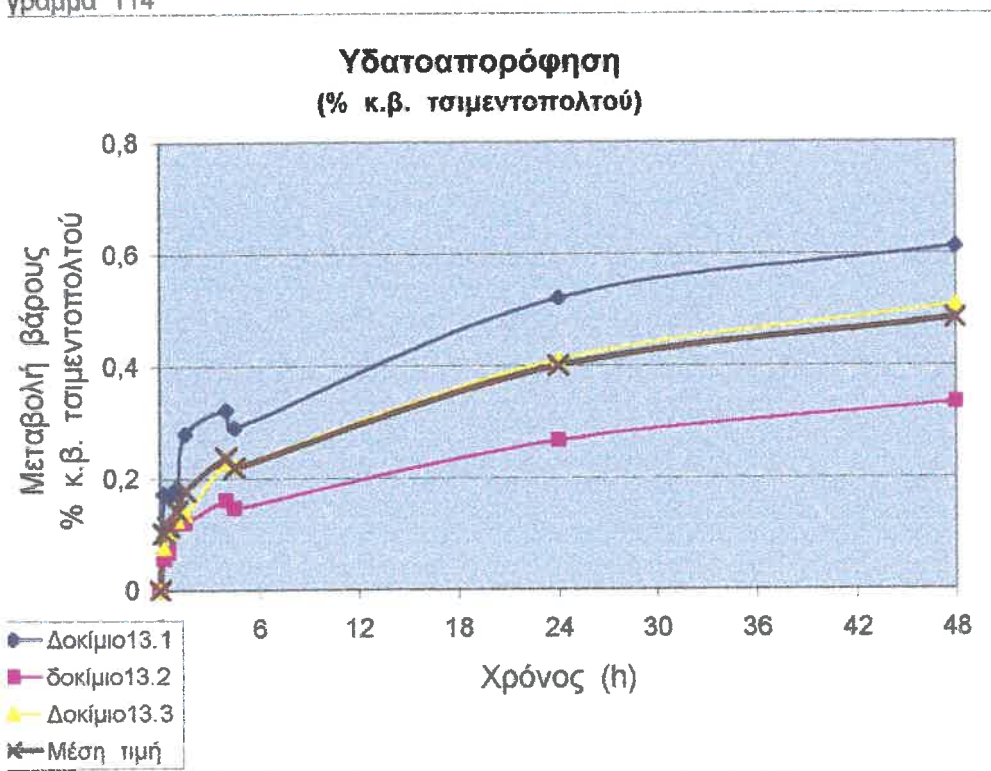
γραμμα 113



N/T = 0,4

Τσιμεντοπολτός
511,3Kg/m³
20,31%

γραμμα 114

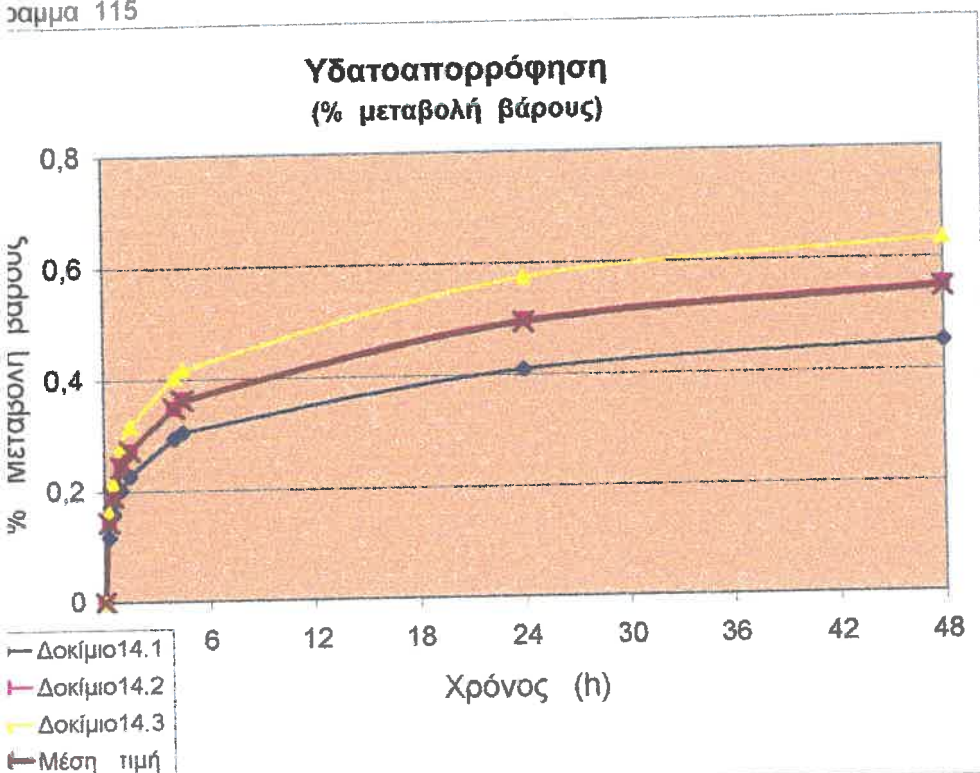


N/T = 0,4

Τσιμεντοπολτός
511,3Kg/m³
20,31%

ΜΙΓΜΑ 14

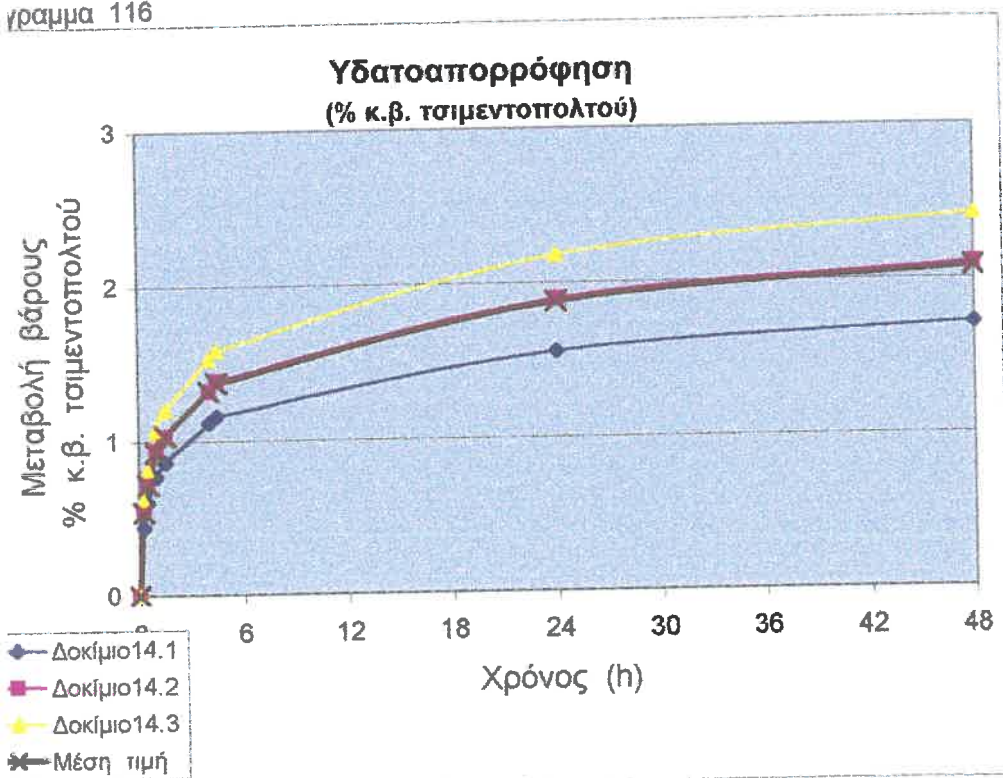
Γραμμα 115



N/T = 0,4

Τσιμεντοπολτός
648,7Kg/m³
26,34%

Γραμμα 116

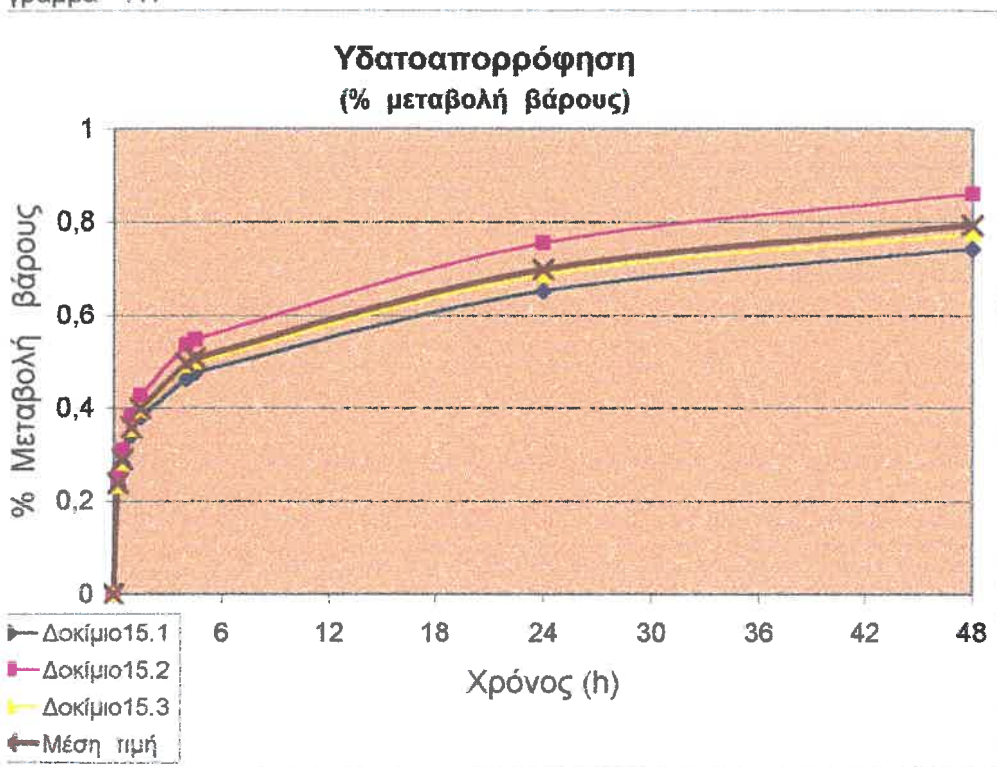


N/T = 0,4

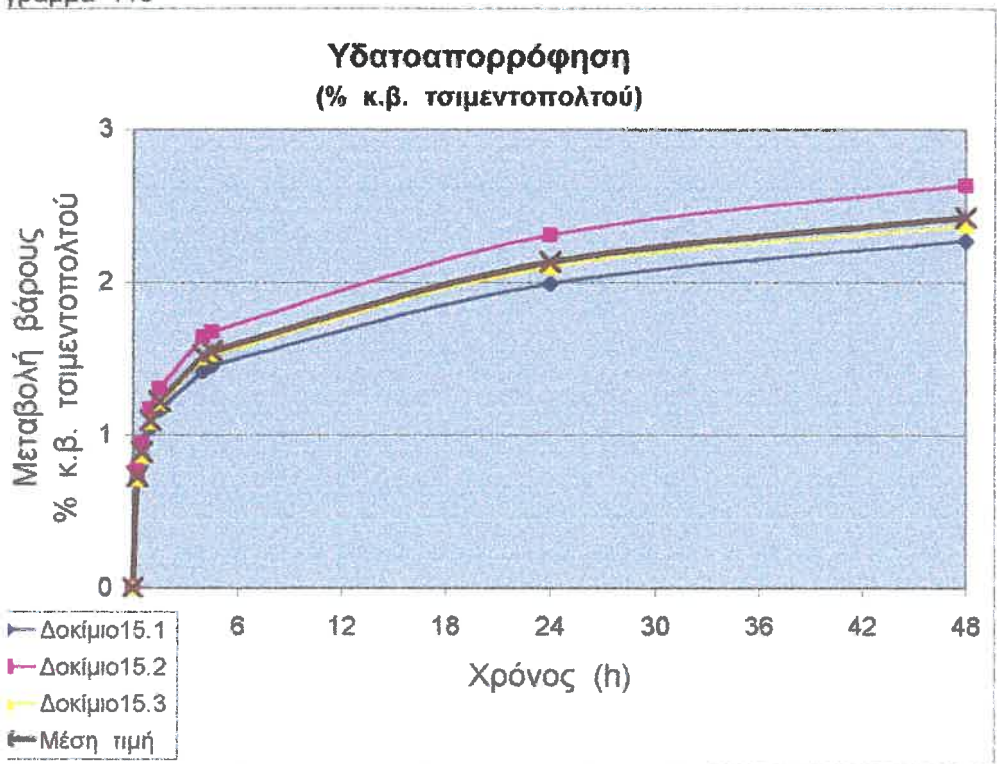
Τσιμεντοπολτός
648,7Kg/m³
26,34%

ΙΑΜΙΓΜΑ 15

γράμμα 117

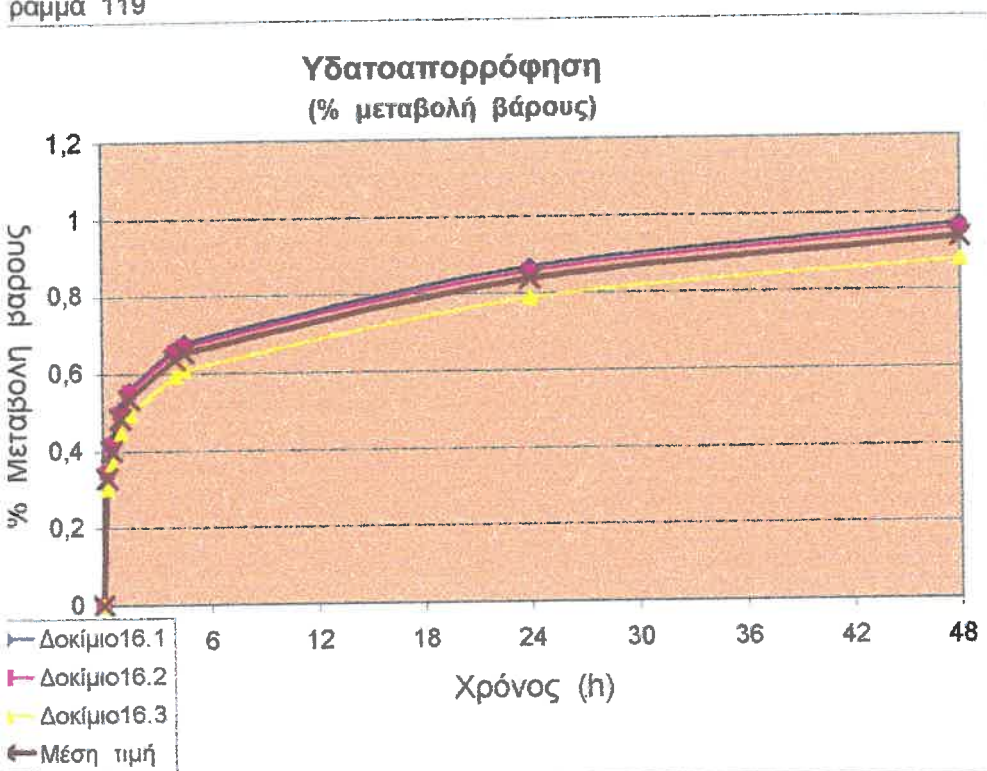


γράμμα 118



ΑΜΙΓΜΑ 16

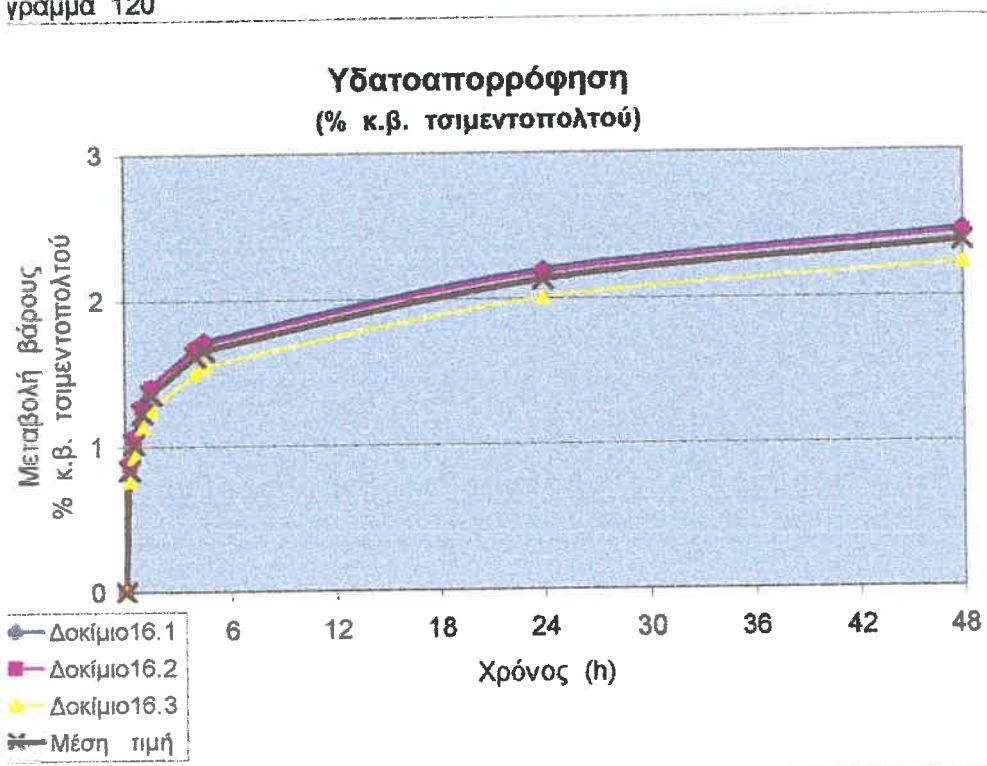
γραμμά 119



N/T = 0,4

Τσιμεντοπολτός
924Kg/m³
39,35%

γραμμά 120

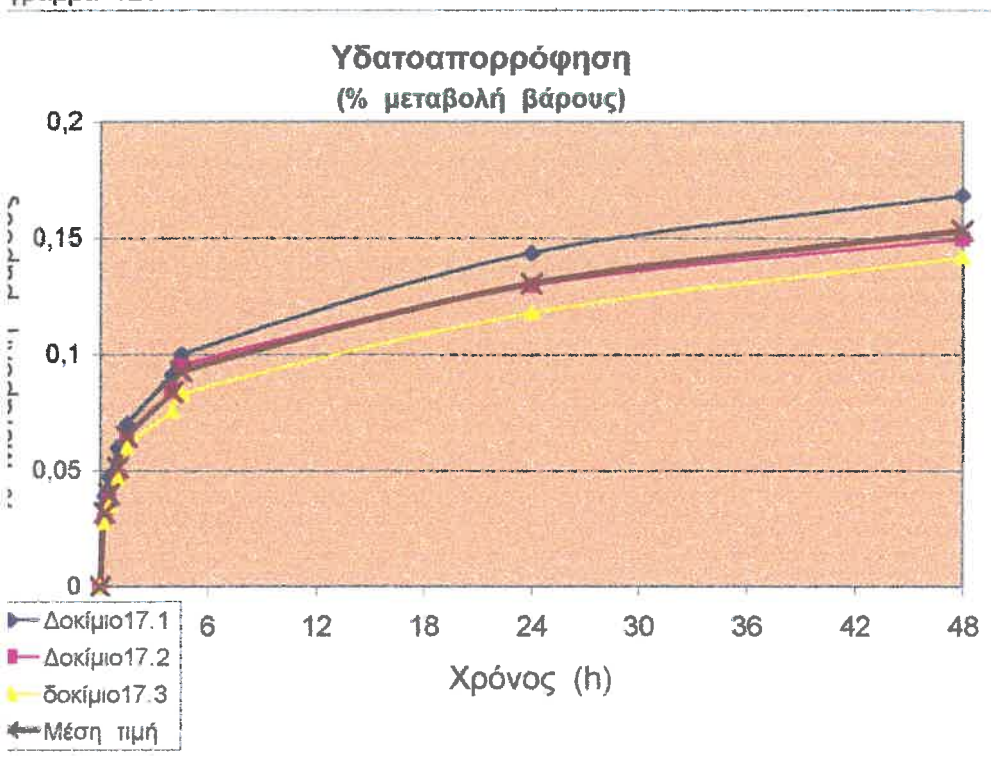


N/T = 0,4

Τσιμεντοπολτός
924Kg/m³
39,35%

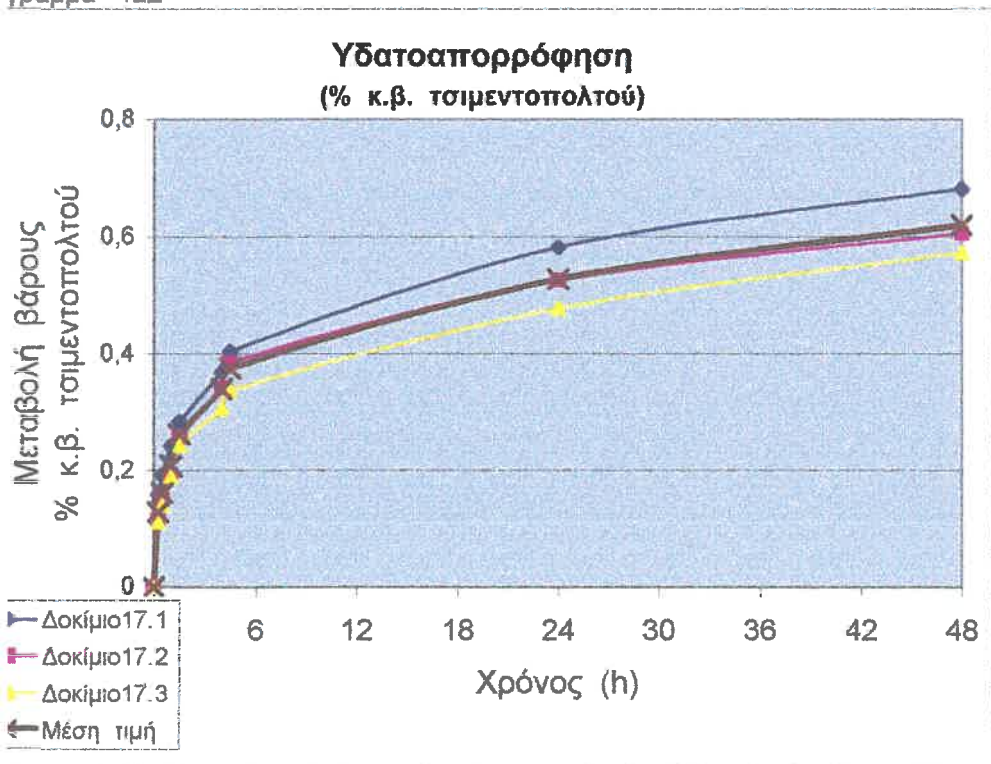
ΙΑΜΙΓΜΑ 17

γράμμα 121

 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολτός
626,6Kg/m³
24,73%

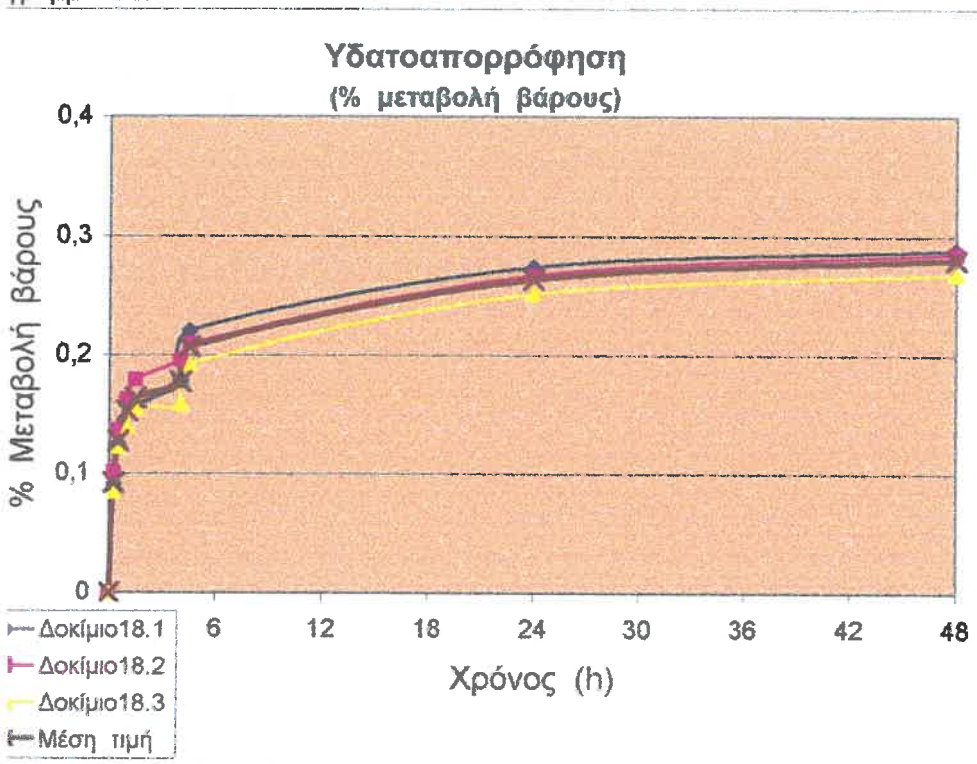
γράμμα 122

 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολτός
626,6Kg/m³
24,73%

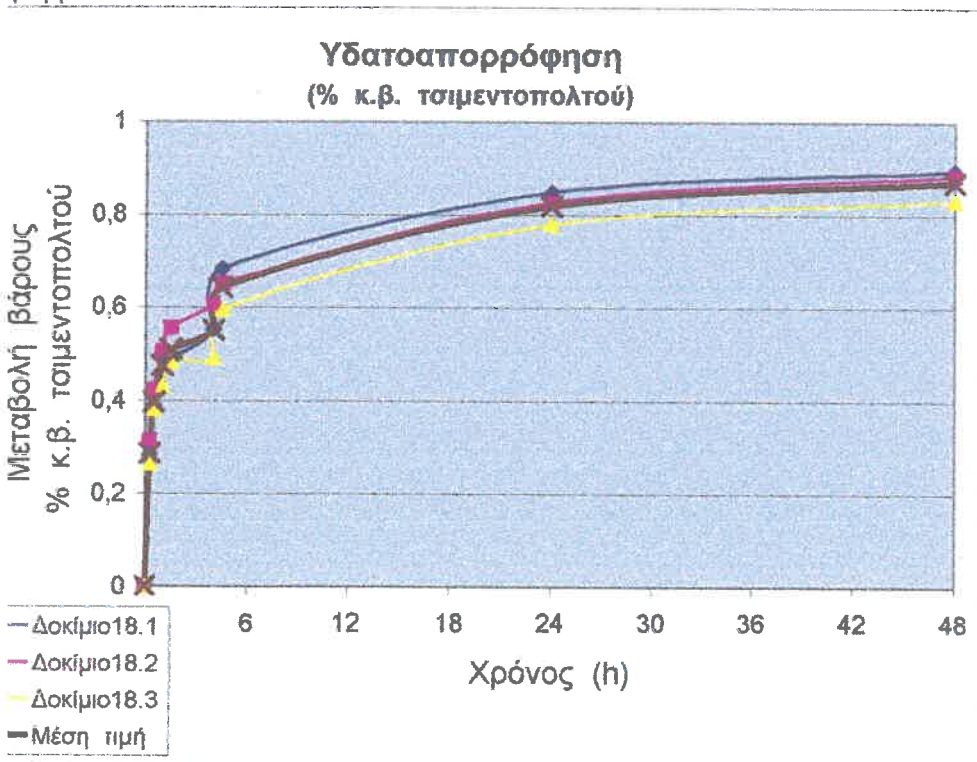
ΙΑΜΙΓΜΑ 18

γράμμα 123

 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολιτός
796,6Kg/m³
32,18%

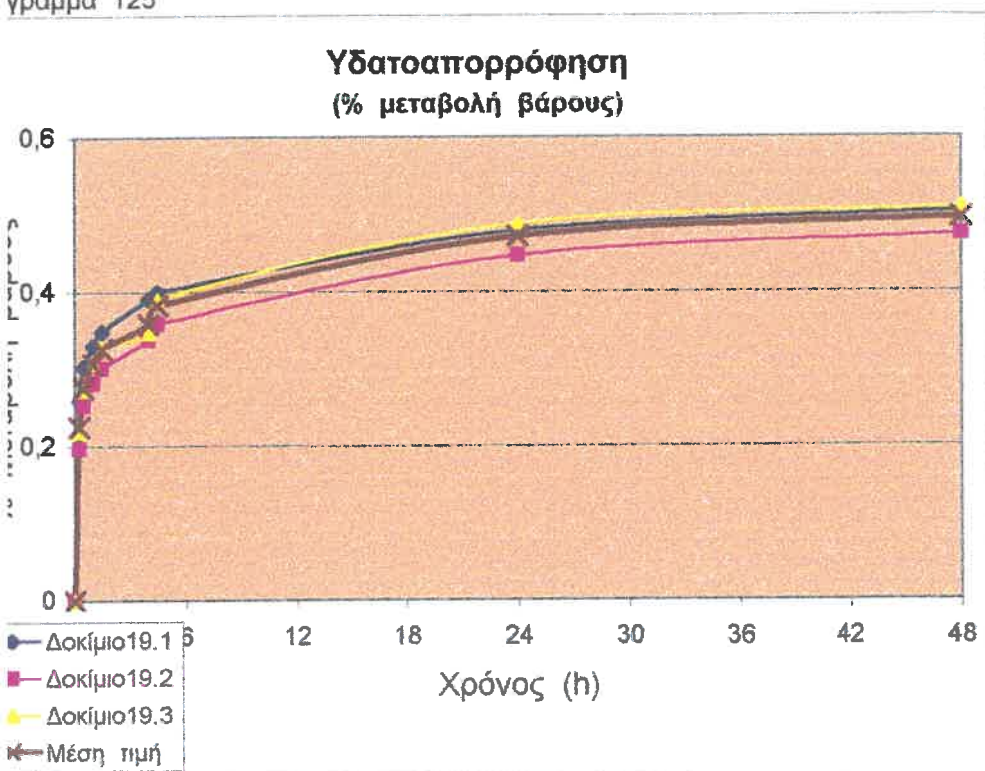
γράμμα 124

 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολιτός
796,6Kg/m³
32,18%

ΑΜΙΓΜΑ 19

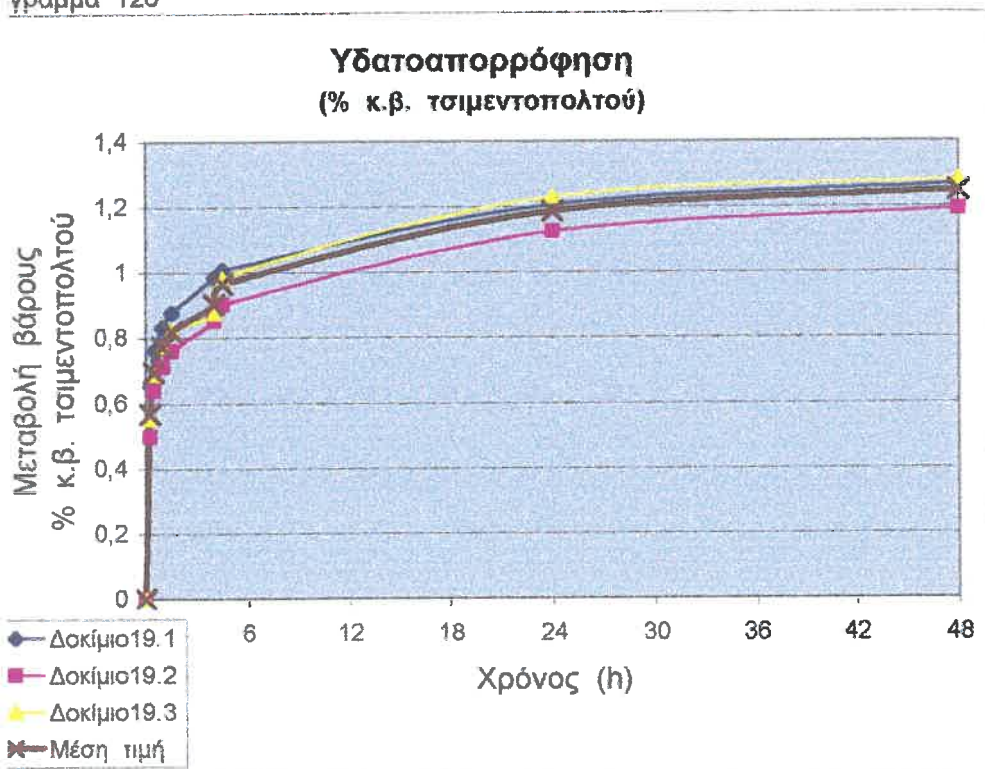
γράμμα 125



N/T = 0,3

Τσιμεντοπολτός
967Kg/m³
39,67%

γράμμα 126

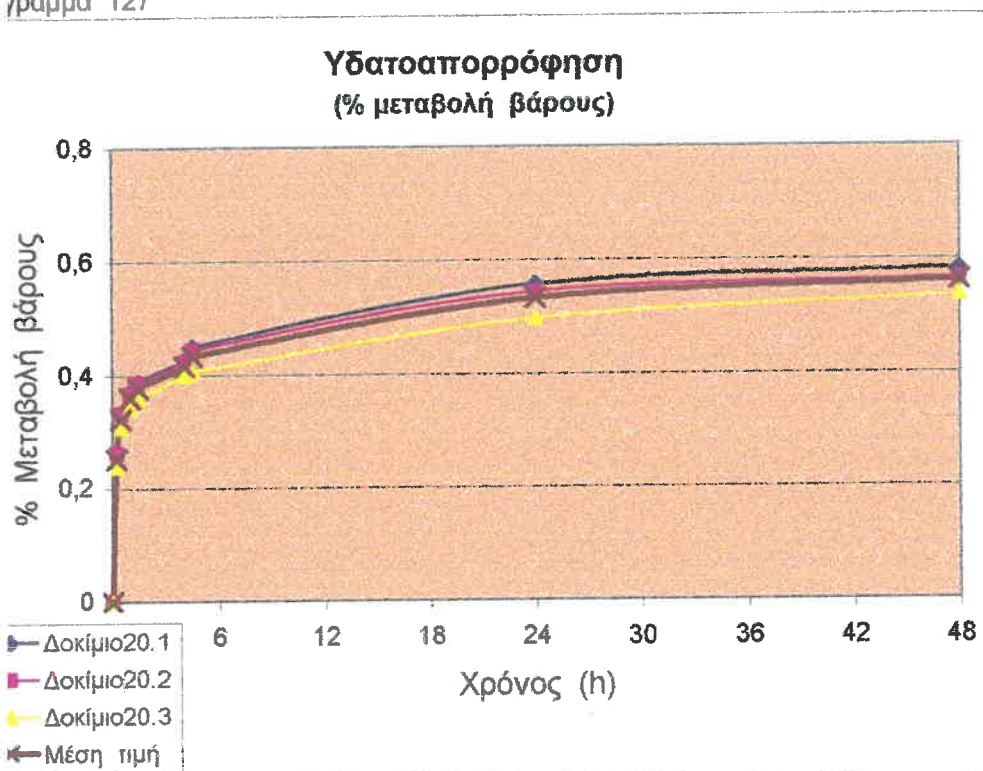


N/T = 0,3

Τσιμεντοπολτός
967Kg/m³
39,67%

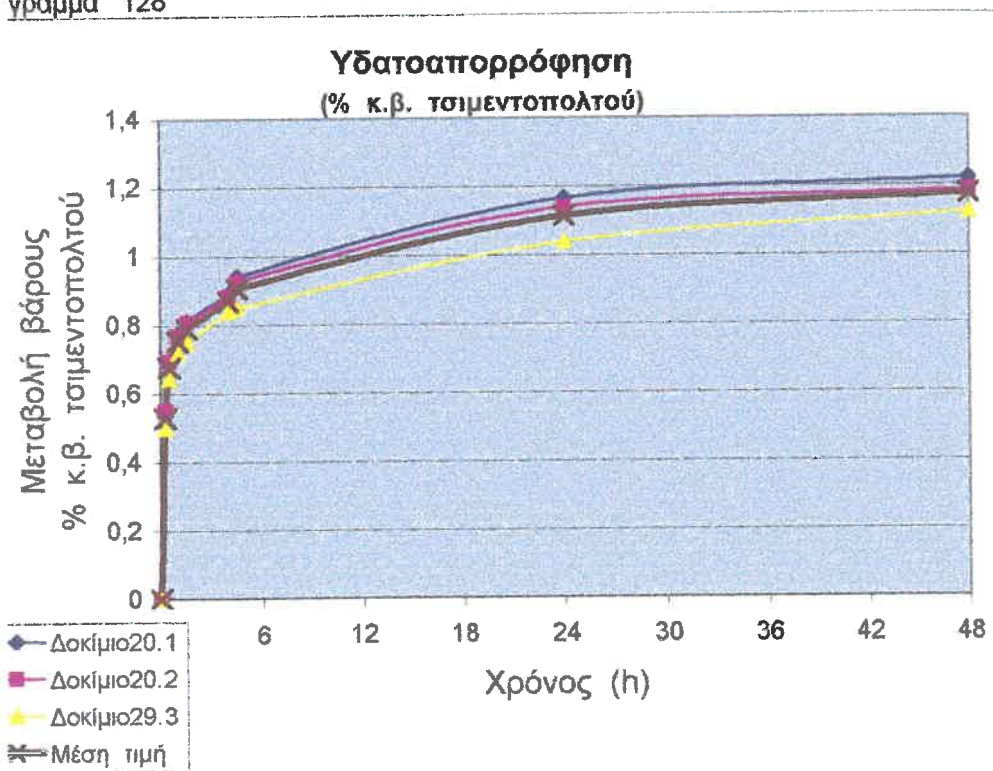
ΑΜΙΓΜΑ 20

γραμμα 127

 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολτός
