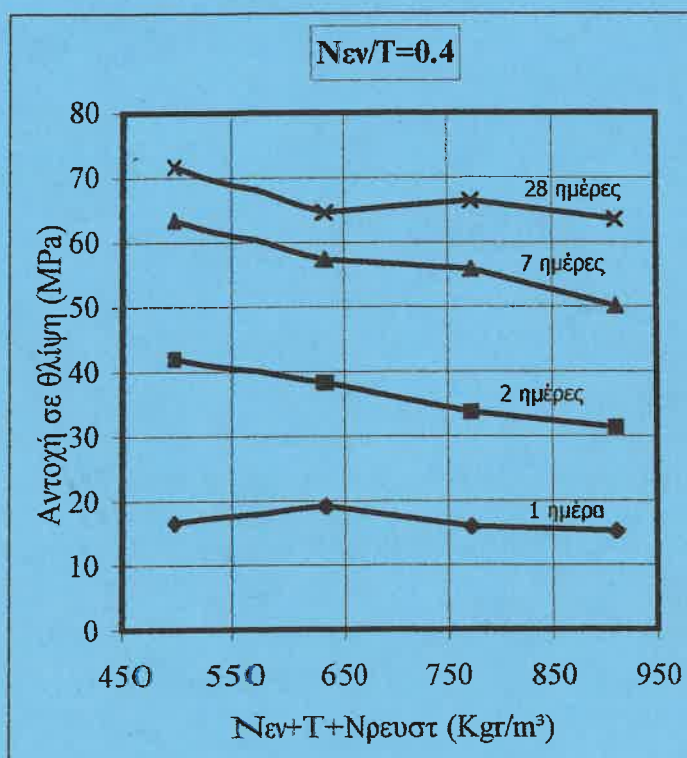


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΑΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Αναπληρωτής Καθηγητής Σ. ΚΟΛΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ
ΣΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**



ΜΑΪΣΤΡΑΛΗ ΚΥΡΙΑΚΗ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2000

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

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΑΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Αναπληρωτής Καθηγητής Σ. ΚΟΛΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΥ
ΣΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

ΜΑΪΣΤΡΑΛΗ ΚΥΡΙΑΚΗ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2000

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Στέλιο Κόλια που ήταν επιβλέπων και με καθοδηγούσε στην εργασία μου. Αλλά κυρίως τον ευχαριστώ ολόψυχα για την πολύτιμη ηθική και ψυχική του συμπαράσταση.

Ακόμα οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Κώστα Γεωργίου Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π. για την καθοδήγηση στην παρασκευή μιγμάτων σκυροδέματος με πρόσθετα υπερευστοποιητικά.

Τέλος, ευχαριστώ το Εργαστήριο Οδοποιίας Τ.Μ.Σ.Υ./Ε.Μ.Π. στο οποίο παρασκευάστηκαν τα δοκίμια, αλλά και το Εργαστήριο της Ενώσεως Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος στο οποίο τα δοκίμια δοκιμάστηκαν σε θλίψη.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Πρωταρχικός σκοπός του Πολιτικού Μηχανικού είναι να ικανοποιήσει για κάθε κατασκευή του την ασφάλεια και λειτουργικότητά της σε συνδυασμό βέβαια με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τον απαραίτητο σεβασμό προς το περιβάλλον μέσα στο οποίο κατασκευάζεται.

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό δομικό υλικό το οποίο χρησιμοποιείται στην Ελλάδα στις περισσότερες κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού. Καταλαβαίνουμε λοιπόν, ότι καθοριστικό ρόλο για την ασφάλεια μιας κατασκευής, από οπλισμένο (ή και προεντεταμένο) σκυρόδεμα, παίζουν η αντοχή και η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Στην πράξη η αντοχή των σκυροδεμάτων εκτιμάται από την τιμή του λόγου N/T , γίνεται επομένως αποδεκτό ότι, για τις συνήθεις περιπτώσεις της πράξης και εφόσον δεν αλλάξει η ποιότητα των αδρανών, η αντοχή καθορίζεται από την αντοχή του συνδετικού μέσου δηλαδή του τσιμεντοπολτού. Η προσέγγιση αυτή ήταν μέχρι πρόσφατα ικανοποιητική για τις περισσότερες των περιπτώσεων διότι η δυνατότητα των ρευστοποιητικών προσθέτων δεν επέτρεπε μεγάλες μεταβολές στις αναλογίες των μιγμάτων. Σήμερα όμως με τις δυνατότητες των υπερευστοποιητικών και ιδιαίτερα εκείνων της νέας γενιάς, οι δυνατότητες διευρύνονται πολύ σε σημείο που είναι δυνατόν να παρασκευαστεί σκυρόδεμα με τα ίδια περίπου χαρακτηριστικά εργασιμότητας με τον ίδιο λόγο N/T αλλά πολύ διαφορετικές ποσότητες τσιμέντου και νερού (π.χ. το νερό μπορεί να κυμανθεί από 140 σε 260 kg/m^3 ή και περισσότερο και αντίστοιχα να κυμανθεί και το τσιμέντο). Μεταβολές όμως αυτής της τάξεως μεταβάλλουν σημαντικά την κατ' όγκο αναλογία αδρανών/τσιμεντοπολτού και είναι γνωστό ότι αυτό έχει ως συνέπεια την μεταβολή της αντοχής αλλά και των χαρακτηριστικών διαπερατότητας – και επομένως ανθεκτικότητας – των μιγμάτων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την επίδραση του όγκου του τσιμεντοπολτού στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος (μέγιστου κόκκου 8 mm) χρησιμοποιώντας (όπου υπήρχε ανάγκη) πρόσθετα υπερευστοποιητικά τα οποία έδωσαν τη δυνατότητα βελτίωσης των χαρακτηριστικών εργασιμότητας του μίγματος.

ΕΥΡΕΙΑ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης του όγκου του τσιμεντοπολτού στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος (μέγιστου κόκκου 8 mm), κάνοντας και χρήση υπερρευστοποιητικού πρόσθετου όπου υπήρχε ανάγκη βελτίωσης της εργασιμότητας του σκυροδέματος.

Όπως είναι γνωστό, η αντοχή του σκυροδέματος μεταβάλλεται με τη μεταβολή του λόγου N/T.

Για την Παρασκευή των δοκιμών επιλέχθηκαν πέντε τιμές του λόγου N_{ev}/T : 0,70, 0,60, 0,50, 0,40 και 0,30. Για κάθε τιμή του λόγου N_{ev}/T παρασκευάστηκαν τέσσερα μίγματα με N_{ev} : 140, 180, 220 και 260 kg/m³. Από το κάθε μίγμα παρασκευάστηκαν 8 κυβικά δοκίμια ακμής ~ 70 mm τα οποία δοκιμάστηκαν σε θλίψη (ανά δύο) μετά από 1, 2, 7 και 28 ημέρες (συνολικός αριθμός δοκιμών = 5*4*8 = 160).

Επιπλέον, μελετήθηκε η επίδραση της μεταβατικής ζώνης του σκυροδέματος στην συμπεριφορά του. Υπολογίστηκε η συνολική επιφάνεια των αδρανών [15] στο κυβικό μέτρο του κάθε μίγματος, η οποία ισούται με την επιφάνεια της μεταβατικής ζώνης στο κυβικό μέτρο σκυροδέματος.

Τέλος, έγινε μια εργασία (εβάπτιση αδρανών μέσα σε νερό ή τσιμεντοπολτό για ορισμένα χρονικά διαστήματα) για να διερευνηθεί το κατά πόσο η υδαταπορρόφηση των αδρανών στην πράξη πλησιάζει τη μέγιστη αναμενόμενη (N_{ολ}-N_{ev}) πριν την πήξη του τσιμεντοπολτού.

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα που πηγάζουν από την διπλωματική εργασία είναι τα εξής :

- Για τον ίδιο λόγο N_{ev}/T η αντοχή ελαττώνεται όταν αυξάνεται η ποσότητα του τσιμεντοπολτού. Εξαιρέσεις σ' αυτήν τη συμπεριφορά υπάρχουν στην ηλικία της μιας ημέρας, οι οποίες αποδίδονται στις μεγάλες δόσεις υπερρευστοποιητικού προσθέτου που χρησιμοποιήθηκαν σε ορισμένα μίγματα με την επιβραδυντική δράση τους σε μικρή ηλικία.
- Η εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με τη βοήθεια του λόγου N/T μπορεί να γίνεται με ασφάλεια (δηλαδή αυτή η εκτίμηση θα συμφωνεί με τα έως τώρα αποτελέσματα ερευνών) όταν οι αναλογίες νερού είναι συνήθεις (N_{ev} = ~180-220 kg/m³) άρα και τσιμέντου.
- Δεν βγήκε συμπέρασμα για την επίδραση της μεταβατικής ζώνης στην αντοχή του σκυροδέματος (για τα μεγέθη των αδρανών που εξετάσαμε – μέχρι 8 mm), πράγμα που θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι η επίδραση της μεταβατικής ζώνης είναι πολύ μικρότερη απ' ό,τι η επίδραση άλλων παραγόντων όπως π.χ. του μέσου πάχους τσιμεντοπολτού (απόσταση μεταξύ των αδρανών).

- Δεδομένου ότι τα αδρανή μετά από 2 ώρες εβάπτισης, είτε σε νερό είτε σε τσιμεντοπολτό, απορρόφησαν το 85-90% της ποσότητας που θα απορροφούσαν εάν έμεναν εβαπτισμένα για πάνω από 24 ώρες, το πλέον ενδιαφέρον συμπέρασμα των μετρήσεων υδαταπορρόφησης ασβεστολιθικών αδρανών με δυνατότητες εφαρμογής στην πράξη, είναι ότι όσο αφορά την παραγωγή σκυροδέματος, στο χρονικό διάστημα πήξης-σκλήρυνσης του τσιμεντοπολτού, τα ξηρά αδρανή θα έχουν απορροφήσει σχεδόν όλη την ποσότητα νερού που τους αναλογεί από την Μελέτη Σύνθεσης (Ναδρ = Νολ-Νεν). Επιπλέον,δείχθηκε ότι η υδαταπορρόφηση των αδρανών κατά την πήξη του σκυροδέματος δεν εμποδίζεται από την παρουσία του τσιμεντοπολτού που τα περιβάλλει.

Αφιερωμένο
στον αδελφό μου Αργύρη,

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ..... 1

1.1.	ΤΣΙΜΕΝΤΟ.....	1
1.1.1.	Παρασκευή του τσιμέντου	1
1.1.2.	Χημική σύνθεση του τσιμέντου.....	1
1.1.3.	Τύποι του τσιμέντου.....	2
1.1.4.	Κατηγορίες αντοχής τσιμέντου.....	3
1.1.5.	Τύποι τσιμέντου στην Ελλάδα.....	4
1.1.6.	Ενυδάτωση τσιμέντου.....	5
	Ψευδόπηξη και ταχύπηξη	6
	Συστολή ενυδάτωσης – χημική συστολή	6
1.1.7.	Λεπτότητα αλέσεως του τσιμέντου	6
1.1.8.	Σταθερότητα όγκου του τσιμέντου	7
1.1.9.	Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου.....	7
	Ποζολάνες.....	7
	Ιπτάμενη τέφρα	8
	Φίλλερ	8
1.2.	ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	8
1.3.	ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	9
1.3.1.	Προέλευση και αντοχή των αδρανών	10
1.3.2.	Καθαρότητα.....	10
	Παιπάλη.....	10
	Οργανικές προσμίξεις	10
	Θειούχες ενώσεις.....	11
	Η κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση	11
	Η μορφή των κόκκων.....	12
1.4.	ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	13
	Ρευστοποιητικά και υπερρευστοποιητικά	15
	Επιβραδυντικά.....	15
	Επιταχυντικά.....	16
	Αερακτικά.....	17
	Στεγανοποιητικά.....	17
	Αντιπαγετικά	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (1997). 19**

2.1.	ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	19
2.1.1.	Τσιμέντο	19
2.1.2.	Αδρανή	19
	Θραυστά αδρανή	19
	Αποθήκευση, δειγματοληψία και έλεγχοι των αδρανών.....	20

2.1.3.	Νερό.....	21
2.1.4.	Πρόσθετα σκυροδέματος.....	21
2.2.	ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	22
2.3.	ΑΝΑΜΙΞΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	23
2.4.	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	24
2.5.	ΕΥΛΟΤΥΠΟΙ.....	24
2.6.	ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	25
2.7.	ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	25
2.8.	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ..... 27

3.1.	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	27
3.1.1.	Εργασιμότητα.....	27
3.1.2.	Εξίδρωση.....	29
3.1.3.	Απόμειξη.....	32
3.2.	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	32
3.2.1.	Γενικά για την αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις.....	32
3.2.2.	Η αντοχή του σκυροδέματος και ο μηχανισμός της θραύσεως.....	32
3.2.3.	Η αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό.....	34
3.2.4.	Πολυαξονική καταπόνηση.....	34
3.2.5.	Καταπόνηση με μεγάλη διάρκεια.....	34
3.2.6.	Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση.....	35
3.2.7.	Συνεργασία σκυροδέματος με χάλυβα.....	35
3.2.8.	Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο.....	36
3.2.9.	Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες συνθέσεως.....	37
3.2.10.	Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά.....	38
3.2.11.	Χρόνια συστολή του σκυροδέματος.....	40
3.2.12.	Ερπυσμός.....	42
3.2.13.	Το πορώδες.....	43
3.2.14.	Υδαταπορροφητικότητα και υδατοπερατότητα.....	44
3.2.15.	Θερμοαγωγιμότητα.....	46
3.2.16.	Θερμοδιαστολή.....	47
3.2.17.	Απορρόφηση ραδιενεργών ακτινοβολιών.....	47

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ..... 49

4.1.	ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	49
4.2.	ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	49
	Νερό.....	49
	Τσιμέντο.....	49
	Αδρανή.....	49
	Πρόσθετα σκυροδέματος.....	49

4.3.	ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ.....	52
4.4.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	89
4.5.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΘΡΑΥΣΗΣ.....	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ..... 91

5.1.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	91
5.2.	ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	91
5.3.	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	92
5.3.1.	Επίδραση του όγκου του τσιμεντοπολτού (ανά m^3) μίγματος στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος.....	92
(A)	Για διάφορους λόγους Νεν/Τ.....	92
(B)	Για διάφορες ηλικίες (1, 2, 7 και 28 ημερών).....	92
5.3.2.	Επίδραση του λόγου Ν/Τ στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος, για ηλικίες 1, 2, 7 και 28 ημερών.....	93
5.3.3.	Επίδραση της μεταβατικής ζώνης σκυροδέματος στην συμπεριφορά του σκυροδέματος.....	94
(A)	Θεωρία Μεταβατικής Ζώνης.....	94
(B)	Υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας των αδρανών που ισούται με την επιφάνεια της μεταβατικής ζώνης και προσπάθεια συσχέτισης της επιφάνειας της μεταβατικής ζώνης στο κυβικό μέτρο μίγματος σκυροδέματος με την αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος.....	96
5.3.4.	Επίδραση της ποσότητας Νεν στους λόγους αντοχής σκυροδέματος 2/28 και 7/28 ημερών.....	97
5.4.	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98
5.5.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	99
	ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 5.....	100

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΒΑΡΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	133
2.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟΥ.....	138
3.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΕΒΑΠΤΙΣΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟ.....	145
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	146

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1	Τυπική χημική σύνθεση τσιμέντου portland	2
1.2	Ενώσεις του τσιμέντου portland	2
1.3	Απαιτήσεις σε θλιπτική αντοχή σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό.....	3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1	Συγκριτικός Πίνακας διαφόρων μεθόδων μετρήσεως του εργάσιμου.....	30
-----	---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1	Χρονοδιάγραμμα παρασκευής και δοκιμής σε θλίψη των δοκιμίων.....	50
4.2	Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των μιγμάτων για κάθε λόγο Νεν/Τ	53
4.3	Ποσότητες των υλικών σύνθεσης των μιγμάτων σε kg/m ³	57
4.4(1)	Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 0,25 h (15 λεπτά).....	59
4.4(2)	Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 0,75 h (45 λεπτά).....	59
4.4(3)	Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 2 h	59
4.4(4)	Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 4,5h.....	59
4.4(5)	Αποτελέσματα της μεθόδου του πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 24 h	59
4.4(6)	Αποτελέσματα της μεθόδου του πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό ~65 h	60
4.4(7)	Αποτελέσματα της μεθόδου του πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό ≥24 h	60
4.4(8)	Συγκεντρωτικός πίνακας των μέσων όρων των αποτελεσμάτων της μεθόδου του πυκνομέτρου	60
4.5(1)	Υδατοαπορρόφηση αδρανών σε χρόνο 0,25 h (15 λεπτά).....	64
4.5(2)	Υδατοαπορρόφηση αδρανών σε χρόνο 0,75 h (45 λεπτά).....	64
4.5(3)	Υδατοαπορρόφηση αδρανών σε χρόνο 2 h	64
4.5(4)	Μέσοι όροι υδατοαπορρόφησης αδρανών	64
4.6	Κοινός πίνακας αποτελεσμάτων υδατοαπορρόφησης	65
4.7	Ποσότητες των υλικών σύνθεσης των μιγμάτων σε gr για 3,5 λίτρα μίγματος.....	68
4.8(1) - 4.8(20)	Πίνακες της παραγωγής του καθενός από τα μίγματα (1 – 20) στο εργαστήριο.....	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1	Υλικά Μελέτης Σύνθεσης και Αποτελέσματα των Μετρήσεων αντοχής σε θλίψη.....	100
5.2	Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης ανά ζεύγη (f ₁ , f ₂).....	102
5.3	Ποσότητα τσιμεντοπολτού και αντοχή σε θλίψη σκυροδέματος για κάθε λόγο Νεν/Τ	105
5.4	Όγκος αδρανών % και Αντοχή σε θλίψη σκυροδέματος.....	112

5.5	Αντοχή σε θλίψη και λόγος $(N_{εν}+N_{ρευστ})/T$, $(N_{ολ}+N_{ρευστ})/T$ για κάθε τιμή του $N_{εν}$	116
5.6(1) - 5.6(20)	Υπολογισμός του μεγέθους M της σχέσης [5.3.3.1] για κάθε μίγμα.....	123
5.7	Υπολογισμός συνολικής επιφάνειας αδρανών ανά m^3 μίγματος.....	128
5.8	Λόγοι αντοχών σε θλίψη 2ημ/28ημ και 7ημ/28ημ για κάθε τιμή του $N_{εν}$	131

ΣΧΗΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1	Σχέση μεταξύ ποιότητας τσιμέντου και εξίδρωσης για διάφορους λόγους N/T	31
3.2	Σχέση μεταξύ ωριμάνσεως και αντοχής.....	37
3.3	Ενδεικτική μορφή της εξαρτήσεως της αντοχής από το λόγο $\omega=N/T$, για διάφορους τύπους τσιμέντου	38
3.4	Ενδεικτική καμπύλη τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος.....	39
3.5	Σχέση μεταξύ μέτρου ελαστικότητας και αντοχής.....	40
3.6	Σχέση μεταξύ συστολής ξηράνσεως, ποσότητας τσιμέντου και λόγου $\omega=N/T$	41
3.7	Ταχύτητα αναρροφήσεως νερού που παρουσιάζει το τσιμεντοκονίαμα σε συνάρτηση του λόγου N/T	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1(1) - (2)	Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των μιγμάτων για λόγο $N_{εν}/T=0,70$ και $0,60$, αντίστοιχα.....	54
4.1(3) - (4)	Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των μιγμάτων για λόγο $N_{εν}/T=0,50$ και $0,40$, αντίστοιχα.....	55
4.1(5)	Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των μιγμάτων για λόγο $N_{εν}/T=0,30$	56
4.2(1)	Σχετική πυκνότητα ξηρών αδρανών σε σχέση με το χρόνο.....	61
4.2(2)	Σχετική πυκνότητα κορεσμένων (μερικώς ή ολικώς) και επιφανειακά στεγνών αδρανών σε σχέση με το χρόνο.....	61
4.2(3)	Φαινόμενη σχετική πυκνότητα αδρανών σε σχέση με το χρόνο	62
4.2(4)	Απορρόφηση νερού από τα αδρανή σε σχέση με το χρόνο	62
4.3	Κοινό σχήμα αποτελεσμάτων υδαταπορρόφησης.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1	Συντελεστής μεταβλητότητας δοκιμής μονοαξονικού εφελκυσμού κυλίνδρων σκυροδέματος συναρτήσει της διαμέτρου	101
5.2	Συντελεστής μεταβλητότητας δοκιμής κάμψης σε δοκάρια διαφόρων διαστάσεων.....	101
5.3(1) - (2)	Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας $(N_{εν}+T+N_{ρευστ})$ τσιμεντοπολτού ανά m^3 μίγματος για λόγους $N_{εν}/T=0,70$ και $0,60$, αντίστοιχα	106
5.3(3) - (4)	Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας $(N_{εν}+T+N_{ρευστ})$ τσιμεντοπολτού ανά m^3 μίγματος για λόγους $N_{εν}/T=0,50$ και $0,40$, αντίστοιχα	107
5.3(5)	Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας $(N_{εν}+T+N_{ρευστ})$ τσιμεντοπολτού ανά m^3 μίγματος για λόγο $N_{εν}/T=0,30$	108
5.4(1) - (2)	Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας $(N_{ολ}+T+N_{ρευστ})$ τσιμεντοπολτού ανά m^3 μίγματος για λόγους $N_{εν}/T=0,70$ και $0,60$, αντίστοιχα	109
5.4(3) - (4)	Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας $(N_{ολ}+T+N_{ρευστ})$ τσιμεντοπολτού ανά m^3 μίγματος για λόγους $N_{εν}/T=0,50$ και $0,40$, αντίστοιχα	110
5.4(5)	Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας $(N_{ολ}+T+N_{ρευστ})$ τσιμεντοπολτού ανά m^3 μίγματος για λόγο $N_{εν}/T=0,30$	111

5.5(1) - (2) Σχέση αντοχής σε θλίψη και όγκου αδρανών % για ηλικίες 1 και 2 ημερών, αντίστοιχα	113
5.5(3) - (4) Σχέση αντοχής σε θλίψη και όγκου αδρανών % για ηλικίες 7 και 28 ημερών, αντίστοιχα	114
5.6 Σχέση μεταξύ της αντοχής σε θλίψη κυλίνδρων (διαμέτρου 100 mm, ύψους 300 mm) και όγκου των αδρανών για λόγο $N/T=0,50$	115
5.7(1) - (2) Σχέση αντοχής σε θλίψη και λόγου $(N_{εν}+N_{ρευστ})/T$ για ηλικίες 1 και 2 ημερών, αντίστοιχα.....	117
5.7(3) - (4) Σχέση αντοχής σε θλίψη και λόγου $(N_{εν}+N_{ρευστ})/T$ για ηλικίες 7 και 28 ημερών, αντίστοιχα.....	118
5.8(1) - (2) Σχέση αντοχής σε θλίψη και λόγου $(N_{ολ}+N_{ρευστ})/T$ για ηλικίες 1 και 2 ημερών, αντίστοιχα.....	119
5.8(3) - (4) Σχέση αντοχής σε θλίψη και λόγου $(N_{ολ}+N_{ρευστ})/T$ για ηλικίες 7 και 28 ημερών, αντίστοιχα.....	120
5.9 Επίδραση του λόγου αδρανή/τσιμέντο στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος.....	121
5.10(1) Νωπό σκυρόδεμα.....	122
5.10(2) Διαγραμματική παρουσίαση της μεταβατικής ζώνης και της υπόλοιπης μάζας του τσιμεντοπολτού στο σκυρόδεμα [αποτελεί μεγέθυνση του γραμμοσκιασμένου τμήματος του Σχήματος 5.10(1)]	122
5.11 Σχέση επιφάνειας αδρανών (m^2) και ποσότητας $N_{εν}$ (kg/m^3) ανά m^3 μίγματος.....	129
5.12 Σχέση επιφάνειας αδρανών (m^2) και ποσότητας $(N_{εν}+T+N_{ρευστ})$ τσιμεντοπολτού ανά m^3 μίγματος.....	130
5.13(1) - (2) Σχέση λόγων αντοχής σε θλίψη 2ημ/28ημ και 7ημ/28ημ αντίστοιχα, με την τιμή του $N_{εν}$, για διάφορους λόγους $N_{εν}/T$	132

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ.
2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.
3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό δομικό υλικό το οποίο χρησιμοποιείται στην Ελλάδα στις περισσότερες κατασκευές Πολιτικού Μηχανικού. Έτσι έχει μεγάλη σημασία να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά των υλικών παρασκευής του (νερό, τσιμέντο, αδρανή, πρόσθετα) και πώς αυτά επηρεάζουν τις ιδιότητες του τόσο ως νωπό σκυρόδεμα (ομοιογένεια, εργασιμότητα), όσο και ως σκληρυμένο σκυρόδεμα (αντοχή, ανθεκτικότητα, πρόσθετες μηχανικές ιδιότητες ανάλογα με το είδος της κατασκευής).

1.1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ

1.1.1. Παρασκευή τσιμέντου portland.

Το τσιμέντο είναι βιομηχανικό προϊόν που παρασκευάζεται από πρώτες ύλες κυρίως ασβεστόλιθο και άργιλο που μετά από την εξόρυξή τους και μέχρι να φθάσουμε στο τσιμέντο περνάνε από τα παρακάτω στάδια: Τα υλικά αυτά θραύονται και αναμιγνύονται σε κατάλληλες αναλογίες (προομοιογενοποίηση) και κάποιες φορές μαζί και με μικρές ποσότητες άλλων υλικών όπως σχιστόλιθο και σιδηροπυρίτες για βελτίωση της χημικής σύνθεσης του μίγματος. Μετά αλέθονται σε τριβεία, ώστε να αποκτήσουν διάμετρο λίγων χιλιοστών και το προϊόν της άλεσης ονομάζεται φαρίνα. Έπειτα το μίγμα αυτό εισάγεται σε περιστροφικό κλίβανο και εκεί υφίστανται κατάλληλη όπτηση μέχρι 1400-1600°C και εξάγεται υπό μορφή γκριζοπράσινων κόκκων διαμέτρου λίγων cm (6-50 mm). Τα προϊόντα της όπτησης που ονομάζονται εκβολάδες ή διεθνώς klinker αλέθονται σε ένσφαιρους μύλους μέχρι να γίνουν λεπτή σκόνη με ειδική επιφάνεια που συνήθως κυμαίνεται ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου από 2600 έως 5000 cm²/gr. Το προϊόν της άλεσης χωρίς καμία προσθήκη ή τροποποίηση ονομάζεται τσιμέντο portland.[1], [2]

1.1.2. Χημική σύνθεση του τσιμέντου.

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

θερμοκρασία όπτησεως. Στον Πίνακα 1.1 δίνεται μια τυπική χημική σύνθεση του τσιμέντου portland. [1]

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 Τυπική χημική σύνθεση τσιμέντου portland.

Οξείδιο	Περιεκτικότητα % κ.β.
CaO	64.0
SiO ₂	22.0
Al ₂ O ₃	7.3
FeO ₃	3.3
CaSO ₄	1.9
MgO	1.4
MnO	0.1

Τα οξείδια αυτά σχηματίζουν κατά την όπτηση και στη συνέχεια τη ψύξη του klinker τις ενώσεις που δίνονται στον Πίνακα 1.2. [1]

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2 Ενώσεις του τσιμέντου portland.

Χημικό όνομα	Χημικός τύπος	Συντομ/φία	Περιεκτ.%κβ
Πυριτικό τριασβέστιο	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	~54
Πυριτικό διασβέστιο	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	~17
Αργλικό τριασβέστιο	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	~19
Σιδηροπυριτικό τετρασβέστιο	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	~9

Η αναλογία των παραπάνω συστατικών έχει επίδραση στην ταχύτητα της ενυδάτωσης και επομένως στην ταχύτητα ανάπτυξης της αντοχής. Οι δύο πυριτικές ενώσεις συμβάλλουν σημαντικά στην ανάπτυξη της αντοχής αντίθετα από τις αργλικές. Αντίθετα όμως, η αναλογία των τεσσάρων συστατικών δεν έχει και τόσο αποφασιστική σημασία στην τελική τιμή της αντοχής.

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

- οξείδιο του μαγνησίου (MgO) ή μαγνησία, της οποίας η περιεκτικότητα περιορίζεται από τους Κανονισμούς σε 5 %, το πολύ γιατί η ενυδάτωσή της προκαλεί διόγκωση και επομένως ζημιές.
- γύψος (CaSO₄), η οποία προστίθεται για να ελεγχθεί η ταχύτητα πήξης του τσιμέντου.
- αλκάλια (K₂O και Na₂O), τα οποία σε μικρές ποσότητες είναι αβλαβή, ενώ σε μεγαλύτερες προκαλούν ανωμαλίες στην ταχύτητα πήξεως. [1]

1.1.3. Τύποι του τσιμέντου portland.

Ανάλογα με την σύνθεσή τους, το βαθμό αλέσεως και τα πρόσθετα υλικά, τα τσιμέντα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους. Σύμφωνα με τον Ελληνικό

Κανονισμό Τσιμέντων [4] τα παραγόμενα τσιμέντα κατατάσσονται στους ακόλουθους τύπους:

Τύπος I: Τσιμέντα Portland.

Χαρακτηρίζονται ως (αμιγή) τσιμέντα Portland τα τσιμέντα που προέρχονται από άλεση του klinker με τις ελάχιστες αναγκαίες προσθήκες. Οι προσθήκες αυτές είναι:

- γύψος, όση απαιτείται για τη ρύθμιση της πήξεως και συνήθως 2-3 % κ.β.
- φίλλερ (φίλλερ) , έως 3 %.

Τύπος II: Τσιμέντα Portland με ποζολάνες.

Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που περιέχουν εκτός από τα προηγούμενα υλικά και ποζολάνη σε ποσοστό έως 20 % κ.β.

Ειδικά το τσιμέντο με ποσοστό 10 % ποζολάνης ονομάζεται “Τσιμέντο Portland Ελληνικού Τύπου” (Τύπος IIα).

Τύπος III: Ποζολανικά τσιμέντα Portland.

Αυτά τα τσιμέντα περιέχουν ποζολάνη 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.

Τύπος IV: Τσιμέντα portland ανθεκτικά σε θειικά άλατα (Sulfate Resistant).

Τα τσιμέντα αυτού του τύπου δεν έχουν προσθήκες (ποζολάνες κ.λ.π.) 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 φθάσει και 10-20 %.

1.1.4. Κατηγορίες αντοχής τσιμέντου.

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 [4] δίνονται στον Πίνακα 1.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3 Απαιτήσεις σε θλιπτική αντοχή σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό.

Κατηγορία αντοχών	Αντοχή σε θλίψη (N/mm^2)			
	αντοχή σε 2 ημέρες <i>min</i>	αντοχή σε 7 ημέρες <i>min</i>	αντοχή σε 28 ημέρες <i>min</i>	<i>max</i>
35	-	15	25	45
45	10	-	35	55
55	15	-	45	-

Τα όρια των αντοχών αυτών εγγυάται ο παραγωγός με ασφάλεια:

90 % για τις ελάχιστες τιμές των 2 και 7 ημερών,
99 % για τις ελάχιστες τιμές 28 ημερών,
90 % για τις μέγιστες αντοχές των 28 ημερών.

1.1.5. Τύποι τσιμέντων στην Ελλάδα.

Τα τσιμέντα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα σήμερα είναι ο τύπος II/35 σε σακιασμένο τσιμέντο ή χύμα (το λεγόμενο κοινό) και το τσιμέντο τύπου I/45 και I/55 (μόνο χύδην), διακινούμενο με σιλοφόρα τσιμέντου από το εργοστάσιο τσιμέντων στα σιλό των εργοστασίων παραγωγής σκυροδέματος. Το συνήθως χρησιμοποιούμενο τσιμέντο από βιομηχανίες έτοιμου σκυροδέματος είναι το I/45 στην Αθήνα, ενώ στην επαρχία χρησιμοποιείται ακόμη το τσιμέντο II/35 (χύμα). Συγκριτικά απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου II/35 για να επιτύχει τις αντοχές στο σκυρόδεμα που πετυχαίνει το I/45. [1]

Τα τσιμέντα που πουλιούνται στην ελληνική αγορά, σε ποσοστό 98 % της όλης παραγωγής είναι τα ακόλουθα: [1], [2]

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

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

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

Άλλοι τύποι τσιμέντου που παρέχονται σε ειδικές κατασκευές είναι: [1], [2]

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

Τύπος III/45: παρουσιάζει χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης και είναι κατάλληλο για ογκώδεις κατασκευές σκυροδέματος (π.χ. υδατοφράγματα).

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

Λευκό τσιμέντο: έχει ιδιότητες και επιδόσεις αντίστοιχες με αυτές του φαιού τύπου I/45 και χρησιμοποιείται στην πλακοποιία, για την κατασκευή διακοσμητικών στοιχείων, ανεπίχρηστου αρχιτεκτονικού σκυροδέματος, μωσαϊκών κλπ.

Τσιμέντο OIL WELL: Ειδικό τσιμέντο για τις γεωτρήσεις πετρελαίου. Πρέπει να ικανοποιεί πολύ αυστηρές προδιαγραφές σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας.

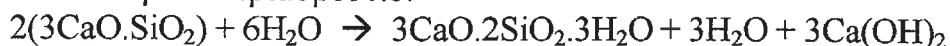
1.1.6. Ενυδάτωση τσιμέντου.

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

Με την ανάμειξη του τσιμέντου με το νερό δημιουργείται μια γκριζοπράσινη πολτώδης μάζα, η τσιμεντοκονία. Για περίπου μία ώρα το μείγμα φαίνεται να παρουσιάζει καμία μεταβολή. Μετά αρχίζει να πήζει προοδευτικά ώσπου στερεοποιηθεί τελείως. Ο Κανονισμός [4] ορίζει ότι η αρχή της πήξης για τα κοινά τσιμέντα δεν πρέπει να εμφανίζεται νωρίτερα από μία ώρα από τη στιγμή αναμείξεως των δύο υλικών και το τέλος της πήξης αργότερα από 8 ώρες. Στην περίπτωση όμως του σκυροδέματος ο χρόνος ως την αρχή της πήξεως γίνεται δύο έως τέσσερις φορές μεγαλύτερος.

Οι παραπάνω διαχωρισμοί έχουν μόνο πρακτική αξία και χρησιμεύουν για τον καθορισμό του χρόνου κατεργασίας και του χρόνου απομακρύνσεως των ξυλοτύπων. Από χημική όμως άποψη η εξέλιξη είναι διαφορετική, χωρίς τις απότομες αυτές αλλαγές. Οι χημικές αντιδράσεις αρχίζουν αμέσως μετά την ανάμειξη των δύο υλικών και συνεχίζονται ομαλά επί χρόνια. Κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων αυτών τα τέσσερα κύρια συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό και σχηματίζουν ένυδρες κρυσταλλικές ενώσεις. Η μορφή των αντιδράσεων αυτών δεν είναι τελείως γνωστή, κυρίως για τα δύο τελευταία συστατικά. Η αρχική και τελική μορφή των ενώσεων όμως είναι η εξής: [1]

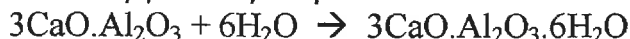
Για το πυριτικό τριασβέστιο:



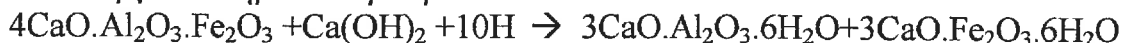
Για το πυριτικό διασβέστιο:



Για το αργιλικό τριασβέστιο:



Για το αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο:



Οι αντιδράσεις αυτές πραγματοποιούνται με σύγχρονη έκλυση θερμότητας και συστολή του όγκου των αρχικών προϊόντων. Η ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται ονομάζεται θερμότητα ενυδάτωσης και μετράται σε joules/g, ή cal/g, ανυδάτωτου τσιμέντου.

Από τις ενώσεις του τσιμέντου portland, την μικρότερη ταχύτητα ενυδατώσεως παρουσιάζει το πυριτικό τριασβέστιο C_2S , ενώ τη μεγαλύτερη το αργιλικό τριασβέστιο C_3A , του οποίου η ταχύτητα μειώνεται αρχικά με την προσθήκη γύψου. Τη μεγαλύτερη συμβολή στην πρώιμη αντοχή έχει το C_3S , ενώ στην τελική αντοχή η συμβολή του C_2S δε διαφέρει σημαντικά από τη συμβολή του C_3S . Οι αντοχές βέβαια σε μικρή υλικία θα είναι μειωμένες. Η

λεπτότητα του τσιμέντου επηρεάζει επίσης την ταχύτητα ενυδάτωσης και την ταχύτητα έκλυσης θερμότητας, άλλα όχι την ολική ποσότητα έκλυσης θερμότητας. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει γενικά τις χημικές αντιδράσεις και επομένως και την ενυδάτωση (υψηλή θερμοκρασία προκαλεί επιτάχυνση και αντιστρόφως). [1]

Ψευδόπηξη και ταχύπηξη.

Κατά τη διαδικασία της πήξης είναι δυνατών, 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 *ψευδόπηξη* (false set) και η *ταχύπηξη* (flash set).

Η *ψευδόπηξη* δε συνοδεύεται με έκλυση θερμότητας και εξαφανίζεται με επανάμιξη χωρίς ανάγκη προσθήκης νερού, ενώ αντιθέτως, η *ταχύπηξη* συνοδεύεται με σημαντική έκλυση θερμότητας και δεν αντιμετωπίζεται με επανάμιξη χωρίς την προσθήκη νερού. [2]

Συστολή ενυδάτωσης – χημική συστολή.

Κατά την ενυδάτωσή του το τσιμέντο δεσμεύει χημικά νερό ίσο προς περίπου το 23-25 % της μάζας του (χημικά δεσμευμένο νερό Χ.δ.Ν). Επίσης, δεσμεύει επιφανειακά και μία ποσότητα ίση προς περίπου το 19 % της μάζας του (επιφανειακά δεσμευμένο νερό Ε.δ.Ν). Το Χ.δ.Ν. μαζί με το τσιμέντο σχηματίζουν τη μάζα του πηγματος, το οποίο συγκρατεί με ισχυρές επιφανειακές τάσεις το Ε.δ.Ν. Το νερό αυτό δε συμπεριφέρεται όπως το κοινό νερό-δεν σχηματίζει μηνίσκους και έχει μειωμένη κινητικότητα. Επομένως το συνολικό νερό που απαιτείται για πλήρη ενυδάτωση του τσιμέντου είναι: $X.δ.Ν + Ε.δ.Ν = 42 \% \text{ κ.μ. τσιμέντου}$. Αν κατά τη διάρκεια της ενυδάτωσης παρουσιαστεί έλλειψη νερού, το τσιμέντο δεν μπορεί να «τραβήξει» νερό από το Ε.δ.Ν. του ήδη ενυδατωμένου τσιμέντου και η ενυδάτωση διακόπτεται.

Το άθροισμα των όγκων τσιμέντου και νερού πριν από την ενυδάτωση είναι μικρότερο από το άθροισμα των όγκων των προϊόντων της πλήρους ενυδάτωσης. Το φαινόμενο αυτό, το οποίο δεν οφείλεται σε εξωτερικά αίτια (εξάτμιση, μεταβολή θερμοκρασίας, επιβολή δύναμης) ονομάζεται *χημική συστολή ή συστολή ενυδάτωσης*. Η χημική συστολή είναι περίπου ίση με το $\frac{1}{4}$ του Χ.δ.Ν. [2]

1.1.7. Λεπτότητα αλέσεως του τσιμέντου.

Η λεπτότητα ελέγχεται, κατ' αρχήν, από το κόσκινο ανοίγματος 0.2 mm, για να διαπιστωθεί ότι δεν υπάρχουν συσσωματώματα, ή ξένες ύλες και εν συνεχεία προσδιορίζεται η ειδική επιφάνεια είτε με τη συσκευή Blaine, είτε με το Turbidimeter Wagner, είτε με τη μέθοδο της απορρόφησης αζώτου, είτε με συσκευή ακτίνων Laser. Η ειδική επιφάνεια εκφράζεται σε cm^2/g και η ελάχιστη τιμή της για τα τσιμέντα portland είναι $2600 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($260 \text{ m}^2/\text{kg}$) κατά τη μέθοδο Blaine (Ελληνικός Κανονισμός).

Η λεπτότητα αλέσεως του τσιμέντου επηρεάζει άμεσα την ταχύτητα ενυδάτωσης (και πήξης), διότι στα λεπτότερα τσιμέντα έρχεται σε επαφή με το νερό μεγαλύτερη επιφάνεια τσιμέντου. Έτσι τα μεγαλύτερης αντοχής τσιμέντα είναι συνήθως και λεπτότερα για να επιτυγχάνουν στις 28 ημέρες την απαιτούμενη αντοχή. Η συστολή κατά την πήξη επηρεάζεται από τη λεπτότητα του τσιμέντου και επομένως τα λεπτότερα τσιμέντα παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο μικρορηγματώσεως. [2]

1.1.8. Σταθερότητα όγκου του τσιμέντου.

Είναι απαραίτητο ο τσιμεντοπολτός να παρουσιάζει μετά την πήξη του σταθερότητα όγκου, διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος ρηγματώσεων.

Αστάθεια όγκου στον τσιμεντοπολτό μπορεί να οφείλεται σε αντιδράσεις ελευθέρως ασβέστου (CaO), μαγνησίας (MgO) και θεικού ασβεστίου. Αν στο τσιμέντο υπάρχει ελευθέρως ασβέστος τότε αντιδρά με το νερό και προκαλείται διόγκωση. Η μαγνησία αντιδρά με το νερό κατά παρόμοιο τρόπο, ενώ το θειικό ασβέστιο είναι δυνατόν, σε περίπτωση περίσσειας γύψου, να προκαλέσει διόγκωση λόγω σχηματισμού ετρίγκριτη. Οι παραπάνω χημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα με πολύ αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα οι συνέπειες της αστάθειας όγκου του τσιμέντου να γίνουν μετά από μήνες, ή ακόμα και χρόνια. Ο έλεγχος σταθερότητας όγκου γίνεται με τη δοκιμή Le Chatelier και τη δοκιμή σε αυτόκλειστο. Οι επιταχυνόμενου χαρακτήρα δοκιμές αυτές δεν προσομοιάζουν τις πραγματικές συνθήκες που θα βρεθεί στην πράξη μία κατασκευή από σκυρόδεμα και επομένως μόνο ενδείξεις παρέχουν ως προς την πραγματική συμπεριφορά του τσιμέντου, εντούτοις όμως, είναι πολύ χρήσιμες για τον έλεγχο της ποιότητάς του και των συνθηκών παραγωγής του.

Κατά τον ΕΚΤ απαιτείται η περιεκτικότητα του τσιμέντου σε μαγνησία (MgO) να μην υπερβαίνει το 6 % και σε τριοξείδιο του θείου το 3.5 %, εκτός εάν η ειδική επιφάνεια είναι $>4000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ οπότε επιτρέπεται το SO_3 να φθάνει μέχρι και 4 %. [2]

1.1.9. Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου.

Ποζολάνες.

Ποζολάνες ονομάζουμε πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, που έχουν την ιδιότητα να ενώνονται με την υδράσβεστο Ca(OH)_2 και να σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις, που με το χρόνο σκληρύνονται και αποκτούν μικρές ή μεγαλύτερες αντοχές. Η δράση αυτή οφείλεται κυρίως στο άμορφο πυριτικό υλικό των ποζολανών. Άλλα υλικά που παρουσιάζουν απλώς υδραυλικές ιδιότητες, δηλαδή την ικανότητα, αναμιγνυόμενα με το νερό, μα πήζουν και να σκληρύνονται στον αέρα ή μέσα στο νερό.

Για να χρησιμοποιηθεί μια ποζολάνη για την παρασκευή τσιμέντων του τύπου II ή III πρέπει να ικανοποιεί τη δοκιμή δραστηρότητας που προβλέπει ο

Κανονισμός, [4] δηλαδή να παρουσιάζει συμβατική αντοχή τουλάχιστον 5 MPa.

Στην Ελλάδα υπάρχουν ηφαιστιογενείς γαίες με ποζολανικές ιδιότητες σε πολλές περιοχές όπως η Θήρα (θηραϊκή γη) η νήσος Μήλος (Μηλαϊκή γη), τα νησιά Γιαλί και Νίσυρος των Δωδεκανήσων, στο νομό Πέλλης και αλλού. [1]

Ιπτάμενη τέφρα.

Ιπτάμενη τέφρα ονομάζουμε τα σε λεπτότατο καταμερισμό κατάλοιπα που προκύπτουν από την καύση γαιανθράκων ή λιγνιτών και που συλλέγονται κατά την έξοδο των αερίων καύσεως από τις καπνοδόχους των ατμοηλεκτρικών σταθμών με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Στην Ελλάδα ιπτάμενη τέφρα παράγεται στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ στην Πτολεμαΐδα και τη Μεγαλόπολη.

Η δραστικότητα των τεφρών οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO_2 , Al_2O_3 και CaO . Οι δύο πρώτες ενώσεις προσδίδουν στην τέφρα ποζολανικές ιδιότητες ενώ το CaO υδραυλικές ιδιότητες. [1]

Φίλλερ.

Φίλλερ ονομάζουμε υλικά, συνήθως αδρανή, σε λεπτότατο καταμερισμό. Τα φίλλερ σε μικρές ποσότητες επιδρούν ευνοϊκά στο εργάσιμο και την υδατοπερατότητα. Η δράση τους είναι κυρίως μηχανική, δηλαδή δρουν σαν λιπαντικό για το εργάσιμο και με τη διόγκωση των κόκκων παρουσία υγρασίας αυξάνουν την υδατοστεγανότητα. Σπανίως παρουσιάζουν και ποζολανικές ή υδραυλικές ιδιότητες. Αυτό εξαρτάται από το υλικό από το οποίο προέρχεται το φίλλερ. [1]

1.2. ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Το νερό είναι ένα από τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Μαζί με το τσιμέντο παίρνει μέρος σε σειρά χημικών αντιδράσεων, που οδηγούν, με τη δημιουργία ένυδρων κρυστάλλων, στην πήξη και σκλήρυνση του μίγματος. Η βασική απαίτηση απέναντι στο νερό είναι να περιέχει συστατικά που μπορούν να βλάψουν ή να επηρεάσουν τις αντιδράσεις ενυδατώσεως.

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. Το 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 την παρασκευή του σκυροδέματος.

Για το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος μπορούμε, γενικά, να είμαστε περισσότερο ανεκτικοί, παρά με τα νερά που δρουν εξωτερικά και μόνιμα. Και αυτό γιατί η ποσοστιαία αναλογία του νερού αναμίξεως, και συνεπώς και κάθε ξένης ουσίας μέσα σ' 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, η δράση τους είναι μόνιμη και η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών ανεξάντλητη.

Οι κυριότερες από τις χημικές ουσίες που έχουν δυσμενή επίδραση στην εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων, με αποτέλεσμα είτε τη μείωση της τελικής αντοχής, είτε την καθυστέρηση της πήξεως είναι: η ζάχαρη, τα οξέα, τα λάδια και λίπη, οι οργανικές ουσίες. Αυτές δεν πρέπει να υπάρχουν ούτε στην παραμικρή ποσότητα μέσα στο νερό αναμίξεως.

Για τα νερά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή προεντεταμένου σκυροδέματος μπαίνει ακόμη ο περιορισμός να μην περιέχουν χλωριούχα και θειικά άλατα σε ποσότητες μεγαλύτερες από τα παρακάτω όρια:

- χλωριούχα άλατα, εκφρασμένα σε $\text{NaCl} \rightarrow 0.04\%$
- θειικά άλατα, εκφρασμένα σε $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow 0.04\%$

Ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος [5] υιοθετεί το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 345, και αναφέρεται ξεχωριστά στις περιπτώσεις άοπλου, οπλισμένου και προεντεταμένου σκυροδέματος.

Γενικό συμπέρασμα πάντως είναι ότι νερά πόσιμα μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλα. Σε κάθε περίπτωση αμφιβολίας, την απάντηση για την καταλληλότητα ή όχι ενός νερού δίνει η παρασκευή δοκιμίων με το νερό αυτό, καθώς και τα άλλα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, και η παρακολούθηση της πήξεως, όπως και η μέτρηση της αντοχής. Ο έλεγχος όμως αυτός, για να δώσει πραγματική εικόνα, πρέπει να επεκταθεί και σε μεγαλύτερες ηλικίες, γιατί πάρα πολλές ουσίες επιταχύνουν την ενυδάτωση και δημιουργούν αύξηση της αντοχής στις μικρές ηλικίες, ενώ η τελική αντοχή (δηλαδή σε μεγάλες ηλικίες) είναι μειωμένη. [1]

1.3. ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ.

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

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι:

- η αντοχή τους (αντοχή του μητρικού πετρώματος)
- η καθαρότητα, η ύπαρξη δηλαδή ή όχι προσμίκτων
- 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]

1.3.1. Προέλευση και αντοχή των αδρανών.

Για την αντοχή του κοινού σκυροδέματος, στο οποίο η μηχανική αντοχή είναι το κυριότερο χαρακτηριστικό, σημασία έχει η αντοχή σε θλίψη του μητρικού πετρώματος. Την αντοχή αυτήν τη μετράμε με 6 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 7x7x7 ή κυλινδρικούς πυρήνες Φ75 και ύψους 75 mm. Ακόμα το πέτρωμα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κομμούς και να μην αποσαθρώνεται από την επίδραση των καιρικών συνθήκων. Οι ιδιότητες αυτές χαρακτηρίζονται με τον όρο υγεία του πετρώματος. Τέλος, πρέπει το πέτρωμα να διαθέτει αρκετή αντοχή σε επιφανειακή φθορά, δηλαδή αντοχή σε επιφανειακή τριβή και επιφανειακές κρούσεις. Ο έλεγχος γίνεται με τη συσκευή Los Angeles κατά τις Αμερικάνικες Προδιαγραφές ASTM C535 και C131. Η φθορά πρέπει να είναι μικρότερη του 40 %. [1]

1.3.2. Καθαρότητα .

Με την έννοια αυτή εννοούμε ότι τα αδρανή δεν πρέπει να έχουν επάνω στην επιφάνειά τους ή μέσα στη μάζα τους ή αναμεταξύ τους ξένες ουσίες που μπορεί να εμποδίσουν την πρόσφυση με το κονίαμα ή να έχουν επιβλαβή χημική επίδραση στο τσιμέντο ή στο σίδηρο. [1]

Τα κυριότερα επιβλαβή αυτά πρόσμικτα είναι:

Η παιπάλη.

Ως παιπάλη χαρακτηρίζεται το λεπτότερο τμήμα του υλικού που περνάει από το αμερικάνικο πρότυπο κόσκινο Νο 200 (75 μm) και προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ-305. Κατά τον Ελληνικό Κανονισμό, η παιπάλη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16 % κ.β. της άμμου και το 1 % κ.β. των χοντροτέρων κλασμάτων (ρυζάκι, γαρμπίλι, σκύρα).

Η παιπάλη απομακρύνεται από τα αδρανή όταν πλυθούν με νερό. [1]

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. [1]

Θειούχες ενώσεις.

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

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

Οι Γερμανικοί Κανονισμοί ορίζουν ως μέγιστο ανεκτό όριο των θειούχων ενώσεων, μετρούμενο σε SO_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]

Η κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση.

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

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

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

αναλογία των όγκων συμπίπτει με την κατά βάρος αναλογία. Γι' αυτό και στην περίπτωση υλικού που προέρχεται από το ίδιο πέτρωμα, οι αναλογίες αυτές βρίσκονται με ζύγισμα του υλικού μετά το κοσκίνισμα. Στην αντίθετη περίπτωση τα βάρη θα πρέπει να διαιρεθούν με το φαινόμενο ειδικό βάρος του πετρώματος κάθε ομάδας, για να μετατραπούν σε όγκους.

