

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΑΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αναπλ. Καθηγητής Σ.ΚΟΛΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ  
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΙΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΠΟΛΥΖΩΗΣ ΑΓΑΜΕΜΝΩΝ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2000

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΠΑΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Αναπλ. Καθηγητής Σ.ΚΟΛΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ  
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΠΟΛΥΖΩΗΣ ΑΓΑΜΕΜΝΩΝ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2000

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ</b>	<b>1</b>
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	1
1.2 ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ.....	1
1.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	1
1.2.2 Χημική σύσταση.....	1
1.2.3 Διακρίσεις τσιμέντων.....	2
1.2.4 Χρήση τσιμέντων στην Ελλάδα.....	2
1.2.5 Πρόσμικτα υλικά τσιμέντου.....	3
1.2.6 Ενυδάτωση τσιμέντου.....	4
1.3 ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ.....	4
1.3.1 Προέλευση και αντοχή των αδρανών.....	4
1.3.2 Καθαρότητα.....	5
1.3.3 Κοκκομετρική διαβάθμιση.....	5
1.3.4 Μορφή κόκκων.....	6
1.4 ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΕΙΞΕΩΣ.....	6
1.5 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	6
1.5.1 Επιταχυντές.....	7
1.5.2 Επιβραδυντές.....	7
1.5.3 Ρευστοποιητές. Μειωτές νερού και ρυθμιστές πήξεως.....	8
1.5.4 Υπερρευστοποιητές.....	8
1.5.5 Αερακτικά.....	9
1.5.6 Πρόσθετα που βελτιώνουν το ιξώδες.....	9
<b>2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ 97</b>	<b>10</b>
2.1. ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	10
2.2. ΑΝΑΜΙΕΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	11
2.3. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	12
2.4. ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	12
2.5. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	12
2.6. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	13
<b>3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b>	<b>14</b>
3.1. ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	14
3.1.1 Ορισμοί που συνδέονται με το εργάσιμο.....	14
3.1.2 Ρεολογική συμπεριφορά.....	14
3.1.3 Εξίδρωση.....	17
3.1.4 Απόμειξη.....	17
3.2 ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	18
3.2.1 Γενικά για την αντοχή.....	18
3.2.2 Ορισμοί αντοχών σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ.....	19
3.2.3 Οι αντοχές στις διάφορες μορφές καταπονήσεων.....	19

3.3	Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά.....	22
3.4	Συστολή ξηράνσεως.....	23
3.5	Ερπυσμός.....	23
3.6	Πορώδες.....	24
3.7	Υδαταπορροφητικότητα και υδατοστεγανότητα.....	25
<b>4.</b>	<b>ΤΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b>	<b>26</b>
4.1.	ΙΣΤΟΡΙΚΟ, ΣΚΟΠΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....	26
4.2.	ΟΡΙΣΜΟΙ.....	27
4.3.	ΓΕΝΙΚΑ.....	28
4.4.	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	30
4.5.	ΕΙΔΗ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	30
4.5.1	Χαρακτηριστικά κάθε τύπου αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.....	31
4.5.2	Πλεονεκτήματα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες έναντι του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μόνο με λεπτά υλικά.....	32
4.6.	ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΕΝΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΩΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ.....	32
4.6.1	Μετρήση της εξάπλωσης του κώνου κάθισης.....	33
4.6.2	Μετρήσεις με τη συσκευή της χοάνης.....	34
4.6.3	Μετρήσεις με το δοχείο τύπου κουτιού ή τύπου 'U'.....	35
4.6.4	Μετρήσεις με το κουτί σχήματος L.....	36
4.7	ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ.....	37
4.8	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΡΕΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	38
4.9	ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	39
4.9.1	Επιλογή των υλικών.....	39
4.9.2.1	Συνθεση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μόνο με λεπτά υλικά.....	39
4.9.2.2	Σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες.....	39
4.9.2.3	Σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος συνδυασμένου τύπου.....	40
4.10	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	40
4.10.1	Παραγωγή.....	41
4.10.2	Έλεγχος ποιότητας κατά την παραγωγή.....	41
4.11	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ....	41
4.12	ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ...	42
<b>5.</b>	<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	<b>43</b>
5.1	ΣΚΟΠΟΣ.....	43
5.2	ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	44

<b>6. ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b>	<b>48</b>
6.1 ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ.....	48
6.2 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ, ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.	49
6.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	53
6.4 ΣΤΟΧΟΣ.....	54
6.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ.....	83
<b>7. ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ</b>	<b>94</b>
7.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	94
7.2 ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ.....	94
7.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	94
7.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	95
7.5 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ.....	96
7.6 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΗ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ.....	99
7.6.1 Μεταβολή των χρόνων $t_0$ και $t_5$ συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή.....	100
7.6.2 Μεταβολή του χρόνου $t_{300}$ της δοκιμής εξάπλωσης συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή.....	101
7.7 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ ΠΟΥ ΒΕΛΤΙΩΝΕΙ ΤΟ ΙΕΩΔΕΣ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ.....	108
7.8 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΑΜΜΟΣ/ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ.....	111
7.9 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΟΥ ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΗ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ.....	115
7.10 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ.....	118
7.11 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ.....	122
7.12 ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΠΥΡΙΤΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ.....	125
<b>8. ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΕΝΟΣ ΠΕΤΥΧΗΜΕΝΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ</b>	<b>129</b>
8.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	131
8.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑ.....	132

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες κατασκευές από σκυρόδεμα είναι η εξάρτηση της λειτουργικότητάς τους από το ανθρώπινο δυναμικό κι από την επιδεξιότητα των εργατών που είναι υπεύθυνοι για τη σκυροδέτηση ενός φορέα από σκυρόδεμα. Η επίτευξη της απαιτούμενης αντοχής, καθώς και η απαιτούμενη ανθεκτικότητα της κατασκευής εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη συμπύκνωση του σκυροδέματος και κατ' επέκταση από την ικανότητα των εργατών να χειρίζονται το δονητή σε δύσβατα μέρη. Ακόμα, η δυσκολία της πρόσβασης του δονητή που χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση του σκυροδέματος σε πολλά σημεία της κατασκευής έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία 'αδύνατων' σημείων στο σκυρόδεμα, τα οποία δημιουργούν προβλήματα λειτουργικότητας στην κατασκευή. Υπάρχει λοιπόν μεγάλη ανάγκη αυτοματοποίησης της κατασκευής, η οποία δε θα εξαρτάται πια από την ικανότητα των εργατών να χειρίζονται το δονητή.

Τη λύση στο παραπάνω πρόβλημα έρχεται να δώσει το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Με τη χρήση του σκυροδέματος αυτού δεν απαιτείται καθόλου δόνηση, αφού το σκυρόδεμα αυτό μπορεί και συμπυκνώνεται κάτω από το ίδιο του το βάρος. Έτσι, η λειτουργικότητα της κατασκευής δεν εξαρτάται πλέον από το ανθρώπινο δυναμικό. Επιπλέον, αποκτάται μια ομοιομορφία στην κατασκευή κι ελαχιστοποιούνται τα 'αδύνατα' σημεία της.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα συνδυάζει δύο αντιφατικές ιδιότητες: μεγάλη παραμορφωσιμότητα (ρευστότητα) και ένα μέσο ιξώδες. Η επίτευξη των δύο παραπάνω ιδιοτήτων γίνεται με τη χρήση των υπερρευστοποιητών και με την εκτεταμένη χρήση λεπτόκοκκων υλικών (υλικών που διέρχονται το κόσκινο No 200). Η μεγάλη εξέλιξη που υπάρχει στη βιομηχανία των υπερρευστοποιητών συντελεί στην προσπάθεια που γίνεται για τη δημιουργία του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Η διπλωματική μου εργασία είχε ως στόχο τη δημιουργία του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, τη μελέτη των ρεολογικών χαρακτηριστικών του, με έμφαση στην εύρεση της κοκκομετρικής διαβάθμισης που θα έδινε τη βέλτιστη συμπεριφορά του μίγματος με τη μικρότερη χρήση προσθέτων. Ακόμα, εκπονήθηκαν πειράματα σε τσιμεντοκονιάματα επειδή το μεγαλύτερο μέρος του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος αποτελείται από τον τσιμεντοπολτό, με αποτέλεσμα να καθορίζει σε ένα μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Νιώθω το χρέος να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κόλλια, ο οποίος με τη ψυχική και την ηθική του υποστήριξη βοήθησε σε καταλυτικό βαθμό τη διεκπεραίωση της Διπλωματικής μου Εργασίας, ενώ με τις συμβουλές του και τις υποδείξεις του συνέβαλε σε όλα τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας ως αληθινός παιδαγωγός. Τον ευχαριστώ από ψυχής.

## ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ**

#### **1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Το σκυρόδεμα είναι μίγμα τσιμέντου, νερού, αδρανών υλικών και πολλές φορές μικρών ποσοτήτων χημικών προσθέτων. Επομένως είναι ένα ανομοιογενές υλικό, του οποίου η σύσταση και οι ιδιότητες (ρεολογικές και μηχανικές) μπορεί να ποικίλουν πάρα πολύ, ανάλογα με τη σύσταση του τσιμεντοπολτού και τη φύση και το σχήμα των αδρανών.

#### **1.2 ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ**

##### **1.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά**

Το τσιμέντο είναι το υλικό που συνδέει τα αδρανή με το νερό και αναπτύσσει αντοχές, ώστε να δημιουργηθεί το σκυρόδεμα. Παρασκευάζεται από συνάλεση κλίνκερ, προσθέτων και γύψου. Το κλίνκερ είναι το προϊόν της έψησης πρώτων υλών (ασβεστολίθου και αργιλοπυριτικών υλικών) σε θερμοκρασία  $1400^{\circ}\text{C}$ .[30]

##### **1.2.2 Χημική σύσταση**

Τα κύρια συστατικά του τσιμέντου Πόρτλαντ είναι τα εξής:

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΧΗΜΙΚΗ ΕΝΩΣΗ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ %κ.β.
Πυριτικό τριασβέστιο	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	54
Πυριτικό διασβέστιο	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	17
Αργιλικό τριασβέστιο	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	19
Αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	9
Δευτερεύοντα συστατικά		σε μικρές ποσότητες

Τα δευτερεύοντα συστατικά είναι τα εξής:

- ❖ Οξείδιο του μαγνησίου ( $\text{MgO}$ )
- ❖ Γυψος ( $\text{CaSO}_4$ )
- ❖ Αλκάλια ( $\text{K}_2\text{O}$  και  $\text{Na}_2\text{O}$ ) [23]

### 1.2.3 Διακρίσεις τσιμέντων

#### 1.2.3.1 Ανάλογα με τη σύνθεση

Η σύνθεση καθορίζεται με τον τύπο του τσιμέντου. Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντου τα παραγόμενα τσιμέντα κατατάσσονται στους ακόλουθους τύπους:

❖ Τύπος I Τσιμέντο Πόρτλαντ

Προέρχονται από την άλεση του κλίνκερ με τις ελάχιστες αναγκαίες προσθήκες γύψου συνήθως 2-3% και φύλλερ ως και 3% κατά βάρος.

❖ Τύπος II Τσιμέντα Πόρτλαντ με ποζολάνες

Χαρακτηρίζονται εκείνα τα τσιμέντα που περιέχουν εκτός από τα προηγούμενα υλικά και ποζολάνη σε ποσοστό ως και 20% κατά βάρος.

❖ Τύπος III Ποζολανικά Τσιμέντα Πόρτλαντ

Τα ποζολανικά τσιμέντα περιέχουν ποζολάνη σε ποσοστό 20-40% κατά βάρος. Παρουσιάζουν μικρότερη θερμότητα ενυδατώσεως και αυξημένη ανθεκτικότητα.

❖ Τύπος IV Τσιμέντα Πόρτλαντ ανθεκτικά στα θεικά άλατα

Τα τσιμέντα του τύπου αυτού δεν έχουν προσθήκες αλλά το αργιλικό τριασβέστιο περιορίζεται σε ένα ποσοστό κάτω από το όριο π.χ. 5% ενώ στον τύπο I μπορεί να φτάσει και 10-12%. [30]

#### 1.2.3.2 Ανάλογα με την αντοχή

Η αντοχή καθορίζεται με την κατηγορία του τσιμέντου. Τα όρια κατηγοριών αντοχής είναι:

Κατηγορία 35 Αντοχή Τσιμέντου  $25N/mm^2$ - $45N/mm^2$

Κατηγορία 45 Αντοχή Τσιμέντου  $35N/mm^2$ - $55N/mm^2$

Κατηγορία 55 Αντοχή Τσιμέντου  $45N/mm^2$  τουλάχιστον

Οι παραπάνω αριθμοί παριστάνουν τη θλίπτική αντοχή 28 ημερών του τσιμέντου, όπως προσδιορίζεται συμβατικά σύμφωνα με τον κανονισμό, σε δοκίμια διαστάσεων  $40*40*160$  mm. [30]

#### 1.2.4 Χρήση τσιμέντων στην Ελλάδα

Τα τσιμέντα που πουλιούνται στην ελληνική αγορά σε ποσοστό 98% της όλης παραγωγής είναι τα εξής:

•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 Καθαρο Κ35. 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 σχετικά βραδύτερη μεγικριτικά με τους προηγούμενους τύπους, αλλά λόγω της παρουσίας των ποζολανών αυξάνονται μακροχρόνια οι αντοχές του σκυροδέματος και παρουσιάζει σχετική

ανθεκτικότητα στα θεικά. Έχει σχετικά χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης, χαμηλή υδατοπερατότητα και είναι κατάλληλο για χρήση στα Λιμενικά έργα.

“Άλλοι τύποι τσιμέντου που παρέχονται σε ειδικές κατασκευές είναι:

- Τύπος II/45: Χρησιμοποιείται κυρίως για έργα όπως φράγματα, σήραγγες. Παρουσιάζει σχετική ανθεκτικότητα στα θεικά, 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).
- Λευκό τσιμέντο: Είναι συνήθως τύπου I/55, χρησιμοποιείται για την παρασκευή διακοσμητικών προϊόντων τσιμέντου, ανεπίχρηστου αρχιτεκτονικού σκυροδέματος. [30]

## 1.2.5. Πρόσμικτα υλικά τσιμέντου

### 1. Ποζολάνες

Η ποζολάνη είναι ένα φυσικό ή τεχνητό υλικό που περιέχει πυρίτιο σε δραστική μορφή. Το πρότυπο της ASTM 618-94a περιγράφει τις ποζολάνες σαν πυριτικά ή αργιλοτυριτικά ορυκτά που από μόνα τους δεν έχουν καμιά ιδιότητα παρεμφερή με του τσιμέντου. Όμως, σε λεπτά καταμερισμένη μορφή και με την παρουσία υγρασίας, αντιδρούν χημικά με την υδράσβεστο  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  και σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοτυριτικές ενώσεις, που με το χρόνο σκληρύνονται και αποκτούν μικρότερες ή μεγαλύτερες αντοχές. Η δράση αυτή οφείλεται κυρίως στο άμορφο πυριτικό υλικό των ποζολανών. Οι πιο συνηθισμένες φυσικές ποζολάνες είναι: η ηφαιστειακή σκόνη, η κίσηρις, η καμμένη άργιλος. Στην Ελλάδα είναι η θηραική γη, η μηλαική γη, η σκυδραική γη κ.α. [23],[25],[30].

### 2. Ιπτάμενη τέφρα

Είναι η πιο συνηθισμένη μορφή τεχνητής ποζολάνης. Είναι κατάλουτα σε λεπτότατο καταμερισμό που προκύπτουν από την καύση γαιανθράκων ή λιγνητών και που συλλέγονται κατά την έξοδο των αερίων καύσεως από τις καπνοδόχους των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Οι κόκκοι της είναι σφαιρικοί κι έχουν πολύ μεγάλη λεπτότητα. Η δραστικότητα των τεφρών οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  και  $\text{CaO}$ . [23],[25]

### 3. Φύλλερ

Τα φύλλερ είναι υλικά, συνήθως αδρανή, σε λεπτότατο καταμερισμό που λόγω των φυσικών τους ιδιοτήτων εχουν ευεργετική επίδραση σε ιδιότητες του σκυροδέματος όπως η εργασιμότητα, η πυκνότητα, η υδατοπερατότητα, το πορώδες. Ακόμα, μειώνουν την τάση για εξίδρωση και για σπάσιμο του σκυροδέματος. Η δράση τους είναι κυρίως μηχανική, δηλαδή δρουν σαν λιπαντικό για το εργάσιμο και με τη διόγκωση των κόκκων παρουσία υγρασίας αυξάνουν την υδατοστεγανότητα. Είναι χημικώς αδρανή και σπανίως παρουσιάζουν ποζολανικές ή υδραυλικές ιδιότητες. [23],[25]

### 4. Πυριτική μικροπαπάλη

Είναι το προϊόν που προκύπτει κατά την παρασκευή πυριτικών ή σιδηροτυριτικών αναμιγμάτων από μεγάλης καθαρότητας χαλαζία και κάρβονο σε ηλεκτρικό φούρνο. Το οξειδίο του πυριτίου ( $\text{SiO}$ ) που προκύπτει οξειδώνεται και μετατρέπεται σε άμορφο διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) το οποίο αποτελείται από εξαιρετικά λεπτούς σφαιρικούς

κόκκους. Αυτή ακριβώς η μεγάλη λεπτότητα των κόκκων του είναι το αίτιο που καθιστά το SiO<sub>2</sub> εξαιρετικά δραστικό κι επιταχύνει την αντίδραση με την υδράσβεστο (CaOH<sub>2</sub>) που προκύπτει από την ενυδάτωση του τσιμέντου Πόρτλαντ. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι οι πολύ μικροί κόκκοι της πυριτικής μικροπαπάλης διεισδύουν ανάμεσα στους κόκκους του τσιμέντου βελτιώνοντας έτσι τις ιδιότητές του. [25]

### 1.2.6.Ενυδάτωση τσιμέντου

Η ένωση του τσιμέντου με το νερό ονομάζεται ενυδάτωση του τσιμέντου και είναι υπεύθυνη για την πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος. Κατά τη διάρκειά της δημιουργείται μια γκριζοπράσινη πολτώδης μάζα, το πήγμα ή αλλιώς τσιμεντοκονία. Οι χημικές αντιδράσεις της ενυδατώσεως συνοδεύονται από έκλυση θερμότητας (θερμότητα ενυδάτωσης) και συστολή του όγκου των προιόντων (συστολή ενυδάτωσης ή χημική συστολή). Η ενυδάτωση δε μπορεί να παρακολουθεί βαθμιαία απευθείας παρά μόνο έμμεσα με την παρακολούθηση της εξέλιξης της αντοχής ή της ποσότητας του μη εξατμίσιμου νερού.[23]

## 1.3.ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Επειδή τα αδρανή υλικά αποτελούν τα 3/4 περίπου του συνολικού όγκου του σκυροδέματος είναι φανερό ότι η ποιότητά τους επηρεάζουν άμεσα τα διάφορα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος. Η ονομασία ‘αδρανή’ προήλθε από το γεγονός ότι είναι χημικώς αδρανή σε σχέση με το τσιμέντο και το νερό και συμμετέχουν μηχανικά μόνο στην ανάπτυξη της τελικής αντοχής του σκυροδέματος. Στην πραγματικότητα δεν είναι τελείως ‘αδρανή’, αφού πολλές φορές οι φυσικές, θερμικές και λιγότερο οι χημικές τους ιδιότητες επηρεάζουν την τελική αποδοση του σκυροδέματος. Κατά κανόνα ως αδρανή υλικά για την παρασκευή του κοινού τύπου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται συντρίμματα διαφόρων πετρωμάτων. Τα πετρώματα είτε θραύονται τεχνητά (θραυστά), είτε συλλέγονται όπως βρίσκονται στη φύση (συλλεκτά). Τα καταλληλότερα πετρώματα είναι τα ασβεστολιθικά και τα πυριτικά. Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προιόντος είναι: η καθαρότητά τους, η πρόσφυση με την κονία, η χημική τους συμπεριφορά, το σχήμα και μέγεθος των κόκκων κ.α.[23],[25].

### 1.3.1 Προέλευση και αντοχή των αδρανών

Για να προσδιοριστεί η αντοχή των αδρανών γίνονται οι παρακάτω τρεις έλεγχοι:

- Έλεγχος αντοχής σε θλίψη του μητρικού πετρώματος.  
Μετράται με 6 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 7\*7\*7 ή κυλινδρικούς πυρήνες Φ75 και ύψους 75mm.
- Έλεγχος σε αποσάρθρωση του πετρώματος  
Η ιδιότητα τους αυτή προσδιορίζεται από τον όρο υγεία του πετρώματος.
- Έλεγχος αντοχής σε επιφανειακή φθορά  
Η αντοχή αυτή αποτελείται από την αντοχή σε επιφανειακή φθορά κι επιφανειακές κρούσεις κι ελέγχεται με τη συσκευή Los Angeles κατά τις Αμερικανικές Προδιαγραφές ASTM C535 και C131. Η φθορά πρέπει να είναι μικρότερη του 40%. [23]

### 1.3.2 Καθαρότητα

Υπάρχουν τριών ειδών κατηγορίες επιβλαβών προσμίξεων που μπορούν να βρεθούν στα αδρανή: προσμίξεις που εμποδίζουν την ομαλή ενυδάτωση του τσιμέντου, προσμίξεις που εμποδίζουν την ανάπτυξη επαρκούς συνάφειας ανάμεσα στα αδρανή και στην τσιμεντοκονία και τέλος μερικοί κόκκοι που από μόνοι τους εμφανίζονται αδύναμοι και γενικότερα ανεπαρκείς.

#### **■Οργανικές προσμίξεις**

Οι οργανικές προσμίξεις παρεμβαίνουν στη χημική αντίδραση της ενυδάτωσης και μπορούν να δημιουργήσουν ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται υλικά οργανικής προέλευσης, γαιάνθρακες και λιγνίτες.

#### **■Παιπάλη**

Ως παιπάλη νοείται το λεπτόκοκκο υλικό που διέρχεται από το Αμερικάνικο πρότυπο κόσκινο №200. Εμποδίζει την καλή συνάφεια ανάμεσα στην τσιμεντοκονία και στα αδρανή, μειώνει την μεταξύ τους πρόσφυση δημιουργώντας αδύνατα σημεία μέσα στη μάζα του σκυροδέματος. Κατά τον Ελληνικό Κανονισμό η παιπάλη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% κ.β. της άμμου και το 1% κ.β. των χοντρότερων κλασμάτων.

#### **■Θειούχες ενώσεις**

Έχουν δυσμενή επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος κι άμα δεν απομακρυνθούν απορροφούν υγρασία από τον αέρα και προκαλούν τοπικά εξανθήματα και ρηγματώσεις. Οι Γερμανικοί Κανονισμοί ορίζουν ως μέγιστο ανεκτό όριο των θειούχων ενώσεων, μετρούμενο σε SO<sub>3</sub> το 1% του βάρους των στεγνών αδρανών. [23], [25]

### 1.3.3 Κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση

Οι κόκκοι των αδρανών υλικών στηρίζονται ο ένας πάνω στον άλλο, αλλά λόγω του ακανόνιστου πολυγωνικού σχήματος που έχουν δεν εφάπτονται απόλυτα μεταξύ τους, παρά αφήνουν ενδιάμεσα κενά. Τα κενά αυτά μεταξύ των αδρανών τα γεμίζει το κονίαμα που συνδέει με 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 περισσότερο πορώδες και λιγότερο ανθεκτικό από το πέτρωμα των αδρανών, όσο λιγότερα είναι τα παραπάνω κενά τόσο μεγαλώνει η αντοχή και πυκνότητα του σκυροδέματος.

Στόχος της κοκκομετρικής σύνθεσης είναι η διάταξη των κόκκων κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε ομάδα, από άποψη διαμέτρου, να εισχωρεί στη θέση των κενών που σχηματίζουν οι κόκκοι της αμέσως μεγαλύτερης ομάδας. Με αυτόν τον τρόπο το μίγμα αποκτά τη μέγιστη δυνατή πυκνότητα.

Κάθε κοκκομετρική σύνθεση παριστάνεται από τις καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης, σε διάγραμμα με τις διαμέτρους των κοσκίνων στον οριζόντιο άξονα με λογαριθμική κλίμακα και τα ποσοστά του υλικού που περνούν από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο. Η κοκκομετρική καμπύλη προσδιορίζει για κάθε οπή κοσκίνου το ποσοστό του συνολικού μίγματος των αδρανών, το οποίο διέρχεται από την οπή αυτή. Είναι μια πολυγωνική γραμμή που αρχίζει από το 0 και τελειώνει στο 100% και είναι αθροιστική.

Για κάθε χώρα οι εθνικοί Κανονισμοί καθορίζουν, ανάλογα με την ποιότητα των αδρανών υλικών και τις επιθυμητές ιδιότητες του σκυροδέματος, τις κοκκομετρικές καμπύλες που θα χρησιμοποιηθούν στη σύνθεση του σκυροδέματος.[23],[25].

#### **1.3.4 Μορφή κόκκων**

Γενικότερα από άποψη γεωμετρίας οι κόκκοι κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες: στρογγυλούς, κυβοειδείς, γωνιώδεις, πλακοειδείς, επιμήκεις. Το σχήμα των αδρανών επηρεάζει ιδιότητες του σκυροδέματος όπως είναι το εργάσιμο ή η αντοχή σε κάμψη. Οι σφαιρικοί κόκκοι δίνουν καλύτερη εργασιμότητα στο υλικό, ενώ οι κυβοειδείς ή πλακοειδείς στην καλύτερη μηχανική αντοχή του υλικού. Γενικότερα επικρατεί η άποψη ότι είναι καλύτερη η χρησιμοποίηση σφαιρικών ή κυβοειδών κόκκων με ανώμαλη και γωνιώδη επιφάνεια.[23]

#### **1.4. ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΕΙΞΕΩΣ**

Το νερό είναι ένα από τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Μαζί με το τσιμέντο παίρνει μέρος σε μια σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν, με τη δημιουργία ένυδρων προιόντων της ενυδάτωσης (κυρίως ένυδρες πυριτικές ενώσεις του ασβεστίου C-S-H), στην πήξη και σκλήρυνση του μίγματος. Το νερό αναμίξεως οφείλει να είναι εν γένει καθαρό και να μην περιέχει συστατικά που προκαλούν δυσμενείς επιρροές στην αντοχή κι ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Πρέπει να είναι πόσιμο, δηλαδή από κοινοτικό δίκτυο ή από πηγή πόσιμου ύδατος, κι απαλλαγμένο από ουσίες όπως η ζάχαρη, τα οξέα, τα λάδια, τα λίπη καθώς και διάφορες οργανικές ουσίες. Για το νερό που χρησιμοποιείται κατά την παρασκευή του σκυροδέματος μπορούμε γενικά να είμαστε περισσότερο ανεκτικοί, παρά για τα νερά που δρουν εξωτερικά και μόνιμα. Και τούτο γιατί η ποσοστιαία αναλογία του νερού αναμίξεως, και συνεπώς και κάθε ξένης ουσίας μέσα σε αυτό, είναι μικρή κι εξάλλου γιατί οι ουσίες αυτές δρουν ώσπου να εξαντληθούν. Οι απαιτήσεις για το νερό αναμίξεως του άσπλου, οπλισμένου και προεντεταμένου σκυροδέματος δίνονται στο σχέδιο προτύπου ΕΛΟΤ 345. [23],[24],31],[32]

#### **1.5. ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Πρόσθετα είναι τα υλικά (σύμφωνα με ASTM C125,ACI 212 3R-89) που προστίθενται στο σκυρόδεμα ή στο κονίαμα αμέσως πριν ή κατά τη διάρκεια της αναμίξεως και τροποποιούν τις ιδιότητες του σκυροδέματος για λόγους οικονομίας, εξοικονομήσεως ενέργειας και ειδικών απαιτήσεων των έργων. Είναι ουσίες ανόργανες ή οργανικές, σε στερεά ή υγρή μορφή, που προστίθενται στα συνήθη συστατικά του σκυροδέματος σε ποσοστό μέχρι 5% κ.β. του τσιμέντου κι επηρεάζουν το σύστημα ενυδατώσεως του τσιμέντου μέσω φυσικών, χημικών ή φυσικοχημικών δράσεων με αποτέλεσμα να τροποποιούν μία ή περισσότερες ιδιότητες του νωπού ή σκληρυμένου σκυροδέματος ή κονίαματος. Ανάλογα με τη χρήση που βρίσκουν διακρίνονται (σύμφωνα με ACI 212 3R-89) σε αερακτικά, επιταχυντές, μειωτές νερού και ρυθμιστές πήξεως, σε ρευστοποιητές ή υπερρευστοποιητές και πρόσθετα διαφόρων χρήσεων όπως αντιπαγετικά, στεγανοποιητικά κ.α.

Πρέπει να τονιστεί οτι τα πρόσθετα παρόλο που βελτιώνουν πολλές από τις ιδιότητες του σκυροδέματος δεν αποτελούν παινάκεια, δεν μπορούν να διωρθώσουν τις αναλογίες μίξεως ή να βελτιώσουν ένα κακής ποιότητας σκυρόδεμα. Επίσης, η αποτελεσματικότητα των προσθέτων εξαρτάται από τη συμβατότητα με τον τύπο του τσιμέντου, τα χαρακτηριστικά των αδρανών, την παρουσία άλλων προσθέτων κι αν δεν είναι γνωστή πρέπει να γίνεται καθορισμός παραμέτρων που αφορούν τη χρήση του με βάση δοκιμαστικά μίγματα. Ακόμη, χρειάζεται μεγάλη προσοχή στη δοσολογία, αφού μπορεί να επηρεαστούν αρνητικά άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος.[23],[25],[34].

### 1.5.1.Επιταχυντές

Ως επιταχυντικά πρόσθετα χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που επιταχύνουν τη διαδικασία ενυδάτωσης του τσιμέντου. Η επιτάχυνση αυτή εκδηλώνεται είτε με συντόμευση του χρόνου ως την αρχή της πήξεως είτε με την επιτάχυνση της σκληρύνσεως κι ανάπτυξης της αντοχής. Χρησιμοποιούνται στις σκυροδετήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες, γιατί βοηθούν στην πήξη του τσιμέντου που καθυστερεί λόγω χαμηλής θερμοκρασίας, σε περιπτώσεις που απαιτείται συντόμευση των κατασκευαστικών εργασιών, γιατί το σκυρόδεμα μπορεί να ξεκαλούνπωθεί και να αναλάβει τα φορτία λειτουργίας νωρίτερα. Το πιο γνωστό επιταχυντικό πρόσθετο είναι το χλωριούχο ασβέστιο, το οποίο όμως δε συνίσταται για το προεντεταμένο ή το οπλισμένο σκυρόδεμα λόγω της διάβρωσης του οπλισμού από το χλώριο. Άλλα γνωστά επιταχυντικά πρόσθετα είναι το μυρμηκικό ασβέστιο και η τριαιθανομίνη.[23],[25],[34]

### 1.5.2.Επιβραδυντές

Ως επιβραδυντές χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που επιβραδύνουν την εξέλιξη της ενυδατώσεως. Υπάρχουν δύο τύποι προσθέτων με επιβραδυντική δράση: οι επιβραδυντές και οι επιβραδυντές-μειωτές ύδατος που διαφέρουν κυρίως ως προς το ποσοστό μειώσεως του νερού που επιτρέπουν και τη μεταβολή που επιφέρουν στην αντοχή. Τα πρόσθετα του πρώτου τύπου επιτρέπουν μια μείωση του νερού από 0 ως 3%, ενώ η μεταβολή στη θλιπτική αντοχή 28 ημερών κυμαίνεται στο ±10%. Οι αντίστοιχες τιμές για τα πρόσθετα του δεύτερου τύπου είναι τουλάχιστον 0-5% και +10-15% εν σχέσει πάντα με το πρότυπο μίγμα σκυροδέματος χωρίς πρόσθετα. [25],[34].

Βρίσκουν εφαρμογή σε σκυροδετήσεις σε υψηλή θερμοκρασία, όπου επιδιώκεται απάλυνση των αιχμών της θερμοκρασίας που δημιουργείται από τη θερμότητα ενυδατώσεως, καθώς και επιβράδυνση του χρόνου πήξεως του σκυροδέματος. Ακόμα ενυδατώσεως, καθώς και επιβράδυνση της θερμοκρασίας που δημιουργείται από τη θερμότητα ενυδατώσεως, καθώς και επιβράδυνση του χρόνου πήξεως του σκυροδέματος. Ακόμα χρησιμοποιείται όταν η διαδικασία διαστρώσεως προβλέπεται οτι θα διαρκέσει περισσότερο από το συνηθισμένο (όπως σε περίπτωση τσιμεντενέσεων ή πασσάλων), όταν επιθυμείται η αποφυγή αρμάν διακοπής εργασίας και μικρορηγματώσεων σε μεγάλης εκτάσεως κατασκευές. Τα περισσότερα επιβραδυντικά δεν είναι καθαρά και περιέχουν προσμίξεις. [23],[34]

Ανάλογα όμως με το κύριο συστατικό διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Λιγνοσουλφονικά οξέα και τα άλατά τους
2. Υδροκαρβοξυλικά οξέα και τα άλατά τους
3. Σάκχαρα και παράγωγα σακχάρων
4. Ανόργανα άλατα όπως φωσφορικά, βορικού οξέος κ.α.[34]

### 1.5.3. Ρευστοποιητές, Μειωτές νερού και ρυθμιστές πήξεως

Χαρακτηρίζονται τα υλικά εκείνα που προκαλούν αύξηση της ρευστότητας του μίγματος. Είναι τα περισσότερα διαδεδομένα πρόσθετα κι έχουν προσδώσει νέες δυνατότητες εφαρμογών στο σκυρόδεμα. Με τον όρο ρευστοποιητές και μειωτές νερού χαρακτηρίζονται τα πρόσθετα των κατηγοριών A,D,E του προτύπου ASTM C494 και του ελληνικού ΣΚ-308.[23],[25] Γι' αυτές τις κατηγορίες του προσθέτου η μείωση του νερού στο μίγμα σκυροδέματος κυμαίνεται από 5-15%. Τα πρόσθετα των κατηγοριών αυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή να αξιοποιηθούν με τρεις τρόπους στη σκυροδέτηση ενός μίγματος:

1. Να μειωθεί ο λόγος νερό/τσιμέντο χωρίς να μεταβληθεί η εργασιμότητα του μίγματος που οδηγεί σε σκυρόδεμα μεγαλύτερης αντοχής.
2. Να διατηρηθεί η αρχική ποσότητα του νερού στο μίγμα σχεδιασμού, οπότε η προσθήκη του προσθέτου αυξάνει την εργασιμότητα.
3. Να προστεθεί πρόσθετο και να διατηρηθεί ο ίδιος λόγος ΝΤ με το μίγμα σχεδιασμού αλλά να μειωθεί το ποσό του τσιμέντου. Έτσι δε μεταβάλλεται η αντοχή του σκυροδέματος αλλά προκύπτει σημαντική οικονομία στο τσιμέντο ή στη θερμότητα ενυδατώσεως.

Η χρήση των προσθέτων αυτών επιτρέπει την καλύτερη συμπύκνωση και διάστρωση του σκυροδέματος. Τα κύρια συστατικά των τύπων A,D,E είναι τασιενεργές ενώσεις που συνδυάζουν κι επιβραδυντική δράση όπως:

- άλατα και παράγωγα λιγνοσουλφονικού οξέος
- άλατα και παράγωγα υδροκαρβοξυλικών οξέων
- υδροξυλιωμένα πολυμερή [34]

### 1.5.4. Υπερρευστοποιητές

Είναι τα πρόσθετα της κατηγορίας F,G του προτύπου ASTM C494 και του ελληνικού ΣΚ-308. Η μείωση του ποσού του νερού στο μίγμα είναι της τάξης του 25-35%. Είναι κι αυτοί ένα είδος μειωτών νερού μόνο που είναι πιο δραστικοί και το σκυρόδεμα που παράγεται με τη χρησιμοποίησή τους είναι διαφορετικό από αυτό που παράγεται με τη χρησιμοποίηση των μειωτών νερού. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες υπερρευστοποιητών: τα σουλφοριωμένα συμπυκνώματα μελαμίνης φορμαλδεύδης και τα σουλφωνομένα συμπυκνώματα ναφθαλίνης-φορμαλδεύδης. Τα παραπάνω δύο είδη αποτελούνται από μόρια με μεγάλο μοριακό βάρος στο οποίο και οφείλεται και η αποτελεσματικότητά τους. Η κύρια δράση των μεγάλων αυτών μορίων είναι οτι περικυκλώνουν τα μόρια του τσιμέντου δίνοντάς τους μεγάλο αρνητικό φορτίο, ώστε να απωθούνται μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο προκαλούν το διασκορπισμό των κόκκων του τσιμέντου, αυξάνοντας έτσι την εργασιμότητα του μίγματος. Το σκυρόδεμα που προκύπτει μπορεί να τοποθετηθεί με ελάχιστη συμπύκνωση, χωρίς να προκαλέσει εξίδρωση ή απόμειξη του μείγματος. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή η δοσολογία του υπερρευστοποιητικού, αφού μεγαλύτερη δοση από αυτή που πρέπει μπορεί να προκαλέσει εξίδρωση ή απόμειξη του μείγματος. Ακόμα, πρέπει να ελεγχθεί ο προκαλέσει εξίδρωση ή απόμειξη του μείγματος. Ακόμα, πρέπει να ελεγχθεί ο παράγοντας της συμβατότητας ανάμεσα στο τσιμέντο και στον υπερρευστοποιητή που είναι απαραίτητος για να επιτευχθεί η κατάλληλη εργασιμότητα και αντοχή του μίγματος.

[25],[34],[28]

### 1.5.5 Αερακτικά

Τα αερακτικά είναι υλικά που προκαλούν την ανάπτυξη μικρών φυσαλίδων μέσα στο κονίαμα. Η δημιουργία των φυσαλίδων έχει ως σκοπό να αυξήσει το εργάσιμο και την αντοχή στον παγετό με μικρή μείωση της θλιπτικής αντοχής. Χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει κίνδυνος παγοπληξίας του σκυροδέματος, γιατί βελτιώνουν σημαντικά την ανθεκτικότητα του κορεσμένου με νερό σκυροδέματος σε ψύξη-απόψυξη και σε χρήση αλάτων για το λιώσιμο του πάγου.[23],[25].

### 1.5.6. Πρόσθετα που βελτιώνουν το ιξώδες του σκυροδέματος

Το πιο συνηθισμένο πρόσθετο τέτοιου είδους που χρησιμοποιείται στο σκυρόδεμα περιέχει παράγωγα κελουλόζης και πολυσακχαρίδια. Η χρησιμοποίησή του επηρεάζει την υγρή ακόμα φάση του τσιμεντοπολτού όπου αλυσίδες από το διαλυτό στο νερό πολυμερές απορροφούν μέρος από το νερό του συστήματος βελτιώνοντας έτσι το ιξώδες του τσιμεντοπολτού. Χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν τη συνεκτικότητα και τη σταθερότητα του μίγματος. Επίσης, μειώνουν την τάση για απόμειξη των ετερογενών συστατικών του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, της διάστρωσης και της συμπύκνωσης βελτιώνοντας έτσι την ομογένεια και την απόδοση του σκληρυμένου προϊόντος. Χρησιμοποιείται σε σκυροδέματα υποθαλλάσιων και υδραυλικών κατασκευών, καθώς και στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.[26],[27]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ 97

Η κατασκευή ενός φορέα από σκυρόδεμα περιλαμβάνει τα εξής 6 στάδια:

- τη σύνθεση του σκυροδέματος
- την ανάμιξη του σκυροδέματος
- τη μεταφορά του σκυροδέματος
- τη διαστρωση του σκυροδέματος
- τη συμπύκνωση του σκυροδέματος
- τη συντήρηση του σκυροδέματος

#### 2.1 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 συμπυκνωθεί ικανοποιητικά με τα διαθέσιμα μέσα και
- να έχει την αντοχή, την ανθεκτικότητα και όλες τις άλλες πρόσθετες ιδιότητες, οι οποίες προδιαγράφονται για το έργο.[24]

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 (στεγανό σκυρόδεμα, ανθεκτικό σκυρόδεμα κ.τ.λ.). Δεν είναι υποχρεωτική για σκυρόδεμα υποστρώσεων και άλλων βοηθητικών κατασκευών, που δε μετέχουν ουσιαστικά στη λειτουργία του έργου.[24]

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 Σύνθεσης, με αποκλίσεις που υπερβαίνουν τις 10 εκατοστιαίες μονάδες για τα κόσκινα τα μεγαλύτερα του Νο4, τις 8 εκατοστιαίες μονάδες για τα κόσκινα της άμμου και τις 5 εκατοστιαίες μονάδες για το κόσκινο □0,25.
- όταν αλλάζουν τα πρόσθετα ή ο τύπος του τσιμέντου.
- όταν το μίγμα παρουσιάζει τάσεις απομείξεως ή η κάθισή του δεν είναι δυνατό να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του άρθρου 8.6 του Κ.Τ.Σ. 97, μολονότι τηρούνται οι αναλογίες της Μελέτης Σύνθεσης.[24]

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

- την εργασιμότητα που προδιαγράφει ο μελετητής ή ο επιβλέπων. Η εργασιμότητα του σκυροδέματος θα δίνεται σε εκατοστά κάθισης, σύμφωνα με τη Μέθοδο Ελέγχου

ΣΚ-309. Αν δεν προδιαγράφεται εργασιμότητα, η Μελέτη Σύνθεσης θα γίνεται για σκυρόδεμα με κάθιση 10-12 cm όταν τα αδρανή είναι θραυστά και 6-10 cm όταν όλα τα αδρανή ή μερικά από αυτά είναι φυσικά. Εκτός από την κάθιση μπορεί να προδιαγράφεται και εξάπλωση όπως αυτή περιγράφεται στη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-318. Και σ' αυτή δύμας την περίπτωση θα ισχύουν για την κάθιση όσα αναφέρονται στα άρθρα 5.2.4. και 8.5 ως 8.7 του Κανονισμού αυτού. Σε ύφυγρα μίγματα μπορεί να προδιαγράφεται και χρόνος Vebe, σύμφωνα με τη Μέθοδο Ελέγχου ΣΚ-310.

- Τις πρόσθετες πιθανώς ιδιότητες που θα προδιαγράφει ο Επιβλέπων ή ο Μελετητής (αντλησιμότητα, στεγανότητα, ανθεκτικότητα), όσο αυτές είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν με τα υλικά που προσκομίστηκαν στο Εργαστήριο.
- Μέση αντοχή ίση τουλάχιστο με την απαιτούμενη f<sub>a</sub>.
- “Αλλες αντοχές ή άλλα στοιχεία που ζητάει ο ενδιαφερόμενος (αντοχή σε κάμψη, αντοχή σε διάρρηξη κ.τ.λ.).[24]

Εφόσον ζητηθεί στη Μελέτη Σύνθεσης θα δίνεται η καμπύλη του λόγου N/T και αντοχής για ένα διάστημα τουλάχιστον  $\pm 3$ Mpa εκατέρωθεν της απαιτούμενης αντοχής f<sub>a</sub>. Η ποσότητα νερού που θα δίνεται στις αναλογίες υλικών της Μελέτης Σύνθεσης θα αναφέρεται σε ξερά αδρανή υλικά. Σε ξερά επίσης αδρανή υλικά αναφέρονται οι οριακές τιμές του λόγου N/T που δίνονται σε άλλους παραγράφους του Κανονισμού αυτού. Το σκυρόδεμα που συμπυκνώνεται με συνήθη δονητικά μέσα στο εργοτάξιο για τη μόρφωση φορέων πρέπει να έχει κάθιση τουλάχιστο 5cm αν παρασκευάζεται με θραυστά υλικά και τουλάχιστο 3cm αν παρασκευάζεται με φυσικά υλικά. Σκυρόδεμα με μικρότερη κάθιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για τη μόρφωση προκατασκευασμένων στοιχείων, δαπέδων, ογκώδων έργων ή άλλων ειδικών κατασκευών.[24]

## 2.2 ΑΝΑΜΙΕΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

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

Τα αδρανή υλικά και το τσιμέντο πρέπει να μετριούνται σε βάρος και το νερό σε βάρος ή όγκο. Τα στερεά πρόσθετα σε σκόνη πρέπει να μετριούνται σε μέρη βάρους και τα υγρά πρόσθετα σε μέρη βάρους ή όγκου. Μέτρηση των αδρανών σε όγκο επιτρέπεται μόνο σε μικρά έργα. Τα αδρανή θα μετριούνται με ακρίβεια  $\pm 3\%$  του βάρους τους, το τσιμέντο με ακρίβεια  $\pm 2\%$  του βάρους του, το νερό με ακρίβεια  $\pm 2\%$  και τα πρόσθετα με ακρίβεια  $\pm 3\%$  του βάρους ή του όγκου τους ανάλογα με το αν είναι σε σκόνη ή σε μορφή υγρού. Ο χρόνος αναμίξεως είναι αυτός που αναγράφεται στις προδιαγραφές του αναμικτήρα. Οπωσδήποτε δε θα είναι μικρότερος από ενα λεπτό. Ο χρόνος αναμίξεως μετριέται μετά την εισαγωγή όλων των υλικών στον αναμικτήρα. Μικρότερος χρόνος αναμίξεως επιτρέπεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις από τον Κανονισμό.

Απαγορεύεται η προσθήκη υλικών στο μίγμα (όπως στεγανοποιητικών ή άλλων προσθέτων) μετά την απομάκρυνσή του από τον αναμικτήρα, εκτός από προσθήκη υπερρευστοποιητικού σε ειδικές περιπτώσεις.[24]

## 2.3.ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κατά τη μεταφορά του μέχρι τη διάστρωσή του το σκυρόδεμα πρέπει να προστατεύεται από τη βροχή ή την πρόσμιξή του με ξένα υλικά και δεν πρέπει να χάνει την ομοιογένεια του. Αν η μεταφορά γίνεται με αυτοκίνητο ή αυτοκίνητο-αναδευτήρα ισχύουν όσα αναφέρονται στην παράγραφο 2 του Σχεδίου Πρότυπου ΕΛΟΤ 346 για το ‘Έτοιμο σκυρόδεμα’. Αν χρησιμοποιείται αντλία, αυτή δεν πρέπει να μεταβάλλει την ομοιογένεια και την εργασιμότητα του μίγματος.[24]

## 2.4.ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η εκφόρτωση πρέπει να γίνεται όσο το δυνατό πλησιέστερα στη θέση διαστρώσεως, ώστε να αποφεύγεται η μετακίνηση του σκυροδέματος με φτυάρια ή τσουγκράνες. Απαγορεύεται η μετακίνηση με το δονητή. Αν η εκφόρτωση δεν είναι δυνατό να γίνει στη θέση διαστρώσεως, θα χρησιμοποιούνται για την ενδιάμεση μεταφορά αντλίες, κεκλιμένα επίπεδα, μεταφορικές ταΐνιες ή άλλα μέσα που δεν προκαλούν την απόμειξη του μίγματος. Απαγορεύεται η ελεύθερη πτώση του σκυροδέματος από ύψος μεγαλύτερο των 2,5 μέτρων. Σ’ αυτήν την περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλοι σωλήνες που θα κατεβάζουν το σκυρόδεμα μέχρι τη θέση διάστρωσης ή θα ανοίγονται παράθυρα στον ξυλότυπο σε ενδιάμεσα ύψη.

Απαγορεύεται η διάστρωση ολόσομων πλακών σε δύο στρώσεις εφόσον το πάχος των πλακών δεν υπερβαίνει τα 60 εκατοστά.

Το σκυρόδεμα θα διαστρώνεται στο έργο με την κάθιση που προβλέπεται στη Μελέτη Σύνθεσης. Η κάθιση του σκυροδέματος πρέπει να μετριέται πριν από τη διάστρωση σε δείγμα που θα πάίρνεται μετά την αποφόρτωση του ενός τρίτου περίπου του αναμίγματος ή του ενός τρίτου του φορτίου του αυτοκινήτου αν πρόκειται για έτοιμο σκυρόδεμα. Η τιμή της κάθισης θα προκύπτει ως ο μέσος όρος των μετρήσεων δύο δοκιμών που θα γίνονται σε ποσότητες σκυροδέματος προερχόμενες από το ίδιο αρχικό δείγμα. Ο επιβλέπων ή η Υπηρεσία μπορεί να μη δεχτεί ανάμιγμα ή φορτίο έτοιμου σκυροδέματος το οποίο έχει κάθιση από την προβλεπόμενη στο κεφάλαιο 8.6 του Κ.Τ.Σ. εκτός αν αυτή αποκατασταθεί επί τόπου με την προσθήκη υπερρευστοποιητικού.[24]

## 2.5.ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η συμπύκνωση του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται με δονητή. “Όταν το σκυρόδεμα έχει μεγάλη κάθιση (μεγαλύτερη από 20 εκ.) και το πάχος που διαστρώνεται είναι μικρό τότε η δόνηση μπορεί να παραληφθεί και να γίνει τακτοποίηση του μίγματος με σανίδα ή ράβδο.

Το είδος του δονητή (εσωτερικός δονητής, δονητής ξυλοτύπου, δονητής επιφανείας κ.τ.λ.) και ο αριθμός των δονητών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από τη μορφή του στοιχείου που σκυροδετείται.

“Όταν το πάχος του στοιχείου του σκυροδέματος είναι μεγάλο, η διάστρωση πρέπει να γίνεται σε στρώσεις με πάχος όχι μεγαλύτερο από 60 εκατοστά. 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 στρώσης είναι πλαστικό, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία αρμού εργασίας. Οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών θέσεων του δονητή θα είναι ίσες με

περίπου με 1,5Α, όπου Α η ακτίνα ενέργειας του δονητή. Κατά τη δόνηση το στέλεχος του δονητή θα εισχωρεί στην υποκείμενη στρώση κατά 5 εκατοστά περίπου. Επαναδόνηση του σκυροδέματος επιτρέπεται μόνο όταν το σκυρόδεμα είναι αρκετά πλαστικό, ώστε το δονητηκό στέλεχος όταν ταλαντώνεται, να μπορεί να βυθίζεται στο σκυρόδεμα με το δικό του βάρος, χωρίς δηλαδή να πιέζεται από το χειριστή.[24]

## **2.6. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Η συντήρηση είναι υποχρεωτική για κάθε έργο. Αρχίζει αμέσως μετά τη διάστρωση και πρέπει να διαρκεί για χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες. Το χρονικό αυτό διάστημα δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερο από 7 ημέρες για την πρώτη φάση συντηρήσεως.

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

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

Αν στη σύμβαση του έργου δεν αναφέρεται διαφορετικά κι αν δεν προβλέπεται παγετός, η συντήρηση θα γίνεται ως εξής:

Αμέσως μετά τη διάστρωση όλες οι ελεύθερες επιφάνειες του σκυροδέματος θα καταβρέχονται με λινάτσες. Οι λινάτσες θα διατηρούνται υγρές όλο το 24ωρο και για επτά 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 θα εφαρμόζεται και στις κατακόρυφες επιφάνειες μετά την απομάκρυνση του ξυλοτύπου. Αν οι λινάτσες απομακρυνθούν πριν από τη συμπλήρωση 14 ημερών από τη διάστρωση, για το χρονικό διάστημα από τις 7 ως τις 14 ημέρες, το σκυρόδεμα θα διαβρέχεται μέχρι κορεσμού της επιφάνειάς του δύο φορές την ημέρα και από τις 14 ως τις 28 ημέρες μια φορά την ημέρα. Η διαβροχή λίγης ώρας και γενικά η διαβροχή που δε συνεχίζεται όλο το 24ωρο δε θεωρείται ικανοποιητική συντήρηση για τις μικρές ηλικίες σκυροδέματος. Εφαρμόζεται μόνο μετά από το τέλος της κύριας συντήρησης.[24]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

#### **3.1. ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

##### **3.1.1. Ορισμοί που συνδέονται με το εργάσιμο**

Πριν γίνει εκτενής αναφορά στην εργασιμότητα του σκυροδέματος είναι απαραίτητο να παρατεθούν οι παρακάτω ορισμοί που σχετίζονται με την εργασιμότητά του σκυροδέματος:

- **Εργασιμότητα:** Είναι η ευκολία με την οποία μπορούμε να μεταφέρουμε, διαστρώσουμε και συμπυκνώσουμε το σκυρόδεμα ή το έργο που απαιτείται για πλήρη συμπύκνωση χωρίς απόμειξη.
- **Ρευστότητα:** Χαρακτηρίζει την ευκολία με την οποία ρέει ένα υλικό.
- **Πλαστικότητα:** Είναι η ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή της συνέχειας του.
- **Συνοχή:** Είναι το αποτέλεσμα των δυνάμεων που έλκουν τα μόρια του υλικού μεταξύ τους και επομένως είναι μία από τις ιδιότητες που συντελούν στην πλαστικότητα.
- **Συμπυκνωσιμότητα:** Αποτελεί τη δυνατότητα του υλικού να συμπυκνωθεί κι εξαρτάται από τον αρχικό βαθμό συμπύκνωσης.
- **Συνεκτικότητα:** Η έννοια αυτή χρησιμοποιείται πολλές φορές άλλοτε για να εκφράσουμε το εργάσιμο κι άλλοτε τη ρευστότητα.
- **Ιξώδες:** Είναι η ικανότητα του υλικού να αντιστέκεται στην παραμόρφωση όταν αυξάνεται σταδιακά η ασκούμενη παραμόρφωση. Για ένα Neutώνειο υγρό η τιμή του είναι σταθερή και δίνεται από τον τύπο  $k=T/N$  όπου  $T$  είναι η διατμητική παραμόρφωση του υλικού και  $N$  είναι ορυθμός παραμόρφωσης, ενώ για ένα υγρό που ακολουθεί το μοντέλο του Bingham δίνεται από τον τύπο  $k=g/N+h$  και είναι διαφορέτικό για διαφορετικές τιμές του  $N$ . Στον παραπάνω τύπο η παράμετρος  $g$  αποτελεί μια μέτρηση του ορίου διαρροής ενώ ο όρος  $h$  αποτελεί το πλαστικό ιξώδες.[23],[29],[32],[33]

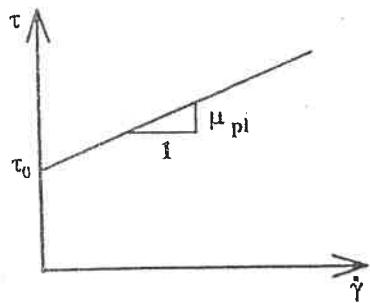
##### **3.1.2. Ρεολογική συμπεριφορά**

Η ρεολογική συμπεριφορά του νωπού σκυροδέματος αντιστοιχεί με αρκετή προσέγγιση στο πρότυπο του Bingham. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, η διατμητική παραμόρφωση του σκυροδέματος παραμένει μηδενική μέχρι κάποια οριακή τιμή της τάσεως το, ενώ από την τιμή αυτή αυξάνεται ανάλογα με την τάση. Η διατμητική τάση αυτή ονομάζεται όριο διαρροής κι αφού έχει εξασφαλιστεί σταθερή ροή, η παραμόρφωση είναι ανάλογη του μεγέθους κατά το οποίο η διατμητική τάση ξεπερνά το όριο διαρροής και ισχύει:

$$\tau - \tau_0 = U^* dv/dx$$

Σύμφωνα με τη λογική του Bingham δεν υπάρχει ροή για καμία διατμητική τάση μέχρι την τιμή  $\tau = \tau_0$  ενώ για κάθε διατμητική τάση με τιμή  $\tau > \tau_0$  θα υπάρχει σταθερή ροή με τιμή ανάλογη της διαφοράς  $\tau - \tau_0$ .[25] Η αναλογικότητα του μοντέλου του Bingham

περιγράφεται από τον τύπο  $T = \tau_0 + \mu_{pl} * \gamma$ , όπου η παράμετρος  $\tau_0$  αποτελεί το όριο διαρροής, το  $\mu_{pl}$  το πλαστικό ιξώδες και το  $\gamma$  το ρυθμό παραμόρφωσης.



Σχήμα 3.1. Το μοντέλο Bingham

Ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την εργασιμότητα του σκυροδέματος είναι το νερό αναμίξεως δηλαδή η ρευστότητα του μίγματος. Η ρευστότητα εξαρτάται περισσότερο από την ποσότητα του νερού αναμίξεως και πολύ λιγότερο από το λόγο Νερό/Τσιμέντο. Αν το περιεχόμενο σε νερό και η υπόλοιπη σύνθεση έχει προσδιοριστεί τότε η εργασιμότητα του σκυροδέματος εξαρτάται από τη μέγιστη διάσταση των αδρανών, την κοκκομετρική τους διαβάθμιση και το σχήμα τους. Έτσι, για την ίδια ρευστότητα το απαιτούμενο νερό ελαττώνεται γενικά όσο ελαττώνεται η ειδική επιφάνεια των αδρανών. Με τη λογική αυτή, ελαττώνεται όσο αυξάνεται ο μέγιστος κόκκος και η καμπύλη κοκκομετρικής συνθέσεως 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 απόμειξη.

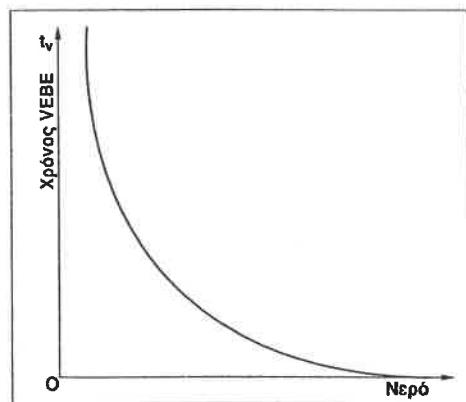
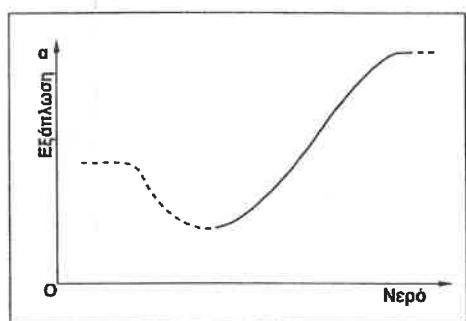
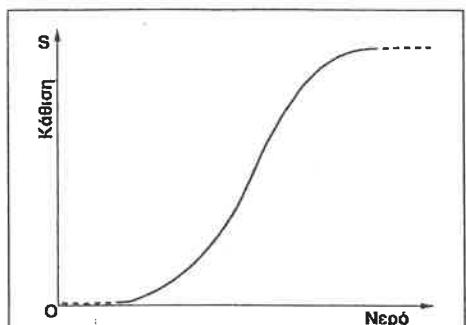
Εξάλλου η τριβή στις επιφάνειες των αδρανών και κατά συνέπεια η αδρότητα των επιφανειών επηρεάζουν σημαντικά τη ρευστότητα του μίγματος όπως άλλωστε αυτό πιστοποιείται από το γεγονός ότι αδρανή με στρογγυλευμένους κόκκους βοηθούν στην αύξηση της ρευστότητας και του εργασίμου για την ίδια ποσότητα νερού.

Θα πρέπει να σημειωθεί πάντως ότι η κοκκομετρική διαβάθμιση και ο λόγος Νερό/Τσιμέντο πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μαζί, γιατί για διαφορετική κοκκομετρική διαβάθμιση η μέγιστη εργασιμότητα επιτυγχάνεται για διαφορετικούς λόγους Νερό/Τσιμέντο π.χ. όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος Νερό/Τσιμέντο τόσο πιο λεπτά πρέπει να είναι τα αδρανή για να επιτενγθεί η μέγιστη εργασιμότητα.

Τέλος, με την προυπόθεση ότι το σκυρόδεμα θα συμπυκνωθεί τελείως δηλαδή θα υπάρχει το ίδιο ποσοστό κενών αέρα, το εργάσιμο δεν έχει επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος. Η μέτρηση του εργάσιμου δε μπορεί να γίνει απ'ευθείας. Οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται δίνουν μια έμμεση και κατά προσέγγιση εικόνα του βαθμού εργασιμότητας του σκυροδέματος. Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές είναι:

- Κάθιση
- Μέτρο εξάπλωσης
- Μέτρο συμπυκνώσεως
- Δοκιμή Vebe

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η μεταβολή της εξάπλωσης, της κάθισης και του χρόνου Vebe συναρτήσει της ποσότητας του νερού αναμίξεως.[23]



Σχήμα 3.2. Ενδεικτικες καμπύλες μεταβολής της καθίσεως, της εξαπλώσεως και του χρόνου Vebe με την ποσότητα του νερού αναμίξεως

### 3.1.3 Εξίδρωση

Εξίδρωση ονομάζουμε το φαινόμενο του διαχωρισμού του νερού από τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος που παρουσιάζεται στην περίοδο πριν από την πήξη.

Τα στερεά συστατικά καθιζάνουν λόγω της βαρύτητας, ενώ το νερό, λόγω των τριχοειδών δυνάμεων έχει την τάση να κινηθεί προς τα πάνω. έτσι εμφανίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος λεπτό στρώμα νερού που μοιάζει με εξίδρωση. Το νερό αυτό τελικά εξατμίζεται.

Η εξίδρωση επομένως έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του τελικού όγκου του μίγματος και την απομάκρυνση μέρους του νερού. Η ελάττωση του νερού είναι βέβαια επιθυμητή γιατί έχει ευνοϊκό αποτέλεσμα στην αντοχή αλλά το φαινόμενο του διαχωρισμού είναι επιβλαβές κι ανεπιθύμητο γενικά λόγω της ανομοιογένειας που δημιουργεί μέσα στη μάζα του σκυροδέματος.

Το φαινόμενο της εξίδρωσεως επεκτείνεται με την αύξηση του νερού αναμίξεως, καθώς και με την έλλειψη των λεπτόκοκκων υλικών της άμμου και του τσιμέντου, γιατί με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η κίνηση του νερού προς τα πάνω.

Οι δυσμενείς επιδράσεις της εξίδρωσεως αίρονται τελείως, αν στην αρχή της πήξεως αποκατασταθεί, με αναμόχλευση και αναδόνηση της μάζας, η ομοιογένεια του υλικού. 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 κονίας.

Στην εξίδρωση αποδίδεται επίσης το γεγονός της ανισοτροπίας που παρουσιάζεται σε ορισμένης συνθέσεως σκυροδέματα.[23],[25]

### 3.1.4. Απόμειξη

Απόμειξη είναι η κατάσταση διαχωρισμού των χονδρόκοκκων συστατικών του νωπού σκυροδέματος από το σύνολο του μίγματος.

Στο σκυρόδεμα οι κυριότεροι λόγοι της απόμειξης είναι οι διαφορές του μεγέθους των κόκκων των αδρανών του μίγματος καθώς και οι διαφορές των ειδικών βαρών των υλικών που αποτελούν το σκυρόδεμα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μεγαλύτερο ιξώδες του τσιμεντοκονιάματος εμποδίζει το «βιούλιαγμα» των χοντρότερων αδρανών με αποτέλεσμα σκυροδέματα με μικρότερο λόγο Νερό/Τσιμέντο να έχουν μικρότερη έφεση στην απόμειξη.

Η απόμειξη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από των τρόπο που διαστρώνεται και μεταφέρεται το σκυρόδεμα καθώς κι από την απόσταση του αναμικτήρα από το χώρο διάστρωσης. "Άμα το σκυρόδεμα δεν έχει μεγάλη απόσταση να διανύσει και μεταφέρεται απ' ευθείας από τον αναμικτήρα στην τελική του θέση τότε ο κίνδυνος απομείξεως είναι μικρός. Από την άλλη μεριά ρίχνοντας το σκυρόδεμα από μεγάλο ύψος, με συνεχείς εναλλαγές κατεύθυνσεως κι όταν χρειάζεται να περάσει μέσα από εμπόδια ο κίνδυνος της απόμειξης γίνεται ακόμα μεγαλύτερος. Στις παραπάνω περιπτώσεις είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα ιδιαίτερα συνεκτικό μίγμα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση αερακτικού μειώνει την πιθανότητα απόμειξης. Από την άλλη μεριά, η χρήση χονδρόκοκκων αδρανών που το ειδικό τους βάρος διαφέρει σημαντικά απ' αυτό των λεπτόκοκκων οδηγεί σε απόμειξη.

Το φαινόμενο της απόμειξης είναι από τα πιο καταστρεπτικά για την αντοχή, την ανθεκτικότητα και γενικά για την ποιότητα του σκυροδέματος, γιατί όπως είναι φανερό μεταβάλλει τις αναλογίες μίξεως κατά τρόπο ανομοιόμορφο κι απρόβλεπτο. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται περιοχές με μειωμένη αντοχή, καθώς επίσης και μειωμένη πρόσφυση μεταξύ όπλισμου και σκυροδέματος από την έλλειψη κονιάματος.[23],[25],[33]

## **3.2. ΟΙ ΙΑΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

### **3.2.1. Γενικά για την αντοχή**

Αντοχή ονομάζουμε γενικά τη μέγιστη τιμή της δυνάμεως, που μπορεί να παραληφθεί και μεταβιβαστεί από ενα στοιχειώδες τμήμα του υλικού στο γειτονικό, χωρίς καταστροφή ή επικίνδυνη παραμόρφωσή του.

Στην τεχνολογία όμως ως αντοχή εννοούμε γενικότερα και την ικανότητα του υλικού να αναλαβαίνει και μεταβιβάζει δυνάμεις με οριακή τιμή την παραπάνω έννοια.

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

Πολλοί τεχνολογικοί παράγοντες επιδρούν στην αντοχή του σκυροδέματος. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- Οι αναλογίες συνθέσεως, δηλαδή οι ποσότητες του τσιμέντου, του νερού και των αδρανών σε κάθε κυβικό μέτρο.
  - Η ποιότητα των υλικών, στην οποία περιλαμβάνονται όχι μόνο η ποιότητα των τριών συστατικών, αλλά και ο βαθμός αλέσεως του τσιμέντου, το σχήμα και η μορφή των αδρανών, η κοκκομετρική διαβάθμιση, η ποιότητα του πετρώματος των αδρανών, είτε με το νερό.
  - Τα παρασιτικά υλικά που αθέλητα εισχωρούν είτε μαζί με τους κόκκους των αδρανών, είτε με το νερό.
  - Η συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος.
  - Η ηλικία του σκυροδέματος.
  - Ο τρόπος συντηρήσεως, δηλαδή οι θερμοκρασιακές και οι 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 ή καμπυλότητα των παρειών και την ακρίβεια των γωνιών.
  - Τέλος, η μορφή της καταπονήσεως, 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.[23],[25]

### 3.2.2 Ορισμοί αντοχών σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη: Θεωρείται εκείνη η τιμή της αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή της αντοχής ενός δοκιμίου.

