



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Αναπληρωτής Καθηγητής Σ.ΚΟΛΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ
ΚΑΙ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ
ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

ΣΠΑΝΑΚΗ ΦΩΤΕΙΝΗ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Αναπληρωτής Καθηγητής Σ.ΚΟΛΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ
ΚΑΙ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ
ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΣΙΔΝΑΚΗ ΦΩΤΕΙΝΗ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΔΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Με ιδιαίτερη θερμότητα εκφράζουμε τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μας στον Αναπληρωτή καθηγητή κ. Στέλιο Κόλια για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές, καθώς και για την ψυχική και ηθική συμπαράσταση που μας προσέφερε καθ'όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μας εργασίας. Ένα εξίσου μεγάλο ευχαριστώ αναλογεί στον κ. Κώστα Γεωργίου, ο οποίος μας προσέφερε τη βοήθεια του κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Είναι σημαντικό για μια κατασκευή να έχει αντοχή και λειτουργικότητα σε όλη την προκαθορισμένη διάρκεια ζωής της. Ειδικά οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι αυτονόητο ότι πρέπει να αντέχουν στις διαδικασίες φθοράς, στις οποίες αναμένεται ότι θα εκτεθούν, δηλαδή πρέπει το σκυρόδεμα να είναι ανθεκτικό.

Μέχρι πρόσφατα υπήρχε άποψη ότι ανθεκτικό σκυρόδεμα είναι το δυνατό σκυρόδεμα. Θεωρητική προετοιμασία λοιπόν εξαντλείτο στην αντιμετώπιση των βλαβών που υφίστανται οι κατασκευές από τα φορτία. Δεν λαμβανόταν υπόψη η «απειλή» των φυσικοχημικών επιδράσεων. Όμως η συχνότητα βλαβών, εξαιτίας των φυσικοχημικών επιδράσεων, οδήγησε στην ανάγκη αντιμετώπισής τους. Έτσι είναι πλέον γνωστό ότι στο στάδιο σχεδιασμού των κατασκευών από σκυρόδεμα, πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο η αντοχή, όσο και η ανθεκτικότητά τους στις πολλές και σύνθετες συνθήκες, στις οποίες θα εκτεθούν.

Πρέπει εδώ να προσθέσουμε, ότι ανθεκτικότητα του σκυροδέματος δεν σημαίνει άπειρη ζωή, ούτε αντοχή σε οποιαδήποτε αντίδραση. Ανθεκτικότητα είναι η ικανότητα διατήρησης της κατασκευής σε ικανοποιητικό επίπεδο έναντι των περιβαλλοντικών επιδράσεων.

Η διερεύνηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος είναι αρκετά πολύπλοκη διότι παρεμβαίνουν πάρα πολύ παράγοντες που την επηρεάζουν (περιβάλλον, μέθοδοι κατασκευής και συντήρησης, μηχανισμός διείσδυσης στο σκυρόδεμα των διαβρωτικών παραγόντων). Ο σπουδαιότερος παράγοντας είναι η διαπερατότητα του σκυροδέματος και μία μέθοδος διερεύνησής της είναι η δοκιμή τριχοειδούς προσρόφησης.

Η εργασία είναι διαχωρισμένη σε δύο τμήματα :

- Το θεωρητικό μέρος, στο οποίο αναπτύσσονται βασικές αρχές της τεχνολογίας του σκυροδέματος. Περιλαμβάνονται επίσης στοιχεία για την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος, καθώς και την 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 την μελέτη των αποτελεσμάτων εξήχθησαν συμπεράσματα για την επίδραση της ποσότητας του ισιμεντοπολτού και του λόγου N/T στην τριχοειδή απορρόφηση του νερού και κατ' επέκταση στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Π ε ρ ι ε χ ό μ ε ν α

Κεφάλαιο 1

Σκυρόδεμα και υλικά παρασκευής του

1.1 Σκυρόδεμα	1
1.1.1 Ορισμός σκυροδέματος	1
1.1.2 Κατηγορίες σκυροδέματος	1
1.1.3 Συστατικά σκυροδέματος	2
1.2 Τσιμέντο	2
1.2.1 Συστατικά τσιμέντου	3
1.2.2 Τύποι τσιμέντου και κατηγορίες αντοχής	4
1.2.3 Χρήση τσιμέντων στην Ελλάδα	5
1.2.4 Ενυδάτωση τσιμέντου	5
1.2.5 Πήξη	6
1.3 Νερό αναμίξεως	7
1.4 Αδρανή υλικά	8
1.4.1 Προέλευση και αντοχή των αδρανών	9
1.4.2 Καθαρότητα	10
1.4.3 Κοκκομετρική διαβάθμιση	11
1.4.4 Μορφή και μέγεθος κόκκων	12
1.5 Πρόσθετα σκυροδέματος	13
1.5.1 Ρευστοποιητικά και υπερρευστοποιητικά	13
1.5.2 Επιβραδυντικά	14
1.5.3 Επιταχυντικά	14
1.5.4 Αερακτικά	15
1.5.5 Στεγανοποιητικά	15
1.5.6 Αντιπυρετικά	16

Κεφάλαιο 2

Αντοχή σκυροδέματος

2.1 Αντοχή	17
2.1.1 Ορισμοί	17
2.2 Μηχανισμός θραύσεως	18
2.3 Θλιπτική αντοχή	19
2.4 Εφελκυστική αντοχή	19
2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή	20
2.5.1 Επίρροη των συστατικών του σκυροδέματος	20
2.5.1.1 Τσιμέντο	20
2.5.1.2 Νερό	21
2.5.1.3 Αδρανή	21
2.5.1.4 Πρόσθετα	22
2.5.2 Επίρροη των μεθόδων παρασκευής	22
2.5.3 Επίρροη της συντήρησης	23
2.5.4 Επίρροη των συνθηκών δοκιμής	24
2.5.4.1 Μέγεθος και σχήμα των δοκιμίων	24

2.5.4.2	Περιεχόμενη υγρασία και θερμοκρασία του δοκιμίου	24
2.5.4.3	Μέθοδος φόρτισης	24

Κεφάλαιο 3

Ανθεκτικότητα σκυροδέματος

3.1	Ορισμός	26
3.2	Παράγοντες Ανθεκτικότητας	26
3.2.1	Περιβαλλοντικές συνθήκες	27
3.2.1.1	Διαθέσιμη υγρασία	27
3.2.1.2	Παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό	27
3.2.1.3	Θερμοκρασία	27
3.2.2	Διαπερατότητα σκυροδέματος	28
3.2.2.1	Σύσταση τσιμέντου	28
3.2.2.2	Λόγος N/T	28
3.2.2.3	Πορώδες	29
3.2.2.4	Συμπύκνωση	29
3.2.2.5	Συντήρηση	29
3.2.2.6	Υπαρξη ρωγμών	30
3.2.3	Φυσικές επιδράσεις	30
3.2.3.1	Μηχανικές φθορές	30
3.2.3.2	Επίδραση παγετού	33
3.2.3.3	Επίδραση αντιπαγωτικών αλάτων	34
3.2.4	Χημικές επιδράσεις	34
3.2.4.1	Οξεία	35
3.2.4.2	Θειικά άλατα	35
3.2.4.3	Επίδραση ελαιωδών ουσιών	36
3.2.4.4	Επίδραση θαλάσσιου ύδατος	37

Κεφάλαιο 4

Διάβρωση οπλισμού

Εισαγωγή.....	39
4.1 Εξέλιξη του φαινομένου της διάβρωσης	40
4.2 Ενανθράκωση.....	41
4.2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενανθράκωση	41
4.2.1.1 Συνθήκες περιβάλλοντος	41
4.2.1.2 Συντήρηση σκυροδέματος	41
4.2.1.3 Ποιότητα και πάχος επικάλυψης.....	42
4.2.2 Βάθος ενανθράκωσης	43
4.3 Επίδραση χλωριονίων	43
4.4 Διάβρωση σιδηροπλισμένου σκυροδέματος	44

Κεφάλαιο 5

Πειραματικές διαδικασίες

5.1	Σκοπός της εργασίας	46
-----	---------------------------	----

5.2	Υλικά παρασκευής δοκιμίων.....	46
5.3	Μίγματα σκυροδέματος	48
5.4	Παρασκευή δοκιμίων.....	53
5.5	Συντήρηση δοκιμίων.....	54
5.6	Περιγραφή πειραμάτων.....	54
5.6.1	Προεπεξεργασία δοκιμίων.....	54
5.6.2	Δοκιμή υδαταπορρόφησης ..	54
5.7	Επανάληψη δοκιμής.....	56

Κεφάλαιο 6

Παρουσίαση- Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

6.1	Παρουσίαση αποτελεσμάτων	57
6.2	Σχολιασμός αποτελεσμάτων	61
6.2.1	Υδαταπορρόφηση-Μορφή διαγραμμάτων	61
6.2.2	Επίδραση του λόγου N/T.....	64
6.2.3	Επίδραση ποσότητας τσιμεντοπολτού.....	65
6.2.4	Μεταβολή βάρους δοκιμίων σε σχέση με ποσότητα N+T	69
6.3	Συμπεράσματα	78
6.4	Συστάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	78

Διαγράμματα

Παραρτήματα

Βιβλιογραφία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ

1.1. Σκυρόδεμα

1.1.1. Ορισμός σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό δομικό υλικό, το οποίο στη σημερινή εποχή έχει επικρατήσει στον τομέα των κατασκευών, τόσο σαν άοπλο, όσο και σαν οπλισμένο. Παρασκευάζεται με την ανάμειξη τσιμέντου, αδρανών και νερού. Το μίγμα των ξερών υλικών με την προσθήκη νερού αποκτά συνοχή, πλαστικότητα και με την πάροδο του χρόνου σημαντικές μηχανικές αντοχές. Μετά τη σκλήρυνση του το σκυρόδεμα διατηρεί το σχήμα και τη μορφή του, γι' αυτό έχει γίνει απαραίτητο στις κατασκευές. Εκτός από τα παραπάνω συστατικά είναι δυνατό να προστεθούν στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του και ορισμένα χημικά πρόσθετα υλικά, που σκοπό έχουν τη βελτίωση των ιδιοτήτων του. Η γνώση των ιδιοτήτων των υλικών για κανένα άλλο δομικό υλικό δεν είναι τόσο απαραίτητη, όσο για το σκυρόδεμα.

1.1.2. Κατηγορίες σκυροδέματος

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος 97 (ΚΤΣ 97) για τη μελέτη και τη κατασκευή των τεχνικών έργων χρησιμοποιούνται οι κατηγορίες σκυροδέματος που δίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1.1 : Κατηγορίες σκυροδέματος σύμφωνα με ΚΤΣ 97

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	f_{ck} κυλίνδρου (MPa)	f_{ck} κύβου (MPa)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60

Ο πρώτος αριθμός κατηγορίας ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη του κυλίνδρου (διαμέτρου 15cm και ύψους 30cm) και ο δεύτερος ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη του κύβου (ακμής 15cm).

Ως χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου.[3].

1.1.3. Συστατικά σκυροδέματος

Τα κύρια συστατικά του σκυροδέματος :

- το τσιμέντο
- τα αδρανή
- 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 παρασκευάζεται από την όπτηση πλήρως ομογενοποιημένου μίγματος ασβεστόλιθου και αργίλου. Κατόπιν το δημιουργούμενο προϊόν, ονομαζόμενο Klinker, συνστέθεται με την κατάλληλη ποσότητα γύψου και προκύπτει η γνωστή μορφή του τσιμέντου ή αλλιώς «Τσιμέντο Portland». 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 την χημική σύνθεση των πρώτων υλών, από τον τρόπο παραγωγής και κυρίως από το χρόνο και την θερμοκρασία όπτησης. Στο τσιμέντο περιέχονται διάφορες χημικές ενώσεις οι οποίες συνίστανται από οξείδια που προσδιορίζονται και εκφράζονται με εκατοστιαία αναλογία στους διάφορους τύπους τσιμέντων. Οι κυριότερες ενώσεις του τσιμέντου Portland είναι : [1]

- το πυριτικό τριασβέστιο C_3S σε ποσοστό 54% κ.β.
- το πυριτικό διασβέστιο C_2S σε ποσοστό περίπου 17% κ.β.
- το αργλικό τριασβέστιο C_3A σε ποσοστό 19% κ.β.
- το αργλοσιδηρικό τετρασβέστιο C_4AF 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 $CaSO_4$, καθώς και τα αλκάλια K_2O και Na_2O .

Στον πίνακα 2 φαίνεται η αναλογία των οξειδίων σε τέσσερις βασικούς τύπους τσιμέντων :

Πίνακας 1.2 : Χημικά συστατικά διαφόρων τύπων τσιμέντων σε οξείδια με την % αναλογία του βάρους τους.[1]

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	0,4-0,5	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
Ποξολανικό Τσιμ.	43-58	20-22	6-9	2,5-3,5	0,1-0,3	1-2	2-3

1.2.2. Τύποι τσιμέντου και κατηγορίες αντοχής

Το τσιμέντο ανάλογα με τη σύνθεση, το βαθμό αλέσεως και τα πρόσθετα υλικά κατατάσσεται σε διάφορους τύπους και κατηγορίες αντοχής. [9]

ΤΥΠΟΣ I : Τσιμέντο Portland

Χαρακτηρίζεται το τσιμέντο που προέρχεται από την άλεση του κlinker και τις προσθήκες : α) γύψου (ελάχιστη αναγκαία για τη ρύθμιση της πήξεως, συνήθως 2-3 % κ.β.) και β) φίλλερ (filler έως 3 % κ.β.)

ΤΥΠΟΣ II : Τσιμέντο Portland με ποζολάνες

Χαρακτηρίζεται το τσιμέντο που προέρχεται από τα προαναφερθέντα υλικά και ποζολάνες σε ποσοστό 20 % κ.β. Κατά την άλεση προστίθεται και συναλέθεται με το klinker ποζολάνη, τεχνητή ή και φυσική σε ορισμένες ποσότητες, έτσι ώστε το σύνολο να μην υπερβαίνει το 20 %. Ειδικά το τσιμέντο με ποσοστό 10 % ποζολάνης ονομάζεται «Τσιμέντο Πόρτλαντ Ελληνικού Τύπου».

ΤΥΠΟΣ III : Ποζολανικά τσιμέντα Portland

Στα ποζολανικά τσιμέντα γίνεται συνάλεψη klinker, γύψου και ποζολάνης σε ποσοστό 20- 40 % κ.β. Παρουσιάζουν μικρότερη θερμότητα ενυδάτωσης και αυξημένη ανθεκτικότητα σε διαβρωτικά μέσα. Τα τσιμέντα του τύπου αυτού πρέπει να ικανοποιούν τη δοκιμή ποζολανικότητας του ΕΚΤ.

ΤΥΠΟΣ IV : Τσιμέντα Portland ανθεκτικά στα θειικά άλατα

Τα τσιμέντα αυτά δεν έχουν προσθήκες, αλλά το αργιλικό τριασβέστιο C_3A περιορίζεται σε ένα ποσοστό κάτω από κάποιο όριο π.χ. 5 %, ενώ στον τύπο I το C_3A μπορεί να φτάσει και 10-20 %.

Κατηγορίες αντοχής

Διακρίνονται τρεις κατηγορίες αντοχής, 35,45 και 55, που δηλώνουν σε MPa την αντοχή σε θλίψη που θα παρουσιάσουν τμήματα πρισματικών δοκιμών τσιμεντοκονιαμάτων, τυποποιημένης σύνθεσης, διαστάσεων 40x40x160 mm που ελέγχονται με τη δοκιμή ισοδύναμου κύβου. Οι απαιτήσεις σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό [9] δίνονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 1.3 : Απαιτήσεις σε θλιπτική αντοχή σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό.

Κατηγορία αντοχών	Αντοχή σε θλίψη (N/mm ²)			
	Αντοχή σε 2 μέρες min	Αντοχή σε 7 μέρες min	Αντοχή σε 28 μέρες min	max
35	-	15	25	45
45	10	-	35	55
55	15	-	45	-

1.2.3. Χρήση τσιμεντών στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα κυρίως χρησιμοποιούνται τώρα ο τύπος **Π/35** σε σακιασμένο τσιμέντο ή χύμα (το λεγόμενο κοινό) και το τσιμέντο τύπου **I/45** (μόνο χύδην).

Το τσιμέντο **I/55** χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ανάγκη για ανάπτυξη θλιπτικών αντοχών νωρίς και για γρήγορο ξεκαλούπωμα όπως είναι π.χ. αναγκαίο στην προκατασκευή. Το συνήθως χρησιμοποιούμενο τσιμέντο από βιομηχανίες έτοιμου σκυροδέματος είναι το **I/45** στην Αθήνα, ενώ στην επαρχία χρησιμοποιείται το **Π/35**. Το τσιμέντο **Π/45** που είναι και ποζολανικό και έχει μεγάλη αντοχή χρησιμοποιείται εκεί που υπάρχει ανάγκη για χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης (σγκόδη έργα, φράγματα, υπερχειλιστές στα έργα ΔΕΗ κλπ.) και ταυτόχρονα υψηλή αντοχή όπως απαιτείται στις σήραγγες.

Το τσιμέντο **Π/35** σε σάκους 50Kg χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή κονιαμάτων κατά το χτίσιμο και το σοβάτισμα των τοιχοποιιών.

Γέλος το λευκό τσιμέντο, που είναι συνήθως τύπου **I/55** χρησιμοποιείται για την παρασκευή διακοσμητικών προϊόντων τσιμέντου, ανεπίχρηστου αρχιτεκτονικού σκυροδέματος.[1]

1.2.4. Ενυδάτωση τσιμέντου

Η ενυδάτωση είναι 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 ενόσκεις κυλλοειδών διαστάσεων, κυρίως άμορφες, ενώσεις που ονομάζονται προϊόντα ενυδάτωσης ή πήγμα (gel).

Από την στιγμή που θα αναμιχθεί το τσιμέντο με το νερό και θα δημιουργηθεί μια γκριζοπράσινη πολύωδης μάζα, η τσιμεντοκονία,

αρχίζει το φαινόμενο της ενυδάτωσης. Η ρευστότητα του μίγματος βέβαια εξαρτάται από τις αναλογίες μίξης των δύο υλικών.

Το μίγμα αρχίζει να πήζει προοδευτικά μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Το φαινόμενο κατά το οποίο ο τσιμεντοπολτός χάνει διαδοχικά την ρευστότητά του και την ικανότητά του να παραμορφώνεται χωρίς ρηγματώση ονομάζεται πήξη και οι χαρακτηριστικές στιγμές αλλαγής του είναι η αρχή και το τέλος της πήξης. Ο τσιμεντοπολτός παραμένει εργίσιμος και δεκτικός παραμόρφωσης μέχρι την αρχή της πήξης. Κατά τον κινονισμό [9] για τα κοινά τσιμέντα η αρχή της πήξης δεν πρέπει να εμφανίζεται πριν από μία ώρα και το τέλος της μετά από 8 ώρες. Στην περίπτωση του σκυροδέματος ο αντίστοιχος χρόνος μέχρι την αρχή της πήξης γίνεται 2-4 φορές μεγαλύτερος. Οι παραπάνω διαχωρισμοί έχουν μεγάλη πρακτική σημασία για την γρήγορη και εύκολη σκυροδέτηση (χρόνος εργασιότητας) και για τον χρόνο απομάκρυνσης των ξυλοτύπων.

Κατά την διάρκεια της χημικής αντιδράσεως μεταξύ των συστατικών του τσιμέντου και του νερού παρουσιάζεται ελάττωση του όγκου των προϊόντων της αντιδράσεως, ίση με 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 τον λόγο Ν/Τ. 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 πολλοί σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να είναι γνωστοί είναι η θερμότητα ενυδάτωσης και η ταχύτητα αντίδρασης. Η θερμότητα ενυδάτωσης άλλες φορές είναι υποβοηθητική (π.χ. σε σκυροδετήσεις τον χειμώνα σε χαμηλές θερμοκρασίες, γιατί με τα κατάλληλα μέσα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προστασία του έργου από τον παγετό), ενώ άλλες φορές είναι παρεμποδιστική (π.χ. στις ογκώδεις κατασκευές, γιατί υπάρχει κίνδυνος ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων ή ρηγματώσεων εξαιτίας της ανυμοιόμορφης κατανομής της θερμότητας).

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

1.2.5. 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.

Κατά την διαδικασία της πήξης είναι δυνατόν υπό ορισμένες προϋποθέσεις, να παρατηρηθούν δύο φαινόμενα που εμφανίζονται με ξαφνική μείωση της εργασιμότητας του τσιμεντοπολτού, δηλαδή παρατηρείται ταχεία πήξη αμέσως μετά την ανάμιξη με το νερό, η *μεροδόπηξη* (false set) και η *ταχύπηξη* (flash set).

Η *μεροδόπηξη* δεν συνοδεύεται με έκλυση θερμότητας και εξαφανίζεται με επανάμιξη χωρίς ανάγκη προσθήκης νερού, ενώ αντίθετα η *ταχύπηξη* συνοδεύεται με σημαντική έκλυση θερμότητας και δεν αντιμετωπίζεται με επανάμιξη χωρίς την προσθήκη νερού.

1.3. Νερό αναμίξεως

Το νερό είναι ένα από τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Μαζί με το τσιμέντο παίρνει μέρος σε σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν, με τη δημιουργία ενυδρών ενώσεων του Ca και Al στην πήξη και σκλήρυνση του μίγματος. Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί δεν πρέπει να περιέχει επιβλαβή συστατικά που μπορούν να επηρεάσουν την ενυδάτωση.

Χαρακτηριστικό είναι όμως ότι οι διάφοροι κανονισμοί διαφέρουν πάρα πολύ μεταξύ τους ως προς την εκτίμηση και αξιολόγηση του νερού, καθώς και τις απαιτήσεις που θέτουν. Τούτο συμβαίνει, γιατί η δράση των διαφόρων ουσιών μεταβάλλεται ανάλογα με την ποιότητα του τσιμέντου, τη σύγχρονη παρουσία και άλλων στοιχείων, καθώς και ανάλογα με τη μορφή, δηλαδή τη χημική σύνθεση αυτών μέσα στο νερό. Τα μέγεθος της βλαπτικότητας όμως, εξαρτάται και από την περιεκτικότητα του τσιμέντου σε ασβέστιο. Έτσι η ίδια ποσότητα οργανικής ενώσεως μπορεί να έχει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τη χημική σύνθεση των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη παρασκευή του σκυροδέματος.

Για το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος μπορούμε γενικά να είμαστε περισσότερο ανεκτικοί, παρά για τα νερά που δρουν εξωτερικά και μόνιμα. Και αυτό γιατί η ποσοστιαία αναλογία του νερού αναμίξεως, και συνεπώς και κάθε ξένης ουσίας μέσα σε αυτό, είναι μικρή και εξάλλου γιατί οι ουσίες αυτές δρουν ώσπου να εξαντληθούν. Στην περίπτωση όμως εξωτερικών νερών, όπως το θαλάσσιο ή τα νερά των αποχετεύσεων, οι δράση τους είναι μόνιμη και η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών ανεξάντλητη.

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

α) Η ζάχαρη : Αν και ο τρόπος που δρα η ζάχαρη στο σκυροδέμα δεν είναι απόλυτα γνωστός θεωρείται μία από τις πιο επιβλαβείς ουσίες γιατί ανακόπτει τελείως τη χημική αντίδραση ανάμεσα στο τσιμέντο και το νερό και επομένως εμποδίζει την πήξη του σκυροδέματος. 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 επιτρεπτά όρια είναι πολύ ανεκτά οπότε και είναι προτιμότερο να μην υπάρχει καθόλου στο μίγμα.

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

γ) Λάδια και λίπη : Δρουν μηχανικά περιβάλλοντας τους κόκκους του τσιμέντου και παρεμποδίζοντας με αυτό τον τρόπο την επαφή τους με τα μόρια του νερού.

δ) Οι οργανικές ουσίες: Γενικά επηρεάζουν ανασταλτικά την πήξη.

Για την παρασκευή σκυροδέματος καταλληλότερο θεωρείται το πόσιμο νερό αφού διάφορα πειράματα που έγιναν έδειξαν ότι το σκυροδέμα με πόσιμο νερό εμφανίζει μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό από το σκυροδέμα που παρασκευάστηκε με απεσταγμένο ή θαλασσινό νερό. Το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 345 “ Υδωρ αναμίξεως και συντηρήσεως σκυροδέματος ” αναφέρει αναλυτικά τις απαιτήσεις για το νερό.

1.4. Αδρανή υλικά

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

απαιτήσεις : επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση και χημική ανεκτικότητα με την τσιμεντοκινία. Το συγγενέστερο υλικό προς την τσιμεντοκινία είναι τα πετρώματα και γι' αυτό κατά κανόνα ως αδρανή υλικά για την παρασκευή του κοινού τύπου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται συντρίμματα διειφόρων πετρωμάτων. Τα καταλλήλότερα πετρώματα είναι τα ασβεστολιθικά και τα πυριτικά.

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

Αδρανή από φυσικά πετρώματα

- ♦ Φυσικά ή σπλλεκτά αδρανή, που αποτελούνται από φυσικούς λίθινους κόκκους.

- ♦ Θραυστά αδρανή που αποτελούνται από κόκκους που προκύπτουν από την θραύση όγκων πετρώματος ή τη θραύση φυσικών αδρανών.

Αδρανή τεχνητά

- Θραυστά και εύφλεκτα αδρανή που κατασκευάζονται τεχνητά όπως σκουριά ψηκαμίνων, ρινίσματα σιδήρου, ίνες αμιάντου, διαγκωμένη άργιλος και άλλα.

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

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος :[1]

- Η αντοχή τους (αντοχή του μητρικού πετρώματος)
- Η καθαρότητα, η ύπαρξη ή όχι προσμίξεων
- Η πρόσφυση με την κονία
- Η χημική συμπεριφορά τους με τα άλλα συστατικά του σκυροδέματος ή με ουσίες που μπορεί να διεισδύσουν μέσα στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της ζωής του
- Το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων.

1.4.1. Προέλευση και αντοχή αδρανών

Για την παρασκευή του κοινού σκυροδέματος, στο οποίο η μηχανική αντοχή είναι το κυριότερο χαρακτηριστικό, έχει αντοχή σε θλίψη του μητρικού πετρώματος.

Οι κόκκοι των αδρανών πρέπει να έχουν τέτοια αντοχή, που να επιτρέπει την παρασκευή σκυροδέματος με τις απαιτούμενες ιδιότητες. Η

απαιτηση αυτή ικανοποιείται γενικά από τα φυσικής προελεύσεως αδρανή, συλλεκτά ή θραυστά, που στη φυσική τους κατάσταση έχουν υποστεί σημαντικές επιπονήσεις.

Εκτός από την παραπάνω αντοχή σε θλίψη, το πέτρωμα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κοιμούς και να μην αποσαθρώνεται από την επίδραση των καιρικών συνθηκών. Οι ιδιότητες αυτές χαρακτηρίζονται με τον όρο υγεία του πετρώματος. Επομένως τα κατάλληλα από άποψη αντοχής για την παραγωγή αδρανών, θεωρούνται τα αποσαθρωμένα, αποσχιζόμενα, αργιλικά και μαλακά πετρώματα.

Τέλος το πέτρωμα πρέπει να διαθέτει αρκετή αντοχή σε επιφανειακή φθορά, δηλαδή αντοχή σε επιφανειακή τριβή και σε επιφανειακές κρούσεις. Ο έλεγχος γίνεται με την συσκευή Los Angeles κατά τις Αμερικάνικες Προδιαγραφές ASTM C535 και C131. Η φθορά πρέπει να είναι μικρότερη του 40%.

1.4.2. Καθαρότητα

Με την έννοια αυτή εννοούμε ότι τα αδρανή δεν πρέπει να έχουν επάνω στην επιφάνειά τους ή μέσα στην μάζα τους ή αναμεταξύ τους ξένες ουσίες που μπορούν να εμποδίσουν την πρόσφυση με το κονίαμα ή να έχουν επιβλαβή χημική επίδραση στο τσιμέντο ή στο σίδηρο. Τα κυριότερα από τα επιβλαβή αυτά πρόσμικτα υλικά είναι :

1) Παιπάλη : Ως παιπάλη χαρακτηρίζεται το λεπτότερο τμήμα του υλικού που περνάει από το αμερικάνικο πρότυπο Νο 200 (75μm) και προσδιορίζεται σύμφωνα με την μέθοδο ΣΚ-305. Κατά τον Ελληνικό Κανονισμό η παιπάλη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% κ.β. της άμμου και το 1% του βάρους των χοντρότερων κλασμάτων (ρυζάκι, γαρμπύλι, σκόρα). Η παιπάλη απομακρύνεται όταν τα αδρανή πλυθούν με νερό.

2) Οργανικές Προσμίξεις : Στις οργανικές προσμίξεις περιλαμβάνονται υλικά οργανικής (ζωικής ή φυτικής) προελεύσεως, γαιάνθρακες και λιγνίτες. Τα οργανικά προϊόντα μπορεί να έχουν επίδραση στην πήξη της κονίας ή να δημιουργήσουν ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις (σκασίματα) στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η επίδρασή τους στην πήξη είναι μάλλον επιβραδυντική. Την ύπαρξη οργανικών ουσιών ελέγχουμε με τις αμερικάνικες προδιαγραφές ASTM C33 και C87.

3) Θειούχες Ενώσεις : Οι θειούχες ενώσεις μεταξύ των αδρανών έχουν επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος, και σε

μεγαλύτερη ποσότητα ή όταν είναι συγκεντρωμένες σε ορισμένα σημεία μπορούν να προκαλέσουν ρηγματώσεις από την τοπική διόγκωση του σκυροδέματος που προκαλούν.

Τα αποτελέσματα των θειούχων ενώσεων εξαρτώνται από τον τύπο τους και είναι περισσότερα έντονα, όταν οι θειούχες αυτές ενώσεις είναι διαλυτές στο νερό. Σημασία επίσης έχει και η δυνατότητα ή όχι του να διεισδύει μέσα στην μάζα του σκυροδέματος αέρας ή υγρασία. Οι Γερμανικοί Κανονισμοί ορίζουν ως μέγιστο ανεκτό όριο των θειούχων ενώσεων, μετρούμενο σε SO_3 , το 1% του βάρους των στεγνών αδρανών. Πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι η δράση των θειούχων ενώσεων γίνεται με το τσιμέντο και επομένως η ίδια ποσότητα SO_3 μπορεί να έχει διαφορετικό αποτέλεσμα ανάλογα με την ποσότητα του τσιμέντου στο σκυρόδεμα [1].

1.4.3. Κοκκομετρική διαβάθμιση

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

Ακριβέστερη εικόνα για τη γεωμετρική ποιότητα των αδρανών δίνει η κοκκομετρική διαβάθμιση. Κοκκομετρική διαβάθμιση ονομάζεται η διαδικασία που γίνεται στο μίγμα των αδρανών για τον προσδιορισμό της ποσοστιαίας αναλογίας των επιμέρους μεγεθών των κόκκων των αδρανών. [1]

Η κατανομή των κόκκων γίνεται με πρότυπα κόσκινα και η διαβάθμιση απεικονίζεται σε διάγραμμα. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνονται οι διάμετροι των οπών και στον κτιπκόρτιχο τα ποσοστά βάρους των αδρανών που διέρχονται από κάθε κόσκινο. Κάθε κοκκομετρική σύνθεση παριστάνεται με μια πολύγωνική γραμμή που ονομάζεται κοκκομετρική καμπύλη.

Ενώ ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύνθεσης του υλικού και η χάραξη της αντίστοιχης καμπύλης δεν παρουσιάζουν καμία δυσκολία, πολύ δυσκολότερη είναι η εκτίμηση και η αξιολόγηση της καμπύλης αυτής και η εκλογή της καταλληλότερης, για κάθε περίπτωση, από άποψη ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Η θεμελιώδης

άποψη είναι ότι οι κόκκοι πρέπει να διατάσσονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε ομάδα, από άποψη διαμέτρου, να εισχωρεί στη θέση των κενών που σχηματίζουν οι κόκκοι της αμέσως μεγαλύτερης ομάδας. Όταν αυτό συμβαίνει, τότε το τελικό μίγμα θα διαθέτει τα λιγότερα κενά και επομένως μεγαλύτερη πυκνότητα. Οι κανονισμοί με βάση τα πειραματικά δεδομένα και την εμπειρία από τα ντόπια υλικά κάθε χώρας καθορίζουν πρότυπες ζώνες μέσα στο όριο των οποίων πρέπει να βρίσκεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών που επιλέγονται. Οι καμπύλες αυτές είναι συνεχείς. Αν έχουμε μίγμα αδρανών ασυνεχοίς κοκκομετρικής διαβάθμισης η καμπύλη έχει ευθύγραμμα τμήματα παράλληλα στον άξονα οπών του κόσκινου.

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος χρησιμοποιούνται δύο σειρές κόσκινων : [3]

«Σειρά Γερμανικών Κόσκινων » με τετραγωνικές οπές κατά DIN 4187 και DIN 4188, με άνοιγμα οπών 0,2 – 31,5 mm.

«Σειρά Αμερικάνικων Κόσκινων» κατά ASTM E11, με άνοιγμα οπών από 0,2 – 38 mm.

Και προδιαγράφονται ζώνες μέσα στις οποίες πρέπει να κυμαίνονται οι διαβαθμίσεις των αδρανών ανάλογα με τις απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος (άοπλο-οπλισμένο, δονούμενο-ανιλήσιμο, ανθεκτικό σε απότριψη κλπ.).

1.4.4. Μορφή και μέγεθος κόκκων

Οι κόκκοι των αδρανών κατατάσσονται ανάλογα με τη γεωμετρική τους μορφή στις ακόλουθες κατηγορίες : σφαιρογυλοί, κυβοειδείς, γωνιώδεις, πλακοειδείς και επιμήκεις.

Το σχήμα ή η μορφή των κόκκων επηρεάζει, άμεσα από την επιρροή του μεγέθους τις 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 οι πλακοειδείς κόκκοι αυξάνουν την μηχανική αντοχή του σκυροδέματος. Γενικότερα για τη επίτευξη του μέγιστου 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 σκυροδέμα και ιδιαιτέρως 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 ποσότητά 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]

1.5 Πρόσθετα σκυροδέματος

Πρόσθετα υλικά ή βελτιωτικά του σκυροδέματος ονομάζονται τα υλικά που προστίθενται μέσα στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του για την βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του και για την αντιμετώπιση ορισμένων προβλημάτων κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης.

Με χρήση κάποιου πρόσθετου μπορούμε να έχουμε π.χ. αύξηση της εργασιμότητας και της συνεκτικότητας, αύξηση ή μείωση της εξιδρώσεως και της ικανότητας αντίλησεως, μείωση της θερμότητας ενυδατώσεως, ανάπτυξη πρώιμων μηχανικών αντοχών, μείωση της διαπερατότητας και αύξηση της ανθεκτικότητας σε παγοπληξία και άλλους διαβρωτικούς παράγοντες.[1]

Τα πρόσθετα ανάλογα με τα αποτελέσματά τους κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες : [1]

- ρευστοποιητικά και υπερρευστοποιητικά
- επιβραδυντικά
- επιταχυντικά
- αερακτικά
- στεγαντοποιητικά
- αντιπαγετικά

1.5.1. Ρευστοποιητικά και υπερρευστοποιητικά

Αυτή η κατηγορία προσθέτων περιέχει υλικά που προκαλούν αύξηση της ρευστότητας του μίγματος. Είναι τα περισσότερο διαδεδομένα πρόσθετα και έχουν προσδώσει νέες δυνατότητες εφαρμογών στο σκυρόδεμα. Επιτρέπουν την μείωση του νερού αναμίξεως με ταυτόχρονη αύξηση της εργασιμότητας ή διατήρησής της στα ίδια επίπεδα. Όπως είναι γνωστό η μείωση του νερού αναμίξεως (χαμηλότερος λόγος N/T) επιφέρει αύξηση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος και μείωση της διαπερατότητας του. Επίσης με την προσθήκη πρόσθετου μπορεί να διατηρηθεί ο ίδιος

λόγος Ν/Τ με το μίγμα σχεδιασμού αλλά να μειωθεί το ποσό του τσιμέντου. Έτσι δεν μεταβάλλεται η αντοχή του σκυροδέματος, αλλά προκύπτει σημαντική οικονομία στο τσιμέντο ή όπου επιζητείται μείωση της θερμότητας ενυδάτωσης.

1.5.2. Επιβραδυντικά

Ονομάζονται τα πρόσθετα που επιβραδύνουν την εξέλιξη της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε σκυροδετήσεις σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος και στην μεταφορά έτοιμου σκυροδέματος όπου λόγω των αναπόφευκτων καθυστερήσεων του αναμκτήρα απαιτείται επιβράδυνση του χρόνου πήξεως του σκυροδέματος ώστε να παρέχεται η δυνατότητα κατεργασίας του μερικές ώρες μετά την προσθήκη του νερού. Επίσης εφαρμόζονται επιτυχώς για την αποφυγή αρμών διακοπής εργασίας και μικρορηγματώσεων σε κατασκευές μεγάλης έκτασης.

Οι επιβριδιντές 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.

1.5.3. Επιταχυντικά

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

Επιταχυντικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται στις σκυροδετήσεις υπό χαμηλές θερμοκρασίες, γιατί βοηθούν στην πήξη του τσιμέντου που καθυστερεί λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας και μειώνουν τον χρόνο ειδικής προστασίας του σκυροδέματος από την πήξη. Χρησιμοποιούνται όταν είναι απαραίτητη η γρήγορη απομάκρυνση των ξυλοτύπων, όπως στην παγκοπή προκατασκευασμένων στοιχείων, όταν είναι αναγκαία η γρήγορη αποπεράτωση της κατασκευής ή όταν το στοιχείο πρόκειται να αναλάβει σύντομα εξωτερικά φορτία. Τα επιταχυντικά πρόσθετα σε αντίθεση με τα

επιβραδυντικά έχουν κατά κανόνα βλαβερή επίδραση στην τελική αντοχή.

1.5.4. Αερακτικά

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

Ο βαθμός αποτελεσματικότητας των αερακτικών εξαρτάται από το τσιμέντο και τα λεπτόκοκκα υλικά (ποζολανικά υλικά, τέφρες, μπετονίτης κ.ά.) τα οποία μειώνουν την αποτελεσματικότητά τους. Το σχήμα, η υφή και η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών του σκυροδέματος επηρεάζουν τη συνιστώμενη δόσολογία του αερακτικού. Επίσης, όσο πιο σκληρό είναι το νερό, τόσο πιο αυξημένη πρέπει να είναι η δόσολογία. Παρόμοια, υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε μεγαλύτερα ποσοστά αερακτικού. Συνιστάται η χρήση των αερακτικών σε μορφή διαλυμάτων. Εάν το υλικό είναι αποθηκευμένο για περισσότερο από έξι μήνες, πρέπει να ελέγχεται εκ νέου πριν χρησιμοποιηθεί.

Η 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. Βελτώνουν την εργασιμότητα και τη συνεκτικότητα του νωπού σκυροδέματος. Επίσης, η τάση για εξίδρωση και απόμιξη μειώνεται. Η εισαγωγή όμως κενών στο σκυρόδεμα μειώνει την 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. Έτσι, η μείωση του λόγου N/T θα αναπληρώσει την απώλεια αντοχής.

1.5.5. Στεγανοποιητικά

Η δράση των στεγανοποιητικών αποσκοπεί :

- στην αποφυγή μικροσκοπικών κοιλιοτήτων και ρηγματώσεων, π.χ. με τη βελτίωση του εργάσιμου και τη μείωση της απομίξεως και των συστολών
- στην ελάττωση του πορώδους, π.χ. με την ελάττωση του απαιτούμενου νερού αναμίξεως.
- στη μείωση της συνάφειας ή στην ανάπτυξη υδραπωθητικών δυνάμεων μεταξύ τσιμεντοκονιάματος και νερού.

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

Η επιτυχία των στεγανοποιητικών εξαρτάται πολύ από την καλή εφαρμογή, καθώς και από τη σύγχρονη βελτίωση της ποιότητας του σκυροδέματος και επομένως όλης της εργοταξιακής τεχνικής. Πρέπει μάλιστα να τονιστεί, ότι αν η προσθήκη του στεγανοποιητικού δημιουργήσει την εντύπωση ότι με αυτό έχει ήδη εξασφαλιστεί η στεγανότητα χωρίς καμία περαιτέρω φροντίδα, είναι προτιμότερο να εγκαταλειφθεί. [1]

1.5.6. Αντιπαγετικά

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται πρόσθετα που έχουν σκοπό να μειώσουν ή να άρουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις του παγετού κατά την περίοδο της πήξεως και επιτρέπουν έτσι τη σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η δράση τους κατά κανόνα δεν έχει ως αποτέλεσμα την ταχύνωση του σημείου πήξεως του νερού, αλλά τη βελτίωση άλλων ιδιοτήτων, που συντελούν στην αύξηση της αντοχής στον παγετό. Τα περισσότερα από τα αντιπαγετικά πρόσθετα που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι συνδυασμός αερακτικών, ρευστοποιητικών και επιταχυντικών. [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1. Αντοχή

Η αντοχή ορίζεται σαν το μέγιστο φορτίο που μπορεί να παραλάβει το σκυροδέμα 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 αναφέρει τις παρακάτω έννοιες σχετικά με την αντοχή του σκυροδέματος : [3]

«**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 υπό μία 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 μία σημαντικά μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος, αν ολόκληρη αυτή η ποσότητα μετατρεπόταν σε δοκίμια. Οι αναλογίες υλικών για την παρασκευή σκυροδέματος με μια ορισμένη μέση αντοχή,

δίνονται από τη Μελέτη Συνθέσεως. Το σκυρόδεμα της «σημαντικά μεγάλης ποιότητας» στην οποία αναφέρονται οι προηγούμενοι ορισμοί πρέπει να έχει πηριασκευαστεί με τα ίδια υλικά, τις ίδιες αναλογίες και τα ίδια μηχανικά μέσα.

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

2.2. Μηχανισμός θραύσεως

Το σκυρόδεμα αποτελείται από διαφορετικά υλικά (αδρανή, τσιμεντοκονία) κατά συνέπεια είναι ανομοιογενές υλικό. Σε αυτή την ανομοιογένεια προστίθενται και οι μικρορωγμές που υπάρχουν στη μάζα του πριν από οποιαδήποτε φόρτιση. Οι ρωγμές αυτές είναι διασκορπισμένες προς κάθε κατεύθυνση μέσα στη μάζα του υλικού, σε τρόπο ώστε να μην δημιουργείται μακροσκοπικώς ετερογενής συμπεριφορά. Αιτία της δημιουργίας των μικρορωγμών είναι η συστολή του τσιμεντοπολτού. Οι ρωγμές δε μεταβάλλονται, αν το φορτίο που θα επιβληθεί ισούται με το 1/3 του φορτίου θραύσεως. Όταν ξεπερίσει 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. [10]

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. [10]

Η ποσοτική εκτίμηση της κατανομής των τάσεων σε ένα ψαθυρό μικρορηγματωμένο υλικό μπορεί να γίνει με την 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:

$$\sigma_{cr} = \sqrt{2ET/\pi c}$$

$$C_{cr} = 2ET/\pi \sigma^2$$

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

Η θεωρία δεν μπορεί να εφαρμοστεί 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 5Μpa ως 200Μpa. Οι κατασκευές σκυροδέματος σχεδιάζονται με την παραδοχή ότι το σκυρόδεμα αντέχει μόνο τη θλίψη και ο εφελκυσμός παραλαμβάνεται εξολοκλήρου από τον οπλισμό.

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος [3] ο έλεγχος σε αντοχή 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 παραιοσκευής του σκυροδέματος (εργοστασιακό ή εργοταξιακό).

2.4. Εφελκυστική αντοχή

Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος ενδιαφέρει κυρίως τον σχεδιασμό δρόμων από σκυρόδεμα. Τα τμήματα του σκυροδέματος πρέπει να αντέχουν εφελκυστικές τάσεις που προκύπτουν από περιορισμούς 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 εκτίμησή 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 ποιότητά τους)
- Η μέθοδος παρασκευής
- Η συντήρηση
- Η μορφή της φόρτισης (τρόπος και ταχύτητα φόρτισης)

2.5.1. Επιρροή των συστατικών του σκυροδέματος

2.5.1.1. Τσιμέντο

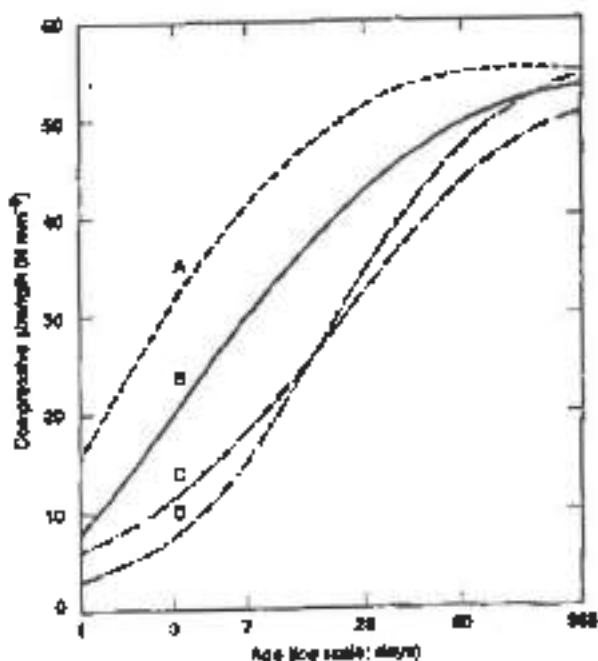
Η επίδραση του τύπου του τσιμέντου στην αντοχή του σκυροδέματος εξαρτάται από την λεπτότητα και την χημική του σύνθεση.

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 την 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 φαίνεται στον πίνακα 2.1 και το σχήμα 2.1

Πίνακας 2.1 : Χημική σύνθεση διαφόρων τσιμέντων Portland με όμοια λεπτότητα

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 τη 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 τη 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 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. Είναι για να επιτευχθεί ικανοποιητική συνάφεια τα αδρανή θα πρέπει να είναι γωνιώδη, με τραχεία επιφάνεια χωρίς πρόσθετες ουσίες (όπως άργιλος ή λάς) στην επιφάνειά 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 10-50 mm.

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.

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 την σύνθεση κάθε μίγματος και κάθε πρόσθετου, καθώς και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

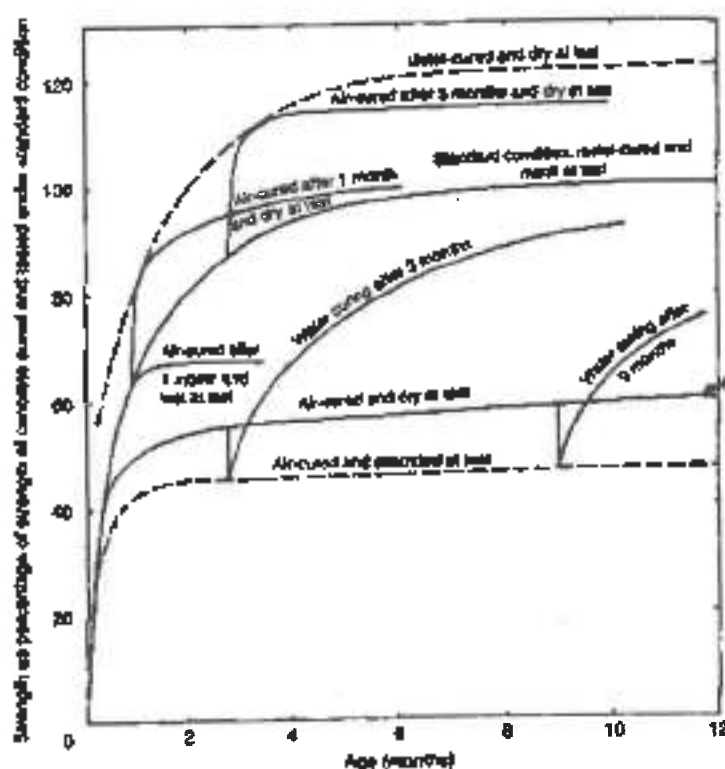
2.5.2. Επιρροή των μεθόδων παρασκευής

Κατά την διάρκεια της παρασκευής του σκυροδέματος πρέπει να προσεχθεί η ανάμιξη των υλικών. Αν δεν αναμειχθούν επαρκώς θα προκύψει σκυρόδεμα χαμηλής αντοχής. Εξίσου πρέπει να προσεχθεί η διάσπρωση και συμπίκνωσή του για να μην υπάρξουν παρενέργειες όπως απόμειξη, εξίδρωση ή κυνελίδες 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, γιατί 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

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

Η θερμοκρασία συντήρησης είναι σημαντική ως προς την ανάπτυξη της αντοχής του με τον χρόνο. Ο ρυθμός αύξησης της αντοχής του σκυροδέματος που γίνεται με συνηθισμένο τσιμέντο Portland αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας σε μικρές ηλικίες. Κατά την διάρκεια της

εντύπισης και πήξης του σκυροδέματος η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη της αντοχής του.[10]

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 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 την θερμοκρασία. Η επίδραση του στην αντοχή διαφέρει ανάλογα με τα πειράματα που γίνονται.

Στα πειράματα για τον καθορισμό της θλιπτικής αντοχής το σκυρόδεμα που έχει ξηραθεί στον αέρα έχει σημαντικά υψηλότερη αντοχή από αυτό που βρίσκεται σε κορεσμένη κατάσταση. Αντίθετα όταν πρόκειται για εφελκυσμό η αντοχή κορεσμού 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 την 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 πιθανόν να επιτευχθεί με την διατήρηση σταθερού φορτίου μικρότερου από τον φορτίο αστοχίας. Το μέγεθος του μπορεί να είναι μέχρι 85% της στατικής αντοχής. Η αύξηση βέβαια εξαρτάται από την διάρκεια εφαρμογής και το μέγεθος του φορτίου, τον τύπο και την ηλικία του σκυροδέματος.[4]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κάθε κατασκευή από σκυρόδεμα πρέπει να διατηρεί την απαιτούμενη αντοχή και λειτουργικότητα κατά τη διάρκεια της απαιτούμενης λειτουργικής ζωής της. Αυτό σημαίνει ότι το σκυρόδεμα πρέπει να αντέχει στη διαδικασία της αυτοσάθρωσης στην οποία πρόκειται να εκτεθεί.

Πρέπει να τονίσουμε ότι αντοχή δεν σημαίνει ζωή επ' αόριστο, ούτε σημαίνει ότι το σκυρόδεμα θα αντέχει οποιαδήποτε κατάσταση.

Μέχρι πρότινος το ενδιαφέρον της τεχνολογίας του σκυροδέματος ήταν επικεντρωμένο στην επίτευξη υψηλότερων αντοχών. Κυριαρχούσε δηλαδή η άποψη ότι το σκυρόδεμα με σχετικά μεγάλη αντοχή ήταν και ανθεκτικό. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι είναι πολύ δύσκολο να γίνει πρόβλεψη για την συμπεριφορά του σκυροδέματος μετά από πολλά χρόνια, αφού το μεγαλύτερο μέρος της γνώσης πάνω στην ανθεκτικότητα προέρχεται από βραχυπρόθεσμα πειράματα. Είναι όμως πλέον γνωστό ότι 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 ικανότητά της να ανθίσταται στις περιβαλλοντικές επιδράσεις (φυσικές ή χημικές) χωρίς να χάνει τις ιδιότητες αντοχής και λειτουργικότητας κάτω από ένα ανεκτό όριο.[2]

3.2. Παράγοντες ανθεκτικότητας

Οι βασικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την ανθεκτικότητα είναι: [2]

- Οι περιβαλλοντικές συνθήκες
- Η διαπερατότητα του σκυροδέματος
- Οι διάφορες φυσικές και χημικές επιδράσεις.