Η κοκκομετρική σύνθεση απεικονίζεται σε διάγραμμα με τις διαμέτρους στον οριζόντιο άξονα και τα ποσοστά του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο. Οι διάμετροι σημειώνονται στον οριζόντιο άξονα, είτε σε απλή είτε σε λογαριθμική είτε σε παρόμοια κλίμακα, κατά τρόπο που να δημιουργείται ανάπτυξη της περιοχής των μικρών διαμέτρων. Κάθε κοκκομετρική σύνθεση παριστάνεται με μια πολυγωνική γραμμή, που λέγεται συνήθως *κοκκομετρική καμπύλη*, επειδή υποθέτουμε ότι το υλικό έχει συνεχή μεταβολή διαμέτρων και επομένως στην πραγματικότητα πρόκειται για καμπύλη της οποίας προσδιορίζουμε, με τα πρότυπα κόσκινα που διαλέγουμε, ορισμένα σημεία της. Η κλίση της καμπύλης, σε κάθε περιοχή, παριστάνει το κατ' όγκο ποσοστό του υλικού της περιοχής αυτής.

Ενώ ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής συνθέσεως 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.

Είναι όμως φανερό ότι στο πρόβλημα του προσδιορισμού της καλύτερης καμπύλης εισέρχονται και πολλοί άλλοι παράγοντες, και το κριτήριο ακόμη για την ποιότητα του σκυροδέματος δεν είναι σταθερό, ώστε τελικά να μην μπορεί να δοθεί μαθηματική λύση. Οι Κανονισμοί με βάση τα πειραματικά δεδομένα και την επείρα από τα ντόπια υλικά κάθε χώρας, καθορίζουν περιοχές μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται οι καμπύλες της κοκκομετρικής διαβαθμίσεως των υλικών, ανάλογα με τις επιδιωκόμενες ιδιότητες του σκυροδέματος. Η επιλογή μέσα στις περιοχές αυτές της καταλληλότερης καμπύλης αναπόκειται στο μελετητή μηχανικό, που θα καθορίσει λαπτομερέστερα τις επιθυμητές ιδιότητες του υλικού, έχοντας υπόψη του της απαιτήσεις του έργου και τις εργοταξιακές συνθήκες. [1]

Η μορφή των κόκκων.

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

Το σχήμα ή η μορφή των κόκκων επηρεάζει, άσχετα από την επιρροή του μεγέθους, κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Επηρεάζει πρώτα-πρώτα το εργάσιμο με την εσωτερική τριβή τους. Από την άποψη αυτή η σφαιρική μορφή παρουσιάζει τη μικρότερη γωνία τριβής και επομένως το

μεγαλύτερο εργάσιμο του υλικού. Όσο η μορφή των κόκκων απομακρύνεται από τη σφαιρική τόσο αυξάνεται η εσωτερική τριβή και ελαττώνεται η εργασιμότητα του υλικού. Συγχρόνως όμως αυξάνεται και η ειδική επιφάνεια και επομένως αυξάνεται ακόμη περισσότερο η ανάγκη για νερό. Αντίθετα όμως η αύξηση της πολυγωνικότητας των κόκκων βελτιώνει τη στήριξη των κόκκων μεταξύ τους, καθώς και την πρόσφυση με το κονίαμα (αύξηση της επιφάνειας επαφής). Κατά τον ίδιο τρόπο και οι κυβοειδής και οι πλακοειδείς κόκκοι συντελούν στη μηχανική αντοχή του σκυροδέματος, λόγω της καλύτερης εδράσεως αυτών.

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

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

1.4. ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

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

Με χρήση κάποιου πρόσθετου μπορούμε να έχουμε π.χ. αύξηση της εργασιμότητας και της συνεκτικότητας, αύξηση ή μείωση της εξιδρώσεως και της ικανότητας αντλήσεως, μείωση της θερμότητας ενυδατώσεως, ανάπτυξη πρώιμων μηχανικών αντοχών, μείωση της διαπερατότητας και αύξηση της ανθεκτικότητας σε παγοπληξία και άλλους διαβρωτικούς παράγοντες. [1], [3]

Τα πρόσθετα ανάλογα με τον τρόπο που δρουν χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: [1]

- Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα υλικά εκείνα που δρουν κατά τρόπο χημικό ή φυσικοχημικό, ενώ η ποσότητά τους είναι τόσο μικρή, ώστε να μην επηρεάζει τη σύνθεση του σκυροδέματος.
- Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα υλικά εκείνα που, εκτός από την τυχόν χημική ή φυσικοχημική δράση τους, η ποσότητά τους είναι τέτοια, ώστε να πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η τροποποίηση της συνθέσεως του σκυροδέματος που τα υλικά αυτά προκαλούν.

Τα πρόσθετα ανάλογα με τα αποτελέσματά τους κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες: [3]

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

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

Τέλος, στην κατηγορία των προσθέτων ανήκουν και τα αεριοποιητικά και αφροποιητικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των ελαφρών σκυροδεμάτων. [1]

Εκτός όμως από την κύρια δράση κάθε προσθέτου βάσει της οποίας επηρεάζονται μία ή και δύο ιδιότητες του σκυροδέματος η παρουσία του πρόσθετου επηρεάζει δευτερευόντως και άλλες ιδιότητές του άλλοτε ευμενώς και άλλοτε δυσμενώς. Γι' αυτό και κάθε πρόσθετο συνοδεύεται και από προδιαγραφή που καθορίζει, τον τρόπο εφαρμογής και το χρόνο προσθήκης στο σκυρόδεμα, την κύρια δράση του, την επίπτωση από υπερδόση, εάν περιέχει χλωριούχα ή άλλες βλαπτικές ουσίες για το σκυρόδεμα και τον οπλισμό, συνθήκες φύλαξης-διατήρησης και άλλα που καθορίζουν την αποτελεσματικότητά του. [3]

Η αποτελεσματικότητα των προσθέτων επηρεάζεται από: [3]

- τον τύπο του τσιμέντου (η παρουσία ιπτάμενων τεφρών ή ποζολάνων, αργίλικα τσιμέντα)
- τα χαρακτηριστικά των αδρανών
- τις αναλογίες μίξεως του σκυροδέματος
- τη σύγχρονη παρουσία άλλων προσθέτων
- το χρόνο και το είδος της αναμίξεως
- το χρόνο προσθήκης τους στο μίγμα
- τη θερμοκρασία περιβάλλοντος
- τις συνθήκες συντηρήσεως του σκυροδέματος.

Η εμπορία των προσθέτων σκυροδέματος πρέπει να καλύπτεται από τις ειδικές προδιαγραφές και να ελέγχεται εάν: [3]

- εμπίπτει στις διατάξεις των προδιαγραφών
- έχει το αναμενόμενο αποτέλεσμα στο σκυρόδεμα με τα υλικά, τις συνθήκες περιβάλλοντος και τις μεθόδους κατασκευής που υφίστανται στο έργο, (απαιτούνται δηλαδή δοκιμαστικά μίγματα).
- διατηρεί την ομοιομορφία και την αποτελεσματικότητά του στο υλικό σ' όλη τη διάρκεια του έργου

- επηρεάζεται σημαντικά η αποτελεσματικότητά του από τυχόν μικροδιακυμάνσεις στη δοσολογία του.

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.

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

- Να μειωθεί ο λόγος νερού /τσιμέντου (N/T) χωρίς να μεταβληθεί η εργασιμότητα του μίγματος (mm κάθισης) που οδηγεί σε σκυροδέματα υψηλότερης αντοχής.
- Να διατηρηθεί η αρχική ποσότητα του νερού στο μίγμα σχεδιασμού, οπότε η προσθήκη του προσθέτου αυξάνει την εργασιμότητα. Στην περίπτωση αυτή, η αντοχή του σκυροδέματος με πρόσθετο παραμένει της αυτής τάξεως με την του σκυροδέματος χωρίς πρόσθετο.
- Να προστεθεί πρόσθετο και να διατηρηθεί ο ίδιος λόγος N/T 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 ενυδατώσεως. Ειδικά οι ρευστοποιητές έχουν την ικανότητα να ρευστοποιούν σε μεγάλο βαθμό το σκυρόδεμα ή επιτρέποντας μείωση του νερού μίξεως έως και 30 %, να καθιστούν δυνατή τη σκυροδέτηση και διάστρωση μιγμάτων με λόγο $N/T=0.3$. τα σκυροδέματα αυτά είναι εξαιρετικά υψηλής αντοχής.

Η χρήση των προσθέτων αυτών επιτρέπει την καλύτερη συμπύκνωση και γρήγορη διάστρωση του σκυροδέματος. Σε περιπτώσεις πυκνά οπλισμένων στοιχείων στην παραγωγή ρευστού σκυροδέματος για άντληση ή στην ανάπτυξη υψηλών πρώιμων αντοχών (προκατασκευασμένο σκυρόδεμα), οι ρευστοποιητές δίνουν λύσεις με οικονομικό όφελος. [3]

Επιβραδυντικά

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

Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων πρόσθετων:

- οι επιβραδυντές (retarders)
- οι μειωτές ύδατος-επιβραδυντές (water reducing-retarding admixtures) που διαφέρουν κυρίως ως προς το ποσοστό μείωσης του νερού που επιτρέπουν και τη μεταβολή που επιφέρουν στην αντοχή.

Τα πρόσθετα του πρώτου τύπου επιτρέπουν μια μείωση του νερού από 0 έως 3 %, ενώ η μεταβολή στη θλιπτική αντοχή 28 ημερών κυμαίνεται ± 10 %. Οι αντίστοιχες τιμές για τα πρόσθετα του δεύτερου τύπου είναι τουλάχιστον 0-5 % και +10 έως +15 % εν σχέση πάντα με το πρότυπο μίγμα σκυροδέματος χωρίς πρόσθετα.

Τα επιβραδυντικά βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε σκυροδετήσεις σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος λόγω της οποίας μειώνεται ο χρόνος πήξεως και στη μεταφορά έτοιμου σκυροδέματος όπου λόγω των αναπόφευκτων καθυστερήσεων του αναμικτήρα 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 μεγάλης εκτάσεως κατασκευές, όπως φράγματα, καταστρώματα γεφυρών όπου το σκυρόδεμα διαστρώνεται κατά τμήματα και είναι ιδιαίτερα σημαντικό να παραμένει πλαστικό για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιβραδυντικά χρησιμοποιούνται επίσης σε τσιμεντενέσεις βαθέων οπών όπου η θερμοκρασία ανέρχεται στους 90°C.

Οι διάφοροι τύποι επιβραδυντών δεν επηρεάζουν στο ίδιο ποσοστό τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι αυξάνουν τους χρόνους πήξεως του σκυροδέματος, την εργασιμότητα και σε μικρά κλίμακα το ποσοστό κενών. Παρατηρείται επίσης μία μείωση της εξίδρωσης και της θερμότητας ενυδατώσεως. Οι πρώιμες αντοχές (εφόσον δεν συνοδεύτηκε η προσθήκη πρόσθετου με μείωση του νερού) παρουσιάζονται μειωμένες. Εάν όμως συγχρόνως μειωθεί το νερό οι αντοχές παρουσιάζουν αύξηση. [3]

Επιταχυντικά

Ως επιταχυντικά πρόσθετα χαρακτηρίζονται αυτά που επιταχύνουν την ενυδάτωση του τσιμέντου. Η επιτάχυνση αυτή εκδηλώνεται 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 το χρόνο ειδικής προστασίας του σκυροδέματος από τη ψύξη. Βρίσκουν επίσης εφαρμογές σε περιπτώσεις που απαιτείται συντόμευση των κατασκευαστικών εργασιών γιατί το σκυρόδεμα μπορεί να ξεκαλουπωθεί και να αναλάβει φορτία λειτουργίας νωρίτερα. Σε περιπτώσεις αμέσων επεμβάσεων (διαρροές, συγκράτηση οροφών τούνελ) χρησιμοποιούνται τα επιταχυντικά ταχείας πήξεως.

Εκτός από την κύρια δράση τους τα επιταχυντικά επηρεάζουν πολλές ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου σκυροδέματος. Αυξάνουν την πρώιμη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή, όπως και το μέτρο ελαστικότητας, αλλά αργότερα παρατηρείται μια ελαφρά μείωση της αντοχής. Ο ερπυσμός και η συστολή ξηράνσεως εμφανίζονται αυξημένα. Επίσης η ανθεκτικότητα σε θεϊκή προσβολή εμφανίζεται μειωμένη ενώ αυξάνεται η αδιαπερατότητα του σκυροδέματος. [3]

Αερακτικά

Με τα αερακτικά εισάγεται στο σκυρόδεμα ένα σταθερό σύστημα μικροσκοπικών φυσαλλίδων αέρα ομοιόμορφα διασκορπισμένων που φαίνονται με γυμνό μάτι (είναι της τάξεως 0.05 έως 1.0 mm), ενώ η αύξηση του όγκου των κενών που εισάγεται δεν ξεπερνά το 3 % έως 4 % του όγκου του σκυροδέματος. Σ' αυτό το σύστημα κενών οφείλεται η προστασία από παγοπληξία.

Τα αερακτικά είναι τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σ' όλα τα σκυροδέματα στις βόριες χώρες, όπου λόγω χαμηλών θερμοκρασιών το σκυρόδεμα κινδυνεύει από παγοπληξία. Τότε η χρήση τους επιβάλλεται γιατί βελτιώνουν σημαντικά την ανθεκτικότητα του κορεσμένου σκυροδέματος σε ψύξη-απόψυξη και σε χρήση αλάτων για το λιώσιμο του πάγου. Επειδή αυξάνουν την εργασιμότητα ιδιαίτερα των φτωχών σε τσιμέντο (κάτω των 300 kgf/m³) σκυροδεμάτων με κανονικά ή ελαφρά αδρανή καθώς και την αδιαπερατότητα, βρίσκουν εφαρμογή στο ελαφροσκυρόδεμα και σε κατασκευές όπως φράγματα, θεμέλια, καταστρώματα γεφυρών, οδοστρώματα και άλλα.

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

Η αποτελεσματικότητα του αερακτικού επηρεάζεται από το τσιμέντο και τα λεπτόκοκκα υλικά, όπως ποζολανικά υλικά, τέφρες, μπετονίτης, που μειώνουν την αποτελεσματικότητα των αερακτικών. Το σχήμα, η υφή και η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών του σκυροδέματος επηρεάζουν την συνιστώμενη δοσολογία του αερακτικού. Επίσης όσο πιο σκληρό είναι το νερό, τόσο πιο αυξημένη πρέπει να είναι η δοσολογία. Παρόμοια, υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε μεγαλύτερα ποσοστά αερακτικού.

Τα αερακτικά βελτιώνουν την εργασιμότητα και συνεκτικότητα του νωπού σκυροδέματος. Η τάση για εξίδρωση και απόμιξη συνήθως μειώνεται. Η εισαγωγή όμως κενών στο σκυρόδεμα μειώνει την αντοχή του κυρίως στα σκυροδέματα με υψηλό ποσοστό τσιμέντου και λεπτόκοκκων αδρανών. Για να μη συμβεί αυτό μπορεί, κρατώντας σταθερή την ποσότητα τσιμέντου για δεδομένη κάθιση, να μειώσουμε το ποσό του νερού και το ποσό των λεπτόκοκκων αδρανών. Έτσι η μείωση του λόγου N/T θα αναπληρώσει την απώλεια αντοχής. Η ιδιότητα που βελτιώνεται θεαματικά με τη χρήση αερακτικών είναι η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος στην παγοπληξία και σε άλλους διαβρωτικούς παράγοντες, λόγω της μείωσης της υδατοπερατότητας που επιφέρουν. [3]

Στεγανοποιητικά

Η διέλευση του νερού μέσα από το σκυρόδεμα γίνεται είτε μέσα από τους τριχοειδείς πόρους του κονιάματος είτε από τις επιφάνειες επαφής κονιάματος και αδρανών είτε από τις μακροσκοπικές κοιλότητες που οφείλονται στην κακή

συμπύκνωση και τις ρηγματώσεις που δημιουργούνται από τις μεταγενέστερες συστολοδιαστολές του υλικού.

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

Η δράση των στεγανοποιητικών αποσκοπεί:

- στην αποφυγή μακροσκοπικών κοιλοτήτων και ρηγματώσεων, π.χ. με τη βελτίωση του εργάσιμου και τη μείωση της 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, σ' αυτό το σημείο, 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]

Αντιπαγετικά

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

Τα αερακτικά, όπως είδαμε, δημιουργούν μέσα στο σκυρόδεμα άπειρες μικρές κοιλότητες, οι οποίες συμβάλλουν τόσο στη διαφυγή του νερού, όταν αυτό διαστέλλεται, όσο και στην ελαστικότητα του ιστού του σκυροδέματος, που μπορεί να αναλάβει ευκολότερα τις θερμοκρασιακές συστολοδιαστολές. Σ' αυτά πρέπει να προστεθεί και κάποια μονωτική δράση των φυσαλίδων του αέρα, που παρεμποδίζει τη γρήγορη διαφυγή της θερμότητας ενυδατώσεως. [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (1997)

Ο κανονισμός αυτός αφορά το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται με συνήθη λίθινα αδρανή φαινόμενου ειδικού βάρους 2.40 – 3.00 που προσδιορίζεται σύμφωνα με τις Μεθόδους Ελέγχου ΣΚ-301 και ΣΚ-302. [5]

2.1. ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1.1. Τσιμέντο

Το τσιμέντο πρέπει να συμφωνεί με τις απαιτήσεις του Π.Δ.244/29.2.80 “Περί Κανονισμού Τσιμέντου για τα έργα από Σκυρόδεμα” (ΦΕΚ 69Α/28.3.1980). [5]

2.1.2. Αδρανή υλικά

Τα αδρανή υλικά αποτελούνται από λίθινους κόκκους, είτε φυσικούς, οπότε ονομάζονται φυσικά ή συλλεκτά αδρανή, είτε από κόκκους που προκύπτουν από τη θραύση όγκων πετρώματος ή τη θραύση φυσικών αδρανών, οπότε ονομάζονται θραυστά αδρανή. Οι κόκκοι μπορεί να έχουν περίπου το ίδιο ή διαφορετικό μέγεθος. [5]

Θραυστά αδρανή

Τα θραυστά αδρανή πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Σχεδίου Προτύπου ΕΛΟΤ 408 “θραυστά αδρανή για συνήθη σκυροδέματα” με τις ακόλουθες τροποποιήσεις και προσθήκες:

Υιοθετούνται οι δύο από τις τρεις σειρές προτύπων κόσκινων που αναφέρονται στο Σχέδιο Προτύπου ΕΛΟΤ 408, με τις ακόλουθες ονομασίες:

- «σειρά Γερμανικών Κόσκινων ή Γερμανικά Κόσκινα» εκείνα που περιγράφονται στα DIN 4187 και DIN 4188.
- «σειρά Αμερικάνικων Κόσκινων ή Αμερικάνικα Κόσκινα» εκείνα που περιγράφονται στο ASTM E 11.

Τα Γερμανικά κόσκινα συμβολίζονται με το σύμβολο □, που γράφεται πριν από τον αριθμό του κόσκινου.

Τα Αμερικάνικα κόσκινα συμβολίζονται με το σύμβολο No που γράφεται πριν από τον αριθμό του κόσκινου μέχρι το κόσκινο No4, ενώ τα μεγαλύτερου ανοίγματος θα συμβολίζονται με το μέγεθος της βροχίδας σε ίντσες.

Για το σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 και μεγαλύτερης, τα αδρανή πρέπει να προσκομίζονται χωρισμένα σε τρία (3) τουλάχιστον κλάσματα.

Όλα τα κλάσματα των αδρανών ενός έργου πρέπει να ελέγχονται με τη σειρά των κόσκινων που χρησιμοποιήθηκε στη Μελέτη Συνθέσεως του σκυροδέματος.

Ως άμμος ορίζεται το κλάσμα το διερχόμενο από το κόσκινο $\square$ 8 ή το 3/8'' σε ποσοστό 100 % και από το κόσκινο $\square$ 4 ή το No4 σε ποσοστό τουλάχιστον 95 %.

Τα συνηθέστερα κλάσματα με κόκκο μεγαλύτερο από το μέγιστο κόκκο της άμμου είναι το “ριζάκι”, το “γαρμπίλι” (λεπτό, χοντρό) και τα “σκύρα”.

Στο επόμενο κλάσμα μετά την άμμο δεν επιτρέπεται να υπάρχει υλικό διερχόμενο από το κόσκινο $\square$ 2 ή No8 σε ποσοστό μεγαλύτερο από 25 %, όπως επίσης και υλικό διερχόμενο από το κόσκινο $\square$ 1 ή No16 σε ποσοστό μεγαλύτερο από 2 %.

Το ποσοστό των κόκκων της άμμου που περνάει από το κόσκινο $\square$ 0.25 δεν πρέπει να υπερβαίνει:

- το 24 % του ξερού βάρους της άμμου, όταν πρόκειται για σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30 ή μεγαλύτερης.
- το 30 % του ξερού βάρους της άμμου, όταν πρόκειται για σκυρόδεμα κατηγορίας μικρότερης της C25/30.
- το 37 % του ξερού βάρους της άμμου, όταν πρόκειται για άοπλα σκυροδέματα χωρίς ειδικές απαιτήσεις (στεγανό σκυρόδεμα, ανθεκτικό σκυρόδεμα, σκυρόδεμα δαπέδων κ.τ.λ.).

Ως παιπάλη ορίζεται το μέρος του αδρανούς που περνάει από το Αμερικάνικο πρότυπο κόσκινο No 200 (75 mm) και προσδιορίζεται σύμφωνα με τη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-305. Η παιπάλη της άμμου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16 % του ξερού βάρους της και η παιπάλη των χοντρόκοκκων κλασμάτων (ριζάκι, γαρμπίλι, σκύρα) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1 % του ξερού βάρους του. Για άοπλα σκυροδέματα χωρίς ειδικές απαιτήσεις επιτρέπεται παιπάλη στην άμμο μέχρι 20 % του ξηρού βάρους της. [5]

Αποθήκευση, δειγματοληψία και έλεγχοι των αδρανών.

Η αποθήκευση των αδρανών πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε:

- να μη διαχωρίζονται οι κόκκοι των αδρανών, όπως π.χ. συμβαίνει όταν ένα χοντρόκοκκο αδρανές αδειάζεται από μεγάλο ύψος ή όταν αναμοχλεύεται.
- να αποφεύγεται η ανάμιξη διαφορετικών αδρανών, όπως π.χ. συμβαίνει όταν δύο σωροί εφάπτονται χωρίς ενδιάμεσο χώρισμα.
- να αποφεύγεται η ρύπανσή τους από επιβλαβείς προσμίξεις (χώμα, λύματα κλπ).

Η δειγματοληψία των αδρανών στο εργοτάξιο θα γίνεται σύμφωνα με τα αναφερόμενα στη ΣΚ-319 και η μείωση του δείγματος στην επιθυμητή ποσότητα για δοκιμές σύμφωνα με τα αναφερόμενα στη ΣΚ-324.

Ο έλεγχος της κοκκομετρικής διαβαθμίσεως των αδρανών υλικών των εργοταξιακών σκυροδεμάτων πρέπει να επαναλαμβάνεται μετά την κατανάλωση περίπου 80 m^3 σκύρων, 40 m^3 γαρμπιλιού και 80 m^3 άμμου, εκτός αν κατά τη διάστρωση μιας ημέρας καταναλίσκονται μεγαλύτερες ποσότητες αδρανών, οπότε ο έλεγχος πρέπει να επαναλαμβάνεται στην αρχή κάθε διαστρώσεως. Επίσης πρέπει να επαναλαμβάνεται κάθε φορά που η κάθιση του σκυροδέματος παρουσιάζει ουσιώδη μεταβολή χωρίς να έχουν μεταβληθεί οι αναλογίες των υλικών. Ο έλεγχος των άλλων χαρακτηριστικών των αδρανών θα επαναλαμβάνεται όταν φαίνεται μακροσκοπικά ότι τα χαρακτηριστικά αυτά έχουν μεταβληθεί ή όταν αλλάζει η πηγή προμήθειας των αδρανών. [5]

2.1.3. Νερό

Το νερό αναμίξεως και συντηρήσεως πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Σχεδίου Προτύπου ΕΛΟΤ 345.

Θαλασσινό νερό δεν θα χρησιμοποιείται για παρασκευή οπλισμένου σκυροδέματος εκτός αν αυτό καθίσταται αναπόφευκτο από την έλλειψη κατάλληλου νερού και επιτρέπεται από τη φύση του έργου. Η χρήση του θαλασσινού νερού θα πρέπει να προβλέπεται στη Σύμβαση του έργου η οποία απαραίτητα θα περιγράφει τα αναγκαία πρόσθετα μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν σε τέτοιες περιπτώσεις (π.χ. χρήση ειδικών χαλύβων, είδος τσιμέντου, αύξηση της επικάλυψης κ.λ.π.). Η σύμφωνα με τα παραπάνω χρήση του θαλασσινού νερού θα εγκρίνεται από την αρμόδια ελέγχουσα Δημόσια Αρχή.

Απαγορεύεται η χρησιμοποίηση θαλασσινού νερού για την παρασκευή προεντεταμένου σκυροδέματος.

Θαλασσινό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή φέροντος άοπλου σκυροδέματος μόνον εφόσον η απαιτούμενη αντοχή αυξηθεί κατά 15%. [5]

2.1.4. Πρόσθετα σκυροδέματος

Το πρόσθετο που θα χρησιμοποιηθεί στο έργο πρέπει να είναι το πρόσθετο που χρησιμοποιήθηκε και ελέγχθηκε στη Μελέτη Συνθέσεως σκυροδέματος. Ο κύριος του έργου ή ο Επιβλέπων Μηχανικός (για τα ιδιωτικά έργα) ή η αρμόδια Υπηρεσία (για τα Δημόσια Έργα), έχουν το δικαίωμα να απορρίψουν αιτιολογημένα τη χρήση ενός προσθέτου. Η ευθύνη πάντως για τη χρήση των προσθέτων παραμένει σε κάθε περίπτωση στον ανάδοχο του έργου ή στο εργοστάσιο παραγωγής σκυροδέματος.

Ο προμηθευτής του προσθέτου πρέπει να εφοδιάσει τον κύριο του έργου ή την αρμόδια Υπηρεσία επιβλέψεως του έργου με τα πιστοποιητικά ελέγχου του προσθέτου για τον τύπο τσιμέντου που θα χρησιμοποιηθεί στο έργο. Ο προμηθευτής υποχρεούται να παρέχει τις ακόλουθες πληροφορίες:

- λεπτομερείς οδηγίες χρήσεως
- τυπική δόση και βλαβερές επιδράσεις σε περίπτωση χρησιμοποίησεως μεγαλύτερης δόσεως
- χημική ονοματολογία των κυρίως ενεργών συστατικών του προσθέτου

- την περιεκτικότητα του προσθέτου σε χλώριο εκφρασμένη σε ένυδρο CaCl_2 ως ποσοστό του βάρους του προσθέτου
- αν το πρόσθετο δημιουργεί φυσαλίδες αέρα
- τον επιτρεπόμενο χρόνο αποθηκεύσεως και οδηγίες για τις απαιτούμενες συνθήκες αποθηκεύσεως
- δήλωση συμβιβαστότητας των προσθέτων που θα χρησιμοποιούνται συγχρόνως δύο ή περισσότερα πρόσθετα.

Η δαπάνη για τον έλεγχο των προσθέτων θα καταβάλλεται από τον προμηθευτή τους ή τον κατασκευαστή του έργου.

Η Μελέτη Συνθέσεως του σκυροδέματος πρέπει να έχει γίνει με πρόσμιξη του προσθέτου ή των προσθέτων, αν αυτά είναι περισσότερα.

Απαγορεύεται η χρήση προσθέτων που δημιουργούν ιόντα χλωρίου για σκυρόδεμα οπλισμένο ή σε περίπτωση που στο σκυρόδεμα θα ενσωματωθούν εξαρτήματα από αλουμίνιο.

Τα αερακτικά πρόσθετα πρέπει να συμφωνούν με τις απαιτήσεις της Ειδικής Προδιαγραφής ΣΚ-307.

Τα επιταχυντικά, επιβραδυντικά, ρευστοποιητικά, ή άλλα πρόσθετα πρέπει να συμφωνούν με τις απαιτήσεις της Ειδικής Προδιαγραφής ΣΚ-308 για τον αντίστοιχο τύπο.

Τα υπερρευστοποιητικά πρόσθετα πρέπει να συμφωνούν με τις απαιτήσεις της Ειδικής Προδιαγραφής ΣΚ-316. [5]

2.2. ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

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

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

Οι αναλογίες των υλικών για την παρασκευή του σκυροδέματος θα καθορίζονται από εργαστηριακή Μελέτη Συνθέσεως. Η Μελέτη Συνθέσεως είναι υποχρεωτική για κάθε ποιότητα σκυροδέματος, όπως επίσης και για οποιοδήποτε σκυρόδεμα ειδικών απαιτήσεων (στεγνό σκυρόδεμα, ανθεκτικό σκυρόδεμα κ.λ.π.). Δεν είναι υποχρεωτική για σκυροδέματα υποστρώσεων, ισοπεδωτικών στρώσεων και άλλων βοηθητικών κατασκευών, που δεν μετέχουν ουσιαστικά στη λειτουργία του έργου.

Στα έργα όπου το σκυρόδεμα παρασκευάζεται επιτόπου ο κατασκευαστής είναι υποχρεωμένος να φροντίσει για την έγκαιρη διενέργεια της Μελέτης Συνθέσεως. Την ευθύνη της αντιπροσωπευτικότητας των υλικών και της εφαρμογής της Μελέτης Συνθέσεως στο εργοτάξιο έχει ο Επιβλέπων Μηχανικός. Αν δεν έχει συμφωνηθεί διαφορετικά, η δαπάνη της Μελέτης Συνθέσεως βαρύνει τον ιδιοκτήτη του έργου.

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

- όταν αλλάζει η πηγή λήψεως των αδρανών.

- όταν τα αδρανή παρουσιάζουν διαφορετική διαβάθμιση από εκείνη που είχαν στη Μελέτη Συνθέσεως, με αποκλίσεις που υπερβαίνουν τις 10 εκατοστιαίες μονάδες για τα κόσκινα τα μεγαλύτερα των Νο 4, τις 8 εκατοστιαίες μονάδες για τα κόσκινα της άμμου (εκτός του κόσκινου $\square 0.25$) και τις 5 εκατοστιαίες μονάδες για το κόσκινο $\square 0.25$.
- όταν αλλάζουν τα πρόσθετα ή ο τύπος του τσιμέντου.
- όταν το μίγμα παρουσιάζει τάσεις απομίξεως ή η κάθισή του δεν είναι δυνατό να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του άρθρου 8.6 του Κ.Σ., μολονότι τηρούνται οι αναλογίες της Μελέτης Συνθέσεως. [5]

2.3. ΑΝΑΜΙΞΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα αδρανή υλικά και το τσιμέντο πρέπει να μετριοούνται σε βάρος και το νερό σε βάρος ή όγκο.

Τα στερεά πρόσθετα σε σκόνη πρέπει να μετριοούνται σε μέρη βάρους και τα υγρά πρόσθετα σε μέρη βάρους ή όγκου.

Ο αναμικτήρας πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Παραρτήματος Β του Σχεδίου Προτύπου ΕΛΟΤ 346. Απαγορεύεται η χρήση αναμικτήρων κονιάματος για οποιαδήποτε ποιότητα σκυροδέματος.

Ο χρόνος αναμίξεως είναι εκείνος που αναγράφεται στις προδιαγραφές του αναμικτήρα. Οποσδήποτε όμως δεν θα είναι μικρότερος από 1 min. ο χρόνος αναμίξεως μετριοείται μετά την εισαγωγή όλων των υλικών στον αναμικτήρα. Μικρότερος ελάχιστος χρόνος αναμίξεως επιτρέπεται όταν:

- ο αναμικτήρας είναι βιαίας αναμίξεως οι δε προδιαγραφές του προβλέπουν μικρότερο χρόνο.
- ο έλεγχος ομοιομορφίας που έγινε σύμφωνα με το Παράρτημα Β του Σχεδίου Προτύπου ΕΛΟΤ 346 έχει αποδείξει ότι μικρότερος χρόνος είναι ικανοποιητικός.

Τα αδρανή θα μετριοούνται με ακρίβεια $\pm 3 \%$ του βάρους τους, το τσιμέντο με ακρίβεια $\pm 2 \%$ του βάρους του, το νερό με ακρίβεια $\pm 2 \%$ και τα πρόσθετα με ακρίβεια $\pm 3 \%$ του βάρους ή του όγκου τους ανάλογα με το αν είναι σε σκόνη ή σε μορφή υγρού.

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

Δεν πρέπει να γίνεται φόρτωση του αναμικτήρα αν το προηγούμενο ανάμιγμα δεν έχει αποφορτωθεί.

Απαγορεύεται η προσθήκη υλικών στο μίγμα (όπως στεγανοποιητικών ή άλλων προσθέτων) μετά την απομάκρυνσή του από τον αναμικτήρα. Σε έτοιμο σκυρόδεμα που μεταφέρεται με αυτοκίνητο – αναδευτήρα επιτρέπεται μόνο η προσθήκη υπερρευστοποιητικού, που θα συνοδεύεται από επανάμιξη του μίγματος για 3 min. [5]

2.4. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κατά τη μεταφορά του μέχρι τη διάστρωση το σκυρόδεμα πρέπει να προστατεύεται από τη βροχή ή την πρόσμιξή του με ξένα υλικά και δεν πρέπει να χάνει την ομοιογένειά του.

Αν η μεταφορά γίνεται με αυτοκίνητο ή αυτοκίνητο – αναδευτήρα ισχύουν όσα αναφέρονται στην παράγραφο 2 του Σχεδίου προτύπου ΕΛΟΤ 346 για το “Έτοιμο σκυρόδεμα”.

Αν χρησιμοποιείται αντλία, αυτή δεν πρέπει να μεταβάλλει την ομοιογένεια και την εργασιμότητα του μίγματος. [5]

2.5. ΞΥΛΟΤΥΠΟΙ

Στον Κανονισμό αυτό ο όρος “ξυλότυπος” χρησιμοποιείται για όλα τα είδη των τύπων (καλουπιών) και των αναγκαίων ικριωμάτων ανεξαρτήτως υλικού κατασκευής τους. Όπου χρειάζεται να γίνει διάκριση των μεταλλικών ή των πλαστικών τύπων θα χρησιμοποιούνται οι όροι “σιδηρότυπος” και “πλαστικότυπος”.

Οι ξυλότυποι πρέπει να υπολογίζονται, όπου χρειάζεται, και να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να φέρουν όλες τις κατακόρυφες και οριζόντιες δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κατασκευή του σκελετού του σκυροδέματος, χωρίς να υποχωρούν ή να παραμορφώνονται. Απαγορεύεται η χρήση εύκαμπτων λεπτών φύλλων (λαμαρίνες, χαρτόνια κλπ) για την συμπλήρωση του ξυλοτύπου σε οποιαδήποτε θέση.

Οι αρμοί μεταξύ των στοιχείων του ξυλοτύπου πρέπει να είναι αρκετά κλειστοί ώστε να εμποδίζουν τη διαφυγή τσιμεντοκονίας.

Πριν από τη διάστρωση πρέπει να απομακρύνονται από τον ξυλότυπο και τις επιφάνειες σκληρυμένου σκυροδέματος που θα καλυφθούν με νέο σκυρόδεμα (υποστρώματα, τοιχία κλπ) όλα τα ξένα σώματα (ξύλα, χαρτιά, πολυστερίνη κ.α.). αν ο ξυλότυπος είναι υδατοαπορροφητικός (σανίδες, κόντρα – πλακέ κ.λ.π. που δεν έχουν επαλειφθεί με αποκολλητικά υλικά κ.α.) τότε θα διαβρέχεται μέχρι κορεσμού. Θα διαβρέχονται επίσης οι επιφάνειες του σκληρυμένου σκυροδέματος που θα καλυφθούν με νέο σκυρόδεμα. Απαγορεύεται η διάστρωση τσιμεντοκονίας σ’ αυτές τις επιφάνειες.

Η αφαίρεση των ξυλοτύπων μπορεί να γίνει μόνο όταν το σκυρόδεμα έχει αποκτήσει ικανή αντοχή ώστε να φέρει, με τις προϋποθέσεις που έχουν ληφθεί υπόψη στο στατικό υπολογισμό, όλα τα φορτία με τα οποία φορτίζεται κατά τη στιγμή της αφαιρέσεως των ξυλοτύπων (ή σιδηροτύπων) ή τα φορτία με τα οποία πρόκειται να φορτιστεί μέχρι την ηλικία των 28 ημερών. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στις περιπτώσεις όπου σε στοιχεία που δεν έχουν ακόμα ενηλικιωθεί στηρίζονται ξυλότυποι υπερκειμένων κατασκευών.

Η αφαίρεση των ξυλοτύπων πρέπει να γίνεται χωρίς κρούσεις ή δονήσεις. Θα αφαιρούνται πρώτα οι ξυλότυποι των κατακόρυφων στοιχείων (υποστρώματων, τοιχίων κ.λ.π.) μετά σε οι ξυλότυποι των οριζοντίων στοιχείων (πλακών και δοκών). [5]

2.6. ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η εκφόρτωση πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη θέση τελικής διαστρώσεως, ώστε να αποφεύγεται η μετακίνηση του σκυροδέματος με φτυάρια ή τσουγκράνες. Απαγορεύεται η μετακίνηση με τον δονητή.

Αν η εκφόρτωση δεν είναι δυνατόν να γίνει στη θέση διαστρώσεως, θα χρησιμοποιούνται για την ενδιάμεση μεταφορά αντλίες, κεκλιμένα επίπεδα, μεταφορικές ταινίες ή άλλα μέσα που δεν προκαλούν απόμιξη του μίγματος.

Απαγορεύεται η ελεύθερη πτώση του σκυροδέματος από ύψος μεγαλύτερο των 2.5 μέτρων. Σ' αυτήν την περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλοι σωλήνες που θα κατεβάζουν το σκυρόδεμα μέχρι τη θέση διαστρώσεως ή θα ανοίγονται παράθυρα στον ξυλότυπο σε ενδιάμεσα ύψη.

Το σκυρόδεμα θα διαστρώνεται στο έργο με την κάθιση που προβλέπεται στη Μελέτη Συνθέσεως. Όταν όμως οι ανάγκες του έργου το απαιτούν, ο Επιβλέπων ή η Υπηρεσία μπορεί να μεταβάλλει την κάθιση προσαρμόζοντας τις αναλογίες των υλικών σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στη Μελέτη Συνθέσεως.

Ο Επιβλέπων ή η Υπηρεσία μπορεί να απαιτήσει την επιτόπου αύξηση της εργασιμότητας του φορτίου έτοιμου σκυροδέματος πέραν της τιμής της παραγγελίας. Η αύξηση της εργασιμότητας θα γίνεται μόνο με υπερρευστοποιητικό. Η δαπάνη του υπερρευστοποιητικού βαρύνει τον αγοραστή.

Αν στο μίγμα υπάρχει αερακτικό, το ποσοστό αέρα δεν πρέπει να διαφέρει από το αντίστοιχο ποσοστό της Μελέτης Συνθέσεως ή το ποσοστό της παραγγελίας αν πρόκειται για έτοιμο σκυρόδεμα, περισσότερο από $\pm 1\%$. Ο έλεγχος του ποσοστού αέρα θα γίνεται σύμφωνα με τη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-311 και με την ίδια διαδικασία που γίνεται και ο έλεγχος της καθίσεως. [5]

2.7. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η συμπύκνωση του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται με δονητή. Όταν το σκυρόδεμα έχει μεγάλη κάθιση (μεγαλύτερη από 20cm) και το πάχος του στοιχείου που διαστρώνεται είναι μικρό, τότε, μετά από έγκρισή του Επιβλέποντα ή της Υπηρεσίας η δόνηση μπορεί να παραλειφθεί και να γίνει τακτοποίηση του μίγματος με σανίδα ή με ράβδο.

Το είδος του δονητή (εσωτερικός δονητής, δονητής ξυλοτύπου, δονητής επιφάνειας κ.λ.π.) και ο αριθμός των δονητών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από τη μορφή του στοιχείου που σκυροδετείται και τη διαδικασία διαστρώσεως, προδιαγράφεται δε στη Σύμβαση του έργου.

Όταν το πάχος του στοιχείου του σκυροδέματος είναι μεγάλο, η διάστρωση πρέπει να γίνεται σε στρώσεις με πάχος όχι μεγαλύτερο από 60 cm. Η επιφάνεια των στρώσεων πρέπει να διαμορφώνεται κατά τη διάστρωση οριζόντια και όχι να οριζοντιοποιείται με το δονητή. Κάθε στρώση πρέπει να διαστρώνεται όσο το σκυρόδεμα της προηγούμενης στρώσεως είναι πλαστικό, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία αρμού εργασίας. Οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών θέσεων του δονητή θα είναι ίσες με 1,5 Α περίπου, όπου Α η

ακτίνα ενέργειας του δονητή. Κατά τη δόνηση το στέλεχος του δονητή θα εισχωρεί στην υποκείμενη στρώση κατά 5 cm περίπου. Απαγορεύεται η δόνηση σιδηροπλισμού του οποίου ένα τμήμα βρίσκεται ήδη βυθισμένο σε σκληρυμένο σκυρόδεμα.

Η εξωτερική δόνηση με δονητή ξυλότυπου ή επιφάνειας μπορεί να εφαρμοστεί μόνον όταν η ακαμψία και η ευστάθεια του ξυλότυπου ή του σιδηρότυπου το επιτρέπουν.

Επαναδόνηση του σκυροδέματος επιτρέπεται μόνο όταν το σκυρόδεμα είναι αρκετά πλαστικό ώστε το δονητικό στέλεχος, όταν ταλαντώνεται, να μπορεί να βυθίζεται στο σκυρόδεμα με το δικό του βάρος, δηλαδή χωρίς να πιέζεται από το χειριστή. [5]

2.8. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η συντήρηση είναι υποχρεωτική για κάθε έργο. Αρχίζει μετά τη διάστρωση και πρέπει να διαρκεί για χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και τις ειδικές απαιτήσεις του έργου. Το χρονικό αυτό διάστημα δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερο από 7 ημέρες για την πρώτη φάση της συντηρήσεως. Εάν η συντήρηση που γίνεται σύμφωνα με την επόμενη παράγραφο διακόπτεται στις 7 ημέρες, για το διάστημα από τις 7 μέχρι τις 28 ημέρες θα ισχύουν τα αναφερόμενα στη μεθεπόμενη παράγραφο.

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

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

Αν η Σύμβαση του έργου δεν αναφέρεται διαφορετικά και αν δεν προβλέπεται παγετός, η συντήρηση θα γίνεται ως εξής:

Αμέσως μετά το τέλος της διάστρωσης όλες οι ελεύθερες επιφάνειες του σκυροδέματος θα σκεπάζονται με λινάτσες. Οι λινάτσες θα διατηρούνται υγρές ολόκληρο το 24ωρο και για 7 τουλάχιστον ημέρες. Σ' αυτό το διάστημα η κυκλοφορία του προσωπικού και κάθε άλλη εργασία αναγκαία για τη συνέχιση του έργου θα γίνεται πάνω στις λινάτσες. Η ίδια μέθοδος και για το ίδιο χρονικό διάστημα θα εφαρμόζεται και στις κατακόρυφες επιφάνειες, μετά την απομάκρυνση του ξυλότυπου τους. Αν οι λινάτσες απομακρυνθούν πριν από τη συμπλήρωση 14 ημερών από τη διάστρωση, για το χρονικό διάστημα από τις 7 μέχρι τις 14 ημέρες, το σκυρόδεμα θα διαβρέχεται μέχρι κορεσμού της επιφάνειάς του δύο φορές την ημέρα και από τις 14 μέχρι τις 28 ημέρες μια φορά την ημέρα.

Η διαβροχή λίγης ώρας και γενικά η διαβροχή που δεν συνεχίζεται ολόκληρο το 24ωρο δεν θεωρείται ικανοποιητική συντήρηση για τις μικρές ηλικίες του σκυροδέματος. Εφαρμόζεται μόνο μετά το τέλος της φάσεως της κύριας συντήρησης, όπως αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο. [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

3.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

3.1.1. Εργασιμότητα

Εργασιμότητα (ή *εργάσιμο*) είναι η ιδιότητα του νωπού σκυροδέματος που χαρακτηρίζει την ευκολία με την οποία αυτό μεταφέρεται, διαστρώνεται και συμπυκνώνεται.

Ο ορισμός όμως αυτός δεν είναι απόλυτα ακριβής, διότι η ευκολία αυτή κατεργασίας του νωπού σκυροδέματος συνδέεται και με τα μέσα που διαθέτουμε. Την εργασιμότητα θα πρέπει να τη φανταστούμε ανεξάρτητα από τις εξωτερικές αυτές συνθήκες. Γι' αυτό συχνά ορίζεται ως το έργο ή η ενέργεια που απαιτείται για την υπερνίκηση των εσωτερικών τριβών εωσότου πετύχουμε πλήρη συμπίκνωση χωρίς απόμιξη. [1]

Η εργασιμότητα είναι μια πολύ χρήσιμη για την πράξη έννοια, γιατί αποδίδει ακριβώς αυτό που ενδιαφέρει τον κατασκευαστή κατά το χρόνο της σκυροδετήσεως, είναι όμως ιδιότητα σύνθετη που συνδέεται με άλλες ρεολογικές ιδιότητες και που δύσκολα μπορεί να αποδοθεί ποσοτικά. Τέτοιες ιδιότητες με τις οποίες συσχετίζεται η εργασιμότητα είναι οι εξής: [1]

- Η *ρευστότητα* που σημαίνει την ευκολία με την οποία ρέει ένα υλικό. Η ρευστότητα εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του νερού αναμίξεως.
- Η *πλαστικότητα*, η οποία είναι η ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή της συνέχειάς του.
- Η *συνοχή*, η οποία είναι το αποτέλεσμα των δυνάμεων που έλκουν τα μόρια του υλικού μεταξύ τους και επομένως είναι μία από τις ιδιότητες που συντελούν στην πλαστικότητα.
- Η *συμπυκνωσιμότητα*, δηλαδή η δυνατότητα του υλικού να συμπυκνωθεί και που εξαρτάται από τον αρχικό βαθμό συμπυκνώσεως.
- Τέλος τον όρο *συνεκτικότητα* χρησιμοποιούμε πολλές φορές, για να εκφράσουμε άλλοτε την εργασιμότητα και άλλοτε τη ρευστότητα.

Έχει γίνει συστηματική προσπάθεια, συνδέσεως της εργασιμότητας με τα ρεολογικά χαρακτηριστικά. Η εργασιμότητα αυξάνεται γενικά όσο αυξάνεται το νερό αναμίξεως, δηλαδή η ρευστότητα του μίγματος. Η ρευστότητα εξαρτάται περισσότερο από την ποσότητα του νερού αναμίξεως και πολύ λιγότερο από το λόγο νερού προς τσιμέντο. Για την ίδια ρευστότητα το

απαιτούμενο νερό ελαττώνεται γενικά όσο ελαττώνεται η ειδική επιφάνεια των αδρανών. Έτσι, ελαττώνεται όσο αυξάνεται ο μέγιστος κόκκος και η καμπύλη κοκκομετρικής συνθέσεως των αδρανών κατεβαίνει (αυξάνεται δηλαδή το χοντρόκοκκο υλικό). Από την άλλη πλευρά όμως η αύξηση του μέγιστου κόκκου και των χοντρόκοκκων αδρανών συντελεί στη μείωση της πλαστικότητας και της συνοχής, με κίνδυνο την απόμιξη. Εξάλλου, αδρανή με στρογγυλεμένους κόκκους βοηθούν στην αύξηση της ρευστότητας και του εργασιμίου για την ίδια ποσότητα νερού. [1]

Με την προϋπόθεση ότι το σκυρόδεμα θα συμπυκνωθεί τελείως, η εργασιμότητα δεν έχει επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος.

Η μέτρηση της εργασιμότητας δεν μπορεί να γίνει άμεσα αλλά γίνεται έμμεσα με διάφορες μεθόδους. Με αυτές μετρούμε μία ή περισσότερες από τις άλλες ιδιότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω και έτσι αποκτούμε μία κατά προσέγγιση εικόνα του βαθμού εργασιμότητας του σκυροδέματος. [1] Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, είναι οι ακόλουθες:

- **Δοκιμή καθίσεως**

Είναι η πλέον διαδεδομένη και απλή μέθοδος που αποτελεί συγχρόνως και έλεγχο της ποιότητας του σκυροδέματος από παρτίδα σε παρτίδα.

Μεταλλικός κόλουρος κώνος ανοιχτός επάνω και κάτω (διάμετρος κάτω βάσεως 8 ίντσες, διάμετρος άνω βάσεως 4 ίντσες και ύψος 12 ίντσες) γεμίζεται με σκυρόδεμα σε τρεις στρώσεις και συμπυκνώνεται με ορισμένο αριθμό ραβδισμών σε κάθε στρώση. Μετά την πλήρωση αφαιρείται ο κώνος κατακόρυφα, οπότε το σκυρόδεμα παραμορφώνεται και κάθεται. Η κάθιση πρέπει να γίνει χωρίς διατμητική δράση του υλικού. Μετρούμε τη διαφορά του ύψους του υλικού μετά την πτώση από το αρχικό ύψος. [1]

- **Δοκιμή της τράπεζας εξαπλώσεως**

Μεταλλικός τύπος που έχει τη μορφή της παράπλευρης επιφάνειας κόλουρου κώνου γεμίζεται με το σκυρόδεμα και συμπυκνώνεται με καθορισμένο τρόπο. Ο τύπος με το σκυρόδεμα είναι τοποθετημένος επάνω σε βάση (τράπεζα εξαπλώσεως) που έχει τη δυνατότητα να ανυψώνεται και να πέφτει ελεύθερα και να μεταδίδει τις κρούσεις στη μάζα του σκυροδέματος. Μετά την αφαίρεση του κώνου (όπως και στη μέτρηση της καθίσεως) η βάση αναγκάζεται να πραγματοποιήσει ορισμένο αριθμό κρούσεων, έτσι ώστε το σκυρόδεμα να απλωθεί πέρα από την αρχική κάθιση. Η μέση διάμετρος της μάζας του σκυροδέματος, όπως έχει διαμορφωθεί ονομάζεται *μέτρο εξαπλώσεως*. [1]

- **Δοκιμή μέτρου συμπυκνώσεως**

Το σκυρόδεμα εισάγεται χωρίς καμιά συμπύκνωση σε μεταλλικό δοχείο, διαστάσεων 20 x 20 και ύψους 40 cm. Μόλις το δοχείο γεμίσει, δονείται

ώσου συμπτυκνωθεί τελείως. Ο λόγος του αρχικού ύψους προς το τελικό 40/h χαρακτηρίζεται ως *μέτρο συμπτυκνώσεως*. [1]

- **Δοκιμή VEBE**

Η συσκευή VEBE αποτελείται από έναν κώνο παρόμοιο με τον κώνο καθίσεως τοποθετημένο μέσα σε άλλο κυλινδρικό δοχείο μεγαλύτερης διαμέτρου και μία τράπεζα δονήσεως. Μετά την αφαίρεση του κώνου το σκυρόδεμα κάθεται, αλλά συγχρόνως υποβάλλεται σε δόνηση και συμπτυκνώνεται παίρνοντας τη μορφή του εξωτερικού κυλινδρικού δοχείου. Ο χρόνος από τη στιγμή της απομακρύνσεως του κώνου και της σύγχρονης ενάρξεως της δονήσεως έως την πλήρη επιπεδότητα της άνω επιφάνειας ονομάζεται *χρόνος VEBE*. Η επιπεδότητα της άνω επιφάνειας διαπιστώνεται από διαφανή κυκλικό δίσκο που παρακολουθεί την παραμόρφωση του σκυροδέματος. Η επιπεδότητα έχει πραγματοποιηθεί, όταν το σκυρόδεμα καλύψει ολόκληρο τον κυκλικό δίσκο. [1]

- **Δοκιμή διεισδύσεως**

Μετρίεται η διείσδυση σε mm της σφαίρας της συσκευής μέσα σε νωπό σκυρόδεμα. Πρόκειται για μια απλή και εύχρηστη δοκιμασία που μπορεί να εφαρμοστεί ακόμα και κατά τη μεταφορά του σκυροδέματος. [1]

Με βάση τις τιμές των χαρακτηριστικών αυτών μεγεθών που τις μετράμε με τις παραπάνω μεθόδους χωρίζεται συμβατικά το σκυρόδεμα σε διάφορες κατηγορίες εργασιμου. Έτσι π.χ. οι Γερμανικοί Κανονισμοί προβλέπουν τις κατηγορίες: *ύφυγρο*, *πλαστικό*, και *ρευστό* σκυρόδεμα όπως περιγράφονται στον Πίνακα 3.1. Ο Πίνακας αυτός δίνει την αντιστοιχία των τιμών που προκύπτουν από διάφορες μεθόδους που έχουν προταθεί για τη μέτρηση του εργασιμου. Καθεμιά από τις παραπάνω μεθόδους είναι κατάλληλη για διαφορετική περιοχή εργασιμότητας. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν δονητή είναι κατάλληλες για περισσότερο ύφυγρο σκυροδέματα, δηλαδή τα σκυροδέματα με μικρότερη εργασιμότητα. [1]

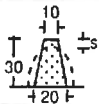
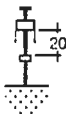
3.1.2. Εξίδρωση.