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

Απαιτούμενη αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη, fa: Είναι η τιμή της μέσης αντοχής fm για την οποία το σκυρόδεμα του έργου έχει μια ορισμένη πιθανότητα αποδοχής, όταν εξετάζεται με τα κριτήρια συμμόρφωσης του Κανονισμού αυτού. Οι αναλογίες υλικών της Μελέτης Συνθέσεως πρέπει να εξασφαλίζουν μέση αντοχή fm τουλάχιστον ίση με την απαιτούμενη fa.

Συμβατική αντοχή σε θλίψη δοκιμίου, f28: Είναι η αντοχή ενός ‘συμβατικού’ δοκιμίου δηλαδή ενός δοκιμίου που έχει τη μορφή και τις διαστάσεις που προβλέπονται στον Κανονισμό αυτό και που παρασκευάζεται και συντηρείται σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ 303, και ελέγχεται σύμφωνα με τη Μέθοδο ΣΚ304 σε ηλικία 28 ημερών.[24],[32]

### 3.2.3. Οι αντοχές στις διάφορες μορφές καταπονήσεων

#### Στατική καταπόνηση σε θλίψη και εφελκυσμό .

Οι θλιπτικές αντοχές που κατορθώνουμε να πετύχουμε βρίσκονται συνήθως μέσα στα όρια 5-100 Mpa περίπου.

Η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται στο 1/10 εώς 1/15 της θλιπτικής αντοχής. Δεν έχει βρεθεί άμεση αντιστοιχία ανάμεσα στη θλιπτική και στην εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.

Από τα πειραματικά στοιχεία που υπάρχουν, προκύπτει ότι με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής αυξάνεται και η εφελκυστική αντοχή, ο λόγος όμως βεφ/βελ μειώνεται, δηλαδή η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής δεν είναι ανάλογη με την αύξηση της θλιπτικής.

Τέλος, η εφελκυστική αντοχή είναι πιο ευαίσθητη στη συντήρηση. Το τελευταίο μπορεί να εξηγηθεί από την άμεση εξάρτηση του εφελκυσμού από την έκταση των μικρορωγματώσεων μέσα στη μάζα του σκυροδέματος.[23]

#### Πολυοξυνική καταπόνηση

Στην περίπτωση σύγχρονης παρουσίας εγκάρσιων θλιπτικών τάσεων στο σκυρόδεμα η θλιπτική του αντοχή εμφανίζεται αυξημένη. Η μεγαλύτερη αντοχή πετυχαίνεται, όταν η εγκάρσια θλιπτική τάση είναι ίση με το 0,5-0,6 της αντίστοιχης θλιπτικής τάσεως. Η αντοχή σε θλίψη στην περίπτωση αυτή είναι κατά 24-29% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μονοαξονική αντοχή.

Η παρουσία εγκάρσιας εφελκυστικής τάσεως μειώνει γρήγορα την αντοχή σε θλίψη κατά την άλλη διεύθυνση.

Αντίθετα, σε περίπτωση εγκάρσιων εφελκυστικών τάσεων, η τελική αντοχή σε εφελκυσμό δεν επηρεάζεται αισθητά.[23]

### Καταπόνηση με μεγάλη διάρκεια

Στην περίπτωση παραμονής της καταπονήσεως για μεγάλο χρονικό διάστημα η θλιπτική αντοχή μειώνεται βαθμιαία. Η μείωση αυτή είναι αρκετά έντονη στα πρώτα λεπτά της καταπονήσεως (30 λεπτά-60 λεπτά) και στη συνέχεια μειώνεται περίπου ανάλογα με τη χρονική διάρκεια της καταπονήσεως.[23]

### 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 κι αν η μέγιστη τάση  $\sigma_{max}$  δεν υπερβαίνει τη στατική αντοχή του υλικού. Το φαινόμενο αυτό ως 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 προκειμένη περίπτωση αναφερόμαστε σε θλιπτικές μόνο καταπονήσεις. Το όριο αυτό στο σκυρόδεμα βρίσκεται στα 0,65-0,70 της στατικής αντοχής σε θλίψη.

Αντίθετα, όταν η μέγιστη τάση δεν υπερβεί το όριο αυτό, έχει παρατηρηθεί, ύστερα από ένα άριθμο επαναλήψεων βελτίωση της στατικής αντοχής και της αντοχής σε κόπωση εώς 10% περίπου.

Από τις έρευνες που έχουν γίνει προκύπτει ότι η συμπεριφορά του σκυροδέματος σε κόπωση εμφανίζεται βελτιωμένη στις παρακάτω περιπτώσεις:

- "Οσο 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.
- "Οσο μικρότερο είναι το εύρος διακυμάνσεων : $\sigma_{max} - \sigma_{min}$ .
- "Οσο αυξάνεται το ποσοστό του κονιάματος, όσο πιο πλούσιο είναι δηλαδή το σκυρόδεμα.
- "Οσο πιο στρογγυλά είναι τα χοντρόκοκκα αδρανή.

Αντίθετα, η συμπεριφορά σε κόπωση δε φαίνεται να επηρεάζεται αισθητά από τη συχνότητα φορτίσεως.

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 του σκυροδέματος είναι φαινόμενο που δεν αντιμετωπίζεται στις συνηθισμένες κατασκευές, εφόσον το όριο κοπώσεως είναι μεγαλύτερο από 0,65 της στατικής αντοχής.[23]

### Συνεργασία σκυροδέματος και χάλυβα

Η ιδιότητα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία στο οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο όρος 'συνεργασία' αποδίδει καλύτερα από τον όρο 'συνάφεια', γιατί η συνεργασία αυτή είναι αποτέλεσμα συνάφειας, τριβής μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος καθώς και αντοχής του σκυροδέματος σε διάτμηση. Ο ρόλος της καθεμίας 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 καταπονήσεως, 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 της τιμής αυτής καθορίζεται συνήθως και η ‘χαρακτηριστική τιμή’ της τάσεως που αντιστοιχεί σε μετακίνηση  $\delta=0,1\text{mm}$ .

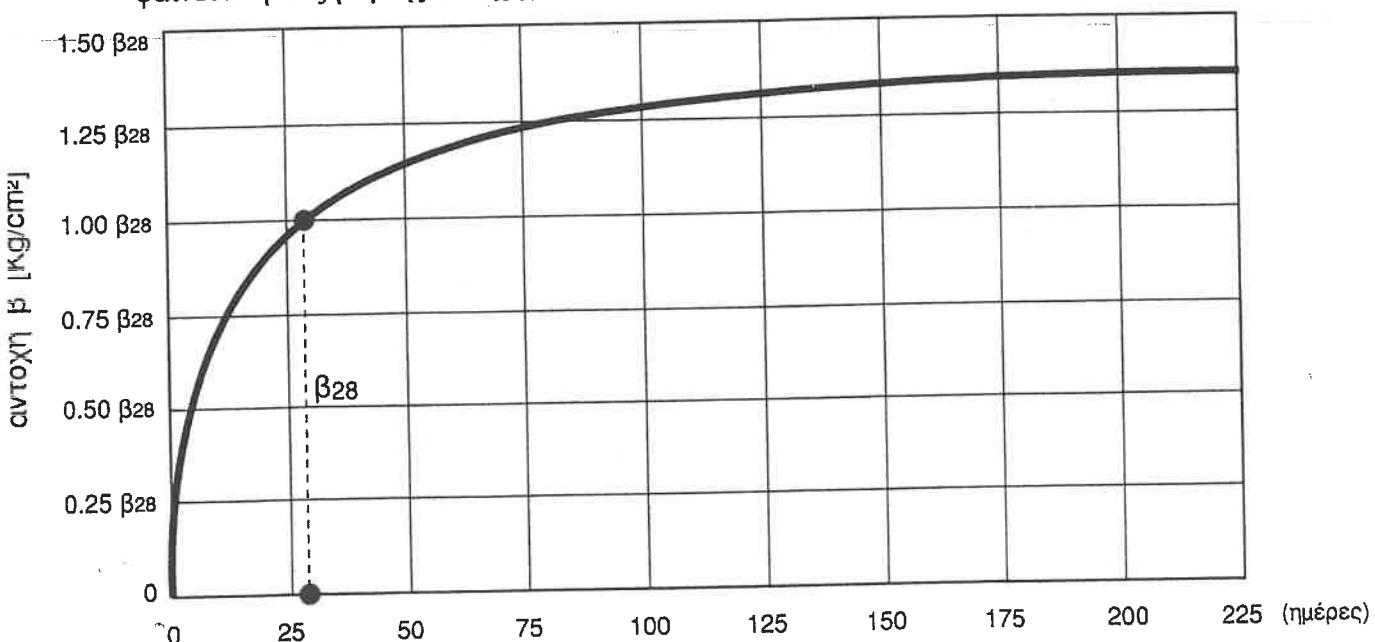
Η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται πάρα πολύ από την κατεύθυνση της ράβδου (και κατά συνέπεια και από τη φορά καταπονήσεως) σε σχέση με την κατεύθυνση σκυροδετήσεως, καθώς και από τη θέση της ράβδου μέσα στη διατομή. Η αντοχή είναι πολύ μεγαλύτερη, όταν η κατεύθυνση της ράβδου συμπίπτει με την κατεύθυνση σκυροδετήσεως. Στην περίπτωση οριζόντιας ράβδου (με κατακόρυφη κατεύθυνση σκυροδετήσεως) η αντοχή σε συνάφεια μειώνεται όσο η ράβδος βρίσκεται ψηλότερα μέσα στη διατομή. Το τελευταίο αυτό εξηγείται από τη δράση της εξιδρώσεως και της απομείξεως.

Η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται σημαντικά από την κατάσταση της επιφάνειας της ράβδου, τη μορφή των νευρώσεων για τις ράβδους με νευρώσεις, και τη διάμετρο των ράβδων.

Τέλος, μια ανέηση στη θερμοκρασία μειώνει την την αντοχή σε συνάφεια του σκυροδέματος: στους 200 με 300 βαθμούς Κελσίου μπορεί να υπάρξει μια απώλεια της τάξεως του 50% της αντοχής σε συνάφεια της θερμοκρασιάς δωματίου.[23],[25]

#### Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο

Η αντοχή είναι είναι το αποτέλεσμα της ενυδατώσεως του τσιμέντου και της δημιουργίας των ένυδρων κρυστάλλων. Η ανάπτυξη της αντοχής είναι διαφορετική για καθένα από τα βασικά συστατικά του τσιμέντου και γι' αυτό 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. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αύξηση της αντοχής με το χρόνο. [23]



Σχήμα 3.3. Ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο

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

Η περίσσεια του νερού αναμίξεως πέρα από εκείνο που δεσμεύεται (χημικά και κρυσταλλικά) από το τσιμέντο, οδηγεί στη δημιουργία του πορώδους του σκυροδέματος και επομένως στην ελάττωση της πυκνότητας και της αντοχής. Έτσι, υπάρχει άμεση επίδραση της αντοχής του σκυροδέματος από το λόγο ω=Νερό/Τσιμέντο. Θα πρέπει επίσης πως η θέση της καμπύλης εξαρτάται άμεσα κι από τα άλλα υλικά, το βαθμό συμπυκνώσεως καθώς και την κοκκομετρική διαβάθμιση των υλικών. Έτσι, για κάθε τιμή του λόγου ω υπάρχει μια διαφορετική κοκκομετρική διαβάθμιση η οποία δίνει τη μέγιστη αντοχή.[23]

### 3.2.3.2 Η μέτρηση της αντοχής

Σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ-303 η μέτρηση της αντοχής γίνεται με συμβατικά δοκίμια, δηλαδή δοκίμια που έχουν συμπυκνωθεί με συμβατική (ιδανική) συμπύκνωση και έχουν μεταφερθεί και συντηρηθεί επί 28 ημέρες σε υγρό θάλαμο με συμβατικές (ιδανικές) συνθήκες (θερμοκρασία  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , σχετική υγρασία 90-95%).

Αν για τον προσδιορισμό της αντοχής, εφαρμοστεί διαφορετική μέθοδος ή χρησιμοποιηθούν δοκίμια διαφορετικού σχήματος ή μεγέθους από αυτά που καθορίζει ο Κανονισμός, το αποτέλεσμα της μετρήσεως πρέπει να αναχθεί στη 'συμβατική αντοχή' δηλαδή στην αντοχή του δοκιμίου που καθορίζει ο Κανονισμός. Αν π.χ. χρησιμοποιηθούν δοκίμια πλευράς 40cm ή 10cm, η αντοχή των δοκιμίων αυτών πρέπει να μετατραπεί στην αντοχή που θα είχε το συμβατικό δοκίμιο πλευράς 20cm.[24]

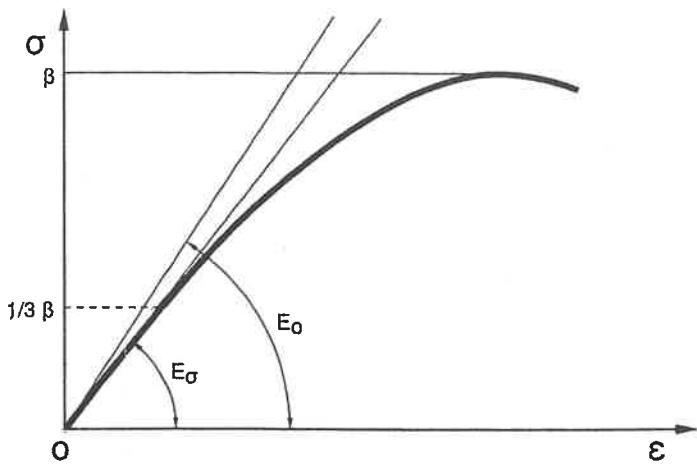
## 3.3 Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά

Η ελαστοπλαστική συμπεριφορά ενός υλικού απεικονίζεται με τη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων. Για το σκυρόδεμα η σχέση αυτή απεικονίζεται με τη μορφή μιας συνεχούς καμπύλης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Μικρά τμήματά της μπορούν να θεωρηθούν σαν ευθύγραμμα. Ο νόμος του Hook επομένως μπορεί να θεωρηθεί ότι 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 παραμόρφωσης για την ίδια αύξηση της τάσεως) οφείλεται στην προοδευτική επέκταση των μικρορωγμάν μέσα στο υλικό, εκτός από την κυρίως παραμόρφωση του υλικού.

Το μέτρο ελαστικότητας ως γνωστόν δίνεται από 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:

- Το αρχικό μέτρο ελαστικότητας Εο στην αρχή των συντεταγμένων (για τάση  $\sigma=0$ )
- Το στιγμιαίο μέτρο Ελαστικότητας  $E=d\sigma/d\epsilon$  που αντιστοιχεί στην τάση  $\sigma$ .
- Το μέσο μέτρο Ελαστικότητας  $E=\sigma/\epsilon$ , δηλαδή την κλίση της χορδής που ενώνει την αρχή των συντεταγμένων με το σημείο της καμπύλης που αντιστοιχεί στην τάση  $\sigma$ .

Ως συμβατικό μέτρο ελαστικότητας για τη σύγκριση των σκυροδεμάτων μεταξύ τους χρησιμοποιείται συνήθως το μέσο μέτρο ελαστικότητας, που αντιστοιχεί στην τάση  $\sigma=1/3*\beta_{θρ}$ , δηλαδή η κλίση της χορδής που ενώνει την αρχή των συντεταγμένων με το σημείο της καμπύλης που αντιστοιχεί σε τάση  $1/3*\beta_{θρ}$ .[23]



**Σχήμα 3.4.** Ενδεικτική καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος

### 3.4. Συστολή ξηράνσεως

Η αποβολή νερού από το σκυρόδεμα σε περιβάλλον μη κορεσμένου αέρα προκαλεί συστολή ξηράνσεως. Ένα μέρος αυτής της κίνησης είναι μη αντιστρεπτό και πρέπει να ξεχωρίζεται από την ανταλλαγή υγρασίας που προκαλείται από τις εναλλαγές του περιβάλλοντος από ξηρές σε υγρές συνθήκες και το αντίστροφο.

Η χρόνια συστολή είναι γενικά φαινόμενο βλαπτικό κι 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 συνολική συστολή στο κοινό σκυρόδεμα κυμαίνεται μεταξύ 0,1-1,0 mm/m. Οι πειραματικές πληροφορίες που υπάρχουν για το φαινόμενο της χρόνιας συστολής συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Το μέγεθος της συστολής εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα του τισμέντου. Όσο πιο λεπτή είναι η άλεση τόσο περισσότερο αυξάνεται η συστολή. Τα τισμέντα γρήγορης αναπτύξεως της αντοχής παρουσιάζουν μεγαλύτερη συστολή από τα κοινά τισμέντα Πόρτλαντ και τα αργιλικά ακόμα μεγαλύτερη.
- Η συστολή αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του τισμέντου. Εφόσον έδρα των ογκομετρικών μεταβολών είναι ο τισμεντοπολότος, είναι φυσικό να αυξάνονται όσο αυξάνεται η ποσοστιαία αναλογία του. Γι' αυτό το λόγο και η συστολή της τισμεντοκονίας είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συστολή του σκυροδέματος.
- Ελαττώνεται όσο αυξάνεται η αντοχή. Επομένως αυξάνεται με την αύξηση του ύδατος αναμίξεως και το πορώδες.
- Εξαρτάται από την ποιότητα και τη φύση των αδρανών. Η συστολή αυξάνεται όσο περισσότερο λεπτόκοκκα είναι τα αδρανή.

ε) Εξαρτάται από τη μορφή και τις διαστάσεις του στοιχείου. Αυξάνεται όσο οι διαστάσεις του στοιχείου ελαττώνονται. Τούτο εξηγείται από τη γρηγορότερη ξήρανση, λόγω της μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας.  
στ) Εξαρτάται από τις υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυξάνεται με την ελάττωση της σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας, γιατί με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η ξήρανση.[23],[25]

### **3.5. Ερπυσμός**

Έχει παρατηρηθεί ότι το σκυρόδεμα από την επίδραση εξωτερικής θλιπτικής δυνάμεως που δρα για μεγάλο χρονικό διάστημα, πέρα από τη στιγμαία (ελαστική ή πλαστική) παραμόρφωση, μια περαιτέρω συστολή που εξελίσσεται με αργό ρυθμό. Τη χρόνια αυτή παραμόρφωση που προέχεται από την επίδραση εξωτερικής δυνάμεως ονομάζουμε ερπυσμό. Συνοπτικά μπορούν να αναφερθούν για τον ερπυσμό τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 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 ως 10 χρόνια. Συνήθως ολοκληρώνεται μετά από 1 ως 2 χρόνια.
- Έως την τιμή του φορτίου 1/3βθρ είναι ανάλογος του φορτίου, πέραν από την τιμή αυτή ο ερπυσμός αυξάνεται ολοένα ταχύτερα με την αύξηση του φορτίου.
- Η μορφή της εξελίξεως του είναι εκθετική, γρήγορη στην αρχή και ολοένα βραδύτερη, και τείνει ασυμπτωτικά προς κάποια οριακή τιμή.
- Αυξάνεται όσο ελαττώνονται οι διαστάσεις του στοιχείου.
- Εμφανίζεται μικρότερος για τις μεγάλες αντοχής ή γρήγορης αναπτύξεως της αντοχής.
- Εξαρτάται από το είδος των αδρανών και ειδικότερα από το μέτρο ελαστικότητας αυτών.
- Ελαττώνεται όσο περισσότερο χοντρόκοκκα είναι τα αδρανή.
- Αυξάνεται όσο αυξάνεται το νερό αναμίξεως.
- 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. [23]

### **3.6. Πορώδες**

Το σκυρόδεμα δεν είναι υλικό απόλυτα συμπαγές και πλήρες, αλλά περιέχει πλήθος από μοκροσκοπικές και μακροσκοπικές κοιλότητες. Οι κοιλότητες αυτές είναι κενές από στερεό υλικό, γι' αυτό κι ονομάζονται και πόροι ή κενά. Το σύνολο αυτών των κοιλοτήτων ονομάζουμε πορώδες του σκυροδέματος. Οι κοιλότητες αυτές μπορεί να περιέχουν αέρα ή να είναι γεμάτες με νερό. Για το σκυρόδεμα το ολικό πορώδες κυμαίνεται μεταξύ 8-25%.

Το πορώδες του σκυροδέματος επηρεάζει κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητες του. Επηρεάζει τη χρόνια συστολή, τον ερπυσμό, την υδαταπορροφητικότητα, την υδατοστεγανότητα, καθώς και την ανθεκτικότητα του υλικού στον παγετό.

Στη μείωση του πορώδους συντείνουν:

- 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 την 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 όστι έχουν τα πυριτικά.
- Η αποτελεσματική συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος.
- Η καλή συντήρηση για την αποφυγή ρηγματώσεων κατά τη διάρκεια της πήξεως.[23],[25]

### 3.7. Υδαταπορροφητικότητα και υδατοστεγανότητα.

Η διέλευση του νερού διαμέσου του σκυροδέματος πραγματοποιείται μέσα από τα διάκενα, δηλαδή τους πόρους, τις ρωγμές και τα τριχοειδή του υλικού.

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

$$A = \beta_0 / \beta_0$$

του βάρους του νερού που απορροφήθηκε προς το βάρος του στεγνού υλικού.

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

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

Πολύ συχνά στην πράξη χρησιμοποιείται το αντίστροφο της υδατοπερατότητας:

$$K = \delta / v$$

Και ονομάζεται αντίσταση στην υδατοπερατότητα ή υδατοστεγανότητα.

Η υδατοστεγανότητα της τσιμεντοκονίας είναι πολύ μεγάλη. Η υδατοστεγανότητα του σκυροδέματος είναι σαφώς κατώτερη. Κυριότερη αιτία της ελαττώσεως της υδατοστεγανότητας του σκυροδέματος θεωρείται η ατελής προσκόλληση του τσιμεντοπολτού επάνω στα αδρανή.

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 ρηγματώσεως, κατά την πήξη και τις πρώτες ώρες της σκληρύνσεως.[23],[25]

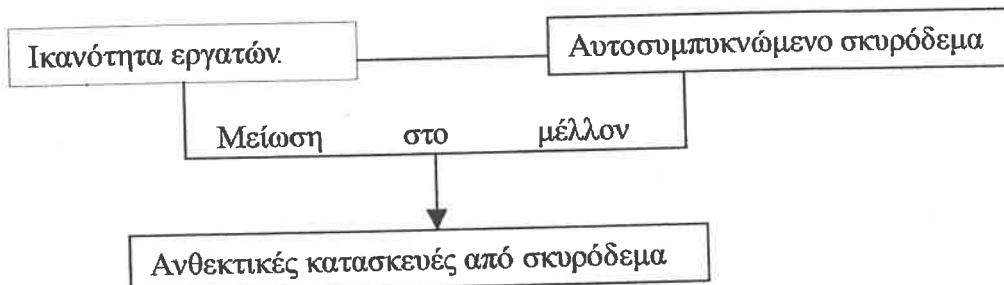
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

#### 4.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ, ΣΚΟΠΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Για πολλά χρόνια ξεκινώντας από το 1983, το πρόβλημα της ανθεκτικότητας των κατασκευών από σκυρόδεμα απότελούσε ένα θέμα μεγάλου ενδιαφέροντος στην Ιαπωνία. Επαρκής συμπύκνωση απαιτούταν για να επιτευχθούν αναθεκτικές κατασκευές από σκυρόδεμα. "Όμως η σταδιακή μείωση ειδικευμένων κι επιδέξιων εργατών στον Ιαπωνικό κατασκευαστικό χώρο οδηγεί σε μείωση της ποιότητας της κατασκευής. Μια από τις λύσεις για να επιτευχθεί ανθεκτική κατασκευή από σκυρόδεμα ανεξάρτητη από την ποιότητα του εργατικού δυναμικού ήταν η χρησιμοποίηση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι ένας τύπος σκυροδέματος που μπορεί να συμπυκνωθεί σε κάθε γωνιά του ξυλότυπου, από το ίδιο τον το βάρος και χωρίς να χρησιμοποιηθεί καθόλου δονητική συμπύκνωση. Ο καθηγητής Okamura πρώτος τόνισε την ανάγκη χρησιμοποίησης ενός τέτοιου τύπου σκυροδέματος το 1986. Μελέτες πάνω στην ανάπτυξη του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος καθώς και στην εργασιμότητα ενός τέτοιου τύπου σκυροδέματος έγιναν από τους Ozawa και Maekawa στο πανεπιστήμιο του Τόκυο.

Το πρωτότυπο του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος ολοκληρώθηκε για πρώτη φορά το 1988. Το πρωτότυπο αυτό αποδείχτηκε ότι είχε ικανοποιητική συμπεριφορά ως προς τη συστολή ξήρανσης, τη θερμότητα ενυδάτωσης, την πυκνότητα μετά την πήξη καθώς και άλλες ιδιότητες.[1]



"Ένας άλλος λόγος ανάπτυξης του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι η ανάγκη καλυτέρευσης του περιβάλλοντος εργασίας των εργατών που εργάζονται στις κατασκευές σκυροδέματος. Η χρησιμοποίηση δονητών προκαλεί κυκλοφοριακά προβλήματα στους εργάτες, οι οποίοι δεν προλαβαίνουν να φτάσουν στην ηλικία συνταξιοδότησης λόγω προβλημάτων υγιείας. Η κακή εργονομία, ο μεγάλος αριθμός εργατών και ο μικρός βαθμός αυτοματοποίησης δημιουργεί μια απαράδεκτη κατάσταση για τους εργάτες.

Ακόμα, ο μεγάλος θόρυβος που προκαλείται από τη χρησιμοποίηση δονητών επιβάλλει την ανάγκη αντικατάστασής τους ή ακόμα και κατάργησής τους. Είναι φανερό επομένως ότι η χρησιμοποίηση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι αναγκαία και για περιβαλλοντικούς σκοπούς.[2],[3].

Ακόμα, στη συνεχή προσπάθεια για τη βελτίωση της οικονομίας, αύξηση της παραγωγικότητας η αυτοματοποίηση της κατασκευής κρίνεται αναγκαία από τις πιο πολλές χώρες του κόσμου, από τα πιο μικρά έργα μέχρι τα πιο μεγάλα έργα. Η πιθανότητα της εξάλειψης της συμπύκνωσης οδηγεί στην αυξημένη αποτελεσματικότητα και στη μείωση του κόστους. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι στην παρούσα κατάσταση το συνολικό κόστος κατασκευής δε μπορεί να μειωθεί παρά μόνο σε πολύ μεγάλες κατασκευές. (Προκύπτει από στοιχεία από έργα που έχουν γίνει στη Σουηδία και στην Ιαπωνία). Πρέπει ακόμα να σημειωθεί ότι στην παρούσα φάση η δυσκολία αυτοματοποίησης και μαζικής παραγωγής του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι η ευκολία με την οποία αυτό απομιγνύεται. Μόλις το πρόβλημα αυτό λυθεί η μαζική παραγωγή θα μεγαλώσει κι ένα νέο σύστημα κατασκευής, που περιλαμβάνει τον ξυλότυπο, τον οπλισμό και το σχεδιασμό μπορούν να αναπτυχθούν.[2],[4]. Τέλος, στους παραπάνω στόχους πρέπει να προστεθεί και η ανάγκη χρησιμοποίησης ενός σκυροδέματος σε μέρη όπου δε μπορεί να υπάρχει πρόσβαση σε δονητή. Παραδείγματα τέτοιων μερών είναι τα μέλη μιας κατασκευής με πυκνό οπλισμό, μέλη υπό κλίση καθώς και μέλη με πολύπλοκο ξυλότυπο όπου απαιτείται σκυροδέτηση σε πολλά επίπεδα. Η χρησιμοποίησή του ακόμα είναι αναγκαία στις επισκευές όπου το μέρος που πρέπει να επιδιορθωθεί είναι στενό και η πρόσβαση στους δονητές είναι πολύ δύσκολη. Παραδείγματα τέτοιων επιδιορθώσεων είναι το κάτω μέρος ενός δοκαριού ή μιας πλάκας, οι μανδύες ενισχύσεως στοιχείων που έχουν υποστεί βλάβες (π.χ. από σεισμό), οι επενδύσεις σηραγγών κ.α.[2],[5].

## 4.2.ΟΡΙΣΜΟΙ

Πριν αρχίσει η αναφορά στις ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι απαραίτητο να δωθούν κάποιοι ορισμοί.

- Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα: Είναι ένα πολύ ρευστό σκυρόδεμα που μπορεί να εξαπλώνεται κάτω από το ίδιο τον το βάρος και να πετυχαίνει καλή συμπύκνωση χωρίς εσωτερική ή εξωτερική δόνηση και χωρίς να εμφανίζει ελαττώματα όπως η εξίδρωση ή η απόμειξη.
- Αυτοσυμπυκνωσιμότητα: Είναι η ιδιότητα του σκυροδέματος που σχετίζεται με την χύτευση του σκυροδέματος κι εκφράζει την ικανότητά του να διαστρώνεται ομοιόμορφα και να συμπυκνώνεται σε κάθε γωνιά του ξυλότυπου μέσω του ίδιου του βάρους και χωρίς δόνηση κατά τη διάστρωσή του.
- Αντίσταση στην απόμειξη: Είναι η ιδιότητα του σκυροδέματος να διατηρεί την ομοιόμορφη διανομή των συστατικών του σκυροδέματος χωρίς να διαχωρίζεται από τη δύναμη της βαρύτητας κι από εξωτερικές δυνάμεις.
- Παραμορφωσιμότητα: Είναι η ιδιότητα του νωπού σκυροδέματος η οποία εκφράζει την ικανότητά του να παραμορφώνεται από τη βαρύτητα κι από εξωτερικές δυνάμεις.
- Ικανότητα να διέρχεται από στενά μέρη: Είναι η ικανότητα του νωπού σκυροδέματος να περνά από στενά μέρη χωρίς να διαχωρίζεται π.χ. μεταξύ πυκνού οπλισμού μέσω του ίδιου του βάρους χωρίς δόνηση.
- Χύτευση (Σκυροδέτηση): Αντιπροσωπεύει την ευκολία με την οποία το νωπό σκυρόδεμα μεταφέρεται, διαστρώνεται και συμπυκνώνεται.[5],[6].

#### 4.3.ΓΕΝΙΚΑ

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα πρέπει να συνδυάζει τις δύο αικόλουθες αντιφατικές ιδιότητες: μεγάλη παραμορφωσιμότητα (μικρό όριο διαρροής) και μεγάλη αντίσταση στο διαχωρισμό (επαρκές ιξώδες) για να μπορεί να ρέει μέσα από εμπόδια και να συμπυκνώνεται από μόνο του. Η επίτευξη της αυτοσυμπυκνωσιμότητας περνά μέσα από τις αικόλουθες τρεις έννοιες:

1. Εξαιρετική παραμορφωσιμότητα
2. Σταθερότητα
3. Μείωση του κινδύνου αποφράξεως

Η παραμορφωσιμότητα του σκυροδέματος συνδέεται στενά με την παραμορφωσιμότητα του τσιμεντοκονιάματος και μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας κατάλληλους υπερρευστοποιητές. Αντίθετα από το νερό που μειώνει και το όριο διαρροής και το ιξώδες, η χρησιμοποίηση ενός κατάλληλου τύπου υπερρευστοποιητή μειώνει περισσότερο το όριο διαρροής (καλύτερη ροή), ενώ πρόκαλει μικρή μείωση του ιξώδους. Με αυτόν τον τρόπο ένα πολύ ρευστό σκυρόδεμα μπορεί να παραχθεί χωρίς αισθητή μείωση της συνεκτικότητας.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την παραμορφωσιμότητα του σκυροδέματος είναι η εσωτερική τριβή των διάφορων στερεών (χονδρόκοκκων αδρανών, άμμου και λεπτών). Η συχνότητα της τριβής και της επαφής μεταξύ των κόκκων μπορεί να αυξηθεί καθώς η απόστασή τους μειώνεται και η εσωτερική τάση αυξάνεται ιδιαίτερα κοντά σε εμπόδια. Έχει διαπιστωθεί ότι η ενέργεια που απαιτείται για τη ροή του σκυροδέματος καταναλώνεται από τις εσωτερικές τάσεις που αναπτύσσονται, οδηγώντας έτσι στο μπλοκάρισμα των αδρανών. Περιορίζοντας το περιεχόμενο σε χονδρόκοκκα αδρανή, του οποίου η κατανάλωση ενέργειας είναι ιδιαίτερα έντονη, σε ένα επίπεδο μικρότερο από το κανονικό, την άμμο κι αυξάνοντας το ποσοστό του τσιμεντοκονιάματος μπορούμε να αποφύγουμε τέτοιους είδους μπλοκαρίσματα. Η χρησιμοποίηση λεπτών υλικών με συνεχή κοκκομετρική διαβάθμιση μπορεί να μειώσει ακόμα την μεταξύ των κόκκων τριβή. Είναι επίσης απαραίτητο να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια της ρευστότητας μέχρι το τέλος της σκυροδετήσεως γιατί περιορισμός της παραμορφώσιμότητας του σκυροδέματος μειώνει την αυτοσυμπυκνώσιμότητα του.

[1],[5]

Η σταθερότητα του σκυροδέματος εξασφαλίζεται δίνοντάς του επαρκές ιξώδες. Όταν το σκυρόδεμα παραμορφώνεται περνώντας μέσα από εμπόδια το ιξώδες του πολτού εμποδίζει τοπικές αυξήσεις της εσωτερικής τάσεως λόγω του πλησιάσματος των αδρανών. Σκυρόδεμα χωρίς επαρκές ιξώδες και συνεκτικότητα δε μπορεί να διατηρήσει ομοιόμορφη διανομή των κόκκων περνώντας μέσα από εμπόδια με αποτέλεσμα να διαχωρίζεται. Καθώς το σκυρόδεμα παραμορφώνεται περνώντας από μια στενή περιοχή, ένα ποσοστό του χονδρόκοκκου αρχίζει να διαχωρίζεται, με αποτέλεσμα μεγάλη τοπική αύξηση των αδρανών που οδηγεί σε μπλοκάρισμα της ροής του σκυροδέματος. Βελτίωση της σταθερότητας συνεπάγεται μείωση της μέγιστης διάστασης των αδρανών, αφού αυξησή της διάστασης δημιουργεί μεγαλύτερες πιθανότητες απόμειξης. Ένας άλλος παράγοντας που συνεισφέρει στην καλή αυτοσυμπυκνωσιμότητα του σκυροδέματος είναι η ελαχιστοποίηση της εξίδρωσης που συνεπάγεται διαχωρισμό του ελέυθερου νερού από το σκυρόδεμα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μειώνοντας το ποσό του νερού στη σύνθεση χρησιμοποιώντας κατάλληλους υπερρευστοποιητές. Δύο κύριοι τρόποι υπάρχουν για να συνδυαστεί η μεγάλη ρευστότητα και η σταθερότητα: η

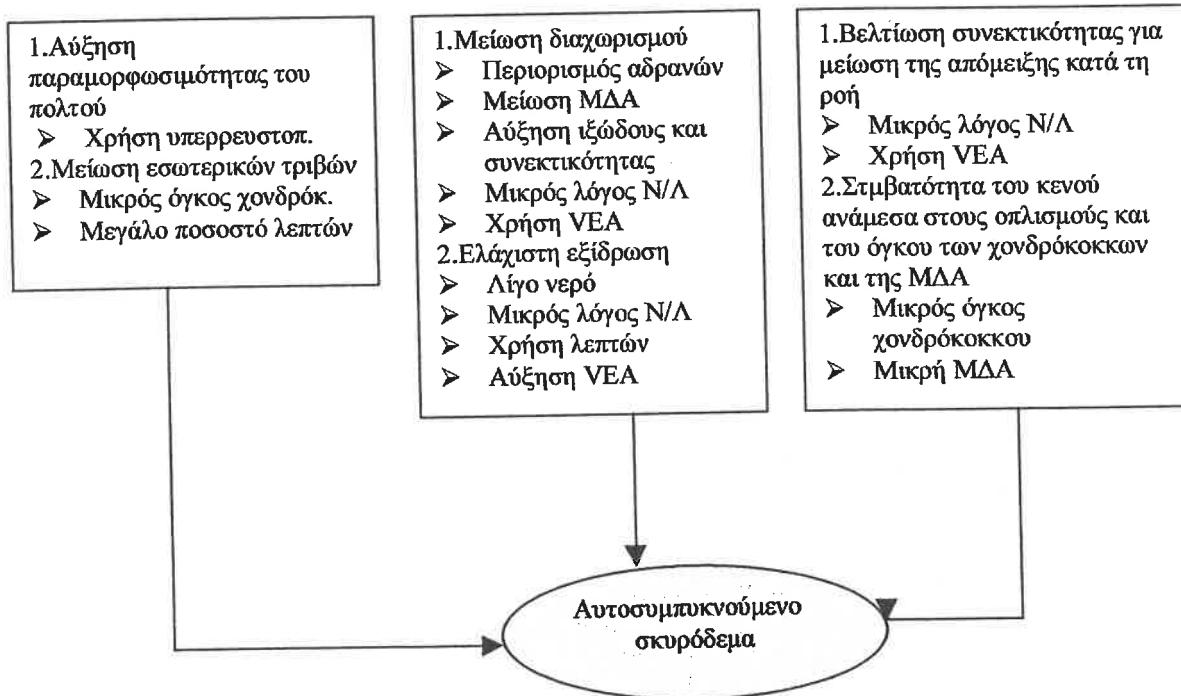
χρησιμοποίηση μεγάλου ποσοστού λεπτών ή η χρησιμοποίηση ενός τύπου προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες.[1],[5],[7]

Μια τρίτη ιδιότητα που είναι ουσιαστική στη βελτιστοποίηση της αυτοσυμπυκνωσιμότητας είναι η μείωση του κινδύνου αποφράξεως που είναι αποτέλεσμα της ροής σε στενά μέρη. Η μείωση της πιθανότητας αποφράξεως είναι μεγάλη όταν αυξηθεί το ιξώδες και η συνεκτικότητα του πολτού που διασφαλίζει ομοιόμορφη διανομή των στερεών κόκκων κατά την παραμόρφωση του σκυροδέματος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μειώνοντας το λόγο Ν/Λ ή χρησιμοποιώντας μία επαρκή δόση πρόσθετου που μειώνει το ιξώδες. Ακόμα, είναι απαραίτητη η συμβατότητα μεταξύ μέγιστης διάστασης αδρανούς και απόστασης μεταξύ των οπλισμών.[5]

Μεγάλη παραμορφωσιμότητα

Καλή σταθερότητα

Μικρό κινδύνου αποφράξεως



VEA: πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες

ΜΔΑ: μέγιστη διάσταση αδρανούς

Λ: Το σύνολο των λεπτόκοκκων υλικών συμπεριλαμβανομένου και του τσιμέντου

#### 4.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Οι παρακάτω ιδιότητες έχουν προκύψει από τις εμπειρίες που αποκομίσθηκαν από συνθέσεις του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος στο εξωτερικό.

1. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα περιέχει μικρότερο ποσοστό χοντρόκοκκων αδρανών από το συμβατικό σκυρόδεμα.
2. Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα προκαλεί μικρότερη εξίδρωση από το συμβατικό σκυρόδεμα.
3. Η αρχή της πήξης του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος καθυστερεί σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα.
4. Επειδή είναι πολύ ευαίσθητο στις μεταβολές των υλικών του το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα απαιτεί αυστηρότερο έλεγχο ποιότητας, έλεγχο παραγωγής κι έλεγχο κατασκευής από το συμβατικό σκυρόδεμα.
5. Αφού δεν υπάρχει καθόλου δόνηση περισσότερη προσοχή πρέπει να δωθεί για τη διατήρηση ουσιωδών ιδιοτήτων του όπως η παραμορφωσιμότητα του και το ιξώδες του.[6]

#### 4.5. ΕΙΔΗ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Υπάρχουν τρία είδη αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος όπως αυτά προκύπτουν από τους Ιαπωνικούς κανονισμούς. [6]

##### 1. Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μόνο με λεπτά υλικά (Λ)

Είναι ο τύπος του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος που αποκτά την αυτοσυμπυκνωσιμότητά του χωρίς να χρησιμοποιηθεί πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες μειώνοντας το λόγο Νερό/Λεπτά (στην ουσία αυξάνοντας το ποσοστό των λεπτών υλικών), για να αποκτηθεί επαρκής αντίσταση στην απόμειξη και υπερρευστοποιητή για να αποκτηθεί η απαιτούμενη παραμορφωσιμότητα.

##### 2. Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες.

Είναι ο τύπος του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος που αποκτά επαρκή αντίσταση στην απόμειξη με τη χρήση προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες και υπερρευστοποιητή για να αποκτηθεί η απαιτούμενη παραμορφωσιμότητα.

##### 3. Συνδυασμένος τύπος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

Είναι ο τύπος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος που αποκτά επαρκή αντίσταση στην απόμειξη χρησιμοποιώντας μικρό λόγο Νερού/Λεπτά (στην πραγματικότητα μειώνοντας το ποσοστό των λεπτών υλικών) και μεγάλη παραμορφωσιμότητα χρησιμοποιώντας υπερρευστοποιητή. Επιπλέον χρησιμοποιείται πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες για να περιοριστούν οι μεταβολές στη συμπεριφορά του νωπού σκυροδέματος και να διευκολυνθεί με αυτόν τον τρόπο ο ποιοτικός έλεγχος.[6]

##### 4.5.1. Χαρακτηριστικά κάθε τύπου αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

###### 1. Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μόνο με λεπτά υλικά

###### ■ Χαρακτηριστικά αναμίξεως

Ο όγκος των λεπτών υλικών πρέπει να υπερβαίνει  $0.16 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Συνηθισμένα λεπτά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι η πυριτική μικροπαπάλη, το ασβεστολιθικό φύλλερ και η ιπτάμενη τέφρα.

### ■ Φυσικά χαρακτηριστικά

Αυτού του τύπου το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μπορεί να οδηγήσει σκυρόδεμα υψηλής αντοχής λόγω του χαμηλού λόγου Νερό/Λεπτά.

Μερικοί τύποι λεπτών υλικών μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλο ερπυσμό και αυτογενή συστολή.

### ■ Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Οι μεταβολές της επιφανειακής υγρασίας και του μέτρου λεπτότητας των λεπτών αδρανών επηρεάζουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος, ενώ αυτό είναι ακόμα νωπό.

Η μεγάλη ποικιλία λεπτών υλικών μπορεί να απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό σιλό από το συμβατικό σκυρόδεμα.[6]

## 2. Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες.

### ■ Χαρακτηριστικά αναμίξεως

Το περιεχόμενο σε λεπτά είναι μικρότερο απ'ότι στον άλλο τύπο αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος σε ποσοστό περίπου 300 ως 500 kg/m<sup>3</sup>. Ένας μόνος τύπος λεπτών υλικών χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις.

Κάθε τύπος προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες μπορεί να είναι ή να μην είναι συμβατό με κάθε τύπο υπερρευστοποιητικού. Τέτοιο είδος συμβατότητας υπάρχει επίσης και με το είδος των λεπτών υλικών. Ο τύπος λοιπόν του κάθε υλικού πρέπει να επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη τη συμβατότητά του με τα άλλα υλικά.

### ■ Φυσικά χαρακτηριστικά

Το πλαστικό ιξώδες μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με το περιεχόμενο του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες. Μερικοί τύποι προσθέτων που βελτιώνουν το ιξώδες μπορούν να καθυστερήσουν την πήξη.

### ■ Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Μόνο ένας ορισμένος τύπος λεπτών υλικών χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις. Οπότε επιτλέον σιλό σπάνια απαιτούνται.

## 3. Συνδυασμένος τύπος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος

### ■ Χαρακτηριστικά αναμίξεως

Οι επιθυμητοί λόγοι Νερό/Τσιμέντο περιορίζονται σε στενά επίπεδα.

Ο όγκος των λεπτών υλικών πρέπει να μην είναι μικρότερος από 0.13m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

Μια μεγάλη ποικιλία λεπτών υλικών είναι διαθέσιμη για διαλογή.

### ■ Φυσικά χαρακτηριστικά

Ο συνδυασμένος τύπος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μπορεί να είναι υψηλής αντοχής λόγω του μικρού λόγου Νερού/Λεπτά.

Ορισμένοι τύποι λεπτών υλικών μπορούν να οδηγήσουν σε αυτογενή συστολή.

### ■ Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Η μεγάλη ποικιλία λεπτών υλικών απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό σιλό απ'ότι το συμβατικό σκυρόδεμα.

#### 4.5.2 Πλεονεκτήματα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες έναντι του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μόνο με λεπτά.

Συγκρινόμενο με ένα αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μόνο με λεπτά υλικά ένα αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα.

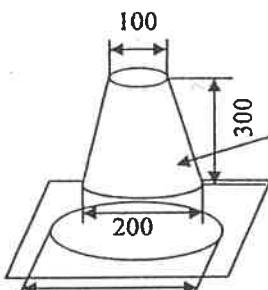
- Η παρουσία του προσθέτου αυτού αυξάνει το ιξώδες του σκυροδέματος κι ελαχιστοποιεί την απόμειξη δίνοντας έτσι μεγάλη αυτοσυμπυκνωσιμότητα στο σκυρόδεμα.
  - Το πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες μειώνει τις μεγάλες μεταβολές που παρουσιάζουν από σημείο σε σημείο οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος που οφείλονται στις διαφορετικές ποιότητες των υλικών.
  - Μεγαλύτερη ευχέρεια επιλογών στην εκλογή τοπικά διαθέσιμων υλικών, περιλαμβάνοντας την άμμο, τα χονδρόκοκκα αδρανή και τα λεπτά. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να επιλεγούν υλικά που συμφέρουν οικονομικά. Η χρησιμοποίηση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με πρόσθήκη προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες διευκολύνει την αποδοχή τοπικά διαθέσιμων υλικών που μπορεί να μην έχουν το καλύτερο σχήμα και την καλύτερη κοκκομετρική διαβάθμιση και που απαιτούν περισσότερο νερό.
  - Καλύτερη δομή του σκυροδέματος κι ομοιογένεια, βελτίωση ιδιοτήτων όπως είναι η συνάφεια με τον οπλισμό.
  - Η εξασφάλιση ενός σταθερού συστήματος κενών δεν είναι εύκολο σε ένα ιδιαίτερα ρευστό σκυρόδεμα. Η χρησιμοποίηση προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες μας παρέχει ένα πιο αξιόπιστο και σταθερό σύστημα κενών.
  - Τέλος, η χρησιμοποίηση προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες διευκολύνει τη σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος για υποθαλλάσιες κατασκευές, αφού η αντίσταση σε απόπλυση του σκυροδέματος βελτιώνεται με τη χρησιμοποίηση προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες.
  - Ένα μεγάλο μειονέκτημα όμως που παρουσιάζει είναι το υψηλό του κόστος, το οποίο οδηγεί στις περισσότερες περιπτώσεις σε αντιοικονομικότητα του μήγματος.
- [6],[8]

#### 4.6. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΕΝΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΩΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ.

Δεν υπάρχουν ακόμα διεθνώς προτυποποιημένες δοκιμές για την εξέταση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. "Όμως από την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας και για τις τρεις βασικές ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (παραμορφωσιμότητα, αυτοσυμπυκνωσιμότητα, αντίσταση στην απόμειξη), χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικές συσκευές. Για την παραμορφωσιμότητα είναι η δοκιμή της εξάπλωσης, για την αντίσταση στην απόμειξη η συσκευή της χοάνης (V funnel test) και για την αυτοσυμπυκνωσιμότητα και την 'ικανότητα γεμίσματος' ένα δοχείο σε σχήμα κουτιού ή σε σχήμα «U».

#### 4.6.1. Μέτρηση της εξάπλωσης του κώνου κάθισης (Slump flow test)

Η δοκιμή της εξάπλωσης είναι μία από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους εκτίμησης της συνεκτικότητας/εργασιμότητας του σκυροδέματος, τόσο στο εργαστήριο όσο και στο χώρο της κατασκευής λόγω της ευκολίας και της αποτελεσματικότητας της μέτρησης. Η μέτρηση της εξάπλωσης όπως προσδιορίζεται από τους διεθνείς κανονισμούς κρίνει την ικανότητα του σκυροδέματος να παραμορφώνεται κάτω από το ίδιο τον το βάρος χωρίς την παρουσία κανενός εξωτερικού εμποδίου. Είναι μια συμβατική μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως για να χαρακτηρίσει τη ρευστότητα του σκυροδέματος. "Όμως το συγκεκριμένο πείραμα από μόνο του δε μπορεί να εκτιμήσει την ικανότητα του σκυροδέματος να περνά μέσα από τους οπλισμούς. Ακόμα και δύο διαφορετικά σκυροδέματα με την ίδια εξάπλωση μπορούν να εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά όταν περνούν μέσα από εμπόδια όπως είναι οι οπλισμοί, ανάλογα με τις αναλογίες συνθέσεώς τους.[9]



Σχήμα 4.1. Δοκιμή εξάπλωσης με τον κώνο κάθισης

Στο πείραμα της εξάπλωσης μετρούνται οι δύο κάθετες διάμετροι με τη μεγαλύτερη διάσταση με ακρίβεια 1 χιλιοστού. Ο αριθμητικός μέσος μετράται με ακρίβεια 5 χιλιοστών σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΙΣ Ζ 8401 και είναι αυτή η τιμή που λαμβάνεται ως η τιμή της εξάπλωσης. Το έντυπο ενός πειράματος εξάπλωσης περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

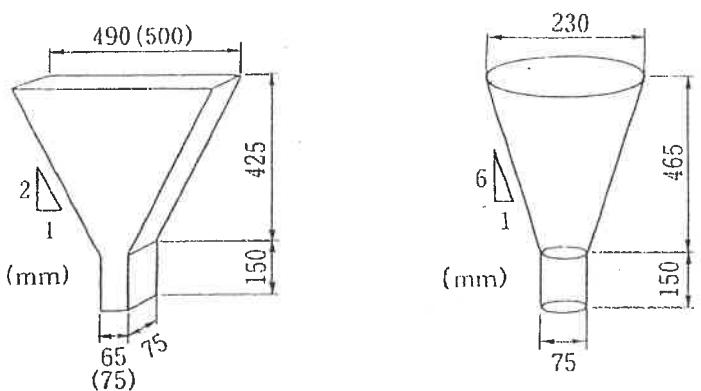
1. Τιμή εξάπλωσης: Είναι ο αριθμητικός μέσος των δύο μέγιστων κάθετων διαμέτρων της εξάπλωσης.
2. T500: Είναι ο χρόνος για να φτάσει το σκυρόδεμα τα 500 mm
3. Χρόνος μέχρι να σταματήσει η εξάπλωση.
4. Σχετική επιφάνεια ροής Γσκ.: Είναι το αποτέλεσμα της αριθμητικής παράστασης  $\text{Γσκ} = (d_0^2 - 400)/400$ ,  
όπου  $d_0$  η τιμή της εξάπλωσης

Οι προτεινόμενες τιμές εξάπλωσης για το χαρακτηρισμό του σκυροδέματος ως αυτοσυμπυκνούμενο από τη διεθνή βιβλιογραφία είναι:

- Κατά τον Khayat  $620 \pm 10$  mm. [5]
- Κατά τους Ιαπωνικούς κανονισμούς  $650 \pm 10$  mm. [10]
- Κατά τους Ολλανδούς  $650 \pm 50$  mm. [11]
- Κατά τους Σουηδούς  $600-720$  mm. [2], [12]
- Από μια έρευνα που έγινε στο πανεπιστήμιο του Michigan  $600-720$  mm. [13]

#### 4.6.2. Μετρήσεις με τη συσκευή χοάνης (V-funnel,O-funnel)

Η ευκολία με την οποία οι κόκκοι των άδρανων και του τσιμεντοκονιάματος διαχέονται σε μια περιοχή με πολλά εμπόδια χωρίς να υπάρχει διαχωρισμός μπορεί να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας τη συσκευή χοάνης (τύπου V ή τύπου O). Η χοάνη γεμίζεται τελείως με σκυρόδεμα και η κάτω πόρτα ανοίγεται επιτρέποντας στο σκυρόδεμα να αρχίσει να ρέει. Ο χρόνος ροής του σκυροδέματος είναι ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στο άνοιγμα της πόρτας και στο τέλος της ροής του σκυροδέματος. Ένας μεγάλος χρόνος ροής μπορεί να ερμηνευθεί ως μικρή παραμορφωσιμότητα του σκυροδέματος λόγω μεγάλου ιξώδους ή λόγω μεγάλης τριβής μεταξύ των κόκκων των άδρανών που οδηγεί σε μπλοκάρισμα της ροής του σκυροδέματος. Στην περίπτωση ενός ιδιαίτερα ρευστού σκυροδέματος (εξάπλωση 630mm), ένας μικρός χρόνος ροής της χοάνης (π.χ. 20 δευτ.) υποδηλώνει ότι το σκυρόδεμα δεν έχει αρκετή σταθερότητα για να εξασφαλίσει ομοιόμορφη παραμόρφωση των χονδρόκοκκων άδρανών και του τσιμεντοκονιάματος. Η έλλειψη συνεκτικότητας του τσιμεντοκονιάματος προκαλεί συγκέντρωση των άδρανών στην έξοδο της χοάνης. Μεγάλος χρόνος χοάνης σε σκυρόδεμα που είναι και ρευστό και συνεκτικό υποδηλώνει ότι το ποσοστό του χαλικιού πρέπει να μειωθεί για να μειωθεί ο κίνδυνος αποφράξεως. [5]



Σχήμα 4.2. Συσκευές χοάνης σχήματος V και σχήματος O

Το έντυπο πειράματος χοάνης πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

1. Τύπος χοάνης (τύπου V ή τύπου O)
2. Χρόνος ροής χοάνης  $t_0$
3. Σχετική ταχύτητα χοάνης  $R_0 = 10/t_0$

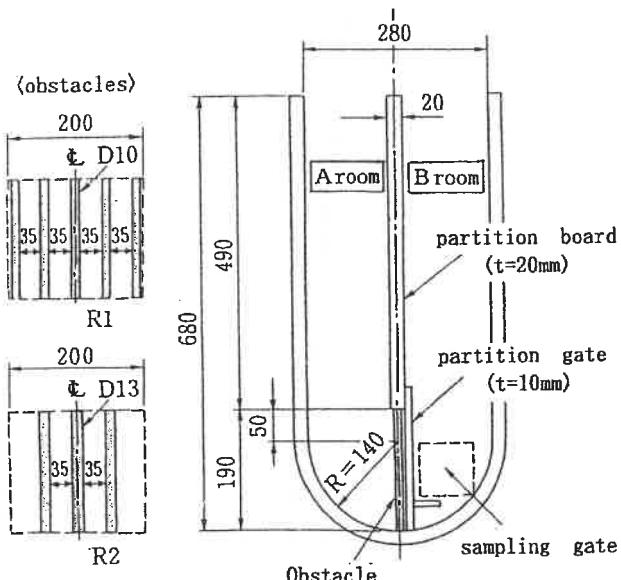
4. Χρόνος ροής χοάνης μετά από 5 λεπτά  $t_5$
5. Δείκτης μεταβολής της ροής  $S_f = (t_5 - t_0)/t_0$

Οι προτεινόμενες τιμές που υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία για να χαρακτηριστεί ένα σκυρόδεμα ως αυτοσυμπυκνωμένο είναι:

- Κατά τον Khayat < 7 δευτερόλεπτα [5]
- Κατά τους Ολλανδούς  $10 \pm 2 - 13 \pm 2$  δευτερόλεπτα [11]
- Από μια έρευνα που έγινε στο πανεπιστήμιο του Michigan προτείνονται οι τιμές  $R_0$  από  $0,8 - 1,22$  [13]
- Από τον Ιαπωνικούς κανονισμούς προτείνεται ο χρόνος ροής να είναι κοντά στα 10 δευτ. [10]

#### 4.6.3. Μετρήσεις με το δοχείο τύπου κουτιού ή τύπου U

"Όταν το νωπό σκυρόδεμα ρέει και πλησιάζει ένα στενό σημείο, η διαφορά στην ταχύτητα του αδρανούς και του τσιμεντοκονιάματος μεγαλώνει πριν το εμπόδιο κι ο πολτός προηγείται των αδρανών. Το ποσοστό του αδρανούς αυξάνεται τοπικά, αφού τα αδρανή που έρχονται από πίσω προστίθενται σε αυτά που είχαν εναπομείνει. Γι' αυτό το λόγο το ιξώδες του σκυροδέματος γίνεται μεγαλύτερο από την αρχικά υπολογισμένη του τιμή όταν περνά μέσα από εμπόδια. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος διεθνώς μέτρησης της 'ικανότητας περάσματος μέσα από εμπόδια' του σκυροδέματος και του ελέγχου αυτοσυμπυκνωσιμότητάς του είναι το δοχείο σχήματος κουτιού ή σχήματος U.



Σχήμα 4.3 Δοχείο σχήματος 'U'

Σκυρόδεμα που το ύψος του φτάνει πάνω από 300 mm μπορεί να κριθεί ως αυτοσυμπυκνωμένο στις συνήθεις κατασκευές. Πολύ ύφισγρο σκυρόδεμα δε μπορεί να γεμίσει αρκετά την απέναντι μεριά λόγω της μικρής παραμορφωσιμότητάς του και πολύ ρευστό σκυρόδεμα επίσης δε μπορεί να γεμίσει την απέναντι μεριά λόγω του διαχωρισμού μεταξύ του χοντρόκοκκων αδρανών και του τσιμεντοκονιάματος. Οι Okamura και Ozawa προτείνουν και το δοχείο σε μορφή κουτιού, που αποτελεί μια

παραλλαγή του δοχείου σε σχήμα «U», με τη μόνη διαφορά ότι η βάση του πρώτου είναι επίπεδη. Το πείραμα αυτοσυμπυκνωσιμότητας στο δοχείο σε σχήμα κουτιού είναι περισσότερο εναίσθητο στα σκυροδέματα με μικρή αντίσταση στην απόμειξη και μέσω αυτού μπορούμε να εντοπίσουμε ένα τέτοιο σκυρόδεμα πολύ εύκολα. [14],[15].

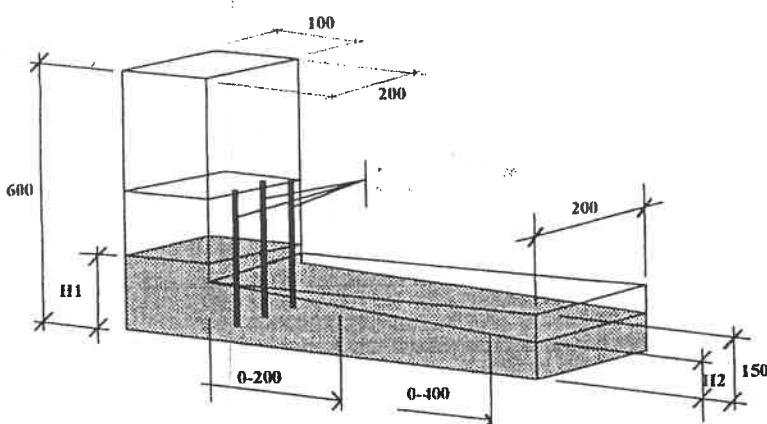
Ένα έντυπο τέτοιων μετρήσεων πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

1. Τύπος του δοχείου (σχήμα 'U' ή σχήμα κουτιού)
2. Ύψος γεμίσματος,  $B_h$
3. Χρόνος γεμίσματος,  $B_{χρονος}$

#### 4.6.4. Μετρήσεις με το κουτί σχήματος L (L-box test)

Στη θέση του πειραμάτων με τα δοχεία σχήματος κουτιού ή σχήματος "U" μπορεί να χρησιμοποιηθεί το 'κουτί' σχήματος 'L'. Το 'κουτί' σχήματος 'L' είναι μια μέθοδος που ερευνά την ικανότητα του σκυροδέματος να περνά ανάμεσα στα κενά μεταξύ των οπλισμών χωρίς να μπλοκάρει. Αποτελείται από ένα κουτί σχήματος 'L' με τις τρεις σιδερένιες ράβδους. Ανάμεσα στις ράβδους υπάρχει ένα κενό που μπορεί να αλλάζει ανάλογα με τις απαιτήσεις τις κατασκευής π.χ. τι κενό απαιτείται ανάμεσα στους οπλισμούς. Μια συγκεκριμένη ποσότητα σκυροδέματος επιτρέπεται να περάσει μεταξύ των κενών, ενώ μετρούνται η ικανότητα αυτοσυμπύκνωσης όπως και η ικανότητα του σκυροδέματος να μη μπλοκάρει.

Στη δοκιμή αυτή μετράται ο χρόνος που το σκυρόδεμα κάνει να φτάσει στο σημείο που απέχει 200mm (T20), όπως και ο χρόνος να φτάσει στο σημείο που απεχει 400mm (T40). Το αποτέλεσμα σχετίζεται με το πλαστικό ιξώδες του σκυροδέματος.



Σχήμα 4.4. Κουτί σχήματος 'L'

"Όταν το σκυρόδεμα σταματήσει μετρούνται τα ύψη  $H_1$  και  $H_2$ . Αποδεκτές τιμές του λόγου  $H_2/H_1$ , είναι μεταξύ 0,80-0,85. Τόσο η απόφραξη όσο και η σταθερότητα διακρίνονται με γυμνό μάτι. Συνήθως η απόφραξη προκαλείται από συσσώρευση χοντρόκοκκων αδρανών πίσω από τις σιδερένιες ράβδους. Αν το χοντρόκοκκο αδρανές διανέμεται ομοιόμορφα μέχρι το τέλος του οριζόντιου μέρους, το σκυρόδεμα μπορεί να

θεωρηθεί ως σταθερό. Η παραπάνω μέθοδος χρησιμοποιείται στη Σουηδία για μερικά χρόνια με αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. [2]

#### 4.7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα ο τσιμεντοπολτός είναι αυτός που διευκολύνει την κίνηση των χοντρόκοκκων αδρανών και δίνει όλη την απαιτούμενη σταθερότητα στο σκυρόδεμα. Οι ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος είναι παρόμοιες με εκείνες του σκυροδέματος π.χ. μικρό όριο διαρροής που εξασφαλίζει τη ροή του κονιάματος κάτω από το ίδιο του το βάρος και επαρκές πλαστικό ιξώδες, ώστε να εξασφαλιστεί ότι το σκυρόδεμα δεν απομειγνύεται κατά τη ροή του, αλλά όχι τόσο μεγάλο που η ταχύτητα ροής να είναι ελάχιστη για τη σκυροδέτηση. Ένα όριο διαρροής μεταξύ 20 και 50 Pa και ένα πλαστικό ιξώδες μεταξύ 6 και 12 Pa.s έχουν προταθεί ως κατάλληλες τιμές. [16] Ειδικότερα η ανάγκη πειραμάτων σε τσιμεντοκονιάματα προκύπτει από τα ακόλουθα:

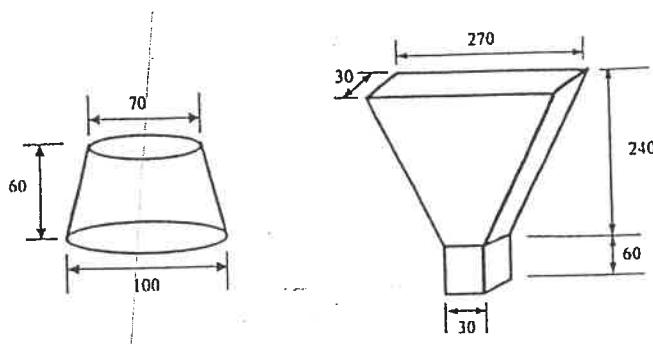
► Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα έχει μικρότερο ποσοστό χοντρόκοκκων αδρανών απ'ότι το συμβατικό σκυρόδεμα (τυπικά 25-35% κ.ο.), οπότε κυρίαρχες είναι οι ιδιότητες του τσιμεντοπολτού.

► Οι ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος αποτελούν ένα πολύ ουσιώδες θέμα στη σύνθεση πολλών αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων, οπότε η γνώση των ιδιοτήτων του είναι πολύ βασική.

► Τα πειράματα σε τσιμεντοκονιάματα είναι απλά και λιγότερο κοπιώδη απ'ότι τα πειράματα στο σκυρόδεμα. [17]

Οι Okamura. et.al [4] προτείνουν πειράματα εξάπλωσης και χοάνης για τσιμεντοπολτούς έτσι ώστε να τυποποιήσουν τη σύνθεση, στην οποία ο σωστός λόγος Νερού/Λεπτά και η κατάλληλη δόση υπερρευστοποιητή μπορούν να εκτιμηθούν από τους δείκτες σχετικής επιφάνειας ροής  $G_{\text{ss}}$  και σχετικής ταχύτητας χοάνης  $R_{\text{ss}}$ .

