

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ –
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ, ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ,
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΟΙΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΑ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΜΑΝΩΝΑΣ ΜΙΧΑΗΛ: Α.Μ.:4399

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ ΜΠΑΡΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, Εργ. Συνεργάτης

ΠΑΤΡΑ 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε από τον σπουδαστή Μανώνα Μιχαήλ. Βασικός της στόχος είναι η παρουσίαση ενός ειδικού τύπου σκυροδέματος, του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (ΑΣΣ). Ειδικότερα θα μελετηθούν οι ιδιότητες του υλικού σε νοπή και σε σκληρυνμένη μορφή σε σύγκριση με τις ιδιότητες αντίστοιχα του συμβατικού σκυροδέματος, θα παρουσιαστούν οι δοκιμές ποιοτικού ελέγχου καθώς και τα κριτήρια αποδοχής του. Θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα και τα προβλήματα στα οποία οι βελτιωμένες ρεολογικές ιδιότητες του υλικού καλούνται να δώσουν λύση, καθώς και οι νέες απαιτήσεις και σημεία προσοχής σε όλα τα στάδια παρασκευής, ποιοτικού ελέγχου, μεταφοράς και χύτευσής του. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εποπτεύοντα καθηγητή Δρ. Δημήτριο Μπάρο και την Πηνελόπη για τη βοήθεια και στήριξή της.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην Ιαπωνία τη δεκαετία του 80 άρχισε να αναπτύσσεται η ιδέα για τον σχεδιασμό ενός τύπου σκυροδέματος το οποίο θα επιτύγχανε συμπύκνωση μόνο με το ίδιο βάρος του, χωρίς τη χρήση εξωτερικών δυνάμεων. Με κάποιες αλλαγές στη σύνθεση του σκυροδέματος, όπως μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λεπτά υλικά, αντικατάσταση μέρους του τσιμέντου από βιομηχανικά παραπροϊόντα και χρήση κατάλληλων χημικών προσμίκτων, προκύπτει μία τσιμεντόπαστα με βελτιωμένες ρεολογικές ιδιότητες. Με κατάλληλο σχεδιασμό το ΑΣΣ έχει την ιδιότητα να αυτοσυμπυκνώνεται, να πληρώνει οποιαδήποτε διατομή περίπλοκης αρχιτεκτονικής ή διατομή με πυκνό οπλισμό σε ικανοποιητικό επίπεδο και να είναι ανθεκτικό σε φαινόμενα απόμειξης. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρονται οι ιδιότητες του ΑΣΣ, τα συστατικά του, προτεινόμενες συνθέσεις, οι ρεολογικοί έλεγχοι και τα σημεία προσοχής του. Επίσης μέσω δοκιμών συγκρίνονται οι μηχανικές ιδιότητες του ΑΣΣ έναντι του συμβατικού σκυροδέματος ώστε να κριθεί η καταλληλότητα του για χρήση σε οποιαδήποτε κατασκευή. Τέλος γίνεται αναφορά σε ορισμένες εφαρμογές με ειδικές απαιτήσεις όπου κρίθηκε κατάλληλη η χρήση του ΑΣΣ λόγω των ιδιοτήτων του.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	1
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	1
1.3 ΒΑΣΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΕΝΑΝΤΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	3
1.4 ΣΗΜΕΙΑ ΠΡΟΣΟΧΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	4
Βιβλιογραφικές Αναφορές 1 ^{ου} Κεφαλαίου.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	7
2.1 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΣΣ.....	7
2.1.1 Τσιμέντο ΑΣΣ.....	7
2.1.2 Λεπτά Υλικά.....	8
2.1.3 Ιπτάμενη Τέφρα (Fly Ash).....	8
2.1.4 Αδρανή Υλικά (Aggregates).....	9
2.1.4.1 Μέγιστη Διάμετρος.....	9
2.1.4.2 Σχήμα, Υφή και Γωνιώδες Αδρανών.....	9
2.1.4.3 Κοκκομετρική Διαβάθμιση Αδρανών.....	10
2.1.4.4 Κατάσταση Υγρασίας Αδρανών (Aggregate Moisture Condition).....	11
2.1.5 Ασβεστολιθική Παιπάλη (Limestone Filler).....	12
2.1.6 Σκωρία (Slag).....	13
2.1.7 Πυριτική Παιπάλη (Silica Fume).....	13
2.1.8 Χημικά Πρόσμικτα.....	14
2.1.9 Μετακαολίνης	16
2.2 ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΣ.....	17
2.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΑΣΣ.....	19
2.3.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών.....	20
2.3.2 Λοιπά συστατικά που χρησιμοποιήθηκαν.....	21
2.3.3 Διαδικασία ανάμειξης των υλικών.....	22
2.3.4 Εργοστασιακές δοκιμές στις συνθέσεις του παραδείγματος.....	23
2.3.5 Παρατηρήσεις για το παράδειγμα εργαστηριακής δοκιμής.....	26
Βιβλιογραφικές Αναφορές 2 ^{ου} Κεφαλαίου.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	31
3.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΣΣ.....	31
3.2 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΡΩΣΗΣ (FILLING ABILITY).....	33
3.2.1 Δοκιμή Κώνου Εξάπλωσης Χρόνου t_{50} (Slump-Flow).....	33

3.2.2	Χοάνη σχήματος V (V-funnel).....	35
3.3	ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ (PASSING ABILITY).....	37
3.3.1	Συσκευή σχήματος L (L-Box).....	38
3.3.2	Δακτύλιος J (J-Ring).....	40
3.3.3	Δοκιμή δοχείου U (U-Box Test).....	43
3.4	ΔΕΙΚΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ (VISUAL STABILITY INDEX).....	44
3.5	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΑΣΣ.....	45
	Βιβλιογραφικές Αναφορές 3 ^{ου} Κεφαλαίου.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....51

4.1	Μηχανικές ιδιότητες ΑΣΣ.....	51
4.1.1	Σύνθεση ΑΣΣ της δοκιμής.....	52
4.1.2	Σύνθεση Συμβατικού Σκυροδέματος της δοκιμής.....	52
4.1.3	Ρεολογικοί Έλεγχοι ΑΣΣ.....	52
4.1.4	Εφελκυστική Αντοχή Διάρρηξης.....	53
4.1.5	Αντοχή σε Θλίψη.....	57
4.1.6	Σχέση μεταξύ εφελκυστικής και θλιπτικής αντοχής.....	60
4.2	ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΣΣ.....	61
4.2.1	Συνθέσεις ΑΣΣ της δοκιμής.....	61
4.2.2	Ρεολογικοί Έλεγχοι ΑΣΣ.....	63
4.2.3	Δοκιμή Εξόλκευσης Οπλισμού.....	64
4.3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΗΞΕΩΣ ΤΟΥ ΑΣΣ.....	68
4.4	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ.....	69
4.5	ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	70
4.5.1	Αυτογενής Συστολή.....	70
4.5.2	Συστολή Ξήρανσης.....	71
4.5.3	Πλαστική Συστολή.....	71
4.5.4	Ερπυσμός.....	71
4.6	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ.....	71
4.7	ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΑΣΣ.....	72
	Βιβλιογραφικές Αναφορές 4 ^{ου} Κεφαλαίου.....	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΤΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....76

5.1	ΑΠΟΔΟΧΗ ΑΣΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΚΛΑΔΟ.....	76
5.2	ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΣΣ ΣΕ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ.....	77
5.3	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΣΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ.....	81
5.3.1	Γέφυρα Ritto Bridge.....	81
5.3.2	Γέφυρα Higashi-Oozu.....	83
5.3.3	Κέντρο Τέχνης της Meudon, Γαλλία.....	85

5.3.4 Σήραγγα στη περιοχή Grind, Σουηδία.....	87
5.3.5 Μελέτη Sodra Lancken, Σουηδία.....	88
Βιβλιογραφικές Αναφορές 5 ^{ου} Κεφαλαίου.....	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.

Το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (ΑΣΣ) είναι ένα σκυρόδεμα ειδικού τύπου το οποίο, σύμφωνα και με την ονομασία του, επιτυγχάνει συμπύκνωση μόνο με το ίδιο βάρος του, χωρίς τη χρήση δονητών ή άλλων εξωτερικών δυνάμεων. Αυτό οφείλεται στις βελτιωμένες ρεολογικές του ιδιότητες οι οποίες επιτυγχάνονται με μεγαλύτερη ποσότητα λεπτών υλικών, σε αντίθεση με ένα κανονικό μείγμα σκυροδέματος, σε συνδυασμό με αυξημένη δοσολογία ισχυρού υπερρρευστοποιητή και πολλές φορές τη χρήση ενός χημικού πρόσμικτου για τη ρύθμιση του ιξώδους. Αποτέλεσμα είναι ένα σκυρόδεμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προκατασκευασμένα στοιχεία, σε γεωμετρικά δύσκολες διατομές, σε στοιχεία με πολύ πυκνό οπλισμό, σε στοιχεία κάτω από το νερό και γενικά όπου είναι δύσκολη ή οικονομικά ασύμφορη η δόνηση.

Η διαφορά ανάμεσα σε ένα σωστά σχεδιασμένο μείγμα ΑΣΣ και σε ένα ειδικά σχεδιασμένο σκυρόδεμα υψηλής ρευστότητας (Υπέρρευστο Σκυρόδεμα), είναι πως το ΑΣΣ χαρακτηρίζεται από υψηλή εργασιμότητα, δεν χρειάζεται καθόλου συμπύκνωση, παρουσιάζει αυξημένη αντίσταση στην απόμειξη και διατηρεί τη σύνθεσή του τόσο στη μεταφορά όσο και στη χύτευσή του, ιδιότητες που δεν αποδίδονται στον ίδιο βαθμό με το υπέρρευστο σκυρόδεμα. Άλλη μια σημαντική ιδιότητα του ΑΣΣ είναι η σθεναρότητά του (robustness), δηλαδή η ικανότητα που έχει σε νωπή κατάσταση να διατηρεί τις αρχικά σχεδιασμένες ρεολογικές ιδιότητές του με ελάχιστες αποκλίσεις όταν οι αναλογίες των συστατικών του, όπως η κοκκομετρία της άμμου και η υγρασία των αδρανών παρουσιάζουν υπολογίσιμες, διακυμάνσεις. Η συγκεκριμένη ιδιότητα δεν έχει ιδιαίτερη σημασία σε ένα απλό δονούμενο σκυρόδεμα αλλά όσον αφορά το ΑΣΣ είναι καθοριστικός παραγοντας μιας επιτυχημένης σχεδίασης.

Το ΑΣΣ δεν είναι ένα συγκεκριμένο υλικό, αλλά η ονομασία αυτή παραπέμπει σε μία «οικογένεια» σκυροδεμάτων τα οποία χαρακτηρίζονται από ρεολογικές και λοιπές ιδιότητες που λαμβάνουν τιμές από ευρεία πεδία.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.

Η ιδέα για την παρασκευή ενός σκυροδέματος το οποίο δεν θα χρειαζόταν δόνηση και θα διατηρούσε τις υπόλοιπες ιδιότητες ενός συμβατικού σκυροδέματος άρχισε να αναπτύσσεται τη δεκαετία του 1980.

Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο, λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης του κατασκευαστικού κλάδου, οι αυξανόμενες ανάγκες των ανθρώπων τη δεκαετία του 1950 και 1960 είχαν ως αποτέλεσμα να επιταχυνθούν οι κατασκευαστικές διαδικασίες χωρίς πολλές φορές να δίνεται έμφαση στην ποιότητα κατασκευής. Έτσι παρατηρήθηκε ταχεία διάβρωση των κατασκευών,

οι οποίες παρουσίαζαν σημαντικές φθορές μόλις στις δύο πρώτες δεκαετίες της ζωής τους. Για το λόγο αυτό η Ιαπωνική Κυβέρνηση διεξήγαγε έρευνα για τα αίτια της ταχείας φθοράς των κατασκευών αλλά και την εύρεση λύσης για την αύξηση της ποιότητας τους.

Ηγέτης της ερευνητικής αυτής ομάδας ήταν ο Hajime Okamura του Tokyo University (Εικόνα 1.1). Η ερευνητική αυτή ομάδα κατέδειξε ως βασική αιτία της υποβαθμισμένης ποιότητας την ελλιπή συμπίκνωση του σκυροδέματος. Μαζί με τους K. Mackawa, K. Ozawa και M. Ouchi, οι οποίοι συμμετείχαν στην ερευνητική ομάδα, πρότειναν μία σύνθεση σκυροδέματος η οποία δεν απαιτούσε καθόλου δόνηση [1]. Το πρώτο πρωτότυπο μείγμα δημιουργήθηκε με Ιαπωνικά υλικά και ονομάστηκε Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 είχε ήδη γνωρίσει ευρεία χρήση από τους Ιάπωνες κατασκευαστές. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε σε εφαρμογές όπου δινόταν έμφαση στην ανθεκτικότητα και την λειτουργικότητα, και στη συνέχεια για τη διευκόλυνση των κατασκευαστικών διεργασιών, τη μείωση του χρόνου σκυροδέτησης ή την μείωση του κόστους του εργατικού δυναμικού.



Εικόνα 1.1 Ο καθηγητής Hajime Okamura του Tokyo University, επικεφαλής της ομάδας που ανέπτυξε την ιδέα του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος.

Παράλληλα όμως με την Ιαπωνική προσπάθεια ξεκίνησε ανεξάρτητη έρευνα μετά την δημιουργία νέων σύγχρονων υπερρευστοποιητών. Η έρευνα αυτή επικεντρώθηκε στην παραγωγή «ρευστών» σκυροδεμάτων καταλλήλων για ειδικές σκυροδετήσεις όπου η συμπίκνωση ήταν πρακτικά αδύνατη, όπως υποβρύχιες εφαρμογές, διαφραγματικοί τοίχοι κλπ. Επιπλέον η εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα των χημικών προσμείκτων είχε ως αποτέλεσμα την εφεύρεση «προσμείκτων ρύθμισης του ιξώδους», τα οποία συνετέλεσαν στην κατασκευή σκυροδέματος κατάλληλου για υποβρύχιες κατασκευές. Στο Paisley της Σκωτίας διεξήχθη έρευνα στον τομέα της πρακτικής εφαρμογής αυτών των ειδικών σκυροδεμάτων από την ομάδα του καθηγητή P.J.M Bartos, καθώς και στο Sherbrooke του Καναδά από την ομάδα του καθηγητή K. Khayat. Αποτέλεσμα των ερευνών αυτών ήταν η παραγωγή ιδιαίτερα ρευστών μειγμάτων με αυξημένη αντίσταση στην απόμειξη και κυρίως, με χαμηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο, γεγονός που επέτρεπε τη χρήση τους και σε «κοινές» εφαρμογές [2].

Η πρώτη επιστημονική επιτροπή δημιουργήθηκε στα πλαίσια της RILEM από τον καθηγητή P.J.M Bartos το 1992 [2]. Η ομάδα εργασίας διερεύνησε μεταξύ άλλων σκυροδέματα υψηλής εργασιμότητας, υπέρρευστα σκυροδέματα και σκυροδέματα για υποθαλάσσιες εφαρμογές. Στα πλαίσια αυτής έγινε συλλογή και επεξεργασία των διαθέσιμων μέχρι τότε σχετικών διεθνών αποτελεσμάτων συμπεριλαμβανομένης της Ιαπωνικής εμπειρίας. Ακολούθησε η οργάνωση στη Γλασκώβη δύο διεθνών συνεδρίων το 1993 και το 1996, στα οποία τονίστηκαν τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματα του ΑΣΣ [3,4]. Το διεθνές ενδιαφέρον για τον νέο τύπο αυτού του σκυροδέματος και για τα πολλαπλά οφέλη που επιφέρει στον κατασκευαστικό κλάδο άρχισε να αυξάνεται, με αποτέλεσμα τη χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση ενός ερευνητικού προγράμματος με οκτώ εταίρους [5].

Η ερευνητική δραστηριότητα συνεχίστηκε στα πλαίσια της RILEM με τη σύσταση νέων ομάδων εργασίας σχετικών με το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα υπό τους καθηγητές Ake Skarendhal [6,7], Geert De Schutter [8,9] και Kamal Khayat [10]. Παράλληλα η RILEM ξεκίνησε τη διοργάνωση διεθνών συνεδρίων σχετικά με το ΑΣΣ τα οποία έλαβαν χώρα το πρώτο στη Στοκχόλμη το 1999 [6], το δεύτερο στο Τόκιο το 2001 [11], το τρίτο στο Ρέικιαβικ το 2003 [12], το τέταρτο στο Σικάγο [13] και το πέμπτο στη Γάνδη [8].

Στην Ελλάδα για πρώτη φορά παρουσιάστηκε εργαστηριακή παρασκευή μειγμάτων ΑΣΣ με Ελληνικά υλικά στο 14ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος (ΕΣΣ) στην Κω το 2003 [14]. Στο ίδιο συνέδριο παρουσιάστηκαν άλλες δύο εισηγήσεις που αφορούσαν το ΑΣΣ. Τρία χρόνια αργότερα παρουσιάστηκαν στο 15ο ΕΣΣ στην Αλεξανδρούπολη ακόμη τρεις εισηγήσεις σχετικά με το ΑΣΣ [15], ενώ τον Μάιο του 2008 το Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος του ΤΕΕ οργάνωσε την πρώτη ημερίδα στην Αθήνα σχετικά με το ΑΣΣ. Στο χρονικό αυτό διάστημα η έρευνα σχετικά με την τεχνολογία του ΑΣΣ έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον διάφορων ερευνητικών ιδρυμάτων στην Ελλάδα και την Κύπρο [16,17].

1.3 ΒΑΣΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΕΝΑΝΤΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων έναντι του συμβατικού σκυροδέματος και, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του, καλείται να λύσει διάφορα προβλήματα σε διάφορες περιπτώσεις κατασκευών. Τα κυριότερα πλεονεκτήματά του είναι τα εξής:

- Είναι δυνατή η διάστρωση και η συμπύκνωσή του χωρίς τη βοήθεια μηχανικής δόνησης με άριστα εμφανισιακά αποτελέσματα
- Έχει τη δυνατότητα πλήρωσης μελών περίπλοκης γεωμετρίας, μελών με ιδιαίτερα πυκνό οπλισμό ή επίπεδων επιφανειών μεγάλης επιφάνειας (αυτοεπιπέδωση)
- Είναι δυνατόν να σκυροδετηθούν τμήματα σε πολύ μεγάλο ύψος που είναι ανέφικτο ή οικονομικά ασύμφορο να φτάσει κάποιο συνεργείο για δόνηση
- Είναι εφικτό να σχεδιαστούν και να σκυροδετηθούν κλειστής μορφής στοιχεία όπου είναι αδύνατος ο έλεγχος
- Παρουσιάζει αυξημένη ανθεκτικότητα σε εξωτερικούς παράγοντες και μειωμένη υδατοπερατότητα

- Λόγω της απουσίας δόνησης, ο χρόνος σκυροδέτησης είναι αρκετά μειωμένος
- Για την χρήση του χρειάζονται πολύ λιγότερα καύσιμα, απαιτούμενος εξοπλισμός, εργατικό δυναμικό και ενέργεια ανά σκυροδετούμενο στοιχείο
- Μειώνεται υπερβολικά η παραγωγή θορύβου μέχρι και τα επιτρεπτά όρια που ορίζει η ντιρεκτίβα του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου 86/188/ECC των 85 db, κάνοντας εφικτή τη σκυροδέτηση σε αστικές περιοχές οποιαδήποτε ώρα της ημέρας χωρίς όχληση
- Ελαχιστοποιούνται οι εργασίες επιδιόρθωσης στοιχείων λόγω κακής σκυροδέτησης
- Μειώνονται οι τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων κοντα στο σημείο σκυροδέτησης
- Μειώνεται η διασπορά των τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων
- Με τη χρήση του ΑΣΣ δημιουργείται ένα ασφαλέστερο περιβάλλον και ελαχιστοποιείται η πιθανότητα εργατικών ατυχημάτων
- Υπάρχει πολύ μικρότερη φθορά στους ξυλότυπους λόγω της απουσίας δόνησης η οποία δημιουργεί καταπόνηση
- Είναι κατάλληλο για περίπλοκες αρχιτεκτονικές απαιτήσεις όπως η απόδοση του αρχιτεκτονικού αναγλύφου εμφανών σκυροδεμάτων
- Η χρήση του συμβάλει σε αειφορία και βιώσιμη ανάπτυξη, λόγω της χρήσης συστατικών στη σύνθεσή του ως συνθετικά πρόσμικτα σκυροδέματος, όπως πυριτική πιαπάλη, σκωρία υψικαμίνου, ιπτάμενη τέφρα και λεπτόκοκκα αδρανή λατομείων. Χρησιμοποιώντας τα υλικά αυτά αποφεύγουμε την απόρριψή τους ως περιττά υλικά και αντικαθιστούμε μέρος του τσιμέντου, για το οποίο έχει καταναλωθεί ενέργεια και μειώνονται οι εκπομπές ρύπων από τα διάφορα στάδια παραγωγής του

1.4 ΣΗΜΕΙΑ ΠΡΟΣΟΧΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Η χρήση λοιπόν του ΑΣΣ επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα και καλείται να επιλύσει διάφορα κατασκευαστικά προβλήματα. Δημιουργούνται όμως και νέες απαιτήσεις και προϋποθέσεις για τη χρήση του και αυστηρά κριτήρια ποιοτικού ελέγχου σε όλα τα στάδια παραγωγής μεταφοράς και χύτευσης όπως είναι τα εξής:

- Μεγαλύτερη ευαισθησία των συνθέσεων στις διακυμάνσεις των ιδιοτήτων διαφόρων συστατικών
- Είναι πιθανή η ύπαρξη διαφορών μεταξύ ρεολογικής συμπεριφοράς στο εργαστήριο και στο εργοτάξιο. Απαιτείται δηλαδή μεγαλύτερη εξειδίκευση του προσωπικού το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μελέτη σύνθεσης, την παραγωγή, τη μεταφορά, την άντληση και τη διάστρωση
- Πρέπει να εξασφαλίζεται η στεγανότητα των ξυλοτύπων λόγω υψηλής ρευστότητας

- Απαιτείται αναβάθμιση των υλικοτεχνικών υποδομών που ήδη υπάρχουν στο παρασκευαστήριο όπως επιπλέον χώροι αποθήκευσης κονιών, νέες συσκευές ελέγχου των ιδιοτήτων του νωπού ΑΣΣ, υγρόμετρα ακριβείας κ.α
- Εξοικείωση και κατάρτιση προσωπικού με τη χρήση υπερρευστοποιητών, μειωτών νερού ευρέους φάσματος (HRWA: High Range Water-Modifying Admixtures) και τροποποιητές ιξώδους (VMA: Viscosity Modifying Admixtures)
- Υπάρχει ανάγκη για ισχυρότερα καλούπια και προσεκτικό σχεδιασμό εάν πρόκειται για υψηλούς ρυθμούς σκυροδέτησης

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως είναι αδύνατη η χρήση αυτής της νέας τεχνολογίας με τα υπάρχοντα μέσα και απαιτείται εξέλιξη όσον αφορά τον εξοπλισμό και οπωσδήποτε κατάλληλη εκπαίδευση και εξοικείωση με τα νέα υλικά, το διαφορετικό τρόπο λειτουργίας και εργασίας και τα επιπρόσθετα σημεία ελέγχου.

Βιβλιογραφικές Αναφορές 1^ο Κεφαλαίου

- [1] Kuroiva S., Maekawa K., Kunishima M. and Okamura H. (1993): “Development of super-workable concrete to construction of a 20-storey building”, ACI SP-140, USA, 1993.
- [2] Κοσμάς Κ. Σιδέρης : «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα και Ελληνική Πραγματικότητα: Παρούσα Κατάσταση και Προοπτικές Εξέλιξης», 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/ 2009, Πάφος, Κύπρος.
- [3] Bartos P.J.M., Cleland D.J. (Eds) (1993): ”Special Concrete – Workability and Mixing” E&FN Spon, London, UK, 1993.
- [4] Bartos P.J.M., Cleland D.J. and Marrs D.L (Eds) (1996): “Production Methods and Workability of Concrete”, E&FN Spon, London, UK, 1996.
- [5] Grauers M. et al (2000): “Rational production and improved working environment through using self-compacting concrete”, EC Brite Euram Contract No BRPR-CT96-0366, 1997-2000.
- [6] Petesson O. and Skarendahl A. (Eds) (2000): “Self-Compacting Concrete. Proceedings of the First International Symposium” Stockholm 1999, RILEM Publications, Cachan, France, 2000.
- [7] Skarendhal and Billberg (2006), Final Report of Technical Committee 188 CSC : “Casting of Self-Compacting Concrete”, RILEM Publications (2006).
- [8] De Schutter G. and Boel V. (Eds) (2007): “SCC2007. Proceedings of the Fifth International Symposium on Self-compacting concrete” Ghent, 2007, RILEM Publications, Cachan, France, 2007.
- [9] De Schutter G. and Audenaert K. (Eds) (2007): “Durability of Self-compacting concrete”, State-of-the-Art-report, RILEM TC 205-DSCD, RILEM Publications, Cachan, France, 2007.

- [10] Kamal Khayat and De Schutter G. : “Mechanical characteristics of self-compacting concrete”, Technical Committee 228 MPS, RILEM (2007).
- [11] Ouchi M. and Ozawa K. (Eds) (2001): “Self-compacting concrete Proceedings of the Second International Symposium”, Tokyo, 2001, COMS Engineering Corporation, Tokyo, Japan.
- [12] Wallevic O.H. and Nielsson I. (Eds) (2003): “Self-Compacting Concrete. Proceedings of the Third International Symposium” Reykjavik 2003, RILEM Publications, Cachan, France, 2003.
- [13] Shah S.R. et al (Eds) (2005): “Self-Compacting Concrete. Proceedings of the Second North-American Conference on Self-Consolidating Concrete and Fourth International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete” Chicago, Illinois, USA, Oct.-Nov. 2005,
- [14] Σίδερης Κ.Κ., Κυριτσάς Σ., Χανιωτάκης Ε. (2003): "Μηχανικά χαρακτηριστικά και Ανθεκτικότητα Αυτοσυμπυκνούμενων Σκυροδεμάτων παρασκευασθέντων με Ελληνικά Ποζολανικά Υλικά", Πρακτικά 14ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως, 15-17 Οκτωβρίου 2003, Τόμος Β, σελ. 187-193.
- [15] Γεωργιάδης Α, Σίδερης Κ.Κ., Αναγνωστόπουλος Ν. (2006): «Μία βελτιωμένη μέθοδος σχεδιασμού και ποιοτικού ελέγχου μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (ΑΣΣ)», Πρακτικά 15ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου 2006, Τόμος Γ', σελ. 427-438.
- [16] Σίδερης Κ.Κ, Μιχαηλίδης Μ., Μανίτα Π (2008): «Σκυρόδεμα υψηλής ρευστότητας για την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων των σταθμών του μετρό Θεσσαλονίκης» Πρακτικά 1ου Ελληνικού Συνεδρίου Δομικών Υλικών, Αθήνα, 21-23 Μαΐου 2008, σελ. 951-960.
- [17] Σίδερης Κ.Κ., Γεωργιάδης Α., Αναγνωστόπουλος Ν, Μανίτα Π. και Σκαρλάτος Ε.(2009): «Ανάλυση κόστους χρόνου ζωής κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με αυτοσυμπυκνούμενο και συμβατικό σκυρόδεμα», Πρακτικά 16ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κύπρος, 21-23 Οκτωβρίου 2009.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΣΣ.

Το ΑΣΣ σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει την ικανότητα να πληρεί κάθε γωνία του ξυλότυπου και να περάσει μέσα από όλους τους οπλισμούς χωρίς να αφήσει οπουδήποτε κενό, μόνο υπό την επίδραση της βαρύτητας. Οι βελτιωμένες αυτές ιδιότητες προκύπτουν εάν στην κλασική σύνθεση ενός συμβατικού σκυροδέματος αλλαχθούν τα σκύρα με γαρμπίλι, προστεθούν κάποια χημικά πρόσμικτα και πραγματοποιηθεί μία πολύ προσεκτική σχεδίαση. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και κάποιες ιδιότητες τους παρουσιάζονται στην παρούσα ενότητα της πτυχιακής εργασίας.