Από την παραγωγή του σκυροδέματος και μέχρι πριν να αρχίσει η πήξη, μπορεί να παρατηρηθεί στο σκυρόδεμα διαχωρισμός του νερού από τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται *εξίδρωση* και συμβαίνει διότι τα στερεά συστατικά καθιζάνουν λόγω βαρύτητας, ενώ το νερό, λόγω των τριχοειδών δυνάμεων, έχει την τάση να κινηθεί προς τα επάνω. Έτσι εμφανίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος λεπτό στρώμα νερού που μοιάζει με εξίδρωση. Το νερό αυτό τελικά εξατμίζεται. Η εξίδρωση επομένως έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση μέρους του νερού, άρα και τη μείωση του τελικού όγκου του μίγματος. [1]

Η ελάττωση του νερού είναι, βέβαια, επιθυμητή, γιατί έχει ευνοϊκό αποτέλεσμα στην αντοχή, αλλά το φαινόμενο του διαχωρισμού είναι επιβλαβές και ανεπιθύμητο γενικά, λόγω της ανομοιογένειας που δημιουργεί μέσα στη μάζα του σκυροδέματος και ειδικότερα για τα ακόλουθα δυσμενή φαινόμενα: [1]

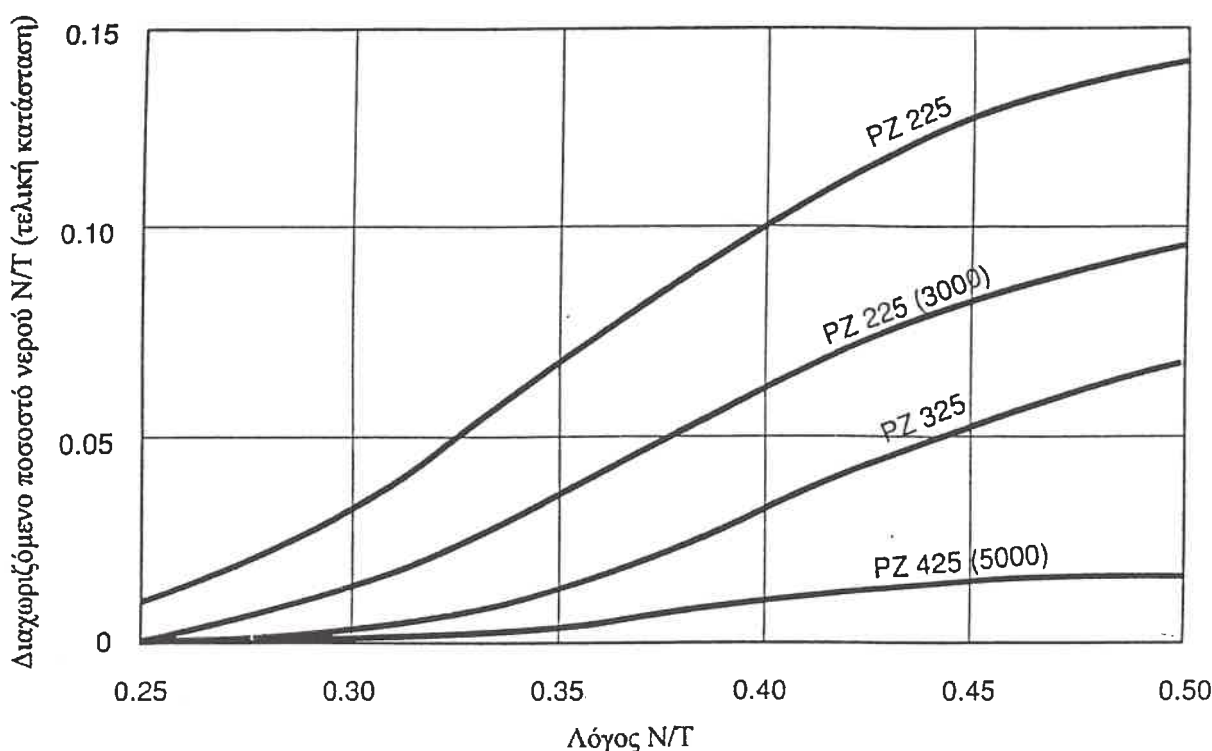
- Όπως το νερό κινείται προς τα επάνω, συμπαρασύρει το λεπτόκοκκο τμήμα του τσιμέντου. Κατά τον τρόπο αυτό το μίγμα γίνεται φτωχότερο σε τσιμέντο, και στην επάνω επιφάνεια δημιουργείται λεπτό στρώμα κονιάς, που ρηγματώνεται και αποφλοιώνεται.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 Συγκριτικός Πίνακας διαφόρων μεθόδων μετρήσεως του εργασίμου.

Μέθοδος μετρήσεως εργασίμου			εργασιμότητα			
			ύφυγρο	πλαστικό	ρευστό	
1		κάθιση (cm) (ABRAMS)	0 - 2	2 - 8	8 - 14	
2		Μέτρο συμπικνώσεως $v = \frac{40}{40 - s}$ (WALZ)	1,45-1,26	1,25-1,11	1,10-1,04	
3		Μέτρο συμπικνώσεως (FRITSCH)	1,40-1,19	1,25-1,11	1,05-1,00	
4		Μέτρο εξαπλώσεως (cm) (GRAF)	—	28 - 40	39 - 50	
5		Χρόνος VEBE (sec) (BÄHRNER)	40 - 8	10 - 3	3 - 1	
6		Δύναμη απομακρύνσεως κώνου (αριθμός κρούσεων) (POWERS)	50 - 27	27 - 10	11 - 3	
7		Αντίσταση δισιδύσεως (αρ. κρούσεων) (HUMMEL)	χαλαρό	8	5	2
		συμπικνωμένο	30 - 14	20 - 6	7 - 2	
8		Βάθος διεισδύσεως (cm) (GRAF)	2 - 6	6 - 14	14 - 23	
9		Χρόνος ροής (sec) (LESAGE)	60 - 30	30 - 5	5 - 1	

- Κατά τη δίοδο του νερού ανάμεσα από τα στερεά συστατικά δημιουργούνται μέσα στον τσιμεντοπολλτό λεπτοί σωληνίσκοι.
- Η συγκέντρωση του νερού δε γίνεται μόνο στην επάνω επιφάνεια του σκυροδέματος, αλλά το ίδιο φαινόμενο εμφανίζεται τοπικά και στις κοιλότητες μεταξύ των σκύρων, όπου γίνεται τοπική συγκέντρωση νερού με αποτέλεσμα τη δημιουργία κοιλοτήτων και ανισοτροπίας στη συμπεριφορά του σκυροδέματος.
- Το ίδιο φαινόμενο δημιουργείται και σε όλο το μήκος κάτω από τις ράβδους του οπλισμού, όπου το νερό που σχηματίζεται, μειώνει την επιφάνεια συνεργασίας ανάμεσα στο σκυρόδεμα και το σίδερο και συγχρόνως αυξάνει τον κίνδυνο διαβρώσεως των οπλισμών.

Το φαινόμενο της εξιδρώσεως επιτείνεται με την αύξηση του νερού αναμίξεως, καθώς και με την έλλειψη λεπτόκοκκων υλικών της άμμου και του τσιμέντου, γιατί μ' αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η κίνηση του νερού προς τα επάνω. Κάθε είδος τσιμέντου έχει διαφορετική ικανότητα συγκρατήσεως νερού διότι έχει διαφορετική λεπτότητα και προσμίξεις. Ακόμα, η ταχύτητα ενυδατώσεως και επομένως ο χρόνος αρχής της πήξεως είναι αποφασιστικής σημασίας. Γι' αυτό και η χρήση επιβραδυντικών προσθέτων ενισχύει την εμφάνιση της εξιδρώσεως. Το Σχήμα 3.1 δείχνει πειραματικά στοιχεία πάνω σ' αυτό (παρατηρείται ότι μειώνεται η εξίδρωση όταν αυξάνεται η λεπτότητα αλέσεως του Γερμανικού τσιμέντου διότι αυξάνεται η ταχύτητα ενυδατώσεως του τσιμέντου). Αντίθετα, η αύξηση της περιεκτικότητας σε αέρα επιδρά ανασταλτικά στην εξίδρωση, γιατί οι φυσαλίδες παρεμποδίζουν την κίνηση του νερού. [1]



ΣΧΗΜΑ 3.1 Σχέση μεταξύ ποιότητας τσιμέντου και εξιδρώσεως για διάφορους λόγους N/T.

Οι δυσμενείς επιδράσεις της εξιδρώσεως αίρονται τελείως, αν στην αρχή της πήξεως αποκατασταθεί, με αναμόχλευση και αναδόνηση της μάζας, η ομοιογένεια του υλικού. Στην περίπτωση αυτή μάλιστα η ποιότητα του σκυροδέματος βελτιώνεται λόγω της μειώσεως του νερού που έχει ήδη γίνει και λόγω της μη εμφανίσεως πλέον περαιτέρω εξιδρώσεως. Προσοχή όμως απαιτεί η εκλογή της κατάλληλης στιγμής για την αναμόχλευση, γιατί πέρα από κάποιο χρονικό όριο μπορεί να καταστραφεί με την αναμόχλευση η κρυσταλλική δομή της κονιάς. [1]

3.1.3. Απόμιξη.

Κατά την κίνηση των στερεών συστατικών προς τα κάτω διαχωρίζονται όχι μόνο από το νερό αλλά και μεταξύ τους. Τα βαρύτερα κινούνται προς τα χαμηλότερα στρώματα και έτσι τελικά τακτοποιούνται σε στρώσεις ανάλογα με το βάρος τους. Το φαινόμενο αυτό λέγεται απόμιξη του σκυροδέματος. Αν οι κόκκοι είναι από το ίδιο πέτρωμα και επομένως έχουν το ίδιο ειδικό βάρος, ο διαχωρισμός γίνεται ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων.

Το φαινόμενο της απομίξεως είναι από τα πιο καταστρεπτικά για την αντοχή και γενικά για την ποιότητα του σκυροδέματος, γιατί όπως είναι φανερό, μεταβάλλει τις αναλογίες μίξεως κατά τρόπο ανομοιόμορφο και απρόβλεπτο. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται περιοχές με μειωμένη αντοχή, καθώς επίσης και μειωμένη πρόσφυση μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος από την έλλειψη κονιάματος. [1]

3.2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

3.2.1. Γενικά για την αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις.

Στην τεχνολογία ως αντοχή εννοούμε γενικότερα την ικανότητα του υλικού να αναλαμβάνει και να μεταβιβάζει δυνάμεις με οριακή τιμή την προηγούμενη έννοια.

Η αντοχή εξαρτάται τόσο από τη φύση και την ποιότητα του υλικού, όσο και από τη μορφή της εντατικής καταστάσεως. Το σωστό στην προκειμένη περίπτωση είναι ότι η αντοχή δεν είναι σταθερή ιδιότητα του υλικού, αλλά *αντοχή συγκεκριμένου υλικού σώματος σε συγκεκριμένη εξωτερική καταπόνηση*. [1]

3.2.2. Η αντοχή του σκυροδέματος και ο μηχανισμός της θραύσεως.

Εκτός από την αντοχή σαν μηχανικό φαινόμενο ανεξάρτητα από τη φύση του υλικού, τεχνολογικοί και πρακτικοί παράγοντες επιδρούν, τόσο κατά την Παρασκευή του σκυροδέματος, όσο και στην μέτρηση της αντοχής. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι ακόλουθοι: [1]

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

- Η ποιότητα των υλικών, στην οποία περιλαμβάνονται όχι μόνον η ποιότητα των τριών συστατικών, αλλά και ο βαθμός αλέσεως του τσιμέντου, το σχήμα και η μορφή των αδρανών, η κοκκομετρική διαβάθμιση, η ποιότητα του πετρώματος των αδρανών.
- Τα παρασιτικά υλικά που αθέλητα εισχωρούν είτε μαζί με τους κόκκους των αδρανών, είτε με το νερό.
- Η συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος.
- Η ηλικία του σκυροδέματος.
- Ο τρόπος συντηρήσεως, δηλαδή οι θερμοκρασίες και υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται η πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος.
- Η μορφή του δοκιμίου, στην οποία πρέπει να περιλάβουμε το σχήμα, το μέγεθος, την εξωτερική υφή, την επιπεδότητα των παρειών και την ακρίβεια των γωνιών.
- Η μορφή της καταπόνησεως, δηλαδή ο τρόπος και η ταχύτητα φορτίσεως.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες δημιουργούν ένα μεγάλο πλήθος μικροδιαφορών μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, οι οποίες προκαλούν διασπορά, δηλαδή διακύμανση των τιμών της αντοχής. Έχει διαπιστωθεί ότι ασυνέχειες του υλικού (μικρορωγμές), κυρίως ανάμεσα στο κονίαμα και τα αδρανή, υπάρχουν μέσα στη μάζα του σκυροδέματος ακόμη και πριν από κάθε καταπόνηση. Οι μικρορωγμές αυτές δημιουργούνται κυρίως από τις συστολές της κονίας κατά την πήξη, από τις συστολές που οφείλονται στην εξάτμιση του νερού και ενδεχομένως από την κακή πρόσφυση μεταξύ κονιάματος και αδρανών. Οι ρωγμές αυτές παραμένουν περίπου σταθερές, εφόσον το φορτίο είναι το πολύ ίσο προς το $1/3$ περίπου του φορτίου θραύσεως. Από την τιμή αυτή περίπου οι ρωγμές αρχίζουν να επεκτείνονται και πολλαπλασιάζονται γρήγορα ώσπου το φορτίο φτάσει τα $2/3$ περίπου του φορτίου θραύσεως. Κατά το στάδιο αυτό οι ρωγμές αποτελούν συνεχές πλέγμα και μεταξύ κονιάματος και αδρανών και μέσα στο κονίαμα. Με αύξηση του φορτίου πέρα από την τιμή αυτή το πλέγμα των ρωγμών επεκτείνεται πάρα πολύ γρήγορα έως την κατάρρευση του υλικού. Το δεύτερο τούτο όριο συμπίπτει με το όριο διαρροής, δηλαδή το σημείο της καμπύλης τάσεων – παραμορφώσεων από το οποίο αρχίζει να οριζοντιώνεται.

Από την παραπάνω περιγραφή του μηχανισμού της θραύσεως προκύπτει ότι στην από κατασκευής ανομοιογένεια του υλικού (σκύρα, κονίαμα) πρέπει να συμπεριληφθούν και οι μικρορωγμές που υπάρχουν απαρχής στο υλικό. Οι ρωγμές αυτές είναι διασκορπισμένες προς κάθε κατεύθυνση μέσα στη μάζα του υλικού, με τρόπο ώστε να μην δημιουργείται μακροσκοπικώς ετερογενής συμπεριφορά. Όταν όμως επιβληθεί εξωτερικό, π.χ. θλιπτικό φορτίο, οι τάσεις μέσα στη μάζα δεν κατανέμονται ομοιόμορφα, αλλά δημιουργούνται σημεία τοπικής συγκεντρώσεως τάσεων, καθώς και περιοχές εφελκυσμού. Τα σημεία αυτά αποτελούν τα σημεία από τα οποία αρχίζει η καταστροφή του υλικού.

Η εικόνα περιπλέκεται με την παρουσία υλικών με διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας, όπως είναι τα αδρανή. Η ρωγμή που θα συναντήσει το αδρανές έχει τη δυνατότητα να συνεχισθεί μέσα στο αδρανές ή στην παράπλευρη

διεπιφάνεια ή να σταματήσει. Το τι θα συμβεί εξαρτάται από τις σχέσεις των μέτρων ελαστικότητας των ειδικών επιφανειών, τη συνάφειά τους και της επικρατούσας τάσεως. [1]

3.2.3. Αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό.

Οι θλιπτικές αντοχές που κατορθώνουμε να πετύχουμε βρίσκονται συνήθως ανάμεσα στα όρια 3 MPa και 120 MPa. Η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται στο 1/10 έως 1/15 της θλιπτικής αντοχής.

Δεν έχει βρεθεί άμεση αντιστοιχία ανάμεσα στη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή. Από τα πειραματικά στοιχεία που έχουμε, προκύπτει ότι με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής αυξάνεται και η εφελκυστική αντοχή, ο λόγος όμως $\beta_{εφ}/\beta_{θλ}$ μειώνεται, δηλαδή η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής δεν είναι ανάλογη με την αύξηση της θλιπτικής.

Η εφελκυστική αντοχή είναι πιο ευαίσθητη στη συντήρηση, διότι υπάρχει άμεση εξάρτηση του εφελκυσμού από την έκταση των μικρορηγματώσεων μέσα στη μάζα του σκυροδέματος.

Η αντοχή σε καμπτικό εφελκυσμό είναι περίπου η διπλάσια, λόγω του μικρότερου κρίσιμου όγκου και λόγω της βαθμιαίας πλαστικοποίησης του υλικού. [1]

3.2.4. Πολυαξονική καταπόνηση.

Σε περίπτωση σύγχρονης παρουσίας εγκάρσιων θλιπτικών τάσεων, η θλιπτική αντοχή εμφανίζεται αυξημένη. Πειράματα σε διαξονική καταπόνηση έδειξαν ότι με σύγχρονη παρουσία ίσης εγκάρσιας θλιπτικής δύναμews (ομοιόμορφη διαξονική καταπόνηση) η αντοχή σε θλίψη εμφανίζεται αυξημένη κατά 14 - 19 % από την αντίστοιχη μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Η μεγαλύτερη αντοχή πετυχαίνεται, όταν η εγκάρσια τάση είναι 0.5 - 0.6 της αντίστοιχης θλιπτικής τάσεως. Η αντοχή σε θλίψη τότε είναι κατά 24 - 29 % μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μονοαξονική.

Η παρουσία εγκάρσιας εφελκυστικής τάσεως μειώνει γρήγορα την αντοχή σε θλίψη κατά την άλλη διεύθυνση. Αντίθετα σε περίπτωση εφελκυστικών τάσεων, η τελική αντοχή σε εφελκυσμό δεν επηρεάζεται αισθητά.

Η αύξηση της αντοχής στην περίπτωση ομοιόμορφης θλιπτικής καταπόνησεως είναι πιθανόν ελάχιστα μεγαλύτερη στα χαμηλής αντοχής σκυροδέματα, χωρίς όμως αυτό να είναι απόλυτα βεβαιωμένο. [1]

3.2.5. Καταπόνηση με μεγάλη διάρκεια.

Στην περίπτωση παραμονής της καταπόνησεως σε μεγάλο χρονικό διάστημα η θλιπτική αντοχή μειώνεται βαθμιαία. Η μείωση αυτή είναι αρκετά έντονη τα πρώτα λεπτά της καταπόνησεως (30' - 60') και στη συνέχεια μειώνεται περίπου ανάλογα με τη χρονική διάρκεια της καταπόνησεως.

Ενδεικτικά αναφέρονται τιμές αντοχής 0.85 της αρχικής μετά από μία περίπου ώρα παραμονής του φορτίου και 0.75 μετά 70 περίπου ημέρες. [1]

3.2.6. Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση.

Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση με το ίδιο φορτίο ή μεταβολή της τάσεως μεταξύ δύο ορίων $\sigma_{\min}$ και $\sigma_{\max}$ μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη θραύση του υλικού, έστω και αν η μέγιστη τάση $\sigma_{\max}$ δεν υπερβαίνει τη στατική αντοχή του υλικού. Το φαινόμενο αυτό, όπως είναι γνωστό ονομάζεται κόπωση του υλικού. Για να συμβεί όμως η αστοχία, πρέπει η τάση $\sigma_{\max}$ να υπερβαίνει κάποιο όριο, που ονομάζεται όριο κοπώσεως. Στην προκείμενη περίπτωση αναφερόμαστε σε θλιπτικές μόνο καταπονήσεις. Το όριο αυτό στο σκυρόδεμα βρίσκεται στα 0.65 - 0.70 περίπου της στατικής αντοχής σε θλίψη. Αντίθετα, όταν η μέγιστη τάση δεν υπερβεί το όριο αυτό, έχει παρατηρηθεί, ύστερα από ένα αριθμό επαναλήψεων βελτίωση του σκυροδέματος, αύξηση δηλαδή της στατικής αντοχής (και της αντοχής σε κόπωση) έως 10 % περίπου.

Μετά από έρευνες που έχουν γίνει προκύπτει ότι η συμπεριφορά του σκυροδέματος σε κόπωση εμφανίζεται βελτιωμένη στις ακόλουθες περιπτώσεις :

- Όσο ελαττώνονται η μέγιστη και η ελάχιστη τάση και επομένως η μέση τιμή $\frac{1}{2}(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})$. Στην περίπτωση αυτή παρουσιάζεται μεγαλύτερος ο αριθμός των κύκλων φορτίσεως έως τη θραύση. Η επιρροή της μικρότερης τάσεως $\sigma_{\min}$ σημαίνει ότι κατασκευές με μεγάλο ποσοστό μονίμων φορτίων είναι περισσότερο ευαίσθητες στις επαναλαμβανόμενες φορτίσεις.
- Όσο μικρότερο είναι το εύρος διακυμάνσεως των τάσεων: $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$.
- Όσο αυξάνεται το ποσοστό του κονιάματος, όσο πιο πλούσιο είναι δηλαδή το σκυρόδεμα.
- Όσο πιο στρογγυλά είναι τα χοντρόκοκκα αδρανή.

Αντίθετα, η συμπεριφορά σε κόπωση δεν φαίνεται να επηρεάζεται αισθητά από τη συχνότητα φορτίσεως (τουλάχιστον μέσα στη περιοχή 70-2000 κύκλων ανά λεπτό). Διακοπή της καταπονήσεως για λίγα λεπτά έχει ως αποτέλεσμα να ανακτήσει το σκυρόδεμα μέρος της αντοχής του.

Η καταστροφή του σκυροδέματος κατά την επαναλαμβανόμενη καταπόνηση αποδίδεται σε βαθμιαία κατάλυση της συνάφειας κονιάματος και σκυροδέματος. Η απορροφούμενη ενέργεια εκδηλώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού. Η κόπωση, πάντως, του σκυροδέματος είναι φαινόμενο που δεν αντιμετωπίζεται στις συνηθισμένες κατασκευές, εφόσον το όριο κοπώσεως είναι μεγαλύτερο από 0.65 της στατικής αντοχής, ενώ οι τάσεις που επιτρέπουμε ανέρχονται σε 0.33 - 0.57 της στατικής αντοχής (συντελεστής ασφάλειας 1.75 - 3). [1]

3.2.7. Συνεργασία σκυροδέματος και χάλυβα.

Η ιδιότητα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο όρος “συνεργασία” αποδίδει καλύτερα την πραγματικότητα από τον όρο “συνάφεια”, γιατί η συνεργασία αυτή είναι αποτέλεσμα συνάφειας, τριβής

μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος, καθώς και αντοχής σκυροδέματος σε διάτμηση.

Ο ρόλος της καθεμιάς από τις παραπάνω ιδιότητες είναι διαφορετικός σε κάθε περίπτωση. Στην περίπτωση των λείων ράβδων η συνάφεια και η τριβή παίζουν μεγαλύτερο ρόλο από τη διάτμηση του σκυροδέματος. Με την αύξηση της καταπόνησεως ο πρωταρχικός ρόλος μεταβιβάζεται βαθμιαία από τη συνάφεια στην τριβή. Αντίθετα, στην περίπτωση ράβδων με εγκάρσιες νευρώσεις η αντίσταση στην εξόλκευση της ράβδου στηρίζεται κυρίως στη διατμητική αντοχή του σκυροδέματος.

Ως αντοχή σε συνάφεια χαρακτηρίζεται η μέγιστη τιμή της τάσεως (μέση τιμή κατά μήκος της ράβδου), για την οποία η σχετική μετακίνηση της ράβδου (ολίσθηση) εξακολουθεί να παραμένει $\delta=0$. Εκτός από την τιμή αυτή καθορίζεται συνήθως και η *χαρακτηριστική τιμή* της τάσεως που αντιστοιχεί σε μετακίνηση $\delta=0.1\text{mm}$.

Η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται πάρα πολύ από την κατεύθυνση της ράβδου (και κατά συνέπεια και από τη φορά καταπόνησεως) σε σχέση με την κατεύθυνση σκυροδετήσεως, καθώς και από τη θέση της ράβδου μέσα στη διατομή. Η αντοχή είναι πολύ μεγαλύτερη, όταν η κατεύθυνση της ράβδου συμπίπτει με την κατεύθυνση σκυροδετήσεως. Στην περίπτωση οριζόντιας ράβδου (με κατακόρυφη κατεύθυνση σκυροδετήσεως) η αντοχή σε συνάφεια μειώνεται όσο η ράβδος βρίσκεται ψηλότερα μέσα στη διατομή. Αυτό εξηγείται από τη δράση της εξιδρώσεως και της απομίξεως (βλ. § 3.1.2. και 3.1.3.).

Η αντοχή σε συνάφεια είναι περίπου ανάλογη με την αντοχή σε θλίψη. Η αύξηση όμως της συνάφειας παρουσιάζεται κάπως μειωμένη για τις μεγαλύτερες αντοχές. Η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται σημαντικά από την κατάσταση της επιφάνειας της ράβδου, τη μορφή των νευρώσεων για της ράβδους με νευρώσεις, και τη διάμετρο των ράβδων. Τέλος, αύξηση της θερμοκρασίας των υλικών μειώνει την αντοχή σε συνάφεια.

3.2.8. Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο.

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

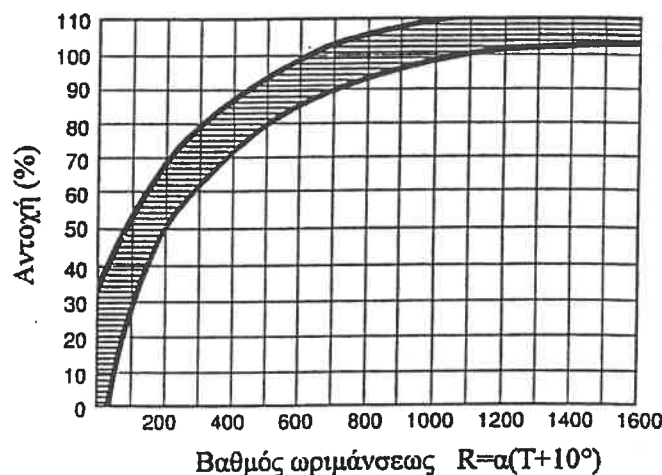
Εξαιτίας όλων των παραπάνω λόγων, η ακριβής ποσοτική εκτίμηση της εξέλιξεως της αντοχής μόνο με δοκιμές με τον ίδιο τύπο τσιμέντου, τα ίδια υλικά και τις ίδιες συνθήκες συντηρήσεως μπορεί να γίνει. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό να γίνει, οι Κανονισμοί προβλέπουν ορισμένους

συντελεστές που δίνουν την ένδειξη του μεγέθους της αντοχής, για συνηθισμένες μέσες συνθήκες συντηρήσεως.

Η ανάπτυξη της αντοχής εξαρτάται πάρα πολύ από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Το γινόμενο της ηλικίας α (σε ημέρες) επί τη θερμοκρασία $(T+10)^\circ$, όπου T η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε βαθμούς C :

$$R = \alpha(T+10)$$

αποδίδεται με τον όρο *ωρίμανση* του σκυροδέματος (βλ. Σχήμα 3.2). Ως αφετηρία των θερμοκρασιών T δεχόμαστε -10° , γιατί στη θερμοκρασία αυτή θεωρείται ότι αναστέλλονται τελείως οι χημικές διαδικασίες μεταξύ τσιμέντου και νερού. [1]



ΣΧΗΜΑ 3.2 Σχέση μεταξύ ωρίμανσεως και αντοχής

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

Οι απαιτούμενες ποσότητες νερού για την παρασκευή του σκυροδέματος είναι οι ακόλουθες: [1]

- N_χ είναι η ποσότητα του νερού που ενώνεται χημικά με το τσιμέντο (ενυδάτωση),
- N_κ είναι η ποσότητα που δεσμεύεται επιφανειακά με τα προϊόντα ενυδάτωσης του τσιμέντου,
- $N_{\alpha\delta}$ είναι η ποσότητα που την απορροφούν οι κόκκοι του αδρανούς υλικού,
- $N_{\alpha\pi}$ είναι η ποσότητα που εξατμίζεται ή που με οποιοδήποτε τρόπο χάνεται (απώλεια),
- N_ϵ είναι η περίσσεια νερού που παραμένει ελεύθερο μέσα στους πόρους του σκυροδέματος.

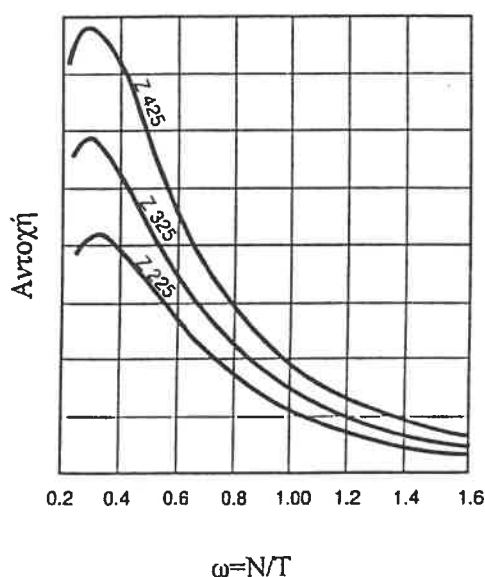
Οπότε η συνολική ποσότητα νερού είναι $N = N_\chi + N_\kappa + N_{\alpha\delta} + N_{\alpha\pi} + N_\epsilon$.

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

Η αντοχή εξαρτάται άμεσα από το λόγο νερού προς τσιμέντο ($\omega = N/T$), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.3. για διάφορους τύπους τσιμέντου. Όμως η μορφή

και η θέση της καμπύλης δεν είναι ανεξάρτητη από τις αναλογίες και των άλλων υλικών, καθώς και από το βαθμό συμπυκνώσεως. Για καθεμιά κοκκομετρική καμπύλη υπάρχει μία διαφορετική τιμή που δίνει τη μέγιστη αντοχή. Και για κάθε τιμή του λόγου ω υπάρχει μία διαφορετική κοκκομετρική σύνθεση που οδηγεί στη μέγιστη αντοχή.

Τέλος, παρατηρούμε ότι όταν η τιμή του λόγου ω ελαττωθεί πέρα από κάποια οριακή τιμή, η αντοχή αρχίζει πάλι να μειώνεται. Το τμήμα αυτό της καμπύλης, πριν από το μέγιστο σημείο, οφείλεται σε διαφορετικό μηχανισμό. Είτε η ποσότητα του νερού είναι ανεπαρκής για την ολοκληρωτική ενυδάτωση του τσιμέντου, με αποτέλεσμα μέρος του τσιμέντου να παραμένει αδρανές, είτε η συμπύκνωση του σκυροδέματος είναι ανεπαρκής με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της πυκνότητας και της αντοχής. [1]



ΣΧΗΜΑ 3.3 Ενδεικτική μορφή της εξάρτησεως της αντοχής από το λόγο $\omega=N/T$, για διάφορους τύπους τσιμέντου.

3.2.10. Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά.

Την ελαστική συμπεριφορά ενός υλικού απεικονίζει η σχέση τάσεων – παραμορφώσεων. Για το σκυρόδεμα, όπως και για τα περισσότερα ανόργανα μη μεταλλικά υλικά, η σχέση αυτή έχει τη μορφή μιας συνεχούς καμπύλης, όπως στο Σχήμα 3.4. Μικρά μόνο τμήματά της μπορούν να θεωρηθούν σαν ευθύγραμμα. Άρα ο νόμος του Hook ισχύει για μικρές μεταβολές του φορτίου. Εξάλλου για μικρές μόνο τιμές του φορτίου μπορεί το σκυρόδεμα να θεωρηθεί πρακτικά σαν ελαστικό υλικό.

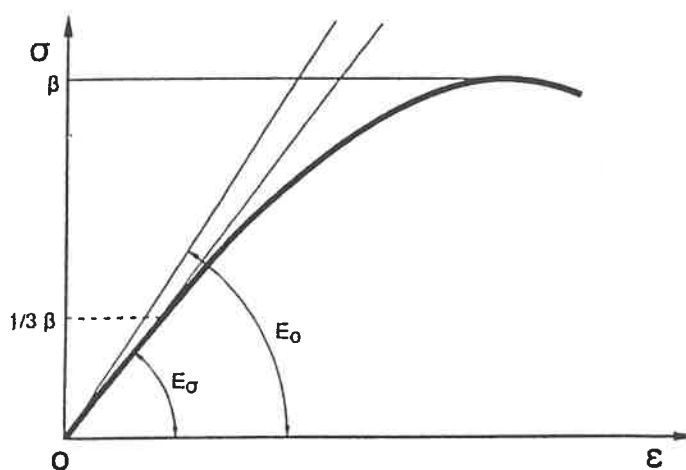
Η καμπυλότητα του διαγράμματος (βαθμιαία αύξηση της παραμορφώσεως για την ίδια αύξηση της τάσεως) οφείλεται στην προοδευτική επέκταση των μικρορωγμών μέσα στο υλικό, εκτός από την κυρίως παραμόρφωση του υλικού. Αν το φορτίο παραμείνει αρκετό διάστημα, η παραμόρφωση συνεχίζεται βαθμιαία (φαινόμενο ερπυσμού). Μετά την αφαίρεση του φορτίου

τμήμα της παραμορφώσεως αναιρείται (ελαστική παραμόρφωση) ενώ το υπόλοιπο τμήμα παραμένει (πλαστική παραμόρφωση). Με την πάροδο του χρόνου, μετά την αφαίρεση του φορτίου, η παραμόρφωση που παραμένει ελαττώνεται συνεχώς (υστέρηση). Η μείωση των τάσεων που συνοδεύει τον ερπυσμό ονομάζεται χαλάρωση. [1]

Μέτρο ελαστικότητας ονομάζουμε το λόγο $E = \sigma/\epsilon$, δηλαδή την κλίση της εφαπτομένης σε κάθε σημείο της καμπύλης. Το μέτρο ελαστικότητας, επομένως, του σκυροδέματος δεν παραμένει σταθερό, αλλά μειώνεται συνεχώς όσο αυξάνει η καταπόνηση. Συνήθως διακρίνουμε : [1]

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

Ως συμβατικό μέτρο ελαστικότητας, για τη σύγκριση των σκυροδεμάτων μεταξύ τους, χρησιμοποιείται συνήθως το μέσο μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί στην τάση $\sigma = 1/3 \cdot \beta_{0p}$, δηλαδή η κλίση της χορδής που ενώνει την αρχή των συντεταγμένων με το σημείο της καμπύλης που αντιστοιχεί σε τάση $1/3 \cdot \beta_{0p}$.

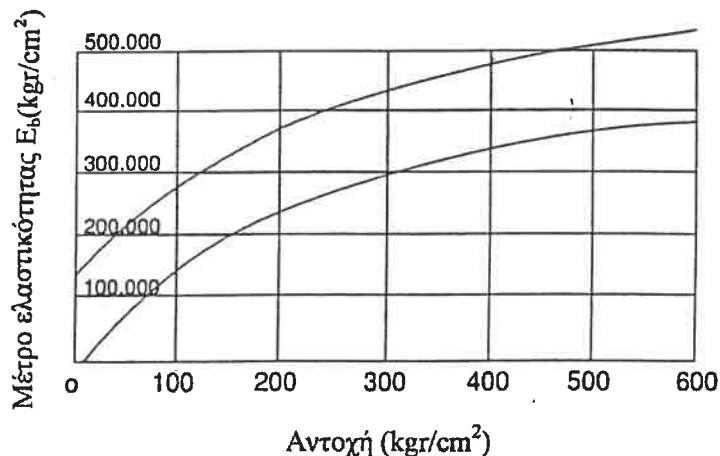


ΣΧΗΜΑ 3.4 Ενδεικτική καμπύλη τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος.

Γενικά το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών είναι διαφορετικό από αυτό του κονιάματος και επομένως και η ανάληψη τάσεων από αυτά είναι διαφορετική. Για τα συνηθισμένα σκυροδέματα, με ασβεστολιθικά αδρανή, το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών είναι μεγαλύτερο από αυτό του κονιάματος. Στην περίπτωση αυτή η απαίτηση ίσων παραμορφώσεων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η τάση στα αδρανή είναι μεγαλύτερη, δηλαδή η ροή του φορτίου γίνεται κυρίως μέσα από τα αδρανή. Αντίθετα στην περίπτωση σκυροδέματος με ελαφρά (πορώδη) αδρανή το μέτρο ελαστικότητας αυτών είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του κονιάματος και η εικόνα της ροής των τάσεων είναι διαφορετική. Αλλά το μέτρο ελαστικότητας στα διάφορα πετρώματα που χρησιμοποιούνται ως αδρανή κυμαίνεται ανάμεσα σε πλατύτατα όρια. Των ασβεστολιθικών πετρωμάτων βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές 230,000 έως 830,000 kgf/cm². Το μέτρο ελαστικότητας της

τσιμεντοκονίας βρίσκεται συνήθως ανάμεσα στις τιμές 50,000 – 100,000 kgf/cm^2 και ελαττώνεται όσο αυξάνεται το νερό αναμίξεως.

Γενικά το μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται όσο αυξάνεται η θλιπτική αντοχή. (βλ. Σχήμα 3.5). Το μέτρο παραμορφώσεως, άρα και η τιμή του μέτρου ελαστικότητας, επηρεάζονται και από την ταχύτητα φορτίσεως, καθώς και από όλους εκείνους τους παράγοντες που εισέρχονται στην αντοχή. [1]



ΣΧΗΜΑ 3.5 Σχέση μεταξύ μέτρου ελαστικότητας και αντοχής.

3.2.11. Χρόνια συστολή και διαστολή του σκυροδέματος.

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

Η συστολή αυτή στον αέρα δεν πρέπει να συγχέεται με τη συστολή της πήξεως που οφείλεται στη χημική δράση των ενεργών προϊόντων ούτε με τις ελαστικές ή πλαστικές παραμορφώσεις και τον ερπυσμό, που οφείλονται στη δράση εξωτερικών δυνάμεων. Από τις θεωρίες που έχουν ως τώρα διατυπωθεί για την εξήγηση του φαινομένου αυτού, επικρατέστερη κρίνεται η θεωρία που διατύπωσε ο Freyssinet και η οποία αποδίδει τις μεταβολές αυτές του όγκου στις δυνάμεις που ασκούνται από το νερό στα τοιχώματα των τριχοειδών του υλικού.

Η χρόνια συστολή είναι γενικά φαινόμενο βλαπτικό και ανεπιθύμητο. Όταν η συστολή παρεμποδίζεται, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ρηγματώσεων από τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται. Συνηθισμένη είναι η περίπτωση της ρηγματώσεως στοιχείων μεγάλου πάχους από την ανομοιόμορφη ξήρανση του εσωτερικού και της επιφάνειας του στοιχείου. Τα επιφανειακά στρώματα ξηραίνονται γρηγορότερα από το εσωτερικό, και επομένως ο διαφορετικός βαθμός συστολής έχει αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση του στοιχείου.

Η ρηγμάτωση βέβαια δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της διαφορετικής συστολής, αλλά και από τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού (μέτρο ελαστικότητας και συνοχή σε εφελκυσμό). Άλλο σημείο αναπτύξεως εφελκυστικών τάσεων είναι η μεταξύ αδρανών και τσιμεντοπολτού επιφάνεια, λόγω της συρρικνώσεως του τελευταίου ως προς τα ακίνητα αδρανή. Στην επιφάνεια αυτή δημιουργούνται εγγενείς μικρορηγματώσεις. Άλλη χαρακτηριστική συνέπεια της συστολής είναι η βαθμιαία μείωση που παρουσιάζει η δύναμη προεντάσεως στους προεντεταμένους φορείς.

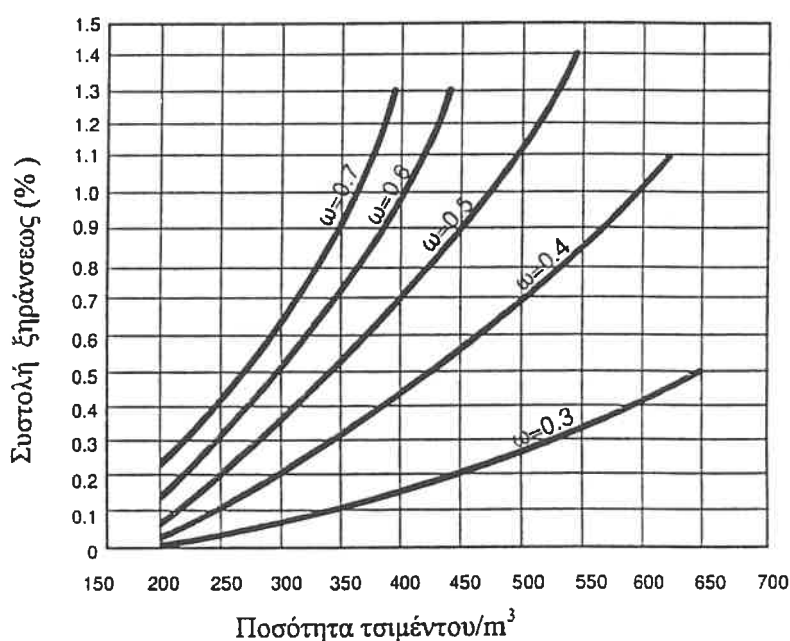
Η συνολική συστολή στο κοινό σκυρόδεμα κυμαίνεται μεταξύ 0.1 – 1.0 mm/m, και η συνολική διαστολή μέσα στο νερό 0.1 – 0.3 mm/m. Οι τιμές αυτές που αναφέρονται στους Κανονισμούς περιλαμβάνουν, γενικά, και τη συστολή της πήξεως, γιατί στις εφαρμογές ενδιαφέρει η συνολική μεικτή τιμή. Το μέγεθος, πάντως, της συστολής πήξεως είναι μικρό ποσοστό της συνολικής συστολής.[1]

Οι πειραματικές πληροφορίες που υπάρχουν για το φαινόμενο της χρόνιας συστολής του σκυροδέματος συνοψίζονται στα ακόλουθα: [1]

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

Επίσης η συστολή αυξάνεται με την αύξηση του Al_2O_3 του τσιμέντου. Αντίθετα, μικρή συστολή παρουσιάζουν τσιμέντα πλούσια σε Fe_2O_3 .

Τα τσιμέντα γρήγορης αναπτύξεως της αντοχής παρουσιάζουν μεγαλύτερη συστολή από τα κοινά τσιμέντα Πόρτλαντ, και τα αργιλικά ακόμα μεγαλύτερη.



ΣΧΗΜΑ 3.6 Σχέση μεταξύ συστολής ξηράνσεως, ποσότητας τσιμέντου και λόγου $\omega=N/T$

- Η συστολή αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου. (βλ. Σχήμα 3.6). Εφόσον έδρα των ογκομετρικών μεταβολών είναι ο

τσιμεντοπολτός, είναι φυσικό να αυξάνονται όσο αυξάνεται η ποσοστιαία αναλογία του.

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

- Ελαττώνεται όσο αυξάνεται η αντοχή. Επομένως αυξάνεται με την αύξηση του νερού αναμίξεως και με το πορώδες (βλ. Σχήμα 3.6).
- Εξαρτάται από την ποιότητα και τη φύση των αδρανών.

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

- Η συστολή εξαρτάται από τη μορφή και τις διαστάσεις του στοιχείου. Αυξάνεται όσο οι διαστάσεις του στοιχείου ελαττώνονται. Αυτό εξηγείται από τη γρηγορότερη ξήρανση, λόγω της μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας.
- Εξαρτάται από τις υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυξάνεται με την ελάττωση της σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας, γιατί μ' αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η ξήρανση. [1]

3.2.12. Ερπυσμός.

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

Τα αίτια του ερπυσμού μπορεί να είναι: [1]

- Οι τοπικές μικροκαταστροφές του υλικού. Η συστολή δηλαδή οφείλεται σε προοδευτική μικρορηγματώση του στερεού σκελετού.
- Η ύπαρξη μικροεπιφανειών ολισθήσεως μεταξύ των κρυστάλλων.
- Οι μετακινήσεις του νερού μέσα στα τριχοειδή αγγεία του υλικού, που οφείλονται στην πίεση των υδρατμών μέσα στα φορτιζόμενα τμήματα.
- Η θεωρία της ιξώδους ροής του Freyssinet. Κατά τη θεωρία αυτή το νερό που βρίσκεται στους πόρους και τα τριχοειδή αγγεία του στερεού, ως ασυμπίεστο, δέχεται στην αρχή ένα μέρος από το επιβαλλόμενο φορτίο, ενώ συγχρόνως αναγκάζεται να διαρρεύσει. Η διαρροή και απομάκρυνση του νερού μέσα από τις μικρότατες διόδους γίνεται πάρα πολύ αργά, λόγω της τριβής. Με την αργή απομάκρυνση του νερού αντίστοιχο φορτίο μεταβιβάζεται βαθμιαία στο στερεό σκελετό, που συμπιέζεται περαιτέρω κατά τους νόμους της ελαστικότητας.

Η ασυμπτωτική πορεία του ερπυσμού εξηγείται, κατά τη θεωρία αυτή, από το ότι το νερό απομακρύνεται πρώτα από τους πόρους που έχουν μεγαλύτερη διάμετρο και βαθμιαία από πόρους ολοένα μικρότερης διαμέτρου, με αντίστοιχη μείωση της ταχύτητας ροής. Αξιοσημείωτο είναι ότι ο ερπυσμός ακολουθεί, με μεγάλη προσέγγιση το νόμο του Hook, όταν το φορτίο είναι μικρότερο από το 1/3 περίπου του φορτίου θραύσεως του υλικού. Πέρα από

την τιμή αυτή η αύξηση του ερπυσμού γίνεται ολοένα γρηγορότερη με την αύξηση του φορτίου.

Ο ερπυσμός σε αντίθεση με τη χρόνια συστολή, δεν έχει μόνο δυσμενή αποτελέσματα (αύξηση του βέλους, απώλειες στην προένταση), αλλά και ευνοϊκά (άμβλυνση τάσεων).

Ο ερπυσμός έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: [1]

- Το μέγεθος του ερπυσμού είναι αντιστρόφως ανάλογο προς την ποιότητα του σκυροδέματος.
- Μπορεί να φτάσει τελικά σε τιμή πολλαπλάσια της χρόνιας συστολής.
- Η διάρκεια του φαινομένου είναι 1 έως 10 χρόνια. Συνήθως ολοκληρώνεται μετά 1 έως 2 χρόνια.
- Έως την τιμή του φορτίου $\sim 1/3 \beta_{0p}$ είναι ανάλογος του φορτίου, πέρα από την τιμή αυτή ο ερπυσμός αυξάνεται ολοένα ταχύτερα με την αύξηση του φορτίου.
- Η μορφή της εξελίξεώς του είναι εκθετική, γρήγορη στην αρχή και ολοένα βραδύτερη, και τείνει ασυμπτωτικά προς κάποια οριακή τιμή.
- Αυξάνεται όσο ελαττώνονται οι διαστάσεις του στοιχείου.
- Εμφανίζεται μικρότερος για τσιμέντα υψηλής αντοχής ή γρήγορης αναπτύξεως της αντοχής.
- Εξαρτάται από το είδος των αδρανών και ειδικότερα από το μέτρο ελαστικότητας αυτών. Αδρανή π.χ. από ψαμμίτη ή βασάλτη δίνουν στο σκυρόδεμα μεγαλύτερο ερπυσμό από όσο τα ασβεστολιθικά αδρανή.
- Ελαττώνεται όσο περισσότερο χοντρόκοκκα είναι τα αδρανή.
- Αυξάνεται όσο αυξάνεται το νερό αναμίξεως. Κατά προσέγγιση μπορούμε να πούμε ότι ο ερπυσμός είναι ανάλογος του τετραγώνου του λόγου νερό/τσιμέντο.
- Εξαρτάται από τις υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυξάνεται όσο ελαττώνεται η σχετική υγρασία.
- Ελαττώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία του σκυροδέματος κατά τη στιγμή της επιβολής του φορτίου.

3.2.13. Το πορώδες.

Πορώδες του σκυροδέματος ονομάζουμε το σύνολο των μικροσκοπικών και μακροσκοπικών κοιλότητων του. Οι κοιλότητες αυτές, που ονομάζονται και πόροι ή κενά, είναι κενές από στερεό υλικό και μπορούν να περιέχουν αέρα ή να είναι γεμάτες νερό.

Μέσα στο σκυρόδεμα διακρίνονται : [1]

- Πόροι των αδρανών υλικών, δηλαδή πόροι των κόκκων των σκύρων και της άμμου.
- Πόροι που δημιουργούνται από τον εγκλεισμό φυσαλίδων από αέρα μέσα στο τσιμεντοκονίαμα.
- Πόροι ή τριχοειδή κενά που δημιουργούνται μέσα στην τσιμεντοκονία μετά την εξάτμιση του νερού που περισεύει.

- Κοιλότητες μεταξύ τσιμεντοκονιάματος και αδρανών, είτε από κακή πρόσφυση μεταξύ τους, είτε λόγω συστολής του τσιμεντοκονιάματος, είτε από το νερό που συγκεντρώνεται στην κάτω κυρίως πλευρά των κόκκων, λόγω της εξιδρώσεως του μίγματος.
- Μακροσκοπικές κοιλότητες που προέρχονται από κακή συμπίκνωση.
- Τριχοειδή κενά δημιουργούμενα μετά τις μικρορηγματώσεις που οφείλονται στις συστολές του τσιμεντοκονιάματος ή και στις εξωτερικές καταπονήσεις.

Για το σκυρόδεμα το ολικό πορώδες κυμαίνεται μεταξύ 8 και 25%. Το πορώδες του σκυροδέματος επηρεάζει κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητές του. Επηρεάζει τη χρόνια συστολή, τον ερπυσμό, την υδαταπορροφητικότητα, την υδατοστεγανότητα, καθώς και την ανθεκτικότητα του υλικού στον παγετό, ως φορέας της υγρής φάσεως, στην οποία κυρίως οφείλονται τα φαινόμενα αυτά. Τέλος, επηρεάζει την αντοχή.

Οι περισσότερες από τις ιδιότητες του σκυροδέματος βελτιώνονται όσο, για το ίδιο ολικό πορώδες, το μέγεθος των πόρων είναι μικρότερο (επομένως το πλήθος των πόρων, για το ίδιο όγκο, μεγαλύτερο), και όσο περισσότερο ομοιόμορφα είναι κατανεμημένο μέσα στο υλικό και το σχήμα τους πλησιάζει το σφαιρικό.

Στη μείωση του πορώδους συντείνουν: [1]

- Η ελάττωση του νερού και επομένως η ελάττωση των πόρων που δημιουργούνται από την εξάτμιση του νερού που περισσεύει.
- Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών που πλησιάζει στην άριστη περιοχή, δηλαδή πυκνότερη δομή των αδρανών.
- Η καλή ποιότητα και καθαρότητα των αδρανών για την καλύτερη προσκόλληση της τσιμεντοκονίας. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα π.χ. έχουν καλύτερη πρόσφυση από όση έχουν τα πυριτικά.
- Η αποτελεσματική συμπίκνωση του νωπού σκυροδέματος.
- Η καλή συντήρηση για την αποφυγή ρηγματώσεων κατά τη διάρκεια της πήξεως.