Οι Hawa. et.al [22] από τις εμπειρίες που έχουν αποκομίσει από κατασκευές στην Ιαπωνία έχουν προτείνει τις τιμές 250 και 280mm για την εξάπλωση και χρόνο χοάνης από 6 ως 10 δευτερόλεπτα για τσιμεντοκονιάματα που μπορούν να παράγουν ένα επιτυχημένο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Ο Chai [21] από τη μεριά του έχει προτείνει για την εξάπλωση τιμή μεγαλύτερη από 300mm και για το χρόνο χοάνης 2 ως 10 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 4.6. Συσκευή χοάνης και δοκιμή εξάπλωσης του κώνου κάθισης για τσιμεντοκονιάματα

#### **4.8. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΡΓΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΡΕΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.**

Η ρεολογική συμπεριφορά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυρόδεματος όπως και του κοινού σκυρόδεματος ακολουθεί το νόμο του Bingham. Το όριο διαρροής του είναι μικρό έτσι ώστε να μπορεί να ρέει κάτω από το ίδιο του το βάρος και το πλαστικό ιξώδες του είναι αρκετά μεγάλο ώστε να μη διαχωρίζεται. Το όριο διαρροής του σκυροδέματος, καθώς και το πλαστικό του ιξώδες εξαρτώνται κατά κατά ένα μεγάλο βαθμό από τη λεπτότητα των κόκκων. "Οσο λεπτότερα είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αντικατάσταση του τσιμέντου τόσο μεγαλώνουν το όριο διαρροής και το πλαστικό ιξώδες. Αυξάνοντας τη λεπτότητα των κόκκων αυξάνεται και η ειδική επιφάνεια του υλικού. Μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα να χρειάζεται περισσότερο νερό για να διαβραχεί ολόκληρη η επιφάνεια των κόκκων. [7]

"Όπως είναι γνωστό, δύλες οι ρεολογικές μέθοδοι δίνουν δύο βασικές παραμέτρους για να χαρακτηρίσουν το υλικό, το όριο διαρροής και το πλαστικό ιξώδες. Κατά πολλούς ειδικούς αυτός είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να χαρακτηριστεί η συμπεριφορά του νωπού σκυροδέματος. Επιπλέον, τα πειράματα που γίνονται για το χαρακτηρισμό της ρεολογικής συμπεριφοράς του σκυροδέματος είναι λιγότερο εξαρτημένα από την ικανότητα και την εμπειρία των μηχανικών απ' ότι τα πειράματα εργασιμότητας π.χ. το πείραμα της εξάπλωσης αν γίνει από ένα έμπειρο μηχανικό μπορεί να μας δώσει στοιχεία για την κινητικότητα, την τάση για απόμειξη και το ιξώδες του σκυροδέματος. "Ομως πιο συχνά στην πράξη μόνο η διάμετρος της εξάπλωσης του σκυροδέματος αναφέρεται μετά από ένα πείραμα εξάπλωσης. Οι ρεολογικές μέθοδοι από τη μεριά τους έχουν το μειονέκτημα ότι χρησιμοποιούνται μόνο στην αρχική σύνθεση. Γι' αυτό υπάρχει η ανάγκη να βρεθεί μια συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων που μετρώνται στα ρεολογικά πειράματα και τα αποτελέσματα των πειραμάτων εργασιμότητας που είναι πιο βολικά στη χρησιμοποιησή τους στο χώρο ανάμιξης και διάστρωσης του σκυροδέματος. [19]

Από πειράματα συσχετίσεων που έχουν γίνει διεθνώς από διάφορους ερευνητές έχουν διαπιστωθεί τα εξής:

- Σύμφωνα με πειράματα που έγιναν στη Σουηδία ήταν φανερό ότι υπήρχε κάποια συσχέτιση μεταξύ του ορίου διαρροής και της τιμής εξάπλωσης, καθώς και του χρόνου T500 (χρόνος που κάνει το σκυρόδεμα να φτάσει τη διάμετρο των 500 mm) με το πλαστικό ιξώδες, αλλά αυτή η συσχέτιση είναι αδύνατη. [19]
- Από πειράματα που έγιναν στη Γαλλία βρέθηκε ότι το όριο διαρροής με την εξάπλωση μπορούν να συνδεθούν με τον τύπο

$$\tau_0 = (808 - E\zeta) * M * g / 11740$$

όπου  $\tau_0$  είναι το όριο διαρροής σε Pa,  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $M$  είναι η πυκνότητα του σκυροδέματος σε kg/m<sup>3</sup>. Επιπλέον, ο χρόνος που κάνει το σκυρόδεμα να φτάσει τα 500mm στη δοκιμή της εξάπλωσης συνδέεται με το πλαστικό ιξώδες με τον τύπο

$$\mu = M * g / 100000 * (0,0026 * E\zeta - 2,39) * t_{500}$$

όπου  $t_{500}$  είναι ο χρόνος εξάπλωσης σε δευτερόλεπτα.

Για πρακτικούς λόγους, μια μικρή τιμή του ορίου διαρροής εγγυάται μια μεγάλη ικανότητα του σκυροδέματος να εξαπλώνεται, ενώ ένα μικρό ιξώδες εγγυάται γρήγορη σκυροδέτηση και διευκολύνει την άντληση του σκυροδέματος, όμως εγκυμονεί κίνδυνο απόμειξης [20].

## 4.9. ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

- Κατα τη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι οι επιδόσεις του πρέπει να συμβαδίζουν με τα κατασκευαστικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της κατασκευής για την οποία προορίζεται το συγκεκριμένο σκυρόδεμα.
- Τα πειράματα που απαιτούνται για να διαπιστωθεί η ικανότητα του σκυροδέματος να περνά μέσα από εμπόδια πρέπει να χρησιμοποιούνται για να επιβεβαιώνουν την αυτοσυμπυκνωσιμότητα του σκυροδέματος.

### 4.9.1 Επιλογή των υλικών

(1) Επιλογή των λεπτών υλικών.

Τα λεπτά υλικά επιλέγονται με βάση τις επιδόσεις του νωπού και του σκληρυμένου σκυροδέματος που επιβάλλουν οι κατασκευαστικές και περιβαλλοντικές συνθήκες.

(2) Επιλογή των αδρανών.

Τα αδρανή επιλέγονται με βάση τις απαιτήσεις του νωπού και του σκληρυμένου σκυροδέματος στην κατασκευή.

(3) Επιλογή χημικών προσθέτων.

Τα χημικά πρόσθετα που θα επιλεγούν πρέπει να είναι αυτά που δίνουν τις απαιτούμενες επιδόσεις στο νωπό σκυρόδεμα χωρίς να επηρεάζουν τις επιδόσεις του σκληρυμένου σκυροδέματος.

### 4.9.2.1. Σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μόνο με λεπτά υλικά

Οι απαιτήσεις που προκύπτουν από τους Ιαπωνικούς Κανονισμούς είναι:

1. Ο μέγιστος κόκκος των χονδρόκοκκων αδρανών πρέπει να είναι 20 με 25 mm.
2. Οι τιμές του απόλυτου όγκου των αδρανών κυμαίνονται από 0,28-0,35 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> ανάλογα με τις απαιτήσεις της κατασκευής και την απόσταση των οπλισμών.
3. Είναι επιθυμητό το περιεχόμενο νερού να ελαχιστοποιηθεί, αφού επηρεάζει την ποιότητα του σκληρυμένου σκυροδέματος. Η τιμή του συνήθως πρέπει να κυμαίνεται από 155 ως 175 kg/m<sup>3</sup>.
4. Ο λόγος Νερού/Λεπτά πρέπει να κυμαίνεται από 0,28-0,37 κατά βάρος ή 0,85-1,15 κατά όγκο, αλλά ωστόσο εξαρτάται επιπλέον από το είδος και τη σύνθεση των λεπτών.
5. Το περιεχόμενο σε λεπτά πρέπει κανονικά να κυμαίνεται από 0,16-0,19 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, ωστόσο όμως κι αυτό εξαρτάται από το είδος και τη σύνθεση των λεπτών. [6]

### 4.9.2.2. Σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες

Οι απαιτήσεις που προκύπτουν από τους Ιαπωνικούς Κανονισμούς είναι:

1. Ο μέγιστος κόκκος των χονδρόκοκκων αδρανών πρέπει να είναι 20 με 25 mm.
2. Οι τιμές του απόλυτου όγκου των αδρανών πρέπει να κυμαίνονται από 0,28-0,36 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> ανάλογα με τις απαιτήσεις της κατασκευής και την απόσταση των οπλισμών.

3. Το περιεχόμενο σε νερό πρέπει να είναι το μικρότερο δυνατό για να αποκτήσει το σκυρόδεμα την αυτοσυμπυκνωσιμότητά του, αφού η ποσότητα του καθορίζει την ποιότητα του σκληρυμένου σκυροδέματος.
4. Ο λόγος Νερό/Λεπτά επιλέγεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις αντοχής, ανθεκτικότητας και ικανότητας προστασίας από διάβρωση του οπλισμού.
5. Το περιεχόμενο σε λεπτά υλικά καθορίζεται από το περιεχόμενο του σκυροδέματος σε νερό κι από το λόγο Νερό/Λεπτά.
6. Προτείνεται ότι οι ποσότητες του υπερρευστοποιητικού και του πρόσθετου που βελτιώνει το ίξωδες να καθορίζονται έπειτα από δοκιμές έτσι ώστε να απόκτηθουν η επιθυμητή αντίσταση σε απόμειξη, παραμορφωσιμότητα και αυτοσυμπυκνωσιμότητα του σκυροδέματος. Η δοσολογία των παραπάνω χημικών προσθέτων πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην επηρεάζονται βασικές ιδιότητες του σκυροδέματος όπως είναι ο χρόνος πήξεως και ο χρόνος ανάπτυξης της αντοχής.

#### **4.9.2.3. Σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου σκυρόδεματος συνδυασμένου τύπου**

Οι απαιτήσεις που προκύπτουν από τους Ιαπωνικούς Κανονονισμούς είναι:

1. Ο μέγιστος κόκκος των χονδρόκοκκων αδρανών πρέπει να είναι  $20 \text{ με } 25 \text{ mm}$ .
2. Οι τιμές του απόλυτου όγκου των αδρανών κυμαίνονται από  $0,28-0,35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .
3. Το περιεχόμενο σε νερό πρέπει να είναι τέτοιο που να εξασφαλίζει την παραμορφωσιμότητα και την αντίσταση στην απόμειξη του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.
4. Ο λόγος Νερό/Λεπτά πρέπει να εξασφαλίζει ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος όπως αντοχή, ανθεκτικότητα και αντίσταση στη διάβρωση του οπλισμού.
5. Το περιεχόμενο σε λεπτά υλικά καθορίζεται από το περιεχόμενο σε νερό και το λόγο Νερό/Λεπτά. Θα πρέπει να σημειωθεί πάντως ότι ποσοστό τουλάχιστον  $0,13\text{m}^3/\text{m}^3$  είναι απαραίτητο για να επιτευχθεί η απαιτούμενη αυτοσυμπυκνωσιμότητα.

#### **4.10.ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα διαφέρει από το κοινό σκυρόδεμα στα συστατικά του και στις αναλογίες συνθέσεως, ιδιαίτερα όταν είναι σε νωπή κατάσταση. Οπότε οι διαδικασίες παραγωγής κι ανάμιξης πρέπει να γίνονται σε κατάλληλα εξοπλισμένες εγκαταστάσεις, έτσι ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος σε νωπή κατάσταση. Η παραγωγή αυτή πρέπει να ελέγχεται κατάλληλα για να επιτευχθούν τα χαρακτηριστικά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Οι κανόνες παραγωγής πρέπει να συμβαδίζουν με τους κανονισμούς της JSCE. (Japan Society of Civil Engineers) [6]

#### 4.10.1. Παραγωγή

Οι τρεις βασικότεροι κανόνες παραγωγής όπως προσδιορίζονται από τη JSCE είναι:

- Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι περισσότερο ευαίσθητο στις μεταβολές του νερού από το κοινό σκυρόδεμα. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να γίνεται έλεγχος της επιφανειακής υγρασίας των αδρανών, ιδιαίτερα των λεπτών αδρανών, έτσι ώστε να παραχθεί αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με σταθερή ποιότητα. Για να μειωθούν τα αρνητικά αποτελέσματα που μπορούν να προκαλεσθούν από τη μεταβολή της επιφανειακής υγρασίας, αυτή πρέπει να μετράται από μια επαρκή μέθοδο και η διόρθωση της πρέπει να γίνεται με απόλυτη ακρίβεια.
- Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από το μικρό όριο διαρροής του και το αρκετό μεγάλο ιξώδες του συγκρινόμενο με το κοινό σκυρόδεμα. Γι' αυτό το λόγο η ανάμιξη πρέπει να γίνει χρησιμοποιώντας αναμεικτήρα με μεγάλη αποτελεσματικότητα και η σειρά των υλικών που χρησιμοποιούνται, η ταχύτητα ανάμιξης, ο χρόνος ανάμιξης και το μέγεθος του δείγματος πρέπει να γίνονται βάσει των απαιτούμενων πειραματικών αποτελεσμάτων ή των απαιτήσεων της κατασκευής, έτσι ώστε να επιτύχουμε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με την επιθυμητή ποιότητα.
- Οι ιδιότητες του νωπού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος που παράγεται στο συγκρότημα σκυρόδεματος στην κατασκευή μπορεί να διαφέρουν από τις ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος του εργαστηρίου. Η απόκλιση των αποτελεσμάτων αυτών οφείλεται στη διαφορετική αποτελεσματικότητα των αναμεικτήρων. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι αναλογίες συνθέσεως πρέπει να διορθώνονται χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα χημικά πρόσθετα όπως είναι τα αερακτικά ή τα υπερρευστοποιητικά. [6]

#### 4.10.2. Έλεγχος ποιότητας κατά την παραγωγή

Κατά τον έλεγχο ποιότητας στην παραγωγή πρέπει να ελέγχονται η παραμορφωσιμότητα, η αντίσταση σε απόμειξη και η αυτοσυμπυκνωσιμότητα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Η παραμορφωσιμότητα μπορεί να ελέγχεται μέσα από την εξάπλωση. Η αντίσταση σε απόμειξη πρέπει να ελέγχεται μέσα από τους χρόνους της χοάνης. Η αυτοσυμπυκνωσιμότητα μπορεί να ελέγχεται μέσω των συσκευών που ελέγχουν την ικανότητα του σκυροδέματος να περνά μέσα από εμπόδια.

[6]

### 4.11. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΙ ΕΛΕΙΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Για να επιτύχουμε την επιθυμητή ποιότητα ολόκληρης της κατασκευής, πρέπει να καταστρωθεί ένα επαρκές πρόγραμμα κατασκευής για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα και πρέπει να γίνεται επαρκής έλεγχος, ώστε η κατασκευή να λειτουργήσει σύμφωνα με το πρόγραμμα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι γρήγορη τοποθέτηση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό αέρα ή το ανεπαρκές 'γέμισμα' ορισμένων σημείων της κατασκευής. Είναι επομένως απαραίτητο να οριστεί ο ρυθμός τοποθέτησης σύμφωνα με τις αναλογίες συνθέσεως, τη γεωμετρία των δομικών στοιχείων, της απόστασης των οπλισμών βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων κι από την εμπειρία της κατασκευής. Είναι επίσης απαραίτητο σε στενά μέρη να γίνεται η

κατάλληλη σύνθεση, ώστε να μειωθεί όσο το δυνατό η απόσταση άντλησης, γιατί μπορεί το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα να συνθέτεται έτσι ώστε να δίνει μεγάλη παραμορφωσιμότητα και αντίσταση στην απόμειξη, αλλά μπορεί εύκολα να διαχωριστεί όταν ρίχνεται από μεγάλο ύψος ή όταν χρειάζεται να διανύσει μεγάλη απόσταση. Επομένως, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη εξ' αρχής το επιτρεπόμενο ύψος και η απόσταση πτώσεως σύμφωνα με τις αναλογίες συνθέσεως και τις απαιτήσεις της κατασκευής. Το μέγιστο ύψος πτώσεως και η μέγιστη απόσταση ροής πρέπει να είναι περίπου 5 μέτρα ή λιγότερο για το πρώτο και 8 με 15 μέτρα για το δεύτερο αντίστοιχα.

“Οταν το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα τοποθετείται μέσω άντλησης, αύξηση του ρυθμού αντλήσεως οδηγεί σε μεγαλύτερη απώλεια πτέσεως απ' ότι το συμβατικό σκυρόδεμα. Επίσης, η άντληση γενικά τείνει να μειώσει την εξάπλωση του σκυροδέματος. Η άντληση μέσω σωλήνων διαμέτρων 4 με 5 ίντσών κι όχι μεγαλύτερων από 300 μέτρα σε μήκος πρέπει να είναι οι σωστές διαδικασίες άντλησης.

Η διάστρωση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι δύσκολη, λόγω του αρκετά μεγάλου ιξώδους και της μικρής εξίδρωσης. Είναι επομένως απαραίτητο να ληφθούν μέτρα για να εμποδιστεί η ξήρανση της επιφάνειας μέχρι το τέλος της διάστρωσης και χρειάζεται προσοχή να μην περάσει ο χρόνος και δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα.

Ο έλεγχος ποιότητας κατά την κατασκευή πρέπει να γίνεται πριν από τη διάστρωση του σκυροδέματος ή ακριβώς μετά την εκφόρτωση του φορτηγού αναμίξεως λαμβάνοντας υπόψη τις όποιες διαφοροποιησεις που μπορεί να γίνουν από την εκφόρτωση μέχρι τη διάστρωση. [6]

#### **4.12. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Ακόμα κι αν η αποτελεσματικότητα του σκυροδέματος έχει επιβεβαιωθεί σε πειραματικό στάδιο, μπορεί αυτό να υφίσταται αλλαγές, λόγω των μεταβολών στα χαρακτηριστικά των συστατικών του, κατά τη διάρκεια παραγωγής του και κατά τη διάρκεια μεταφοράς του. Είναι επομένως απαραίτητο να επιβεβαιωθεί ότι το παραγόμενο και μεταφερόμενο σκυρόδεμα αποκτά την απαιτούμενη αυτοσυμπυκνωσιμότητά του, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η αξιοπιστία της κατασκευής. Αφού οι αλλαγές στη θερμοκρασία και στη μεταφορά του σκυροδέματος μπορούν να μεταβάλλουν τη σχεδιαζόμενη αυτοσυμπυκνωσιμότητά του, αυτή πρέπει να επιβεβαιωθεί κατά τη στιγμή που αρχίζει η σκυροδέτηση.

Η αυτοσυμπυκνωσιμότητα του σκυροδέματος μπορεί να ελέγχεται με της συσκευές που ελέγχουν την ικανότητα του να περνά μέσα από εμπόδια. Μια συχνότητα επιθεωρήσεως της τάξης των 50m<sup>3</sup> είναι αυτή που καθορίζεται από τους Κανονισμούς.

“Οταν ένα μήγμα αυτοσυμπυκνούμενου σκυρόδεματος απορρίπτεται λόγω χαμηλής παραμορφωσιμότητας, τότε στο σκυρόδεμα αυτό μπορούμε να προσθέσουμε υπερρευστοποιητή σε μια επαρκή δοσολογία και να το ξαναεπιθεωρήσουμε. Αν απορριφθεί λόγω απόμειξης, το σκυρόδεμα δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Για την αποτελεσματικότητα της παραγωγής είναι απαραίτητο να απορρίπτεται όσο το δυνατό λιγότερο σκυρόδεμα και να βρεθούν αποτελεσματικές μέθοδοι ‘θεραπείας’ σε περίπτωση που αυτό δε γίνεται αποδεκτό. [6]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

#### **5.1 ΣΚΟΠΟΣ**

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό τη δημιουργία αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, τη μελέτη των χαρακτηριστικών του με βάση τα δεδομένα που υπήρχαν στη διεθνή βιβλιογραφία, τους διεθνείς κανονισμούς και την εμπειρία από πειράματα που έγιναν στο εξωτερικό. Το πειραματικό μέρος αποτελείται από δύο μέρη.

Στο πρώτο μέρος περιγράφονται οι προσπάθειες και τα αποτελέσματα που προέκυψαν χρησιμοποιώντας τις διάφορες συσκευές, οι οποίες είναι απαραίτητες για το χαρακτηρισμό του σκυροδέματος ως αυτοσυμπυκνούμενο. Ως πρώτο κριτήριο χρησιμοποιήσαμε τη συσκευή χοάνης (V funnel test). Αν το σκυρόδεμα πετύχαινε ικανοποιητικό χρόνο στη συσκευή χοάνης (5-15 δευτερόλεπτα) τότε επαικολουθούσαν και η εξάπλωση και στα τελευταία πειράματα και το δοχείο σχήματος 'U'. Η χρησιμοποίηση της συσκευής της χοάνης ως κύριας συσκευής δικαιολογείται από το γεγονός ότι η συσκευή αυτή μπορούσε να μας δώσει παράλληλα ενδείξεις για δύο από τις κυριότερες ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος: την αντίσταση σε απόμειξη και την ικανότητα του να περνά μέσα από εμπόδια όπως είναι το στένωμα της χοάνης. Στη συνέχεια, όταν ο χρόνος της χοάνης ήταν ικανοποιητικός, εξετάζαμε την παραμορφωσιμότητα του σκυροδέματος με την εξάπλωση.

Στο δεύτερο μέρος έγιναν δοκιμές σε τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιώντας τις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν σε ανάλογα πειράματα στο εξωτερικό. Οι δοκιμές στα τσιμεντοκονιάματα έγιναν επειδή το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα περιέχει μικρότερο ποσοστό χονδρόκοκκων αδρανών (25%-35% του όγκου του σκυροδέματος) από το κοινό σκυρόδεμα κι ένα μεγάλο μέρος της συμπεριφοράς του επηρεάζεται από τη συμπεριφορά του τσιμεντοπολτού (βλ.θεωρητικό μέρος κεφ.4.7.). Ακόμα, στα τσιμεντοκονιάματα υπήρχε μεγαλύτερη ευελιξία κι ευκολία στα πειράματα και μπορούσαμε να μελετήσουμε τις μεταβολές της εξάπλωσης και του χρόνου χοάνης του υλικού συναρτήσει της ποσότητας του νερού, του υπερρευστοποιητή, του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες, του τύπου της άμμου, του τύπου του τσιμέντου, του τύπου της υπερρευστοποιητή, του λόγου όγκος άμμου/όγκος τσιμεντοκονιάματος, του τύπου της παιπάλης. Ακόμα, μετρήθηκαν, η επιρροή ποσότητας πυριτικής μικροπαιπάλης στα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και ο χρόνος που έκανε το κονίαμα να φτάσει τα 30 cm στη δοκιμή της εξάπλωσης που είναι ένας δείκτης που μας δίνει στοιχεία για το ιξώδες του τσιμεντοκονιάματος.

Στο τελευταίο μέρος της διπλωματικής έγινε η προσπάθεια δημιουργίας ενός πετυχημένου μίγματος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με βάση ένα πετυχημένο μίγμα τσιμεντοκονιάματος, έτσι ώστε να επιβεβαιώσουμε την άποψη ότι οι ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος εξαρτώνται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από τις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος.

## 5.2. ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

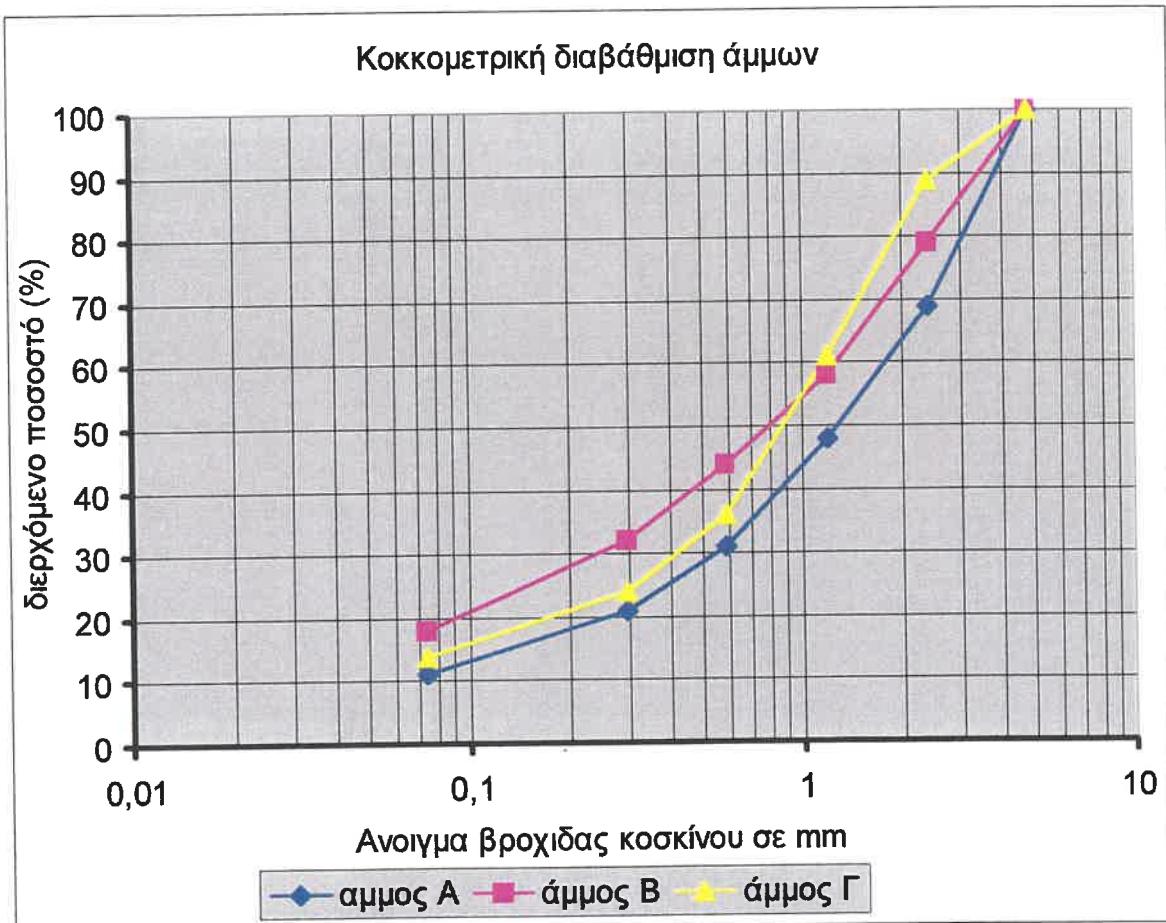
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

• Τσιμέντο

Στην πλειοψηφία των σκυροδεμάτων και των τσιμεντοκονιαμάτων χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο σκωρίας υψηλαμένου. Σε ένα μίγμα σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο τύπου II/35, ενώ για τη σύγκριση αποτελεσμάτων πειραμάτων που έγιναν για την επιρροή του τύπου του τσιμέντου στην συμπεριφορά των τσιμεντοκονιαμάτων χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο τύπου II/45.

• Άμμος

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι θραυστών ασβεστολιθικών άμμων των οποίων η κοκκομετρική διαβάθμιση φαίνεται παρακάτω:



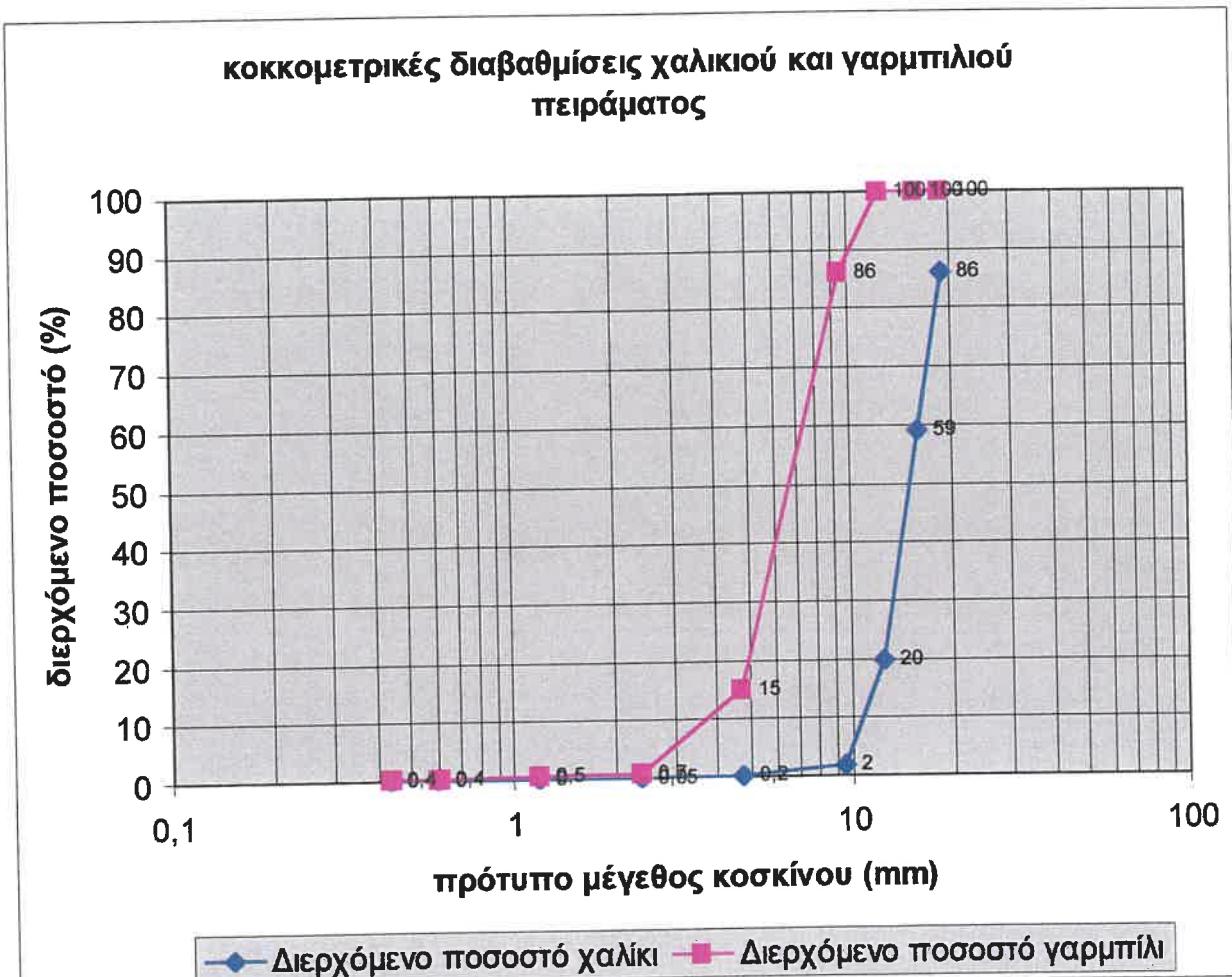
Σχήμα 5.1. Διάγραμματα κοκκομετρικής διαβαθμίσεως άμμων πειράματος

Η άμμος τύπου Α περιοχής Πατρών χρησιμοποιήθηκε σε σχεδόν όλα τα μίγματα του σκυροδέματος εκτός από δύο που χρησιμοποιήθηκε και η άμμος τύπου Β περιοχής Εηρορέματος. Στα τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιήθηκε σχεδόν αποκλειστικά η άμμος τύπου Γ περιοχής Δυτικής Αττικής εκτός από μερικές πειρατώσεις που χρησιμοποιήθηκε η άμμος τύπου Β περιοχής Εηρορέματος και σε ένα μίγμα τσιμεντοκονιάματος που

χρησιμοποιήθηκε η άμμος τύπου A. Τα δελτία της κοκκομετρικής αναλύσεως για κάθε τύπο άμμου δίνονται στο Παράρτημα στο κεφάλαιο ‘Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών’.

#### • Αδρανή

Τα χονδρόκοκκα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν (χαλίκι, γαρμπίλι) ήταν ασβεστολιθικά θραυστά αδρανή από λατομείο στην περιοχή του Ρίου Αχαιας με την ακόλουθη κοκκομετρική διαβάθμιση. Τα δελτία κοκκομετρικής αναλύσεως των αδρανών φαίνονται στο Παράρτημα στο καφάλαιο ‘Κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών’.

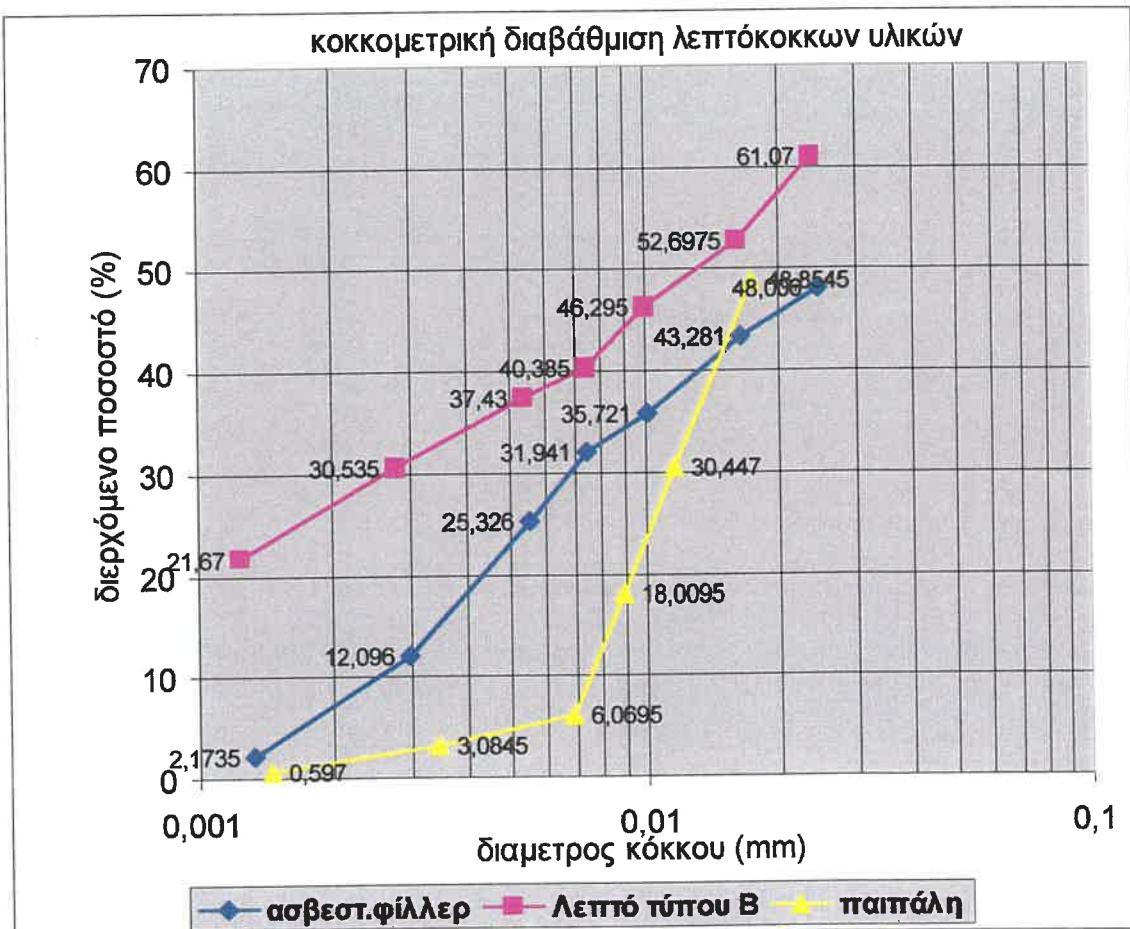


Σχήμα 5.2. Διάγραμμα κοκκομετρικής διαβαθμίσεως χονδρόκοκκων αδρανών πειράματος

#### • Λεπτά υλικά

Ως λεπτά υλικά ονομάζουμε τα υλικά που διέρχονται από το κόσκινο No200 και που η παρουσία τους είναι πολύ χρήσιμη στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Στο ποσοστό των λεπτών υλικών συμπεριλαμβάνεται και το ποσοστό της παιπάλης της άμμου. Στα πειράματα μας χρησιμοποιήσαμε κυρίως τρεις τύπους λεπτών. Στα πειράματα του σκυροδέματος χρησιμοποιήσαμε αποκλειστικά ασβεστολιθικό φίλλερ (λεπτό τύπου α) εκτός ενός μήγματος που όλο το ποσοστό των λεπτών καλύφθηκε από την παιπάλη της άμμου τύπου Β Εηρορέματος, η οποία περιείχε 18% παιπάλη (λεπτό τύπου β). Στα τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιήσαμε ως λεπτό παιπάλη η οποία είχε απομονωθεί και

υπήρχε στο εργαστήριο. Ακόμα, σε ένα πείραμα τσιμεντοκονιάματος χρησιμοποιήθηκε πυριτική μικροπαιπάλη η οποία είναι πολύ δραστική και σε πολύ μικρή ποσότητα δίνει στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα όλες εκείνες τις ιδιότητες που το χαρακτηρίζουν (παραμορφωσμότητα, αντίσταση σε απόμειξη, ικανότητα να περνά μέσα από εμπόδια). Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε μόνο σε ένα πείραμα είναι λόγω της ακρίβειας που τη χαρακτηρίζει και της αντιοικονομικότητας του μίγματος. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ως λεπτό υλικών λαμβάνεται και το τσιμέντο, αφού όλοι οι κόκκοι του διαπερνούν το κόσκινο No200. Οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των τριών κύριων τύπων λεπτών που χρησιμοποιήθηκαν εκτός του τσιμέντου φαίνονται στο σχήμα 5.3. Ο πίνακας κοκκομετρικής αναλύσεως των λεπτών βρίσκεται στο Παράρτημα στο κεφάλαιο ‘Κοκκομετρική ανάλυση σημαδρανών’.



Σχήμα 5.3. Διαγράμματα κοκκομετρικής διαβαθμίσεως λεπτόκοκκων υλικών

#### • Νερό

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάμειξη ήταν νερό βρύσης (δίκτυο ΕΥΔΑΠ).

#### • Υπερρευστοποιητικό

Σε όλα τα μίγματα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, καθώς και στα τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιήθηκε υπερρευστοποιητής τύπου Glenium, ενώ για τις

ανάγκες του πειράματος\_σύγκρισης δύο διαφορετικών τύπων υπερρευστοποιητή πάνω στο ίδιο μίγμα χρησιμοποιήθηκε και υπερρευστοποιητής τύπου CHEM 172.

• Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες

Για τις ανάγκες των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες τύπου MEYCO.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

#### 6.1. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Στα πρώτα μίγματα δημιουργίας του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος προσπαθήσαμε να εφαρμόσουμε τις προτάσεις και τους κανονισμούς που ισχύουν στο εξωτερικό. Η συλλογιστική με την οποία έγιναν τα πρώτα μίγματα και οι κυριότερες αρχές που ακολουθήθηκαν ήταν:

- Ελαχιστοποίηση του ποσοστού των χονδρόκοκκων.
- Αύξηση του ποσοστού του τσιμεντοπολτού σε σχέση με το κοινό σκυρόδεμα.
- "Όγκος των λεπτών (εκτός του τσιμέντου) πάνω από  $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .
- Μικρός λόγος άμμου/τσιμεντοκονίαμα ( $0,40-0,50$ ).

Ο κυριότερος στόχος μας ήταν να βρεθεί η βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση σε σχέση με τις καμπύλες του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος η οποία να οδηγεί στη δημιουργία του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Για τη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε η θεμελιώδης σχέση:

$$T/\gamma_t + \Lambda/\gamma_a + N/\gamma_N + A/\gamma_A + x \text{ lt} + y \text{ lt} + a = 1 \text{ m}^3 \quad (1)$$

όπου  $T$ = η ποσότητα του τσιμέντου σε [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

$\Lambda$ =η ποσότητα των λεπτών υλικών σε [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

$N$ =η ποσότητα του νερού σε [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

$A$ =η ποσότητα των αδρανών σε [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

$x$ =η ποσότητα του υπερρευστοποιητικού σε λίτρα.

$y$ =η ποσότητα του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες σε λίτρα.

$a$ =ποσοστό αέρα που περιέχεται στο νωπό σκυρόδεμα.

$\gamma_t=3,1 \text{ t/m}^3$ , ειδικό βάρος του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε.

$\gamma_a$ =το ειδικό βάρος των λεπτών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Για τους τρεις τύπους λεπτών υλικών τα αντίστοιχα ειδικά βάρη είναι:

➤ Για το ασβεστολιθικό φύλλερ  $2,923 \text{ t/m}^3$

➤ Για το λεπτό τύπου B  $2,72 \text{ t/m}^3$

➤ Για την παπάλη  $2,68 \text{ t/m}^3$

$\gamma_N=1,0 \text{ t/m}^3$ , ειδικό βάρος του νερού

$\gamma_A=$ ειδικό βάρος των αδρανών που χρησιμοποιήθηκαν.

■ Για το γαρμπίλι και το χαλίκι το ειδικό βάρος λήφθηκε ίσο με  $2,7 \text{ t/m}^3$ .

■ Για τους τρεις τύπους άμμων το ειδικό βάρος λήφθηκε ίσο με  $2,7 \text{ t/m}^3$ .

Τα ειδικά βάρη των παραπάνω αδρανών είναι σε κορεσμένη επιφανειακώς στεγνή κατάσταση.

Το ειδικό βάρος του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες είναι ίσο με  $1,13 \text{ t/m}^3$ .

Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί ότι το υπερρευστοποιητικό που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από 50 % στερεό με ειδικό βάρος  $1,05 \text{ t/m}^3$ .

Ως ποσότητα νερού που μπαίνει στον τύπο της μελέτης σύνθεσης λαμβάνεται η ποσότητα του ενεργού νερού η οποία προκύπτει από τη σχέση:

**Ενεργό νερό = Συνολικό νερό - Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή**

όπου οι όροι της παραπάνω εξίσωσης θα ισούνται με:

**•Συνολικό νερό = ποσότητα νερού που χρησιμοποιήθηκε +  $\frac{1}{2} \times$  ποσότητα**

**υπερρευστοποιητή**

ενώ το νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή θα ισούται με:

**• I) Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή =  $0,006^*(\text{άμμος} + \text{χαλίκι} + \text{γαρμπίλι} + \text{λεπτό})$**

(Υγρασία απορρόφησης αδρανών =  $0,6\%$  κατά βάρος των αδρανών)

αν το λεπτό υλικό που χρησιμοποιήσαμε θεωρηθεί ως αδρανές που απορροφά νερό, αλλιώς :

**• II) Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή =  $0,006^*(\text{άμμος} + \text{χαλίκι} + \text{γαρμπίλι})$**

αν το λεπτό υλικό που χρησιμοποιήσαμε θεωρηθεί ότι συμπεριφέρεται σαν το τσιμέντο.

Με την πρώτη θεώρηση, η ποσότητα του νερού που απορροφάται από τα λεπτά υλικά είναι αρκετά σημαντική, παρόμοια με αυτή των αδρανών και με μεγαλύτερη ταχύτητα απορροφήσεως νερού, ενώ με τη δεύτερη θεώρηση, αν τα λεπτά υλικά που χρησιμοποιούνται τα θεωρήσουμε ως υλικά συμπληρωματικά του τσιμέντου με παρόμοιες ιδιότητες, τότε μπορούμε να δεχτούμε ότι τα λεπτά δεν απορροφούν νερό. Στα έντυπα συνθέσεως παρουσιάζονται οι αναλογίες συνθέσεως των υλικών με την πρώτη θεώρηση, ενώ στο Παράρτημα βρίσκονται και οι αναλογίες συνθέσεως όταν θεωρούμε τα λεπτά υλικά ως συμπληρωματικά του τσιμέντου με παρόμοιες ιδιότητες. Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι οι αλλαγές στις αναλογίες συνθέσεως ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις είναι ελάχιστες.

## **6.2. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ, ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ**

### **Συσκευή χοάνης σχήματος V**

Στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκε η συσκευή χοάνης που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Χρησιμοποιήθηκε ως κύρια συσκευή των πειραμάτων που έγιναν στο εργαστήριο για τον απλούστατο λόγο ότι μπορούσε να δώσει στοιχεία για δύο από τις σπουδαιότερες ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος: την τάση για απόμειξη και την ικανότητα του σκυροδέματος να περνά μέσα από εμπόδια. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

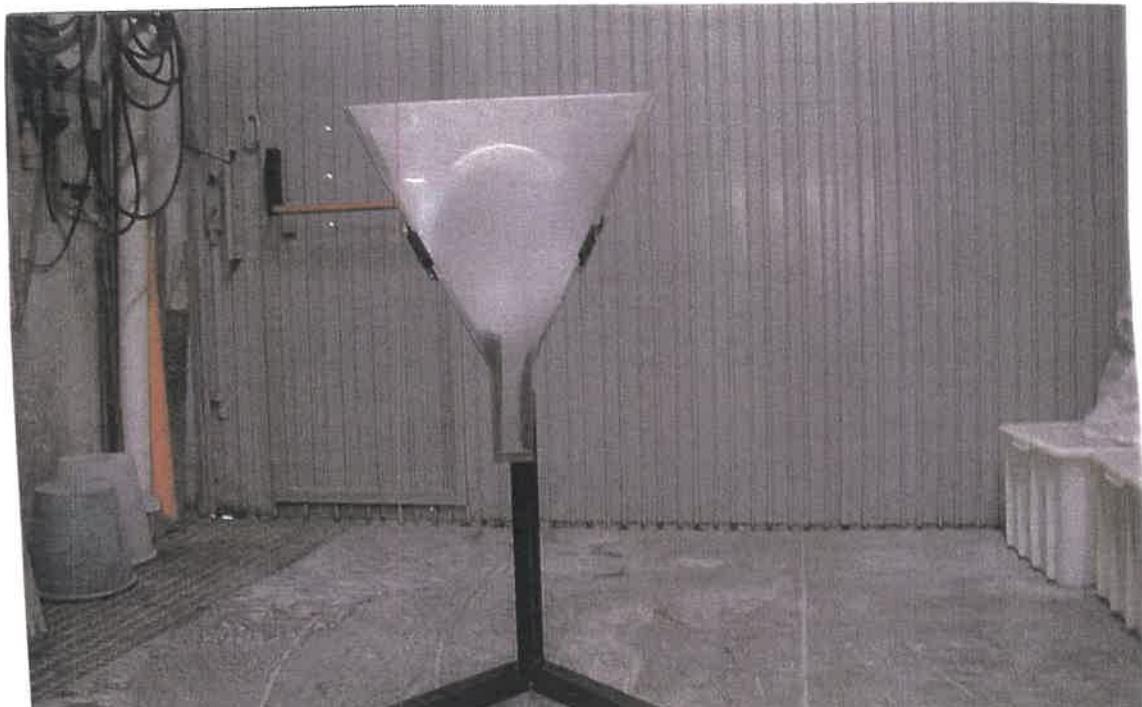
Μετά την ανάμιξη του μίγματος, γεμίζαμε μια λεκάνη κι έπειτα ρίχναμε το περιεχόμενό της ομοιόμορφα στη συσκευή της χοάνης. Η μέθοδος αυτή κρίθηκε προτιμότερη από την πλήρωση της χοάνης με επανειλημμένα ‘φτυαρίσματα’ από τον αναμικτήρα στη συσκευή της χοάνης, αφού με το δεύτερο τρόπο υπήρχε μεγάλος κίνδυνος απόμειξης του σκυροδέματος λόγω του τρόπου γεμίσματος της χοάνης και οι μετρήσεις που λαμβάνονταν μπορεί να ήταν πλασματικές και να μην αντιτροσώπευαν την πραγματικότητα για το δείγμα.

Στα αρχικά μίγματα μετρήθηκε ο χρόνος  $t_0$ , δηλαδή ο χρόνος που έκανε το σκυρόδεμα να διαπεράσει τη συσκευή της χοάνης κατ’ευθείαν μετά το γέμισμα της. Μέσω του χρόνου χοάνης υπολογίζαμε τη ‘σχετική ταχύτητα χοάνης  $Ro$ ’ που δίνεται από τον τύπο  $Ro=10/t_0$  και που αποτελεί σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία μια σημαντική παράμετρο για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Σε ακόλουθα μίγματα μετρήθηκε κι ο

χρόνος  $t_5$ , δηλαδή ο χρόνος που κάνει το σκυρόδεμα να διαπεράσει τη συσκευή της χοάνης μετά από 5 λεπτά. Η μέτρηση του χρόνου  $t_5$  κρίνεται αναγκαία, αφού δίνει στοιχεία για το πως συμπεριφέρεται ρεολογικά το σκυρόδεμα, αφού ισορροπήσει για 5 λεπτά στη συσκευή της χοάνης. Ο χρόνος αυτός μας δείχνει αν το μίγμα έχει διαχωριστεί στη συσκευή (συσσώρευση χοντρόκοκκου υλικού στο στένωμα της χοάνης), όταν αυτό περιέλθει σε κατάσταση ισορροπίας. Ένδιαφέρον προκαλούν οι αρκετά μεγάλες αποκλίσεις του χρόνου  $t_5$  και του χρόνου  $t_5$  που αποτυπώνονται μέσω του δείκτη μεταβολής της ροής :

$$S_f = (t_5 - t_0) / t_0$$

Αν ο χρόνος  $t_5 < t_0$  τότε ο δείκτης μεταβολής της ροής λαμβάνεται ίσος με μηδέν. Αν ο χρόνος  $t_5$  εμφανίζεται πολύ μεγαλύτερος από το χρόνο  $t_0$  τότε το σκυρόδεμα έχει μικρή αντίσταση σε απόμειξη και κατά την ισορροπία του όλα τα χονδρόκοκκα αδρανή κάθονται κάτω, με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να αργήσει να διαπεράσει τη συσκευή.



### Μέτρηση της εξάπλωσης

"Όταν το μήγμα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πετύχαινε ικανοποιητικό χρόνο στη συσκευή της χοάνης, τότε εξεταζόταν και η παραμορφωσιμότητά του, η τρίτη κύρια ιδιότητα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, μέσω της δοκιμής της εξάπλωσης. Για τη δοκιμή της εξάπλωσης χρησιμοποιήθηκαν στο έργαστήριο η τράπεζα της εξάπλωσης, καθώς κι ο κώνος που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

Εμείς θεωρούσαμε το σκυρόδεμα αυτοσυμπυκνούμενο από την τιμή 600 mm κι απάνω σύμφωνα με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από αντίστοιχα πειράματα στο εξωτερικό. Κατόπιν, αφού λαμβάναμε την τιμή της εξάπλωσης βρίσκαμε το δείκτη σχετικής ροής Γσκ= ( $do^2-400)/400$ , ο οποίος χρησιμοποιείται στη διεθνή βιβλιογραφία. (βλ. Θεωρητικό μέρος κεφ.6.2). Σε λίγα μήγματα στο τέλος μετρήθηκε κι ο χρόνος T500, δηλαδή ο χρόνος που έκανε το σκυρόδεμα μέχρι να φτάσει στα 500mm. Ο χρόνος αυτός δίνει στοιχεία για μια σημαντική παράμετρο της ρεολογικής συμπεριφοράς του σκυροδέματος :το ιξώδες. Πολύ μικρός χρόνος εξάπλωσης μέχρι τα 500mm (1-2 δευτερόλεπτα) σημαίνει ότι το σκυρόδεμα έχει μικρό ιξώδες κι εξαπλώνεται πολύ γρήγορα, ενώ ένας μέσος χρόνος (3-5 δευτερόλεπτα) σημαίνει ότι το σκυρόδεμα έχει αρκετά μεγάλο ιξώδες, στοιχείο που ικανοποιεί τις ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. (μικρό όριο διαρροής, μέσο ιξώδες).



### Μέτρηση με το δοχείο σχήματος 'U'

Το δοχείο σχήματος 'U' χρησιμοποιήθηκε σε λίγα μίγματα κι αφού λαμβάνονταν ικανοποιητικές τιμές από τις δύο άλλες δοκιμές (χοάνη, εξάπλωση). Στη δοκιμή αυτή μετρήθηκαν το ύψος γεμίσματος καθώς και ο χρόνος γεμίσματος. Η δοκιμή με το δοχείο σχήματος 'U' έρχεται να συμπληρώσει τις δύο άλλες δοκιμές και χαρακτηρίζει την ικανότητα του σκυροδέματος να περνά μέσα από εμπόδια, δηλαδή την αυτοσυμπυκνωσιμότητά του, χαρακτηριστικά από τα οποία είχαμε πάρει μια πρώτη ένδειξη στη δοκιμή της χοάνης. Με την τρίτη και τελευταία δοκιμή έρχεται πλέον να οριστικοποιηθεί ο χαρακτηρισμός του σκυροδέματος ως αυτοσυμπυκνωνόμενο, αφού επιβεβαιώνονται όλες εκείνες οι ιδιότητες που το διακρίνουν (παραμορφωσιμότητα, αντίσταση στην απόμειξη, ικανότητα να περνά μέσα από εμπόδια ή αυτοσυμπυκνωσιμότητα). Το δοχείο σχήματος 'U' που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.



### Μετρηση της αντοχής.

Σε μερικές σειρές συνθέσεων λήφθηκαν κυβικά δοκίμια ακμής 10 εκατοστών, τα οποία συντηρήθηκαν σε θάλαμο με σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας και κατόπιν θραύστηκαν στις 7 ημέρες και στις 28 ημέρες. Η διαδικασία παρασκευής των δοκιμών ήταν η εξής:

Μετά την ανάμειξη το μείγμα τοποθετήθηκε σε μεταλλικά καλούπια (που προηγουμένως είχαν λαδωθεί). Κατόπιν επιπεδώθηκε η ελεύθερη επιφάνεια με ένα μυστρί και τα καλούπια τοποθετήθηκαν σε οριζόντια θέση όπου σκεπάστηκαν με νάυλον και βρεγμένη λινάτσα. Εκεί παρέμειναν για 24 ώρες και ύστερα ακολούθησε ξεκαλούπωμα και καθαρισμός των μητρών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα δοκίμια δε

δονήθηκαν, αφού το σκυρόδεμα θεωρούταν αυτοσυμπυκνούμενο και δε χρειαζόταν δόνηση.

#### Ανάμειξη του σκυροδέματος

Για την παρασκευή του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πρώτα προετοιμάζαμε τα αδρανή βρέχοντάς τα με τη μισή ποσότητα του συνολικού νερού κι αφήνοντάς τα σε αεροστεγές δοχείο για τουλάχιστον μία ώρα, για να απορροφήσουν όλη την υγρασία που τους αναλογεί. Έπειτα, αφού γινόταν η διαβροχή του αναμικτήρα για να μην απορροφηθεί νερό από το ανάμιγμα, τοποθετούσαμε τα αδρανή στον αναμικτήρα κι αρχίζαμε την ανάδευση. Στη συνέχεια και κατά την ανάδευση τοποθετούνταν η ποσότητα του λεπτού, η ποσότητα του τσιμέντου και η υπόλοιπη ποσότητα του νερού διαδοχικά.

Τα χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιήθηκαν (υπερρευστοποιητής, πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες) προστέθηκαν στο ανάμιγμα με σύριγγες με ακρίβεια 1 ml έπειτα από όλα τα υπόλοιπα υλικά ανάμειξεως. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο αρχικό μίγμα γίνονταν διωρθωτικές κινήσεις με τη χρήση των προσθέτων ανάλογα με τη ρεολογική κατάσταση που φαινόταν ότι είχε το σκυρόδεμα στον αναμικτήρα και τη συμπεριφορά που επιδείκνυε στη συσκευή της χοάνης. Αν το σκυρόδεμα δεν είχε αρκετή ρευστότητα τότε προσθέταμε επιπλέον υπερρευστοποιητή, ενώ αν φαινόταν ότι είχε έντονη τάση για απόμειξη χρησιμοποιούσαμε το πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες για να βελτιώσουμε την ομοιογένεια του μίγματος.

### 6.3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε κάθε σειρά συνθέσεως εμφανίζεται ο βασικός υπολογισμός της κάθε σειράς συνθέσεως και σε πινακοποιημένη μορφή οι παραλλαγές της. Οι παραλλαγές της κάθε σειράς συνθέσεως αποτελούνται από την ίδια ακριβώς ποσότητα υλικών με την πρώτη σύνθεση και διαφέρουν μόνο ως προς την ποσότητα των προσθέτων. Ο αναλυτικός υπολογισμός των παραλλαγών της κάθε σειράς συνθέσεως εμφανίζεται στο Παράρτημα στο κεφάλαιο «Αναλυτικός υπολογισμός παραλλαγών των συνθέσεων σκυροδέματος». Η επιπλέον προσθήκη προσθέτων γινόταν έπειτα από παρατηρήσεις της ρεολογικής συμπεριφοράς του σκυροδέματος στον αναμικτήρα (π.χ. αν είχε απομειχθεί ή αν δεν ήταν εργάσιμο) και τη συμπεριφορά του στη συσκευή της χοάνης.

Σε άλλο πίνακα εμφανίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε σειράς συνθέσεως που μας ενδιαφέρουν στη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος όπως είναι η αναλογία άμμου/γαρμπιλιού/χαλικιού, ο όγκος των χονδρόκοκκων, ο όγκος των λεπτών υλικών, ο λόγος Νερό/Τσιμέντο, Νερό/Λεπτά (κατά βάρος και κάτα όγκο). Ακόμα, εμφανίζονται οι παρατηρήσεις μας στη ρεολογική συμπεριφορά του σκυροδέματος από τον αναμικτήρα και όλες οι μετρήσεις που έγιναν σε κάθε σειρά συνθέσεως (χρόνος χοάνης σε χρόνο 0, χρόνος χοάνης μετά από 5 λεπτά, ύψος και χρόνος γεμίσματος στο δοχείο σχήματος 'U', εξάπλωση και χρόνος εξάπλωσης μέχρι τα 500mm, μέτρηση φαινόμενου βάρους, μέτρηση αντοχής). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάθε σειρά συνθέσεως δεν υπάρχουν όλες οι παραπάνω μετρήσεις ιδιαίτερα στα αρχικά μίγματα. Αυτό οφείλεται κυρίως στην απειρία που υπήρχε αρχικά πάνω στο υλικό και στη σταδιακή κατανόηση των παραμέτρων που θα έπρεπε να μετρηθούν.

Σε όλες τις συνθέσεις εμφανίζεται ο χρόνος που έκανε το μίγμα στη συσκευή της χοάνης (αν τη διαπερνούσε) αρχικά στο χρόνο 0 (t0) κι έπειτα μετά από 5 λεπτά (t5). Ανάλογα

με τη συμπεριφορά του σκυροδέματος και τους μετρημένους χρόνους στη συσκευή της χοάνης επακολουθούσαν οι υπόλοιπες μετρήσεις στις άλλες συσκευές.

Στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου εμφανίζονται οι ποιοτικές συγκρίσεις μεταξύ των συνθέσεων, οι κοκκομετρικές τους διαβαθμίσεις, οι διαφορές τους κι επιλέγεται η σύνθεση με τη βέλτιστη ρεολογική συμπεριφορά βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν. Στο Παράρτημα, στο κεφάλαιο ‘Κοκκομετρική διαβάθμιση μιγμάτων σκυροδέματος’ εμφανίζονται και οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των υλικών συμπεριλαμβανομένης και της ποσότητας των λεπτών υλικών, αφού όπως θα δειχθεί στο επόμενο καφάλαιο ο ρόλος του τύπου και του είδους των λεπτών είναι πολύ κρίσιμος, για την ανάλυση της συμπεριφοράς του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

#### **6.4. ΣΤΟΧΟΣ**

Στόχος μας σε αυτό το στάδιο της εργασίας ήταν η εύρεση εκείνης της κοκκομετρικής διαβάθμισης που θα μας οδηγούσε στο πιο πετυχημένο μίγμα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Μία ακόμα απαίτηση που υπήρχε ήταν να επιτευχθεί και μια οικονομικότητα στο μίγμα με την ελαχιστοποίησην όσο ήταν δυνατόν των χρησιμοποιούμενων προσθέτων, ιδιαίτερα του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες που στην ελληνική αγορά είναι αρκετά ακριβό.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ Α

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο :	5,850 kg
Νερό :	2,340 kg
Γαρμπίλι :	3,220 kg
Χαλίκι :	7,511 kg
Άμμος :	9,480 kg
Ασβεστ. Φίλλερ :	1,050 kg

Υπερρευστοποιητικό : 80 ml (1,0 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05  
 Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες: 0 ml Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή : 0,006\* (3,220+7,511+9,480+1,050) = 0,1276

Συνολικό νερό μίγματος : 2,340+1/2\*0,080 = 2,380 kg

Ενεργό νερό μίγματος : 2,380-0,1276 = 2,2524 kg

Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m<sup>3</sup> σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	lt	Kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,850	3,100	1,887	474
Νερό	2,252	1,000	2,252	183
Γαρμπίλι	3,220	2,700	1,193	261
Χαλίκι	7,511	2,700	2,782	609
Άμμος	9,480	2,700	3,511	768
Ασβ.φίλλερ	1,050	2,923	0,359	85
Υπερ/κό	80	1,050	0,040	3,40
Βελτ. Ιξώδους	0	1,130	0,000	0

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 12,024 2384 kg/m<sup>3</sup>  
 Αέρας 2,6%: 0,313 Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 12,337 για ποσοστό κενών  
 α=2,6%

**Παραλλαγές της σύνθεσης Α**

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	Β.Ι. (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ.	
									(Α=2,6%)	
A1	474	183	261	609	768	85	1	0	2384	
A2	473	184	260	607	766	85	1,5	0	2379	
A3	470	183	259	604	762	84	1,5	0,7	2373	
A4	468	182	258	601	758	84	1,5	1,5	2367	

## **ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ Α**

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/G/X
0,388	0,32	0,28	0,86	0,213	0,39	47/16/37

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά της σειράς σύνθεσης Α

- **A1:** Το μίγμα δεν ήταν εργάσιμο, η ποσότητα του υπερρευστοποιητή δεν έφτανε στο μίγμα για να αποκτήσει την απαραίτητη ρευστότητα. Δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης αλλά ‘κόλλησε’, λόγω έλλειψης της απαιτούμενης παραμορφωσιμότητας.
- **A2:** Το μίγμα διαχωρίστηκε πλήρως στον αναμικτήρα, λόγω της υπερβολικής ποσότητας υπερρευστοποιητή. Δε δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης.
- **A3:** Με την επιπλέον προσθήκη του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες, υπήρξε μικρότερος διαχωρισμός στον αναμικτήρα από την προηγούμενη σύνθεση. Το μίγμα δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης, όπου ‘κόλλησε’ λόγω υπερσυγκέντρωσης χοντρόκοκκου υλικού στο στένωμα της χοάνης.
- **A4:** Το μίγμα δε φαινόταν να είχε απόμειξη στον αναμικτήρα. Δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης και ‘κόλλησε’, λόγω υπερσυγκέντρωσης χοντρόκοκκου υλικού στο στένωμα της χοάνης.

### Συμπέρασμα

“Όλες οι παραλλαγές της σειράς Α δε μπόρεσαν να διαπεράσουν τη συσκευή της χοάνης που οφείλεται μάλλον στην ακατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση και στη μεγάλη ποσότητα χαλικιού που οδηγούσε συνέχεια σε διακοπή της ροής του σκυροδέματος λόγω της συσσώρευσης του χαλικιού στο στένωμα της χοάνης.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ Β

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο :	5,850 kg
Νερό :	2,340 kg
Γαρμπίλι :	4,292 kg
Χαλίκι :	6,439 kg
“Αμμος” :	9,480 kg
Ασβεστ. Φίλλερ :	1,050 kg

Υπερρευστοποιητικό : 80 ml (1,0 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05  
 Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες: 0 ml Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή : 0,006\* (4,292+6,439+9,480+1,050) = 0,1276

Συνολικό νερό μίγματος : 2,340+1/2\*0,080 = 2,380 kg

Ενεργό νερό μίγματος : 2,380-0,1276 = 2,2524 kg

### Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m<sup>3</sup> σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	lt	Kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,850	3,100	1,887	474
Νερό	2,2524	1,000	2,252	183
Γαρμπίλι	4,292	2,700	1,590	348
Χαλίκι	6,439	2,700	2,385	522
“Αμμος”	9,480	2,700	3,511	768
Ασβ.φίλλερ	1,050	2,923	0,359	85
Υπερ/κό	80	1,050	0,040	3,40
Βελτ. Ιξώδους	0	1,130	0,000	0

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 12,024 2384 kg/m<sup>3</sup>  
 Αέρας 2,6%: 0,313 Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 12,337 για ποσοστό κενών  
 α=2,6%

### Παραλλαγές της σύνθεσης Β

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	Β.Ι. (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ. (Α=2,6%)
B1	474	183	348	522	768	85	1	0	2384
B2	473	183	347	521	766	85	1,3	0	2379
B3	468	181	343	515	758	84	1,3	1,7	2367
B4	466	181	342	513	755	84	1,5	2,1	2362

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ Β

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Χ
0,388	0,32	0,28	0,86	0,213	0,39	47/21/32

### Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
	t0	t5	R0	SF	Εξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
B1									
B2									
B3	17		0,59						
B4	13	12	0,77	0	555	6,7			

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά της σειράς σύνθεσης Β

- **B1:** Το μίγμα B1 δεν είχε αρκετή ρευστότητα. Η ποσότητα του υπερρευστοποιητή δεν ήταν αρκετή, για να δώσει στο σκυρόδεμα την απαιτούμενη παραμορφωσιμότητα.
- **B2:** Το μίγμα διαχωρίστηκε πλήρως στον αναμικτήρα. Δε δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης.
- **B3:** Η ποσότητα του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες που προστέθηκε στο μίγμα B2 αποκατέστησε μερικώς την ομοιομορφία του μίγματος, αυξάνοντάς του το ιξώδες. Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα το μίγμα δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης αλλά έδωσε αρκετά μεγάλο χρόνο (17 δευτ.) που οφείλεται μάλλον στο μικρό διαχωρισμό που υπήρχε ακόμα στο μίγμα.
- **B4:** Το μίγμα έδωσε καλούς χρόνους στη συσκευή της χοάνης τόσο στο χρόνο μηδέν όσο και μετά από 5 λεπτά. Οι σχεδόν ίδιοι χρόνοι που μετρήθηκαν και στις δύο χρονικές περιόδους υποδηλώνουν ότι το μίγμα δεν έχει τάση για απόμειξη αλλά είναι αρκετά ομοιογενές. Η εξάπλωση που μετρήθηκε δεν ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητική, αφού η ελάχιστη τιμή που δεχόμαστε για να χαρακτηρίσουμε το σκυρόδεμα ως αυτοσυμπυκνούμενο είναι 600 mm. Ήταν όμως μια θετική πρώτη προσέγγιση στην προσπάθεια που κάναμε, για να δημιουργήσουμε το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

### Συμπέρασμα

Η σειρά Β έδωσε κάποια θέτικά αποτελέσματα. Χρειάστηκαν όμως μεγάλες ποσότητες προσθέτων, τόσο του υπερρευστοποιητή όσο και βελτιωτικού ιξώδους, για να προσεγγίσουμε αυτά τα θετικά αποτελέσματα. Επιπλέον η κοκκομετρική διαβάθμιση δε φαίνεται να είναι η ενδεδειγμένη για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ Γ

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο :	5,369 kg
Νερό :	2,145 kg
Γαρμπίλι :	4,030 kg
Χαλίκι :	6,058 kg
Άμμος :	9,724 kg
Ασβεστ. Φύλλερ :	0,832 kg

Υπερρευστοποιητικό : 73 ml (1,0 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05  
 Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες: 0 ml Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή : 0,006\* (4,090+6,058+9,724+0,832) = 0,1242

Συνολικό νερό μίγματος : 2,145+1/2\*0,073 = 2,1815 kg

Ενεργό νερό μίγματος : 2,1815-0,1242 = 2,0573 kg

Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m<sup>3</sup> σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	lt	Kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	3,100	1,732	457
Νερό	2,057	1,000	2,057	175
Γαρμπίλι	4,030	2,700	1,493	343
Χαλίκι	6,058	2,700	2,444	516
Άμμος	9,724	2,700	3,601	828
Ασβ.φύλλερ	0,832	2,923	0,285	71
Υπερ/κό	0,073	1,050	0,036	3,25
Βελτ. ιξώδους	0	1,130	0,000	0

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 11,448 2393 kg/m<sup>3</sup>  
 Αέρας 2,6%: 0,298 Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 11,746 για ποσοστό κενών  
 α=2,6%

### Παραλλαγές της σύνθεσης Γ

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	Β.Ι. (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ. (Α=2,6%)
Γ1	457	175	343	516	828	71	1,0	0	2393
Γ2	456	176	342	515	826	71	1,3	0	2390
Γ3	454	175	341	513	823	70	1,3	0,6	2385
Γ4	452	174	339	510	818	70	1,4	1,4	2378

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ Γ

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Χ
0,416	0,32	0,28	0,85	0,205	0,38	49/20/31

### Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
	t0	t5	R0	SF	Eξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
Γ1									
Γ2	32,5				0,31				
Γ3	42,5				0,24				
Γ4	35				0,29				

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά της σειράς Γ

- **Γ1:** Η ποσότητα του υπερρευστοποιητή δεν ήταν αρκετή για να δώσει την απαιτούμενη εργασιμότητα στο μίγμα. Γι' αυτό προστέθηκε επιπλέον ποσότητα υπερρευστοποιητή.
- **Γ2:** Υπήρχε αρκετός διαχωρισμός στον αναμικτήρα. Το μίγμα δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης όπου έδωσε πολύ μεγάλο χρόνο (32,5 δευτερ.)
- **Γ3:** Προστέθηκε μικρή ποσότητα προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες σε σχέση με τη σύνθεση Γ2. Ενώ στον αναμικτήρα φαινόταν οτι υπήρχε μικρότερος διαχωρισμός απ'ότι στη σύνθεση Γ2, ο χρόνος στη συσκευή της χοάνης ήταν 10 δευτερόλεπτα μεγαλύτερος αποτέλεσμα αντίθετο από αυτό που περιμέναμε, αφού η ομοιογένεια του μίγματος εμφανίζοταν βελτιωμένη στον αναμικτήρα. Από την άλλη μεριά μπορεί να αυξήθηκε σε αρκετά μεγάλο βαθμό το ιξώδες του πολτού, γι' αυτό κι ο χρόνος να εμφανίζεται αρκετά αυξημένος σε σχέση με τον αντίστοιχο της Γ3.
- **Γ4:** Στη σύνθεση αυτή αυξήσαμε και το ποσό του υπερρευστοποιητή και το ποσό του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες. Τα αποτελέσματα όμως στη συσκευή της χοάνης ήταν το ίδιο απογοητευτικά με τις δύο προηγούμενες συνθέσεις.