2.1.1 Τσιμέντο ΑΣΣ.

Τις περισσότερες φορές το ΑΣΣ χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό τσιμέντου και λεπτών υλικών σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα, επιτυγχάνοντας έτσι υψηλή ρευστότητα. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται όμως υψηλότερο κόστος παραγωγής, υψηλότερη θερμοκρασία ενυδάτωσης και μεγαλύτερη ευαισθησία στη συστολή ξήρανσης [1]. Αναφορικά οι πέντε κατηγορίες αντοχής των τσιμέντων είναι οι εξής:

- **Τύπου I Portland (αμιγή):** Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από τη συνάλεση κλίνκερ και γύψου
- **Τύπου II σύνθετα τσιμέντα Portland:** Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από τη συνάλεση κλίνκερ – Portland, γύψου και ποζολάνης, φυσικής ή τεχνητής προέλευσης σε ποσοστά 6 – 35% κατά μέγιστο
- **Τύπου III σκωριακά τσιμέντα ή σκωριοτσιμέντα:** Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από τη συνάλεση κλίνκερ - γύψου και σκωρίας μόνο σε ποσοστά από 36 – 95% κατά μέγιστο
- **Τύπου IV Ποζολανικά τσιμέντα:** Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από τη συνάλεση κλίνκερ – Portland, γύψου και ποζολάνης που μπορεί να είναι φυσική ή ψημένη, ιπτάμενη τέφρα πυριτική ή ασβεστούχα και πυριτική παιπάλη. Δεν μπορεί να περιέχει σκωρία
- **Τύπου V Σύνθετα τσιμέντα:** Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από τη συνάλεση κλίνκερ, γύψου, σκωρίας και σε ίσο ποσοστό ποζολάνης, φυσική ή ψημένη, ή πυριτική ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστά από 36 – 50% κατά μέγιστο. Δεν μπορεί να περιέχει πυριτική παιπάλη

Σύμφωνα με την ΕFNARC όλα τα τσιμέντα που ακολουθούν τον κανονισμό EN 197-1 είναι κατάλληλα για την παρασκευή ΑΣΣ [2]. Ωστόσο η επιλογή του καταλληλότερου τύπου παίζει σπουδαίο ρόλο για λόγους συμβατότητας με τα υπόλοιπα υλικά μείξης του σκυροδέματος, και περισσότερο με τον τύπο του ρευστοποιητή.

2.1.2 Λεπτά Υλικά.

Αναφερόμενοι σε Λεπτά Υλικά εννοούμε τα στερεά υλικά τα οποία είναι λεπτότερα από 75 μm , και διαπερνούν από το κόσκινο Νο 200. Κάποια από αυτά είναι το τσιμέντο, τα βοηθητικά τσιμεντοειδή υλικά και οι ανόργανες παιπάλες (λεπτοαλεσμένος ασβεστόλιθος και παιπάλη που παράγεται από την θραύση πετρωμάτων για την παραγωγή αδρανών υλικών) [3]. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα για να μειωθεί το κόστος παρασκευής, να βελτιωθεί η εργασιμότητα, να μειωθεί η θερμοκρασία ενυδάτωσης και να αυξηθεί η ανθεκτικότητά του. Η χρήση παιπάλης μεγάλης λεπτότητας συμβάλλει στη μείωση του όγκου και του αριθμού των κενών, που συνεπάγεται μείωση της εξίδρωσης και της τάσης απόμειξης [4]. Σε πιο σπάνιες περιπτώσεις αντικαθιστάται ένα μέρος του τσιμέντου από Λεπτά Υλικά για να μειωθεί λίγο η τελική αντοχή χωρίς όμως να επηρεάζεται η απαιτούμενη εργασιμότητα.

2.1.3 Ιπτάμενη Τέφρα (Fly Ash).

Πρόκειται για ένα λεπτό υλικό με ποζολανική δράση και είναι στην ουσία κατάλοιπο από την καύση του άνθρακα (λιθάνθρακα, λιγνίτη), σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [5]. Στο σκυρόδεμα η χρήση ιπτάμενης τέφρας προσδίδει βελτίωση της εργασιμότητας και καθυστερεί την ανάπτυξη των πρώιμων αντοχών. Ως προς την ρεολογία που ενδιαφέρει ιδιαίτερα στο ΑΣΣ, η ιπτάμενη τέφρα μειώνει την τάση ροής (τ_0 , η οποία είναι η απαιτούμενη διατμητική τάση για να ξεκινήσει η ροή) αλλά δεν έχει βέβαιο αποτέλεσμα ως προς το πλαστικό ιξώδες (n_{pl} που είναι οι εσωτερικές δυνάμεις τριβής που αντιστέκονται στη ροή). Σύμφωνα με τον Sonebi, μετά από διάφορες δοκιμές, η προσθήκη ιπτάμενης τέφρας στο ΑΣΣ προκαλεί μείωση και στις δύο τιμές, του τ_0 και του n_{pl} , που είναι και το ζητούμενο [1,6]. Αντιθέτως όμως οι Park, Noh και Park κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση της ιπτάμενης τέφρας στο ΑΣΣ μειώνει σε μικρό βαθμό το τ_0 , αλλά σε μείγματα που περιλαμβάνουν ρευστοποιητή στη σύνθεσή τους αυξάνεται και το n_{pl} [1,7]. Τέλος ο βαθμός επίδρασης της Ιπτάμενης Τέφρας εξαρτάται από το εάν η αντικατάσταση του ανάλογου μέρους του τσιμέντου από αυτήν έχει γίνει μετά από υπολογισμό της ποσότητας κατά βάρος ή κατ' όγκον του τσιμέντου.



Εικόνα 2.1 Ιπτάμενη Τέφρα που χρησιμοποιείται στην παρασκευή συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος [8].

2.1.4 Αδρανή Υλικά (Aggregates).

Αδρανή υλικά ονομάζονται τα λίθινα υλικά τα οποία δεν επιφέρουν καμία χημική μεταβολή στις τεχνητές ουσίες στις οποίες αποτελούν συστατικό. Προέρχονται από την εξόρυξη των ανάλογων πετρωμάτων ή από συλλογή από τον φυσικό τόπο που βρίσκονται τα θραύσματά τους. Το μέγεθός τους ποικίλει και επιλέγεται το κατάλληλο ανάλογα με τη χρήση. Η λεγόμενη μέγιστη διάμετρος κόκκου κυμαίνεται από 0 – 63.5 mm. Στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 [9], περιλαμβάνονται πλην των φυσικών αδρανών επιπλέον τα τεχνητά αδρανή καθώς και τα ανακυκλούμενα για την παραγωγή σκυροδεμάτων. Τα υλικά αυτά θραύονται σε σπαστήρες και κοσκινίζονται, όπως και τα φυσικά αδρανή, για να διαχωριστούν σε κοκκομετρικές ομάδες. Στον Ελλαδικό χώρο τα αποθέματα των πετρωμάτων που είναι κατάλληλα για την παραγωγή αδρανών υλικών είναι πρακτικά απεριόριστα και ο αριθμός των λειτουργούντων λατομείων υπερβαίνει τα 230.

Στα σκυροδέματα όπου η συμμετοχή των αδρανών καταλαμβάνει το 75-80% της μάζας τους, ο ρόλος τους στη δημιουργία ενός ανθεκτικού και συνεκτικού ιστού που θα παραλάβει τα φορτία της κατασκευής αλλά και θα αντέξει στις φυσικοχημικές επιδράσεις του περιβάλλοντος είναι καθοριστικός [10].

Τα αδρανή υλικά είναι το πιο φθηνό υλικό του σκυροδέματος, έτσι λοιπόν θα πρέπει στα όρια του επιτρεπτού να μεγιστοποιείται το ποσοστό τους στις σχεδιαζόμενες συνθέσεις. Επιπλέον τα σκυροδέματα που περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό αδρανών παρουσιάζουν μεγαλύτερες αντοχές. Οι παράγοντες που θα πρέπει να αξιολογούνται για τα αδρανή είναι το σχήμα, το γωνιώδες και η υφή, η κοκκομετρική τους διαβάθμιση και τέλος η μέγιστη διάμετρος τους.

2.1.4.1 Μέγιστη Διάμετρος.

Η μέγιστη διάμετρος κόκκου των αδρανών επηρεάζει τις απαιτούμενες ποσότητες σε τσιμέντο και νερό. Όσο πιο μεγάλος είναι ο κόκκος του αδρανούς τόσο μειώνεται η ειδική επιφάνεια της κοκκομετρικής καμπύλης οπότε χρειάζεται λιγότερο τσιμέντο για να τα πληρώσει και λιγότερο νερό για την διαβροχή τους. Εάν όμως η ειδική επιφάνεια μικρύνει, μειώνεται αντίστοιχα και η διαθέσιμη επιφάνεια για συνάφεια με τον τσιμεντοπολτό και προκύπτουν μεγαλύτερες τάσεις από την φόρτιση και από τις συστολές που έχουν σαν αποτέλεσμα μειωμένες αντοχές του σκυροδέματος. Επομένως η επιλογή μεγάλης διαμέτρου κόκκων είναι ωφέλιμη όταν βέβαια συμπληρώνει ένα πλήρες φάσμα μεγεθών σε μία βελτιωμένη κοκκομετρική καμπύλη. Αντίθετα μείωση της μέγιστης διαμέτρου συνίσταται για βελτίωση της ικανότητας διέλευσης και αντίστασης του μείγματος ΑΣΣ σε απόμειξη [11,12].

2.1.4.2 Σχήμα, Υφή και Γωνιώδες Αδρανών.

Το σχήμα και το γωνιώδες των αδρανών επηρεάζει σημαντικά την εργασιμότητα, εφόσον καθορίζει το μέγεθος των τριβών και το τελικό πορώδες μετά την συμπίκνωση. Τα ισομεγέθη και στρογγυλεμένα αδρανή είναι κατά κοινή ομολογία τα καταλληλότερα για να επιτευχθεί καλύτερη εργασιμότητα. Παρ' όλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αδρανή με

οποιοδήποτε σχήμα και γωνιότητα για την παρασκευή ΑΣΣ, οπότε η εργασιμότητα, στην περίπτωση αυτή, βελτιώνεται περαιτέρω με τη ρύθμιση της σύνθεσης της πάστας.

Για να εκτιμηθεί το σχήμα και το γωνιώδες των αδρανών αρκεί η οπτική εκτίμηση. Ο Πίνακας 2.1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάταξη των αδρανών με βάση το σχήμα και το γωνιώδες χρησιμοποιώντας μία κλίμακα από το 1 έως το 5. Μία και μόνο αξιολόγηση αρκεί για την εκτίμηση ενός συνδυασμού. Για παράδειγμα ένα μείγμα θραυστού χονδρόκοκκου αδρανούς που έχει εκτιμηθεί με 5, σε συνδυασμό με μια στρογγυλεμένη άμμο που έχει αξιολογηθεί με 1, αξιολογείται συνολικά με 3. Η σωστή αξιολόγηση των αδρανών υλικών επιτρέπει και την σωστότερη επιλογή τους για την παρασκευή μείγματος ΑΣΣ συγκεκριμένων απαιτήσεων.

Πίνακας 2.1 Οδηγίες για οπτική αξιολόγηση σχήματος και γωνιότητας αδρανών υλικών [3].

Αξιολόγηση μέσω Οπτικής Παρατήρησης Σχήματος και Γωνιότητας Αδρανών					
← Καλώς Στρογγυλεμένο Σχήμα			Ακανόνιστο Σχήμα με υψηλή Γωνιότητα →		
	1	2	3	4	5
Σχήμα	Τα περισσότερα μόρια ισοδιαστασιολογημένα 	Μικρή Απόκλιση από την ισοδιαστασιολογηση 	Οχι ισοδιαστασιολογηση αλλά επίσης οχι επιμήκυνση και επιτέδωση των μορίων 	Υπαρξη μερικών επίπεδων και επιμηκυσμένων μορίων 	Λίγα μόρια ισοδιαστασιολογημένα, αφθονία επιμηκυσμένων και επίπεδων μορίων 
Γωνιώδες	Καλώς στρογγυλεμένο 	Στρογγυλεμένο 	Ημι-γωνιώδες ή ημι-στρογγυλεμένο 	Γωνιώδες 	Με υψηλή γωνιότητα 
Παραδείγματα	Οι περισσότερες άμμοι και αδρανή γενικότερα που λαμβάνονται από το ποτάμι	Μερικώς θραυστά ποταμίσια αδρανή, ή καλοσηματισμένα τεχνητά αδρανή	Καλοσηματισμένα θραυστά χονδρόκοκκα αδρανή ή τεχνητή άμμος με τις περισσότερες γωνίες >90°	Θραυστά χονδρόκοκκα αδρανή ή τεχνητή άμμος με κάποιες γωνίες <90°	Θραυστά χονδρόκοκκα αδρανή ή τεχνητή άμμος με πολλές γωνίες <90° και μεγάλες κυρτές περιοχές

2.1.4.3 Κοκκομετρική Διαβάθμιση Αδρανών.

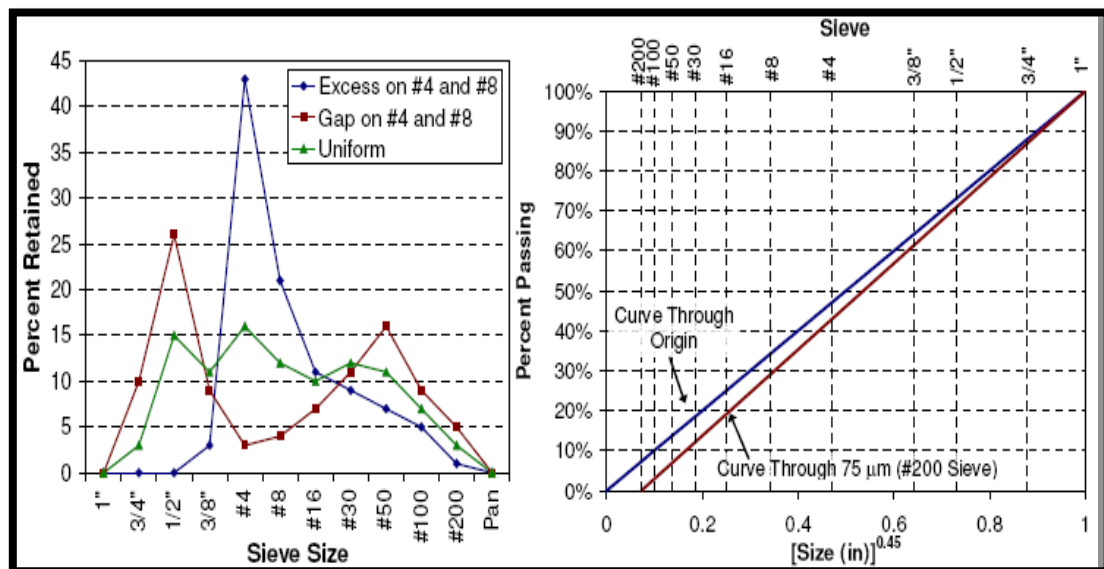
Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών υλικών επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος. Εάν κοσκινίσουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των αδρανών μπορούμε να καταλάβουμε εάν πρόκειται για ένα λεπτόκοκκο ή χονδρόκοκκο υλικό, ή εάν χαρακτηρίζεται από πιθανές ελλείψεις από αδρανή συγκεκριμένου κοσκίνου. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί από τη θέση της καμπύλης στην επιτρεπόμενη ζώνη κάθε κανονισμού. Όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το υλικό, τόσο περισσότερο νερό θα χρειαστεί γιατί υπάρχει μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια να διαβραχεί, ενώ αντίθετα σε ένα χονδρόκοκκο υλικό θα πετυχαίναμε την ίδια ρευστότητα με λιγότερο νερό. Επομένως δεν υπάρχει βέλτιστη κοκκομετρική καμπύλη αδρανών υλικών.

Έχοντας κάθε φορά κάποια ποσότητα αδρανών, ανάλογα με την κοκκομετρία, γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις για να επιτευχθεί η επιθυμητή εργασιμότητα. Εάν το υλικό χαρακτηρίζεται περισσότερο από χονδρόκοκκα αδρανή, τότε θα μειωθεί η απαίτηση για ρευστοποιητή και ρυθμιστή πλαστικού ιξώδους αλλά ταυτόχρονα θα μειωθούν και οι

ρευολογικές του ικανότητες. Γενικά όμως οι κοκκομετρίες που δεν εμφανίζουν ποσότητες υλικού που έχουν περάσει από δύο διαδοχικά κόσκινα, ούτε ελλείψεις ή περίσσεια υλικού, και έχουν ομοιόμορφα κατανομημένα τις ποσότητες σε όλα τα μεγέθη κόκκων είναι προτιμότερες. Αυτό γιατί μπορεί σε κοκκομετρίες που παρουσιάζουν κενά και ανωμαλίες στην καμπύλη να χρειάζονται μικρότερες ποσότητες ρευστοποιητή και ρυθμιστή πλαστικού ιξώδους, αλλά υπάρχει αυξημένος κίνδυνος απόμειξης.

Σύμφωνα με τους Koehler και Fowler η ιδανική ιδεατή καμπύλη στην οποία θα πρέπει να πλησιάζει κάθε φορά η πραγματική είναι η καμπύλη 0,45, η οποία σχεδιάζεται σε ένα σύστημα συντεταγμένων με τετμημένη το ποσοστό των διερχομένων και τεταγμένη το μέγεθος του κόκκου υψωμένο εις την 0,45 δύναμη [3]. Έτσι κανονικά προκύπτει μία ευθεία γραμμή που ξεκινάει από την αρχή των αξόνων και καταλήγει στη μέγιστη διάμετρο κόκκων. Επειδή όμως αν ξεκινήσει από την αρχή των αξόνων θα σημαίνει ότι υπάρχει μεγάλη ποσότητα του διερχομένου από το κόσκινο Νο 200, ξεκινάμε την καμπύλη μετά το κόσκινο αυτό (Σχήμα 2.1).

Όταν συνδυάζονται δύο τύποι αδρανών, θα πρέπει ο λόγος άμμου – χονδρόκοκκα να είναι 0,40 – 0,50. Γενικά οι μείξεις διαφόρων τύπων αδρανών θα πρέπει να αποφεύγονται και να καταφεύγει κανείς σε τέτοιες ενέργειες μόνο εάν του λείπουν ποσότητες από συγκεκριμένα μεγέθη κόκκων [3,12]. Το καταλληλότερο δείγμα αδρανών υλικών θα είναι αυτό που η καμπύλη του θα είναι πιο κοντά στην 0,45 και θα αποκλίνει λιγότερο από αυτήν.



Σχήμα 2.1 Παράδειγμα διερχομένων για τρεις περιπτώσεις μειγμάτων αριστερά, και της καμπύλης 0,45 δεξιά [3].

2.1.4.4 Κατάσταση Υγρασίας Αδρανών (*Aggregate Moisture Condition*).

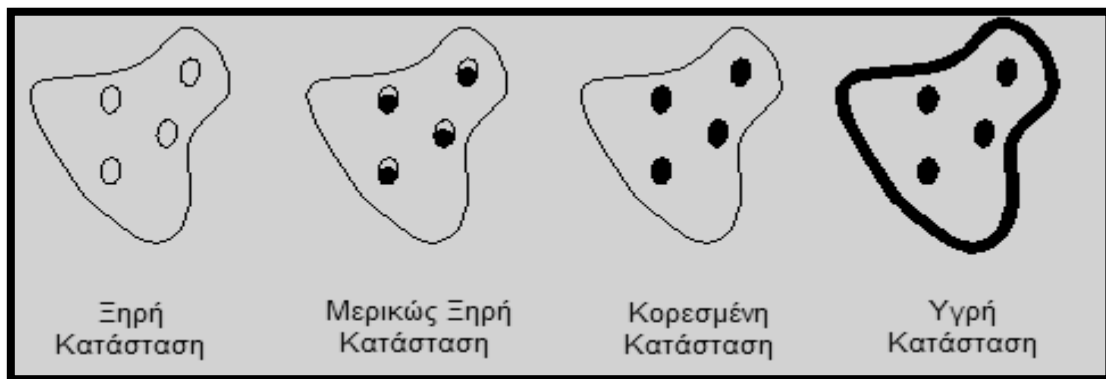
Τα αδρανή υπόκεινται σε υγρασιακές μεταβολές ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες του χώρου αποθήκευσης (θερμοκρασία και υγρασία). Είναι πολύ σημαντικό για μία σωστή σχεδίαση ενός σταθερού (robust) μείγματος η υγρασία να έχει σταθερές τιμές ή υπολογίσιμες διακυμάνσεις.

Τα αδρανή υλικά ανάλογα με τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι δυνατόν να βρεθούν σε τρεις καταστάσεις υγρασίας [13]

- **Μερικώς ξηρή κατάσταση**, όπου ο κόκκος του αδρανούς έχει μερική απορροφητικότητα
- **Κορεσμένη κατάσταση**, όπου ο κόκκος του αδρανούς δεν έχει καθόλου απορροφητικότητα αλλά δεν αποδίδει και υγρασία στο περιβάλλον
- **Υγρή κατάσταση**, όπου ο κόκκος του αδρανούς είναι κορεσμένος εσωτερικά αλλά έχει και μία στρώση υγρασίας εξωτερικά συνεπώς αποδίδει και υγρασία στο περιβάλλον

Στο Σχήμα 2.2 απεικονίζονται οι πιθανές καταστάσεις υγρασίας. Η πρώτη περίπτωση είναι αποτέλεσμα ξήρανσης σε φούρνο στους 105°C για 24 ώρες. Έτσι επιτυγχάνεται η ξηρή κατάσταση, όπου τα αδρανή έχουν τη μέγιστη απορροφητικότητά τους. Τη μερικώς ξηρή κατάσταση τη συναντάμε σε αδρανή τα οποία είναι εκτεθειμένα στον ήλιο σε εξωτερικό χώρο τους καλοκαιρινούς μήνες ή σε ελεγχόμενα ξηρό στεγασμένο περιβάλλον κατά τους χειμερινούς μήνες. Σε αυτή τη περίπτωση τα αδρανή υλικά δεν έχουν μία συγκεκριμένη τιμή απορροφητικότητας και πρέπει αυτή να υπολογίζεται κάθε φορά.

Η κορεσμένη είναι η βέλτιστη κατάσταση υγρασίας στην οποία μπορούν να βρίσκονται τα αδρανή υλικά. Πρόκειται για μία κατάσταση όπου το αδρανές ούτε απορροφά ούτε αποδίδει επιπλέον υγρασία στο νερό μείξης. Για την επίτευξη ή εξακρίβωση της κατάστασης αυτής πρέπει να εφαρμοστεί η δοκιμή κατά ASTM-C128 [14]. Με τη δοκιμή αυτή μπορούμε να εκτιμήσουμε τα ποσοστά απορροφητικότητας των αδρανών, και να πετύχουμε κορεσμένη κατάσταση υποβάλλοντας το δείγμα μας σε αερισμό, όπου καταφέρνουμε να εξαφανίσουμε τις δυνάμεις συνοχής που προέρχονται από την επιφανειακή υγρασία.



Σχήμα 2.2 Πιθανές καταστάσεις υγρασίας αδρανών υλικών [13].

2.1.5 Ασβεστολιθική Παιπάλη (Limestone Filler).

Η ασβεστολιθική παιπάλη (ασβεστολιθικό φύλλερ) έχει πρωτογενές υλικό τον ασβεστόλιθο και λαμβάνεται από τις βιομηχανίες παραγωγής σκυροδέματος ή επεξεργασίας αδρανών υλικών [15]. Παρ'όλο που συγκαταλέγεται στα αδρανή υλικά, οι ιδιότητες της εάν προστεθούν στο σκυρόδεμα μας δείχνουν το αντίθετο, όπως για παράδειγμα αυξημένο ρυθμό αντίδρασης του C₃S. Στοιχεία για τη χημική δραστηριότητα του υλικού συναντώνται σε

βιβλιογραφικές αναφορές. Οι Bonanveti et al. (2000) [16], αναφέρουν ότι με την προσθήκη ασβεστολιθικού φίλλερ στο σκυρόδεμα θα έχουμε ως αποτέλεσμα αυξημένο βαθμό ενυδάτωσης της τσιμεντόπαστας. Οι Tsvivilis et al. (2003) [17], στην εργασία τους αναφέρουν αυξημένη ποσότητα ενύδρων και μη εξατμίσιμου νερού σε τσιμεντόπαστα που περιέχει φίλλερ, γεγονός που υποδεικνύει βελτιωμένη ενυδάτωση του αλίτη (C_3S). Από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από τους Pera et al. (1999) [18], σημειώθηκε επιτάχυνση της διαδικασίας της ενυδάτωσης και η ύπαρξη διαφόρων προϊόντων ενυδάτωσης από τη χημική αντίδραση σε προσθήκη φίλλερ στο τσιμέντο.

Τα ΑΣΣ που περιέχουν φίλλερ στη σύνθεσή τους παρουσιάζουν ικανοποιητικές νωπές ιδιότητες, αυξημένη θλιπτική αντοχή και εξαιρετική τελική επιφάνεια [19,20]. Αντικαθιστώντας ποσότητα τσιμέντου με ασβεστολιθικό μικρο-φίλλερ αυξάνεται ελαφρώς η τάση ροής της τσιμεντόπαστας και μειώνεται το πλαστικό της ιξώδες, οπότε η ρεολογία της πάστας προκύπτει βελτιωμένη. Η χρήση ασβεστολιθικού μικρο-φίλλερ μειώνει το φαινόμενο της εξίδρωσης αλλά για συνθέσεις που έχουν υψηλούς λόγους νερού-τσιμέντου, ενώ για μικρότερους λόγους δεν παρουσιάζεται η ιδιότητα αυτή [21,22]. Επιπλέον με τη χρήση του υλικού αυτού διαμορφώνεται κατάλληλα η υγρασία του σκυροδέματος και είναι πιο ελεγχόμενα φαινόμενα όπως η συστολή ξήρανσης και ο ερπυσμός [23].

2.1.6 Σκωρία (Slag).

Η σκωρία είναι ένα βιομηχανικό παραπροϊόν το οποίο προέρχεται από την επεξεργασία τσιμέντου ή από την διεργασία μεταλλουργικών υλικών. Ανάλογα με την επεξεργασία την οποία υφίσταται και τον τρόπο παραγωγής της, έχουμε διαφορετικά είδη σκωρίας, όπως τη σκωρία υψικαμίνων, τη σκωρία χαλυβουργίας και τη σκωρία κάδου [15].

Η σκωρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην παρασκευή ΑΣΣ, σε μεγαλύτερες όμως δοσολογίες από την ιπτάμενη τέφρα. Έχει την ιδιότητα να μειώνει τη θερμοκρασία ενυδάτωσης, χωρίς όμως να βελτιώνεται η εργασιμότητα στον ίδιο βαθμό με την ιπτάμενη τέφρα [7,24]. Με την χρήση σκωρίας αναπτύσσονται ικανοποιητικά οι θλιπτικές αντοχές σε επτά ημέρες, αλλά δεν ενδείκνυται για χρήση σε προκατασκευασμένα στοιχεία όπου οι πρώιμες αντοχές είναι βασική προϋπόθεση.

2.1.7 Πυριτική Παιπάλη (Silica Fume)

Η πυριτική παιπάλη είναι ένα ποζολανικό υλικό, το οποίο προκύπτει ως παραπροϊόν της βιομηχανίας πυριτικών μετάλλων και σιδηροπυριτικών κραμάτων [15]. Η χρήση πυριτικής παιπάλης στο σκυρόδεμα βοηθάει στην συνεκτικότητα του μείγματος, μειώνοντας ταυτόχρονα τον κίνδυνο για φαινόμενα όπως απόμειξη ή εξίδρωση. Επιπλέον, η χρήση πυριτικής παιπάλης αυξάνει την τιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος στο όριο ελαστικότητας και ενισχύει την ανθεκτικότητα με την πάροδο του χρόνου.