3.2.14. Υδαταπορροφητικότητα και υδατοπερατότητα.

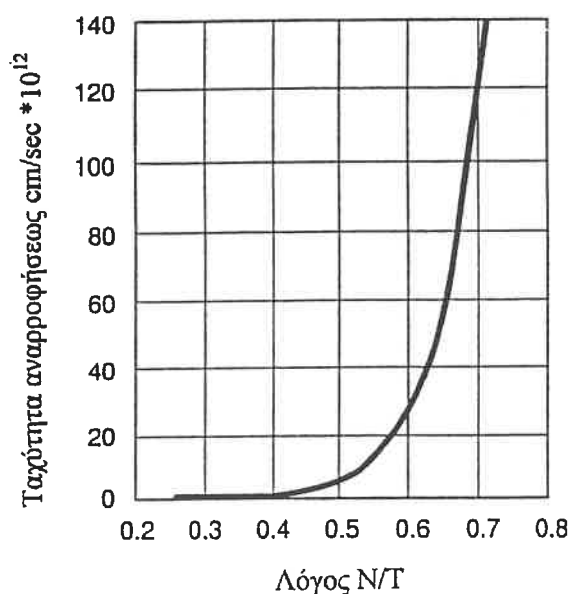
Μέσα από τους πόρους, τις ρωγμές και τα τριχοειδή του σκυροδέματος διέρχεται το νερό του σκυροδέματος. Η ταχύτητα και ποσότητα με την οποία περνάει το νερό δεν εξαρτώνται μόνο από το πλήθος και το σχήμα των διόδων, αλλά και από τις δυνάμεις έλξεως ή απώσεως ανάμεσα στα μόρια του νερού και του σκυροδέματος. Οι δυνάμεις αυτές είναι διαφορετικές στην περίπτωση διελεύσεως άλλου είδους υγρού. [1]

(Α) Ως *υδαταπορροφητικότητα* εννοούμε την ικανότητα που έχει το υλικό να απορροφά ή να αναρροφά νερό χωρίς εξωτερική πίεση. Ορίζεται ως ο λόγος $A = \beta_v / \beta_0$ (βάρους του νερού που απορροφήθηκε προς το βάρος του στεγνού υλικού). Χαρακτηριστική κάθε φορά είναι η ταχύτητα αναρροφήσεως, δηλαδή ο λόγος της ποσότητας του νερού που αναρροφά το υλικό δια του χρόνου και της επιφάνειας, σε $[gr/cm^2 \cdot min]$, ή το βάθος διεισδύσεως, δηλαδή ο λόγος του βάθους στο οποίο εισδύει το νερό δια του χρόνου που χρειάστηκε, σε $[cm/sec]$.

(B) Ως υδατοπερατότητα, εννοούμε την ικανότητα, που έχει το νερό να περνά μέσα από το υλικό, όταν βρίσκεται υπό πίεση. Καθορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας του νερού που περνά δια της επιφάνειας και του χρόνου, για διαφορά πίεσεως 1 mm στήλης υδραργύρου. Την υδατοπερατότητα δια το πάχος του υλικού ονομάζουμε συντελεστή υδραγωγιμότητας ενός υλικού. Πολύ συχνά χρησιμοποιείται το αντίστροφο της υδατοπερατότητας που ονομάζεται *αντίσταση στην υδατοπερατότητα ή υδατοστεγανότητα*.

Για την υδατοστεγανότητα του σκυροδέματος παρατηρείτε ότι: [1]

- Η υδατοστεγανότητα της κονιάς είναι πάρα πολύ μεγάλη, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του Σχ. 3.7. για μικρές τιμές του λόγου N/T πλησιάζει την υδατοστεγανότητα του μαρμάρου.
- Η υδατοστεγανότητα του σκυροδέματος όμως είναι σαφώς κατώτερη. Κυριότερη αιτία της ελαττώσεως της υδατοστεγανότητας του σκυροδέματος θεωρείται η ατελής προσκόλληση του τσιμεντοπολτού επάνω στα αδρανή. Η διέλευση του νερού γίνεται, κατά κύριο λόγο, από τις επιφάνειες των αδρανών και από τα διάκενα που βρίσκονται γύρω από αυτά.
- Δεύτερη κατηγορία διόδων για το νερό αποτελούν τα μακροσκοπικά κενά που δημιουργούνται από την ελλιπή συμπίκνωση, τη μη πλήρωση όλων των κενών μεταξύ των αδρανών από τσιμεντοκονία και από τις φυσαλίδες με αέρα που εγκλωβίζονται μέσα στη μάζα του σκυροδέματος κατά την ανάμιξη.
- Άλλη κατηγορία, τέλος, αποτελούν οι ρηγματώσεις που προέρχονται από τις συστολοδιαστολές του υλικού λόγω της ξηράνσεως, των θερμοκρασιακών μεταβολών ή άλλων αιτιών.



ΣΧΗΜΑ 3.7 Ταχύτητα αναρροφήσεως νερού που παρουσιάζει το τσιμεντοκονίαμα σε συνάρτηση του λόγου N/T .

Για το πορώδες και για την υδαταπορροφητικότητα του σκυροδέματος αναφέρονται οι ακόλουθες τιμές: [1]

Ολικό πορώδες $\rightarrow$ 8 – 25 % και συνηθέστερα 10 – 13 %

Υδαταπορροφητικότητα, κατά βάρος $\rightarrow$ 2 – 9 %

κατά όγκο $\rightarrow$ 4 – 12 %.

Για την αύξηση της υδατοστεγανότητας του σκυροδέματος επιβάλλεται βασικά ο περιορισμός του πορώδους, δηλαδή: καλή κοκκομετρική διαβάθμιση (με περίσσεια λεπτόκοκκου υλικού), περιορισμός του νερού αναμίξεως, καλή πρόσφυση αδρανών – τσιμεντοκονίας, καλή συμπύκνωση και τέλος καλή συντήρηση για την αποφυγή ρηγματώσεων, κατά την πήξη και τις πρώτες ώρες της σκληρύνσεως.

Τα στεγανοποιητικά υλικά που προσθέτονται στη μάζα του σκυροδέματος από τη μια μεριά βελτιώνουν την πλαστικότητα του νωπού σκυροδέματος κι έτσι βοηθούν στην καλύτερη συμπύκνωση με μείωση του νερού αναμίξεως και από την άλλη μεριά αυξάνουν τις υδραπωθητικές ιδιότητες του υλικού. [1]

3.2.15. Θερμοαγωγιμότητα.

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

Το αντίστροφο της θερμικής αγωγιμότητας $k=1/\lambda$ ονομάζεται *συντελεστής θερμικής αντιστάσεως*.

Όσο αφορά τη θερμική αγωγιμότητα έχουν παρατηρηθεί τα ακόλουθα: [1]

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

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

Στις χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά ή κάτω από το μηδέν), από το ένα μέρος επιβραδύνεται υπερβολικά ή και ανακόπτεται τελείως η ενυδάτωση, από το άλλο μέρος δημιουργείται κίνδυνος καταστροφής του κρυσταλλικού ιστού από

την πήξη του νερού που κυκλοφορεί στους πόρους του σκυροδέματος (παγοπληξία).

Στις υψηλές θερμοκρασίες η ενυδάτωση επιταχύνεται υπέρμετρα με αποτέλεσμα μικρότερη τελική αντοχή, και υπάρχει ακόμα κίνδυνος σειράς δυσμενών επιρροών από γρήγορη εξάτμιση του επιφανειακού νερού. Οι κίνδυνοι αυτοί αρχίζουν να εμφανίζονται, πρακτικά, όταν η θερμοκρασία του σκυροδέματος πλησιάζει περίπου τους 30°C.

Για τον υπολογισμό της διακινούμενης θερμότητας πρέπει να λάβουμε υπόψη τη μόνωση του ξυλότυπου που περιβάλλει το σκυρόδεμα, καθώς και τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την ενυδάτωση. [1]

3.2.16. Θερμοδιαστολή.

Το σκυρόδεμα με την επίδραση της θερμότητας παρουσιάζει αύξηση των διαστάσεών του, δηλαδή παθαίνει διαστολή. Η διαστολή ενός υλικού χαρακτηρίζεται από το *συντελεστή θερμοδιαστολής α*, που είναι ο λόγος της επιμηκύνσεως προς το αρχικό μήκος, για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C.

Ο συντελεστής θερμοδιαστολής της τσιμεντοκονίας είναι, γενικά, μεγαλύτερος από αυτόν των αδρανών. Γι' αυτό ο συντελεστής θερμοδιαστολής του σκυροδέματος εξαρτάται από τις αναλογίες συνθέσεως των υλικών του.

Όσο αφορά τη θερμοδιαστολή του σκυροδέματος παρατηρούνται τα εξής: [1]

- Δε διαπιστώθηκε επίδραση της ποιότητας, του είδους του τσιμέντου, καθώς και του βαθμού αλέσεως, στη θερμοδιαστολή.
- Δε διαπιστώθηκε επίδραση της αναλογίας του νερού αναμίξεως.
- Μείωση της ποσότητας του τσιμέντου ελαττώνει τη θερμοδιαστολή του σκυροδέματος, αφού, όπως είδαμε, ο συντελεστής της τσιμεντοκονίας είναι μεγαλύτερος από το συντελεστή των αδρανών.
- Τα ασβεστολιθικά αδρανή έχουν το μικρότερο συντελεστή θερμοδιαστολής. Επομένως σκυροδέματα με διαφορετικά αδρανή από τα ασβεστολιθικά έχουν, κατά κανόνα, μεγαλύτερο συντελεστή.
- Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 850 – 900°C, έχουν διαπιστωθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος (~ 75 %) της θερμοδιαστολής παραμένει ως μόνιμη παραμόρφωση.
- Ο συντελεστής θερμοδιαστολής δεν είναι ανεξάρτητος από τη θερμοκρασία. Έως τους 300° αυξάνεται και από τη θερμοκρασία αυτή αρχίζει να ελαττώνεται.
- Ο συντελεστής θερμοδιαστολής του χάλυβα, για τις συνηθισμένες περιοχές θερμοκρασιών, κυμαίνεται μέσα στα ίδια όρια με το συντελεστή του σκυροδέματος.
- Η θερμοδιαστολή μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλικία του σκυροδέματος.

3.2.17. Απορρόφηση ραδιενεργών ακτινοβολιών.

Άλλη ιδιότητα του σκυροδέματος, της οποίας τελευταία γίνεται χρήση, είναι η ιδιότητα που έχουν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό όλα τα υλικά να

απορροφούν, περισσότερο ή λιγότερο, τις ραδιενεργές ακτινοβολίες. Εφαρμογή της ιδιότητας αυτής γίνεται στην κατασκευή θωρακίσεων σε ατομικούς αντιδραστήρες ή άλλες εγκαταστάσεις που εκπέμπουν ραδιενεργές ακτινοβολίες. Για την απορρόφηση απαιτούνται υλικά με μεγάλο ειδικό βάρος, όπως είναι ο μόλυβδος. Το σκυρόδεμα προσφέρεται απέναντι στο μόλυβδο, για μόνιμες εγκαταστάσεις, λόγω του μικρότερου κόστους, έστω και αν απαιτούνται μεγαλύτερα πάχη.

Οι ακτινοβολίες από τις οποίες επιδιώκεται η προστασία είναι κυρίως οι ακτινοβολίες X, γ και νετρονίων. [1]

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.
5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.

4.1. ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης του όγκου του τσιμεντοπολτού στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος (μέγιστου κόκκου 8mm) κάνοντας χρήση υπερρευστοποιητικού πρόσθετου όπου υπήρχε ανάγκη βελτίωσης της εργασιμότητας του μίγματος.

Είναι γνωστό [1],[9] ότι η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος μεταβάλλεται με τη μεταβολή του λόγου Ν/Τ.

Για την παρασκευή των δοκιμών επιλέχθηκαν πέντε τιμές του λόγου Νεν/Τ : 0.7,0.6,0.5,0.4,0.3. Για κάθε τιμή του λόγου Νεν/Τ παρασκευάστηκαν 4 μίγματα σκυροδέματος με διαφορετική ποσότητα νερού Νεν το καθένα (140, 180, 220 και 260 kg/m³). Από το κάθε μίγμα παρασκευάστηκαν 8 κυβικά δοκίμια ακμής ~ 70 mm τα οποία δοκιμάστηκαν σε θλίψη μετά από 1,2,7, και 28 ημέρες.

Το χρονοδιάγραμμα παρασκευής και δοκιμής σε θλίψη των δοκιμών φαίνεται στον Πίνακα 4.1.

4.2. ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.

Νερό

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή σκυροδέματος ήταν νερό βρύσης (δίκτυο Ε.Μ.Π.).

Τσιμέντο

Χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο τύπου Ι/45.

Αδρανή

Χρησιμοποιήθηκαν θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή Δυτικής Αττικής* (άμμος 0/4mm και ρυζάκι 4/8mm).

Πρόσθετα σκυροδέματος

Χρησιμοποιήθηκαν υπερρευστοποιητικά δύο τύπων: SPL-P (βάσεως ναφθαλενίου) και CHEM 172 (ακρυλικής βάσεως).

Όλα τα υλικά ζυγίστηκαν σε ζυγαριά με ένδειξη 0.1 gr.

* Λατομείο Αναγνωστάκη

Πίνακας 4.1 Χρονοδιάγραμμα παρασκευής και δοκιμής σε θλίψη των δοκιμίων.

<i>N_{εν}/T</i>	<i>N_{εν}</i>	<i>α/α μίσματος</i>	<i>Παρασκευή δοκιμίων</i>	<i>Αρίθμηση δοκιμίων</i>	<i>Δοκιμή σε θλίψη ημερομηνία και ώρα</i>
0,7	140	1	13/5/1999 9:40μμ	1-1, 1-2	14/5/1999 1:30μμ
				1-3, 1-4	15/5/1999
				1-5, 1-6	20/5/1999
				1-7, 1-8	10/6/1999
0,7	180	2	14/5/1999 4:45μμ	2-1, 2-2	15/5/1999 5:00μμ
				2-3, 2-4	16/5/1999
				2-5, 2-6	21/5/1999
				2-7, 2-8	11/6/1999
0,7	220	3	14/5/1999 6:00μμ	3-1, 3-2	15/5/1999 7:00μμ
				3-3, 3-4	16/5/1999
				3-5, 3-6	21/5/1999
				3-7, 3-8	11/6/1999
0,7	260	4	14/5/1999 6:55μμ	4-1, 4-2	15/5/1999 7:05μμ
				4-3, 4-4	16/5/1999
				4-5, 4-6	21/5/1999
				4-7, 4-8	11/6/1999
0,6	140	5	27/4/1999 1:35μμ	5-1, 5-2	28/4/1999 12:00μεσ.
				5-3, 5-4	29/4/1999
				5-5, 5-6	4/5/1999
				5-7, 5-8	25/5/1999
0,6	180	6	29/4/1999 1:50μμ	6-1, 6-2	30/4/1999 3:00μμ
				6-3, 6-4	1/5/1999
				6-5, 6-6	6/5/1999
				6-7, 6-8	27/5/1999
0,6	220	7	29/4/1999 2:45μμ	7-1, 7-2	30/4/1999 3:05μμ
				7-3, 7-4	1/5/1999
				7-5, 7-6	6/5/1999
				7-7, 7-8	29/5/1999
0,6	260	8	29/4/1999 3:35μμ	8-1, 8-2	30/4/1999 3:10μμ
				8-3, 8-4	1/5/1999
				8-5, 8-6	6/5/1999
				8-7, 8-8	29/5/1999
0,5	140	9	4/5/1999 10:15μμ	9-1, 9-2	5/5/1999 11:05μμ
				9-3, 9-4	6/5/1999
				9-5, 9-6	11/5/1999
				9-7, 9-8	1/6/1999
0,5	180	10	4/5/1999 11:05μμ	10-1, 10-2	5/5/1999 11:10μμ
				10-3, 10-4	6/5/1999
				10-5, 10-6	11/5/1999
				10-7, 10-8	1/6/1999

Πίνακας 4.1 Χρονοδιάγραμμα παρασκευής και δοκιμής σε θλίψη των δοκιμίων.

<i>N_{εν}/T</i>	<i>N_{εν}</i>	<i>α/α μίγματος</i>	<i>Παρασκευή δοκιμίων</i>	<i>Αρίθμηση δοκιμίων</i>	<i>Δοκιμή σε θλίψη ημερομηνία και ώρα</i>	
0,5	220	11	4/5/1999 11:45πμ	11-1, 11-2	5/5/1999	11:15πμ
				11-3, 11-4	6/5/1999	
				11-5, 11-6	11/5/1999	
				11-7, 11-8	1/6/1999	
0,5	260	12	6/5/1999 1:10μμ	12-1, 12-2	7/5/1999	1:50μμ
				12-3, 12-4	8/5/1999	
				12-5, 12-6	13/5/1999	
				12-7, 12-8	3/6/1999	
0,4	140	13	5/5/1999 3:00μμ	13-1, 13-2	6/5/1999	4:15μμ
				13-3, 13-4	7/5/1999	
				13-5, 13-6	12/5/1999	
				13-7, 13-8	2/6/1999	
0,4	180	14	5/5/1999 4:05μμ	14-1, 14-2	6/5/1999	4:20μμ
				14-3, 14-4	7/5/1999	
				14-5, 14-6	12/5/1999	
				14-7, 14-8	2/6/1999	
0,4	220	15	6/5/1999 2:10μμ	15-1, 15-2	7/5/1999	1:55μμ
				15-3, 15-4	8/5/1999	
				15-5, 15-6	13/5/1999	
				15-7, 15-8	3/6/1999	
0,4	260	16	6/5/1999 3:00μμ	16-1, 16-2	7/5/1999	2:00μμ
				16-3, 16-4	8/5/1999	
				16-5, 16-6	13/5/1999	
				16-7, 16-8	3/6/1999	
0,3	140	17	5/5/1999 4:40μμ	17-1, 17-2	6/5/1999	4:25μμ
				17-3, 17-4	7/5/1999	
				17-5, 17-6	12/5/1999	
				17-7, 17-8	2/6/1999	
0,3	180	18	11/5/1999 1:30μμ	18-1, 18-2	12/5/1999	1:30μμ
				18-3, 18-4	13/5/1999	
				18-5, 18-6	18/5/1999	
				18-7, 18-8	8/6/1999	
0,3	220	19	11/5/1999 12:00μεσ.	19-1, 19-2	12/5/1999	12:00μεσ.
				19-3, 19-4	13/5/1999	
				19-5, 19-6	18/5/1999	
				19-7, 19-8	8/6/1999	
0,3	260	20	11/5/1999 10:40πμ	20-1, 20-2	12/5/1999	11:20πμ
				20-3, 20-4	13/5/1999	
				20-5, 20-6	18/5/1999	
				20-7, 20-8	8/6/1999	

4.3. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ.

Για την παρασκευή δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν 5 λόγοι Νεν/Τ : 0.7,0.6,0.5,0.4,0.3 όπου ως Νεν (ενεργό ή ελεύθερο νερό) θεωρείται το νερό αναμίξεως (συνολικό νερό) μετά την αφαίρεση του νερού που απορροφήθηκε από τα αδρανή. Για κάθε τιμή του λόγου Νεν/Τ παρασκευάστηκαν 4 μίγματα με Νεν: 140,180,220,260 kgf/m³. Από κάθε μίγμα παρασκευάστηκαν 8 κυβικά δοκίμια ακμής 70mm. Έτσι παρασκευάστηκαν συνολικά 5*4*8 = 160 δοκίμια.

Επειδή το εύρος των λόγων Νεν/Τ και των ποσοτήτων Νεν που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μεγάλο, κρίθηκε απαραίτητο για λόγους οικονομικότητας των μιγμάτων να μεταβληθεί λίγο η κοκκοδιαβάθμιση των αδρανών έτσι ώστε να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά εργασιμότητας, αναπόμικτου και εξίδρωσης του μίγματος και να μειωθεί η ποσότητα του απαιτούμενου πρόσθετου. Έτσι οι διαβαθμίσεις των αδρανών (άμμος 0/4mm και ρυζάκι 4/8mm) των διαφόρων μιγμάτων δεν ήταν σταθερές αλλά κυμάνθηκαν σε μικρού εύρους ζώνες που δίνονται στον Πίνακα 4.2. και στα Σχήματα 4.1(1)-(5).

Οι ποσότητες Τ, Ν, Α, Ρ (τα Α και Ρ είναι ξηρές ποσότητες αδρανών) των υλικών σύνθεσης των μιγμάτων (σε kgf/m³) καθώς και τα ποσοστά της περιεχόμενης άμμου (0/4 mm) Α% και του περιεχόμενου κλάσματος αδρανών διαστάσεων 4/8 mm (ρυζάκι) Ρ%, δίνονται στον Πίνακα 4.3. Ακόμα, χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς της Μελέτης Σύνθεσης τα παρακάτω μεγέθη :

σχετική πυκνότητα σε κορεσμένη και επιφανειακώς στεγνή κατάσταση :

- για την άμμο : $\gamma_A = 2690 \text{ kgf/m}^3$
- για το ρυζάκι : $\gamma_P = 2720 \text{ kgf/m}^3$,

απορρόφηση νερού :

- από την άμμο : $v_A = 1,35\%$
- από το ρυζάκι : $v_P = 0,60\%$,

ειδικό βάρος τσιμέντου : $\gamma_T = 3140 \text{ kgf/m}^3$,

ειδικό βάρος νερού : $\gamma_N = 1000 \text{ kgf/m}^3$,

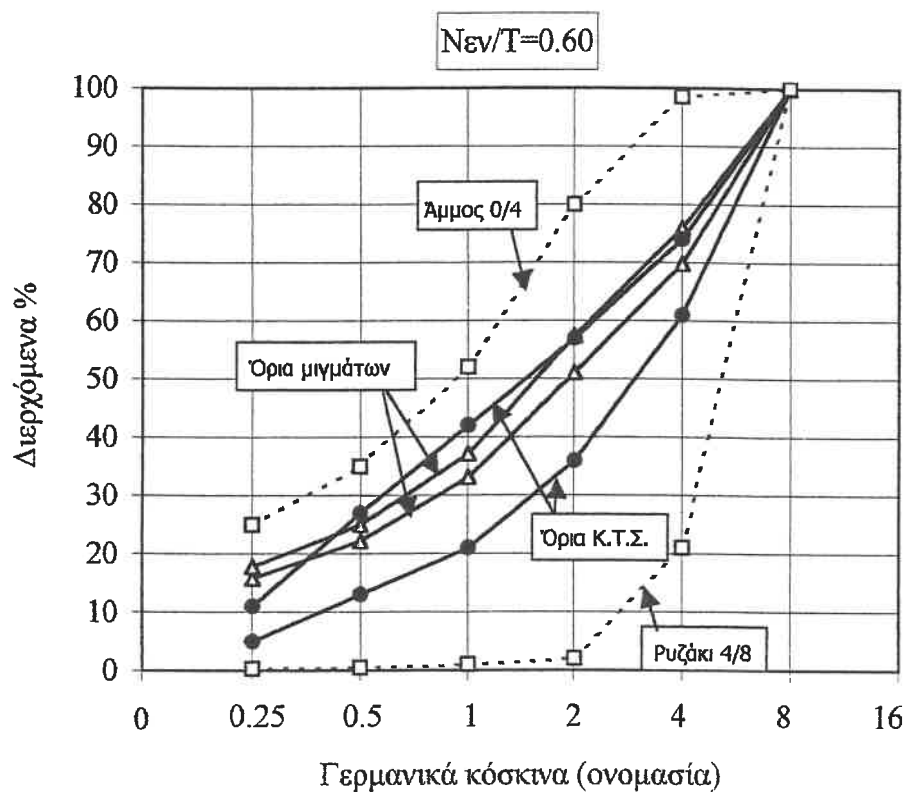
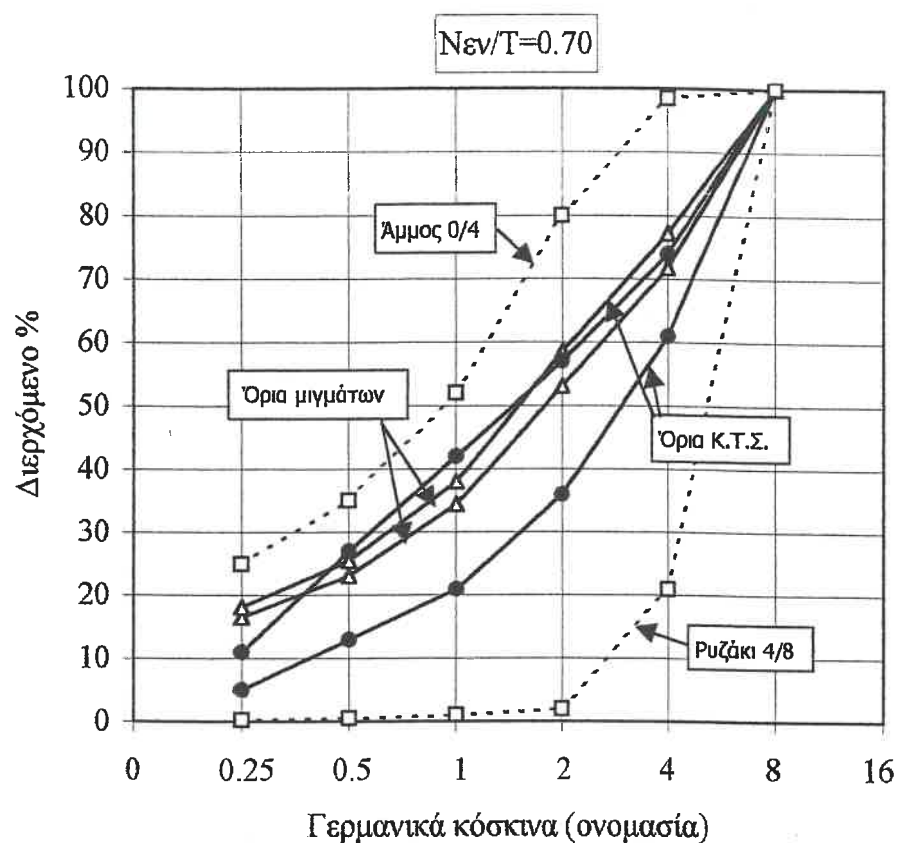
περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε αέρα $\alpha \cong 2\%$.

Η εξίσωση της Μελέτης Σύνθεσης είναι :

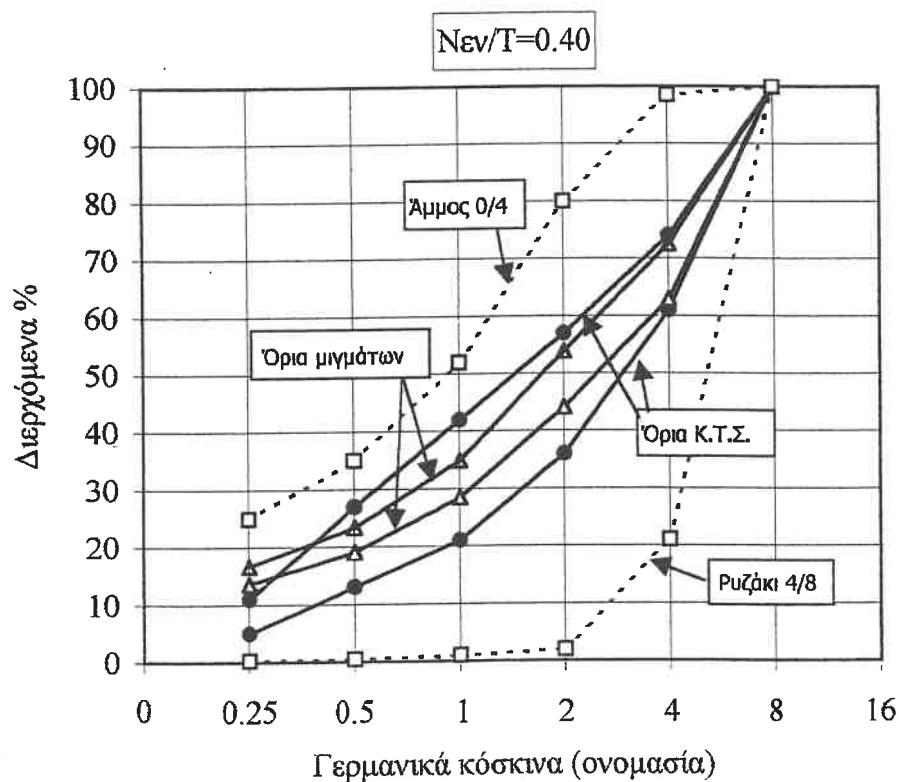
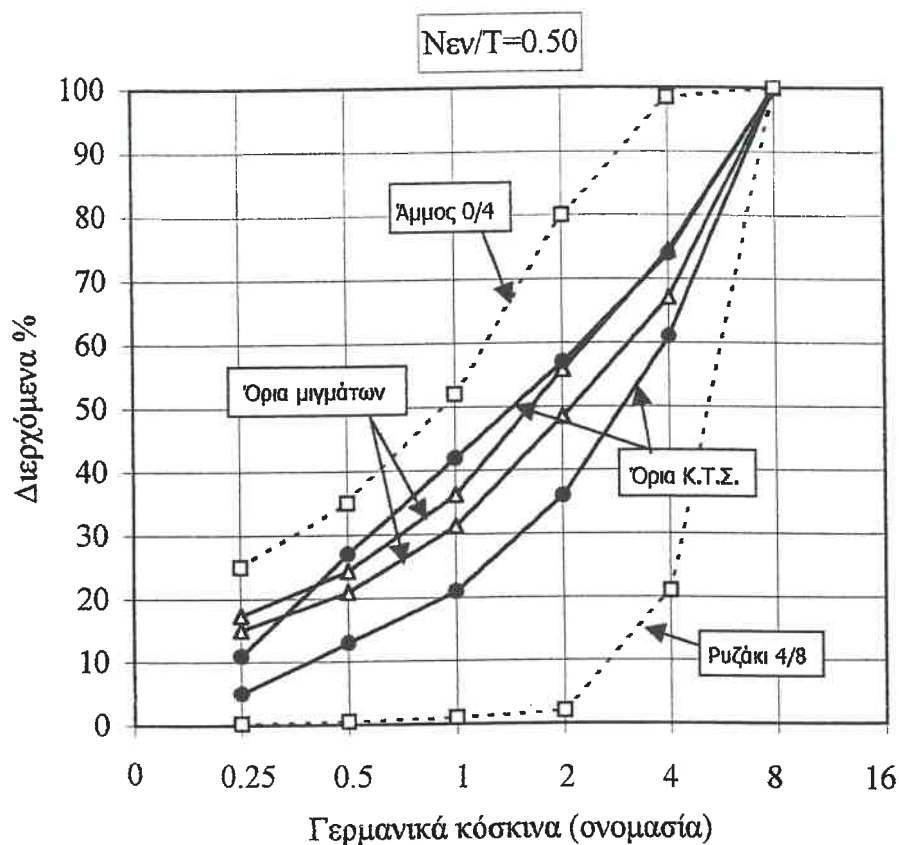
$$T/\gamma_T + N/\gamma_N + [A*(1 + v_A)]/\gamma_A + [P*(1 + v_P)]/\gamma_P + \alpha = 1 \quad [4.3.1]$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των μίγμάτων για κάθε λόγο Νεν/Τ.

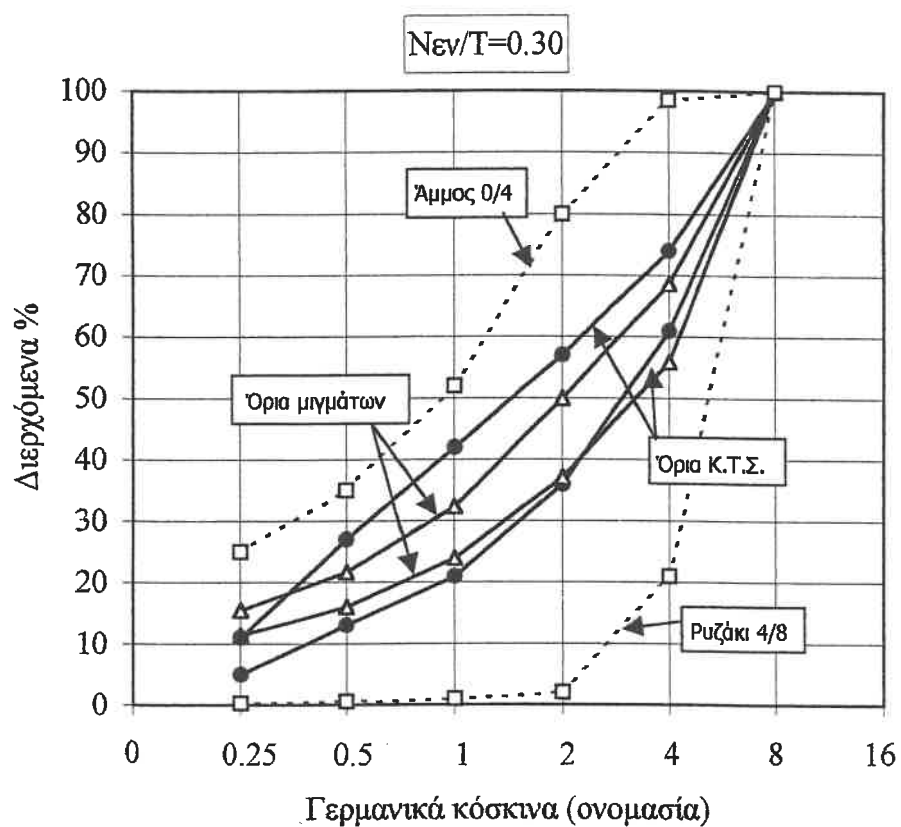
Νεν/Τ	Γερμανικά κόσκινα (ονομασία)	Διερχόμενο ποσοστό %					
		Ρυζάκι 4/8	Κάτω όριο Κ.Τ.Σ.	Κάτω όριο μίγματος	Άνω όριο μίγματος	Άνω όριο Κ.Τ.Σ.	Άμμος 0/4
0,7	0,25	0,25	5	16,5	18,2	11	25
	0,5	0,5	13	23,1	25,5	27	35
	1	1	21	34,4	38	42	52
	2	2	36	53,1	58,6	57	80
	4	21	61	71,8	77,2	74	98,5
	8	100	100	100	100	100	100
0,6	0,25	0,25	5	15,8	17,8	11	25
	0,5	0,5	13	22,2	25	27	35
	1	1	21	33,1	37,2	42	52
	2	2	36	51,1	57,4	57	80
	4	21	61	69,8	76	74	98,5
	8	100	100	100	100	100	100
0,5	0,25	0,25	5	15	17,3	11	25
	0,5	0,5	13	21	24,3	27	35
	1	1	21	31,3	36,2	42	52
	2	2	36	48,4	55,8	57	80
	4	21	61	67,1	74,5	74	98,5
	8	100	100	100	100	100	100
0,4	0,25	0,25	5	13,6	16,7	11	25
	0,5	0,5	13	19,1	23,4	27	35
	1	1	21	28,5	34,9	42	52
	2	2	36	44,1	53,9	57	80
	4	21	61	62,9	72,5	74	98,5
	8	100	100	100	100	100	100
0,3	0,25	0,25	5	11,4	15,5	11	25
	0,5	0,5	13	16	21,7	27	35
	1	1	21	24	32,4	42	52
	2	2	36	37,1	50	57	80
	4	21	61	55,9	68,7	74	98,5
	8	100	100	100	100	100	100



ΣΧΗΜΑΤΑ 4.1.(1) και 4.1.(2) Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των μιγμάτων για λόγο $N_{\text{εν}}/T = 0.70$ και 0.60 , αντίστοιχα.



ΣΧΗΜΑΤΑ 4.1.(3) και 4.1.(4) Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των μιγμάτων για λόγο $N_{εν}/T= 0.50$ και 0.40 , αντίστοιχα.



ΣΧΗΜΑ 4.1.(5) Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των μινιμάτων για λόγο $N_{\text{εν}}/T=0.30$.

Πίνακας 4.3 Ποσότητες των υλικών σύνθεσης των μιγμάτων σε kg/m^3 .

Nεν/T	Nεν	T	A	P	Noλ	A%	P%
	kg/m^3						
0,7	140	200	1541	585	163	72,5	27,5
	180	257	1380	591	201	70	30
	220	314	1234	581	240	68	32
	260	371	1088	573	278	65,5	34,5
0,6	140	233	1489	608	163	71	29
	180	300	1325	609	201	68,5	31,5
	220	367	1160	611	239	65,5	34,5
	260	433	1013	595	277	63	27
0,5	140	280	1420	638	162	69	31
	180	360	1243	640	200	66	34
	220	440	1068	641	238	62,5	37,5
	260	520	913	621	276	59,5	40,5
0,4	140	350	1329	670	161	66,5	33,5
	180	450	1120	687	199	62	38
	220	550	937	678	236	58	42
	260	650	768	655	274	54	46
0,3	140	467	1168	731	160	61,5	38,5
	180	600	940	739	197	56	44
	220	733	737	722	234	50,5	49,5
	260	867	557	681	271	45	55

Επισημαίνεται ότι για την παρασκευή του κάθε μίγματος σκυροδέματος, γίνονται πρώτα τοποθέτηση όλης της ποσότητας των αδρανών και του νερού (Νολ) στον αναμκτήρα και μετά από αναμονή 15 λεπτών γινόταν η προσθήκη του τσιμέντου και η ανάμιξη του μίγματος. Η αναμονή 15 λεπτών γινόταν για να απορροφηθεί το νερό (Νολ-Νεν) από τα αδρανή.

Εκ των υστέρων έγινε μια εργασία για να διερευνηθεί το θέμα του χρόνου παραμονής του νερού με τα αδρανή μέσα στον αναμκτήρα (πριν την ανάμιξή τους με το τσιμέντο), ώστε να βρεθεί κατά πόσο η υγρασία των αδρανών, μετά από 15 λεπτά απορρόφησης νερού, πλησιάζει τη μέγιστη αναμενόμενη (Νολ-Νεν).

Έγιναν δύο ειδών μετρήσεις για τον υπολογισμό των πυκνοτήτων και της υδαταπορρόφησης των αδρανών διαστάσεων 4/8 mm (ρυζάκι) :

- Με εβάπτιση ξηρών αδρανών σε νερό και επανάκτησή τους μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα (μέθοδος του πυκνομέτρου - βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ), υπολογίστηκαν τα παρακάτω μεγέθη :

1. Σχετική πυκνότητα ξηρών αδρανών.
2. Σχετική πυκνότητα αδρανών σε κορεσμένη (μερικώς ή ολικώς)* και επιφανειακώς στεγνή κατάσταση.
3. Φαινόμενη σχετική πυκνότητα αδρανών.
4. Απορρόφηση νερού από τα αδρανή.

Τα παραπάνω μεγέθη μετρήθηκαν για διάφορα χρονικά διαστήματα υδαταπορρόφησης από τα αδρανή (15 λεπτά, 45 λεπτά, 2 ώρες, 4,5 ώρες, 24 ώρες και ~65 ώρες). Τα αποτελέσματα φαίνονται στους Πίνακες 4.4(1)-(8) καθώς και στα Σχήματα 4.2(1)-(4).

- Με εβάπτιση ξηρών αδρανών σε τσιμεντοπολτό (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ) και επανάκτηση των αδρανών μετά από διάφορα χρονικά διαστήματα (15 λεπτά, 45 λεπτά και 2 ώρες), υπολογίστηκε η υδατοαπορρόφηση των αδρανών όταν αυτά βρίσκονται μέσα σε τσιμενοπολτό. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους Πίνακες 4.5(1)-(4).

Επιπλέον, ο Πίνακας 4.6 και το Σχήμα 4.3 βοηθούν στη σύγκριση των αποτελεσμάτων υδαταπορρόφησης των αδρανών μεταξύ της περίπτωσης που αυτά εβαπτίζονται σε νερό και της περίπτωσης που εβαπτίζονται σε τσιμεντοπολτό (για τα κοινά χρονικά διαστήματα εβάπτισης).

* Σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C127 ο όρος κορεσμένα και επιφανειακώς στεγνά αδρανή χρησιμοποιείται όταν τα αδρανή έχουν παραμείνει μέσα σε νερό για χρονικό διάστημα $24 \pm 0,5$ ωρών και είναι και επιφανειακώς στεγνά. Όμως κάποιες μετρήσεις έγιναν για χρονικά διαστήματα μικρότερα από 24 ώρες (15 λεπτά, 45 λεπτά, 2 ώρες, 4,5 ώρες) οπότε μετά την επανάκτησή τους τα αδρανή δεν ήταν κορεσμένα ολικώς αλλά μερικώς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4(1) Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 0,25 h (15 λεπτά).

Ιδιότητες	1.	2.	3.	4.
Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών *	0,025	0,02	0,02	0,25%
Τρίτη 15/2/00	2,638	2,66	2,697	0,85%
Παρασκευή 25/2/00	2,626	2,652	2,696	0,99%
Δευτέρα 28/2/00	2,634	2,657	2,698	0,90%
Μέσος όρος	2,633	2,656	2,697	0,91%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4(2) Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 0,75 h (45 λεπτά).

Ιδιότητες	1.	2.	3.	4.
Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*	0,025	0,02	0,02	0,25%
Τρίτη 15/2/00	2,633	2,657	2,698	0,92%
Παρασκευή 25/2/00	2,637	2,661	2,703	0,93%
Δευτέρα 28/2/00	2,635	2,66	2,703	0,95%
Μέσος όρος	2,635	2,659	2,701	0,93%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4(3) Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 2h.

Ιδιότητες	1.	2.	3.	4.
Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*	0,025	0,02	0,02	0,25%
Τρίτη 15/2/00	2,639	2,661	2,7	0,86%
Παρασκευή 25/2/00	2,626	2,653	2,701	1,06%
Δευτέρα 28/2/00	2,633	2,66	2,705	1,01%
Μέσος όρος	2,633	2,658	2,702	0,98%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4(4) Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 4,5 h.

Ιδιότητες	1.	2.	3.	4.
Παρασκευή 25/2/00	2,639	2,664	2,708	0,97%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4(5) Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 24 h.

Ιδιότητες	1.	2.	3.	4.
Δευτέρα 28/2/00	2,629	2,659	2,71	1,15%

* Επαναληψιμότητα σύμφωνα με ASTM C127.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4(6) Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό ~65 h.

Ιδιότητες	1.	2.	3.	4.
Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*	0,025	0,02	0,02	0,25%
Τρίτη 15/2/00	2,638	2,669	2,723	1,19%
Παρασκευή 25/2/00	2,64	2,669	2,719	1,11%
Μέσος όρος	2,639	2,669	2,721	1,15%

Ο παρακάτω Πίνακας 4.4(7) δημιουργείται από τους μόλις προηγούμενους Πίνακες 4.4.(5) και 4.4(6).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4(7) Αποτελέσματα μεθόδου πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό ≥ 24 h.

Ιδιότητες	1.	2.	3.	4.
Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*	0,025	0,02	0,02	0,25%
Τρίτη 15/2/00	2,638	2,669	2,723	1,19%
Παρασκευή 25/2/00	2,64	2,669	2,719	1,11%
Δευτέρα 28/2/00	2,629	2,659	2,71	1,15%
Μέσος όρος	2,636	2,666	2,717	1,15%

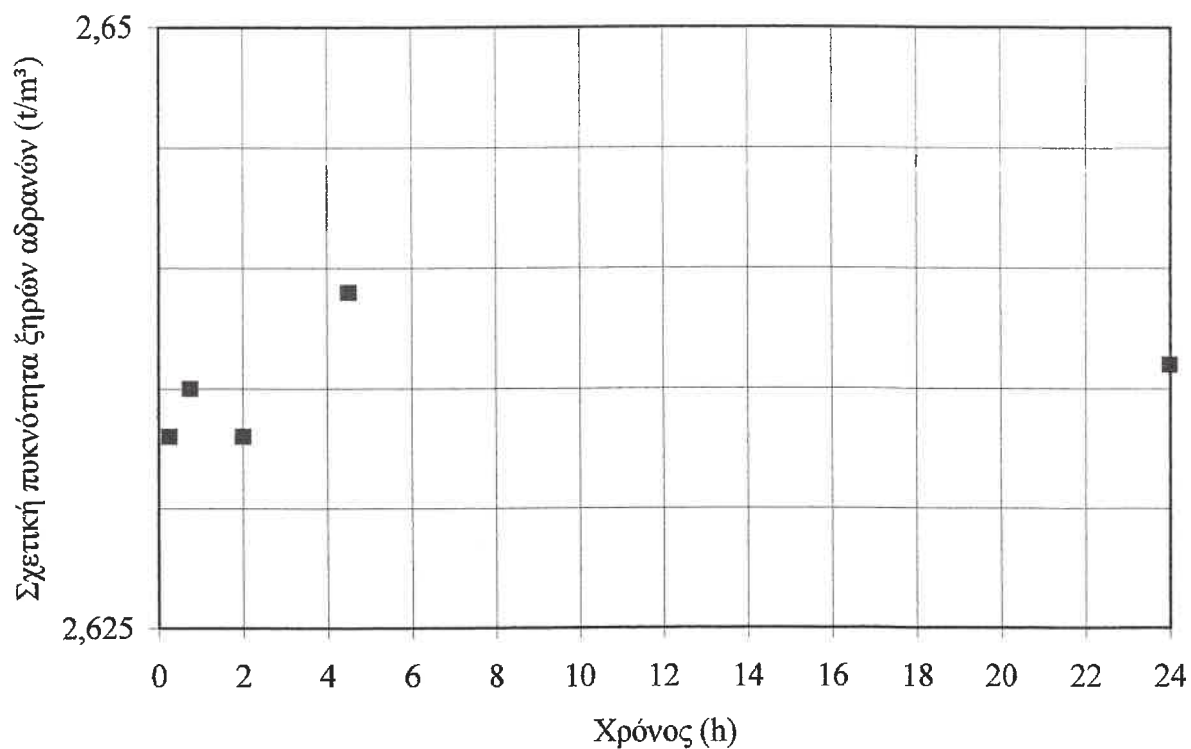
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ :

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι επαναλήψιμα διότι η απόλυτη τιμή της διαφοράς τους ανά δύο δεν υπερβαίνει την τιμή 0,25% (αποδεκτή διακύμανση).

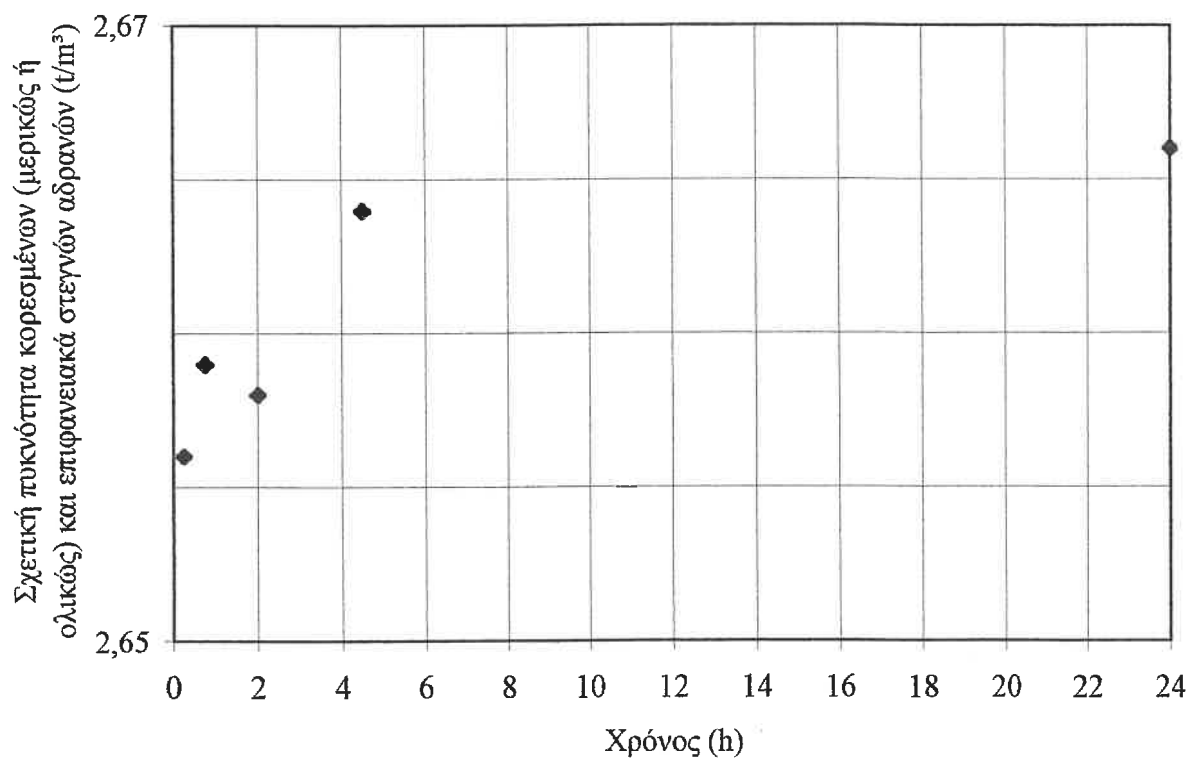
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4(8) Συγκεντρωτικός πίνακας των μέσων όρων των αποτελεσμάτων της μεθόδου πυκνομέτρου.

ΧΡΟΝΟΣ	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ				ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
	1.	2.	3.	4.	
0,25 h	2,633	2,656	2,697	0,91	3
0,75 h	2,635	2,659	2,701	0,93	3
2 h	2,633	2,658	2,702	0,98	3
4,5 h	2,639	2,664	2,708	0,97	1
≥ 24 h	2,636	2,666	2,717	1,15	3

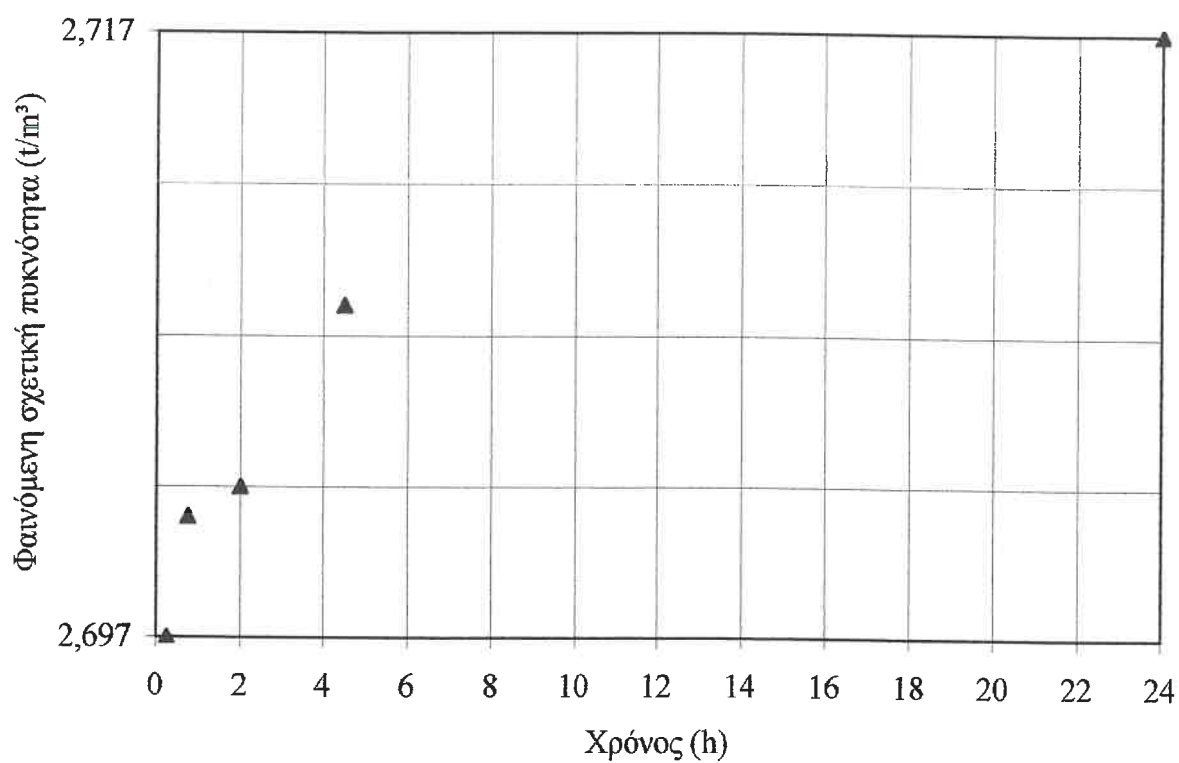
* Επαναληψιμότητα σύμφωνα με ASTM C127.