1138Kg/m³
47,79%

γραμμα 128

 $N/T = 0,3$

Τσιμεντοπολτός
1138Kg/m³
47,79%

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΩΣ ΚΑΙ
ΤΗΝ ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΩΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ

ΜΙΓΜΑ 5

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
5.1	1	1307,06		
	111	1325,96	1,446	9,135
	125	1315,14	0,618	3,905
5.2	1	1330,87		
	111	1349,14	1,373	8,672
	125	1339,45	0,645	4,073
5.3	1	1286,59		
	111	1305,8	1,493	9,432
	125	1296,7	0,786	4,964

ΜΙΓΜΑ 6

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
6.1	1	1265,13		
	111	1290,16	1,987	9,637
	125	1279,33	1,122	5,467
6.2	1	1308,77		
	111	1332,32	1,799	8,765
	125	1321,88	1,001	4,879
6.3	1	1278,31		
	111	1300,49	1,735	8,452
	125	1288,88	0,827	4,028

ΜΙΓΜΑ 7

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
7.1	1	1272,36		
	111	1295,92	1,852	7,267
	114	1279,2	0,538	2,12
7.2	1	1254,83		
	111	1281,72	2,143	8,41
	118	1265,53	0,853	3,347
7.3	1	1245,6		
	111	1272,86	2,188	8,589
	118	1256,02	0,836	3,283

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΩΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΣΗΡΑΝΣΗ

ΜΙΓΜΑ 8

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
8.1	1	1298,01		
	111	1318,99	1,616	5,277
	118	1301,8	0,292	0,953
8.2	1	1235,33		
	111	1262,65	2,212	7,22
	118	1246,26	0,885	2,889
8.3	1	1405,24		
	111	1428,57	1,66	5,42
	118	1409,37	0,234	0,959

ΜΙΓΜΑ 9

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
9.1	1	1451,81		
	108	1474,86	1,588	9,00
	108	1473,8	1,515	8,587
9.2	1	1451,64		
	108	1478,44	1,846	10,466
	108	1472,62	1,445	8,193