3.2.1. Περιβαλλοντικές συνθήκες

3.2.1.1. Διαθέσιμη υγρασία

Όλοι οι μηχανισμοί φθοράς για να πραγματοποιηθούν απαιτούν νερό. Σημασία συνήθως έχει η περιεχόμενη στο σκυρόδεμα υγρασία και όχι η υγρασία της ατμόσφαιρας. [2]

Η διαπερατότητα του σκυροδέματος έναντι αερίων μειώνεται σημαντικά με αύξηση της υγρασίας, για να φτάσει σε μηδαμινά όρια στην περίπτωση κορεσμένου σκυροδέματος. Με τη βροχή ο κορεσμός μπορεί να επιτευχθεί πολύ γρήγορα, λόγω της τριχοειδούς απορροφήσεως. Ακόμα όμως και χωρίς βροχή, μια νυχτερινή πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να συνοδεύεται από υγραποίηση των υδρατμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Σε περίπτωση σκυροδέματος βυθισμένου σε νερό, η διείσδυση του νερού γίνεται αρχικά με τριχοειδή απορρόφηση, επιταχυνόμενη από την υδραυλική πίεση. Τέλος, παρατηρείται συνεχής μεταφορά ύδατος μέσα σε σκυρόδεμα το οποίο είναι μερικώς βυθισμένο σε νερό, όταν το νερό εξατμίζεται από τις εκτεθειμένες στον αέρα επιφάνειες. [2]

3.2.1.2. Παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό

Ένας άλλος παράγοντας είναι η παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό. Τέτοιες ουσίες είναι . διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο, ιόντα χλωρίου, οξέα, θειικά άλατα, αλκάλια ή ιόντα μαγνησίου.

3.2.1.3. Θερμοκρασία

Η επίδραση της θερμοκρασίας παίζει σημαντικό ρόλο καθώς η αύξησή της επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις. Είναι γνωστό ότι στις περισσότερες περιπτώσεις αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C διπλασιάζει την ταχύτητα της αντιδράσεως.

3.2.2. Διαπερατότητα σκυροδέματος

Διαπερατότητα ονομάζουμε την ευκολία με την οποία τα ρευστά μπορούν να κινηθούν μέσα στο σκυροδέμα. Τέτοια ρευστά είναι το νερό και τα αέρια οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Σκυροδέμα με χαμηλή διαπερατότητα έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε φυσικές και χημικές επιδράσεις.[2] Αυτό συμβαίνει γιατί αυξάνεται η δυσκολία στην κίνηση των ρευστών σωματιδίων μέσα σε αυτό. Η διαπερατότητα εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους : [2]

- Στάση του τσιμέντου
- Λόγος Νερού /Τσιμέντου
- Πορώδες
- Συμπίκνωση
- Συντήρηση
- Ύπαρξη ρωγμών

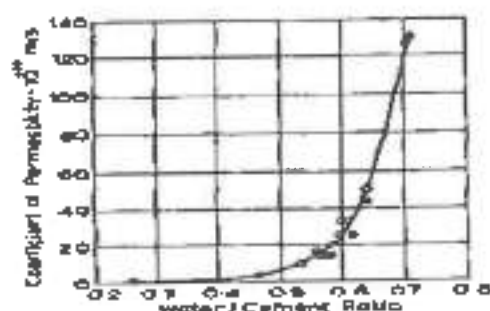
3.2.2.1. Σύσταση Τσιμέντου

Όταν το σκυροδέμα περιέχει τσιμέντο σε ποσότητα μεγαλύτερη από 300 Kg/m^3 (υπό τον όρο βέβαια ότι θα έχει μικρό λόγο N/T και ότι θα γίνει προσεκτική συντήρηση) τότε έχει σχετικώς μικρή διαπερατότητα. Διάφορα πρόσθετα στο τσιμέντο μπορεί να επηρεάσουν τη διαπερατότητα του σκυροδέματος.

3.2.2.2. Λόγος N/T

Όσο μικρότερος είναι ο λόγος N/T , τόσο μικρότερη είναι η διαπερατότητα. Όταν ο λόγος N/T ξεπεράσει την τιμή 0,6 η διαπερατότητα του σκυροδέματος αυξάνεται δυσανάλογως, επειδή αυξάνεται το μέγεθος και ο αριθμός των τριχοειδών πόρων.[2]

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται πώς επηρεάζεται ο συντελεστής διαπερατότητας από τον λόγο N/T :

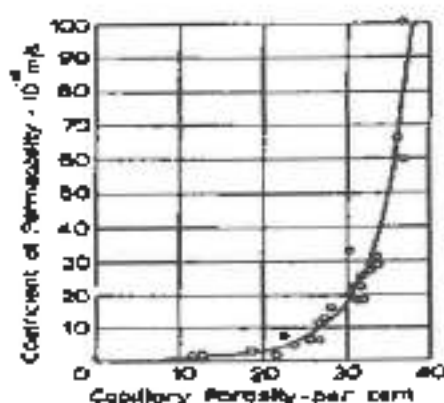


Σχήμα 3.1 : Σχέση μεταξύ διαπερατότητας και λόγου N/T .

3.2.2.3. Πορώδες

Το μέγεθος και η κατανομή των πόρων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαπερατότητα του σκυροδέματος. Συνήθως η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε φυσικές και χημικές επιδράσεις μειώνεται όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε τριχοειδείς πόρους. Ακόμα όμως κι αν το πορώδες είναι υψηλό, έχουμε δύσκολη κίνηση των ρευστών (μικρή διαπερατότητα), αν οι πόροι είναι ασυνεχείς.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η σχέση μεταξύ διαπερατότητας και πορώδους.



Σχήμα 3.2 : Σχέση μεταξύ διαπερατότητας και πορώδους.

3.2.2.4. Συμπύκνωση

Με την συμπύκνωση προσπαθούμε να μειώσουμε τα κενά πέρα στο σκυρόδεμα σε περιεκτικότητα μικρότερη από 1-2 %. Με τη δόνηση ο αέρας και το νερό μεταφέρονται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος μειώνοντας έτσι το πορώδες. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται κάπως η διαπερατότητα κατά την κατακόρυφη διεύθυνση διότι δημιουργούνται τριχοειδείς πόροι. Η αύξηση της διαπερατότητας όμως είναι προσωρινή διότι όσο συνεχίζεται η διαδικασία της ενυδάτωσης οι τριχοειδείς πόροι σφραγίζονται. [2]

3.2.2.5. Συντήρηση

Η συντήρηση γίνεται με σκοπό :

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

(β) Να προστατεύσει το σκυρόδεμα από τις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας.

Η απαιτούμενη διάρκεια συντηρήσεως εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου το οποίο χρησιμοποιείται και από τις συνθήκες περιβάλλοντος κατά την σκυροδέτηση. Ο ελάχιστος χρόνος συντήρησης για σκυροδέματα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ανθεκτικότητας ορίζεται ίσος με 7 ημέρες.[3] Η συντήρηση πρέπει να αρχίσει αμέσως μετά τη σκυροδέτηση και να μην διακοπεί, διότι η διαδικασία σκληρύνσεως συνεχίζεται με δυσκολία όταν διακοπεί μια φορά.

3.2.2.6. Ύπαρξη ρωγμών

Με την ύπαρξη των ρωγμών διευκολύνεται η διείσδυση βλαβερών ουσιών προς τον σπλισμό του σκυροδέματος.

Η δημιουργία αυτών των ρωγμών μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες : [2]

- Ρηγμάτωση νεοσσι σκυροδέματος
- Συστολή ξηράνσεως
- Διάβρωση σπλισμού
- Αντίδραση αδρανών-αλκαλίων
- Εναλλαγές παγετού-τήξεως
- Εποχιακές μεταβολές θερμοκρασίας
- Πρόωρη θερμική συστολή
- Υπερφόρτιση
- Ερπυσμός
- Συστελλόμενα αδρανή

3.2.3. Φυσικές επιδράσεις

3.2.3.1. Μηχανικές φθορές

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

- Α) Μηχανική φθορά δαπέδων από σκυροδέμα εκτεθειμένων στον αέρα (απότριψη)
- Β) Μηχανική φθορά υδραυλικών κατασκευών (υδροφθορά)
- Γ) Σπηλαίωση

Α) Απότριψη σκυροδέματος

Προκαλείται από την κυκλοφορία πεζών, την ολίσθηση αντικειμένων, την πρόσκρουση οχημάτων ή αντικειμένων, την κυκλοφορία φορηγών κτλ. Το τσιμεντοκονίαμα έχει μικρότερη αντοχή σε απότριψη από τα αδρανή που περιέχονται στο σκυροδέμα. Έτσι αυτό φθείρεται πρώτο με αποτέλεσμα να εμφανίζονται τα αδρανή στην επιφάνεια του σκυροδέματος και με την τριβή να υποκλύονται και αυτά, δημιουργώντας ορατές ανωμαλίες.

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

- Η αντοχή του σκυροδέματος

Όσο αυξάνεται η ήλπιτική αντοχή, τόσο πιξάνεται και η ανθεκτικότητα σε απότριψη

- Ο λόγος N/T

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

- Το είδος των αδρανών

Το είδος των αδρανών φαίνεται ότι παίζει ρόλο στα σκυροδέματα με χαμηλή αντοχή (21-35 Μpa) 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 νέου 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]

Β) Υδροφθορά σκυροδέματος

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

- Η ταχύτητα της 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.

Γ) Σπηλαιώση

Το φαινόμενο της σπηλαιώσης 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 τον βρασμό. Όταν δημιουργούνται οι παραπάνω συνθήκες στην ροή του νερού οι φυσαλίδες ακολουθούν την ροή, αν όμως φτάσουν 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 την δημιουργία ισχυρότατων τοπικών πιέσεων.

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

3.2.3.1. Επίδραση παγετού

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

Ευπαθή σε φθορά λόγω παγετού είναι τα πορώδη υλικά που περιέχουν νερό στη μάζα τους, όπως το σκυρόδεμα. Ο μηχανισμός φθοράς δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως. Βασική αιτία είναι η αύξηση του όγκου λόγω της πήξης του νερού. Η διόγκωση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία τάσεων και πίεση του νερού στους γειτονικούς πόρους.

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 10 μm παγώνουν στους -5°C , ενώ διαμέτρων 3,5 μm στους -20°C . Έτσι, για να υπάρξει ισορροπία πίεσεως το νερό από τους μικρότερους πόρους που πιέζονται περισσότερο, αναζητά κενό και «μεταναστεύει» στους μεγαλύτερους όπου παγώνει πιο γρήγορα με αποτέλεσμα ξανά την αύξηση τάσεων.

Η φθορά λόγω επιδράσεως παγετού εμφανίζεται στο σκυρόδεμα ή με ριγμάτωση ή με απολέπιση και αποφλοιώσή του ή με υγρή εμφάνιση αυτού. Οι τάσεις που αναπτύσσονται μέσα στο σκυρόδεμα προκαλούν ριγμάτωση. Συνήθως οι ρωγμές εμφανίζονται σε όλη την επιφάνεια του σκυροδέματος. Το εύρος των ρωγμών δε ξεπερνά τα 0,25 mm, ενώ το βάθος τους περιορίζεται σε 35 mm από την επιφάνεια. Επίσης λόγω του παγετού, αφαιρούνται επιφανειακά μικρά κομμάτια σκυροδέματος υπό μορφή λεπίδων και δημιουργούνται έτσι μικρές κοιλότητες. Σε περίπτωση πολύ σοβαρής φθοράς, είναι δυνατόν να αφαιρεθούν και μεγάλα κομμάτια σκυροδέματος (αποφλοιώση). Τέλος, όταν το σκυρόδεμα έχει υποστεί την επίδραση παγετού σε μικρή ηλικία, τότε φαίνεται σαν να είναι υγρό. Το σκυρόδεμα είναι σκουρόχρωμο και θραύεται εύκολα. [2]

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. Μερικό στεγνό σκυρόδεμα δεν επηρεάζεται από τον παγετό, γιατί οι πόροι μεγάλης μεγέθους είναι άδαιοι 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 Ν/Γ 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

αερακτικό σε όλα τα σκυροδέματα που αναμένεται να εκτεθούν σε παγετό.

3.2.3.2. Επίδραση αντιπαγωτικών αλάτων

Η επίδραση των αντιπαγωτικών αλάτων, ιδίως σε συνδυασμό με τον παγετό, είναι ιδιαίτερα επιζήμια για το σκυρόδεμα. Σήμερα τα αντιπαγωτικά άλατα χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες από ότι θα έπρεπε. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε δρόμους, πεζοδρόμια και εξωτερικές σκάλες. Τα αντιπαγωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2) και το χλωριούχο νάτριο (NaCl).

Η προσθήκη αντιπαγωτικού αλάτος 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.

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 αντιπαγωτικών αλάτων.

3.2.4. Χημικές επιδράσεις

Οι χημικές προσβολές στο σκυρόδεμα είναι τόσο ποικίλες όσες και οι χημικές ενώσεις που μπορούν να δράσουν πάνω στο σκυρόδεμα. Γι' αυτό, για μια πιο συγκεκριμένη αντιμετώπιση του προβλήματος, κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζεται χωριστά.

Πρακτικά μπορούμε να τις κατατάξουμε στις ακόλουθες μεγάλες ομάδες : [6]

- προσβολές από θειούχες ενώσεις
- προσβολές από οξέα
- προσβολές από άλατα
- προσβολές από έλαια

Η μορφή της φθοράς μπορεί να καταταγεί στις ακόλουθες μορφές : [6]

- Αντίδραση με τις ενώσεις του ενυδατωμένου τσιμέντου και δημιουργία ενώσεων οι οποίες αποπλύνονται με το χρόνο, με αποτέλεσμα την απώλεια του συνδετικού ιστού του σκυροδέματος.

- Δημιουργία ενώσεων με σύγχρονη αύξηση του όγκου, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων και την δημιουργία μικρορηγματώσεων του ιστού
- Δημιουργία όξινου περιβάλλοντος με αποτέλεσμα την δημιουργία μηχανισμών διαβρώσεως του χάλυβα.

3.2.4.1. Οξέα

Στην προσβολή οξέων κινένο τσιμέντο Portland δεν ανθίσταται. Σε υγρές συνθήκες το υδροξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το διοξείδιο του θείου (SO_2), καθώς και άλλα αέρια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, σχηματίζουν οξέα. Τα οξέα προσβάλλουν το σκυρόδεμα με την διάλυση και την απομάκρυνση ενός μέρους του τσιμεντοπολτού αφήνοντας τελικά μια μαλακή χωρίς αντοχή μάζα. Αυτού του είδους η προσβολή συναντάται συνήθως σε βιομηχανικές κατασκευές όπως π.χ. σε καμινάδες.

Στην πράξη, ο βαθμός της προσβολής αυξάνει όσο αυξάνει η οξύτητα. Η φθορά ξεκινάει από τιμές $\text{pH} < 6,5$ και για τιμές $\text{pH} < 4,5$ η προσβολή είναι σοβαρή.

Επίσης ο βαθμός προσβολής εξαρτάται από την ικανότητα των ιόντων υδρογόνου να διαχέονται μέσα στον τσιμεντοπολτό, αφού το υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)_2) έχει διαλυθεί και αφαιρεθεί.

Η προσβολή του Ca(OH)_2 μπορεί να εμποδιστεί ή να μειωθεί με τους ακόλουθους τρόπους :

- Κατάλληλη επεξεργασία με διαλυμένο νερό (πυριτικό νάτριο) για να σχηματιστούν πυριτικά άλατα ασβεστίου μέσα στους πόρους.
- Προστασία της επιφάνειας με κατάλληλα επαλειφόμενα υλικά που να ανθίσταται στην προσβολή οξέων, όπως εποξειδικές ρητίνες, καουτσούκ, ασφαλτικής βίσης βαφές κ.ά. Για τέτοιου είδους επεξεργασία η προστατευτική επικάλυψη είναι απαραίτητο να έχει καλή συνάφεια με το σκυρόδεμα και να παραμένει αναλλοίωτη στις μηχανικές καταπονήσεις της κατασκευής. [7]

3.2.4.2. Θειικά άλατα

Η πιο κοινή μορφή χημικής φθοράς του σκυροδέματος είναι η επίδραση των θεικών αλάτων κυρίως των αλάτων νατρίου, ασβεστίου, αμμωνίου και ασβεστίου. 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 ενυδριτωμένη τσιμεντοκονία παρίγυντας γύψο.

Η διάβρωση από τα θειικά μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σειρά 3 διαδικασιών :

1. Η διάχυση των θεικών ιόντων στους πόρους του σκυροδέματος, η οποία εξαρτάται από τον συντελεστή διαπερατότητας και τον συντελεστή διάχυσης των ιόντων.
2. Στι 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 – κρυσταλλοποίησης 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 θεικών 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 αυτών και των αδρανών. Η διάβρωση λόγω θεικών αλάτων συνήθως ξεκινά από τις άκρες και της γωνίες ενώ ακολουθεί ρηγμάτωση.

Γενικά θεωρείται ότι για να είναι το σκυρόδεμα ικανό να αντέξει σε προσβολή θεικού αλάτος, δύο παράγοντες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη : α) ο χαμηλός λόγος N/T β) η επιλογή τσιμέντου χαμηλής περιεκτικότητας σε C_3A ή ποζολανικού τσιμέντου με σκοπό την μείωση της διαθέσιμης περιεκτικότητας σε αργίλιο που απαιτείται για τον σχηματισμό του εττριγκίτη και τη μείωση του $Ca(OH)_2$ που απαιτείται για τον σχηματισμό του γήινου.

3.2.4.3. Επίδραση ελαιωδών ουσιών

Ο βαθμός επίδρασης εξαρτάται από το ιξώδες του ελαίου και από την διαπερατότητα του σκυροδέματος. Στην περίπτωση μεγάλου ιξώδους του ελαίου, γεμίζουν οι μεγάλοι πόροι του σκυροδέματος, ενώ οι μικρότεροι πόροι παραμένουν κενοί. Με την ξήρανση έχουμε απώλεια ελαίου, ιδιαίτερα αν το ιξώδες είναι μεγάλο.

Τα έλαια διαβρώνουν το σκυρόδεμα λόγω των οξειδωτικών συστατικών τα οποία συγκρατούν (κυρίως φαινόλες και οργανικά οξέα). Τα έλαια εμποδίζουν την πραγματοποίηση των φαινομένων που

συμβαίνουν με την έκθεση του σκυροδέματος στον αέρα π.χ. διεσώση νερού, ενανθράκωση κτλ.[2]

3.2.4.4. Επίδραση θαλάσσιου ύδατος

Ο μηχανισμός φθοράς λόγω επίδρασης θαλάσσιου ύδατος είναι πολύπλοκος, διότι συνδυάζει πολλές φυσικές και χημικές επιδράσεις : [2]

- Υδροφθορά
- Επίδραση παγετού – πήξεως
- Επίδραση του CO_2 της ατμόσφαιρας
- Επίδραση των αλάτων μέσα στο νερό
- Επίδραση αλκαλίων
- 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 συστάσεως του θαλάσσιου νερού δίνει τις εξής περιεκτικότητες σε άλατα : [2]

Άλατα	g/l	Ποσοστό % των συνολικών αλάτων
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	-	0,21

Η μεγάλη περιεκτικότητα του θαλάσσιου νερού σε θειικά άλατα θα μπορούσε να σημαίνει τη διάβρωση λόγω θεικών αλάτων. Κάτι τέτοιο όμως δε συμβαίνει λόγω της ταυτόχρονης παρουσίας των χλωριούχων αλάτων. Ο γύψος και ο επτριγίτης διαλύονται ευκολότερα μέσα σε διάλυμα χλωριούχων αλάτων από ότι σε νερό, με αποτέλεσμα να ξεπλένονται εύκολα από το θαλασσινό νερό και να μην προκαλείται φθορά από τα θειικά άλατα.

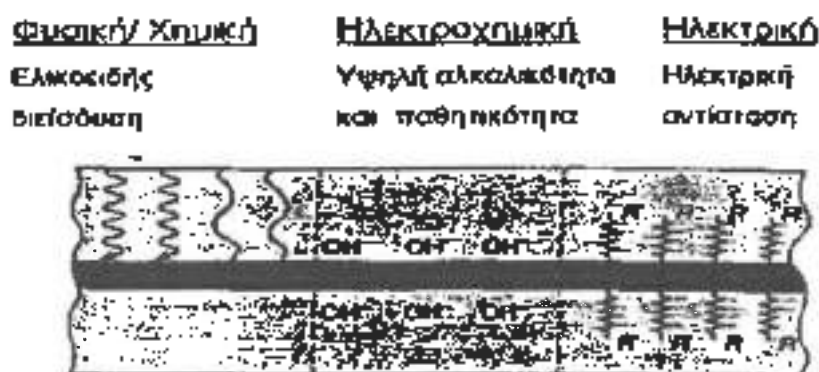
Το φαινόμενο της εναλλασσόμενης πήξης και παγετού δημιουργεί σοβαρά προβλήματα, γιατί συσσωρεύονται άλατα μέσα στο σκυρόδεμα με την είσοδο του θαλάσσιου νερού και την εξάτμιση του καθαρού νερού τα οποία παραμένουν μέσα. Τα άλατα αυτά διαβρώνουν τον σπλισμό. Από την αντίδραση του θεικού μαγνησίου που βρίσκεται στο θαλάσσιο νερό με το υδροξείδιο του ασβεστίου του σκυροδέματος σχηματίζεται το

υδροξείδιο του μαγνησίου, το οποίο δημιουργεί μία προστατευτική επιφάνεια που αποτρέπει περαιτέρω διάβρωση. [4]

Για να είναι ένα σκυρόδεμα ανθεκτικό σε θαλάσσιο νερό πρέπει να έχει μικρή διαπερατότητα. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση σκυροδεμάτων με μικρό λόγο N/T , επιλογή των σωστών υλικών, καλή συμπίκνωση και απουσία ρωγμών εξαιτίας της συστολής ή θερμοκρασιακής μεταβολής. Το σκυρόδεμα πρέπει να έχει συντηρηθεί πριν την έκθεση του σε θαλάσσιο νερό εκτός αν το σκυρόδεμα παραμείνει μόνιμα βυθισμένο. Δοκιμές σε διάφορα κονιάματα έδειξαν ότι χρειάζεται μία ελάχιστη περίοδος 7 ημερών συντήρησης σε καθαρό νερό ανεξάρτητα του τύπου του τσιμέντου που χρησιμοποιείται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

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



Σχήμα 4.1 : Προστασία του οπλισμού από την επικάλυψη του σκυροδέματος

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 διεισδυτική κατάσταση. Για

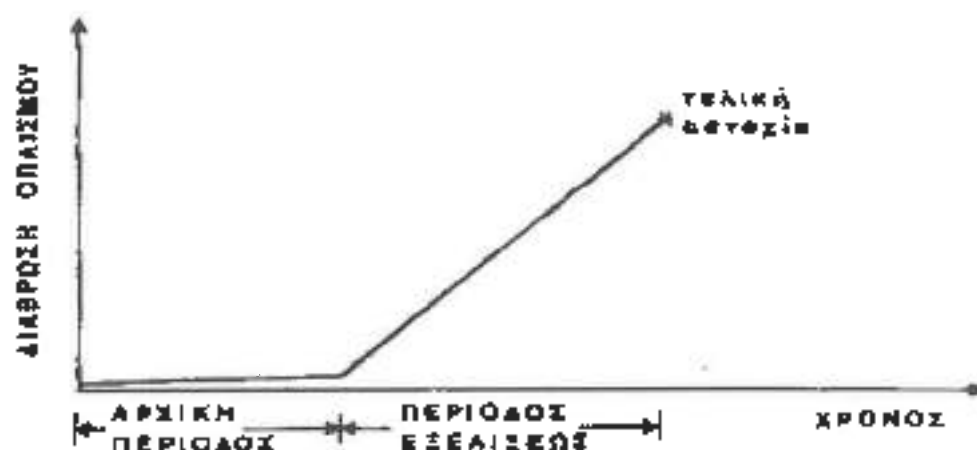
μεγάλες τιμές του pH (από 9 έως 12,8) σχηματίζεται στην επιφάνεια του χάλυβα ένα πολύ λεπτό στρώμα υξειδίων του σιδήρου. Όσο υπάρχει το προστατευτικό στρώμα δεν μπορεί να συμβεί διάβρωση, ακόμα και αν υπάρχουν παράγοντες που την ευνοούν.

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 για αυτή την μορφή διάβρωσης είναι η ενανθράκωση και η διάβρωση λόγω χλωριόντων. Η ζημιά τις περισσότερες φορές γίνεται εμφανής στην επιφάνεια του σκυροδέματος με την 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 θα επηρεάζεται.

Σύμφωνα με τον K. 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

Σαν αρχική περίοδος χαρακτηρίζεται το χρονικό διάστημα που συμβαίνουν οι διαδικασίες οι οποίες καταστρέφουν την παθητική προστασία του χάλυβα (π.χ. ενανθράκωση). Η περίοδος εξελίξεως 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 απιράδευκτη στήθμη επιτελεστικότητας. [2]

4.2. Ενανθράκωση

Η 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).

Οι χημικές αντιδράσεις που συνδέονται με το φαινόμενο είναι :

- 1) α) $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$
 β) $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$
- 2) $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \leftrightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

4.2.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την ενανθράκωση

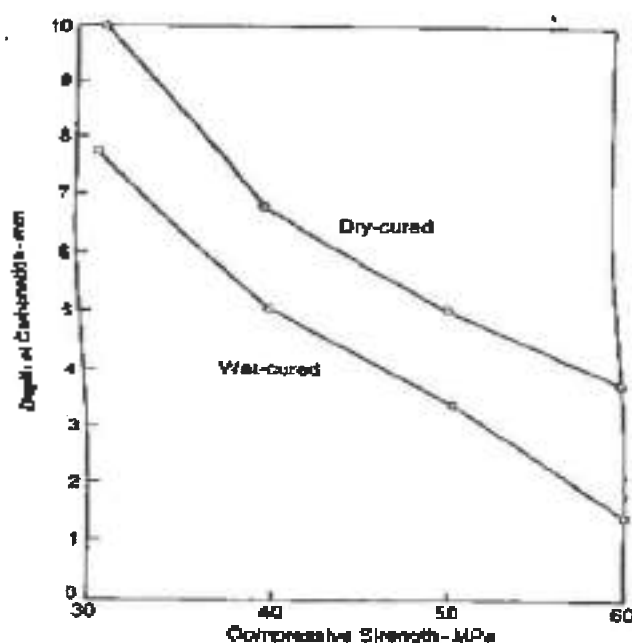
4.2.1.1. Συνθήκες περιβάλλοντος

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.

4.2.1.2 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 μέρες και β) για συντήρηση στον αέρα σε σχετική υγρασία 65% [4]



Σχήμα 4.3 : Σχέση μεταξύ βάθους ενανθράκωσης και αντοχής

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

4.2.1.3. 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 περιοριστεί 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]

$$D = k \cdot t^{0,5} \quad \text{όπου } k : \text{δείκτης ενανθράκωσης σε mm/χρόνο}^{0,5} \\ t : \text{χρόνος έκθεσης σε χρόνια}$$

Για μικρής αντοχής σκυρόδεμα το k είναι μεγαλύτερο από 3-4 mm/χρόνο^{0,5}.

Το βάθος ενανθράκωσης είναι μεγαλύτερο στα εσωτερικά τμήματα μιας κατασκευής παρά στα 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 0,5-19,5mm για μικρές τιμές του λόγου N/T το βάθος ενανθράκωσης κατά το πρώτο έτος είναι 1-2mm. 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 αντιπρωτικά 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
- Χημικά 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

- 1) Λόγος Ν/Τ. Μικρός λόγος Ν/Τ εξασφαλίζει μικρή διαπερατότητα, άρα η ποσότητα των χλωριόντων που μπορούν να διαχυθούν είναι μικρή.
- 2) 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 την δέσμευση των χλωριόντων. Οι προσμίξεις του τσιμέντου επηρεάζουν την ικανότητα δέσμευσης των χλωριόντων από το σκυρόδεμα. Σκυρόδεμα με υπτάμνη τέφρα έχει μεγάλη αντίσταση στην διείσδυση χλωριόντων. Τα αερακτικά μειώνουν τον κίνδυνο διάχυσης επειδή μειώνουν την διαπερατότητα. Τα τσιμέντα με σκωρίες υψικιμίνου και ποζολάνης αλλάζουν το πορώδες του σκυροδέματος μειώνοντας την διαπερατότητά 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 την διείσδυση και την διάβρωση.

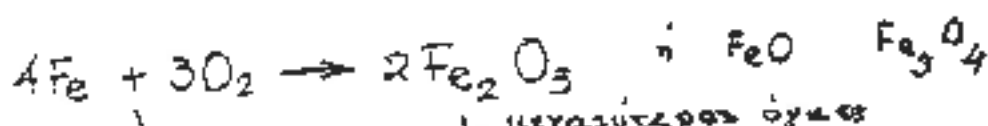
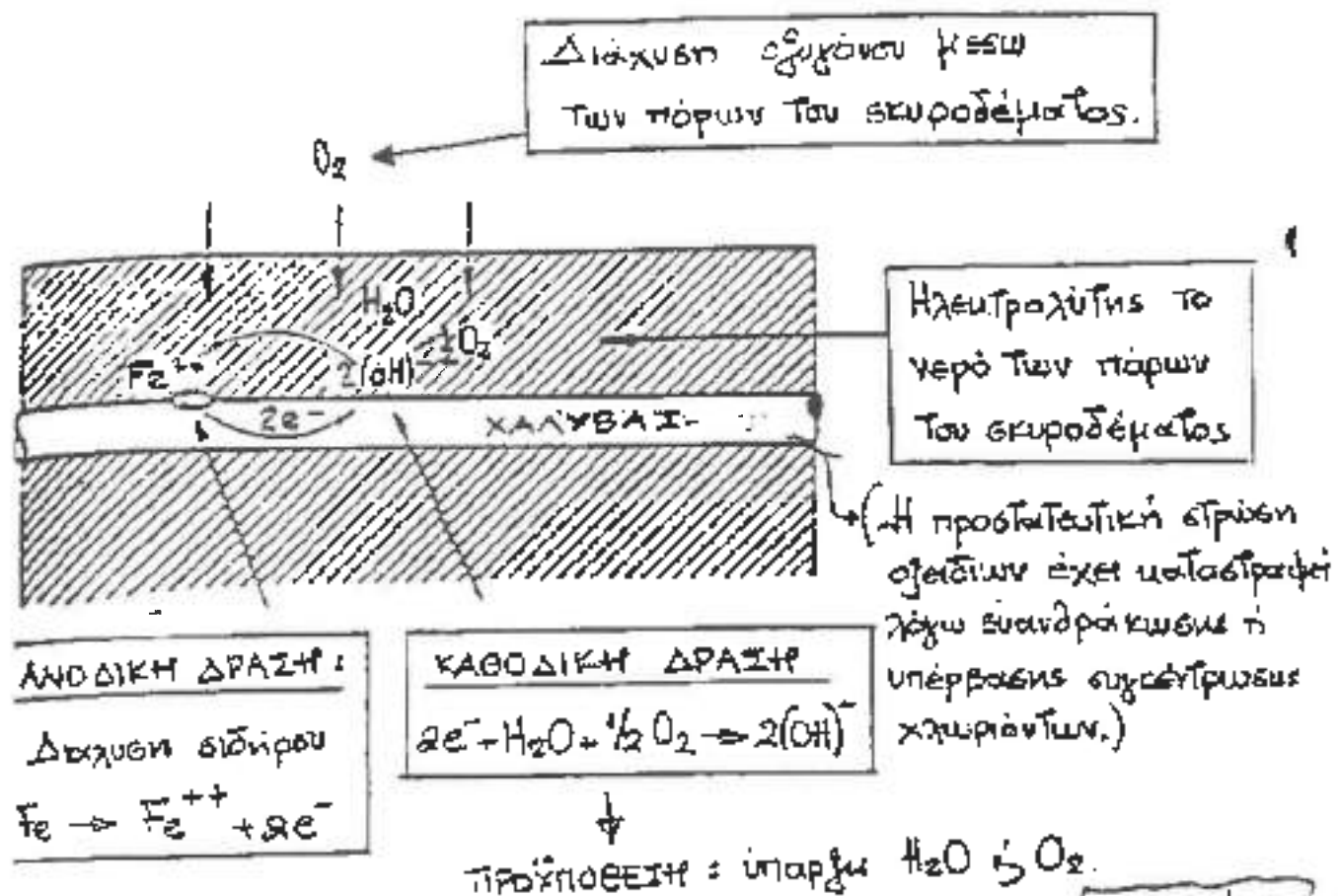
4.4. Διάβρωση σιδηροπλισμένου σκυροδέματος

Παρουσιάζεται ένα απλοποιημένο προσομοίωμα της εξέλιξης του φαινομένου της διάβρωσης του σπληνισμού. [10]

Πρακτικά γίνεται ηλεκτρολύση 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 του ηλεκτρολύτη.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Απλοποιημένο προσομοίωμα.



↓ μεγαλύτερες όγκες
ελαφρά διόγκωση → ρωγμάτωση
(παρατηρείται προς οπλισμό)
επιτάχυνση της διάβρωσης
απόσπαση τεμαχίων
απώλεια οπλισμού

χρώμα
κόκκινο
μαύρο
πράσινο
μαύρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

5.1. Σκοπός της εργασίας

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα του σκυροδέματος είναι η ανθεκτικότητά του στις περιβαλλοντικές επιδράσεις που δέχεται κατά τη διάρκεια της λειτουργικής του ζωής. Μία από τις βασικές παραμέτρους που καθορίζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος είναι η διαπερατότητα σε υγρά και αέρια. Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι μέτρησης της διαπερατότητας του σκυροδέματος με διαφορετικό τομέα εφαρμογής η κάθε μία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η υδατοπερατότητα του σκυροδέματος μέσω της δοκιμής υδατοπορρόφησης όπως περιγράφεται από τους κανονισμούς της RILEM, με κάποιες τροποποιήσεις.

Επομένως σκοπός της εργασίας μας είναι ο προσδιορισμός της υδατοπερατότητας διαφορετικών μιγμάτων σκυροδέματος. Συγκεκριμένα θέλουμε να ελέγξουμε τη τριχοειδή απορρόφηση νερού από τα δοκίμια που κατασκευάσαμε ανάλογα με τον λόγο N/T αλλά και την ποσότητα του τσιμεντοπολτού του μίγματος. Άλλωστε το νερό απορροφάται από το πορώδες υλικό του σκυροδέματος, το τσιμεντοπολτό. Υπάρχει δηλαδή άμεση εξάρτηση μεταξύ της ανθεκτικότητας και των παραμέτρων N/T και $N-T$.

5.2. Υλικά παρασκευής δοκιμίων

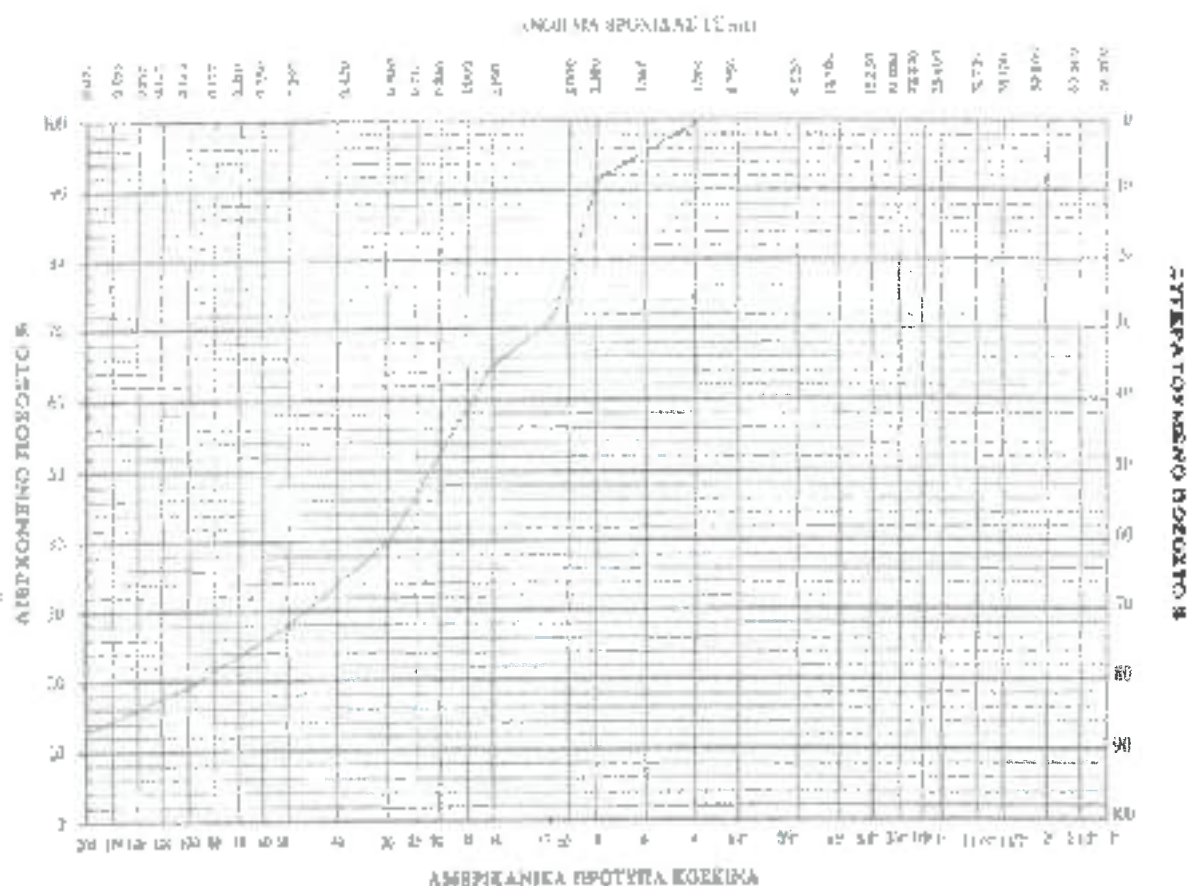
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

Τσιμέντο τύπος Ε45

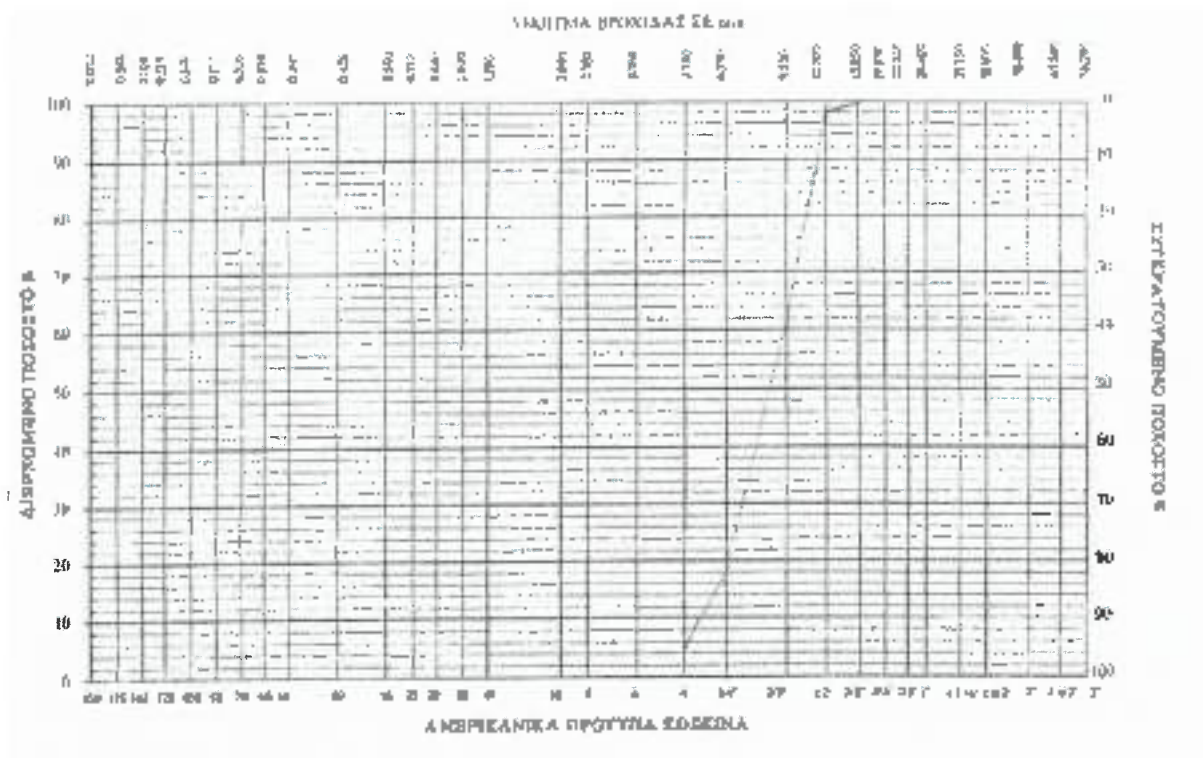
Νερό κοινό νερό βρύσης (δίκτυο Ε.Μ.Π.)

Αδρανή θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή (άμμος και ρυζάκι των οποίων οι κοκκομετρικές καμπύλες παρουσιάζονται στα σχήματα 5.1 και 5.2)

Πρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν υπερρρευστοποιητικά δύο τύπων : SPL-P (βάσεως ναφθαλενίου) και CHEM 172 (ακρυλικής βάσεως).



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης. Υλικό : Άμμος



Σχήμα 5.2 : Διάγραμμα κακκομετρικής ανάλυσης. Υλικό : Ροζόκι

5.3. Μίγματα σκυροδέματος

Παρασκευάστηκαν μίγματα με 4 διαφορετικούς λόγους N/T :

- $N/T=0.6$
- $N/T=0.5$
- $N/T=0.4$
- $N/T=0.3$

Για κάθε λόγο N/T μεταβάλλαμε την ποσότητα του τσιμεντοπυλτού. Έτσι για κάθε λόγο N/T παρασκευάσαμε μίγματα με 4 διαφορετικές ποσότητες τσιμεντοπυλτού.

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

ΛΟΓΟΣ N/T =0,6**Μίγμα 5A**

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

5/6/2000	
Τσιμέντο	233kg /m ³
Νερό	163Kg/m ³
Άμμος	1489Kg/m ³
Ρυζάκι	608Kg/m ³
CHEM 172	7.89Kg/m ³
Ποσότητα τσιμεντοπολτού	396Kg/m ³

Μίγμα 6A

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

7/6/2000	
Τσιμέντο	300kg /m ³
Νερό	201Kg/m ³
Άμμος	1325Kg/m ³
Ρυζάκι	609Kg/m ³
SPL-P	4.77Kg/m ³
Ποσότητα τσιμεντοπολτού	501Kg/m ³

Μίγμα 7A

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

8/6/2000	
Τσιμέντο	367kg /m ³
Νερό	239Kg/m ³
Άμμος	1160Kg/m ³
Ρυζάκι	611Kg/m ³
SPL-P	1.2Kg/m ³
Ποσότητα τσιμεντοπολτού	606Kg/m ³

Μίγμα 8A

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

25/10/2000	
Τσιμέντο	433kg /m ³
Νερό	277Kg/m ³
Άμμος	1013Kg/m ³
Ρυζάκι	595Kg/m ³
Πρόσθετο	-
Ποσότητα τσιμεντοπολτού	710Kg/m ³

ΛΟΓΟΣ N/T =0,5**Μίγμα 9A**

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

12/6/2000

Τσιμέντο 280kg /m³
Νερό 162Kg/m³
Άμμος 1420Kg/m³
Ρυζάκι 638Kg/m³
CHEM 172 4.91Kg/m³
442Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

Μίγμα 10A

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

12/6/2000

Τσιμέντο 360kg /m³
Νερό 200Kg/m³
Άμμος 1243Kg/m³
Ρυζάκι 640Kg/m³
SPL-P 4.97Kg/m³
560Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

Μίγμα 11A

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

23/6/2000

Τσιμέντο 440kg /m³
Νερό 237.7Kg/m³
Άμμος 1068Kg/m³
Ρυζάκι 641Kg/m³
SPL-P 1.63Kg/m³
677.7Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

Μίγμα 12A

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

23/6/2000

Τσιμέντο 520kg /m³
Νερό 275.6Kg/m³
Άμμος 913Kg/m³
Ρυζάκι 621Kg/m³
SPL-P 0.63Kg/m³
795.6Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

ΛΟΓΟΣ $N/T = 0.4$ **Μίγμα 13A**

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

13/6/2000

Τσιμέντο 350kg /m³Νερό 161.3Kg/m³Άμμος 1329Kg/m³Ρυζάκι 670Kg/m³CHEM 172 7.03Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

511.3Kg/m³**Μίγμα 14A**

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

13/6/2000

Τσιμέντο 450kg /m³Νερό 198.7Kg/m³Άμμος 1120Kg/m³Ρυζάκι 687Kg/m³SPL-P 7.51Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

648.7Kg/m³**Μίγμα 15A**

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

13/6/2000

Τσιμέντο 550kg /m³Νερό 236.3Kg/m³Άμμος 937Kg/m³Ρυζάκι 678Kg/m³SPL-P 4.17Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

786.3Kg/m³**Μίγμα 16A**

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικά ανά κυβικό μέτρο

22/6/2000

Τσιμέντο 650kg /m³Νερό 274Kg/m³Άμμος 768Kg/m³Ρυζάκι 655Kg/m³SPL-P 1.29Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

924Kg/m³

ΔΟΓΜΑ N/T =0.3**Μίγμα 17A**

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικό ανά κυβικό μέτρο

22/6/2000

Τσιμέντο 487kg /m³
Νερό 159.6Kg/m³
Άμμος 1168Kg/m³
Ρυζάκι 731Kg/m³
CHEM 172 8.09Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

626.6Kg/m³**Μίγμα 18A**

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικό ανά κυβικό μέτρο

22/6/2000

Τσιμέντο 600kg /m³
Νερό 196.6Kg/m³
Άμμος 940Kg/m³
Ρυζάκι 739Kg/m³
CHEM 172 3.18Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

796.6Kg/m³**Μίγμα 19A**

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικό ανά κυβικό μέτρο

15/6/2000

Τσιμέντο 733kg /m³
Νερό 234Kg/m³
Άμμος 737Kg/m³
Ρυζάκι 722Kg/m³
SPL-P 11.29Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

967Kg/m³**Μίγμα 20A**

Ημερομηνία παρασκευής
Υλικό ανά κυβικό μέτρο

15/6/2000

Τσιμέντο 867kg /m³
Νερό 271Kg/m³
Άμμος 557Kg/m³
Ρυζάκι 681Kg/m³
SPL-P 5.09Kg/m³

Ποσότητα τσιμεντοπολτού

1138Kg/m³

5.4. Παρασκευή δοκιμίων

Συνολικά παρασκευάστηκαν 64 δοκίμια. Από κάθε μίγμα παρασκευάστηκαν 4 δοκίμια. Τα υλικά ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας $\pm 5\text{gr}$, εκτός από τα πρόσθετα που ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας $\pm 0,001\text{gr}$.

Για την ανάμιξη των υλικών ο αναμικτήρας βράχθηκε έτσι ώστε να μην απορροφήσει νερό από το μίγμα. Πρώτα αναμίχθηκαν τα αδρανή (άμμος, ρυζάκι) μαζί με την μισή περίπου ποσότητα νερού, τα οποία και αφήσαμε στον αναμικτήρα σκεπασμένα με νάιλον για 15min. Αυτό έγινε για να απορροφήσουν τα αδρανή το μέγιστο του νερού απορρόφησης και το νερό που θα απομείνει ελεύθερο στο μίγμα να προσεγγίζει το πραγματικά ελεύθερο νερό.

Αξίζει να επισημάνουμε ότι ο χρόνος αναμονής των 15min προέκυψε από παλιότερη εργασία, με την οποία αποδείχτηκε ότι αυτό το διάστημα είναι αρκετό ώστε η υγρασία των αδρανών να πλησιάζει, κατά 70% - 90%, την μέγιστη αναμενόμενη ($N_{\text{ex}} \cdot N_{\text{sat}}$).

Μετά την πάροδο των 15min προστέθηκε το υπόλοιπο νερό, το τσιμέντο και το πρόσθετο. Τα υλικά αναμίχθηκαν για μερικά λεπτά μέχρι να προκύψει ένα ομοιογενές και καλής εργασιμότητας μίγμα. Προσπαθήσαμε να ελαχιστοποιήσουμε το χρόνο ανάμιξης ώστε να μην ισιωθεί ο αέρας μέσα στο μίγμα, πράγμα που θα μείωνε την αντοχή του μίγματος λόγω περισσότερων κενών αέρος.

Στη συνέχεια υπολογίσαμε την πυκνότητα του σκυροδέματος που μόλις παρασκευάσαμε. Αυτή προέκυψε από το πηλίκο του βάρους του σκυροδέματος που τοποθετήθηκε σε δοχείο γνωστού όγκου προς τον όγκο του δοχείου.

Κατόπιν αφού το μίγμα τοποθετήθηκε σε κυλινδρικά καλούπια από PVC διαμέτρου 12cm και ύψους 5cm, συμπακνώθηκε με ράβδο συμπακνώσης με 50 κτυπήματα τα οποία έγιναν κυκλικά σε όλο το δοκίμιο. Έξω ελαστώθηκε η ελεύθερη επιφάνεια των δοκιμίων με μιστρί.

Μετά το τέλος της παραπάνω διαδικασίας τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε υγρό θάλαμο σκεπασμένα με νάιλον, όπου παρέμειναν 24 ώρες σε συνθήκες θερμοκρασίας $20 \pm 1^\circ\text{C}$ και σχετικής υγρασίας 98%, ώστε να πηξει και να σκληρυνθεί το σκυρόδεμα μέχρι να μπορεί να γίνει το ξεκαλούπωμα. Αφού πέρασαν 24 ώρες τα δοκίμια ξεκαλούπώθηκαν, αριθμήθηκαν και ζυγίστηκαν. Κατά το ξεκαλούπωμα του μίγματος 5A το ένα από τα δοκίμια καταστράφηκε και δε χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα.

5.5. Συντήρηση δοκιμίων

Η συντήρηση που έγινε ήταν κοινή για όλα τα δοκίμια. Χρησιμοποιήθηκε υγρός θάλαμος, στον οποίο διατηρήθηκαν σταθερές οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε δοχεία με νερό όπου και παρέμειναν για 21 μέρες.

5.6. Περιγραφή πειράματος

Η πειραματική διαδικασία απαρτίζεται από δύο στάδια. Κατ' αρχήν γίνεται η προεπεξεργασία των δοκιμίων, η οποία ακολουθείται από τη δοκιμή της υδαταπορρόφησης.

5.6.1. Προεπεξεργασία δοκιμίων

Σε ηλικία 22 ημερών τα δοκίμια αφού ζυγίστηκαν μπήκαν στο φούρνο όπου και προξηράνθηκαν σε θερμοκρασία 45 °C για 5 ημέρες. Στα δοκίμια των μεγεθών 5Α, 6Α, 7Α, 9Α και 10Α τοποθετήσαμε στις πλευρικές επιφάνειες εποξειδική ρητίνη αφού τα βγάλαμε από τον φούρνο, ενώ στη υπόλοιπα θεωρήθηκε καλύτερο να τοποθετηθεί η ρητίνη πριν να μπουν στον φούρνο. Η εποξειδική ρητίνη τοποθετήθηκε για να αποφύγουμε την απορρόφηση και την εξάτμιση από τις πλαϊνές πλευρές.

Τα δοκίμια αφού βγήκαν από τον φούρνο και ζυγίστηκαν, τυλίχθηκαν με σελοφάν και έμειναν έτσι για 2 ημέρες. Αυτό έγινε σε μια προσπάθεια να εξισορροπηθεί η υγρασία στο εσωτερικό των δοκιμίων έτσι ώστε να είναι ομοιόμορφη παντού, αφού κατά την προξήρανση η υγρασία μετακινείται από το εσωτερικό προς τα έξω και έτσι σε κάποιο βάθος μπορεί να έχουμε μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό από ότι σε άλλο βάθος.

5.6.2. Δοκιμή υδαταπορρόφησης

Η δοκιμή της υδαταπορρόφησης έγινε όταν τα δοκίμια ήταν ηλικίας 29 ημερών. Τα δοκίμια αφού ζυγίστηκαν, τοποθετήθηκαν σε μία λεκάνη στον πάτο της οποίας είχε τοποθετηθεί μεταλλική σχάρα, έτσι ώστε όλα τα δοκίμια να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, να είναι το ίδιο βυθισμένα στο νερό και το νερό να έρχεται σε επαφή με την πλευρά των δοκιμίων. Στην πλαϊνή πλευρά της λεκάνης είχε ανοιχθεί μία μικρή τρύπα, έτσι ώστε η στάθμη του νερού να μη ξεπερνά τα 2cm. Και για να διατηρηθεί

σταθερό αυτό το ύψος η λεκάνη είχε συνδεθεί με ένα δοχείο με νερό μέσω ενός σωλήνα ορού, όπου ρυθμίζαμε τη ροή του νερού ανάλογα με την απορρόφηση.