Η χρήση της πυριτικής παιπάλης βελτιώνει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά της τσιμεντόπαστας, εάν όμως χρησιμοποιηθεί σε δοσολογίες 4 – 6% προς αντικατάσταση του τσιμέντου, αλλά σε μεγαλύτερες δοσολογίες επιφέρει το αντίθετο αποτέλεσμα. Η εργασιμότητα βελτιώνεται διότι τα σφαιρικά της σωματίδια αντικαθιστούν τα μόρια του νερού στη γειτονική περιοχή των μορίων του τσιμέντου, βοηθώντας έτσι τα μόρια νερού που

είναι παγιδευμένα ανάμεσα σε αυτά του τσιμέντου να απελευθερωθούν [25]. Τα μόρια όμως της πυριτικής παιπάλης εξαιτίας της υψηλής ενέργειας προς αντίδραση που έχουν, αποροφούν μόρια ρευστοποιητή τα οποία θα έπρεπε να προσκολληθούν στα μόρια του τσιμέντου, κάτι που έχει αρνητικές επιπτώσεις στη ρεολογία του μείγματος [7].

2.1.8 Χημικά Πρόσμικτα.

Τα χημικά πρόσμικτα είναι υλικά τα οποία προστίθενται στο σκυρόδεμα σε μικρές ποσότητες κατά την ανάμειξή του με σκοπό να τροποποιηθούν κάποιες ιδιότητές του. Οι ιδιότητες αυτές μπορεί να είναι είτε του νωπού είτε του σκληρυνμένου σκυροδέματος [2]. Η χρήση τους είναι ευρέως διαδεδομένη και αρκετά συχνή στις κατασκευές. Στη βόρεια Αμερική το 80% των σκυροδεμάτων που παρασκευάζονται περιέχουν τουλάχιστον ένα χημικό πρόσμικτο στη σύνθεσή τους.

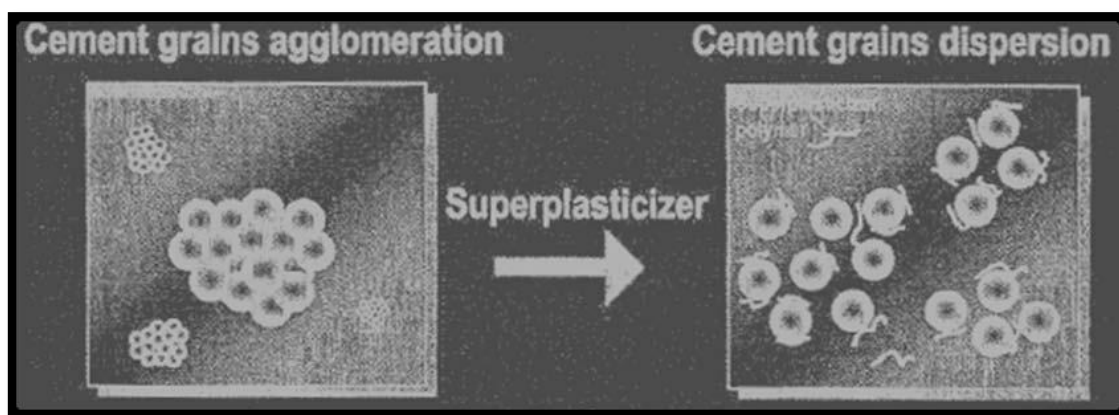
Ένα από αυτά τα πρόσμικτα είναι ο **μειωτής νερού**. Με τη χρήση του πρόσθετου αυτού επιτυγχάνεται μείωση της κάθισης του σκυροδέματος κατά 2,5 – 5 cm χωρίς την προσθήκη επιπλέον νερού. Έτσι έχουμε σαν αποτέλεσμα αύξηση της εργασιμότητας με ταυτόχρονη μείωση του λόγου νερού προς τσιμέντο (v/t), βελτίωση της ποιότητας του σκυροδέματος και επίτευξη της επιθυμητής αντοχής, μειώνοντας ταυτόχρονα την ποσότητα σε τσιμέντο.

Οι **επιβραδυντές**, όπως και οι μειωτές νερού, έχουν ανάλογη λειτουργία και με τη χρήση τους είναι δυνατή η μείωση του νερού στη τσιμεντόπαστα. Ακόμη συμβάλλουν στην αποφυγή των αποτελεσμάτων που επιφέρουν οι υψηλές θερμοκρασίες. Σε αυτές τις περιπτώσεις παρατηρείται ταχεία πήξη του σκυροδέματος με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά η εργασιμότητά του με την πάροδο του χρόνου [26]. Συνεπώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα υλικά αυτά σε περιπτώσεις που θέλουμε περισσότερο χρόνο για τις διαδικασίες σκυροδέτησης, διάστρωσης και δόνησης.

Οι **ρευστοποιητές** είναι χημικά πρόσμικτα που χρησιμοποιούνται περισσότερο από όλα τα υπόλοιπα στις βιομηχανίες σκυροδέματος. Είναι υλικά τα οποία δίνουν τη δυνατότητα μείωσης του νερού κατά 12 – 40%, και χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της εργασιμότητας σε σκυροδέματα με πιο χαμηλούς λόγους v/t [26]. Οι ρευστοποιητές προκαλούν τη διάσπαση των μορίων που έχουν προσκολληθεί μεταξύ τους (Σχήμα 2.3) [27]. Έτσι βελτιώνονται οι ρεολογικές ιδιότητες του νωπού μείγματος. Τα βασικά συστατικά που συνθέτουν τους σύγχρονους ρευστοποιητές διακρίνονται στις εξής κατηγορίες.

- Συμπυκνώματα μελαμίνης – φορμαλδεΰδης (Sulfonated melamine–formaldehyde condensate – SMF)
- Συμπυκνώματα ναφθαλίνης - φορμαλδεΰδης (Sulfonated naphthalene–formaldehyde condensate – SNF)
- Τροποποιημένα συμπυκνώματα (Modified lignosulfonate condensates – MLS)
- Πολυεστερικά – πολυκαρβοξυλικά συμπυκνώματα (PC)

Γενικά οι ρευστοποιητές είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί όσον αφορά την διάλυση των μορίων του λεπτοαλεσμένου τσιμέντου, της ιπτάμενης τέφρας, της σκωρίας και της πυριτικής παιπάλης. Πιο αποτελεσματικοί παρουσιάζονται οι ρευστοποιητές τύπου (PC) και κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος στις κατασκευές [26].

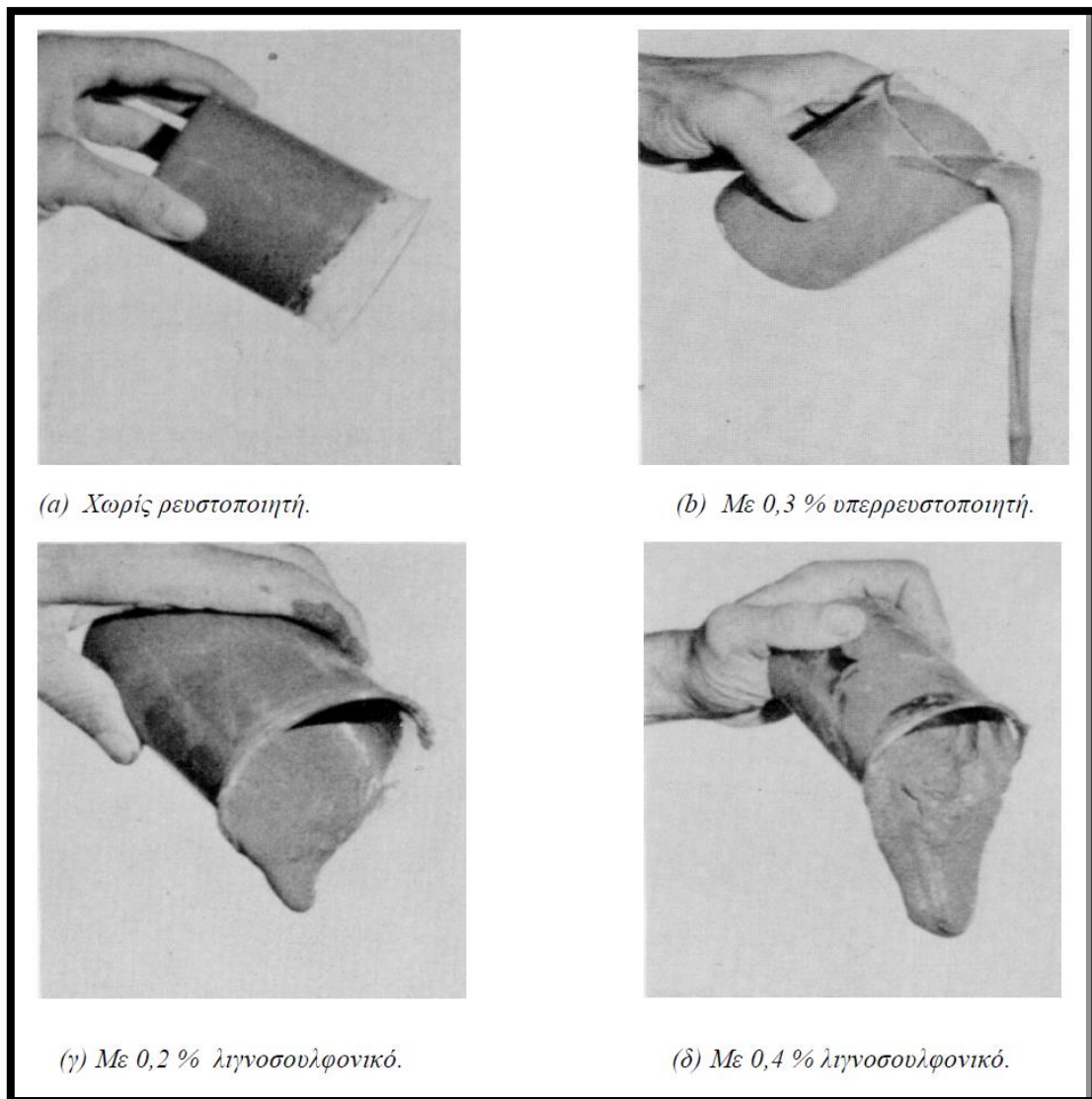


Σχήμα 2.3 Δράση του ρευστοποιητή στα συσσωματωμένα μόρια τσιμέντου [27].

Τα χημικά πρόσμικτα στη χρήση του ΑΣΣ αποτελούν βασικό συστατικό αφού αυτά θα δώσουν τις βελτιωμένες ρεολογικές του ιδιότητες διατηρώντας χαμηλή την τιμή του λόγου v/τ . Έτσι θα έχουμε την απαιτούμενη εργασιμότητα και το μείγμα μας θα παρουσιάζει υψηλή αντίσταση σε απόμειξη. Ανάλογα με τα κριτήρια της εκάστοτε εφαρμογής χρησιμοποιούμε το κατάλληλο χημικό πρόσμικτο. Εάν θέλουμε σκυρόδεμα με πολύ μεγάλη ρευστότητα θα το ενισχύσουμε με ρευστοποιητή. Εάν όμως θέλουμε σκυρόδεμα λιγότερο ρευστό αλλά με υψηλότερο ιξώδες, μεγάλη σταθερότητα αλλά και αντίσταση στην απόμειξη, τότε χρειαζόμαστε ρυθμιστή ιξώδους (VMA), και η απαραίτητη κράτηση επιτυγχάνεται με την προσθήκη επιβραδυντών.

Είναι δυνατόν σε μία σύνθεση να συνυπάρχουν παραπάνω από ένα χημικά πρόσμικτα. Πρέπει όμως να ελεγχθεί η συμβατότητά τους και θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιούνται χημικά πρόσμικτα της ίδιας εταιρίας εάν είναι να συνδυαστούν, διαφορετικά θα πρέπει κάποιος να γνωρίζει πολύ καλά τη δράση του κάθε υλικού πριν τα συνδυάσει σε κάποια σύνθεση.

Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 2.2) φαίνεται αρχικά ένα δείγμα σκυροδέματος χωρίς πρόσμιξη όπου η πάστα του τσιμέντου δεν ρέει σχεδόν καθόλου (Εικόνα 2.2α), στη συνέχεια ένα δείγμα όπου έχει προστεθεί υπερρευστοποιητής και η πάστα ρέει όπως ένα υγρό και τέλος δύο δείγματα όπου έχει γίνει προσθήκη ενός κανονικού ρευστοποιητή (0,2 ή 0,4 % λιγνοσουλφονικά) με αποτέλεσμα τον σχηματισμό μιας απλά ιξώδους πάστας τσιμέντου.



Εικόνα 2.2 Επίδραση του ρευστοποιητή στη ρευστότητα της πάστας τσιμέντου [28].

2.1.9 Μετακαολίνης.

Ο μετακαολίνης, υλικό με αξιόλογη ποζολανική δραστηριότητα, είναι το προϊόν της θερμικής αποσύνθεσης του καολινίτη, της κύριας ορυκτολογικής φάσης του καολίνη. Σαν υλικό με μεγάλη λεπτότητα (κατόπιν της άλεσής του), και ισχυρά ποζολανικό, μπορεί να θεωρηθεί τσιμεντοειδές υλικό, αφού τα χαρακτηριστικά του και η συμπεριφορά του προσομοιάζουν το τσιμέντο. Η χρήση του μετακαολίνη στο σκυρόδεμα έχει σημαντική επίδραση στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος επηρεάζοντας τη μηχανική αντοχή και την ανθεκτικότητα.

Ο μετακαολίνης μπορεί να αντικαταστήσει ποσοστό του τσιμέντου (από 7% έως 20% κ.β.) ή για αντικατάσταση του φίλλερ (από 14% έως 40% κ.β.). Ουσιαστικά η θετική επίδραση του μετακαολίνη οδηγεί σε μείωση της διαπερατότητας και στην αύξηση των μηχανικών αντοχών του σκυροδέματος [29].

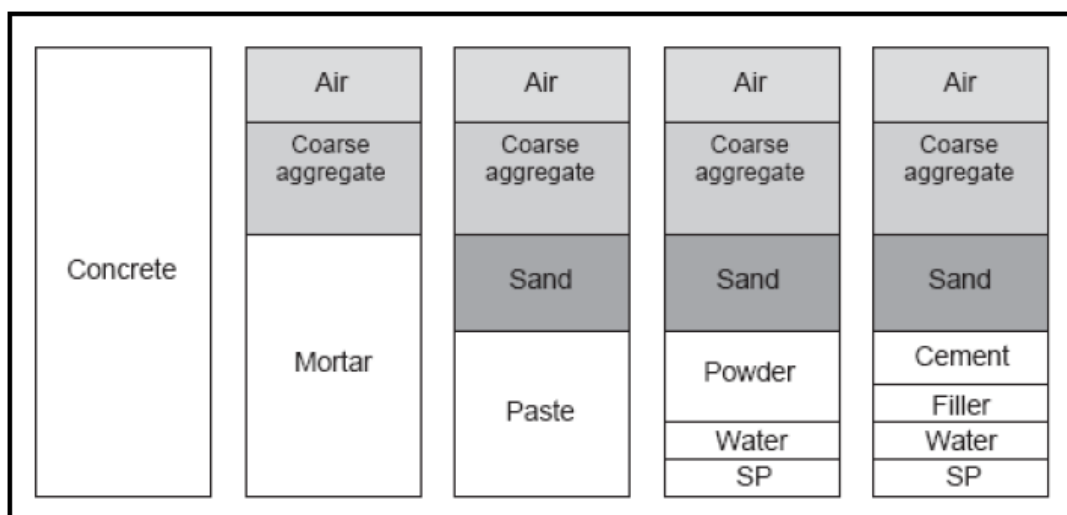
Έπειτα από μελέτη πειραματικών αποτελεσμάτων διατυπώνονται τα εξής συμπεράσματα σε σχέση με την επιρροή του μετακαολίνης στις συνθέσεις ΑΣΣ:

- Παρουσιάζεται αύξηση της θλιπτικής αντοχής με την αύξηση του ποσοστού αντικατάστασης τσιμέντου από μετακαολίνη και φύλλερ από μετακαολίνη, με τη δεύτερη περίπτωση να οδηγεί σε μεγαλύτερες θλιπτικές αντοχές
- Προκύπτουν μεγαλύτερες τιμές εφελκυστικής αντοχής κατά την αντικατάσταση ποσοστού μετακαολίνης με φύλλερ από ότι όταν αντικαθίσταται μετακαολίνης με τσιμέντο, χωρίς όμως σημαντικές αποκλίσεις (τιμές από 15 έως 20%)
- Μείωση της καμπτικής αντοχής με την αντικατάσταση ποσοστού τσιμέντου με μετακαολίνη
- Μείωση της τριχοειδούς απορρόφησης με την αύξηση ποσοστού αντικατάστασης τσιμέντου από μετακαολίνη και την αύξηση του αντίστοιχου ποσοστού αντικατάστασης φύλλερ από μετακαολίνη, με την δεύτερη περίπτωση να παρουσιάζει μικρότερες τιμές τριχοειδούς απορρόφησης
- Μείωση του πορώδους με χρήση του μετακαολίνης στα μείγματα
- Αύξηση του συντελεστή διαπερατότητας c με την αύξηση του ποσοστού αντικατάστασης μετακαολίνης με τσιμέντο

2.2 ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΣ.

Πρωτοπόροι στον χώρο της τεχνολογίας του ΑΣΣ υπήρξαν οι Okamura και Ouchi [30,31], καθώς ήταν και οι πρώτοι που ανέπτυξαν τη μεθοδολογία σχεδιασμού και παρασκευής ΑΣΣ. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο το περιεχόμενο των αδρανών καλύπτει το 50% της συνολικής μάζας του μείγματος πλην του αέρα. Επιπλέον η μέθοδος αυτή προβλέπει ότι το ποσοστό της άμμου θα αντιπροσωπεύει το 50% του όγκου του κονιάματος ξανά χωρίς το συνυπολογισμό του αέρα (Σχήμα 2.4).

Αυτή η μεμονωμένη αντιμετώπιση των αδρανών και της άμμου οδηγεί σε ένα ΑΣΣ που χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό πάστας και δικαιολογημένα φθάνει σε μεγαλύτερες τιμές αντοχής από αυτές για τις οποίες αρχικά σχεδιάστηκε [32,33]. Στην Ολλανδία και άλλες Ευρωπαϊκές χώρες η μέθοδος αυτή έχει υιοθετηθεί και έχει αποτελέσει οδηγό για την σχεδίαση και την ανάπτυξη του ΑΣΣ [34].



Σχήμα 2.4 Σχηματική απεικόνιση της θεωρητικής σύνθεσης του ΑΣΣ [34].

Πιο πρόσφατα οι Su et al. [35] και οι Su και Miao [36] ανέπτυξαν μια εναλλακτική μέθοδο για την παρασκευή ΑΣΣ. Η μέθοδος αυτή προβλέπει αρχικά την επαρκή σωματιδιακή πλήρωση του συνόλου των αδρανών και στην συνέχεια την πλήρωση των κενών που υπάρχουν μεταξύ των αδρανών με πάστα. Αυτή η πρακτική είναι ευκολότερη στην εκτέλεσή της και καταλήγει σε μείγματα ΑΣΣ που χαρακτηρίζονται από μικρότερα ποσοστά πάστας. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται και η χρήση των περισσότερο ακριβών υλικών που περιλαμβάνουν το τσιμέντο και τα λεπτά υλικά επιτυγχάνοντας παράλληλα προσδοκώμενες φυσιολογικές αντοχές.

Με δεδομένο ότι τα αδρανή είναι το φθηνότερο συστατικό του σκυροδέματος είναι σημαντικό να συμπτυκνωθούν όσο το δυνατόν καλύτερα σε σχέση με την πάστα ούτως ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική εργασιμότητα του μείγματος. Ωστόσο κατά τον σχεδιασμό ΑΣΣ είναι περισσότερο εφικτό να επιτύχει κάποιος την επιθυμητή κατηγορία αντοχής παρά την εργασιμότητα [35]. Ειδικότερα στην μέθοδο των Su και Miao [36], η διαδικασία ξεκινά από το περιεχόμενο των αδρανών που επηρεάζει άμεσα την εργασιμότητα, καθώς όσο περισσότερα είναι τα αδρανή τόσο λιγότερη η πάστα, γεγονός που συνεπάγεται μειωμένη ρευστότητα. Άρα λογικό επακόλουθο είναι να υπολογίζεται με σχετική ακρίβεια και η ποσότητα του τσιμέντου που θα ευνοήσει όντας λεπτό υλικό την ρεολογία του μείγματος. Η ποσότητα αυτή καθορίζεται από την επιθυμητή κατηγορία αντοχής και την ανθεκτικότητα του σκληρυμένου σκυροδέματος. Αυτή η προσέγγιση ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό την Ολλανδική μέθοδο σχεδίασης κανονικών σκυροδεμάτων μέτριας κατηγορίας αντοχής. Επιπλέον, η ποσότητα του τσιμέντου καθορίζεται από τον λόγο v/t και φυσικά τις απαιτήσεις για την επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών ανθεκτικότητας.

Πρόσφατα (2006) παρουσιάστηκε μία βελτιωμένη μέθοδος σχεδιασμού μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (μέθοδος Σχ.Ε.Δι.Π.Υ.) που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Δομικών Υλικών του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης (ΔΠΘ) και αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο που επιτρέπει το σχεδιασμό μειγμάτων διαφορετικών κατηγοριών αντοχής. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για το σχεδιασμό μειγμάτων ΑΣΣ

διαφορετικών κατηγοριών αντοχής (C20/25 έως C50/60) στην παρασκευή των οποίων χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά τσιμέντα και αδρανή υλικά του Ελλαδικού χώρου [37]. Η μέθοδος είναι απλή στη χρήση της, επιτρέπει τον συνυπολογισμό στο σχεδιασμό του μείγματος διαφορετικών λεπτών υλικών πέραν του τσιμέντου, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν μέθοδος ποιοτικού ελέγχου προκειμένου να ελεγχθεί η διακύμανση της ποιότητας των πρώτων υλών (αδρανών υλικών, τσιμέντου και λεπτών προσθέτων).

Βασικό στοιχείο για τη βελτιστοποίηση των ρεολογικών ιδιοτήτων του νωπού ΑΣΣ είναι η περιεκτικότητά του σε πολύ λεπτά υλικά, τα οποία ορίζονται ως το άθροισμα της μάζας του τσιμέντου, της μάζας των ποζολανικών προσθέτων (πυριτική παιπάλη, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνων) και της παιπάλης που προέρχεται από την άμμο (ασβεστολιθικό ή πυριτικό φίλλερ). Με τον όρο φίλλερ χαρακτηρίζονται τα διερχόμενα από το κόσκινο των 0,075 mm (ή των 0,125 mm) στην Ευρώπη, ενώ στην Ιαπωνία για τον αντίστοιχο προσδιορισμό χρησιμοποιείται το κόσκινο των 0,090 mm.

Τέλος, οι βασικές αρχές που διέπουν το σχεδιασμό μιας σύνθεσης ΑΣΣ σύμφωνα με τις συστάσεις της EFNARC [2], παρουσιάζονται παρακάτω:

- Λόγος νερού/λεπτόκοκκο υλικό: 0.85 – 1.10 κατ' όγκον
- Συνολική ποσότητα λεπτού υλικού: 160 – 240lt (380 - 600kg) ανά m³
- Περιεκτικότητα χονδρόκοκκων αδρανών: 27 – 36% του συνολικού όγκου του μείγματος
- Ποσότητα νερού: Δεν υπερβαίνει τα 210 lt/m³ (τηρούνται οι περιορισμοί του EN-206 [2])
- Περιεκτικότητα άμμου: Ισορροπεί τον όγκο των υπόλοιπων συστατικών

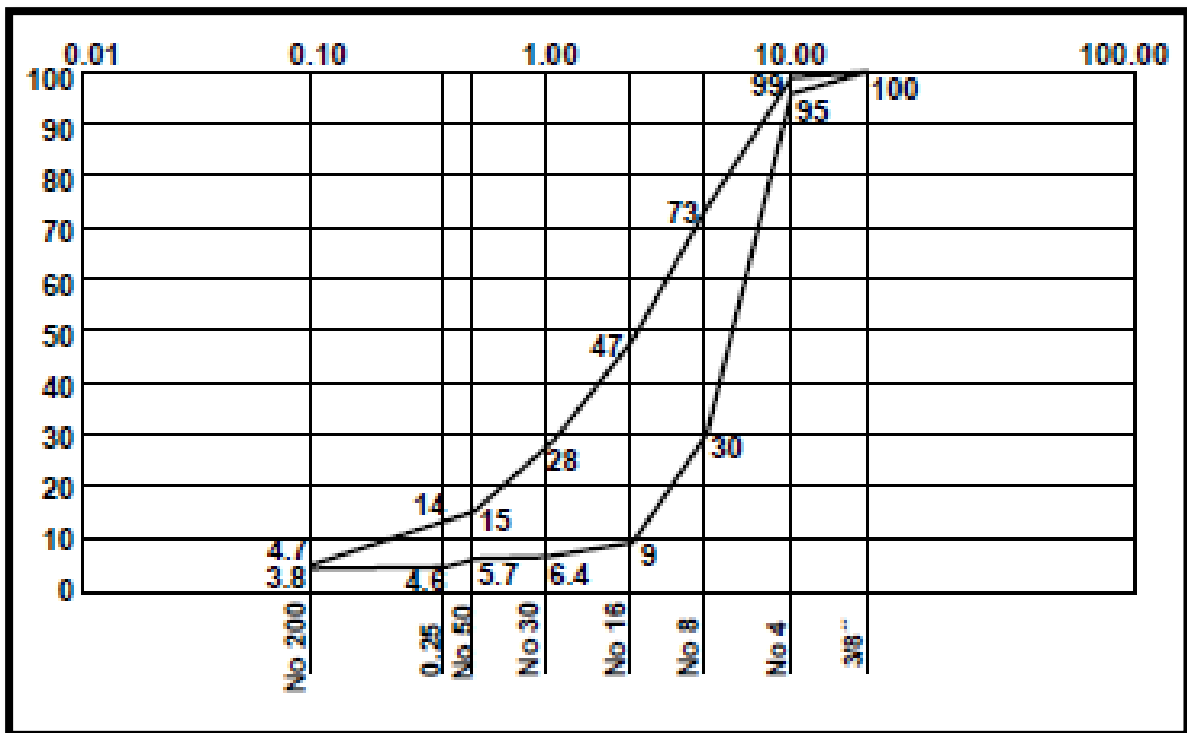
2.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΑΣΣ.

Έχοντας ολοκληρώσει την παρουσίαση των συστατικών του ΑΣΣ και των βασικών κανόνων για τη μελέτη σύνθεσής του είναι σκόπιμο να επεκταθούμε και στη διαδικασία παρασκευής του. Για το σκοπό αυτό παρουσιάζεται στην ενότητα ένα παράδειγμα σύνθεσης και παρασκευής ΑΣΣ από τη βιβλιογραφία.