9.3	1	1488,16		
	108	1523,00	2,341	13,272
	108	1517,65	1,982	11,234

ΜΙΓΜΑ 10

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
10.1	1	1509,05		
	108	1539,05	1,988	8,689
	112	1522,39	0,884	3,864
10.2	1	1407,99		
	108	1432,11	1,713	7,487
	112	1416,41	0,598	2,614
10.3	1	1361,46		
	108	1386,35	1,828	7,99
	112	1372,06	0,778	3,403

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΓΙΑΡΑΣΚΕΥΗ ΩΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ

ΜΙΓΜΑ 11

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
11.1	1	1258,22		
	108	1283,75	2,029	7,152
	108	1280,55	1,775	6,256
11.2	1	1432,47		
	108	1464,05	2,204	7,771
	112	1458,59	1,823	6,427
11.3	1	1384,46		
	108	1412,42	2,019	7,118
	111	1407,66	1,676	5,907

ΜΙΓΜΑ 12

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
12.1	1	1270,22		
	108	1300,6	2,392	7,006
	109	1291,58	1,681	4,926
12.2	1	1409,16		
	108	1437,62	2,019	5,916
	112	1427,53	1,304	3,818
12.3	1	1468,47		
	108	1500,8	2,202	6,449
	112	1483,16	1,0004	2,932

ΜΙΓΜΑ 13

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
13.1	1	1500,67		
	116	1530,06	1,958	9,643
	121	1521,44	1,384	6,815
13.2	1	1303,89		
	116	1329,98	2,001	9,852
	121	1322,85	1,454	7,159
13.3	1	1299,66		
	116	1324,66	1,923	9,471
	120	1318,14	1,422	7,001

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΩΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ

ΜΙΓΜΑ 14

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
14.1	1	1511,91		
	116	1547,79	2,373	9,01
	121	1538,84	1,781	6,762
14.2	1	1497,68		
	116	1533,31	2,379	9,032
	120	1525,1	1,831	6,951
14.3	14.3	1325,02		
		1355,75	2,319	8,805
		1349,37	1,838	6,977