Τα δοκίμια ζυγίστηκαν στα χρονικά διαστήματα των 15min, 30min, 1h, 1:30h, 2:30, 3:30, 5h, 24h και 48h. 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 σε αυτή. Οι μετρήσεις αυτές, όπως άλλαστε και όλες των δοκιμίων έγιναν σε ζυγαριά με ακρίβεια ανάγνωσης 0,01gr.

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 φαίνεται στην φωτογραφία.



5.7. Επανάληψη δοκιμής

Μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και την μελέτη των διαγραμμάτων που προέκυψαν, υπήρχαν κάποιες αποκλίσεις από τα αποτελέσματα που θα περιμέναμε, οι οποίες μας οδήγησαν στην επανάληψη του πειράματος για τα μίγματα 11 και 12. Έτσι λοιπόν παρασκευάσαμε 8 νέα δοκίμια με τις αναλογίες των μιγμάτων 11 και 12 (τα ονομάσαμε μίγμα 11B και μίγμα 12B). Στη συνέχεια ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω. Τα αποτελέσματα και αυτών των μετρήσεων παρουσιάζονται μαζί με τα υπόλοιπα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Η μεταβολή του βάρους κάθε δοκιμίου από την παρασκευή ως και την προξήρανση παρουσιάζεται στο παράρτημα Α. Ενδεικτικά στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι μεταβολές του βάρους των δοκιμίων των μίγμάτων 5Α, 6Α, 7Α

Μίγμα	Πυκνότητα μίγματος (Kg/m ³)	Δοκίμα	Βάρος πριν την συντήρηση (g)	Βάρος πριν την προξήρανση (g)	Βάρος μετά την προξήρανση (g)
5Α	2,45	1	1288,17	1275,24	1238,23
		2	1461,35	1466,21	1421,14
		3	1298,97	1304,98	1265,17
6Α	δεν μετρήθηκε	4	1303,86	1311,21	1271,10
		5	1310,94	1316,23	1279,82
		6	1318,00	1323,98	1285,65
		7	1482,78	1492,14	1447,84
7Α	δεν μετρήθηκε	8	1265,51	1275,57	1230,98
		9	1261,27	1269,96	1226,12
		10	1448,10	1457,98	1408,28
		11	1272,08	1280,80	1238,73

Πίνακας 6.1 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων μέχρι και την προξήρανσή τους

Στους πίνακες του παραρτήματος Β παρουσιάζονται για τα μίγματα 5Α-20Α όλες οι μετρήσεις της μεταβολής του βάρους των δοκιμίων, καθώς και οι συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που επικρατούσαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Ενδεικτικός πίνακας (6.2) παρουσιάζεται για το μίγμα 6Α.

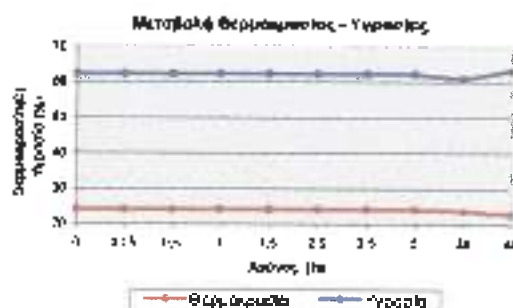
ΜΙΓΜΑ 6Α

$N/T = 0,6$

$T = 300 \text{ Kg/m}^3$

$N = 201 \text{ Kg/m}^3$

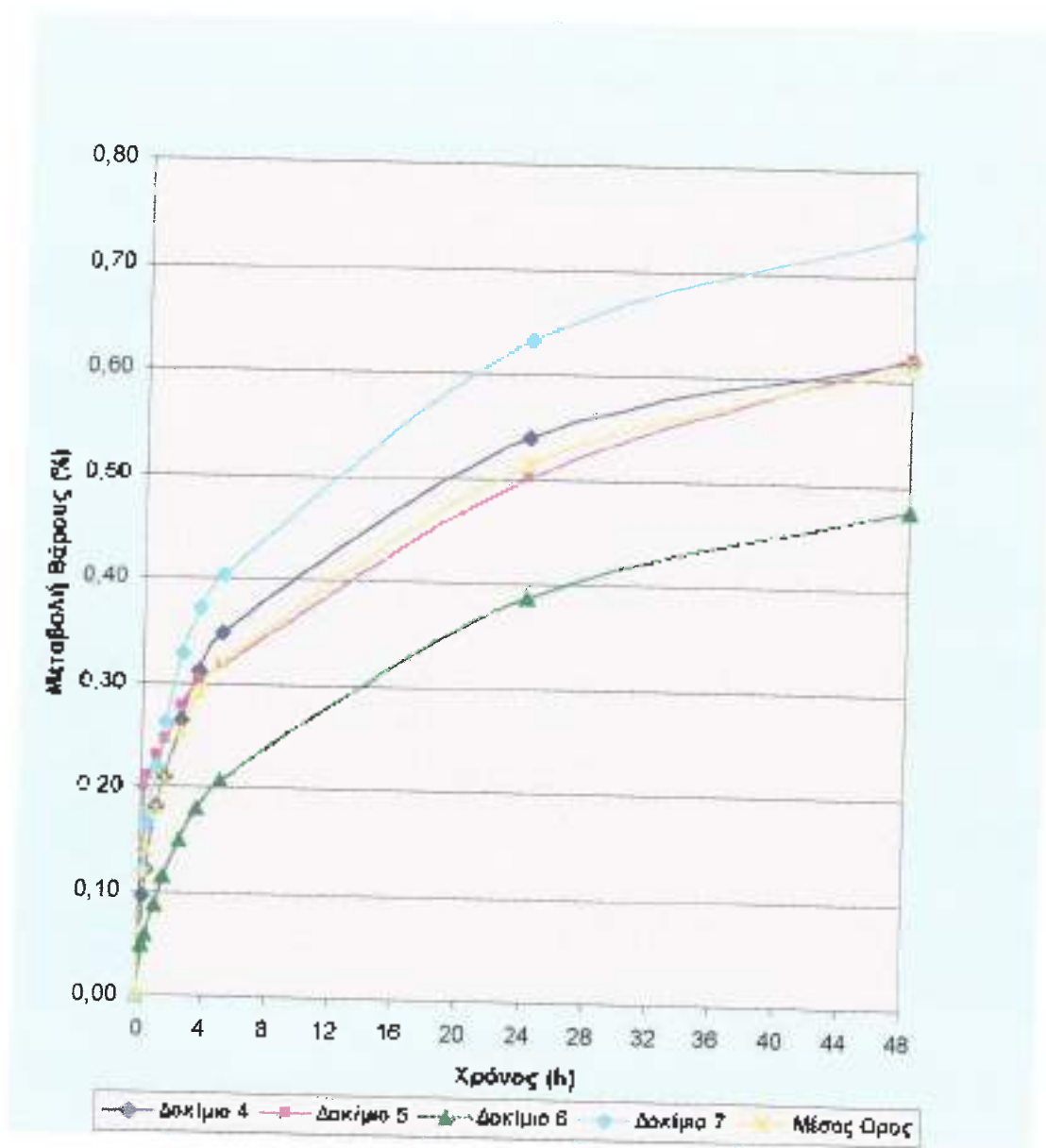
Δοκίμια											
ΧΡΟΝΟΣ	4		5		6		7		Μ.Ο.	Σ.Μ.	Σ.Μ. (%)
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολής		
0:00	1284,27	0,0000	1292,57	0,0000	1297,21	0,0000	1483,36	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0:15	1285,51	0,0966	1295,13	0,1981	1297,84	0,0486	1485,14	0,1216	0,1162	0,0624	53,7197
0:30	1285,82	0,1207	1295,29	0,2104	1297,98	0,0584	1485,78	0,1654	0,1390	0,0845	46,4067
1:00	1285,60	0,1814	1295,55	0,2305	1298,34	0,0871	1485,56	0,2187	0,1794	0,0650	26,2313
1:30	1285,97	0,2102	1295,74	0,2452	1298,88	0,1141	1487,19	0,2617	0,2078	0,0661	31,7935
2:30	1287,66	0,2640	1295,16	0,2777	1299,14	0,1488	1488,15	0,3273	0,2545	0,0756	29,6787
3:30	1288,28	0,3107	1295,48	0,3025	1299,54	0,1756	1488,78	0,3711	0,2910	0,0803	27,5820
5:00	1288,74	0,3481	1296,66	0,3164	1299,90	0,2074	1489,26	0,4032	0,3188	0,0825	25,8892
24:00	1291,20	0,5396	1299,05	0,5013	1302,22	0,3882	1472,81	0,5321	0,5148	0,1018	19,7750
48:00	1292,21	0,6189	1300,60	0,6212	1303,37	0,4749	1474,18	0,7401	0,6136	0,1085	17,6841



Μ.Ο. = Μέσος Όρος
 $Sn-1$ = Τυπική Απόκλιση
 $\Sigma.Μ. = (Sn-1 / ΜΟ) * 100\%$

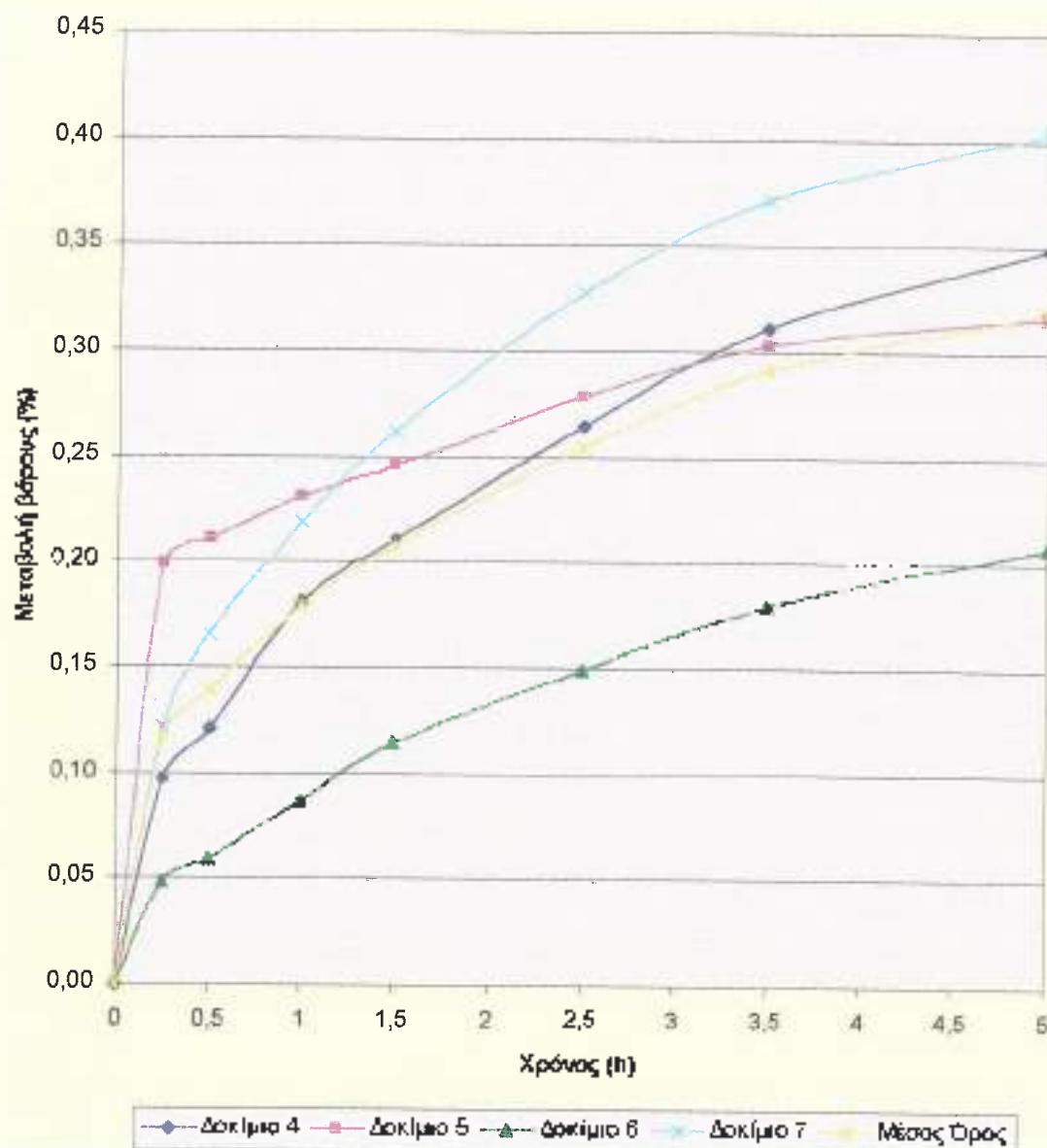
Πίνακας 6.2 : Μετρήσεις μεταβολής βάρους δοκιμίων μίγματος 6Α και συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών τριχοειδούς προσρόφησης παρουσιάζονται, αναλύονται και σχολιάζονται με τη βοήθεια 3 μορφών διαγραμμάτων Α, Β, Γ. Στην κατηγορία Α παρουσιάζεται η μεταβολή του βάρους του δοκιμίου συναρτήσει του χρόνου σε αριθμητική κλίμακα για όλο το διάστημα μετρήσεων, δηλαδή μέχρι 48 ώρες. Τυπικό διάγραμμα φαίνεται στο σχήμα 6.1 για το μίγμα 6Α.



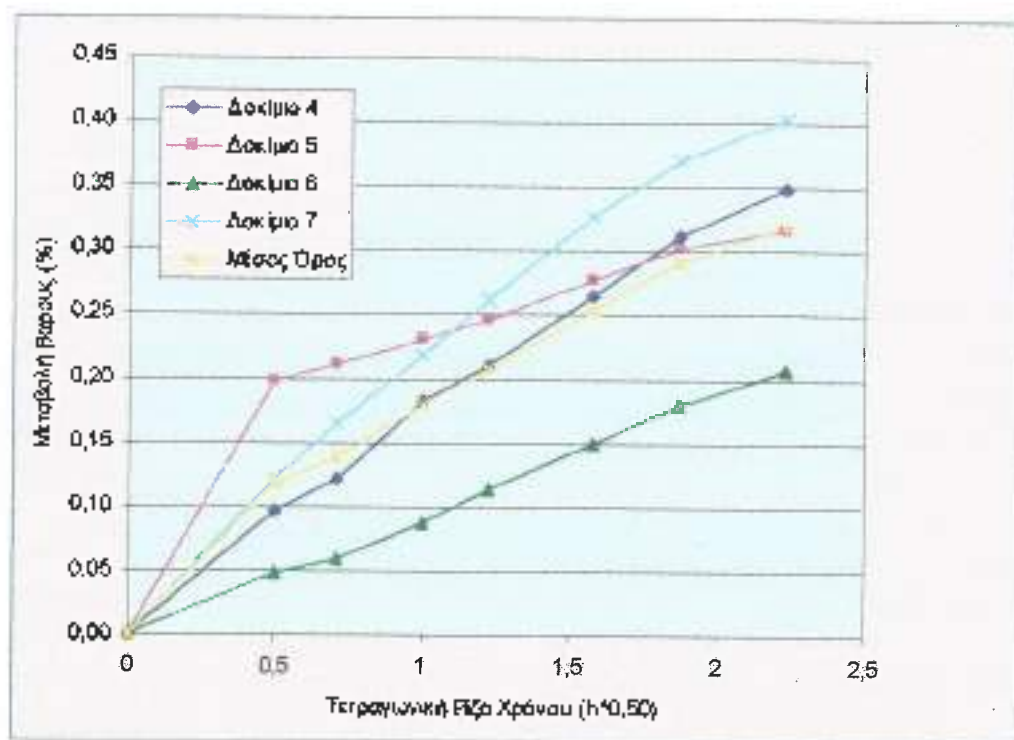
Σχήμα 6.1 : Μεταβολή βάρους δοκιμών μέχρι τις 48 ώρες

Στην κατηγορία Β παρουσιάζεται η μεταβολή του βάρους του δοκιμίου συναρτήσει του χρόνου σε αριθμητική κλίμακα για τις 5 πρώτες ώρες, για να μελετηθεί καλύτερα η διαδικασία προσρόφησης τις πρώτες ώρες. Τυπικό διάγραμμα φαίνεται στο σχήμα 6.2 για το μίγμα 6Α.



Σχήμα 6.2 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων μέχρι τις 5 πρώτες ώρες

Στην κατηγορία Γ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεταβολής του βάρους των δοκιμίων όπως στα διαγράμματα Β, αλλά με κλίμακα στον άξονα x ως $t^{0.5}$, διότι από την βιβλιογραφία [11],[12], παρουσιάζεται θεωρητική ανάλυση του φαινομένου ότι η τριχοειδής προσρόφηση είναι γραμμική συνάρτηση του $t^{0.5}$. Τυπικό διάγραμμα φαίνεται στο σχήμα 6.3 για το μίγμα 6Α.



Σχήμα 6.3 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων συναρτήσει τετραγωνικής ρίζας χρόνου

6.2. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

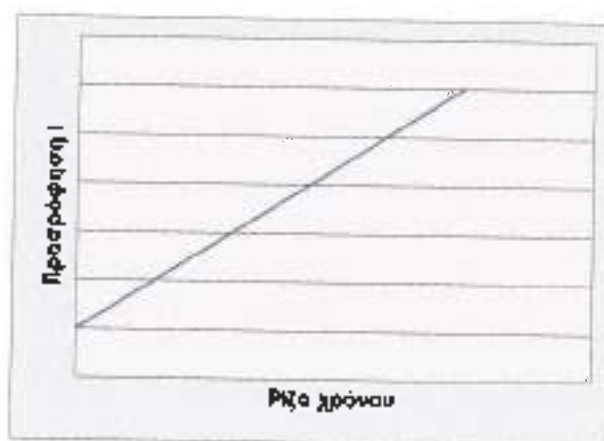
Ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων γίνεται με βάση : α) την μορφή των 3 κατηγοριών διαγραμμάτων μεταβολής βάρους ή υδαταπορρόφησης - χρόνου, β) την επίδραση του λόγου N/I' και γ) την επίδραση της ποιότητας του τσιμεντοπολτού.

6.2.1. Υδαταπορρόφηση - Μορφή διαγραμμάτων

Στις κατηγορίες διαγραμμάτων Α και Β φαίνεται να υπάρχει μεγάλη απόκλιση στη μεταβολή του βάρους των δοκιμίων ίδιου μίγματος. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη φύση του υλικού ή στην διαδικασία του πειράματος ή σε συνδυασμό και των δύο. Πάντως τονίζεται ότι γενικώς οι μετρήσεις αυτές όπως και οι μετρήσεις διαπερατότητας στο σκυρόδεμα χαρακτηρίζονται για την μεγάλη τους μεταβλητότητα. Αυτό μπορεί να οφείλεται μεταξύ των άλλων στο γεγονός ότι κατά την παραμονή των δοκιμίων στον φούρνο, μπορεί σε κάποια να δημιουργήθηκαν ρωγμές με αποτέλεσμα να απορροφήσουν περισσότερο νερό από τα άλλα.

Επίσης, σε κάποια δοκίμια η κάτω επιφάνεια τρίφτηκε με γυαλόχαρτο, ενώ σε κάποια άλλα παραλείφθηκε. Αυτό μπορεί να είχε ως αποτέλεσμα τα δοκίμια με την πιο τραχιά επιφάνεια να απορροφούν περισσότερο νερό. Το τρίψιμο της κάτω επιφάνειας του δοκιμίου έγινε σε μια προσπάθεια ομογενοποίησης του δοκιμίου και πιστεύεται ότι πρέπει να γίνεται με τυποποιημένο τρόπο, ώστε να έχουμε τελικά την ίδια υφή επιφάνειας.

Στην κατηγορία διαγραμμάτων Γ εξετάζουμε τη σχέση της απορρόφησης νερού των δοκιμίων με τη ρίζα του χρόνου. Η συνολική απορρόφηση του νερού δίνεται από τη σχέση : $i = s * t^{0.5}$, όπου s : δείκτης ρόφησης (sorptivity), παράμετρος που προσδιορίζει την ικανότητα του υλικού να απορροφά και να μεταφέρει νερό μέσα από τα τριχοειδή. Παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα δεν είναι ευθείες σταθερής κλίσεως διερχόμενες από την αρχή των αξόνων, δεχόμαστε όμως την προέκταση της δεύτερης ευθείας ως τελικό διάγραμμα. Δηλαδή το διάγραμμα είναι της μορφής : $i = B + s * t^{0.5}$, όπου B είναι θετική σταθερά (μπορεί όμως να είναι και αρνητική). Μια γενική μορφή αυτού του διαγράμματος παρουσιάζεται στο σχήμα 6.4.



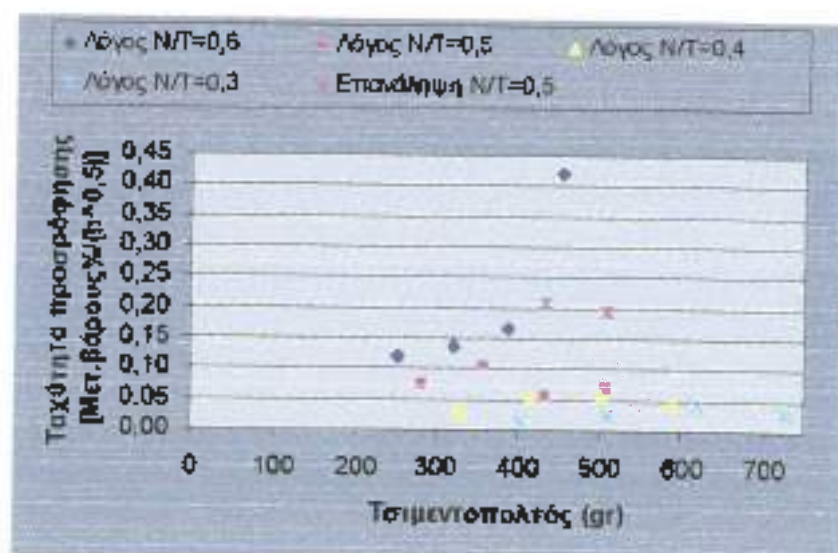
Σχήμα 6.4 : Διάγραμμα της μορφής : $i = B + s * t^{0.5}$

Ο Neville [11] αποδίδει την ύπαρξη αυτής της σταθεράς στο γεγονός ότι τα δοκίμια είναι βυθισμένα σε 2-5 mm νερό και έτσι είναι πιθανό να εισχωρήσει νερό και από τα πλαϊνά τμήματα σε κάποια σημεία. Στα πειράματα που πραγματοποιήσαμε η παραπάνω εκδοχή αποκλείεται αφού οι πλαϊνές επιφάνειες των δοκιμίων είχαν επικαλυφθεί με εποξειδική ρητίνη. Συνεπώς η ύπαρξη της σταθεράς μπορεί να αποδοθεί στην καθυστέρηση των μετρήσεων, επειδή έχουμε 4 δοκίμια από κάθε μίγμα και δεν μπορούν να ζυγιστούν και τα 4 ταυτόχρονα. Θα

πρέπει να τονιστεί ότι έχουν γίνει στο παρελθόν κι άλλες δοκιμές υδάταπορρόφησης που παρουσιάζουν την ίδια μορφή καμπύλης.

Στα διαγράμματα της κατηγορίας Γ μετρήθηκε και η κλίση της θεωρητικής ευθείας, η οποία μας δίνει την ταχύτητα προσρόφησης του νερού και παρουσιάζονται στο σχήμα 6.5.

Μίγματα	N+T (Kg/m ³)	N+T (gr)	Κλίσεις-Ταχύτητες [Μετ. βάρους %/(h ^{0,5})]	Κλίσεις-Ταχύτητες /N+T [Μετ. βάρους %/(gr * (h ^{0,5}))]	
N/T=0,6					
Μίγμα 5A	396,00	253,44	0,1220	0,0481	M.O. = 0,0567 S _{n-1} = 0,0240 Σ.Μ.(%)= 42,2672
Μίγμα 6A	501,00	320,64	0,1380	0,0430	
Μίγμα 7A	608,00	387,84	0,1670	0,0431	
Μίγμα 8A	710,00	454,40	0,4200	0,0924	
N/T=0,5					
Μίγμα 9A	442,00	282,88	0,0750	0,0265	M.O. = 0,0280 S _{n-1} = 0,0137 Σ.Μ.(%)= 48,6218
Μίγμα 10A	560,00	358,40	0,1030	0,0287	
Μίγμα 11A	677,70	433,73	0,0570	0,0131	
Μίγμα 12A	795,80	509,18	0,0890	0,0136	
Μίγμα 11B	677,70	433,73	0,2080	0,0480	
Μίγμα 12B	795,80	509,18	0,1950	0,0383	
N/T=0,4					
Μίγμα 13A	511,30	327,23	0,0290	0,0089	M.O. = 0,0102 S _{n-1} = 0,0023 Σ.Μ.(%)= 22,8458
Μίγμα 14A	648,70	415,17	0,0520	0,0125	
Μίγμα 15A	786,30	503,23	0,0590	0,0117	
Μίγμα 16A	924,00	591,36	0,0450	0,0076	
N/T=0,3					
Μίγμα 17A	626,80	401,02	0,0130	0,0032	M.O. = 0,0047 S _{n-1} = 0,0014 Σ.Μ.(%)= 30,4639
Μίγμα 18A	796,80	509,82	0,0250	0,0049	
Μίγμα 19A	967,00	618,86	0,0410	0,0086	
Μίγμα 20A	1138,00	728,32	0,0300	0,0041	



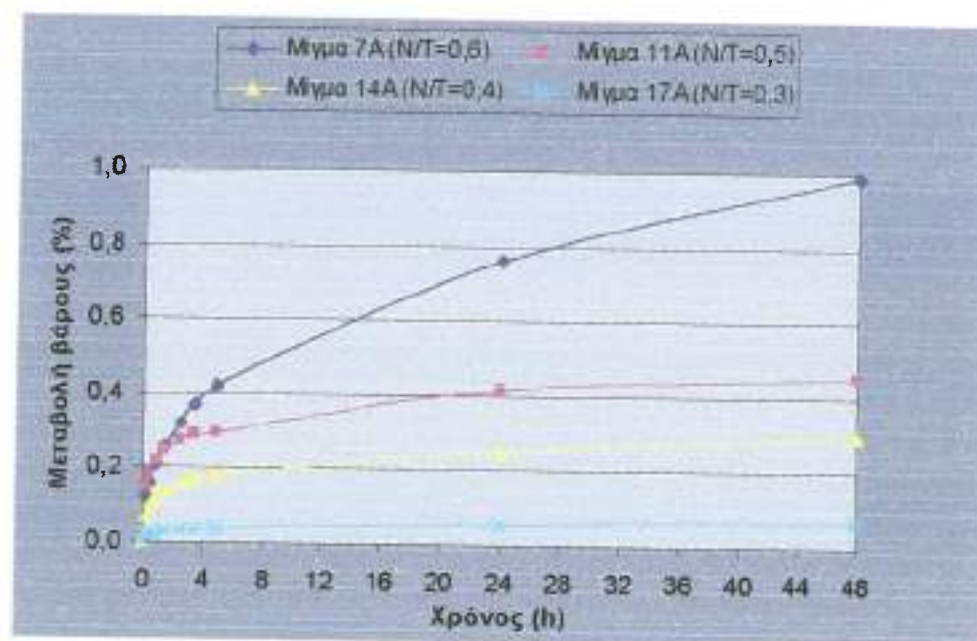
Σχήμα 6.5 : Ταχύτητα προσρόφησης νερού

Για τους λόγους $N/T=0,3-0,4$ η ταχύτητα προσρόφησης του νερού παρουσιάζεται σταθερή με την αύξηση του τσιμεντοπολτού, ενώ για λόγους $N/T=0,5-0,6$ αυξάνει γραμμικά με την αύξηση του τσιμεντοπολτού.

6.2.2 Επίδραση του λόγου N/T

Κάνοντας σύγκριση των μιγμάτων που έχουν περίπου ίδια ποσότητα τσιμεντοπολτού και διαφορετικό λόγο N/T , προκύπτει ότι, η μείωση του λόγου N/T επιφέρει μείωση της ποσότητας του απορροφούμενου νερού. Ενδεικτικά παρατίθεται το παρακάτω διάγραμμα στο σχήμα 6.6 στο οποίο περιλαμβάνονται τέσσερα μίγματα με διαφορετικούς λόγους N/T .

Μίγμα 7Α	$N/T = 0,6$	$N+T = 606 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 11Α	$N/T = 0,5$	$N+T = 677,7 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 14Α	$N/T = 0,4$	$N+T = 648,7 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 17Α	$N/T = 0,3$	$N+T = 626,6 \text{ Kg/m}^3$



Σχήμα 6.6 : Μεταβολή βάρους (%) για διαφορετικούς λόγους N/T

Το μίγμα 7Α παρόλο που έχει την μικρότερη ποσότητα τσιμεντοπολτού παρουσιάζει αρκετά μεγαλύτερη υδαταπορρόφηση από τα άλλα μίγματα, κι αυτό επειδή έχει τον μεγαλύτερο λόγο N/T . Η αύξηση της υδαταπορρόφησης με την αύξηση του λόγου N/T από 0,3 σε 0,5 είναι

μικρή, ενώ από 0,5 σε 0,6 η αύξηση είναι πιο έντονη. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από το σχήμα 3.1, όπου παρατηρούμε την απότομη αύξηση του συντελεστή διαπερατότητας όταν ο λόγος N/T πλησιάζει τις τιμές 0,6 και 0,7.

Επειδή η ποσότητα του τσιμεντοπολτού δεν είναι ακριβώς η ίδια για τα 4 μίγματα, είναι προτιμότερο η μεταβολή του βάρους να ανάγεται στη μονάδα του τσιμεντοπολτού.

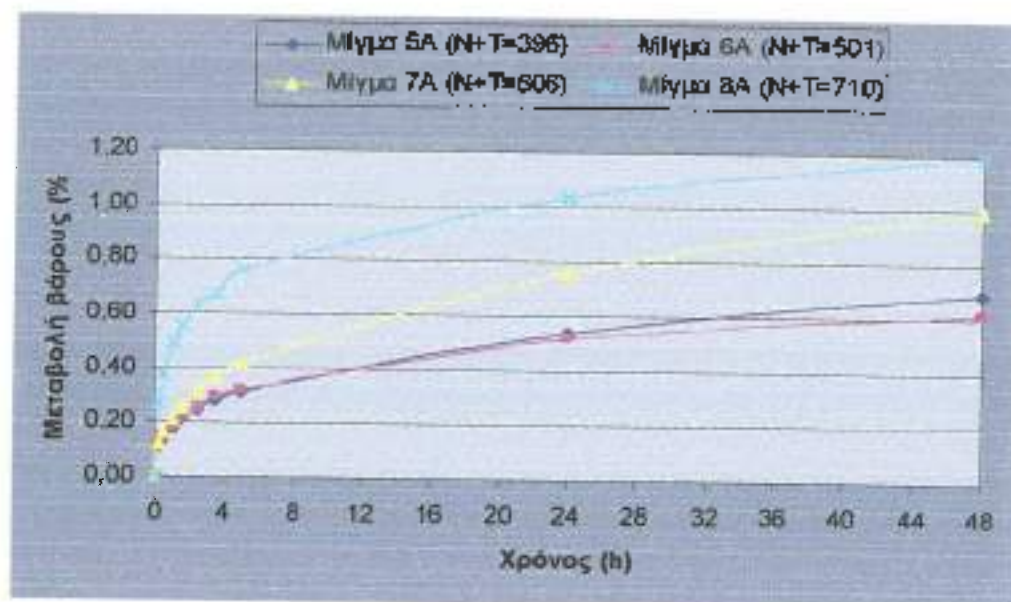
6.2.3. Επίδραση της ποσότητας τσιμεντοπολτού

Το σκυρόδεμα είναι ένα σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκληρυμένο τσιμεντοπολτό και αδρανή. Επομένως οι ιδιότητες του 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 υδαταπορρόφηση (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 ανά μονάδα όγκου τσιμεντοπολτού ή τιμή πορώδους τσιμεντοπολτού, όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα (μάζα) του τσιμεντοπολτού, τόσο μεγαλύτερη μάζα νερού θα προσροφάται λόγω τριχοειδούς αναρρόφησης.

Κάνοντας σύγκριση των μιγμάτων που έχουν ίδιο λόγο N/T και διαφορετική ποσότητα τσιμεντοπολτού ($N+T$), προκύπτει ότι, η αύξηση της ποσότητας του τσιμεντοπολτού επιφέρει γενικά αύξηση της ποσότητας του νερού που απορροφάται. Ενδεικτικά στα σχήματα 6.7, 6.8, 6.9 και 6.10 παρατίθενται τέσσερα διαγράμματα, στα οποία περιλαμβάνονται τέσσερα μίγματα με ίδιο λόγο N/T και διαφορετική ποσότητα τσιμεντοπολτού.

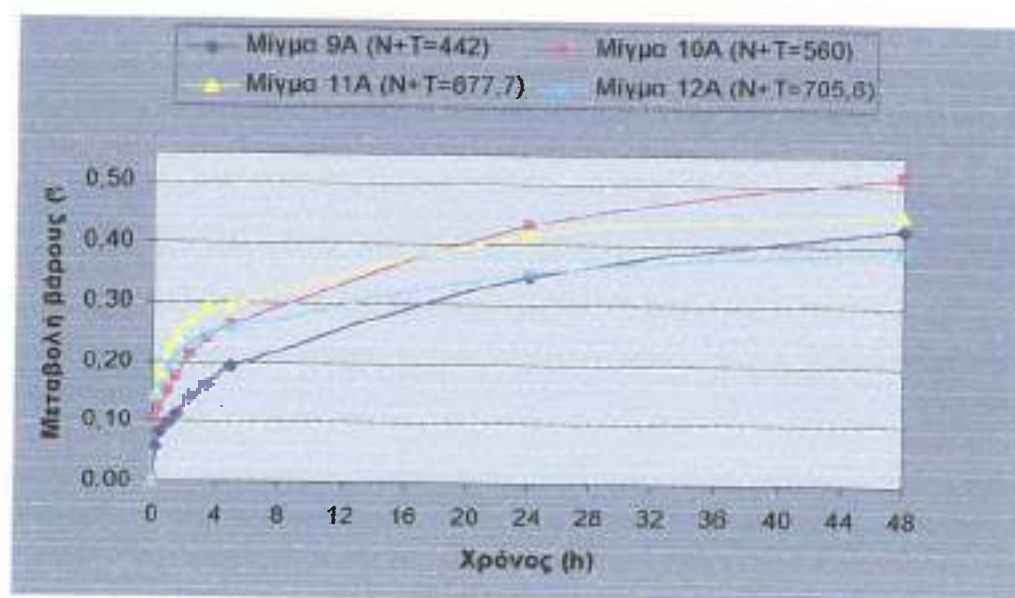
Μίγμα 5Α	$N/T=0,6$	$N+T=396 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 6Α	$N/T=0,6$	$N+T=501 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 7Α	$N/T=0,6$	$N+T=606 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 8Α	$N/T=0,6$	$N+T=710 \text{ Kg/m}^3$



Σχήμα 6.7 : Μεταβολή βάρους (%) για διαφορετικές ποσότητες τιμεντοπολτού και $N/T = 0,6$

Παρατηρούμε ότι το μίγμα 6Α, ενώ έχει μεγαλύτερη ποσότητα τιμεντοπολτού από το 5Α, παρουσιάζει στο διάγραμμα μικρότερη υδατιπορρόφηση στις 48 ώρες, ενώ στις πρώτες ώρες απορροφά περισσότερο νερό.

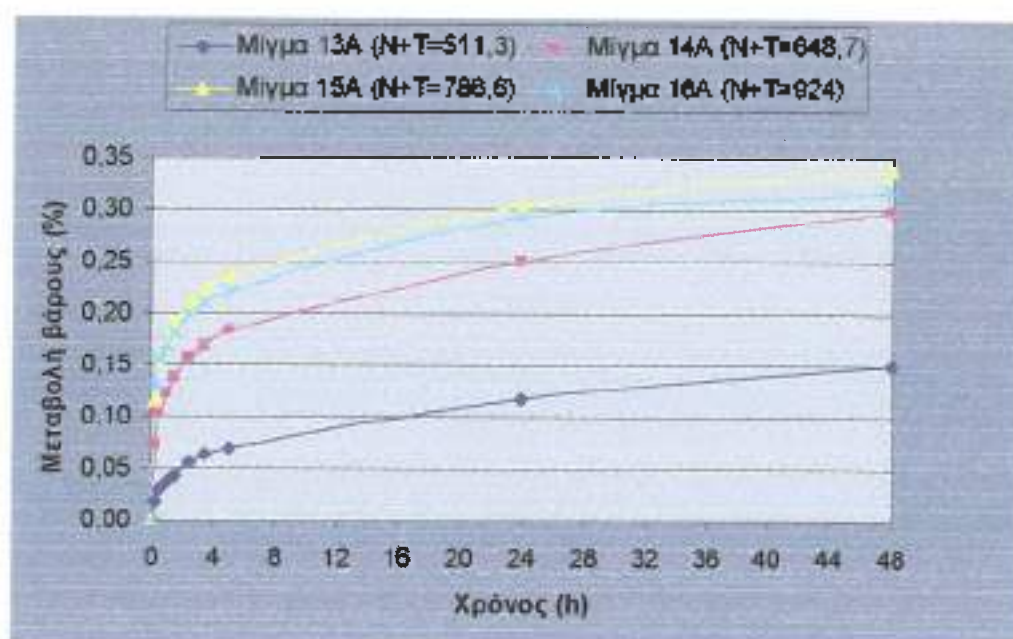
Μίγμα 9Α	$N/T=0,5$	$N+T=442 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 10Α	$N/T=0,5$	$N+T=560 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 11Α	$N/T=0,5$	$N+T=677,7 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 12Α	$N/T=0,5$	$N+T=705,6 \text{ Kg/m}^3$



Σχήμα 6.8 : Μεταβολή βάρους (%) για διαφορετικές ποσότητες τιμεντοπολτού και $N/T = 0,5$

Παρατηρούμε ότι το μίγμα 11Α, ενώ έχει μεγαλύτερη ποσότητα τσιμεντοπολτού από το 10Α, παρουσιάζει στο διάγραμμα μικρότερη υδαταπορρόφηση τις τελευταίες ώρες.

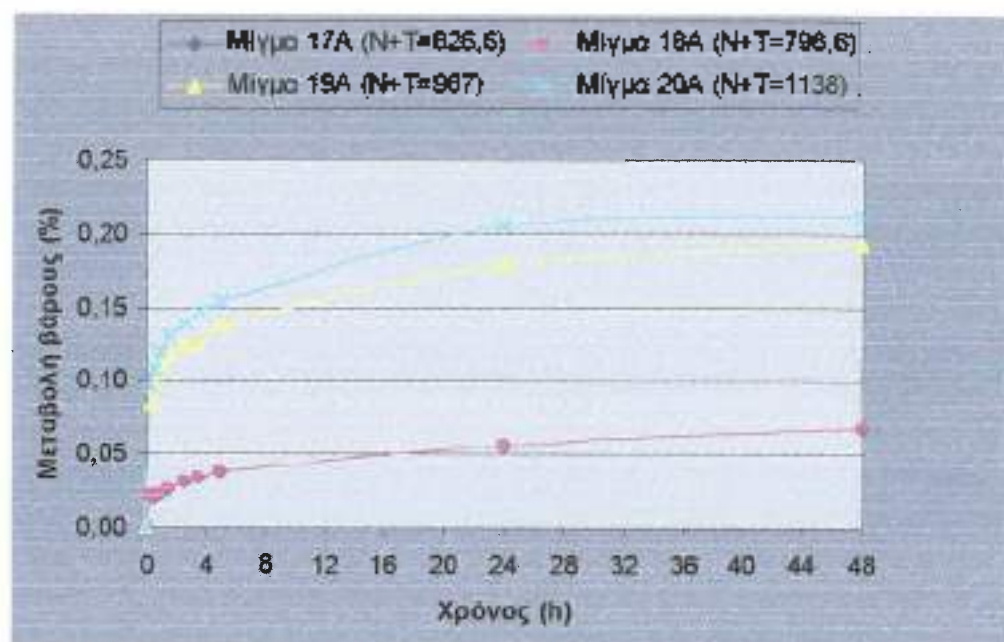
Μίγμα 13Α	$N/T=0,4$	$N+T=511,3 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 14Α	$N/T=0,4$	$N+T=648,7 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 15Α	$N/T=0,4$	$N+T=786,6 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 16Α	$N/T=0,4$	$N+T=924 \text{ Kg/m}^3$



Σχήμα 6.9: Μεταβολή βάρους (%) για διαφορετικές ποσότητες τσιμεντοπολτού και $N/T = 0,4$

Παρατηρούμε ότι το μίγμα 16Α, ενώ έχει μεγαλύτερη ποσότητα τσιμεντοπολτού από το 15Α, παρουσιάζει στο διάγραμμα μικρότερη υδαταπορρόφηση.

Μίγμα 17Α	$N/T=0,3$	$N+T=626,6 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 18Α	$N/T=0,3$	$N+T=796,6 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 19Α	$N/T=0,3$	$N+T=967 \text{ Kg/m}^3$
Μίγμα 20Α	$N/T=0,3$	$N+T=1138 \text{ Kg/m}^3$



Σχήμα 6.10 : Μεταβολή βάρους (%) για διαφορετικές ποσότητες τσιμεντοπολτού και $N/T = 0,3$

Παρατηρούμε ότι το μίγμα 18Α, ενώ έχει μεγαλύτερη ποσότητα τσιμεντοπολτού από το 17Α, παρουσιάζει στο διάγραμμα ακριβώς την ίδια υδατοπορρόφηση (η μπλε γραμμή καλύπτεται από την ροζ), αφού οι ποσότητες των τσιμεντοπολτών είναι περίπου ίδιες.

Σε κάποια από τα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρατηρούνται αποκλίσεις από την αναμενόμενη συμπεριφορά. Αυτές μπορεί να οφείλονται είτε στη μεταβλητότητα των δοκιμών, είτε στην ύπαρξη μεταβατικής ζώνης ή ακόμη και στον συνδυασμό των δύο παραγόντων.

Έχει παρατηρηθεί από πολλούς ερευνητές ότι όλες οι δοκιμές υδατοπορρόφησης και διαπερατότητας του σκυροδέματος χαρακτηρίζονται από μεγάλη μεταβλητότητα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι το σκυρόδεμα είναι ανομοιομόρφο υλικό, καθώς και στην ύπαρξη μικρορηγματώσεων (οι οποίες οφείλονται σε χημική ή θερμική συστολή) με ανομοιομόρφη κατανομή μέσα στο δοκίμιο.

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

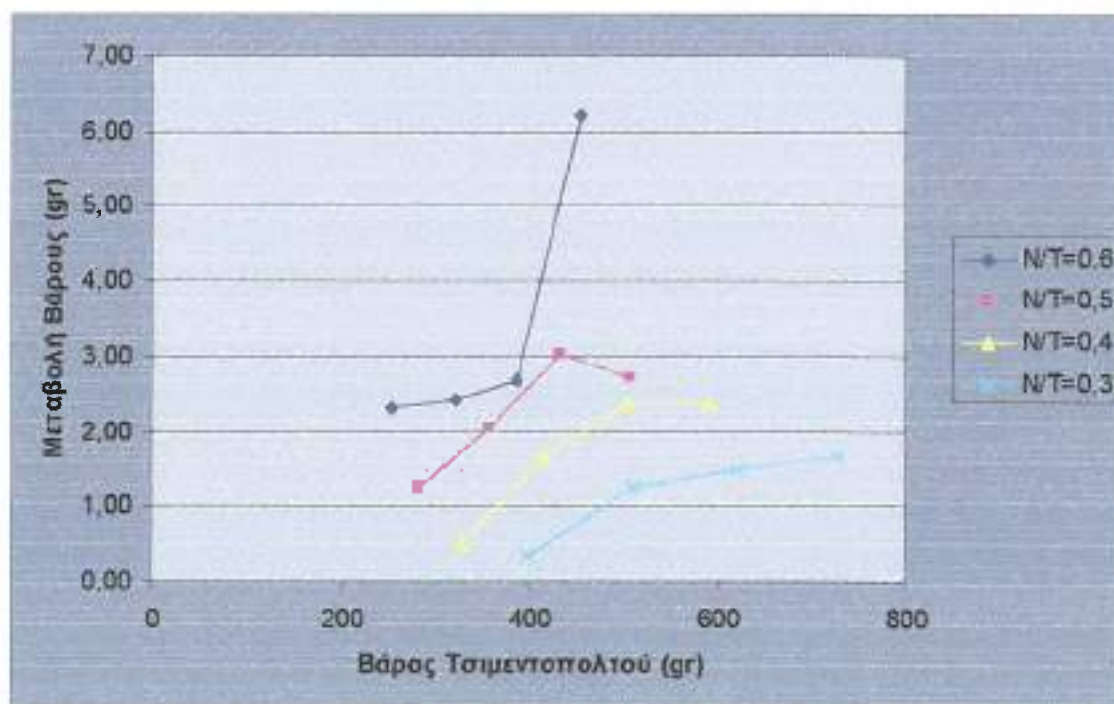
επιφάνεια των αδρανών και επομένως και η επιφάνεια της μεταβατικής ζώνης. Ισχύει : *Μεταβατική ζώνη* = *f*(*Βάρος αδρανών* * *Ειδική επιφάνεια αδρανών*). Θα μπορούσε λοιπόν κανείς να αποδώσει τις μη αναμενόμενες διαφορές των αποτελεσμάτων στην επίδραση μεγαλύτερης μεταβατικής ζώνης για το ίδιο μέγεθος αδρανών. Αντιθέτως ο Neville υποστηρίζει ότι η μεταβατική ζώνη δεν επηρεάζει την υδαταπορρόφηση. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί λογικό, αφού με την αύξηση της ποσότητας του τσιμεντοπολτού παρουσιάζεται αύξηση της υδαταπορρόφησης, παρόλο που οι αδρανείς και συνεπώς και η μεταβατική ζώνη μειώνονται. Πάντως το φαινόμενο χρειάζεται περισσότερη έρευνα για να διερευνηθεί πλήρως.

6.2.4. Μεταβολή βάρους δοκιμίων σε σχέση με ποσότητα N+T

Στα σχήματα 6.11, 6.12, 6.13 και 6.14 παρουσιάζεται η απορρόφηση νερού, για συγκεκριμένο λόγο N/T, σε συνάρτηση με την ποσότητα του τσιμεντοπολτού στο δοκίμιο μετά από 1, 5, 24 και 48 ώρες. Για σταθερή ποσότητα τσιμεντοπολτού παρατηρούμε την αύξηση της μεταβολής του βάρους των δοκιμίων σε σχέση με τον λόγο N/T, ενώ για δεδομένη μεταβολή βάρους παρατηρούμε ότι όσο μειώνεται ο λόγος N/T, τόσο αυξάνεται η ποσότητα του τσιμεντοπολτού.

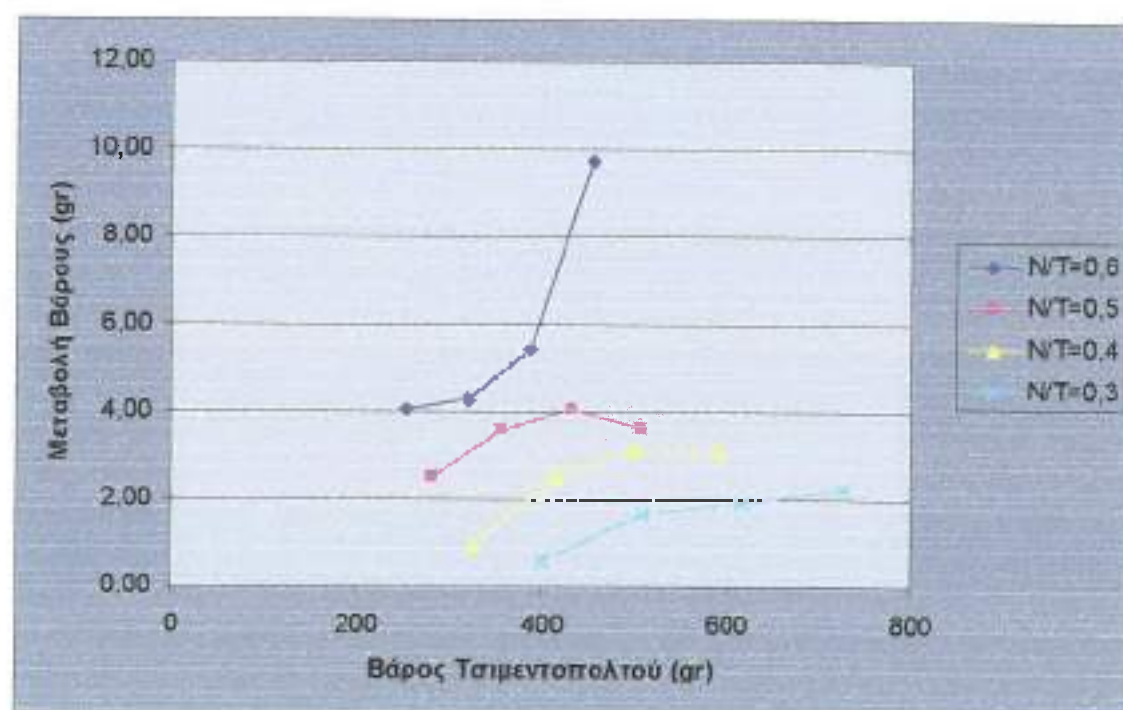
Μετά την επανάληψη της δοκιμής παρουσιάζονται τα ίδια διαγράμματα με τις νέες τιμές στα σχήματα 6.15, 6.16, 6.17 και 6.18. Η μορφή των νέων διαγραμμάτων προσεγγίζει την αναμενόμενη.