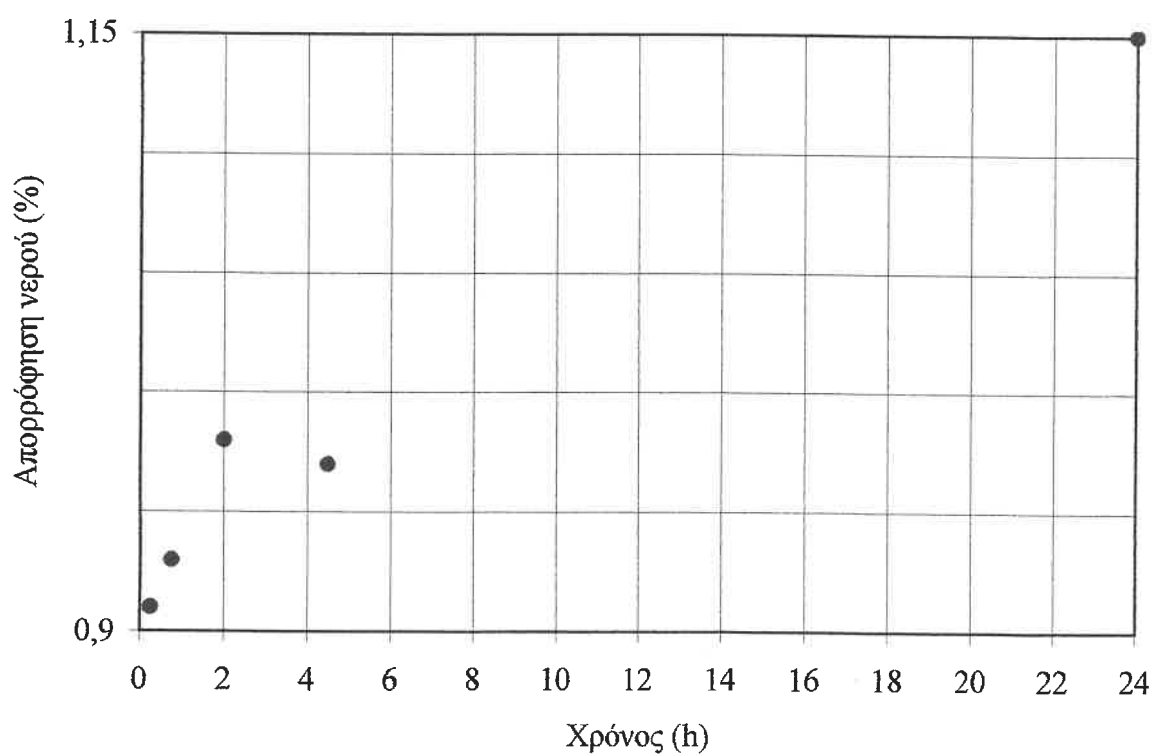
ΣΧΗΜΑ 4.2(1) Σχετική πυκνότητα ξηρών αδρανών σε σχέση με το χρόνο.



ΣΧΗΜΑ 4.2(2) Σχετική πυκνότητα κορεσμένων (μερικώς ή ολικώς) και επιφανειακά στεγνών αδρανών σε σχέση με το χρόνο.



ΣΧΗΜΑ 4.2(3) Φαινόμενη σχετική πυκνότητα αδρανών σε σχέση με το χρόνο.



ΣΧΗΜΑ 4.2(4) Απορρόφηση νερού % από τα αδρανή σε σχέση με το χρόνο.

**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
(ΤΗΣ ΕΒΑΠΤΙΣΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ)**

1. Παρατηρούμε ότι η σχετική πυκνότητα των αδρανών σε κορεσμένη (μερικώς ή ολικώς) και επιφανειακώς στεγνή κατάσταση (μέγεθος 2.) έχει μία μικρή αύξηση με το χρόνο, όπως ήταν αναμενόμενο διότι όσο ο χρόνος εβάπτισης στο νερό πλησιάζει το χρόνο κορεσμού ($24 \pm 0,5$ ώρες) τόσο αυξάνεται η υδαταπορρόφηση νερού από τα αδρανή και άρα τόσο η σχετική πυκνότητα των υγρών αδρανών πλησιάζει την μέγιστη τιμή της (πλήρως κορεσμένη κατάσταση).
2. Η φαινόμενη σχετική πυκνότητα των αδρανών (μέγεθος 3.) αυξάνεται με το χρόνο, όπως ήταν αναμενόμενο (διότι αυξάνει το βάρος του νερού απορρόφησης από τα αδρανή).
3. Η υγρασία απορρόφησης (μέγεθος 4.) αυξάνεται με το χρόνο, όπως ήταν αναμενόμενο.
4. Το πλέον ενδιαφέρον ίσως συμπέρασμα των μετρήσεων με δυνατότητες εφαρμογής στην πράξη είναι ότι για τα ασβεστολιθικά αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν για χρόνο εβάπτισης στο νερό 15 – 45 λεπτών έχουν ήδη απορροφήσει περίπου το 80 % του νερού που απορροφούν όταν μείνουν μέσα στο νερό 24 τουλάχιστον ώρες ($0,91 \% = 0,79 * 1,15 \%$ και $0,93 \% = 0,81 * 1,15 \%$).
5. Τα Σχήματα 4.2(1)-(4) σχετίζονται με τον Πίνακα 4.4(8).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΒΑΠΤΙΣΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟ :**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5(1)** Υδαταπορρόφηση αδρανών σε χρόνο 0,25 h (15 λεπτά).

Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*	0,25%
Πέμπτη 24/2/00	0,80%
Παρασκευή 25/2/00	0,86%
Δευτέρα 28/2/00	0,83%
Μέσος όρος	0,83%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5(2) Υδαταπορρόφηση αδρανών σε χρόνο 0,75 h (45 λεπτά).

Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*	0,25%
Πέμπτη 24/2/00	0,97%
Παρασκευή 25/2/00	1,01%
Δευτέρα 28/2/00	1,02%
Μέσος όρος	1,00%

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5(3) Υδαταπορρόφηση αδρανών σε χρόνο 2 h.

Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*	0,25%
Πέμπτη 24/2/00	1,14%
Παρασκευή 25/2/00	1,09%
Δευτέρα 28/2/00	0,90%
Μέσος όρος	1,04%

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ :

Τα αποτελέσματα είναι επαναλήψιμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5(4) Μέσοι όροι υδαταπορρόφησης αδρανών.

ΧΡΟΝΟΣ (h)	0,25	0,75	2
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ	0,83%	1,00%	1,04%

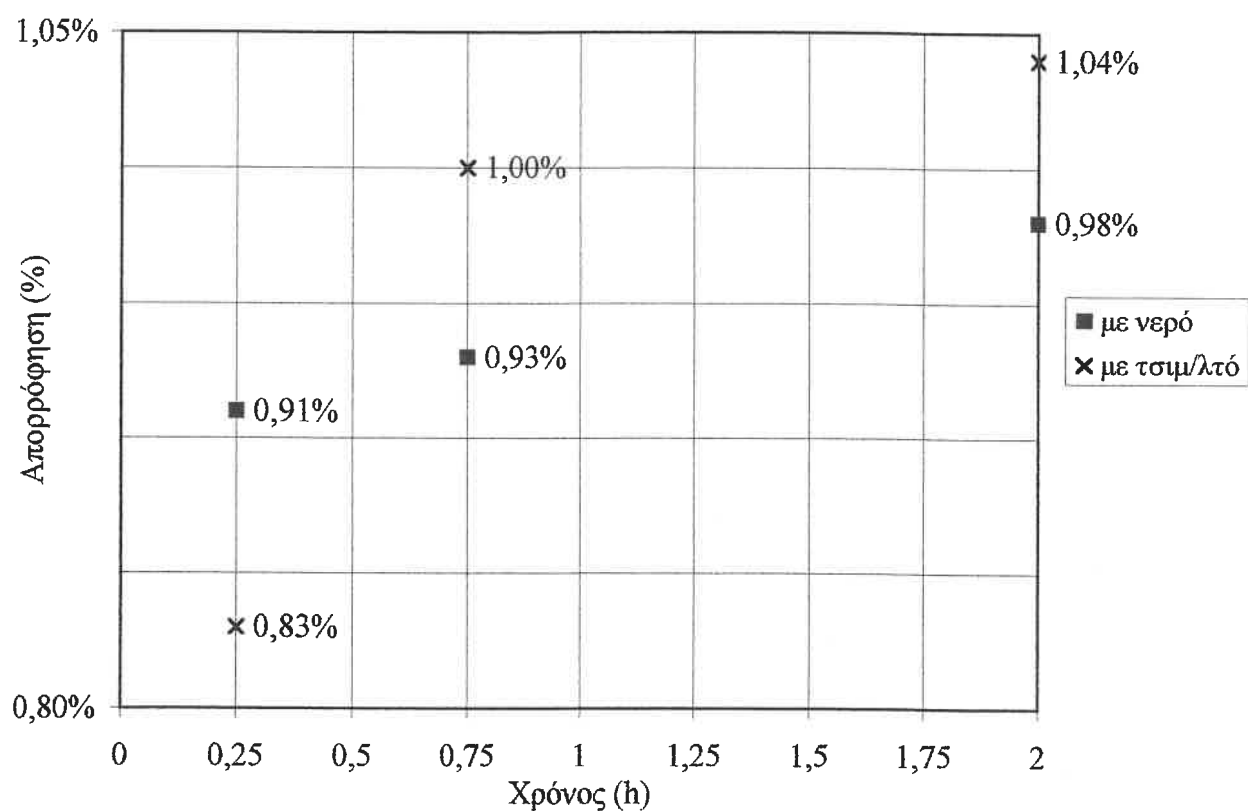
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ :

Αυξάνεται η υγρασία απορρόφησης των αδρανών όσο αυξάνει ο χρόνος παραμονής τους μέσα στον τσιμεντοπολτό, όπως ήταν και αναμενόμενο.

* Επαναληψιμότητα σύμφωνα με ASTM C127.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6 Κοινός πίνακας αποτελεσμάτων υδατοαπορρόφησης αδρανών.

Χρόνος(h)	Αδρανή + νερό	Αδρανή + τσιμεντοπολτός
0,25	0,91%	0,83%
0,75	0,93%	1,00%
2	0,98%	1,04%

**ΣΧΗΜΑ 4.3** Κοινό σχήμα αποτελεσμάτων υδατοαπορρόφησης αδρανών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ (ΤΗΣ ΕΒΑΠΤΙΣΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟ).

1. Από τον Πίνακα 4.6 βλέπουμε ότι ήδη μετά από 2 ώρες εβάπτισης η απορρόφηση νερού κυμαίνεται από 0,98 % (για εβάπτιση σε νερό) μέχρι 1,04 % (για εβάπτιση σε τσιμεντοπολτό), που αποτελεί ποσοστό 85 % με 90 % της απορρόφησης 1,15 % των 24 ωρών ($0,98 \% / 1,15 \% = 0,85$ και $1,04 \% / 1,15 \% = 0,90$). Επομένως, στο χρονικό διάστημα πήξης-σκλήρυνσης του τσιμεντοπολτού (που μπορεί συνήθως να διαρκέσει μέχρι και 16 ώρες) τα αδρανή θα έχουν απορροφήσει σχεδόν όλο το νερό που μπορούν (Ναδρ = Νολ-Νεν).
2. Επίσης από τον Πίνακα 4.6 βλέπουμε ότι ακόμα και μετά τα πρώτα 15 λεπτά εβάπτισης τα αδρανή έχουν ήδη απορρόφηση νερού από 0,83 % (για εβάπτιση σε τσιμεντοπολτό) μέχρι 0,91 % (για εβάπτιση σε νερό), που αποτελεί ποσοστό 79 % με 72 %, αντίστοιχα, της απορρόφησης 1,15 % των 24 ωρών.
3. Επισημαίνεται ότι είτε για χρόνο 15 λεπτών, είτε για 45 λεπτών, είτε για 2 ώρες, οι διαφορές στις μετρούμενες τιμές είναι μέσα στα όρια της επαναληψιμότητας, πράγμα που σημαίνει ότι δεν είναι στατιστικώς σημαντικές.

Τελικά για την παραγωγή των μιγμάτων έγινε χρήση των ποσοτήτων T,N,A,P του Πίνακα 4.3. Αυτές, αντιστοιχούν σε 1m^3 σκυροδέματος. Για την παραγωγή των απαιτούμενων 8 δοκιμών κάθε μίγματος οι ποσότητες T, N, A, P ανήχθησαν στον όγκο των 8 δοκιμών + 2 δοκιμών (για τυχόν απώλειες του παραγόμενου σκυροδέματος). Έτσι ο όγκος του απαιτούμενου μίγματος είναι $(8+2)*7^3\text{cm}^3 = 0.00343\text{m}^3 = 3.43\text{lit} \approx 3.5\text{lit}$, οπότε τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των μιγμάτων (σε gr) είναι αυτά του Πίνακα 4.7.

Η ποσότητα του υπερ-ρευστοποιητή, που χρησιμοποιήθηκε σε ορισμένα μίγματα, υπολογίστηκε σε $[\text{kg}/\text{m}^3]$ και σε ποσοστό % του βάρους του τσιμέντου.

Στις σελίδες 69-88 βρίσκονται οι Πίνακες 4.8(1)-(20) της παραγωγής κάθε μίγματος στο εργαστήριο, στους οποίους εκτός από τι απαιτούμενες ποσότητες των υλικών φαίνονται και στοιχεία από τη διαδικασία της παραγωγής όπως :

- Η πυκνότητα νωπού σκυροδέματος, όπως υπολογίστηκε από τη διαίρεση του καθαρού βάρους δοκιμίου με τον όγκο δοκιμίου. Όμως ο όγκος δοκιμίου δεν ήταν κάθε φορά ακριβώς ο ίδιος γιατί οι μήτρες δεν ήταν ακριβώς των ίδιων διαστάσεων και γιατί μεταβαλλόταν ανάλογα με το πόσο ακριβής είχε γίνει η ισοπέδωση της επάνω επιφάνειας του δοκιμίου με την σπάτουλα. Γι' αυτούς τους λόγους υπολογίστηκε ο όγκος του δοκιμίου παίρνοντας μήκος ακμής 7.00 cm, 7.10 cm και 7.15 cm, όπως κυμαίνονταν οι εσωτερικές ακμές των μητρών. Επομένως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πυκνότητα νωπού σκυροδέματος σε κάθε μίγμα δεν είναι μετρημένη με ακρίβεια. Για να είχε μετρηθεί με ακρίβεια έπρεπε να είχαμε επιπλέον ένα δοχείο ορισμένου όγκου, διαστάσεων και βάρους, το οποίο να γέμιζε κάθε φορά με υλικό από το μίγμα το οποίο είχε χυθεί και συμπυκνωθεί σε ορισμένες στρώσεις με έναν πρότυπο τρόπο.
- Σχολιασμός όσο αφορά την εξάπλωση, εξίδρωση και πλαστιμότητα-συνεκτικότητα του κάθε μίγματος.
- Την αντοχή σε θλίψη όπως μετρήθηκε κατά τη δοκιμή της θραύσης.
- Τέλος, χρήσιμες παρατηρήσεις για την τυχόν ιδιαιτερότητα του κάθε μίγματος (π.χ. τάση για απόμιξη, πολύ δύσκολο εργάσιμο κ.α.).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7 Ποσότητες των υλικών σύνθεσης των μιγμάτων σε gr για 3.5 λίτρα μίγματος.

Nεν/T	Nεν	T	Noλ	A	P
	gr για 3.5 λίτρα μίγματος				
0,7	140	700	570,5	5393,5	2047,5
	180	899,5	703,5	4830	2068,5
	220	1099	840	4319	2033,5
	260	1298,5	973	3808	2005,5
0,6	140	815,5	570,5	5211,5	2128
	180	1050	703,5	4637,5	2131,5
	220	1284,5	836,5	4060	2138,5
	260	1515,5	969,5	3545,5	2082,5
0,5	140	980	567	4970	2233
	180	1260	700	4350,5	2240
	220	1540	833	3738	2243,5
	260	1820	966	3195,5	2173,5
0,4	140	1225	563,5	4651,5	2345
	180	1575	696,5	3920	2404,5
	220	1925	826	3279,5	2373
	260	2275	959	2688	2292,5
0,3	140	1634,5	560	4088	2558,5
	180	2100	689,5	3290	2586,5
	220	2565,5	819	2579,5	2527
	260	3034,5	948,5	1949,5	2383,5

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(1) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 1.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	1
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	13/5/99 (9:40 π.μ.)
<i>N_{εν}/T</i>	0,7
<i>N_{εν} (kgr/m³)</i>	140
<i>N_{ολ} (kgr/m³)</i>	163
<i>T (kgr/m³)</i>	200

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1541	5393,5
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	585	2047,5
<i>T</i>	200	700
<i>N_{ολ}</i>	163	570,5
<i>CHEM 172</i>	10.8 (5,4 % κ.β. T)	37,8
<i>SPL-P</i>	-	-
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2500	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4321,35 (4337,7 , 4359)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5185,05 (5212,6 , 5185,6)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,864

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2519 – 2364

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	Δεν έγινε δοκιμή
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Ναι
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Όχι

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	2,80 (2,71 , 2,88)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	15,66 (15,65 , 15,67)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	27,03 (27,16 , 26,9)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	31,13 (31,73 , 3053)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(2) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 2.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	2
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	14/5/99 (4:45μμ)
<i>N_{εν}/T</i>	0,70
<i>N_{εν} (kgr/m³)</i>	180
<i>N_{ολ} (kgr/m³)</i>	201
<i>T (kgr/m³)</i>	257

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1380	4830
<i>P (ΡΥΖΑΚΙ)</i>	591	2068,5
<i>T</i>	257	899,5
<i>N_{ολ}</i>	201	703,5
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	3,4 (1,32 % κ.β. T)	11,9
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2432	

<i>ΒΑΡΟΣ ΔΙΕΙΛΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4348,4 (4283,2 , 4334,6)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5199,1 (5121,7 , 5173,8)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,851

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2481 – 2328

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	1,5
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Όχι
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Όχι

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	3,92 (4,05 , 3,79)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	13,08 (13,16 , 13)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	24,71 (24,98 , 24,43)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	30,57 (30,98 , 30,16)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(3) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 3.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	3
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	14/5/99 (6:00μμ)
<i>N_{εν}/T</i>	0,70
<i>N_{εν} (kgr/m³)</i>	220
<i>N_{ολ} (kgr/m³)</i>	240
<i>T (kgr/m³)</i>	314

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1234	4319
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	581	2033,5
<i>T</i>	314	1099
<i>N_{ολ}</i>	240	840
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	-	-
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2369	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΔΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4308,9 (4283,2 , 4334,6)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5147,8 (5121,7 , 5173,8)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,839

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2446 – 2295

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	2,5
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Δίγη
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Μέτρια

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	4,75 (5,01 , 4,49)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	12,17 (12 , 12,33)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	23,51 (23,37 , 23,65)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	31,47 (31,96 , 30,97)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(4) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 4.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	4
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	14/5/99 (6:55μμ)
<i>Nεν/T</i>	0,70
<i>Nεν (kgr/m³)</i>	260
<i>Nολ (kgr/m³)</i>	278
<i>T (kgr/m³)</i>	371

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3.5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1088	2808
<i>P (ΡΥΖΑΚΙ)</i>	573	2005,5
<i>T</i>	371	1298
<i>Nολ</i>	278	973
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	-	-
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2310	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	6453,25 (6127,6 , 6778,9)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	7277,45 (7614,2 , 6940,7)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,824

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΙΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2402 – 2254

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	4,5
<i>ΕΞΥΛΡΩΣΗ</i>	Ναι
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Όχι

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	2,65 (2,60 , 2,69)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	8,12 (8,10 , 8,13)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	19,14 (18,82 , 19,45)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	32,43 (33,12 , 31,73)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(5) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 5.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	5
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	27/4/99 (1:35μμ)
<i>N_{εν}/T</i>	0,60
<i>N_{εν} (kgr/m³)</i>	140
<i>N_{ολ} (kgr/m³)</i>	163
<i>T (kgr/m³)</i>	233

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1489	5211
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	608	2128
<i>T</i>	233	815,5
<i>N_{ολ}</i>	163	570,5
<i>CHEM 172</i>	7,86 (3,37 % κ.β. T)	27,5
<i>SPL-P</i>	-	-
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2501	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΔΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5241,5 (6148,5 , 4334,5)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	6098,05 (6992,5 , 5203,6)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,857

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2499 – 2345

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	2,4
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Ναι
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Μέτρια έως κακή

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	7,83 (7,86 , 7,8)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	21,7 (21,5 , 21,9)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	35 (35,2 , 34,8)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	40,55 (42,24 , 38,86)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Ρέον μίγμα, τάση για απόμειξη, όταν μέναι ακίνητο-κατακόρυφος διαχωρισμός.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(6) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 6.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	6
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	29/4/99 (1:50μμ)
<i>N_{εν}/T</i>	0,60
<i>N_{εν} (kgr/m³)</i>	180
<i>N_{ολ} (kgr/m³)</i>	201
<i>T (kgr/m³)</i>	300

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1325	4637,5
<i>P (ΡΥΖΑΚΙ)</i>	609	2131,5
<i>T</i>	300	1050
<i>N_{ολ}</i>	201	703,5
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	4,771 (1,67 % κ.β.Τ)	16,7
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2440	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4308,1 (4333,4 , 4282,8)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5156,55 (5179,6 , 5133,5)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,848

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	<i>0,07 – 0,0715</i>
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	1472 – 2320

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	2,7
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Μικρή
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Καλή

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	12,25 (11,98 , 12,51)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	21,25 (20,88 , 21,16)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	33,74 (33,96 , 33,51)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	39,55 (38,98, 40,12)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(7) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 7.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	7
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	29/4/99 (2:45μμ)
<i>N_{εν}/T</i>	0,60
<i>N_{εν} (kgr/m³)</i>	220
<i>N_{ολ} (kgr/m³)</i>	239
<i>T (kgr/m³)</i>	367

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1160	4060
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	611	2138,5
<i>T</i>	367	1284,5
<i>N_{ολ}</i>	239	836,5
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	1,2 (0,33 % κ.β. T)	4,2
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2378	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4346,95 (4358,6 , 4335,3)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5180,5 (5165,6 , 5195,4)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,834

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2432 – 2282

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	3,2
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Μικρή
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Ναι

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	7,16 (7,09 , 7,22)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	15,5 (15,29 , 15,71)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	32,47 (32,08 , 32,86)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	42,27 (41,37 , 43,16)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(8) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 8

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	8
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	29/4/99 (3:35μμ)
<i>N_{εν}/T</i>	0,60
<i>N_{εν} (kgr/m³)</i>	260
<i>N_{ολ} (kgr/m³)</i>	277
<i>T (kgr/m³)</i>	433

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1013	3545,5
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	595	2082,5
<i>T</i>	433	1515,5
<i>N_{ολ}</i>	277	969,5
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	-	-
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2318	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4358,7
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5179,6
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,821

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2394 – 2246

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	5,2
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Αρκετή
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Μεγάλη

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	4,92 (4,96 , 4,87)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	12,31 (11,98 , 12,63)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	27,26 (27,59 , 26,92)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	39,04 (40,65 , 37,43)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Μίγμα σχεδόν ρέον.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(9) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 9.

<i>a/a</i> ΜΙΓΜΑΤΟΣ	9
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	4/5/99 (10:15μμ)
<i>N_{εν}/T</i>	0,50
<i>N_{εν} (kgr/m³)</i>	140
<i>N_{ολ} (kgr/m³)</i>	162
<i>T (kgr/m³)</i>	280

ΥΛΙΚΑ	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1420	4970
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	638	2233
<i>T</i>	280	980
<i>N_{ολ}</i>	162	568
<i>CHEM 172</i>	4,91 (1,76 % κ.β. T)	17,2
<i>SPL-P</i>	-	-
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (<i>kgr/m³</i>)	2505	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4346,55 (4335,3 , 4357,8)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5217,55 (5202,9 , 5232,2)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,871

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (<i>kgr/m³</i>)	2539 – 2383

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	4
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Μικρή
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Μέτρια

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	21,26 (21,04 , 21,47)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	36,05 (35,43 , 36,67)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	50,84 (50,51 , 51,16)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	57,58 (59,27 , 55,88)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Μίγμα ρέον, πολύ σκληρό στη συμπίκνωση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(10) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 10.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	10
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	4/5/99 (11:05πμ)
<i>Nεν/T</i>	0,50
<i>Nεν (kgr/m³)</i>	180
<i>Nολ (kgr/m³)</i>	200
<i>T (kgr/m³)</i>	360

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1234	4350,5
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	640	2240
<i>T</i>	360	1260
<i>Nολ</i>	200	700
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	4,97 (1,39 % κ.β. T)	17,4
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2448	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΔΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	6177,05 (6178,2 , 6175,9)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	6997,95 (6991,8 , 7004,1)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,821

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	<i>0,07 – 0,0715</i>
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2394 – 2246

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	1,7
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Καθόλου
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Καλή

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	14,69 (14,78 , 14,59)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	28,45 (27,9 , 29)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	44,37 (43,78 , 44,96)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	51,85 (52,12 , 51,57)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(11) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 11.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	11
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	4/5/99 (11:45 _{μμ})
<i>N_{εν}/T</i>	0,50
<i>N_{εν} (kgr/m³)</i>	220
<i>N_{ολ} (kgr/m³)</i>	238
<i>T (kgr/m³)</i>	440

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1068	3738
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	641	2243,5
<i>T</i>	440	1540
<i>N_{ολ}</i>	238	833
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	1,63 (0,37 % κ.β. T)	5,7
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2389	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	6449,95 (6775,2 , 6124)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	7273,4 (7620,2 , 6926,6)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,824

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2402 – 2254

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	1,7
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Καθόλου
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Πολύ καλή

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	9,61 (10,14 , 9,08)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	21,01 (21,43 , 20,59)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	39,06 (38,08 , 40,04)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	51,18 (52,51 , 49,84)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(12) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 12.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	12
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	6/5/99 (1:10 $\mu\mu$)
<i>Nεν/T</i>	0,50
<i>Nεν (kgr/m³)</i>	260
<i>Noλ (kgr/m³)</i>	276
<i>T (kgr/m³)</i>	520

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	913	3195,5
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	621	2173,5
<i>T</i>	520	1820
<i>Noλ</i>	276	966
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	0,63 (0,12 % κ.β. T)	2,2
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2331	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4335,05 (4336,3 , 4333,8)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5170,85 (5167,3 , 5174,4)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,836

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2437 – 2287

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	4,2
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Μικρή
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Καλή

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	8,73 (8,38 , 9,07)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	19,8 (19,67 , 19,92)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	35,95 (36,57 , 35,33)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	50,24 (49,55 , 50,92)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Ρέον μίγμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(13) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 13.

<i>a/a ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	13
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	5/5/99 (3:30μμ)
<i>Nεν/T</i>	0,40
<i>Nεν (kgr/m³)</i>	140
<i>Nολ (kgr/m³)</i>	161
<i>T (kgr/m³)</i>	350

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1329	4651,5
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	670	2345
<i>T</i>	350	1225
<i>Nολ</i>	161	563,5
<i>CHEM 172</i>	7,03 (2 % κ.β. T)	24,6
<i>SPL-P</i>	-	-
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)	2517	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4308 (4333,4 , 4282,6)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5184,4 (5205,5 , 5163,4)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,877

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2557 - 2399

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	5,2
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Μέτρια
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Μέτρια

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	16,61 (16,43 , 16,78)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	41,98 (42,12 , 41,84)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	63,35 (64,84 , 61,86)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	71,66 (69,92 , 73,39)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Ρέον μίγμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(14) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 14.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	14
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	5/5/99 (4:05μμ)
<i>N_{εν}/T</i>	0,40
<i>N_{εν} (kg/m³)</i>	180
<i>N_{ολ} (kg/m³)</i>	199
<i>T (kg/m³)</i>	450

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kg/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1120	3920
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	687	2404,5
<i>T</i>	450	1575
<i>N_{ολ}</i>	199	696,5
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	7,514 (1,67 % κ.β. T)	26,3
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kg/m³)</i>	2464	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4347,1 (4335,7 , 4358,5)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5208,65 (5196,5 , 5220,8)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kg)</i>	0,862

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kg/m³)</i>	2513 – 2358

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	5,6
<i>ΕΞΥΛΡΩΣΗ</i>	Μικρή
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Καλή

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	19,14 (19,16 , 19,12)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	38,31 (38,08 , 38,53)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	57,32 (57,06 , 57,57)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	64,56 (62,90 , 66,22)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Ρέον μίγμα, εύκολο εργάσιμο με το χέρι, πάρα πολύ καλό χαρμάνι.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(15) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 15.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	15
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	6/5/99 (2:10μμ)
<i>Nεν/T</i>	0,40
<i>Nεν (kgr/m³)</i>	220
<i>Nολ (kgr/m³)</i>	236
<i>T (kgr/m³)</i>	550

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	937	3279,5
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	678	2373
<i>T</i>	550	1925
<i>Nολ</i>	236	826
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	4,17 (0,76 % κ.β. T)	14,6
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2405	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4321,05 (4358,8 , 4283,3)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5174,15 (5135,3 , 5213)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,853

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2487 – 2334

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	4,5
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Μικρή
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Μέτρια έως καλή

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	16,04 (16,06 , 16,02)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	33,73 (33,18 , 34,27)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	55,82 (56,84 , 54,8)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	66,39 (66,47 , 66,31)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Σχεδόν ρέον μίγμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(16) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 16.

<i>a/a</i> ΜΙΓΜΑΤΟΣ	16
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	6/5/99 (3:00μμ)
<i>N_{εν}/T</i>	0,40
<i>N_{εν} (kg/m³)</i>	260
<i>N_{ολ} (kg/m³)</i>	274
<i>T (kg/m³)</i>	650

ΥΛΙΚΑ	kg/m ³	gr για 3,5 λίτρα μίγματος
A (ΑΜΜΟΣ)	758	2688
P (ΡΥΖΑΚΙ)	655	2292,5
T	650	2275
Nολ	274	959
CHEM 172	-	-
SPL-P	1,29 (0,2 % κ.β. T)	4,5
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kg/m ³)	2348	

ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)	6451,65 (6777,4 , 6152,9)
ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)	7275,45 (7618,9 , 6932)
ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kg)	0,824

ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)	0,07 – 0,0715
ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kg/m ³)	2402 – 2254

ΚΑΘΙΣΗ (cm)	3,7
ΕΞΥΔΡΩΣΗ	Σχεδόν καθόλου
ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	Καλή

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	(MPa)
1 ΗΜΕΡΑΣ	15,21 (14,8 , 15,61)
2 ΗΜΕΡΩΝ	31,34 (31,84 , 30,84)
7 ΗΜΕΡΩΝ	50,14 (51,18 , 49,1)
28 ΗΜΕΡΩΝ	63,46 (63,47 , 63,45)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Πολύ καλό μίγμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(17) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 17.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	17
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	5/5/99 (4:40μμ)
<i>N_{εν}/T</i>	0,30
<i>N_{εν} (kg/m³)</i>	140
<i>N_{ολ} (kg/m³)</i>	160
<i>T (kg/m³)</i>	467

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kg/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	1168	4088
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	731	2558,5
<i>T</i>	467	1634,5
<i>N_{ολ}</i>	160	560
<i>CHEM 172</i>	8,09 (1,73 % κ.β. T)	28,3
<i>SPL-P</i>	-	-
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kg/m³)</i>	2534	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	6163,78 (6149 , 6178,5)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	7011,7 (6995,3 , 7028,1)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kg)</i>	0,848

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kg/m³)</i>	2472 – 2320

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	6,2
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Μικρή
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Μεγάλη

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	42,59 (42,39 , 42,78)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	68,74 (70,35 , 67,12)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	82,66 (82,61 , 82,71)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	91,25 (91,9 , 90,59)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Ρέον μίγμα, πολύ συνεκτικό, δύσκολο στο χειρισμό με το χέρι.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(18) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 18.

<i>a/a ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	18
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	11/5/99 (1:30μμ)
<i>N_{ew}/T</i>	0,30
<i>N_{ev} (kgr/m³)</i>	180
<i>N_{ol} (kgr/m³)</i>	197
<i>T (kgr/m³)</i>	600

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	940	3290
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	739	2586,5
<i>T</i>	600	2100
<i>N_{ol}</i>	197	689,5
<i>CHEM 172</i>	5,29 (0,53 % κ.β. T)	11,1
<i>SPL-P</i>	-	-
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2481	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	6164,65 (6179,3 , 6150)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	7001,3 (7009 , 6993,6)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,837

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	<i>0,07 – 0,0715</i>
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2440 – 2290

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	1
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Καθόλου
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Κακή

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	34,82 (36,10 , 33,53)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	58,10 (59,02 , 57,18)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	71,25 (71,33 , 71,16)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	81,14 (82,47 , 79,80)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Μίγμα κακό στο χειρισμό με το χέρι, ύφυργο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(19) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 19.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	19
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	11/5/99 (12:00μ.ε.ς.)
<i>Νεν/Τ</i>	0,30
<i>Νεν (kgr/m³)</i>	220
<i>Νολ (kgr/m³)</i>	234
<i>Τ (kgr/m³)</i>	733

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	737	2579,5
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	722	2527
<i>T</i>	733	2565,5
<i>Νολ</i>	234	819
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	11,29 (1,54 % κ.β. Τ)	39,5
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2437	

<i>ΒΑΡΟΣ ΛΙΞΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4347,6 (4336,3 , 4358,9)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5126,35 (5207,9 , 5224,8)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,869

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	0,07 – 0,0715
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2534 – 2377

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	2
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Καθόλου
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Καλή

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	35,74 (36,96 , 34,51)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	52,15 (53,96 , 50,33)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	68,37 (69,84 , 66,9)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	78,93 (78,98 , 78,88)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Πολύ καλό μίγμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8(20) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ 20.

<i>α/α ΜΙΓΜΑΤΟΣ</i>	20
<i>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</i>	11/5/99 (10:40πμ)
<i>Νεν/Τ</i>	0,30
<i>Νεν (kgr/m³)</i>	260
<i>Νολ (kgr/m³)</i>	271
<i>Τ (kgr/m³)</i>	867

<i>ΥΛΙΚΑ</i>	<i>kgr/m³</i>	<i>gr για 3,5 λίτρα μίγματος</i>
<i>A (ΑΜΜΟΣ)</i>	557	1949,5
<i>P (ΠΥΖΑΚΙ)</i>	681	2383,5
<i>Τ</i>	867	3034,5
<i>Νολ</i>	271	948,5
<i>CHEM 172</i>	-	-
<i>SPL-P</i>	5,09 (0,59 % κ.β. Τ)	17,8
<i>ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2381	

<i>ΒΑΡΟΣ ΑΛΕΙΑΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	4309 (4283,9 , 4334,1)
<i>ΒΑΡΟΣ ΓΕΜΑΤΗΣ ΜΗΤΡΑΣ (gr)</i>	5157,35 (5130,7 , 5184)
<i>ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (kgr)</i>	0,848

<i>ΑΚΜΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (m)</i>	<i>0,07 – 0,0715</i>
<i>ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (kgr/m³)</i>	2472 – 2320

<i>ΚΑΘΙΣΗ (cm)</i>	2,5
<i>ΕΞΥΔΡΩΣΗ</i>	Καθόλου
<i>ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ-ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i>	Καλή

<i>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ</i>	<i>(MPa)</i>
<i>1 ΗΜΕΡΑΣ</i>	30,23 (31 , 29,45)
<i>2 ΗΜΕΡΩΝ</i>	49,52 (50,45 , 48,59)
<i>7 ΗΜΕΡΩΝ</i>	65,79 (65,6 , 65,92)
<i>28 ΗΜΕΡΩΝ</i>	74,53 (75,27 , 73,78)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : Πολύ καλό μίγμα.

4.4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.

Για την παρασκευή των 8 δοκιμίων του καθενός από τα 20 μίγματα ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία :

- Ζύγισμα των υλικών T, N_{ολ}, A, P.
- Διαβροχή του αναμικτήρα ώστε να μην απορροφηθεί ποσότητα του νερού από τα αδρανή.
- Τοποθέτηση της ποσότητας του P (ρυζάκι) και μετά της A (άμμος) μέσα στον αναμικτήρα και της ποσότητας του νερού N_{ολ}.
- Μια-δύο αναδεύσεις του αναμικτήρα.
- Αναμονή 15 λεπτών (με το μίγμα σκεπασμένο με το σκέπασμα του αναμικτήρα), ώστε τα αδρανή να απορροφήσουν το μέγιστο νερό που μπορούν. Στο χρόνο της αναμονής αυτής γίνεται ζύγισμα κάποιας ποσότητας υπερρευστοποιητή μέσα σε σύριγγα για τυχόν χρήση του, καθώς και ζύγισμα δύο άδειων καλουπιών.
- Τοποθέτηση του τσιμέντου T.
- Ανάμιξη έως ότου προκύψει ένα ομογενές και καλής εργασιμότητας μίγμα.
- Όταν η εργασιμότητα του μίγματος δεν φαίνονταν επαρκής τότε γινόταν προσθήκη υπερρευστοποιητή και ακολουθούσε ανάμιξη μέχρι να προκύψει μίγμα με επάρκεια στο εργάσιμο. Βέβαια ο χρόνος ανάμιξης έπρεπε να είναι όσο το δυνατό μικρότερος ώστε να μην αυξηθεί ο αέρας μέσα στο μίγμα, πράγμα που θα μείωνε την αντοχή του μίγματος λόγω περισσότερων κενών αέρος.
- Το κριτήριο για την αποδοχή του μίγματος (μετά την προσθήκη του πρόσθετου ή όχι) ήταν να είναι το μίγμα τόσο εργάσιμο ώστε να είναι αποδεκτό στην πράξη για τα συνήθη μέσα συμπύκνωσης και λαμβάνοντας υπόψη την ιδιαιτερότητα της *εργασιμότητας* των μιγμάτων με υπερρευστοποιητικό, όταν χρησιμοποιούνται, (μεγάλο ιξώδες αλλά ρέον μίγμα). Η υποκειμενική αυτή κρίση ελέγχθηκε στο εργαστήριο με την πρόσθετη απαίτηση ότι το μίγμα έπρεπε να συμπυκνώνεται ικανοποιητικά στα κυβικά καλούπια (που προηγουμένως είχαν λαδωθεί ώστε να μην γίνει αποκόλληση τμήματος του δοκιμίου πάνω στα τοιχώματα και στον πάτο του καλουπιού) των δοκιμίων ακμής 70mm σε δύο στρώσεις από 50 ραβδισμούς σε κάθε στρώση με ράβδο τετραγωνικής διατομής πλευράς 5mm. Πριν την παρασκευή των δοκιμίων η εργασιμότητα του μίγματος εκτιμήθηκε με μέτρηση της κάθισης σε μικρό κώνο κάθισης (διάμετρος κάτω βάσης 70mm , άνω βάσης 30mm , ύψος 90mm).
- Μετά το γέμισμα των καλουπιών, με ένα μυστρί ισοπεδώθηκε η ελεύθερη επιφάνειά τους και ζυγίστηκαν τα καλούπια που είχαν ζυγιστεί πριν το γέμισμά τους και έτσι μπορούσε να υπολογιστεί το βάρος του δοκιμίου. Ακόμα, η σύριγγα με το πρόσθετο που είχε απομείνει από την ανάμιξη ζυγίζονταν ώστε να προκύψει (σε gr) η ποσότητα του υπερρευστοποιητή που είχε χρησιμοποιηθεί στο μίγμα.

- Τα καλούπια τοποθετήθηκαν μέσα σε κλειστό ειδικό δωμάτιο (θερμοκρασίας $20 \pm 1^\circ\text{C}$ και σχετικής υγρασίας 98 %), του Εργαστηρίου Οδοποιίας, σε οριζόντια θέση και σκεπάστηκαν με πλαστικά φύλλα. Εκεί παρέμειναν για 16–24 ώρες, ώστε να πήξει και να σκληρυνθεί το σκυρόδεμα μέχρι που να μπορεί να γίνει ξεκαλούπωμα.
- Ξεκαλούπωμα και καθαρισμός μήτρων.
- Αρίθμηση (βλ. Πίνακα 4.1.) και ζύγισμα των δοκιμίων (βλ. Παράρτημα).
- Συντήρηση σε νερό θερμοκρασίας 20°C μέσα σε λεκάνη στο δωμάτιο που προαναφέρθηκε.

5.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΘΡΑΥΣΗΣ.

Τα δοκίμια δοκιμάστηκαν σε θλίψη ανά δύο σε ηλικίες 1, 2, 7 και 28 ημέρες, μετά από μεταφορά τους στο Εργαστήριο της Ενώσεως Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος.

- Πριν από την τοποθέτησή τους στη μηχανή θλίψης (πρέσα), τα δοκίμια ζυγίζονταν (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ), απομακρύνονταν με ειδική ξύστρα τυχόν εξογκώματα από τις ακμές τους (ώστε να είναι επίπεδες οι επιφάνειες φορτίσεως των δοκιμίων), οι οποίες μετά σκουπίζονταν από τα νερά με πεσέτα (ώστε οι συνθήκες τριβής να είναι ίδιες για όλα τα δοκίμια). Τέλος, γινόταν κεντράρισμα του κάθε δοκιμίου πριν την επιβολή του φορτίου (ώστε να μην υπάρχει εκκεντρότητα στη φόρτιση).
- Το φορτίο μετριόταν σε kN και η ταχύτητα φόρτισης ρυθμίζονταν στα 0.98 kN/sec.
- Μετά τη θραύση του κάθε δοκιμίου σημειώνονταν η τελική ένδειξη της μηχανής σε kN που ήταν το φορτίο θραύσης. Τα αποτελέσματα σημειώνονταν και μετά υπολογίζονταν η αντίστοιχη τάση σε MPa.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σύμφωνα με το προηγούμενο κεφάλαιο μετρήθηκε η αντοχή σε θλίψη σκυροδέματος σε σχέση με το λόγο $N_{\text{εν}}/T$ και της ποσότητας του νερού $N_{\text{εν}}$. Ο Πίνακας 5.1 παρουσιάζει τα υλικά της Μελέτης Σύνθεσης των μιγμάτων και τα αποτελέσματα των μετρήσεων αντοχής σε θλίψη σε κάθε ηλικία, για κάθε μίγμα.

5.2. ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Είναι γνωστό [10] ότι η επαναληψιμότητα των κυβικών δοκιμίων σκυροδέματος ακμής 100 mm ή 150 mm είναι 9 %. Αυτό σημαίνει ότι μεταξύ του ζεύγους των τιμών αντοχής δεν πρέπει η διαφορά των τιμών από το μέσο όρο να είναι μεγαλύτερη του 9 %.

$$x < 9 \% * (f_1 + f_2) / 2 \quad [5.2.1]$$

όπου $x = |f_1 - f_2|$ και $f_1, f_2 =$ η αντοχή σε θλίψη (σε MPa) των δύο δοκιμίων που δοκιμάζονταν την ίδια ημέρα και ώρα.

Είναι επίσης γνωστό ότι η μεταβλητότητα των αντοχών αυξάνεται με τη μείωση του όγκου του δοκιμίου, όπως αυτό φαίνεται στα Σχήματα 5.1 και 5.2. [2] Επομένως, είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι η επαναληψιμότητα των δοκιμίων ακμής 70 mm θα πρέπει κανονικά να είναι $>9 \%$. Από τον Πίνακα 5.2 όμως παρατηρείται ότι τα ζεύγη των μετρήσεων στη δοκιμή θλίψης της παρούσας έρευνας διαφέρουν λιγότερο από 9 % των αντίστοιχων μέσων όρων πλιν μιας περιπτώσεως όπου η διαφορά είναι 12,2 %.

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι η παρασκευή και η θραύση των δοκιμίων είχαν ικανοποιητική επαναληψιμότητα.

5.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι μετρήσεις αντοχής σε θλίψη συνδυάστηκαν με διάφορους τρόπους ώστε να φανεί η επίδραση :

- του λόγου N/T
- της ηλικίας
- του όγκου του τσιμεντοπολτού (και του όγκου των αδρανών %)

5.3.1. Επίδραση του όγκου του τσιμεντοπολτού (ανά m^3 μίγματος) στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος

(Α) Για διάφορους λόγους $N_{\text{εν}}/T$:

Στον Πίνακα 5.3 και στα Σχήματα 5.3(1)-(5) και 5.4(1)-(5) παρουσιάζεται η σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας τσιμεντοπολτού ($N_{\text{εν}}+T+N_{\text{ρευστ}}$) και ($N_{\text{εν}}+T+N_{\text{ρευστ}}$), αντίστοιχα, ανά m^3 μίγματος για λόγους $N_{\text{εν}}/T=0,70-0,30$.

Είναι φανερό ότι για τον ίδιο λόγο $N_{\text{εν}}/T$ η αντοχή ελαττώνεται όσο η ποσότητα του τσιμεντοπολτού αυξάνει (εξαιρέσεις σ' αυτήν τη συμπεριφορά υπάρχουν στην ηλικία της μιας ημέρας και οφείλονται στις μεγάλες δόσεις υπερρευστοποιητικού προσθέτου που χρησιμοποιήθηκαν σε ορισμένα μίγματα με την επιβραδυντική δράση τους σε μικρή ηλικία). Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να αποδοθούν στο ότι :

- όσο το ποσοστό κατ' όγκο των αδρανών αυξάνει (μειώνεται ο τσιμεντοπολτός) τόσο οι ρωγμές που σχηματίζονται κατά τη θραύση του υλικού αναγκάζονται να έχουν μεγαλύτερο συνολικό μήκος επειδή κατά τη διάδοσή τους πρέπει να παρακάμψουν περισσότερα αδρανή (και λιγότερο τσιμεντοπολτό).
- λόγω του πολύ μεγαλύτερου μέτρου ελαστικότητας των αδρανών σε σχέση με αυτό του τσιμεντοπολτού, κατά τη φόρτιση του σκυροδέματος υπάρχει συγκέντρωση τάσεων στις διεπιφάνειες μεταξύ τσιμεντοπολτού και αδρανών, το μέγεθος των οποίων αλλοιώνεται ανάλογα με την ποσότητα τσιμεντοπολτού και αδρανών. Πιθανόν η αλλοίωση αυτή να συμβάλλει στην μείωση των απολύτων τιμών των τάσεων όσο αυξάνεται η ποσότητα των αδρανών, λόγω της μείωσης των αποστάσεων μεταξύ των αδρανών.

(Β) Για διάφορες ηλικίες (1, 2, 7 και 28 ημερών) :

Στον Πίνακα 5.4 και στα Σχήματα 5.5(1)-(4) παρουσιάζεται η σχέση αντοχής σε θλίψη και όγκου αδρανών (ποσότητα αδρανών % κ. β. $1m^3$ μίγματος) για ηλικίες 1, 2, 7 και 28 ημερών.

Παρατηρείται ότι υπάρχει γενικά μια αύξηση της αντοχής σε θλίψη του σκυροδέματος (πότε περισσότερο και πότε λιγότερο εμφανής ανάλογα με την ηλικία και το λόγο $N_{\text{εν}}/T$) καθώς αυξάνεται το ποσοστό των αδρανών μέσα στο μίγμα (από 45 % μέχρι 80 %). Και πιο συγκεκριμένα :

- Για ηλικία 28 ημερών, για μικρούς λόγους $N_{\text{εν}}/T$ (0,30 – 0,50) έχουμε γενικά μια αύξηση της αντοχής όσο το ποσοστό των αδρανών μέσα στο μίγμα αυξάνεται, αντίθετα για μεγάλους λόγους $N_{\text{εν}}/T$ (0,60 – 0,70) δεν παρατηρείται ουσιώδης μεταβολή της αντοχής.
- Για μικρότερες ηλικίες, 2-7 ημερών, παρατηρείται αύξηση της αντοχής όσο το ποσοστό των αδρανών μέσα στο μίγμα αυξάνεται ακόμα και για μεγάλους λόγους $N_{\text{εν}}/T$ (0,60-0,70) αλλά η αύξηση αυτή είναι πιο εμφανής στις 2 ημέρες και λιγότερο εμφανής στις 7 ημέρες (και γίνεται ασήμαντη στις 28 ημέρες).
- Για την αντοχή της ηλικίας 1 ημέρας δεν είναι δυνατόν να βγούμε αξιόπιστα αποτελέσματα διότι η επίδραση της καθυστέρησης ανάπτυξης αντοχής που προκαλούν οι μεγάλες δόσεις των υπερ-ρευστοποιητικών προσθέτων επισκιάζουν τα αποτελέσματα.

Από άλλες έρευνες [6], [9] επίδρασης της περιεκτικότητας αδρανών στην αντοχή του σκυροδέματος για μια δεδομένη ποιότητα τσιμεντοπολτού ($N_{\text{εν}}/T=0,50$) προκύπτει ότι, όταν ο όγκος των αδρανών (ως ποσοστό % του συνολικού όγκου) αυξάνεται από το 0 στο 20 %, υπάρχει μια σταδιακή μείωση στην αντοχή σε θλίψη, αλλά μεταξύ 40 και 80 % υπάρχει μια αύξηση. Το διάγραμμα αυτής της συμπεριφοράς φαίνεται στο Σχήμα 5.6. Οι λόγοι γι' αυτήν την επίδραση δεν είναι ξεκάθαροι, αλλά αυτό γίνεται και για διάφορους λόγους N/T . Αυτές οι επιδράσεις είναι μικρότερες στους κύβους παρά στους κυλίνδρους ή στα πρίσματα. Επομένως, ο λόγος της αντοχής κυλίνδρου προς την αντοχή κύβου μειώνεται όσο ο όγκος των αδρανών αυξάνεται από το 0 μέχρι το 40 %. Η εξήγηση έγκειται προφανώς στην μεγαλύτερη επίδραση των αδρανών στην διάταξη των ρωγμών όταν η επίδραση των μεταλλικών πλακών θλίψεως δεν είναι έντονη (αυτό συμβαίνει στους κυλίνδρους όπου η παρεμπόδιση της πλευρικής παραμόρφωσης είναι μικρότερη από ότι στους κύβους λόγω μεγαλύτερου λόγου ύψος /διάμετρο σε σχέση με τον λόγο ύψος /ακμή, αντίστοιχα). [9]

Επομένως, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συμφωνούν με τις προηγούμενες έρευνες ([6], [9]).

5.3.2. Επίδραση του λόγου N/T στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος, για ηλικίες 1, 2, 7 και 28 ημερών.

Στον Πίνακα 5.5 και στα Σχήματα 5.7(1)-(4) και 5.8(1)-(4) παρουσιάζεται η σχέση του λόγου $(N_{\text{εν}}+N_{\text{ρευστ}})/T$ και $(N_{\text{ολ}}+N_{\text{ρευστ}})/T$, αντίστοιχα, στην αντοχή του σκυροδέματος για ηλικίες 1, 2, 7 και 28 ημερών.

Είναι φανερό ότι για την ίδια ηλικία η αντοχή μειώνεται όσο ο λόγος N/T αυξάνεται και ότι για κάθε ποσότητα νερού ($N_{\text{εν}}$) ακολουθείται διαφορετική σχέση “ N/T – αντοχής”. Μεγαλύτερη αντοχή δίνουν οι συνθέσεις με μικρότερες ποσότητες $N_{\text{εν}}$.