ΜΙΓΜΑ 15

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
15.1	1	1305,76		
	116	1339,23	2,563	7,841
	118	1332,71	2,063	6,314
15.2	1	1326,77		
	116	1358,88	2,42	7,403
	119	1352,52	1,941	5,937
15.3	1	1285,2		
	116	1317,36	2,502	7,655
	118	1311,65	2,058	6,296

ΜΙΓΜΑ 16

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
16.1	1	1290,26		
	116	1324,68	2,668	6,779
	119	1317,58	2,117	5,381
16.2	1	1304,69		
	116	1336,54	2,441	6,204
	119	1328,9	1,856	4,716
16.3	1	1415,8		
	116	1453,62	2,671	6,788
	118	1445,86	2,123	5,396

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΩΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΣΗΡΑΝΣΗ

ΜΙΓΜΑ 17

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
17.1	1	1358,12		
	118	1391,72	2,474	10,004
	124	1382,53	1,797	7,268
17.2	1	1376,37		
	118	1407,28	2,246	9,081
	125	1398,62	1,616	6,537
17.3	1	1334,91		
	118	1366,13	2,339	9,457
	125	1357,61	1,7	6,876

ΜΙΓΜΑ 18

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
18.1	1	1395,11		
	118	1435,89	2,923	9,083
	118	1431,28	2,592	8,057
18.2	1	1547,47		
	118	1590,00	2,748	8,541
	125	1585,12	2,433	7,561
18.3	1	1552,32		
	118	1594,37	2,709	8,418
	120	1589,21	2,376	7,385

ΜΙΓΜΑ 19

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
19.1	1	1485,9		
	118	1526,96	2,763	6,966
	120	1520,79	2,348	5,919
19.2	1	1476,4		
	118	1519,16	2,896	7,301
	119	1513,65	2,523	6,36
19.3	1	1355,86		
	118	1394,78	2,871	7,236
	119	1389,9	2,515	6,329

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΑΡΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΩΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ

ΜΙΓΜΑ 20

α/α δοκιμίου	Χρόνος (μέρες)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (gr)	βάρους %κ.β.τσιμεντοπολτού
20.1	1	1375		
	118	1418	3,127	6,544
	120	1410,76	2,601	5,442
20.2	1	1372,02		
	118	1414,77	3,116	6,519
	120	1407,87	2,613	5,467
20.3	1	1481,53		
	118	1528,22	3,151	6,594
	120	1521,28	2,683	5,614

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΒΑΡΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ W_{75}

A) Συντήρηση στον υγρό θάλαμο

Ημερομηνία	ΜΙΓΜΑ				Συνθήκες
	5	6	7	8	
10/9	505,00 gr	537,79 gr	509,70 gr	507,29 gr	T=20,5°C
11/9	503,96 gr	536,52 gr	506,98 gr	505,06 gr	T=20°C
12/9	503,63 gr	535,84 gr	505,64 gr	503,64 gr	T=20°C
13/9	503,27 gr	535,40 gr	504,73 gr	502,44 gr	T=20°C
14/9	503,03 gr	535,03 gr	504,08 gr	501,77 gr	T=21°C
15/9	502,85 gr	534,74 gr	503,68 gr	501,20 gr	T=20°C
16/9	502,74 gr	534,59 gr	503,42 gr	500,97 gr	T=21°C
17/9	502,64 gr	534,43 gr	503,23 gr	500,74 gr	T=20,5°C
18/9	----	----	503,16 gr	500,60 gr	T=20°C

B) Ξήρανση στο φούρνο στους 105°C

18/9	491,3 gr	515,92 gr	----	----
19/9	491,29 gr	516,05 gr	482,85 gr	475,84 gr
20/9	----	----	482,92 gr	475,83 gr

- Η σχετική υγρασία του θαλάμου ήταν περίπου 75% γιατί τηρήθηκαν όλες οι απαιτούμενες από τον κανονισμό συνθήκες για την επίτευξη της ζητούμενης υγρασίας. Δεν καταγράφεται η υγρασία στον παραπάνω πίνακα, γιατί το υγρόμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν χαλασμένο και δεν έδινε σωστές ενδείξεις.
- Τα βάρη που επισημαίνονται είναι αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της απαιτούμενης απώλειας βάρους κατά την προξήρανση.

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ W_{75}

A) Συντήρηση στον υγρό θάλαμο

Ημερομηνία	ΜΙΓΜΑ				Συνθήκες
	9	10	11	12	
11/10	518,40 gr	533,81 gr	528,53 gr	520,20 gr	T=21°C
12/10	517,37 gr	532,23 gr	525,97 gr	517,43 gr	T=21°C
13/10	517,23 gr	531,80 gr	525,39 gr	516,17 gr	T=20,5°C
14/10	517,01 gr	531,41 gr	524,80 gr	515,15 gr	T=21°C
15/10	516,83 gr	531,08 gr	524,30 gr	514,54 gr	T=21°C
16/10	516,73 gr	530,82 gr	524,02 gr	514,13 gr	T=21°C
17/10	516,63 gr	530,63 gr	523,80 gr	513,82 gr	T=21°C
18/10	----	530,63 gr	523,73 gr	513,76 gr	T=21°C
19/10	----	530,52 gr	523,62 gr	513,59 gr	T=21°C
20/10	----	----	----	513,48 gr	T=21°C

B) Ξήρανση στο φούρνο στους 105°C

18/10	502,68 gr	----	----	----
19/10	502,72 gr	----	----	----
20/10	----	509,32 gr	499,40 gr	----
21/10	----	509,32 gr	499,14 gr	485,57 gr
22/10	----	----	----	485,57 gr

- Η σχετική υγρασία του θαλάμου ήταν περίπου 75% γιατί τηρήθηκαν όλες οι απαιτούμενες από τον κανονισμό συνθήκες για την επίτευξη της ζητούμενης υγρασίας. Δεν καταγράφεται η υγρασία στον παραπάνω πίνακα, γιατί το υγρόμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν χαλασμένο και δεν έδινε σωστές ενδείξεις.
- Τα βάρη που επισημαίνονται είναι αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της απαιτούμενης απώλειας βάρους κατά την προξήρανση.

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ W_{75}

A) Συντήρηση στον υγρό θάλαμο

Ημερομηνία	ΜΙΓΜΑ				Συνθήκες
	13	14	15	16	
22/10	515,78 gr	590,18 gr	525,49 gr	521,55 gr	T=21,5°C
23/10	513,31 gr	588,03 gr	523,82 gr	519,88 gr	T=21°C
24/10	512,54 gr	587,29 gr	523,18 gr	519,26 gr	T=20,5°C
25/10	511,98 gr	586,85 gr	522,93 gr	518,66 gr	T=21°C
26/10	511,59 gr	586,37 gr	522,54gr	518,06 gr	T=21°C
27/10	511,35 gr	585,95 gr	522,16 gr	517,54 gr	T=21,5°C
28/10	511,18 gr	585,63 gr	521,76 gr	517,10 gr	T=21°C
29/10	510,92 gr	585,21 gr	521,23 gr	516,36 gr	T=21°C
30/10	510,84 gr	584,98 gr	521,04 gr	516,20 gr	T=21°C
31/10	----	584,98 gr	521,03 gr	516,10 gr	T=21°C

B) Ξήρανση στο φούρνο στους 105°C

31/10	495,18gr	----	----	----
1/11	495,17gr	557,88gr	494,27gr	484,65gr
2/11	----	557,77gr	493,99gr	484,52gr

- Η σχετική υγρασία του θαλάμου ήταν περίπου 75% γιατί τηρήθηκαν όλες οι απαιτούμενες από τον κανονισμό συνθήκες για την επίτευξη της ζητούμενης υγρασίας. Δεν καταγράφεται η υγρασία στον παραπάνω πίνακα, γιατί το υγρόμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν χαλασμένο και δεν έδινε σωστές ενδείξεις.
- Τα βάρη που επισημαίνονται είναι αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της απαιτούμενης απώλειας βάρους κατά την προξήρανση.

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ W_{75}

A) Συντήρηση στον υγρό θάλαμο

Ημερομηνία	ΜΙΓΜΑ				Συνθήκες
	17	18	19	20	
1/11	503,92 gr	534,42 gr	508,79 gr	511,29 gr	T=21°C
2/11	501,51 gr	533,3 gr	507,34 gr	509,49 gr	T=20,5°C
3/11	500,92 gr	533,02 gr	507,08 gr	509,23 gr	T=21,5°C
4/11	500,78 gr	532,90 gr	506,94 gr	509,15 gr	T=20,5°C
5/11	500,67 gr	532,83 gr	506,83 gr	508,97 gr	T=21°C
6/11	500,60 gr	----	----	508,97 gr	T=20,5°C

B) Ξήρανση στο φούρνο στους 105°C

6/11	----	508,65gr	479,08gr	----
7/11	485,12gr	508,64gr	479,05gr	476,36gr
8/11	484,88gr	----	----	476,28gr

- Η σχετική υγρασία του θαλάμου ήταν περίπου 75% γιατί τηρήθηκαν όλες οι απαιτούμενες από τον κανονισμό συνθήκες για την επίτευξη της ζητούμενης υγρασίας. Δεν καταγράφεται η υγρασία στον παραπάνω πίνακα, γιατί το υγρόμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν χαλασμένο και δεν έδινε σωστές ενδείξεις.
- Τα βάρη που επισημαίνονται είναι αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της απαιτούμενης απώλειας βάρους κατά την προξήρανση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΑΠΟΛΕΙΑΣ ΒΑΡΟΥΣ Δm

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΒΑΡΟΥΣ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ Δm

ΜΙΓΜΑ 5

$$\Delta m = 4,673579 \cdot 10^{-3} m_0$$

	m_0	Δm
5.1	1325,96	6,2
5.2	1349,14	6,31
5.3	1305,8	6,1

ΜΙΓΜΑ 6

$$\Delta m = 6,247793 \cdot 10^{-3} m_0$$

	m_0	Δm
6.1	1290,16	8,06
6.2	1332,32	8,32
6.3	1300,49	8,13

ΜΙΓΜΑ 7

$$\Delta m = 0,012830 m_0$$

	m_0	Δm
7.1	1295,92	16,63
7.2	1281,72	16,44
7.3	1272,85	16,33

ΜΙΓΜΑ 8

$$\Delta m = 0,013188 m_0$$

	m_0	Δm
8.1	1318,99	17,39
8.2	1262,65	16,65
8.3	1428,57	18,84

ΜΙΓΜΑ 9

$$\Delta m = 3,414502 \cdot 10^{-3} m_0$$

	m_0	Δm
9.1	1481,42	5,06
9.2	1478,44	5,05
9.3	1523,00	5,2

ΜΙΓΜΑ 10

$$\Delta m = 0,0183009 m_0$$

	m_0	Δm
10.1	1550,45	28,37
10.2	1443,41	26,42
10.3	1397,57	25,58

ΜΙΓΜΑ 11

$$\Delta m = 9,2899958 \cdot 10^{-3} m_0$$

	m_0	Δm
11.1	1292,18	12,00
11.2	1472,48	13,68
11.3	1421,09	13,2

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΒΑΡΟΥΣ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ Δm

ΜΙΓΜΑ 12

$\Delta m = 0,0129177m_0$

	m_0	Δm
12.1	1307,92	16,9
12.2	1445,6	18,67
12.3	1508,4	19,48

ΜΙΓΜΑ 13

$\Delta m = 0,010034m_0$

	m_0	Δm
13.1	1537,3	15,43
13.2	1336,39	13,41
13.3	1331,49	13,36

ΜΙΓΜΑ 14

$\Delta m = 8,811026 \cdot 10^{-3}m_0$

	m_0	Δm
14.1	1552,47	13,68
14.2	1538,7	13,56
14.3	1361,43	12,00

ΜΙΓΜΑ 15

$\Delta m = 8,486829 \cdot 10^{-3}m_0$

	m_0	Δm
15.1	1344,34	11,41
15.2	1364,19	11,58
15.3	1323,18	11,23

ΜΙΓΜΑ 16

$\Delta m = 0,010449m_0$

	m_0	Δm
16.1	1331,61	13,91
16.2	1343,17	14,03
16.3	1461,04	15,27

ΜΙΓΜΑ 17

$\Delta m = 6,588297 \cdot 10^{-3}m_0$

	m_0	Δm
17.1	1391,72	9,17
17.2	1407,28	9,27
17.3	1366,13	9,00

ΜΙΓΜΑ 18

$\Delta m = 2,975570 \cdot 10^{-3}m_0$

	m_0	Δm
18.1	1435,89	4,27
18.2	1590,00	4,73
18.3	1594,37	4,74

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΒΑΡΟΥΣ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ Δm

ΜΙΓΜΑ 19

$$\Delta m = 3,852813 \cdot 10^{-3} m_o$$

	m_o	Δm
19.1	1526,96	5,88
19.2	1519,16	5,85
19.3	1394,78	5,37

ΜΙΓΜΑ 20

$$\Delta m = 4,537274 \cdot 10^{-3} m_o$$

	m_o	Δm
20.1	1418,00	6,43
20.2	1414,77	6,42
20.3	1528,22	6,93

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IIIα
ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΟΥΣ 50° C

ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΟΥΣ 50°C

Δοκίμιο	Βάρος		Δm_{obs}	Δm_{cal}	$\Delta m_{obs} - \Delta m_{cal} / \Delta m_{cal} < 0,05$
	15-Νοε	16-Νοε			
5.1	1325,96	1314,46	11,5	6,2	0,855
5.2	1349,14	1338,5	10,64	6,31	0,686
5.3	1305,8	1294,95	10,85	6,1	0,779
6.1	1290,16	1278,44	11,72	8,06	0,454
6.2	1332,32	1321,39	10,93	8,32	0,314
6.3	1300,49	1288,57	11,92	8,13	0,466

Τα παραπάνω δοκίμια έχασαν πολύ περισσότερο βάρος από το απαιτούμενο, όπως φαίνεται από τον έλεγχο. Γι'αυτό τα βάλαμε στον υγρό θάλαμο στην αρχή χωρίς ψυκτικό και μετά καλυμμένα με υγρό πανί για να ανακτήσουν κάποιο από το βάρος τους. Οι ακόλουθες μετρήσεις αφορούν αυτή την κατάσταση και όχι την προξηράνιση.