Μίγματα	N+T (Kg/m ³)	N+T (gr)	Μεταβολή βάρους (gr)	Μεταβολή βάρους/ N+T (%)	
N/T=0,6					
Μίγμα 5A	396,00	253,44	2,30	0,91	M.O. = 0,93 S _{n-1} = 0,30 Σ.Μ.(%)= 32,79
Μίγμα 6A	501,00	320,64	2,41	0,75	
Μίγμα 7A	606,00	387,84	2,69	0,69	
Μίγμα 8A	710,00	454,40	6,21	1,37	
N/T=0,5					
Μίγμα 9A	442,00	282,88	1,25	0,44	M.O. = 0,56 S _{n-1} = 0,11 Σ.Μ.(%)= 19,00
Μίγμα 10A	560,00	358,40	2,04	0,57	
Μίγμα 11A	677,70	433,73	3,03	0,70	
Μίγμα 12A	795,60	509,16	2,71	0,53	
N/T=0,4					
Μίγμα 13A	511,30	327,23	0,50	0,15	M.O. = 0,35 S _{n-1} = 0,14 Σ.Μ.(%)= 39,16
Μίγμα 14A	648,70	415,17	1,65	0,40	
Μίγμα 15A	786,30	503,23	2,37	0,47	
Μίγμα 16A	924,00	591,36	2,35	0,40	
N/T=0,3					
Μίγμα 17A	626,80	401,02	0,34	0,08	M.O. = 0,20 S _{n-1} = 0,08 Σ.Μ.(%)= 38,46
Μίγμα 18A	796,60	509,82	1,24	0,24	
Μίγμα 19A	967,00	618,88	1,49	0,24	
Μίγμα 20A	1138,00	728,32	1,68	0,23	



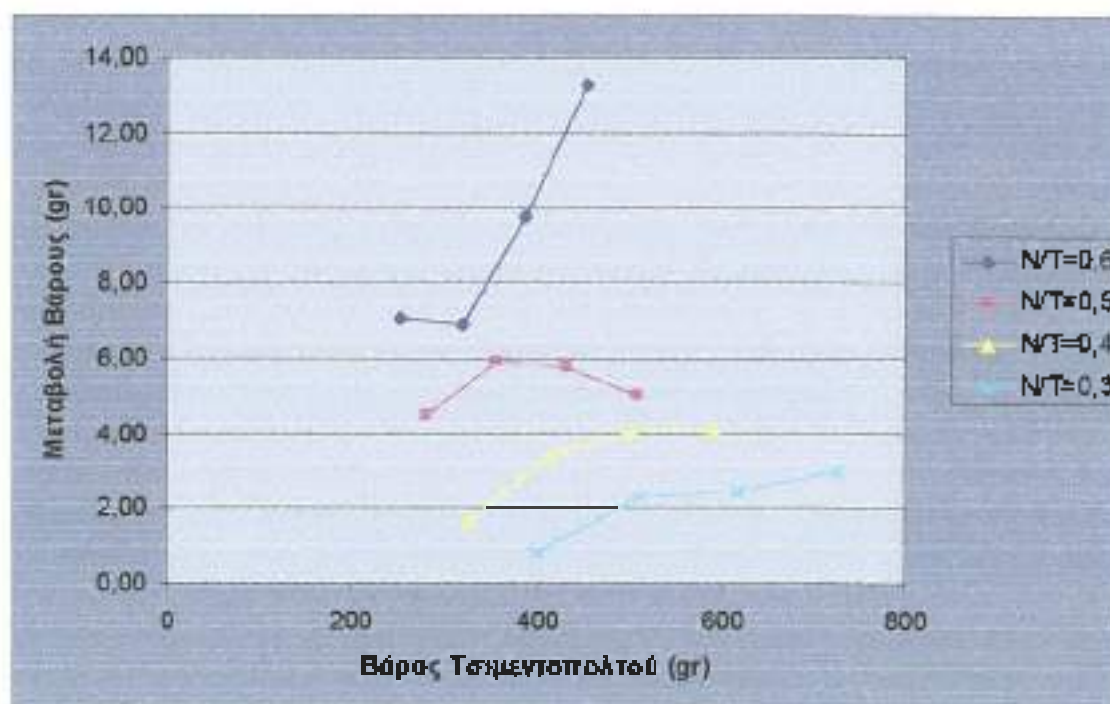
Σχήμα 6.11 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων σε σχέση με ποσότητα τσιμεντοπολτού σε 1 ώρα

Μίγματα	N+T (Kg/m ³)	N+T (gr)	Μεταβολή βάρους (gr)	Μεταβολή βάρους/ N+T (%)	
N/T=0,6					
Μίγμα 5A	396,00	253,44	4,06	1,60	M.O. = 1,82 S _{n-1} = 0,36 Σ.Μ.(%)= 22,52
Μίγμα 6A	501,00	320,64	4,29	1,34	
Μίγμα 7A	606,00	387,84	5,42	1,40	
Μίγμα 8A	710,00	454,40	9,72	2,14	
N/T=0,5					
Μίγμα 9A	442,00	282,88	2,49	0,88	M.O. = 0,88 S _{n-1} = 0,12 Σ.Μ.(%)= 14,02
Μίγμα 10A	560,00	358,40	3,57	1,00	
Μίγμα 11A	677,70	433,73	4,05	0,93	
Μίγμα 12A	795,60	509,18	3,61	0,71	
N/T=0,4					
Μίγμα 13A	511,30	327,23	0,97	0,30	M.O. = 0,51 S _{n-1} = 0,15 Σ.Μ.(%)= 29,19
Μίγμα 14A	648,70	415,17	2,49	0,60	
Μίγμα 15A	786,30	503,23	3,13	0,62	
Μίγμα 16A	924,00	591,36	3,07	0,52	
N/T=0,3					
Μίγμα 17A	626,60	401,02	0,57	0,14	M.O. = 0,27 S _{n-1} = 0,09 Σ.Μ.(%)= 31,92
Μίγμα 18A	798,60	509,62	1,68	0,33	
Μίγμα 19A	967,00	618,88	1,89	0,31	
Μίγμα 20A	1136,00	728,32	2,22	0,30	



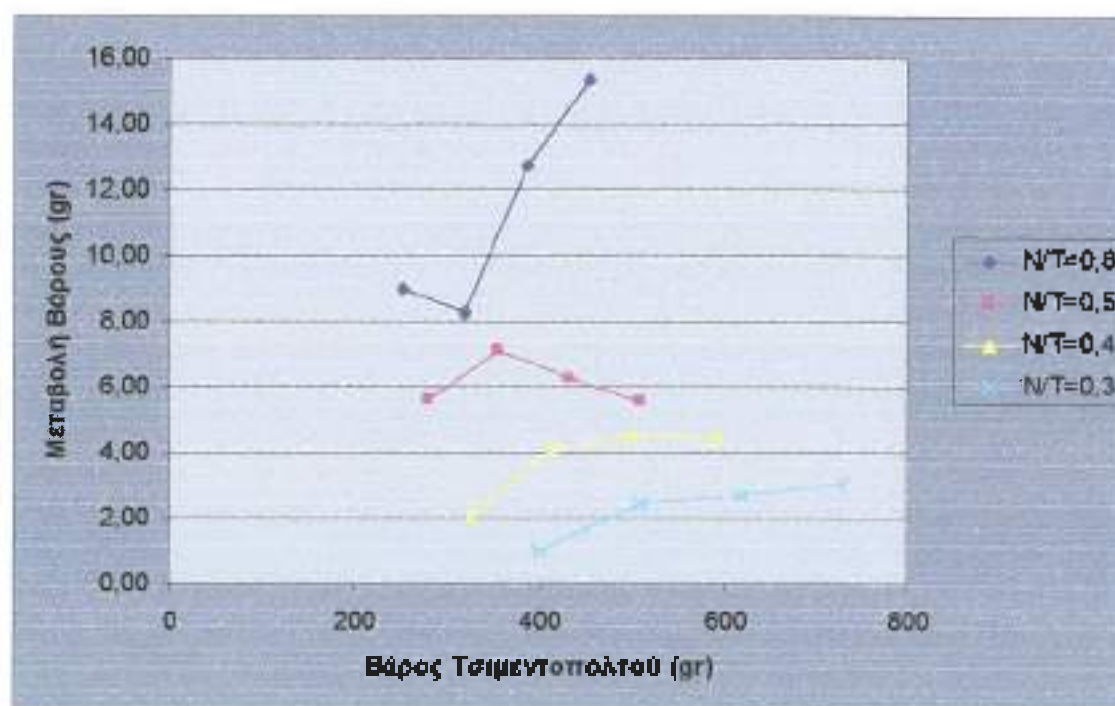
Σχήμα 6.12 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων σε σχέση με ποσότητα τσιμεντοπολτού σε 5 ώρες

Μίγματα	N+T (Kg/m ³)	N+T (gr)	Μεταβολή βάρους (gr)	Μεταβολή βάρους/ N+T (%)	
N/T=0,6					
Μίγμα 5A	396,00	253,44	7,03	2,77	M.O. = 2,59 S _{n-1} = 0,34 Σ.Μ.(%)= 12,99
Μίγμα 6A	501,00	320,64	6,90	2,15	
Μίγμα 7A	606,00	387,84	9,77	2,52	
Μίγμα 8A	710,00	454,40	13,27	2,92	
N/T=0,5					
Μίγμα 9A	442,00	282,88	4,47	1,58	M.O. = 1,38 S _{n-1} = 0,30 Σ.Μ.(%)= 21,94
Μίγμα 10A	560,00	358,40	5,90	1,65	
Μίγμα 11A	677,70	433,73	5,74	1,32	
Μίγμα 12A	795,80	509,18	4,98	0,98	
N/T=0,4					
Μίγμα 13A	511,30	327,23	1,63	0,50	M.O. = 0,70 S _{n-1} = 0,15 Σ.Μ.(%)= 21,18
Μίγμα 14A	648,70	415,17	3,42	0,82	
Μίγμα 15A	786,30	503,23	4,03	0,80	
Μίγμα 16A	924,00	591,36	4,06	0,89	
N/T=0,3					
Μίγμα 17A	628,60	401,02	0,82	0,20	M.O. = 0,36 S _{n-1} = 0,11 Σ.Μ.(%)= 29,79
Μίγμα 18A	796,60	509,82	2,28	0,45	
Μίγμα 19A	987,00	618,88	2,46	0,40	
Μίγμα 20A	1138,00	728,32	2,95	0,41	



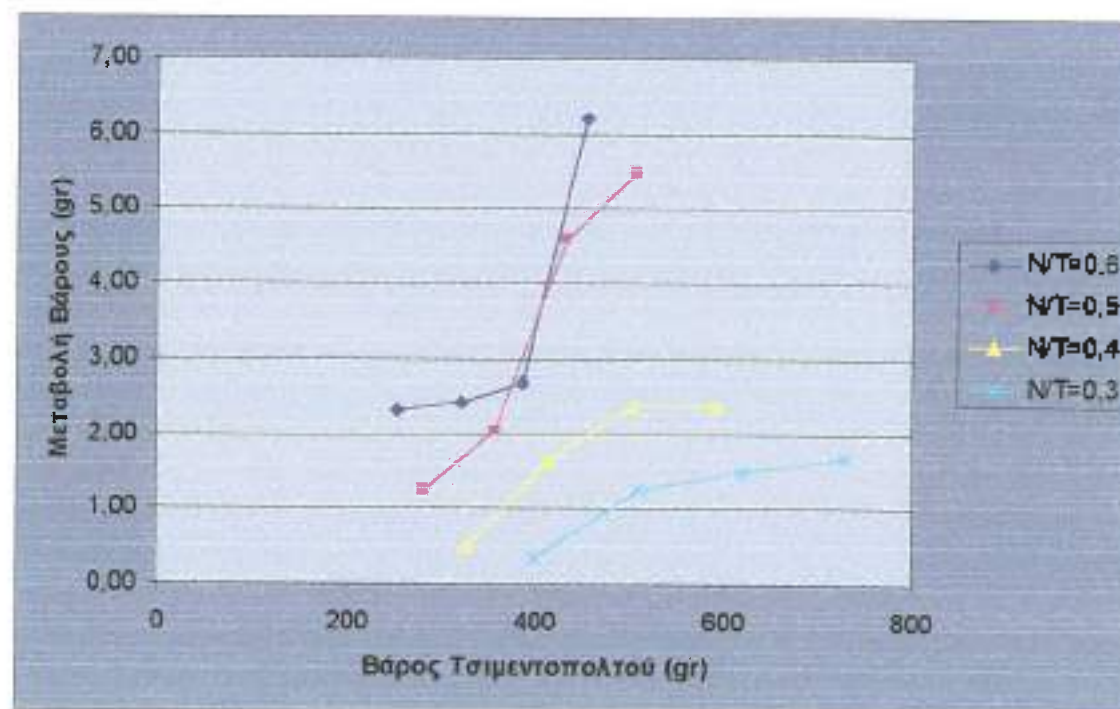
Σχήμα 6.13 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων σε σχέση με ποσότητα τσιμεντοπολτού σε 24 ώρες

Μίγματα	N+T (Kg/m ³)	N+T (gr)	Μεταβολή βάρους (gr)	Μεταβολή βάρους/ N+T (%)	
N/T=0,6					
Μίγμα 5A	396,00	253,44	9,00	3,55	M.O. = 3,20 S _{n-1} = 0,43 Σ.Μ.(%)= 13,51934
Μίγμα 6A	501,00	320,64	8,24	2,57	
Μίγμα 7A	606,00	387,84	12,75	3,29	
Μίγμα 8A	710,00	454,40	15,36	3,38	
N/T=0,5					
Μίγμα 9A	442,00	282,88	5,56	1,97	M.O. = 1,62 S _{n-1} = 0,43 Σ.Μ.(%)= 26,62252
Μίγμα 10A	580,00	358,40	7,09	1,98	
Μίγμα 11A	677,70	433,73	6,25	1,44	
Μίγμα 12A	795,60	509,18	5,53	1,09	
N/T=0,4					
Μίγμα 13A	511,30	327,23	2,08	0,83	M.O. = 0,81 S _{n-1} = 0,15 Σ.Μ.(%)= 18,70652
Μίγμα 14A	648,70	415,17	4,08	0,98	
Μίγμα 15A	786,30	503,23	4,50	0,89	
Μίγμα 16A	924,00	591,36	4,43	0,75	
N/T=0,3					
Μίγμα 17A	626,60	401,02	1,00	0,25	M.O. = 0,39 S _{n-1} = 0,10 Σ.Μ.(%)= 25,60195
Μίγμα 18A	796,80	509,82	2,45	0,48	
Μίγμα 19A	967,00	618,88	2,64	0,43	
Μίγμα 20A	1138,00	728,32	3,05	0,42	



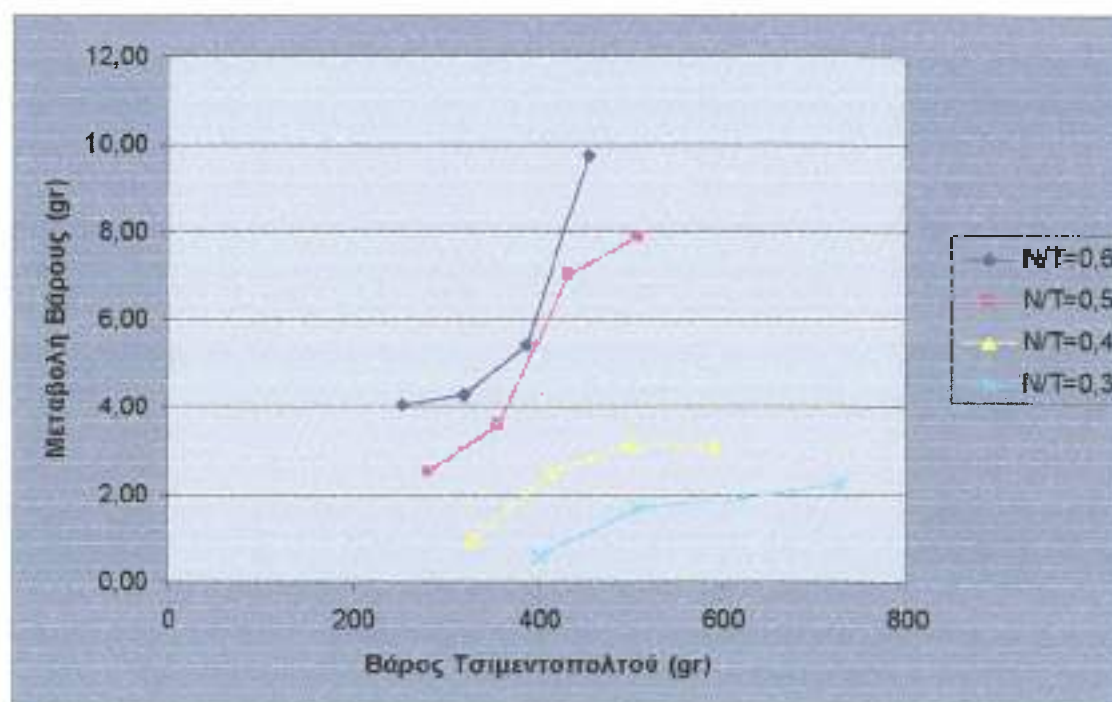
Σχήμα 6.14 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων σε σχέση με ποσότητα τσιμεντοπολτού σε 48 ώρες

Μίγματα	N+T (Kg/m ³)	N+T (gr)	Μεταβολή βάρους (gr)	Μεταβολή βάρους/ N+T (%)	
N/T=0,6					
Μίγμα 5A	396,00	253,44	2,30	0,91	M.O. = 0,93 S _{n-1} = 0,30 Σ.Μ.(%)= 32,79
Μίγμα 6A	501,00	320,64	2,41	0,75	
Μίγμα 7A	606,00	387,84	2,69	0,69	
Μίγμα 8A	710,00	454,40	6,21	1,37	
N/T=0,5					
Μίγμα 9A	442,00	282,86	1,25	0,44	M.O. = 0,78 S _{n-1} = 0,33 Σ.Μ.(%)= 41,63
Μίγμα 10A	560,00	358,40	2,04	0,57	
Μίγμα 11B	677,70	433,73	4,58	1,06	
Μίγμα 12B	795,80	509,18	5,46	1,07	
N/T=0,4					
Μίγμα 13A	511,30	327,23	0,50	0,15	M.O. = 0,35 S _{n-1} = 0,14 Σ.Μ.(%)= 39,18
Μίγμα 14A	648,70	415,17	1,65	0,40	
Μίγμα 15A	786,30	503,23	2,37	0,47	
Μίγμα 16A	924,00	591,38	2,35	0,40	
N/T=0,3					
Μίγμα 17A	626,60	401,02	0,34	0,08	M.O. = 0,20 S _{n-1} = 0,06 Σ.Μ.(%)= 36,46
Μίγμα 18A	796,60	509,82	1,24	0,24	
Μίγμα 19A	967,00	618,88	1,49	0,24	
Μίγμα 20A	1138,00	728,32	1,68	0,23	



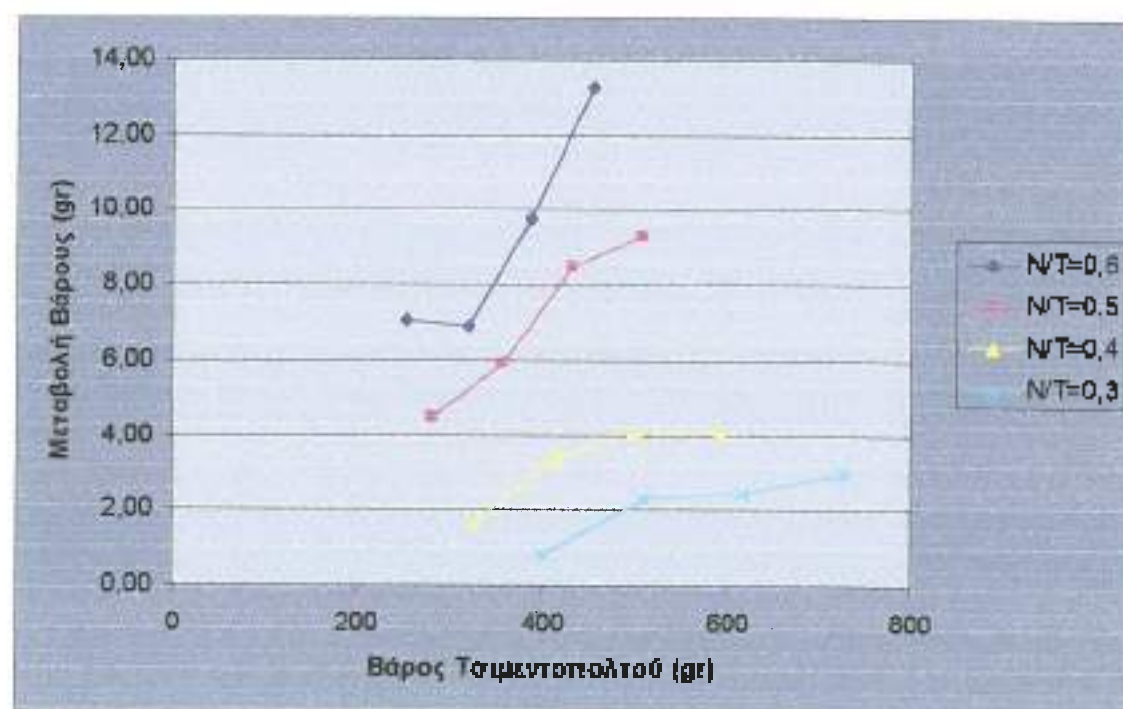
Σχήμα 6.15 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων σε σχέση με ποσότητα τσιμεντοπολτού σε 1 ώρα (επανάληψη)

Μίγματα	N+T (Kg/m ³)	N+T (gr)	Μεταβολή βάρους (gr)	Μεταβολή βάρους/ N+T (%)	
N/T=0,6					
Μίγμα 5A	398,00	253,44	4,06	1,60	M.O. = 1,62 S _{n-1} = 0,36 Σ.Μ.(%)= 22,52
Μίγμα 6A	501,00	320,64	4,29	1,34	
Μίγμα 7A	606,00	387,84	5,42	1,40	
Μίγμα 8A	710,00	454,40	9,72	2,14	
N/T=0,5					
Μίγμα 9A	442,00	282,88	2,49	0,88	M.O. = 1,28 S _{n-1} = 0,37 Σ.Μ.(%)= 29,64
Μίγμα 10A	580,00	358,40	3,57	1,00	
Μίγμα 11B	677,70	433,73	6,99	1,61	
Μίγμα 12B	795,60	509,18	7,85	1,54	
N/T=0,4					
Μίγμα 13A	511,30	327,23	0,97	0,30	M.O. = 0,51 S _{n-1} = 0,15 Σ.Μ.(%)= 29,19
Μίγμα 14A	648,70	415,17	2,49	0,60	
Μίγμα 15A	786,30	503,23	3,13	0,82	
Μίγμα 16A	924,00	591,38	3,07	0,52	
N/T=0,3					
Μίγμα 17A	626,60	401,02	0,57	0,14	M.O. = 0,27 S _{n-1} = 0,09 Σ.Μ.(%)= 31,92
Μίγμα 18A	796,60	509,82	1,68	0,33	
Μίγμα 19A	967,00	618,88	1,89	0,31	
Μίγμα 20A	1138,00	728,32	2,22	0,30	



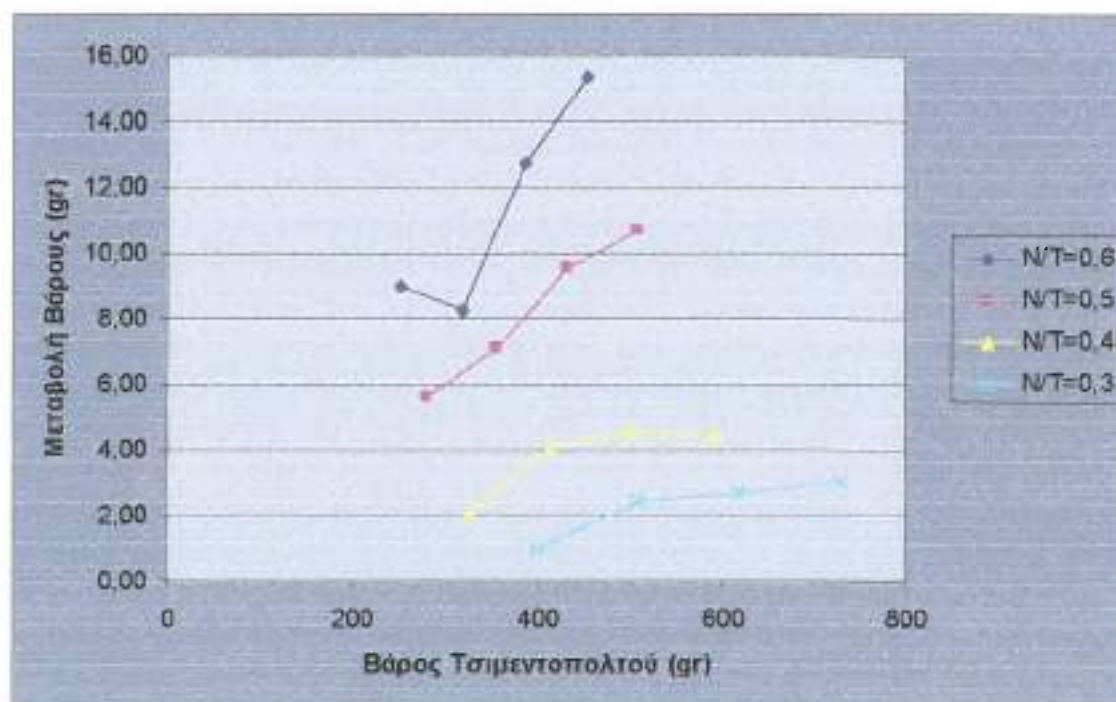
Σχήμα 6.16 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων σε σχέση με ποσότητα τσιμεντοπολτού σε 5 ώρες (επανάληψη)

Μίγματα	N+T (Kg/m ³)	N+T (gr)	Μεταβολή βάρους (gr)	Μεταβολή βάρους/ N+T (%)	
N/T=0,6					
Μίγμα 5A	396,00	253,44	7,03	2,77	M.O.= 2,59 S _{n-1} = 0,34 Σ.Μ.(%)= 12,99
Μίγμα 6A	501,00	320,64	8,90	2,15	
Μίγμα 7A	606,00	387,84	9,77	2,52	
Μίγμα 8A	710,00	454,40	13,27	2,92	
N/T=0,5					
Μίγμα 9A	442,00	282,68	4,47	1,56	M.O.= 1,75 S _{n-1} = 0,17 Σ.Μ.(%)= 9,70
Μίγμα 10A	560,00	358,40	5,90	1,65	
Μίγμα 11B	677,70	433,73	8,47	1,95	
Μίγμα 12B	795,60	509,18	9,30	1,83	
N/T=0,4					
Μίγμα 13A	511,30	327,23	1,63	0,50	M.O.= 0,70 S _{n-1} = 0,15 Σ.Μ.(%)= 21,18
Μίγμα 14A	648,70	415,17	3,42	0,82	
Μίγμα 15A	786,30	503,23	4,03	0,80	
Μίγμα 16A	924,00	591,36	4,06	0,69	
N/T=0,3					
Μίγμα 17A	626,60	401,02	0,82	0,20	M.O.= 0,36 S _{n-1} = 0,11 Σ.Μ.(%)= 29,79
Μίγμα 18A	796,60	509,82	2,28	0,45	
Μίγμα 19A	967,00	618,88	2,46	0,40	
Μίγμα 20A	1138,00	728,32	2,95	0,41	



Σχήμα 6.17 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων σε σχέση με ποσότητα τσιμεντοπολτού σε 24 ώρες (επανάληψη)

Μίγματα	N+T (Kg/m ²)	N+T (gr)	Μεταβολή βάρους (gr)	Μεταβολή βάρους/ N+T (%)	
N/T=0,6					
Μίγμα 5A	396,00	253,44	9,00	3,55	M.O. = 3,20 S _{n-1} = 0,43 Σ.Μ.(%)= 13,51934
Μίγμα 6A	501,00	320,64	8,24	2,57	
Μίγμα 7A	606,00	387,84	12,75	3,29	
Μίγμα 8A	710,00	454,40	15,36	3,38	
N/T=0,5					
Μίγμα 9A	442,00	282,88	5,56	1,97	M.O. = 2,06 S _{n-1} = 0,11 Σ.Μ.(%)= 5,344021
Μίγμα 10A	560,00	358,40	7,09	1,98	
Μίγμα 11B	677,70	433,73	9,54	2,20	
Μίγμα 12B	795,60	509,18	10,67	2,10	
N/T=0,4					
Μίγμα 13A	511,30	327,23	2,08	0,63	M.O. = 0,61 S _{n-1} = 0,15 Σ.Μ.(%)= 16,70652
Μίγμα 14A	648,70	415,17	4,06	0,96	
Μίγμα 15A	786,30	503,23	4,50	0,89	
Μίγμα 16A	924,00	591,38	4,43	0,75	
N/T=0,3					
Μίγμα 17A	626,60	401,02	1,00	0,25	M.O. = 0,39 S _{n-1} = 0,10 Σ.Μ.(%)= 25,60195
Μίγμα 18A	798,60	509,82	2,45	0,48	
Μίγμα 19A	867,00	618,88	2,64	0,43	
Μίγμα 20A	1138,00	728,32	3,05	0,42	



Σχήμα 6.18 : Μεταβολή βάρους δοκιμίων σε σχέση με ποσότητα τσιμεντοπολτού σε 48 ώρες (επανάληψη)

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 τον λόγο N/T του μίγματος, αλλά και από την ποσότητα του τσιμεντοπολτού σε αυτό.

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

Σημαντική είναι επίσης 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 η υδαταπορροφητικότητα και επομένως τόσο μικρότερη είναι η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Επομένως με τα σημερινά δεδομένα η απλή εξέταση του λόγου N/T δεν είναι επαρκής. Απαιτείται η ταυτόχρονη εξέταση των αναλογιών αδρανών/τσιμεντοπολτού στο μίγμα.

6.4. Συστάσεις για περαιτέρω έρευνα

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

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

Ο αριθμός των δοκιμών που χρησιμοποιούνται θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερος, γιατί είναι εξακριβωμένο και από άλλες έρευνες ότι υπάρχει μεγάλη διασπορά στις μετρήσεις υδαταπορρόφησης. Όμως αυτό είναι δύσκολο, γιατί απαιτείται μεγάλο χρονικό για τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

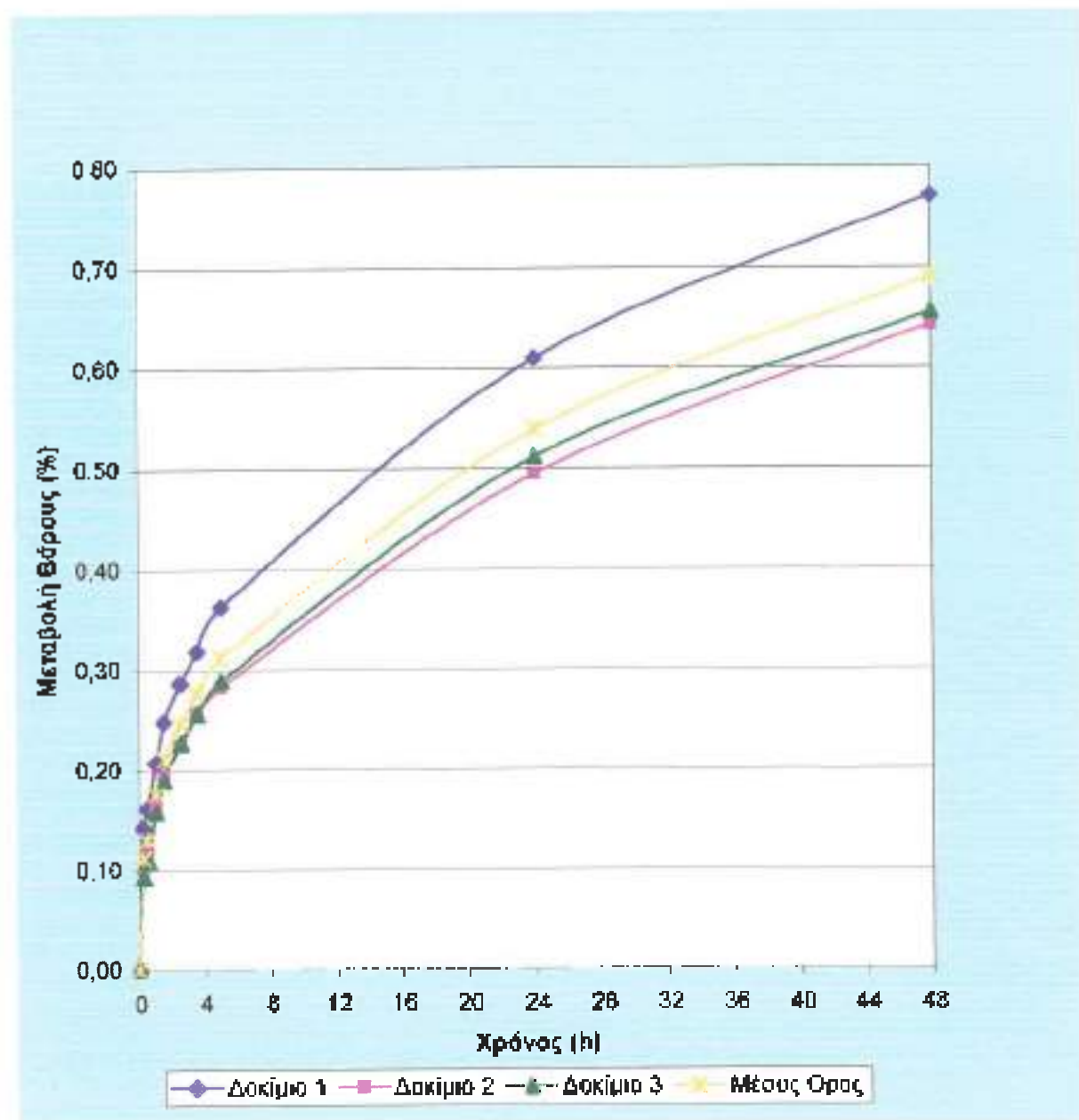
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Κατηγορία διαγραμμάτων Α

**ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΜΕΧΡΙ
ΤΙΣ 48 ΩΡΕΣ**

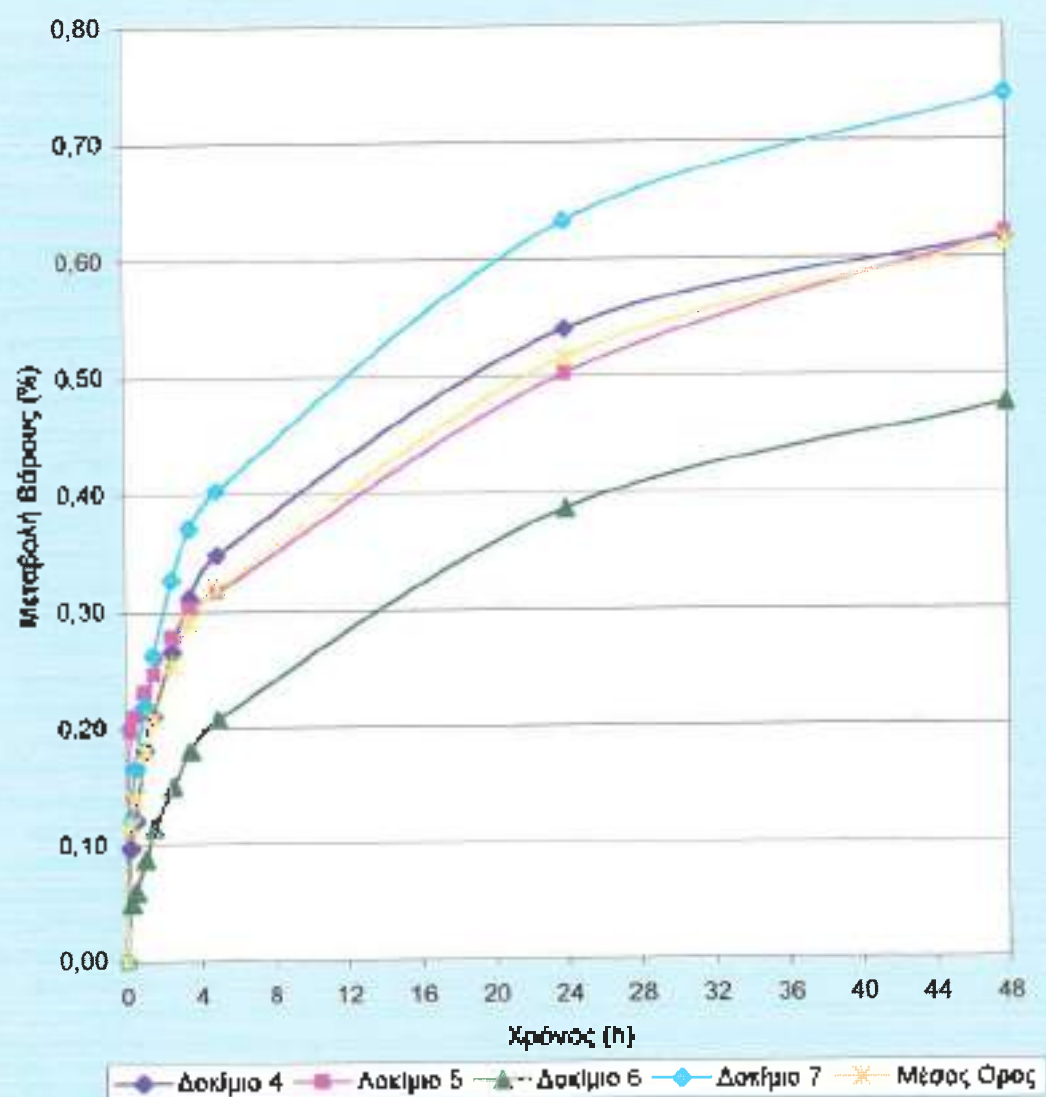
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α1**Μίγμα 5Α**

N/T=0,8

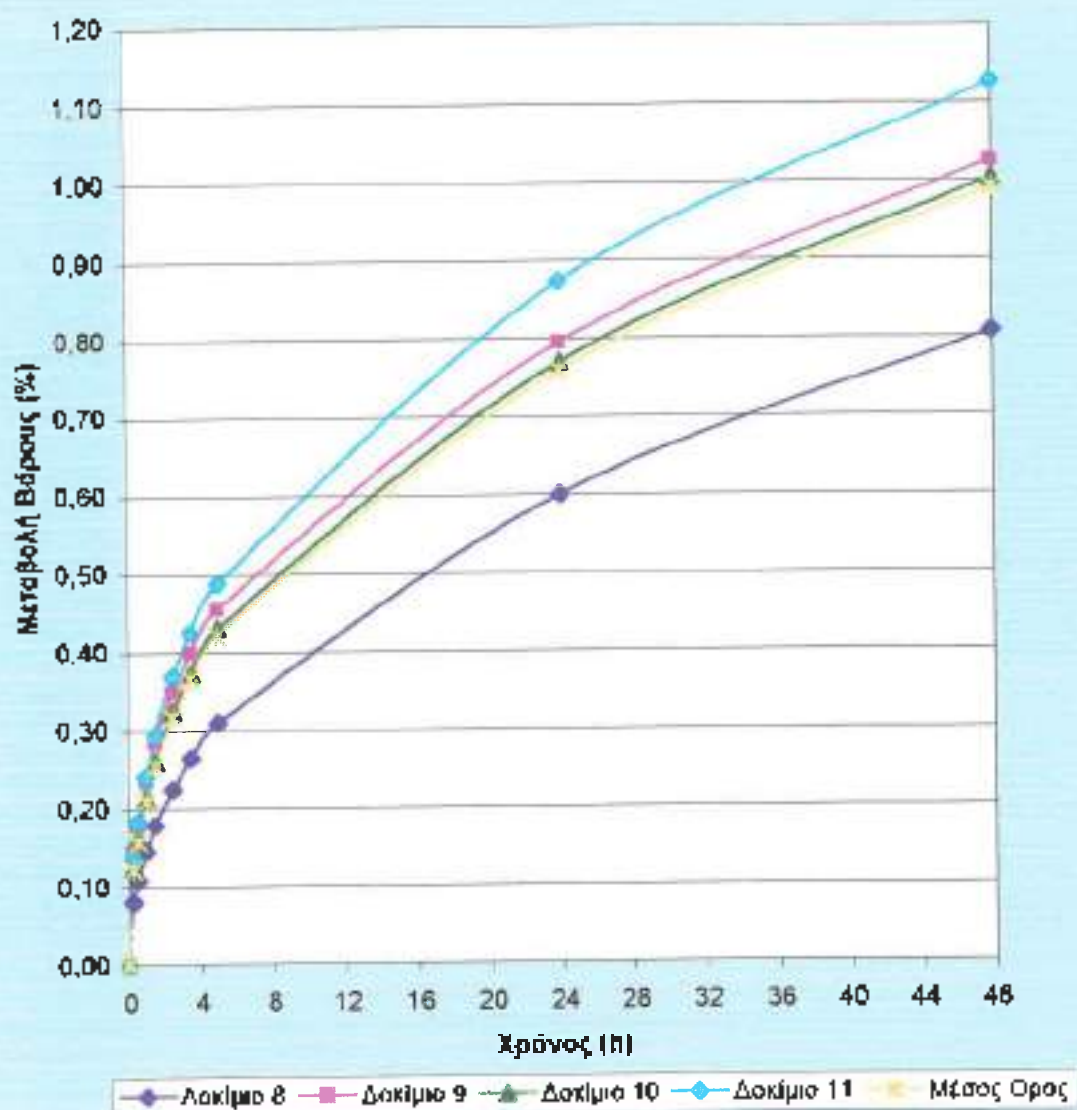
T=233 Kg/m³N=163 Kg/m³N+T=396 Kg/m³

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α2**Μίγμα 6Α**

N/T=0,8

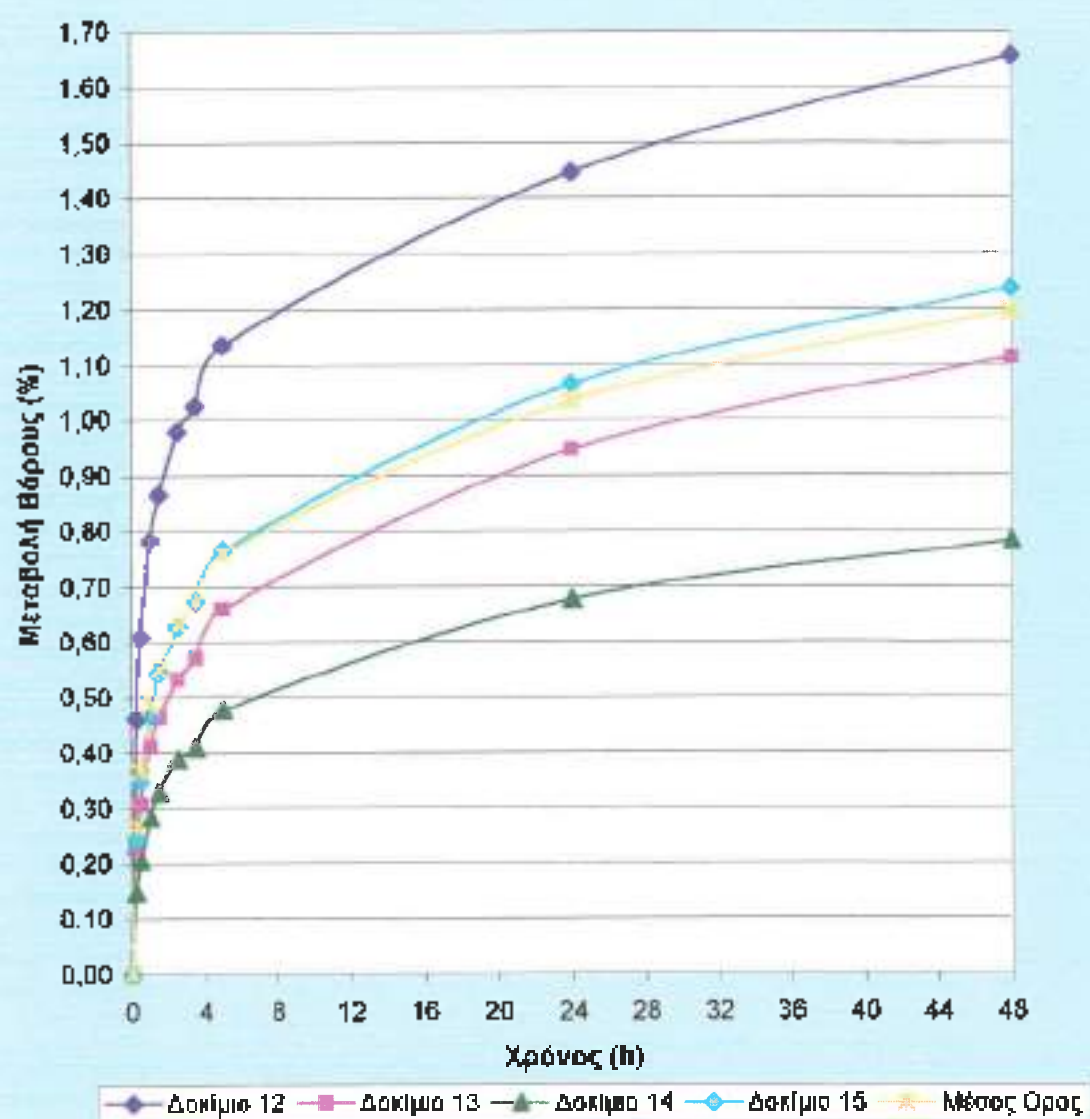
T=300 Kg/m³N=201 Kg/m³N+T=501 Kg/m³

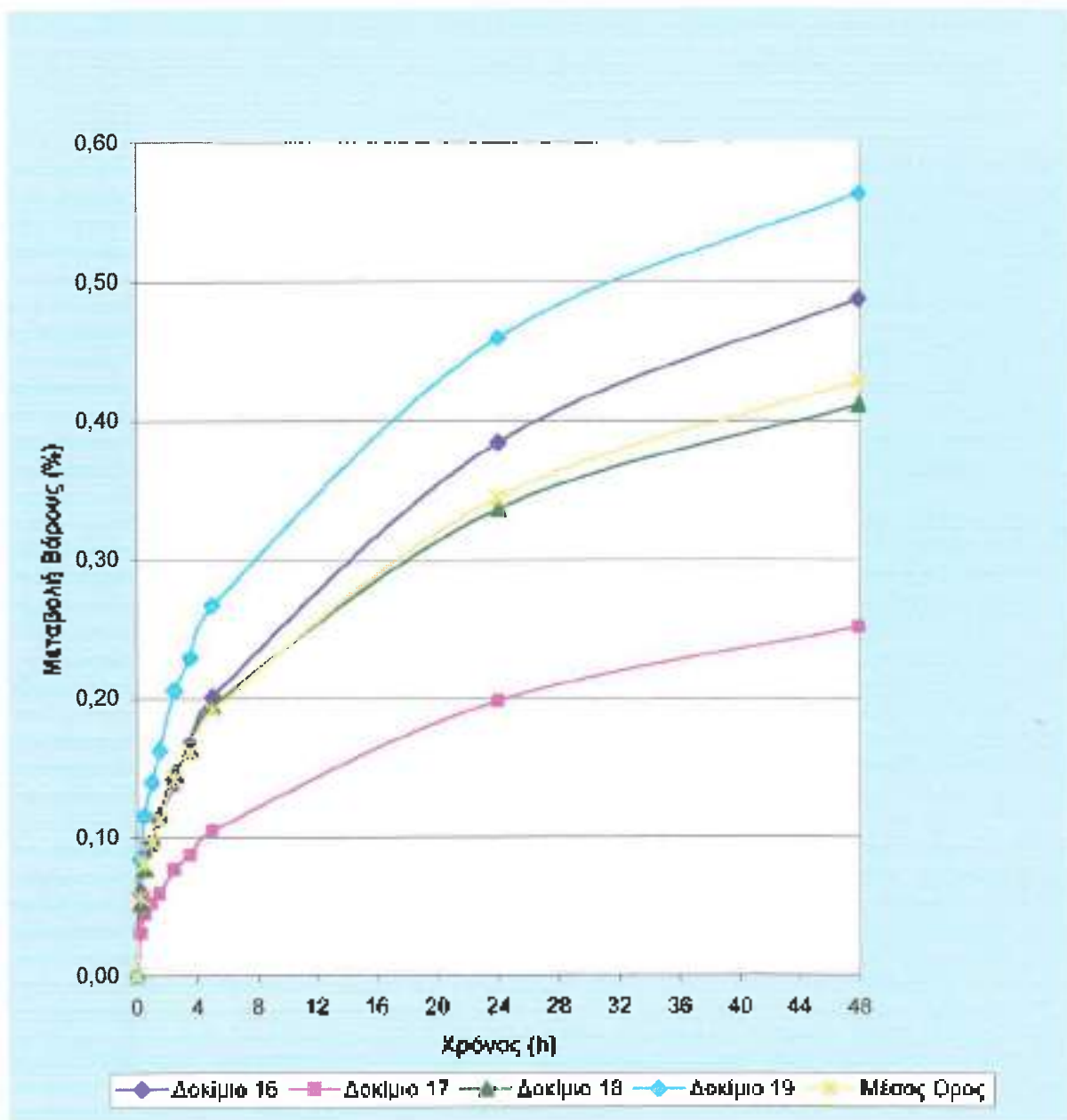
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α3

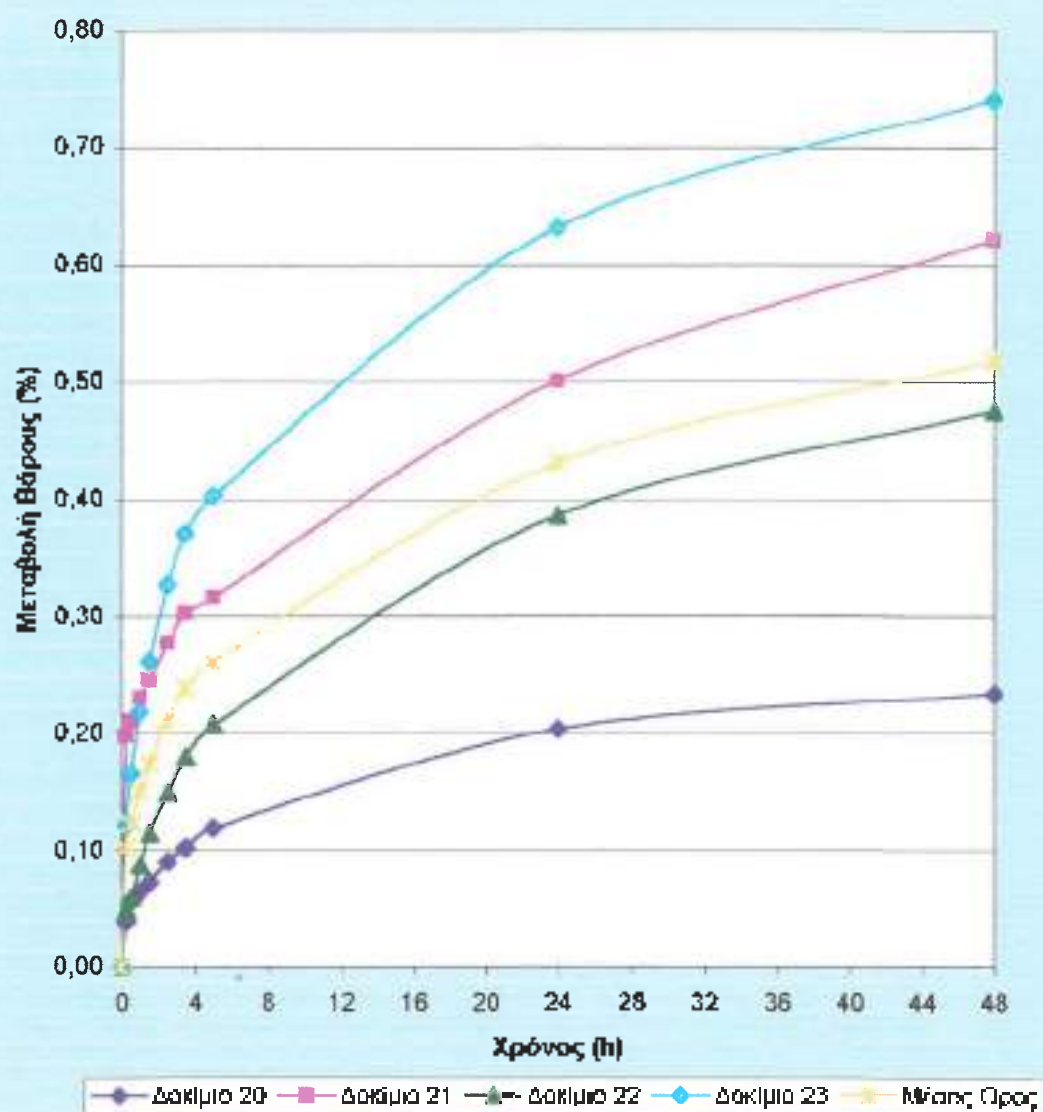
Μίγμα 7Α $N/T=0,6$ $T=367 \text{ Kg/m}^3$ $N=239 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=606 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α4**Μίγμα 8Α**