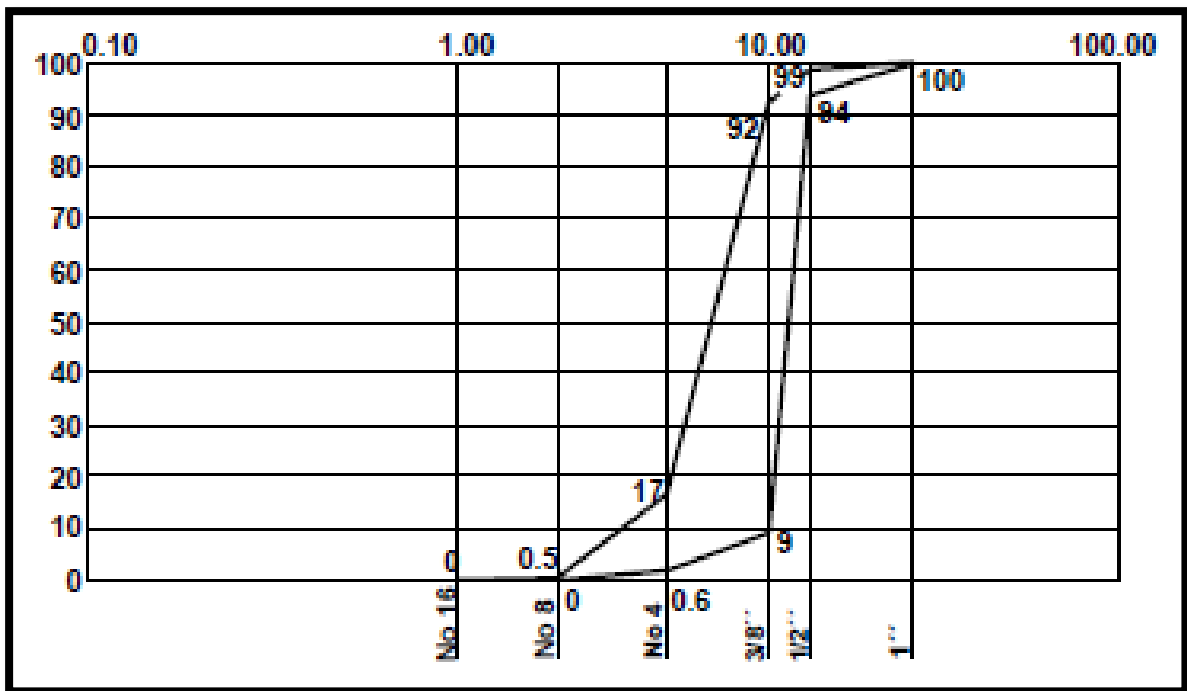
Η παρακάτω σύνθεση πραγματοποιήθηκε για το εργοστάσιο παραγωγής προκατασκευασμένων στοιχείων της εταιρείας «ΕΔΡΑΣΗ – Χ. ΨΑΛΙΔΑΣ Α.Τ.Ε.» στο Πετρωτό Τρικάλων, κάνοντας χρήση υλικών από την γύρω περιοχή [38]. Στόχος ήταν η παρασκευή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος κατηγορίας αντοχής C25/30, το οποίο θα ικανοποιεί συγκεκριμένα κριτήρια ποιοτικού ελέγχου, τα οποία υπαγορεύονταν από τις επιθυμητές τιμές ιδιοτήτων νωπού και σκληρυνμένου σκυροδέματος. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν με γνώμονα τις ανάγκες προκατασκευής επίπεδων δομικών στοιχείων. Η έρευνα κατέληξε σε πέντε εργαστηριακές συνθέσεις καθώς κρίθηκε σκόπιμη η διερεύνηση εναλλακτικών χημικών προσμίκτων από διάφορες εταιρείες με έδρα ή αντιπροσώπους στην Ελλάδα. Η μελέτη σύνθεσης πραγματοποιήθηκε στο «Εργαστήριο Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών» του Πανεπιστημίου Πατρών.

2.3.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών.

Όλα τα αδρανή υλικά απεστάλησαν (σε κλειστές συσκευασμένες σακούλες για αποφυγή απώλειας υγρασίας κατά τη μεταφορά) στο Εργαστήριο Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών από το εργοστάσιο Τρικάλων. Το τσιμέντο ήταν τύπου Ι-42.5, ενώ χρησιμοποιήθηκαν αδρανή όπως ασβεστολιθική παιπάλη (πληρωτική κονία), άμμος λατομείου και ποτάμια, θραυστό γαρμπίλι (κλάσμα 5 - 8mm) και θραυστά σκύρα (κλάσμα 8 - 16mm). Για την κατάστρωση του βέλτιστου σκελετού αδρανών διεξήχθησαν κοκκομετρικές αναλύσεις σε όλα τα αδρανή πλην της ασβεστολιθικής παιπάλης. Οι κοκκομετρικές καμπύλες που προέκυψαν φαίνονται στα Σχήματα 2.5 και 2.6.



Σχήμα 2.5 Κοκκομετρική καμπύλη για την ποτάμια και θραυστή άμμο που χρησιμοποιήθηκε στο παράδειγμα [38].



Σχήμα 2.6 Κοκκομετρική καμπύλη για το γαρμπίλι και τα σκύρα που χρησιμοποιήθηκαν στο παράδειγμα [38].

2.3.2 Λοιπά συστατικά που χρησιμοποιήθηκαν.

Χρησιμοποιήθηκαν χημικά πρόσμεικτα από τρεις εταιρείες με έδρα ή αντιπροσώπους στην Ελλάδα. Για τις δοκιμές εξετάστηκαν 14 διαφορετικά χημικά πρόσμεικτα διαφόρων τύπων όπως υπερρευστοποιητές, ρυθμιστές ιξώδους, επιβραδυντές πήξης κ.α. Για την επίτευξη καλής συμβατότητας μεταξύ των χημικών προσμείκτων, δεν συνδυάστηκαν χημικά πρόσμεικτα από διαφορετικές εταιρείες. Για την επίτευξη αποτελεσματικής ανάμειξης του μείγματος αλλά και συμφωνίας του εργαστηριακού αναμεικτήρα με τον υπάρχον εργοστασιακό αναμεικτήρα (τύπου σφοδρής οριζόντιας ανάμειξης χωρητικότητας 750lt), χρησιμοποιήθηκε ένα σχετικό εργαστηριακό όργανο οριζόντιας ανάμειξης (pantype) χωρητικότητας 56lt. Οι εργαστηριακές δοκιμές νωπού σκυροδέματος είχαν σκοπό την αξιολόγηση του μείγματος ως προς τα χαρακτηριστικά αυτοσυμπύκνωσής του, τα οποία είναι η ικανότητα πλήρωσης, η ικανότητα ροής μέσω στενών ανοιγμάτων και η αντίσταση σε απόμειξη. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για κάθε ανάμειγμα ήταν η δοκιμή εξάπλωσης (Slump-Flow), η δοκιμή διέλευσης από χοάνη σχήματος V (V-funnel) και η δοκιμή L-Box, όπως αυτές περιγράφονται στις Ευρωπαϊκές οδηγίες για το ΑΣΣ και περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας.

Η αξιολόγηση κάθε μείγματος περιελάμβανε και τη μέτρηση του ποσοστού υγρασίας των αδρανών, την παρασκευή του αναμείγματος, τις προαναφερόμενες δοκιμές αυτοσυμπύκνωσης και τη λήψη κυβικών δοκιμίων για την εκτίμηση της μέσης θλιπτικής αντοχής τους.

2.3.3 Διαδικασία ανάμειξης των υλικών.

Η διαδικασία ανάμειξης των υλικών είχε ως εξής: Αρχικά τοποθετούνταν στον αναμεικτήρα τα αδρανή (εκτός της πληρωτικής κονιάς) με μία μικρή ποσότητα νερού, η οποία αντιστοιχούσε στην εκτιμώμενη ποσότητα που θα απορροφούσαν τα αδρανή (η απορροφητικότητα των αδρανών εκτιμήθηκε ως 0,2%, 2% και 0,5% για ποτάμια άμμο, άμμο λατομείου και γαρμπίλι-σκύρα αντίστοιχα), και ακολούθησε ανάμειξη διάρκειας 60sec για την ομογενοποίηση του μείγματος των αδρανών. Ακολουθούσε η προσθήκη της πληρωτικής κονιάς (ασβεστολιθική παιπάλη) και του τσιμέντου και ανάμειξη ενός ακόμα λεπτού. Έπειτα εισαγόταν και η υπόλοιπη ποσότητα νερού και ακολουθούσε ανάμειξη για άλλο ένα λεπτό. Τέλος γινόταν η εισαγωγή του ρυθμιστή ιξώδους (εάν αυτός ήταν σε υγρή μορφή) και του ρευστοποιητή και η διαδικασία ανάμειξης ολοκληρωνόταν με τη λειτουργία του αναμεικτήρα για 300sec. Εάν ο ρυθμιστής ιξώδους ήταν σε στερεή μορφή, τότε θα προσετίθετο στο μείγμα μαζί με τις κονίες (ασβεστολιθική παιπάλη και τσιμέντο).

Η διεξαγωγή των εργαστηριακών δοκιμών νωπού και σκληρυνμένου σκυροδέματος δεν γινόταν εάν παρουσιαζόταν απόμειξη ή έντονη εξίδρωση. Οι προαναφερθείσες δοκιμές (V-funnel, Slump-Flow και L-box, αναλυτική παρουσίαση των οποίων περιλαμβάνεται σε επόμενη ενότητα) χρησιμοποιήθηκαν και για την εκτίμηση της απώλειας εργασιμότητας των δοκιμών σε συνάρτηση με το χρόνο. Έτσι σκόπιμα ο ελάχιστος χρόνος που μεσολαβούσε στις δοκιμές ήταν πάνω από 30 min, ενώ κάποιες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν και 60 min μετά τη διαδικασία της ανάμειξης. Στο μεσοδιάστημα των δοκιμών το μείγμα παρέμενε αδιατάρακτο και σκεπαζόταν με πλαστική μεμβράνη για την αποφυγή απώλειας υγρασίας λόγω εξάτμισης. Για την αποφυγή μεταβολής των συνθηκών θερμοκρασίας στο χώρο της έρευνας δεν έγινε χρήση κλιματιστικού και οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος και του νωπού σκυροδέματος μετρούνταν πριν από κάθε δοκιμή με ηλεκτρονικό θερμόμετρο ακριβείας.

Η εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής των σκληρυνμένων μειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη θραύση κύβων (δύο ή τριών για κάθε ηλικία) σε μηχανή θλίψης δυναμικότητας 1600KN. Όπου κρίθηκε σκόπιμο εκτιμήθηκαν οι πρώιμες αντοχές των 12, 14, 16 ή και 24 ωρών. Οι θλιπτικές αντοχές των 7 και 28 ημερών εκτιμήθηκαν από κύβους οι οποίοι συντηρήθηκαν σε συνθήκες περιβάλλοντος και όχι σε θάλαμο η δεξαμενή συντήρησης για να προσομοιάζουν τις πραγματικές συνθήκες εργοστασίου. Με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της συντήρησης προκατασκευασμένων στοιχείων μέσω της μονώσεως των νωπών προϊόντων, στη θλιπτική αντοχή των 24ων πρώτων ωρών του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, κατασκευάστηκε ένα ισοθερμικό κυτίο συσκευασίας που αποτελούταν από ένα κουτί συσκευασίας επενδυμένο εσωτερικά με πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης. Η παρατηρούμενη αύξηση της αντοχής λόγω της παραπάνω συντήρησης είχε μέση τιμή ίση με 46% σε σχέση με την αντοχή των «μη-συντηρουμένων» δοκιμών.

Στον Πίνακα 2.2 δίνονται οι συνθέσεις των πέντε μειγμάτων τα οποία κρίθηκαν βέλτιστα ως προς τα ρεολογικά τους χαρακτηριστικά. Για τις συνθέσεις 1 έως και 3 χρησιμοποιήθηκαν χημικά πρόσμικτα από την ίδια εταιρεία, ενώ για τις συνθέσεις 4 και 5 χρησιμοποιήθηκαν χημικά πρόσμικτα από διαφορετικές εταιρείες. Τα σύμβολα C, F, W, W_{ef} , S-R και S-L στον Πίνακα 2.2 χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν τις ποσότητες τσιμέντου,

πληρωτικής κονιάς, νερού ανάμιξης, ενεργού νερού ανάμιξης (δηλ. του νερού ανάμιξης μείον το απορροφούμενο από τα αδρανή νερό), ποτάμιας άμμου και άμμου λατομείου. Στον Πίνακα 2.3 δίνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών νεπού ΑΣΣ για τις πέντε προτεινόμενες συνθέσεις σε δύο χρονικές στιγμές: αμέσως μετά την ανάμιξη ($t = 0$) και 30 min μετά από αυτήν ($t = 30$). Στον ίδιο Πίνακα δίνονται και οι τιμές της θερμοκρασίας ΑΣΣ και αέρος, καθώς και οι τιμές της θλιπτικής αντοχής των σκληρυμένων μειγμάτων στις 24 ώρες.

Πίνακας 2.2 Προτεινόμενες συνθέσεις ΑΣΣ του παραδείγματος [38].

a/a	C	F	W	$W_{ef.}$	$W_{ef./C}$	Αδρανή				Πρόσμικτα		
						Kg/m ³				Kg/m ³		
	I 42.5					S-R	S-L	5-8	8-16	Ρυθμιστής ιζώδους	Υπερρευ- στοποιητής	Επιβραδυ- ντής
1	365	250	245	237	0.649	480	220	300	330	4.0	3.0	2.5
2	365	250	235	227	0.622	480	220	300	330	2.0	5.0	1.8
3	365	250	250	242	0.663	480	220	300	330	4.0	3.5	1.5
4	350	130	232.5	221	0.632	470	365	310	310	4.0	5.0	1.3
5	365	250	250	245	0.659	700	0	300	330	2.0	6.0	-

Πίνακας 2.3 Αποτελέσματα δοκιμών για τις προτεινόμενες στο παράδειγμα συνθέσεις ΑΣΣ [38].

a/a	Slump-Flow		V-funnel		L-Box		Θερμοκρασία		Θλιπτική Αντοχή
	(mm)		(min)		(min)		(°C σε t=0)		(MPa σε 24 h)
	t=0	t=30	t=0	t=30	t=0	t=30	ΑΣΣ	Αέρος	
1	730	615	2.8	2.9	1	1	28	28	2.5*
2	700	585	3.2	5.2	1	0.9	28	21	14.65
3	715	650	2.9	2.8	1	1	28	25	6.1
4	740	680	3.7	6.1	1	1	28	29	9.1
5	780	650	6.0	8.5	1	0.7	29	29.5	14.13

*Η χαμηλή αυτή τιμή οφείλεται στην αυξημένη ποσότητα επιβραδυντή της σύνθεσης 1.

2.3.4 Εργοστασιακές δοκιμές στις συνθέσεις του παραδείγματος.

Για την πραγματοποίηση των εργοστασιακών δοκιμών ετέθησαν από το Εργαστήριο Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών οι απαιτήσεις σε υλικά και εξοπλισμό, αφού δόθηκαν σαφείς οδηγίες τόσο για την κατασκευή των συσκευών Slump-Flow, V-funnel και L-box, όσο και για τη διεξαγωγή των αντίστοιχων δοκιμών. Πριν από την παρασκευή των μειγμάτων πραγματοποιήθηκε μέτρηση της περιεκτικότητας σε υγρασία των αδρανών, μέσω θέρμανσης

σε μεταλλικό δοχείο πάνω από εστία υγραερίου. Οι τιμές βρέθηκαν ίσες με 0,48% για την άμμο λατομείου, 5,1% για την ποτάμια άμμο, 0,12% για το γαρμπίλι και 0,11% για τα σκύρα. Από τις συνθέσεις του Πίνακα 2.2 ελέγχθηκαν οι 3,4 και 5. Εξαιτίας της έλλειψης σιλό για το πληρωτικό υλικό και αυτόματου δοσομετρητή για τα χημικά πρόσμικτα η εισαγωγή των υλικών έγινε χειρωνακτικά. Οι προζυγισμένες ποσότητες ασβεστολιθικής παιπάλης εισήχθησαν στον κάδο των αδρανών ο οποίος κρατείται σε στάση στο κατώτατο τμήμα της διαδρομής του, ενώ τα χημικά πρόσμικτα, τα οποία ήταν και αυτά προζυγισμένα εισήχθησαν απ' ευθείας στον αναμεικτήρα από τη θύρα του, η οποία παρέμεινε καθ' όλη τη διαδικασία της ανάμειξης ανοιχτός για επισκόπηση του μείγματος. Η θερμοκρασία στο στεγασμένο χώρο του εργοστασίου κατά τη διάρκεια των σκυροδετήσεων κυμάνθηκε μεταξύ 29°C έως 32°C, ενώ η θερμοκρασία του σκυροδέματος κυμάνθηκε από 30°C έως 30.8°C ανεξάρτητα από την ώρα παρασκευής του μείγματος. Οι θερμοκρασίες αυτές για το σκυρόδεμα θεωρούνται αρκετά υψηλές.

Για την πρώτη δοκιμή επιλέχθηκε ένα επίπεδο στοιχείο φράχτη με αυξημένες απαιτήσεις σε ποιότητα εμφανούς επιφάνειας, διαμορφωμένη έτσι στον πλαστικότυπο ώστε να προσομοιάζει επιφάνεια οπτοπλινθοδομής. Παρασκευάστηκαν 2 δόσεις των 0.45m³ κάνοντας χρήση της σύνθεσης 3 από τον Πίνακα 2.2. Η μοναδική αλλαγή στις ποσότητες της σύνθεσης ήταν η μείωση του νερού ανάμειξης κατά 15kg/m³ λόγω διαφορών στα ποσοστά υγρασίας των αδρανών στο εργαστήριο και στο εργοτάξιο, και στη σφοδρότητα της ανάμειξης μεταξύ εργοστασιακού και εργαστηριακού αναμεικτήρα.

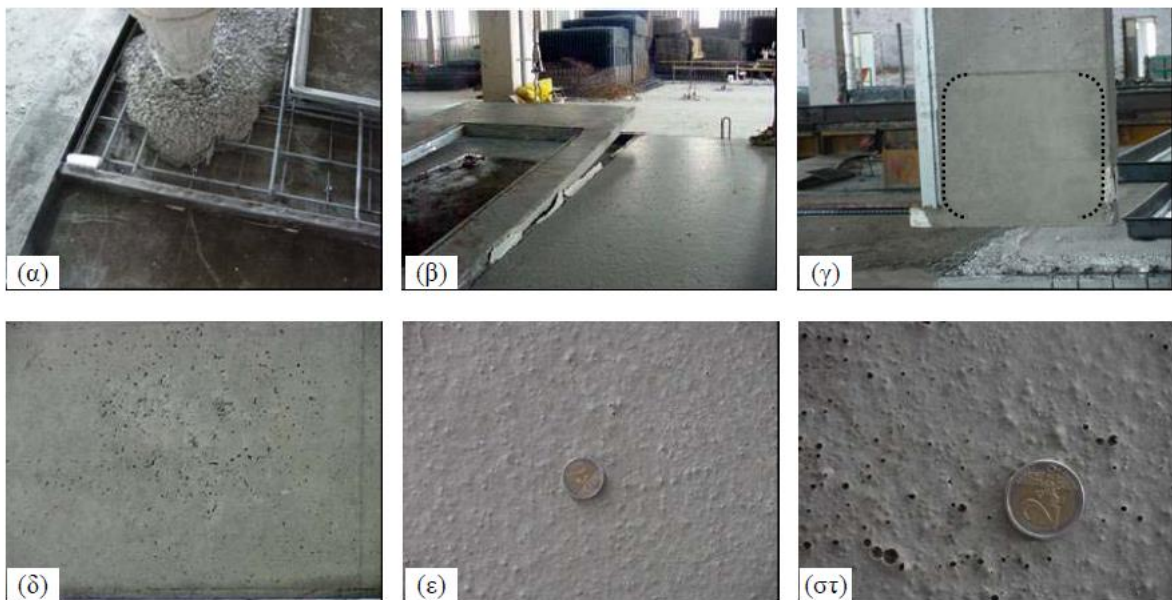
Η σκυροδέτηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός κοχλιοφόρου, η οποία θεωρείται ακατάλληλη για την περίπτωση ΑΣΣ. Βασική προϋπόθεση για την ενεργοποίηση των μηχανισμών της αυτοσυμπύκνωσης είναι η ροή του σκυροδέματος λόγω της βαρύτητας και όχι η εξαναγκασμένη προώθηση μέσω ελικώνη οποία εκμηδενίζει την δυναμική ενέργεια του μείγματος. Καταλληλότερος τρόπος σκυροδέτησης νωπού ΑΣΣ δίχως την επιβολή πίεσης κρίνεται αυτός μέσω κάδου. Την επόμενη μέρα, 24 ώρες περίπου μετά την σκυροδέτηση και μετά τη θραύση 2 κυβικών δοκιμίων για την εκτίμηση επίτευξης ικανοποιημένης θλιπτικής αντοχής, αφαιρέθηκε ο πλαστικότυπος αποκαλύπτοντας μια εξαιρετική επιφάνεια (Εικόνα 2.3(β) και (γ)).



Εικόνα 2.3 (α) Σκυροδέτηση του επίπεδου στοιχείου φράχτη (β) το στοιχείο μετά την απομάκρυνση των πλαστικοτύπων (γ) η άψογη εν επαφή με τον πλαστικοτύπο επιφάνεια [38].

Για τη δεύτερη δοκιμή επιλέγησαν τρία επίπεδα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται ως διαχωριστικά σε τρισδιάστατα στοιχεία προκατασκευής (κυψέλες). Συνολικά παρασκευάστηκαν 4 δόσεις των 0.75 m^3 με τις οποίες σκυροδετήθηκαν 3 στοιχεία. Η σύνθεση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η υπ' αριθμόν 4 του Πίνακα 2.2, χωρίς να γίνει καμία αλλαγή. Παρά το γεγονός ότι η χρήση του κοχλιοφόρου στερούσε τις ιδιότητες αυτοσυμπύκνωσης του σκυροδέματος, παρατηρήθηκε υψηλή ικανότητα πλήρωσης και αντίσταση έναντι διαχωρισμού. Το μείγμα έρεε ομοιόμορφα και με ταχύτητα στις άκρες των μεταλλοτύπων όταν επρόκειτο για στοιχείο δίχως ανοίγματα, ή πλήρωνε με επάρκεια τα γωνιακά τμήματα των μεταλλοτύπων στην περίπτωση στοιχείων με ανοίγματα (Εικόνα 2.4(α)).

Την επόμενη ημέρα, 24 ώρες μετά τη σκυροδέτηση και του τελευταίου στοιχείου, και μετά από τη θραύση δύο κυβικών δοκιμίων για την επιβεβαίωση επίτευξης ικανοποιητικής θλιπτικής αντοχής, αφαιρέθηκε ο μεταλλότυπος (Εικόνα 2.4(β)). Η εν επαφή με τον μεταλλότυπο επιφάνεια ήταν ικανοποιητικά καλή (Εικόνα 2.4(γ)), η οποία όμως απομειωνόταν αισθητικά από την ύπαρξη μικρών «φωλέων» (Εικόνα 2.4(δ)), οι οποίες αποδίδονται από την ανάκλαση των αδρανών στο σημείο όπου κρατείται σταθερό το ακροφύσιο του κοχλιοφόρου και πιθανώς στην χρήση ελαίων που χρησιμοποιήθηκε για την απομάκρυνση των καλουπιών. Οι ελεύθερες επιφάνειες των στοιχείων ήταν ικανοποιητικά καλές (Εικόνα 2.4(ε)), αλλά όχι άψογες λόγω της ύπαρξης μικρών φυσαλίδων (Εικόνα 2.4(στ)). Η αποφυγή εγκλωβισμού φυσαλίδων αέρα δύναται να γίνει με τη χρήση κατάλληλου χημικού αναστολέα αεροποίησης.

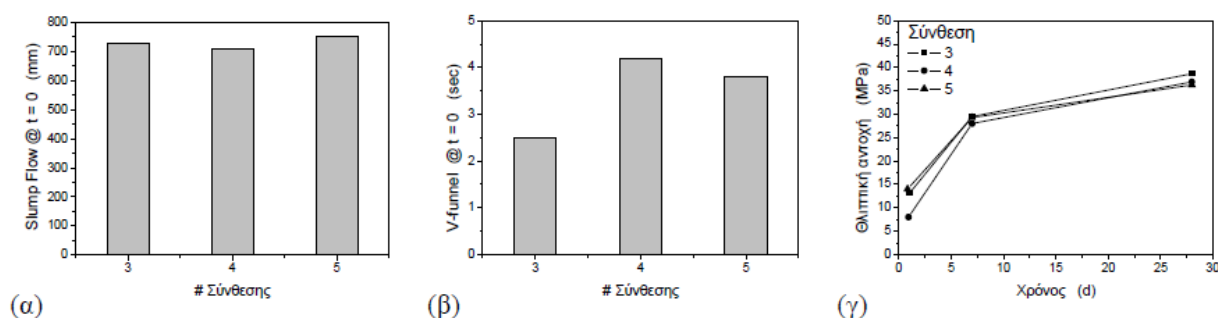


Εικόνα 2.4 (α) Σκυροδέτηση του γωνιακού τμήματος επίπεδου διαχωριστικού στοιχείου (β) το στοιχείο κατά τη φάση ανάρτησής του (γ) άκρως ικανοποιητική η εν επαφή με τον μεταλλότυπο επιφάνεια και η άψογη εν επαφή με τον μεταλλότυπο επιφάνεια στον πόδα του στοιχείου εντός του πλαισίου (δ) σχηματισμός «φωλέων» στον πόδα του λαμπά (ε) τμήμα ελεύθερης επιφάνειας πολύ καλής ποιότητας. (στ)

τμήμα ελεύθερης επιφάνειας με περιορισμένες σε αριθμό και μέγεθος φυσαλίδες [38].

Για την τρίτη δοκιμή επιλέχθηκε ο φλοιός ενός επίπεδου στοιχείου τύπου «σάντουιτς». Το στοιχείο σκυροδετήθηκε με μία μόνο δόση των $0,75\text{m}^3$, ενώ η σύνθεση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η 5 στον Πίνακα 2.2. Η σύνθεση αυτή στηριζόταν αποκλειστικά στη χρήση ποτάμιας άμμου. Κατά τη σκυροδέτηση, λόγω της ρεοδυναμικότητας του μείγματος, παρατηρήθηκε επίπλευση κομματιών διογκωμένης πολυστερίνης, η οποία χρησίμευε για λόγους θερμομόνωσης, ενσωματούμενο στο στοιχείο τύπου «σάντουιτς». Όταν αφαιρέθηκαν οι μεταλλότυποι διαπιστώθηκε η αρτιότητα της επιφάνειάς του.

Στο Σχήμα 2.7(α) και 2.7(β) δίνονται οι τιμές των δοκιμών εξάπλωσης Slump-Flow και διέλευσης από τη χοάνη σχήματος V (V-funnel), για όλες τις συνθέσεις σε χρόνο $t=0$ (αμέσως μετά την παρασκευή νωπού σκυροδέματος). Οι τιμές την ίδια χρονική στιγμή για τη δοκιμή L-Box ήταν όλες ίσες με τη μονάδα. Για την παρακολούθηση της ανάπτυξης θλιπτικών αντοχών των σκυροδετημένων στοιχείων ελήφθησαν έξι δοκίμια από ένα αντιπροσωπευτικό ανάμειγμα της κάθε σύνθεσης (δύο για την αντοχή σε 24 ώρες, δύο για την αντοχή των 7 ημερών και δύο για την αντοχή των 28 ημερών). Οι κύβοι συντηρήθηκαν σε συνθήκες περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα των δοκιμών θλίψης φαίνονται στο Σχήμα 2.7(γ). Παρατηρείται η επίτευξη όμοιων θλιπτικών αντοχών ως προς το χρόνο ανεξαρτήτως σύνθεσης. Για όλες τις συνθέσεις διαπιστώθηκε η επίτευξη ιδιαίτερα υψηλών πρώιμων αντοχών, επιτρέποντας την αφαίρεση των καλουπιών σχετικά νωρίς σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Είναι αξιοσημείωτο πως η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σύμφωνα με τις δοκιμές των 28 ημερών υπερβαίνει τα 35 MPa.



Σχήμα 2.7 Αποτελέσματα δοκιμών (α) εξάπλωσης Slump-Flow σε χρόνο $t=0$, (β) διέλευσης από χοάνη σχήματος V (V-funnel) σε χρόνο $t=0$ και (γ) θλίψης κυβικών δοκιμίων για όλες τις συνθέσεις που πραγματοποιήθηκαν οι εργαστηριακές δοκιμές [38].