Δοκίμιο	Βάρος					Δm_{obs}	Δm_{cal}	$\Delta m_{obs} - \Delta m_{cal} / \Delta m_{cal} < 0,05$
	18-Νοε	22-Νοε	24-Νοε	26-Νοε	29-Νοε			
5.1	1313,91	1314,68	1314,82	1317,65	1315,14	10,82	6,2	0,745
5.2	1337,94	1338,78	1338,88	1341,64	1339,45	9,69	6,31	0,536
5.3	1294,38	1295,03	1295,2	1298,08	1296,7	9,1	6,1	0,492
6.1	1277,43	1278,4	1278,72	1281,33	1279,33	10,83	8,06	0,344
6.2	1320,5	1321,19	1321,44	1323,49	1321,88	10,44	8,32	0,255
6.3	1287,6	1288,18	1288,44	1291,35	1288,88	11,61	8,13	0,428

Δοκίμιο	Βάρος					Δm_{obs}	Δm_{cal}	$\Delta m_{obs} - \Delta m_{cal} / \Delta m_{cal} < 0,05$
	15-Νοε	16-Νοε	17-Νοε	18-Νοε	22-Νοε			
7.1	1295,92	1281,86	1280,31	1279,2		16,72	16,63	0,005
7.2	1281,72	1269,77	1268,12	1267,21	1265,53	16,19	16,44	-0,015
7.3	1272,86	1259,76	1258,24	1257,17	1256,02	16,84	16,33	0,031
8.1	1318,99	1305,45	1304,05	1303,09	1301,8	17,19	17,39	-0,012
8.2	1262,65	1249,88	1248,4	1247,52	1246,26	16,39	16,65	-0,016
8.3	1428,57	1414,25	1412,71	1411,82	1409,37	19,2	18,84	0,019

ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΟΥΣ 50°C

κίμιο	Βάρος						Δm_{obs}	Δm_{cal}	$\Delta m_{obs} - \Delta m_{cal} / \Delta m_{cal} < 0,05$
	12-Νοε 11:15	11:30	17:30	13-Νοε	15-Νοε	16-Νοε			
9.1	1474,86	1473,8					1,06	5,06	-0,791
9.2	1473,95	1472,6					1,35	5,05	-0,733
9.3	1517,9	1517,65					0,25	5,20	-0,952
10.1	1539,05		1536,54	1531,96	1524,68	1522,39	16,66	28,37	-0,413
10.2	1432,11		1429,59	1425,11	1418,23	1416,41	15,7	26,42	-0,406
10.3	1386,35		1383,85	1379,67	1372,54	1372,02	14,33	25,58	-0,440
11.1	1283,75		1280,55				3,2	12,00	-0,733
11.2	1464,05		1461,01	1460,51	1459,05	1458,59	5,46	13,68	-0,601
11.3	1412,42		1409,38	1409,09	1407,66		4,76	13,20	-0,639
2.1	1300,6		1297,54	1291,58			9,02	16,90	-0,466
2.2	1437,62		1434,26	1427,89	1427,68	1426,09	11,53	18,67	-0,382
2.3	1500,8		1498,02	1491,74	1482,58	1483,3	17,5	19,48	-0,102

κίμιο	Βάρος						Δm_{obs}	Δm_{cal}	$\Delta m_{obs} - \Delta m_{cal} / \Delta m_{cal} < 0,05$
	22-Νοε	23-Νοε	24-Νοε	25-Νοε	26-Νοε	27-Νοε			
3.1	1530,06	1526,34	1524,74	1524,04	1523,28	1521,44	8,62	15,43	-0,44135
3.2	1329,98	1326,52	1324,88	1324,3	1323,63	1322,85	7,13	13,41	-0,46831
3.3	1324,66	1320,85	1319,26	1318,93	1318,14		6,52	13,36	-0,51198
4.1	1547,79	1543,39	1541,37	1540,64	1539,79	1538,84	8,95	13,68	-0,34576
4.2	1533,31	1528,71	1526,79	1526,04	1525,1		8,21	13,56	-0,39454
4.3	1355,75	1351,17	1349,37				6,38	12,00	-0,46833
5.1	1339,23	1334,58	1332,71				6,52	11,41	-0,42857
5.2	1358,88	1353,88	1352,91	1352,52			6,36	11,58	-0,45078
5.3	1317,36	1312,48	1311,65				5,71	11,23	-0,49154
6.1	1324,68	1319,28	1318,29	1317,58			7,1	13,91	-0,48958
6.2	1336,54	1330,68	1329,65	1328,9			7,64	14,03	-0,45545
6.3	1453,62	1448,04	1445,86				7,76	15,27	-0,49181

ΠΡΟΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΟΥΣ 50°C

Σύμιο	Βάρος						Δm_{obs}	Δm_{cal}	$\Delta m_{obs} - \Delta m_{cal} / \Delta m_{cal} < 0,05$
	24-Νοε 9:30	18:45	25-Νοε	26-Νοε	30-Νοε	1-Δεκ			
1	1391,72	1388,42	1386,74	1385,48	1382,53		9,19	9,17	0,002
2	1407,28	1404,3	1403,03	1401,9	1399,18	1398,62	8,66	9,27	-0,066
3	1366,13	1363,51	1361,94	1360,76	1358,14	1357,61	8,52	9,00	-0,053
2	1435,89	1431,28					4,61	4,27	0,080
	1590,00	1588,12	1587,10	1586,19	1585,77	1585,12	4,88	4,73	0,032
	1594,37	1590,89	1590,04	1589,21			5,16	4,74	0,089
1	1526,96	1523,54	1521,78	1520,79			6,17	5,88	0,049
	1519,16	1515,33	1513,65				5,51	5,85	-0,058
	1394,78	1391,51	1389,8				4,98	5,37	-0,073
	1418,00	1414,31	1412,00	1410,76			7,24	6,43	0,126
	1414,77	1409,84	1409,00	1407,87			6,9	6,42	0,075
	1528,22	1524,34	1522,75	1521,28			6,94	6,93	0,001

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV
ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ
(Με τη μέθοδο RILEM TC 116 – PCD)

ΔΟΚΙΜΙΟ 5.1 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 16 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 17 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 141 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	233kg/m ³
Νερό	163kg/m ³
Άμμος	1489kg/m ³
Ρυζάκι	608kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	7,89kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1317,96	1318,09	1318,08	1317,98	1317,93	1317,54	1317,5	1317,15

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,13	11,50035
30min	0,12	10,61571
1h	0,02	1,76929
1:30h	-0,03	-2,65393
4h	-0,42	-37,155
4:30h	-0,46	-40,6936
24h	-0,81	-71,6561

Όπως φαίνεται από τον πίνακα το δοκίμιο αντί να απορροφήσει νερό, που ήταν και το αναμενόμενο, έχασε. Δεν κατορθώσαμε να εξηγήσουμε αυτή την απώλεια, γι'αυτό κάναμε πρόσθετα πειράματα τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 5.2 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 15 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 16 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 140 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	233kg/m ³
Νερό	163kg/m ³
Άμμος	1489kg/m ³
Ρυζάκι	608kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	7,89kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1341,48	1341,64	1341,61	1341,55	1341,49	1341,19	1341,2	1340,95

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,16	14,39317
30min	0,13	11,69445
1h	0,07	6,297011
1:30h	0,01	0,899573
4h	-0,29	-26,0876
4:30h	-0,28	-25,188
24h	-0,53	-47,6774

Όπως φαίνεται από τον πίνακα το δοκίμιο αντί να απορροφήσει νερό, που ήταν και το αναμενόμενο, έχασε. Δεν κατορθώσαμε να εξηγήσουμε αυτή την απώλεια, γι'αυτό κάναμε πρόσθετα πειράματα τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 5.3 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 15 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 16 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 140 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	233kg/m ³
Νερό	163kg/m ³
Άμμος	1489kg/m ³
Ρυζάκι	608kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	7,89kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1297,87	1298,12	1298,32	1298,08	1297,96	1297,82	1297,75	1297,67

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,25	22,48933
30min	0,45	40,48079
1h	0,21	18,89103
1:30h	0,09	8,096157
4h	-0,05	-4,49787
4:30h	-0,12	-10,7949
24h	-0,2	-17,9915

Όπως φαίνεται από τον πίνακα το δοκίμιο αντί να απορροφήσει νερό, που ήταν και το αναμενόμενο, έχασε. Δεν κατορθώσαμε να εξηγήσουμε αυτή την απώλεια, γι'αυτό κάναμε πρόσθετα πειράματα τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 6.1 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 14 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 15 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 139 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	300kg/m ³
Νερό	201kg/m ³
Άμμος	1325kg/m ³
Ρυζάκι	609kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 4,77kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1280,43	1280,61	1280,63	1280,6	1280,55	1280,41	1280,49	1280,46

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,18	15,92357
30min	0,2	17,69285
1h	0,17	15,03892
1:30h	0,12	10,61571
4h	-0,02	-1,76929
4:30h	0,06	5,307856
24h	0,03	2,653928

ΔΟΚΙΜΙΟ 6.2 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 14 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 15 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 139 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	300kg/m ³
Νερό	201kg/m ³
Άμμος	1325kg/m ³
Ρυζάκι	609kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 4,77kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1322,8	1323,15	1322,94	1322,96	1322,86	1322,75	1322,76	1322,51

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,35	31,48506
30min	0,14	12,59402
1h	0,16	14,39317
1:30h	0,06	5,397438
4h	-0,05	-4,49787
4:30h	-0,04	-3,59829
24h	-0,29	-26,0876

Όπως φαίνεται από τον πίνακα το δοκίμιο αντί να απορροφήσει νερό, που ήταν και το αναμενόμενο, έχασε. Δεν κατορθώσαμε να εξηγήσουμε αυτή την απώλεια, γι' αυτό κάναμε πρόσθετα πειράματα τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 6.3 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 14 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 15 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 139 ημερών

Σύνθεση:	Τσιμέντο	300kg/m ³
	Νερό	201kg/m ³
	Άμμος	1325kg/m ³
	Ρυζάκι	609kg/m ³
	Πρόσθετο	SPL - P 4,77kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις	Ύψος	4,9 cm
	Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1290,24	1290,39	1290,33	1290,62	1290,28	1290,2	1290,2	1290,19

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,15	13,26964
30min	0,09	7,961783
1h	0,38	33,61642
1:30h	0,04	3,53857
4h	-0,04	-3,53857
4:30h	-0,04	-3,53857
24h	-0,05	-4,42321

Όπως φαίνεται από τον πίνακα το δοκίμιο αντί να απορροφήσει νερό, που ήταν και το αναμενόμενο, έχασε. Δεν κατορθώσαμε να εξηγήσουμε αυτή την απώλεια, γι'αυτό κάναμε πρόσθετα πειράματα τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 7.1 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 2 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 3 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 127 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	367kg/m ³
Νερό	239kg/m ³
Άμμος	1160kg/m ³
Ρυζάκι	611kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 1,2kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	11,8 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,01093 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1277,36	1278,15	1278,47	1278,7	1278,9	1279,49	1279,58	1281,04

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,79	72,27589
30min	1,11	101,5522
1h	1,34	122,5945
1:30h	1,54	140,8922
4h	2,13	194,8704
4:30h	2,22	203,1044
24h	3,68	336,6775

ΔΟΚΙΜΙΟ 7.2 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 6 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 7 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 131 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	367kg/m ³
Νερό	239kg/m ³
Άμμος	1160kg/m ³
Ρυζάκι	611kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 1,2kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	11,8 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,01093 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1264,92	1265,67	1265,75	1265,96	1266,1	1266,64	1266,74	1267,96

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,75	68,61635
30min	0,83	75,93542
1h	1,04	95,148
1:30h	1,18	107,9564
4h	1,72	157,3602
4:30h	1,82	166,509
24h	3,04	278,1249

ΔΟΚΙΜΙΟ 7.3 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 6 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 7 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 131 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	367kg/m ³
Νερό	239kg/m ³
Άμμος	1160kg/m ³
Ρυζάκι	611kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 1,2kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1255,48	1256,27	1256,39	1256,67	1256,75	1257,25	1257,44	1258,32

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,79	71,06627
30min	0,91	81,86114
1h	1,19	107,0492
1:30h	1,27	114,2458
4h	1,77	159,2244
4:30h	1,96	176,3163
24h	2,84	255,4787

ΔΟΚΙΜΙΟ 8.1 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 6 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 7 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 131 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	433kg/m ³
Νερό	277kg/m ³
Άμμος	1013kg/m ³
Ρυζάκι	595kg/m ³
Πρόσθετο	—

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1301,22	1302,29	1302,64	1302,85	1303,01	1303,5	1303,78	1304,79

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,07	96,25431
30min	1,42	127,7394
1h	1,63	146,6304
1:30h	1,79	161,0236
4h	2,28	205,1026
4:30h	2,56	230,2907
24h	3,57	321,1476

ΔΟΚΙΜΙΟ 8.2 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 6 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 7 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 131 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	433kg/m ³
Νερό	277kg/m ³
Άμμος	1013kg/m ³
Ρυζάκι	595kg/m ³
Πρόσθετο	—

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	11,7 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,010746 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1245,6	1246,3	1246,45	1246,71	1246,81	1247,23	1247,35	1304,79

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,7	65,14134
30min	0,85	79,10019
1h	1,11	103,2955
1:30h	1,21	112,6015
4h	1,63	151,6863
4:30h	1,75	162,8533
24h	59,19	5508,165

ΔΟΚΙΜΙΟ 8.3 N/T= 0,6

Έναρξη δοκιμής 6 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 7 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 131 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	433kg/m ³
Νερό	277kg/m ³
Άμμος	1013kg/m ³
Ρυζάκι	595kg/m ³
Πρόσθετο	—

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,2 cm
Διάμετρος	14,8 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,01093 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1408,85	1409,33	1409,57	1409,66	1409,95	1410,17	1410,34	1411,16

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,48	43,91446
30min	0,72	65,87169
1h	0,81	74,10565
1:30h	1,1	100,6373
4h	1,32	120,7648
4:30h	1,49	136,3178
24h	2,31	211,3383

ΔΟΚΙΜΙΟ 9.1 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 26 Νοεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 27 Νοεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 121 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	280kg/m ³
Νερό	162kg/m ³
Άμμος	1420kg/m ³
Ρυζάκι	638kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	4,91kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,2 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1470,31	1470,4	1470,44	1470,23	1470,23	1470	1470,18	1468,99