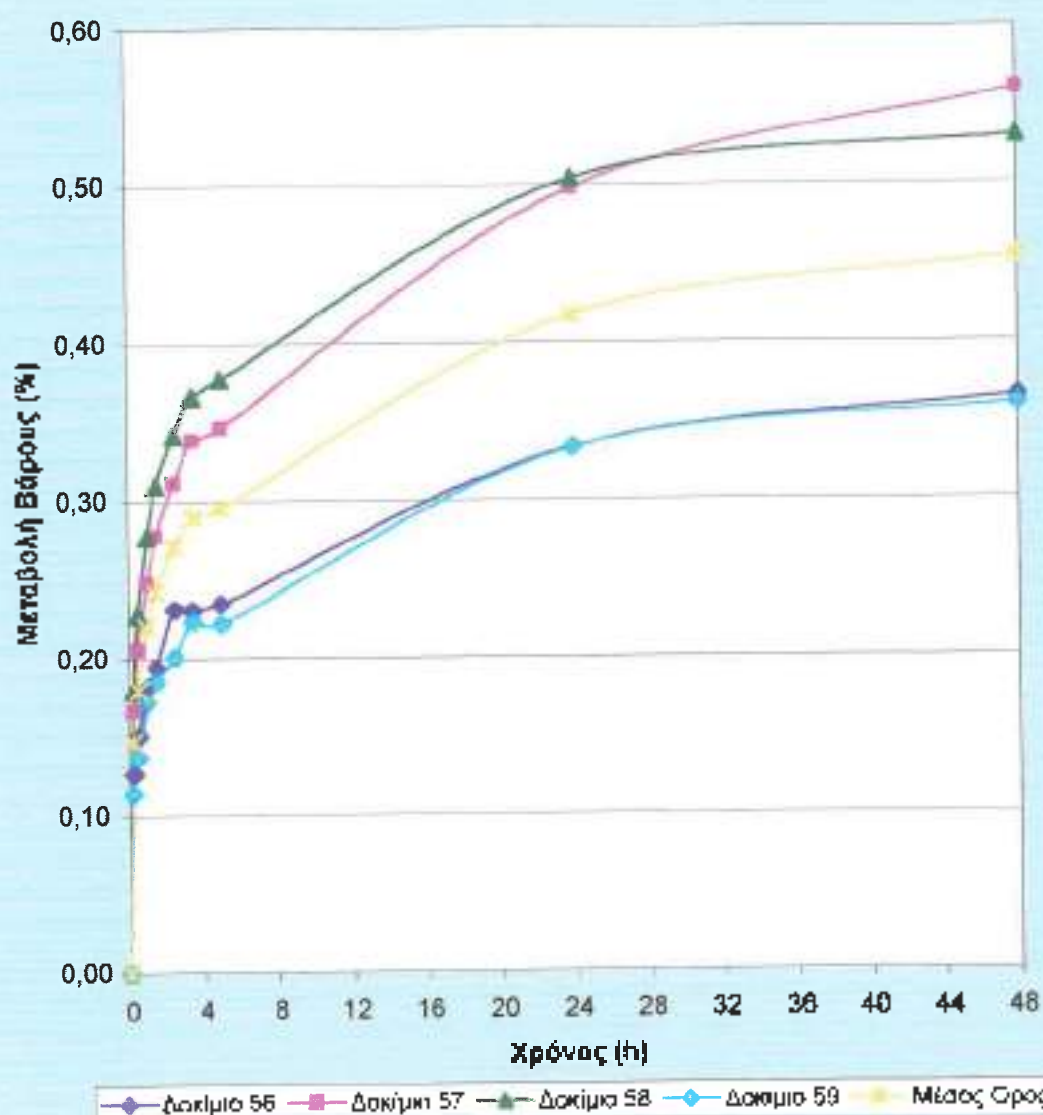
N/T=0,8

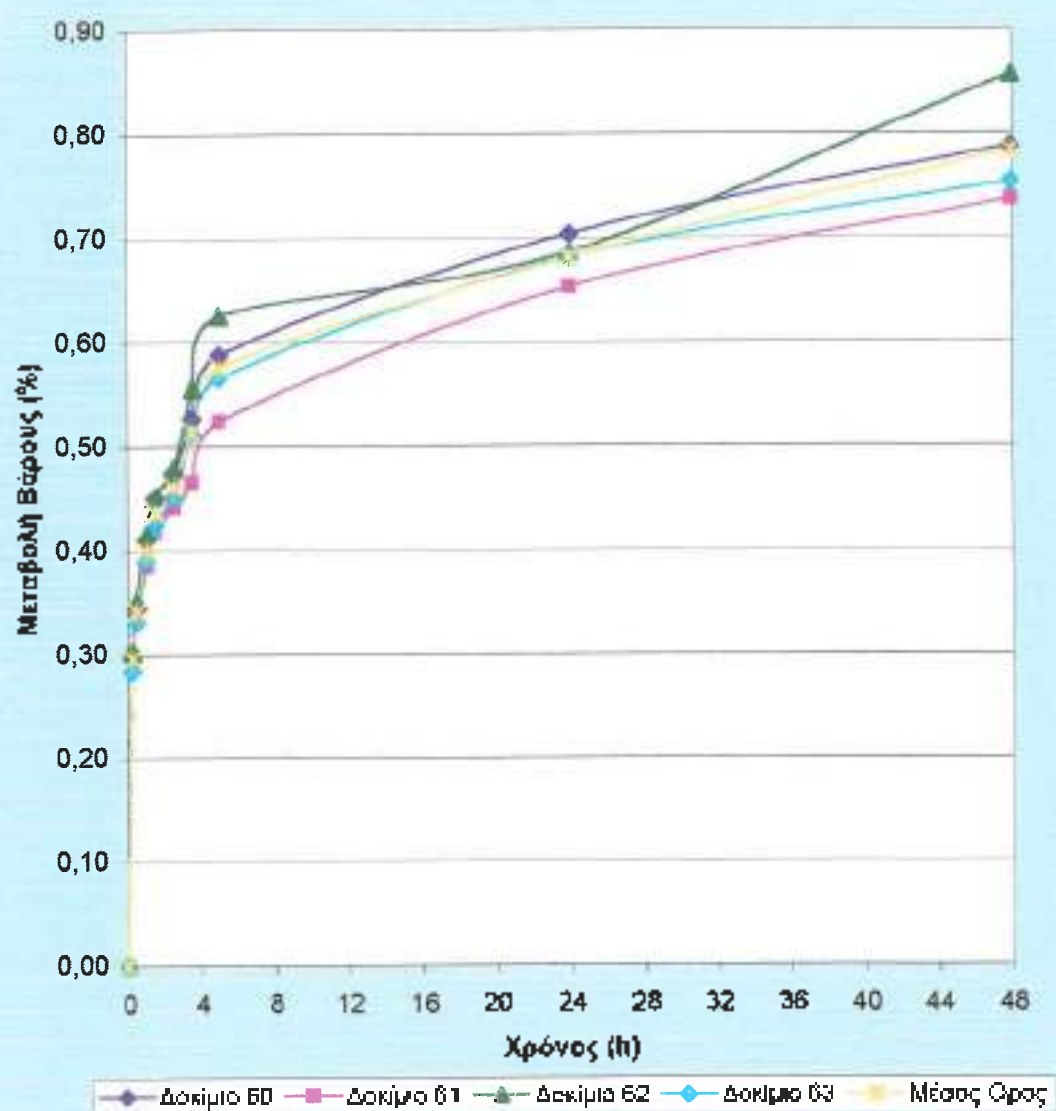
T=433 Kg/m³N=277 Kg/m³N+T=710 Kg/m³

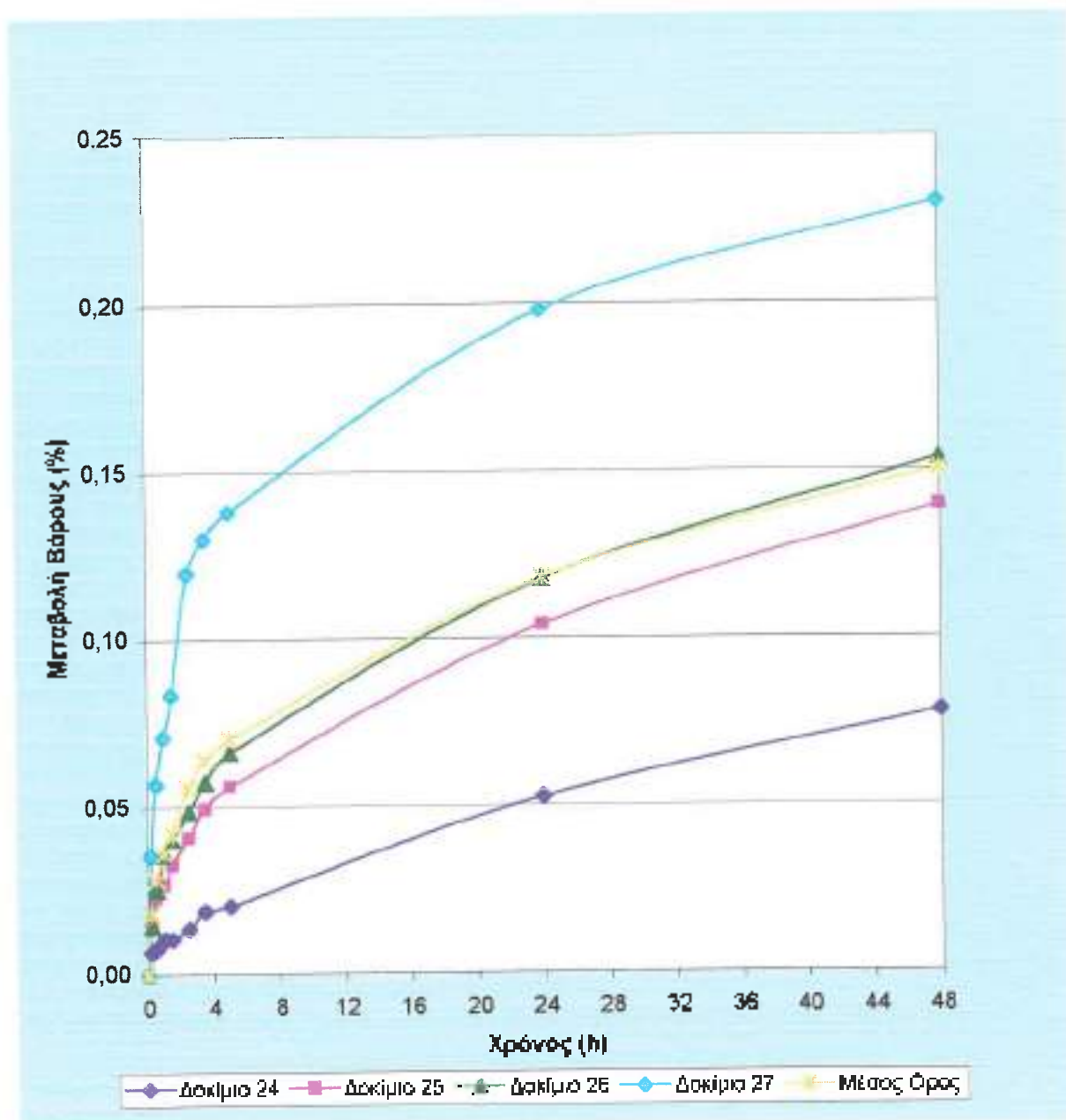
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α5**Μήτρα 9Α** $N/T=0,5$ $T=280 \text{ Kg/m}^3$ $N=162 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=442 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α6**Μίγμα 10Α** $N:T=0,5$ $T=360 \text{ Kg/m}^3$ $N=200 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=560 \text{ Kg/m}^3$ 

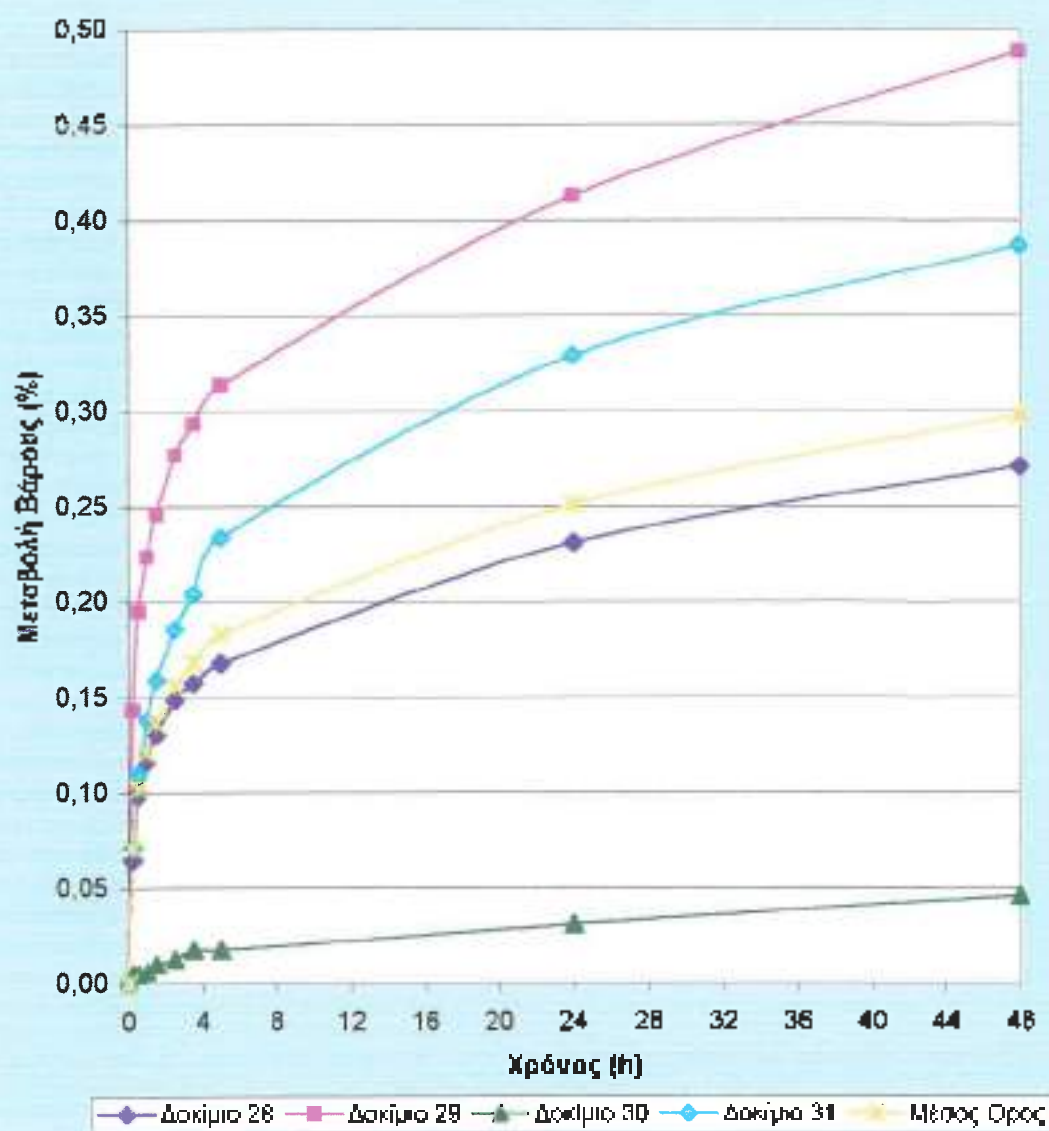
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α7

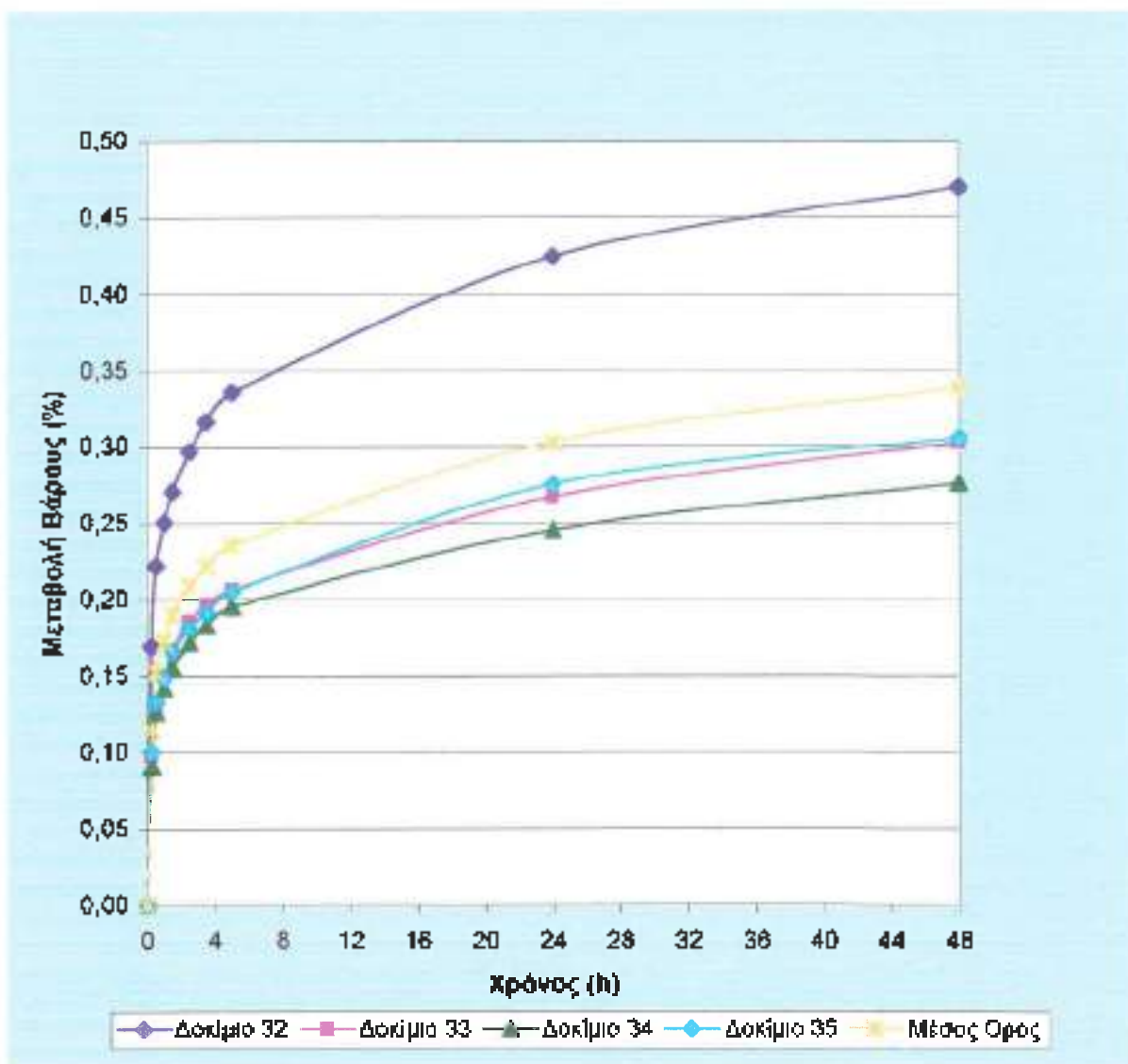
Μίγμα 11Α $N/T=0,5$ $T=440 \text{ Kg/m}^3$ $N=237,7 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=677,7 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α8**Μίγμα 12Α** $N/T=0.5$ $T=520 \text{ Kg/m}^3$ $N=275,6 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=795,6 \text{ Kg/m}^3$ 

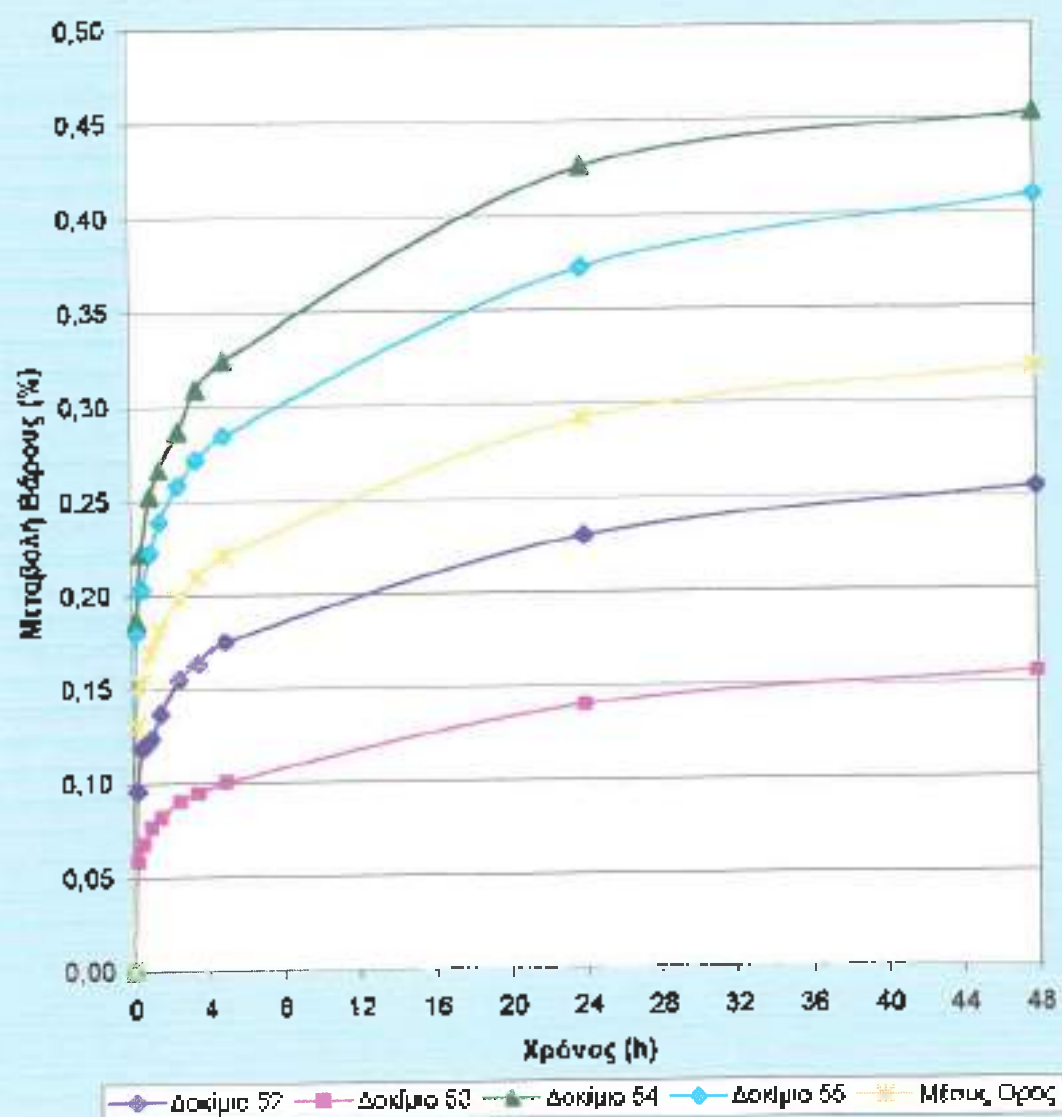
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α9Μίγμα 13Α $N:T=0.5$ $T=350 \text{ Kg/m}^3$ $N=161,3 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=511,3 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α10

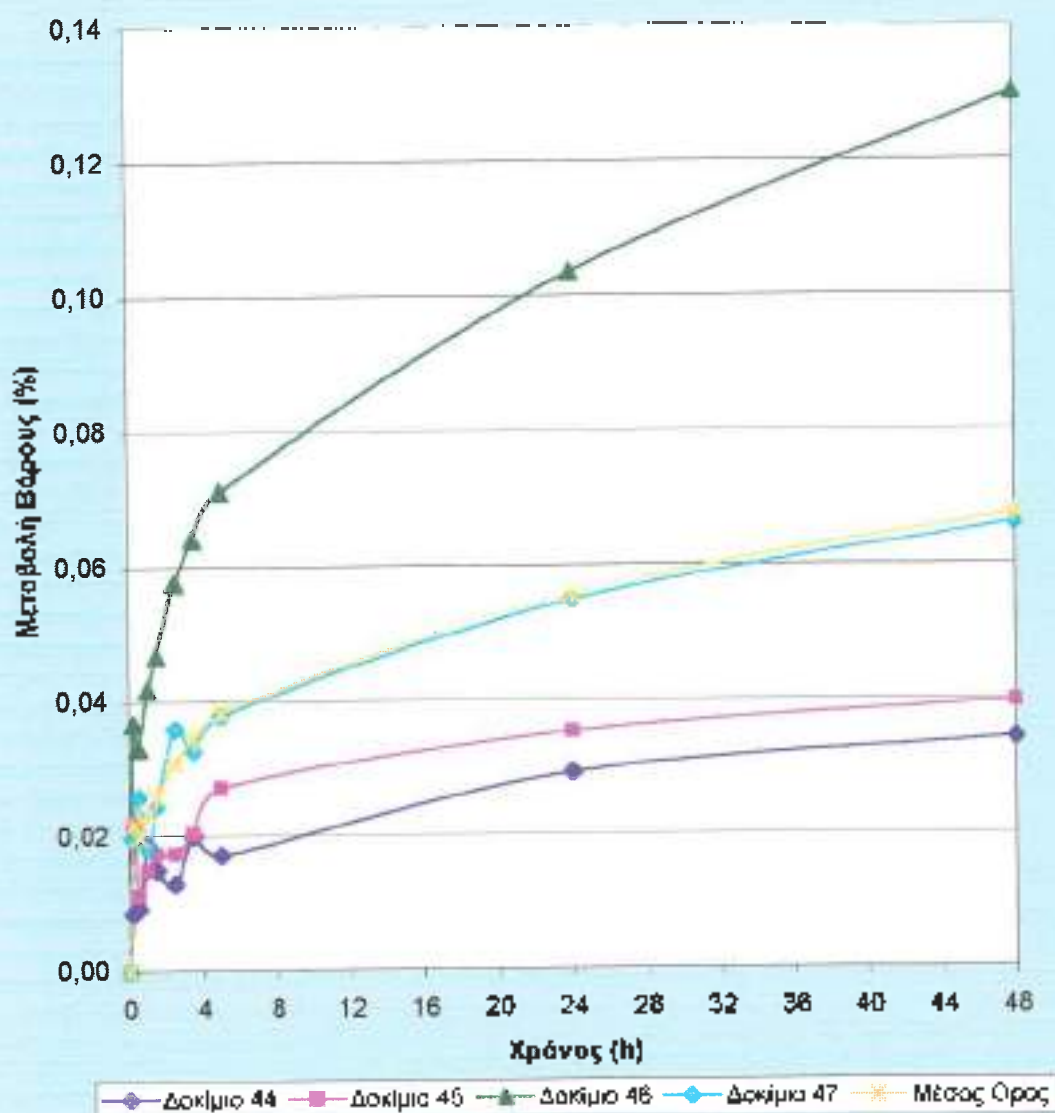
Μίγμα 14Α $N/T=0,4$ $T=450 \text{ Kg/m}^3$ $N=198,7 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=648,7 \text{ Kg/m}^3$ 

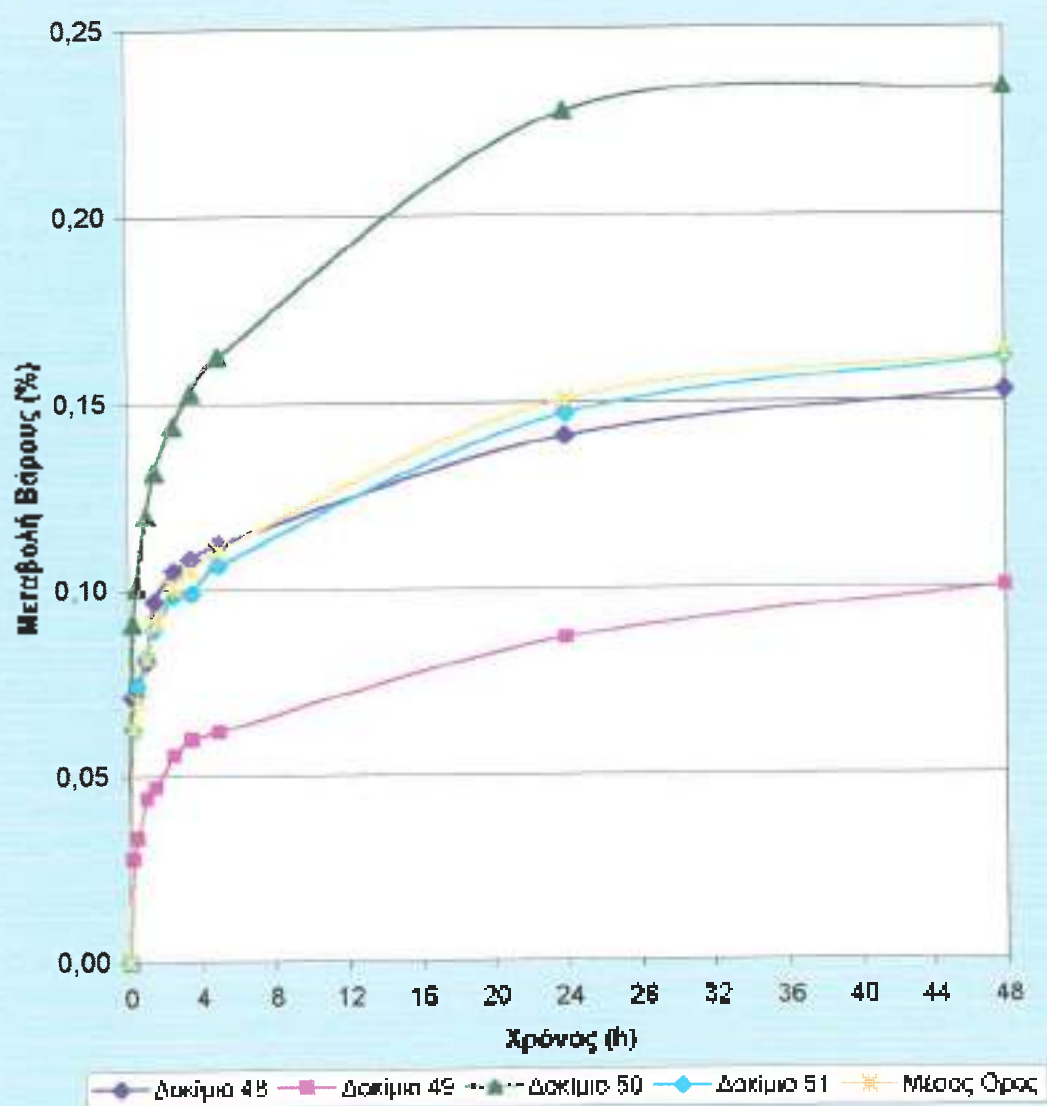
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α11**Μίγμα 15Α** $N/T=0,4$ $T=550 \text{ Kg/m}^3$ $N=236,3 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=786,3 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α12

Μίγμα 16Α $N/T=0,4$ $T=850 \text{ Kg/m}^3$ $N=274 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=924 \text{ Kg/m}^3$ 

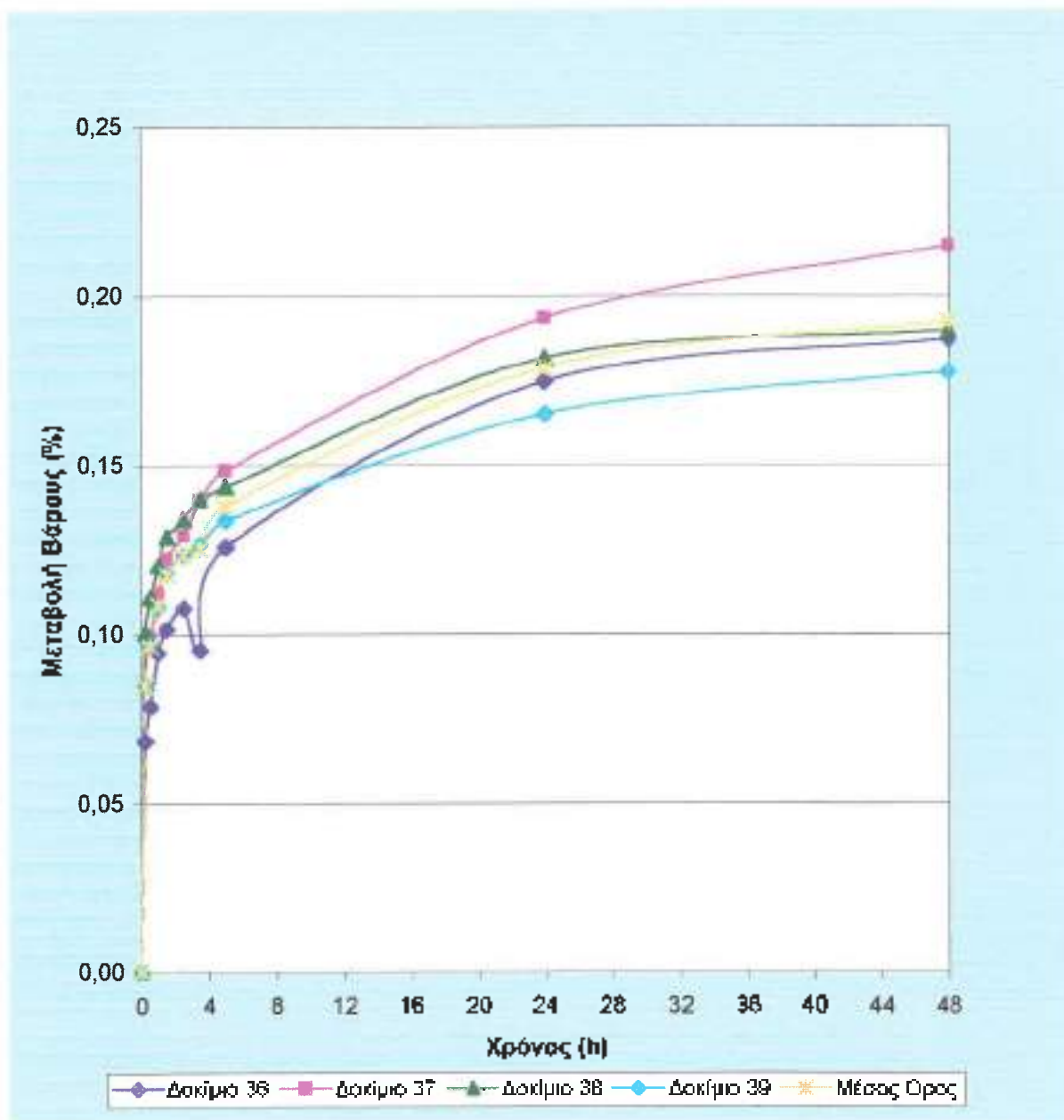
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α13

Μίγμα 17Α $N/T=0,3$ $T=467 \text{ Kg/m}^3$ $N=159,6 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=626,6 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α14**Μίγμα 18Α** $N/T=0,3$ $T=600 \text{ Kg/m}^3$ $N=196,6 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=796,6 \text{ Kg/m}^3$ 

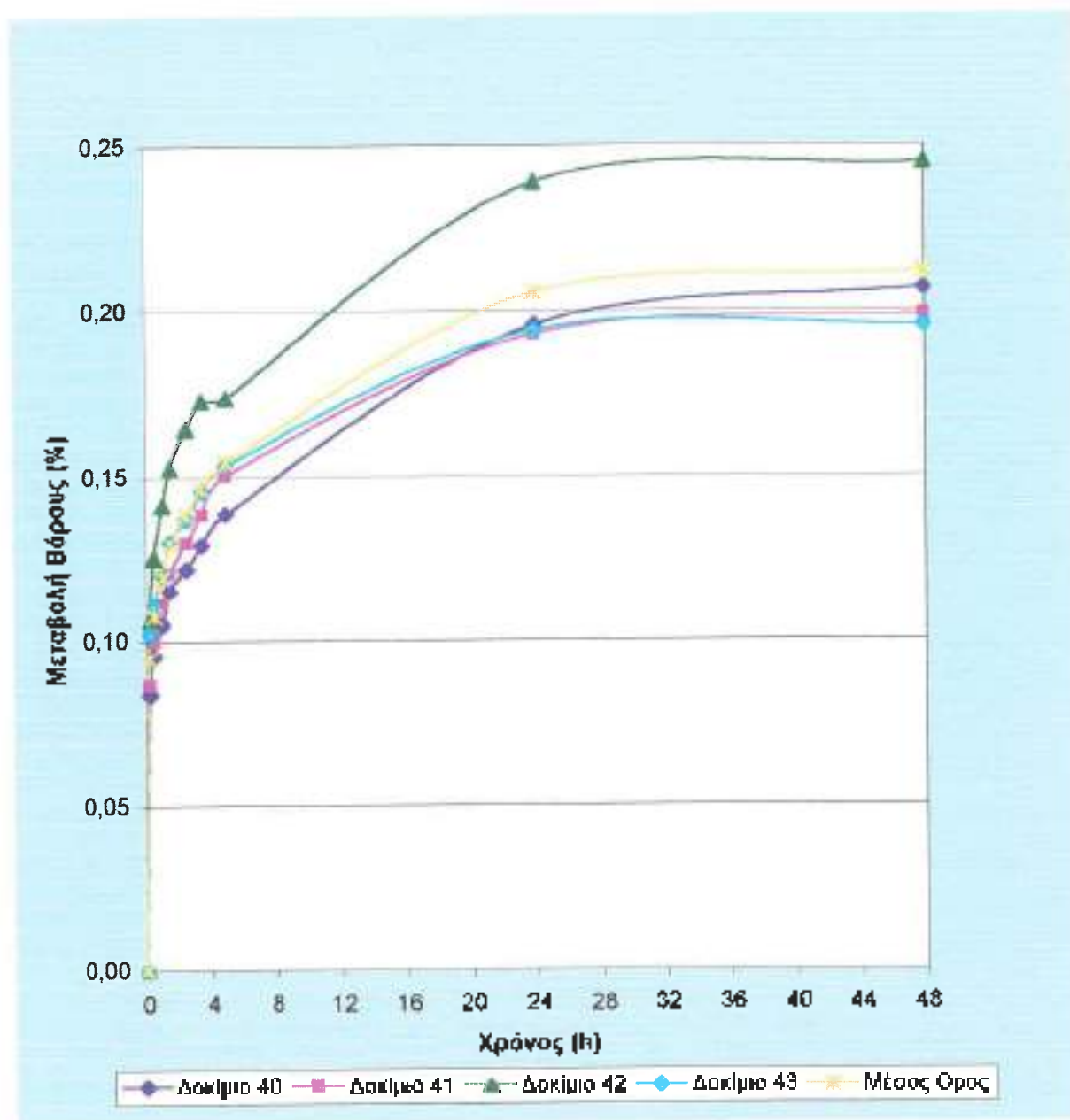
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α15**Μήτρα 19Α**

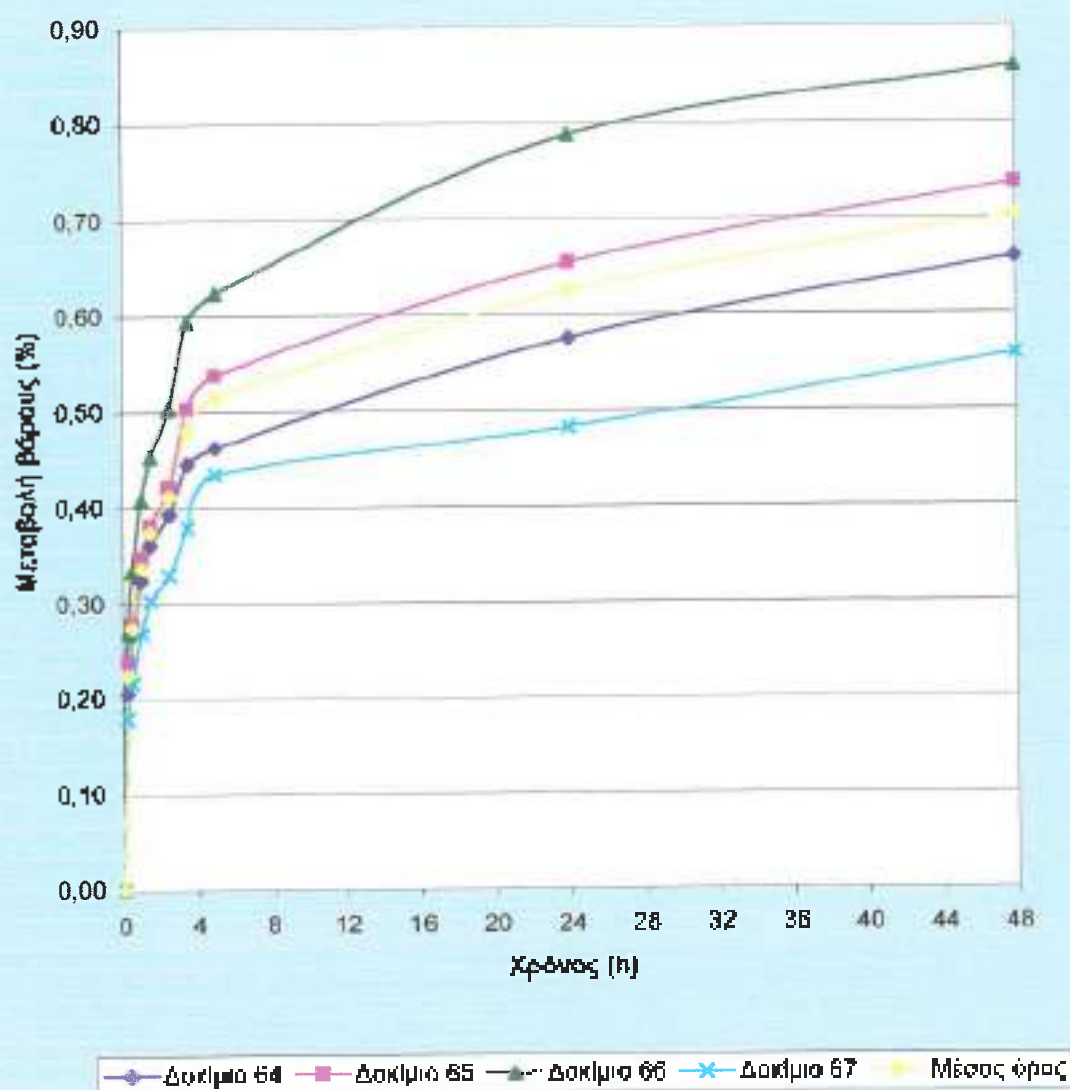
N/T=0.3

T=733 Kg/m³N=234 Kg/m³N+T=967 Kg/m³

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α16**Μίγμα 20Α**

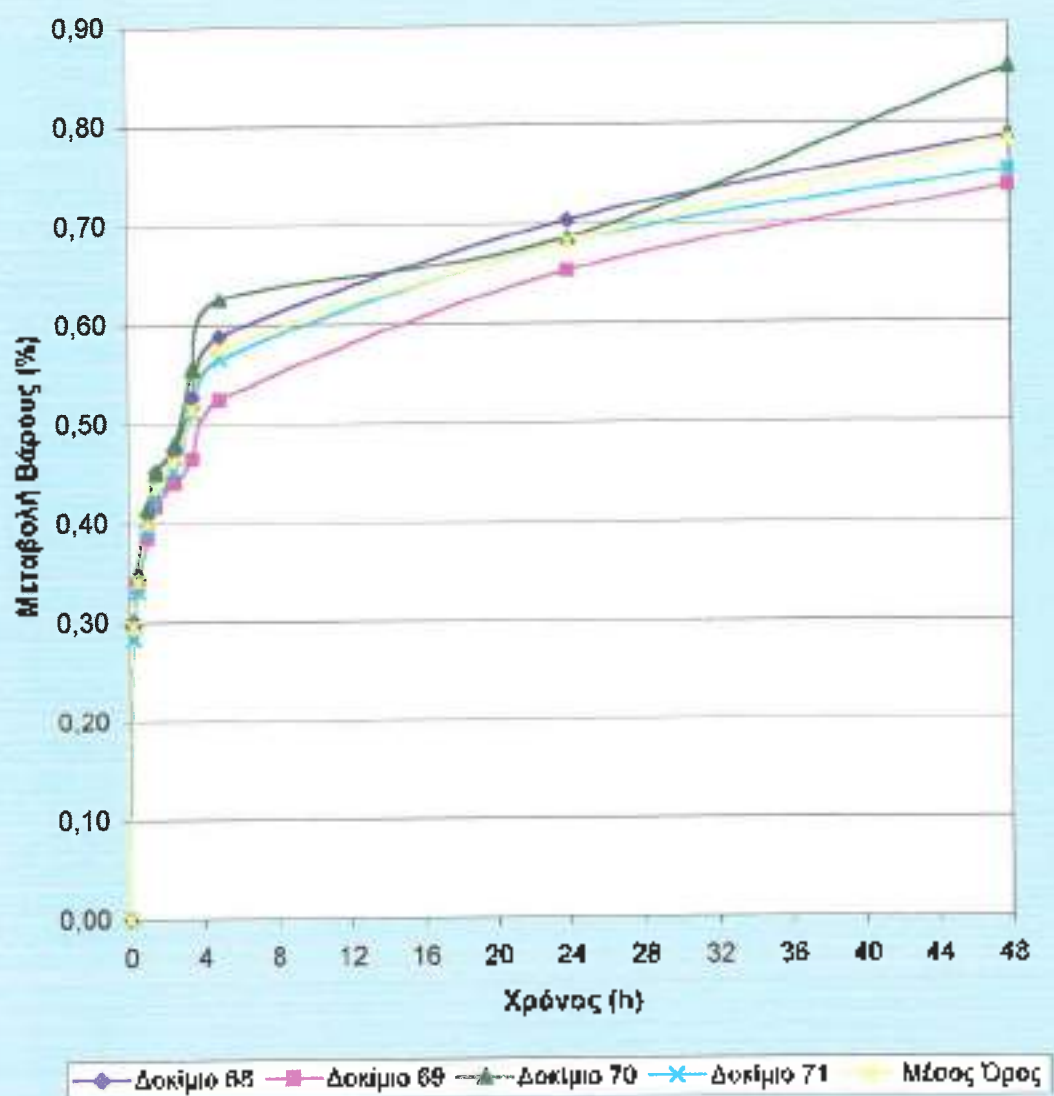
N/T=0.3

T=867 Kg/m³N=271 Kg/m³N+T=1138 Kg/m³

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α17**Μίγμα 11B** $N/T=0,5$ $T=440 \text{ Kg/m}^3$ $N=237,7 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=677,7 \text{ Kg/m}^3$ 

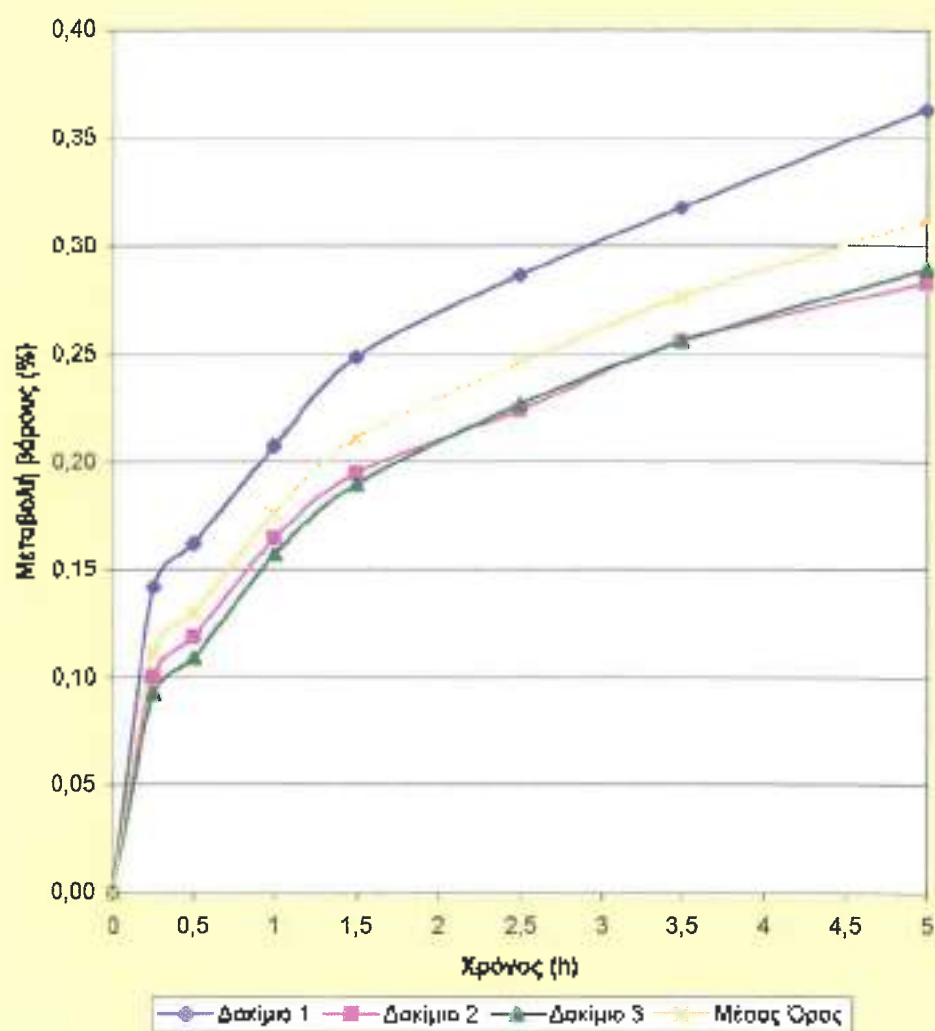
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α18**Μίγμα 12B**