2.3.5 Παρατηρήσεις για το παράδειγμα εργαστηριακής δοκιμής.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες παρατηρήσεις σχετικά με την εφαρμογή ΑΣΣ σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής προκατασκευασμένων στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος

- Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι εργαστηριακά προκύπτουσες και οι προτεινόμενες συνθέσεις εφαρμόστηκαν στην παραγωγή με καμία ή με ελάχιστες μετατροπές, όπως ήταν η μικρή μείωση του νερού ανάμειξης. Αυτό υποδηλώνει τη συμφωνία εργαστηριακών δοκιμών και μετρήσεων πεδίου ως προς την ποιοτική αξιολόγηση μίας σύνθεσης, κάτι το οποίο αποτελεί αμφιλεγόμενο ζήτημα στη διεθνή βιβλιογραφία και σημείο αρχικής αβεβαιότητας για τους διεξάγοντες την παρούσα έρευνα
- Οι σε επαφή με τους μεταλλότυπους/πλαστικότυπους επιφάνειες των στοιχείων που προέκυψαν, ποικίλλουν σε ποιότητα ανάλογα με το είδος των χημικών προσμίκτων που περιείχαν. Για την πρώτη και τρίτη δοκιμή των συνθέσεων με αριθμό 3 και 5, οι επιφάνειες που προέκυψαν χαρακτηρίζονται ποιοτικά άρτιες και αισθητικά άριστες. Για τη δεύτερη δοκιμή, που αντιστοιχεί στη σύνθεση 4, η χρήση ενός αντιαφρογόνου χημικού πρόσμικτου θα αντιμετώπιζε τα προβλήματα που σχετίζονται με τη δημιουργία φυσαλίδων, ενώ ένας εναλλακτικός τρόπος σκυροδέτησης ή και ξεκαλουπώματος θα μείωνε τα φαινόμενα σχηματισμού «φωλέων». Ωστόσο, ο συνδυασμός πολλών χημικών προσμίκτων σε μία σύνθεση θα πρέπει να αποφεύγεται
- Αισθητικά αποδεκτές ήταν επίσης και οι ελεύθερες επιφάνειες των στοιχείων, ενώ θα μπορούσαν να προκύψουν μέθοδοι βελτίωσης επιτόπου στο εργοστάσιο παραγωγής. Για παράδειγμα θα μπορούσε να γίνει χρήση κάποιας ιδιοσυσκευής η οποία θα έχει ακμή ίση με το πλάτος των καλουπιών και θα σύρεται στο νωπό σκυρόδεμα, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα όμως έτσι ώστε το νερό εξίδρωσης να έχει φέρει στην επιφάνεια αρκετή ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού
- Η χρήση κοχλιοφόρου θεωρείται ακατάλληλη για την περίπτωση του ΑΣΣ. Η χρήση αναρτώμενου κάδου, για παράδειγμα χωρητικότητας 3 lt, θα διευκόλυνε σημαντικά τη διαδικασία σκυροδέτησης επίπεδων στοιχείων
- Η εγκατάσταση ενός δεύτερου σιλό αποθήκευσης για την πληρωτική κονία θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για την αυτοματοποίηση της παρασκευής του μείγματος και τον ευχαιρέστερο έλεγχο της δοσομέτρησης της παιπάλης. Το ίδιο ισχύει και για τα χημικά πρόσμικτα, οι ποσότητες των οποίων στο μείγμα θα πρέπει να εισάγονται εκ των προτέρων στο λογισμικό του παρασκευαστηρίου μαζί με τις ποσότητες των υπόλοιπων συστατικών και να δοσομετρούνται με ακρίβεια
- Η πλήρης αυτοματοποίηση της διαδικασίας παρασκευής ενός μείγματος ΑΣΣ θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της αναβάθμισης του συστήματος ελέγχου του παρασκευαστηρίου. Επιπλέον με την εγκατάσταση ενός μετρητή ισχύος θα υπάρχει η δυνατότητα να έχουμε μία πρώτη αξιολόγηση της σύνθεσης από πλευράς ρεολογίας, πριν από την εκφόρτωση του μείγματος, ενημερώνοντας τον χειριστή για το παραγόμενο έργο του αναμικτήρα κατά τη φάση της ανάμειξης
- Απαραίτητη είναι και η στεγανοποίηση του αναμικτήρα για την αποφυγή απώλειας τσιμεντοπολτού κατά τη φάση λειτουργίας του, και την πιθανότητα απόμειξης που αυτή συνεπάγεται είτε εντός του αναμικτήρα είτε στον κάδο στον οποίο εκφορτώνεται
- Επειδή οι συνθέσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευαισθησία στις διακυμάνσεις των συστατικών υλικών τους ως προς την κοκκομετρία και το ποσοστό υγρασίας, βασική προϋπόθεση για τη σταθεροποίηση παραγωγής ΑΣΣ θα ήταν η συχνή κοκκομέτρηση

των αδρανών και της άμμου λατομείου. Πιθανή μεταβολή της κοκκομετρίας ενός ή περισσοτέρων κλασμάτων αδρανών, που μπορεί να οφείλεται σε αλλαγή σπαστήρων ή λατομείου, θα επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη ρεολογία του μείγματος

- Πρέπει να είναι γνωστές και με ακρίβεια οι περιεκτικότητες σε υγρασία των αδρανών. Σκόπιμη θα ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας κορεσμού των αδρανών (π.χ. με τη χρήση καταιονιστήρων στους χώρους αποθήκευσης των αδρανών), έτσι ώστε να είναι πάντοτε γνωστή η περιεκτικότητα σε υγρασία και μη μεταβαλλόμενη
- Για την πρώτη δόση του μείγματος τουλάχιστον, θα πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα λήψης δείγματος και υποβολή στις βασικές δοκιμές ελέγχου νωπού ΑΣΣ (Slump-Flow, V-funnel και L-box). Θα πρέπει να γίνεται επανάληψη των δοκιμών, αν όχι ανά κάθε συγκεκριμένη παραγόμενη ποσότητα ΑΣΣ, αλλά σίγουρα εάν υπάρχει ένδειξη απόμειξης με οπτική εκτίμηση ή από την ανάλογη ένδειξη της ισχύος του αναμικτήρα, ή ακόμη αν μεταβληθούν σημαντικά οι περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της ημέρας. Είναι απαραίτητη η εκπαίδευση του προσωπικού για γρήγορη και σωστή διεξαγωγή των βασικών αυτών δοκιμών
- Είναι πολύ σημαντικό να εξασφαλιστεί η στεγανότητα των ξυλοτύπων ή μεταλοτύπων στην προκατασκευή αλλά και στην επί τόπου δόμηση. Η απώλεια τσιμεντοπολτού είναι συνήθως πρόβλημα στη χρήση ΑΣΣ

Βιβλιογραφικές Αναφορές 2^ο Κεφαλαίου

- [1] Koehler E., “Aggregates in Self-Consolidating Concrete”, PhD Thesis, The University of Texas at Austin, August 2007, downloadable by www.icar.utexas.edu
- [2] EFNARC., “Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete”, February 2002, downloadable by www.efnarc.org
- [3] Koehler E., Fowler D., “ICAR Mixture Proportioning Procedure for Self Compacting Concrete”, ICAR Project: “Aggregates in SCC”, International Center for Aggregates Research University of Texas at Austin, downloadable by www.icar.utexas.edu
- [4] Mehta, P.K., and Monteiro, P.J.M., “Concrete: Structure, Properties and Materials”, McGraw-Hill, third edition, 2006.
- [5] ACI 104-71, “Preparation of Notation for Concrete”, Journal Proceedings, Vol 68, Issue 9, 1971.
- [6] Sonebi M., “Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modeling using statistical factorial plans” Cement and Concrete Research, vol. 34, issue 5, pp 1199-1208, 2004.
- [7] Park C.K., Noh M.H., and Park T.H., “Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures” Cement and Concrete Research, vol 35, issue 5, pp 842-849, 2005.
- [8] Downloadable by http://www.us-concrete.com/ef_technology/index.asp
- [9] Άγγελος Σ. Γεωργιάδης-Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc «Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού, Παραγωγής και Χρήσης Μειγμάτων Αυτοσυμπκνούμενου Σκυροδέματος σε Βιομηχανική Κλίμακα στην Ελλάδα», Διδακτορική Διατριβή, Ξάνθη, Νοέμβριος 2010.
- [10] Λιτίνας Ν., “Αδρανή Υλικά στο Σκυρόδεμα”, downloadable by www.skyrodemanet.gr

- [11] Σάββα Α., “Μεταπτυχιακές Σημειώσεις”, Ξάνθη, 2008.
- [12] Koehler E., Fowler D., “Proportioning SCC Based on Aggregate Characteristics”, Proceedings of the Fifth International RILEM Symposium, SCC, Ghent Belgium, pp 67-72, 2007.
- [13] Villalobos S., Lange D., Roesler J., “Evaluation, testing and comparison between crushed manufactured sand and natural sand”, TECHNICAL NOTE No 15, 2005, downloadable by www.ceat.uiuc.edu
- [14] ASTM C128, “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate”, downloadable by <http://global.ihs.com>
- [15] Ν.Σ. Αναγνωστόπουλος, “Μηχανικά Χαρακτηριστικά και Ανθεκτικότητα Αυτοσυμπυκνούμενων Σκυροδεμάτων (ΑΣΣ) Παρασκευασμένα με Ελληνικά Υλικά”, Διδακτορική Διατριβή, ΔΠΘ, Ξάνθη, 2009.
- [16] Bonavveti V., Donza H., Rahhal V., Irassar E., “Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement”, Cement and Concrete Research, vol 30, issue 5, pp 703-708, 2000.
- [17] Tsivilis S., Tsantilas J., Kakali G., Chaniotakis E., Sakellariou A., “The Permeability of Portland limestone cement concrete”, Cement and Concrete Research, vol 33, issue 9, 1465-1471, 2003.
- [18] Pera J, Husson S, Guihlot B. “Influence of finely ground limestone on cement hydration”. Cement Concr Comp, vol 21, pp 99–105, 1999.
- [19] Emdadi A., Ali Libre, Mehdipour I., Vahdani M., Dara S., “SCC Mixtures with Different Aggregate Gradation and Limestone Powder”, Proceedings of the Fifth International Rilem Symposium, SCC, Ghent Belgium, pp 155-162, 2007.
- [20] Gibbs J., Bartos P., Zhu W., Sonebi M., Tamimi A., “Properties of Hardened Concrete”, Final report of the European SCC project-Rational production and improved environment through using self compacting concrete, 1996-2000.
- [21] Nehdi M., Mindess S., Aitcin C., “Optimization of high strength limestone filler cement mortars”, Cement and Concrete Research, vol 26, issue 6, pp 883-893, 1996.
- [22] Nehdi M., Mindess S., Aitcin C., “Statistical Modeling of the micro-filler effect on the rheology of composite cement pastes”, Adv Cement Research vol 9, issue 33, 37-46, 1997.
- [23] Belaribi N., Pons G., Perrin B., “Delayed behavior of concrete: Influence of additions and aggregate characteristics in relation to moisture variations”, Cement and Concrete Research vol 27, issue 9, 1429-1438, 1997.
- [24] Billberg P., “Influence of superplasticizers and slag blended cement on the rheology of fine mortar part of concrete,” Nordic Concrete Research, 24, 2000, downloadable by www.tekna.no
- [25] Bache H.H., and Nepper-Christensen P., “Observations on Strength and Fracture in Lightweight and Ordinary Concrete. The Structure of Concrete and its Behaviour under Load”, Proceedings of International Conference, London, 93, 1965.
- [26] ASTM C 260, “Standard Specification for Air Entraining Admixtures for Concrete”, downloadable by <http://global.ihs.com>
- [27] Collepardi M., Valente M., “Recent Developments in Superplasticizers”, Special Publication, vol. 239, pp 1-14, 2006.

- [28] V. S. Ramachandran , “ CBD – 203. Superplasticizers in Concrete”, 1979, downloadable by irc.nrc-cnrc.gr.ca/pubs/cbd/cbd203_e.html
- [29] Μακρής Ε. Κωνσταντίνος, Σμαργιανάκη Ν. Διαμάντω στην διπλωματική εργασία «Η Επίδραση του Μετακαολίνη στις Ρεολογικές και Μηχανικές Ιδιότητες και στην Ανθεκτικότητα του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος», Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.
- [30] H. Okamura, “Self-compacting High-Performance Concrete”, Concrete International, vol 19, issue 7, pp 50– 54, 1997.
- [31] H. Okamura, M. Ouchi “Self-Compacting Concrete-development, present, and future”, RILEM, Proc. 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, pp. 3– 14, 1999.
- [32] H. Ter Welle, Beton central Twenthe, Hengelo, The Netherlands, Personal communications, 2003.
- [33] B. Bos, BAS, Venray, The Netherlands, Personal Communications, 2003.
- [34] F.M.L. Ernst, Onderzoek zelfverdichtend beton. MSc Thesis TUE/CCO/00-09, Eindhoven University of Technology, Faculteit Bouwkunde, Capaciteitsgroep Constructief Ontwerpen, Eindhoven, The Netherlands, 2000 (in Dutch).
- [35] N. Su, K.C. Hsu, H.W. Chai, “A simple mix design method for Self- Compacting Concrete”, Cement and Concrete Research, vol 31, pp 1799–1807, 2001.
- [36] N. Su, B. Miao, “A new method for mix design of medium strength concrete with low cement content”, Cement & Concrete Composites, vol 25, pp 215– 222, 2003.
- [37] Σίδερης Κ.Κ, Μιχαηλίδης Μ., Μανίτα Π (2008): «Σκυρόδεμα υψηλής ρευστότητας για την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων των σταθμών του μετρό Θεσσαλονίκης» Πρακτικά 1ου Ελληνικού Συνεδρίου Δομικών Υλικών, Αθήνα, 21-23 Μαΐου 2008.
- [38] Κ. Γ. Παπανικολάου, Σ. Λυκούδης, Αθ. Απέργης, Σ. Μαργέλη και Αφ. Τσαμπά: «Εφαρμογή Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος στην Ελληνική Προκατασκευή», 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου, 2006.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

3.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΣΣ.

Με τον όρο εργάσιμο ή εργασιμότητα χαρακτηρίζουμε την ευκολία με την οποία μπορούμε να μεταφέρουμε, διαστρώσουμε και συμπυκνώσουμε το σκυρόδεμα. Ο ορισμός αυτός δεν είναι απόλυτα ακριβής, γιατί η ευκολία αυτή κατεργασίας του νωπού σκυροδέματος εξαρτάται και από τα μέσα που διαθέτουμε. Το εργάσιμο θα πρέπει να το φανταστούμε ανεξάρτητα από τις εξωτερικές αυτές παραμέτρους. Είναι σωστότερο να το χαρακτηρίσουμε ως το έργο που απαιτείται για την υπερνίκηση των εσωτερικών τριβών έως ότου πετύχουμε πλήρη συμπύκνωση, και συνδέεται με άλλες ρεολογικές ιδιότητες όπως είναι οι εξής:

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

Οι εργαστηριακές δοκιμές μετρήσεως της εργασιμότητας νωπού συμβατικού σκυροδέματος είναι η **δοκιμή κάθισης** και η **δοκιμή εξάπλωσης**.

Κάθιση είναι ένα μέτρο εργασιμότητας που εκφράζεται με την απώλεια ύψους σε cm, που παρουσιάζει μία κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος όταν ανασυρθεί η κωνική μήτρα (κάνος καθίσεως) με την οποία μορφώθηκε (Εικόνα 3.1).

Εξάπλωση είναι ένα μέτρο εργασιμότητας που εκφράζεται με τη μέση διάμετρο σε cm που αποκτά μια κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος, η οποία μορφώθηκε πάνω στην τράπεζα εξάπλώσεως, έπειτα από έναν ορισμένο αριθμό αναπηδήσεων της τράπεζας (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.1 Δοκιμή κάθισης [1].



Εικόνα 3.2. Συσκευή δοκιμής εξάπλωσης [1].

Στην περίπτωση του ΑΣΣ, αυτές οι δοκιμές και τα κριτήρια δεν είναι ικανά να αξιολογήσουν τις αυξημένες ρεολογικές του ιδιότητες οι οποίες είναι και το ζητούμενο στη χρήση του. Έτσι λοιπόν είναι απαραίτητος ο εφοδιασμός με τις κατάλληλες συσκευές και την απαραίτητη τεχνογνωσία για κάποια παραγωγική μονάδα εάν επιθυμεί να παρασκευάσει ΑΣΣ.

Το ΑΣΣ είναι δυνατόν να σχεδιαστεί για ένα ευρύ φάσμα σκληρυνμένων ιδιοτήτων και εργασιμότητων ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις διαφόρων εφαρμογών. Η εργασιμότητα του νωπού ΑΣΣ αξιολογείται με βάση την ικανότητα πλήρωσης, την ικανότητα διέλευσης και την αντίσταση σε απόμειξη. Κάθε ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά θα πρέπει να αξιολογείται ξεχωριστά και με τρόπους που θα αναφερθούν παρακάτω. Όσον αφορά τις σκληρυνμένες ιδιότητες, αυτές θα πρέπει να αντιμετωπιστούν ακριβώς όπως στην περίπτωση ενός συμβατικού σκυροδέματος. Οι διαφοροποιήσεις όμως που αφορούν στη σύνθεση του ΑΣΣ σε σχέση με το συμβατικό σκυροδέμα για την επίτευξη αυξημένου βαθμού εργασιμότητας ενδέχεται να επηρεάσουν τις σκληρυνμένες ιδιότητες. Αυτές οι αλλαγές συνοψίζονται στην ένταξη μεγαλύτερου όγκου πάστας, αυξημένου ποσοστού άμμου/αδρανή υλικά και μικρότερο μέγιστο κόκκο χονδρόκοκκου αδρανούς. Αντίστοιχα ο σχεδιασμός του μείγματος για συγκεκριμένη κατηγορία αντοχής αυτόματα θέτει περιορισμούς που ενδέχεται να έχουν αντίκτυπο στην εργασιμότητα του μείγματος. Οι περιορισμοί αυτοί αφορούν στο ποσοστό

του τσιμέντου, τον όγκο της πάστας και τον λόγο νερού προς τσιμέντο. Οι μέθοδοι για την αξιολόγηση και επίτευξη της επιθυμητής εργασιμότητας αποτελούν το θέμα και παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο της εργασίας.

3.2 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΡΩΣΗΣ (FILLING ABILITY).

Για την επίτευξη ικανοποιητικής ικανότητας πλήρωσης θα πρέπει τα αδρανή που θα χρησιμοποιηθούν να είναι βελτιωμένου σχήματος και γωνιότητας έτσι ώστε οι αναπτυσσόμενες τριβές μεταξύ τους να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες. Επίσης η ένταξη υλικών λεπτότερης κοκκομετρίας οδηγεί σε μείωση της τραχύτητας ενώ τα χονδρόκοκκα υλικά προκαλούν μείωση του ιξώδους. Όσον αφορά την πάστα συτή θα πρέπει να είναι επαρκής ώστε να γεμίζει τα κενά μεταξύ των αδρανών μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις αναπτυσσόμενες τριβές. Τέλος η σύνθεση του μείγματος θα πρέπει να προβλέπει επίπεδα ιξώδους που διευκολύνουν την ροή αλλά ταυτόχρονα εγγυώνται την σταθερότητά του [2].

3.2.1 Δοκιμή Κώνου Εξάπλωσης Χρόνου t_{50} (Slump-Flow).

Η δοκιμή του χρόνου εξάπλωσης και του χρόνου t_{50} είναι μία δοκιμή με την οποία αξιολογείται ο ρυθμός της ανεμπόδιστης ροής του ΑΣΣ. Βασίζεται στην δοκιμή του κώνου κάθισης που περιγράφεται στο EN 12350-2 (European Guidelines for SCC, 2003) [3]. Η διάμετρος του σχηματιζόμενου κύκλου αποτελεί μέτρο της ικανότητας πλήρωσης του ΑΣΣ. Για την δοκιμή εξάπλωσης t_{50} απαιτούνται δύο άτομα. Η δοκιμή αυτή είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη και δίνει καλή εκτίμηση της ικανότητας διέλευσης, επίσης δίνει κάποια ένδειξη για αντίσταση σε απόμειξη αλλά δεν δίνει ενδείξεις για τη διεισυσμότητα μεταξύ των διάκενων των οπλισμών. Η δοκιμή αυτή μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της σταθερότητας της ποιότητας μεταξύ των φορτίων [4]. Η τυπική διάταξη και η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής απεικονίζονται στο Σχήμα 3.1.

Για τη διεξαγωγή της δοκιμής απαιτούνται [4]:

- Καλούπι σχήματος κόλουρου κώνου που να ικανοποιεί το Πρότυπο EN 12350-2:1999 με διάμετρο μεγάλης βάσης 200 mm, διάμετρο μικρής βάσης 100 mm και ύψος 300 mm
- Τετραγωνική βάση από άκαμπτο μη απορροφητικό υλικό, πλευράς τουλάχιστον 800 mm, με ενδείξεις για την κεντρική θέση του κώνου κάθισης και ομόκεντρο κύκλο διαμέτρου 500 mm
- Μυστρί
- Σέσουλα
- Κανόνας
- Χρονόμετρο

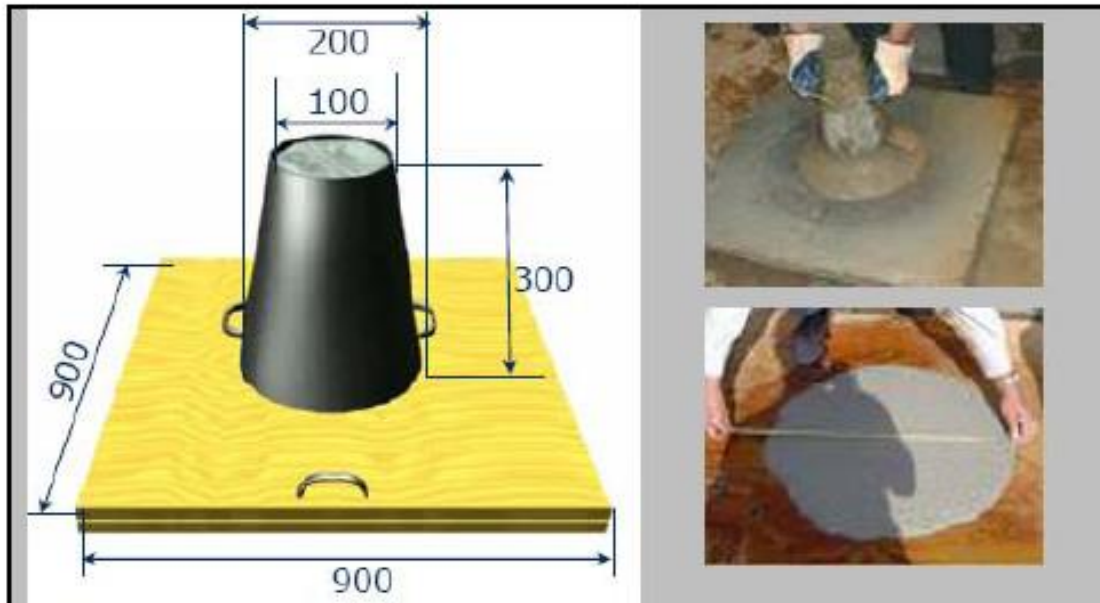
Για τη διαδικασία της δοκιμής ακολουθούνται τα εξής βήματα [4]:

- Απαιτούνται 6 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία
- Η βάση καθώς και το εσωτερικό του κώνου διαβρέχονται

- Τοποθετείται η βάση σε σταθερό οριζόντιο επίπεδο έδαφος και συγκρατείται σταθερά ο κώνος κάθισης στο κέντρο της βάσης
- Χωρίς συμπύκνωση πληρώνεται ο κώνος με τη σέσουλα και απομακρύνεται με το μυστρί το σκυρόδεμα που περισσεύει από την κορυφή του κώνου
- Απομακρύνονται τα υπολείμματα σκυροδέματος γύρω από τη βάση του κώνου
- Ανασηκώνεται ο κώνος και το σκυρόδεμα απλώνεται ελεύθερα
- Συγχρόνως χρονομετρείται και καταγράφεται ο χρόνος $T_{50\text{cm}}$ που απαιτείται για να φθάσει το σκυρόδεμα κύκλο διαμέτρου 50 cm
- Μετράται η τελική διάμετρος του κύκλου που σχημάτισε το σκυρόδεμα σε δύο κάθετες κατευθύνσεις
- Υπολογίζεται η μέση τιμή των δύο διαμέτρων που μετρήθηκαν σε mm, η οποία είναι η τιμή της εξάπλωσης
- Επισημαίνεται η ύπαρξη κονιάματος δίχως την ύπαρξη χονδρόκοκκων αδρανών στα όρια του απλωμένου σκυροδέματος

Οι αποδεκτές τιμές της εξάπλωσης ανάλογα την εφαρμογή κυμαίνονται από 65 έως 85cm [5]. Οι καταλληλότερες όμως τιμές εξάπλωσης για τις περισσότερες εφαρμογές κυμαίνονται από 68 έως 74 cm. Σημειώνεται ότι μεγαλύτερη τιμή εξάπλωσης από αυτήν του σχεδιασμού χωρίς τάσεις απόμειξης είναι ένδειξη σθεναρού μείγματος. Όσον αφορά τον χρόνο t_{50} αναφέρεται ότι οι μικρές τιμές ευνοούν την σταθερότητα του μείγματος και οι μεγαλύτερες την εντύπιση. Βαρύνουσα σημασία έχει και η οπτική παρατήρηση ΔΟΣ (Δείκτης Οπτικής Σταθερότητας) κατά την εκτέλεση της δοκιμής του κώνου εξάπλωσης, σχετικά με την οποία αναφέρεται ότι χρησιμοποιείται περισσότερο για να αξιολογήσει περαιτέρω περιπτώσεις όπου παρατηρείται εκτεταμένη απόμειξη [6]. Οι τιμές ΔΟΣ από 1 ή λιγότερο είναι αποδεκτές για τις περισσότερες εφαρμογές.

Η δυνατότητα του ΑΣΣ να εξαπλώνεται αποδεικνύει ότι η χαρακτηριστική τάση ροής είναι επαρκώς μικρή ούτως ώστε να επιτραπεί στο σκυρόδεμα η έναρξη της ροής υπό την επίδραση της μάζας του και μόνον. Η τελική διαμόρφωση του μεγέθους της εξάπλωσης ρυθμίζεται με την κατάλληλη προσθήκη ποσότητας ρευστοποιητή. Όπως αναφέρθηκε ήδη πολύ σημαντική διαδικασία αποτελεί η αξιολόγηση με την βοήθεια του ΔΟΣ, καθώς αποτελεί μια σύντομη αλλά ακριβή ένδειξη της σταθερότητας του μείγματος [6].



Σχήμα 3.1 Σχηματική απεικόνιση της διάταξης της δοκιμής του κώνου εξάπλωσης και εν συνεχεία τα στάδια εκτέλεσης της δοκιμής [7].

Σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες για παρασκευή ΑΣΣ υπάρχουν οι ακόλουθες κατηγορίες εξάπλωσης (SF) για συγκεκριμένο φάσμα εφαρμογών [3]:

(α) SF1 (550 ~ 650mm) ενδείκνυται για:

- Άοπλες ή ελαφρώς οπλισμένες κατασκευές από σκυρόδεμα οι οποίες σκυροδετούνται από ψηλά με ελεύθερη πτώση από το σημείο εκτόνωσης του υλικού
- Σκυροδέτηση με χρήση αντλίας εκτόξευσης
- Τμήματα τα οποία είναι αρκετά μικρά ώστε να καθιστούν δύσκολη την ανεμπόδιστη οριζόντια ροή

(β) SF2 (660 ~ 750mm) ενδείκνυται για:

- Σκυροδέτηση των περισσότερων εφαρμογών όπως χύτευση τοιχείων και υποστηλωμάτων

(γ) SF3 (760 ~ 850mm) ενδείκνυται για:

- Σκυροδέτηση κατακόρυφων υπεροπλισμένων δομικών στοιχείων με πολύπλοκη γεωμετρία. Αναφέρεται ότι το υλικό της κατηγορίας αναμένεται να καταλήξει σε βελτιωμένα χαρακτηριστικά εξωτερικής επιφάνειας και διάστρωσης από την κατηγορία SF2, ωστόσο είναι περισσότερο επισφαλές σε απομεικτικά φαινόμενα

3.2.2 Χοάνη σχήματος V (V-funnel).