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,09	8,096157
30min	0,13	11,69445
1h	-0,08	-7,19658
1:30h	-0,08	-7,19658
4h	-0,31	-27,8868
4:30h	-0,13	-11,6944
24h	-1,32	-118,744

Όπως φαίνεται από τον πίνακα το δοκίμιο αντί να απορροφήσει νερό, που ήταν και το αναμενόμενο, έχασε. Δεν κατορθώσαμε να εξηγήσουμε αυτή την απώλεια, γι'αυτό κάναμε πρόσθετα πειράματα τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 9.2 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 26 Νοεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 27 Νοεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 121 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	280kg/m ³
Νερό	162kg/m ³
Άμμος	1420kg/m ³
Ρυζάκι	638kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	4,91kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,2 cm
Διάμετρος	11,8 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,01093 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1469,82	1469,95	1469,94	1469,85	1469,83	1469,67	1469,68	1468,85

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,13	11,8935
30min	0,12	10,97862
1h	0,03	2,744654
1:30h	0,01	0,914885
4h	-0,15	-13,7233
4:30h	-0,14	-12,8084
24h	-0,97	-88,7438

Όπως φαίνεται από τον πίνακα το δοκίμιο αντί να απορροφήσει νερό, που ήταν και το αναμενόμενο, έχασε. Δεν κατορθώσαμε να εξηγήσουμε αυτή την απώλεια, γι'αυτό κάναμε πρόσθετα πειράματα τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 9.3 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 26 Νοεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 27 Νοεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 121 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	280kg/m ³
Νερό	162kg/m ³
Άμμος	1420kg/m ³
Ρυζάκι	638kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	4,91kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,5 cm
Διάμετρος	11,8 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,01093 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1511,07	1511,41	1511,29	1511,28	1511,25	1511,07	1511,04	1510,15

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,34	31,10608
30min	0,22	20,12746
1h	0,21	19,21258
1:30h	0,18	16,46792
4h	0	0
4:30h	-0,03	-2,74465
24h	-0,92	-84,1694

Όπως φαίνεται από τον πίνακα το δοκίμιο αντί να απορροφήσει νερό, που ήταν και το αναμενόμενο, έχασε. Δεν κατορθώσαμε να εξηγήσουμε αυτή την απώλεια, γι' αυτό κάναμε πρόσθετα πειράματα τα οποία παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 10.1 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 30 Νοεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 1 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 125 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	360kg/m ³
Νερό	200kg/m ³
Άμμος	1243kg/m ³
Ρυζάκι	640kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - p 4,97kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,5 cm
Διάμετρος	12,1 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011493 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1522,28	1523,88	1524,3	1524,83	1525,16	1526,07	1526,26	1528,12

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,6	139,2129
30min	2,02	175,7563
1h	2,55	221,8706
1:30h	2,88	250,5833
4h	3,79	329,7606
4:30h	3,98	346,2922
24h	5,84	508,1272

ΔΟΚΙΜΙΟ 10.2 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 30 Νοεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 1 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 125 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	360kg/m ³
Νερό	200kg/m ³
Άμμος	1243kg/m ³
Ρυζάκι	640kg/m ³
Πρόσθετο SPL - p	4,97kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,1 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1416,58	1418,31	1418,74	1419,22	1419,57	1420,27	1420,48	1422,25

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,73	155,6261
30min	2,16	194,3078
1h	2,64	237,4873
1:30h	2,99	268,9723
4h	3,69	331,9424
4:30h	3,9	350,8335
24h	5,67	510,0579

ΔΟΚΙΜΙΟ 10.3 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 2 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 3 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 127 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	360kg/m ³
Νερό	200kg/m ³
Άμμος	1243kg/m ³
Ρυζάκι	640kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	4,97kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,1 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1371,82	1373,84	1374,47	1374,84	1375,05	1375,83	1375,96	1377,91

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	2,02	178,6978
30min	2,65	234,4303
1h	3,02	267,1621
1:30h	3,23	285,7396
4h	4,01	354,7417
4:30h	4,14	366,242
24h	6,09	538,7473

ΔΟΚΙΜΙΟ 11.1 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 26 Νοεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 27 Νοεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 121 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	440kg/m ³
Νερό	237,7kg/m ³
Άμμος	1068kg/m ³
Ρυζάκι	641kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	1,63kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1278,6	1279,38	1279,46	1279,52	1279,56	1279,71	1279,74	1279,73

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,78	70,1667
30min	0,86	77,36328
1h	0,92	82,76072
1:30h	0,96	86,35901
4h	1,11	99,8526
4:30h	1,14	102,5513
24h	1,13	101,6518

ΔΟΚΙΜΙΟ 11.2 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 30 Νοεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 1 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 125 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	440kg/m ³
Νερό	237,7kg/m ³
Άμμος	1068kg/m ³
Ρυζάκι	641kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	1,63kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,1 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1456,6	1457,49	1457,64	1457,77	1457,8	1458,03	1458,12	1458,49

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,89	80,062
30min	1,04	93,55559
1h	1,17	105,25
1:30h	1,2	107,9488
4h	1,43	128,6389
4:30h	1,52	136,7351
24h	1,89	170,0193

ΔΟΚΙΜΙΟ 11.3 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 30 Νοεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 1 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 125 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	440kg/m ³
Νερό	237,7kg/m ³
Άμμος	1068kg/m ³
Ρυζάκι	641kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 1,63kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,2 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1405,76	1406,73	1406,83	1406,91	1407	1407,21	1407,29	1407,74

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,97	85,81033
30min	1,07	94,65676
1h	1,15	101,7339
1:30h	1,24	109,6957
4h	1,45	128,2732
4:30h	1,53	135,3503
24h	1,98	175,1592

ΔΟΚΙΜΙΟ 12.1 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 26 Νοεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 27 Νοεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 121 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	520kg/m ³
Νερό	275,6kg/m ³
Άμμος	913kg/m ³
Ρυζάκι	621kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	0,63kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1290,57	1291,73	1291,86	1292,02	1292,12	1292,44	1292,44	1292,92

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,16	104,3505
30min	1,29	116,0449
1h	1,45	130,4381
1:30h	1,55	139,4338
4h	1,87	168,2202
4:30h	1,87	168,2202
24h	2,35	211,3997

ΔΟΚΙΜΙΟ 12.2 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 2 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 3 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 127 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	520kg/m ³
Νερό	275,6kg/m ³
Άμμος	913kg/m ³
Ρυζάκι	621kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	0,63kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,5 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1424,92	1426,26	1426,42	1426,7	1426,75	1427,08	1427,23	1427,93

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,34	118,5421
30min	1,5	132,6964
1h	1,78	157,4664
1:30h	1,83	161,8896
4h	2,16	191,0828
4:30h	2,31	204,3524
24h	3,01	266,2774

ΔΟΚΙΜΙΟ 12.3 N/T= 0,5

Έναρξη δοκιμής 2 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 3 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 127 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	520kg/m ³
Νερό	275,6kg/m ³
Άμμος	913kg/m ³
Ρυζάκι	621kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	0,63kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,5 cm
Διάμετρος	11,8 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,01093 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1482,81	1484,8	1485,19	1485,63	1485,92	1486,64	1486,84	1488,15

Χρόνος	m(l) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,99	182,062
30min	2,38	217,7425
1h	2,82	257,9975
1:30h	3,11	284,5291
4h	3,83	350,4008
4:30h	4,03	368,6985
24h	5,34	488,5484

ΔΟΚΙΜΙΟ 13.1 N/T= 0,4

Έναρξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 11 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 134 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	350kg/m ³
Νερό	161,3kg/m ³
Άμμος	1329kg/m ³
Ρυζάκι	670kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	7,03kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,4 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1521,24	1521,71	1521,69	1521,74	1521,8	1522,04	1522,02	1522,44

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,47	42,27993
30min	0,45	40,48079
1h	0,5	44,97865
1:30h	0,56	50,37609
4h	0,8	71,96584
4:30h	0,78	70,1667
24h	1,2	107,9488

ΔΟΚΙΜΙΟ 13.2**N/T= 0,4**

Έναρξη δοκιμής 14 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 15 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 138 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	350kg/m ³
Νερό	161,3kg/m ³
Άμμος	1329kg/m ³
Ρυζάκι	670kg/m ³
Πρόσθετο	CHEM 172 7,03kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,8 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1322,57	1322,71	1322,92	1322,72	1322,81	1322,84	1322,87	1323,05

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,14	12,59402
30min	0,35	31,48506
1h	0,15	13,4936
1:30h	0,24	21,58975
4h	0,27	24,28847
4:30h	0,3	26,98719
24h	0,48	43,1795

ΔΟΚΙΜΙΟ 13.3**N/T= 0,4**

Έναρξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 11 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 134 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	350kg/m ³
Νερό	161,3kg/m ³
Άμμος	1329kg/m ³
Ρυζάκι	670kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	7,03kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,8 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1317,7	1317,97	1318,02	1318,08	1318,11	1318,21	1318,22	1318,49

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,27	23,88535
30min	0,32	28,30856
1h	0,38	33,61642
1:30h	0,41	36,27035
4h	0,51	45,11677
4:30h	0,52	46,00142
24h	0,79	69,88677

ΔΟΚΙΜΙΟ 14.1**N/T= 0,4**

Έναρξη δοκιμής 15 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 16 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 139 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	450kg/m ³
Νερό	198,7kg/m ³
Άμμος	1120kg/m ³
Ρυζάκι	687kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	7,51kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Υψος	5,5 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1538,7	1539,88	1540,18	1540,28	1540,46	1540,73	1540,77	1541,5

Χρόνος	m(l) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,18	106,1496
30min	1,48	133,1368
1h	1,58	142,1325
1:30h	1,76	158,3249
4h	2,03	182,6133
4:30h	2,07	186,2116
24h	2,8	251,8804

ΔΟΚΙΜΙΟ 14.2 N/T= 0,4

Έναρξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 11 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 134 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	450kg/m ³
Νερό	198,7kg/m ³
Άμμος	1120kg/m ³
Ρυζάκι	687kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	7,51kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,5 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1525	1526,34	1526,55	1526,76	1526,91	1527,33	1527,4	1528,11

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,34	120,5428
30min	1,55	139,4338
1h	1,76	158,3249
1:30h	1,91	171,8184
4h	2,33	209,6005
4:30h	2,4	215,8975
24h	3,11	279,7672

ΔΟΚΙΜΙΟ 14.3**N/T= 0,4**

Έναρξη δοκιμής 8 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 9 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 132 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	450kg/m ³
Νερό	198,7kg/m ³
Άμμος	1120kg/m ³
Ρυζάκι	687kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 7,51kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1349,15	1350,34	1350,59	1350,81	1350,9	1351,22	1351,23	1351,89

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,19	107,0492
30min	1,44	129,5385
1h	1,66	149,3291
1:30h	1,75	157,4253
4h	2,07	186,2116
4:30h	2,08	187,1112
24h	2,74	246,483

ΔΟΚΙΜΙΟ 15.1**N/T= 0,4**

Έναρξη δοκιμής 8 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 9 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 132 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	550kg/m ³
Νερό	236,3kg/m ³
Άμμος	937kg/m ³
Ρυζάκι	678kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	4,17kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	11,8 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,01093 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1332,51	1333,81	1333,88	1334,14	1334,11	1334,42	1334,38	1334,9

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,3	118,935
30min	1,37	125,3392
1h	1,63	149,1262
1:30h	1,6	146,3815
4h	1,91	174,743
4:30h	1,87	171,0834
24h	2,39	218,6574

ΔΟΚΙΜΙΟ 15.2**N/T= 0,4**

Έναρξη δοκιμής 9 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 133 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	550kg/m ³
Νερό	236,3kg/m ³
Άμμος	937kg/m ³
Ρυζάκι	678kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	4,17kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	11,8 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,01093 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1352,2	1353,64	1353,81	1353,85	1354,12	1354,34	1354,4	1354,89

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,44	131,7434
30min	1,61	147,2964
1h	1,65	150,956
1:30h	1,92	175,6578
4h	2,14	195,7853
4:30h	2,2	201,2746
24h	2,69	246,104

ΔΟΚΙΜΙΟ 15.3**N/T= 0,4**

Έναρξη δοκιμής 8 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 9 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 132 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	550kg/m ³
Νερό	236,3kg/m ³
Άμμος	937kg/m ³
Ρυζάκι	678kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	4,17kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1311,37	1312,58	1312,64	1312,79	1312,84	1313,1	1313,14	1313,62

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,21	108,8483
30min	1,27	114,2458
1h	1,42	127,7394
1:30h	1,47	132,2372
4h	1,73	155,6261
4:30h	1,77	159,2244
24h	2,25	202,4039

ΔΟΚΙΜΙΟ 16.1**N/T= 0,4**

Έναρξη δοκιμής 9 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 133 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	650kg/m ³
Νερό	274kg/m ³
Άμμος	768kg/m ³
Ρυζάκι	655kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 1,29kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1317,46	1319,09	1319,26	1319,45	1319,67	1319,85	1320	1320,55

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,63	144,1967
30min	1,8	159,2357
1h	1,99	176,0439
1:30h	2,21	195,506
4h	2,39	211,4296
4:30h	2,54	224,6992
24h	3,09	273,3546

ΔΟΚΙΜΙΟ 16.2**N/T= 0,4**

Έναρξη δοκιμής 9 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 133 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	650kg/m ³
Νερό	274kg/m ³
Άμμος	768kg/m ³
Ρυζάκι	655kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	1,29kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,1 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1328,79	1330,42	1330,58	1330,77	1330,93	1331,22	1331,33	1331,73

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,63	146,6304
30min	1,79	161,0236
1h	1,98	178,1155
1:30h	2,14	192,5086
4h	2,43	218,5962
4:30h	2,54	228,4915
24h	2,94	264,4745

ΔΟΚΙΜΙΟ 16.3**N/T= 0,4**

Έναρξη δοκιμής 8 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 9 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 132 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	650kg/m ³
Νερό	274kg/m ³
Άμμος	768kg/m ³
Ρυζάκι	655kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	1,29kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,5 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1445,73	1447,4	1447,52	1447,71	1447,83	1448,16	1448,16	1448,83