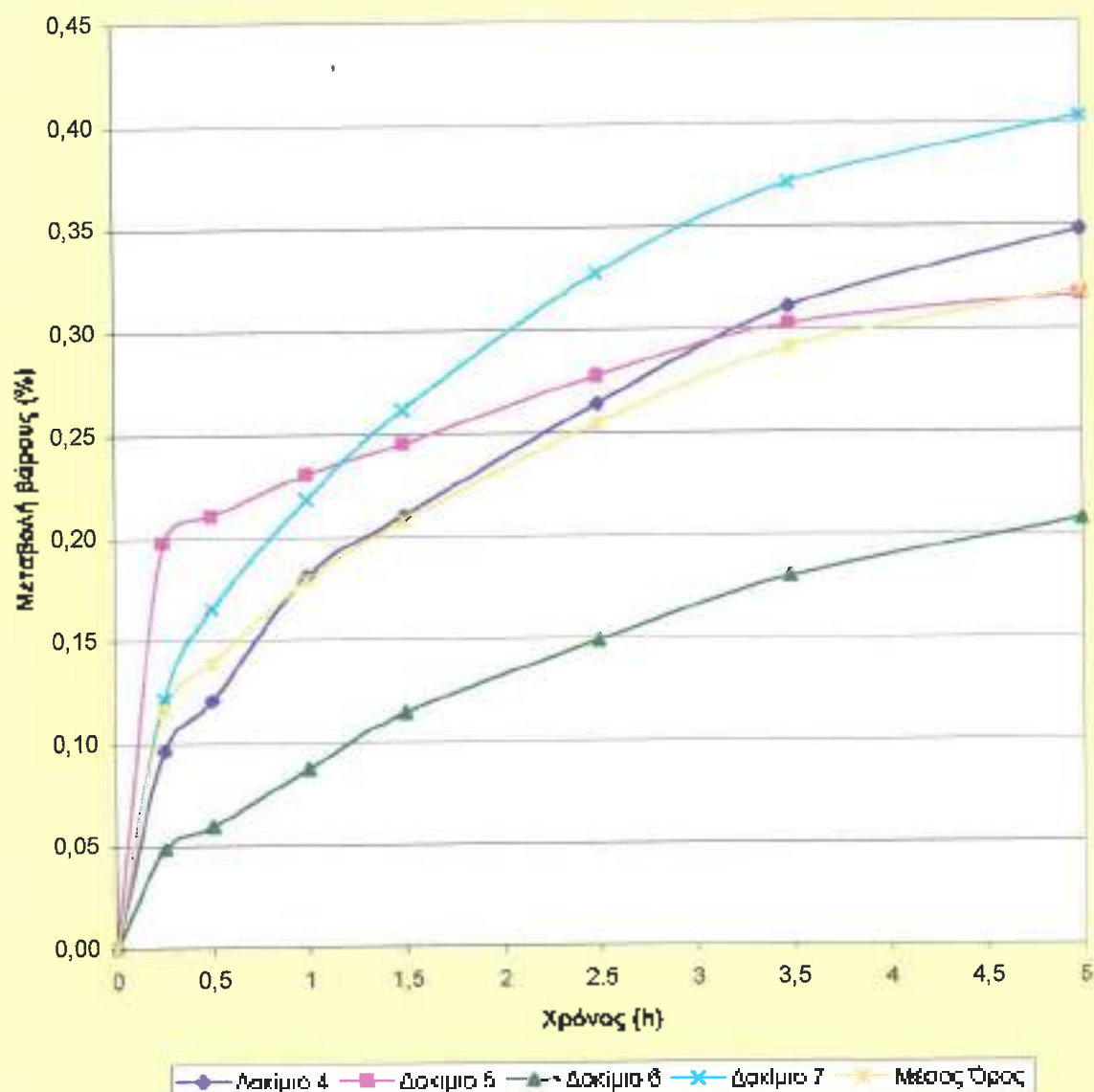
N/T=0.5

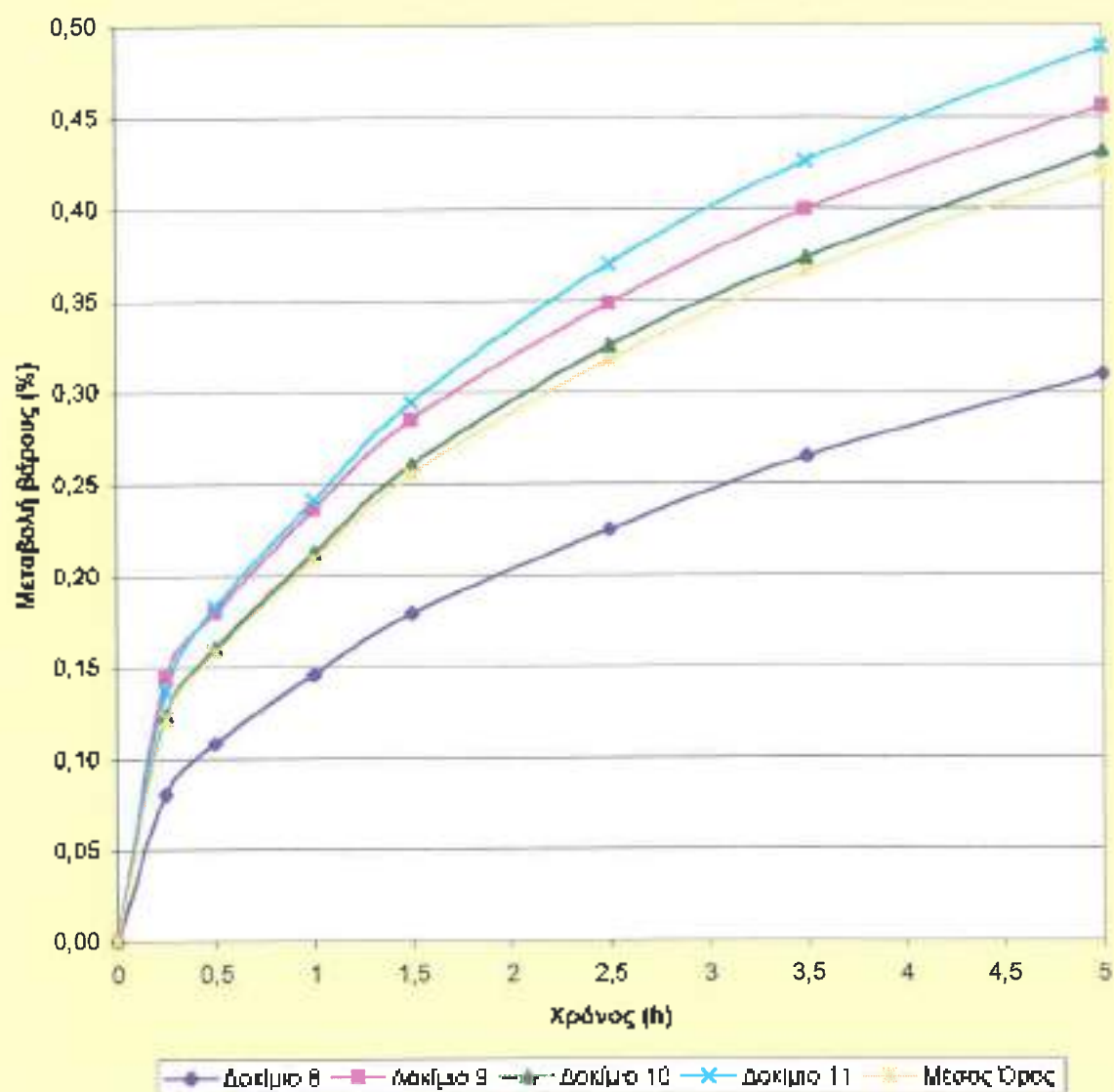
T=520 Kg/m³N=275,6 Kg/m³N+T=705,6 Kg/m³

Κατηγορία διαγραμμάτων Β

**ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΜΕΧΡΙ
ΤΙΣ 5 ΩΡΕΣ**

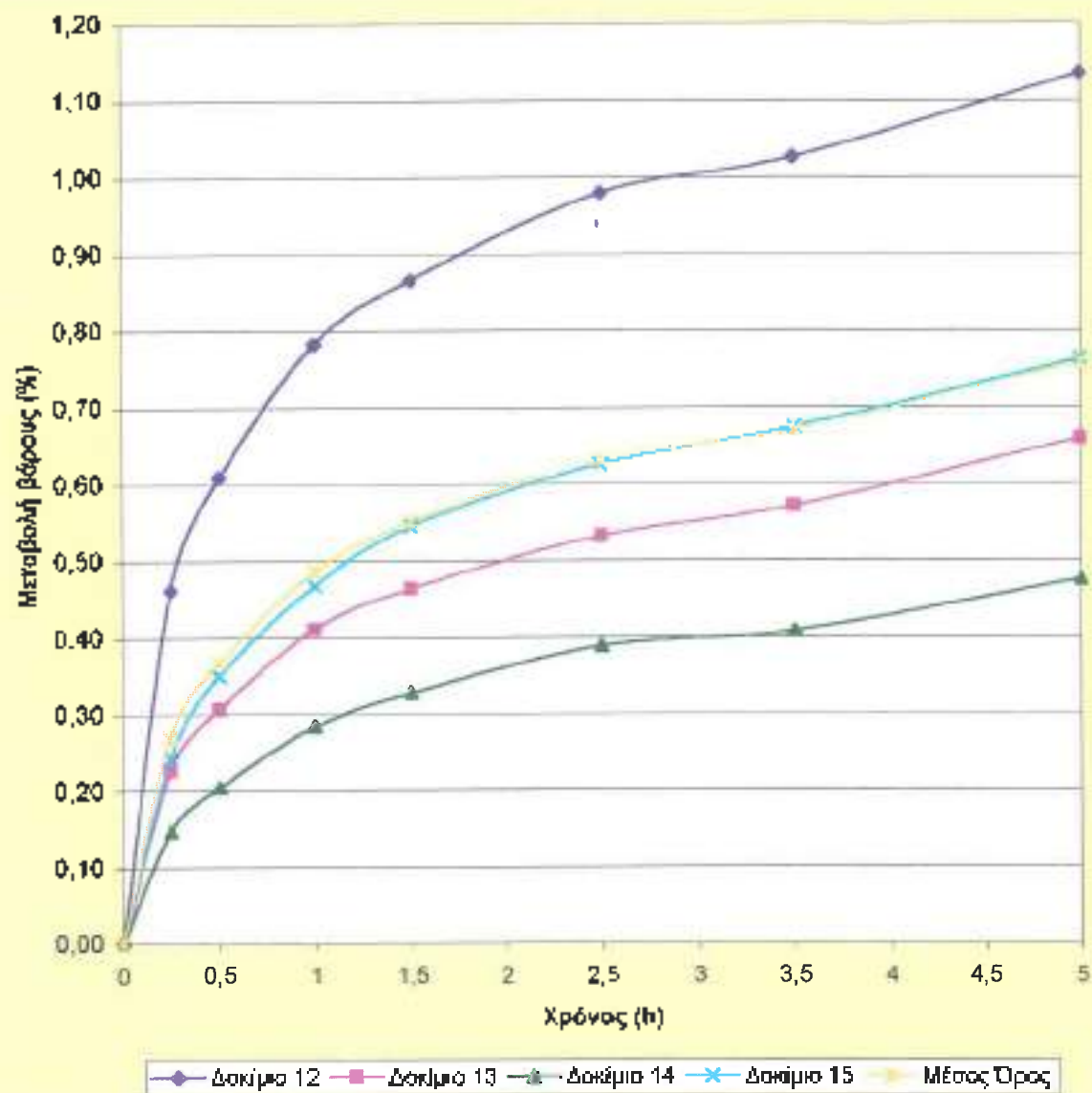
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β1Μίγμα 5Α $N/T=0,6$ $T=233 \text{ Kg/m}^3$ $N=183 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=398 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β2**Μίγμα 6Α** $N/T=0,6$ $T=300 \text{ Kg/m}^3$ $N=201 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=501 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β3**Μίγμα 7Α** $N/T=0,6$ $T=367 \text{ Kg/m}^3$ $N=239 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=606 \text{ Kg/m}^3$ 

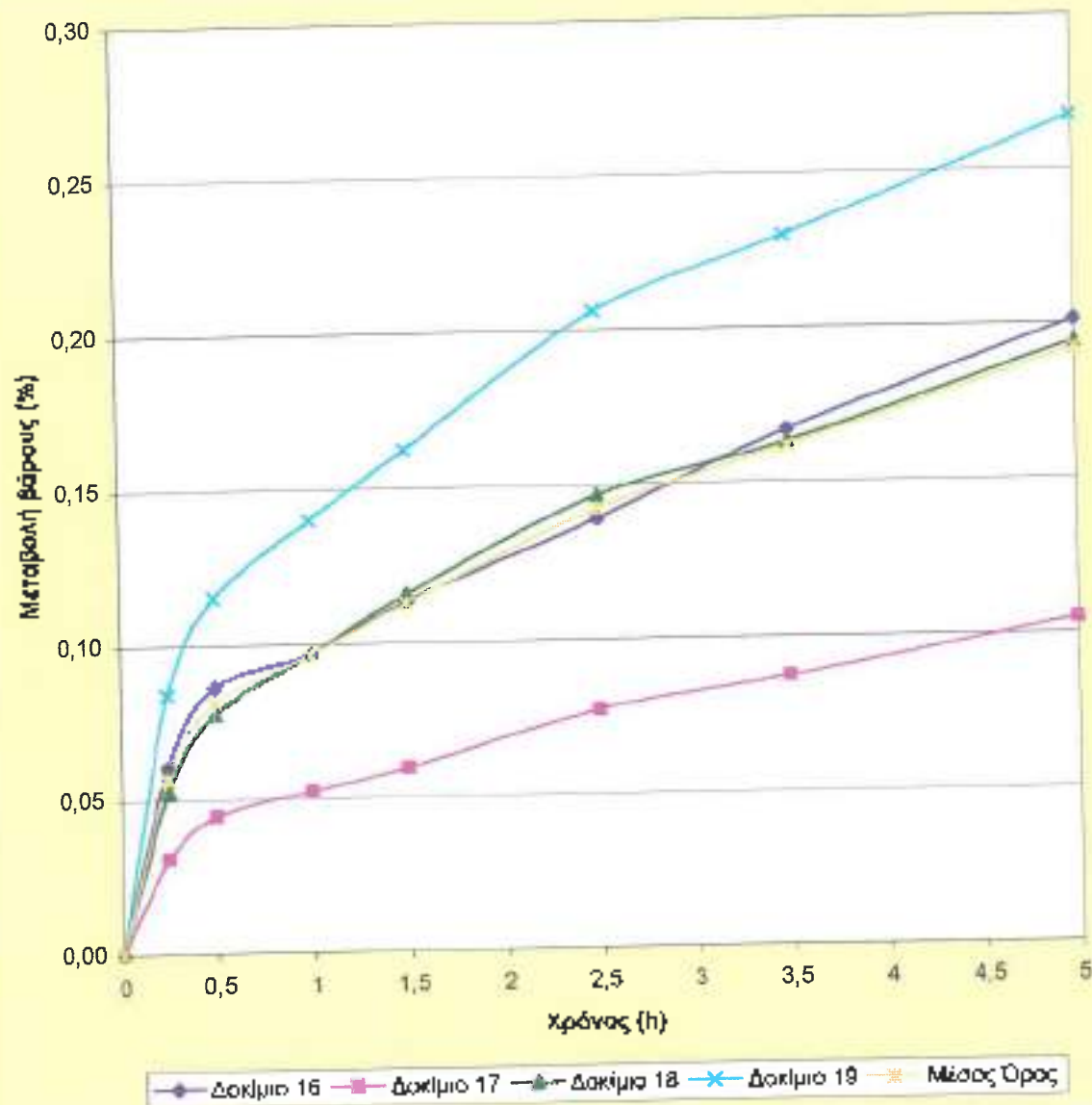
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β4**Μίγμα 8Α**

N/T=0.8

T=433 Kg/m³N=277 Kg/m³N+T=710 Kg/m³

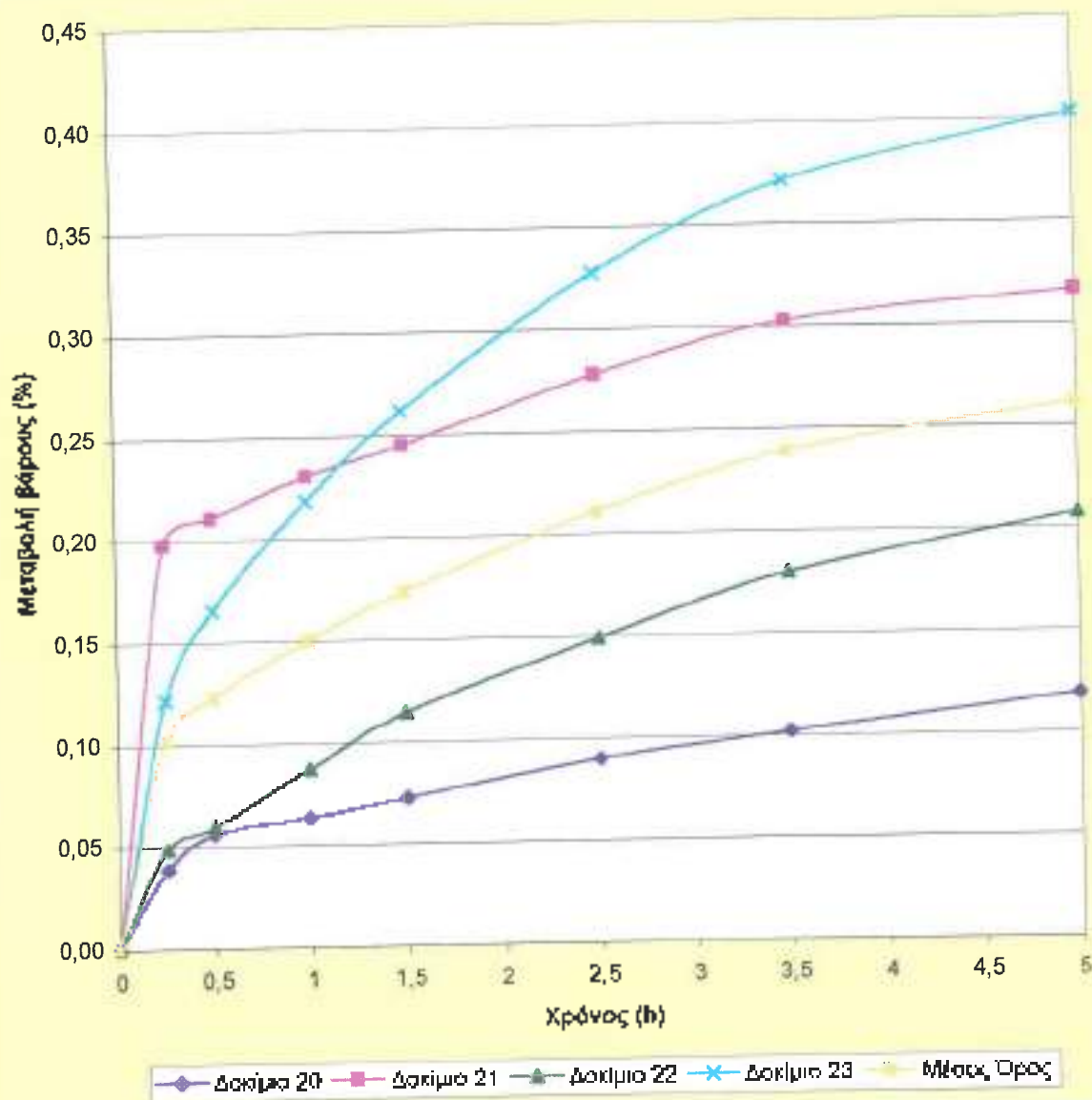
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β5

Μίγμα 9Α

 $N/T=0,5$ $T=280 \text{ Kg/m}^3$ $N=162 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=442 \text{ Kg/m}^3$ 

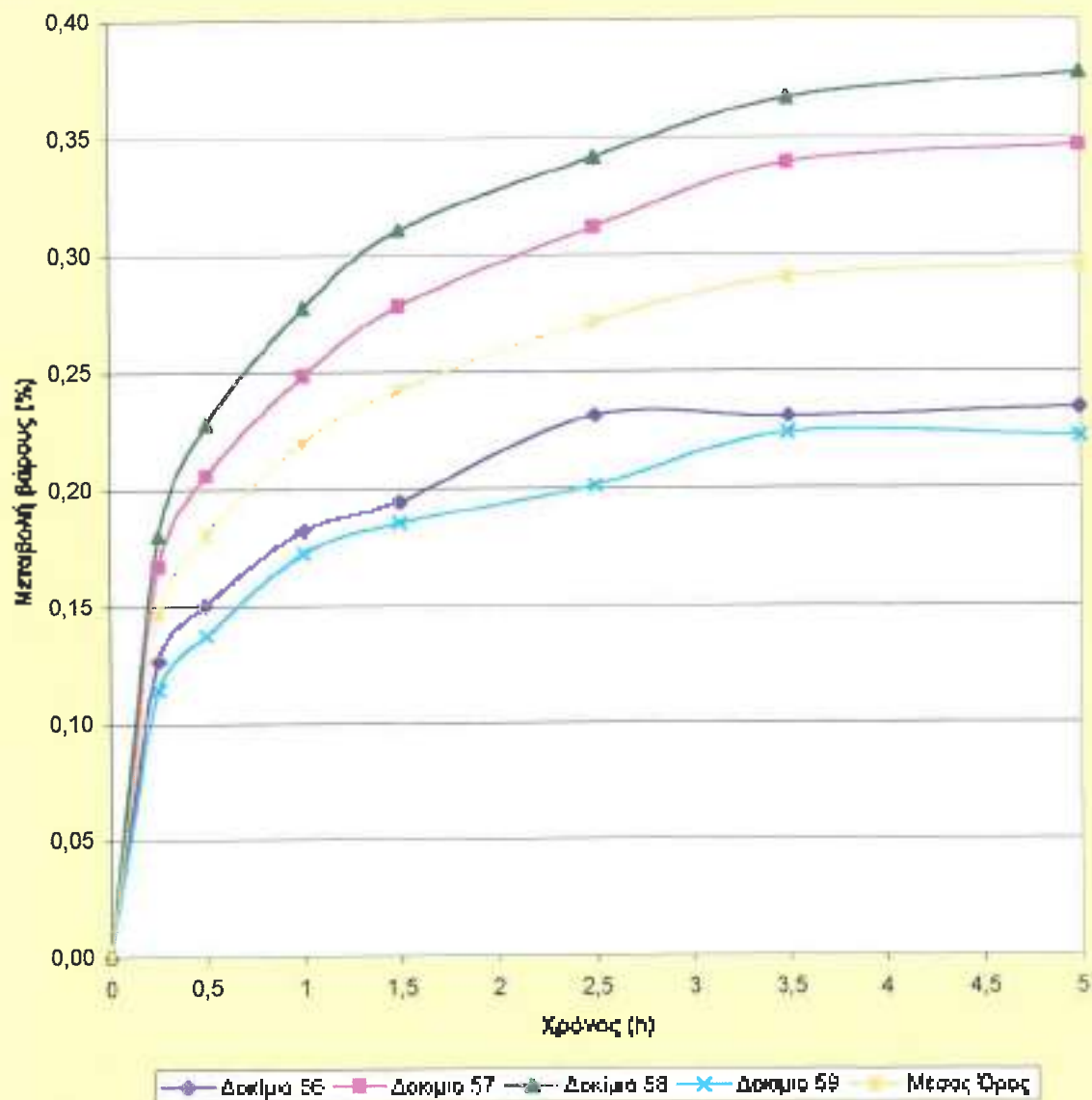
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β6

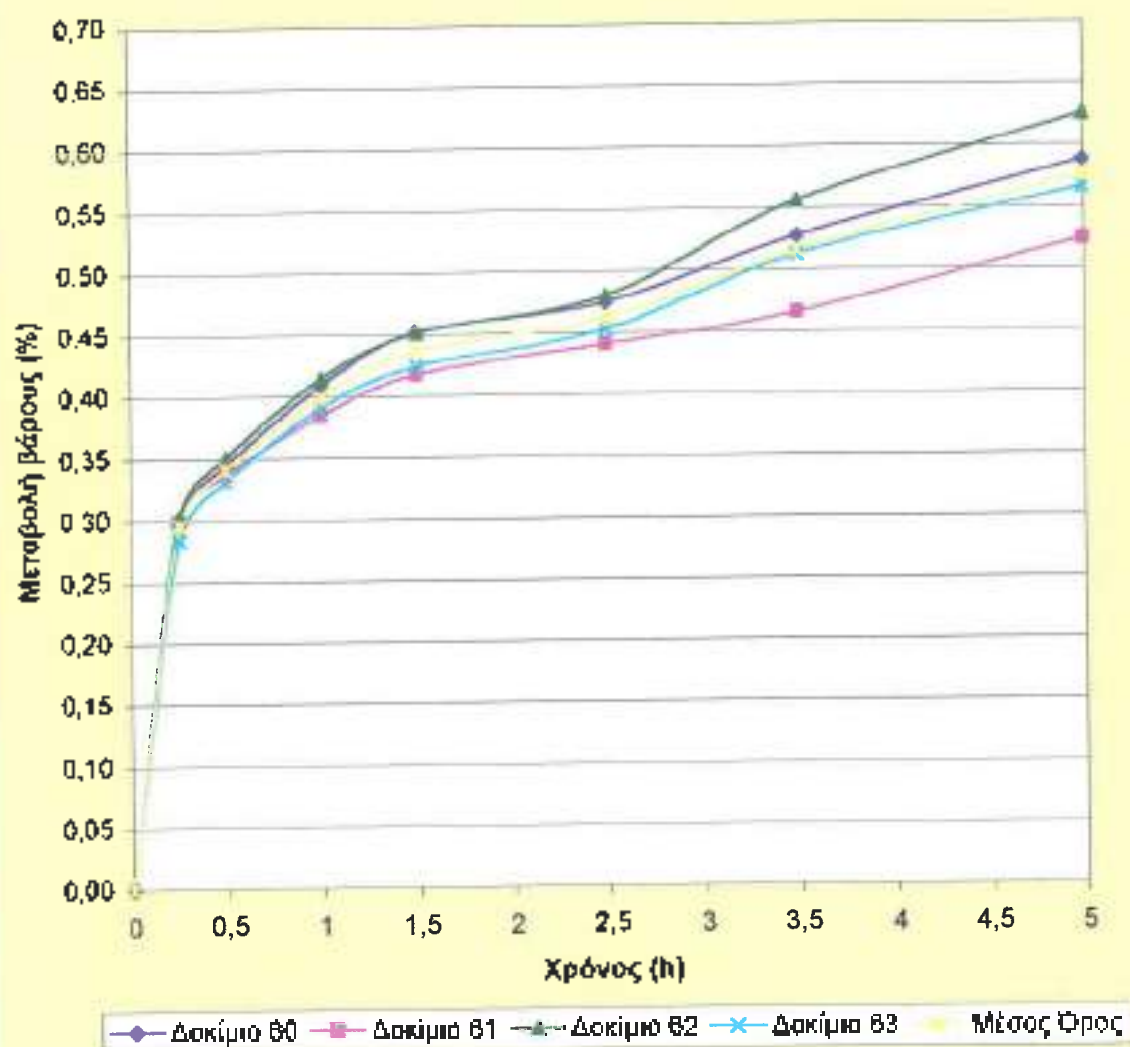
Μίγμα 10Α

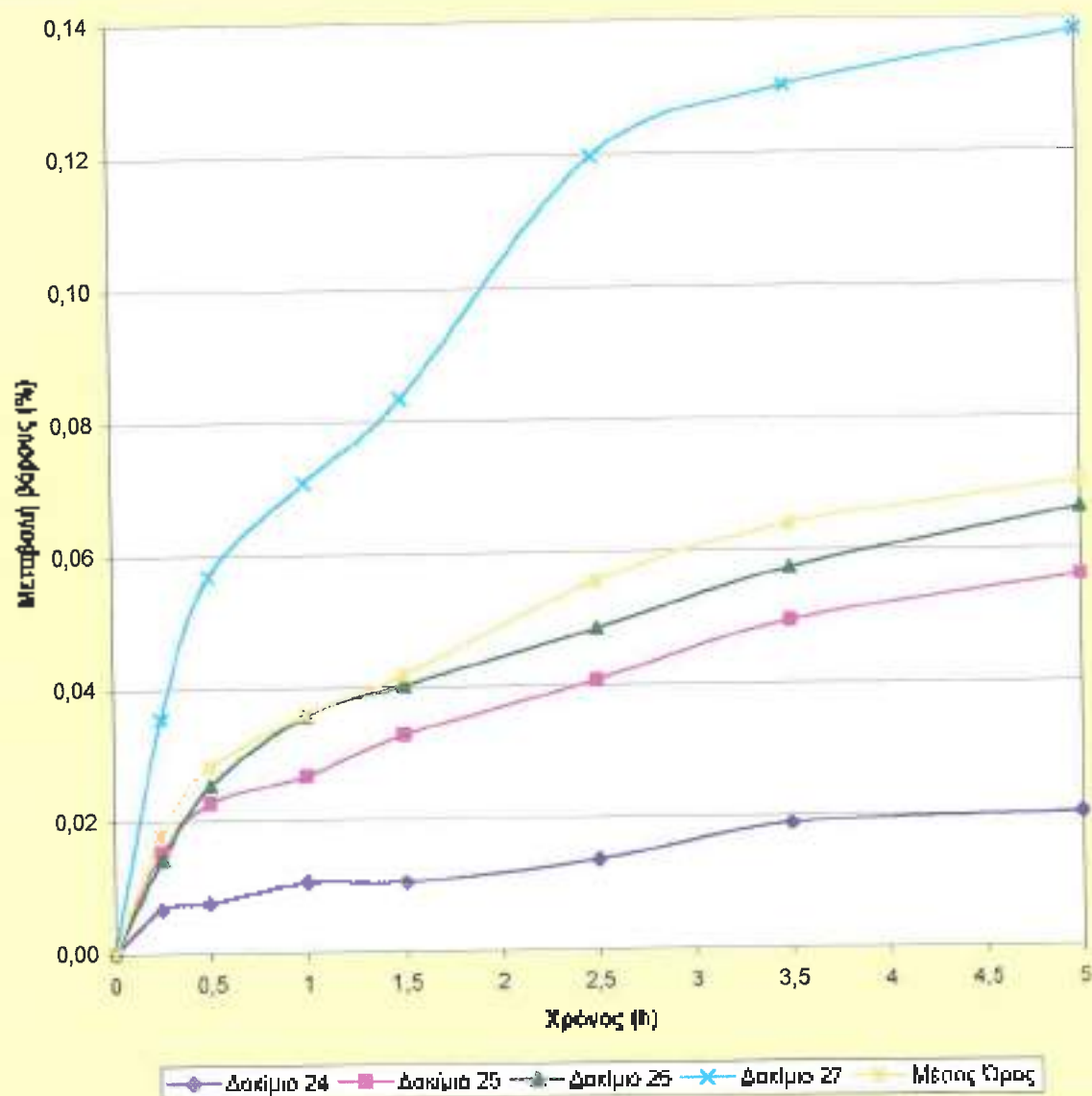
 $N/T=0.5$ $T=360 \text{ Kg/m}^3$ $N=200 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=560 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β7**Μίγμα 11Α**

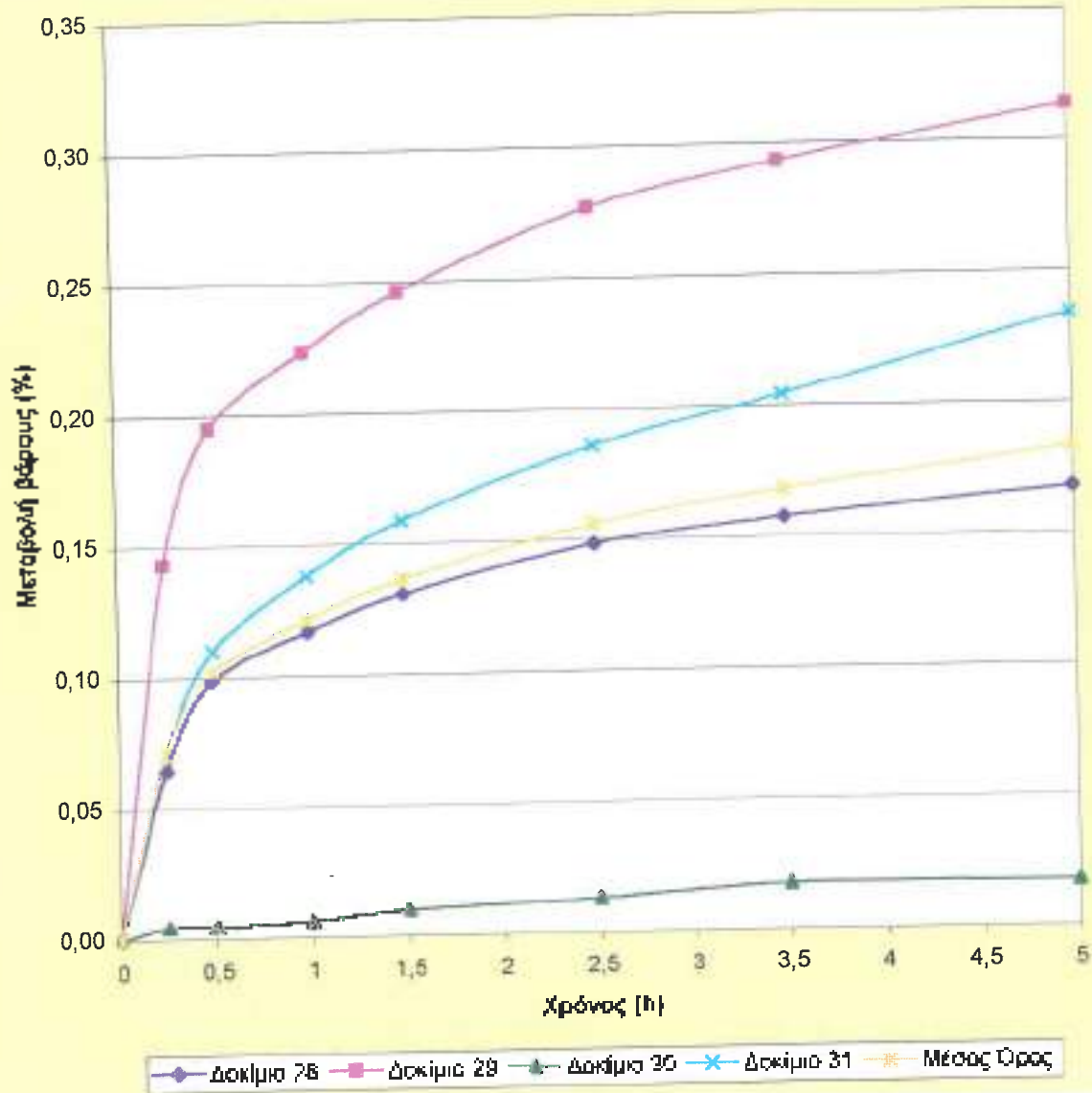
N/T=0,5

T=440 Kg/m³N=237,7 Kg/m³N+T=677,7 Kg/m³

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β8**Μίγμα 12Α** $N/T=0,5$ $T=520 \text{ Kg/m}^3$ $N=275,6 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=705,6 \text{ Kg/m}^3$ 

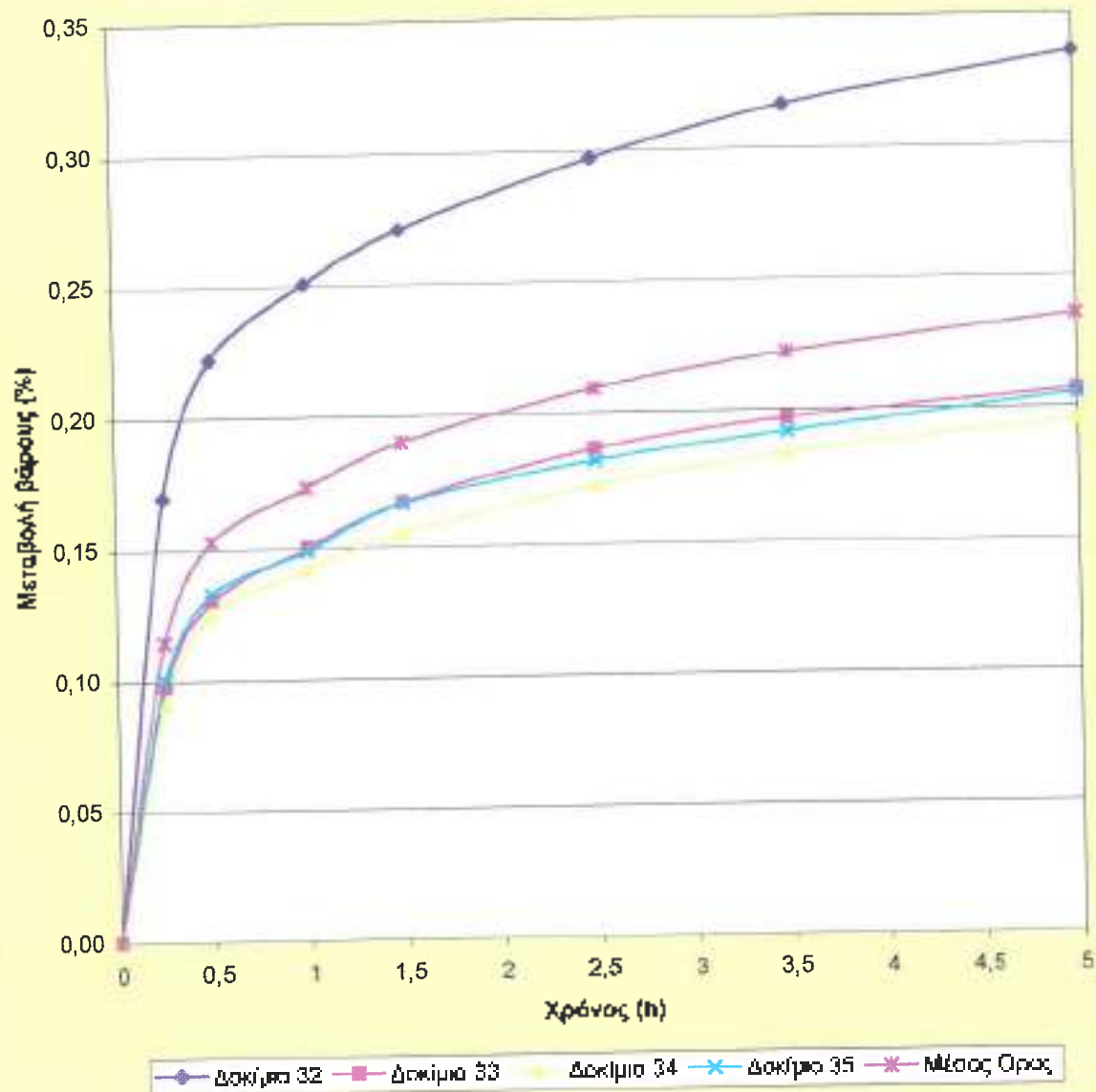
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β9**Μίγμα 13Α** $N/T=0,5$ $T=350 \text{ Kg/m}^3$ $N=161,3 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=511,3 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β10

Μίγμα 14Α $N/T=0,4$ $T=450 \text{ Kg/m}^3$ $N=198,7 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=648,7 \text{ Kg/m}^3$ 

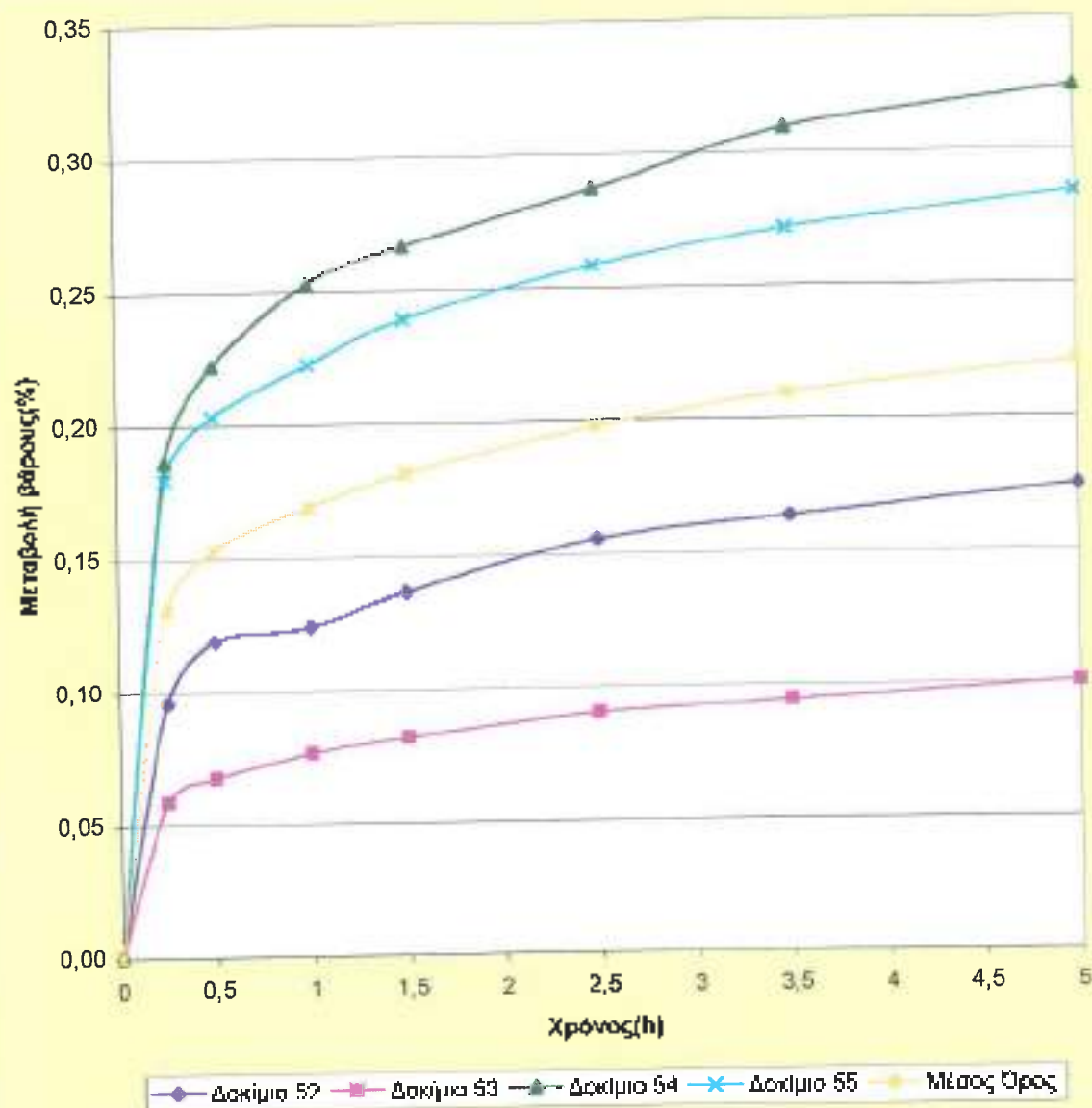
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β11

Μίγμα 16Α

 $N/T=0,4$ $T=550 \text{ Kg/m}^3$ $N=238,3 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=786,3 \text{ Kg/m}^3$ 

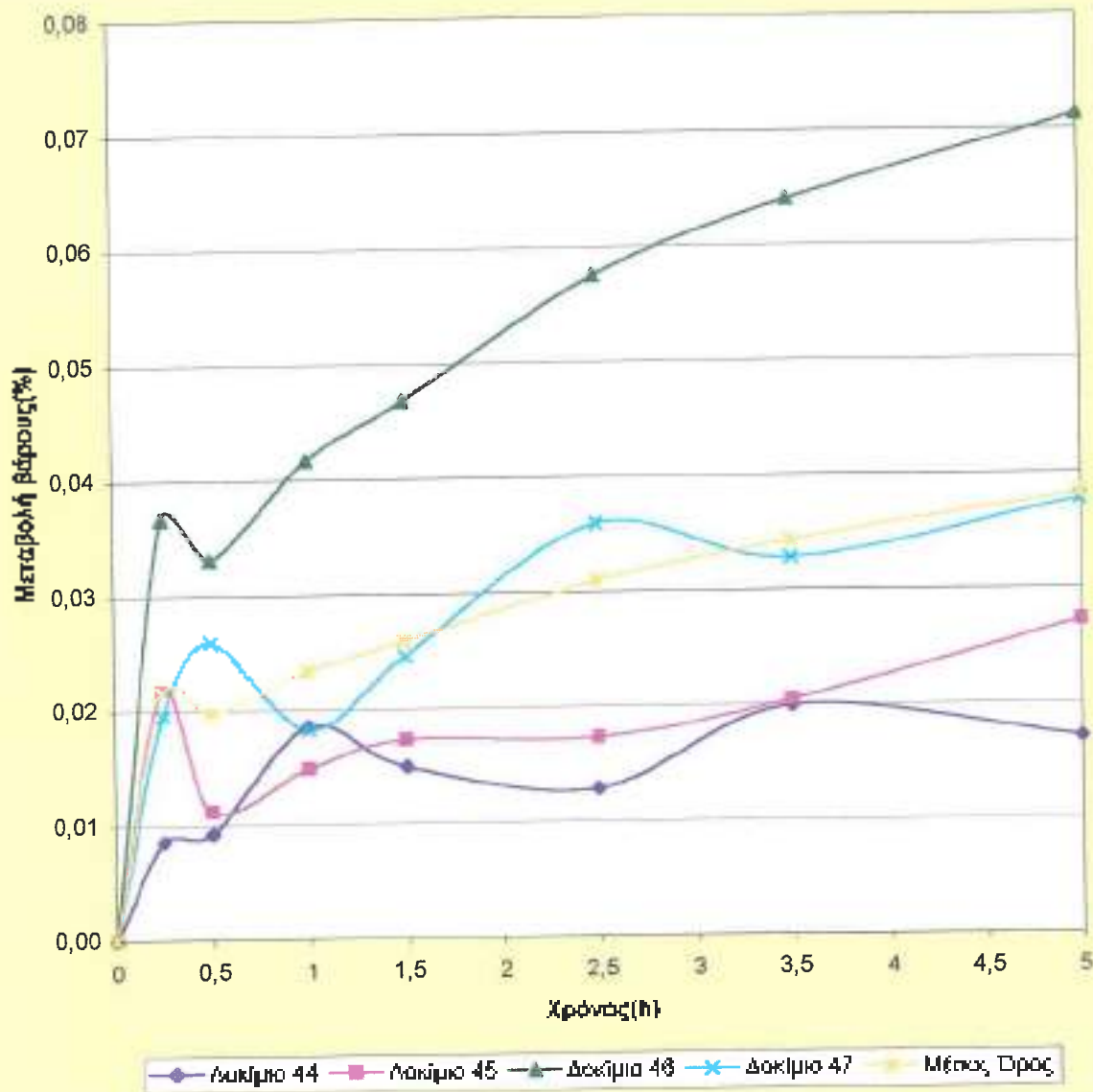
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β12

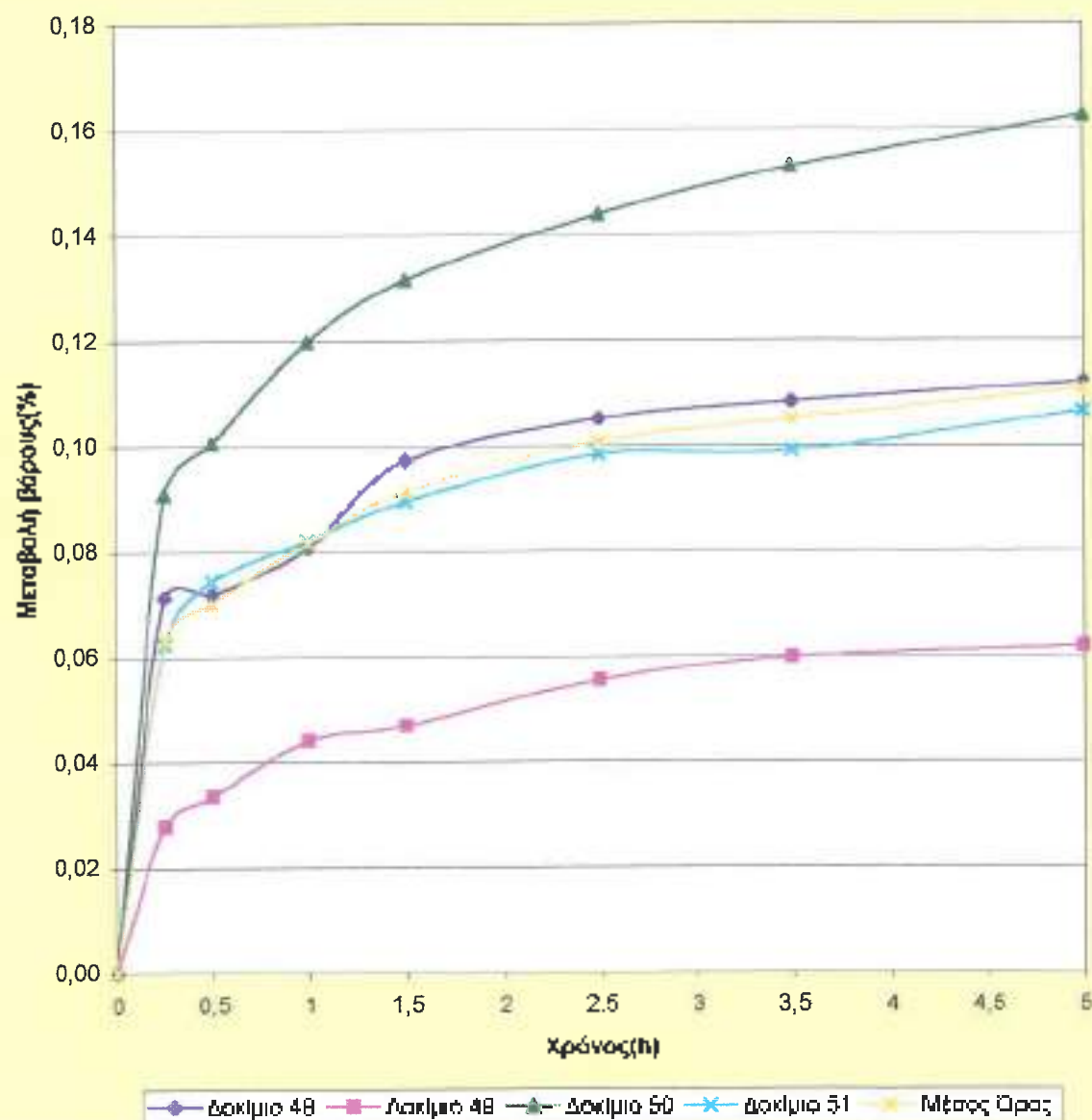
Μίγμα 16Α

 $N/T=0,4$ $T=850 \text{ Kg/m}^3$ $N=274 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=924 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β13

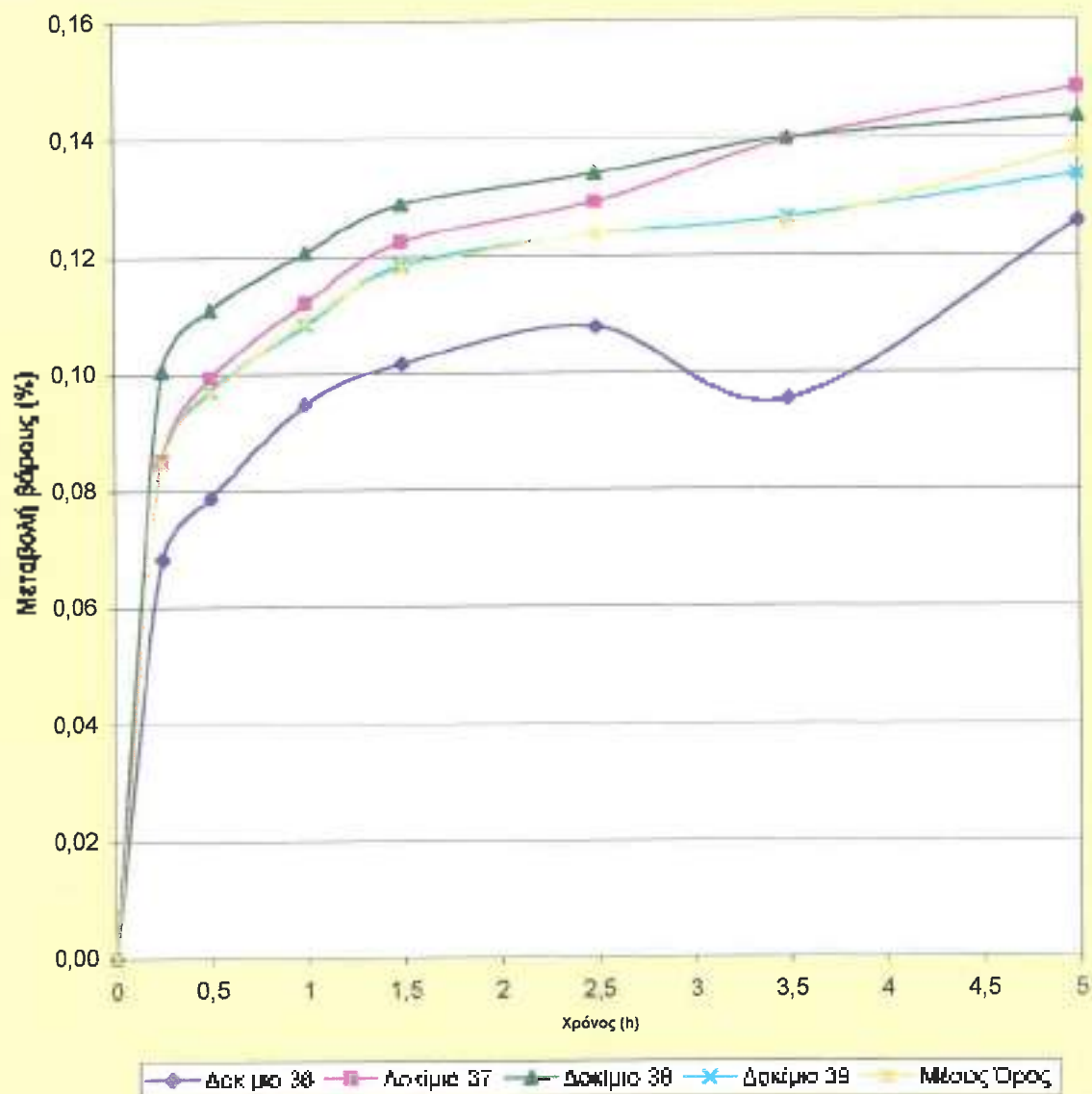
Μίγμα 17Α

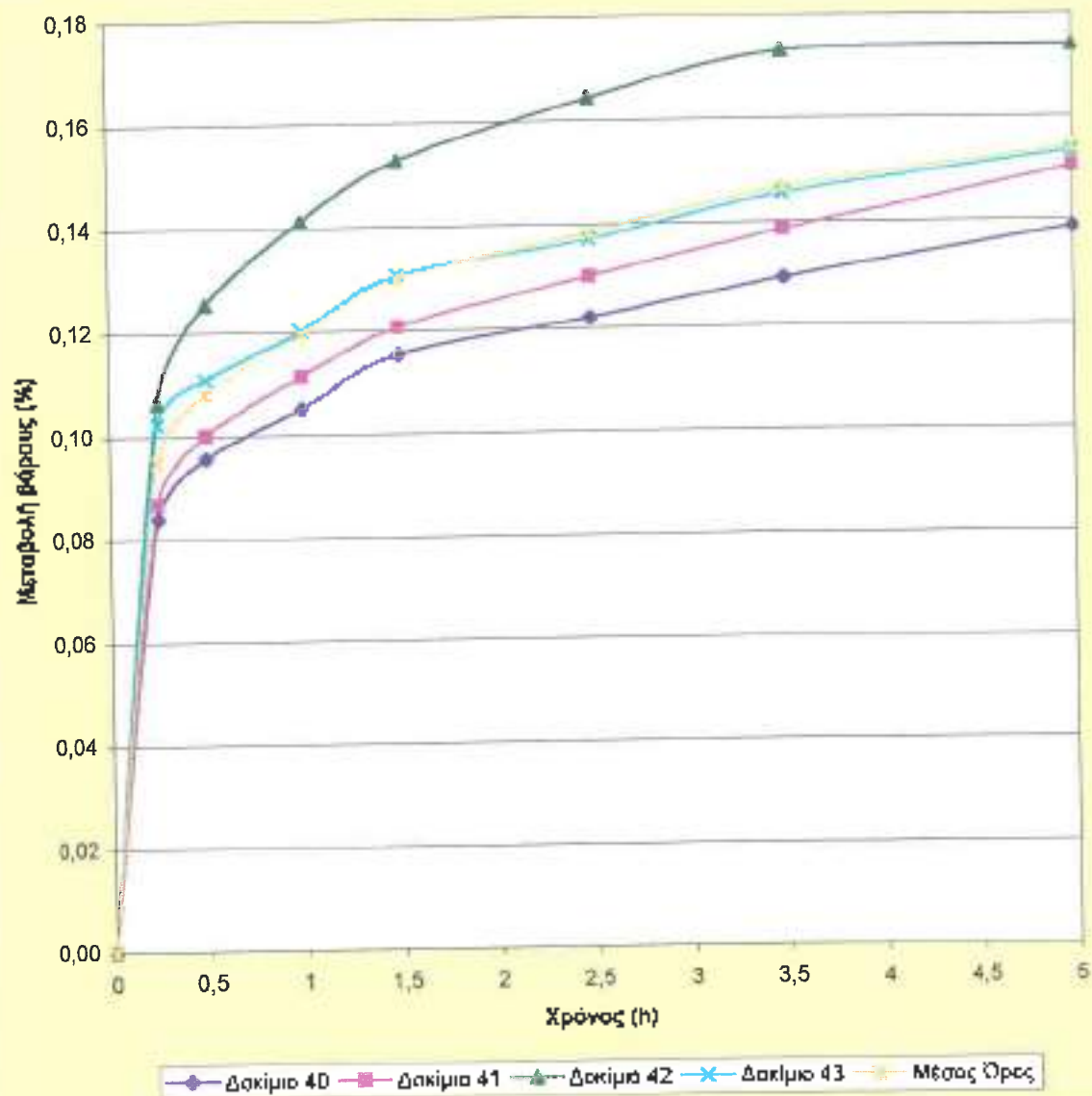
 $N/T=0,3$ $T=467 \text{ Kg/m}^3$ $N=159,6 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=626,6 \text{ Kg/m}^3$ 