### Συμπέρασμα

Η σειρά Γ δε μας έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα παρόλο που η κοκκομετρική της διαβάθμιση διαφέρει ελάχιστα από αυτή της Β. Αναλυτικά οι συγκρίσεις των δύο σειρών εμφανίζονται στο επόμενο κεφάλαιο. Πάντως, τα κακά αποτελέσματα δε μπορούν να εξηγηθούν μόνο από την κοκκομετρική διαβάθμιση της σύνθεσης αλλά κι από άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του αυτοσυμπυκνωμένου σκυροδέματος δύος είναι ο όγκος των λεπτών και το ποσοστό της άμμου στο τσιμεντοπολτό.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ Δ

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο :	5,369 kg
Νερό :	2,145 kg
Γαρμπίλι :	3,432 kg
Χαλίκι :	5,148 kg
“Αμμος” :	10,322 kg
Ασβεστ. Φίλλερ :	0,767 kg

Υπερρευστοποιητικό : 80 ml (1,0 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05  
 Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες: 0 ml Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή: 0,006\* (3,432+5,148+10,322+0,767) = 0,1180

Συνολικό νερό μίγματος: 2,145+1/2\*0,080 = 2,185 kg

Ενεργό νερό μίγματος: 2,185-0,118 = 2,067 kg

### Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m<sup>3</sup> σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	lt	Kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	3,100	1,732	471
Νερό	2,067	1,000	2,067	181
Γαρμπίλι	3,432	2,700	1,271	301
Χαλίκι	5,148	2,700	1,907	451
“Αμμος”	10,322	2,700	3,823	906
Ασβ.φίλλερ	0,767	2,923	0,262	67
Υπερ/κό	0,080	1,050	0,040	3,69
Βελτ. ιξώδους	0	1,130	0,000	0

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών: 11,102 2383 kg/m<sup>3</sup>  
 Αέρας 2,6%: 0,289 Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 11,391 για ποσοστό κενών  
 α=2,6%

### Παραλλαγές της σύνθεσης Δ

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	Β.Ι. (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ. (Α=2,6%)
Δ1	471	181	301	451	906	67	1,1	0	2383
Δ2	471	181	301	451	905	67	1,1	0,2	2382
Δ3	468	181	299	449	900	67	1,3	0,8	2375
Δ4	467	180	299	448	898	67	1,3	1,2	2371

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ Δ

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/G/X
0,429	0,28	0,28	0,86	0,212	0,38	55/18/27

### Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
	t0	t5	R0	SF	Eξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
Δ1									
Δ2									
Δ3	21		0,48						
Δ4	11	10	0,91	0	590		7,70		

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά της σειράς Δ

- **Δ1:** Το μίγμα είχε κάποιο διαχωρισμό στον αναμικτήρα, γιατί είχε λίγο περισσότερο υπερρευστοποιητή από όσο θα έπρεπε.
- **Δ2:** Έγινε προσπάθεια μείωσης της απόμειξης με τη χρήση μικρής ποσότητας προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες. Το μίγμα δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης, όπου 'κόλλησε' μετά τα 14 δευτερόλεπτα που σημαίνει ότι υπήρχε ακόμα αρκετά έντονος διαχωρισμός στο μίγμα.
- **Δ3:** Στη συνέχεια προστέθηκαν μικρές ποσότητες κι από τα δύο πρόσθετα. Το μίγμα κατάφερε να διαπεράσει τη συσκευή της χοάνης όμως σε αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα.
- **Δ4:** Οι μετρήσεις που έγιναν στη σειρά Δ4 είναι ικανοποιητικές όσο αναφορά τη συσκευή της χοάνης, όπου μετρήθηκαν μικροί χρόνοι τόσο στο χρόνο μηδέν και μετά από 5 δευτερόλεπτα. Μάλιστα, οι χρόνοι ήταν σχεδόν ίδιοι που σημαίνει ότι δεν υπήρχε τάση για απόμειξη στο σκυρόδεμα. Η εξάπλωση που μετρήθηκε ήταν της τάξης των 590 mm τιμή αρκετά ικανοποιητική αν και λίγο έξω από το όριο που είχαμε θέσει για το χαρακτηρισμό του σκυροδέματος ως αυτοσυμπυκνούμενο (600 mm). Είναι όμως η πρώτη φορά που κι ακόμα με την παρουσία αρκετών προσθέτων που μετρήθηκε ικανοποιητική τιμή στην εξάπλωση.

### Συμπέρασμα

Η σειρά Δ έδωσε ικανοποιητικά απότελέσματα με τη χρήση αρκετά μεγάλης ποσότητας προσθέτων. Η άνξηση της άμμου σε σχέση με τα χονδρόκοκκα αδρανή σε σύγκριση με τις προηγούμενες συνθέσεις δείχνει να επιφέρει πιο θετικά αποτελέσματα ακόμα και με τη χρήση αρκετάς μεγάλης ποσότητας προσθέτων. Όμως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι με μικρή παρουσία προσθέτων δεν προκύπτουν ικανοποιητικά αποτελέσματα που σημαίνει ότι μπορεί και πρέπει να γίνουν κατάλληλες αλλαγές, κυρίως στην κοκκομετρική διαβάθμιση που είναι και ο κύριος στόχος αυτού του σταδίου στην εργασία αυτή.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ Ε

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο :	5,369 kg
Νερό :	2,145 kg
Γαρμπίλι :	4,563 kg
Χαλίκι :	2,73 kg
"Αμμος :	10,842 kg
Ασβεστ. Φύλλερ :	0,767 kg

Υπερρευστοποιητικό : 80 ml (1,1 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05  
 Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες: 0 ml Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή : 0,006\* (4,563+2,730+10,842+0,767) = 0,1134

Συνολικό νερό μίγματος : 2,145+1/2\*0,080 = 2,185 kg

Ενεργό νερό μίγματος : 2,1850-0,1134 = 2,072 kg

Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m<sup>3</sup> σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	Lt	Kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	3,100	1,732	484
Νερό	2,072	1,000	2,072	187
Γαρμπίλι	4,563	2,700	1,690	411
Χαλίκι	2,730	2,700	1,011	246
"Αμμος	10,842	2,700	4,016	976
Ασβ.φύλλερ	0,767	2,923	0,262	69
Υπερ/κό	0,080	1,050	0,040	3,78
Βελτ. ιξώδουνς	0	1,130	0,000	0

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 10,823 2376 kg/m<sup>3</sup>  
 Αέρας 2,6%: 0,281 Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 11,104 για ποσοστό κενών  
 α=2,6%

**Παραλλαγές της σύνθεσης Ε**

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ	B.I.	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ.
							(%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	(%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	(Α=2,6%)
E1	484	187	411	246	976	69	1,1	0	2376
E2	482	186	409	245	972	69	1,1	0,6	2371

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ Ε

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Χ
0,440	0,24	0,28	0,85	0,219	0,39	60/25/15

Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
E1	t0 21	t5 11	R0 0,48	SF 0	Eξ 650	Γσκ 9,56	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
E2									

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά της σειράς Ε

- E1: Το μίγμα E1 δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης όπου τη διαπέρασε σε σχετικά μεγάλο χρόνο. Υπήρχε μικρός διαχωρισμός του υλικού στον αναμικτήρα.
- E2: Το μίγμα E2 είναι ουσιαστικά το πρώτο πετυχημένο μίγμα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, που ικανοποιεί τις προυποθέσεις από άποψη χρόνου χοάνης και εξάπλωσης. Είναι αξιοσημείωτο ότι είναι η πρώτη φορά που πετυχαίνεται εξάπλωση πάνω από 650mm και η πρώτη φορά που με τη χρήση αρκετά μικρής ποσότητας προσθέτων, ιδιαίτερα προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες, πετυχαίνονται καλοί χρόνοι χοάνης.

### Συμπέρασμα

Με τη σειρά Ε επιτεύχθηκε το πιο επιτυχημένο μίγμα μέχρι τώρα, που ικανοποιεί και τις τρεις ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (παραμορφωσιμότητα, αντίσταση σε απόμειξη, αυτοσυμπυκνωσιμότητα). Αν σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκε αντίσταση σε απόμειξη, αυτοσυμπυκνωσιμότητα). Αν σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκε και μικρή ποσότητα προσθέτων, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι αυτή είναι η βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση που έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΣΤ

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο :	6,195 kg
Νερό :	2,475 kg
Γαρμπίλι :	6,525 kg
Χαλίκι :	3,255 kg
"Αμμος :	11,970 kg
Ασβεστ. Φίλλερ :	0,870 kg
Υπερρευστοποιητικό :	109 ml (1,3 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05
Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες:	64 ml Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή :  $0,006^* (6,525+3,255+11,970+0,870) = 0,1357$

Συνολικό νερό μίγματος :  $2,475+1/2*0,109 = 2,5295 \text{ kg}$

Ενεργό νερό μίγματος :  $2,5295-0,1357 = 2,394 \text{ kg}$

Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m<sup>3</sup> σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	Lt	Kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,195	3,100	1,998	469
Νερό	2,394	1,000	2,394	181
Γαρμπίλι	6,525	2,700	2,417	494
Χαλίκι	3,255	2,700	1,206	247
"Αμμος	11,970	2,700	4,433	907
Ασβ.φίλλερ	0,870	2,923	0,298	66
Υπερ/κό	0,109	1,050	0,055	4,34
Βελτ. ιξώδους	0,064	1,130	0,064	5,44

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 12,863 2376 kg/m<sup>3</sup>  
 Αέρας 2,6%: 0,334 Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 13,197 για ποσοστό κενών  
 $\alpha=2,6\%$

### Παραλλαγές της σύνθεσης ΣΤ

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	B.I. (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ. (Α=2,6%)
ΣΤ1	469	181	494	247	907	66	1,3	0,72	2374
ΣΤ2	468	181	493	246	904	66	1,3	1,2	2370

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ ΣΤ

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Х
0,427	0,27	0,29	0,86	0,211	0,39	55/30/15

### Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
	t0	t5	R0	SF	Eξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
ΣΤ1	14	8	0,71	0	530	6,02	10		
ΣΤ2	8,5	8	1,18	0					

### Ρεολογικά χαρακτηριστικά της σειράς ΣΤ

- **ΣΤ1:** Ο στόχος της σειράς ΣΤ ήταν να βρεθεί τι θα προκύψει αν μειώναμε πολύ το χαλίκι σε ποσοστό 15% και να βάζαμε πολύ γαρμπίλι σε ποσοστό 30% των αδρανών. Το μίγμα με προσθήκη υπερρευστοποιητή 1,3 % του βάρους των λεπτών απομίχθηκε στον αναμικτήρα, γι' αυτό και χρησιμοποιήθηκε πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες για διόρθωση της απόμειξης. Ο χρόνος που προέκυψε στη συσκευή της χοάνης είναι αρκετά ικανοποιητικός, φανόταν όμως ότι υπήρχε ακόμα μικρή απόμειξη στο μίγμα, γι' αυτό προστέθηκε επιπλέον ποσότητα προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες.
- **ΣΤ2:** Με την επιπλέον προσθήκη προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες το μίγμα απέκτησε καλύτερη ομοιογένεια. "Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, σημειώνονται πάρα πολύ καλοί χρόνοι στη συσκευή της χοάνης που σημαίνει ότι το συγκεκριμένο σκυρόδεμα έχει ομοιομορφία και ικανότητα να περνά μέσα από εμπόδια. "Όμως η παραμορφωσιμότητά του δεν είναι η ενδεδειγμένη όπως φαίνεται εμπόδια. Όμως η παραμορφωσιμότητά του δεν είναι η ενδεδειγμένη όπως φαίνεται κι από τη συσκευή της εξάπλωσης. Μικρή αύξηση της παραμορφωσιμότητας επιβάλλεται, για να συμπληρωθούν οι τρεις βασικές ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

### Συμπέρασμα

Η σειρά σύνθεσης ΣΤ δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ούτε ως απόλυτα επιτυχής ούτε ως μια αποτυχής προσπάθεια. Με την κατάλληλη προσθήκη προσθέτων, το μίγμα απέκτησε κατάλληλη αντίσταση στην απόμειξη και ικανότητα να περνά μέσα από εμπόδια, όχι όμως και την απαιτούμενη παραμορφωσιμότητα. Η μεγάλη προσθήκη προσθέτων, ιδιαίτερα του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες, χωρίς να καταφέρουμε να επιτύχουμε πολύ θετικά αποτελέσματα (ιδιαίτερα αν το συγκρίνουμε με τη σειρά E) μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αυτή δεν είναι η βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση που μπορούμε να επιτύχουμε. Αναλυτικά οι σύγκριση με την επιτυχημένη σειρά E φαίνεται στο επόμενο κεφάλαιο, όπου εμφανίζονται οι συγκρίσεις των σειρών συνθέσεων.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ Ζ

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο	:	6,195 kg
Νερό	:	2,475 kg
Γαρμπίλι	:	7,545 kg
Χαλίκι	:	2,520 kg
"Αμμος	:	15,060 kg
Ασβεστ. Φίλλερ	:	0,870 kg
Υπερρευστοποιητικό :		113 ml (1,3% κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05
Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες:	0 ml	Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή :  $0,006 * (7,545 + 2,520 + 15,060 + 0,870) = 0,1560$

Συνολικό νερό μίγματος :  $2,475 + 1/2 * 0,113 = 2,5315 \text{ kg}$

Ενεργό νερό μίγματος :  $2,5315 - 0,1560 = 2,3755 \text{ kg}$

### Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m³ σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	Lt	Kg/m³
Τσιμέντο	6,195	3,100	1,998	430
Νερό	2,376	1,000	2,376	165
Γαρμπίλι	7,545	2,700	2,794	524
Χαλίκι	2,520	2,700	0,933	175
"Αμμος	15,060	2,700	5,578	1046
Ασβ.φίλλερ	0,870	2,923	0,298	60
Υπερ/κό	0,113	1,050	0,065	4,12
Βελτ. ιξώδους	0	1,130	0	0

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 14,034  $2405 \text{ kg/m}^3$   
 Αέρας 2,6%: 0,365 Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 14,398 για ποσοστό κενών  
 $\alpha=2,6\%$

### Παραλλαγές της σύνθεσης Ζ

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	Β.Ι. (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ. (Α=2,6%)
Z1	430	165	524	175	1046	60	1,3	0	2405
Z2	424	165	516	172	1030	59	2,0	1,83	2384

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ Z

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Х
0,482	0,26	0,28	0,83	0,208	0,38	60/30/10

### Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
	t0	t5	R0	SF	Eξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
Z1									
Z2	20	12	0,5	0					

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά της σειράς Z

- **Z1:** Δημιουργώντας τη σειρά Z, είχαμε ως στόχο να δούμε πως επηρεάζεται η συμπεριφορά του σκυροδέματος αν ελαχιστοποιούσαμε τελείως το ποσοστό του χαλικιού (10%). Στη σειρά Z1, όπως διακρίνεται και στον παραπάνω πίνακα, τα αποτελέσματα ήταν απόλυτα αρνητικά, αφού το μήγμα δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης, όπου δε μπόρεσε να τη διαπεράσει. Επιπλέον, από παρατηρήσεις που έγιναν στον αναμικτήρα το μήγμα κρίθηκε τελείως ακατάλληλο, λόγω της έντονης απόμειξης που εμφανίζόταν.
- **Z2:** Στο μήγμα Z2 παρατηρήθηκε το παράδοξο της μεγάλης διαφοράς χρόνων που μετρήθηκαν στο χρόνο 0 και μετά από 5 λεπτά. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι το σκυρόδεμα δεν πρόλαβε να ισορροπήσει στη συσκευή της χοάνης αρχικά, με αποτέλεσμα τα αποτελέσματα του χρόνου 0 να μην αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα για το δείγμα. Ενδιαφέρον προκαλεί το ερώτημα αν οι συνθήκες πραγματικής κατασκευής αντιπροσωπεύονται καλύτερα από το χρόνο 0 ή από το χρόνο μετά από 5 λεπτά, δηλαδή ποιος χρόνος είναι ενδεικτικός για τις πραγματικές συνθήκες που μπορεί να εμφανιστούν σε μια κατασκευή. Γενικότερα το μήγμα Z2 δεν κρίνεται ικανοποιητικό, γιατί παρ'όλη τη χρησιμοποίηση πολλών προσθέτων, δεν κατάφερε να επιφέρει τα προσδοκώμενα αποτελέσματα. Το μεγάλο χάσμα μεταξύ των χρόνων 0 και μετά από 5 λεπτά δε βοηθά να βγάλουμε συμπεράσματα για την τάση για απόμειξη και την αυτοσυμπυκνωσιμότητα του σκυροδέματος. Το μήγμα δε δοκιμάστηκε σην τράπεζα της εξάπλωσης λόγω των μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων στη συσκευή της χοάνης.

### Συμπέρασμα

Η σειρά Z έδειξε τελείως ακατάλληλη συμπεριφορά στη συσκευή της χοάνης. Ως αίτιο αυτής της κακής συμπεριφοράς μπορούμε να θεωρήσουμε την ακατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση του μήγματος ή το μεγάλο λόγο Αμμου/Τσιμεντοκονίαμα που όμως δεν έδειξε ότι επηρεάζει ιδιαίτερα τη συμπεριφορά του σκυροδέματος στα προηγούμενα μήγματα, όμως σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία αποτελεί έναν από τους κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύνθεση του αυτοσυμπυκνωμένου σκυροδέματος.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ Η

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο	:	7,200 kg
Νερό	:	3,620 kg
Γαρμπίλι	:	8,150 kg
Χαλίκι	:	4,900 kg
"Αμμος	:	21,000 kg
Ασβεστ. Φύλλερ	:	2,300 kg
Υπερρευστοποιητικό	:	280 ml (2,1% κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05
Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες:	400 ml	Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή :  $0,006 * (8,150 + 4,920 + 21,000 + 2,300) = 0,2182$

Συνολικό νερό μίγματος :  $3,620 + 1/2 * 0,280 = 3,760 \text{ kg}$

Ενεργό νερό μίγματος :  $3,760 - 0,2182 = 3,542 \text{ kg}$

### Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m<sup>3</sup> σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	Lt	Kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	7,200	3,100	2,323	353
Νερό	3,542	1,000	3,542	174
Γαρμπίλι	8,150	2,700	3,019	400
Χαλίκι	4,900	2,700	1,815	240
"Αμμος	21,000	2,700	7,778	1030
Παιπάλη	2,300	2,680	0,858	113
Υπερ/κό	0,280	1,050	0,140	7,21
Βελτ. ιξώδουνς	0,400	1,130	0,400	22,17

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 19,874      2339 kg/m<sup>3</sup>  
 Αέρας 2,6%: 0,517 Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 20,391 για ποσοστό κενών  
 $a=2,6\%$

### Παρατηρήσεις

Για τη σύνθεση Η χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά υλικά απ' αυτά των προηγούμενων συνθέσεων. Χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο τύπου II/35, άμμος τύπου B (18% λεπτόκοκκο) η οποία περιέχει και το λεπτό τύπου B κι επιπλέον λεπτό τύπου Γ (παιπάλη) σε αντίθεση με το ασβεστολιθικό φύλλερ. Το μίγμα είναι τελείως διαφορετικό από τα άλλα κι έγινε σα μια πρώτη προσπάθεια διερευνήσεως του τύπου του τσιμέντου και των λεπτών υλικών. Παρουσιάζει μονάχα ομοιότητα με τη σύνθεση E όπου ακολουθήθηκε η ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση. Τα χαρακτηριστικά του καθώς και οι μετρήσεις που έγιναν φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ Η

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Χ
0,424	0,24	0,27	0,77	0,224	0,49	60/25/15

### Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
	t0	t5	R0	SF	Eξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
H1	6,0	6,0	1,67	0	650	9,56	4		

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά του μίγματος Η

Το μίγμα Η έδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα τόσο στη συσκευή χοάνης όσο και στην εξάπλωση που δείχνει ιδιαίτερα τον ενεργετικό ρόλο της κοκκομετρικής διαβάθμισης όπως φάνηκε και στη σύνθεση Ε. Ικανοποιεί απόλυτα τις ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (αντίσταση στην απόμειξη, παραμορφωσιμότητα, ικανότητα να διέρχεται μέσα από εμπόδια). Ακόμα, ο μικρός χρόνος εξάπλωσης δείχνει ότι έχει και το κατάλληλο ιξώδες. Παρουσιάζει όμως το μειονέκτημα της μεγάλης χρήσης προσθέτων κι έτσι ενώ το μίγμα είναι απόλυτα ικανοποιητικό από άποψη λειτουργικότητας, δεν είναι όμως από άποψη οικονομίας.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ Θ

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο	:	6,405 kg
Νερό	:	2,565 kg
Γαρμπίλι	:	4,515 kg
Χαλίκι	:	6,780 kg
"Αμμος	:	13,800 kg
Ασβεστ. Φίλλερ	:	1,905 kg
Υπερρευστοποιητικό :		147 ml (1,3 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05
Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες:	0 ml	Ειδικό βάρος: 1,13

$$\text{Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή} : 0,006^* (4,515+6,780+13,800+1,905) = 0,1620$$

$$\text{Συνολικό νερό μίγματος} : 2,565+1/2*0,147 = 2,6385 \text{ kg}$$

$$\text{Ενεργό νερό μίγματος} : 2,6385-0,1620 = 2,4765 \text{ kg}$$

Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m<sup>3</sup> σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	lt	Kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,405	3,100	2,066	429
Νερό	2,477	1,000	2,477	165
Γαρμπίλι	4,515	2,700	1,672	303
Χαλίκι	6,780	2,700	2,511	454
"Αμμος	13,800	2,700	5,111	925
Ασβ.φίλλερ	1,905	2,923	0,652	128
Υπερ/κό	0,147	1,050	0,074	429
Βελτ. ιξώδους	0	1,130	0,000	165

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 14,562      2409 kg/m<sup>3</sup>  
 Αέρας 2,6%: 0,379      Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 14,941      για ποσοστό κενών  
                                       a=2,6%

### Παραλλαγές της σύνθεσης Θ

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	B.I. (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ. (A=2,6%)
Θ1	429	165	303	454	925	128	1,3	0	2409
Θ2	427	164	301	452	920	127	1,3	0,8	2402
Θ3	426	164	300	451	917	127	1,3	1,2	2398

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ Θ

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Χ
0,439	0,28	0,25	0,75	0,220	0,39	55/18/27

### Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
	t0	t5	R0	SF	Eξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
Θ1	t0 32	t5 0,31	R0 0,44	SF	Eξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
Θ2	23								
Θ3	10	10	1,0	0	600	8			

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά της σειράς Θ

Η σειρά Θ έχει την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση με τη σειρά Δ μόνο που έχει περισσότερο ποσοστό λεπτών. Η αναλυτική σύγκριση των δύο συνθέσεων εμφανίζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

- **Θ1:** Το μήγμα ήταν κακό, δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης, όπου έδωσε πολύ κακό χρόνο. Από παρατηρήσεις που έγιναν στο μήγμα φάνηκε ότι είχε έντονη απόμειξη για να διαπεράσει σε καλό χρόνο τη συσκευή της χοάνης.
- **Θ2:** Η πρόσθικη επιπλέον προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες έδωσε μεγαλύτερη συνοχή στο μήγμα, με αποτέλεσμα αυτό να φέρει καλύτερο χρόνο στη συσκευή της χοάνης που σημαίνει ότι είχε μικρότερη τάση για απόμειξη από το προηγούμενο χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ο μετρούμενος χρόνος ήταν και ιδιαίτερα ικανοποιητικός.
- **Θ3:** Η επιπλέον προσθήκη στο μήγμα προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες φαίνεται να βελτίωσε ακόμα την απόμειξη που παρατηρήθηκε στα δύο προηγούμενα μήγματα. Έτσι, ο χρόνος της χοάνης που μετρήθηκε ήταν μέσα στις προδιαγραφές που θέλουμε για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Ακόμα, παρατηρήθηκε αρκετά μεγάλη εξάπλωση που σημαίνει ότι το μήγμα έχει αρκετά καλή παραμορφωσιμότητα, ώστε να θεωρηθεί αυτοσυμπυκνούμενο.

### Συμπέρασμα

Η σειρά Θ έγινε με την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση της σειράς Δ και την όγκο των λεπτών της σειράς Ε. Η αναλυτική σύγκριση των τριών σειρών φαίνεται στο παρακάτω κεφάλαιο. Ένα συμπέρασμα που θα μπορούσε να εξαχθεί παρατηρώντας τη σειρά Θ και τη σειρά Δ είναι ότι η κοκκομετρική διαβάθμιση των δύο σειρών δεν είναι η ενδεδειγμένη, αφού και στα δύο μήγματα χρειάστηκαν μεγάλες ποσότητες προσθέτων για να επιτευχθούν θετικά αποτελέσματα.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ I

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο	:	7,230 kg
Νερό	:	2,895 kg
Γαρμπίλι	:	6,180 kg
Χαλίκι	:	3,705 kg
"Αμμος	:	14,835 kg
Ασβεστ. Φύλλερ	:	0,645 kg
Υπερρευστοποιητικό :		114 ml (1,2 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05
Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες:	0 ml	Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή :  $0,006^* (6,180+3,705+14,835+0,645) = 0,1522$

Συνολικό νερό μίγματος :  $2,895+1/2*0,114 = 2,9520 \text{ kg}$

Ενεργό νερό μίγματος :  $2,9520-0,1522 = 2,800 \text{ kg}$

### Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m³ σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	lt	Kg/m³
Τσιμέντο	7,230	3,100	2,332	484
Νερό	2,800	1,000	2,800	187
Γαρμπίλι	6,180	2,700	2,289	414
Χαλίκι	3,705	2,700	1,372	248
"Αμμος	14,835	2,700	5,494	993
Ασβ.φύλλερ	0,645	2,923	0,221	43
Υπερ/κό	0,114	1,050	0,057	4,00
Βελτ. ιξώδους	0	1,130	0,000	0
Συνολικός όγκος υγρών και στερεών :		14,565	2373 kg/m³	
Αέρας 2,6%:		0,379	Θεωρητική πυκνότητα	
Συνολικός όγκος:		14,944	για ποσοστό κενών α=2,6%	

### Παραλλαγές της σύνθεσης I

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	Β.Ι. (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ. (Α=2,6%)
I1	484	187	414	248	993	43	1,2	0	2373
I2	483	188	413	248	991	43	1,4	0	2371
I3	481	187	411	247	988	43	1,4	0,6	2366

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ I

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/X
0,448	0,25	0,29	0,89	0,211	0,39	60/25/15

### Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
I1	t0 28	t5 28	R0 0,36	SF	Eξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
I2									
I3	15	11	0,67	0	650	9,56	4		

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά της σειράς I

Η σειρά I έχει την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση με τη σειρά E. Η διαφορά τους είναι ότι στη σειρά I έχει χρησιμοποιηθεί μικρότερο ποσοστό λεπτών. Η σειρά I έγινε για να διαπιστωθεί η επιρροή των λεπτών στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, διατηρώντας την κοκκομετρική διαβάθμιση σταθερή. Η αναλυτική σύγκριση των δύο σειρών εμφανίζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

- I1: Η σειρά I1 εμφανίζει μεγάλο χρόνο στη συσκευή της χοάνης, οπότε συμπεραίνεται ότι το μίγμα μπορεί να βελτιωθεί. Δε φαίνοταν να υπάρχει απόμειξη στον αναμικτήρα, οπότε προστέθηκε επιπλέον ποσότητα υπερρευστοποιητή, για να βελτιωθεί η εργασιμότητά του.
- I2: Η προσθήκη επιπλέον υπερρευστοποιητή δε βελτίωσε την κατάσταση του μίγματος. Αντιθέτως, μπορεί μεν να αύξησε την παραμορφωσιμότητά του το οδήγησε όμως σε μερική απόμειξη. Παρατηρείται πάλι το μεγάλο χάσμα που υπάρχει στη μέτρηση των χρόνων t0 και t5.
- I3: Με την κατάλληλη προσθήκη προσθέτων, το μίγμα απέκτησε όλες τις ιδιότητες εκείνες που χαρακτηρίζουν το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το επιτυχημένο αυτό μίγμα χρειάστηκε λίγο μεγαλύτερη ποσότητα προσθέτων από το αντιστοιχό της E που έχουν την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση, για να αποκτήσουν σχεδόν ίδιες ιδιότητες. Παρατηρείται κι εδώ πέρα μεγάλο χάσμα στους χρόνους t0 και t5.

### Συμπέρασμα

Η σειρά I γνωρίζαμε ότι είχε μια αρκετά επιτυχημένη κοκκομετρική διαβάθμιση και προσπαθήσαμε να διακρίνουμε την επιρροή των λεπτών στο μίγμα, η οποία αναλόεται στο επόμενο κεφάλαιο. Ένδιαφέρον δημιούργησε πάλι η μεγάλη διαφορά στις μετρήσεις των δύο χρόνων της χοάνης. Δημιουργείται το ερώτημα αν η μέτρηση του χρόνου t0 αντιπροσωπεύει την πραγματική κατάσταση του μίγματος, αφού ο χρόνος αυτός φαίνεται τελικά να επηρεάζεται σημαντικά από τον τρόπο γεμίσματος της χοάνης. Ίσως τελικά να είναι πιο αντιπροσωπευτική μια μέτρηση του μίγματος, αφού ισορροπήσει για μικρό χρονικό διάστημα στη χοάνη. Γι' αυτό και στα επόμενα μίγματα μετρούνταν ο χρόνος της χοάνης και μετά από 1 λεπτό, για να διαπιστωθεί κατά πόσο τελικά επηρεάζεται ο χρόνος χοάνης από τον τρόπο γεμίσματος.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ Κ

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο :	8,658 kg
Νερό :	3,456 kg
Γαρμπίλι :	5,886 kg
Χαλίκι :	5,886 kg
"Αμμος :	17,496 kg
Ασβεστ. Φύλλερ :	1,206 kg
Υπερευστοποιητικό :	130 ml (1,1 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05
Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες:	0 ml Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή : 0,006\* (5,886+5,886+17,496+1,206) = 0,1828

Συνολικό νερό μίγματος : 3,456+1/2\*0,130 = 3,521 kg

Ενεργό νερό μίγματος : 3,5210-0,1828 = 3,338 kg

Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m<sup>3</sup> σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	lt	Kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	8,658	3,100	2,793	484
Νερό	3,338	1,000	3,338	186
Γαρμπίλι	5,886	2,700	2,180	329
Χαλίκι	5,886	2,700	2,180	329
"Αμμος	17,496	2,700	6,480	977
Ασβ.φύλλερ	1,206	2,923	0,413	67
Υπερ/κό	0,130	1,050	0,065	3,81
Βελτ. ιξώδους	0	1,130	0,000	0

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 17,449 2376 kg/m<sup>3</sup>  
 Αέρας 2,6%: 0,454 Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 17,902 για ποσοστό κενών  
 α=2,6%

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ	Β.Ι.	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ.
							(%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	(%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	(Α=2,6%)
K1	484	186	329	329	977	67	1,1	0	2376

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ Κ

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Χ
0,441	0,25	0,28	0,85	0,219	0,39	60/20/20

### Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
	t0	t5	R0	SF	Εξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
K1	15	9	0,667	0	650	9,56	3	360	6

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά του μίγματος Κ. Συμπεράσματα

Το μίγμα Κ είναι το πιο πετυχημένο μίγμα της σειράς συνθέσεως σκυροδεμάτων που έγιναν. Χωρίς να χρησιμοποιηθεί καθόλου ποσότητα προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες το μίγμα πέρασε από όλες τις συσκευές με μεγάλη επιτυχία. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μίγμα Κ είναι ίδιο με το μίγμα της σειράς E, μόνο που διαφέρουν ως προς την κοκκομετρική τους διαβάθμιση. Η αναλυτική τους σύγκριση εμφανίζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

"Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, οι τιμές που πήραμε κι από τις τρεις δοκιμές είναι πολύ ικανοποιητικές. Στη δοκιμή της χοάνης μετρήθηκε κι ο χρόνος μετά από 1 λεπτό, για να δούμε τελικά αν επηρεάζει ο τρόπος γέμισης της χοάνης τη συγκεκριμένη δοκιμή. Ο χρόνος που μετρήθηκε ήταν 7 δευτερόλεπτα που δείχνει, λόγω της μεγάλης διαφοράς με το χρόνο t0, ότι ο τρόπος γέμισης της χοάνης επηρεάζει τις μετρήσεις. Επιπλέον, ο χρόνος t1 συγκλίνει πιο πολύ με το χρόνο t5 και είναι πιο ενδεικτικός για τη συμπεριφορά του σκυροδέματος, αφού και στις δύο περιπτώσεις το σκυρόδεμα έχει αποκτήσει ισορροπία στη χοάνη.

Το μίγμα Κ ήταν το πρώτο μίγμα που δοκιμάστηκε στο δοχείο σχήματος 'U' κι έδωσε θετικά αποτελέσματα, αφού ξεπέρασε το ύψος που έχουμε θέσει για να χαρακτηρίσουμε το σκυρόδεμα αυτοσυμπυκνούμενο (300mm). Έτσι, επιβεβαιώνεται και η ικανότητα του σκυροδέματος να περνά μέσα από εμπόδια, ιδιότητα για την οποία είχαμε μια πρώτη άποψη από τη συσκευή της χοάνης. Ο χρόνος των 3 δευτερολέπτων που μετρήθηκε στην εξάπλωση μέχρι τα 500 mm δείχνει ότι το σκυρόδεμα έχει ικανοποιητικό ιξώδες, έτσι ώστε να μη διαχωρίζεται κατά την εξάπλωσή του. Τέλος, η μέτρηση της εξάπλωσης ικανοποιεί τις απαιτήσεις του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

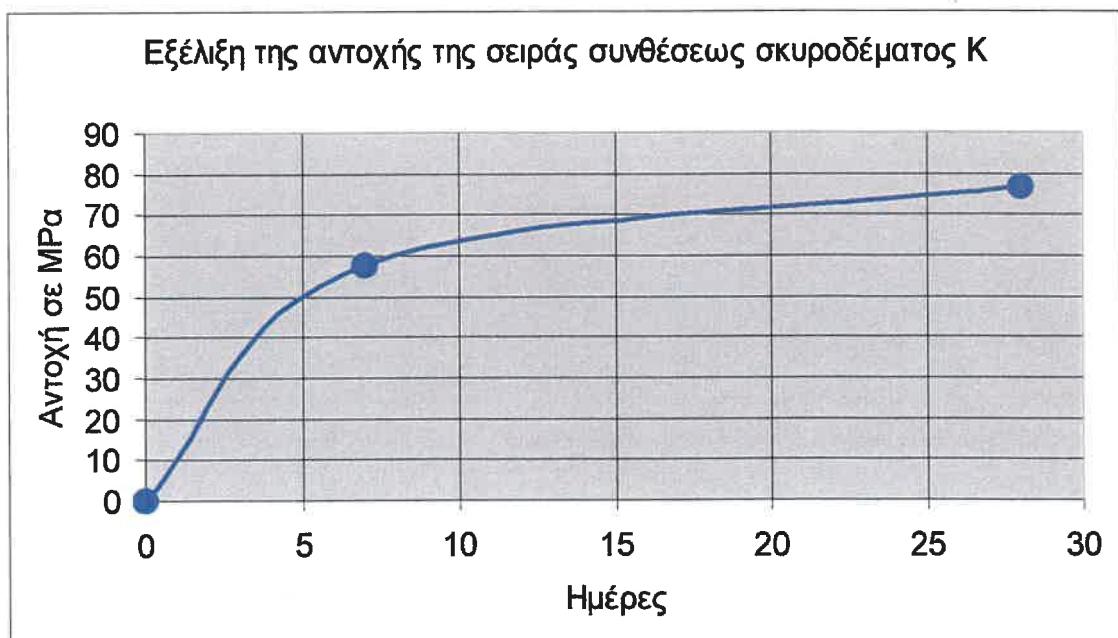
Το μίγμα Κ θεωρούμε ότι έχει τη βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση, αφού είναι το πρώτο μίγμα που δε χρειάστηκε καθόλου η παρουσία του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες για να επιτευχθούν οι απαιτούμενες ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

### Μέτρηση της αντοχής

Από το μίγμα Κ λήφθησαν 9 κυβικά δοκίμια από τα οποία 3 θραύστηκαν στις 7 ημέρες και τα 6 στις 28 ημέρες. "Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα οι αντοχές του σκυροδέματος της σειράς Κ είναι πολύ μεγάλες λόγω του μικρού λόγου νερού/τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε.



Σχήμα 1 Αντοχή δοκιμών σειράς συνθέσεως Κ



Σχήμα 2 Εξέλιξη της αντοχής με το χρόνο στη σειρά συνθέσεως Κ

### Μέτρηση των κενών

Η μέτρηση των κενών θα δίνεται από τον τύπο:

$$\alpha = 1 - \rho_{\mu} / \rho_0$$

όπου  $\rho_{\mu}$  η μετρηθείσα πυκνότητα και  
 $\rho_0$  η θεωρητική πυκνότητα για  $\alpha=0$

Για τη σειρά συνθέσεως K θα είναι:

$$A = 1 - 2368 / 2438 = 2,9\% \text{ κενά}$$

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ Α

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο	:	9,380 kg
Νερό	:	3,760 kg
Γαρμπίλι	:	6,900 kg
Χαλίκι	:	6,900 kg
"Αμμος	:	20,720 kg
Ασβεστ. Φίλλερ	:	0,000 kg

Υπερρευστοποιητικό : 130 ml (1,1 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05  
 Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες: 0 ml Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή : 0,006\* (6,900+6,900+20,720) =0,2071

Συνολικό νερό μίγματος : 3,760+1/2\*0,130 = 3,825 kg

Ενεργό νερό μίγματος : 3,825-0,2071 = 3,618 kg

### Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο m³ σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	lt	Kg/m³
Τσιμέντο	9,380	3,100	3,026	469
Νερό	3,618	1,000	3,618	181
Γαρμπίλι	6,900	2,700	2,556	345
Χαλίκι	6,900	2,700	2,556	345
"Αμμος	20,720	2,923	7,674	1036
Ασβ.φίλλερ	0,000	2,923	0,000	0
Υπερ/κό	0,130	1,050	0,065	3,44
Βελτ. ιξώδους	0	1,130	0,000	0

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 19,495 2379 kg/m³  
 Αέρας 2,6%: 0,507 Θεωρητική πυκνότητα  
 Συνολικός όγκος: 20,002 για ποσοστό κενών  
 α=2,6%

ΣΥΝ	ΤΣ	Ν	ΓΑΡ	ΧΑΛ	ΑΜΜ	ΦΙΛ	ΥΠΕΡ (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	Β.Ι. (%Κ.Β.ΛΕΠΤΩΝ)	ΘΕΩΡ.ΠΥΚΝ. (Α=2,6%)
Λ1	469	181	345	345	1036	0	1,1	0	2379
Λ2	467	182	344	344	1032	0	1,5	0	2375
Λ3	464	187	341	341	1025	0	1,7	0	2364

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕΙΡΑΣ Λ

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Χ
0,437	0,26	0,28	0,82	0,220	0,39	60/20/20

Μεγέθη που μετρήθηκαν

	Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση		Δοχείο σχήματος 'U'		
	t0	t5	R0	SF	Eξ	Γσκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
Λ1									
Λ2	14	12	0,71	0	410	3,20			
Λ3	7	7	1,43	0	545	6,43			

### Παρατηρήσεις στη ρεολογική συμπεριφορά της σειράς Λ

Η σειρά Λ έγινε χρησιμοποιώντας την άμμο τύπου B που περιέχει 18% παιπάλη. Δε χρησιμοποιήθηκε καθόλου ασβεστολιθικό φύλλερ κι όλο το ποσοστό των λεπτών καλύφθηκε από την παιπάλη της άμμου (λεπτό τύπου B). Η σύνθεση αυτή έγινε με σκοπό να βρεθεί η επιρροή του είδους του λεπτού στη συμπεριφορά του σκυροδέματος. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήσαμε μια δοκιμασμένη κοκκομετρική σύνθεση παρόμοια με αυτή της σειράς K. Αναλυτικά η επιρροή του είδους του λεπτού στη συμπεριφορά του τσιμεντοπολτού φαίνονται στο κεφάλαιο 'Επιρροή του είδους του λεπτού στη συμπεριφορά των τσιμεντοκονιαμάτων'.

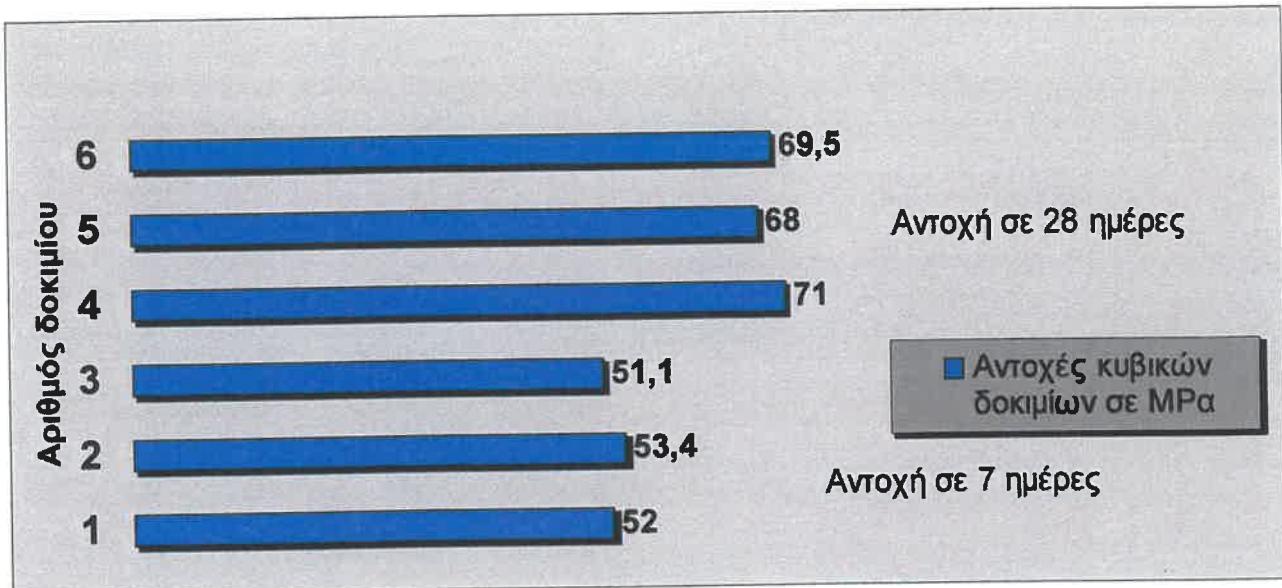
- Α1: Η ποσότητα του υπερρευστοποιητή δεν ήταν ικανή να δώσει την απαιτούμενη ρευστότητα στο μίγμα. Το μίγμα δε δοκιμάστηκε στη συσκευή της χοάνης, αφού φαίνοταν από παρατηρήσεις στον αναμικτήρα ότι απαιτούσε κι άλλο ρευστοποιητή.
- Α2: Με επιπλέον προσθήκη υπερρευστοποιητή το μίγμα έδωσε ικανοποιητικές μετρήσεις στη συσκευή της χοάνης όχι όμως και στην εξάπλωση του μίγματος που ήταν πάρα πολύ μικρή για να χαρακτηριστεί το σκυρόδεμα αυτοσυμπυκνωμένο.
- Α3: Η επιπλέον ποσότητα υπερρευστοποιητή που χρησιμοποιήθηκε βελτίωσε τη συμπεριφορά του σκυροδέματος και στις δύο συσκευές. Ενώ ο χρόνος της χοάνης είναι πολύ ικανοποιητικός η εξάπλωση εξακολουθεί να είναι μικρή.

### Συμπέρασμα

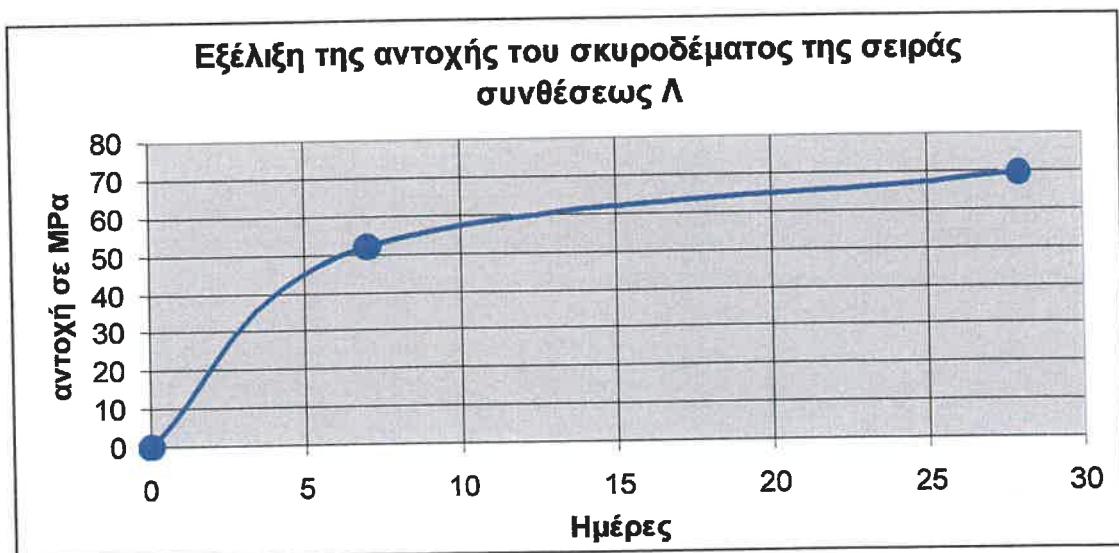
Η ποιότητα του λεπτού φαίνεται να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά του σκυροδέματος. Το λεπτό που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη δοκιμή έδωσε πολύ καλούς χρόνους στη συσκευή της χοάνης αλλά πολύ μικρές εξαπλώσεις. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το σχήμα των κόκκων της παιπάλης καθώς και την κοκκομετρική της διαβάθμιση, αφού το λεπτό τύπου B που χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή αυτή είναι πιο λεπτόκοκκο από το ασβεστολιθικό φύλλερ που χρησιμοποιούταν στις προηγούμενες δοκιμές, οπότε απαιτεί περισσότερη ποσότητα υπερρευστοποιητή, για να επιφέρει θετικά αποτελέσματα.

### Μέτρηση της αντοχής

Από τη σειρά Λ λήφθηκαν 6 κυβικά δοκίμια από τα οποία 3 θραύστηκαν στις 7 ημέρες και 3 στις 28 ημέρες. Οι αντοχές που παρατηρήθηκαν ήταν πολύ μεγάλες λόγω του μικρού λόγου Νερό/ Τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε. Οι αντοχές φαίνονται στα σχήματα 3 και 4.



Σχήμα 3 Αντοχή δοκιμίων σειράς συνθέσεως Λ



Σχήμα 4 Εξέλιξη της αντοχής του σκυροδέματος της σειράς συνθέσεως Λ

### Μέτρηση των κενών

Η μέτρηση των κενών θα δίνεται από τον τύπο:

$$\alpha = 1 - \rho_u / \rho_0$$

όπου  $\rho_u$  η μετρηθείσα πυκνότητα και  
 $\rho_0$  η θεωρητική πυκνότητα για  $\alpha=0$

Για τη σειρά συνθέσεως Λ θα είναι:

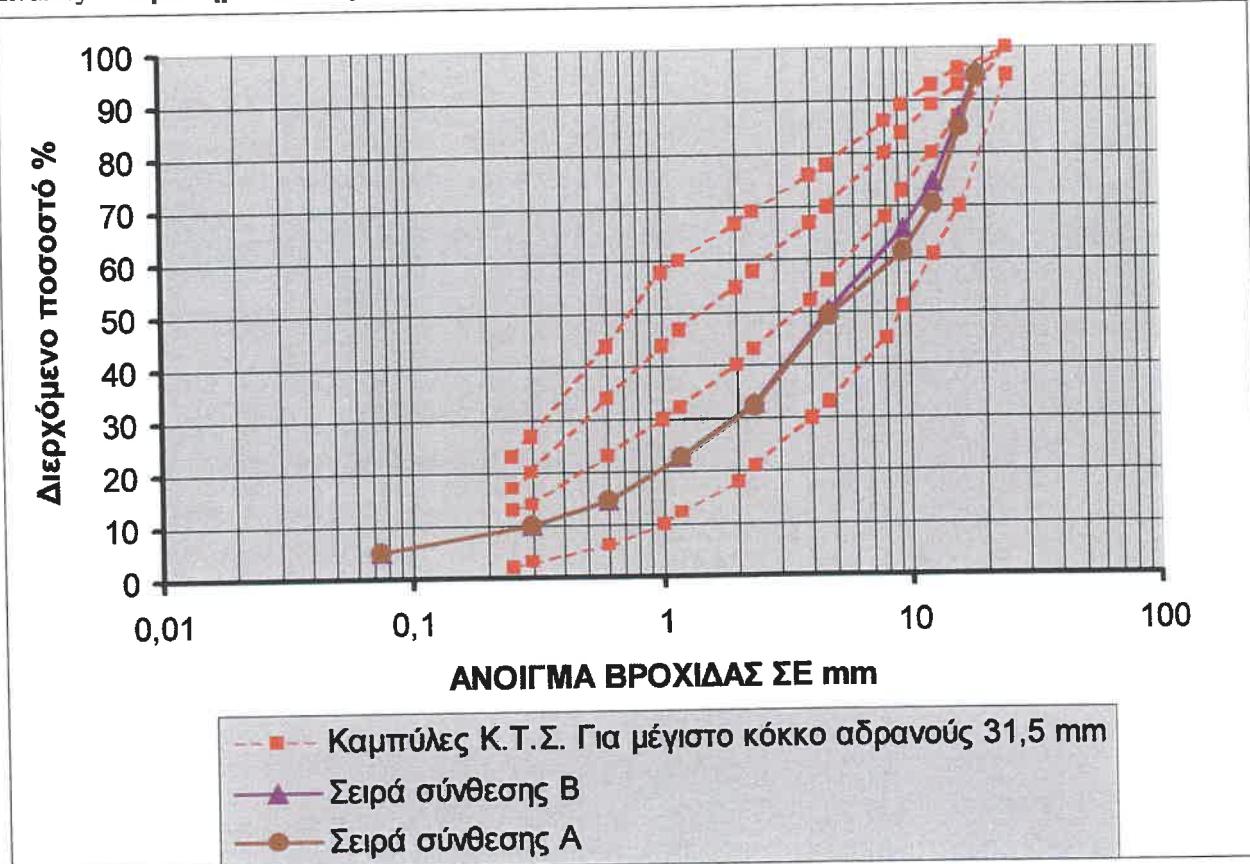
$$A = 1 - 2365 / 2441 = 3,1\% \text{ κενά}$$

## 6.5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ

1)Α και Β

	A/K	Ογκ.χονδ.	N/L (κ.β.)	N/L (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/G/X
A	0,388	0,32	0,28	0,86	0,213	0,39	47/16/37
B	0,388	0,32	0,28	0,86	0,213	0,39	47/21/32

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά σειρών A και B



Σχήμα 6.1 Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις σειρών A και B

Στον πρώτο πίνακα εμφανίζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των δύο μιγμάτων που αφορούν τη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Όπως φαίνεται τα δύο μίγματα έχουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά και διαφέρουν μόνο ως προς την κοκκομετρική τους σύνθεση που φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα.

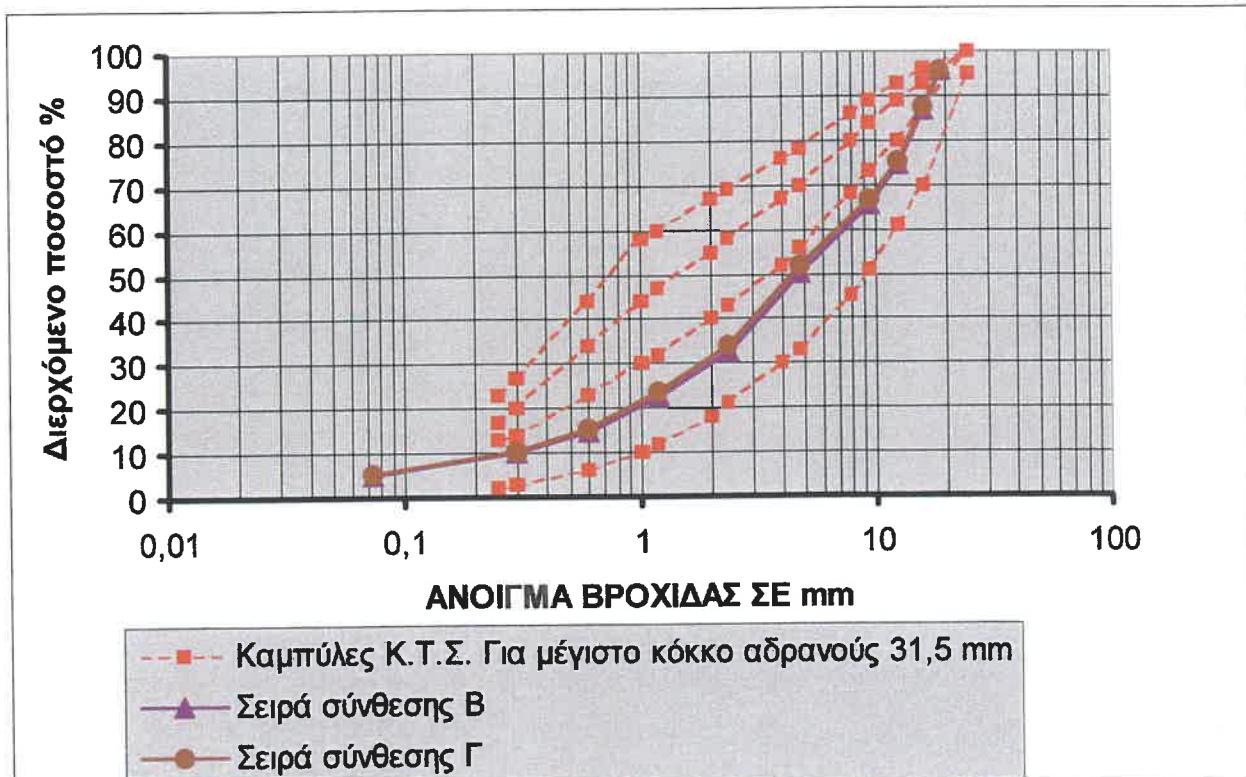
Η σύνθεση A δε μας έδωσε κανένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα σε αντίθεση με τη σύνθεση B που με την κατάλληλη προσθήκη προσθέτων έδωσε ικανοποιητικά χαρακτηριστικά. Τα συμπεράσματα που βγαίνουν είναι σύμφωνα με αυτά που προκύπτουν από τη διεθνή βιβλιογραφία, ότι δηλαδή στη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος απαιτείται μείωση του χονδρόκοκκου υλικού. Η αύξηση του γαρμπιλιού (16→21%) με παράλληλη μείωση του χαλικιού (37→32%) στη σύνθεση B έδωσε θετικά αποτελέσματα κι αυτό φάνηκε από τη δοκιμή της χοάνης, όπου το μίγμα A λόγω του μεγάλου ποσοστού χαλικιού δε μπορούσε να διαπεράσει τη συσκευή.

Θα πρέπει να σημειωθεί πάντως ότι καμιά από τις δύο παραπάνω συνθέσεις δεν έχει ιδανική κοκκομετρική σύνθεση, αφού ακόμα και στη σύνθεση Β η παραμορφωσιμότητα του σκυροδέματος είναι πιο χαμηλή από αυτή που απαιτείται (εξάπλωση > 600mm) παρ' όλη την χρήση των προσθέτων.

## 2)Β και Γ

	A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Χ
B	0,388	0,32	0,28	0,86	0,213	0,39	47/21/32
Γ	0,416	0,32	0,28	0,85	0,205	0,38	49/20/31

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά σειρών Β και Γ



Σχήμα 6.2. Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις σειρών Β και Γ

"Όπως φαίνεται από το σχήμα 6.2 οι κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των δύο σειρών είναι σχεδόν οι ίδιες με ελάχιστη μόνο αύξηση της άμμου στη σειρά Γ. Η αναλογία των χονδρόκοκκων αδρανών είναι σχεδόν η ίδια με τη σειρά Β. Παρ' όλη την ομοιότητα των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των δύο σειρών η σειρά Γ έδωσε αρνητικά αποτελέσματα στη συσκευή της χοάνης σε αντίθεση με τη σύνθεση Β που με την κατάλληλη προσθήκη προσθέτων έδωσε θετικά στοιχεία για το δείγμα.

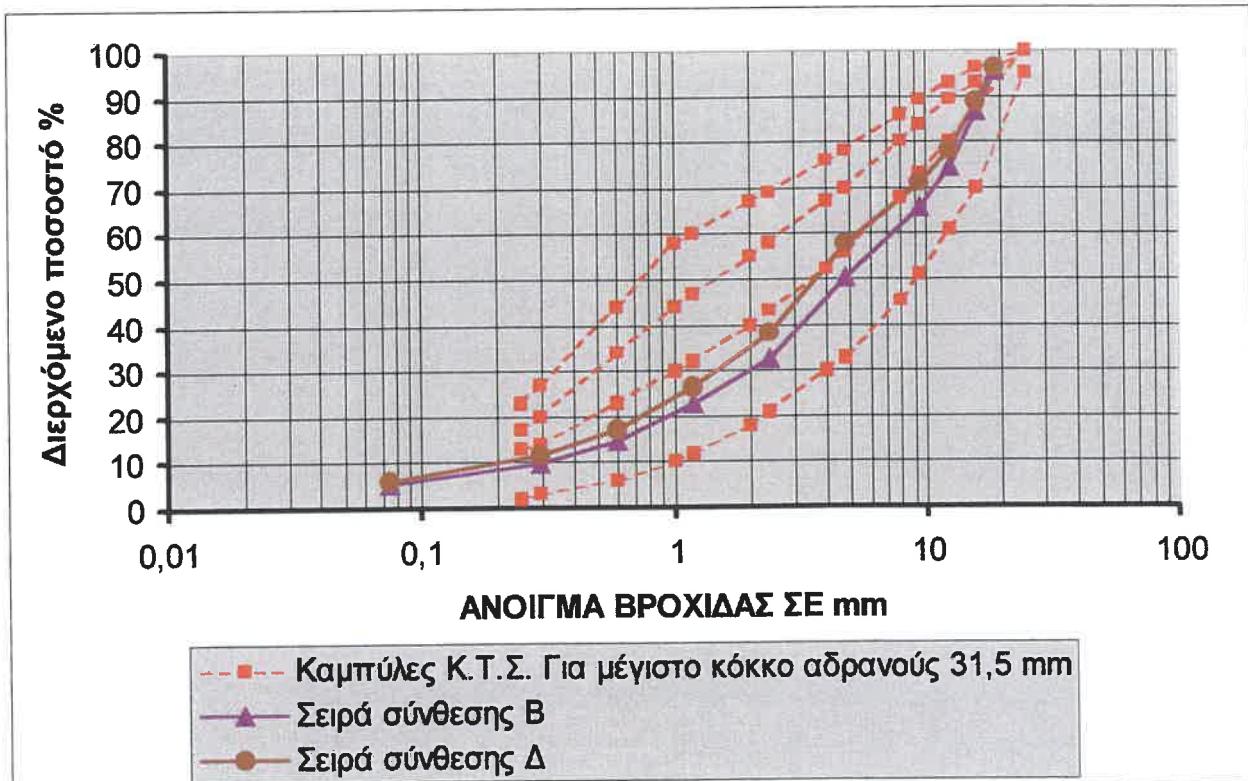
Τα αρνητικά αποτελέσματα της σύνθεσης Γ σε σχέση με τη σύνθεση Β μπορούν να εξηγηθούν από τον αυξημένο λόγο Αμμος/Τσιμεντοκονίαμα που εμφανίζεται στη σύνθεση αυτή καθώς και το μικρότερο ποσοστόν λεπτόκοκκων που χρησιμοποιήθηκαν στη σύνθεση Γ. Έτσι διαπιστώνουμε ότι στη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος δεν παίζει ρόλο μονάχα η εύρεση της κατάλληλης κοκκομετρικής διαβαθμίσεως αλλά και η εύρεση άλλων καθοριστικών παραγόντων όπως είναι ο

βέλτιστος λόγος της άμμου/τσιμεντοκονίαμα κι ο βέλτιστος όγκος των λεπτών. Συγκρίνοντας τις δύο συνθέσεις διαπιστώνουμε ότι η αύξηση της άμμου και η μείωση των λεπτών έφεραν αρνητικά αποτελέσματα για το μίγμα.

### 3) Β και Δ

	A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Χ
B	0,388	0,32	0,28	0,86	0,213	0,39	47/21/32
Δ	0,429	0,28	0,28	0,86	0,212	0,38	55/18/27

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά σειρών Β και Δ



Σχήμα 6.3. Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις σειρών Β και Δ

Στη σύνθεση Δ, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3 και στον πίνακα 3, έχει αυξηθεί σε μεγάλο ποσοστό η αναλογία της άμμου ως προς τα χονδρόκοκκα αδρανή. Ο όγκος των λεπτών είναι σχεδόν ίδιος και στις δύο συνθέσεις, ενώ έχει μειωθεί αισθητά ο όγκος των χονδρόκοκκων αδρανών.

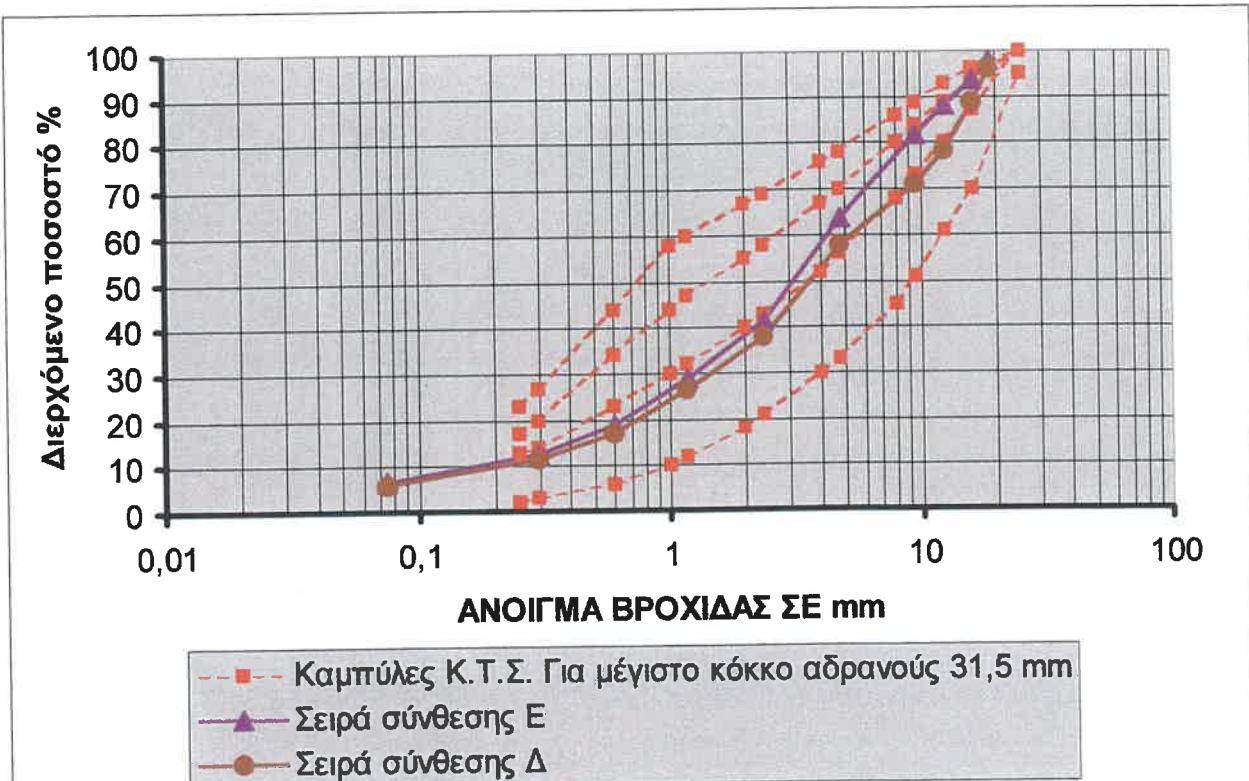
Η μείωση του χονδρόκοκκου υλικού καθώς και η αύξηση της άμμου στην κοκκομετρική σύνθεση επηρέασε ευεργετικά τη σύνθεση του μίγματος, αφού χρειάστηκε μικρότερη ποσότητα προσθέτων απ' ότι η σύνθεση Β, για να δώσει θετικά αποτελέσματα. Επιπλέον η αύξηση της άμμου και η μείωση του χονδρόκοκκου του μίγματος επηρέασαν θετικά την παραμορφωσιμότητα του μίγματος όπως άλλωστε φαίνεται από τις δύο τιμές εξαπλώσεως ποιν πήραμε από τα δύο μίγματα (590 mm έναντι 530 mm). Αντίθετα, η αντίσταση στην απόμειξη φαίνεται να είναι ίδια και στα δύο βέλτιστα μίγματα των δύο σειρών, αφού οι χρόνοι χοάνης είναι σχεδόν ίδιοι με λίγο καλύτερο της σειράς Δ (13 έναντι 11 δευτερόλεπτα).