Η δοκιμή V-funnel χρησιμοποιείται κυρίως για να εκτιμηθεί η ικανότητα πλήρωσης αλλά μπορεί και να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της αντίστασης σε απόμειξη [8]. Η χοάνη γεμίζεται περίπου με 12 lt νοπού ΑΣΣ και μετριέται ο χρόνος εκροής όλου του υλικού

από τη χοάνη. Έπειτα ξαναγεμίζεται η χοάνη και παραμένει για 5 min σε ηρεμία. Εάν το ΑΣΣ παρουσιάζει φαινόμενα απόμειξης τότε ο χρόνος εκροής θα αυξηθεί σημαντικά [4]. Η εκτέλεση της δοκιμής σχετίζεται με την ευκολία που θα παρουσιάσει το σκυρόδεμα ενώ θα διαπερνάει τη συσκευή του Σχήματος 3.2, με τους μικρότερους χρόνους να υποδεικνύουν μεγαλύτερη ρευστότητα [5]. Για την περίπτωση του ΑΣΣ οι καταλληλότεροι χρόνοι κυμαίνονται από 6 έως 12 min. Το ανάστροφο αυτό σχήμα της συσκευής εμποδίζει τη ροή και εάν παρουσιαστεί καθυστέρηση ή παρεμπόδιση της ροής είναι αυτό πολλές φορές ένδειξη απόμειξης. Επιπλέον η μη ομοιόμορφη ροή του υλικού που εξέρχεται τη συσκευή μπορεί να είναι ένδειξη χαμηλής αντίστασης σε απόμειξη. Σύμφωνα με τους Khayat et al. ο παρατεταμένος χρόνος εκροής μπορεί να οφείλεται σε υψηλό πλαστικό ιξώδες, σε εσωτερικές τριβές ή και σε παρεμπόδιση της ροής από χονδρόκοκκα αδρανή [9]. Σχετικά συμπεράσματα αναφέρουν και οι Emborg et al., οι οποίοι υποστηρίζουν πως τα αποτελέσματα της δοκιμής σχετίζονται με το ιξώδες του σκυροδέματος, την ικανότητα διέλευσης και την αντίσταση σε απόμειξη [10]. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως το αποτέλεσμα ενός αργού χρόνου στην δοκιμή αυτή μπορεί να παρερμηνευτεί, καθώς δεν σημαίνει πάντα ότι στο μίγμα που δοκιμάζεται παρουσιάζεται απόμειξη.

Για τη διεξαγωγή της δοκιμής απαιτούνται [4]:

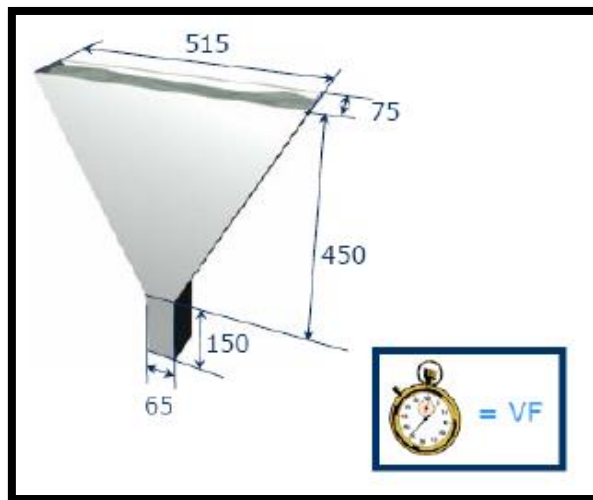
- Χοάνη σχήματος V
- Δοχείο χωρητικότητας μεγαλύτερης από 12 lt
- Μυστρί
- Σέσουλα
- Χρονόμετρο

Για τη διαδικασία δοκιμής για τη μέτρηση του χρόνου εκροής στα 10 sec ακολουθούνται τα εξής βήματα [4]:

- Απαιτούνται 12 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία
- Τοποθετείται η συσκευή σε σταθερό έδαφος
- Διαβρέχονται τα εσωτερικά τοιχώματα της χοάνης
- Η θυρίδα εκροής αφήνεται ανοιχτή για να αποστραγγισθεί όλη η περίσσεια νερού και στη συνέχεια κλείνεται και τοποθετείται το δοχείο από κάτω
- Η χοάνη πληρώνεται με ΑΣΣ χωρίς συμπύκνωση. Η τυχόν περίσσεια ΑΣΣ απομακρύνεται με ένα μυστρί
- Ανοίγεται η θυρίδα εκροής 10 sec μετά από το γέμισμα και αφήνεται να εκρεύσει το ΑΣΣ στο άδειο δοχείο με την βαρύτητα
- Η χρονομέτρηση αρχίζει με το άνοιγμα της θυρίδας εκροής και τελειώνει όταν φανεί φως μέσα από τη χοάνη κοιτάζοντάς την από επάνω και αυτός είναι ο χρόνος εκροής
- Η όλη δοκιμή πρέπει να εκτελεστεί σε 5 λεπτά

Για τη διαδικασία δοκιμής για τη μέτρηση του χρόνου εκροής στα 5 min ακολουθούνται τα εξής βήματα [4]:

- Τα εσωτερικά τοιχώματα της χοάνης ούτε διαβρέχονται ούτε καθαρίζονται
- Αμέσως μετά τη μέτρηση του χρόνου εκροής της προηγούμενης δοκιμής κλείνεται η θυρίδα εκροής και η χοάνη πληρώνεται ξανά με ΑΣΣ χωρίς συμπύκνωση και αφαιρείται από την επιφάνεια η περίσσεια υλικού με μυστρί
- Τοποθετείται το δοχείο κάτω από τη χοάνη
- Μετά το πέρας 5 min από το γέμισμα ανοίγεται η θυρίδα εκροής και αφήνεται το ΑΣΣ να εκρεύσει ελεύθερο με τη βαρύτητα
- Η χρονομέτρηση ξεκινά με το άνοιγμα της θυρίδας εκροής και τελειώνει όταν φανεί φως μέσα από τη χοάνη κοιτάζοντάς την από πάνω και αυτός είναι ο χρόνος εκροής στα 5 min



Σχήμα 3.2 Συσκευή δοκιμής V-funnel [7].

Για την αποσαφήνιση της σχέσης μεταξύ του χρόνου διέλευσης και της εκτίμησης του ιξώδους ορίζονται δύο κατηγορίες χρόνων διέλευσης και ξεκαθαρίζεται ότι ο εν λόγω χρόνος δεν παρέχει απευθείας μέτρηση του ιξώδους αλλά σχετίζεται με αυτό εφόσον περιγράφει το ρυθμό ροής του σκυροδέματος. Η πρώτη κατηγορία ($VF1 \leq 8\text{sec}$) περιγράφεται από ικανοποιητική ικανότητα πλήρωσης στοιχείων ακόμα και για περιπτώσεις πυκνού οπλισμού παρέχοντας ταυτόχρονα βέλτιστες εξωτερικές επιφάνειες. Ωστόσο τα υλικά που εμπίπτουν στην κατηγορία αυτή ενδέχεται να παρουσιάσουν ασταθή χαρακτηριστικά που σχετίζονται με φαινόμενα εξίδρωσης και απόμειξης. Η δεύτερη κατηγορία ($VF2 = 9\sim 25\text{sec}$) περιγράφει περισσότερο σταθερά μείγματα τα οποία μπορούν να παρουσιάσουν θιξοτροπική συμπεριφορά όταν αγγίσουν το άνω όριο που ορίζεται από την κατηγορία αυτή [3].

3.3 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ (PASSING ABILITY).

Η ικανότητα διέλευσης περιγράφει την ιδιότητα του νωπού σκυροδέματος να ρέει μέσω περιορισμένων χώρων και στενών ανοιγμάτων, όπως είναι για παράδειγμα η περίπτωση ενός υπεροπλισμένου δομικού στοιχείου, χωρίς να παρουσιαστούν φαινόμενα απόμειξης, υποβάθμισης της ομοιογένειάς του ή παρεμπόδιση της ροής [3]. Η ικανότητα αυτή επηρεάζεται κυρίως από τον όγκο της πάστας και τα χαρακτηριστικά των αδρανών. Για την

ενίσχυση της ιδιότητας αυτής θα συντελούσε η μείωση του μέγιστου κόκκου αδρανούς, η προτίμηση μίας λεπτότερης κοκκομετρίας και η βελτίωση του σχήματος και της γωνιότητας των αδρανών. Η αύξηση του όγκου πάστας συνεπάγεται μείωση του όγκου των αδρανών και κατ' επέκταση μείωση των αναπτυσσόμενων εσωτερικών τριβών. Την ικανότητα διέλευσης μπορούμε ακόμα να την βελτιώσουμε με μείωση της τάσης ροής ή του πλαστικού ιξώδους [2].

Όπως έχει αναφερθεί και για τις προηγούμενες περιπτώσεις έχουν θεσπιστεί κατηγορίες σύμφωνα με τις οποίες κατατάσσονται οι διάφορες εφαρμογές σε σχέση με την ικανότητα διέλευσης [3]. Κατ' αυτόν τον τρόπο περιγράφεται η πρώτη κατηγορία (PA1) η οποία ορίζει κενό μεταξύ των οπλισμών το οποίο κυμαίνεται από 80~100mm και ενδείκνυται για συνήθη οικοδομικά έργα και σκυροδέτηση κατακόρυφων δομικών στοιχείων. Η δεύτερη κατηγορία (PA2) αναφέρεται σε κατασκευές οι οποίες περιλαμβάνουν κενά μεταξύ οπλισμών που κυμαίνονται μεταξύ 60 και 80mm και αντιστοιχεί σε άλλες εφαρμογές από αφορούν τον πολιτικό μηχανικό [3]. Σημειώνεται ότι οι κατηγορίες που αναφέρθηκαν πρωτύτερα ορίζονται με βάση το μέγιστο και το ελάχιστο κενό που διαμορφώνεται μεταξύ των οπλισμών και όχι αυτό μεταξύ οπλισμού και ξυλοτύπου, καθώς θεωρείται ότι το ΑΣΣ “αγκαλιάζει” τον οπλισμό κατά την διαδικασία πλήρωσης χωρίς να απαιτείται η συνεχής ροή του υλικού στο συγκεκριμένο σημείο.

3.3.1 Συσκευή σχήματος L (L-Box).

Η δοκιμή L-Box μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την εκτίμηση της ικανότητας πλήρωσης όσο και για την ικανότητα διέλευσης [11,5,8]. Η εκτέλεση της δοκιμής αφορά την ροή του υλικού δια μέσω στενών ανοιγμάτων συμπεριλαμβανομένων και ανοιγμάτων πυκνού οπλισμού και άλλων εμποδίων, διατηρώντας την ομοιογένειά του και την αντίσταση σε φαινόμενα απόμειξης. Οι ράβδοι οπλισμού μπορεί να έχουν διάφορες διαμέτρους και να είναι τοποθετημένες σε διάφορα διαστήματα. Απόσταση μεταξύ των οπλισμών ίση με τρεις φορές το μέγιστο κόκκο αδρανούς θεωρείται κατάλληλη. Η δοκιμή αξιολογείται μετρώντας το λόγο παρεμπόδισης $H2/H1$ ο οποίος θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,8 και 1 (Σχήμα 3.3). Σε περίπτωση που το ΑΣΣ έρεε όπως το νερό, στην κατάσταση ηρεμίας θα ήταν οριζόντιο οπότε τα δυο ύψη θα ήταν ίσα. Άρα $H2=H1$, συνεπώς $H2/H1=1$. Άρα όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι ο λόγος έμφραξης $H2/H1$ τόσο καλύτερη η ικανότητα ροής του σκυροδέματος. Οι χρόνοι T_{20} και T_{40} δίνουν ένδειξη της ικανότητας ροής αλλά δεν υπάρχει συμφωνία για τις αποδεκτές τιμές [4].

Για τη διεξαγωγή της δοκιμής απαιτούνται [4]:

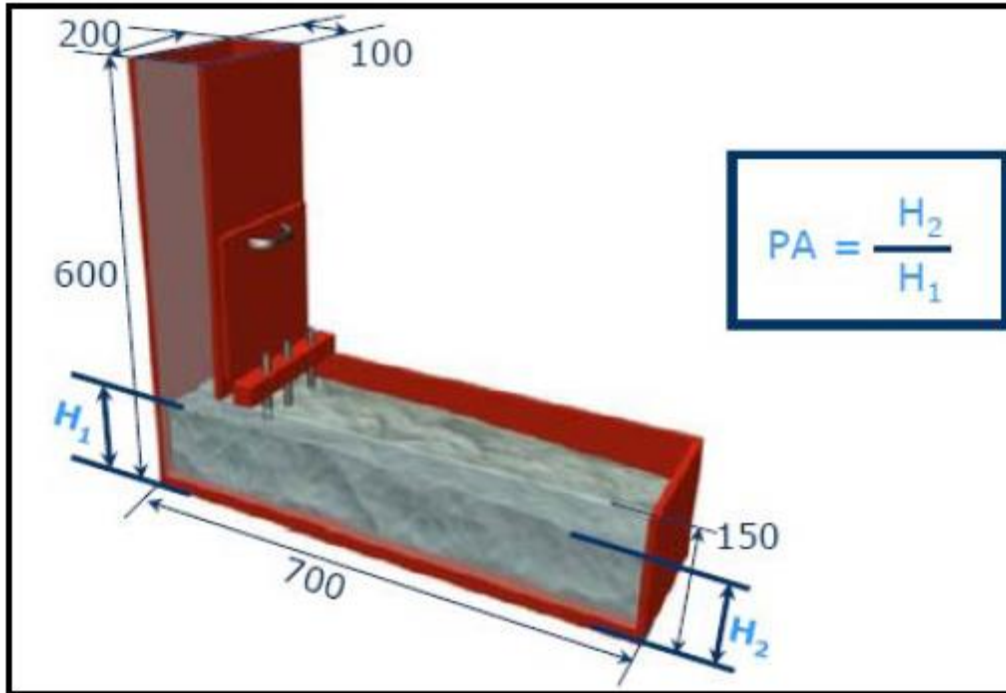
- Δοχείο σχήματος L με άκαμπτα μη απορροφητικά τοιχώματα
- Μυστρί
- Σέσουλα
- Χρονόμετρο

Για τη διαδικασία δοκιμής ακολουθούνται τα εξής βήματα [4]:

- Απαιτούνται περίπου 14 lt σκυροδέματος με συνήθη δειγματοληψία
- Τοποθετείται η συσκευή σε σταθερό έδαφος

- Κλείνεται η θυρίδα αφού εξασφαλιστεί ότι μπορεί να ανοίξει ελεύθερα
- Διαβρέχονται τα εσωτερικά τοιχώματα της συσκευής και απομακρύνεται τυχόν περίσσεια ποσότητα νερού
- Το κατακόρυφο τμήμα γεμίζεται πλήρως με ΑΣΣ χωρίς συμπύκνωση και τυχόν περίσσεια ποσότητα ΑΣΣ από την ελεύθερη επιφάνεια αφαιρείται με μυστρί
- Το υλικό αφήνεται σε ηρεμία για 1 min
- Η θυρίδα εκροής ανοίγεται και αφήνεται το ΑΣΣ να εκρεύσει ελεύθερα στο οριζόντιο τμήμα της συσκευής
- Η χρονομέτρηση αρχίζει με το άνοιγμα της θυρίδας και σημειώνονται οι χρόνοι για να φθάσει το υλικό σε αποστάσεις των 200mm και 400mm υπολογίζοντας την απόσταση από τις ράβδους στο οριζόντιο τμήμα της συσκευής
- Όταν σταματήσει η ροή μετρώνται τα ύψη H2 και H1
- Υπολογίζεται ο λόγος έμφραξης H2/H1
- Όλη η δοκιμή πρέπει να εκτελεστεί σε 5 min

Η αντίσταση στην απόμειξη του δείγματος μπορεί να εκτιμηθεί σε σχέση με το εάν τα χονδρόκοκκα αδρανή έχουν φθάσει στο τέλος του οριζόντιου τμήματος της συσκευής ή όχι. Εάν δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο και μόνον τα λεπτόκοκκα αδρανή έχουν συγκεντρωθεί στο τέλος της συσκευής, τότε υπάρχει βάσιμη ένδειξη απόμειξης. Η ικανότητα διέλευσης αξιολογείται από την διαφορά των υψών στην αρχή και στο τέλος της συσκευής. Ωστόσο μείγματα με έντονη απόμειξη εμφανίζουν ικανοποιητικούς λόγους με μεγάλο όγκο των χονδρόκοκκων υλικών τους να μην έχει περάσει τον οπλισμό. Συνεπώς η αξιολόγηση με βάση τα ύψη πρέπει να συνοδεύεται και από οπτική παρατήρηση [12]. Οι Khayat, Assaad, και Daczko (2004), υποστηρίζουν ότι ο συνδυασμός των δοκιμών L-box και κώνου εξάπλωσης, δίνει καλύτερα αποτελέσματα από τον αντίστοιχο συνδυασμό κώνου εξάπλωσης και J-Ring [13]. Τέλος οι Tanaka et al. (1993), υποστηρίζουν ότι η τάση για απόμειξη μπορεί να εκτιμηθεί και μετά την σκλήρυνση του υλικού μέσα στην συσκευή με την ακόλουθη κοπή των μειγμάτων και οπτική παρατήρησή τους [14].



Σχήμα 3.3 Συσκευή δοκιμής L-Box [7].

3.3.2 Δακτύλιος J (J-Ring).

Η συγκεκριμένη δοκιμή μπορεί να αξιολογηθεί είτε με την μέτρηση της διαφοράς του ύψους μέσα και έξω από τον δακτύλιο, ή από την διαφορά της εξάπλωσης όταν αυτή μετράται με ή χωρίς τον δακτύλιο (Εικόνες 3.3, 3.4 και Σχήμα 3.4). Η δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες εκτέλεσης που περιγράφονται στο ASTM C 1621 [2].

Συνιστάται να μετράται και να λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν η διαφορά των υψών διότι (α) η μέτρηση της εξάπλωσης με ή χωρίς τον δακτύλιο είναι συνήθως ίδια και (β) η διαφορά στην εξάπλωση εάν παρατηρείται ενδέχεται να μην ανταποκρίνεται ρεαλιστικά στον βαθμό της παρεμπόδισης της ροής (blocking effect). Ένα παράδειγμα που εμπίπτει στην τελευταία περίπτωση είναι αυτό ενός μείγματος που η λεπτότητά του εκτός δακτυλίου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτήν που παρατηρείται όταν η δοκιμή γίνεται χωρίς δακτύλιο, δηλαδή παρατηρείται διαφοροποίηση του υλικού λόγω παρεμπόδισης από το δακτύλιο, με το μέγεθος της εξάπλωσης να είναι το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις.

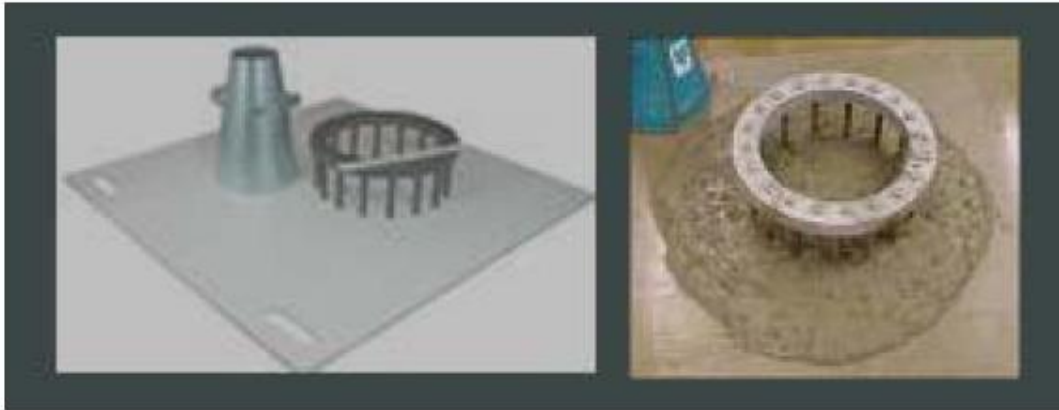
Όπως και στην περίπτωση της δοκιμής εξάπλωσης η δοκιμή δακτυλίου J έχει το μειονέκτημα ότι εκτελείται χωρίς περιορισμούς στο χώρο και δεν προσομοιώνει τον τρόπο με τον οποίο το ΑΣΣ διαστρώνεται και κινείται μέσα στους ξυλότυπους στην πράξη. Είναι όμως μία απλή και γρήγορη δοκιμή. Για την δοκιμή εξάπλωσης T_{50cm} απαιτούνται δύο άτομα. Είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος και δίνει καλή εκτίμηση της ικανότητας πλήρωσης. Δεν δίνει εκτίμηση για τη διελευσιμότητα του μείγματος μεταξύ των διάκενων αλλά δίνει κάποια ένδειξη για αντίσταση σε απόμειξη. Η δοκιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της σταθερότητας της ποιότητας μεταξύ των φορτίων.

Για τη διεξαγωγή της δοκιμής απαιτούνται [4]:

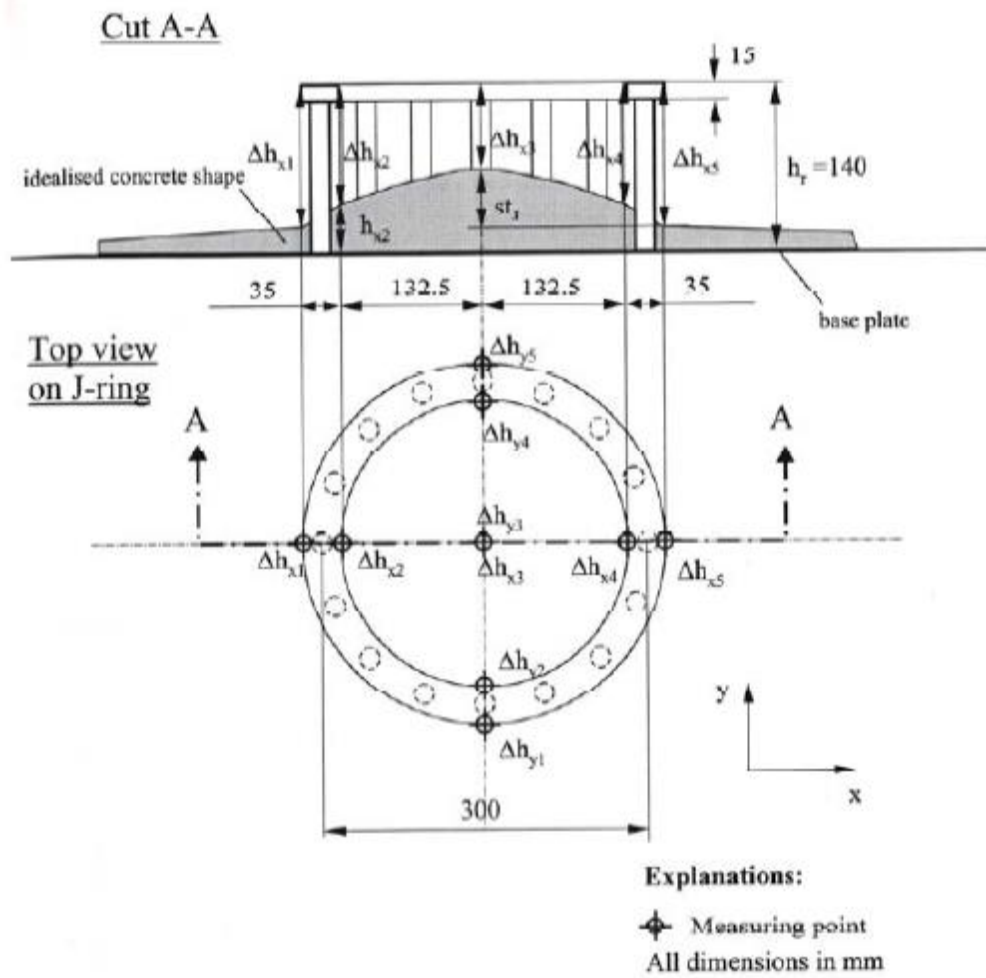
- Καλούπι σχήματος κόλουρου κώνου με διάμετρο μεγάλης βάσης 200mm, μικρής βάσης 100mm και ύψους 300mm χωρίς στηρίγματα ακινητοποίησης
- Τετραγωνική βάση από άκαμπτο μη απορροφητικό υλικό πλευράς τουλάχιστον 700mm, με ενδείξεις για τη κεντρική θέση του κώνου κάθισης και ομόκεντρου κύκλου διαμέτρου 500mm
- Μυστρί
- Σέσουλα
- Κανόνας
- Χρονόμετρο
- Δακτύλιος J από ράβδους οπλισμού διαμέτρου 10mm τοποθετημένων κατακόρυφα στη βάση, με διάμετρο δακτυλίου 300mm, ύψος 100mm και αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών ράβδων 46mm έως 50mm

Για τη διαδικασία δοκιμής ακολουθούνται τα εξής βήματα [4]:

- Απαιτούνται περίπου 6 lt ΑΣΣ με συνήθη δειγματοληψία
- Διαβρέχονται η βάση και το εσωτερικό του κώνου
- Η βάση τοποθετείται σε σταθερό οριζόντιο επίπεδο έδαφος
- Τοποθετείται ο δακτύλιος J στο κέντρο της βάσης, ο κώνος κάθισης μέσα στον δακτύλιο και συγκρατείται σταθερά στο κέντρο
- Πληρώνεται ο κώνος με ΑΣΣ με τη χρήση σέσουλας χωρίς συμπύκνωση. Το υλικό που περισσεύει από την κορυφή του κώνου αφαιρείται με το μυστρί
- Απομακρύνονται τα υπολείμματα σκυροδέματος γύρω από τη βάση του κώνου
- Ανασηκώνεται ο κώνος και αφήνεται το ΑΣΣ να απλωθεί ελεύθερα
- Μετράται η τελική διάμετρος της επιφάνειας του σκυροδέματος σε δύο κάθετες διευθύνσεις
- Υπολογίζεται η μέση τιμή των διαμέτρων που μετρήθηκαν σε mm
- Μετράται η διαφορά ύψους του σκυροδέματος που βρίσκεται ακριβώς μέσα από τις ράβδους και αυτού που βρίσκεται ακριβώς έξω από τις ράβδους
- Υπολογίζεται η μέση τιμή της διαφοράς ύψους σε τέσσερις θέσεις σε mm
- Επισημαίνεται η ύπαρξη κονιάματος ή τσιμεντόπαστας με απουσία χονδρόκοκκων αδρανών στα όρια του απλωμένου σκυροδέματος



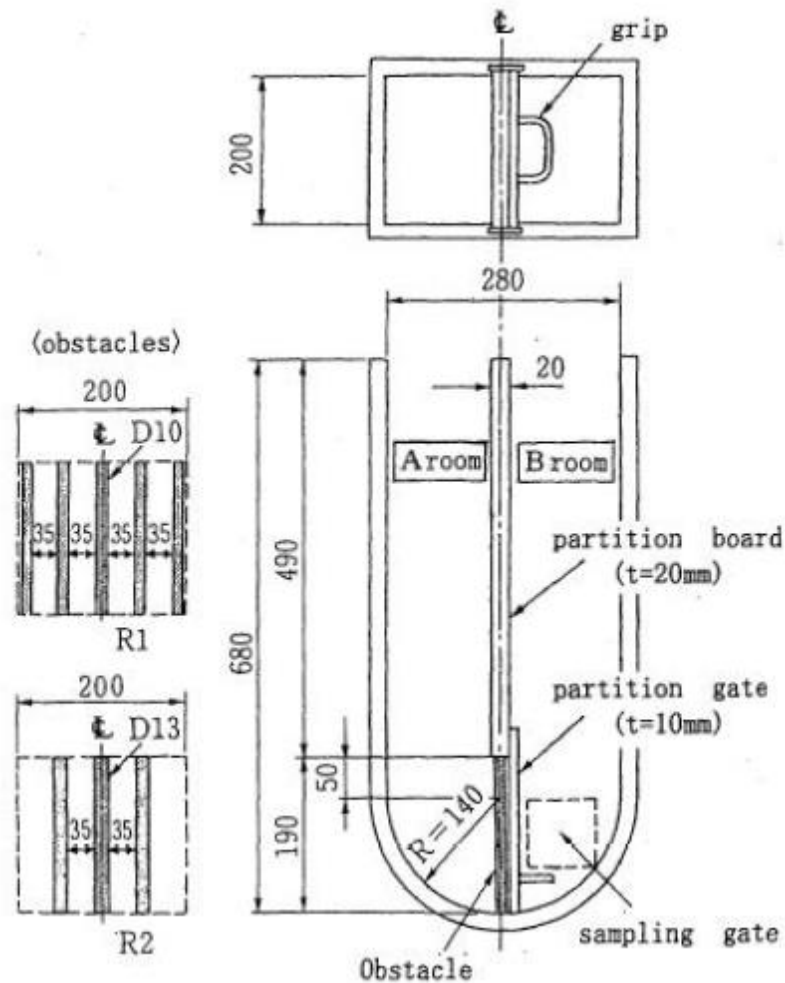
Εικόνες 3.3, 3.4 Συσκευή δοκιμής J-Ring [7].