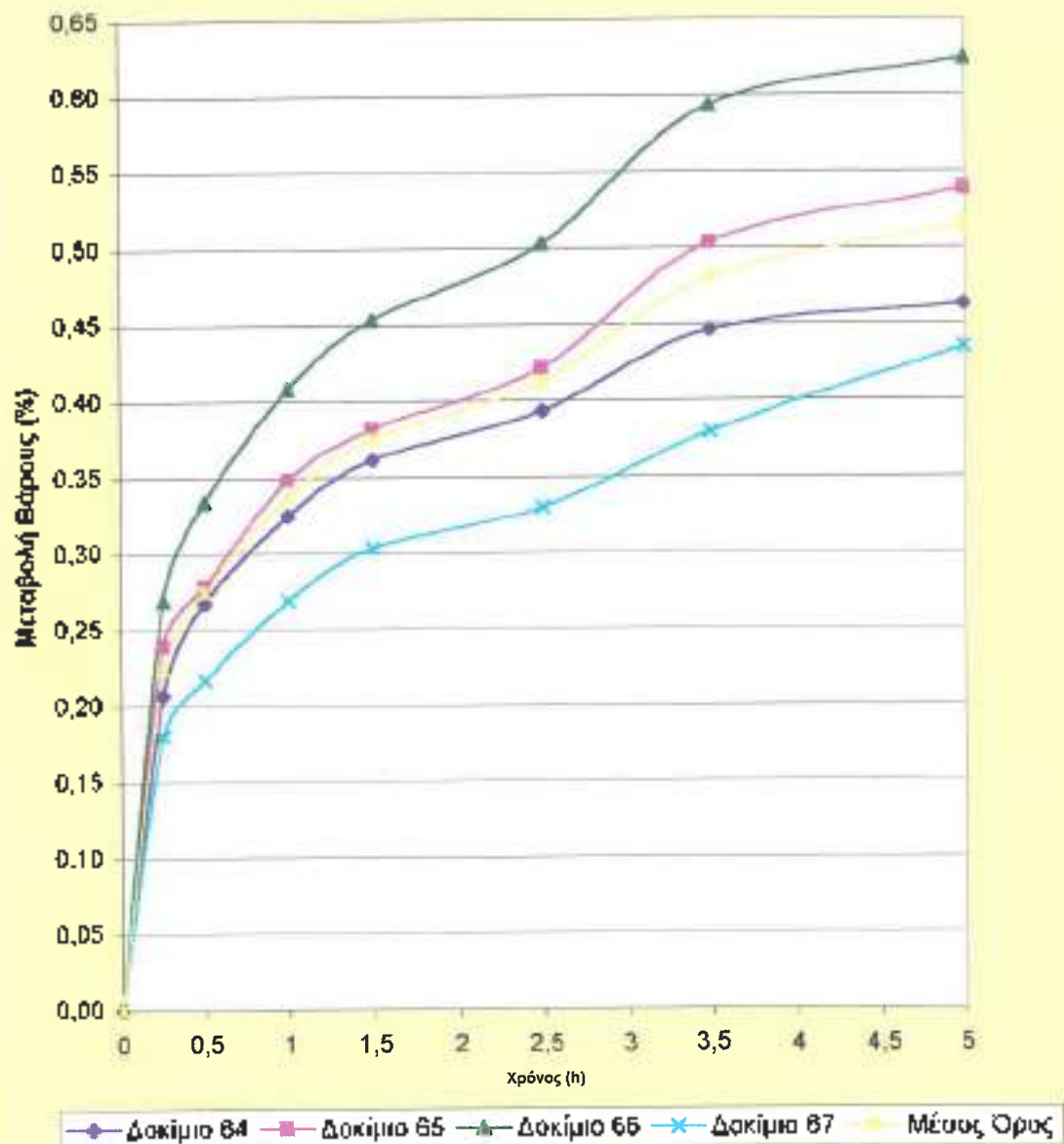
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β14**Μίγμα 18Α** $N/T=0,3$ $T=500 \text{ Kg/m}^3$ $N=196,6 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=796,6 \text{ Kg/m}^3$ 

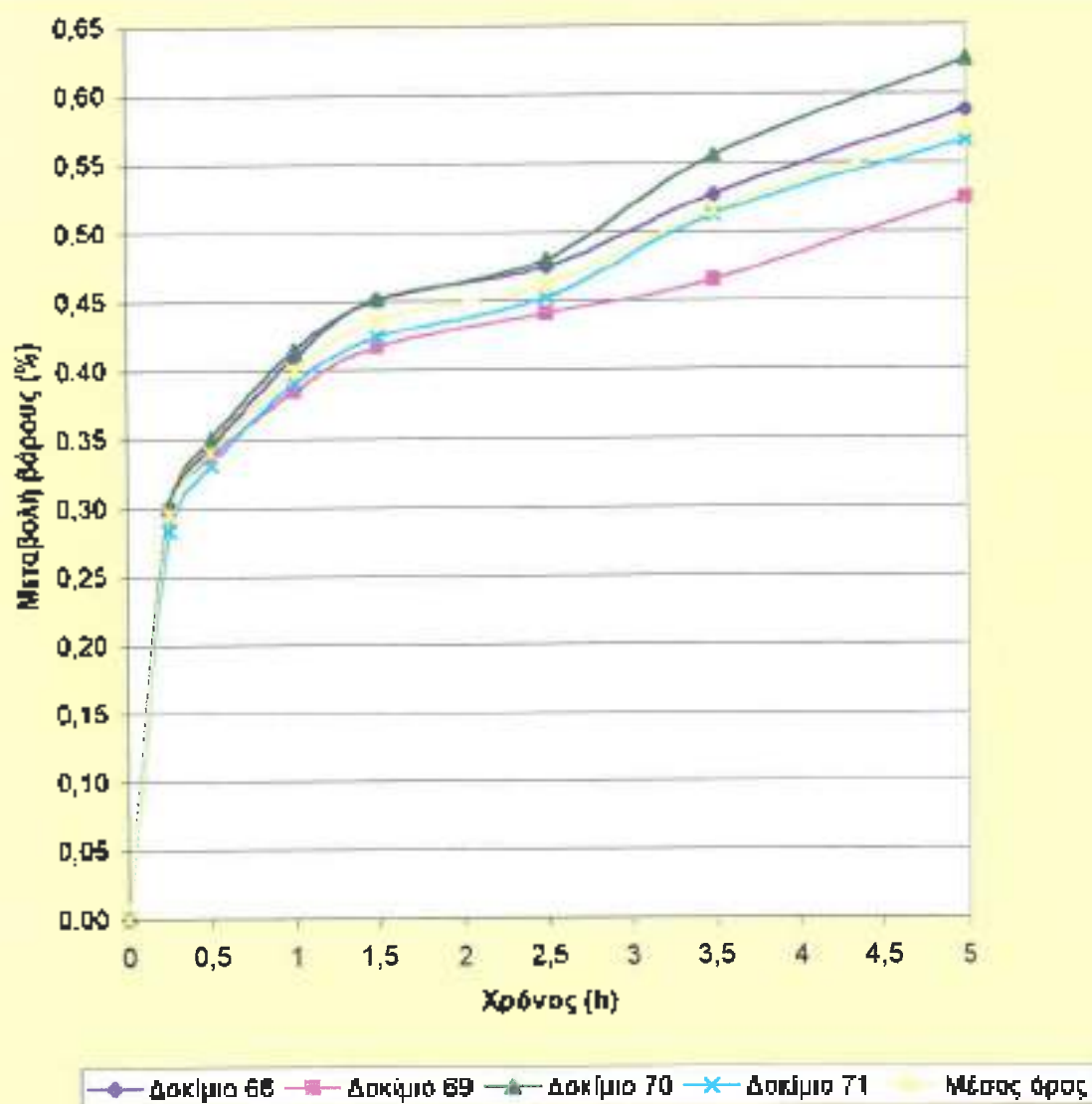
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β15**Μίγμα 19Α**

N/T=0,3

T=733 Kg/m³N=234 Kg/m³N+T=967 Kg/m³

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β16Μίγμα 20Α $N/T=0.3$ $T=867 \text{ Kg/m}^3$ $N=271 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=1138 \text{ Kg/m}^3$ 

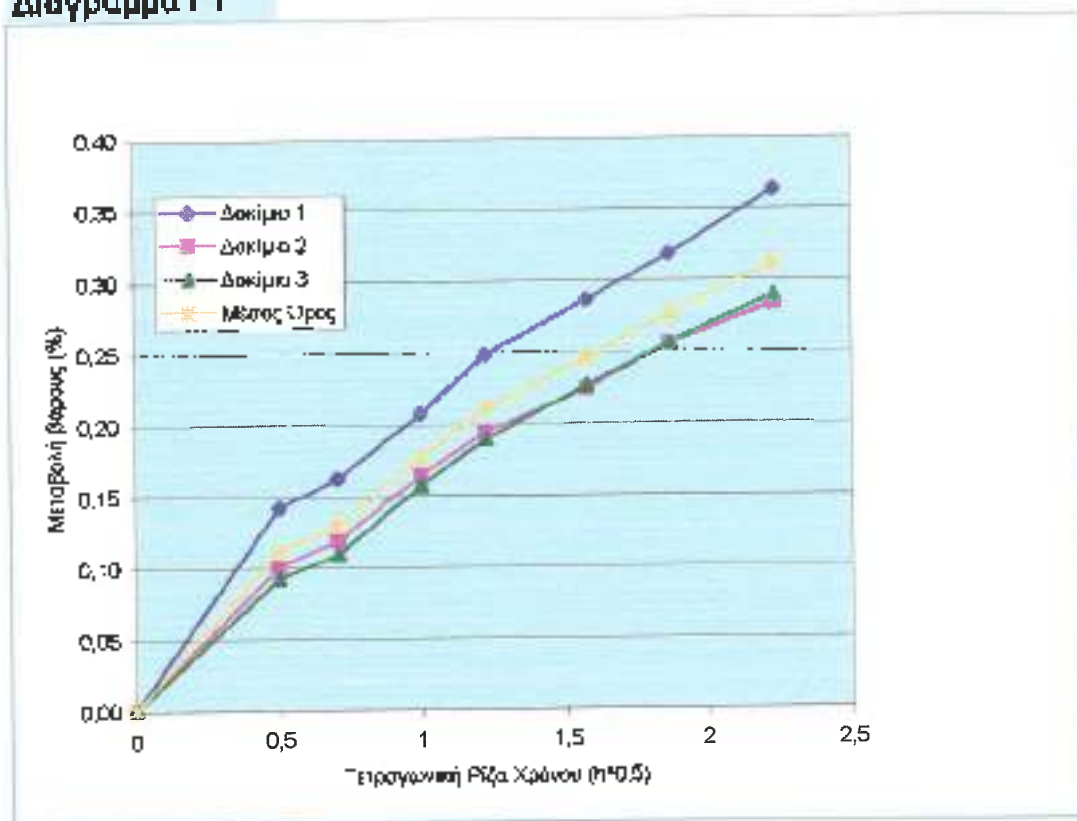
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β17**Μίγμα 11B** $N/T=0,5$ $T=440 \text{ Kg/m}^3$ $N=297,7 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=677,7 \text{ Kg/m}^3$ 

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Β18Μίγμα 12B $N/T=0,5$ $T=520 \text{ Kg/m}^3$ $N=275,6 \text{ Kg/m}^3$ $N+T=795,6 \text{ Kg/m}^3$ 

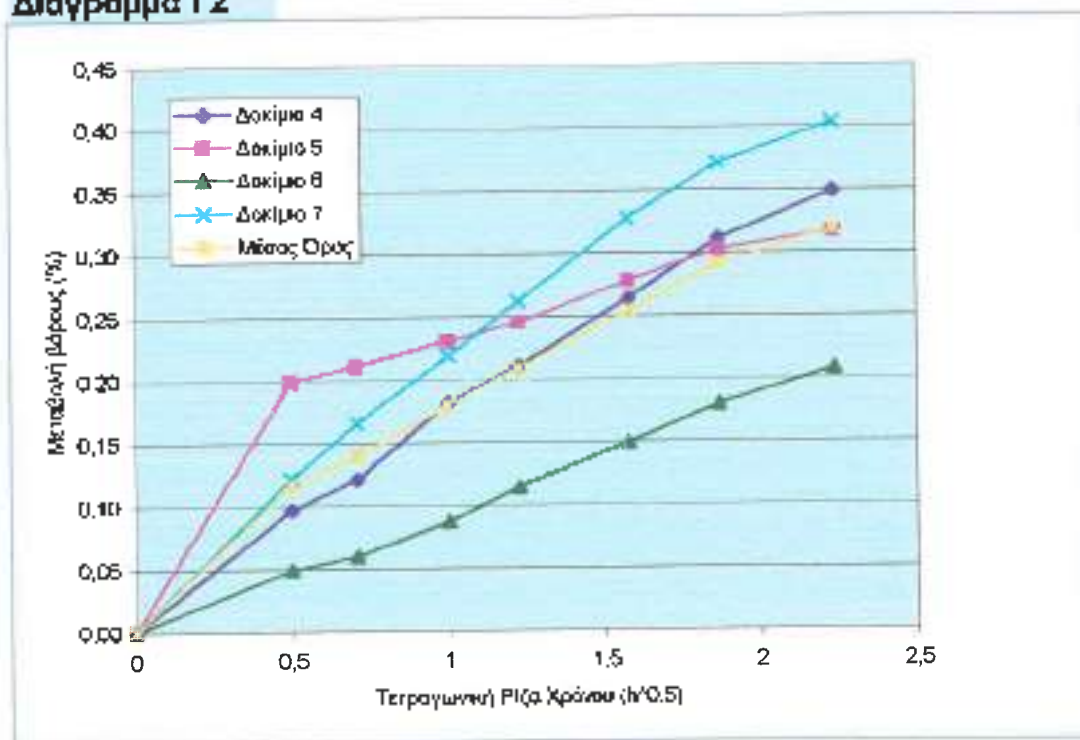
Κατηγορία διαγραμμάτων Γ

**ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ
ΡΙΖΑΣ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕΧΡΙ ΤΙΣ 5 ΩΡΕΣ**

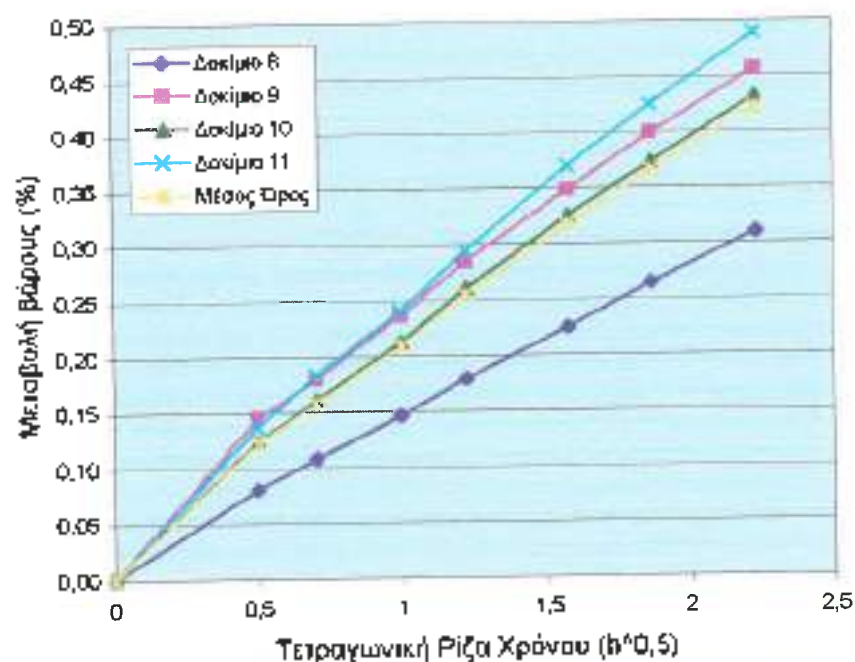
Διάγραμμα Γ1

Μίγμα 5Α $N/T=0,6$ $T=233 \text{ Kg/m}^3$ $N=183 \text{ Kg/m}^3$

Διάγραμμα Γ2

Μίγμα 6Α $N/T=0,6$ $T=300 \text{ Kg/m}^3$ $N=201 \text{ Kg/m}^3$

Διάγραμμα Γ3



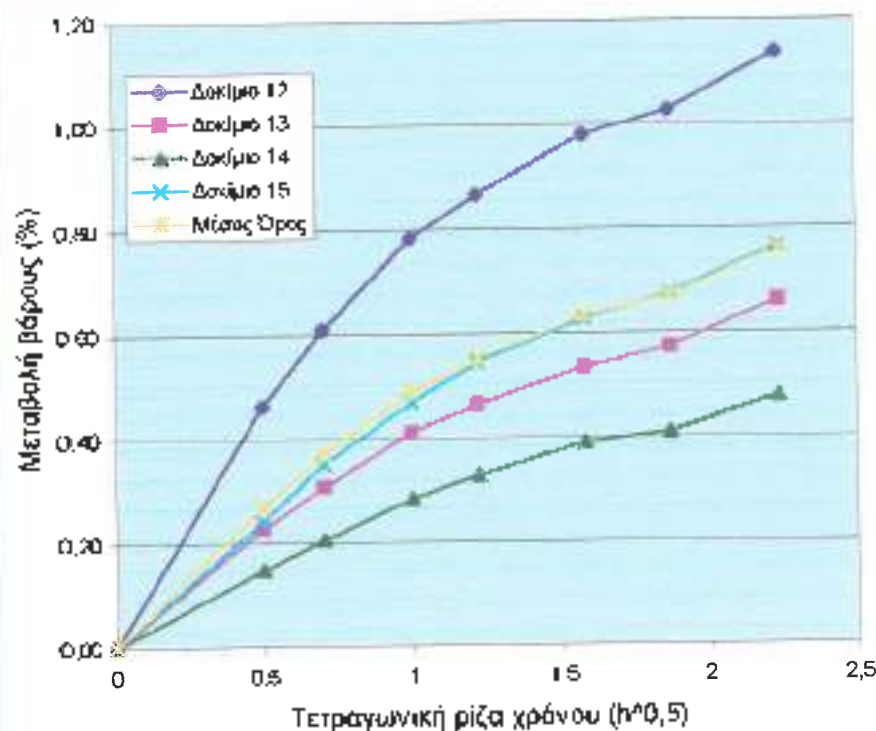
Μίγμα 7Α

N/T=0,6

T=367 Kg/m³

N=239 Kg/m³

Διάγραμμα Γ4



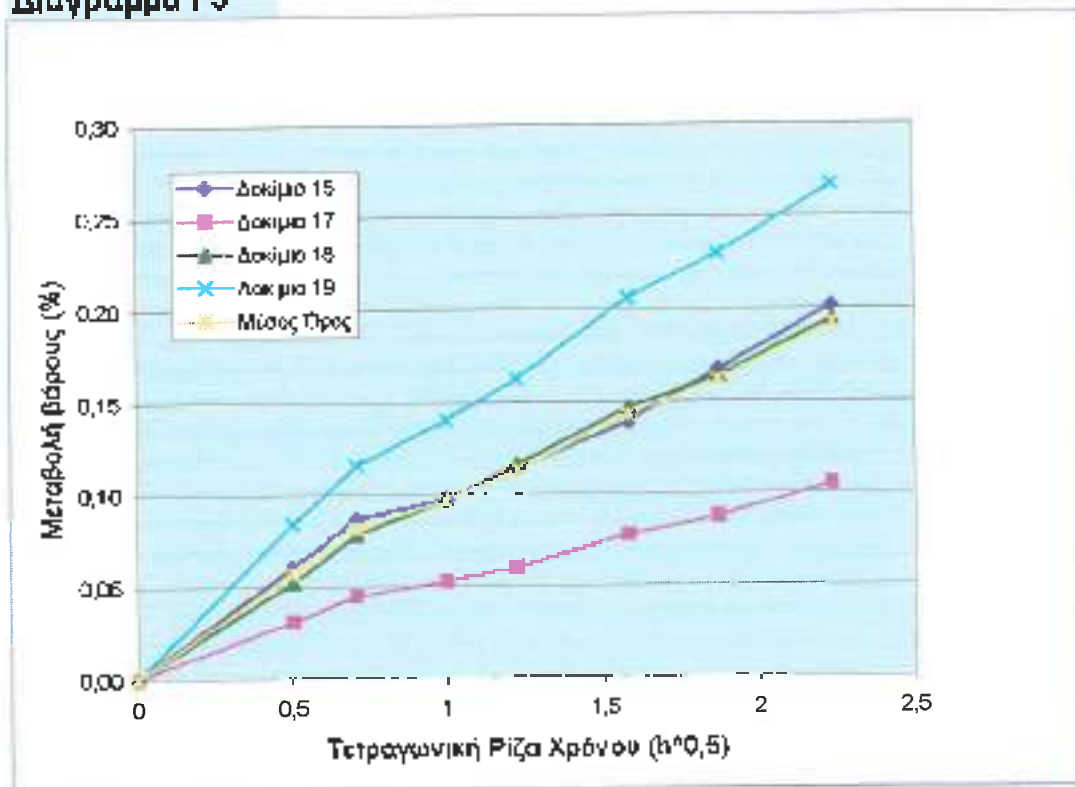
Μίγμα 8Α

N/T=0,6

T=433 Kg/m³

N=277 Kg/m³

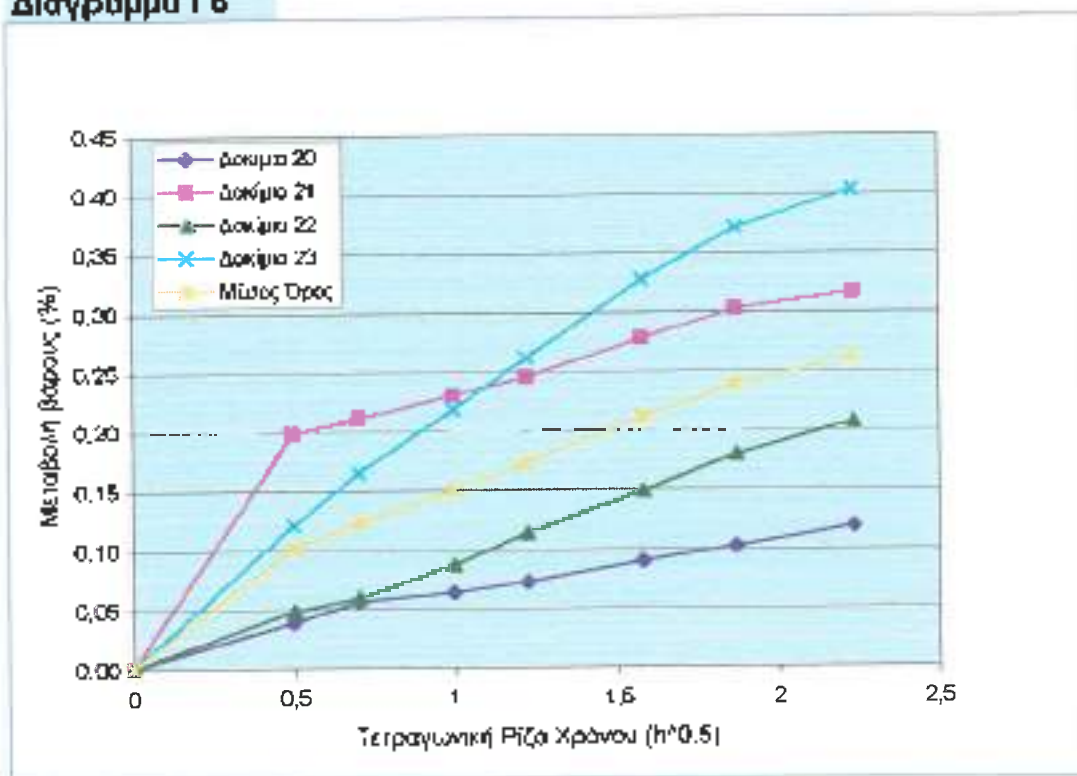
Διάγραμμα Γ5

Μίγμα 9A

N/T=0,5

T=280 Kg/m³N=162 Kg/m³

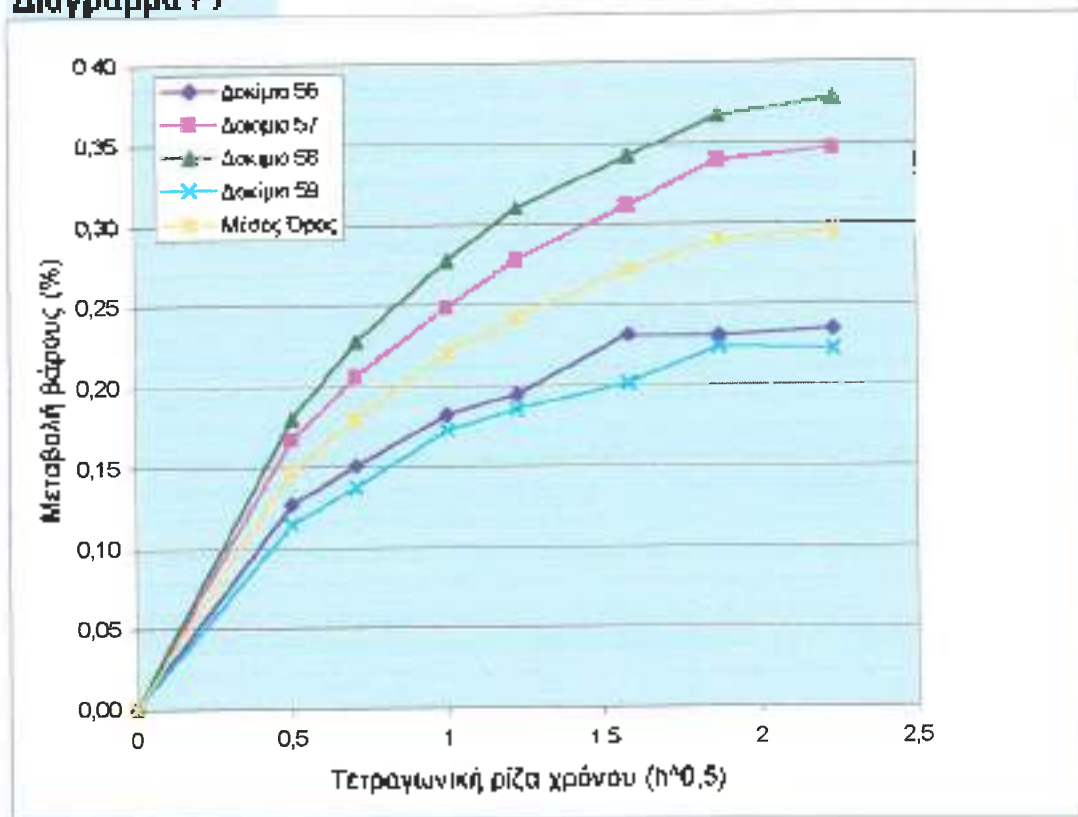
Διάγραμμα Γ6

Μίγμα 10A

N/T=0,5

T=360 Kg/m³N=200 Kg/m³

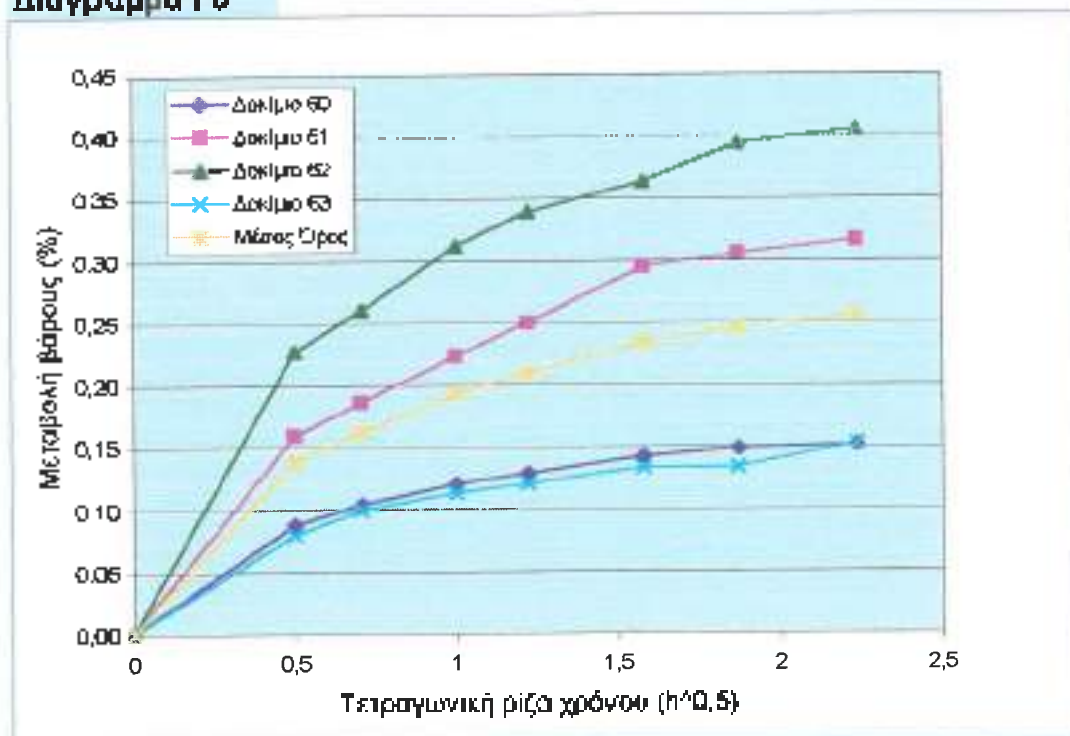
Διάγραμμα Γ7



Μήγνα 11A

 $N/T=0,5$ $T=440 \text{ Kg/m}^3$ $N=237,7 \text{ Kg/m}^3$

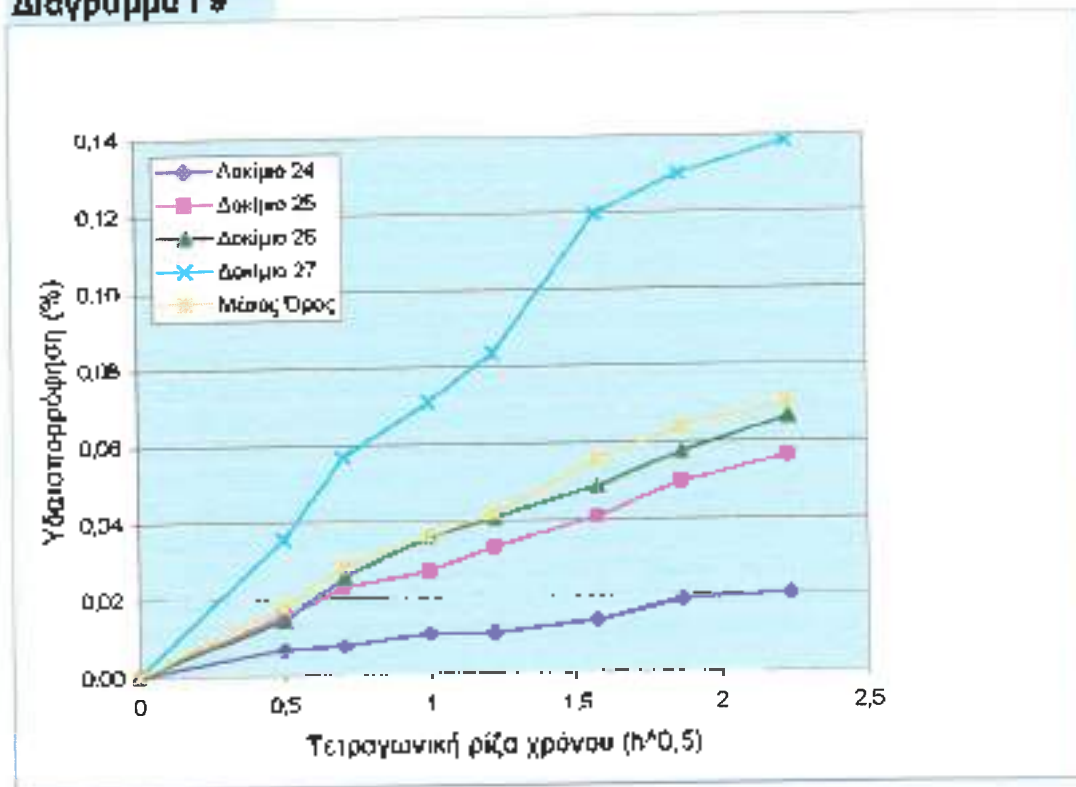
Διάγραμμα Γ8



Μήγνα 12A

 $N/T=0,5$ $T=520 \text{ Kg/m}^3$ $N=275,6 \text{ Kg/m}^3$

Διάγραμμα Γ9



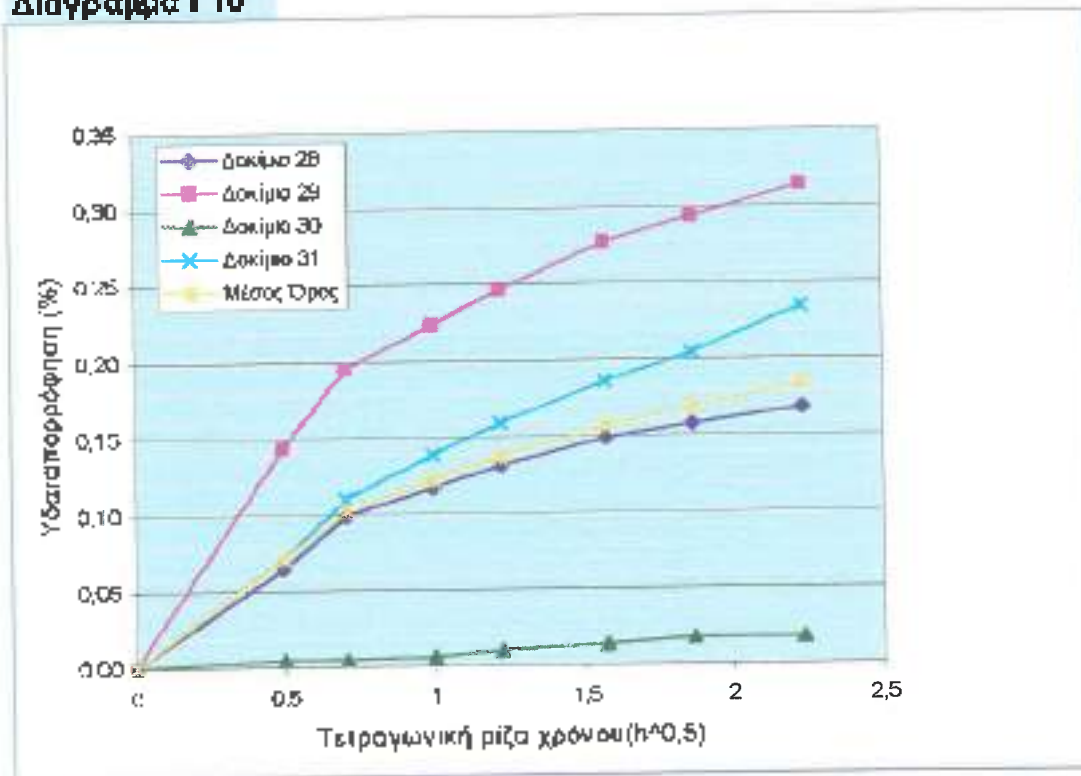
Μήγμα 13Α

$N/T=0,4$

$T=350 \text{ Kg/m}^3$

$N=161,3 \text{ Kg/m}^3$

Διάγραμμα Γ10



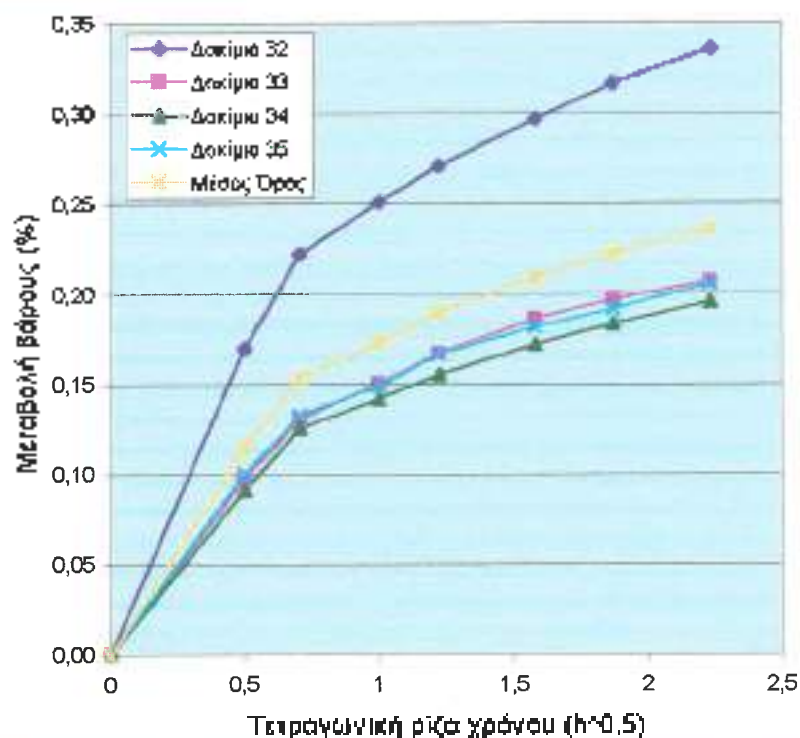
Μήγμα 14Α

$N/T=0,4$

$T=450 \text{ Kg/m}^3$

$N=198,7 \text{ Kg/m}^3$

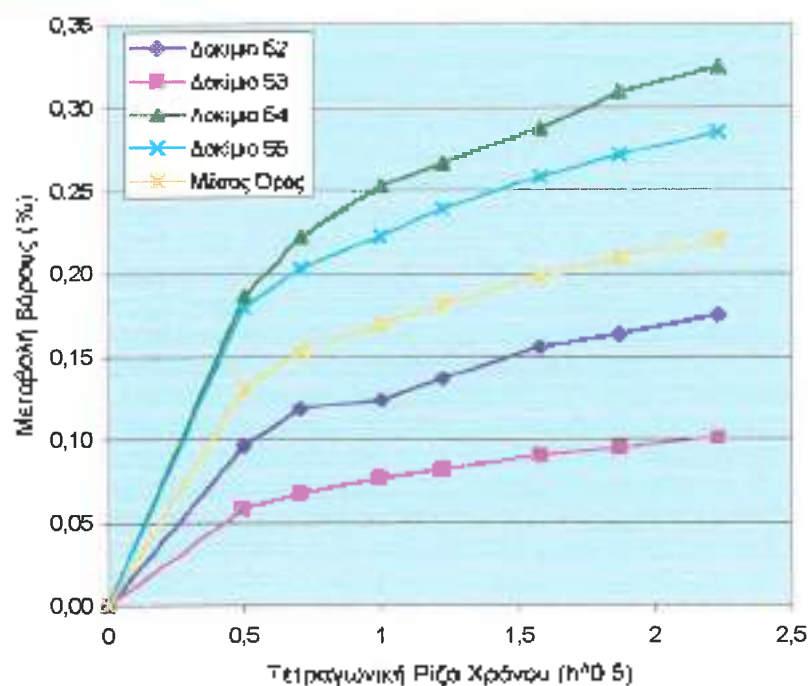
Διάγραμμα Γ11



Μίγμα 15A

 $N/T=0,4$ $T=550 \text{ Kg/m}^3$ $N=238,3 \text{ Kg/m}^3$

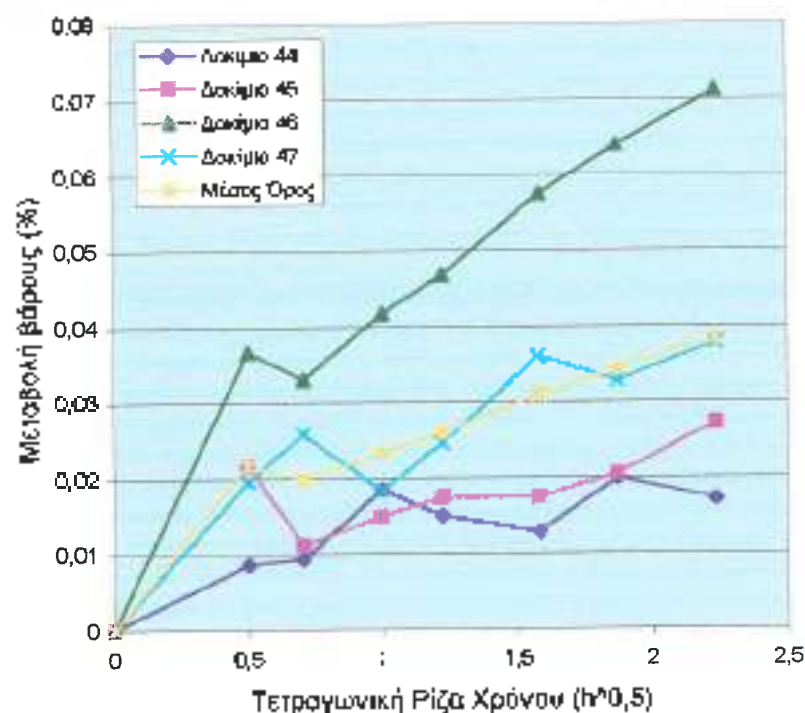
Διάγραμμα Γ12



Μίγμα 16A

 $N/T=0,4$ $T=650 \text{ Kg/m}^3$ $N=274 \text{ Kg/m}^3$

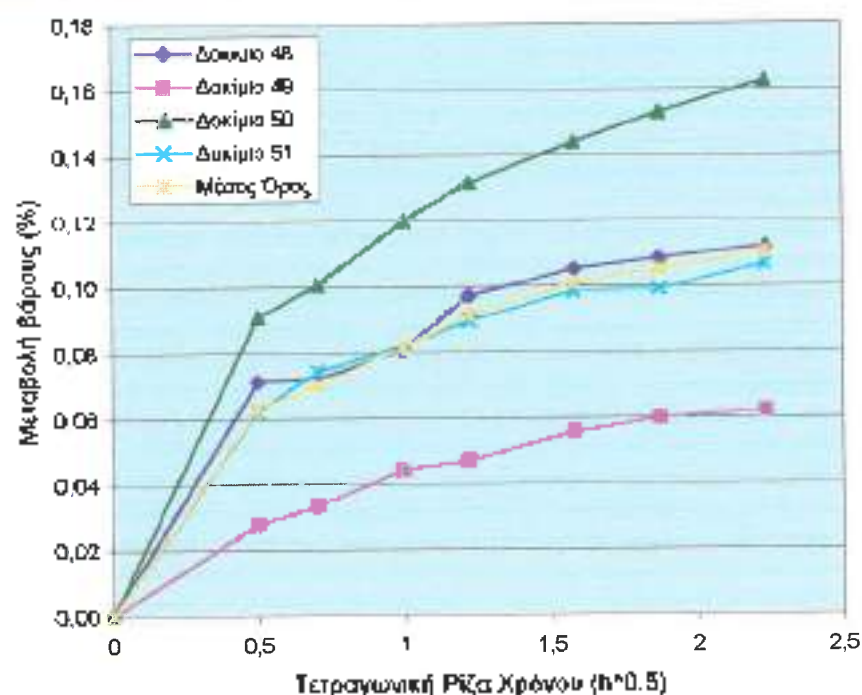
Διάγραμμα Γ13



Μίγμα 17Α

 $N/T=0.3$ $T=467 \text{ Kg/m}^3$ $N=159.6 \text{ Kg/m}^3$

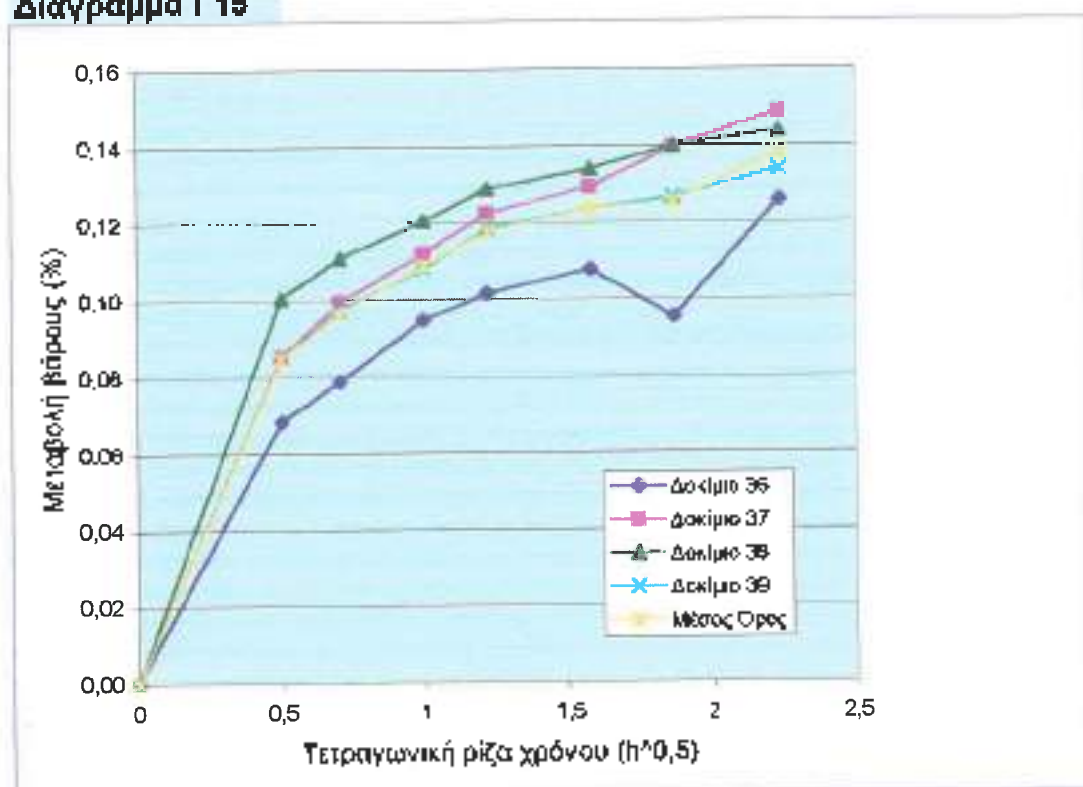
Διάγραμμα Γ14



Μίγμα 18Α

 $N/T=0.3$ $T=600 \text{ Kg/m}^3$ $N=196.6 \text{ Kg/m}^3$

Διάγραμμα Γ15



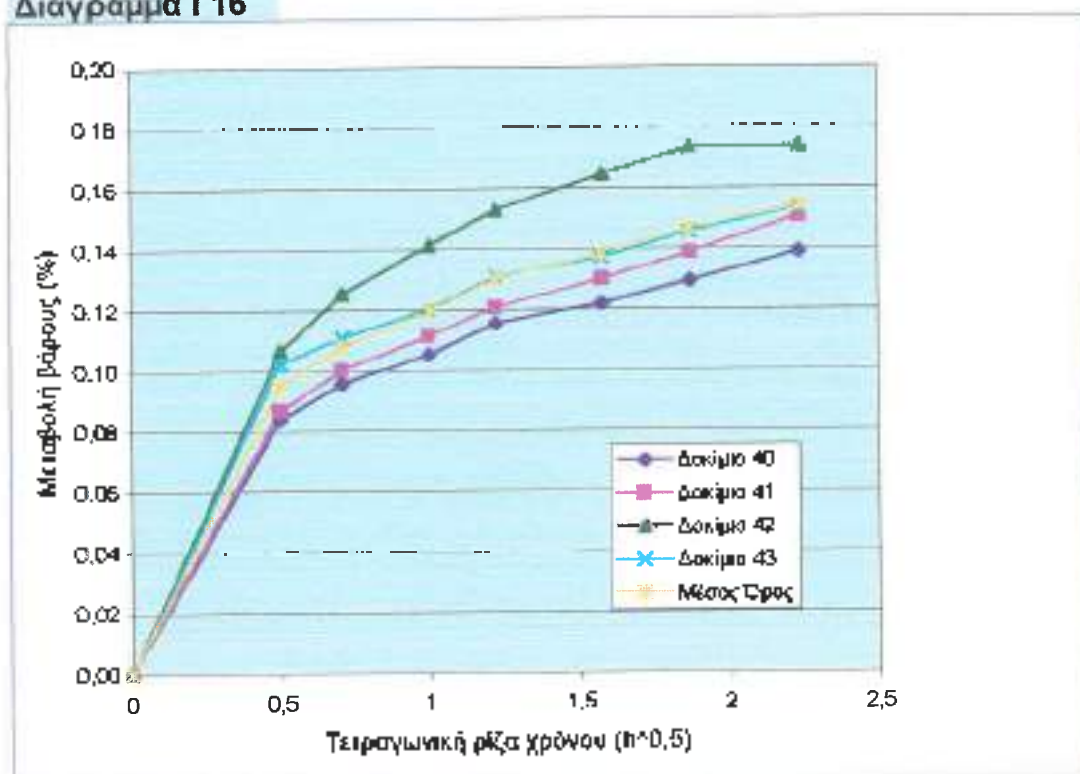
Μίγμα 19Α

$N/T=0,3$

$T=733 \text{ Kg/m}^3$

$N=234 \text{ Kg/m}^3$

Διάγραμμα Γ16



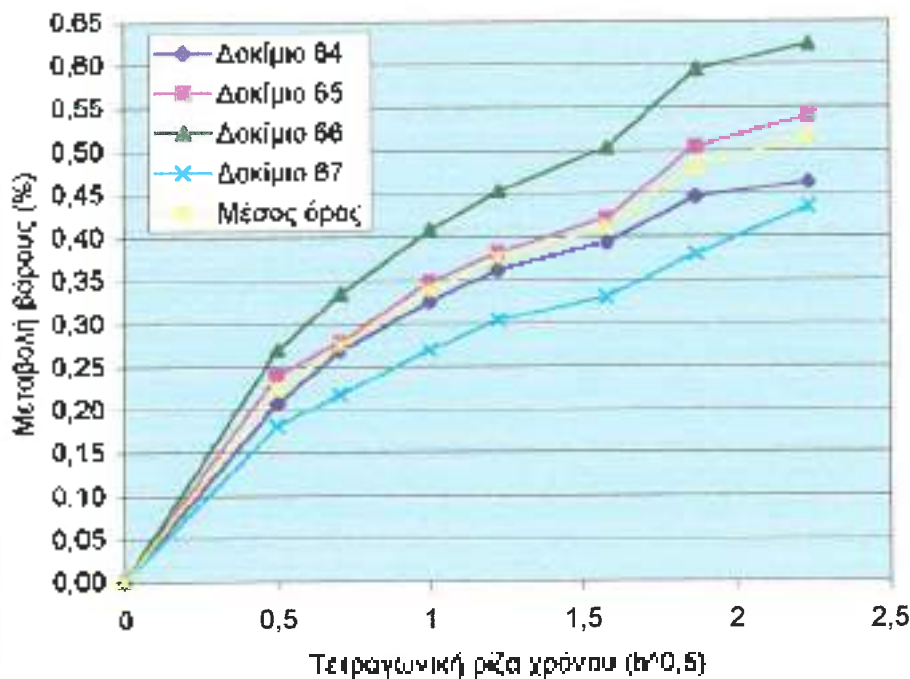
Μίγμα 20Α

$N/T=0,3$

$T=867 \text{ Kg/m}^3$

$N=271 \text{ Kg/m}^3$

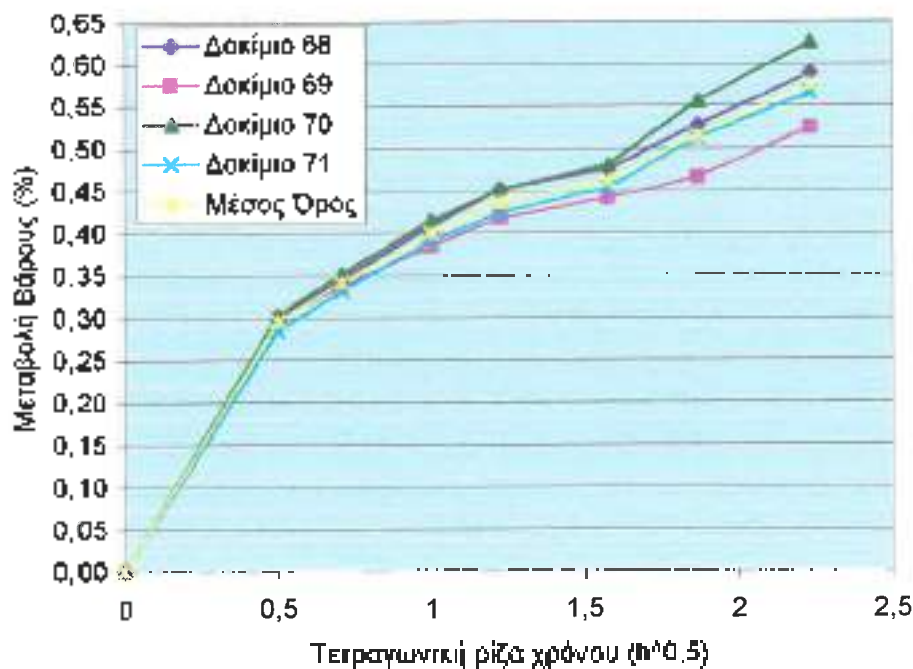
Διάγραμμα Γ17



Μίγμα 11B

 $N/T=0,5$ $T=440 \text{ Kg/m}^3$ $N=237,7 \text{ Kg/m}^3$

Διάγραμμα Γ18



Μίγμα 12B

 $N/T=0,5$ $T=520 \text{ Kg/m}^3$ $N=275,8 \text{ Kg/m}^3$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α

**ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΜΕΧΡΙ ΚΑΙ ΤΗΝ
ΞΗΡΑΝΣΗ ΤΟΥΣ**

ΒΑΡΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΡΙΝ ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Μήγμα	Πυκνότητα μήγματος (Kg/m ³)	Δοκίμα	Βάρος πριν την συντήρηση (gr)	Βάρος πριν την προξήρανση (gr)	Βάρος μετά την προξήρανση (gr)
5A	2,45	1	1266,17	1275,24	1236,23
		2	1461,35	1466,21	1421,14
		3	1298,97	1304,98	1265,17
6A	δεν μετρήθηκε	4	1303,86	1311,21	1271,10
		5	1310,94	1318,23	1279,82
		6	1316,00	1323,98	1285,85
		7	1482,78	1492,14	1447,84
7A	δεν μετρήθηκε	8	1265,51	1275,57	1230,96
		9	1261,27	1269,96	1226,12
		10	1446,10	1457,99	1408,28
		11	1272,06	1280,60	1236,73
8A	δεν μετρήθηκε	12	1243,41	1251,83	1232,75
		13	1263,21	1271,57	1251,29
		14	1469,53	1479,21	1459,85
		15	1280,89	1289,19	1270,38
9A	δεν μετρήθηκε	16	1259,11	1265,51	1236,11
		17	1306,80	1313,48	1282,03
		18	1342,77	1350,49	1318,22
		19	1316,94	1324,65	1292,56
10A	δεν μετρήθηκε	20	1342,48	1352,81	1320,98
		21	1502,61	1514,50	1475,61
		22	1514,38	1526,31	1467,72
		23	1494,73	1506,43	1471,21
11A	1,98	24	1497,70	1509,27	1505,96
		25	1317,19	1329,85	1316,77
		26	1284,61	1295,53	1282,84
		27	1473,47	1484,09	1477,45
12A	1,93	28	1420,33	1433,00	1422,77
		29	1423,07	1436,57	1424,47
		30	1437,60	1452,71	1438,53
		31	1281,06	1290,64	1282,52
13A	2,44	32	1334,16	1349,82	1333,99
		33	1502,04	1509,98	1499,87
		34	1345,37	1352,86	1343,62
		35	1351,68	1358,91	1353,68
14A	2,05	36	1344,25	1356,65	1346,72
		37	1328,34	1340,04	1333,32
		38	1321,42	1332,96	1326,09
		39	1405,84	1417,56	1410,27
15A	2,00	40	1291,24	1303,50	1296,29
		41	1307,14	1426,21	1311,18
		42	1414,23	1318,02	1417,89
		43	1311,16	1322,72	1315,22
16A	1,96	44	1378,93	1393,84	1396,47
		45	1438,83	1455,41	1451,83
		46	1294,06	1309,63	1313,84
		47	1445,48	1463,11	1451,63

17A	2,11	44	1383,03	1392,69	1406,72
		45	1599,47	1611,42	1618,28
		46	1376,95	1386,69	1391,81
		47	1565,01	1575,81	1586,18
18A	2,03	48	1572,49	1585,41	1597,67
		49	1384,02	1397,51	1405,86
		50	1422,39	1436,64	1452,56
		51	1580,38	1576,31	1586,08
19A	2,00	36	1429,12	1440,71	1448,15
		37	1322,35	1333,83	1340,05
		38	1327,20	1336,86	1343,68
		39	1347,86	1359,27	1368,72
20A	1,98	40	1352,3	1365,52	1369,98
		41	1487,96	1502,48	1509,51
		42	1358,62	1373,43	1381,27
		43	1507,85	1522,41	1525,57
11B	δεν μετρήθηκε	64	1423,26	1435,65	1420,06
		65	1282,14	1291,08	1269,81
		66	1263,02	1292,18	1291,12
		67	1467,74	1478,72	1480,61
12B	δεν μετρήθηκε	68	1368,34	1380,90	1359,16
		69	1414,29	1428,21	1406,84
		70	1243,70	1252,96	1246,31
		71	1463,46	1476,26	1456,82

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Βάρος πριν την συντήρηση: Είναι το βάρος των δοκιμών αφού ξεκαλουπωθούν και πριν μπουν στο νερό για συντήρηση 21 ημερών.