Οι διαφορές των αντοχών είναι μεγαλύτερες για ακραίες ποσότητες νερού (140 kg/m^3 σε σχέση με 260 kg/m^3) ενώ για τις συνήθεις ποσότητες ($180\text{-}220 \text{ kg/m}^3$) οι διαφορές είναι σχετικώς μικρές για μικρές ηλικίες (1 και 2 ημερών), γίνονται ακόμα μικρότερες για ηλικία 7 ημερών και σχεδόν ασήμαντες για

ηλικία 28 ημερών. Αυτό ήταν αναμενόμενο γιατί στις ακραίες περιπτώσεις (140 kgf/m^3 και 260 kgf/m^3) διαφοροποιείται σημαντικά η περιεκτικότητα του μίγματος σε αδρανή, ενώ για τις συνήθεις ποσότητες νερού (180 και 220 kgf/m^3) η περιεκτικότητα σε αδρανή δεν αλλάζει τόσο ώστε να επηρεάσει σημαντικά την αντοχή.

Για την ηλικία των 28 ημερών παρατηρείται επίσης ότι οι διαφορές είναι μεγαλύτερες για μικρούς λόγους N/T και γίνονται σχεδόν ασήμαντες για $N/T > 0,65$. Για μικρότερες όμως ηλικίες δεν παρατηρείται μείωση της διαφοράς με την αύξηση του λόγου N/T .

Από άλλες γνωστές Μελέτες που έχουν γίνει από διάφορους ερευνητές [9] έχει προκύψει το συμπέρασμα ότι ο λόγος αδρανών/τσιμέντο, είναι δευτερεύων παράγοντας στην αντοχή του σκυροδέματος αλλά βρέθηκε ότι για σταθερό λόγο N/T , όσο πιο ισχνό σε τσιμέντο είναι το σκυρόδεμα τόσο η αντοχή είναι μεγαλύτερη (βλ. Σχήμα 5.9). Οι αιτίες αυτής της συμπεριφοράς δεν είναι ξεκάθαρες διότι σε πολλές έρευνες δεν είναι απολύτως γνωστό εάν ο λόγος N/T που αναφέρεται, αφορά το συνολικό ή το ενεργό νερό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μέρος του νερού μπορεί να έχει απορροφηθεί από τα αδρανή – μεγαλύτερο ποσό αδρανών απορροφάει μεγαλύτερη ποσότητα νερού – γι' αυτό ο ενεργός λόγος N/T μειώνεται. Σε άλλες περιπτώσεις, η υψηλότερη περιεκτικότητα σε αδρανή οδηγεί σε μικρότερη συστολή και μικρότερη εξίδρωση, και επομένως σε μικρότερη καταστροφή του δεσμού μεταξύ των αδρανών και του τσιμεντοπολτού. Παρομοίως, οι θερμικές μεταβολές που προκλήθηκαν από τη θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου θα είναι μικρότερες. Η πιο πιθανή εξήγηση, ωστόσο έγκειται στο γεγονός ότι η συνολική περιεκτικότητα νερού στο κυβικό μέτρο σκυροδέματος είναι μικρότερη σε ένα ισχνό μίγμα, παρά σε ένα πιο πλούσιο σε τσιμέντο. Επομένως σε ένα ισχνό μίγμα, τα κενά σχηματίζουν ένα μικρότερο κλάσμα του συνολικού όγκου του σκυροδέματος και είναι αυτά τα κενά που επηρεάζουν δυσμενώς την αντοχή.

5.3.3. Επίδραση της μεταβατικής ζώνης σκυροδέματος στην συμπεριφορά του σκυροδέματος.

(Α) Θεωρία Μεταβατικής Ζώνης :

Εάν θεωρηθεί ότι ο τσιμεντοπολτός είναι το μέσον διασποράς στο οποίο διασκορπισμένοι οι κόκκοι της άμμου και των μεγαλύτερων αδρανών (γαρμπίλι, χαλίκι, ρυζάκι), είναι δυνατόν να γίνει διάκριση στις ιδιότητες ενός υμένα μικρού πάχους από τσιμεντοπολτό που περιβάλλει τα αδρανή από τις ιδιότητες της υπόλοιπης μάζας του τσιμεντοπολτού που βρίσκεται μακριά από τα αδρανή. [8]

Αρχικά στο νωπό σκυρόδεμα υπάρχει ένας υμένας νερού που περιβάλλει τους κόκκους των αδρανών. Το γεγονός αυτό επεξηγεί τον μεγαλύτερο λόγο N/T που βρίσκεται στην περιοχή γύρω από τα μεγάλα αδρανή από το λόγο N/T που βρίσκεται μακριά από αυτά. Επιπλέον, τα προϊόντα ενυδάτωσης στη γειτονιά των κόκκων των αδρανών έχουν μεγαλύτερο πορώδες από ότι μακριά

από αυτών. Οι κρύσταλλοι του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ παίρνουν ορισμένο προσανατολισμό. Ο κόκκοι C-S-H (ένυδρες πυριτικές ενώσεις του Ca) έχουν αρχικά αραιή δομή, αλλά με την πρόοδο της ενυδάτωσης η δομή τους πυκνώνει. [8]. Γενικά όμως η δομή της μεταβατικής ζώνης είναι λιγότερο πυκνή και μικρότερης αντοχής από τη δομή της μάζας του τσιμεντοπολτού μακριά των αδρανών. Μια διαγραμματική παρουσίαση της μεταβατικής αυτής ζώνης φαίνεται [8] στα Σχήματα 5.10(1)-(2).

Η αντοχή σε συνάφεια μεταξύ των προϊόντων ενυδάτωσης και των αδρανών αποδίδεται κατά τον κύριο λόγο σε ελκτικές δυνάμεις van der Waals και επομένως το μέγεθός της εξαρτάται από τον όγκο και το μέγεθος των περιεχόμενων κενών. Ακόμα και για περιπτώσεις σκυροδεμάτων με μικρό λόγο N/T σε μικρή ηλικία, η αντοχή της μεταβατικής ζώνης είναι μικρότερη από την αντοχή της ζώνης (μάζας) μακράν των αδρανών. Σε μεγαλύτερη ηλικία η αντοχή της μεταβατικής ζώνης αυξάνει και είναι δυνατόν σε ορισμένες περιπτώσεις να πλησιάζει ή ακόμα και να υπερβαίνει την αντοχή της μάζας του τσιμεντοπολτού. Αυτό είναι δυνατόν να γίνει σε περιπτώσεις που η φύση των αδρανών ή η χρήση ορισμένων προσμίκτων συντελούν στη δημιουργία προσθέτων προϊόντων ενυδάτωσης [δημιουργία αργιλοανθρακικών ένυδρων ενώσεων σε περιπτώσεις ορισμένων ασβεστολιθικών αδρανών ή δημιουργία ένυδρων πυριτικών ενώσεων του Ca σε περιπτώσεις πυριτικών αδρανών ή δημιουργία ποζολανικών αντιδράσεων μεταξύ ποζολανών όπως η πυριτική παιπάλη (microsilica)]. Εκτός από τα μεγάλα κενά και την προσανατολισμένη διάταξη των κρυστάλλων του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ένας πρόσθετος λόγος μειωμένης αντοχής της μεταβατικής ζώνης μπορεί να αποδοθεί στην ύπαρξη μικρορωγμών στην περιοχή αυτή, οι οποίες δημιουργούνται από ασυμβατότητα παραμορφώσεων μεταξύ του τσιμεντοπολτού που ενυδατώνεται και συρρικνούνται και των αδρανών που δεν παρουσιάζουν μεταβολή όγκου. Είναι προφανές ότι ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων όπως μέγεθος αδρανών, μέτρο ελαστικότητας, καθαρότητα επιφάνειας αδρανών, εξίδρωση, θερμοκρασιακές μεταβολές κ.λ.π. επηρεάζουν τον αριθμό και το μέγεθος των μικρορωγμών αυτών. [8]

Η μεταβατική επομένως ζώνη, ανάλογα με την αντοχή της, που συνήθως είναι μικρότερη από την αντοχή της μάζας τσιμεντοπολτού, επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά του σκυροδέματος και αποτελεί τα ασθενή σημεία του σκυροδέματος.

Η ύπαρξη αυτής της μεταβατικής ζώνης μπορεί να δώσει εξήγηση σε πολλά φαινόμενα συμπεριφοράς του σκυροδέματος, όπως τα παρακάτω: [8]

- Το σκυρόδεμα είναι ψαθυρό σε εφελκυσμό αλλά σχετικά ανθεκτικό σε θλίψη.
- Τα συστατικά του σκυροδέματος όταν δοκιμάζονται ξεχωριστά σε μονοαξονική θλίψη παραμένουν ελαστικά πριν τη θραύση, ενώ το σκυρόδεμα μοναχό του δείχνει ανελαστική συμπεριφορά.
- Η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από την αντοχή σε εφελκυσμό κατά μία τάξη μεγέθους.
- Για δεδομένα λόγο N/T και ηλικία ενυδάτωσης, το τσιμεντοκονίαμα πάντα θα είναι μεγαλύτερης αντοχής από το αντίστοιχο σκυρόδεμα. Επίσης, η

αντοχή του σκυροδέματος μειώνεται όσο το μέγεθος των χοντρών αδρανών μεγαλώνει.

- Η διαπερατότητα ενός σκυροδέματος που περιέχει ακόμα και ένα πολύ πυκνό αδρανές μπορεί να γίνει μικρότερη κατά μία τάξη μεγέθους από τη διαπερατότητα του αντίστοιχου τσιμεντοπολτού.

(B) Υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας των αδρανών που ισούται με την επιφάνεια της μεταβατικής ζώνης και προσπάθεια συσχέτισης της επιφάνειας της μεταβατικής ζώνης στο κυβικό μέτρο μίγματος σκυροδέματος με την αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος :

Ειδική επιφάνεια αδρανών = συνολική επιφάνεια των κόκκων των αδρανών (m^2) ανά kg βάρους αυτών =

$$O = \sum O_i = (a_f / \rho_k) * \sum [(1/d_{mi}) * (a_i/100)], \text{ σε } m^2/kg \quad [5.3.3.1]$$

Όπου :

- O_i = η ειδική επιφάνεια (m^2/kg) για την ομάδα κόκκων i .
- $a_f = 15$ (συντελεστής εξαρτώμενος απ' την μορφή των κόκκων)
- $\rho_k = 2700 \text{ kg}/m^3$ (φαινόμενη πυκνότητα των αδρανών)
- $d_{mi} = d_o * d_u$ (d_o = κάτω όριο μεγέθους μιας ομάδας κόκκων και d_u = άνω όριο μεγέθους μιας ομάδας κόκκων).
- a_i = το μεταξύ d_o , d_u συγκρατούμενο ποσοστό κόκκων.

$$\text{Ονομάζω } \sum [(1/d_{mi}) * (a_i/100)] = M$$

Οι Πίνακες 5.6(1)-(20) δείχνουν τον υπολογισμό του μεγέθους M της σχέσης [5.3.3.1.], για $N_{ev}/T=0,70 - 0,30$ και $N_{ev}=140 - 260 \text{ kg}/m^3$. Όπου :

- $F_i = 1/2 * 100 * [\log(10*d_u) + \log(10*d_o)]$
- $F = \sum (a_i/100) * F_i$
- A_i = η απαίτηση σε νερό (kg/dm^3) για την ομάδα κόκκων i .
- $A = \sum [(a_i/100) * A_i]$

Από τους Πίνακες αυτούς προκύπτει ο Πίνακας – 5.7 – υπολογισμού της συνολικής επιφάνειας E αδρανών ανά κυβικό μέτρο μίγματος. Όπου :

$$E = (\text{ειδική επιφάνεια αδρανών ανά } m^3 \text{ μίγματος}) * (\text{βάρος αδρανών στο } m^3 \text{ μίγματος}) = O * (A + P).$$

O = η ειδική επιφάνεια αδρανών για κάθε μίγμα (σε m^2/kg),

A , P = οι ποσότητες των αδρανών (άμμος και ρυζάκι) ανά m^3 μίγματος (σε kg).

Τα Σχήματα 5.11 και 5.12 παρουσιάζουν διαγραμματικά τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.7. Από το Σχήμα 5.12 φαίνεται ότι όσο αυξάνεται ο τσιμεντοπολτός μειώνεται η συνολική επιφάνεια των αδρανών και επομένως μειώνεται και η συνολική επιφάνεια της μεταβατικής ζώνης και επομένως και ο συνολικός της όγκος. Δεδομένου ότι η μεταβατική ζώνη αποτελεί ασθενές σημείο του σκυροδέματος είναι αναμενόμενο να παρουσιάζεται αύξηση της αντοχής με την μείωση του όγκου της μεταβατικής ζώνης, δηλαδή με την αύξηση του συνολικού όγκου του τσιμεντοπολτού, πράγμα που δεν παρατηρείται στα

Σχήματα 5.3(1)-(5), στα οποία παρατηρείται το αντίθετο ακριβώς φαινόμενο. Η διαφορά αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι η επίδραση στην αντοχή άλλων παραγόντων όπως π.χ. του μέσου πάχους τσιμεντοπολτού (απόσταση μεταξύ των αδρανών) είναι μεγαλύτερη απ' ότι εκείνη της μεταβατικής ζώνης.

5.3.4. Επίδραση της ποσότητας Νεν στους λόγους αντοχής σκυροδέματος 2/28 και 7/28 ημερών.

Στον Πίνακα 5.8 και στα Σχήματα 5.13(1)-(2) παρουσιάζεται η μεταβολή των λόγων αντοχής 2 και 7 ημερών προς την αντοχή 28 ημερών σε σχέση με την ποσότητα του Νεν.

Είναι φανερό ότι για τον ίδιο λόγο Νεν/Τ, οι λόγοι των αντοχών f_2/f_{28} , f_7/f_{28} επηρεάζονται από την ποσότητα του Νεν και επομένως και από την ποσότητα του τσιμέντου. Λιγότερο επηρεάζονται για μικρές τιμές Ν/Τ ενώ για Ν/Τ >0,50 η επιρροή είναι σημαντική. Γενικά βέβαια παρατηρείται μείωση των λόγων f_2/f_{28} και f_7/f_{28} όσο αυξάνεται το Νεν. Δεν παρουσιάζεται σχέση f_1/f_{28} διότι κρίθηκε ότι οι σχετικά μεγάλες δόσεις υπερ-ρευστοποιητικού προσθέτου που χρησιμοποιήθηκαν σε ορισμένα μίγματα με την επιβραδυντική δράση τους σε μικρή ηλικία, σε συνδυασμό με την πρακτική αδυναμία της δοκιμής θλίψεως σε ακριβώς 24 ώρες, καθιστούν το λόγο αυτόν λιγότερο αξιόπιστο.

5.4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

► Εκτός από την αύξηση της αντοχής όσο μειώνεται ο λόγος N/T και την αύξηση της αντοχής με την αύξηση της ηλικίας, τα οποία ήταν αναμενόμενα και γνωστά, το κυριότερο συμπέρασμα που βγαίνει από την παρούσα έρευνα είναι ότι για τον ίδιο λόγο $N_{\text{εν}}/T$ η αντοχή ελαττώνεται όσο αυξάνεται η ποσότητα του τσιμεντοπολτού και μάλιστα η ελάττωση αυτή γίνεται εντονότερη όσο ο λόγος $N_{\text{εν}}/T$ γίνεται μικρότερος. Εξαιρέσεις σ' αυτήν τη συμπεριφορά υπάρχουν στην ηλικία της μιας ημέρας που αποδίδονται στις μεγάλες δόσεις υπερ-ρευστοποιητικού προσθέτου που χρησιμοποιήθηκαν σε ορισμένα μίγματα με την επιβραδυντική δράση τους σε μικρή ηλικία.

► Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με τη βοήθεια του λόγου N/T μπορεί να γίνεται με ασφάλεια (δηλαδή αυτή η εκτίμηση θα συμφωνεί με τα έως τώρα αποτελέσματα ερευνών) όταν οι αναλογίες νερού είναι οι συνήθεις ($\sim 180\text{-}220 \text{ kg/m}^3$) άρα και τσιμέντου.

► Δεδομένου ότι τα αδρανή μετά από 2 ώρες εβάπτισης, είτε σε νερό είτε σε τσιμεντοπολτό, απορρόφησαν το 85-90% της ποσότητας που θα απορροφούσαν εάν έμεναν εβαπτισμένα για πάνω από 24 ώρες, το πλέον ενδιαφέρον συμπέρασμα των μετρήσεων υδαταπορρόφησης ασβεστολιθικών αδρανών με δυνατότητες εφαρμογής στην πράξη, είναι ότι όσο αφορά την παραγωγή σκυροδέματος, στο χρονικό διάστημα πήξης-σκλήρυνσης του τσιμεντοπολτού, τα ξηρά αδρανή θα έχουν απορροφήσει σχεδόν όλη την ποσότητα νερού που τους αναλογεί από την Μελέτη Σύνθεσης ($N_{\text{αδρ}} = N_{\text{ολ-Νεν}}$). Επιπλέον, δείχθηκε ότι η υδαταπορρόφηση των αδρανών κατά την πήξη του σκυροδέματος δεν εμποδίζεται από την παρουσία του τσιμεντοπολτού που τα περιβάλλει.

► Δεν βγαίνει συμπέρασμα για την επίδραση της μεταβατικής ζώνης στην αντοχή του σκυροδέματος (για τα μεγέθη αδρανών που εξετάσαμε – μέχρι 8 mm), πράγμα που θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός ότι η επίδραση της μεταβατικής ζώνης στην αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρότερη απ' ό,τι η επίδραση άλλων παραγόντων όπως π.χ. του μέσου πάχους του τσιμεντοπολτού (απόσταση μεταξύ των αδρανών).

5.5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

► Θα μπορούσε να επαναληφθεί η παρούσα έρευνα και να επεκταθεί – συμπληρωθεί ως εξής :

► Να γίνει για μεγαλύτερο μέγιστο κόκκο αδρανών (π.χ. 20 mm /25 mm /31 mm).

► Να γίνει για μεγαλύτερο αριθμό δοκιμών (π.χ. 6 αντί για 2), ώστε να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια και δυνατότητα στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων.

► Να γίνει ακριβής προσδιορισμός της πυκνότητας νωπού σκυροδέματος (με μέτρηση του καθαρού βάρους μέσα σε δοχείο ορισμένου όγκου, διαστάσεων και βάρους, το οποίο να γεμίζει κάθε φορά με υλικό από το μίγμα το οποίο έχει διαστρωθεί και συμπυκνωθεί σε ορισμένες στρώσεις με έναν πρότυπο τρόπο), καθώς και μέτρηση, με ειδική συσκευή, του αέρα που περιέχεται στο κάθε μίγμα σκυροδέματος.

► Στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν εξετάστηκε η επίδραση του όγκου του τσιμεντοπολτού στην αντοχή σε ανθεκτικότητα του σκυροδέματος, όσο αφορά τη διαπερατότητά του (συνθήκες περιβάλλοντος). Προτείνεται λοιπόν, η διερεύνηση της επιρροής του όγκου του τσιμεντοπολτού, για τον ίδιο λόγο N/T, στη διαπερατότητα του σκυροδέματος και η συσχέτιση διαπερατότητας και αντοχής σκυροδέματος.

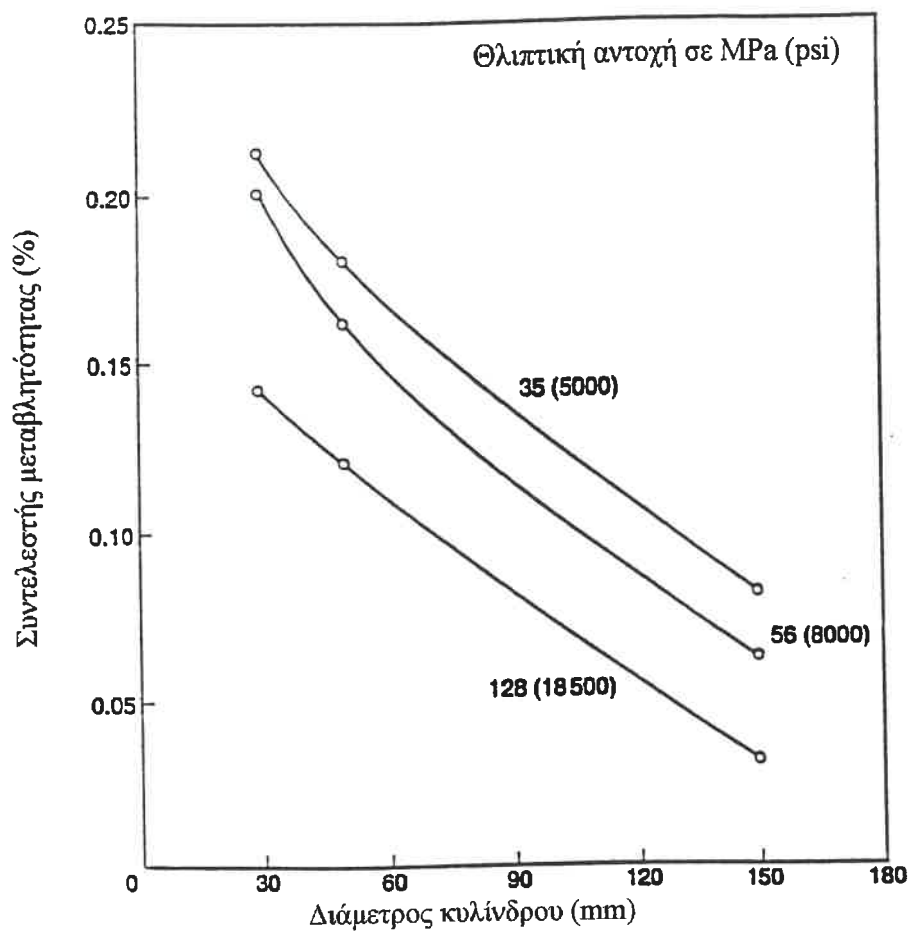
► Συσχέτιση του μέσου πάχους του τσιμεντοπολτού με την αντοχή του σκυροδέματος.

► Προτείνεται η διερεύνηση της επίδραση της μεταβατικής ζώνης στην αντοχή του σκυροδέματος με χρήση μιγμάτων με πρόσμικτα, που συντελούν στη δημιουργία ένυδρων προϊόντων ενυδάτωσης (όπως π.χ. microsilica), ώστε να βρεθεί κάποια διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων των αντοχών σε μεγάλες ηλικίες σε σχέση με τα αποτελέσματα των μιγμάτων χωρίς τα πρόσμικτα αυτά.

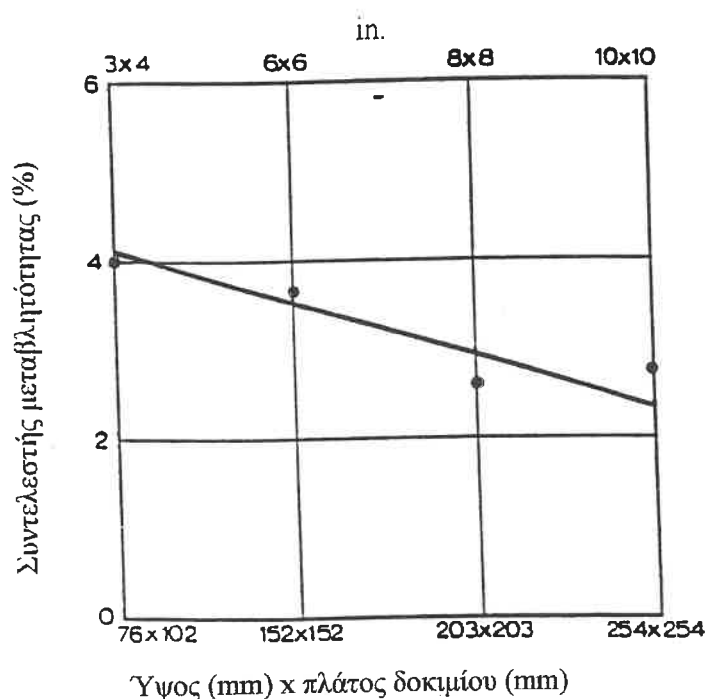
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 Υλικά Μελέτης Σύνθεσης και Αποτελέσματα των Μετρήσεων αντοχής σε θλίψη.

Nεν/T	Nεν (kgf/m ³)	T (kgf/m ²)	Nολ (kgf/m ³)	Άμμος (kgf/m ³)	Ρυζάκι (kgf/m ³)	Υπερ/της % κ.β. T		Κάθισι (cm) *	Αντοχές (MPa)			
						SPL-P	CHEM 172		1	2	7	28
0,7	140	200	163	1541	585		5,4		2,8	15,7	27	31,1
	180	257	201	1380	591	1,32		1,5	3,9	13,1	24,7	30,6
	220	314	240	1234	581			2,5	4,8	12,2	23,5	31,5
	260	371	277,5	1088	573			4,5	2,7	8,1	19,1	32,4
0,6	140	233	163	1489	608		3,37	2,4	7,8	21,7	35	40,6
	180	300	201	1288	592	1,6		2,7	12,2	21,3	33,7	39,6
	220	367	239	1126	593	0,33		3,2	7,2	15,5	32,5	42,3
	260	433	277	986	579			5,2	4,9	12,2	27,3	39
0,5	140	280	162	1383	621		1,76	4	21,3	36,1	50,8	57,6
	180	360	200	1211	624	1,39		2	14,7	28,5	44,4	51,9
	220	440	238	1038	623	0,37		2,2	9,6	21	39,1	51,2
	260	520	276	889	605	0,12		4,2	8,7	19,8	36	50,2
0,4	140	350	161	1292	651		2	5,2	16,6	42	63,4	71,7
	180	450	199	1087	666	1,67		5,6	19,1	38,3	57,3	64,6
	220	550	236	910	659	0,76		4,5	16	33,7	55,8	66,4
	260	650	274	750	639	0,2		3,7	15,2	31,3	50,1	63,5
0,3	140	467	160	1135	710		1,73	6,2	42,6	68,7	82,7	91,3
	180	600	197	915	719		0,53	2	34,8	58,1	71,3	81,1
	220	733	234	717	703	1,54		2,9	35,7	52,2	68,4	78,9
	260	867	271	540	659	0,59		2,5	30,2	49,5	65,8	74,5

* μετρούμενη με ειδικό κόνο κάθισις



ΣΧΗΜΑ 5.1 : Συντελεστής μεταβλητότητας δοκιμής μονοαξονικού εφελκυσμού κυλίνδρων σκυροδέματος συναρτήσει της διαμέτρου.



ΣΧΗΜΑ 5.2 : Συντελεστής μεταβλητότητας δοκιμής κάμψης σε δοκάρια διαφόρων διαστάσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης ανά ζεύγη (f_1, f_2)

0.7/140	f_1	f_2	f_1-f_2	$9\%(f_1+f_2)/2$
1day	2,71	2,88	-0,17	0,25
2days	15,65	15,67	-0,02	1,41
7days	27,16	26,9	0,26	2,43
28days	31,73	30,53	1,2	2,80
0.7/180				
1day	4,05	3,79	0,26	0,35
2days	13,16	13	0,16	1,18
7days	24,98	24,43	0,55	2,22
28days	30,98	30,16	0,82	2,75
0.7/220				
1day	5,01	4,49	0,52	0,43
2days	12	12,33	-0,33	1,09
7days	23,37	23,65	-0,28	2,12
28days	31,96	30,97	0,99	2,83
0.7/260				
1day	2,6	2,69	-0,09	0,24
2days	8,1	8,13	-0,03	0,73
7days	18,82	19,45	-0,63	1,72
28days	33,12	31,73	1,39	2,92

0.6/140	f_1	f_2	f_1-f_2	$9\%(f_1+f_2)/2$
1day	7,86	7,8	0,06	0,70
2days	21,5	21,9	-0,4	1,95
7days	35,2	34,8	0,4	3,15
28days	42,24	38,86	3,38	3,65
0.6/180				
1day	11,98	12,51	-0,53	1,10
2days	20,88	21,61	-0,73	1,91
7days	33,96	33,51	0,45	3,04
28days	38,98	40,12	-1,14	3,56
0.6/220				
1day	7,09	7,22	-0,13	0,64
2days	15,29	15,71	-0,42	1,40
7days	32,08	32,86	-0,78	2,92
28days	41,37	43,16	-1,79	3,80
0.6/260				
1day	4,96	4,87	0,09	0,44
2days	11,98	12,63	-0,65	1,11
7days	27,59	26,92	0,67	2,45
28days	40,65	37,43	3,22	3,51

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης ανά ζεύγη (f_1, f_2)

0.5/140	f_1	f_2	f_1-f_2	$9\%(f_1+f_2)/2$
1day	21,04	21,47	-0,43	1,91
2days	35,43	36,67	-1,24	3,24
7days	50,51	51,16	-0,65	4,58
28days	59,27	55,88	3,39	5,18
0.5/180				
1day	14,78	14,59	0,19	1,32
2days	27,9	29	-1,1	2,56
7days	43,78	44,96	-1,18	3,99
28days	52,12	51,57	0,55	4,67
0.5/220				
1day	10,14	9,08	1,06	0,86
2days	21,43	20,59	0,84	1,89
7days	38,08	40,04	-1,96	3,52
28days	52,51	49,84	2,67	4,61
0.5/260				
1day	8,38	9,07	-0,69	0,79
2days	19,67	19,92	-0,25	1,78
7days	36,57	35,33	1,24	3,24
28days	49,55	50,92	-1,37	4,52

0.4/140	f_1	f_2	f_1-f_2	$9\%(f_1+f_2)/2$
1day	16,43	16,78	-0,35	1,49
2days	42,12	41,84	0,28	3,78
7days	64,84	61,86	2,98	5,70
28days	69,92	73,39	-3,47	6,45
0.4/180				
1day	19,16	19,12	0,04	1,72
2days	38,08	38,53	-0,45	3,45
7days	57,06	57,57	-0,51	5,16
28days	62,9	66,22	-3,32	5,81
0.4/220				
1day	16,06	16,02	0,04	1,44
2days	33,18	34,27	-1,09	3,04
7days	56,84	54,8	2,04	5,02
28days	66,47	66,31	0,16	5,98
0.4/260				
1day	14,8	15,61	-0,81	1,37
2days	31,84	30,84	1	2,82
7days	51,18	49,1	2,08	4,51
28days	63,47	63,45	0,02	5,71

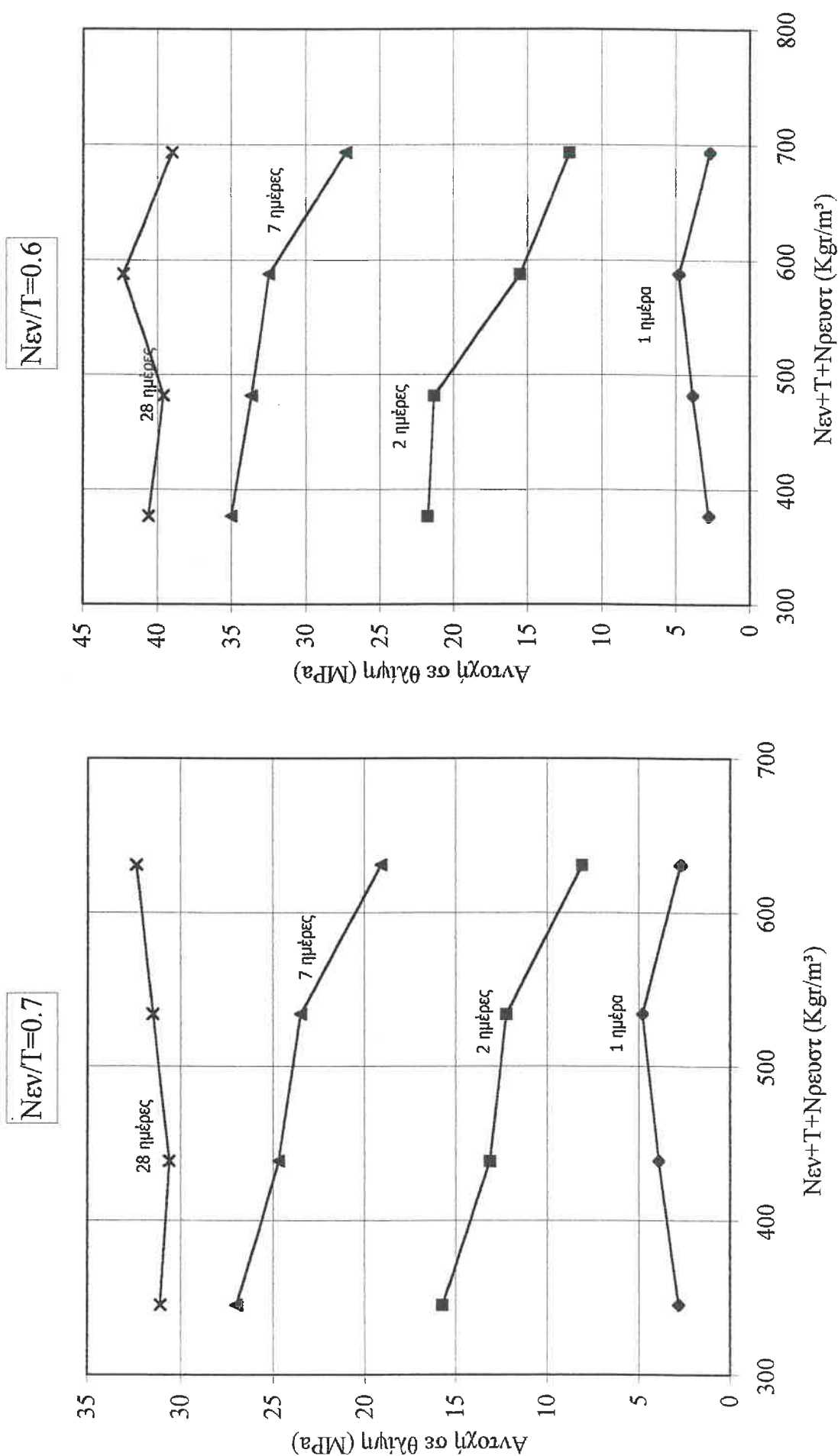
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης ανά ζεύγη (f1,f2)

0.3/140	<i>f1</i>	<i>f2</i>	<i>f1-f2</i>	$9\%(f1+f2)/2$
<i>1day</i>	42,39	42,78	-0,39	3,83265
<i>2days</i>	70,35	67,12	3,23	6,18615
<i>7days</i>	82,61	82,71	-0,1	7,4394
<i>28days</i>	91,9	90,59	1,31	8,21205
0.3/180				
<i>1day</i>	36,1	33,53	2,57	3,13335
<i>2days</i>	59,02	57,18	1,84	5,229
<i>7days</i>	71,33	71,16	0,17	6,41205
<i>28days</i>	82,47	79,8	2,67	7,30215
0.3/220				
<i>1day</i>	36,96	34,51	2,45	3,21615
<i>2days</i>	53,96	50,33	3,63	4,69305
<i>7days</i>	69,84	66,9	2,94	6,1533
<i>28days</i>	78,98	78,88	0,1	7,1037
0.3/260				
<i>1day</i>	31	29,45	1,55	2,72025
<i>2days</i>	50,45	48,59	1,86	4,4568
<i>7days</i>	65,65	65,92	-0,27	5,92065
<i>28days</i>	75,27	73,78	1,49	6,70725

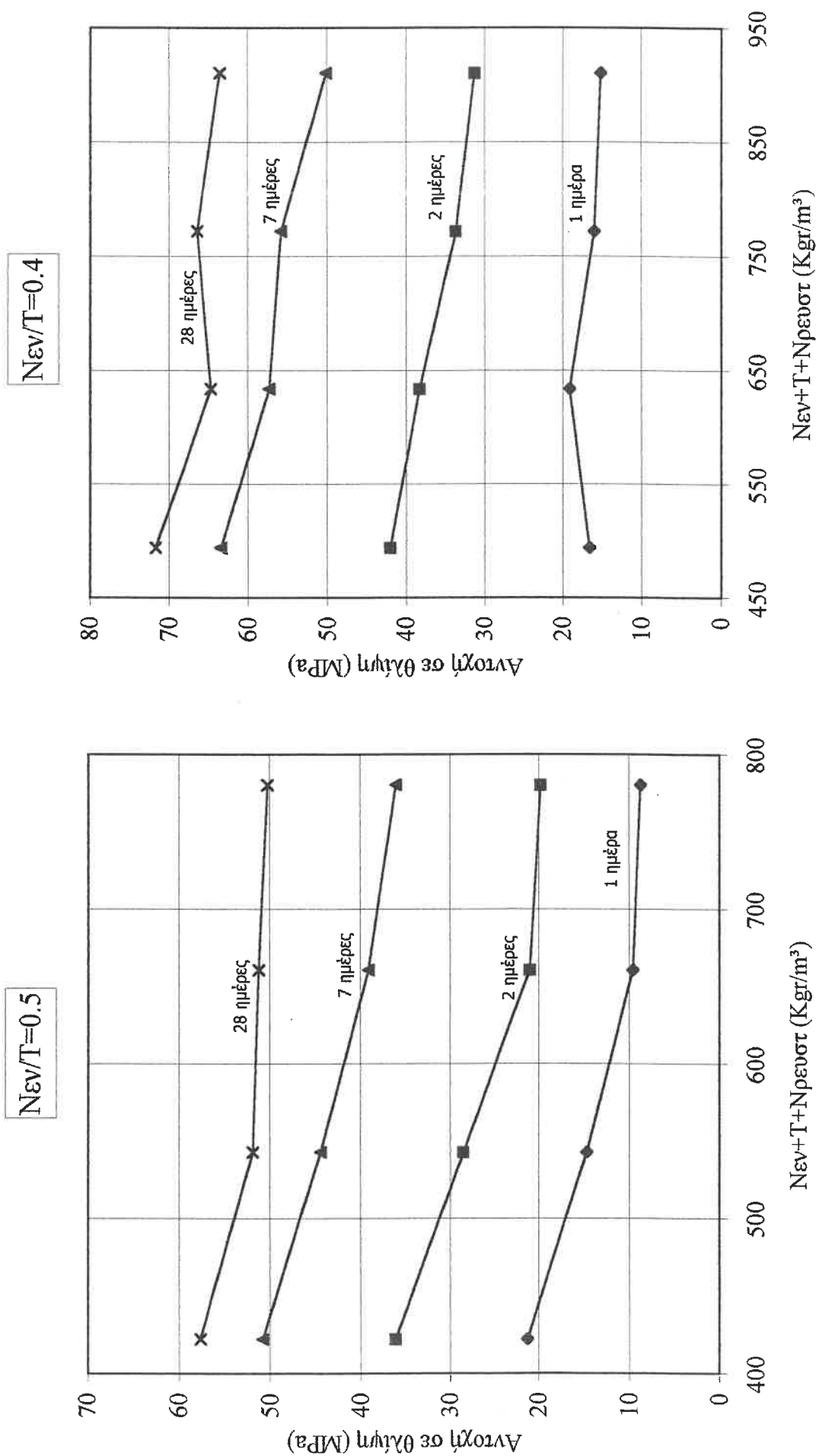
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3 Ποσότητα τσιμεντοπολτού και αντοχή σε θλίψη σκυροδέματος για κάθε λόγο Νεν/Τ.

Νεν/Τ	Νεν	T	Νολ.	Νρευστ*	Νεν+Τ+Νρευστ.	Νολ+Τ+Νρευστ.	Αντοχή σε θλίψη (MPa)				
	(kgf/m ³)	(kgf/m ³)	(kgf/m ³)	(kgf/m ³)	(kgf/m ³)	(kgf/m ³)	1	2	7	28	
0,7	140	200	163	5,4	345,4	368,4	2,8	15,7	27	31,1	
	180	257	201	1,7	438,7	459,7	3,9	13,1	24,7	30,6	
	220	314	240	0	534	592	4,8	12,2	23,5	31,5	
	260	371	278	0	631	649	2,7	8,1	19,1	32,4	
0,6	140	233	163	3,9	376,9	399,9	7,8	21,7	35	40,6	
	180	300	201	2	482	503,40	12,2	21,3	33,7	39,6	
	220	367	239	0,6	587,6	606,6	7,2	15,5	32,5	42,3	
	260	433	277	0	693	710	4,9	12,2	27,3	39	
0,5	140	280	162	2	422	444,4	21,3	36,1	50,8	57,6	
	180	360	200	3	543	562,5	14,7	28,5	44,4	51,9	
	220	440	238	0,8	660,8	678,8	9,6	21	39,1	51,2	
	260	520	276	0,3	780,3	796,6	8,7	19,8	36	50,2	
0,4	140	350	161	4	494	514,5	16,6	42	63,4	71,7	
	180	450	199	3,8	633,8	652,8	19,1	38,3	57,3	64,6	
	220	550	236	2,1	772,1	788,1	16	33,7	55,8	66,4	
	260	650	274	0,6	910,6	924,6	15,2	31,3	50,1	63,5	
0,3	140	467	160	4	611	631	42,6	68,7	82,7	91,3	
	180	600	197	2,6	782,6	799,6	34,8	58,1	71,3	81,1	
	220	733	234	5,6	958,6	972,6	35,7	52,2	68,4	78,9	
	260	867	271	2,5	1129,5	1140,5	30,2	49,5	65,8	74,5	

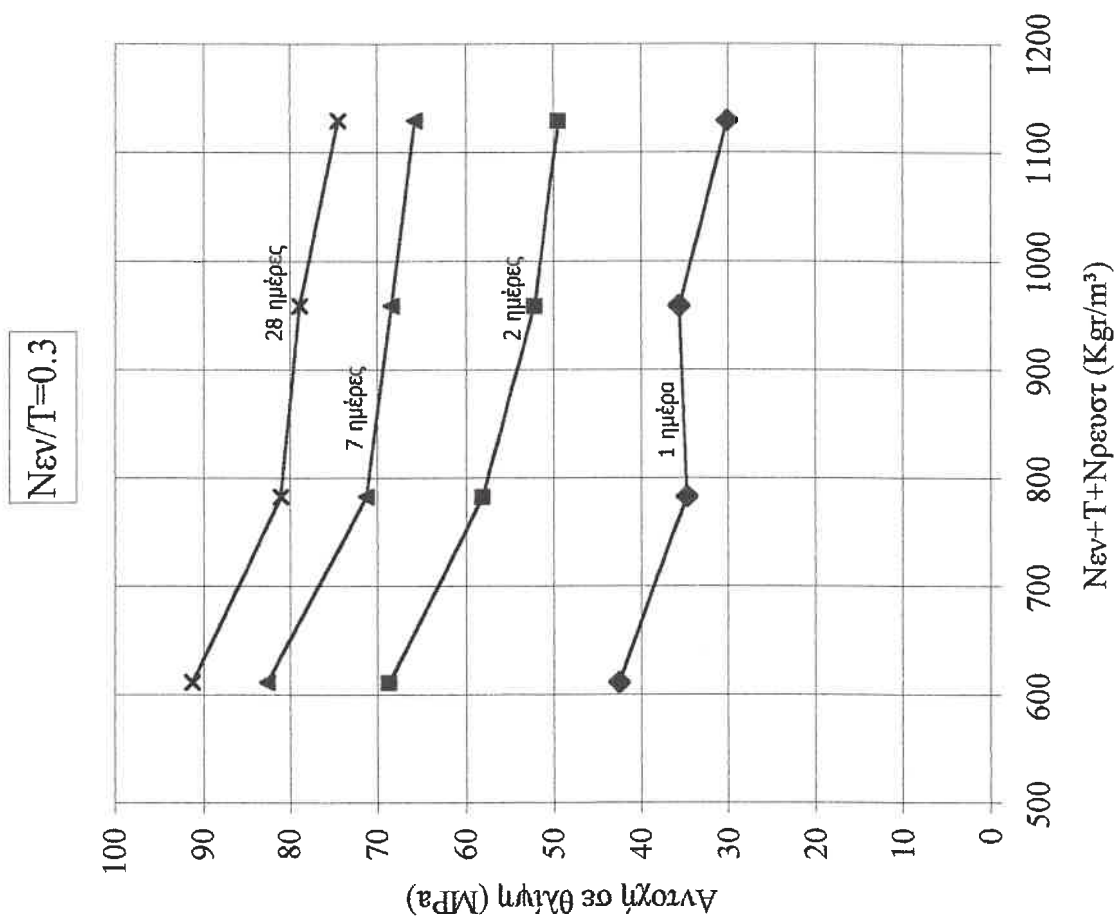
*Νρευστ = 50% της ποσότητας του ρευστοποιητή



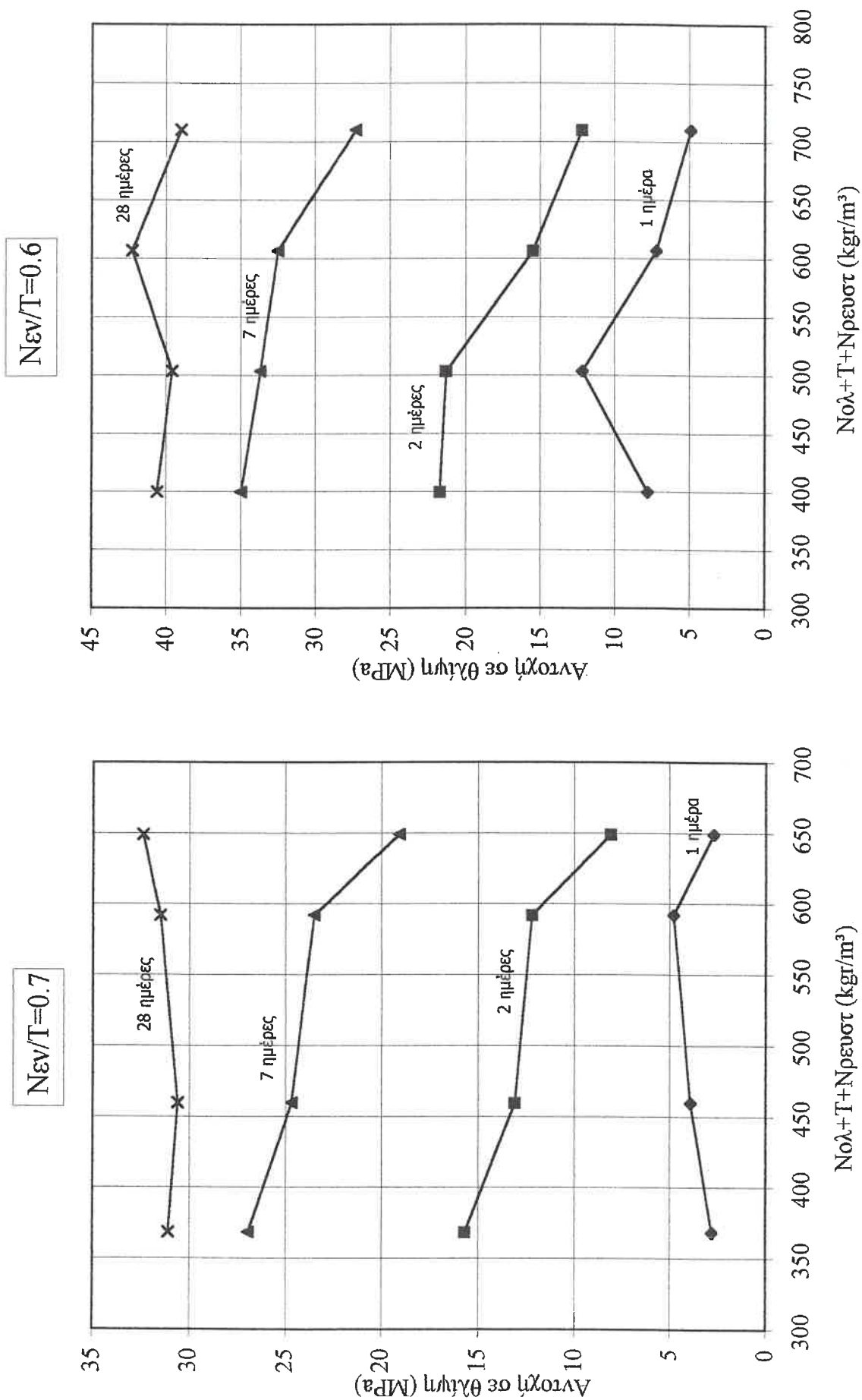
ΣΧΗΜΑΤΑ 5.3(1) και 5.3(2) Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας (Ν_{εν}+Τ+Ν_{πρεστ}) τσιμεντοπολτού ανά m³ μίγματος για λόγους Ν_{εν}/Τ=0,70 και 0,60, αντίστοιχα.



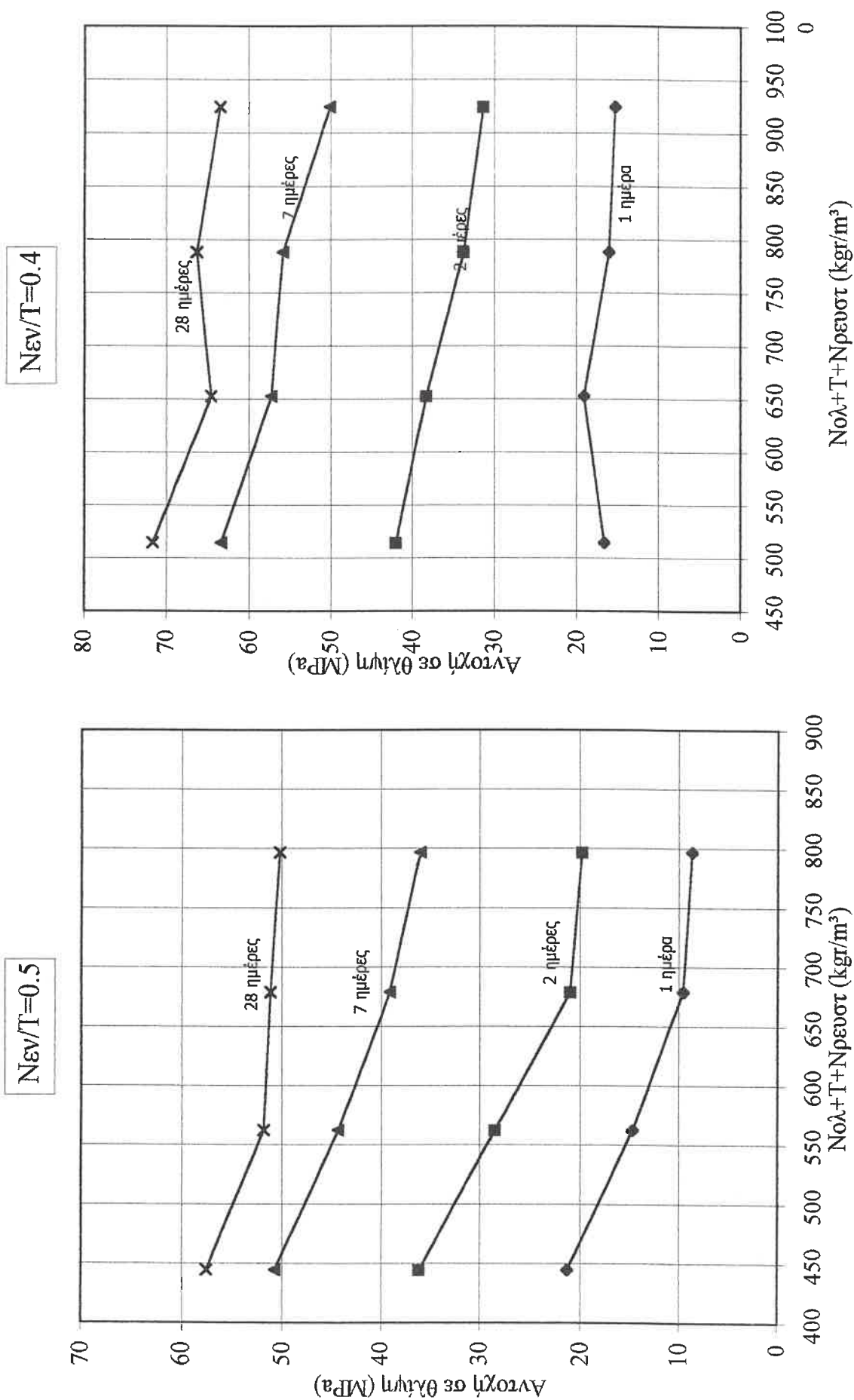
ΣΧΗΜΑΤΑ 5.3(3) και 5.3(4) Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας (Ν_{εν}+Τ+Ν_{ρευστ}) τσιμεντοπολτού ανά m³ μύγματος για λόγους Ν_{εν}/Τ=0,50 και 0,40, αντίστοιχα.