Το συμπέρασμα που μπορεί να βγει από τη σύγκριση των δύο σειρών είναι ότι η αύξηση της άμμου έναντι των χονδρόκοκκων αδρανών στην κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος βελτιώνει την παραμορφωσιμότητα του.

#### 4) Δ και Ε

	A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/G/X
Δ	0,429	0,28	0,28	0,86	0,212	0,38	55/18/27
Ε	0,440	0,25	0,28	0,85	0,219	0,39	60/25/15

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά σειρών Δ και Ε



Σχήμα 6.4. Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις σειρών Δ και Ε

Με σκοπό την εξακρίβωση του συμπεράσματος από τη σύγκριση των συνθέσεων Β και Δ, ότι δηλαδή η αύξηση της άμμου έναντι των χονδρόκοκκων αδρανών αυξάνει την παραμορφωσιμότητα του μίγματος, δημιουργήθηκε η σειρά Ε, η οποία όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα 6.4, περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό άμμου από τη σύνθεση Δ. Παράλληλα αυξήθηκε το ποσοστό του γαρμπιλιού κι ελαττώθηκε το ποσοστό του χαλικιού. Η συνολική αύξηση της άμμου είχε ως αποτέλεσμα την ελάττωση του συνολικού όγκου των αδρανών, ενώ παράλληλα αυξήθηκε αρκετά ο όγκος των λεπτών υλικών, αφού η αύξηση της άμμου μέσα στο μίγμα είχε ως αποτέλεσμα και την αύξηση της συνολικής ποσότητας παιπάλης.

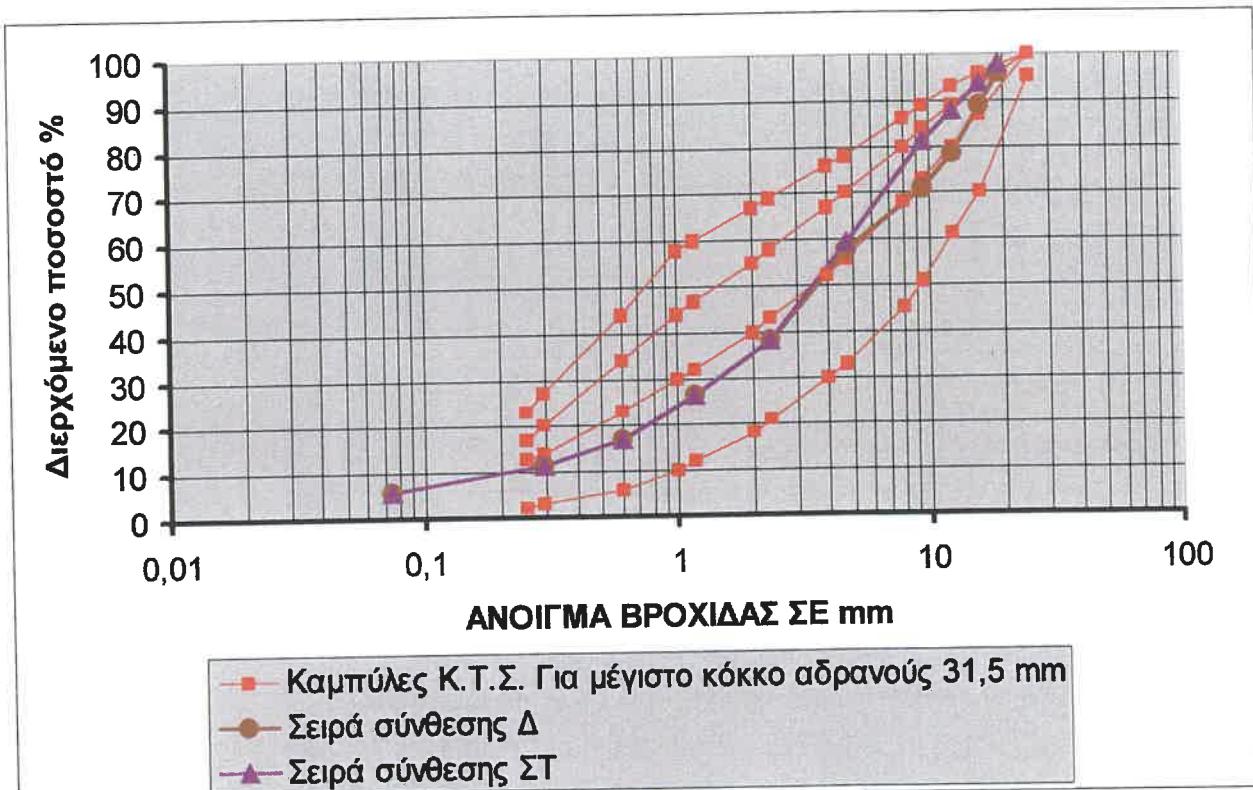
Τα αποτελέσματα που πήραμε από τη δοκιμή της εξάπλωσης επιβεβαίωσαν το συμπέρασμα που βγάλαμε και στην προηγούμενη σύγκριση, ότι δηλαδή η αύξηση της άμμου αυξάνει την παραμορφωσιμότητα του μίγματος. Παράλληλα το μίγμα Ε απέκτησε καλή συνοχή με μικρότερη ποσότητα προσθέτων από τη σειρά Δ που αποδεικνύει ότι η

κοκκομετρική διαβάθμιση της σειράς Ε είναι πιο σωστή απ' αυτή της σειράς Δ. Λαμβάνοντας υπόψη και τις προηγούμενες συγκρίσεις, διαπιστώνουμε ότι η σύνθεση Ε είναι η πιο ενδεδειγμένη μέχρις στιγμής για τη δημιουργία του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

### 5) Δ και ΣΤ

	A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/Χ
Δ	0,429	0,28	0,28	0,86	0,212	0,38	55/18/27
ΣΤ	0,427	0,27	0,29	0,86	0,211	0,39	55/30/15

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά σειρών Δ και ΣΤ



Σχήμα 6.5. Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις σειρών Δ και ΣΤ

Οι σειρές Δ και ΣΤ έχουν σχεδόν όλα τα χαρακτηριστικά τους ίδια, όπως φαίνεται και στον πίνακα 5. Διαφέρουν μόνο ως προς την κοκκομετρική τους διαβάθμιση, αφού στη σειρά ΣΤ μειώσαμε το χαλίκι και αυξήσαμε το γαρμπίλι σε σχέση με τη σειρά Δ.

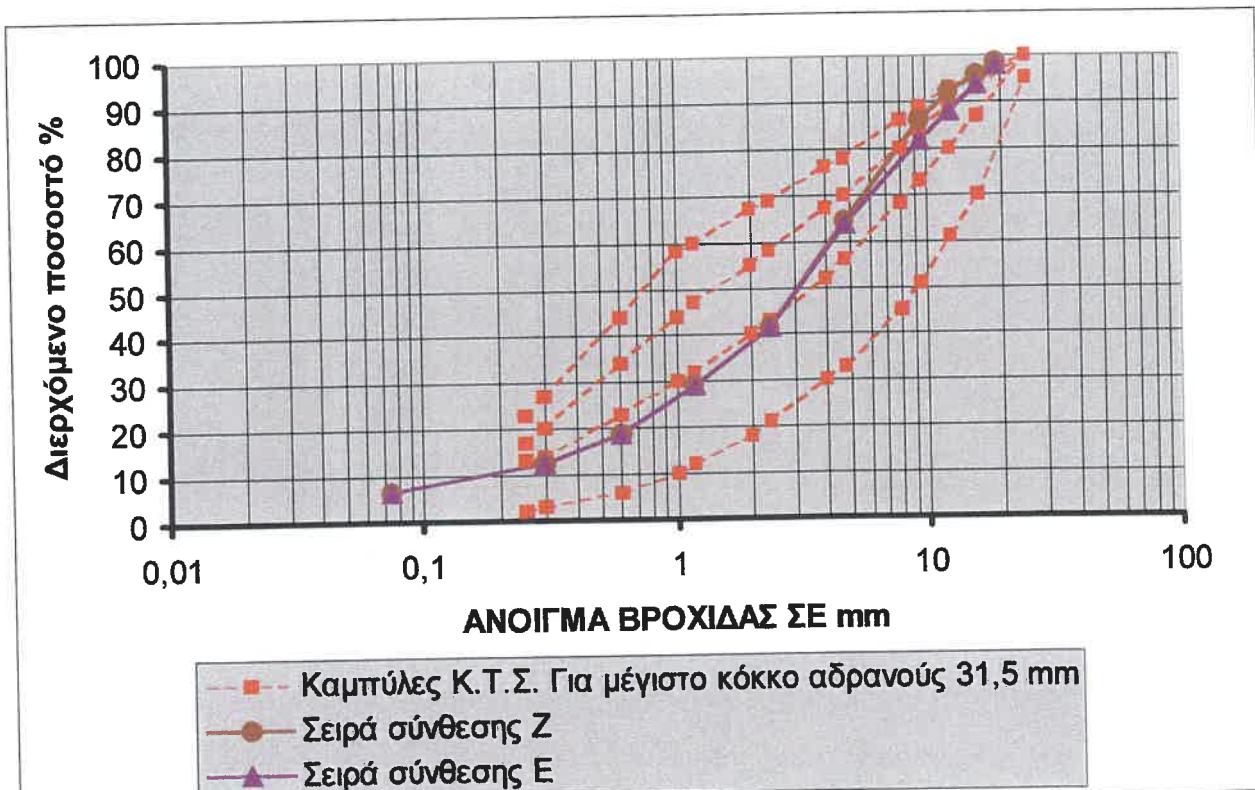
Αποτέλεσμα ήταν με τις ίδιες αναλογίες προσθέτων να πάρουμε πολύ καλύτερους χρόνους στη συσκευή της χοάνης στη σύνθεση ΣΤ συμπέρασμα που είχε προκύψει κι από τη σύγκριση των σειρών Α και Β, δηλαδή ότι η μείωση του χαλικιού και η αύξηση του γαρμπιλιού έχουν θετική επιρροή στο χρόνο της χοάνης, αφού μικραίνει ο κίνδυνος 'κολλήματος' του μίγματος στο στένωμα της χοάνης. Παρατηρήθηκε όμως μικρότερη εξάπλωση, δηλαδή το μίγμα ΣΤ είχε μικρότερη ρευστότητα απ' ότι το μίγμα Δ. Αυτό μπορεί να έχει σχέση με την ομοιογένεια του μίγματος που μπορεί στην περίπτωση της

σειράς Δ να είναι καλύτερη, αφού στην περίπτωση της σύνθεσης ΣΤ η ποσότητα του χαλικιού είναι πολύ μικρή.

### 6) E και Z

	A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/X
E	0,440	0,25	0,28	0,85	0,219	0,39	60/25/15
Z	0,482	0,26	0,28	0,83	0,208	0,38	60/30/10

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά σειρών E και Z



Σχήμα 6.6. Κοκκομετρικές διαβαθμίσεις σειρών E και Z

Από την πετυχημένη κοκκομετρική διαβάθμιση της σειράς E θέλαμε να δούμε τι θα γίνει αν ελαχιστοποιηθεί το ποσοστό του χαλικιού και αυξηθεί παράλληλα το ποσοστό του γαρμπιλιού, ενώ παράλληλα αφήνουμε το ποσοστό της άμμου έναντι των χονδρόκοκκων αδρανών σταθερό.

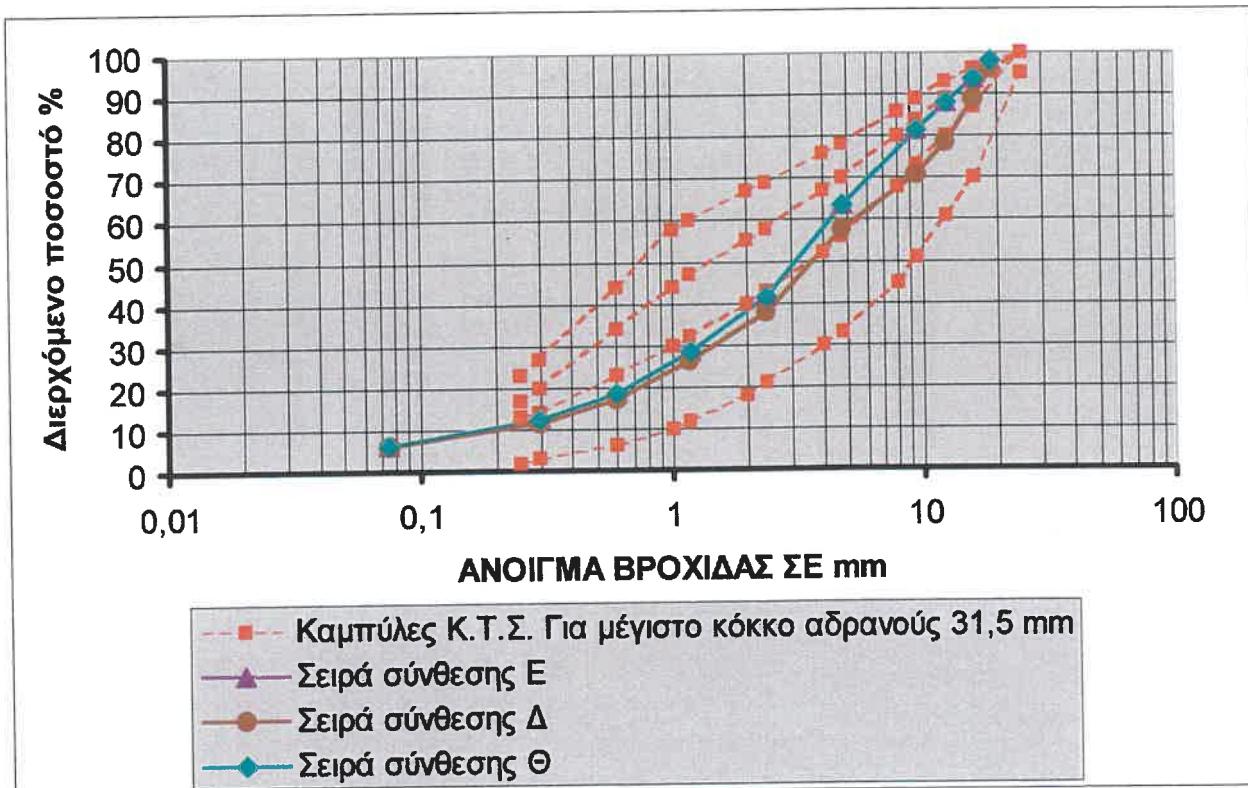
Η ελαχιστοποίηση του χαλικιού έφερε αρνητικά αποτελέσματα, αφού το μίγμα απομίχθηκε πολύ γρήγορα, με αποτέλεσμα να μη δώσει ικανοποιητικές μετρήσεις ούτε και με μεγάλη ποσότητα προσθέτων. Έτσι, διαπιστώνουμε ότι η ελάττωση του χαλικιού είναι θεμιτή στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, για να αποκτήσει αυτό τις ιδιότητες που το χαρακτηρίζουν (ικανότητα να περνά μέσα από εμπόδια, παραμορφωσιμότητα, τάση για απόμειξη), όμως δεν πρέπει να ελαττώνεται πέρα από ένα ορισμένο στάδιο, αφού το μίγμα χάνει την ομοιομορφία του κι οδηγείται εύκολα σε απόμειξη.

Βέβαια, η σύγκριση των δύο συνθέσεων δε μπορεί να είναι απόλυτα άμεση, αφού παράλληλα με την κοκκομετρική διαβάθμιση διαφέρουν ελάχιστα και σε άλλα χαρακτηριστικά όπως είναι το ποσοστό της άμμου στο τσιμεντοκονίαμα που όμως μέχρι τώρα δε μπορέσαμε να εξάγουμε άμεσα συμπέρασμα για την επιρροή που έχει στο μίγμα παρ'όλο που στη διεθνή βιβλιογραφία θεωρείται ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

7)Δ και Θ, Ε και Θ.

	A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/G/X
Δ	0,429	0,28	0,28	0,86	0,212	0,38	55/18/27
Ε	0,440	0,25	0,28	0,85	0,219	0,39	60/25/15
Θ	0,439	0,28	0,25	0,75	0,220	0,39	55/18/27

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά σειρών Δ,Ε και Θ



Σχήμα 6.7. Κοκκομετρική διαβάθμιση σειρών Δ,Ε και Θ

Η σειρά σύνθεσης Θ έχει την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση με τη σειρά Δ, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.7, αλλά έχει τον όγκο των λεπτών υλικών της σειράς Ε, όπως φαίνεται από τον πίνακα 7.

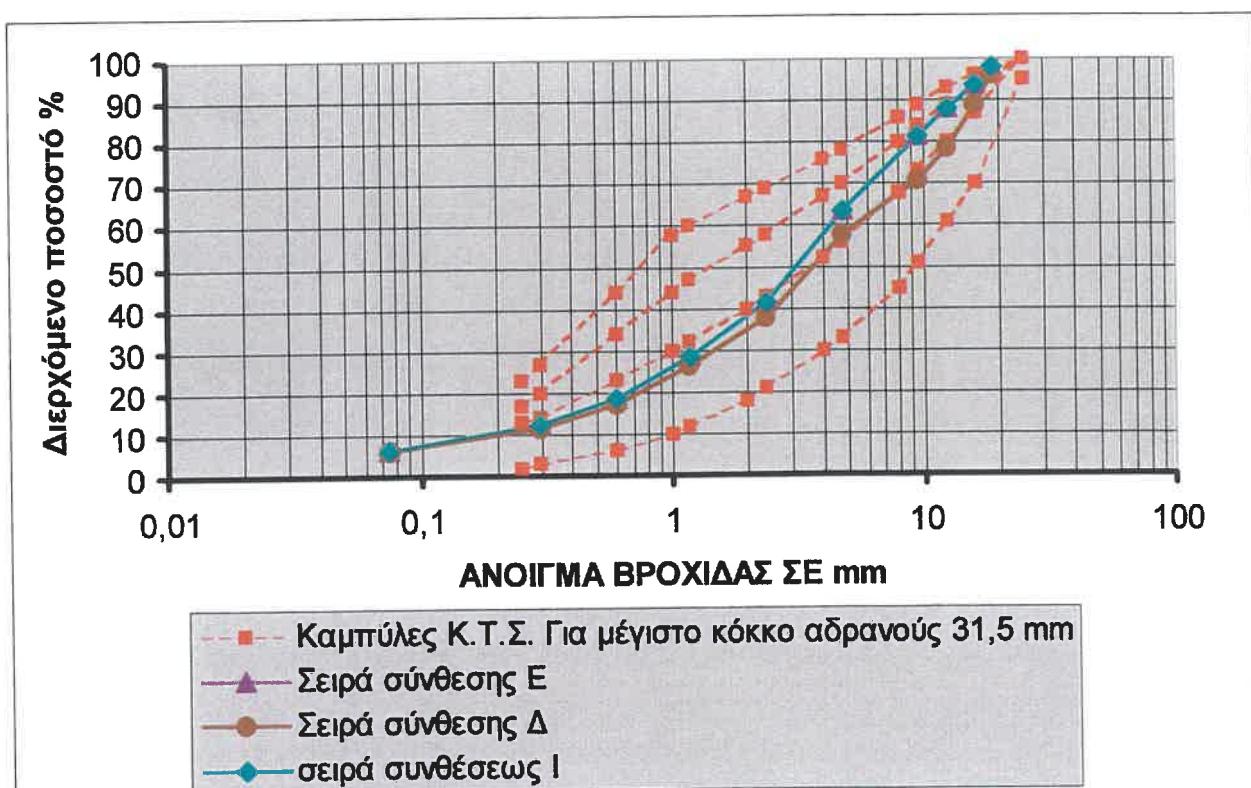
Σκοπός της δημιουργίας της σύνθεσης αυτής ήταν να διαπιστωθεί ο ρόλος των λεπτών στη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Αναλύοντας τους χρόνους χοάνης και τη μέτρηση της εξάπλωσης στις δύο σειρές Δ και Θ βλέπουμε ότι δε μπορεί να εξαχθεί ένα ακριβές συμπέρασμα για την επιρροή των λεπτών στη συμπεριφορά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, αφού οι μετρήσεις είναι σχεδόν οι ίδιες με ελαφριά

πιο θετικές αυτές τις σειράς Θ, όχι όμως σε τέτοιο βαθμό που να μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την επιρροή των λεπτών υλικών στο μίγμα.  
Αναλύοντας και τις επιδόσεις της σειράς σύνθεσης Ε βλέπουμε ότι πρωτεύον ρόλο στις ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος παίζει η κοκκομετρική διαβάθμιση κι όχι η ποσότητα των λεπτών.

### 8) Δ και Ι, Ε και Ι

	A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/X
Δ	0,429	0,28	0,28	0,86	0,212	0,38	55/18/27
Ε	0,440	0,25	0,28	0,85	0,219	0,39	60/25/15
Ι	0,448	0,25	0,29	0,89	0,211	0,39	60/25/15

Πίνακας 8. Χαρακτηριστικά σειρών Δ,Ε και Ι



Σχήμα 6.8. Κοκκομετρικές δια βαθμίσεις σειρών Δ,Ε και Ι

Η σύνθεση Ι έγινε με τον όγκο των λεπτών υλικών της σειράς Δ ( $0,212 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) και την κοκκομετρική διαβάθμιση της σειράς Ε.

Διαπιστώθηκε πως με την κοκκομετρική διαβάθμιση αυτή επιτεύχθηκε όπως και στη σειρά Ε πολύ καλή τιμή εξάπλωσης, που οφείλεται όπως είχε επισημανθεί από τα συμπεράσματα των προηγούμενων συνθέσεων στο αυξημένο ποσοστό της άμμου έναντι των χονδρόκοκκων αδρανών. Ο χρόνος χράνης μετρήθηκε ελαφρώς αυξημένος σε σχέση με τον αντίστοιχο της σειράς Ε, αν και χρησιμοποιήθηκε λίγο μεγαλύτερη ποσότητα προσθέτων απ' ότι στη σειρά Ε. Είναι φανερό λοιπόν ότι η ποσότητα των λεπτών επηρεάζει τη συμπεριφορά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Θα μπορούσαμε να

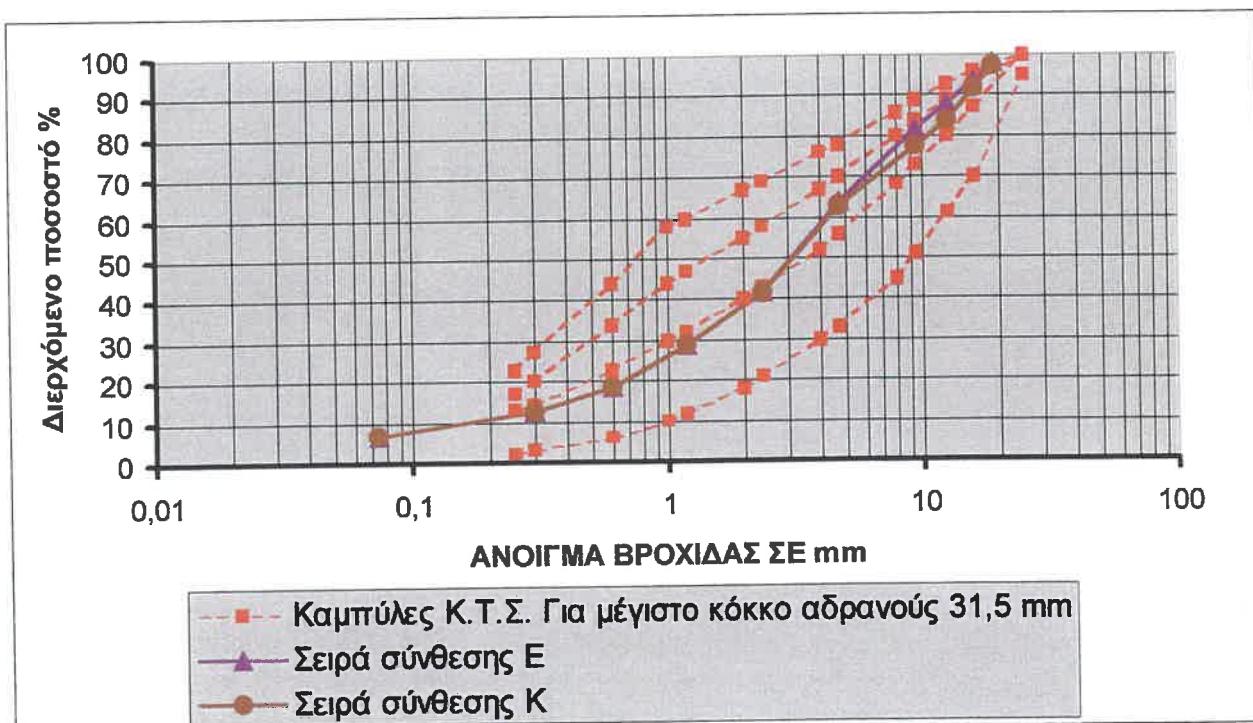
πούμε ότι ελαφριά αύξηση των λεπτών έχει ως αποτέλεσμα καλύτερο χρόνο χοάνης και μικρή βελτίωση της παραμορφωσιμότητας. Η επιρροή των λεπτών στο μίγμα είναι ένας παράγοντας που πρέπει να διερευνηθεί και να αναλυθεί περισσότερο, ώστε να εξαχθεί ένα σταθερό συμπέρασμα.

Αυτό που μπορεί να συμπεράνει κανείς από τη σύγκριση αυτή, καθώς κι από την προηγούμενη είναι ο κρίσιμος ρόλος της κοκκομετρικής διαβάθμισης ο οποίος είναι φανερό ότι επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τις ιδιότητες του υλικού απ' ότι η ποσότητα των λεπτών.

### 9) Ε και Κ

	A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/Γ/X
E	0,44	0,25	0,28	0,85	0,219	0,39	60/25/15
K	0,44	0,25	0,28	0,85	0,219	0,39	60/20/20

Πίνακας 9. Χαρακτηριστικά σειρών E και K



Σχήμα 6.9. Κοκκομετρικές διαβάθμισεις σειρών E και K

Η σειρά K έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τη σειρά E. Το μόνο που μεταβάλλεται, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα 6.9, είναι η αναλογία χαλικιού και γαρμπιλιού.

Η μικρή αύξηση του χαλικιού έδωσε στο μίγμα περισσότερη ομοιογένεια, με αποτέλεσμα το μίγμα να αποκτήσει τις ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με μικρότερη ποσότητα προσθέτων από τη σειρά E. Είναι η πρώτη κοκκομετρική σύνθεση μίγματος που μας επέτρεψε να συνθέσουμε το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα χωρίς καθόλου την παρουσία προσθέτου που βελτιώνει το ξέωδες που σημαίνει ότι το μίγμα αυτό έχει τη βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση απ' όλα τα μίγματα που είχαν δημιουργηθεί μέχρι τώρα.

το ιξώδες που σημαίνει ότι το μίγμα αυτό έχει τη βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση απ'όλα τα μίγματα που είχαν δημιουργηθεί μέχρι τώρα.

Ενώ σε όλα τα προηγούμενα μίγματα αύξηση του γαρμπιλιού έναντι του χαλικιού σήμαινε καλύτερο χρόνο χοάνης δηλαδή καλύτερη αντίσταση σε απόμειξη και ικανότητα να περνά μέσα από εμπόδια, στη σύγκριση αυτών των δύο μιγμάτων διαπιστώνεται ότι μια ελάχιστη παρουσία χαλικιού είναι απαραίτητη στο μίγμα, για να δώσει σε αυτό καλύτερη ομοιομορφία και μεγαλύτερη αντίσταση σε απόμειξη. Κάτω από ένα συγκεκριμένο ποσοστό χαλικιού το μίγμα χάνει πιο εύκολα την ομοιογένεια του, με αποτέλεσμα να κρίνεται ακατάλληλο.

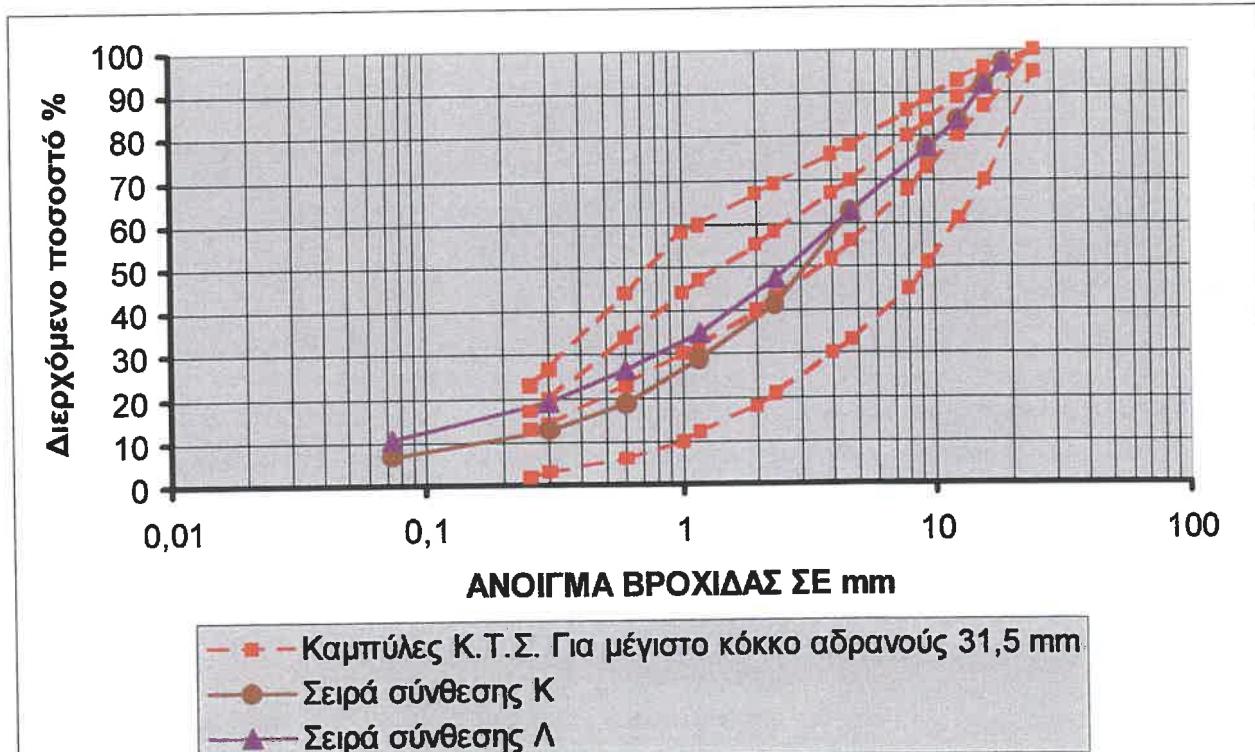
Είναι φανερό από όλες τις μετρήσεις σε όλα τα μίγματα που έγιναν μέχρι τώρα ότι η κοκκομετρική διαβάθμιση της σειράς K είναι η πιο ενδεδειγμένη για τη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση αυτή εξασφαλίζει παράλληλα και μια οικονομικότητα στο μίγμα, αφού χρησιμοποιήθηκε μικρή ποσότητα υπερρευστοποιητή σε σχέση με τα άλλα μίγματα και καθόλου πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες.

#### 10) K και Λ

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/G/X
0,44	0,25	0,28	0,85	0,219	0,39	60/20/20
0,44	0,26	0,28	0,82	0,220	0,39	60/20/20

Πίνακας 10. Χαρακτηριστικά σειρών K και Λ



Σχήμα 6.10. Κοκκομετρικές διαβάθμισεις σειρών K και Λ

Στη σειρά Λ χρησιμοποιήθηκε η άμμος τύπου Β η οποία είναι πιο λεπτόκοκκη από την άμμο τύπου Α που χρησιμοποιήσαμε μέχρι τώρα. Τα ποσοστά Αμμος/Χαλίκι/Γαρμπίλι είναι ίδια και στις δύο συνθέσεις, το μόνο που αλλάζει είναι η κοκκομετρική διαβάθμιση της χρησιμοποιούμενης άμμου. Σκοπός μας στη σύγκριση αυτή είναι να διαπιστωθεί η επιρροή του τύπου της άμμου και του τύπου των λεπτών (αφού όλα τα λεπτά του μίγματος Λ καλύπτονται από την παιπάλη που υπάρχει στην άμμο) στη συμπεριφορά του αυτοσυμπυκνωμένου σκυροδέματος.

Το μίγμα Κ έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από το μίγμα Λ, παρ'όλο που ήταν πιο χονδρόκοκκο στην περιοχή της άμμου. Οι μετρήσεις που λήφθηκαν πιστοποιούν το συμπέρασμα που είχε εξαχθεί από την προηγούμενη σύγκριση, δηλαδή ότι το μίγμα Κ έχει τη βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση.

Ο τύπος της άμμου καθώς και των λεπτών επηρεάζει τη συμπεριφορά του μίγματος. Εκτός της κοκκομετρικής διαβαθμίσεως, άλλη μια ερμηνεία που μπορεί να δωθεί στην απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο μιγμάτων είναι και το σχήμα των κόκκων των δύο τύπων της άμμου και των δύο τύπων των λεπτών, αφού όπως είναι γνωστό η ρευστότητα ενός σκυροδέματος εξαρτάται από την ειδική επιφάνεια των αδρανών, δηλαδή απότο σχήμα τους.

Ως γνωστό, αδρανή με στρογγυλευμένους κόκκους, δηλαδή μικρότερη ειδική επιφάνεια παρουσιάζουν μεγαλύτερη ρευστότητα για την ίδια ποσότητα νερού, ενώ η αύξηση της ειδικής επιφάνειας, δηλαδή η απομάκρυνση από το σφαιρικό σχήμα συντελεί στην αύξηση της απαιτούμενης ποσότητας νερού για να επιτευχθεί η απαιτούμενη εργασιμότητα.

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω θεωρητική ερμηνεία μπορούμε να δικαιολογήσουμε τις διαφορές που παρατηρούνται στα δύο μίγματα και διαπιστώνουμε ότι εκτός της κοκκομετρικής διαβαθμίσεως πόσο σημαντική είναι η επιρροή του τύπου της άμμου και του χρησιμοποιούμενου λεπτού στο μίγμα.

Αναλυτικά η επιρροή του τύπου της άμμου και του τύπου του λεπτού στα χαρακτηριστικά του τσιμεντοπολτού αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

#### 7.1. Γενικά

Από τις συγκρίσεις μεταξύ των σειρών συνθέσεων που έγιναν στο προηγούμενο κεφάλαιο διαπιστώθηκε ότι η συμπεριφορά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος. Όμως όπως φάνηκε δεν ήταν μόνο η κοκκομετρική διαβάθμιση που έπαιζε κρίσιμο ρόλο στη συμπεριφορά του μίγματος. Ο τύπος της άμμου, ο τύπος του λεπτού υλικού, ο τύπος του τσιμέντου, η ποσότητα της άμμου στο τσιμεντοκονίαμα, η ποσότητα του νερού και του υπερρευστοποιητή επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Η επίπτωση των παραπάνω παραγόντων στις ιδιότητες του σκυροδέματος ήταν δύσκολο να μελετηθεί μέσω πειραμάτων στο σκυρόδεμα. Επειδή όλοι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν κυρίως το τσιμεντοκονίαμα κι επειδή αυτό καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του όγκου του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, θεωρήσαμε απαραίτητο να κάνουμε πειράματα σε τσιμεντοκονιάματα, έτσι ώστε να διαπιστώσουμε πως όλοι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν τη συμπεριφορά του τσιμεντοπολτού.

Επιπλέον, η ανάγκη για πειράματα στα τσιμεντοκονιάματα πηγάζει από το γεγονός ότι στη διεθνή βιβλιογραφία υποστηρίζεται ότι η σύνθεση ενός πετυχημένου μίγματος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος προϋποθέτει πρώτα τη δημιουργία ενός πετυχημένου μίγματος τσιμεντοκονιάματος, αφού το κύριο μέρος των ιδιοτήτων του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος εξαρτάται από τις ιδιότητες του τσιμεντοπολτού.

#### 7.2. Μελέτη σύνθεσης τσιμεντοκονιαμάτων

Για τη σύνθεση των τσιμεντοκονιαμάτων χρησιμοποιήθηκε η θεμελιώδης σχέση (σχέση 1 κεφαλαίου 6.1) που χρησιμοποιήθηκε και στη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, χωρίς φυσικά να ληφθεί υπόψη ο όρος που αναφέρεται στα χοντρόκοκκα αδρανή. Επίσης, για την ένυρεση της υγρασίας απορρόφησης των αδρανών χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος τύπος με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε και στη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος χωρίς πάλι να ληφθεί υπόψη ο όρος που αναφέρεται στα χονδρόκοκκα αδρανή.

#### 7.3. Σύσκευές που χρησιμοποιήθηκαν

Στο Εργαστήριο χρησιμοποιήθηκαν οι δύο κύριότερες συσκευές που χρησιμοποιούνται διεθνώς στις δοκιμές των τσιμεντοκονιαμάτων: η συσκευή χοάνης για τσιμεντοκονιάματα και η δοκιμή της εξάπλωσης για τσιμεντοκονιάματα που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Η διαφορά από το σκυρόδεμα είναι ότι στα τσιμεντοκονιάματα τόσο η δοκιμή της εξάπλωσης όσο και η δοκιμή της χοάνης δίνουν στοιχεία μόνο για τη ρευστότητα του μίγματος, ενώ στο σκυρόδεμα παίρναμε στοιχεία και για την αντίσταση σε απόμειξη που έχει το υλικό μέσω της δοκιμής της χοάνης. Έτσι, στα τσιμεντοκονιάματα η απόμειξη δε μπορεί να μετρηθεί πρακτικά, παρά μόνο οπτικά μέσω παρατηρήσεων στον αναμικτήρα. Ακόμα όμως και η οπτική παρατήρηση δεν οδηγεί σε

ακριβή συμπεράσματα, αφού στα τσιμεντοκονιάματα δε γίνεται εύκολα αντιληπτή η απόμειξη του μίγματος.

Σε κάθε δοκιμή χοάνης μετρήθηκε ο χρόνος χοάνης τη χρονική  $t_0$  καθώς και η ‘σχετική ταχύτητα ροής’  $R_0$ , ενώ σε κάθε δοκιμή εξάπλωσης μετρήθηκε η εξάπλωση καθώς και ο ‘δείκτης σχετικής ροής τσιμεντοκονιάματος’  $\Gamma_{\tau}$ . Σε μερικές δοκιμές μετρήθηκε ο χρόνος  $t_{300}$  δηλαδή ο χρόνος που κάνει το μίγμα να εξαπλωθεί μέχρι τα 300 χλιοστά, δείκτης που συσχετίζεται με το ιξώδες του τσιμεντοκονιάματος (αντίστοιχος του  $t_{500}$  στο σκυρόδεμα). Ακόμα, σε ένα πείραμα εμφανίζονται μετρήσεις του χρόνου  $t_5$  στη συσκευή της χοάνης, για να βρεθούν τυχόν διαφορές από το χρόνο  $t_0$ . Στόχος μας στα περισσότερα πειράματα ήταν να βρεθεί πως επηρεάζεται ο χρόνος χοάνης και η εξάπλωση συναρτήσει

1. της ποσότητας του νερού,
2. της ποσότητας του υπερρευστοποιητή,
3. της ποσότητας του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες,
4. του λόγου άμμος/τσιμεντοκονίαμα,
5. του τύπου του τσιμέντου,
6. του τύπου της άμμου,
7. του τύπου του λεπτού υλικού,
8. του τύπου του υπερρευστοποιητή.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο Εργαστήριο θεωρούσαμε ότι το τσιμεντοκονίαμα είναι κατάλληλο για αυτοσυμπυκνωμένο σκυρόδεμα όταν είχε τιμή εξάπλωσης πάνω από 250mm και χρόνο χοάνης από 2 εως 10 δευτερόλεπτα, τιμές οι οποίες χρησιμοποιούνται στη διεθνή βιβλιογραφία. (βλ. Κεφάλαιο 4.7).

#### **7.4. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων**

Σε κάθε δοκιμή και σε κάθε σύγκριση εμφανίζονται οι αναλογίες συνθέσεως των υλικών, σε πινακοποιημένη μορφή οι μετρήσεις που έγιναν κι ακολουθούν σχόλια και συμπεράσματα για την κάθε δοκιμή. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν τις μετρήσεις που έγιναν και τις μεταβολές που προκαλεί η προσθήκη κάθε υλικού στα χαρακτηριστικά της εξάπλωσης και της δοκιμής της χοάνης.

## 7.5. Επιρροή της ποσότητας του νερού στη συμπεριφορά του τσιμεντοκονιάματος

### Μίγμα 1

Βάρη υλικών ανά  $m^3$  τσιμεντοκονιάματος

Τσιμέντο :	638 kg/m <sup>3</sup>
Ασβ. Φίλλερ :	89 kg/m <sup>3</sup>
“Αμμος Α :	1289 kg/m <sup>3</sup>
Νερό :	256 kg/m <sup>3</sup>
Υπερ :	4,87 kg/m <sup>3</sup> (1,1 κ.β.λεπτών)
Θεωρ.πυκν.	
για $\alpha=2,6\%$ :	2277 kg/m <sup>3</sup>

Στο παραπάνω μίγμα προσθέταμε διαδοχικά επιπλέον ποσότητα νερού για να δούμε πως ο λόγος Νερό/Λεπτά επηρεάζει το χρόνο χοάνης και την εξάπλωση. Τα αποτελέσματα που πήραμε φαίνονται στον παρακάτω πίνακα και στα διαγράμματα που ακολουθούν.

Λόγος Ν/Λ	χρ.χοάνης (sec)	εξάπλωση (mm)	Ro	Γτσ
0,29	16	295	0,625	7,7025
0,30	15,5	300	0,645161	8
0,31	13	300	0,769231	8
0,32	13	331	0,769231	9,9561

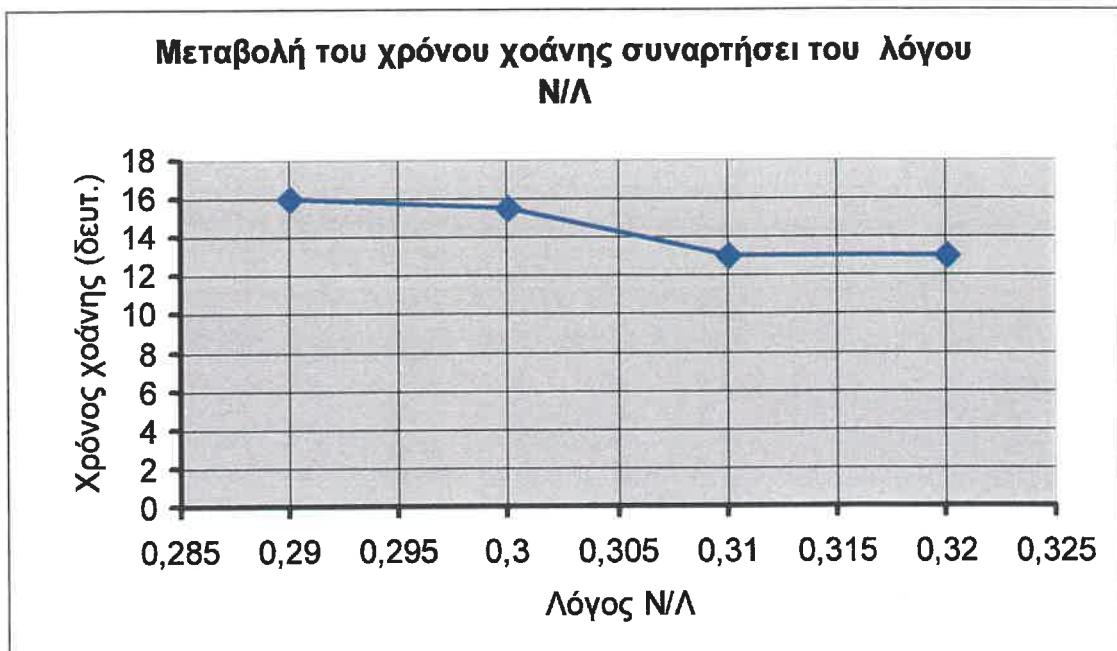
### Πίνακας 1

Είναι προφανές ότι η επιπλέον προσθήκη νερού στο αρχικό μίγμα μεταβάλλει μερικώς τις αναλογίες των υλικών ανά  $m^3$  τσιμεντοκονιάματος. Οι ακριβείς τιμές των αναλογιών των υλικών ανά  $m^3$  τσιμεντοκονιάματος για κάθε παραλλαγή του αρχικού μίγματος εμφανίζονται στο Παράρτημα στο κεφάλαιο ‘Σύνθεση παραλλαγών συνθέσεων των τσιμεντοκονιαμάτων’.

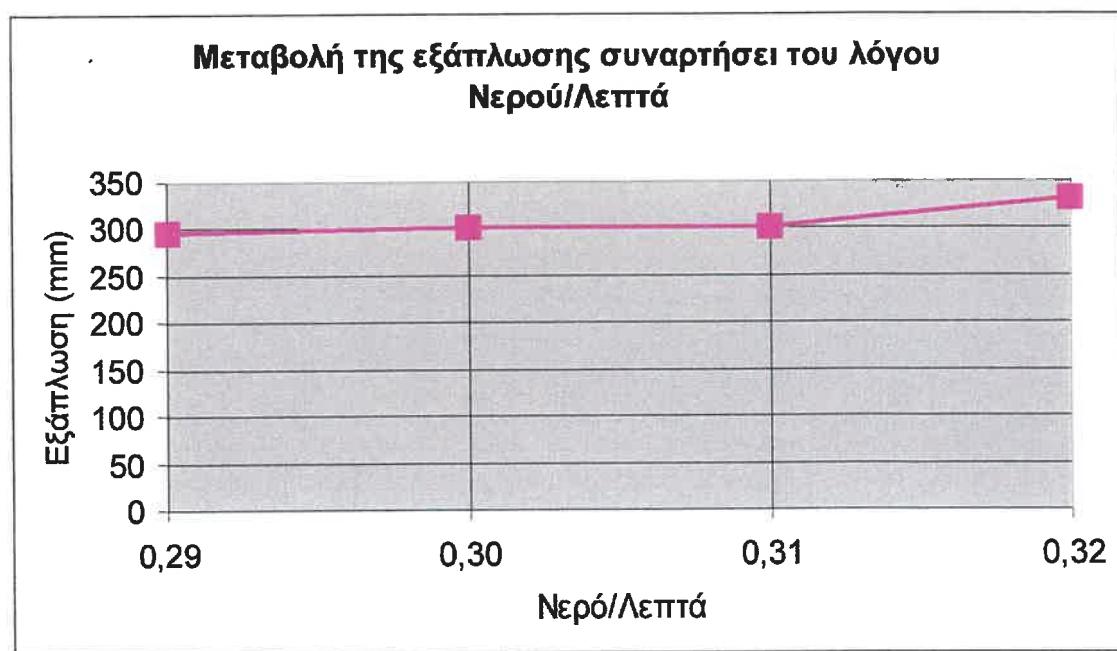
### Συμπέρασμα

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 1, καθώς κι από τα σχήματα 7.5.1, 7.5.2, 7.5.3, 7.5.4 που ακολουθούν η μεταβολή του νερού στο μίγμα προκαλεί ελαφριά αύξηση της εξάπλωσης και μικρή μείωση του χρόνου χοάνης. Οι κλίσεις των διαγραμμάτων τόσο της εξάπλωσης όσο και του χρόνου χοάνης φανερώνουν ότι οι αλλαγές που προκαλεί η μεταβολή του νερού γίνονται με πολύ μικρό ρυθμό. Αξιοπερίεργη είναι η τελευταία μέτρηση της εξάπλωσης η οποία δε συμβαδίζει με τις υπόλοιπες μετρήσεις και τα συμπεράσματα που εξάγονται από αυτές. Για την τελευταία αυτή μέτρηση μπορούμε να υποθέσουμε ότι το μίγμα έχει οδηγηθεί σε απόμειξη, δεν υπάρχει πλέον καμία συνοχή στο υλικό, με αποτέλεσμα να εμφανίζει πολύ μεγάλη παραμορφωσιμότητα, η οποία απεικονίζεται από τη δοκιμή της εξάπλωσης.

Πάντως ως γενικό συμπέρασμα μπορούμε να λάβουμε ότι η ποσότητα του νερού κι ευρύτερα ο λόγος Νερό/Λεπτά προκαλούν μεταβολές τόσο στο χρόνο χοάνης όσο και στην εξάπλωση, οι οποίες όμως είναι σχετικά μικρές. Έτσι, μικρές αλλαγές του λόγου Νερό/Λεπτά δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα τη ρευστότητα του τσιμεντοκονιάματος.

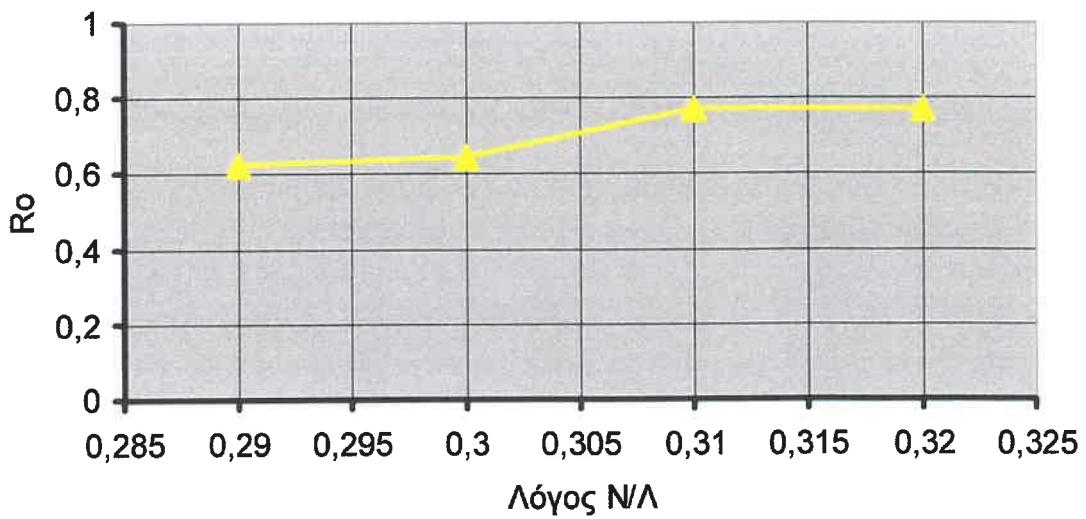


**Σχήμα 7.5.1**



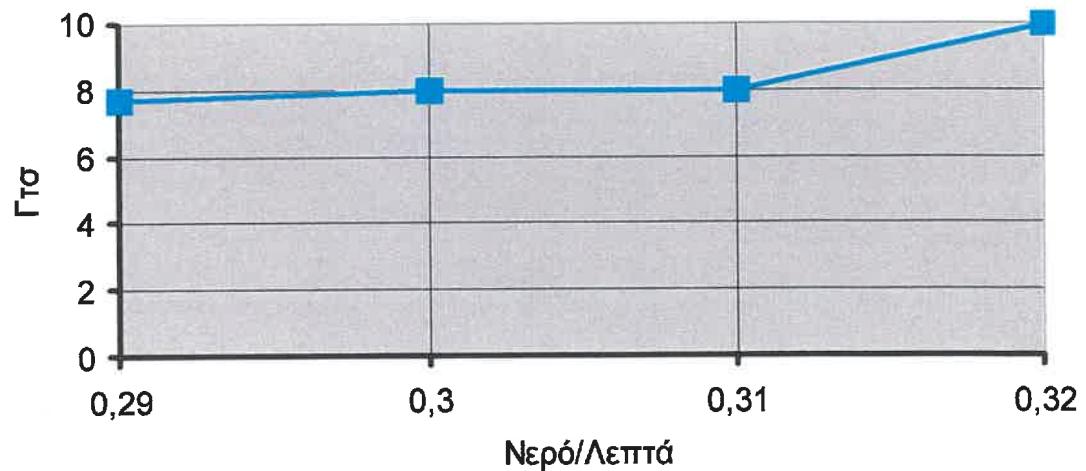
**Σχήμα 7.5.2**

**Μεταβολή του δείκτη  $\text{Ro}$  συναρτήσει του λόγου Ν/Λ**



**Σχήμα 7.5.3**

**Μεταβολή του δείκτη  $\Gamma_{\text{τσ}}$  συναρτήσει του λόγου  
Νερού/Λεπτά**



**Σχήμα 7.5.4**

## 7.6. Επιρροή της ποσότητας του υπερρευστοποιητή στις ιδιότητες του τσιμέντοκονιάματος.

Για να διερευνηθούν η μεταβολή του χρόνου χοάνης και της εξάπλωσης συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή έγιναν δύο διαφορετικά μίγματα στα οποία χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί τύποι άμμων και διαφορετικοί τύποι λεπτών υλικών. Στο πρώτο μίγμα χρησιμοποιήθηκε παιπάλη που είχε απομονωθεί στο εργαστήριο (λεπτό υλικό τύπου Γ) και η άμμος τύπου Γ, ενώ στο δεύτερο χρησιμοποιήθηκε εξ' ολοκλήρου άμμος τύπου Β και το λεπτό τύπου Β που είναι η παιπάλη που περιέχεται στην άμμο. (βλ. Κεφάλαιο 5.2)

Οι αναλογίες συνθέσεως των δύο μιγμάτων είναι:

### Βάρη υλικών ανά m<sup>3</sup> τσιμέντοκονιάματος

#### Μίγμα 2

Τσιμέντο	:	720 kg/m <sup>3</sup>
Παιπάλη	:	148 kg/m <sup>3</sup>
"Άμμος Γ	:	1028 kg/m <sup>3</sup>
Νερό	:	304 kg/m <sup>3</sup>
Υπερ.	:	2,66 kg/m <sup>3</sup> (0,5% κ.β.λεπτών)
Θεωρ.πυκν.		
για α=2,6%	:	2203 kg/m <sup>3</sup>

Συνολικό ποσοστό λεπτών:  $720+148+14/100*1028=1011 \text{ kg/m}^3$

#### Μίγμα 3

Τσιμέντο	:	683 kg/m <sup>3</sup>
Παιπάλη	:	0 kg/m <sup>3</sup>
"Άμμος Β	:	1510 kg/m <sup>3</sup>
Νερό	:	189 kg/m <sup>3</sup>
Υπερ.	:	6,12 kg/m <sup>3</sup> (1,2% κ.β.λεπτών)
Θεωρ.πυκν.		
για α=2,6%	:	2388 kg/m <sup>3</sup>

Συνολικό ποσοστό λεπτών:  $683+18/100*1510$  (παιπάλη άμμου) =955 kg/m<sup>3</sup>

Στα παραπάνω μίγματα μεταβλήθηκε το ποσοστό του υπερρευστοποιητή και μετρήθηκαν τα εξής μεγέθη όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

#### Μίγμα 2

Ποσό υπερρευστ.	χρ.χοάνης(sec)	εξάπλωση (mm)	R0	Γτσ
0,50%	9,5	270	1,052632	6,29
0,60%	7	320	1,428571	9,24
0,70%	5,3	350	1,886792	11,25

Πίνακας 2

### Míigma 3

Ποσό υπερρευστοποιητή	Εξάπλωση (mm)	Χρόνος χοάνης (sec)	Ro	Γτσ
1,20%	150	19	0,526316	1,25
1,40%	253	9	1,111111	5,4009
1,60%	300	6,7	1,492537	8

Πίνακας 3

Η μεταβολή των παραπάνω μεγεθών συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή φαίνεται και στα σχήματα 7.6.1, 7.6.2, 7.6.3, 7.6.4, 7.6.5, 7.6.6, 7.6.7, 7.6.8 στο τέλος του κεφαλαίου.

### Συμπέρασμα

Όπως φαίνεται και στα δύο παραπάνω μίγματα οι αλλαγές στην ποσότητα του υπερρευστοποιητή προκαλούν σημαντικές μεταβολές στις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος.

Από τις κλίσεις των διαγραμμάτων παρατηρείται σημαντικός ρυθμός αυξήσεως της εξαπλώσεως συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή, ενώ πιο μικρός είναι ο ρυθμός μειώσεως του χρόνου χοάνης.

Συγκρίνοντας με τις μετρήσεις που έγιναν για να διαπιστωθεί η μεταβολή των παραπάνω μεγεθών συναρτήσει της ποσότητας του νερού, παρατηρούμε ότι οι μετρήσεις είναι πολύ πιο ευαίσθητες στη μεταβολή του υπερρευστοποιητή απ' ότι στις μεταβολές της ποσότητας του νερού. Αυτό είναι αρκετά λογικό, αφού είναι γνωστό ότι οι υπερρευστοποιητές είναι πιο δραστικοί στη μεταβολή της ρευστότητας του μίγματος απ' ότι το νερό.

### 7.6.1. Μεταβολή χρόνων χοάνης t0 και t5 συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρατηρήθηκε πολλές φορές απόκλιση των μετρούμενων χρόνων της χοάνης τη χρονική στιγμή 0 και μετά από 5 λεπτά. Ως αίτιο αυτής της απόκλισης θεωρήσαμε ότι μπορεί να ήταν ο τρόπος γεμίσματος της χοάνης, καθώς και το γεγονός ότι το μίγμα δεν προλάβαινε να ισορροπήσει μέσα στη συσκευή της χοάνης, οπότε η μέτρηση του χρόνου t0 δεν θα ήταν ενδεικτική για το μίγμα.

Στα τσιμεντοκονιάματα έγιναν ανάλογα πειράματα, για να διαπιστωθούν πως μεταβάλλονται οι χρόνοι t0 και t5 συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή. Για τις ανάγκες του πειράματος αυτού έγινε το παρακάτω μίγμα.

### Míigma 4

Τσιμέντο	:	646 kg/m <sup>3</sup>
Παιτάλη	:	161 kg/m <sup>3</sup>
Άμμος Γ	:	1208 kg/m <sup>3</sup>
Νερό	:	260 kg/m <sup>3</sup>
Υπερ	:	4,51 kg/m <sup>3</sup> (0,9 % κ.β.λεπτών)
Θεωρ.πυκν.		
για α=2,6%	:	2279 kg/m <sup>3</sup>

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα 4 καθώς και στο σχήμα 7.6.9 στο τέλος του κεφαλαίου αυτού.

ποσό υπερ.(%κ.β. Λεπτών)	t0	t5
0,9	16	18
1	13	16
1,1	12	14

Πίνακας 4

#### Συμπέρασμα

Από τον πίνακα 4 κι από το σχήμα 7.6.9 διαπιστώνουμε πως ο χρόνος μετά από 5 λεπτά εμφανίζεται πάντα λίγο πιο αυξημένος σε σχέση με το χρόνο τη χρονική στιγμή 0. Αυτό μπορεί να μας οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι κατά την ισορροπία του μίγματος στη χοάνη μετά από 5 λεπτά το μίγμα έχει μια μικρή απόμειξη η οποία και δικαιολογεί τη μικρή διαφορά των χρόνων.

Οι κλίσεις των δύο διαγραμμάτων φανερώνουν ότι και οι δύο χρόνοι χοάνης μεταβάλλονται με σχετικά σταθερό ρυθμό (περίπου 2 δευτερόλεπτα ανά 0,1% μεταβολής της ποσότητας του υπερρευστοποιητή). Περίπου τέτοιος ρυθμός μεταβολής του χρόνου χοάνης παρατηρείται και στο μίγμα 1 (1,5 δευτερόλεπτα ανά 0,1% μεταβολής της ποσότητας του υπερρευστοποιητή), στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια υλικά. Έτσι λοιπόν συμπεραίνουμε ότι η αλλαγή της ποσότητας του υπερρευστοποιητή προκαλεί σχετικά σταθερή μεταβολή της ρευστότητας του μίγματος, η οποία απεικονίζεται μέσα από το σχετικά σταθερό ρυθμό μείωσης του χρόνου χοάνης.

#### 7.6.2. Μεταβολή του χρόνου t300 συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή

Ο χρόνος t300 είναι ένας δείκτης, ο οποίος είναι απαραίτητος για την εξαγωγή συμπερασμάτων για το ιξώδες του μίγματος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο δείκτης αυτός δε χρησιμοποιείται στη διεθνή βιβλιογραφία, όμως εμείς στο Εργαστήριο θεωρήσαμε απαραίτητη τη μέτρησή του, για να μπορούμε να δούμε πως μεταβάλλεται το ιξώδες του τσιμεντοκονιάματος. Η μέτρηση του γίνεται κατ' αντιστοιχία του χρόνου t500 του σκυροδέματος, ο οποίος κι αυτός χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό του ιξώδους του σκυροδέματος.

Για τις ανάγκες αυτού του πειράματος χρησιμοποιήθηκε το μίγμα 3, ενώ τα αποτελέσματα που πήραμε φαίνονται στον Πίνακα 5 και στο τέλος του κεφαλαίου στο σχήμα 7.6.10.

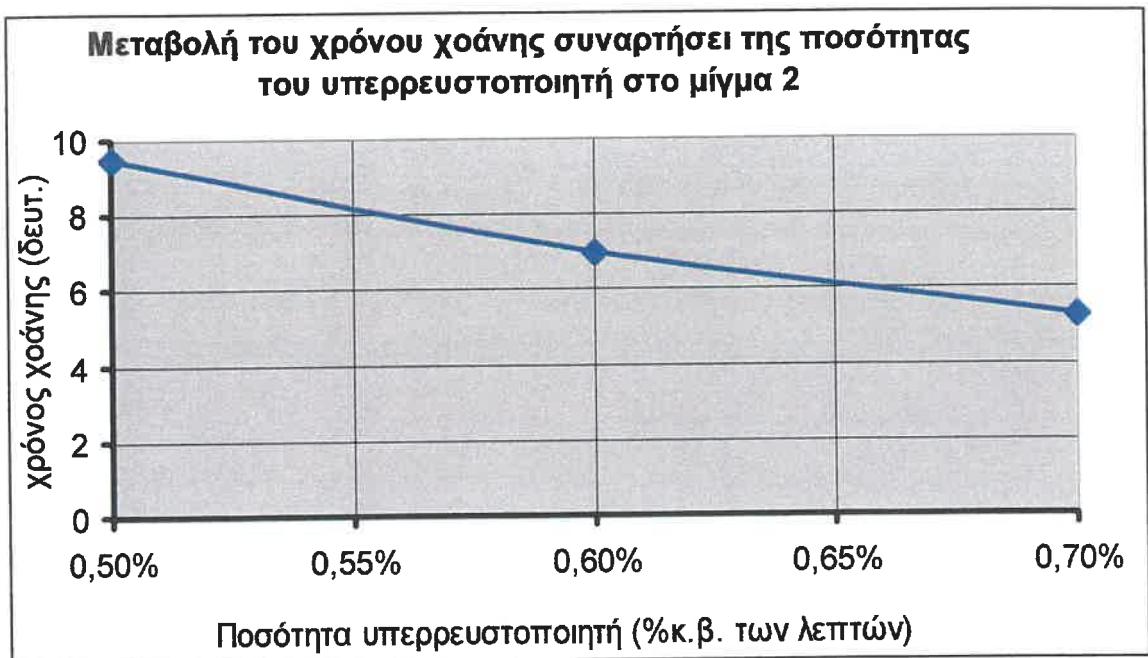
ποσό υπερ.(%κ.β. Λεπτών)	t300
0,9	11
1	8
1,1	7,5

Πίνακας 5

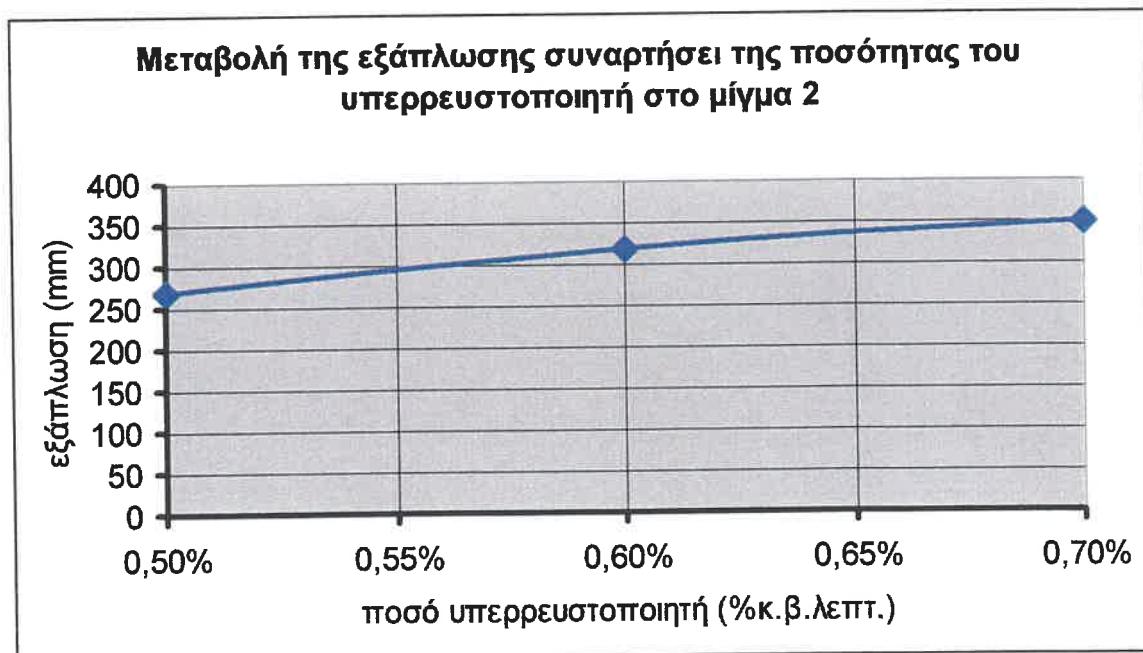
#### Συμπέρασμα

Είναι φανερό ότι η προσθήκη υπερρευστοποιητή προκαλεί μεταβολές στο χρόνο που κάνει το σκυρόδεμα να εξαπλωθεί μέχρι τα 30 εκατοστά. Τα αποτελέσματα είναι λογικά, αφού η προσθήκη υπερρευστοποιητή μειώνει το ιξώδες του μίγματος κι αυξάνει την παραμορφωσιμότητά του. Η μείωση του ιξώδους του μίγματος απεικονίζεται μέσω της

μείωσης του χρόνου εξάπλωσης μέχρι τα 30 εκατοστά. "Οπως φαίνεται κι από το αντίστοιχο διάγραμμα ο ρυθμός μειώσεως του χρόνου συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή δεν είναι σταθερός αλλά εμφανίζεται πολύ μεγάλος στην αρχή (μεγάλη κλίση) , ενώ μετά γίνεται μικρότερος. Είναι σίγουρο ότι η ποσότητα του υπερρευστοποιητή προκαλεί μεταβολές στο χρόνο t300. Αυτό όμως που δε μπορούμε να συμπεράνουμε από το διάγραμμα είναι πόσο εναίσθητη είναι η μέτρηση του χρόνου αυτού στις μεταβολές της ποσότητας του υπερρευστοποιητή.