Βάρος πριν την προξήρανση: Είναι το βάρος των δοκιμών αφού βγούν από το νερό και πριν μπουν στον φούρνο για προξήρανση 5 ημερών.

Βάρος μετά την προξήρανση: Είναι το βάρος των δοκιμών αφού βγουν από φούρνο και πριν τυλιχθούν με σελοφάν.

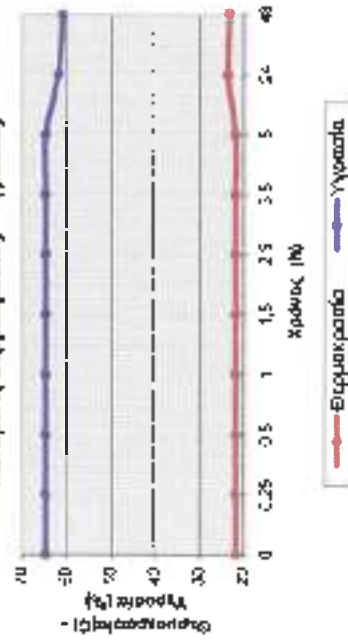
Πρέπει να επισημάνουμε ότι η αύξηση του βάρους που παρατηρήθηκε σε κάποια δοκίμια μετά την προξήρανσή τους οφείλεται στο γεγονός ότι η επάλειψή τους με ρητίνη έγινε πριν μπουν στο φούρνο.

Παράρτημα Β

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ
ΔΟΚΙΜΙΩΝ**

Δοκίμια									
	1		2		3		Μ.Ο.	Sn-1	Σ.Μ. (%)
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)			
ΧΡΟΝΟΣ	0:00	1240,16	0,0000	1424,98	0,0000	1267,00	0,0000	0,0000	0,0000
	0:15	1241,92	0,1419	1426,41	0,1004	1268,17	0,0923	0,1115	0,0599
	0:30	1242,17	0,1621	1428,67	0,1186	1268,38	0,1089	0,1299	0,0689
	1:00	1242,73	0,2072	1427,32	0,1642	1268,99	0,1571	0,1782	0,0908
	1:30	1243,24	0,2484	1427,75	0,1944	1269,40	0,1694	0,2107	0,1087
	2:30	1243,71	0,2863	1428,17	0,2239	1269,87	0,2265	0,2455	0,1261
	3:30	1244,10	0,3177	1428,62	0,2554	1270,24	0,2557	0,2763	0,1412
	5:00	1244,66	0,3929	1429,01	0,2828	1270,66	0,2889	0,3115	0,1600
	24:00	1247,72	0,6096	1432,03	0,4947	1273,48	0,5114	0,5386	0,2740
	48:00	1249,72	0,7709	1434,14	0,6428	1275,30	0,6551	0,6886	0,3496

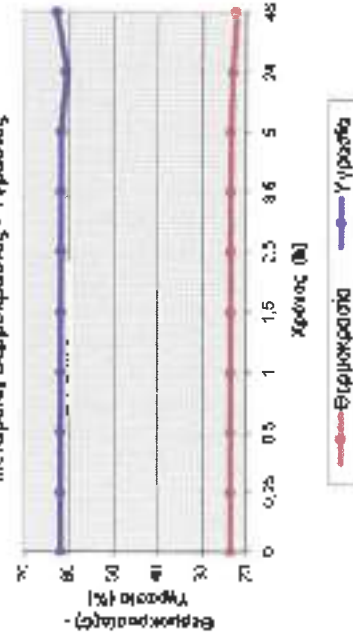
Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας



Μ.Ο. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = $(Sn-1/MO) \cdot 100\%$

Δοκίμια											
	4		5		6		7		Σ.Μ. (%)		
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	M.O.	Sn-1	Μεταβολής
ΧΡΟΝΟΣ	0:00	1284,27	0,0000	1292,57	0,0000	1297,21	0,0000	1463,96	0,0000	0,0000	0,0000
	0:15	1285,51	0,0966	1295,13	0,1981	1297,94	0,0466	1465,14	0,1218	0,1182	0,0824
	0:30	1285,82	0,1207	1295,29	0,2104	1297,98	0,0594	1465,78	0,1654	0,1390	0,0645
	1:00	1288,60	0,1814	1295,55	0,2305	1298,34	0,0871	1466,58	0,2187	0,1794	0,0650
	1:30	1288,97	0,2102	1295,74	0,2452	1298,69	0,1141	1467,19	0,2617	0,2078	0,0661
	2:30	1267,66	0,2640	1298,16	0,2777	1298,14	0,1488	1468,15	0,3273	0,2545	0,0755
	3:30	1288,26	0,3107	1296,46	0,3025	1298,54	0,1798	1468,79	0,3711	0,2910	0,0803
	5:00	1288,74	0,3481	1296,86	0,3164	1299,90	0,2074	1469,26	0,4032	0,3188	0,0825
	24:00	1291,20	0,5396	1298,05	0,5013	1302,22	0,3862	1472,61	0,6321	0,5148	0,1018
	48:00	1292,21	0,6163	1300,60	0,6212	1303,37	0,4749	1474,19	0,7401	0,6136	0,1085

Μεταβολή Θερμοκρασίας - Υγρασίας

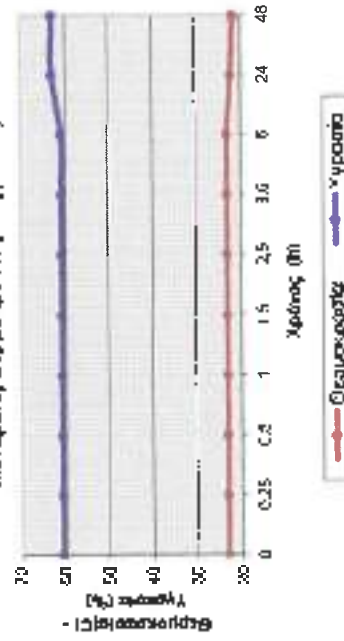


M.O. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = (Sn-1/ M.O) * 100%

Δοκίμια											
	8			9			10			11	
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Σ.Μ. (%)
0:00	1240,70	0,0000	1235,40	0,0000	1421,58	0,0000	1246,85	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0:15	1241,70	0,0806	1237,19	0,1449	1423,34	0,1238	1248,36	0,1372	0,1216	0,0287	23,5974
0:30	1242,04	0,1080	1237,62	0,1797	1423,86	0,1604	1248,93	0,1629	0,1577	0,0346	21,9463
1:00	1242,51	0,1458	1236,32	0,2384	1424,90	0,2124	1249,65	0,2408	0,2088	0,0438	20,9553
1:30	1242,92	0,1789	1238,92	0,2849	1425,28	0,2903	1250,32	0,2944	0,2546	0,0525	20,8083
2:30	1243,49	0,2249	1239,70	0,3481	1426,20	0,3250	1251,26	0,3898	0,3189	0,0640	20,2062
3:30	1243,98	0,2644	1240,33	0,3991	1426,88	0,3728	1251,95	0,4251	0,3653	0,0706	19,3315
5:00	1244,54	0,3085	1241,03	0,4557	1427,71	0,4312	1252,74	0,4865	0,4212	0,0781	18,5407
24:00	1248,14	0,5987	1245,22	0,7949	1432,52	0,7696	1257,53	0,8727	0,7582	0,1151	15,1587
48:00	1250,72	0,8076	1248,07	1,0256	1435,84	1,0031	1260,89	1,1262	0,9906	0,1332	13,4500

ΧΡΟΝΟΣ

Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας

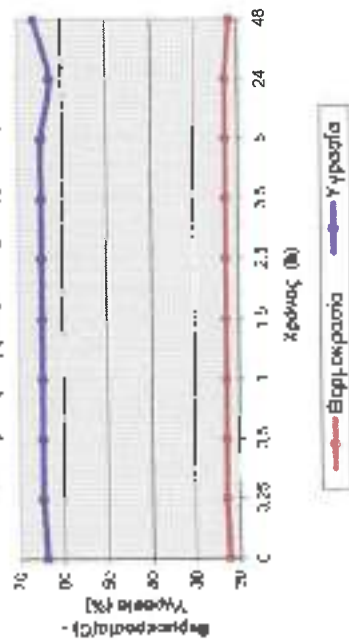


$MO = \text{Μέσος Ορος}$
 $Sn-1 = \text{Τυπική Απόκλιση}$
 $\Sigma.M. = (Sn-1 / MO) * 100\%$

Δοκίμια											
	12		13		14		15		M.O.	S _{rel}	Σ.Μ. [%]
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)			
0:00	1232,75	0,0000	1251,24	0,0000	1459,70	0,0000	1270,28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0:15	1238,44	0,4616	1254,07	0,2262	1461,84	0,1466	1273,35	0,2417	0,2690	0,1350	50,1702
0:30	1240,25	0,5084	1255,07	0,3091	1462,68	0,2042	1274,73	0,3503	0,3672	0,1720	46,8430
1:00	1242,40	0,7828	1256,38	0,4108	1463,84	0,2836	1276,22	0,4876	0,4862	0,2122	43,6370
1:30	1243,42	0,8655	1257,04	0,4635	1464,47	0,3268	1277,20	0,5448	0,5502	0,2287	41,5883
2:30	1244,83	0,8789	1257,90	0,5323	1465,37	0,3884	1278,24	0,6286	0,6318	0,2519	39,8879
3:30	1245,40	1,0282	1258,38	0,5706	1465,65	0,4076	1278,83	0,6731	0,6684	0,2618	39,1073
5:00	1246,75	1,1357	1259,49	0,6593	1466,64	0,4754	1279,98	0,7636	0,7585	0,2782	38,6811
24:00	1250,58	1,4484	1263,08	0,9483	1468,58	0,6769	1283,81	1,0851	1,0396	0,3195	30,9110
48:00	1253,16	1,8556	1265,18	1,1125	1471,10	0,7810	1285,99	1,2367	1,1985	0,3615	30,2179

ΧΡΟΝΟΣ

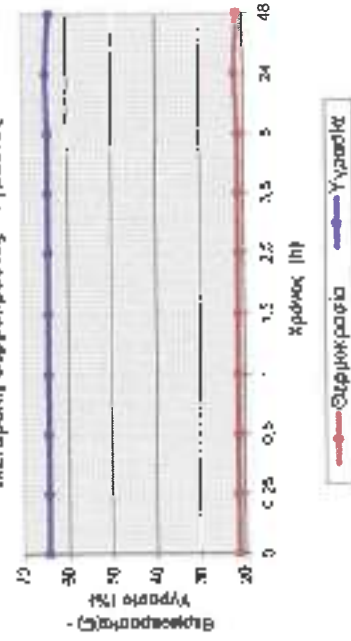
Μεταβολή Θερμικότητας - Υγρασίας



M.O. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = (Sn-1/ MO) * 100%

Δοκίμια											
	16			17			18			19	
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μ.Ο.
ΧΡΟΝΟΣ	0:00	1253,07	0,0000	1298,55	0,0000	1338,23	0,0000	1306,40	0,0000	0,0000	0,0000
	0:15	1253,83	0,0607	1298,95	0,0308	1338,93	0,0523	1307,50	0,0842	0,0570	0,0221
	0:30	1254,15	0,0862	1299,13	0,0447	1339,27	0,0777	1307,91	0,1158	0,0810	0,0292
	1:00	1254,28	0,0968	1299,23	0,0524	1339,52	0,0864	1308,23	0,1401	0,0964	0,0358
	1:30	1254,49	0,1133	1299,32	0,0593	1339,78	0,1158	1308,52	0,1623	0,1127	0,0421
	2:30	1254,81	0,1389	1299,55	0,0770	1340,19	0,1465	1309,09	0,2059	0,1421	0,0527
	3:30	1255,16	0,1668	1299,68	0,0870	1340,41	0,1629	1309,40	0,2296	0,1616	0,0584
	5:00	1255,59	0,2011	1299,91	0,1047	1340,83	0,1943	1309,89	0,2671	0,1918	0,0667
	24:00	1257,88	0,3838	1301,12	0,1979	1342,73	0,3363	1312,40	0,4593	0,3443	0,1100
	48:00	1259,18	0,4876	1301,81	0,2510	1343,73	0,4110	1313,76	0,5634	0,4283	0,1335
											Σ.Μ. (%)
											Μεταβολής

Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας

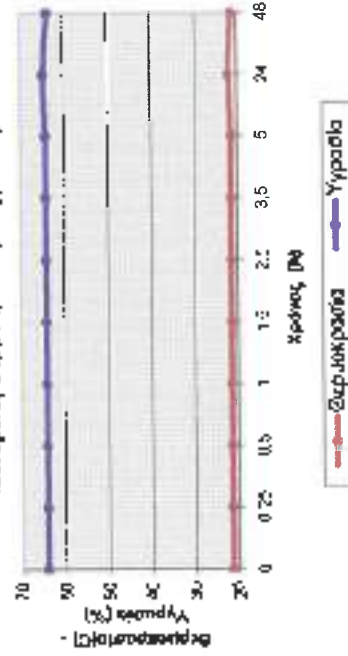


Μ.Ο. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = (Sn-1/ Μ.Ο.) * 100%

Δοκίμια											
	20			21			22			23	
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)
0:00	1338,85	0,00000	1292,57	0,00000	1297,21	0,00000	1453,36	0,00000	0,0000	0,0000	0,00000
0:15	1337,47	0,03889	1295,13	0,19806	1297,84	0,04857	1455,14	0,12164	0,1018	0,0740	72,7476
0:30	1337,70	0,05810	1295,29	0,21043	1297,98	0,05836	1465,78	0,16537	0,1228	0,0774	63,01052
1:00	1337,80	0,06358	1295,55	0,23055	1298,34	0,08711	1468,58	0,21867	0,1500	0,0868	57,90797
1:30	1337,92	0,07255	1295,74	0,24525	1298,89	0,11408	1467,19	0,26173	0,1734	0,0943	54,35481
2:30	1338,15	0,08876	1296,16	0,27774	1299,14	0,14878	1468,15	0,32733	0,2109	0,1104	52,34195
3:30	1338,31	0,10172	1295,48	0,30250	1299,54	0,17962	1468,79	0,37108	0,2387	0,1209	50,84003
5:00	1338,54	0,11693	1296,88	0,31642	1299,90	0,20797	1469,26	0,40318	0,2615	0,1243	47,53584
24:00	1338,87	0,20345	1299,05	0,50133	1302,22	0,38821	1472,51	0,63211	0,4308	0,1818	42,20772
48:00	1340,07	0,23337	1300,60	0,62124	1303,37	0,47487	1474,19	0,74008	0,5174	0,2182	42,17615

ΧΡΟΝΟΣ

Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας



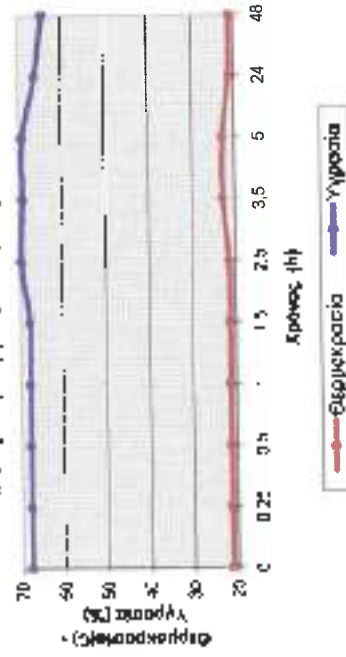
M.O. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = $(Sn-1 / MO) * 100\%$

Δοκίμια													
	56			57			58			59			Σ.Μ. (%)
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)		
0:00	1505,74	0,0000	0,0000	1316,58	0,0000	0,0000	1282,51	0,0000	0,0000	1477,22	0,0000	0,0000	0,0000
0:15	1507,65	0,1268	0,1671	1318,76	0,1671	0,1801	1284,92	0,1801	0,1144	1478,91	0,1144	0,0315	21,3818
0:30	1508,01	0,1508	0,2058	1319,27	0,2058	0,2277	1285,53	0,2277	0,1374	1479,25	0,1374	0,0432	23,9614
1:00	1508,48	0,1820	0,2484	1319,83	0,2484	0,2776	1286,17	0,2776	0,1726	1479,77	0,1726	0,0510	23,1770
1:30	1508,67	0,1948	0,2780	1320,22	0,2780	0,3103	1286,58	0,3103	0,1855	1479,96	0,1855	0,0617	25,4868
2:30	1509,22	0,2311	0,3114	1320,68	0,3114	0,3415	1286,99	0,3415	0,2011	1480,19	0,2011	0,0660	24,3464
3:30	1509,21	0,2305	0,3388	1321,02	0,3388	0,3684	1287,31	0,3684	0,2234	1480,52	0,2234	0,0735	25,3629
5:00	1509,27	0,2344	0,3484	1321,12	0,3484	0,3774	1287,45	0,3774	0,2220	1480,50	0,2220	0,0783	26,5516
24:00	1510,76	0,3334	0,4975	1323,11	0,4975	0,5037	1289,07	0,5037	0,3331	1482,14	0,3331	0,0967	23,1847
48:00	1511,23	0,3646	0,5588	1323,93	0,5588	0,5302	1289,41	0,5302	0,3601	1482,54	0,3601	0,1081	23,3849
												0,4537	
												0,1081	
												23,3849	

ΧΡΟΝΟΣ

ΧΡΟΝΟΣ

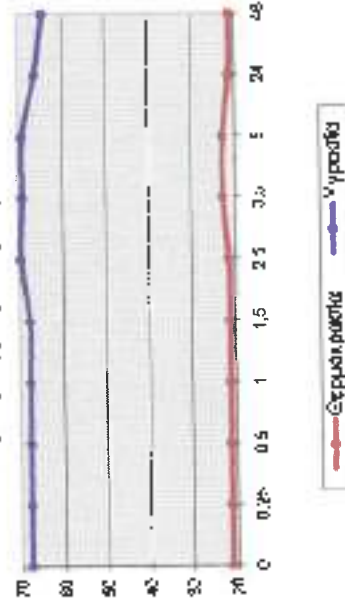
Μεταβολή Θερμοκρασίας - Υγρασίας



M.O. = Μέσος Όρος
Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
Σ.Μ. = $(Sn-1/MO) * 100\%$

Δοκίμια											
	60			61			62			63	
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μ.Ο.
ΧΡΟΝΟΣ	0:00	1422,53	0,0000	1424,19	0,0000	1438,33	0,0000	1282,26	0,0000	0,0000	0,0000
	0:15	1423,78	0,0878	1426,46	0,1594	1441,60	0,2273	1283,28	0,0795	0,1385	0,0892
	0:30	1424,01	0,1040	1426,84	0,1861	1442,08	0,2607	1283,53	0,0980	0,1625	0,0767
	1:00	1424,24	0,1202	1427,37	0,2233	1442,82	0,3122	1283,71	0,1131	0,1922	0,0945
	1:30	1424,36	0,1286	1427,75	0,2500	1443,21	0,3393	1283,80	0,1201	0,2095	0,1049
	2:30	1424,55	0,1420	1428,38	0,2949	1443,56	0,3636	1283,97	0,1334	0,2335	0,1142
	3:30	1424,64	0,1483	1428,54	0,3054	1444,00	0,3942	1283,97	0,1334	0,2453	0,1261
	5:00	1424,66	0,1511	1428,69	0,3180	1444,16	0,4053	1284,21	0,1521	0,2561	0,1261
	24:00	1425,54	0,2116	1430,82	0,4655	1446,28	0,5527	1284,59	0,1817	0,3528	0,1843
	48:00	1425,85	0,2334	1431,66	0,5245	1447,00	0,6028	1284,90	0,2059	0,3916	0,2015

Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας



Μ.Ο. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = (Sn-1 / ΜΟ) * 100%

ΜΙΓΜΑ 13Α

$$N/T = 0,4$$

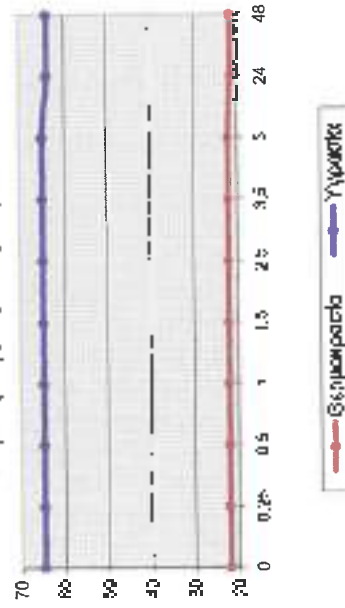
$$T = 350 \text{ Kg/m}^3$$

$$N = 161,3 \text{ Kg/m}^3$$

Δοκίμια											
	24		25		26		27		M.O.	Sn-1	Σ.Μ. (%)
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)			
0:00	1333,72	0,0000	1499,94	0,0000	1343,53	0,0000	1353,84	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0:15	1333,81	0,0067	1500,17	0,0153	1343,72	0,0141	1354,32	0,0355	0,0179	0,0123	68,5922
0:30	1333,82	0,0075	1500,28	0,0227	1343,87	0,0253	1354,81	0,0569	0,0281	0,0207	73,8236
1:00	1333,86	0,0105	1500,34	0,0287	1344,01	0,0357	1354,90	0,0709	0,0360	0,0255	71,0308
1:30	1333,86	0,0105	1500,43	0,0327	1344,07	0,0402	1354,97	0,0835	0,0417	0,0308	73,2770
2:30	1333,90	0,0135	1500,55	0,0407	1344,18	0,0484	1355,46	0,1197	0,0556	0,0453	81,5148
3:30	1333,97	0,0187	1500,68	0,0493	1344,30	0,0573	1355,60	0,1300	0,0638	0,0471	73,8165
5:00	1333,98	0,0202	1500,78	0,0560	1344,42	0,0652	1355,71	0,1381	0,0702	0,0494	70,4437
24:00	1334,42	0,0525	1501,50	0,1040	1345,11	0,1176	1356,52	0,1980	0,1180	0,0802	51,0333
48:00	1334,76	0,0780	1502,03	0,1393	1345,59	0,1533	1356,95	0,2297	0,1501	0,0624	41,5491

ΧΡΟΝΟΣ

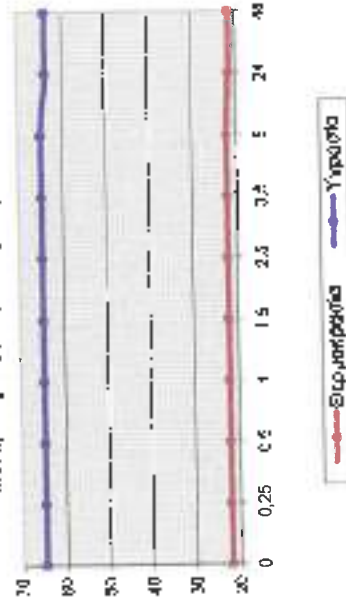
Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας



M.O. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = (Sn-1 / MO) * 100%

Δοκίμια									
	28			28			30		
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή
ΧΡΟΝΟΣ	0:00	1345,68	0,0000	1333,32	0,0000	1325,87	1410,25	0,0000	0,0000
	0:15	1347,55	0,0646	1335,23	0,1433	1325,93	1411,25	0,0709	0,0706
	0:30	1348,01	0,0988	1335,82	0,1950	1325,93	1411,80	0,1098	0,1020
	1:00	1348,25	0,1186	1336,30	0,2236	1325,85	1412,20	0,1383	0,1211
	1:30	1348,44	0,1307	1336,80	0,2460	1326,00	1412,49	0,1588	0,1363
	2:30	1348,68	0,1485	1337,01	0,2788	1326,04	1412,87	0,1858	0,1560
	3:30	1348,80	0,1574	1337,23	0,2933	1326,10	1413,13	0,2042	0,1681
	5:00	1348,84	0,1678	1337,50	0,3135	1326,10	1413,55	0,2340	0,1832
	24:00	1349,79	0,2308	1338,82	0,4125	1326,28	1414,89	0,3290	0,2508
	48:00	1350,33	0,2710	1339,83	0,4883	1326,48	1415,70	0,3865	0,2879
								0,1900	63,7563

Μεταβολή Θερμοκρασίας - Υγρασίας



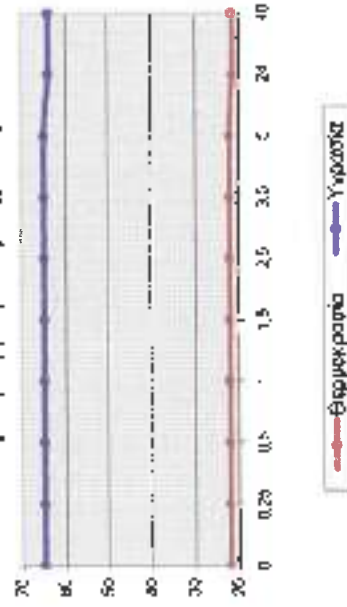
$M.O. = \text{Μέσος Όρος}$
 $S_{n-1} = \text{Τυπική Απόκλιση}$
 $\Sigma M. = (S_{n-1} / M.O.) * 100\%$

Δοκίμια												
	32		33		34		36		M.O.	Σ _{n-1}	Σ.Μ. (%)	
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)				
0:00	1296,36	0,0000	1311,14	0,0000	1417,89	0,0000	1315,15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
0:15	1298,56	0,1697	1312,42	0,0976	1419,16	0,0910	1316,47	0,1004	0,1147	0,0369	32,1808	
0:30	1299,24	0,2222	1312,85	0,1304	1419,67	0,1255	1316,90	0,1331	0,1528	0,0463	30,3331	
1:00	1299,61	0,2507	1313,11	0,1503	1419,90	0,1418	1317,11	0,1490	0,1729	0,0520	30,0569	
1:30	1299,87	0,2708	1313,33	0,1670	1420,09	0,1552	1317,34	0,1565	0,1898	0,0542	28,5486	
2:30	1300,21	0,2970	1313,56	0,1861	1420,33	0,1721	1317,54	0,1817	0,2092	0,0588	28,1035	
3:30	1300,46	0,3163	1313,72	0,1988	1420,49	0,1834	1317,67	0,1916	0,2220	0,0631	28,4152	
5:00	1300,71	0,3356	1313,85	0,2087	1420,66	0,1954	1317,85	0,2053	0,2357	0,0667	28,3139	
24:00	1301,86	0,4243	1314,64	0,2669	1421,37	0,2454	1318,77	0,2753	0,3030	0,0818	27,0091	
48:00	1302,45	0,4698	1315,11	0,3028	1421,80	0,2758	1319,17	0,3057	0,3365	0,0885	26,1593	

ΧΡΟΝΟΣ

ΧΡΟΝΟΣ

Μεταβολή Θερμοκρασίας - Υγρασίας



M.O. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = $(Sn-1/MO) * 100\%$

ΜΙΓΜΑ 16Α

$$N/T = 0,4$$

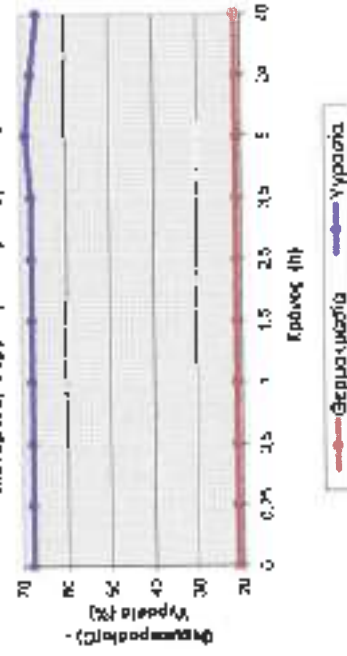
$$T=6,50 \text{ Kg/m}^3$$

$$N=274 \text{ Kg/m}^3$$

Δοκίμια											
	52			53			54			55	
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)
0:00	1398,34	0,0000	1451,71	0,0000	1313,88	0,0000	1451,64	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0:15	1397,68	0,0960	1452,56	0,0588	1316,33	0,1865	1454,25	0,1798	0,1302	0,0631	48,4388
0:30	1398,00	0,1189	1452,68	0,0675	1316,80	0,2222	1454,59	0,2032	0,1530	0,0725	47,4285
1:00	1398,07	0,1239	1452,82	0,0765	1317,20	0,2527	1454,67	0,2225	0,1689	0,0828	48,9034
1:30	1398,25	0,1388	1452,90	0,0820	1317,38	0,2864	1455,11	0,2390	0,1810	0,0865	47,7503
2:30	1398,51	0,1554	1453,02	0,0902	1317,65	0,2869	1455,39	0,2583	0,1977	0,0912	46,1457
3:30	1398,62	0,1633	1453,08	0,0844	1317,94	0,3090	1455,58	0,2714	0,2095	0,0985	47,0278
5:00	1398,78	0,1747	1453,17	0,1006	1318,14	0,3242	1455,77	0,2845	0,2210	0,1022	46,2402
24:00	1399,55	0,2298	1453,74	0,1388	1319,47	0,4255	1457,04	0,3720	0,2918	0,1307	44,7808
48:00	1399,89	0,2542	1453,97	0,1557	1319,83	0,4529	1457,58	0,4092	0,3180	0,1577	43,3158

ΧΡΟΝΟΣ

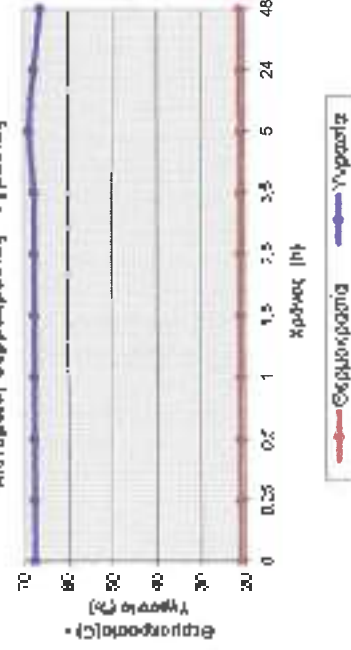
Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας



M.O = Μέσος Όρος
Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
Σ.Μ. = (Sn-1/ MO) * 100%

Δοκίμια											
	44			45			46			47	
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Σ.Μ. (%)
ΧΡΟΝΟΣ	0:00	1406,68	0,0000	1618,30	0,0000	1391,82	0,0000	1588,24	0,0000	0,0000	0,0000
	0:15	1406,80	0,0085	1618,65	0,0216	1392,33	0,0366	1588,55	0,0195	0,0216	0,0118
	0:30	1406,81	0,0092	1618,48	0,0111	1392,28	0,0331	1588,65	0,0258	0,0198	0,0115
	1:00	1406,94	0,0185	1618,54	0,0148	1392,40	0,0417	1588,53	0,0183	0,0233	0,0124
	1:30	1406,89	0,0149	1618,58	0,0173	1392,47	0,0467	1588,63	0,0246	0,0258	0,0145
	2:30	1406,86	0,0128	1618,58	0,0173	1392,62	0,0575	1588,81	0,0359	0,0309	0,0204
	3:30	1406,95	0,0199	1618,63	0,0204	1392,71	0,0639	1588,78	0,0327	0,0342	0,0207
	5:00	1406,82	0,0171	1618,74	0,0272	1392,61	0,0711	1588,84	0,0378	0,0383	0,0235
	24:00	1407,08	0,0291	1618,87	0,0352	1393,26	0,1035	1589,11	0,0548	0,0557	0,0337
	48:00	1407,16	0,0341	1618,94	0,0395	1393,63	0,1300	1589,29	0,0661	0,0675	0,0440

Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας



Μ.Ο. = Μέσος Όρος
 Σn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = (Σn-1/ ΜΟ) * 100%

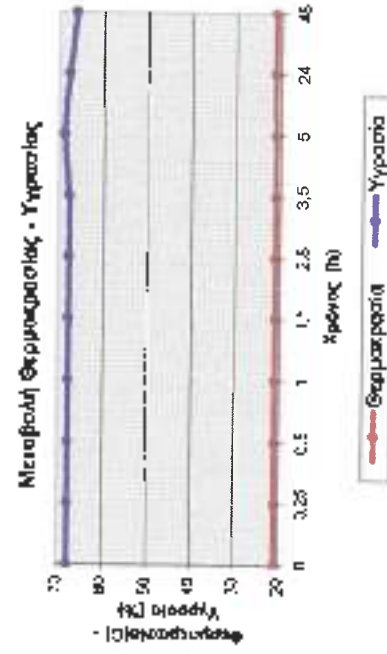
$$N/T = 0,3$$

$$T=600 \text{ Kg/in}^2$$

$$N=196,6 \text{ Kg/m}^2$$

Δοκίμια									
	48			49			50		
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)
0:00	1587,66	0,0000	1405,89	0,0000	1452,81	0,0000	1586,16	0,0000	0,0000
0:15	1598,80	0,0714	1406,28	0,0277	1453,93	0,0809	1587,15	0,0624	0,0631
0:30	1596,81	0,0720	1406,36	0,0334	1454,07	0,1005	1587,34	0,0744	0,0701
1:00	1598,95	0,0807	1406,51	0,0441	1454,35	0,1198	1587,46	0,0820	0,0816
1:30	1599,21	0,0970	1406,55	0,0489	1454,52	0,1315	1587,56	0,0895	0,0912
2:30	1598,34	0,1052	1406,87	0,0555	1454,70	0,1439	1587,72	0,0984	0,1007
3:30	1599,39	0,1083	1406,73	0,0587	1454,83	0,1528	1587,73	0,0990	0,1050
5:00	1599,45	0,1120	1406,76	0,0619	1454,97	0,1625	1587,65	0,1065	0,1107
24:00	1598,91	0,1408	1407,11	0,0868	1455,92	0,2279	1598,49	0,1469	0,1506
48:00	1590,10	0,1527	1407,30	0,1093	1456,01	0,2341	1588,72	0,16140	0,1621
									0,0550
									33,9484

ΧΡΟΝΟΣ



M.O. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.M. = (Sn-1/ M.O.) * 100%

ΜΙΓΜΑ 19Α

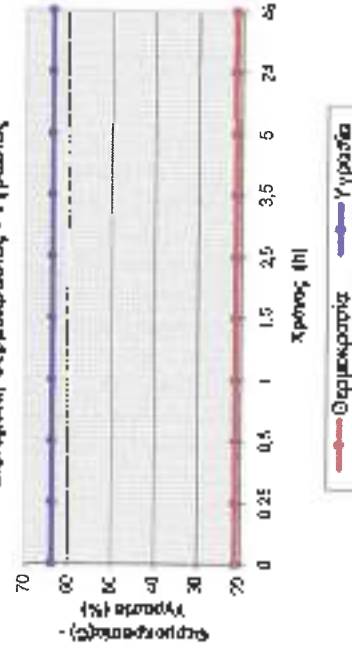
$$N/T = 0,3$$

$$T = 733 \text{ Kg/m}^3$$

$$N = 234 \text{ Kg/m}^3$$

Δοκίμια										
ΧΡΟΝΟΣ	36			37			38			Σ.Μ. (%)
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μ.Ο.	Σ.Μ. (%)
0:00	1447,89	0,0000	1340,00	0,0000	1343,81	0,0000	1368,64	0,0000	0,0000	0,0000
0:15	1448,86	0,0684	1341,14	0,0851	1344,96	0,1005	1369,80	0,0848	0,0847	0,0131
0:30	1449,03	0,0787	1341,33	0,0893	1345,10	0,1109	1369,97	0,0972	0,0965	0,0133
1:00	1449,26	0,0946	1341,50	0,1119	1345,23	0,1206	1370,12	0,1081	0,1088	0,0108
1:30	1449,36	0,1015	1341,64	0,1224	1345,34	0,1288	1370,26	0,1184	0,1178	0,0118
2:30	1449,45	0,1077	1341,73	0,1291	1345,41	0,1340	1370,33	0,1235	0,1236	0,0114
3:30	1449,27	0,0953	1341,87	0,1366	1345,49	0,1399	1370,37	0,1264	0,1253	0,0210
5:00	1449,71	0,1257	1341,98	0,1486	1345,54	0,1436	1370,47	0,1337	0,1379	0,0102
24:00	1450,42	0,1747	1342,59	0,1933	1346,05	0,1816	1370,90	0,1651	0,1787	0,0118
48:00	1450,60	0,1872	1342,88	0,2149	1346,18	0,1896	1371,07	0,1775	0,1824	0,0159

Μεταβολή Θερμικότητας - Υγρασίας

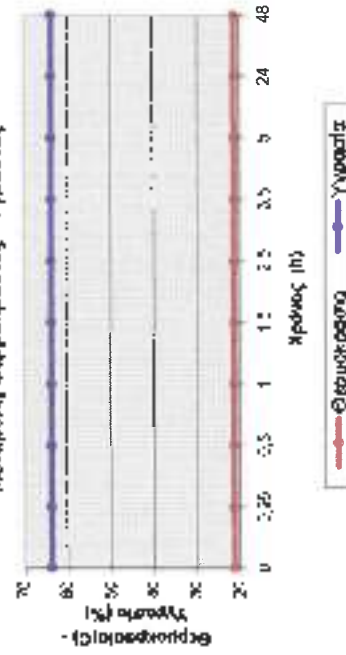


M.O = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = (Sn-1/ M.O) * 100%

ΧΡΟΝΟΣ	Δοκίμια									
	40			41			42			43
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	
0:00	1369,93	0,0000	1509,45	0,0000	1381,25	0,0000	1525,57	0,0000	0,0000	0,0000
0:15	1371,09	0,0839	1510,76	0,0866	1382,72	0,1064	1527,13	0,1023	0,0949	0,0111
0:30	1371,24	0,0856	1510,96	0,1000	1382,98	0,1252	1527,26	0,1108	0,1079	0,0132
1:00	1371,37	0,1051	1511,13	0,1113	1383,20	0,1412	1527,40	0,1200	0,1194	0,0158
1:30	1371,51	0,1153	1511,27	0,1206	1383,35	0,1528	1527,56	0,1304	0,1298	0,0166
2:30	1371,60	0,1219	1511,41	0,1298	1383,52	0,1643	1527,66	0,1370	0,1383	0,0184
3:30	1371,70	0,1292	1511,54	0,1365	1383,64	0,1730	1527,79	0,1455	0,1466	0,0189
5:00	1371,83	0,1387	1511,72	0,1504	1383,95	0,1738	1527,91	0,1534	0,1541	0,0146
24:00	1372,61	0,1956	1512,36	0,1928	1384,55	0,2369	1528,53	0,1940	0,2053	0,0224
48:00	1372,76	0,2066	1512,45	0,1987	1384,63	0,2447	1528,55	0,1953	0,2113	0,0227
										10,7573

ΧΡΟΝΟΣ

Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας



M.O. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = $(Sn-1 / MO) \cdot 100\%$

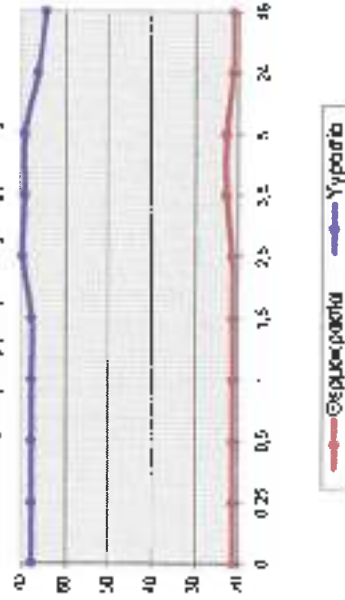
$$N/T = 0,5$$

$$T = 440 \text{ Kg/m}^3$$

$$N = 237,7 \text{ Kg/m}^3$$

Δοκίμια											
	64			65			66			67	
	Είδος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)
ΧΡΟΝΟΣ	0:00	1419,77	0,0000	1289,62	0,0000	0,0000	1290,98	0,0000	1480,32	0,0000	0,0000
	0:15	1422,71	0,2071	1292,71	0,2396	0,2396	1294,44	0,2696	1482,98	0,1804	0,0388
	0:30	1423,57	0,2676	1293,21	0,2794	0,2794	1295,27	0,3339	1483,53	0,2168	0,0460
	1:00	1424,38	0,3247	1294,11	0,3482	0,3482	1296,22	0,4074	1484,30	0,2889	0,0574
	1:30	1424,90	0,3613	1294,54	0,3615	0,3615	1296,61	0,4532	1484,61	0,3033	0,0618
	2:30	1425,35	0,3930	1295,05	0,4211	0,5027	1297,45	0,5934	1485,20	0,3297	0,0718
	3:30	1426,10	0,4458	1296,11	0,5032	0,5934	1298,62	0,5934	1485,83	0,3790	0,0909
	5:00	1426,34	0,4626	1296,58	0,5381	0,5381	1299,01	0,6236	1486,75	0,4344	0,0848
	24:00	1427,83	0,5747	1298,05	0,6537	0,6537	1301,12	0,7870	1487,46	0,4623	0,1280
	48:00	1429,12	0,6568	1299,11	0,7358	0,7358	1302,03	0,8575	1488,57	0,5573	0,1267

Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας



Μ.Ο. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = (Sn-1 / ΜΟ) * 100%

MI7MA 12B

N/T = 0,5

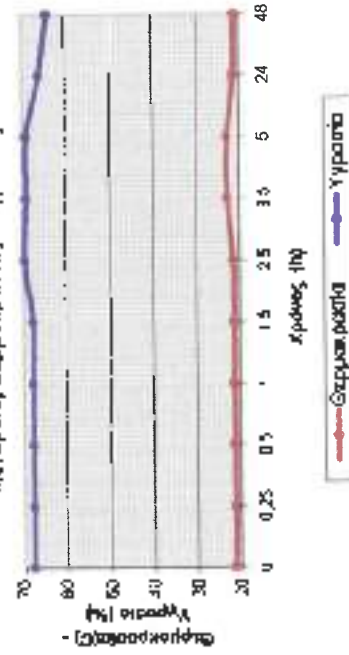
T = 520 Kg/m³

N = 275,6 Kg/m³

Δοκίμια											
	68			70			71		M.O.	S _{max}	Σ.Μ. (%)
	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)	Βάρος (gr)	Μεταβολή (%)			
0:00	1358,96	0,0000	1408,58	0,0000	1248,13	0,0000	1456,65	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0:15	1363,02	0,2988	1410,78	0,2888	1249,90	0,3025	1460,78	0,2835	0,2859	0,0084	2,8451
0:30	1363,64	0,3444	1411,32	0,3370	1250,50	0,3507	1461,46	0,3316	0,3409	0,0084	2,4542
1:00	1364,52	0,4091	1411,99	0,3846	1251,30	0,4149	1462,34	0,3906	0,3998	0,0145	3,6226
1:30	1365,10	0,4518	1412,45	0,4173	1251,75	0,4510	1462,83	0,4243	0,4361	0,0179	4,1053
2:30	1365,41	0,4746	1412,78	0,4408	1252,11	0,4799	1463,24	0,4524	0,4619	0,0185	3,9945
3:30	1368,12	0,5269	1413,12	0,4850	1253,05	0,5553	1464,11	0,5121	0,5148	0,0378	7,3359
5:00	1366,95	0,5679	1413,85	0,5240	1253,92	0,6251	1464,89	0,5857	0,5757	0,0423	7,3497
24:00	1368,52	0,7035	1415,76	0,6526	1254,68	0,6861	1466,57	0,6810	0,6808	0,0211	3,0989
48:00	1369,66	0,7874	1416,94	0,7365	1256,80	0,8563	1467,62	0,7531	0,7633	0,0530	6,7702

ΧΡΟΝΟΣ

Μεταβολή θερμοκρασίας - Υγρασίας



M.O. = Μέσος Όρος
 Sn-1 = Τυπική Απόκλιση
 Σ.Μ. = (Sn-1/ MO) * 100%

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Χ.Μ.Οικονόμου, « Τεχνολογία του Σκυροδέματος »
Εκδόσεις Art of Text, 2^η έκδοση
2. Θ.Π.Τάσιος, Κ.Αλιγιζάκη, « Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Τεχνολογία Σκυροδέματος »
Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα 1993
3. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος
Αθήνα, Μάιος 1999
4. Πτυχιακή εργασία, « Επίδραση της ποσότητας τσιμεντοπολλατού και του λόγου Ν/Τ στην υδραπορρόφηση του σκυροδέματος »
Αθήνα, Μάρτιος 2000
5. Ι.Δ.Δημητρίου, « Μηχανική Ρευστών »
Αθήνα, 1991
6. Χ.Μ.Οικονόμου, « Ανθεκτικότητα του Ωπλισμένου Σκυροδέματος »
(ΣΠΜΕ)
7. A.M.Neville & J.J.Brooks, " Concrete technology "
Revised, Longman Scientific & Technical
8. Τσιμέντο (Παραγωγή – Ιδιότητες – Ενυδάτωση)
Σ.Κόλιας, Αθήνα 1998
9. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ, Διάταγμα 29/2/1980
10. Σ.Κόλιας, ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
Αθήνα 1996
11. A.M.Neville, " Properties of Concrete "
Longman Scientific & Technical, 3rd Edition
12. C.Hall, " Water sorptivity of mortars and concretes : a review "
Magazine of Concrete Research, 1989, 41, No. 147, June, 51-61
13. S.Kelham, " A water absorption test for concrete "
14. L.J.Parrott, " Water absorption in cover concrete "
Materials and Structures, 1992,25. 284-292
15. M.A.Wilson, M.A.Carter and W.D.Hoff
"British Standart and RILEM water absorption tests : A critical evaluation "
Materials and Structures/Materlaux et Constructions, Vol. 32, October 1999