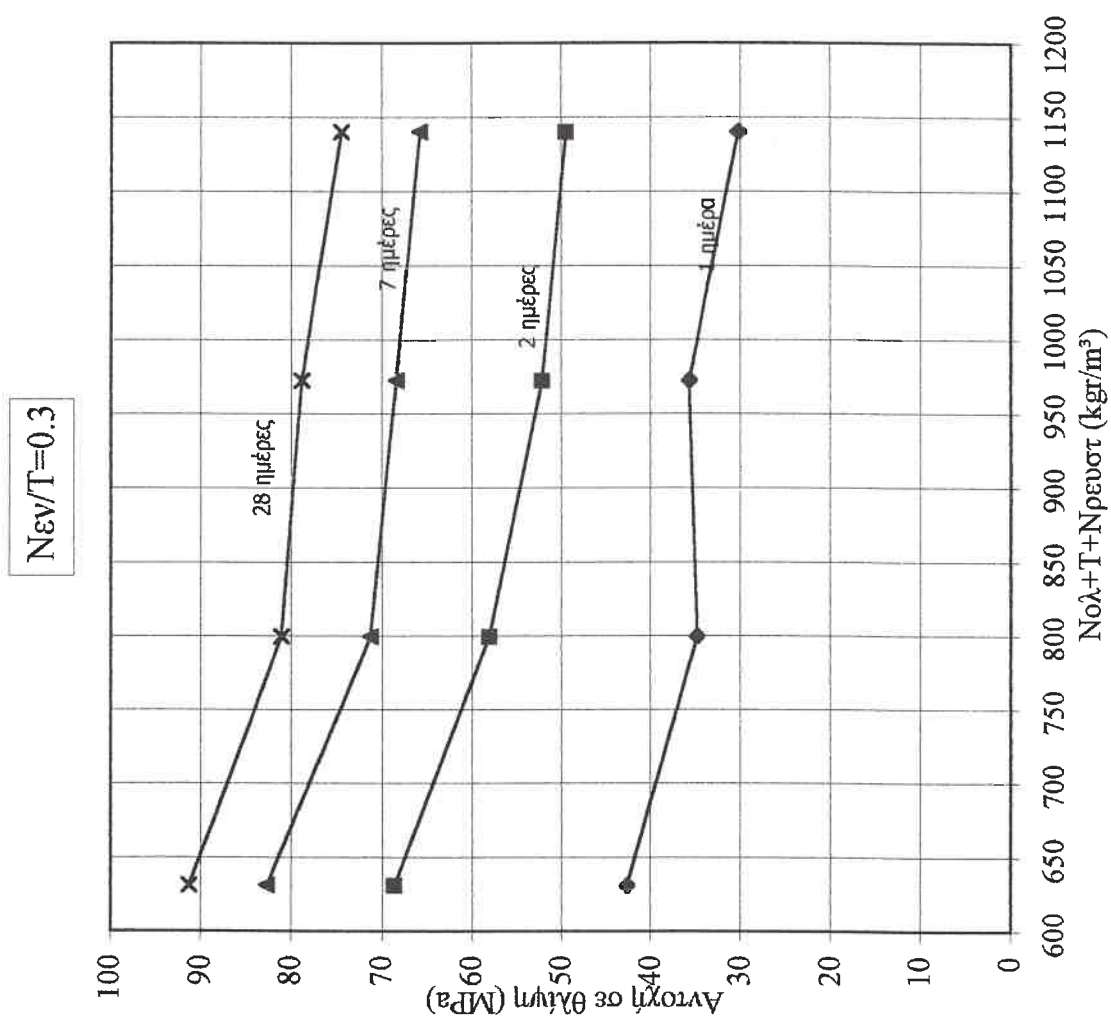
ΣΧΗΜΑ 5.3(5) Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας (N_{εν}+T+N_{ρευστ}) τσιμεντοπολτού ανά m³ μίγματος για λόγο N_{εν}/T=0,30.



ΣΧΗΜΑΤΑ 5.4(1) και 5.4(2) Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας (Νολ+Τ+Νπρευστ) τσιμεντοπολτού ανά m³ μίγματος για λόγους Ν_{εγ}/Τ=0,70 και 0,60



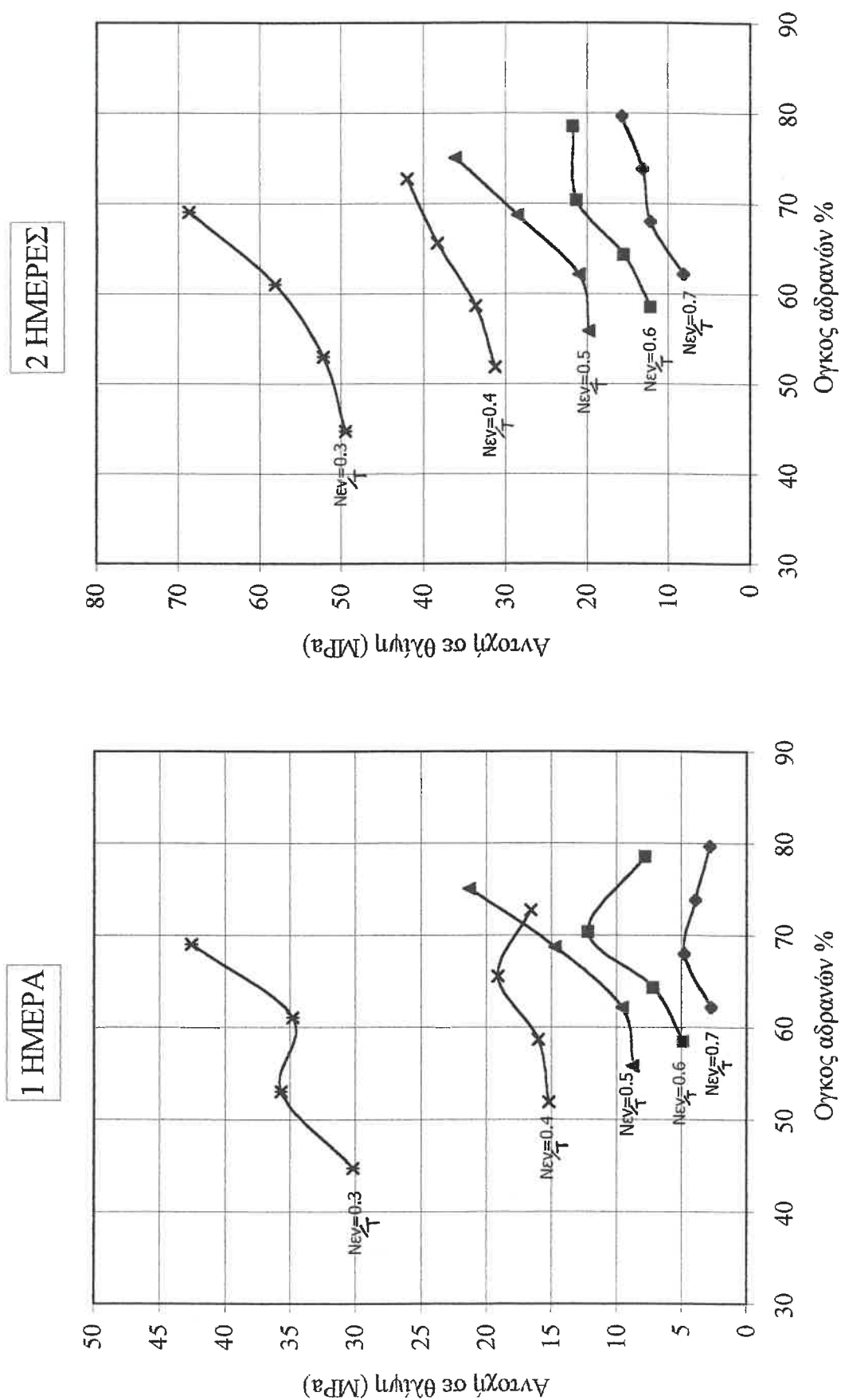
ΣΧΗΜΑΤΑ 5.4(3) και 5.4(4) Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας (Νολ+Τ+Νρευστ) τσιμεντοπολτού ανά m³ μίγματος για λόγους Ν_{εν}/Τ=0,50 και 0,40,



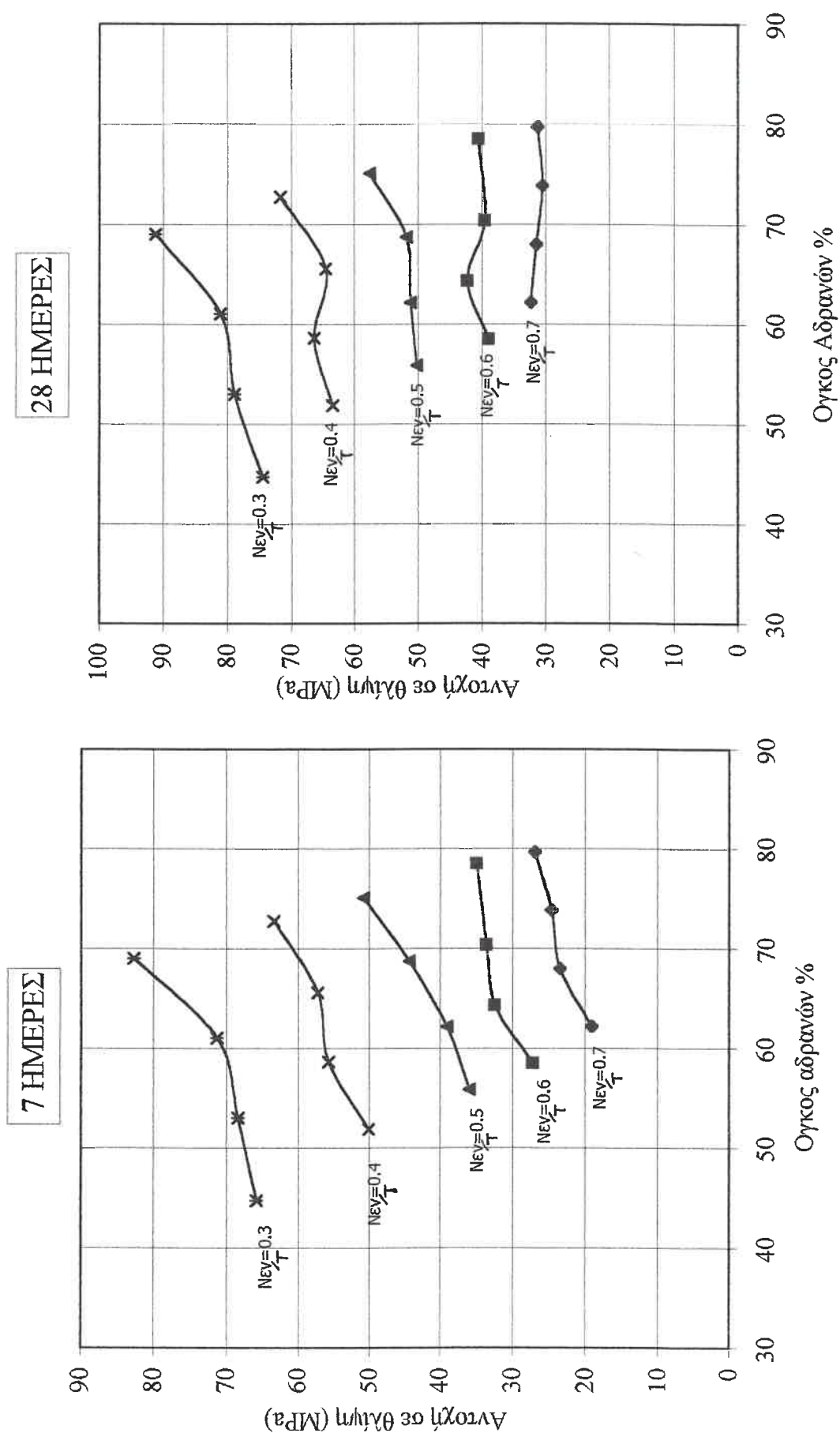
ΣΧΗΜΑ 5.4(5) Σχέση αντοχής σε θλίψη και ποσότητας (Νολ+Τ+Νρευστ) τσιμεντοπολτού ανά m^3 μίγματος για λόγο $N_{ev}/T=0,30$.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4 Όγκος αδρανών % και Αντοχή σε θλίψη σκυροδέματος.

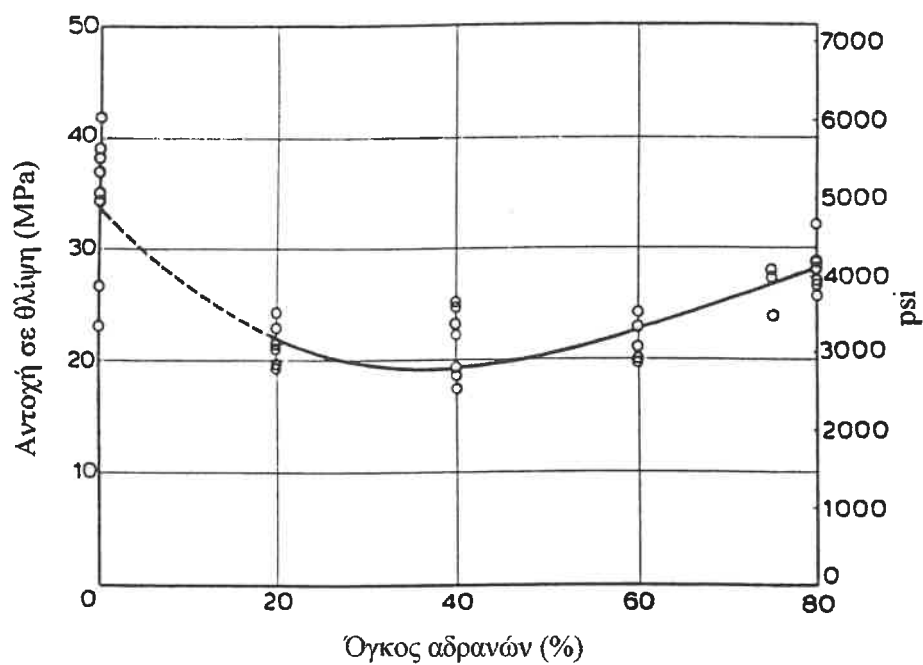
N _{ev} /T	N _{ev} (kgf/m ³)	A (kgf/m ³)	P (kgf/m ³)	Αδρανή % κ.ο.	Αντοχή σε θλίψη (MPa)			
					1	2	7	28
0,7	140	1541	585	79,70	2,8	15,7	27	31,3
	180	1380	591	73,85	3,9	13,1	24,7	30,6
	220	1234	581	67,98	4,8	12,2	23,5	31,5
	260	1088	573	62,18	2,7	8,1	19,1	32,4
0,6	140	1489	608	78,59	7,8	21,7	35	40,6
	180	1288	592	70,42	12,2	21,3	33,7	39,6
	220	1126	593	64,36	7,2	15,5	32,5	42,3
	260	986	579	58,56	4,9	12,2	27,3	39
0,5	140	1383	621	75,07	21,3	36,1	50,8	57,6
	180	1211	624	68,71	14,7	28,5	44,4	51,9
	220	1038	623	62,15	9,6	21	39,1	51,2
	260	889	605	55,87	8,7	19,8	36	50,2
0,4	140	1292	651	72,76	16,6	42	63,4	71,7
	180	1087	666	65,59	19,1	38,3	57,3	64,6
	220	910	659	58,66	16	33,7	55,8	66,4
	260	750	639	51,89	15,2	31,3	50,1	63,5
0,3	140	1135	710	69,02	42,6	68,7	82,7	91,3
	180	915	719	61,07	34,8	58,1	71,3	81,1
	220	717	703	53,01	35,7	52,2	68,4	78,9
	260	540	659	44,72	30,2	49,5	65,8	74,5



ΣΧΗΜΑΤΑ 5.5(1)-(2) Σχέση αντοχής σε θλίψη και όγκου αδρανών % για ηλικίες 1 και 2 ημερών, αντίστοιχα.



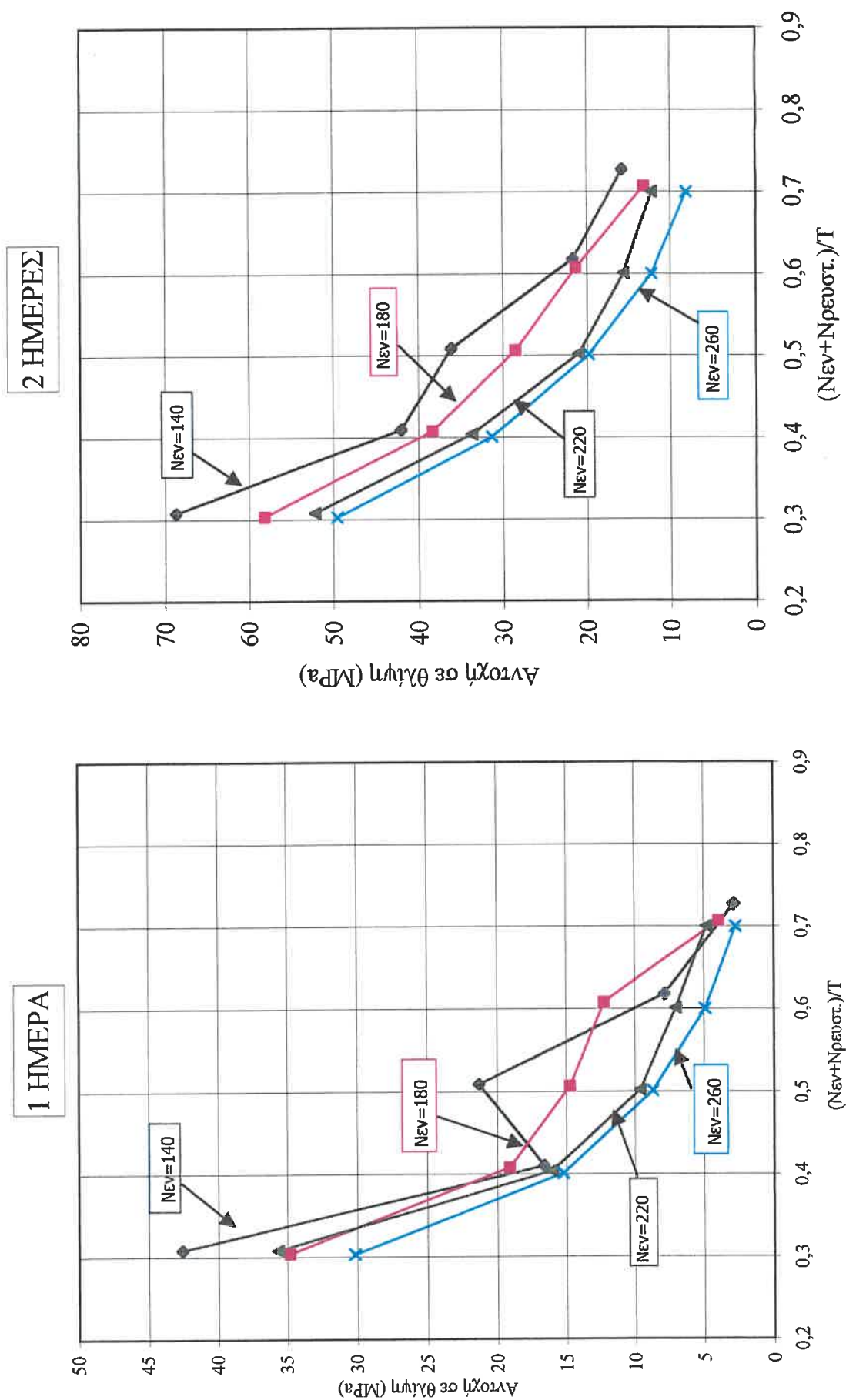
ΣΧΗΜΑΤΑ 5.5(3)-(4) Σχέση αντοχής σε θλίψη και όγκου αδρανών % για ηλικίες 7 και 28 ημερών, αντίστοιχα.



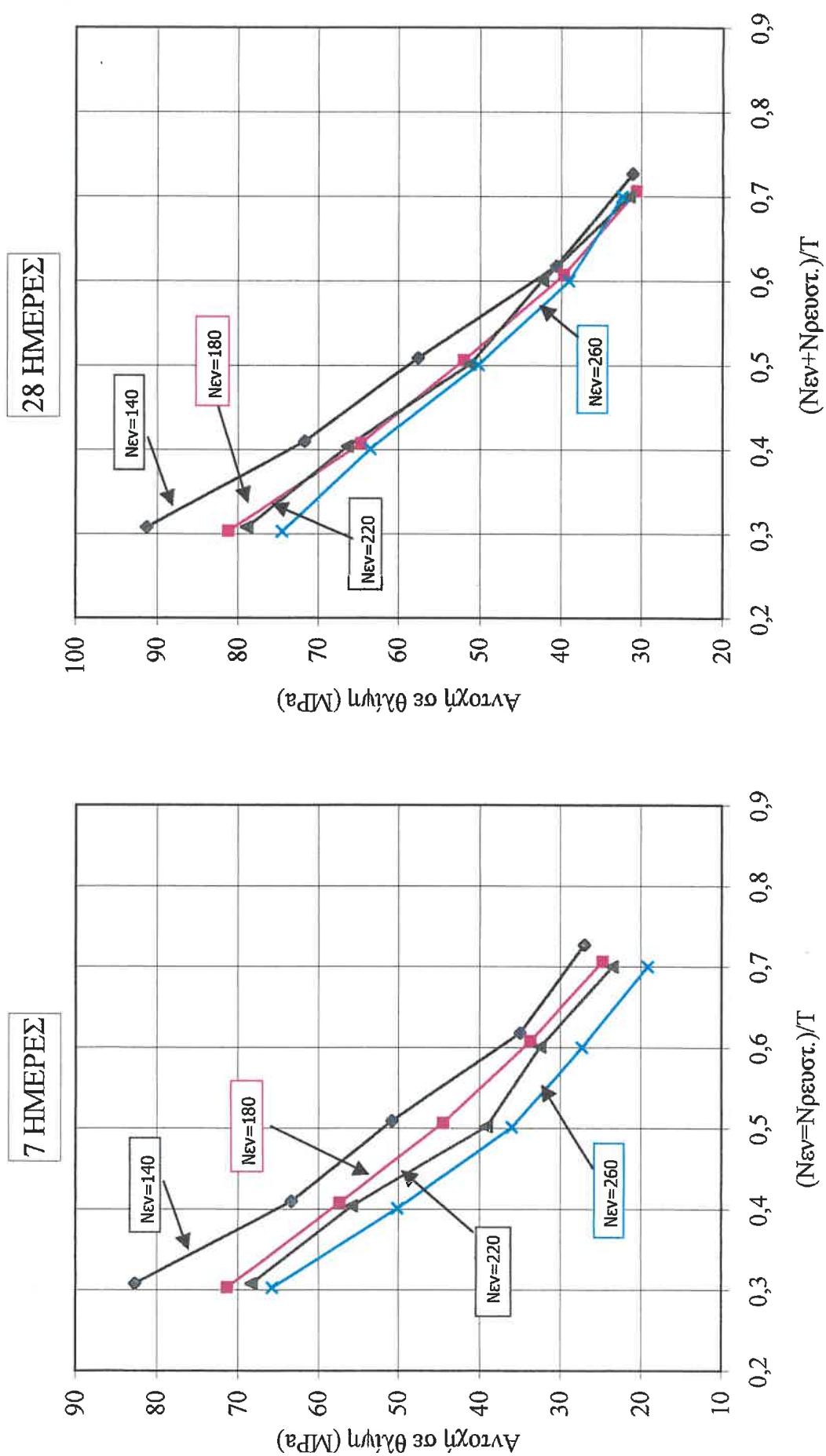
ΣΧΗΜΑ 5.6 Σχέση μεταξύ της αντοχής σε θλίψη κυλίνδρων (διαμέτρου 100 mm, ύψους 300 mm) και όγκου των αδρανών για λόγο $N/T=0,50$.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5 Αντοχή σε θλίψη και λόγος $(N_{\text{εν}}+N_{\text{ρευστ}})/T$, $(N_{\text{ολ}}+N_{\text{ρευστ}})/T$ για κάθε τιμή του $N_{\text{εν}}$.

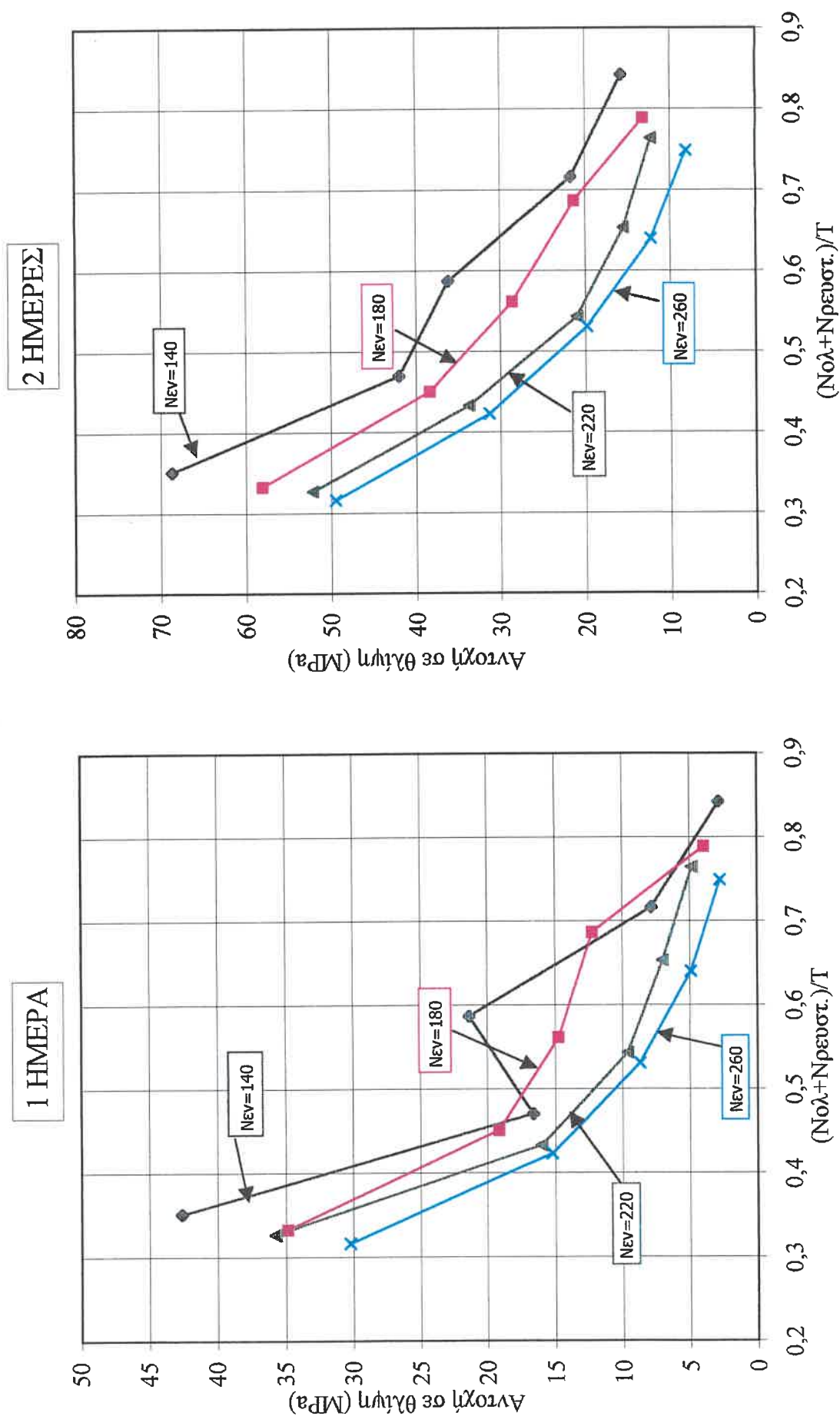
$N_{\text{εν}}$ (kgf/m^2)	$(N_{\text{εν}}+N_{\text{ρευστ.}})/T$	$(N_{\text{ολ}}+N_{\text{ρευστ.}})/T$	Αντοχή σε θλίψη(MPa)			
			28	7	2	1
140	0,727	0,842	31,1	27	15,7	2,8
	0,618	0,716	40,6	35	21,7	7,8
	0,509	0,587	57,6	50,8	36,1	21,3
	0,41	0,47	71,7	63,4	42	16,6
	0,308	0,351	91,3	82,7	68,7	42,6
180	0,707	0,789	30,6	24,7	13,1	3,9
	0,608	0,687	39,6	33,7	21,3	12,2
	0,507	0,562	51,9	44,4	28,5	14,7
	0,408	0,451	64,6	57,3	38,3	19,1
	0,304	0,333	81,1	71,3	58,1	34,8
220	0,7	0,764	31,5	23,5	12,2	4,8
	0,601	0,653	42,3	32,5	15,5	7
	0,502	0,543	51,2	39,1	21	9,6
	0,404	0,433	66,4	55,8	33,7	16
	0,308	0,327	78,9	68,4	52,2	35,7
260	0,7	0,749	32,4	19,1	8,1	2,7
	0,6	0,64	39	27,3	12,2	4,9
	0,501	0,531	50,2	36	19,8	8,7
	0,401	0,423	63,5	50,1	31,3	15,2
	0,303	0,316	74,5	65,8	49,5	30,2



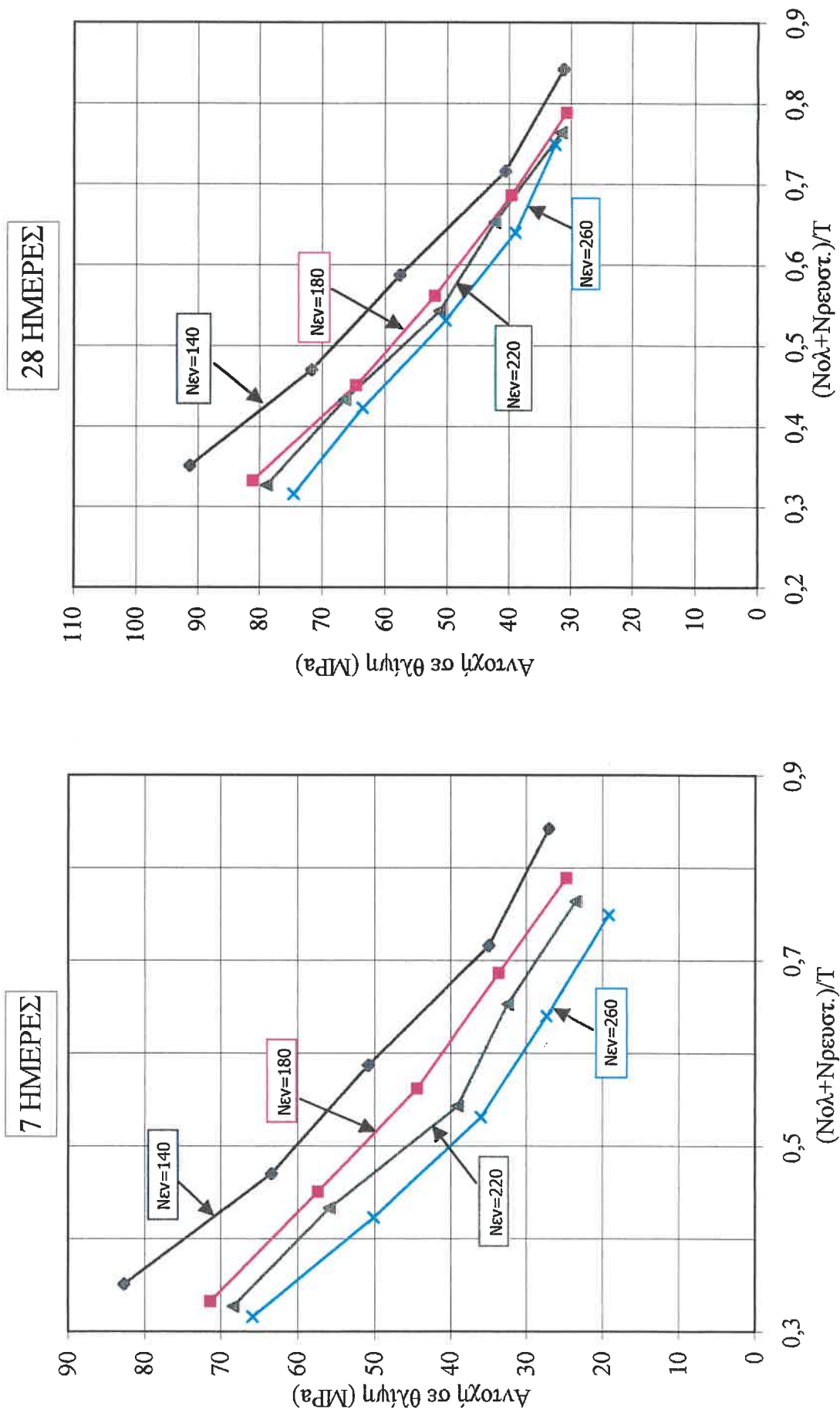
ΣΧΗΜΑΤΑ 5.7(1)-(2) Σχέση αντοχής σε θλίψη και λόγου $(N_{ev} + N_{πρευστ.})/T$ για ηλικίες 1 και 2 ημερών, αντίστοιχα.



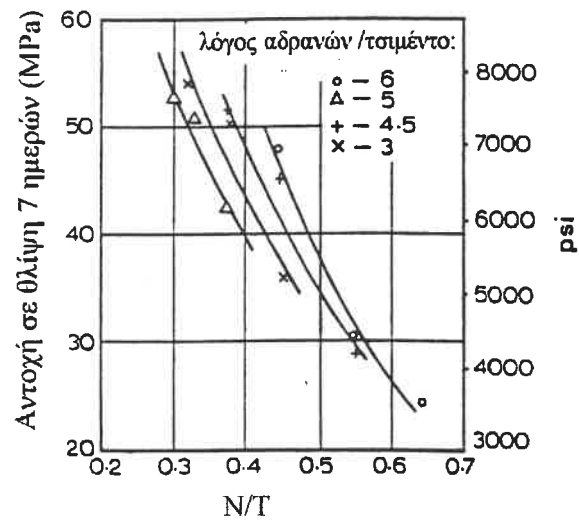
ΣΧΗΜΑΤΑ 5.7(3)-(4) Σχέση αντοχής σε θλίψη και λόγου $(N_{ev} + N_{ρευστ.})/T$ για ηλικίες 7 και 28 ημερών, αντίστοιχα.



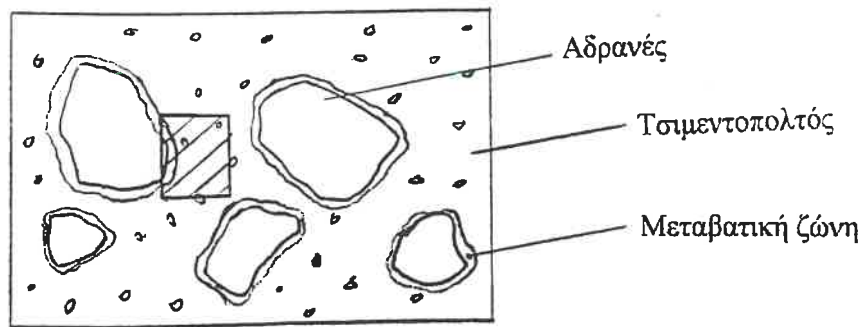
ΣΧΗΜΑΤΑ 5.8(1)-(2) Σχέση αντοχής σε θλίψη και λόγου $(\sigma_{ol} + \sigma_{res}) / \sigma_c$ για ηλικίες 1 και 2 ημερών, αντίστοιχα.



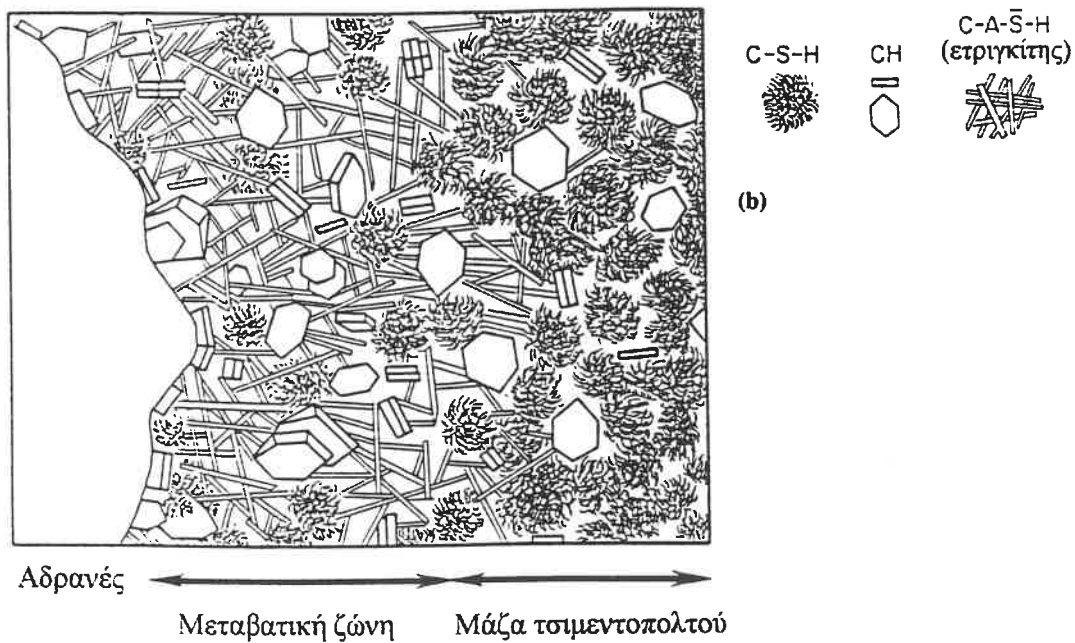
ΣΧΗΜΑΤΑ 5.8(3)-(4) Σχέση αντοχής σε θλίψη και λόγου (Νολ+Νρευστ)/Τ για ηλικίες 7 και 28 ημερών, αντίστοιχα.



ΣΧΗΜΑ 5.9 Επίδραση του λόγου αδρανή/τσιμέντο στην αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος.



ΣΧΗΜΑ 5.10(1) Νωπό σκυρόδεμα

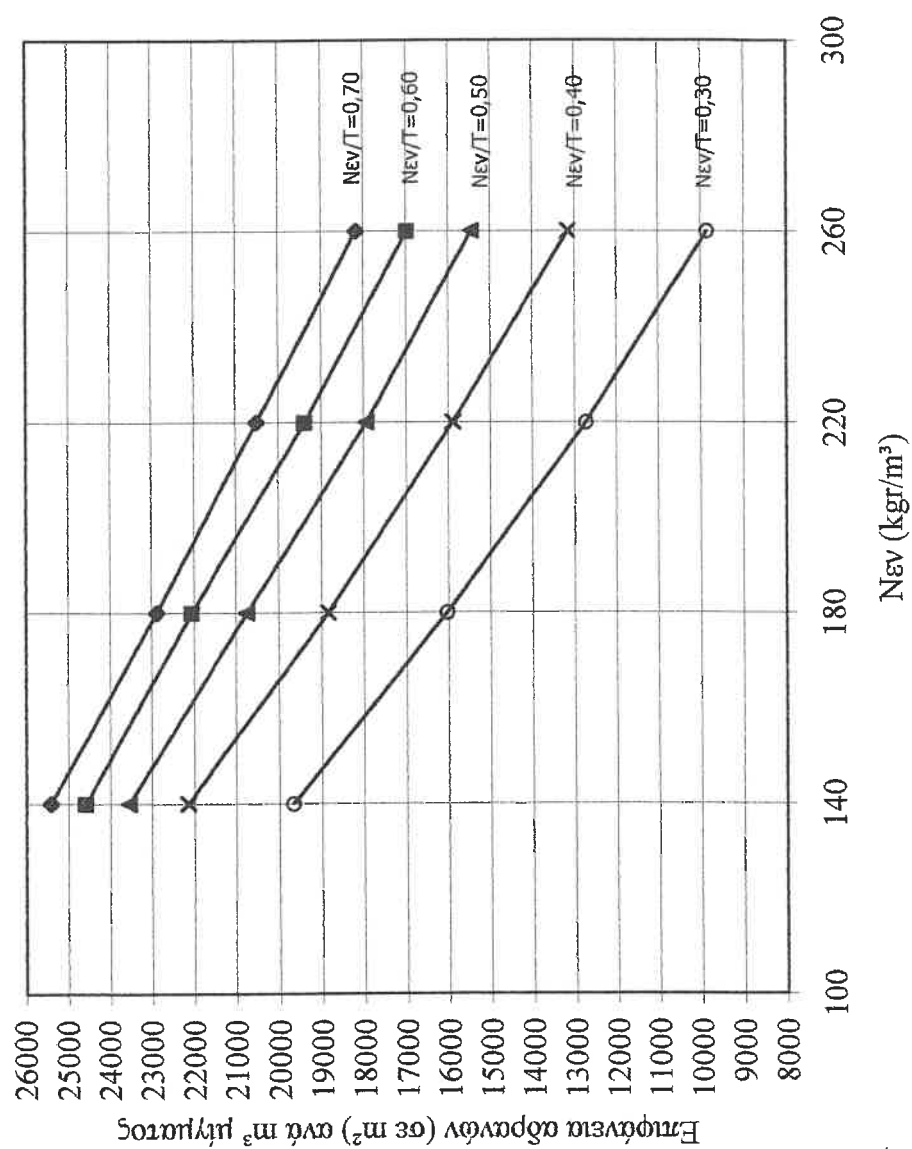


ΣΧΗΜΑ 5.10(2) Διαγραμματική παρουσίαση της μεταβατικής ζώνης και της υπόλοιπης μάζας του τσιμεντοπολτού στο σκυρόδεμα [αποτελεί μεγέθυνση του γραμμοσκιασμένου τμήματος του Σχήματος 5.10(1)].

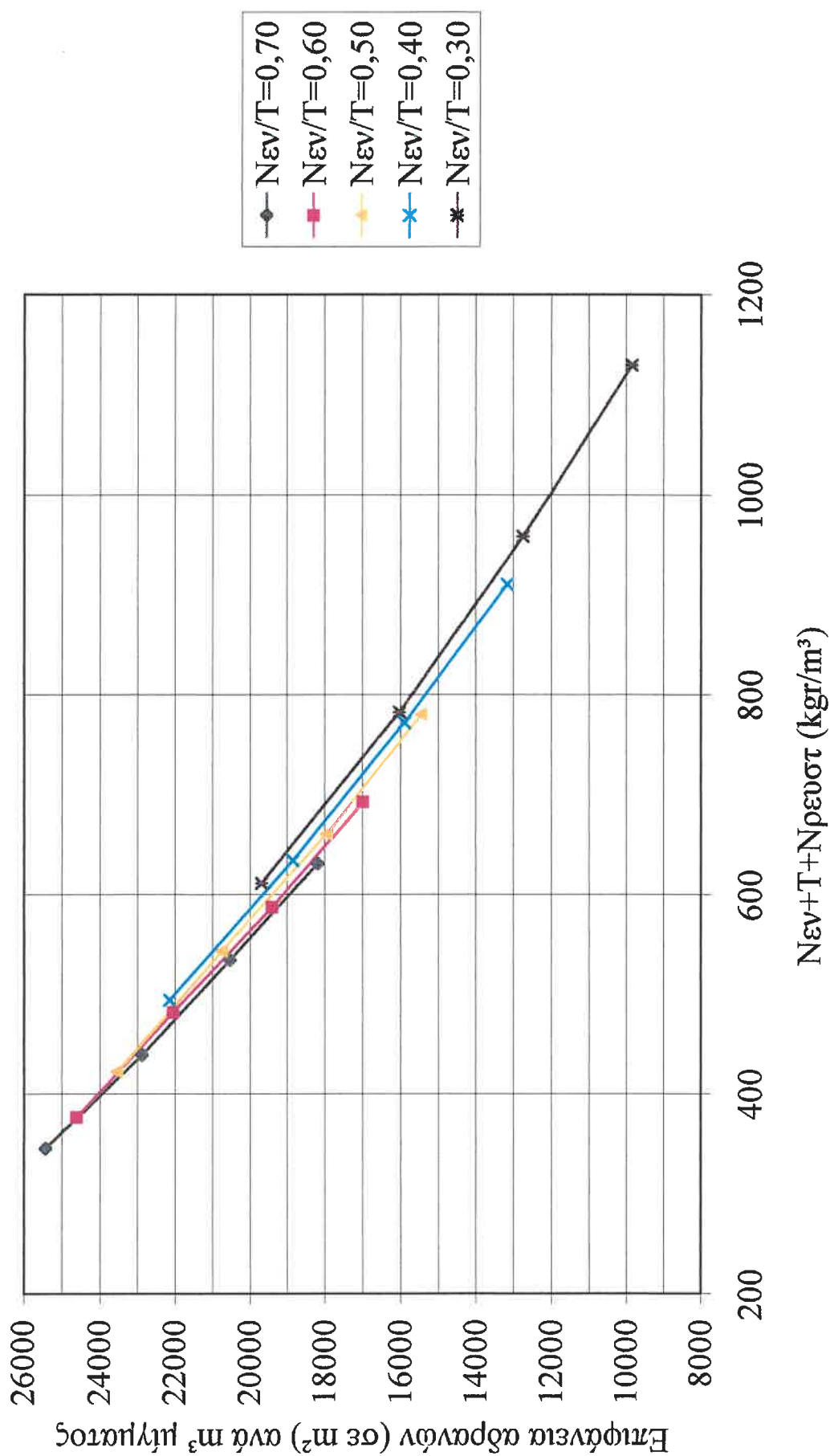
[illegible]

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7 Υπολογισμός συνολικής επιφάνειας αδρανών ανά m^3 μίγματος.

α/α μίγματος	Μέγεθος Μ	Ειδική επιφάνεια m^2/kg	Άμμος kg/m^3	Ρυζάκι kg/m^3	Επιφάνεια αδρανών m^2
1	2,153	11,96	1541	585	25429,32
2	2,089	11,61	1380	591	22874,55
3	2,036	11,31	1234	581	20529,67
4	1,971	10,95	1088	573	18187,95
5	2,112	11,73	1489	608	24604,80
6	2,052	11,40	1325	609	22047,60
7	1,971	10,95	1160	611	19392,45
8	1,9	10,56	1013	595	16973,33
9	2,059	11,44	1420	638	23541,23
10	1,984	11,02	1243	640	20754,84
11	1,89	10,50	1068	641	17944,50
12	1,812	10,07	913	621	15442,27
13	1,994	11,08	1329	670	22144,48
14	1,878	10,43	1120	687	18853,03
15	1,772	9,84	937	678	15898,78
16	1,665	9,25	768	655	13162,75
17	1,866	10,37	1168	731	19686,30
18	1,719	9,55	940	739	16034,45
19	1,572	8,73	737	722	12741,93
20	1,431	7,95	557	681	9842,10



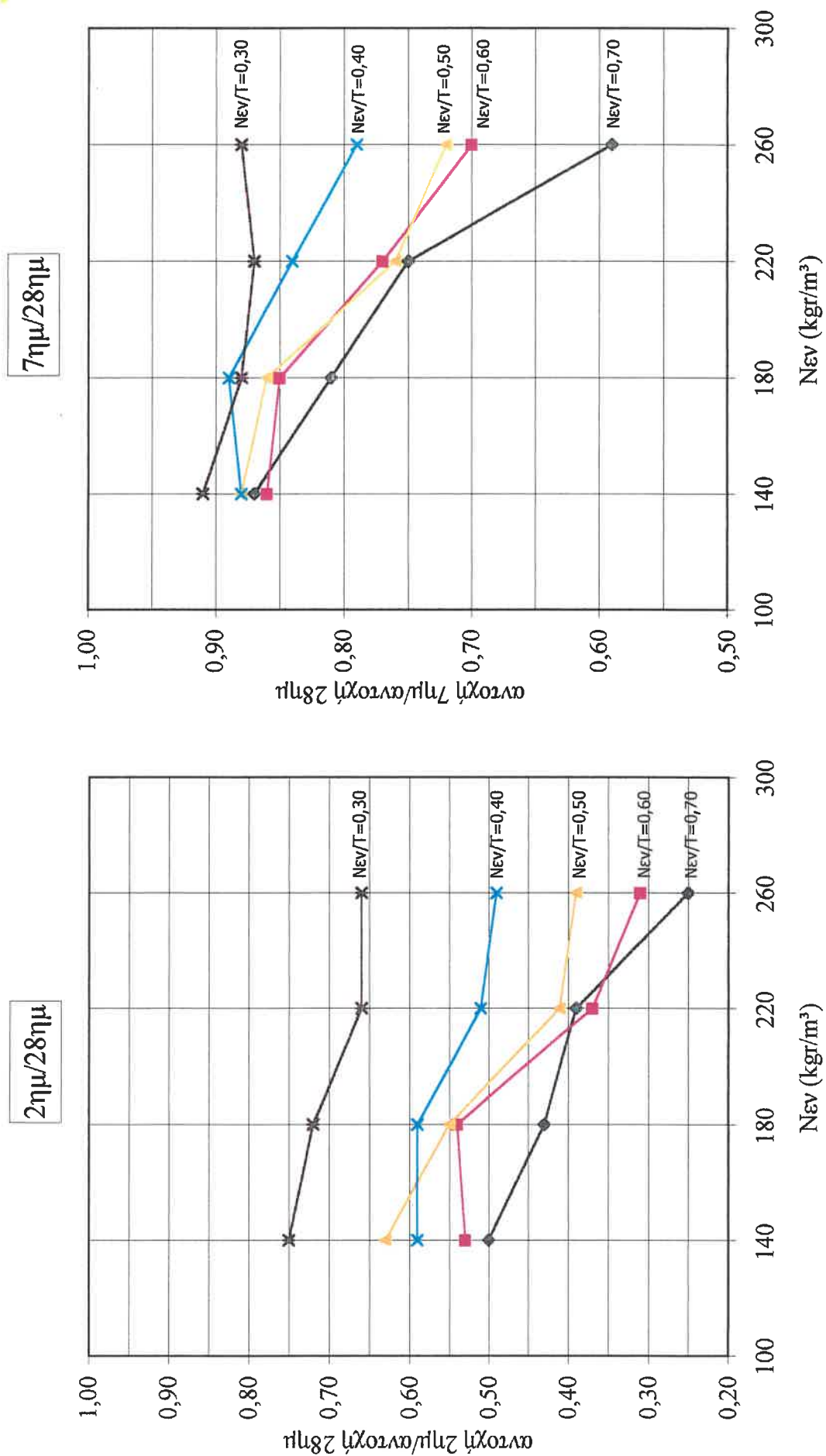
ΣΧΗΜΑ 5.11 Σχέση επιφάνειας αδρανών (m²) και ποσότητας Νεν (kg/m³) ανά m³ μίγματος.



ΣΧΗΜΑ 5.12 Σχέση επιφάνειας και ποσότητας ($N_{εν}+T+N_{ρευστ}$) τσιμεντοπολτού ανά m^3 μίγματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8 Λόγοι αντοχών σε θλίψη 2ημ/28ημ και 7ημ/28ημ για κάθε τιμή του Νεν.

Νεν/Τ	Νεν (kgf/m ³)	Αντοχές (MPa)				Λόγος αντοχών	
		1	2	7	28	2ημ/28ημ	7ημ/28ημ
0,7	140	2,8	15,7	27	31,1	0,50	0,87
	180	3,9	13,1	24,7	30,6	0,43	0,81
	220	4,8	12,2	23,5	31,5	0,39	0,75
	260	2,7	8,1	19,1	32,4	0,25	0,59
0,6	140	7,8	21,7	35	40,6	0,53	0,86
	180	12,2	21,3	33,7	39,6	0,54	0,85
	220	7,2	15,5	32,5	42,3	0,37	0,77
	260	4,9	12,2	27,3	39	0,31	0,70
0,5	140	21,3	36,1	50,8	57,6	0,63	0,88
	180	14,7	28,5	44,4	51,9	0,55	0,86
	220	9,6	21	39,1	51,2	0,41	0,76
	260	8,7	19,8	36	50,2	0,39	0,72
0,4	140	16,6	42	63,4	71,7	0,59	0,88
	180	19,1	38,3	57,3	64,6	0,59	0,89
	220	16	33,7	55,8	66,4	0,51	0,84
	260	15,2	31,3	50,1	63,5	0,49	0,79
0,3	140	42,6	68,7	82,7	91,3	0,75	0,91
	180	34,8	58,1	71,3	81,1	0,72	0,88
	220	35,7	52,2	68,4	78,9	0,66	0,87
	260	30,2	49,5	65,8	74,5	0,66	0,88



ΣΧΗΜΑΤΑ 5.13(1)-(2) Σχέση λόγων αντοχής σε θλίψη 2ημ/28ημ και 7ημ/28ημ, αντίστοιχα, με την τιμή του Neut, για τους διάφορους λόγους Neut/T.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΒΑΡΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.
2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟΥ.
3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΕΒΑΠΤΙΣΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟ.