Σχήμα 3.4 Διαστάσεις της συσκευής J-Ring και μετρούμενα σημεία της δοκιμής [15].

3.3.3 Δοκιμή δοχείου U (U-Box Test).

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται για να εκτιμηθεί η ικανότητα πλήρωσης του νοπού ΑΣΣ. Η δοκιμή διεξάγεται σε ένα δοχείο χωρισμένο σε δύο τμήματα μέσω μίας συρόμενης θυρίδας. Στο άνοιγμα της θυρίδας είναι τοποθετημένες 3 ράβδοι διαμέτρου $\Phi 13$ με διάκενα 50mm από κέντρο σε κέντρο, δημιουργώντας κενά καθαρού μήκους 30mm ανάμεσα από τους οπλισμούς (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5 Διαστάσεις και μετρούμενα σημεία της συσκευής για τη δοκιμή U-Box [16].

Για τη διεξαγωγή της δοκιμής απαιτούνται [16]:

- Συσκευή σχήματος U με τις κατάλληλες διαστάσεις από άκαμπτο μη απορροφητικό υλικό
- Μυστρί
- Σέσουλα
- Κανόνας
- Χρονόμετρο

Για την διεξαγωγή της δοκιμής ακολουθούνται τα εξής βήματα [16]:

- Απαιτούνται περίπου 20lt ΑΣΣ με συνήθη δειγματοληψία
- Η συσκευή τοποθετείται εντελώς οριζόντια στο έδαφος
- Λιπαίνονται τα τοιχώματα και αφαιρείται το επιπλέον νερό
- Τοποθετείται η θυρίδα διαχωρισμού και η θυρίδα δειγματοληψίας και κλείνονται
- Τοποθετείται το σκυρόδεμα στο αριστερό τμήμα της συσκευής με τη σέσουλα χωρίς συμπύκνωση και απομακρύνεται με τη σέσουλα τυχόν περίσσεια σκυροδέματος από την κορυφή της συσκευής
- Ένα λεπτό μετά το γέμισμα ανοίγεται η θυρίδα επιτρέποντας στο σκυρόδεμα να εισχωρήσει στο άλλο τμήμα της συσκευής
- Η χρονομέτρηση αρχίζει με το άνοιγμα της θυρίδας διαχωρισμού και σταματά όταν η ροή του σκυροδέματος σταματήσει
- Όταν σταματήσει η ροή μετρούνται τα προκύπτοντα ύψη και στους δύο θαλάμους της συσκευής, λαμβάνοντας υπόψη τις μέσες τιμές από τρεις μετρήσεις για κάθε ύψος, μία στη μέση και δύο στα άκρα του πλάτους κάθε θαλάμου
- Τέλος λαμβάνεται δείγμα από τη δεξιά πλευρά της συσκευής για να εκτιμηθεί η περιεκτικότητά του σε χονδρόκοκκα αδρανή, έτσι ώστε να διαπιστωθούν φαινόμενα απόμειξης

Εάν το σκυρόδεμα ρέει ελεύθερα ακριβώς όπως το νερό, τότε η υψομετρική διαφορά στους δύο θαλάμους θα πρέπει να ισούται με το μηδέν, κάτι το οποίο θα είναι το ιδανικότερο για τη ροή του σκυροδέματος και την ικανότητα διέλευσης.

3.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ (VISUAL STABILITY INDEX).

Ο έλεγχος του δείκτη οπτικής σταθερότητας (ΔΟΣ) περιλαμβάνει τον οπτικό έλεγχο της εξάπλωσης του ΑΣΣ που προκύπτει από την αντίστοιχη μέθοδο και στοχεύει στον προσδιορισμό της σταθερότητας των μειγμάτων ΑΣΣ (αντίσταση στη δυναμική απόμειξη λόγω ροής). Η εικόνα του εξαπλωμένου ΑΣΣ χρησιμεύει στην αξιολόγηση της σχετικής σταθερότητας των διαφορετικών μειγμάτων της ίδιας παρτίδας και στην εκτίμηση της πιθανότητας απόμειξής τους, η οποία όμως αξίζει να σημειωθεί ότι είναι χρονικά εξαρτώμενη (ομοιογενής εικόνα του μείγματος δεν εξασφαλίζει και την διατήρηση της συνοχής του) [17]. Ένας δεύτερος τρόπος εκτίμησης της σταθερότητας του δείγματος και της αντίστασης σε απόμειξη είναι ο οπτικός έλεγχος των θραυσμένων κυλινδρικών δοκιμίων σε έμμεσο εφελκυσμό (Brazilian Test).

Μέσω οπτικού ελέγχου της εξαπλωμένης ποσότητας μείγματος στη δοκιμή εξάπλωσης αποδίδεται ένας ΔΟΣ από 0 έως 3 που χαρακτηρίζει τη σταθερότητά του, όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1 Βαθμονόμηση δείκτη οπτικής σταθερότητας νωπού ΑΣΣ [17].

Τιμή δείκτη	Επεξήγηση	Κριτήριο
0	Υψηλή σταθερότητα	Απουσία ενδείξεων απόμειξης στην εξάπλωση
1	Σταθερότητα	Απουσία στεφάνης κονιάματος ή σωρού αδρανών στην εξάπλωση
2	Αστάθεια	Μικρή στεφάνη κονιάματος <10mm ή/και σωρού αδρανών στην εξάπλωση
3	Υψηλή Αστάθεια	Προφανής απόμειξη από εκτεταμένη στεφάνη κονιάματος >10mm ή/και μεγάλης συσσώρευσης αδρανών στο κέντρο της εξάπλωσης

Η αποτίμηση του ΔΟΣ 0 ή 1 αποτελεί μία ένδειξη ότι το ΑΣΣ είναι σταθερό και αναμένεται να είναι κατάλληλο για την επιθυμητή χρήση. Τιμές του ΔΟΣ 2 ή 3 υποδηλώνουν πιθανή απόμειξη και απαιτούν τη μεταβολή των επιμέρους συστατικών του μείγματος ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη σταθερότητα. Λόγω του ότι ο ΔΟΣ προσδιορίζεται οπτικά, θεωρείται υποκειμενικός και ενώ αποτελεί πολύ καλό εργαλείο εκτίμησης της ποιότητας κατά την παραγωγή ΑΣΣ δεν θα πρέπει να αποτελεί κριτήριο αποδοχής ή απόρριψης ενός δεδομένου μείγματος. Ο έλεγχος του ΔΟΣ εφαρμόζεται κυρίως σε μείγματα με τάση δακρύσματος, καθώς στα υπόλοιπα δεν βοηθάει στην αναγνώριση της τάσης τους για απόμειξη.

3.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΑΣΣ.

Από τη διεξαγωγή ελέγχων που αφορούν την εκτίμηση των ιδιοτήτων νωπού ΑΣΣ με εμπειρικές μεθόδους (δοκιμές εξάπλωσης, δακτυλίου J, χοάνης V, δοχείων L και U) εξάγονται συμπεράσματα ως προς την επιρροή διαφόρων παραμέτρων στα βασικά μετρούμενα μεγέθη [18]. Τα συμπεράσματα αυτά συνοψίζονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 Επιρροή βασικών παραμέτρων στα μετρούμενα μεγέθη κατά τη διεξαγωγή των εμπειρικών ή προτυποποιημένων ελέγχων των νωπών ιδιοτήτων των μειγμάτων [18].

Μετρούμενο Μέγεθος	Μεταβολές Βασικών Παραμέτρων			
	Αύξηση Λόγου N/Λ	Αύξηση Λόγου N/T	Αύξηση Κάθισης S	Αύξηση Θλιπτικής Αντοχής fcc
Χρόνος εξάπλωσης Tf	-	-	+	+
Χρόνος εξάπλωσης T ₅₀	-	-	-	+
Διαφορά Χρόνων Tf-T ₅₀	-	-	+	+

Εξάπλωση SF	0	+	+	-
Εξάπλωση SF _j	0	+	+	+
Υψομετρική διαφορά ράβδων Δh _j	-	-	-	-
Χρόνος Εκροής T _{V,A}	-	-	-	+
Χρόνος Εκροής T _{B,A}	-	+	-	+
Λόγος λ _{H,L} =H _{2,L} /H _{1,L}	-	+	-	-
Χρόνος εξάπλωσης TL,20	+	+	-	+
Χρόνος εξάπλωσης TL,40	+	+	-	+
Υψομετρική διαφορά ΔHU	+	+	+	-

*[+]αύξηση, [-]μείωση, [0]καμία μεταβολή

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα διαφοροποιείται από τα αντίστοιχα συμβατικά σκυροδέματα λόγω των ιδιοτήτων του σε νωπή κατάσταση. Τα βασικά χαρακτηριστικά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η ικανότητα πλήρωσης (filling ability), η αντίσταση στο διαχωρισμό των υλικών-απόμειξη (segregation resistance) καθώς και η ικανότητα εισχώρησης μεταξύ των οπλισμών (passing ability). Λόγω της απουσίας διεθνώς αναγνωρισμένων κανονισμών για το ΑΣΣ δεν υπάρχουν θεσμοθετημένες μέθοδοι ελέγχου των παραπάνω ιδιοτήτων. Είναι μάλιστα πολλές φορές συνηθισμένο μία από τις ανωτέρω ιδιότητες να μπορεί να μετρηθεί με περισσότερες από μία διαφορετικές συσκευές και μεθοδολογίες, γεγονός που επιφέρει σύγχυση. Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι εναλλακτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των βασικών ιδιοτήτων του ΑΣΣ καθώς και οι οριακές τιμές αποδοχής.

Πίνακας 3.3 Κριτήρια αποδοχής των ιδιοτήτων νωπού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος [19].

Ιδιότητα	Δοκιμή	Μονάδες Μέτρησης	Εύρος Μονάδων	
			Ελάχιστο	Μέγιστο
Ικανότητα Πλήρωσης (Filling Ability)	Μέτρο Εξάπλωσης	mm	550	850
	Χρόνος T ₅₀ στο μέτρο εξάπλωσης	sec	2	5
	Συσκευή V-funnel	sec	6	27
	Orimet	sec	0	5
Ικανότητα Διέλευσης (Passing Ability)	Συσκευή L-Box	(h2/h1)	0.75	1.0
	Συσκευή U-Box	(h2-h1)mm	0	30
	Συσκευή Fill-Box	%	90	100
	Συσκευή J-Ring	mm	0	10
Αντίσταση στο Διαχωρισμό (AggregationResistance)	Συσκευή GTM Test	%	0	15
	Χρόνος T _{5min} στη συσκευή V-funnel	sec	0	+3
	Δοκιμή κόσκινου	%	<20	>20

Άλλες ιδιότητες όπως η αντίσταση σε απόπλυση (resistance to washout) και η δυνατότητα επίτευξης απαλλαγμένων από ατέλειες ελεύθερων επιφανειών (defect free surfaces), μπορούν να αποτελέσουν ειδικές απαιτήσεις για συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι απαιτήσεις για βελτιωμένη ικανότητα πλήρωσης, διέλευσης και αντίσταση σε διαχωρισμό υπαγορεύονται από την εκάστοτε εφαρμογή και εξαρτώνται από τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ. Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο διάφορες παράμετροι επηρεάζουν τα ρεολογικά αυτά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ.

Πίνακας 3.4 Παράμετροι που επηρεάζουν την ικανότητα πλήρωσης, την ικανότητα διέλευσης και την αντίσταση σε διαχωρισμό [20].

Παράμετροι σχετικές με:		Επιρροή στην:		
		Ικανότητα πλήρωσης	Ικανότητα διέλευσης	Σταθερότητα
την εφαρμογή	Πυκνότητα οπλισμού	Υψηλές τιμές δυσχεραίνουν τη ροή	Υψηλές τιμές είναι πιθανό να προκαλέσουν έμφραξη των αδρανών μεταξύ των οπλισμών	Υψηλές τιμές επισείου κίνδυνο διαχωρισμού
	Περιπλοκότητα σκυροδετούμενου στοιχείου	Περίπλοκα σχήματα είναι πιο δύσκολο να πληρωθούν	-	-
	Μέθοδος σκυροδέτησης	Αργές και διακοπώμενες σκυροδετήσεις μειώνουν την απαιτούμενη δυναμική ενέργεια του ρέοντος ΑΣΣ	-	Υψηλή δυναμική ενέργεια κατά τη σκυροδέτηση δύναται να προκαλέσει διαχωρισμό του ΑΣΣ
	Πάχος στοιχείου	Στενές διατομές δυσχεραίνουν τη ροή	-	-
	Μήκος στοιχείου	Στοιχεία μεγάλου μήκους είναι πιο δύσκολο να πληρωθούν	-	-
	Ύψος στοιχείου	-	-	Ο κίνδυνος διαχωρισμού και εξίδρωσης είναι ανάλογος με το ύψος του στοιχείου
	Στενώσεις τύπων	-	Είναι πιθανό να προκαλέσουν έμφραξη των αδρανών στις περιοχές αυτές	-
τα χαρακτηριστικά του ΑΣΣ	Ρευστότητα (ικανότητα ανεμπόδιστης ροής)	Υψηλές τιμές αυξάνουν την ικανότητα πλήρωσης	Χαμηλές τιμές προσδίδουν πτωχά χαρακτηριστικά παραμορφωσιμότητας στο ΑΣΣ, ενώ υψηλές τιμές ενδέχεται να προκαλέσουν αστάθεια και διαχωρισμό	Αύξηση της ρευστότητας**, αυξάνει τον κίνδυνο διαχωρισμού
	Ιξώδες*	Πολύ υψηλές τιμές περιορίζουν την ικανότητα πλήρωσης	Η ρύθμιση του ιξώδους πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το επίπεδο ρευστότητας	Αύξηση του ιξώδους, αυξάνει τη σταθερότητα
	Μέγεθος χονδρόκοκκων αδρανών	-	Αδρανή μεγάλου μεγέθους αυξάνουν τον κίνδυνο έμφραξης	-
	Περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή	-	Υψηλές τιμές αυξάνουν την τάση για έμφραξη αδρανών	-

* ένα μέτρο της αντίστασης ενός υλικού που βρίσκεται σε πλαστική φάση σε δεδομένη ροή.

** διατηρώντας όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του ΑΣΣ αμετάβλητα.

Το ΑΣΣ είναι ένα ειδικό σκυρόδεμα και ως εκ τούτου οι νωπές ιδιότητές του θα πρέπει να σχεδιάζονται με βάση τις απαιτήσεις του κάθε έργου. Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα αποδεκτά αποτελέσματα των δοκιμών για κάθε είδος χρήσης.

Πίνακας 3.5 Ιδιότητες νωπού ΑΣΣ για διαφορετικές εφαρμογές [21].

Viscosity				Segregation resistance/ passing ability
VS 2 VF 2				Specify passing ability for SF1& 2
VS 1 or 2 VF 1 or 2 or a target value.				Specify SR for SF 3
VS 1 VF 1	Specify SR for SF 2 & 3			
	SF 1	SF 2	SF 3	
	Slump-flow			

Βιβλιογραφικές Αναφορές 3^{ου} Κεφαλαίου

- [1] Παναγιώτης Α. Μιχάλης, Σωτήρης Χ. Δημητρίου: «Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος», Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τομέας Τεχνικών Έργων, Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2007.
- [2] Koehler E., Fowler D., “ICAR Mixture Proportioning Procedure for Self Compacting Concrete”, ICAR Project: Aggregates in SCC, International Center for Aggregates Research University of Texas at Austin, downloadable by www.icar.utexas.edu
- [3] EFNARC., “The European Guidelines for Self-Compacting Concrete”, Specification, Production and Use, May 2005, downloadable by www.efnarc.org
- [4] «Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές» ΠΕΤΕΠ 01-01-06-00, 06 Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, Έκδοση 1.0-Μάιος 2006.
- [5] EFNARC., “Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete”, February 2002, downloadable by www.efnarc.org
- [6] Interim Guidelines for the Use of Self-Consolidating Concrete in Precast/Prestressed Concrete Institute Member Plants, PCI, TR-6-03, 2003, downloadable by www.pci.org
- [7] Άγγελος Σ. Γεωργιάδης-Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc «Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού, Παραγωγής και Χρήσης Μειγμάτων Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος σε Βιομηχανική Κλίμακα στην Ελλάδα», Διδακτορική Διατριβή, Ξάνθη, Νοέμβριος 2010.

- [8] Bartos P.J.M., Sonebi M., Tamimi A.K. (Eds.). “Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests” Cachan Cedex, France: RILEM 2002, downloadable by www.rilem.net
- [9] Khayat K.H., Ghezal A., and Hadriche M.S., “Utility of statistical models in proportioning self consolidating concrete,” Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, pp 345-359, 1999.
- [10] Emborg M., Gurnewald S., Hedin C., and Carlswald J., “Test Methods for Filling Ability of SCC ”3rd International Symposium on Self-Compacting Concrete” Reykjavik, Iceland, pp 323-334, 2003.
- [11] Kuroiwa S., Matsuoka Y., Hayakawa M., Shindoh T., “Application of Super Workable Concrete to Construction of a 20-Story Building,” In SP-140: High Performance Concrete in Severe Environments, P. Zia, Ed., Detroit, MI: American Concrete Institute, pp 147-161, 1983.
- [12] Mahoutian M., Yadegaran I., Ali Libre N., Shekarchi M., “Comparison between different test methods used for evaluation of self compacting concrete’s stability”, Proceedings of the Fifth International RILEM Symposium, SCC, Ghent Belgium, pp 103-109, 2007.
- [13] Khayat K.H., Assaad J., and Daczko J., “Comparison of Field-Oriented Test Methods to Assess Dynamic Stability of Self-Consolidating Concrete” ACI Materials Journal, vol 101, issue 2, 168-176,2004.
- [14] Tanaka K., Sato K., Watanabe S., Arima I., and Suenaga K., “Development and Utilization of High Performance Concrete for the Construction of the Akashi Kaikyo Bridge” In SP-140: HighPerformance Concrete in Severe Environments, P. Zia, Ed. Detroit, MI: American Concrete Institute, pp 147-161, 1993.
- [15] Miao Liu ”Wider Application of Additions in Self-compacting Concrete”, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering University College London, July 2009.
- [16] “Standard Test Methods for Self-Compacting Concrete” downloadable by <http://www.jsce.or.jp/>
- [17] Μακρής Ε. Κωνσταντίνος, Σμαργιανάκη Ν. Διαμάντω στην διπλωματική εργασία “Η Επίδραση του Μετακαολίνη στις Ρεολογικές και Μηχανικές Ιδιότητες και στην Ανθεκτικότητα του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος” στο Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.
- [18] Κωνσταντίνος Γ. Τρέζος, Ιωάννης Π. Σφήκας «Διερεύνηση Ιδιοτήτων Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος», 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, 2008.
- [19] BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO (2005): European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use, May 2005, downloadable from www.efnarc.org

- [20] Τεχνική Οδηγία 5, «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα», από Επιτροπή Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος, Έκδοση 1^η, Μάρτιος 2014.
- [21] Walraven J : “Structural applications of self compacting concrete”, In Proceedings of the 3rd International Symposium on SCC, Reykjavic, Iceland (2003), RILEM publications, Cachan, France, pp. 15-22.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

4.1 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΣΣ.

Το ΑΣΣ εισήχθη στον χώρο της τεχνολογίας του σκυροδέματος στις αρχές της δεκαετίας του 90 και θεωρήθηκε ιδιαίτερος πρωτοποριακό κυρίως λόγω των νωπών του ιδιοτήτων που μονοπώλησαν το ενδιαφέρον και αποτελούν κύριο στοιχείο έρευνας ακόμα και στις μέρες μας. Ωστόσο οι σκληρυνμένες ιδιότητες είναι αυτές που απασχολούν τους μηχανικούς στην πράξη, και επομένως κρίνεται σκόπιμο να πραγματοποιηθεί στην παρούσα εργασία μια εκτενής παρουσίαση των παραμέτρων τους. Όπως και στην περίπτωση του συμβατικού σκυροδέματος, έτσι και το ΑΣΣ είναι δυνατόν να σχεδιαστεί με διαφορετικούς τρόπους ώστε να παρουσιάζει μια ευρεία γκάμα σκληρυνμένων ιδιοτήτων.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν δύο συνθέσεις συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος αντίστοιχα, τα οποία θα συγκριθούν ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες, για να διαπιστωθεί εάν το ΑΣΣ παρουσιάζει αυξημένες αντοχές σε εφελκυσμό διάρρηξης και θλίψη [1]. Στις συνθέσεις αυτές:

- Το **τσιμέντο** που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου I Portland, κατάλληλο για όλες τις χρήσεις, με σχετική πυκνότητα 3,15
- Η **άμμος** ήταν καθαρή και είχε μέγιστο μέγεθος κόκκου 1 mm. Το ποσοστό αποροφητικότητας της άμμου ήταν 1,12%.
- Τα **χονδρόκοκκα αδρανή** προήλθαν από ποτάμι, και είχαν μέγιστη διάμετρο 19,5 mm. Τα ποσοστά αποροφητικότητας ήταν 1,9% και η κοκκομετρική τους διαβάθμιση φαίνεται παρακάτω στον Πίνακα 4.1

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης για τα σκύρα της δοκιμαστικής σύνθεσης [1].

Μέγεθος Κοσκίνου	Συγκρατούμενο Βάρος (Kg)	Συγκρατούμενο Ποσοστό (%)	Διερχόμενο Ποσοστό (%)
3/4" (19mm)	0,635	6,4	93,6
1/2" (12.5mm)	4,717	47,3	46,3
3/8" (9.5mm)	1,043	10,45	35,8
No. 4 (4.75mm)	2,812	28,2	7,6
No. 8 (2.36mm)	0,757	7,3	0,1
Pan	0,013	0,1	0
	9,979		

4.1.1 Σύνθεση ΑΣΣ της δοκιμής.

Η σύνθεση του ΑΣΣ βασίστηκε σε προηγούμενες μελέτες που έχουν γίνει σε Ιαπωνία, Η.Π.Α. και Καναδά. Όλες οι συνθέσεις παρασκευάστηκαν ανά 45 kg περίπου η καθεμία.

Το τσιμέντο αντικαταστάθηκε κατά 25% από σκωρία υψικαμίνου, 15% από ιπτάμενη τέφρα και 5% από πυριτική παιπάλη. Οι λόγοι νερού προς τσιμέντο ποικίλουν από 0,3 έως 0,6, καθώς οι ποσότητες των υπόλοιπων συστατικών διατηρήθηκαν ίδιες (Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.2 Συνθέσεις ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκαν για τις συγκριτικές δοκιμές των μηχανικών ιδιοτήτων [1].

Λόγος νερού/τσιμέντο	0,3	0,4	0,45	0,5	0,6
Νερό (kg)	2,99	3,99	4,49	4,98	5,98
Τσιμέντο (kg)	5,48	5,48	5,48	5,48	5,48
Σκωρία (kg)	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49
Ιπτάμενη Τέφρα (kg)	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
Πυριτική Παιπάλη (kg)	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Λεπτόκοκκα Αδρανή (kg)	11,79	11,79	11,79	11,79	11,79
Χονδρόκοκκα Αδρανή (kg)	21,04	21,04	21,04	21,04	21,04
HRWR (ml)	340	100	80	50	20
VMA (ml)	0	15	25	50	100

4.1.2 Σύνθεση συμβατικού σκυροδέματος της δοκιμής.

Το συμβατικό σκυρόδεμα παρασκευάστηκε σε ποσότητες 28kg για κάθε σύνθεση περίπου. Τα χαρακτηριστικά των συνθέσεων φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Συνθέσεις συμβατικού σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκαν για τις συγκριτικές δοκιμές των μηχανικών ιδιοτήτων [1].

Λόγος Νερού/Τσιμέντο	0,3	0,4	0,45	0,5	0,6
Νερό (kg)	1,86	2,49	2,81	3,08	3,72
Τσιμέντο (kg)	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
Λεπτόκοκκα Αδρανή (kg)	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
Χονδρόκοκκα Αδρανή (kg)	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8

4.1.3 Ρεολογικοί έλεγχοι ΑΣΣ.

Στα παραπάνω μείγματα ΑΣΣ εφαρμόστηκε η δοκιμή U-Box για να διαπιστωθεί η αυτοσυμπυκνωσιμότητα του σκυροδέματος. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την ιδιότητα αυτή καθώς με το άνοιγμα της θυρίδας το μείγμα ανασηκώθηκε στον δεύτερο θάλαμο σε ύψος πάνω από το 85% από το μέγιστο που θα μπορούσε να φτάσει, το οποίο ήταν 340 mm.

Η συνοχή και η εργασιμότητα εκτιμήθηκαν με τη δοκιμή Κώνου Εξάπλωσης Χρόνου T_{50} (Slump-Flow). Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω στον Πίνακα 4.4 και

επιβεβαιώνουν τις ιδιότητες του ΑΣΣ, κάτι αναμενόμενο αφού οι ποσότητες των χημικών προσμίκτων σταδιακά αυξάνονταν κατά τη μείξη έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή εργασιμότητα και συνοχή.

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα δοκιμών Κώνου Εξάπλωσης Χρόνου T_{50} (Slump-Flow) και U-Box για τις δοκιμαστικές συνθέσεις ΑΣΣ [1].

Λόγος Νερού/Τσιμέντο	0,3	0,4	0,45	0,5	0,6
Ύψος U-Box (mm)	300	305	320	320	330
Διάμετρος Εξάπλωσης (mm)	655	670	685	700	740

4.1.4 Εφελκυστική αντοχή διάρρηξης

Εξαιτίας των ορυκτών και χημικών προσμίκτων, η εφελκυστική αντοχή διάρρηξης του ΑΣΣ προκύπτει αυξημένη σε σύγκριση με αυτήν του συμβατικού σκυροδέματος όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.5, ο οποίος παρουσιάζει τις αντίστοιχες αντοχές για συμβατικό σκυρόδεμα και ΑΣΣ 28 ημέρες μετά τη σκυροδέτηση κυλινδρικών δοκιμίων. Επιπλέον στον Πίνακα 4.6 φαίνονται οι εφελκυστικές αντοχές διάρρηξης 7 ημέρες μετά τη σκυροδέτηση των κυλινδρικών δοκιμίων. Αντιπαραβάλλοντας τις τιμές αντοχών των δύο πινάκων (Πίνακες 4.5 και 4.6) αλλά και από τα αποτελέσματα του Σχήματος 4.1 εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι αντοχές του ΑΣΣ στις δοκιμές των 7 ημερών συγκρίνονται με αυτές του συμβατικού των 28 ημερών. Αυτό είναι εφικτό εξαιτίας της προσθήκης πυριτικής παιπάλης και ιπτάμενης τέφρας που περιέχονται στη σύνθεση του ΑΣΣ, συστατικά τα οποία συνήθως τείνουν να αυξάνουν τις πρώιμες αντοχές του σκυροδέματος.

Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος με βάση τη δοκιμή διάρρηξης έγινε χρήση του γνωστού τύπου:

$$\sigma_t = 2P / (\pi \cdot l \cdot d) \quad (4.1)$$

όπου σ_t η ζητούμενη εφελκυστική αντοχή (MPa), P το μέγιστο εφαρμοσμένο φορτίο από τη συσκευή δοκιμής (kN), l το μήκος των κυλινδρικών δοκιμίων (mm) και d η διάμετρος κυλινδρικών δοκιμίων (mm).