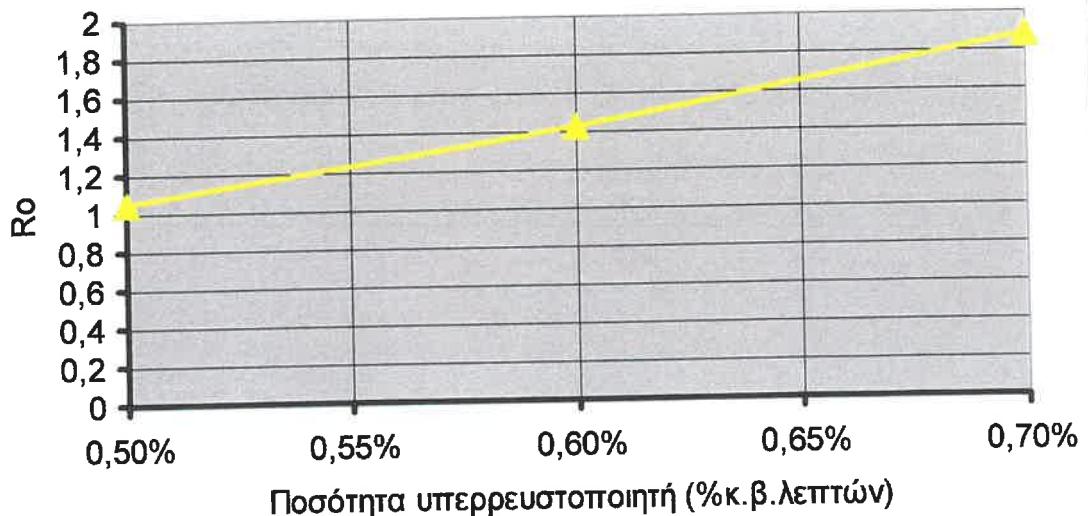


Σχήμα 7.6.1



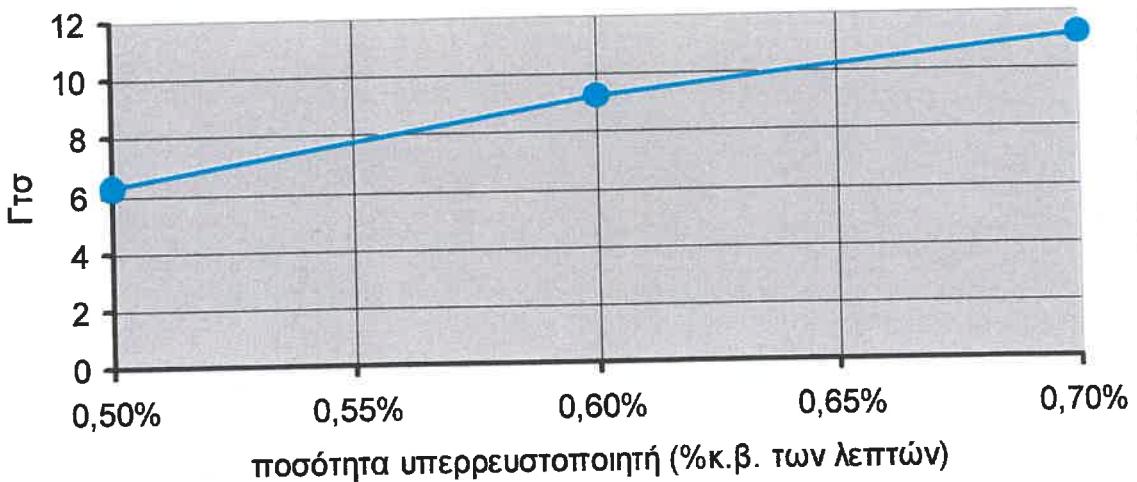
Σχήμα 7.6.2.

**Μεταβολή του δείκτη Ro συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή στο μίγμα 2**



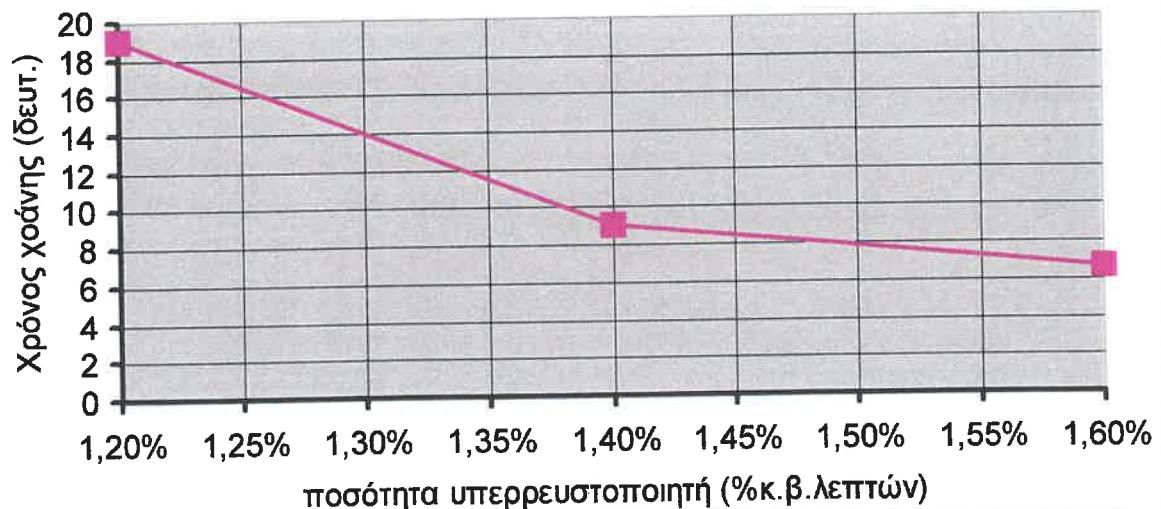
**Σχήμα 7.6.3**

**Μεταβολή του δείκτη Γτσ συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή στο μίγμα 2**



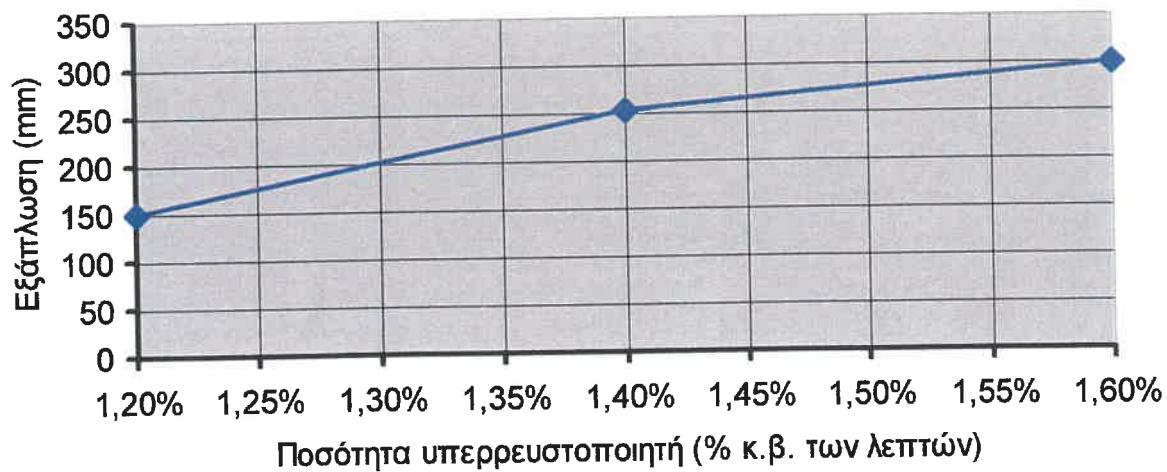
**Σχήμα 7.6.4.**

**Μεταβολή του χρόνου χοάνης συναρτήσει της ποσότητας  
του υπερρευστοποιητή στο μίγμα 3**



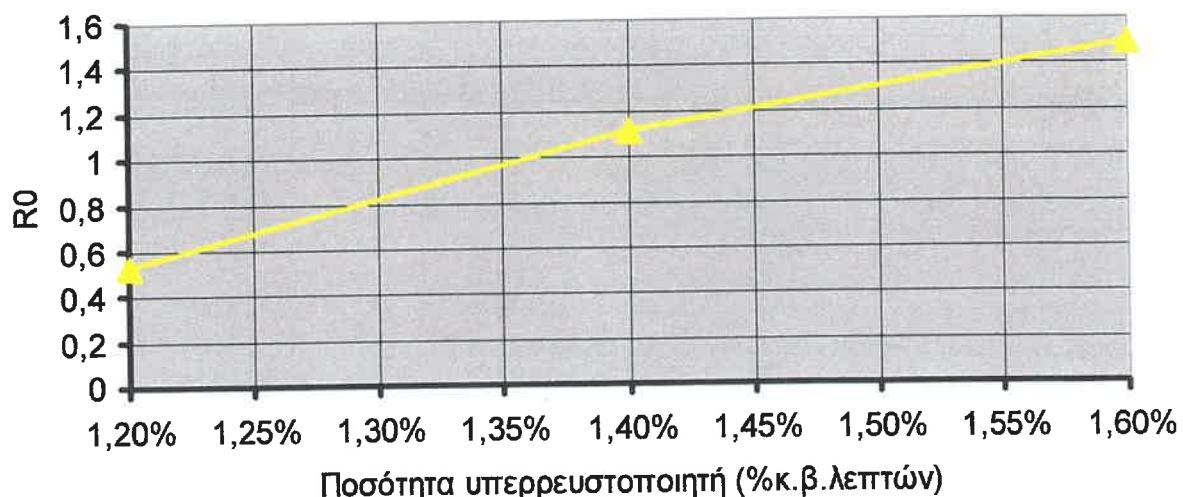
Σχήμα 7.6.5.

**Μεταβολή της εξάπλωσης συναρτήσει της ποσοτητας του  
υπερρευστοποιητή στο μίγμα 3**



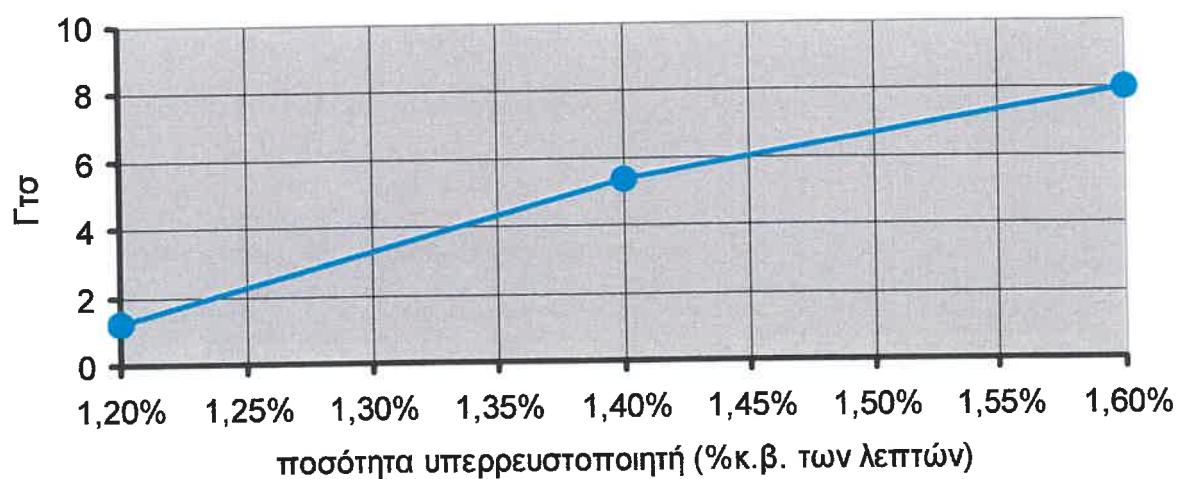
Σχήμα 7.6.6

**Μεταβολή του δείκτη  $R_0$  συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή στο μίγμα 3**



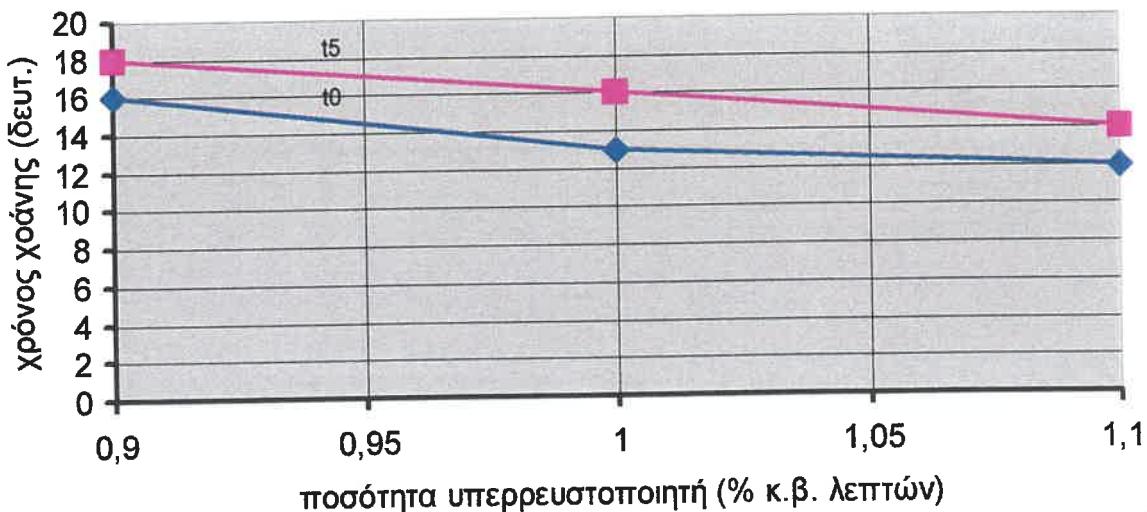
Σχήμα 7.6.7

**Μεταβολή του δείκτη  $\Gamma_{\text{tot}}$  συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή στο μίγμα 3**



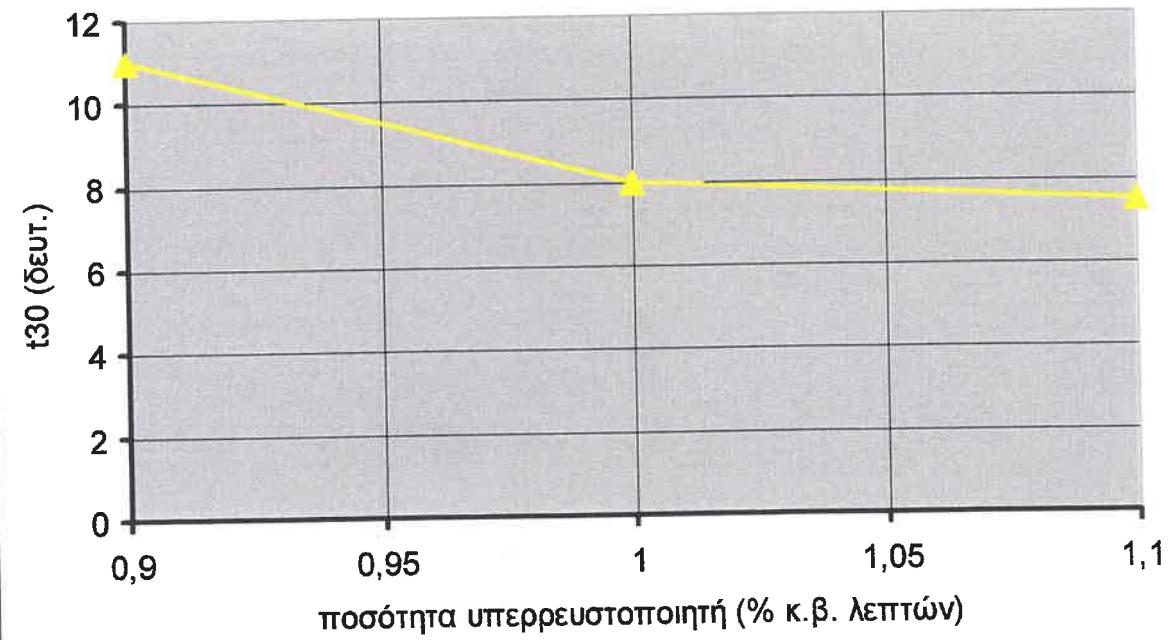
Σχήμα 7.6.8

**Μεταβολή των χρόνων χοάνης t0 και t5 συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή**



**Σχήμα 7.6.9**

**Μεταβολή του χρόνου t30 συναρτήσει της ποσότητας του υπερρευστοποιητή**



**Σχήμα 7.6.10**

## 7.7. Επιρροή του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες στις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος

Για τις ανάγκες του πειράματος αυτού χρησιμοποιήσαμε το μίγμα 2 με 0,6% κ.β. των λεπτών υπερρευστοποιητή και σταδιακά προσθέταμε πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες, για να δούμε πως αυτό επιδρά στις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα 6, καθώς και στα σχήματα 7.7.1, 7.7.2, 7.7.3, 7.7.4 στο τέλος του κεφαλαίου.

Ποσότητα ΠΠΒΙ (%κ.β.λεπτών)	Εξάπλωση (mm)	Χρόνος χοάνης	Ro	Γτσ.
0	320	7	1,428571	9,24
0,1	320	7,5	1,333333	9,24
0,2	310	7,64	1,308901	8,61
0,3	290	8	1,25	7,41
0,4	270	8,5	1,176471	6,29

### Συμπέρασμα

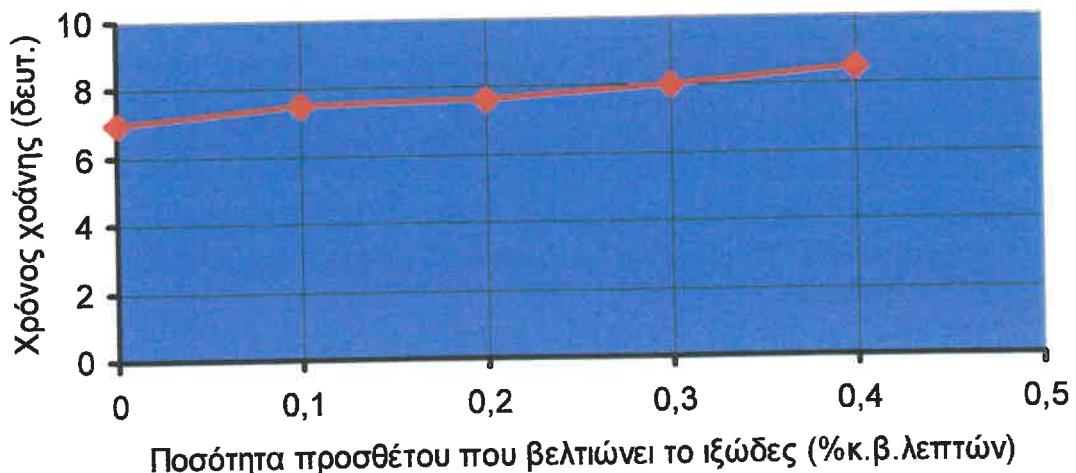
Το πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες προκαλεί ελάχιστες μεταβολές στη εξάπλωση και στο χρόνο χοάνης του τσιμεντοκονιάματος. Η επίδραση του στις δύο παραπάνω δοκιμές είναι πολύ πιο μικρή από την επίδραση του υπερρευστοποιητή, γεγονός που φαίνεται άλλωστε κι από την κλίση των διαγραμμάτων.

Τα αποτελέσματα είναι λογικά αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι το πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες χρησιμοποιείται για διορθώσεις του αρχικού μίγματος σε περίπτωση που αυτό εμφανίζει μερική απόμειξη. Η δραστικότητά του είναι πολύ μικρότερη από αυτή του υπερρευστοποιητή.

"Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα η αύξησή της ποσότητάς του μειώνει σταδιακά την παραμορφωσμότητα του μίγματος, αφού η εξάπλωση μειώνεται αλλά με πολύ μικρό ρυθμό, ενώ οι διαφορές που προκαλεί η επιπλέον ποσότητα του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες στο χρόνο χοάνης είναι ελάχιστη. Η μικρή αύξηση του χρόνου χοάνης υποδηλώνει ότι έχει αυξηθεί μερικώς το ιξώδες του μίγματος, ενώ το αρχικό μίγμα (χωρίς καθόλου παρουσία προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες) δεν εμφανίζει απόμειξη.

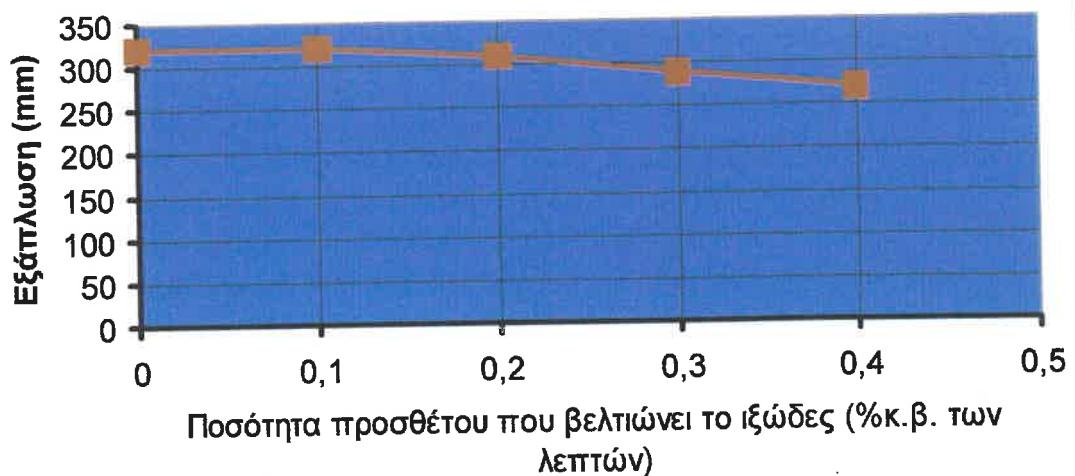
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο σκυρόδεμα πολλές φορές η προσθήκη προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες βελτίωνε το χρόνο χοάνης που σημαίνει ότι το σκυρόδεμα αποκτούσε καλύτερη ομοιογένεια και μεγαλύτερη αντίσταση σε απόμειξη. Στα τσιμεντοκονιάματα δεν παρατηρήθηκε καθόλου βελτίωση του χρόνου χοάνης (αντίθετα παρατηρείται μικρή αύξηση). Αυτό μπορεί να συμβαίνει γιατί το αρχικό μίγμα δεν είχε καθόλου απόμειξη, με αποτέλεσμα η προσθήκη του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες να καθιστά το μίγμα πιο ύφουγρο και να περνά πιο αργά τη συσκευή της χοάνης και γιατί η συσκευή της χοάνης στα τσιμεντοκονιάματα δε δίνει άμεσα στοιχεία για την απόμειξη του μίγματος.

**Μεταβολή του χρόνου χοάνης συναρτήσει της ποσότητας του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες**



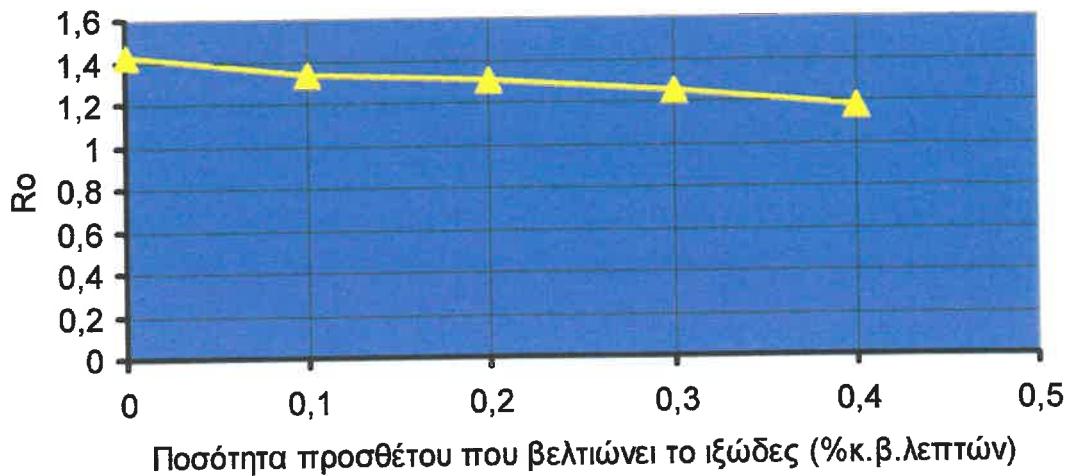
Σχήμα 7.7.1

**Μεταβολή της εξάπλωσης συναρτήσει της ποσότητας προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες**



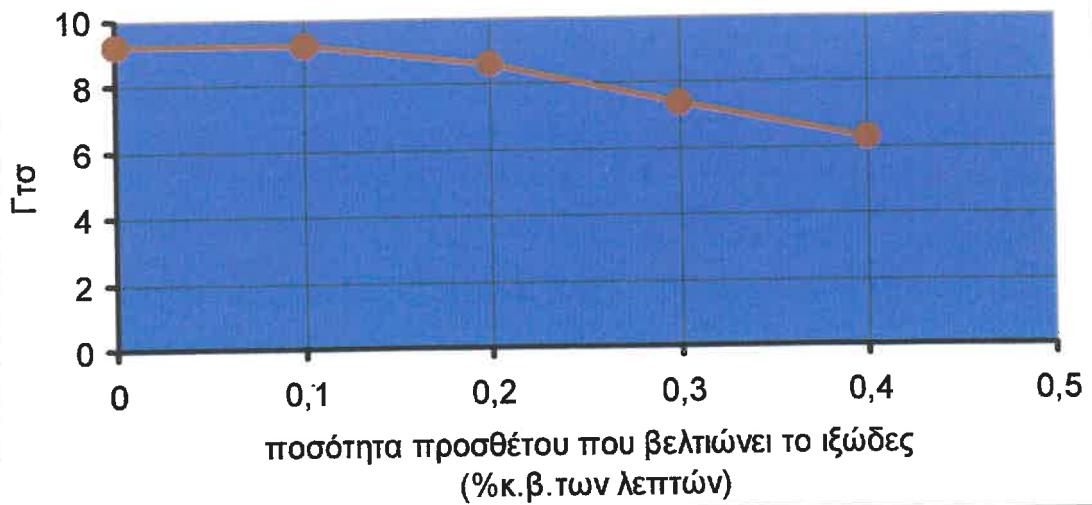
Σχήμα 7.7.2

**Μεταβολή του δείκτη  $R_0$  συναρτήσει της ποσότητας του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες**



Σχήμα 7.7.3

**Μεταβολή του δείκτη  $\Gamma_{\sigma}$  συναρτήσει της ποσότητας του προσθέτου που βελτιώνει το ιξώδες**



Σχήμα 7.7.4

### 7.8. Επιρροή του λόγου Αμμος/Τσιμεντοκονίαμα στις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος

Στη διεθνή βιβλιογραφία ο λόγος Αμμος/Τσιμεντοκονίαμα θεωρείται ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Από τα πειράματα που έγιναν στο σκυρόδεμα δε μπόρεσε να μελετηθεί αναλυτικά ποια είναι η επιρροή του λόγου αυτού στη συμπεριφορά του μίγματος. Ακόμα, δεν παρατηρήθηκε ότι με την αύξησή του ή τη μείωση του βελτιώνονταν τα χαρακτηριστικά της εξάπλωσης ή του χρόνου χοάνης. Θα πρέπει να σημειωθεί πάντως ότι όλοι οι τύποι άμμων που χρησιμοποιήθηκαν στο Εργαστήριο περιέχουν μεγάλο ποσοστό παιπάλης, η οποία γενικά δρα ευεργετικά στη ρευστότητα του μίγματος. Η ιδιοτυπία αυτή των άμμων στον ελληνικό χώρο (μεγάλο ποσοστό παιπάλης) τις καθιστά ξεχωριστές από αυτές του εξωτερικού όπου το ποσοστό παιπάλης είναι πιο μικρό, οπότε είναι λογικό να παρατηρούνται αποκλίσεις από τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τρία μίγματα με παραπλήσια χαρακτηριστικά, στα οποία μεταβαλλόταν μόνο ο λόγος της άμμου/τσιμεντοκονίαμα. Οι αναλογίες των τριών μιγμάτων στο  $m^3$  τσιμεντοκονιάματος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Ποσότητες	Μίγμα A	Μίγμα B	Μίγμα Γ
Τσιμέντο	648	648	648
"Αμμος Γ	1309	1209	1109
Παιπάλη άμμου	183	169	155
Παιπάλη	58	161	265
Υπερ.(%κ.β.λεπτών)	0,9	0,9	0,9
Νερό	259	259	259
A/T % (κ.ο.)	43	40	36

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι στον υπολογισμό του λόγου Αμμος/Τσιμεντοκονίαμα, ως άμμος λαμβάνεται η διαφορά (άμμος-παιπάλη άμμου).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξάπλωσης και χοάνης εμφανίζονται στον πίνακα 7, καθώς και στα σχήματα 7.8.1, 7.8.2, 7.8.3, 7.8.4 που ακολουθούν στο τέλος του κεφαλαίου.

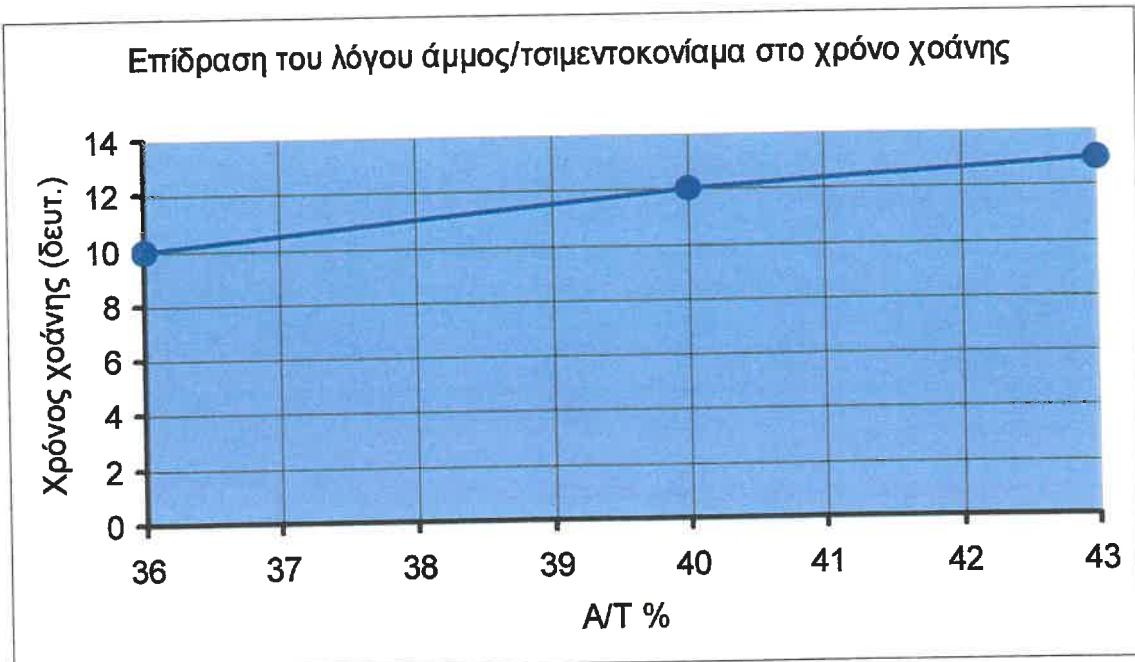
	A/T (%)	Εξάπλωση (mm)	Χρόνος χοάνης (sec)	R0	Γτο
Μίγμα A	43	340	13	0,769231	10,56
Μίγμα B	40	360	12	0,833333	11,96
Μίγμα Γ	36	370	10	1	12,69
Πίνακας 7					

#### Συμπέρασμα

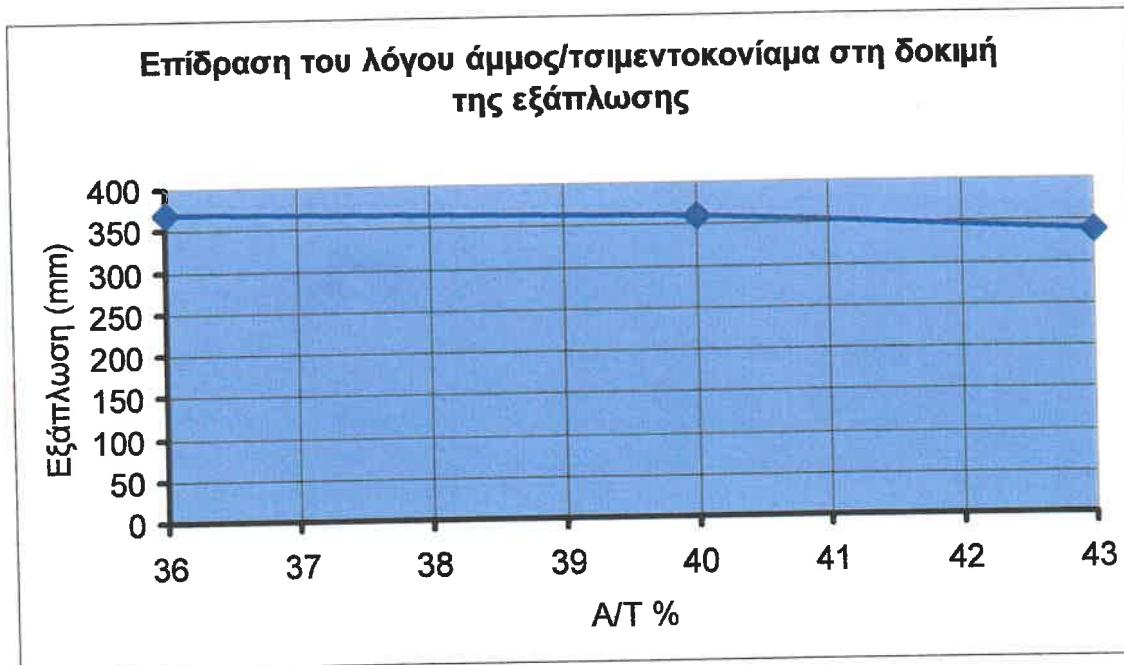
Ο λόγος Αμμου/Τσιμεντοκονίαμα φαίνεται τελικά ότι επηρεάζει τις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος. Η μείωσή του επιδρά θετικά τόσο στην παραμορφωσιμότητα όσο και στην αντίσταση στην απόμειξη του μίγματος όπως άλλωστε διακρίνεται κι από τις μετρήσεις εξάπλωσης και χοάνης.

Αντίστοιχα συμπεράσματα δεν υπήρχαν στα αντίστοιχα πειράματα που έγιναν στο σκυρόδεμα. Έτσι, υπήρχαν επιτυχημένα μίγματα με αυξημένο λόγο άμμος/τσιμεντοκονίαμα, ενώ άλλα με μικρότερο λόγο εμφάνιζαν πολύ χειρότερη συμπεριφορά (μεγάλη τάση για απόμειξη, μικρή παραμορφωσιμότητα). Στα τσιμεντοκονιάματα αντίθετα είναι εμφανές ότι σταθερή μείωση του λόγου άμμος/τσιμεντοκονίαμα έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των ιδιοτήτων του τσιμεντοκονιάματος.

Αυτό που θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον είναι η εύρεση του βέλτιστου ποσοστού της άμμου στο τσιμεντοκονίαμα, γιατί λογικά κάτω από ένα ορισμένο όριο η μείωση της άμμου πρέπει να δρα αρνητικά για το μήγμα. Η εύρεση του ελάχιστου αυτού ορίου δε μπόρεσε να μελετηθεί στις παραπάνω δοκιμές κι αποτελεί ένα ενδιαφέρον θέμα για περαιτέρω διερεύνηση.

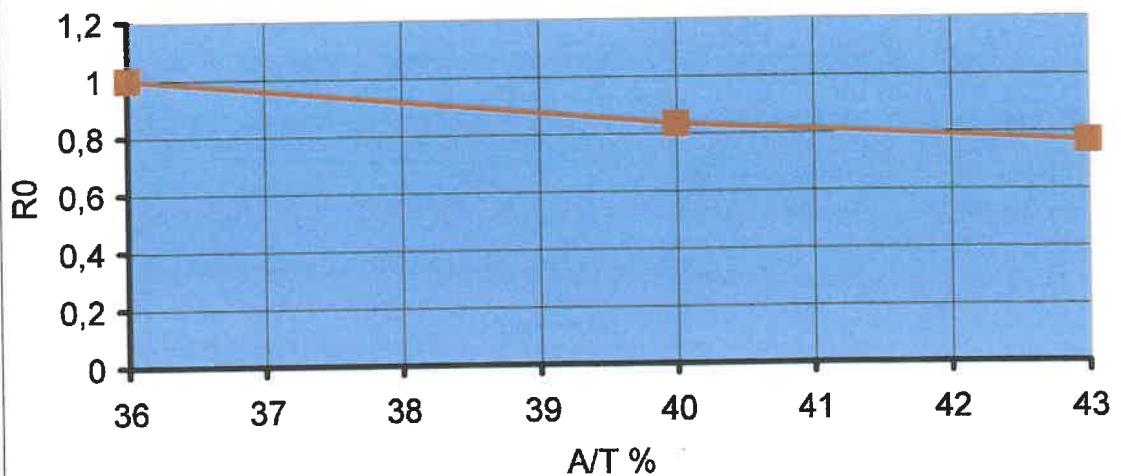


Σχήμα 7.8.1



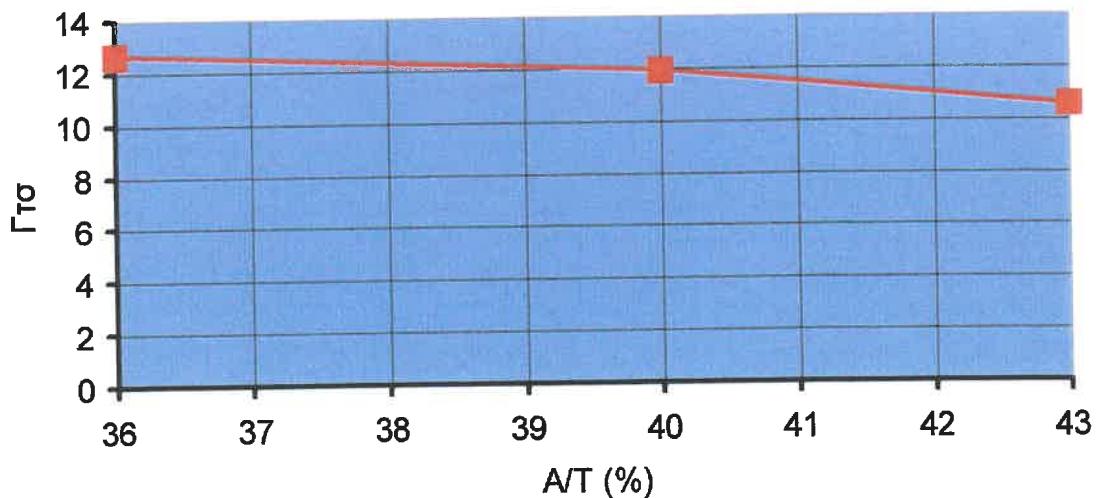
Σχήμα 7.8.2

**Επίδραση του λόγου άμμος/τσιμεντοκονίαμα στο δείκτη R<sub>0</sub> της δοκιμής της χοάνης**



Σχήμα 7.8.3

**Επίδραση του λόγου Άμμος/Τσιμεντοκονίαμα στο δείκτη Γτσ της εξάπλωσης**



Σχήμα 7.8.4

### 7.9. Επιρροή δύο διαφορετικών τύπων υπερρευστοποιητή στις ιδιότητες του τσιμέντοκονιάματος

Για τις ανάγκες αυτού του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δύο μίγματα με ακριβώς τις ίδιες αναλογίες υλικών και ίδια ποσότητα υπερρευστοποιητή. Ο δεύτερος υπερρευστοποιητής που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου CHEM 172, ενώ ο πρώτος είναι αυτός που χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα προηγούμενα πειράματα (Glenium). Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκε το μίγμα 2, μιας και υπήρχε ήδη η μία μέτρηση και ήταν πιο βολικό. Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στον πίνακα 8 και στα σχήματα 7.9.1, 7.9.2, 7.9.3, 7.9.4 στο τέλος του κεφαλαίου.

Ποσό υπερρευστοποιητή	t0 (α)	to(β)	εξαπλ. (α)	εξάπλ. (β)	Ro (α)	Ro (β)	Γτ(α)	Γτ (β)
0,5	9,5	15	270	200	1,053	0,667	6,29	3
0,6	7	7,5	320	250	1,429	1,333	9,24	5,25
0,7	5,3	7	350	280	1,887	1,429	11,25	6,84

Πίνακας 8

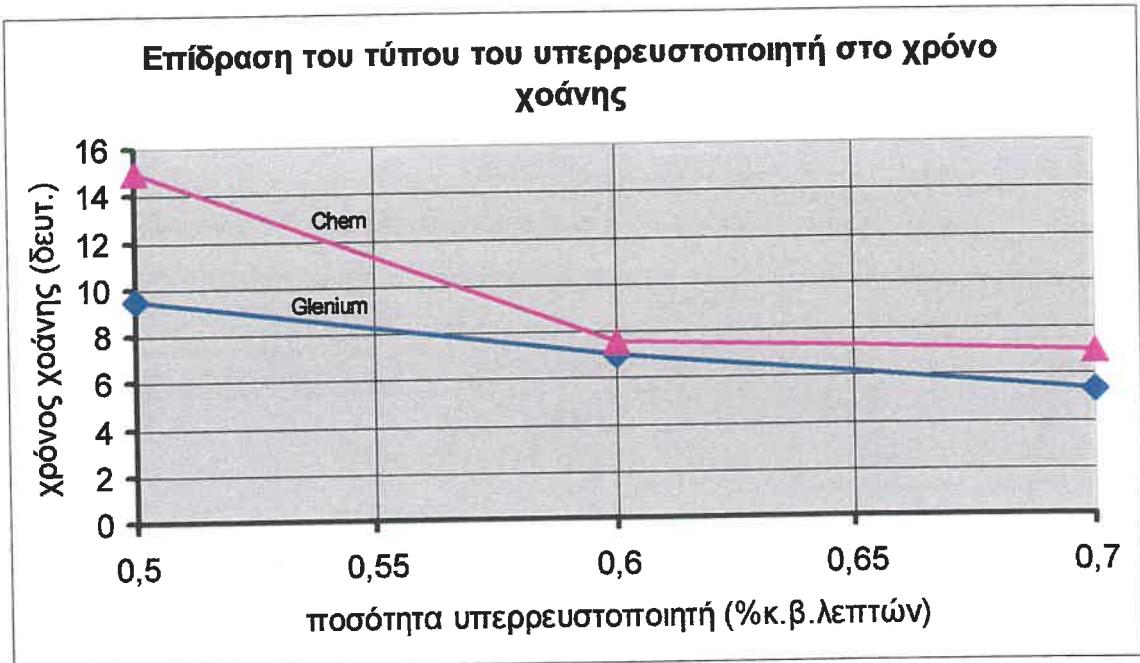
#### Συμπέρασμα

Είναι φανερό ότι ο τύπος του υπερρευστοποιητή επηρεάζει τις ιδιότητες του τσιμέντοκονιάματος. "Οπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, οι διαφορές στην εξάπλωση των δύο μιγμάτων είναι πολύ μεγάλη, ενώ μικρότερη είναι η διαφορά στους χρόνους χοάνης.

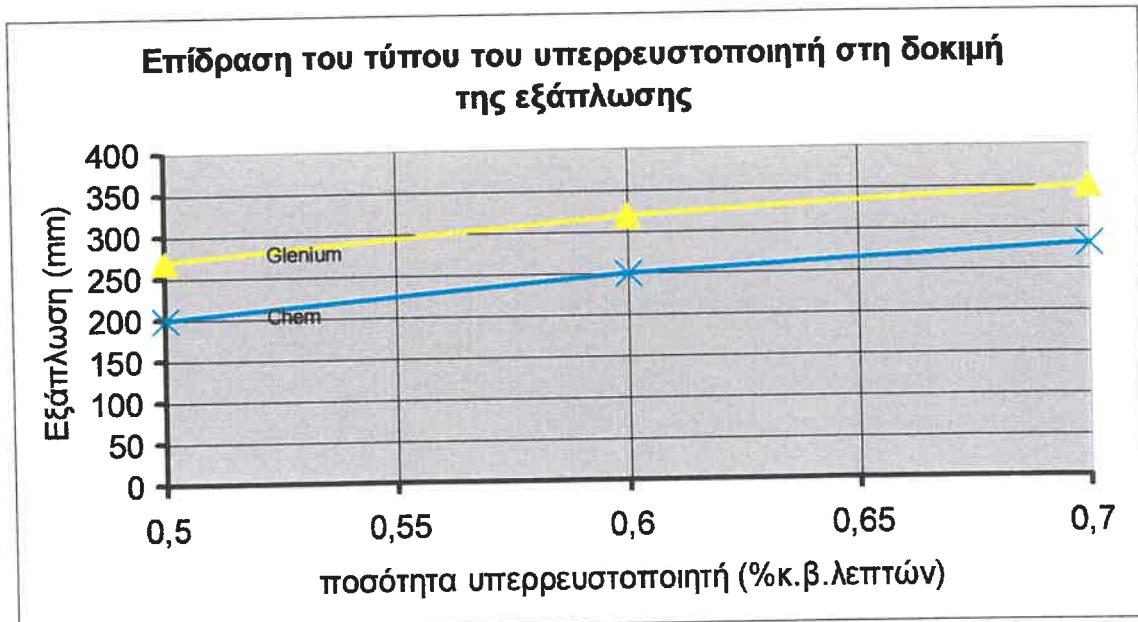
Οι κλίσεις των δύο διαγραμμάτων χρόνου χοάνης-ποσότητα υπερρευστοποιητή (βλ. Σχήμα 7.9.1) είναι διαφορετικές για τα δύο μίγματα που σημαίνει ότι η μεταβολή της ποσότητας του κάθε υπερρευστοποιητή επιδρά διαφορετικά στο κάθε μίγμα. Έτσι, στο μεν πρώτο μίγμα παρατηρείται σταθερή μείωση του χρόνου χοάνης, στο δεύτερο η μείωση του χρόνου ακολουθεί ένα μεταβαλλόμενο ρυθμό (μεγάλη μείωση στην αρχή, ελάχιστη μετά), με αποτέλεσμα να μη μπορούν να εξαχθούν γενικής ισχύος συμπεράσματα για την επίδραση που έχει ο δεύτερος υπερρευστοποιητής στη δοκιμή της χοάνης. Αντίθετα, η μεταβολή της εξάπλωσης ακολουθεί σχετικά σταθερό ρυθμό και στις δύο περιπτώσεις.

Οι μεγάλες διαφορές που παρατηρούνται στις ιδιότητες του μίγματος με τη χρήση των δύο διαφορετικών τύπων υπερρευστοποιητή μπορούν να δικαιολογηθούν από το εξής :

Κάθε τύπος υπερρευστοποιητή παρουσιάζει διαφορετική συμβατότητα για κάθε είδος τσιμέντου. Έτσι, για κάθε διαφορετικό τύπο τσιμέντου υπάρχει μια διαφορετική βέλτιστη ποσότητα υπερρευστοποιητή, η οποία προκαλεί την ίδια ρευστότητα στο μίγμα. Στην περίπτωση του τσιμέντου που χρησιμοποιήσαμε στο Εργαστήριο παρατηρούμε ότι υπάρχει καλύτερη συμβατότητα με τον πρώτο τύπο του υπερρευστοποιητή, αφού με μικρότερη ποσότητα πετυχαίνονται καλύτερα ρεολογικά χαρακτηριστικά για το μίγμα, ενώ ο δεύτερος φαίνεται να είναι λιγότερο αποτελεσματικός.

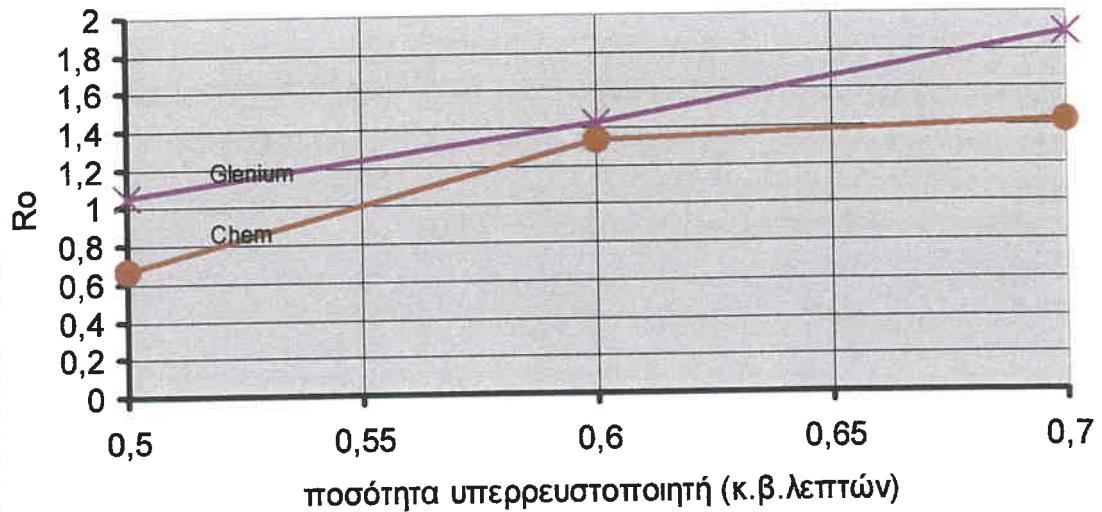


**Σχήμα 7.9.1**



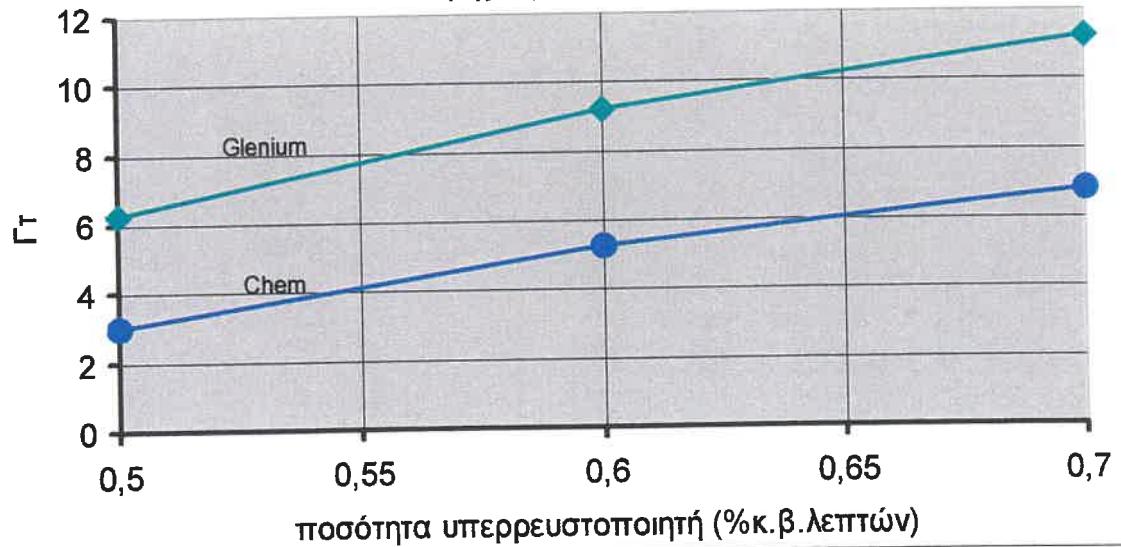
**Σχήμα 7.9.2**

**Επίδραση του τύπου του υπερρευστοποιητή στο δείκτη  
R<sub>0</sub> της δοκιμής της χοάνης**



**Σχήμα 7.9.3**

**Επίδραση του τύπου του υπερρευστοποιητή στο δείκτη Γτ σ της  
δοκιμής της εξάπλωσης**



**Σχήμα 7.9.4**

## 7.10. Επιρροή του είδους του τσιμέντου στις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος

Για τις ανάγκες της σύγκρισης αυτης χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο τύπου II/45. Το μίγμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το ήδη δοκιμασμένο μίγμα 2 . Το μόνο που διαφοροποιήθηκε ήταν ο τύπος του τσιμέντου. Τα αποτελέσματα των δοκιμών φαίνονται στον πίνακα 9 καθώς και στα σχήματα 7.10, 7.11, 7.12, 7.13 που ακολουθούν στο τέλος του κεφαλαίου.

Ποσό υπερρευστοποιητή	t0 (α)	t0(β)	εξάπλ.(α)	εξάπλ. (β)	Ro (α)	Ro (β)	Γτ(α)	Γτ (β)
0,9	11	46	310	210	0,906	0,217	8,61	3,41
1,1	7,5	28	360	230	1,333	0,357	11,96	4,29
1,2	7	23	365	240	1,429	0,435	12,32	4,76

Πίνακας 9

### Συμπέρασμα

Οι διαφορές που παρατηρούνται είναι τεράστιες, τόσο στη δοκιμή της εξάπλωσης όσο και στη δοκιμή της χοάνης, παρ'όλο που χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες ποσότητες υπερρευστοποιητή. Οι μη ικανοποιητικές τιμές για το δεύτερο μίγμα υποδηλώνουν ότι αυτό χρειάζεται επιπλέον ποσότητα υπερρευστοποιητή για να αποκτήσει την απαιτούμενη ρευστότητα. Τίθεται πάλι το θέμα της θεωρίας της συμβατότητας τσιμέντου-υπερρευστοποιητή, βάσει της οποίας κάθε τύπος τσιμέντου απαιτεί διαφορετική βέλτιστη ποσότητα ρευστοποιητή για να αποκτήσει την απαιτούμενη ρευστότητά του.

Για να εξηγηθεί η θεωρία της συμβατότητας πρέπει πρώτα να αναλυθεί πως επιδρά κάθε τύπος υπερρευστοποιητή σε κάθε τύπο τσιμέντου, για να δώσει στο σκυρόδεμα την απαιτούμενη εργασιμότητα. Οι υπερρευστοποιητές αποτελούνται από μεγάλα και βαριά μόρια, τα οποία περιβάλλουν τους κόκκους του τσιμέντου και τους δίνουν ένα μεγάλο αρνητικό φορτίο, το οποίο τους οδηγεί στη μεταξύ τους απώθηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το διασκορπισμό των κόκκων του τσιμέντου και την αύξηση της εργασιμότητας του μίγματος. Η δομή του ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού δε μεταβάλλεται, αλλά ένα μέρος του υπερρευστοποιητή αντιδρά με το αργιλικό τριασβέστιο (C<sub>3</sub>A) του τσιμέντου Πορτλαντ. Είναι απαραίτητο να υπενθυμίσουμε ότι το αργιλικό τριασβέστιο είναι το πρώτο από τα συστατικά του τσιμέντου που ενυδατώνεται και η αντίδραση αυτή ελέγχεται από την ποσότητα της γύψου στο τσιμέντο. Ως γνωστό ενώ η γύψος από μόνη της είναι ταχύπηκτη, σε ποσότητα μέχρι 3% παρεμποδίζει το επίσης ταχύπηκτο αργιλικό τριασβέστιο με επιβραδυντικό αποτέλεσμα. Σε ποσότητες δύως μεγαλύτερες από 3 % αρχίζει πάλι να επικρατεί η επιταχυντική της δράση.

Έτσι, δημιουργείται μια κατάσταση όπου τόσο οι υπερρευστοποιητές όσο και η γύψος αντιδρούν με το αργιλικό τριασβέστιο. Παρ'όλο που μια συγκεκριμένη ποσότητα υπερρευστοποιητή είναι απαραίτητη για να επιτευχθεί επαρκής εργασιμότητα , είναι απαραίτητο να μη δεσμευτεί ολόκληρη η ποσότητα του υπερρευστοποιητή από το αργιλικό τριασβέστιο. Η ολική δέσμευση θα προέκυπτε αν η γύψος (CaSO<sub>4</sub>) δεν απελευθέρωνε τα θειικά ιόντα αρκετά γρήγορα για να αντιδράσουν με το αργιλικό τριασβέστιο. Όταν τα παραπάνω ιόντα απελευθερώνονται πολύ αργά, τότε λέμε ότι το τσιμέντο Πορτλαντ και ο υπερρευστοποιητής είναι ασύμβατοι.

Πρακτικά, ο παράγοντας που καθορίζει την παραπάνω συμβατότητα είναι η διαλυτότητα της γύψου του τσιμέντου Πόρτλαντ που χρησιμοποιείται. Ο όρος γύψος χρησιμοποιείται για να περιγράψει το θειικό ασβέστιο στο τσιμέντο Πόρτλαντ, το οποίο μπορεί να

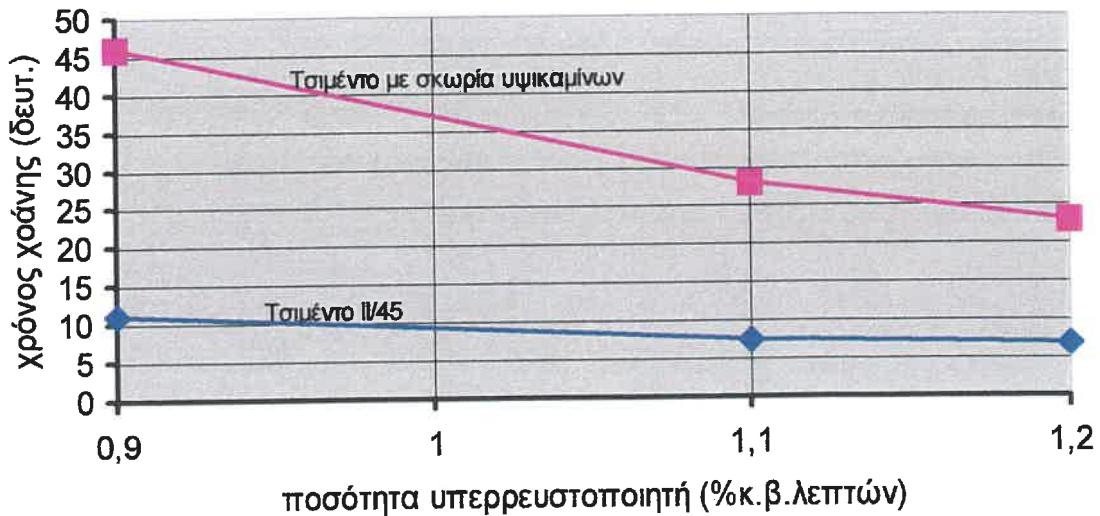
υπάρχει σε διαφορετικές μορφές κι εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του τσιμέντου. Έτσι μπορεί να έχει τη μορφή θεικού ασβεστίου διωδρίτη, ημιωδρίτη κι ανυδρίτη. Καθε μία μορφή γύψου από τις παραπάνω έχει διαφορετική διαλυτότητα.

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι δύο τσιμέντα Πόρτλαντ μπορούν να έχουν ίδιο ποσοστό θεικών ιόντων αλλά η προέλευση των θεικών ιόντων είναι αυτή που καθορίζει το ποσοστό αυτών των ιόντων που θα αντιδράσουν με το αργιλικό τριασβέστιο. Αν υπάρχει μικρό ποσοστό θεικών ιόντων με μεγάλη διαλυτότητα όλη η ποσότητα του υπερρευστοποιητή δεσμεύεται από το αργιλικό τριασβέστιο κι έτσι δεν επαρκεί για να αποκτήσει το μήγμα του σκυροδέματος την απαιτούμενη εργασιμότητα.

Το πρόβλημα της συμβατότητας μπορεί να επιλυθεί, γιατί έχει διαπιστωθεί οτι για κάθε τσιμέντο Πόρτλαντ υπάρχει ένα βέλτιστο ποσοστό διαλυτών θεικών ιόντων που διασφαλίζει τη συμβατότητα με ένα ορισμένο τύπο υπερρευστοποιητή.

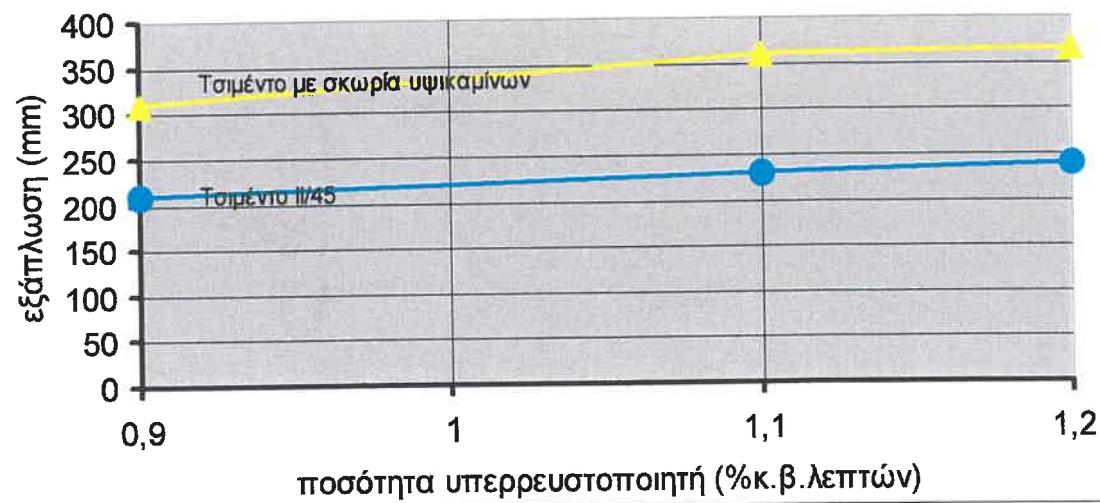
Με τη χρησιμοποίηση της παραπάνω θεωρίας είναι πλέον προφανές γιατί παρατηρήθηκαν μεγάλες αποκλίσεις των αποτελεσμάτων ανάμεσα στα δύο τσιμέντα.

**Επίδραση του τύπου του τσιμέντου στο χρόνο χοάνης**



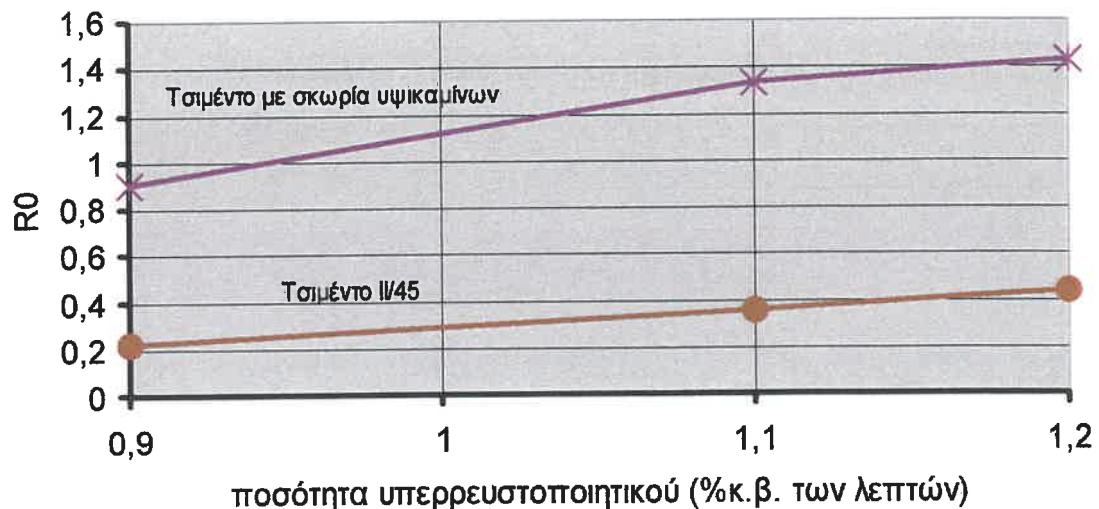
Σχήμα 7.10.1

**Επίδραση του τύπου του τσιμέντου στη δοκιμή της εξάπλωσης**



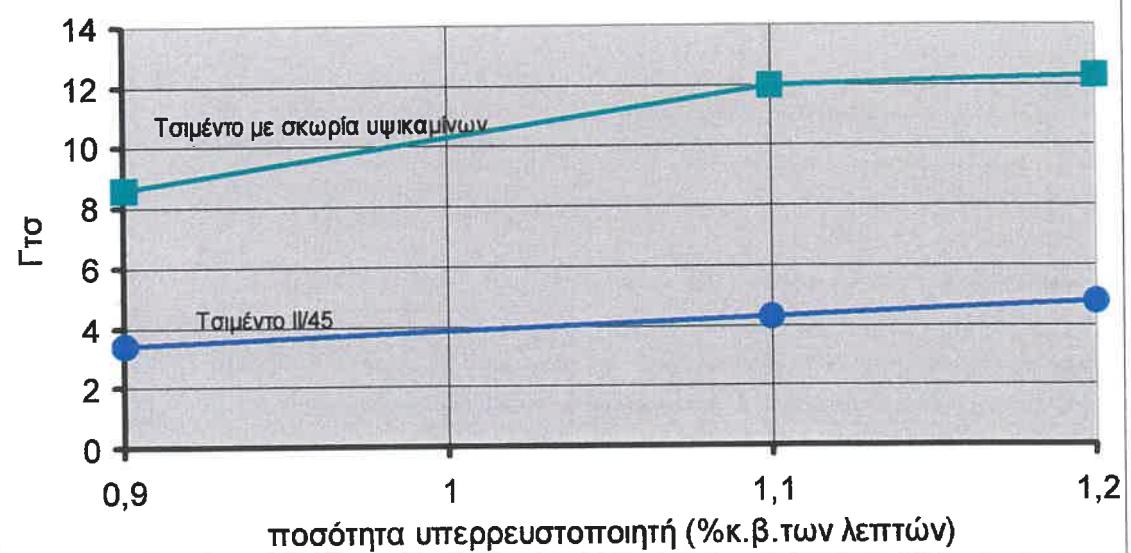
Σχήμα 7.10.2

**Επίδραση του τύπου του τσιμέντου στο δείκτη  $R_0$  του χρόνου χοάνης**



Σχήμα 7.10.3

**Επίδραση του τύπου του τσιμέντου στο δείκτη Γτσ**



Σχήμα 7.10.4

## 7.11. Επιρροή των είδους της άμμου στις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος

Για τις ανάγκες του πειράματος αυτού χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί τύποι άμμων, η άμμος Β και η άμμος Γ, με ακριβώς τις ίδιες αναλογίες συνθέσεως. Το μίγμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το μίγμα 2, ενώ οι αναλογίες υλικών στο  $m^3$  του τσιμεντοκονιάματος δε διαφοροποιούνται, αφού οι δύο άμμοι έχουν το ίδιο ειδικό βάρος ( $2,7 \text{ t/m}^3$ ). Το μόνο που επιφέρει η αλλαγή της άμμου είναι η διαφοροποίηση του ποσοστού των λεπτών υλικών, αφού η άμμος Β περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό παπάλης απ' ότι η άμμος Γ (18 έναντι 14%).