1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΒΑΡΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ Π1 Μετρήσεις βαρών και αντοχών δοκιμίων.

	ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ		
		ΠΡΙΝ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΒΑΡΟΥΣ	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΤΑΣΗ (MPa)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ
		(gr)	(gr)	(gr)			
M	1,1	846,89	846,89	0	13,29	2,7	1 ημέρας
	1,2	850,25	850,25	0	14,09	2,9	2,8
Γ	1,3	849	851,26	2,26	76,7	15,7	2 ημερών
M	1,4	857,9	860,41	2,51	76,8	15,7	15,7
A	1,5	856,7	860,48	3,78	133,1	27,2	7 ημερών
	1,6	850	854,3	4,3	131,8	26,9	27,1
I	1,7	844,7	850,4	5,7	155,5	31,7	28 ημερών
	1,8	817	822,1	5,1	149,6	30,5	31,1
M	2,1	845,8	845,8	0	19,85	4,1	1 ημέρας
I	2,2	841,3	841,3	0	18,58	3,8	3,9
Γ	2,3	849,1	851,73	2,63	64,5	13,2	2 ημερών
M	2,4	854,4	857,01	2,61	63,7	13,0	13,1
A	2,5	848,5	852,06	3,56	122,4	25,0	7 ημερών
	2,6	855,4	860,21	4,81	119,7	24,4	24,7
2	2,7	816,6	-	-	151,8	31,0	28 ημερών
	2,8	816,3	-	-	147,8	30,2	30,6
M	3,1	828,1	829,35	1,25	24,54	5,0	1 ημέρας
I	3,2	830	831,02	1,02	22,01	4,5	4,8
Γ	3,3	836	838,38	2,38	58,8	12,0	2 ημερών
M	3,4	834,5	837,5	3	60,4	12,3	12,2
A	3,5	831,1	835,91	4,81	114,5	23,4	7 ημερών
	3,6	831,9	837,21	5,31	115,9	23,7	23,5
3	3,7	794,7	-	-	156,6	32,0	28 ημερών
	3,8	797,9	-	-	148,8	30,4	31,5
M	4,1	818,2	818,97	0,77	12,76	2,6	1 ημέρας
I	4,2	791,3	791,1	-0,2	13,17	2,7	2,7
Γ	4,3	821,1	823,08	1,98	39,71	8,1	2 ημερών
M	4,4	809,3	811,58	2,28	39,85	8,1	8,1
A	4,5	817,8	821,99	4,19	92,2	18,8	7 ημερών
	4,6	804,9	809,37	4,47	95,3	19,4	19,1
4	4,7	812,2	-	-	162,3	33,1	28 ημερών
	4,8	809,4	-	-	155,5	31,7	32,4
M	5,1	860,8	860,8	0	38,51	7,9	1 ημέρας
I	5,2	867,4	867,4	0	38,21	7,8	7,8
Γ	5,3	871,2	874,09	2,89	105,3	21,5	2 ημερών
M	5,4	857,8	861,11	3,31	107,6	22,0	21,7
A	5,5	818,5	822,67	4,17	172,5	35,2	7 ημερών
	5,6	854,3	857,78	3,48	170,5	34,8	35
5	5,7	816,1	821	4,9	207	42,2	28 ημερών
	5,8	822	827,3	5,3	190,4	38,9	40,6

ΠΙΝΑΚΑΣ Π1 Μετρήσεις βαρών και αντοχών δοκιμίων.

	ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ		
		ΠΡΙΝ ΤΗ	ΜΕΤΑ ΤΗ	ΔΙΑΦΟΡΑ	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΤΑΣΗ (MPa)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ
		ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (gr)	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (gr)	ΒΑΡΟΥΣ (gr)			
<i>M</i>	6,1	837,44	837,44	0	58,7	12,0	1 ημέρας
<i>I</i>	6,2	841,94	841,94	0	61,3	12,5	12,2
<i>Γ</i>	6,3	811,5	815,65	4,15	102,3	20,9	2 ημερών
<i>M</i>	6,4	838	841,3	3,3	105,9	21,6	21,3
<i>A</i>	6,5	800,6	805,92	5,32	166,4	34,0	7 ημερών
	6,6	812,8	817,46	4,66	164,2	33,5	33,7
	6,7	840,1	846,4	6,3	191	39,0	28 ημερών
	6,8	843,2	849,9	6,7	196,6	40,1	39,6
<i>M</i>	7,1	841,17	841,17	0	34,75	7,1	1 ημέρας
<i>I</i>	7,2	819,05	819,05	0	35,4	7,2	7,2
<i>Γ</i>	7,3	796,2	799,62	3,42	74,9	15,3	2 ημερών
<i>M</i>	7,4	792,1	794,62	2,52	77	15,7	15,5
<i>A</i>	7,5	832,9	836,14	3,24	157,2	32,1	7 ημερών
	7,6	831,3	834,61	3,31	161	32,9	32,5
	7,7	824,8	830,5	5,7	202,7	41,4	28 ημερών
	7,8	826,9	832,2	5,3	211,5	43,2	42,3
<i>M</i>	8,1	846,27	846,27	0	24,33	5,0	1 ημέρας
<i>I</i>	8,2	817,78	817,78	0	23,88	4,9	4,9
<i>Γ</i>	8,3	810,2	812,88	2,68	58,7	12,0	2 ημερών
<i>M</i>	8,4	814,2	817,74	3,54	59,6	12,2	12,2
<i>A</i>	8,5	813,5	818,11	4,61	135,2	27,6	7 ημερών
	8,6	806,5	811,16	4,66	131,9	26,9	27,3
	8,7	808,8	815,2	6,4	199,2	40,7	28 ημερών
	8,8	809,7	816,60	6,9	183,4	37,4	39
<i>M</i>	9,1	862,2	862,2	0	103,1	21,0	1 ημέρας
<i>I</i>	9,2	862,2	862,2	0	105,2	21,5	21,3
<i>Γ</i>	9,3	859,8	863,69	3,89	173,6	35,4	2 ημερών
<i>M</i>	9,4	863,3	867,59	4,29	179,7	36,7	36,1
<i>A</i>	9,5	859,9	865,64	5,74	247,5	50,5	7 ημερών
	9,6	867,9	873,63	5,73	250,7	51,2	50,8
	9,7	872,7	880,5	7,8	290,4	59,3	28 ημερών
	9,8	875,9	883,5	7,6	273,8	55,9	57,6
<i>M</i>	10,1	820,2	820,2	0	72,4	14,8	1 ημέρας
<i>I</i>	10,2	816,9	816,9	0	71,5	14,6	14,7
<i>Γ</i>	10,3	818,1	821,46	3,36	136,7	27,9	2 ημερών
<i>M</i>	10,4	810	814,01	4,01	142,1	29,0	28,5
<i>A</i>	10,5	859	864,93	5,93	214,5	43,8	7 ημερών
	10,6	851,2	856,6	5,4	220,3	45,0	44,4
	10,7	855,8	862,3	6,5	255,4	52,1	28 ημερών
	10,8	852,2	860,2	8	252,7	51,6	51,9

ΠΙΝΑΚΑΣ Π1 Μετρήσεις βαρών και αντοχών δοκιμίων.

	ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ		
		ΠΡΙΝ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΔΙΑΦΟΡΑ ΒΑΡΟΥΣ	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΤΑΣΗ (MPa)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ
		(gr)	(gr)	(gr)			
M	11,1	844,5	844,5	0	49,69	10,1	1 ημέρας
I	11,2	866,3	866,3	0	44,49	9,1	9,6
Γ	11,3	849,3	854,1	4,8	105	21,4	2 ημερών
M	11,4	838	841,76	3,76	100,9	20,6	21
A	11,5	794	799,06	5,06	186,6	38,1	7 ημερών
	11,6	837	843,3	6,3	196,2	40,0	39,1
II	11,7	843,8	851,7	7,9	257,3	52,5	28 ημερών
	11,8	844,1	851,5	7,4	244,2	49,8	51,2
M	12,1	820	820	0	41,04	8,4	1 ημέρας
I	12,2	825,9	825,9	0	44,44	9,1	8,7
Γ	12,3	827,7	832,36	4,66	96,4	19,7	2 ημερών
M	12,4	814,7	819	4,3	97,6	19,9	19,8
A	12,5	795,3	803,83	8,53	179,2	36,6	7 ημερών
	12,6	794,3	801,85	7,55	173,1	35,3	36
12	12,7	832,6	841,8	9,2	242,8	49,6	28 ημερών
	12,8	830,9	840,5	9,6	249,5	50,9	50,2
M	13,1	867	870,13	3,13	80,5	16,4	1 ημέρας
I	13,2	867	870,08	3,08	82,2	16,8	16,6
Γ	13,3	856,5	860,63	4,13	206,4	42,1	2 ημερών
M	13,4	872,5	876,36	3,86	205	41,8	42
A	13,5	864,3	869,85	5,55	317,7	64,8	7 ημερών
	13,6	868,5	873,82	5,32	303,1	61,9	63,4
13	13,7	860,8	869,1	8,3	342,6	69,9	28 ημερών
	13,8	864,9	872,9	8	359,6	73,4	71,7
M	14,1	855,4	859,02	3,62	93,9	19,2	1 ημέρας
I	14,2	857,4	860,58	3,18	93,7	19,1	19,1
Γ	14,3	826,9	831,55	4,65	186,6	38,1	2 ημερών
M	14,4	825,7	830,59	4,89	188,8	38,5	38,3
A	14,5	856,7	863,13	6,43	279,6	57,1	7 ημερών
	14,6	855,8	861,94	6,14	282,1	57,6	57,3
14	14,7	860,4	869,8	9,4	308,2	62,9	28 ημερών
	14,8	846,6	855,6	9	324,5	66,2	64,6
M	15,1	816,3	816,3	0	78,7	16,1	1 ημέρας
I	15,2	814,8	814,8	0	78,5	16,0	16
Γ	15,3	842,6	848,22	5,62	162,6	33,2	2 ημερών
M	15,4	846,5	851,61	5,11	167,9	34,3	33,7
A	15,5	848,2	855,99	7,79	278,5	56,8	7 ημερών
	15,6	851,9	858,81	6,91	268,5	54,8	55,8
15	15,7	853,2	862,8	9,6	325,7	66,5	28 ημερών
	15,8	847,3	857,2	9,9	324,9	66,3	66,4

ΠΙΝΑΚΑΣ Π1 Μετρήσεις βαρών και αντοχών δοκιμίων.

ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ			ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ		
	ΠΡΙΝ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (gr)	ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (gr)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΒΑΡΟΥΣ (gr)	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΤΑΣΗ (MPa)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ
<i>M</i>	16,1	794,6	794,6	0	72,5	14,8
<i>I</i>	16,2	832,1	832,1	0	76,5	15,6
<i>Γ</i>	16,3	841	846,44	5,44	156	31,8
<i>M</i>	16,4	838,3	843,45	5,15	151,1	30,8
<i>A</i>	16,5	835,3	843,41	8,11	250,8	51,2
	16,6	838,9	847,8	8,9	240,6	49,1
<i>16</i>	16,7	837,7	848,4	10,7	311	63,5
	16,8	831,9	842,8	10,9	310,9	63,4
<i>M</i>	17,1	846,5	849,78	3,28	207,7	42,4
<i>I</i>	17,2	840,9	844,2	3,3	209,6	42,8
<i>Γ</i>	17,3	885,9	889,98	4,08	344,7	70,3
<i>M</i>	17,4	840,9	845	4,1	328,9	67,1
<i>A</i>	17,5	879,7	885,43	5,73	404,8	82,6
	17,6	879,4	885,22	5,82	405,3	82,7
<i>17</i>	17,7	876,5	885	8,5	450,3	91,9
	17,8	877,3	885,4	8,1	443,9	90,6
<i>M</i>	18,1	839,5	841,18	1,68	176,9	36,1
<i>I</i>	18,2	828,8	831,1	2,3	164,3	33,5
<i>Γ</i>	18,3	886,4	891,49	5,09	289,2	59,0
<i>M</i>	18,4	857,1	862,05	4,95	280,2	57,2
<i>A</i>	18,5	877,2	883,72	6,52	349,5	71,3
	18,6	855,7	862,59	6,89	348,7	71,2
<i>18</i>	18,7	863,7	872,9	9,2	404,1	82,5
	18,8	859,1	868,3	9,2	391	79,8
<i>M</i>	19,1	868,3	870,15	1,85	181,1	37,0
<i>I</i>	19,2	863,6	866,12	2,52	169,1	34,5
<i>Γ</i>	19,3	836,4	840,78	4,38	264,4	54,0
<i>M</i>	19,4	829,6	834,03	4,43	246,6	50,3
<i>A</i>	19,5	856,1	863,04	6,94	342,2	69,8
	19,6	858,7	865,13	6,43	327,8	66,9
<i>19</i>	19,7	861,7	870,5	8,8	387	79,0
	19,8	856,4	865,7	9,3	376,7	76,9
<i>M</i>	20,1	847	847	0	151,9	31,0
<i>I</i>	20,2	842,7	842,7	0	144,3	29,4
<i>Γ</i>	20,3	842,5	848,41	5,91	247,2	50,4
<i>M</i>	20,4	851,1	857,54	6,44	238,1	48,6
<i>A</i>	20,5	837,2	845,49	8,29	321,7	65,7
	20,6	846,2	854,76	8,56	323	65,9
<i>20</i>	20,7	844,5	855,4	10,9	368,8	75,3
	20,8	812,7	823,9	11,2	361,5	73,8

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΠΡΙΝ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ = το βάρος του δοκιμίου αμέσως μετά το ξεκαλούπωμα.

ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ = το βάρος του δοκιμίου μόλις πριν τη δοκιμή θλίψης.

Η διαφορά των δύο παραπάνω βαρών οφείλεται στην υδατοπερατότητα του σκυροδέματος (λόγω των πόρων του). Η διαφορά αυτή είναι μηδενική όταν η δοκιμή θλίψης γίνει αμέσως μετά από το ξεκαλούπωμα, δηλαδή χωρίς να προηγηθεί συντήρηση δοκιμίου (αντοχή 1^{ης} ημέρας).

2. Λόγω βλάβης της μηχανής θλίψης του Εργαστηρίου της Ένωσης Τσιμεντοβιομηχανιών τα δοκίμια 2.7, 2.8, 3.7, 3.8, 4.7, 4.8 δοκιμάστηκαν σε θλίψη σε άλλο εργαστήριο (Κ.Ε.Δ.Ε.) στο οποίο όμως δεν ζυγίστηκαν πριν τη δοκιμή.

2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟΥ

Το πυκνόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι φιάλη χωρητικότητας τουλάχιστον 300 ml με ειδικό πώμα το οποίο αποτελείται από το ίδιο υλικό με τη φιάλη (και είναι τέτοιου μεγέθους και σχήματος ώστε να εισέρχεται εύκολα μέχρι ορισμένο βάθος μέσα στο λαιμό της φιάλης) και φέρει δύο οπές τέτοιες ώστε να αφαιρείται νερό ή αέρας όταν χρειάζεται. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η παρακάτω :

Αρχικά τα αδρανή (ρυζάκι 4/8 mm) πλένονται και από αυτά διαλέγονται οι μεγαλύτεροι κόκκοι συνολικού βάρους περίπου 500 gr. Ακολουθεί ξήρανση των αδρανών για $24 \pm 0,5$ ώρες σε θερμοκρασία 105 ± 5 °C σε ηλεκτρικό φούρνο. Την επόμενη ημέρα τα αδρανή βγαίνουν απ' τον φούρνο και αφού ψυχθούν μπαίνουν σε φιάλη με νερό θερμοκρασίας 20 ± 5 °C για χρονικό διάστημα που έχει επιλεγεί κάθε φορά (15 λεπτά, 45 λεπτά, 2 ώρες, 4,5 ώρες, >24 ώρες) και μετά αφού βγουν από το νερό σκουπίζονται ώστε να αφαιρεθεί η επιφανειακή τους υγρασία (επιφανειακώς στεγνά) και ζυγίζονται μέσα σε δοχείο (με σκέπασμα ώστε να μη γίνεται εξάτμιση απορροφημένης υγρασίας) → ΒΑΡΟΣ Α.

Το πυκνόμετρο γεμίζει με τα αδρανή (βάρους Α) και με νερό θερμοκρασίας 20 ± 5 °C (το οποίο είναι βρασμένο ώστε να αφαιρεθεί ο αέρας) μέχρι κάποια στάθμη πριν το ειδικό πώμα. Έπειτα γίνεται η αφαίρεση του περιεχόμενου αέρα με αντλία αναρροφητήρα και ανακινώντας το πυκνόμετρο ώστε να διευκολυνθεί η απομάκρυνση του αέρα (ο οποίος κυρίως βρίσκεται εγκλωβισμένος κάτω από κάθε κόκκο αδρανούς). Αμέσως μετά γεμίζεται και το υπόλοιπο πυκνόμετρο μέχρι ειδική σημειωμένη στάθμη και ζυγίζεται → ΒΑΡΟΣ Β.

Τα αδρανή βγαίνουν από το πυκνόμετρο και μπαίνουν στο φούρνο για να ξηραθούν για $24 \pm 0,5$ ώρες. Το πυκνόμετρο γεμίζει με νερό (θερμοκρασίας 20 ± 5 °C) και ζυγίζεται → ΒΑΡΟΣ C.

Την επόμενη ημέρα τα αδρανή βγαίνουν από το φούρνο και αφού ψυχθούν ζυγίζονται → ΒΑΡΟΣ D.

Χρησιμοποιείται ζυγαριά ένδειξης 0,01 gr. Έχουν ζυγιστεί τα παρακάτω :

A = Βάρος κορεσμένων (μερικώς ή ολικώς) και επιφανειακά στεγνών αδρανών (σε gr).

B = Βάρος νερού + αδρανών στο πυκνόμετρο (σε gr).

C = Βάρος νερού στο πυκνόμετρο (σε gr).

D = Βάρος ξηρών αδρανών (σε gr).

Από τα μεγέθη A, B, C, D μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές των παρακάτω μεγεθών των αδρανών :

1. Σχετική πυκνότητα ξηρών αδρανών = $D/(A-B+C)$.
2. Σχετική πυκνότητα αδρανών σε κορεσμένη (μερικώς ή ολικώς) και επιφανειακώς στεγνή κατάσταση = $A/(A-B+C)$.
3. Φαινόμενη σχετική πυκνότητα αδρανών = $D/(D-B+C)$.
4. Απορρόφηση νερού επί τις % = $[(A-D)/D]*100$.

Εφαρμόσαμε αυτή τη μέθοδο για χρόνους απορρόφησης 15 λεπτά (0,25 h), 45 λεπτά (0,75h), 2 ώρες, 4,5 ώρες, 24 ώρες, ~65 ώρες. Επαναλάβαμε την κάθε μέτρηση μέχρι τρεις φορές (ημέρες μετρήσεων : Τρίτη 15/2/00, Παρασκευή 25/2/00, Δευτέρα 28/2/00). Οι μετρήσεις φαίνονται στους Πίνακες Π2(1)-(3).

Παρατήρηση : Την ημέρα Τρίτη 15/2/00 οι μετρήσεις έγιναν χωρίς αφαίρεση αέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π2(1) Μετρήσεις την ημέρα Τρίτη 15/2/00

ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ (h)	0,25	0,75	2	65
ΒΑΡΟΣ				
A	953,38	964,91	969,8	967,45
B	441,89	460,7	468,09	463,49
C	677,6	677,6	677,6	677,6
D	438,18	465,5	464,11	458,03
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ				
1.	2,638	2,633	2,639	2,638
2.	2,66	2,657	2,661	2,669
3.	2,697	2,698	2,7	2,723
4.	0,85%	0,92%	0,86%	1,19%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π2(2) Μετρήσεις την ημέρα Παρασκευή 25/2/00

ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ (h)	0,25	0,75	2	4,5	65
ΒΑΡΟΣ					
A	505,39	479,33	483,28	482,1	477,88
B	992,26	976,68	978,6	978,6	976,28
C	677,45	677,45	677,45	677,45	677,45
D	500,45	474,91	478,22	477,49	472,65
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ					
1.	2,626	2,637	2,626	2,639	2,64
2.	2,652	2,661	2,653	2,664	2,669
3.	2,696	2,703	2,701	2,708	2,719
4.	0,99%	0,93%	1,06%	0,97%	1,11%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π2(3) Μετρήσεις την ημέρα Δευτέρα 28/2/00

ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ (h)	0,25	0,75	2	24
ΒΑΡΟΣ				
A	492,12	490,71	501,16	485,14
B	988,75	983,71	990,18	980,12
C	677,45	677,45	677,45	677,45
D	494,68	486,07	496,15	479,64
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ				
1.	2,634	2,635	2,633	2,626
2.	2,657	2,66	2,66	2,659
3.	2,698	2,703	2,705	2,71
4.	0,90%	0,95%	1,01%	1,15%

Τα αποτελέσματα από τις παραπάνω μετρήσεις φαίνονται στους παρακάτω Πίνακες Π3(1)-(9) καθώς και στα παρακάτω Σχήματα Σ1(1)-(4) και είναι επαναλήψιμα διότι δεν διαφέρουν ανά δύο περισσότερο από την αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών

ΠΙΝΑΚΑΣ Π3(1) Αποτελέσματα της μεθόδου του πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 0,25 h (15 λεπτά).

Ιδιότητες	1.	2.	3.	4.
Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*	0,025	0,02	0,02	0,25%
Τρίτη 15/2/00	2,638	2,66	2,697	0,85%
Παρασκευή 25/2/00	2,626	2,652	2,696	0,99%
Δευτέρα 28/2/00	2,634	2,657	2,698	0,90%
Μέσος όρος	2,633	2,656	2,697	0,91%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π3(2) Αποτελέσματα της μεθόδου του πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 0,75 h (45 λεπτά).

Ιδιότητες	1.	2.	3.	4.
Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*	0,025	0,02	0,02	0,25%
Τρίτη 15/2/00	2,633	2,657	2,698	0,92%
Παρασκευή 25/2/00	2,637	2,661	2,703	0,93%
Δευτέρα 28/2/00	2,635	2,66	2,703	0,95%
Μέσος όρος	2,635	2,659	2,701	0,93%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π3(3) Αποτελέσματα της μεθόδου του πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 2h

<i>Ιδιότητες</i>	<i>1.</i>	<i>2.</i>	<i>3.</i>	<i>4.</i>
<i>Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*</i>	0,025	0,02	0,02	0,25%
Τρίτη 15/2/00	2,639	2,661	2,7	0,86%
Παρασκευή 25/2/00	2,626	2,653	2,701	1,06%
Δευτέρα 28/2/00	2,633	2,66	2,705	1,01%
<i>Μέσος όρος</i>	2,633	2,658	2,702	0,98%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π3(4) Αποτελέσματα της μεθόδου του πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 4,5 h.

<i>Ιδιότητες</i>	<i>1.</i>	<i>2.</i>	<i>3.</i>	<i>4.</i>
Παρασκευή 25/2/00	2,639	2,664	2,708	0,97%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π3(5) Αποτελέσματα της μεθόδου του πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό 24 h.

<i>Ιδιότητες</i>	<i>1.</i>	<i>2.</i>	<i>3.</i>	<i>4.</i>
Δευτέρα 28/2/00	2,629	2,659	2,71	1,15%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π3(6) Αποτελέσματα της μεθόδου του πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό ~ 65 h.

<i>Ιδιότητες</i>	<i>1.</i>	<i>2.</i>	<i>3.</i>	<i>4.</i>
<i>Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*</i>	0,025	0,02	0,02	0,25%
Τρίτη 15/2/00	2,638	2,669	2,723	1,19%
Παρασκευή 25/2/00	2,64	2,669	2,719	1,11%
<i>Μέσος όρος</i>	2,639	2,669	2,721	1,15%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π3(7) Αποτελέσματα της μεθόδου του πυκνομέτρου για χρόνο εβάπτισης στο νερό > 24 h.

<i>Ιδιότητες</i>	<i>1.</i>	<i>2.</i>	<i>3.</i>	<i>4.</i>
<i>Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών*</i>	0,025	0,02	0,02	0,25%
Τρίτη 15/2/00	2,638	2,669	2,723	1,19%
Παρασκευή 25/2/00	2,64	2,669	2,719	1,11%
Δευτέρα 28/2/00	2,629	2,659	2,71	1,15%
<i>Μέσος όρος</i>	2,636	2,666	2,717	1,15%

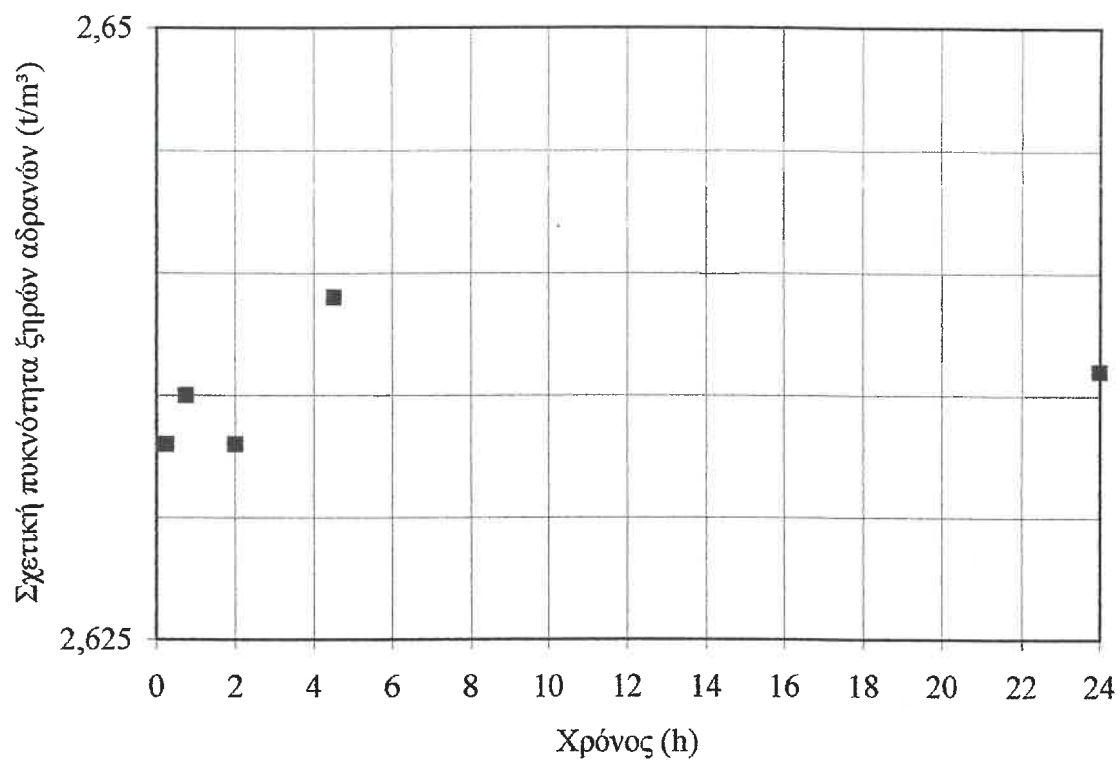
ΠΙΝΑΚΑΣ Π3(8) Μέσοι όροι των αποτελεσμάτων της μεθόδου του πυκνομέτρου.

<i>ΧΡΟΝΟΣ</i>	<i>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</i>				<i>ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ</i>
	<i>1.</i>	<i>2.</i>	<i>3.</i>	<i>4.</i>	
0,25	2,633	2,656	2,697	0,91	3
0,75	2,635	2,659	2,701	0,93	3
2	2,633	2,658	2,702	0,98	3
4,5	2,639	2,664	2,708	0,97	1
24	2,629	2,659	2,71	1,15	1
65	2,639	2,669	2,721	1,15	2

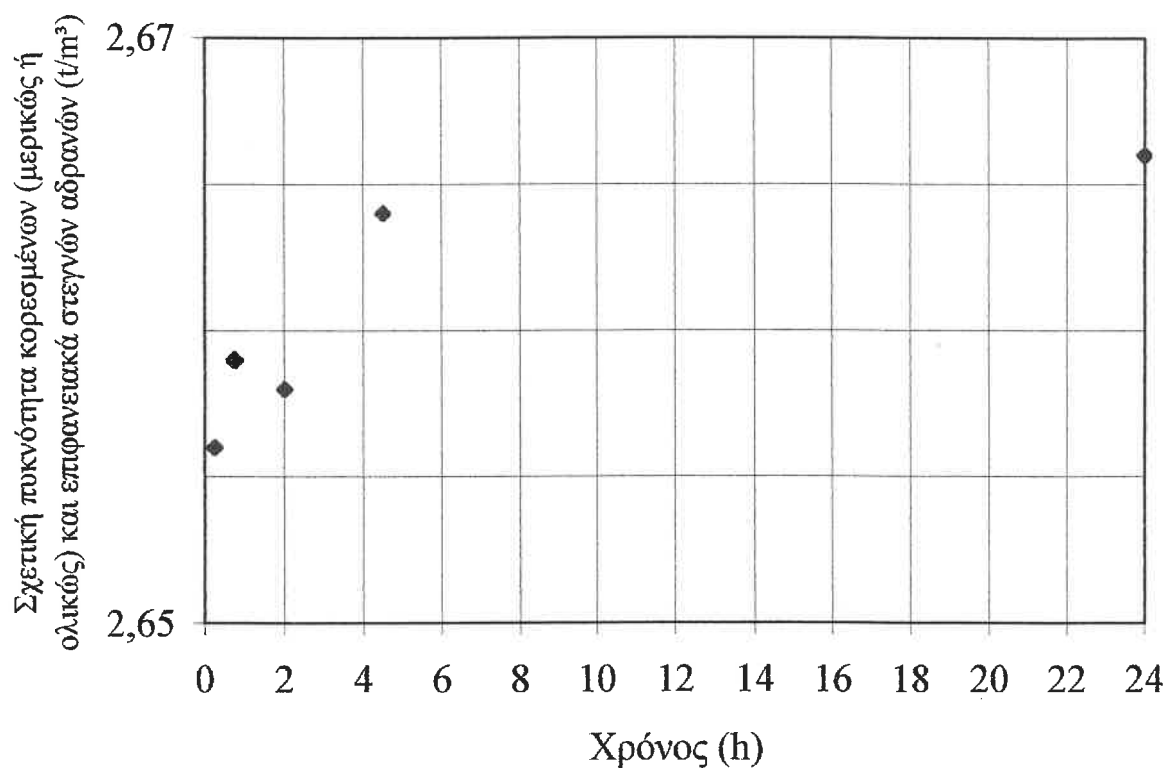
ΠΙΝΑΚΑΣ Π3(9) Μέσοι όροι των αποτελεσμάτων της μεθόδου του πυκνομέτρου.

<i>ΧΡΟΝΟΣ</i>	<i>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</i>				<i>ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ</i>
	<i>1.</i>	<i>2.</i>	<i>3.</i>	<i>4.</i>	
0,25 h	2,633	2,656	2,697	0,91	3
0,75 h	2,635	2,659	2,701	0,93	3
2 h	2,633	2,658	2,702	0,98	3
4,5 h	2,639	2,664	2,708	0,97	1
>24 h	2,636	2,666	2,717	1,15	3

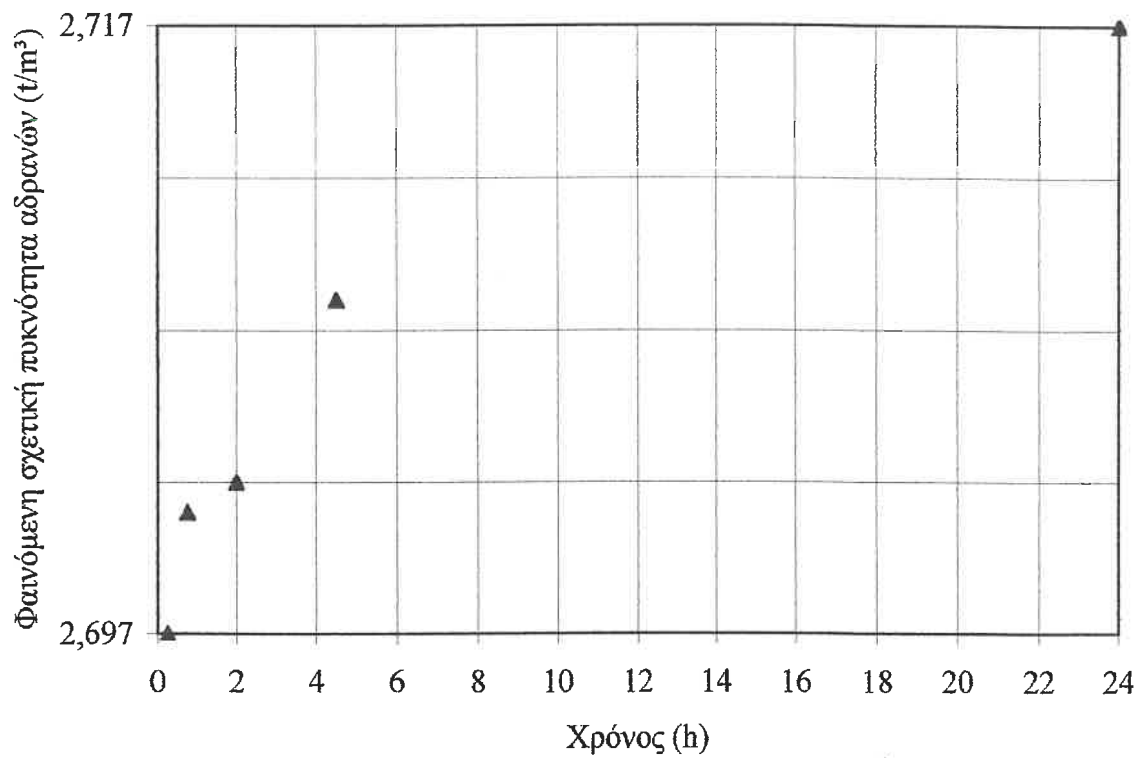
Στον Πίνακα Π3(9) αναφέρονται τα παρακάτω Σχήματα Σ1(1)-(4).



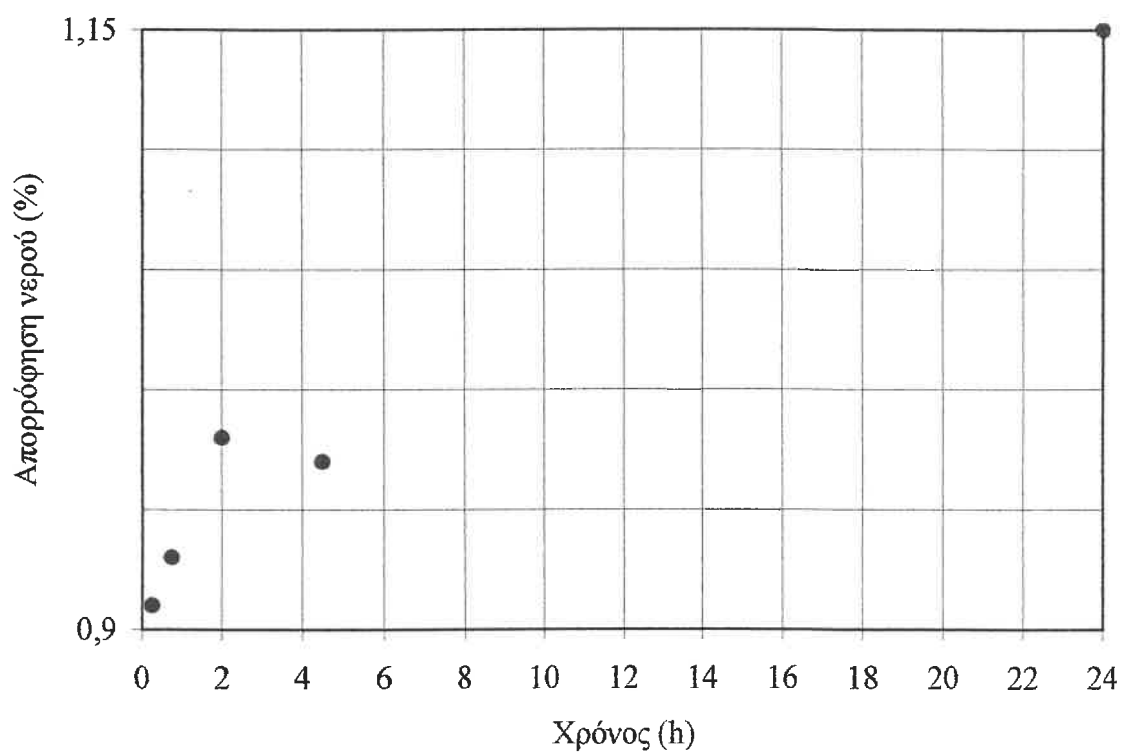
ΣΧΗΜΑ Σ1(1) Σχετική πυκνότητα ξηρών αδρανών σε σχέση με το χρόνο.



ΣΧΗΜΑ Σ1(2) Σχετική πυκνότητα κορεσμένων και επιφανειακά κορεσμένων αδρανών σε σχέση με το χρόνο.



ΣΧΗΜΑ Σ1(3) Φαινόμενη σχετική πυκνότητα αδρανών σε σχέση με το χρόνο.



ΣΧΗΜΑ Σ1(4) Απορρόφηση νερού % από τα αδρανή σε σχέση με το χρόνο.

3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΕΒΑΠΤΙΣΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟ.

Αρχικά τα αδρανή πλένονται και από αυτά διαλέγονται οι μεγαλύτεροι κόκκοι. Ακολουθεί ξήρανση των αδρανών για $24 \pm 0,5$ ώρες σε θερμοκρασία 105 ± 5 °C σε ηλεκτρικό φούρνο του εργαστηρίου. Την επόμενη ημέρα τα αδρανή αφού βγούν από το φούρνο και ψυχθούν διαλέγονται από αυτά 50 κόκκοι για κάθε πείραμα και ζυγίζονται → ΒΑΡΟΣ D1.

Φτιάχνεται τσιμεντοπολτός (λόγου N/T=0,45) και αδειάζεται μέσα σε δοχείο. Μέσα στον τσιμεντοπολτό εβαπτίζονται αδρανή (50 κόκκοι) για χρονικό διάστημα που έχει επιλεγεί κάθε φορά (15 λεπτά, 45 λεπτά, 2 ώρες) και μετά τα αδρανή βγαίνουν από τον τσιμεντοπολτό (οι κόκκοι μετρούνται ώστε να είναι 50) και σκουπίζονται με κατάλληλες πετσέτες ώστε να απομακρυνθεί ο τσιμεντοπολτός που περιβάλλει τα αδρανή. Τα σκουπισμένα αδρανή ζυγίζονται → ΒΑΡΟΣ Α.

Τα ζυγισμένα αδρανή μπαίνουν στο φούρνο για να ξηραθούν για $24 \pm 0,5$ ώρες. Την επόμενη ημέρα τα αδρανή βγαίνουν από το φούρνο και αφού ψυχθούν ζυγίζονται → ΒΑΡΟΣ D2.

Χρησιμοποιείται ηλεκτρονική ζυγαριά ένδειξης 0,01 gr.

Η διαφορά A-D2 είναι το βάρος της υγρασίας απορρόφησης των αδρανών (διότι τόσο το βάρος Α όσο και το D2 περιλαμβάνουν την ίδια ελάχιστη ποσότητα τσιμεντοπολτού που δεν αφαιρέθηκε από τους κόκκους των αδρανών) και το πηλίκο (A-D2)/D1 είναι η απορρόφηση νερού % (το βάρος D1 αποτελεί το πραγματικό ξηρό βάρος των αδρανών).

Αυτή η μέθοδος εφαρμόστηκε για χρόνο απορρόφησης 15 λεπτά, 45 λεπτά, 2 ώρες. Κάθε μέτρηση έγινε τρεις φορές (ημέρες μετρήσεων : Πέμπτη 24/2/00, Παρασκευή 25/2/00, Δευτέρα 28/2/00).

Οι μετρήσεις φαίνονται στους Πίνακες Π4(1) – (3). Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις αυτές φαίνονται στους Πίνακες Π5(1) – (4).

Τέλος, ο Πίνακας Π6 και το Σχήμα Σ2 βοηθούν στη σύγκριση των αποτελεσμάτων της υδατοαπορρόφησης των αδρανών μεταξύ της περίπτωσης που αυτά εβαπτίζονται σε νερό και αυτής σε τσιμεντοπολτό.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π4(1) Μετρήσεις την ημέρα Πέμπτη 24/2/00.

ΧΡΟΝΟΣ (h)	0,25	0,75	2
ΑΡΧΙΚΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ (gr) = D1	132,51	119,65	130,3
ΑΡΧΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΚΚΩΝ	50	50	50
N/T	0,45	0,45	0,45
ΒΑΡΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ (gr)	605,83	582,34	578,77
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	272,62	262,05	260,45
ΩΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗΣ	3:37μμ	1:07μμ	12:55μμ
ΧΡΟΝΟΣ ΣΚΟΥΠΠΙΣΜΑΤΟΣ	3:52μμ-4:25μμ	1:52μμ-2:25μμ	2:55μμ-3:30μμ
ΒΑΡΟΣ ΣΚΟΥΠΠΙΣΜΕΝΩΝ ΚΟΚΚΩΝ (gr) = A	133,78	120,98	132,02
ΤΕΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΚΚΩΝ	50	50	50
ΤΕΛΙΚΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ (gr) = D2	132,72	119,82	130,54
ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ = [(A-D2)/D1]*100%	0,80%	0,97%	1,14%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π4(2) Μετρήσεις την ημέρα Παρασκευή 25/2/00.

ΧΡΟΝΟΣ (h)	0,25	0,75	2
ΑΡΧΙΚΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ (gr) = D1	147,4	149,66	153,4
ΑΡΧΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΚΚΩΝ	50	50	50
N/T	0,45	0,45	0,45
ΒΑΡΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ (gr)	558,68	498,17	495,14
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	251,41	224,18	222,81
ΩΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗΣ	2:30μμ	12:13μμ	2:00μμ
ΧΡΟΝΟΣ ΣΚΟΥΠΠΙΣΜΑΤΟΣ	2:45μμ-3:15μμ	12:58μμ-1:35μμ	4:00μμ-4:35μμ
ΒΑΡΟΣ ΣΚΟΥΠΠΙΣΜΕΝΩΝ ΚΟΚΚΩΝ (gr) = A	149,25	151,67	155,56
ΤΕΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΚΚΩΝ	50	50	50
ΤΕΛΙΚΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ (gr) = D2	147,98	150,16	153,9
ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ = [(A-D2)/D1]*100%	0,86	1,01	1,09

ΠΙΝΑΚΑΣ Π4(3) Μετρήσεις την ημέρα Δευτέρα 28/2/00.

ΧΡΟΝΟΣ (h)	0,25	0,75	2
ΑΡΧΙΚΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ (gr) = D1	134,37	121,26	154,05
ΑΡΧΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΚΚΩΝ	50	50	50
N/T	0,45	0,45	0,45
ΒΑΡΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ (gr)	628,66	719,72	680,53
ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ (gr)	282,9	323,87	306,24
ΩΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗΣ	1:55μμ	4:00μμ	12:30μμ
ΧΡΟΝΟΣ ΣΚΟΥΠΠΙΣΜΑΤΟΣ	2:10μμ-2:50μμ	4:45μμ-5:20μμ	2:30μμ-3:00μμ
ΒΑΡΟΣ ΣΚΟΥΠΠΙΣΜΕΝΩΝ ΚΟΚΚΩΝ (gr) = A	135,92	122,5	155,77
ΤΕΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΚΚΩΝ	50	50	50
ΤΕΛΙΚΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ (gr) = D2	134,8	121,26	154,39
ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ = [(A-D2)/D1]*100%	0,83	1,02	0,9

ΠΙΝΑΚΑΣ Π5(1) Υδαταπορρόφηση αδρανών σε χρόνο 0,25 h (15 λεπτά).

Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών	0,25%
Πέμπτη 24/2/00	0,80%
Παρασκευή 25/2/00	0,86%
Δευτέρα 28/2/00	0,83%
Μέσος όρος	0,83%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π5(2) Υδαταπορρόφηση αδρανών σε χρόνο 0,75 h (45 λεπτά).

Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών	0,25%
Πέμπτη 24/2/00	0,97%
Παρασκευή 25/2/00	1,01%
Δευτέρα 28/2/00	1,02%
Μέσος όρος	1,00%

ΠΙΝΑΚΑΣ Π5(3) Υδαταπορρόφηση αδρανών σε χρόνο 2 h.

Αποδεκτή διακύμανση δύο τιμών	0,25%
Πέμπτη 24/2/00	1,14%
Παρασκευή 25/2/00	1,09%
Δευτέρα 28/2/00	0,90%
Μέσος όρος	1,04%

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ :

Τα αποτελέσματα είναι επαναλήψιμα σύμφωνα με ASTM C127. [14]

ΠΙΝΑΚΑΣ Π5(4) Μέσοι όροι υδαταπορρόφησης αδρανών.

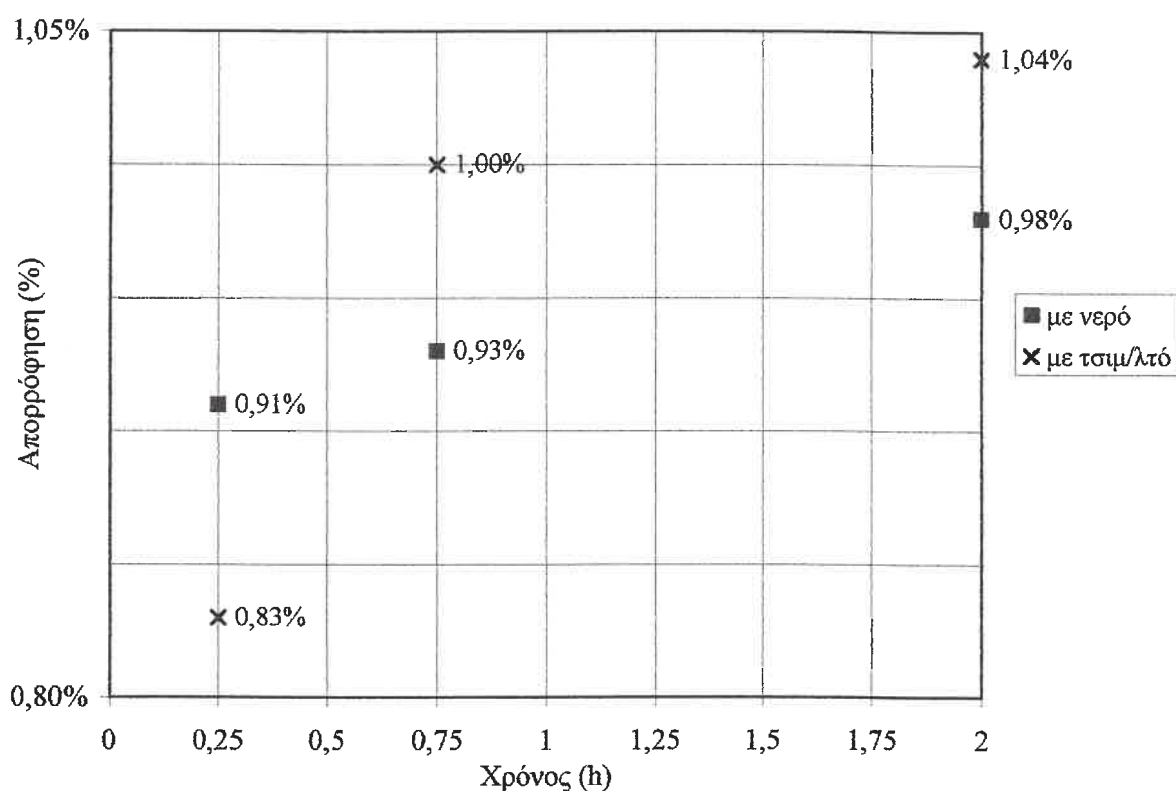
ΧΡΟΝΟΣ (h)	0,25	0,75	2
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ	0,83%	1,00%	1,04%

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ :

Αυξάνεται η υγρασία απορρόφησης των αδρανών όσο αυξάνει ο χρόνος παραμονής τους μέσα στο νερό. Παρατηρείται όμως ότι η μεγαλύτερη απορρόφηση λαμβάνει χώρα το πρώτο 15λεπτο και έκτοτε ο ρυθμός αύξησης μειώνεται.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π6 Κοινός πίνακας αποτελεσμάτων υδατοαπορρόφησης.

Χρόνος(h)	Αδρανή + νερό	Αδρανή + τσιμεντοπολτός
0,25	0,91%	0,83%
0,75	0,93%	1,00%
2	0,98%	1,04%

**ΣΧΗΜΑ Σ2** Κοινό σχήμα αποτελεσμάτων υδατοαπορρόφησης.

Βέβαια οι παραπάνω μετρήσεις έγιναν μόνο για το ρυζάκι (4/8 mm) και όχι για την άμμο (0/4 mm) διότι όσο αφορά την ανάκτηση των κόκκων άμμου μετά την ε-βάπτισή τους στον τσιμεντοπολτό θα ήταν αδύνατη και όσο αφορά τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους της άμμου θα χρειαζόταν εφαρμογή της αντίστοιχης μεθόδου με αυτήν του πυκνομέτρου, η οποία όμως είναι πιο πολύπλοκη και ανακριβής (λόγω της μεγάλης πιθανότητας σφάλματος που έχει). Όμως και για την άμμο είναι αναμενόμενο να ισχύουν περίπου οι ίδιες τιμές του ειδικού βάρους και της υδατοαπορρόφησης, διότι η άμμος και το ρυζάκι προέρχονται από το ίδιο πέτρωμα.

[ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ]

1. ΧΡΙΣΤΟΥ Μ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, «Τεχνολογία του σκυροδέματος», Εκδόσεις Art of Text, 2^η έκδοση 1993.
2. Σ. Κόλιας, Σημειώσεις Μεταπτυχιακών Μαθημάτων «Προχωρημένη Τεχνολογία Σκυροδέματος», 1998.
3. Δελτίο Συλλόγων Πολιτικών Μηχανικών, «Αφιέρωμα στην Τεχνολογία Σκυροδέματος», 1990.
4. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ, Διάταγμα 29/2/1980.
5. Ν. Μαρσέλλος, «ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ – Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97)», Εκδόσεις π.SYSTEMS, 2^η έκδοση Οκτώβριος 1998.
6. A. F. Stock, D. J. T. Williams, "The effect of aggregate concentration upon the strength and modulus of elasticity of concrete", Magazine of Concrete Research : Vol. 31, No 109 : December 1979, pp.225-234.
7. N. R. Buenfeld and E. Okundi, "Effect of cement content on transport in concrete", Magazine of Concrete Research, December 1998, 50, No 4, pp.339-351.
8. P. K. Mehta, "Concrete Structure, Properties and Materials", Prentice Hall, 1986, pp.36-40.
9. A. M. Neville, "Properties of concrete", Logman Group Limited, Forth Edition, 1995, pp.287-289, 747-748.
10. CEN/TC 104-CONCRETE, prEN 12394-1997, "Testing concrete- Determination of compressive strength of test specimens".
11. A. M. Neville, "Properties of concrete", Pitman Publishing, Second Edition, 1975, pp.121-127.
12. Χριστόδ. Λαγγιώτη – Κωνστ. Σπηλιωτόπουλου, «ΕΛΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ», τεύχος Α, Αθήνα 1970.
13. "British Standard Methods for Sampling and testing of mineral aggregates, sands and fillers", BS 812 : Part 2 : Physical properties, 1975.
14. ASTM C127-88, "Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of coarse Aggregate"
15. ΑΙΜΙΛΙΟΥ Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΥ, «ΤΕΧΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ, ΤΟΜΟΣ 1», Ε.Μ.ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, ΑΘΗΝΑ 1985.