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,67	147,7353
30min	1,79	158,351
1h	1,98	175,1592
1:30h	2,1	185,7749
4h	2,43	214,9682
4:30h	2,43	214,9682
24h	3,1	274,2392

ΔΟΚΙΜΙΟ 17.1**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 14 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 15 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 138 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	467kg/m ³
Νερό	159,6kg/m ³
Άμμος	1168kg/m ³
Ρυζάκι	731kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	8,09kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1382,5	1382,82	1382,73	1382,78	1382,79	1382,9	1382,9	1382,96

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,32	28,30856
30min	0,23	20,34678
1h	0,28	24,76999
1:30h	0,29	25,65464
4h	0,4	35,3857
4:30h	0,4	35,3857
24h	0,46	40,69356

ΔΟΚΙΜΙΟ 17.2**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 16 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 17 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 140 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	467kg/m ³
Νερό	159,6kg/m ³
Άμμος	1168kg/m ³
Ρυζάκι	731kg/m ³
Πρόσθετο CEM 172	8,09kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1398,69	1398,95	1399,03	1399,1	1399,07	1399,12	1399,14	1399,33

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,26	23,00071
30min	0,34	30,07785
1h	0,41	36,27035
1:30h	0,38	33,61642
4h	0,43	38,03963
4:30h	0,45	39,80892
24h	0,64	56,61713

ΔΟΚΙΜΙΟ 17.3**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 16 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 17 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 140 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	467kg/m ³
Νερό	159,6kg/m ³
Άμμος	1168kg/m ³
Ρυζάκι	731kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	8,09kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	11,8 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,01093 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1357,64	1357,94	1358,03	1358,04	1358,07	1358,08	1358,1	1358,26

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,3	27,44654
30min	0,39	35,6805
1h	0,4	36,59538
1:30h	0,43	39,34004
4h	0,44	40,25492
4:30h	0,46	42,08469
24h	0,62	56,72285

ΔΟΚΙΜΙΟ 18.1**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 8 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 9 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 132 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	600kg/m ³
Νερό	196,6kg/m ³
Άμμος	940kg/m ³
Ρυζάκι	739kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	3,18kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,0 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1430,5	1431,01	1430,98	1431	1431,14	1431,15	1431,12	1431,34

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,51	45,11677
30min	0,48	42,46285
1h	0,5	44,23213
1:30h	0,64	56,61713
4h	0,65	57,50177
4:30h	0,62	54,84784
24h	0,84	74,30998

ΔΟΚΙΜΙΟ 18.2**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 16 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 17 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 140 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	600kg/m ³
Νερό	196,6kg/m ³
Άμμος	940kg/m ³
Ρυζάκι	739kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	3,18kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	4,9 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1585,28	1585,98	1586,02	1586,11	1586,2	1586,25	1586,26	1586,44

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,7	61,92498
30min	0,74	65,46355
1h	0,83	73,42534
1:30h	0,92	81,38712
4h	0,97	85,81033
4:30h	0,98	86,69498
24h	1,16	102,6185

ΔΟΚΙΜΙΟ 18.3**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 11 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 134 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	600kg/m ³
Νερό	196,6kg/m ³
Άμμος	940kg/m ³
Ρυζάκι	739kg/m ³
Πρόσθετο CEM 172	3,18kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,5 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1588,82	1589,32	1589,34	1589,41	1589,45	1589,56	1589,6	1589,71

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,5	44,23213
30min	0,52	46,00142
1h	0,59	52,19391
1:30h	0,63	55,73248
4h	0,74	65,46355
4:30h	0,78	69,00212
24h	0,89	78,73319

ΔΟΚΙΜΙΟ 19.1**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 11 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 134 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	733kg/m ³
Νερό	234kg/m ³
Άμμος	737kg/m ³
Ρυζάκι	722kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 11,29kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,5 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1520,65	1521,58	1521,72	1521,83	1521,9	1522,04	1522,16	1522,3

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,93	82,27176
30min	1,07	94,65676
1h	1,18	104,3878
1:30h	1,25	110,5803
4h	1,39	122,9653
4:30h	1,51	133,581
24h	1,65	145,966

ΔΟΚΙΜΙΟ 19.2**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 9 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 133 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	733kg/m ³
Νερό	234kg/m ³
Άμμος	737kg/m ³
Ρυζάκι	722kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	11,29kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,4 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1513,3	1514,17	1514,16	1514,26	1514,39	1514,47	1514,5	1515,57

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,87	78,26285
30min	0,86	77,36328
1h	0,96	86,35901
1:30h	1,09	98,05346
4h	1,17	105,25
4:30h	1,2	107,9488
24h	2,27	204,2031

ΔΟΚΙΜΙΟ 19.3**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 9 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 133 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	733kg/m ³
Νερό	234kg/m ³
Άμμος	737kg/m ³
Ρυζάκι	722kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 11,29kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,1 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1389,41	1390,31	1390,43	1390,52	1390,61	1390,8	1390,81	1390,95

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,9	80,96157
30min	1,02	91,75645
1h	1,11	99,8526
1:30h	1,2	107,9488
4h	1,39	125,0406
4:30h	1,4	125,9402
24h	1,54	138,5342

ΔΟΚΙΜΙΟ 20.1 N/T= 0,3

Έναρξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 11 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 134 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	867kg/m ³
Νερό	271kg/m ³
Άμμος	557kg/m ³
Ρυζάκι	681kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 5,09kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,5 cm
Διάμετρος	12,0 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011304 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1410,69	1411,72	1411,8	1411,98	1412,06	1412,29	1412,5	1412,58

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	1,03	91,11819
30min	1,11	98,19533
1h	1,29	114,1189
1:30h	1,37	121,196
4h	1,6	141,5428
4:30h	1,81	160,1203
24h	1,89	167,1975

ΔΟΚΙΜΙΟ 20.2**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 11 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 134 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	867kg/m ³
Νερό	271kg/m ³
Άμμος	557kg/m ³
Ρυζάκι	681kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	5,09kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις Ύψος 5,2 cm
Διάμετρος 11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1407,52	1408,49	1408,63	1408,77	1408,86	1408,98	1409,04	1409,2

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,97	87,25858
30min	1,11	99,8526
1h	1,25	112,4466
1:30h	1,34	120,5428
4h	1,46	131,3377
4:30h	1,52	136,7351
24h	1,68	151,1283

ΔΟΚΙΜΙΟ 20.3**N/T= 0,3**

Έναρξη δοκιμής 10 Δεκεμβρίου 1999

Λήξη δοκιμής 11 Δεκεμβρίου 1999

Ηλικία δοκιμίου 134 ημερών

Σύνθεση:

Τσιμέντο	867kg/m ³
Νερό	271kg/m ³
Άμμος	557kg/m ³
Ρυζάκι	681kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 5,09kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

Διαστάσεις

Ύψος	5,5 cm
Διάμετρος	11,9 cm

Επιφάνεια απορρόφησης 0,011116 m²**Μετρήσεις υδαταπορρόφησης**

Χρόνος	0	15min	30min	1h	1:30h	4h	4:30h	24h
Βάρος (gr)	1521,15	1522,08	1522,22	1522,26	1522,4	1522,55	1522,8	1522,7

Χρόνος	m(t) - m ₀ (gr)	Απορρόφηση ανά μονάδα επιφάνειας gr/m ²
0	0,00	0,00
15min	0,93	83,66029
30min	1,07	96,25431
1h	1,11	99,8526
1:30h	1,25	112,4466
4h	1,4	125,9402
4:30h	1,65	148,4295
24h	1,55	139,4338

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Vα
ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΟΥΣ 50° C

ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΟΥΣ 50°C

Δοκίμιο	Βάρος					
	22-Δεκ	23-Δεκ	24-Δεκ	3-lav	10-lav	11-lav
5.2	1340,49	1334,96	1331,28	1317,35	1311,65	1311,0
5.3	1297,85	1291,96	1288,25	1273,97	1268,38	1267,73
6.2	1322,21	1316,34	1312,17	1294,77	1287,45	1286,54
6.3	1290,48	1284,26	1280,02	1263,1	1255,61	1254,73
9.2	1459,99	1455,76	1453,04	1441,85	1437,15	1436,58
9.3	1501,74	1496,24	1492,97	1480,18	1474,95	1474,37

Στα παραπάνω μίγματα υπάρχουν μόνο δύο δοκίμια από το καθένα γιατί το τρίτο κόπηκε στη μέση έτσι ώστε να παρατηρηθεί η κατανομή των αδρανών στο δοκίμιο

Δοκίμιο	Βάρος							
	12-lav	13-lav	14-lav	15-lav	17-lav	19-lav	21-lav	23-lav
7.1	1270,48	1266,34	1264,03	1261,67	1257,52	1253,94	1250,92	1248,32
7.2	1257,3	1253,27	1251,02	1248,5	1244,39	1241,00	1238,04	1235,46
7.3	1248,84	1244,55	1242,25	1239,69	1235,6	1232,15	1229,15	1226,55
8.1	1295,61	1290,44	1287,73	1284,78	1279,83	1275,68	1272,02	1268,66
8.2	1239,94	1235,14	1232,63	1229,2	1225,36	1221,54	1218,37	1215,83
8.3	1400,88	1396,56	1394,19	1391,78	1387,29	1383,58	1380,29	1377,3
10.1	1518,46	1515,62	1514,15	1512,27	1508,94	1506,11	1503,55	1501,23
10.2	1412,51	1409,32	1407,87	1406,31	1403,03	1400,28	1397,87	1398,02
10.3	1370,49	1367,13	1365,36	1363,67	1360,58	1357,8	1355,31	1353,33
11.1	1265,87	1261,47	1259,45	1257,32	1253,68	1250,49	1247,48	1244,83
11.2	1442,81	1439,21	1437,43	1435,31	1431,71	1428,65	1425,93	1423,27
11.3	1395,23	1390,00	1388,81	1386,66	1382,6	1379,26	1376,36	1373,56

ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΟΥΣ 50°C

Δοκίμιο	Βάρος				
	20-lav	21-lav	23-lav	24-lav	25-lav
12.1	1279,24	1274,36	1268,78	1266,99	1265,26
12.2	1414,07	1409,11	1403,42	1401,55	1399,99
12.3	1473,02	1469,25	1464,2	1462,72	1460,9
13.1	1515,93	1514,3	1511,89	1511,16	1510,46
13.2	1317,56	1315,74	1313,54	1312,96	1312,24
13.3	1312,87	1310,95	1308,73	1308,04	1307,29
14.1	1536,15	1533,31	1529,76	1528,61	1527,58
14.2	1521,04	1518,36	1514,96	1513,87	1512,78
14.3	1344,57	1341,66	1337,99	1336,83	1335,62

Δοκίμιο	Βάρος						
	24-lav	25-lav	26-lav	27-lav	28-lav	30-lav	31-lav
15.1	1327,18	1324,09	1321,95	1320,31	1318,84	1316,43	1315,55
15.2	1346,46	1343,05	1340,69	1338,84	1337,34	1334,86	1333,82
15.3	1304,77	1301,78	1299,78	1297,87	1296,45	1293,97	1293,1
16.1	1310,77	1307,35	1304,8	1302,74	1301,13	1298,13	1297,01
16.2	1322,83	1318,99	1316,28	1314,17	1312,56	1309,58	1308,36
16.3	1438,51	1435,04	1432,5	1430,4	1428,72	1425,68	1424,46
17.1	1377,98	1376,15	1374,9	1373,91	1373,11	1371,78	1371,35
17.2	1394,93	1393,1	1391,82	1390,83	1390,07	1388,96	1388,5
17.3	1354,16	1352,55	1351,42	1350,5	1349,86	1348,72	1348,27

Δοκίμιο	Βάρος				
	28-lav	30-lav	31-lav	1-Φεβ	2-Φεβ
18.1	1424,44	1420,88	1419,96	1419,05	1418,32
18.2	1582,05	1578,61	1577,71	1576,82	1576,03
18.3	1583,5	1580,08	1579,15	1578,21	1577,36
19.1	1515,07	1509,62	1508,26	1506,92	1505,78
19.2	1506,46	1501,27	1499,96	1498,7	1497,51
19.3	1383,42	1378,23	1376,96	1375,81	1374,79
20.1	1403,93	1398,13	1396,52	1395,17	1393,79
20.2	1401,53	1395,29	1393,86	1392,64	1391,35
20.3	1514,53	1509,07	1507,6	1506,13	1504,77

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

(Με ξήρανση στους 50° C μέχρι σταθερού βάρους)

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 5**N/T = 0,6**

Έναρξη δοκιμής 12 Ιανουαρίου 2000

Λήξη δοκιμής 14 Ιανουαρίου 2000

Σύνθεση:

Τσιμέντο	233kg/m ³
Νερό	163kg/m ³
Άμμος	1489kg/m ³
Ρυζάκι	608kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	7,89kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=20°C
 σχετική υγρασία RH=50%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)	
	Δοκίμιο 5.2	Δοκίμιο 5.3
0	1311,06	1267,85
15min	1311,56	1268,49
30min	1311,64	1268,48
1h	1311,81	1268,67
1:30h	1311,98	1268,7
4h	1312,44	1269,18
4:30h	1312,67	1269,33
24h	1314,83	1271,51

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 6**N/T = 0,6**

Έναρξη δοκιμής 12 Ιανουαρίου 2000

Λήξη δοκιμής 14 Ιανουαρίου 2000

Σύνθεση:

Τσιμέντο	300kg/m ³
Νερό	201kg/m ³
Άμμος	1325kg/m ³
Ρυζάκι	609kg/m ³
Πρόσθετο	SPL - P 4,77kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Θερμοκρασία T=20°C

σχετική υγρασία RH=50%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)	
	Δοκίμιο 6.2	Δοκίμιο 6.3
0	1286,58	1254,78
15min	1287,14	1255,41
30min	1287,36	1255,35
1h	1287,59	1255,61
1:30h	1287,78	1255,77
4h	1288,52	1256,41
4:30h	1288,64	1256,59
24h	1291,54	1259,37