Έτσι, ενώ στο πρώτο μίγμα το βάρος των λεπτών είναι  $1040 \text{ kg/m}^3$  στο δεύτερο θα είναι  $1116 \text{ kg/m}^3$ . Τα αποτέλεσματα των μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα 10, καθώς και στα σχήματα 7.11.1, 7.11.2, 7.11.3, 7.11.4 που ακολουθούν στο τέλος του κεφαλαίου.

Ποσό υπερρευστοποιητή	t0 (α)	t0 (β)	εξάπλ. (α)	εξάπλ.(β)	Ro (α)	Ro (β)	Γτ(α)	Γτ (β)
0,5	9,5	15	270	120	1,053	0,667	6,29	0,44
0,6	7	9	320	175	1,429	1,111	9,24	2,063
0,7	5,3	5,8	350	265	1,887	1,724	11,25	6,023

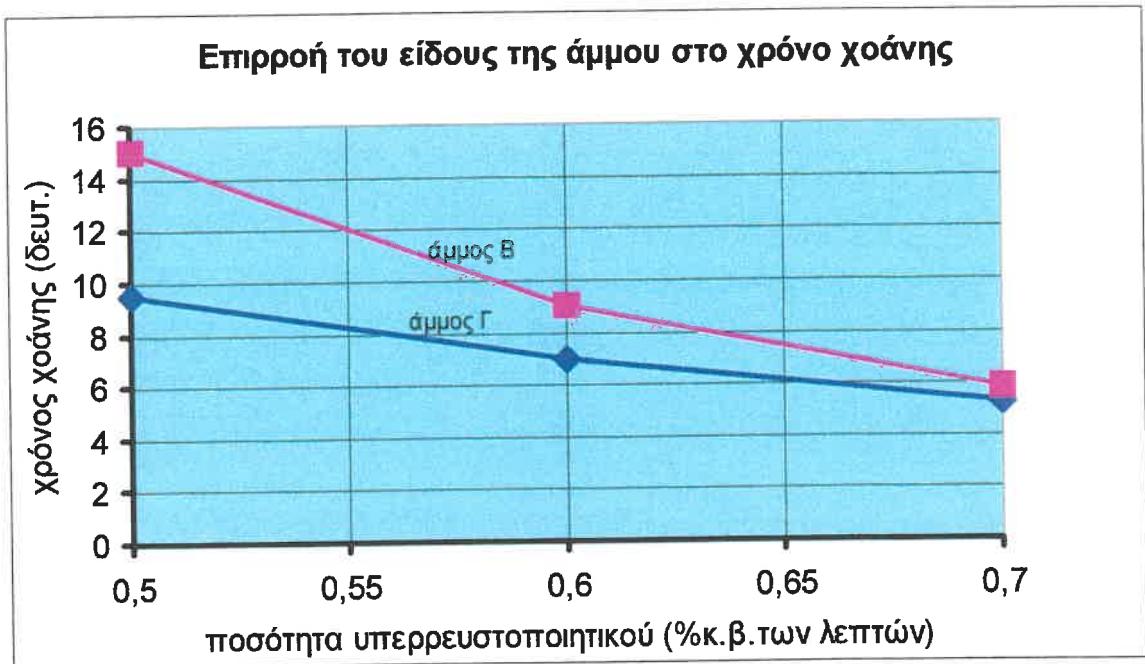
Πίνακας 10

### Συμπέρασμα

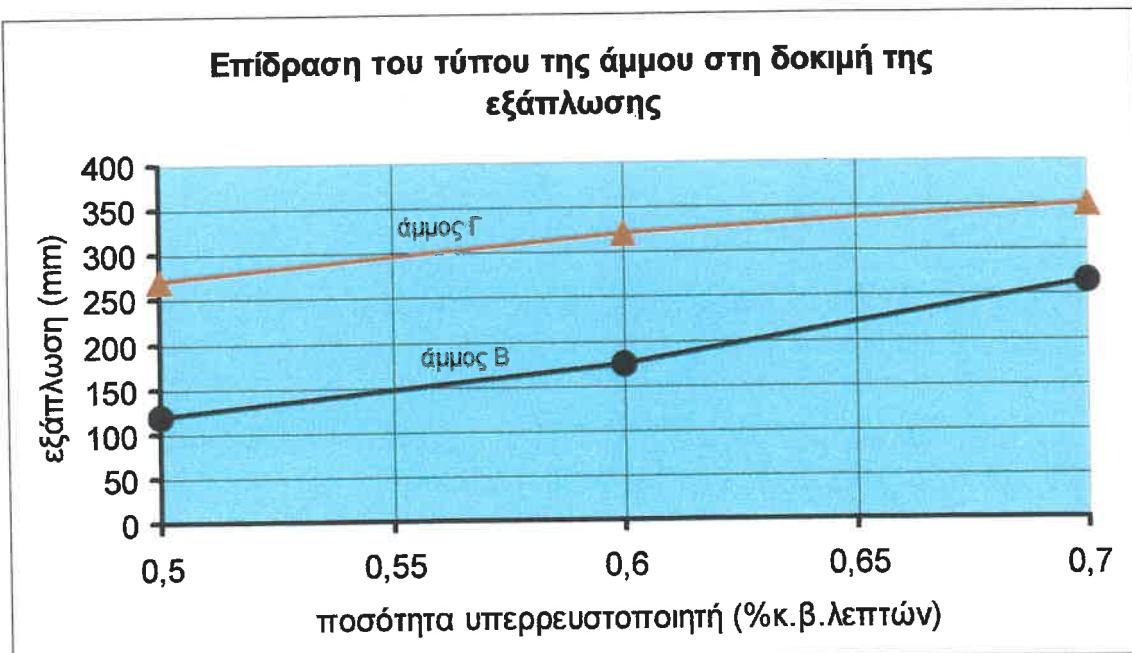
Οι διαφορές που παρατηρούνται είναι τεράστιες, ιδιαίτερα στην εξάπλωση (Σχήμα 7.11.2), παρ'όλο που χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες ποσότητες υπερρευστοποιητή. Στη δοκιμή της χοάνης (Σχήμα 7.11.1) η κλίση του διαγράμματος χρόνος χοάνης-ποσότητα υπερρευστοποιητή στον δεύτερο τύπο άμμου είναι πολύ πιο έντονη που σημαίνει ότι η δοκιμή της χοάνης είναι πιο ευαίσθητη στις μεταβολές του υπερρευστοποιητή για το δεύτερο τύπο άμμου. Στη δοκιμή της εξάπλωσης παρατηρείται για ακόμα μια φορά σχετικά σταθερός ρυθμός μεταβολής της εξάπλωσης και για τα δύο μίγματα.

Ως αίτιο γι' αυτή τη μεγάλη διαφοροποίηση που παρατηρείται ανάμεσα στους δύο τύπους της άμμου μπορούμε να θεωρήσουμε την διαφορετική τους κοκκομετρική διαβάθμιμισης. Όπως φαίνεται κι από τα αντίστοιχα διαγράμματα κοκκομετρικής διαβαθμίσεως, η άμμος τύπου Β είναι πολύ πιο λεπτόκοκκη από την άμμου τύπου Γ, με αποτέλεσμα να απαιτείται περισσότερη ποσότητα υπερρευστοποιητικού, για να αποκτηθεί η επιθυμούμενη εργασιμότητα.

Επίσης, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ενώ η δοκιμή της χοάνης έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα και στους δύο τύπους άμμων, στη δοκιμή της εξάπλωσης η άμμος τύπου Β εμφανίζει πολύ μικρή παραμορφωσιμότητα. Ως αίτιο αυτής της μικρής παραμορφωσιμότητας μπορούμε να υποθέσουμε ότι ευθύνεται το σχήμα των κόκκων της άμμου, το οποίο δεν πρέπει να είναι σφαιρικό, αν παρατηρήσουμε τη δυσκολία με την οποία εξαπλώνεται το τσιμεντοκονίαμα. Ακόμα, υπάρχει η υποψία ότι στην άμμο τύπου Β υπήρχε ποσοστό αργιλού, με αποτέλεσμα να εμφανίζει κάποια πλαστιμότητα και συνοχή η οποία εμποδίζει την άνετη εξάπλωση του μίγματος.

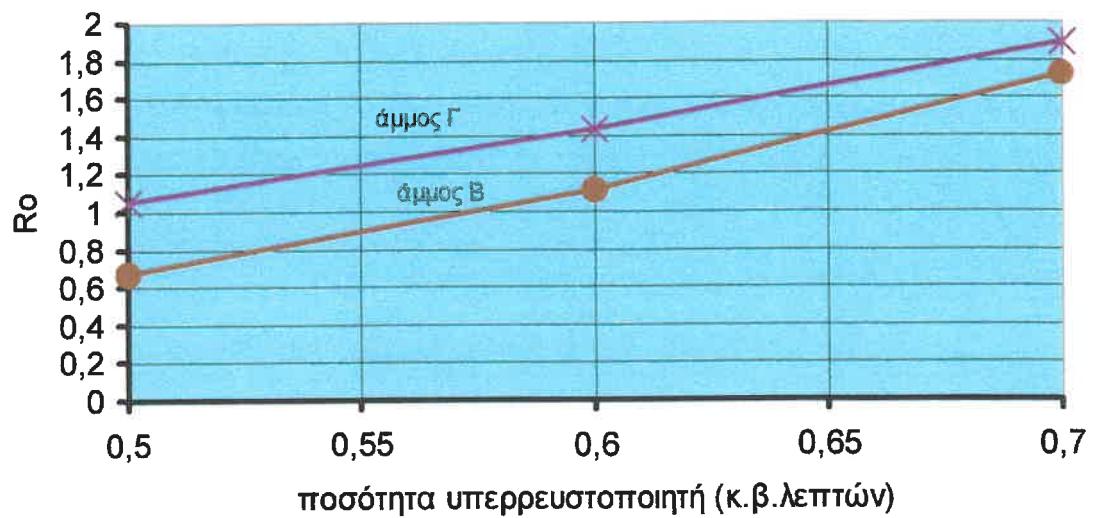


Σχήμα 7.11.1



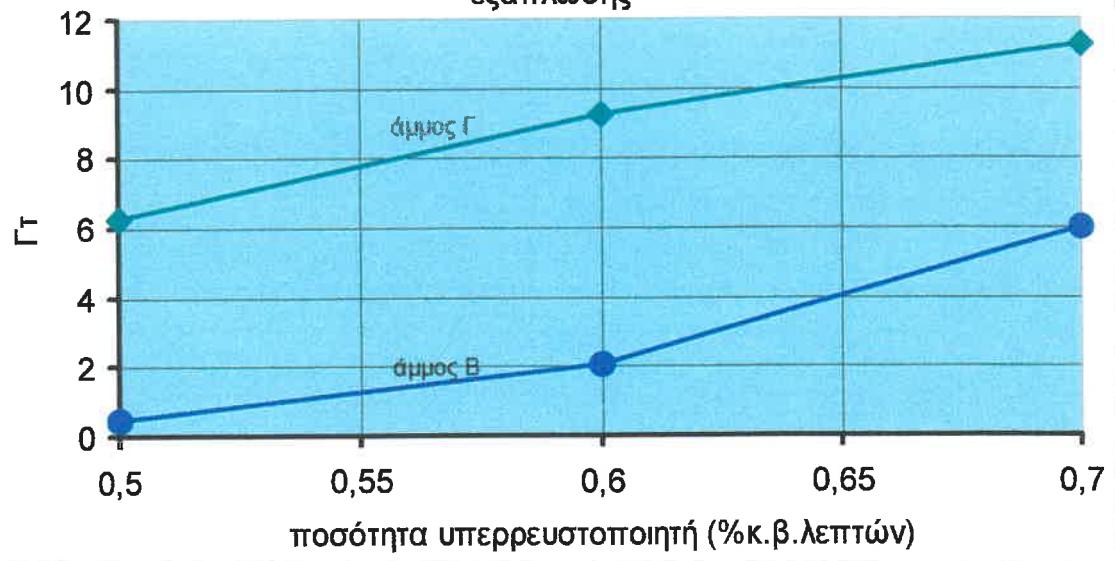
Σχήμα 7.11.2

**Επίδραση του τύπου της άμμου στο δείκτη  $R_0$  της δοκιμής της χοάνης**



**Σχήμα 7.11.3**

**Επίδραση του τύπου της άμμου στο δείκτη  $\Gamma$  της δοκιμής της εξάπλωσης**



**Σχήμα 7.11.4**

## 7.12. Επίδραση ποσότητας πυριτικής μικροπαιπάλης στις ιδιότητες του τσιμεντοκονιάματος

Η πυριτική μικροπαιπάλη είναι ένα πολύ δραστικό λεπτό υλικό, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως διεθνώς για τη σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Στο Εργαστήριο δε χρησιμοποιήθηκε πολύ λόγω της ακρίβειάς της και της αντιοικονομικότητας που επιφέρει στο μίγμα. Έχει όμως ενδιαφέρον πως η αύξηση της ποσότητάς της επιδρά στα χαρακτηριστικά του τσιμεντοκονιάματος. Το αρχικό μίγμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το εξής:

Μίγμα 5

Τσιμέντο	:	654 kg/m <sup>3</sup>
Πυριτική μικροπαιπάλη	:	19 kg/m <sup>3</sup> (2% κ.β. του τσιμέντου)
Άμμος Γ	:	1322 kg/m <sup>3</sup>
Νερό	:	262 kg/m <sup>3</sup>
Υπερ	:	3,64 kg/m <sup>3</sup> (0,6 % κ.β. λεπτών)
Θεωρ.πυκν.		
για α=2,6%	:	2261 kg/m <sup>3</sup>

Στη συνέχεια αυξάναμε την ποσότητα της πυριτικής μικροπαιπάλης ως προς το τσιμέντο, διατηρώντας το ποσοστό του υπερρευστοποιητή ως προς το βάρος των λεπτών υλικών σταθερό (0,6% κατά βάρος). Η διαδοχική αύξηση της ποσότητάς της πυριτικής μικροπαιπάλης προφανώς διαφοροποιεί τις αναλογίες συνθέσεως των υλικών στο m<sup>3</sup> του τσιμεντοκονιάματος. Οι αναλυτικές αναλογίες συνθέσεως των υλικών για κάθε διαφοροποίηση της ποσότητάς της πυριτικής μικροπαιπάλης εμφανίζονται στο Παράρτημα 'Σύνθεση των παραλλαγών των συνθέσεων των τσιμεντοκονιαμάτων'. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εμφανίζονται στον πίνακα 11 καθώς και στα σχήματα 7.12.1, 7.12.2, 7.12.3, 7.12.4 στο τέλος του κεφαλαίου.

Ποσότητα πυριτικής μικρ.(%κ.β. τσιμέντου)	χρ.χοάνης	εξάπλωση	R0	Γτσ.
2	3	330	3,33	9,89
5	4,5	260	2,22	5,76
8	8	230	1,25	4,29
10	9	210	1,11	3,41
12	19	120	0,53	0,44

Πίνακας 11

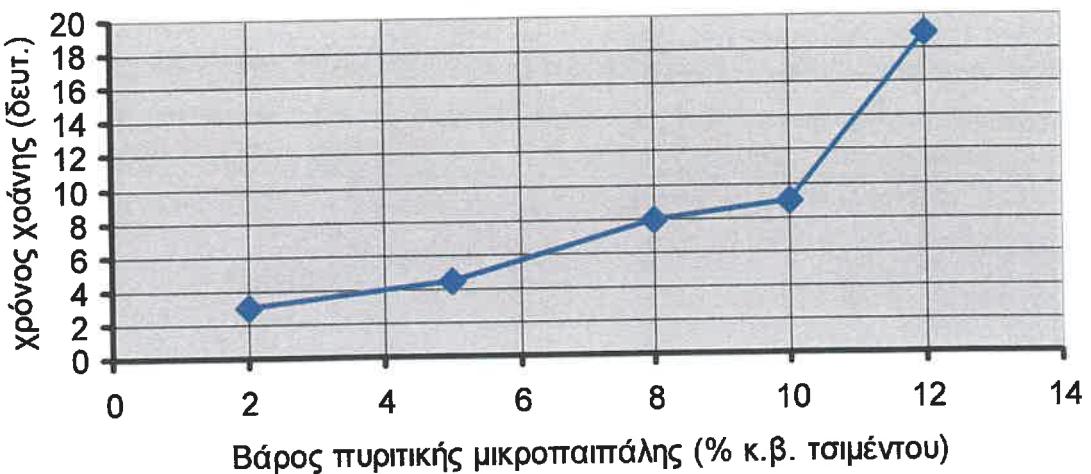
### Συμπέρασμα

Είναι φανερό ότι η αύξηση της πυριτικής μικροπαιπάλης μειώνει τη ρευστότητα του μίγματος. Η αύξησή της προκαλεί στην αρχή μικρή αύξηση του χρόνου χοάνης και σταδιακή μείωση της εξάπλωσης του μίγματος. Οι δύο παραπάνω μεταβολές γίνονται με σχετικά σταθερό ρυθμό αν εξαιρέσει κανείς την τελευταία δοκιμή όπου ο ρυθμός αύξησης του χρόνου χοάνης και μείωσης της εξάπλωσης γίνονται πολύ πιο έντονοι από πριν.

Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να εξηγηθούν από το εξής στοιχείο: Η πυριτική μικροπαιπάλη απορροφά μια ορισμένη ποσότητα νερού. Η αύξησή της στην ποσότητα του μίγματος απαιτεί επιπλέον ποσότητα νερού, έτσι ώστε το μίγμα να διατηρήσει την εργασιμότητά του. "Ομως η ποσότητα του νερού στο μίγμα παραμένει σταθερή με

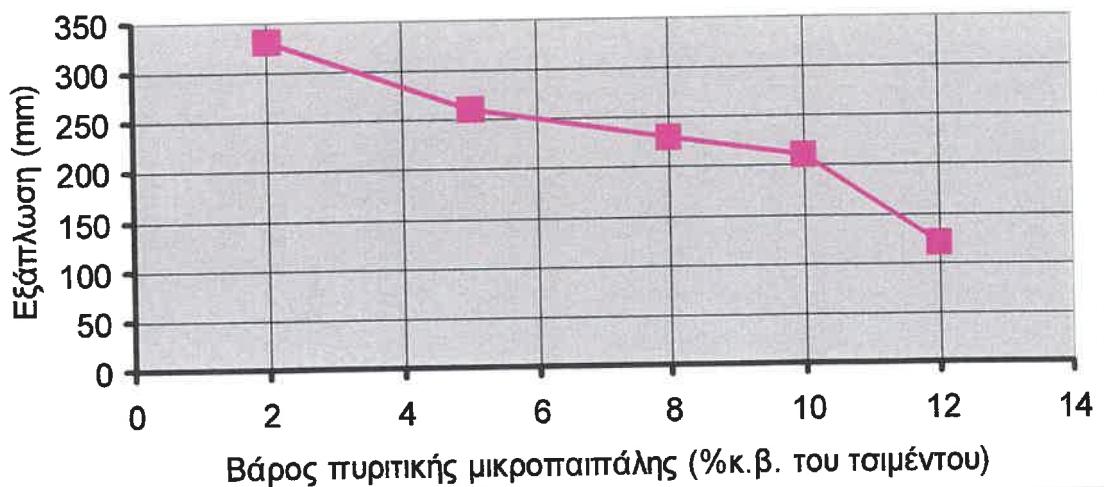
αποτέλεσμα να μειώνεται σταδιακά το νερό που είναι διαθέσιμο, για να περιβάλλει τους κόκκους του μίγματος και να χάνεται σταδιακά η ρευστότητά του, η οποία απεικονίζεται από την αύξηση του χρόνου της χοάνης και τη μείωση της εξάπλωσης.

**Μεταβολή του χρόνου χοάνης συναρτήσει της ποσότητας πυριτικής μικροπαιπάλης**



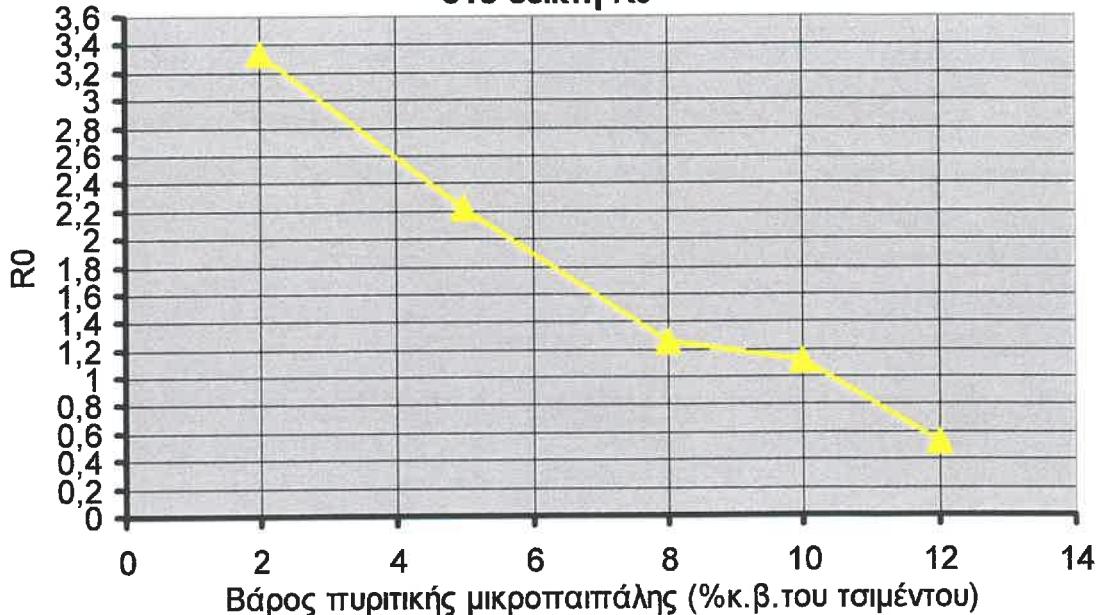
Σχήμα 7.12.1

**Μεταβολή της εξάπλωσης συναρτήσει της ποσότητας της πυριτικής μικροπαιπάλης**



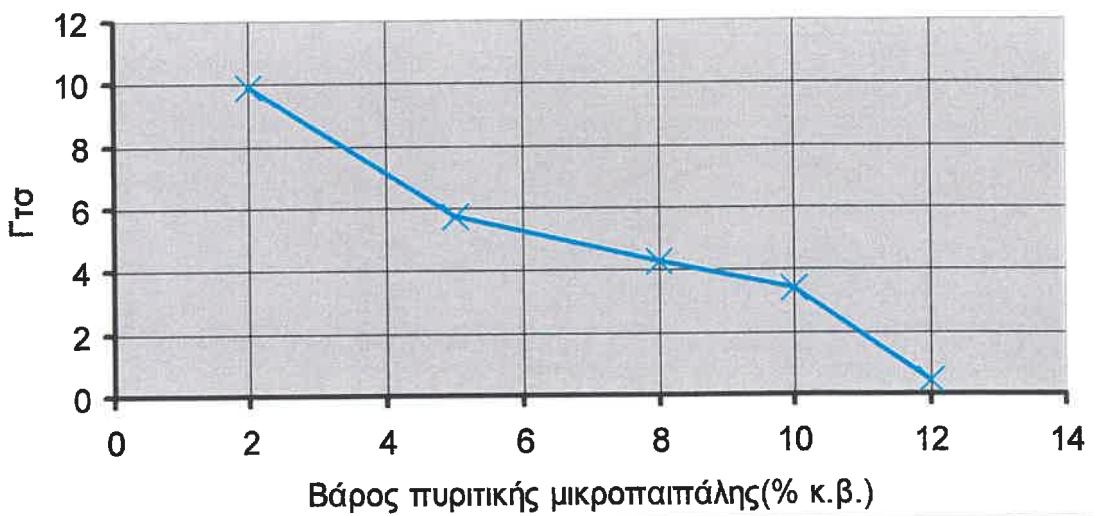
Σχήμα 7.12.2

**Επίδραση της ποσότητας της πυριτικής μικροπαιπάλης στο δείκτη  $R_0$**



**Σχήμα 7.12.3**

**Επίδραση της ποσότητας πυριτικής μικροπαιπάλης στο δείκτη  $\Gamma_{\text{TS}}$**



**Σχήμα 7.12.4**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΕΝΟΣ ΠΕΤΥΧΗΜΕΝΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ

Στη διεθνή βιβλιογραφία πολλοί ερευνητές θεωρούν ως καταλληλότερο τρόπο σύνθεσης του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος τη χρησιμοποίηση ενός πετυχημένου μίγματος τσιμεντοκονιάματος με την κατάλληλη προσθήκη χονδρόκοκκων αδρανών. Με βάση τη θεωρία αυτή, δημιουργήσαμε στο Εργαστήριο ένα τελευταίο μίγμα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος από ένα πετυχημένο μίγμα τσιμεντοκονιάματος του προηγούμενου κεφαλαίου. Το μίγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το μίγμα 2 της σύνθεσης τσιμεντοκονιάματων με την προσθήκη ίσης ποσότητας γαρμπιλιού και χαλικιού (συνολικά  $0,28m^3/m^3$  χονδρόκοκκων αδρανών). Οι αναλογίες συνθέσεως των υλικών του σκυροδέματος, καθώς και οι μετρήσεις των δοκιμών που έγιναν εμφανίζονται παρακάτω:

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

Τσιμέντο :	11,203 kg
Νερό :	4,796 kg
Γαρμπιλι :	8,316 kg
Χαλίκι :	8,316 kg
“Αμμος :	16,005 kg
Παιπάλη :	2,27 kg
Υπερευστοποιητικό :	110 ml (0,7 κ.β. των λεπτών) Ειδικό βάρος: 1,05
Πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες:	0 ml Ειδικό βάρος: 1,13

Νερό που απορροφήθηκε από τα αδρανή :  $0,006^* (8,316+8,316+8,316+1,270) = 0,1573$

Συνολικό νερό μίγματος :  $4,796+1/2*0,110 = 4,851 \text{ kg}$

Ενεργό νερό μίγματος :  $4,851-0,1573 = 4,641 \text{ kg}$

Υπολογισμός όγκων και αναλογιών στο  $m^3$  σκυροδέματος

	Βάρος	Ειδικό βάρος	lt	Kg/ $m^3$
Τσιμέντο	11,203	3,100	3,614	514
Νερό	4,641	1,000	4,641	213
Γαρμπιλι	8,316	2,700	3,080	381
Χαλίκι	8,316	2,700	3,080	381
“Αμμος	16,005	2,700	5,928	734
Ασβ.φίλλερ	2,270	2,680	0,850	105
Υπερ/κό	0,110	1,050	0,055	2,64
Βελτ. ιξώδους	0	1,130	0,000	0

Συνολικός όγκος υγρών και στερεών : 21,248  $2331 \text{ kg}/m^3$

Αέρας 2,6%: 0,552 Θεωρητική πυκνότητα

Συνολικός όγκος: 21,801 για ποσοστό κενών  
 $\alpha=2,6\%$

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

A/K	Ογκ.χονδ.	N/Λ (κ.β.)	N/Λ (κ.ο.)	Ογκ.λεπτ.	N/T	A/G/X
0,34	0,28	0,30	0,88	0,243	0,41	49/25,5/25,5

### Μεγέθη που μετρήθηκαν

Συσκευή χοάνης				Εξάπλωση			Δοχείο σχήματος 'U'	
t0	t5	R0	SF	Eξ	Γοκ	t500	Υψ.γεμ.	Χρ.γεμ.
8	15	1,25	0,875	650	9,56	5	335	6

### Συμπέρασμα

Το μήγμα αυτό του σκυροδέματος έδωσε θετικά αποτελέσματα όπως είχε δώσει και το αντίστοιχο τσιμεντοκονίαμα. Το μόνο αρνητικό που παρατηρήθηκε και δε μπορούσε να διαπιστωθεί στα τσιμεντοκονίαματα είναι η μερική απόμειξη του μίγματος, η οποία διαγράφεται μέσα από τη μεγάλη διαφορά των χρόνων t0 και t5. Για πρώτη φορά ο χρόνος χοάνης μετά από 5 λεπτά εμφανίζεται τόσο μεγαλύτερος από το χρόνο t0 που σημαίνει ότι το μήγμα έχει απομιχθεί κατά την ισορροπία του στη συσκευή της χοάνης. Κατά τα άλλα οι μετρήσεις είναι ικανοποιητικές, αφού όλες οι μετρήσεις των δοκιμών είναι μέσα στα όρια που προδιαγράφονται για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

Το παραπάνω μήγμα επιβεβαιώνει την άποψη ότι από ένα μήγμα πετυχημένου τσιμεντοκονιάματος μπορεί να δημιουργηθεί ένα πετυχημένο μήγμα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, μιας και οι περισσότερες ιδιότητες του δευτέρου βασίζονται στις ιδιότητες του πρώτου λόγω του μεγάλου όγκου που καταλαμβάνει ο τσιμεντοπολτός στο σκυρόδεμα. Το πρόβλημα που δημιουργείται και δε μπορεί να διαπιστωθεί εύκολα στα τσιμεντοκονίαματα είναι το πρόβλημα της απόμειξης, αφού η συσκευή της χοάνης στα τσιμεντοκονίαματα μας δίνει περισσότερο στοιχεία για τη ρευστότητα του μίγματος παρά για την αντίσταση που έχει αυτό στην απόμειξη.

Ένα ερώτημα που δημιουργείται είναι αν απαιτείται επιπλέον ποσότητα νερού και υπερρευστοποιητή στο σκυρόδεμα από αυτή που χρησιμοποιείται στα αντίστοιχα τσιμεντοκονίαματα. Ο υπερρευστοποιητής δρα αποκλειστικά στα λεπτόκοκκα υλικά κι έτσι η παρουσία των χονδρόκοκκων αδρανών δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τη ρευστότητα του μίγματος από αυτή τη μεριά. Επίσης, η ποσότητα του νερού που απορροφάται από τα αδρανή κι απαιτείται για τη διαβροχή αυτών είναι ελάχιστη σε σχέση με τη συνολική ποσότητα που χρησιμοποιείται. Επιπλέον, στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα ο υπερρευστοποιητής είναι πιο κρίσιμος από το νερό, για να το να αποκτήσει το μήγμα την απαιτούμενη ρευστότητα του. Έτσι συμπεραίνεται ότι η αύξηση της ποσότητας του νερού και του υπερρευστοποιητή δεν κρίνεται ιδιαίτερα αναγκαία από το τσιμεντοκονίαμα στο σκυρόδεμα.

### **8.1.Γενικά Συμπεράσματα**

- ❖ Είναι φανερό ότι η παρασκευή του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων.
- ❖ Οι αντιφατικές του ιδιότητες (μεγάλη παραμορφωσιμότητα, μέσο ιξώδες) καθιστούν δύσκολη την τυποποιησή του μέσα από κανονισμούς.
- ❖ Οι ιδιότητες του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος ελέγχονται επί το πλείστον από τις ιδιότητες του αντίστοιχου τσιμεντοκονιάματος.
- ❖ Η μείωση των χονδρόκοκκων αδρανών είναι απαραίτητη σε σχέση με το κοινό σκυρόδεμα, όμως η μείωσή τους κάτω από ένα ορισμένο όριο προκαλεί αρνητικά αποτελέσματα. (μεγάλη τάση για απόμειξη, μικρή συνοχή).
- ❖ Στα τσιμεντοκονιάματα, το ρόλο των χονδρόκοκκων αδρανών παίζει η άμμος, όπου μείωσή της επιφέρει θετικά αποτελέσματα στο μίγμα.
- ❖ Ένα μίγμα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι πολύ ευαίσθητο στις μεταβολές της ποσότητας του υπερρευστοποιητή. Υπάρχει λοιπόν η ανάγκη της εύρεσης της βέλτιστης ποσότητας του υπερρευστοποιητή για κάθε μίγμα, καθώς και να γίνεται έλεγχος της συμβατότητας του τύπου του υπερρευστοποιητή με τον τύπο του τσιμέντου, τον τύπο των λεπτών υλικών και των χονδρόκοκκων αδρανών.
- ❖ Ο ρόλος των λεπτών υλικών δε φάνηκε ξεκάθαρα πως επιδρά στα χαρακτηριστικά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, όμως είναι σίγουρο ότι απαιτείται μια επαρκής ποσότητα λεπτών υλικών, για να αποκτήσει το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα τα χαρακτηριστικά του. (Αντίσταση σε απόμειξη, έξοχη παραμορφωσιμότητα, ικανότητα να περνά μέσα από εμποδία).
- ❖ Το πρόσθετο που βελτιώνει το ιξώδες λειτουργεί διωρθωτικά και η ελαχιστοποίηση της ποσότητας του είναι απαραίτητη, χάριν της οικονομικότητας του μίγματος.
- ❖ Η κοκκομετρική διαβάθμιση φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην παρασκευή του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.
- ❖ Το νερό δε φαίνεται να επιδρά ιδιαίτερα στα χαρακτηριστικά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος σε σχέση με τον υπερρευστοποιητή που λειτουργεί πιο δραστικά στη μεταβολή της ρευστότητας του μίγματος και στην επίτευξη της απαιτούμενης εργασιμότητας.
- ❖ Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι σκυρόδεμα υψηλής επιτελεστικότητας κι εμφανίζει μεγάλες αντοχές λόγω του χαμηλού λόγου Νερό/Τσιμέντο.

## **8.2. Προτάσεις για έρευνα**

- Ἐλεγχος των μηχανικών χαρακτηριστικών του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος σε σχέση με το κοινό σκυρόδεμα (ανθεκτικότητα, ερπυσμός, συστολή ξηράνσεως), λόγω του μεγάλου ποσοστού των λεπτόκοκκων υλικών.
- Τυποποίησή του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος μέσα από Κανονισμούς.
- Εύρεση αναγκών κατασκευής, εξομοίωση των συνθηκών του εργαστηρίου με τις πραγματικές συνθήκες κατασκευής ιδιαίτερα στη δοκιμή της χοάνης (ποιος χρόνος αντιτροσωπεύει με πιο μεγάλη αξιοπιστία τις πραγματικές συνθήκες, ο t0 ή ο t5;).
- Τεχνικοοικονομική μελέτη αν είναι συμφέρουσα η μελλοντική χρησιμοποιησή του και η μαζική παραγωγή του στον ελληνικό χώρο.
- Ἐλεγχος επαναληψιμότητας των δοκιμών.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**«ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΛΛΑΓΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ».**

Υπολογισμός παραλλαγών σειρών σκυροδέματος

A2	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m³	kg/m³
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,37743	152,4627	472,6345
Νερό	2,34	2,2724	12,37743	183,5922	183,5922
Γαρμπίλι	3,22	1,192593	12,37743	96,3522	260,1509
Χαλίκι	7,511	2,781852	12,37743	224,752	606,8303
Αρμος	9,48	3,511111	12,37743	283,6704	765,9102
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,37743	29,02218	84,83183
Υπερ	0,119	0,0595	12,37743	4,807137	5,047494
όγκος υγρών και στερεών	12,06377			974,6589	2378,997
αέρας 2,6%	0,313658				
Συνολικός Όγκος	12,37743				

A3	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m³	kg/m³
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,43489	151,7582	470,4505
Νερό	2,34	2,2724	12,43489	182,7439	182,7439
Γαρμπίλι	3,22	1,192593	12,43489	95,90697	258,9488
Χαλίκι	7,511	2,781852	12,43489	223,7134	604,0263
Αρμος	9,48	3,511111	12,43489	282,3596	762,371
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,43489	28,88807	84,43983
Υπερ	0,119	0,0595	12,43489	4,784924	5,02417
ππβι	0,056	0,056	12,43489	4,503458	5,088907
όγκος υγρών και στερεών	12,11977			974,6586	2373,093
αέρας 2,6%	0,315114				
Συνολικός Όγκος	12,43489				

A4	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m³	kg/m³
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,49963	150,9722	468,0139
Νερό	2,34	2,2724	12,49963	181,7974	181,7974
Γαρμπίλι	3,22	1,192593	12,49963	95,41023	257,6076
Χαλίκι	7,511	2,781852	12,49963	222,5547	600,8978
Αρμος	9,48	3,511111	12,49963	280,8972	758,4224
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,49963	28,73845	84,00249
Υπερ	0,119	0,0595	12,49963	4,760141	4,998148
ππβι	0,1191	0,1191	12,49963	9,528282	10,76696
όγκος υγρών και στερεών	12,18287			974,6586	2366,507
αέρας 2,6%	0,316755				
Συνολικός Όγκος	12,49963				

B2	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,3684	152,574	472,9795
Νερό	2,34	2,264084	12,3684	183,0539	183,0539
Γαρμπίλι	4,292	1,58963	12,3684	128,5235	347,0134
Χαλίκι	6,439	2,384815	12,3684	192,8151	520,6009
Αμμος	9,48	3,511111	12,3684	283,8776	766,4694
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,3684	29,04337	84,89376
Υπερ	0,1033	0,05165	12,3684	4,175965	4,384763
ππβι	0	0	12,3684	0	0
όγκος υγρών και στερεών	12,04761			974,0634	2379,396
αέρας 2,6%	0,313238				
Συνολικός όγκος	12,36084				

B3	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,49935	150,9756	468,0243
Νερό	2,34	2,264084	12,49935	181,1361	181,1361
Γαρμπίλι	4,292	1,58963	12,49935	127,177	343,3779
Χαλίκι	6,439	2,384815	12,49935	190,7951	515,1468
Αμμος	9,48	3,511111	12,49935	280,9035	758,4394
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,49935	28,73909	84,00437
Υπερ	0,1033	0,05165	12,49935	4,132215	4,338826
ππβι	0,135	0,135	12,49935	10,80056	12,20463
όγκος υγρών και στερεών	12,18261			974,6592	2366,672
αέρας 2,6%	0,316748				
Συνολικός όγκος	12,49935				

B4	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,54819	150,388	466,2027
Νερό	2,34	2,271984	12,54819	181,0607	181,0607
Γαρμπίλι	4,292	1,58963	12,54819	126,682	342,0414
Χαλίκι	6,439	2,384815	12,54819	190,0525	513,1417
Αμμος	9,48	3,511111	12,54819	279,8102	755,4874
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,54819	28,62723	83,67741
Υπερ	0,1191	0,05955	12,54819	4,745704	4,98299
ππβι	0,1668	0,1668	12,54819	13,29275	15,02081
όγκος υγρών και στερεών	12,23021			974,659	2361,615
αέρας 2,6%	0,317985				
Συνολικός όγκος	12,54819				

Γ2	Βάρος	"Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,74584	147,451	457,098
Νερό	2,145	2,057486	11,74584	175,1672	175,1672
Γαρμπίλι	4,03	1,492593	11,74584	127,0741	343,1002
Χαλίκι	6,058	2,243704	11,74584	191,0211	515,7571
Αμμος	9,724	3,601481	11,74584	306,6176	827,8676
Φιλλερ	0,832	0,284639	11,74584	24,23318	70,83359
Υπερ	0,0727	0,03635	11,74584	3,094713	3,249448
ππβι	0	0	11,74584	0	0
όγκος υγρών και στερεών	11,44819			974,659	2393,073
αέρας 2,6%	0,297653				
Συνολικός όγκος	11,74584				

Γ3	Βάρος	"Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,76872	147,1643	456,2093
Νερό	2,145	2,068636	11,76872	175,7741	175,7741
Γαρμπίλι	4,03	1,492593	11,76872	126,8271	342,4332
Χαλίκι	6,058	2,243704	11,76872	190,6498	514,7544
Αμμος	9,724	3,601481	11,76872	306,0215	826,2581
Φιλλερ	0,832	0,284639	11,76872	24,18607	70,69588
Υπερ	0,095	0,0475	11,76872	4,036123	4,237929
ππβι	0	0	11,76872	0	0
όγκος υγρών και στερεών	11,47049			974,659	2390,363
αέρας 2,6%	0,298233				
Συνολικός όγκος	11,76872				

Γ4	Βάρος	"Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,81345	146,6071	454,482
Νερό	2,145	2,068636	11,81345	175,1085	175,1085
Γαρμπίλι	4,03	1,492593	11,81345	126,3469	341,1366
Χαλίκι	6,058	2,243704	11,81345	189,9279	512,8053
Αμμος	9,724	3,601481	11,81345	304,8628	823,1296
Φιλλερ	0,832	0,284639	11,81345	24,09449	70,4282
Υπερ	0,095	0,0475	11,81345	4,020841	4,221883
ππβι	0,0436	0,0436	11,81345	3,690708	4,170501
όγκος υγρών και στερεών	11,51409			974,6593	2385,483
αέρας 2,6%	0,299366				
Συνολικός όγκος	11,81345				

Δ2	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,40559	151,8497	470,7341
Νερό	2,145	2,066986	11,40559	181,2257	181,2257
Γαρμπίλι	3,432	1,271111	11,40559	111,4463	300,9051
Χαλίκι	5,148	1,906667	11,40559	167,1695	451,3576
Αιμος	10,322	3,822963	11,40559	335,1833	904,9948
Φιλλερ	0,767	0,262402	11,40559	23,00641	67,24773
Υπερ	0,08	0,04	11,40559	3,507052	3,682405
ππβι	0,0145	0,0145	11,40559	1,271306	1,436576
όγκος υγρών και στερεών	11,11656			974,6593	2381,584
αέρας 2,6%	0,289031				
Συνολικός όγκος	11,40559				

Δ3	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,46562	151,0547	468,2695
Νερό	2,145	2,074486	11,46562	180,931	180,931
Γαρμπίλι	3,432	1,271111	11,46562	110,8628	299,3296
Χαλίκι	5,148	1,906667	11,46562	166,2942	448,9945
Αιμος.	10,322	3,822963	11,46562	333,4284	900,2566
Φιλλερ	0,767	0,262402	11,46562	22,88595	66,89564
Υπερ	0,095	0,0475	11,46562	4,14282	4,349961
ππβι	0,058	0,058	11,46562	5,058601	5,716219
όγκος υγρών και στερεών	11,17506			974,6585	2374,743
αέρας 2,6%	0,290552				
Συνολικός όγκος	11,46562				

Δ4	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,49568	150,6597	467,045
Νερό	2,145	2,074486	11,49568	180,4579	180,4579
Γαρμπίλι	3,432	1,271111	11,49568	110,5729	298,5469
Χαλίκι	5,148	1,906667	11,49568	165,8594	447,8204
Αιμος	10,322	3,822963	11,49568	332,5565	897,9025
Φιλλερ	0,767	0,262402	11,49568	22,82611	66,72072
Υπερ	0,095	0,0475	11,49568	4,131987	4,338586
ππβι	0,0873	0,0873	11,49568	7,594157	8,581398
όγκος υγρών και στερεών	11,20436			974,6586	2371,413
αέρας 2,6%	0,291313				
Συνολικός όγκος	11,49568				

E2	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,14912	155,3428	481,5627
Νερό	2,145	2,071588	11,14912	185,8073	185,8073
Γαρμπίλι	4,563	1,69	11,14912	151,5815	409,27
Χαλίκι	2,73	1,011111	11,14912	90,68977	244,8624
Αμμος	10,842	4,015556	11,14912	360,1679	972,4534
Φιλλερ	0,767	0,262402	11,14912	23,53564	68,79467
Υπερ	0,08	0,04	11,14912	3,587727	3,767113
ππβι	0,044	0,044	11,14912	3,9465	4,459545
όγκος υγρών και στερεών	10,86659		974,6591	2370,977	
αέρας 2,6%	0,282531				
Συνολικός όγκος	11,14912				

ΣΤ2	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,195	1,998387	13,24018	150,9335	467,8939
Νερό	2,475	2,39378	13,24018	180,7966	180,7966
Γαρμπίλι	6,525	2,416667	13,24018	182,5252	492,8181
Χαλίκι	3,255	1,205556	13,24018	91,05281	245,8426
Αμμος	11,97	4,433333	13,24018	334,8394	904,0663
Φιλλερ	0,87	0,297639	13,24018	22,48001	65,70908
Υπερ	0,109	0,0545	13,24018	4,116258	4,322071
ππβι	0,1048	0,1048	13,24018	7,9153	8,944289
όγκος υγρών και στερεών	12,90466		974,6591	2370,393	
αέρας 2,6%	0,335521				
Συνολικός όγκος	13,24018				

Z2	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,195	1,998387	14,62523	136,6397	423,5831
Νερό	2,475	2,40603	14,62523	164,5123	164,5123
Γαρμπίλι	7,545	2,794444	14,62523	191,0701	515,8893
Χαλίκι	2,52	0,933333	14,62523	63,81666	172,305
Αμμος	15,06	5,577778	14,62523	381,3805	1029,727
Φιλλερ	0,87	0,297639	14,62523	20,35109	59,48624
Υπερ	0,174	0,087	14,62523	5,948624	6,246056
ππβι	0,16	0,16	14,62523	10,94	12,3622
όγκος υγρών και στερεών	14,25461		974,659	2384,112	
αέρας 2,6%	0,37062				
Συνολικός όγκος	14,62523				

Θ2	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,405	2,066129	15,00145	137,7286	426,9587
Νερό	2,565	2,467	15,00145	164,4508	164,4508
Γαρμπίλι	4,515	1,672222	15,00145	111,4707	300,9709
Χαλίκι	6,78	2,511111	15,00145	167,3912	451,9563
Αμμος	13,8	5,111111	15,00145	340,7078	919,9111
Φιλλερ	1,905	0,651728	15,00145	43,44431	126,9877
Υπερ	0,128	0,064	15,00145	4,266254	4,479567
ππβι	0,078	0,078	15,00145	5,199497	5,875432
όγκος υγρών και στερεών	14,6213			974,6592	2401,591
αέρας 2,6%	0,380154				
Συνολικός όγκος	15,00145				

Θ3	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,405	2,066129	15,04249	137,3529	425,7939
Νερό	2,565	2,467	15,04249	164,0021	164,0021
Γαρμπίλι	4,515	1,672222	15,04249	111,1666	300,1498
Χαλίκι	6,78	2,511111	15,04249	166,9345	450,7233
Αμμος	13,8	5,111111	15,04249	339,7783	917,4013
Φιλλερ	1,905	0,651728	15,04249	43,32578	126,6413
Υπερ	0,128	0,064	15,04249	4,254615	4,467345
ππβι	0,118	0,118	15,04249	7,844446	8,864224
όγκος υγρών και στερεών	14,6613			974,6592	2398,043
αέρας 2,6%	0,381194				
Συνολικός όγκος	15,04249				

Θ4	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,405	2,066129	14,99171	137,8181	427,2361
Νερό	2,565	2,4865	14,99171	165,8583	165,8583
Γαρμπίλι	4,515	1,672222	14,99171	111,5431	301,1664
Χαλίκι	6,78	2,511111	14,99171	167,5	452,2499
Αμμος	13,8	5,111111	14,99171	340,9292	920,5087
Φιλλερ	1,905	0,651728	14,99171	43,47254	127,0702
Υπερ	0,167	0,0835	14,99171	5,569745	5,848232
ππβι	0,0295	0,0295	14,99171	1,967754	2,223562
όγκος υγρών και στερεών	14,6118			974,6587	2402,162
αέρας 2,6%	0,379907				
Συνολικός όγκος	14,99171				

I2	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	7,23	2,332258	14,96348	155,8633	483,1764
Νερό	2,895	2,80931	14,96348	187,7444	187,7444
Γαρμπίλι	6,18	2,288889	14,96348	152,965	413,0055
Χαλίκι	3,705	1,372222	14,96348	91,70475	247,6028
Αμμος	14,835	5,494444	14,96348	367,1903	991,4138
Φιλλερ	0,645	0,220664	14,96348	14,74682	43,10495
Υπερ	0,133	0,0665	14,96348	4,444153	4,666361
ππβι	0	0	14,96348	0	0
όγκος υγρών και στερεών	14,58429			974,6588	2370,714
αέρας 2,6%	0,379191				
Συνολικός όγκος	14,96348				

I3	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	7,23	2,332258	15,02196	155,2566	481,2954
Νερό	2,895	2,80931	15,02196	187,0135	187,0135
Γαρμπίλι	6,18	2,288889	15,02196	152,3695	411,3977
Χαλίκι	3,705	1,372222	15,02196	91,34775	246,6389
Αμμος	14,835	5,494444	15,02196	365,7608	987,5542
Φιλλερ	0,645	0,220664	15,02196	14,68941	42,93714
Υπερ	0,133	0,0665	15,02196	4,426852	4,648195
ππβι	0,057	0,057	15,02196	3,794445	4,287723
όγκος υγρών και στερεών	14,64129			974,6589	2365,773
αέρας 2,6%	0,380673				
Συνολικός όγκος	15,02196				

A2	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	9,38	3,025806	20,06904	150,7699	467,3866
Νερό	3,76	3,65118	20,06904	181,931	181,931
Γαρμπίλι	6,9	2,555556	20,06904	127,3382	343,8132
Χαλίκι	6,9	2,555556	20,06904	127,3382	343,8132
Αμμος	20,72	7,674074	20,06904	382,3837	1032,436
Φιλλερ	0	0	20,06904	0	0
Υπερ	0,1966	0,0983	20,06904	4,898092	5,142996
ππβι	0	0	20,06904	0	0
όγκος υγρών και στερεών	19,56047			974,6591	2374,523
αέρας 2,6%	0,508572				
Συνολικός όγκος	20,06904				

Λ3	Βάρος	Όγκος	Συν. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	9,38	3,025806	20,21925	149,6498	463,9143
Νερό	3,88	3,78438	20,21925	187,1672	187,1672
Γαρμπίλι	6,9	2,555556	20,21925	126,3922	341,2589
Χαλίκι	6,9	2,555556	20,21925	126,3922	341,2589
Αμμος	20,72	7,674074	20,21925	379,543	1024,766
Φιλλερ	0	0	20,21925	0	0
Υπερ	0,223	0,1115	20,21925	5,514547	5,790274
ππβι	0	0	20,21925	0	0
όγκος υγρών και στερεών	19,70687			974,6589	2364,156
αέρας 2,6%	0,512379				
Συνολικός Όγκος	20,21925				

Υπολογισμός συνθέσεων ακυροδέματος με τη θεώρηση ότι τα λεπτόκοκκα υλικά δεν απορροφούν νερό

A1	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,3434	152,8831	473,9375
Νερό	2,34	2,258734	12,3434	182,9912	182,9912
Γαρμπίλι	3,22	1,192593	12,3434	96,61784	260,8682
Χαλίκι	7,511	2,781852	12,3434	225,3716	608,5033
Αιμος	9,48	3,511111	12,3434	284,4525	768,0218
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,3434	29,10219	85,0657
Υπερ	0,08	0,04	12,3434	3,240598	3,402628
ππβι	0	0	12,3434	0	0
		12,03061		974,659	2382,79
		0,312796			
		12,3434			

A2	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,38342	152,389	472,4058
Νερό	2,34	2,278234	12,38342	183,9745	183,9745
Γαρμπίλι	3,22	1,192593	12,38342	96,30559	260,0251
Χαλίκι	7,511	2,781852	12,38342	224,6433	606,5368
Αιμος	9,48	3,511111	12,38342	283,5332	765,5397
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,38342	29,00814	84,79079
Υπερ	0,119	0,0595	12,38342	4,804812	5,045052
ππβι	0	0	12,38342	0	0
		12,06961		974,6586	2378,318
		0,31381			
		12,38342			

A3	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,44087	151,6853	470,2243
Νερό	2,34	2,278234	12,44087	183,125	183,125
Γαρμπίλι	3,22	1,192593	12,44087	95,86087	258,8243
Χαλίκι	7,511	2,781852	12,44087	223,6059	603,7359
Αιμος	9,48	3,511111	12,44087	282,2239	762,0046
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,44087	28,87418	84,39924
Υπερ	0,119	0,0595	12,44087	4,782624	5,021755
ππβι	0,056	0,056	12,44087	4,501293	5,086461
		12,12561		974,659	2372,422
		0,315266			
		12,44087			

A4	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,50561	150,9	467,7901
Νερό	2,34	2,278234	12,50561	182,177	182,177
Γαρμπίλι	3,22	1,192593	12,50561	95,36461	257,4844
Χαλίκι	7,511	2,781852	12,50561	222,4483	600,6104
Αμμος	9,48	3,511111	12,50561	280,7629	758,0598
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,50561	28,72471	83,96232
Υπερ	0,119	0,0595	12,50561	4,757865	4,995758
ππβι	0,1191	0,1191	12,50561	9,523726	10,76181
		12,18871		974,6591	2365,842
		0,316906			
		12,50561			

B1	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,3434	152,8831	473,9375
Νερό	2,34	2,258734	12,3434	182,9912	182,9912
Γαρμπίλι	4,292	1,58963	12,3434	128,7838	347,7162
Χαλίκι	6,439	2,384815	12,3434	193,2057	521,6553
Αμμος	9,48	3,511111	12,3434	284,4525	768,0218
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,3434	29,10219	85,0657
Υπερ	0,08	0,04	12,3434	3,240598	3,402628
ππβι	0	0	12,3434	0	0
		12,03061		974,659	2382,79
		0,312796			
		12,3434			

B2	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,36731	152,5875	473,0212
Νερό	2,34	2,270384	12,36731	183,5795	183,5795
Γαρμπίλι	4,292	1,58963	12,36731	128,5348	347,0439
Χαλίκι	6,439	2,384815	12,36731	192,8321	520,6468
Αμμος	9,48	3,511111	12,36731	283,9026	766,5369
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,36731	29,04593	84,90124
Υπερ	0,1033	0,05165	12,36731	4,176333	4,385149
ππβι	0	0	12,36731	0	0
		12,05391		974,6587	2380,115
		0,313402			
		12,36731			

B3	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,50582	150,8975	467,7822
Νερό	2,34	2,270384	12,50582	181,5462	181,5462
Γαρμπίλι	4,292	1,58963	12,50582	127,1112	343,2002
Χαλίκι	6,439	2,384815	12,50582	190,6964	514,8803
Αιμος	9,48	3,511111	12,50582	280,7582	758,0471
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,50582	28,72422	83,96091
Υπερ	0,1033	0,05165	12,50582	4,130077	4,336581
ππβι	0,135	0,135	12,50582	10,79497	12,19832
		12,18891		974,6587	2365,952
		0,316912			
		12,50582			

B4	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,85	1,887097	12,55466	150,3105	465,9624
Νερό	2,34	2,278284	12,55466	181,4692	181,4692
Γαρμπίλι	4,292	1,58963	12,55466	126,6167	341,8651
Χαλίκι	6,439	2,384815	12,55466	189,9546	512,8773
Αιμος	9,48	3,511111	12,55466	279,666	755,0981
Φιλλερ	1,05	0,35922	12,55466	28,61248	83,63428
Υπερ	0,1191	0,05955	12,55466	4,743259	4,980422
ππβι	0,1668	0,1668	12,55466	13,2859	15,01307
		12,23651		974,6585	2360,9
		0,318149			
		12,55466			

Γ1	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,75096	147,3867	456,8988
Νερό	2,145	2,062478	11,75096	175,5157	175,5157
Γαρμπίλι	4,03	1,492593	11,75096	127,0188	342,9507
Χαλίκι	6,058	2,243704	11,75096	190,9379	515,5323
Αιμος	9,724	3,601481	11,75096	306,484	827,5069
Φιλλερ	0,832	0,284639	11,75096	24,22262	70,80273
Υπερ	0,0727	0,03635	11,75096	3,093364	3,248033
ππβι	0	0	11,75096	0	0
		11,45318		974,6591	2392,455
		0,297783			
		11,75096			

Γ2	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,77384	147,1003	456,011
Νερό	2,145	2,073628	11,77384	176,1216	176,1216
Γαρμπίλι	4,03	1,492593	11,77384	126,7719	342,2843
Χαλίκι	6,058	2,243704	11,77384	190,5669	514,5305
Αιμος	9,724	3,601481	11,77384	305,8884	825,8988
Φιλλερ	0,832	0,284639	11,77384	24,17555	70,66514
Υπερ	0,095	0,0475	11,77384	4,034368	4,236086
ππβι	0	0	11,77384	0	0
		11,47548		974,6591	2389,747
		0,298362			
		11,77384			

Γ3	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,81858	146,5434	454,2847
Νερό	2,145	2,073628	11,81858	175,4549	175,4549
Γαρμπίλι	4,03	1,492593	11,81858	126,292	340,9885
Χαλίκι	6,058	2,243704	11,81858	189,8455	512,5827
Αιμος	9,724	3,601481	11,81858	304,7305	822,7723
Φιλλερ	0,832	0,284639	11,81858	24,08403	70,39763
Υπερ	0,095	0,0475	11,81858	4,019095	4,22005
ππβι	0,0436	0,0436	11,81858	3,689106	4,16869
		11,51908		974,6586	2384,87
		0,299496			
		11,81858			

Γ4	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,88568	145,7161	451,7201
Νερό	2,145	2,077128	11,88568	174,7589	174,7589
Γαρμπίλι	4,03	1,492593	11,88568	125,5791	339,0635
Χαλίκι	6,058	2,243704	11,88568	188,7737	509,689
Αιμος	9,724	3,601481	11,88568	303,0101	818,1274
Φιλλερ	0,832	0,284639	11,88568	23,94807	70,0002
Υπερ	0,102	0,051	11,88568	4,290878	4,505422
ππβι	0,102	0,102	11,88568	8,581756	9,697384
		11,58448		974,6586	2377,562
		0,301196			
		11,88568			

Δ1	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,39544	151,985	471,1534
Νερό	2,145	2,071588	11,39544	181,791	181,791
Γαρμπίλι	3,432	1,271111	11,39544	111,5456	301,1731
Χαλίκι	5,148	1,906667	11,39544	167,3184	451,7597
Αιμος	10,322	3,822963	11,39544	335,4818	905,8009
Φιλλερ	0,767	0,262402	11,39544	23,0269	67,30762
Υπερ	0,08	0,04	11,39544	3,510176	3,685685
ππβι	0	0	11,39544	0	0
		11,10667		974,6588	2382,671
		0,288773			
		11,39544			

Δ2	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,41032	151,7868	470,539
Νερό	2,145	2,071588	11,41032	181,5539	181,5539
Γαρμπίλι	3,432	1,271111	11,41032	111,4001	300,7803
Χαλίκι	5,148	1,906667	11,41032	167,1002	451,1705
Αιμος	10,322	3,822963	11,41032	335,0443	904,6197
Φιλλερ	0,767	0,262402	11,41032	22,99687	67,21985
Υπερ	0,08	0,04	11,41032	3,505598	3,680878
ππβι	0,0145	0,0145	11,41032	1,270779	1,435981
		11,12117		974,6585	2381
		0,28915			
		11,41032			

Δ3	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,47034	150,9925	468,0768
Νερό	2,145	2,079088	11,47034	181,2577	181,2577
Γαρμπίλι	3,432	1,271111	11,47034	110,8172	299,2065
Χαλίκι	5,148	1,906667	11,47034	166,2258	448,8097
Αιμος	10,322	3,822963	11,47034	333,2912	899,8861
Φιλλερ	0,767	0,262402	11,47034	22,87654	66,86811
Υπερ	0,095	0,0475	11,47034	4,141115	4,348171
ππβι	0,058	0,058	11,47034	5,05652	5,713867
		11,17967		974,6586	2374,167
		0,290671			
		11,47034			

Δ4	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,5004	150,5978	466,8533
Νερό	2,145	2,079088	11,5004	180,784	180,784
Γαρμπίλι	3,432	1,271111	11,5004	110,5276	298,4244
Χαλίκι	5,148	1,906667	11,5004	165,7913	447,6366
Αμμος	10,322	3,822963	11,5004	332,42	897,534
Φιλλερ	0,767	0,262402	11,5004	22,81674	66,69333
Υπερ	0,095	0,0475	11,5004	4,130291	4,336806
ππβι	0,0873	0,0873	11,5004	7,59104	8,577876
		11,20897		974,6588	2370,84
		0,291433			
		11,5004			

Ε1	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,1087	155,908	483,3149
Νερό	2,145	2,07619	11,1087	186,8977	186,8977
Γαρμπίλι	4,563	1,69	11,1087	152,133	410,7591
Χαλίκι	2,73	1,011111	11,1087	91,01975	245,7533
Αμμος	10,842	4,015556	11,1087	361,4784	975,9918
Φιλλερ	0,767	0,262402	11,1087	23,62127	69,04498
Υπερ	0,08	0,04	11,1087	3,600781	3,78082
ππβι	0	0	11,1087	0	0
		10,82719		974,6589	2375,543
		0,281507			
		11,1087			

Ε2	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	5,369	1,731935	11,15384	155,2771	481,3589
Νερό	2,145	2,07619	11,15384	186,1413	186,1413
Γαρμπίλι	4,563	1,69	11,15384	151,5173	409,0968
Χαλίκι	2,73	1,011111	11,15384	90,65139	244,7588
Αμμος	10,842	4,015556	11,15384	360,0155	972,0419
Φιλλερ	0,767	0,262402	11,15384	23,52568	68,76556
Υπερ	0,08	0,04	11,15384	3,586209	3,765519
ππβι	0,044	0,044	11,15384	3,94483	4,457658
		10,87119		974,6593	2370,386
		0,282651			
		11,15384			

ΣΤ1	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,195	1,998387	13,13801	152,1073	471,5326
Νερό	2,475	2,399	13,13801	182,6	182,6
Γαρμπίλι	6,525	2,416667	13,13801	183,9447	496,6506
Χαλίκι	3,255	1,205556	13,13801	91,76089	247,7544
Αιμος	11,97	4,433333	13,13801	337,4433	911,0969
Φιλλερ	0,87	0,297639	13,13801	22,65483	66,22007
Υπερ	0,109	0,0545	13,13801	4,148269	4,355682
ππβι	0	0	13,13801	0	0
		12,80508		974,6592	2380,21
		0,332932			
		13,13801			

ΣΤ2	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,195	1,998387	13,20317	151,3566	469,2055
Νερό	2,475	2,399	13,20317	181,6988	181,6988
Γαρμπίλι	6,525	2,416667	13,20317	183,0369	494,1995
Χαλίκι	3,255	1,205556	13,20317	91,30804	246,5317
Αιμος	11,97	4,433333	13,20317	335,7779	906,6005
Φιλλερ	0,87	0,297639	13,20317	22,54303	65,89327
Υπερ	0,109	0,0545	13,20317	4,127797	4,334186
ππβι	0,0635	0,0635	13,20317	4,809451	5,43468
		12,86858		974,6585	2373,898
		0,334583			
		13,20317			

Z1	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,195	1,998387	14,40384	138,7399	430,0936
Νερό	2,475	2,38075	14,40384	165,2858	165,2858
Γαρμπίλι	7,545	2,794444	14,40384	194,0069	523,8186
Χαλίκι	2,52	0,933333	14,40384	64,79754	174,9533
Αιμος	15,06	5,577778	14,40384	387,2424	1045,555
Φιλλερ	0,87	0,297639	14,40384	20,66389	60,40056
Υπερ	0,113	0,0565	14,40384	3,922565	4,118693
ππβι	0	0	14,40384	0	0
		14,03883		974,659	2404,225
		0,36501			
		14,40384			

Z2	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,195	1,998387	14,63059	136,5896	423,4279
Νερό	2,475	2,41125	14,63059	164,8088	164,8088
Γαρμπίλι	7,545	2,794444	14,63059	191,0001	515,7003
Χαλίκι	2,52	0,933333	14,63059	63,79328	172,2419
Αμμος	15,06	5,577778	14,63059	381,2408	1029,35
Φιλλερ	0,87	0,297639	14,63059	20,34364	59,46445
Υπερ	0,174	0,087	14,63059	5,946445	6,243767
ππβι	0,16	0,16	14,63059	10,93599	12,35767
		14,25983		974,6587	2383,595
		0,370756			
		14,63059			

Θ1	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,405	2,066129	14,93315	138,3586	428,9115
Νερό	2,565	2,47843	14,93315	165,9683	165,9683
Γαρμπίλι	4,515	1,672222	14,93315	111,9805	302,3475
Χαλίκι	6,78	2,511111	14,93315	168,1568	454,0234
Αμμος	13,8	5,111111	14,93315	342,2661	924,1185
Φιλλερ	1,905	0,651728	14,93315	43,64301	127,5685
Υπερ	0,128	0,064	14,93315	4,285767	4,500055
ππβι	0	0	14,93315	0	0
		14,55473		974,6591	2407,438
		0,378423			
		14,93315			

Θ2	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,405	2,066129	14,95265	138,1781	428,3522
Νερό	2,565	2,48793	14,95265	166,3872	166,3872
Γαρμπίλι	4,515	1,672222	14,95265	111,8345	301,9532
Χαλίκι	6,78	2,511111	14,95265	167,9375	453,4313
Αμμος	13,8	5,111111	14,95265	341,8198	922,9133
Φιλλερ	1,905	0,651728	14,95265	43,5861	127,4022
Υπερ	0,147	0,0735	14,95265	4,915517	5,161292
ππβι	0	0	14,95265	0	0
		14,57373		974,6587	2405,601
		0,378917			
		14,95265			

Θ3	Βάρος	"Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,405	2,066129	14,98292	137,899	427,4868
Νερό	2,565	2,48793	14,98292	166,0511	166,0511
Γαρμπίλι	4,515	1,672222	14,98292	111,6086	301,3431
Χαλίκι	6,78	2,511111	14,98292	167,5982	452,5153
Αρμος	13,8	5,111111	14,98292	341,1292	921,0488
Φιλλερ	1,905	0,651728	14,98292	43,49804	127,1448
Υπερ	0,147	0,0735	14,98292	4,905586	5,150865
ππβι	0,0295	0,0295	14,98292	1,968909	2,224867
		14,60323		974,6586	2402,966
		0,379684			
		14,98292			

Θ4	Βάρος	"Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	6,405	2,066129	15,00344	137,7104	426,9021
Νερό	2,565	2,49793	15,00344	166,4905	166,4905
Γαρμπίλι	4,515	1,672222	15,00344	111,4559	300,931
Χαλίκι	6,78	2,511111	15,00344	167,369	451,8964
Αρμος	13,8	5,111111	15,00344	340,6626	919,7891
Φιλλερ	1,905	0,651728	15,00344	43,43855	126,9709
Υπερ	0,167	0,0835	15,00344	5,56539	5,84366
ππβι	0,0295	0,0295	15,00344	1,966216	2,221824
		14,62323		974,6586	2401,045
		0,380204			
		15,00344			

I1	Βάρος	"Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	7,23	2,332258	14,94796	156,0252	483,678
Νερό	2,895	2,80368	14,94796	187,5627	187,5627
Γαρμπίλι	6,18	2,288889	14,94796	153,1238	413,4343
Χαλίκι	3,705	1,372222	14,94796	91,79997	247,8599
Αρμος	14,835	5,494444	14,94796	367,5715	992,4431
Φιλλερ	0,645	0,220664	14,94796	14,76213	43,1497
Υπερ	0,114	0,057	14,94796	3,813229	4,003891
ππβι	0	0	14,94796	0	0
		14,56916		974,6586	2372,132
		0,378798			
		14,94796			

I2	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	7,23	2,332258	14,96745	155,822	483,0482
Νερό	2,895	2,81318	14,96745	187,9532	187,9532
Γαρυπίλι	6,18	2,288889	14,96745	152,9244	412,896
Χαλίκι	3,705	1,372222	14,96745	91,68043	247,5372
Αιμος	14,835	5,494444	14,96745	367,0929	991,1508
Φιλλερ	0,645	0,220664	14,96745	14,74291	43,09351
Υπερ	0,133	0,0665	14,96745	4,442975	4,665123
ππβι	0	0	14,96745	0	0
		14,58816		974,6588	2370,344
		0,379292			
		14,96745			

I3	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	7,23	2,332258	15,02593	155,2156	481,1682
Νερό	2,895	2,81318	15,02593	187,2217	187,2217
Γαρυπίλι	6,18	2,288889	15,02593	152,3293	411,289
Χαλίκι	3,705	1,372222	15,02593	91,32361	246,5738
Αιμος	14,835	5,494444	15,02593	365,6642	987,2933
Φιλλερ	0,645	0,220664	15,02593	14,68553	42,9258
Υπερ	0,133	0,0665	15,02593	4,425683	4,646967
ππβι	0,057	0,057	15,02593	3,793442	4,28659
		14,64516		974,659	2365,405
		0,380774			
		15,02593			

K1	Βάρος	Όγκος	Συν.όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Τσιμέντο	8,658	2,792903	17,90974	155,9433	483,4241
Νερό	3,456	3,345392	17,90974	186,7918	186,7918
Γαρυπίλι	5,886	2,18	17,90974	121,7215	328,648
Χαλίκι	5,886	2,18	17,90974	121,7215	328,648
Αιμος	17,496	6,48	17,90974	361,8143	976,8986
Φιλλερ	1,206	0,41259	17,90974	23,03717	67,33766
Υπερ	0,13	0,065	17,90974	3,62931	3,810776
ππβι	0	0	17,90974	0	0
		17,45589		974,6588	2375,559
		0,453853			
		17,90974			

**«ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΛΛΑΓΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ  
ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ».**

Παραλλαγές του μίγματος 1 τσιμεντοκονιάματος

1.α	Βάρος υλικών	όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	0,962	0,310322581	1,507779674	205,8143	638,0243
άμμος	1,944	0,72	1,507779674	477,5233	1289,313
παιπάλη	0,134	0,045843312	1,507779674	30,40452	88,8724
νερό	0,384	0,38640494	1,507779674	256,2741	256,2741
Υπερ.	0,014	0,007	1,507779674	4,642588	4,874718
όγκος υγρών και στερεών	1,469570832			974,6589	2277,359
αέρας 2,6%	0,038208842				
Συνολικός όγκος	1,507779674				

1.β	Βάρος υλικών	όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	0,962	0,310322581	1,518039674	204,4232	633,712
άμμος	1,944	0,72	1,518039674	474,2959	1280,599
παιπάλη	0,134	0,045843312	1,518039674	30,19902	88,27174
νερό	0,394	0,39640494	1,518039674	261,1295	261,1295
Υπερ.	0,014	0,007	1,518039674	4,61121	4,841771
όγκος υγρών και στερεών	1,479570832			974,6589	2268,554
αέρας 2,6%	0,038468842				
Συνολικός όγκος	1,518039674				

1.γ	Βάρος υλικών	όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	0,962	0,310322581	1,528299674	203,0509	629,4577
άμμος	1,944	0,72	1,528299674	471,1118	1272,002
παιπάλη	0,134	0,045843312	1,528299674	29,99628	87,67914
νερό	0,404	0,40640494	1,528299674	265,9197	265,9197
Υπερ.	0,014	0,007	1,528299674	4,580254	4,809266
όγκος υγρών και στερεών	1,489570832			974,6589	2259,868
αέρας 2,6%	0,038728842				
Συνολικός όγκος	1,528299674				

1.δ	Βάρος υλικών	όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	0,962	0,310322581	1,538559674	201,6968	625,2601
άμμος	1,944	0,72	1,538559674	467,9701	1263,519
παιπάλη	0,134	0,045843312	1,538559674	29,79625	87,09444
νερό	0,414	0,41640494	1,538559674	270,6459	270,6459
Υπερ.	0,014	0,007	1,538559674	4,54971	4,777195
όγκος υγρών και στερεών	1,499570832			974,6589	2251,297
αέρας 2,6%	0,038988842				
Συνολικός όγκος	1,538559674				

Υπολογισμός μιγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίδραση του λόγου άμμος/τσιμεντοκονίαμα

A	Βάρος υλικών	'''Όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	1,2025	0,387903226	1,85604956	208,994	647,8814
άμμος	2,43	0,9	1,85604956	484,9008	1309,232
παιπάλη	0,1075	0,04011194	1,85604956	21,61146	57,91871
νερό	0,481	0,481	1,85604956	259,1526	259,1526
όγκος υγρών και στερεών αέρας 2,6%	1,809015166	1,85604956	974,6589	2274,185	
	0,047034394				
Συνολικός όγκος		1,85604956			

B	Βάρος υλικών	'''Όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	1,2025	0,387903226	1,867215605	207,7442	644,007
άμμος	2,07	0,766666667	1,867215605	410,5935	1108,603
παιπάλη	0,494	0,184328358	1,867215605	98,7183	264,5651
νερό	0,481	0,481	1,867215605	257,6028	257,6028
όγκος υγρών και στερεών αέρας 2,6%	1,819898251	1,867215605	974,6589	2274,777	
	0,047317355	1,867215605			
Συνολικός όγκος		1,867215605	1,867215605		

Γ	Βάρος υλικών	'''Όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	1,2025	0,387903226	1,861345456	208,3994	646,0381
άμμος	2,25	0,833333333	1,861345456	447,7048	1208,803
παιπάλη	0,3	0,111940299	1,861345456	60,13945	161,1737
νερό	0,481	0,481	1,861345456	258,4152	258,4152
όγκος υγρών και στερεών αέρας 2,6%	1,814176858	1,861345456	974,6589	2274,43	
	0,047168598	1,861345456			
Συνολικός όγκος		1,861345456	1,861345456		

Υπολογισμός του μίγματος 5 και των παραλλαγών του

5.α	Βάρος υλικών	Όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	0,962	0,310322581	1,47010768	211,0883	654,3738
άμμος	1,944	0,72	1,47010768	489,76	1322,352
πυριτική μικροπαιπάλη	0,028	0,012727273	1,47010768	8,657374	19,04622
νερό	0,384	0,384703636	1,47010768	261,684	261,684
Υπερ.	0,0102	0,0051	1,47010768	3,469134	3,64259
όγκος υγρών και στερεών αέρας 2,6%		1,43285349		974,6589	2261,099
Συνολικός όγκος		0,037254191			
		1,47010768			

5.β	Βάρος υλικών	Όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	0,962	0,310322581	1,47937899	209,7654	650,2729
άμμος	1,944	0,72	1,47937899	486,6907	1314,065
πυριτική μικροπαιπάλη	0,048	0,021818182	1,47937899	14,7482	32,44605
νερό	0,384	0,384649091	1,47937899	260,0071	260,0071
Υπερ.	0,0102	0,0051	1,47937899	3,447392	3,619762
όγκος υγρών και στερεών αέρας 2,6%		1,441889853		974,6589	2260,411
Συνολικός όγκος		0,037489136			
		1,47937899			

5.γ	Βάρος υλικών	Όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	0,962	0,310322581	1,492822388	207,8764	644,4169
άμμος	1,944	0,72	1,492822388	482,3079	1302,231
πυριτική μικροπαιπάλη	0,077	0,035	1,492822388	23,44552	51,58015
νερό	0,384	0,38457	1,492822388	257,6127	257,6127
Υπερ.	0,0102	0,0051	1,492822388	3,416347	3,587165
όγκος υγρών και στερεών αέρας 2,6%		1,454992581		974,6589	2259,428
Συνολικός όγκος		0,037829807			
		1,492822388			

5.δ	Βάρος υλικών	Όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	0,962	0,310322581	1,501630131	206,6571	640,6371
άμμος	1,944	0,72	1,501630131	479,4789	1294,593
πυριτική μικροπαιπάλη	0,096	0,043636364	1,501630131	29,05933	63,93052
νερό	0,384	0,384518182	1,501630131	256,0672	256,0672
Υπερ.	0,0102	0,0051	1,501630131	3,396309	3,566124
όγκος υγρών και στερεών αέρας 2,6%		1,463577126		974,6589	2258,794
Συνολικός όγκος		0,038053005			
		1,501630131			

5.ε	Βάρος υλικών	Όγκος υλικών	Συνολ. Όγκος	lt/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
τσιμέντο	0,962	0,310322581	1,510437875	205,4521	636,9014
άμμος	1,944	0,72	1,510437875	476,683	1287,044
πυριτική μικροπαιπάλη	0,115	0,052272727	1,510437875	34,60766	76,13686
νερό	0,384	0,384466364	1,510437875	254,5397	254,5397
Υπερ.	0,0102	0,0051	1,510437875	3,376504	3,54533
όγκος υγρών και στερεών αέρας 2,6%		1,472161672		974,6589	2258,167
Συνολικός όγκος		0,038276203			
		1,510437875			

**«ΔΟΚΙΜΕΣ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ»**

**ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ**

## ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### A. Εξάπλωση με κώνο κάθισης

#### 1) Σκοπός

Οι παρακάτω προδιαγραφές περιγράφουν τη δοκιμή της εξάπλωσης με τον κώνο κάθισης (slump flow test) με μέγιστη διάσταση αδρανούς 40 χλιοστά ή λιγότερο.

#### 2) Συσκευή

- 2.1. Ένας κώνος κάθισης όπως περιγράφεται από τις προδιαγραφές JIS A 1101 (Αντίστοιχη δοκιμή σκυροδέματος) πρέπει να χρησιμοποιηθεί.
- 2.2. Η τράπεζα εξάπλωσης πρέπει να είναι από σίδηρο άκαμπτο και υδατοστεγανό. Πρέπει να έχει διάσταση περίπου  $0,8*0,8$  μέτρα ή μεγαλύτερο και λεία επιφάνεια. Χερούλια, αν απαιτούνται πρέπει να εγκαθίστανται άμα δεν εμποδίζουν τη ροή του σκυροδέματος.
- 2.3. Για τη μέτρηση της εξάπλωσης χρησιμοποιούνται κατάλληλες μετροταινίες και οδηγοί.
- 2.4. Το πάχος της τράπεζας εξάπλωσης πρέπει να είναι τουλάχιστον 2.0 mm. Για να μετρηθεί ο χρόνος που κάνει το σκυρόδεμα μέχρι τα 500 mm προτείνεται να ζωγραφιστεί ένας κύκλος με διáμετρο 500mm.
- 2.5. Ένα δοχείο με χωρητικότητα 12 λίτρα.
- 2.6. Ένα χρονόμετρο με ακρίβεια 1/10 δευτερόλεπτα.

#### 3) Διαδικασία

- 3.1. Βρέχουμε τις εσωτερικές και τις εξωτερικές επιφάνειες του κώνου κάθισης και της εξάπλωσης με βρεγμένο πανί. Τοποθετούμε τον κώνο κάθισης πάνω στην τράπεζα της εξάπλωσης, η οποία είναι σε οριζόντια θέση.
- 3.2. Γεμίζουμε τον κώνο κάθισης με τη μέθοδο A ή τη μέθοδο B. Η περίπτωση όπου η κατασκευή δεν απαιτεί συμπύκνωση αναφέρεται ως μέθοδος A, ενώ αν απαιτείται δονητική συμπύκνωση αναφέρεται ως μέθοδος B. Στη μέθοδο A, το σκυρόδεμα γεμίζεται συνεχώς χωρίς καθόλου δόνηση ή ραβδισμό. Στη μέθοδο B, το σκυρόδεμα γεμίζεται σε τρία επίπεδα με ίσες ποσότητες σκυροδέματος. Σε κάθε επίπεδο χτυπάμε 5 φορές με τη ράβδο ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια της εξάπλωσης.
- 3.3. Ο χρόνος από την αρχή μέχρι το τέλος του γεμίσματος του κώνου κάθισης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2 λεπτά.
- 3.4. Σηκώνουμε τον κώνο από το απάνω χερούλι του κάθετα με σταθερό ρυθμό και χωρίς διακοπή. "Όταν η κίνηση του σκυροδέματος σταματήσει, μετράται η μέγιστη διάμετρος και η κάθετη σε αυτή. Η μέση διάμετρος λαμβάνεται ως η τιμή εξάπλωσης. Η μέτρηση θα γίνεται μόνο μία φορά.
- 3.5. "Όταν θέλουμε να μετρήσουμε το χρόνο που κάνει το σκυρόδεμα να φτάσει τα 500mm, μετράμε από τη στιγμή που σηκώνουμε τον κώνο κάθισης μέχρι η μέγιστη διάμετρος να φτάσει την τιμή των 500mm με ένα χρονόμετρο ακρίβειας 0,1 δευτερολέπτων.

## B. Δοκιμή χοάνης

### 1) Σκοπός

Οι παρακάτω προδιαγραφές καλύπτουν τη δοκιμή της χοάνης για την εύρεση της ικανότητας ροής του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με μέφιστο κόκκο χονδρόκοκκου αδρανούς 25 χιλιοστά ή λιγότερο.

### 2) Συσκευή

- 2.1 Συσκευές χοάνης με τις διαστάσεις των προδιαγραφών πρέπει να χρησιμοποιούνται.
- 2.2 Μια συσκευή χοάνης αποτελείται από τη συσκευή της χοάνης και μια κατάλληλη βάση.
- 2.3 Η πόρτα της χοάνης πρέπει να ανοίγει άμεσα, ενώ η επιφάνεια της χοάνης πρέπει να είναι λεία για να επιτρέπει την ανεμπόδιστη ροή του σκυροδέματος.
- 2.4 Μαζί με τη συσκευή της χοάνης, ένα δοχείο γεμίσματος της χοάνης (π.χ. ένα πλαστικό δοχείο χωρητικότητας 5 λίτρων), καθώς κι ένα δοχείο υποδοχής του σκυροδέματος από τη χοάνη με χωρητικότητα περίπου 12 λίτρων. Ακόμα ένα χρονόμετρο με ακρίβεια 1/10 του δευτερολέπτου κι ένα βρεγμένο πανί πρέπει να υπάρχουν δίπλα στη συσκευή της χοάνης.

Σημειώσεις:(1) Η εσωτερική επιφάνεια της χοάνης είτε αυτή είναι σχήματος V είτε είναι σχήματος Ο πρέπει να είναι 10 λίτρα.

(2) Είναι απαραίτητο η βάση της χοάνης να προσαρμόζεται, ώστε να διατηρεί τη χοάνη πλήρως οριζοντιωμένη.

### 3) Διαδικασία

- 3.1.Πλένουμε τη χοάνη με νερό και την τοποθετούμε κάθετα. Βρέχουμε την εσωτερική της επιφάνεια με ένα βρεγμένο πανί, έτσι ώστε οι εσωτερικές επιφάνειες να διατηρούνται σε υγρή κατάσταση.
- 3.2.Τοποθετούμε το δοχείο υποδοχής του σκυροδέματος κάτω από την πόρτα ανοίγματος της χοάνης.
- 3.3 Χύνουμε το σκυρόδεμα από το δοχείο γεμίσματος μέχρι αυτό να γεμίσει τη χοάνη.
- 3.4 Ισιώνουμε την πάνω επιφάνεια του σκυροδέματος χρησιμοποιώντας ένα μυστρί.
- 3.5 Αφού ισιώσουμε την επάνω επιφάνεια της χοάνης, ανοίγουμε την πόρτα της χοάνης μέσα σε χρονικό διάστημα 10 δευτερολέπτων και μετράμε το χρόνο μέχρι όλο το σκυρόδεμα να εξέλθει από τη χοάνη με χρονόμετρο ακρίβειας 1/10 δευτερολέπτου.
- 3.6 "Όταν μετράμε το χρόνο ροής μετά από 5 λεπτά, αφήνουμε το σκυρόδεμα να ισορροπήσει στη συσκευή για 5 λεπτά κι έπειτα ανοίγουμε την πόρτα της χοάνης. Ο χρόνος που μετράται λαμβάνεται ως χρόνος t5. Μαζί με τη μέτρηση του παραπάνω χρόνου καταγράφουμε την κατάσταση ροής του σκυροδέματος (π.χ. αν έχει απομειχθεί, αν είναι ύφυγρο κ.τ.λ.)

## Γ. Δοκιμή με το δοχείο σχήματος 'U'

### 1) Σκοπός

Οι παρακάτω προδιαγραφές καλύπτουν τη μέθοδο που αξιολογεί την ικανότητα του αυτοσυμπικνούμενου σκυροδέματος να περνά μέσα από εμπόδια για μέγιστη διάσταση χονδρόκοκκου αδρανούς 20 με 25 χιλιοστά.

### 2) Συσκευή

- 2.1. Το δοχείο σχήματος 'U' πρέπει να είναι ένα σιδερένιο δοχείο με λείες επιφάνειες με σχήμα και διαστάσεις που περιγράφονται στις προδιαγραφές.
- 2.2. Το δοχείο σχήματος 'U' πρέπει να έχει εμπόδια (σιδερένιες ράβδους), τα οποία είναι κάθετα στη συσκευή και διατάσσονται σαν ένα 'φράχτη' στη ροή του σκυροδέματος.
- 2.3. Το δοχείο σχήματος 'U' πρέπει να έχει τέτοια δομή, ώστε τα δύο του τμήματα να διαχωρίζονται από μια σιδερένια επιφάνεια με τα εμπόδια κατάλληλα διατεταγμένα στο κάτω μέρος της και μια συρόμενη πόρτα η οποία ανοιγοκλείνει για να ρέει κατάλληλα το σκυρόδεμα.
- 2.4. Ακόμα, ένα δοχείο γεμίσματος της συσκευής (χωρητικότητας περίπου 5 λίτρων), μυστρί για οριζοντιώση της επάνω επιφάνειας του σκυροδέματος, κατάλληλη μετροταινία, ένα χρονόμετρο ακρίβειας 1/10 του δευτερολέπτου καθώς κι ένα βρεγμένο παμί πρέπει να είναι έτοιμα.

Σημειώσεις: (1) Οι εσωτερικές επιφάνειες της συσκευής πρέπει να είναι λείες, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η τριβή.

(2) Τα εμπόδια μπορεί να είναι δύο ειδών: Τα εμπόδια τύπου 1 που αποτελούνται από 5 σιδερένιες ράβδους με διάμετρο 10 χιλιοστά και τα εμπόδια τύπου 2 που αποτελούνται από 3 σιδερένιες ράβδους με διάμετρο 13 χιλιοστά. Τα εμπόδια τύπου 2 είναι τα πιο συβήθη. Ο τύπος των εμποδίων επιλέγεται από το σχήμα, τις διαστάσεις και τον οπλισμό της κατασκευής.

(3) Το μέγιστο ύψος ισορροπίας στο δεύτερο τμήμα πρέπει να είναι 365 χιλιοστά αν δεν υπάρχει καθόλου τριβή ανάμεσα στις εσωτερικές επιφάνειες κατά τη ροή του σκυροδέματος. Πάντως προτείνεται η μέτρηση του μέγιστου ύψους ξεχωριστά για κάθε συσκευή π.χ. μετρώντας το ύψος στήλης αποσταγμένου νερού στο δεύτερο τμήμα, αφού αυτό διαφέρει από συσκευή σε συσκευή κι εξαρτάται από τα λάθη που έχουν γίνει στη διαστασιολόγηση της συσκευής και το πάχος της συρόμενης πόρτας και της σιδερένιας επιφάνειας που χωρίζει τα δύο τμήματα.

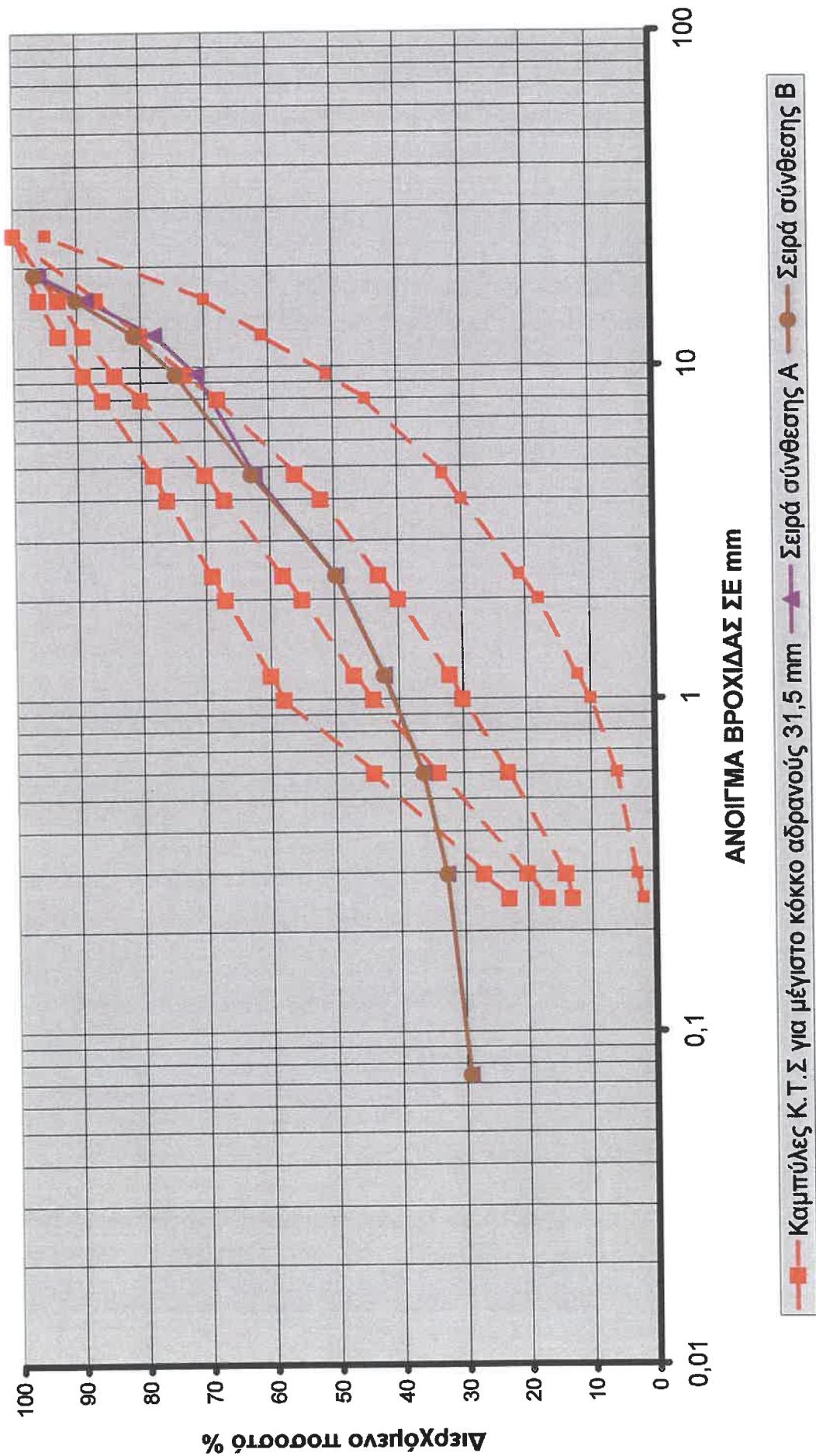
### 3) Διαδικασία

- 3.1. Τοποθετούμε το δοχείο σχήματος 'U' καθέτως, με την επάνω επιφάνεια οριζοντιωμένη.
- 3.2. Κλείνουμε τη συρόμενη πόρτα.
- 3.3. Βρέχουμε τις εσωτερικές επιφάνειες της συσκευής, των εμποδίων, της σιδερένιας επιφάνειας και της συρόμενης πόρτας με ένα βρεγμένο πανί.
- 3.4. Τοποθετούμε το σκυρόδεμα στο πρώτο τμήμα π.χ. από ένα πλαστικό δοχείο με τη συρόμενη πόρτα κλειστή. Το σκυρόδεμα πρέπει να 'χύνεται' ομοιόμορφα μέχρι την κορυφή του πρώτου τμήματος χωρίς να το χτυπάμε με σιδερένια ράβδο κατά τη γέμισή του.
- 3.5. Αφήνουμε το μίγμα να ισορροπήσει στο πρώτο τμήμα για ένα λεπτό.

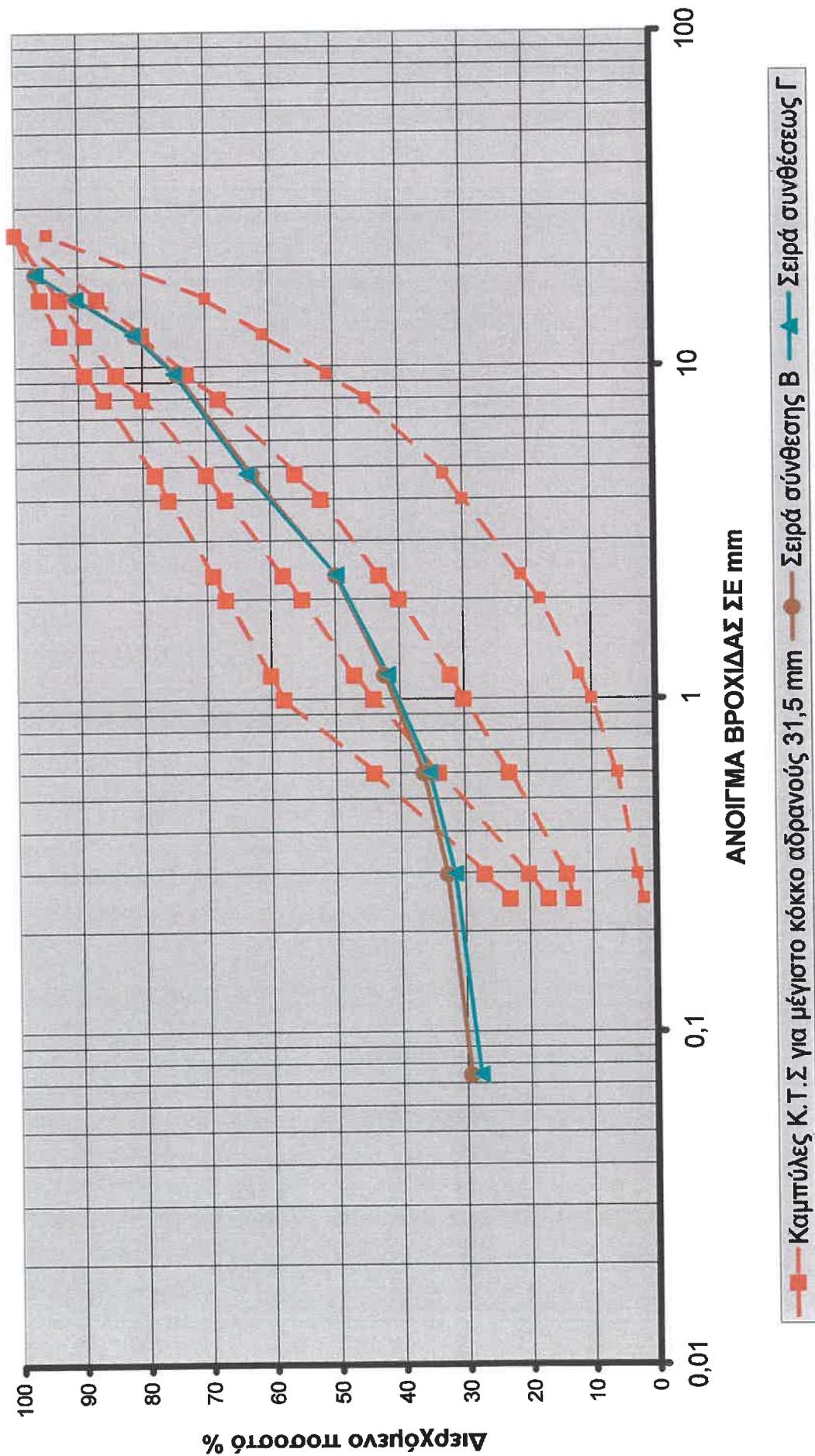
- 3.6. Ανοίγουμε τη συρόμενη πόρτα με μια γρήγορη κίνηση. Επιτρέπουμε στο σκυρόδεμα να ρέει μέσα από τα εμπόδια στο δεύτερο τμήμα και το αφήνουμε μέχρι αυτό να σταματήσει.
- 3.7. Μετρούμε το ύψος του σκυροδέματος στο δεύτερο τμήμα του δοχείου με ακρίβεια 1 χιλιοστού. Το ύψος αυτόλαμβάνεται ως η παράμετρος Bh (Ύψος γεμίσματος).
- 3.8. Μετρούμε το χρόνο από το άνοιγμα της συρόμενης πόρτας μέχρι το σταμάτημα της ροής του σκυροδέματος στο δεύτερο τμήμα με ακρίβεια 1/10 δευτερολέπτου. Η μετρούμενη παράμετρος είναι ο χρόνος γεμίσματος, Btime.

**«ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΕΙΣ ΣΕΙΡΩΝ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ  
ΚΑΙ ΤΩΝ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ».**

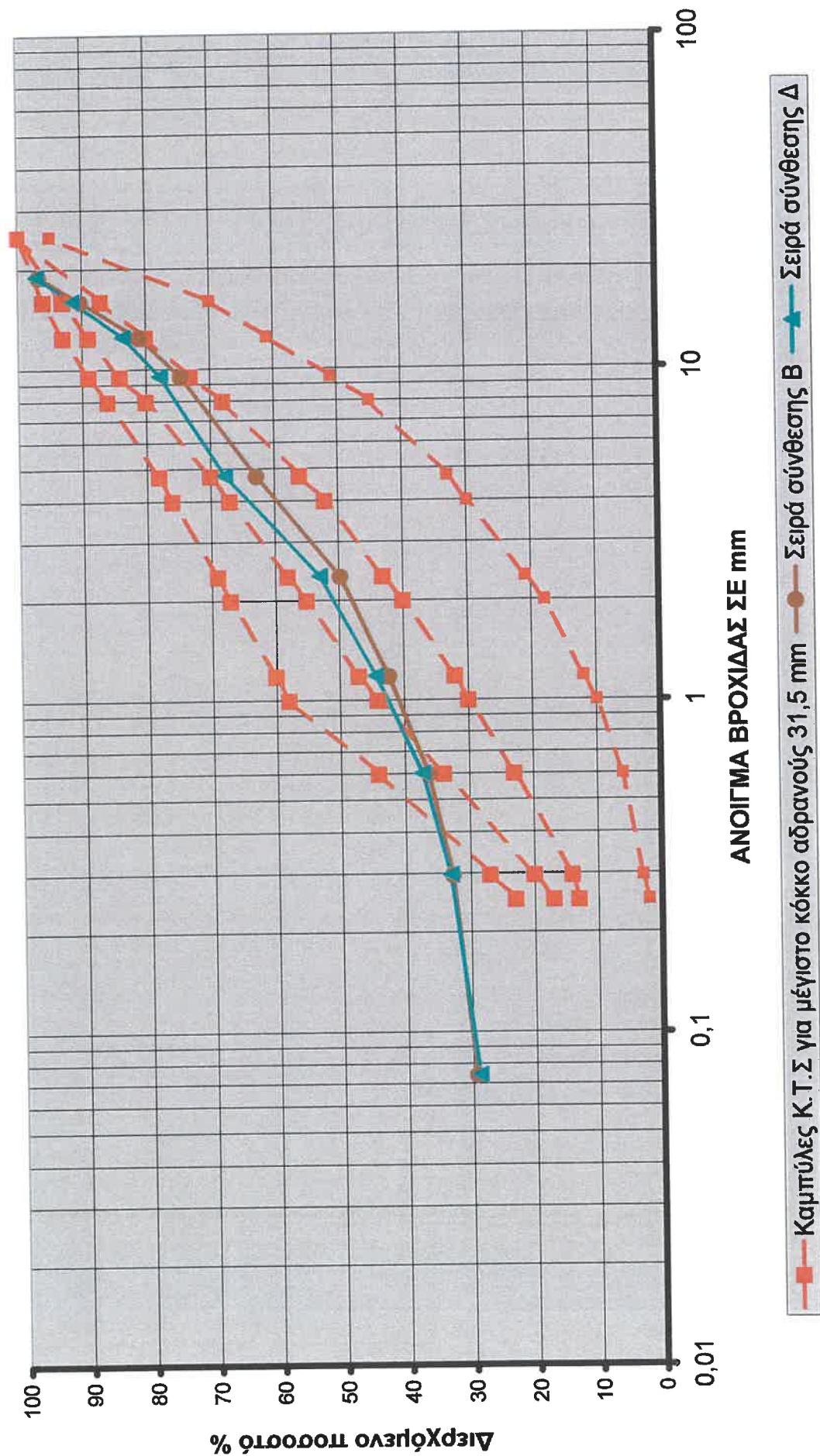
**Κοκκομετρική διαβίσθμηση σειρών συνθέσεων A και B με λεπτά υλικά**



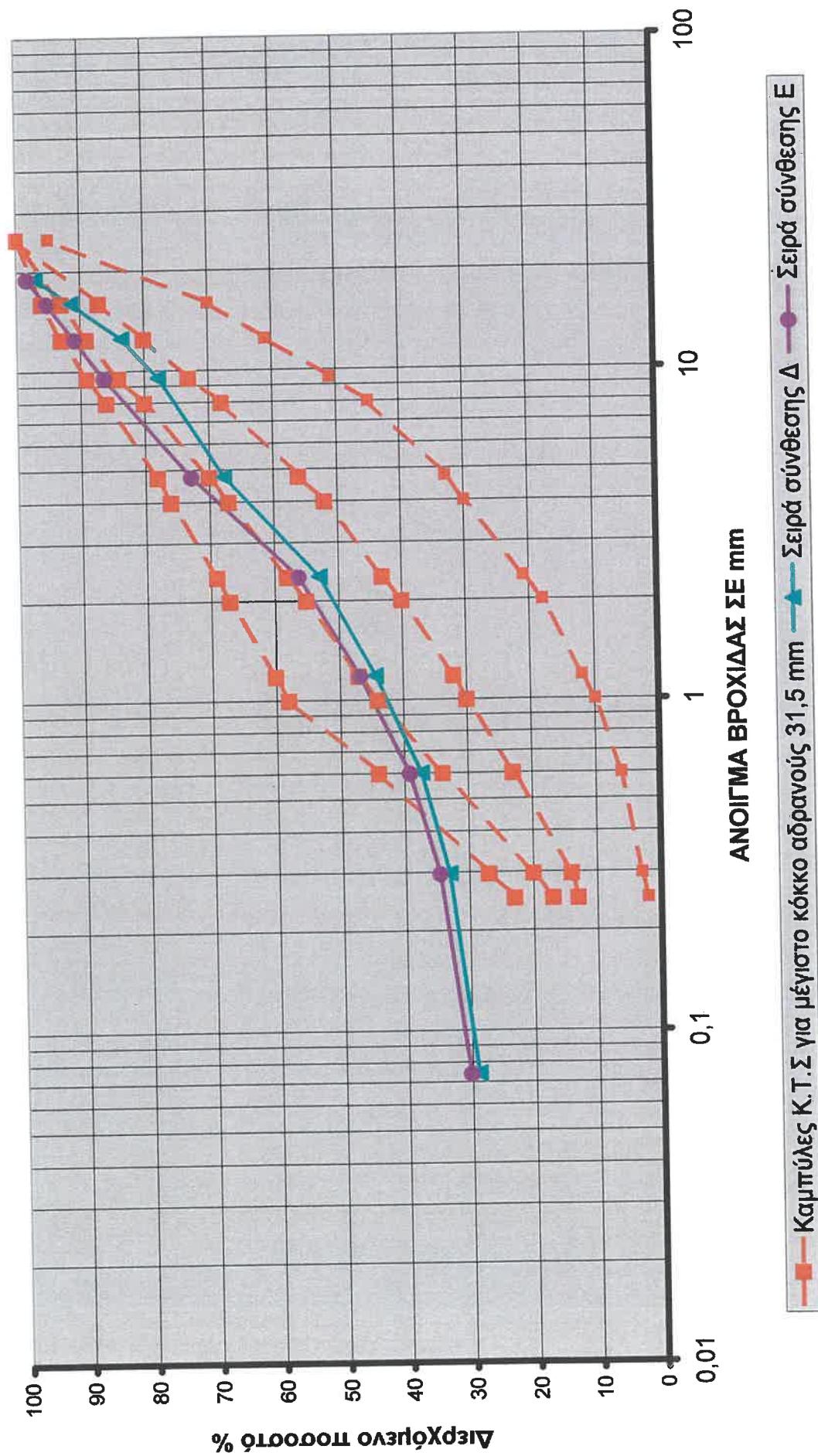
**Κοκκουμετρική διαβίσθμιση στερών συνθέσεων Β και Γ με λεπτά υλικά**



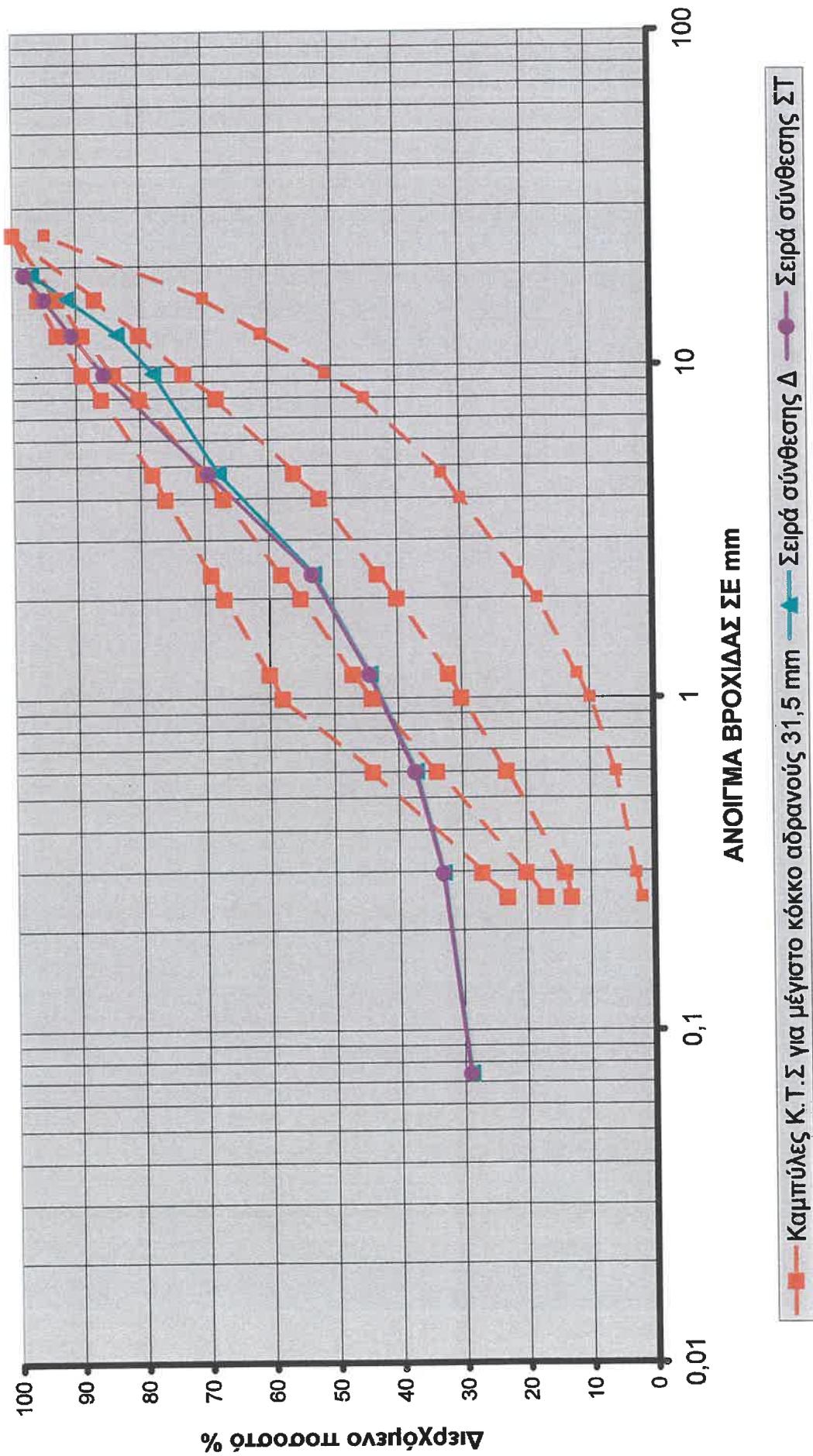
**Κοκκομετρική διαβάθυνση σειρών συνθέσεων Β και Δ με λεπτά υλικά**



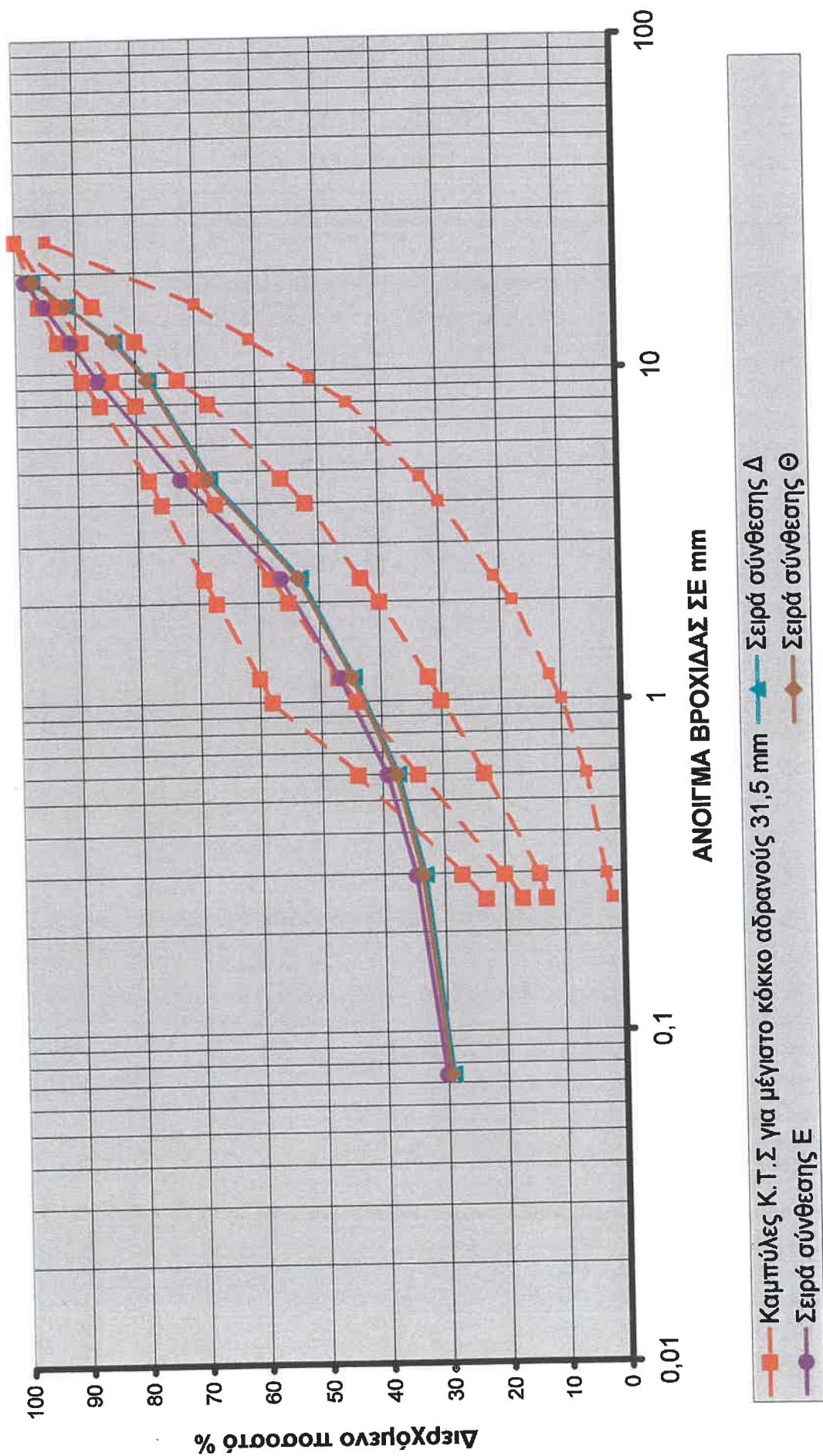
**Κοκκομετρική διαβάθυνση στιγμών συνθέσεων  $\Delta$  και  $\Sigma$  με λεπτά υλικά**



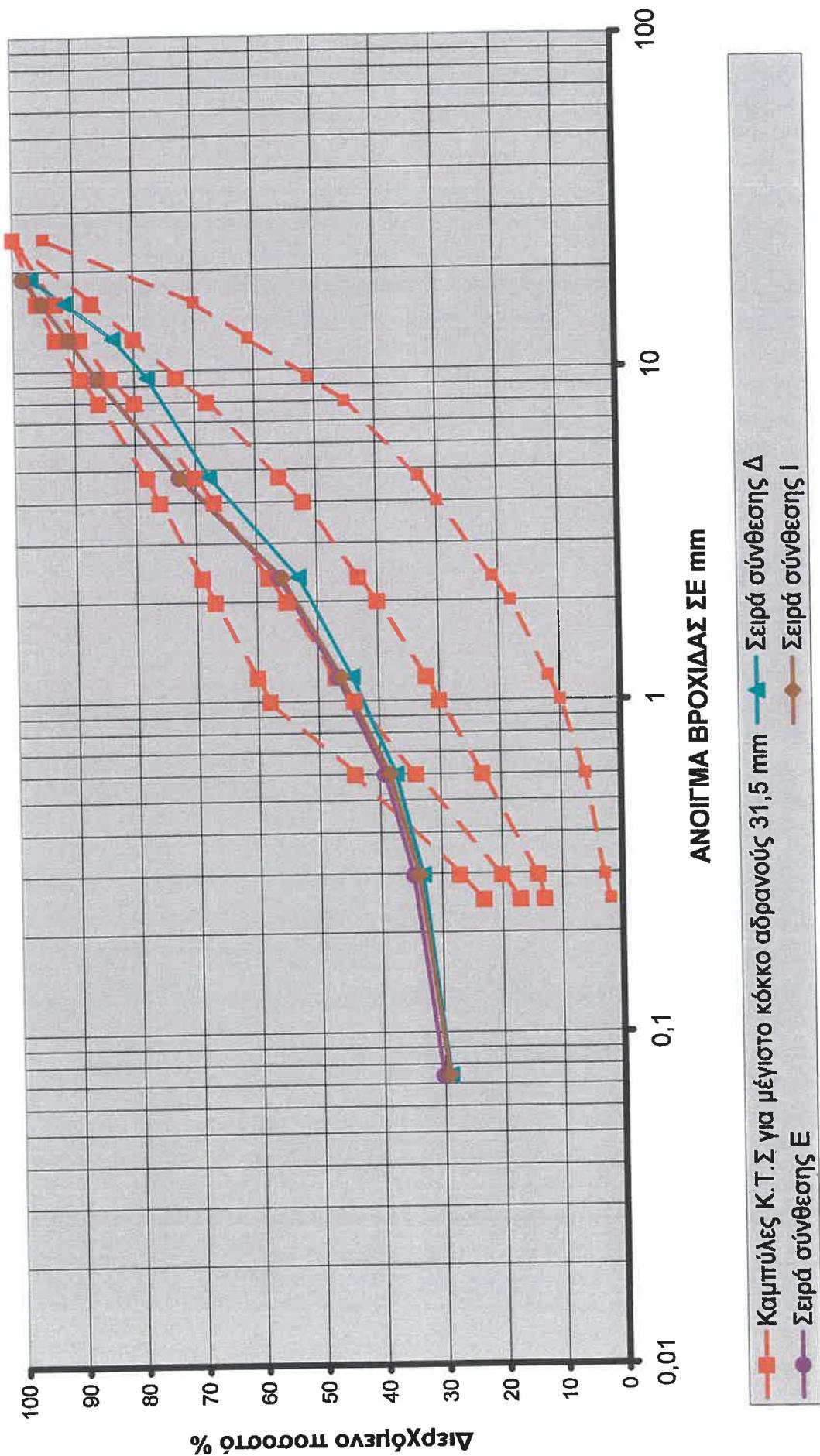
**Κοκκομετρική διαβάθυμη στερίων συνθέσεων Δ και ΣΤ με λεπτό αλικά**



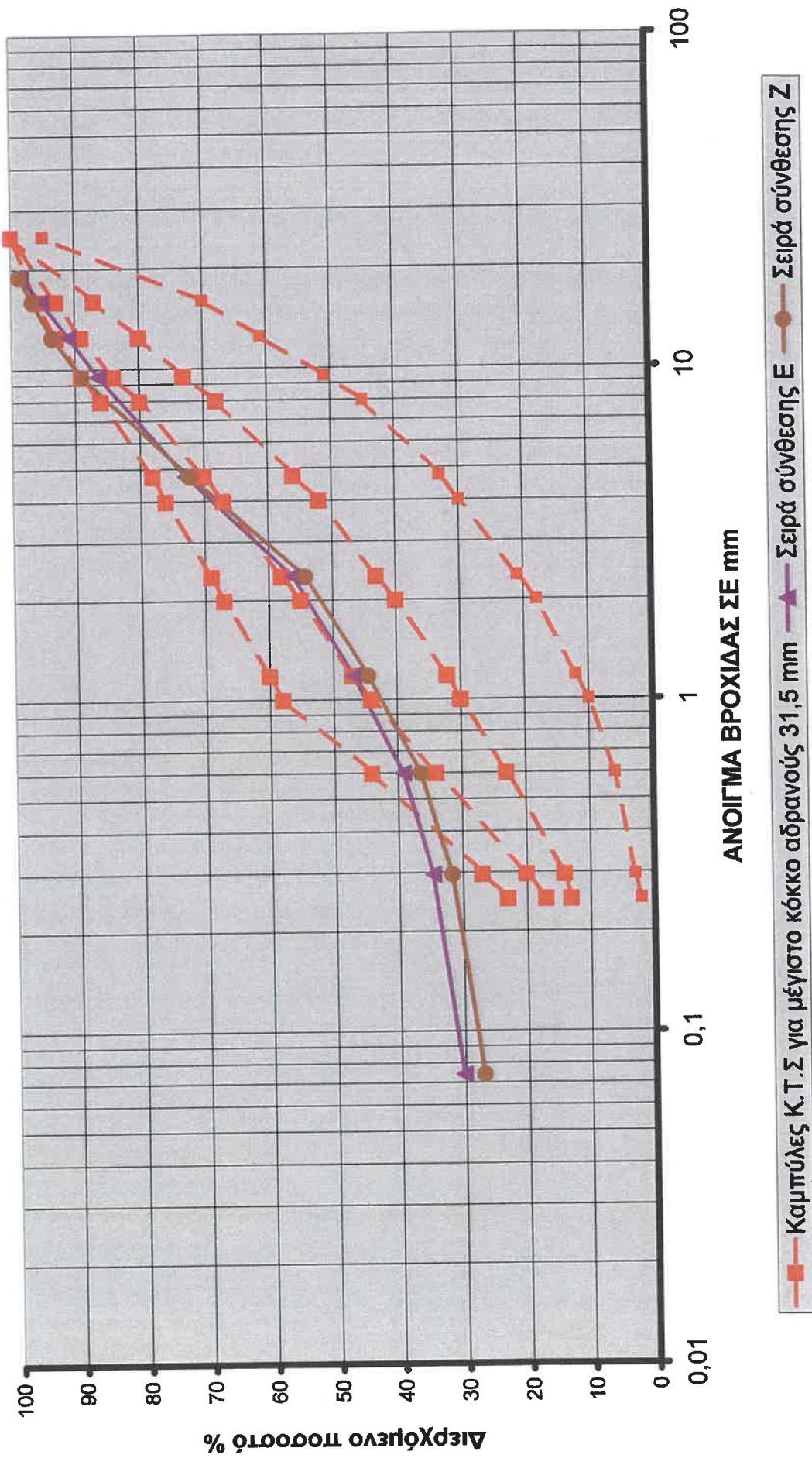
**Κοκκομετρική διαβάθυνση σειρών συνθέσεων  $\Delta$ ,  $E$  και  $\Theta$  με λεπτά υλικά**



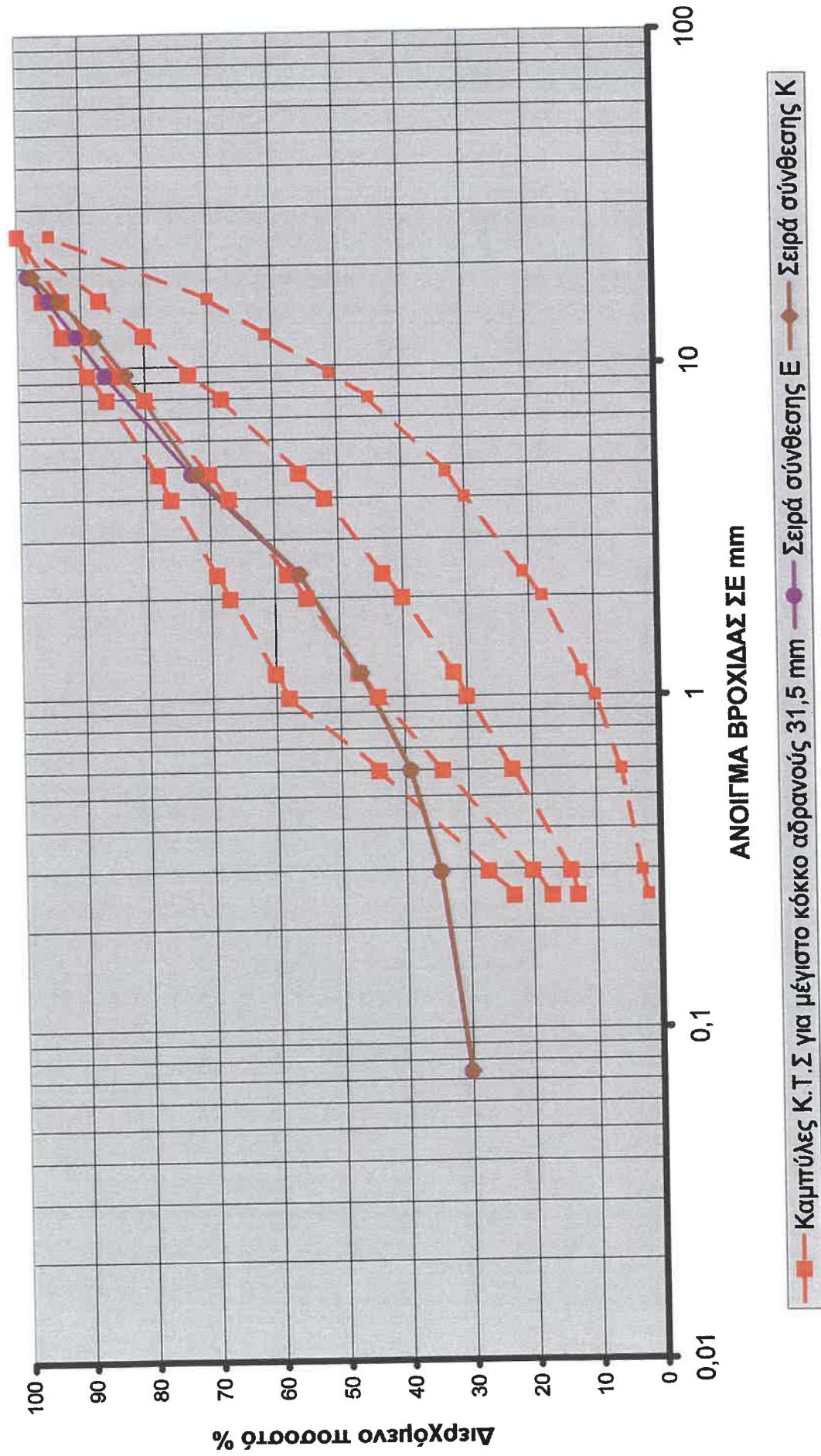
**Κοκκομετρική διαβάθυση στιρών συνθέσεων Δ,Ε και Ι με λεπτά υλικά**



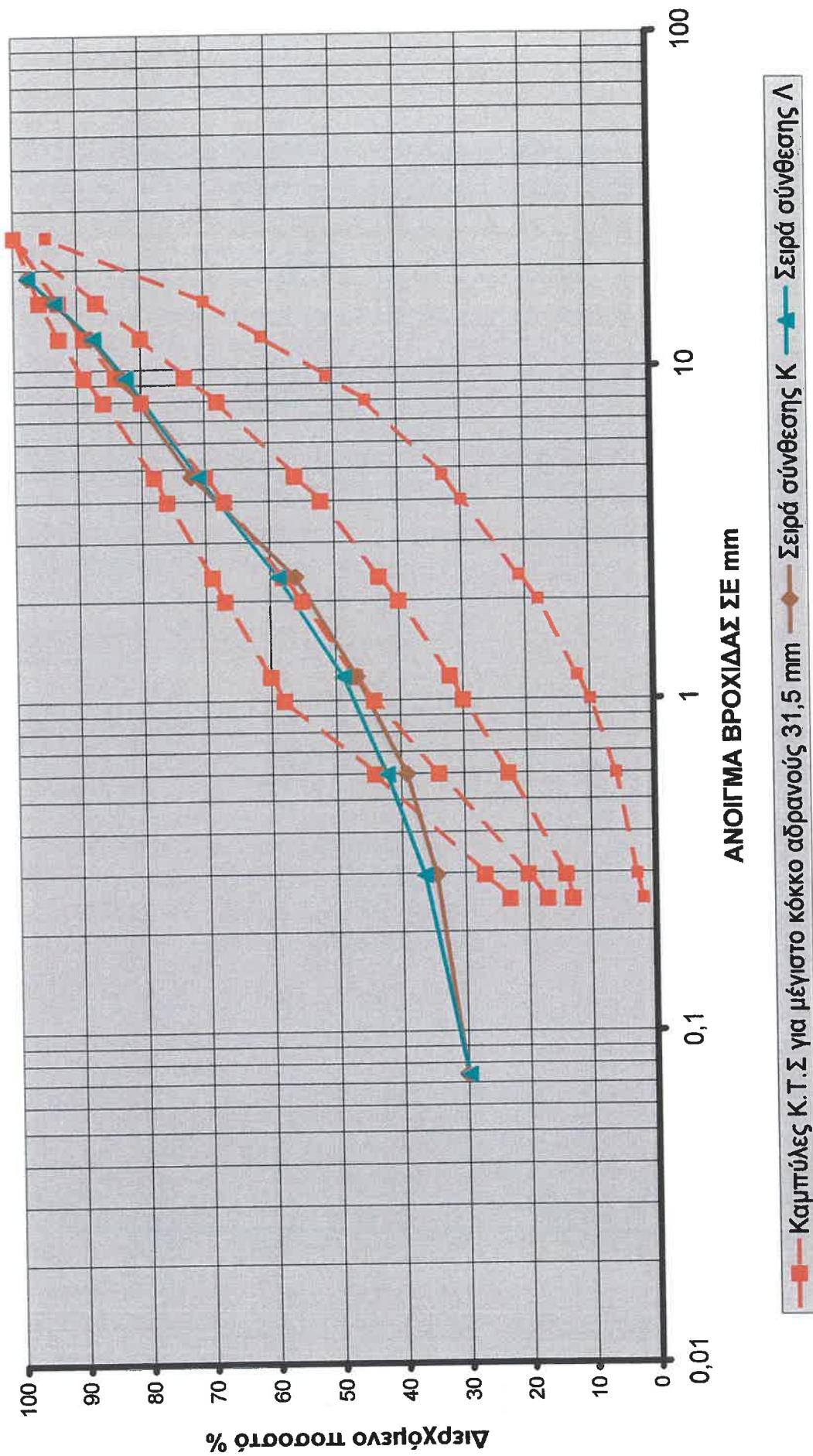
**Κοκκομετρική διαβίσθυση σειρών συνθέσεων Ε και Ζ με λεπτά υλικά**



**Κοκκομετρική διαβίθυση σειρών συνθέσεων Ε και Κ με λεπτά υλικά**



**Κοκκομετρική διαβρόθμιση σειρών συνθέσεων Κ και Λ με λεπτά υλικά**



## БИБЛІОГРАФІА

- [1] MASACHIRO OUCHI «*History of development and applications of self-compacting concrete in Japan*», Proceedings of the international workshop on self-compacting concrete, 23-26 August 1998 Kochi Japan,1-10
- [2] A.SKARENDAL, O.PETERSSON «*Self compacting concrete*», Proceedings of a RILEM-WTA-Seminar on High Performance of Cement-Based Materials ETH, Zurich, 22 September 1997.
- [3] J.BYFORS «*SCC is an important step towards industrialisation of the building industry*», Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September 1999, Stockholm, Sweden, 15-24.
- [4] H.OKAMURA, M.OUCHI «*Self compacting concrete. Development, present use and future*», Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September 1999, Stockholm, Sweden, 3-14.
- [5] K.KHAYAT «*Testing and performance of self-compacting concrete*».
- [6] JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS «*Recommendation for self-compacting concrete*».
- [7] P.BILBERG «*Fine mortar rheology in mix design of SCC*», Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September 1999, Stockholm, Sweden, 47-58.
- [8] K.KHAYAT, C.HU, H.MONTY «*Stability of self consolidating concrete, advantages, and potential applications*», Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September 1999, Stockholm, Sweden,143-152
- [9] M.A.NOOR, T.UOMOTO «*Three- dimensional discrete element simulation of rheology tests of self- compacting concrete*», Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September 1999, Stockholm, Sweden,35-46.
- [10] HACHIRO KITAMURA, TAKEYOSHI NISHIZAKI, HIDEYOSHI ITO, RYUICHI CHIKAMATSU, FUMIO KAMADA, MINORU OKUDATE «*Construction of prestressed Outer Tank for LNG Storage Using High-Strength Self Compacting Concrete*», Proceedings of the international workshop on self-compacting concrete, 23-26 August 1998 Kochi Japan,255-261.

- [11] JOOST WALRAVEN «*The development of self compacting concrete in the Netherlands*», Proceedings of the international workshop on self-compacting concrete, 23-26 August 1998 Kochi Japan, 87-96.
- [12] ORJAN PETERSSON, PETER BILBERG, THOMAS OSTERBERG «*Applications of self compacting concrete for bridge castings*», Proceedings of the international workshop on self-compacting concrete, 23-26 August 1998 Kochi Japan, 318-327.
- [13] VICTOR C.LI, H.J.KONG, YIEN-WEN CHAN «*Development of self compacting engineered cementitious composites*», Proceedings of the international workshop on self-compacting concrete, 23-26 August 1998 Kochi Japan, 46-59.
- [14] TAKAFUMI NOGUCHI, HIROSHIMO MORI «*State-of-the-art report: Evaluation of fresh properties of self-compacting-concrete in laboratory and on site*», Proceedings of the international workshop on self-compacting concrete, 23-26 August 1998 Kochi Japan, 97-110.
- [15] T.NOGUCHI, S.G.OH, F.TOMOSAWA «*Rheological approach to passing ability between reinforcing bars of self-compacting concrete*», Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September 1999, Stockholm, Sweden, 59-70.
- [16] H.FUJIWARA, S.NAGATAKI, N.OTSUKI, E.ENDO «*Study on reducing unit powder content of high-fluidity concrete by controlling powder particle size distribution*», Conc. Lib. Of Japan Soc. Of Civ. Eng., 28 December 1996, 117-128.
- [17] P.L.J.DOMONE, J.JIN «*Properties of mortar for self compacting concrete*», Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September 1999, Stockholm, Sweden, 109-120.
- [18] M.OUCHI, Y.EDAMATSU «*A simple evaluation method for interaction between coarse aggregate and mortar particles in self-compacting concrete*», Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September 1999, Stockholm, Sweden, 121-130.
- [19] M.EMBORG «*Rheology tests for self-compacting concrete-How useful are they for the design of concrete mix for full-scale production?*», Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September 1999, Stockholm, Sweden, 95-108.
- [20] T.SEDRAN, F.DE LARRARD «*Optimization of self-compacting concrete thanks to packing model*», Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September 1999, Stockholm, Sweden, 321-332.

- [21] T.NAWA, T.IZUMI, Y.EDAMATSU «*State-of-the-art report on materials and design of self-compacting concrete*», Proceedings of the international workshop on self-compacting concrete, 23-26 August 1998 Kochi Japan, 160-190.
- [22] H-W.CHAL «*Design and testing of self-compacting concrete*», Ph.D thesis, University of London, April 1998.
- [23] ΧΡΗΣΤΟΥ Μ.ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, «*Τεχνολογία των σκυροδέματος*», Εκδόσεις Art of Text, 2η έκδοση 1993.
- [24] ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Κ.Τ.Σ), Αθήνα 1997.
- [25] A.M.NEVILLE «*Properties of concrete*», Longman Group LTD, 4<sup>th</sup> edition 1995.
- [26] K.H.KHAYAT «*Viscosity Enhancing admixtures for cement-based materials-An overview*», Cement and concrete composites 20(1998), 171-188.
- [27] S.ROLLS, J.AMBROISE, J.PERA «*Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete*», Cement and concrete research Vol.29, No2 February 1999, 261-266.
- [28] V.S.RAMACHANDRAN «*CBD-203 Superplasticizers in concrete*», IRS publications, May 1999.
- [29] G.H.TATTERSALL «*Workability and quality control of concrete*».
- [30] ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ
- [31] ΣΧΕΔΙΟ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΕΛΟΤ 345
- [32] Σ.ΚΟΛΛΙΑΣ, Α.ΛΟΙΖΟΣ «*Ειδικά Θέματα Οδοστρωμάτων*», Σημειώσεις Μαθήματος 9ου εξαμήνου Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα 1997.
- [33] Ι.ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗ-ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ «*Έργασιμότητα σκυροδέματος. Ορισμοί. Μεθόδοι μέτρησης*», Πρακτικά Σεμιναρίου Τεχνολογίας Σκυροδέματος, 31-33.
- [34] Ι.ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗ-ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ «*Πρόσθετα σκυροδέματος*», Πρακτικά Σεμιναρίου Τεχνολογίας Σκυροδέματος, 57-70.
- [35] K.H.KHAYAT, A.YAHIA «*Simple field tests to characterize fluidity and washout resistance of structural cement grout*», Cement, Concrete and Aggregates Vol.20, No 1, June 1998, 145-156.