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 7**N/T=0,6**

Έναρξη δοκιμής	24	Ιανουαρίου	2000
Λήξη δοκιμής	26	Ιανουαρίου	2000

Σύνθεση:	Τσιμέντο	367kg/m ³
	Νερό	239kg/m ³
	Άμμος	1160kg/m ³
	Ρυζάκι	611kg/m ³
	Πρόσθετο	SPL - P 1,2kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Θερμοκρασία T=19°C
 σχετική υγρασία RH=56%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 7.1	Δοκίμιο 7.2	Δοκίμιο 7.3
0	1248,59	1235,67	1226,74
15min	1249,62	1236,52	1228,1
30min	1250,00	1236,82	1228,57
1h	1250,6	1237,33	1229,49
1:30h	1251,11	1237,66	1230,1
4h	1252,93	1239,09	1232,53
4:30h	1253,20	1239,27	1232,84
24h	1259,40	1244,36	1240,73
48h	1262,95	1247,40	1245,52

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 8**N/T=0,6**

Έναρξη δοκιμής 24 Ιανουαρίου 2000

Λήξη δοκιμής 26 Ιανουαρίου 2000

Σύνθεση:

Τσιμέντο	433kg/m ³
Νερό	277kg/m ³
Άμμος	1013kg/m ³
Ρυζάκι	595kg/m ³
Πρόσθετο	—

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 111 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C
 σχετική υγρασία RH=56%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 8.1	Δοκίμιο 8.2	Δοκίμιο 8.3
0	1269,00	1216,07	1377,44
15min	1271,39	1217,73	1378,99
30min	1272,36	1218,4	1379,52
1h	1273,76	1219,29	1380,27
1:30h	1274,77	1219,8	1380,81
4h	1278,05	1221,78	1382,74
4:30h	1278,56	1222,00	1383,00
24h	1281,29	1226,87	1388,38
48h	1283,31	1228,93	1391,16

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 9**N/T = 0,5**

Έναρξη δοκιμής 12 Ιανουαρίου 2000

Λήξη δοκιμής 14 Ιανουαρίου 2000

Σύνθεση:

Τσιμέντο	280kg/m ³
Νερό	162kg/m ³
Άμμος	1420kg/m ³
Ρυζάκι	638kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	4,91kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=20°C

σχετική υγρασία RH=50%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)	
	Δοκίμιο 9.2	Δοκίμιο 9.3
0	1436,65	1474,51
15min	1437,18	1475,00
30min	1437,08	1475,11
1h	1437,11	1475,27
1:30h	1437,2	1475,4
4h	1437,41	1475,73
4:30h	1437,52	1475,82
24h	1438,57	1477,29

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 10

N/T=0,5

Έναρξη δοκιμής 24 Ιανουαρίου 2000

Λήξη δοκιμής 26 Ιανουαρίου 2000

Σύνθεση:

Τσιμέντο	360kg/m ³
Νερό	200kg/m ³
Άμμος	1243kg/m ³
Ρυζάκι	640kg/m ³
Πρόσθετο SPL -P	4,97kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C
σχετική υγρασία RH=56%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 10.1	Δοκίμιο 10.2	Δοκίμιο 10.3
0	1501,45	1396,11	1353,51
15min	1503,39	1398,68	1355,07
30min	1504,23	1399,73	1355,75
1h	1505,59	1401,35	1356,84
1:30h	1506,48	1402,48	1357,79
4h	1509,51	1406,13	1360,7
4:30h	1509,95	1406,60	1361,06
24h	1517,09	1413,71	1367,88
48h	1520,68	1417,39	1371,21

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 11**N/T=0,5**

Έναρξη δοκιμής 24 Ιανουαρίου 2000

Λήξη δοκιμής 26 Ιανουαρίου 2000

Σύνθεση:

Τσιμέντο	440kg/m ³
Νερό	237,7kg/m ³
Άμμος	1068kg/m ³
Ρυζάκι	641kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	1,63kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C

σχετική υγρασία RH=56%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 11.1	Δοκίμιο 11.2	Δοκίμιο 11.3
0	1245,20	1423,49	1373,98
15min	1248,07	1427,12	1377,24
30min	1249,10	1428,35	1378,44
1h	1250,6	1430,01	1380,03
1:30h	1251,69	1431,21	1381,12
4h	1254,92	1434,38	1384,18
4:30h	1255,37	1434,72	1384,61
24h	1262,19	1440,58	1390,98
48h	1265,61	1443,45	1394,07

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 12**N/T=0,5**

Έναρξη δοκιμής 26 Ιανουαρίου 2000

Λήξη δοκιμής 28 Ιανουαρίου 2000

Σύνθεση:

Τσιμέντο	520kg/m ³
Νερό	275,6kg/m ³
Άμμος	913kg/m ³
Ρυζάκι	621kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	0,63kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 108 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C

σχετική υγρασία RH=45%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 12.1	Δοκίμιο 12.2	Δοκίμιο 12.3
0	1265,69	1400,46	1461,32
15min	1268,97	1403,82	1464,22
30min	1270,00	1404,89	1465,59
1h	1271,25	1406,26	1467,1
1:30h	1271,91	1406,91	1467,9
4h	1273,85	1408,95	1470,05
4:30h	1274,15	1409,19	1470,44
24h	1278,47	1413,22	1474,84
48h	1280,5	1415,14	1476,79

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 13**N/T=0,4**

Έναρξη δοκιμής 26 Ιανουαρίου 2000

Λήξη δοκιμής 28 Ιανουαρίου 2000

Σύνθεση:

Τσιμέντο	350kg/m ³
Νερό	161,3kg/m ³
Άμμος	1329kg/m ³
Ρυζάκι	670kg/m ³
Πρόσθετο CHEM 172	7,03kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C

σχετική υγρασία RH=45%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 13.1	Δοκίμιο 13.2	Δοκίμιο 13.3
0	1510,56	1312,45	1307,41
15min	1511,09	1312,6	1307,61
30min	1511,08	1312,63	1307,69
1h	1511,12	1312,77	1307,74
1:30h	1511,42	1312,77	1307,77
4h	1511,55	1312,88	1308,02
4:30h	1511,45	1312,84	1308,00
24h	1512,16	1313,16	1308,5
48h	1512,44	1313,34	1308,76

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 14**N/T=0,4**

Έναρξη δοκιμής 26 Ιανουαρίου 2000

Λήξη δοκιμής 28 Ιανουαρίου 2000

Σύνθεση:

Τσιμέντο	450kg/m ³
Νερό	198,7kg/m ³
Άμμος	1120kg/m ³
Ρυζάκι	687kg/m ³
Πρόσθετο SPL - P	7,51kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Θερμοκρασία T=19°C
 σχετική υγρασία RH=45%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 14.1	Δοκίμιο 14.2	Δοκίμιο 14.3
0	1527,81	1512,99	1335,9
15min	1529,59	1515,23	1338,1
30min	1530,23	1515,92	1338,77
1h	1530,9	1516,72	1339,66
1:30h	1531,29	1517,1	1340,12
4h	1532,3	1518,24	1341,28
4:30h	1532,46	1518,50	1341,47
24h	1534,06	1520,53	1343,57
48h	1534,71	1521,36	1344,4

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 15**N/T=0,4**

Έναρξη δοκιμής 1 Φεβρουαρίου 2000
 Λήξη δοκιμής 3 Φεβρουαρίου 2000

Σύνθεση: Τσιμέντο 550kg/m³
 Νερό 236,3kg/m³
 Άμμος 937kg/m³
 Ρυζάκι 678kg/m³
 Πρόσθετο SPL - P 4,17kg/m³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C
 σχετική υγρασία RH=52%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 15.1	Δοκίμιο 15.2	Δοκίμιο 15.3
0	1315,86	1333,96	1293,45
15min	1318,91	1337,31	1296,45
30min	1319,54	1338,07	1297,09
1h	1320,35	1339,05	1298,01
1:30h	1320,86	1339,69	1298,52
4h	1321,95	1341,12	1299,81
4:30h	1322,12	1341,26	1299,89
24h	1324,43	1344,03	1302,33
48h	1325,63	1345,44	1303,47

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 16**N/T=0,4**

Έναρξη δοκιμής	1	Φεβρουαρίου	2000
Λήξη δοκιμής	3	Φεβρουαρίου	2000

Σύνθεση:	Τσιμέντο	650kg/m ³
	Νερό	274kg/m ³
	Άμμος	768kg/m ³
	Ρυζάκι	655kg/m ³
	Πρόσθετο SPL - P	1,29kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 116 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C
 σχετική υγρασία RH=52%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 16.1	Δοκίμιο 16.2	Δοκίμιο 16.3
0	1297,23	1308,86	1424,95
15min	1301,72	1313,37	1429,24
30min	1302,71	1314,3	1430,16
1h	1303,82	1315,39	1431,3
1:30h	1304,45	1316,1	1431,97
4h	1305,82	1317,45	1433,37
4:30h	1306,04	1317,65	1433,62
24h	1308,49	1320,07	1436,18
48h	1309,83	1321,43	1437,46

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 17**N/T=0,3**

Έναρξη δοκιμής	1	Φεβρουαρίου	2000
Λήξη δοκιμής	3	Φεβρουαρίου	2000

Σύνθεση:	Τσιμέντο	467kg/m ³
	Νερό	159,6kg/m ³
	Άμμος	1168kg/m ³
	Ρυζάκι	731kg/m ³
	Πρόσθετο CHEM 172	8,09kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C
 σχετική υγρασία RH=52%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 17.1	Δοκίμιο 17.2	Δοκίμιο 17.3
0	1371,55	1388,65	1348,45
15min	1372,09	1389,05	1348,82
30min	1372,20	1389,17	1348,92
1h	1372,37	1389,31	1349,08
1:30h	1372,51	1389,53	1349,26
4h	1372,8	1389,82	1349,47
4:30h	1372,92	1389,97	1349,57
24h	1373,52	1390,45	1350,04
48h	1373,86	1390,73	1350,36

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 18**N/T=0,3**

Έναρξη δοκιμής	3	Φεβρουαρίου	2000
Λήξη δοκιμής	5	Φεβρουαρίου	2000

Σύνθεση:	Τσιμέντο	600kg/m ³
	Νερό	196,6kg/m ³
	Άμμος	940kg/m ³
	Ρυζάκι	739kg/m ³
	Πρόσθετο CHEM 172	3,18kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C
 σχετική υγρασία RH=58%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 18.1	Δοκίμιο 18.2	Δοκίμιο 18.3
0	1418,64	1576,31	1577,51
15min	1419,93	1577,9	1578,84
30min	1420,41	1578,45	1579,44
1h	1420,87	1578,87	1579,7
1:30h	1420,88	1579,13	1579,96
4h	1421,17	1579,39	1580,00
4:30h	1421,76	1579,61	1580,53
24h	1422,52	1580,51	1581,47
48h	1422,73	1580,80	1581,73

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 19**N/T=0,3**

Έναρξη δοκιμής	3	Φεβρουαρίου	2000
Λήξη δοκιμής	5	Φεβρουαρίου	2000

Σύνθεση:	Τσιμέντο	733kg/m ³
	Νερό	234kg/m ³
	Άμμος	737kg/m ³
	Ρυζάκι	722kg/m ³
	Πρόσθετο SPL - P	11,29kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C
 σχετική υγρασία RH=58%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 19.1	Δοκίμιο 19.2	Δοκίμιο 19.3
0	1506,05	1497,93	1375,26
15min	1509,96	1500,88	1378,27
30min	1510,60	1501,72	1379,01
1h	1511,02	1502,15	1379,49
1:30h	1511,29	1502,44	1379,76
4h	1511,93	1502,99	1380,03
4:30h	1512,07	1503,29	1380,63
24h	1513,26	1504,61	1381,97
48h	1513,63	1505,02	1382,26

ΑΝΑΜΙΓΜΑ 20**N/T=0,3**

Έναρξη δοκιμής	3	Φεβρουαρίου	2000
Λήξη δοκιμής	5	Φεβρουαρίου	2000

Σύνθεση:	Τσιμέντο	867kg/m ³
	Νερό	271kg/m ³
	Άμμος	557kg/m ³
	Ρυζάκι	681kg/m ³
	Πρόσθετο SPL - P	5,09kg/m ³

Συντήρηση σε υγρό θάλαμο για 118 ημέρες

ΣΥΝΘΗΚΕΣ

θερμοκρασία T=19°C
 σχετική υγρασία RH=58%

Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης

Χρόνος	Βάρος (gr)		
	Δοκίμιο 20.1	Δοκίμιο 20.2	Δοκίμιο 20.3
0	1394,04	1391,81	1505,03
15min	1397,63	1395,47	1508,61
30min	1398,65	1396,42	1509,65
1h	1399,2	1396,92	1510,19
1:30h	1399,45	1397,18	1510,41
4h	1399,97	1397,68	1511,05
4:30h	1400,31	1397,98	1511,13
24h	1401,81	1399,39	1512,5
48h	1402,17	1399,69	1513,1

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Χρήστου Μ. Οικονόμου - Τεχνολογία του Σκυροδέματος , Εκδόσεις Art of Text , 2^η έκδοση
- 2) Θ. Π. Τάσιος , Κ. Αλιγιάκη – Ανθεκτικότητα Οπλισμένου Σκυροδέματος, Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα 1993
- 3) Sidney Mindess, J. Francis Young - Concrete
- 4) A. M. Neville – Properties of Concrete, Longman Scientific and Technical, 3rd edition
- 5) Ι. Δ. Δημητρίου – Μηχανική Ρευστών , Εκδοτικός οργανισμός Γρηγ. Φούντας, Αθήνα 1993
- 6) Ιωάννη Α. Δαπόντε - Παραδόσεις Τεχνολογίας Δομικών Υλικών, Β' Έκδοση, Θεσσαλονίκη 1991
- 7) Κανονισμοί α) Τεχνολογίας Σκυροδέματος, β) Τσιμέντου για έργα από Σκυρόδεμα, Α.Π.Θ. Έκδοση Υ.Δ. , Θεσσαλονίκη 1991
- 8) Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος – Σεμινάριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος
- 9) Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Αθήνα , Μάρτιος 1991
- 10) Neil Jackson and Ravindra K. Dhir – Civil Engineering Materials
- 11) Σ. Κόλλιας – Σκυρόδεμα , Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 1996
- 12) RILEM TC 116 – PCD : Permeability of Concrete as a Criterion of its Durability