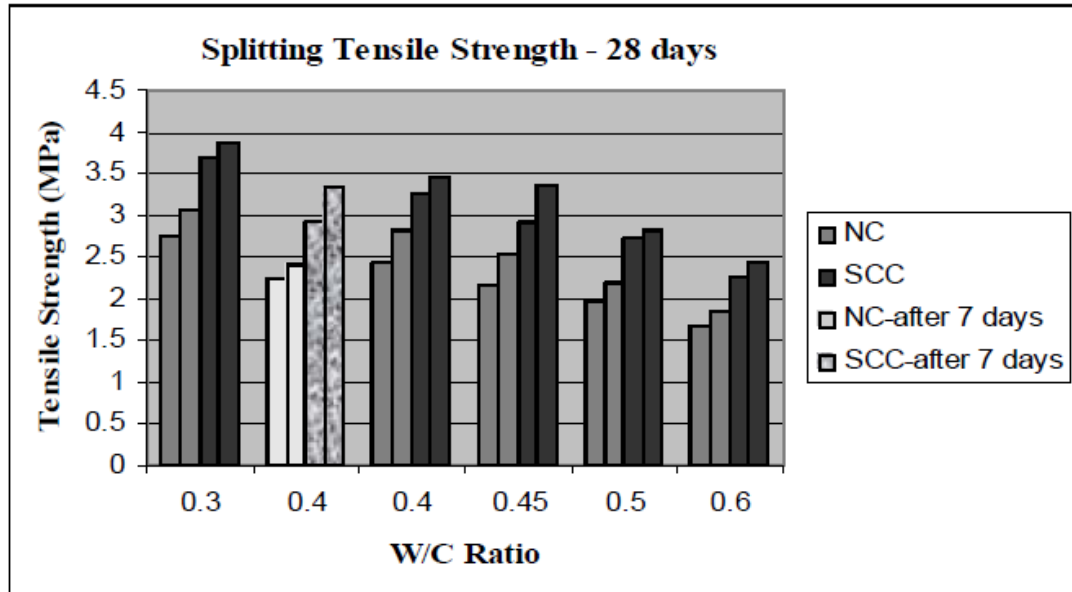
Το γράφημα στο Σχήμα 4.1 δείχνει πως η εφελκυστική αντοχή μειώνεται όσο αυξάνεται ο λόγος νερού προς τσιμέντο. Αυτό σημαίνει πως, όσον αφορά την περιεκτικότητα του νερού, το ΑΣΣ συμπεριφέρεται σαν ένα συμβατικό σκυρόδεμα. Σε αυτό το γράφημα επίσης αποτυπώνονται οι χαμηλότερες και υψηλότερες τιμές από τις τρεις δοκιμές για κάθε περιεκτικότητα νερού. Οι μέσες τιμές των εφελκυστικών αντοχών διάρρηξης των δοκιμίων φαίνονται στο Σχήμα 4.2.

Πίνακας 4.5 Εφελκυστικές αντοχές 28 ημερών, κυλινδρικών δοκιμίων, διαφόρων συνθέσεων συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος όπως προέκυψαν από δοκιμές διάρρηξης που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια σχετικής μελέτης [1].

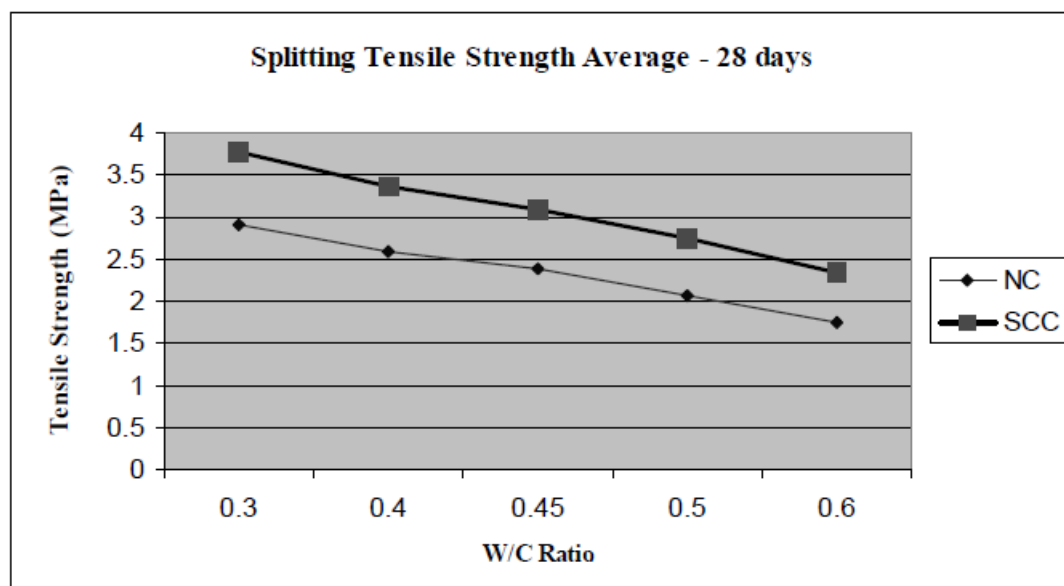
W/C Ratio	Type of Concrete									
	Normal Concrete					Self-Compacting Concrete				
	Max. Load (kN)	Stress		Average Stress		Max. Load (kN)	Stress		Average Stress	
MPa		PSI	MPa	PSI	MPa		PSI	MPa	PSI	
0.30	89.6	2.76	399.3	2.92	422.5	125.3	3.86	558.5	3.77	545
	99.2	3.06	442.7			119.9	3.70	535.3		
	95.3	2.94	425.4			121.2	3.74	541.1		
0.40	91	2.81	406.6	2.60	376.7	105.6	3.26	471.7	3.37	488.1
	78.9	2.43	351.6			112.2	3.46	500.6		
	83.3	2.57	371.8			110.1	3.40	491.9		
0.45	70.4	2.17	314	2.38	343.8	96.1	2.96	428.3	3.08	446.1
	78.7	2.43	351.6			95	2.93	423.9		
	82.1	2.53	366			108.9	3.36	486.1		
0.50	71.2	2.20	318.3	2.07	299	89.2	2.75	397.9	2.76	399.8
	63.8	1.97	285			88.3	2.72	393.5		
	65.9	2.03	293.7			91.5	2.82	408		
0.60	60.1	1.85	267.7	1.76	255.1	76.1	2.35	340	2.35	340
	57.4	1.77	256.1			73.7	2.27	328.4		
	54.3	1.67	241.6			78.8	2.43	351.6		

Πίνακας 4.6 Εφελκυστικές αντοχές 7 ημερών, κυλινδρικών δοκιμίων, διαφόρων συνθέσεων συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος όπως προέκυψαν από δοκιμές διάρρηξης που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια σχετικής μελέτης [1].

W/C Ratio	Type of Concrete									
	Normal Concrete					Self-Compacting Concrete				
	Max. Load (kN)	Stress		Average Stress		Max. Load (kN)	Stress		Average Stress	
MPa		PSI	MPa	PSI	MPa		PSI	MPa	PSI	
0.40	74.9	2.31	334.2	2.32	336	94.7	2.92	422.5	3.07	445.1
	78.5	2.42	350			108.4	3.34	483.2		
	72.6	2.24	324			96.2	2.97	429.7		



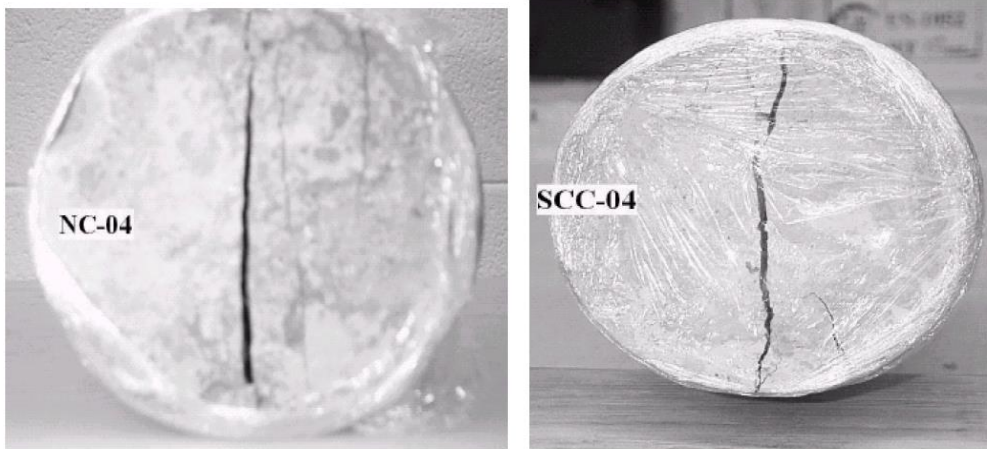
Σχήμα 4.1 Διακύμανση της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της εφελκυστικής αντοχής των δοκιμίων της μελέτης με το λόγο νερού προς τσιμέντο [1].



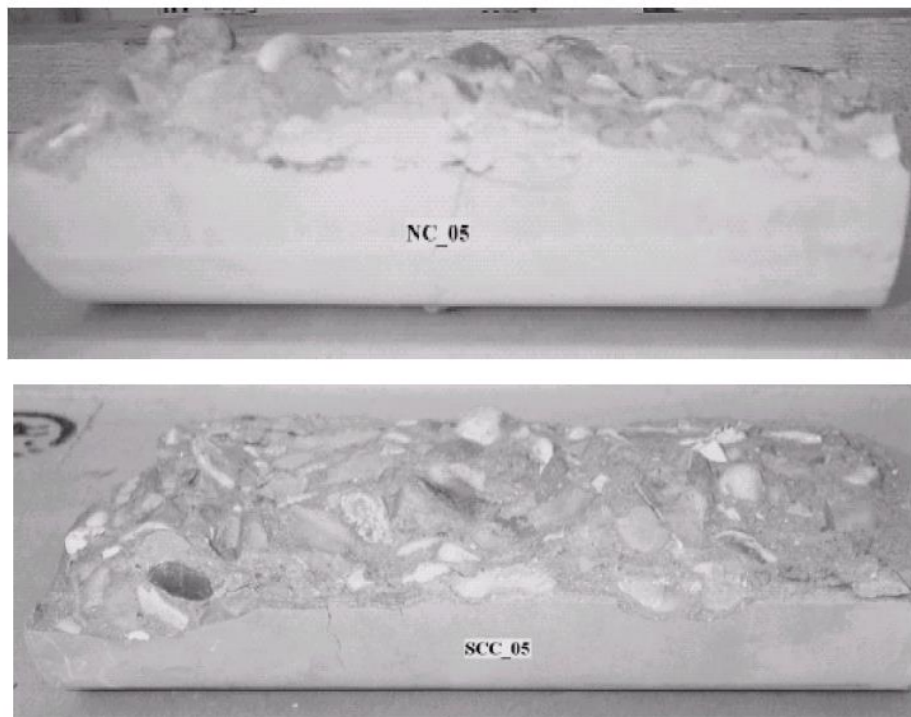
Σχήμα 4.2 Διακύμανση της μέσης τιμής της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος όπως προσδιορίστηκε από δοκιμές διάρρηξης σε σχέση με το λόγο νερού προς τσιμέντο [1].

Ανεξάρτητα από τις περιεκτικότητες σε νερό και τον τύπο του τσιμέντου, όλα τα δοκίμια είχαν ευθύγραμμες ρωγμές και παρόμοια όψη στις θραυσμένες επιφάνειες (Εικόνες 4.3, 4.4, 4.5, 4.6). Αξίζει να σημειωθεί πως αν και οι αντοχές του ΑΣΣ σε εφελκυσμό διάρρηξης αποδείχθηκαν μεγαλύτερες (περίπου 30%), αυτό δεν επηρέασε τον τύπο των ρωγμών (Εικόνες 4.1 και 4.2). Επιπλέον τα ποσοστά των αδρανών που θραύστηκαν στην επιφάνεια διάρρηξης ήταν διαφορετικά. Το ποσοστό των θραυσμένων αδρανών στο ΑΣΣ

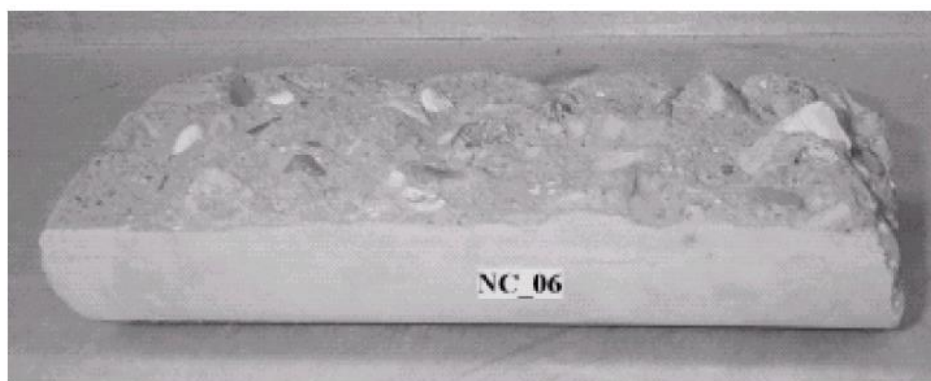
ήταν από 15 έως 25% ενώ στο συμβατικό σκυρόδεμα ήταν περίπου 10%, γεγονός που σημαίνει πως η συνάφεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντόπαστας ήταν βελτιωμένη στην περίπτωση του ΑΣΣ.



Εικόνες 4.1, 4.2 Ευθύγραμμη ρωγή δοκιμίου συμβατικού (αριστερά) και αυτοσυμπυκνούμενου (δεξιά) σκυροδέματος με λόγο νερού/τσιμέντο 0.40 [1].



Εικόνες 4.3, 4.4 Μορφή θραυσμένης επιφάνειας δοκιμίου συμβατικού (πάνω) και αυτοσυμπυκνούμενου (κάτω) σκυροδέματος με λόγο νερού/τσιμέντο 0,50 [1].



Εικόνες 4.5, 4.6 Μορφή θραυσμένης επιφάνειας δοκιμίου συμβατικού (πάνω) και αυτοσυμπυκνούμενου (κάτω) σκυροδέματος με λόγο νερού/τσιμέντο 0.60 [1].

4.1.5 Αντοχή σε Θλίψη

Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της ενδεικτικής μελέτης από τη βιβλιογραφία που παρουσιάζεται στην παρούσα ενότητα, τα δοκίμια του ΑΣΣ έδειξαν αυξημένη αντοχή σε θλίψη περίπου 65% σε σχέση με τα δοκίμια του συμβατικού σκυροδέματος. Τα αποτελέσματα των σχετικών δοκιμών θλίψης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7 για τις διάφορες συνθέσεις της μελέτης. Στο Σχήμα 4.3 οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι μέγιστες και οι ελάχιστες από τις τρεις δοκιμές που διεξήχθησαν για κάθε τιμή του λόγου νερού/τσιμέντο, ενώ το Σχήμα 4.4 αποτυπώνει τη διακύμανση των αντίστοιχων μέσων τιμών της θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων.

Η θλιπτική αντοχή των δοκιμίων υπολογίστηκε από τον τύπο

$$\sigma_c = 4 \cdot P / (\pi \cdot d^2) \quad (4.2)$$

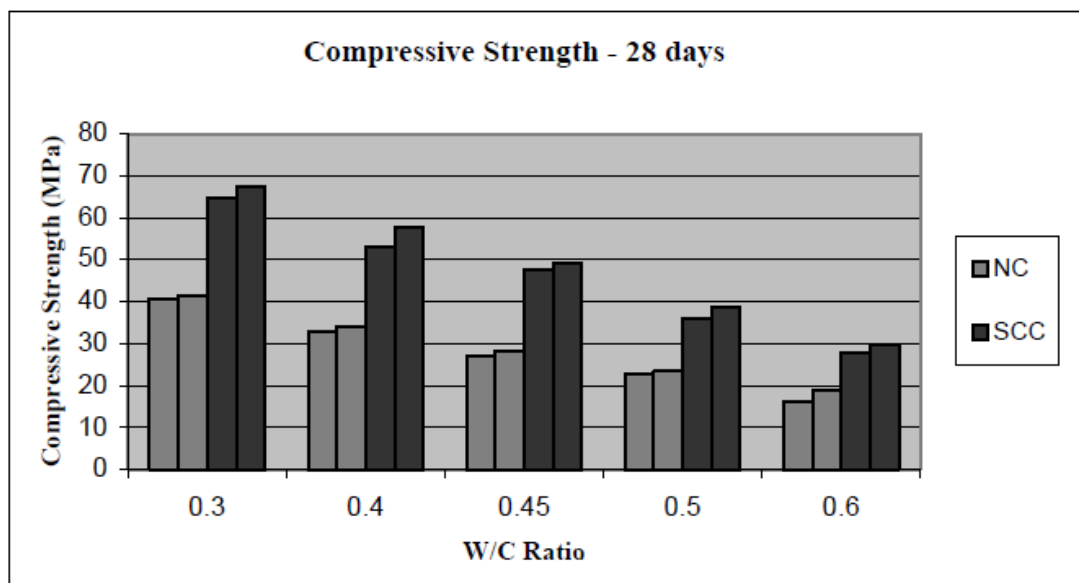
όπου σ_c η θλιπτική τάση (MPa), P το μέγιστο φορτίο από τη συσκευή θλίψης (kN) και d η διάμετρος κυλινδρικού δοκιμίου (mm).

Αν και οι αυξημένες τιμές θλιπτικής αντοχής μπορεί να οφείλονται σε χαμηλούς λόγους νερού/τσιμέντο, το ΑΣΣ μπορεί να θεωρηθεί ένα σκυρόδεμα υψηλών αντοχών, ικανό να αντικαταστήσει το συμβατικό σκυρόδεμα όσον αφορά τις μηχανικές του ιδιότητες. Σχετικά με τη μορφή της αστοχίας των δοκιμίων αξίζει να σημειωθεί ότι και για τους δύο τύπους

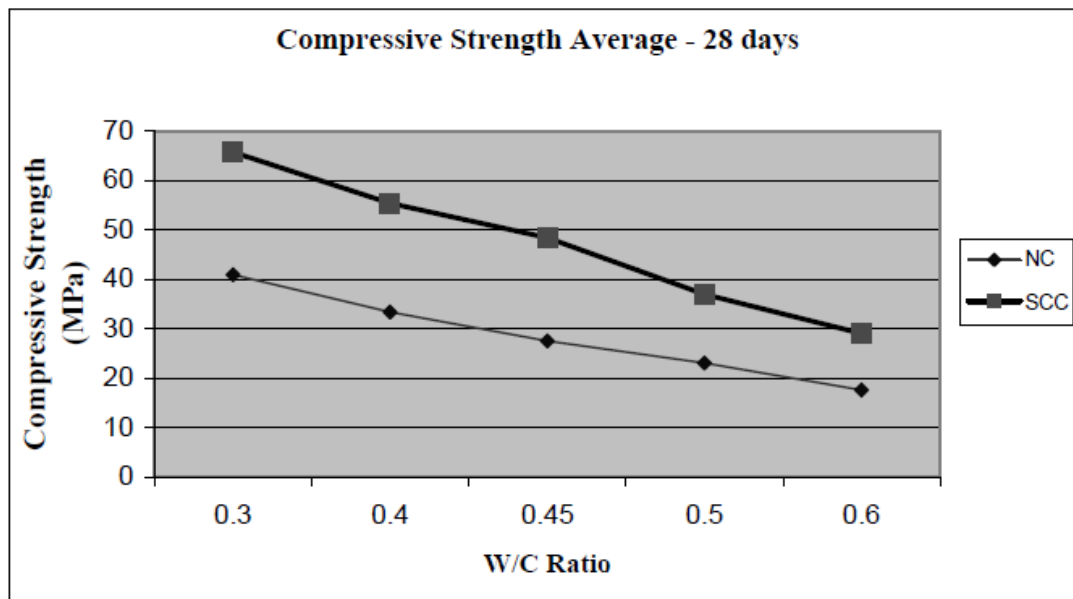
σκυροδέματος παρατηρήθηκαν παρόμοιες ρωγμές στην επιφάνειά τους (Εικόνες 4.7, 4.8, 4.9, 4.10).

Πίνακας 4.7 Θλιπτικές αντοχές 28 ημερών, κυλινδρικών δοκιμών, διαφόρων συνθέσεων συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος που υπολογίστηκαν στα πλαίσια σχετικής μελέτης [1].

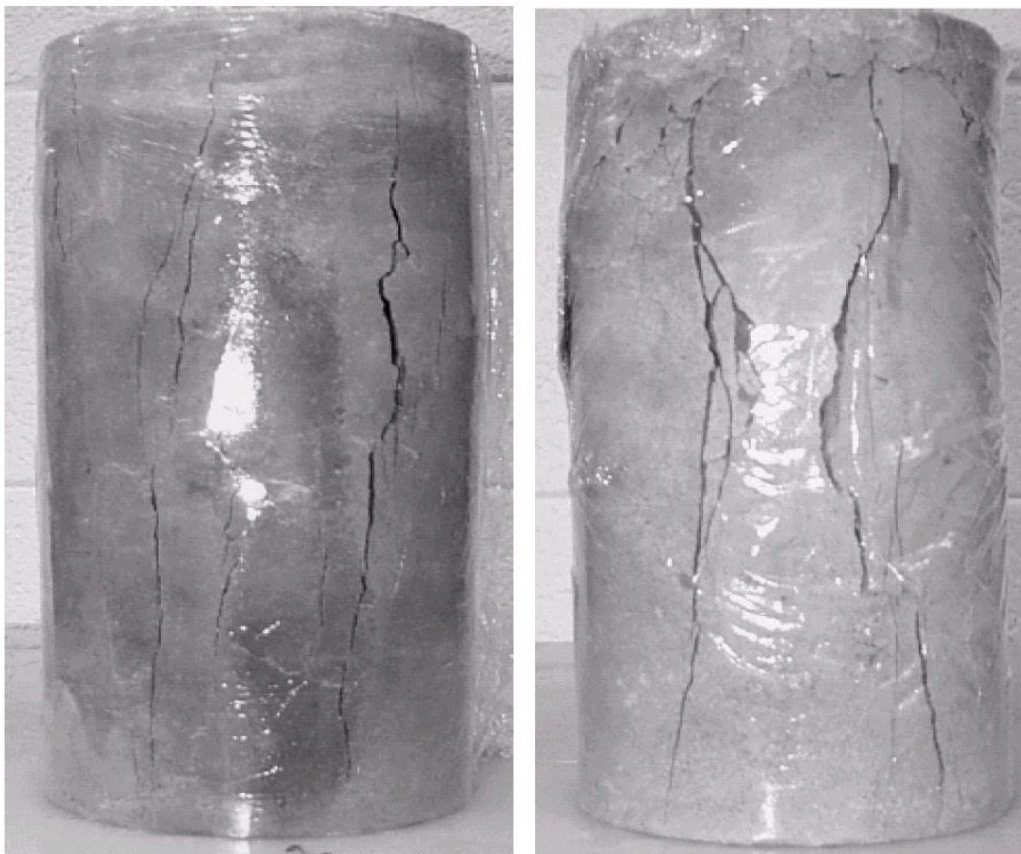
W/C Ratio	Type of Concrete									
	Normal Concrete					Self-Compacting Concrete				
	Max. Load (kN)	Stress		Average Stress		Max. Load (kN)	Stress		Average Stress	
MPa		PSI	MPa	PSI	MPa		PSI	MPa	PSI	
0.30	330.3	40.74	5894.6	40.94	5923.9	546.2	67.37	9747.4	65.76	9514
	330.9	40.82	5906			525.7	64.84	9381.3		
	334.6	41.27	5971.1			527.5	65.06	9413.2		
0.40	270.8	33.40	4832.5	33.43	4837.3	466.2	57.51	8320.8	55.45	8023.2
	266.2	32.84	4751.4			451.4	55.68	8056		
	276.1	34.06	4928			431.1	53.17	7692.8		
0.45	228.2	28.15	4072.9	27.61	3995.2	387.3	47.77	6911.6	48.46	7012
	219.9	27.12	3923.8			397.4	49.02	7092.4		
	223.5	27.57	3988.9			394	48.60	7031.7		
0.50	184.7	22.78	3295.9	23.13	3346.1	292.9	36.13	5227.4	36.98	5350
	190.6	23.51	3401.5			291.2	35.92	5197.1		
	187.2	23.09	3340.8			315.2	38.88	5625.3		
0.60	152	18.75	2712.8	17.68	2557.9	238.7	29.44	4259.5	29.08	4207
	147.9	18.24	2639			226.4	27.93	4041		
	130.1	16.05	2321.9			242.1	29.86	4320.3		



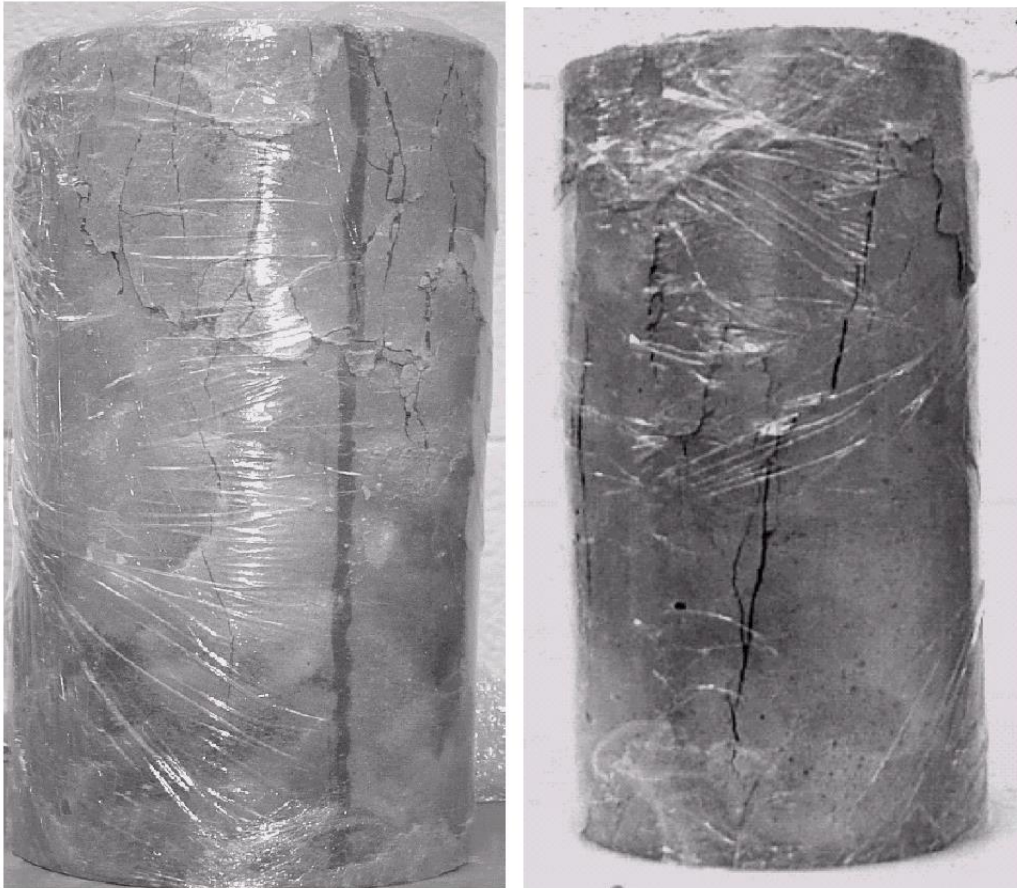
Σχήμα 4.3 Διακόμανση της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της θλιπτικής αντοχής των δοκιμών της μελέτης με το λόγο νερού προς τσιμέντο [1].



Σχήμα 4.4 Διακύμανση της μέσης τιμής της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος όπως προσδιορίστηκε από πειράματα σε σχέση με το λόγο νερού προς τσιμέντο [1].



Εικόνες 4.7, 4.8 Κινοειδής (αριστερά) και κωνοειδής (δεξιά) μορφή ρωγμών σε δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη [1].

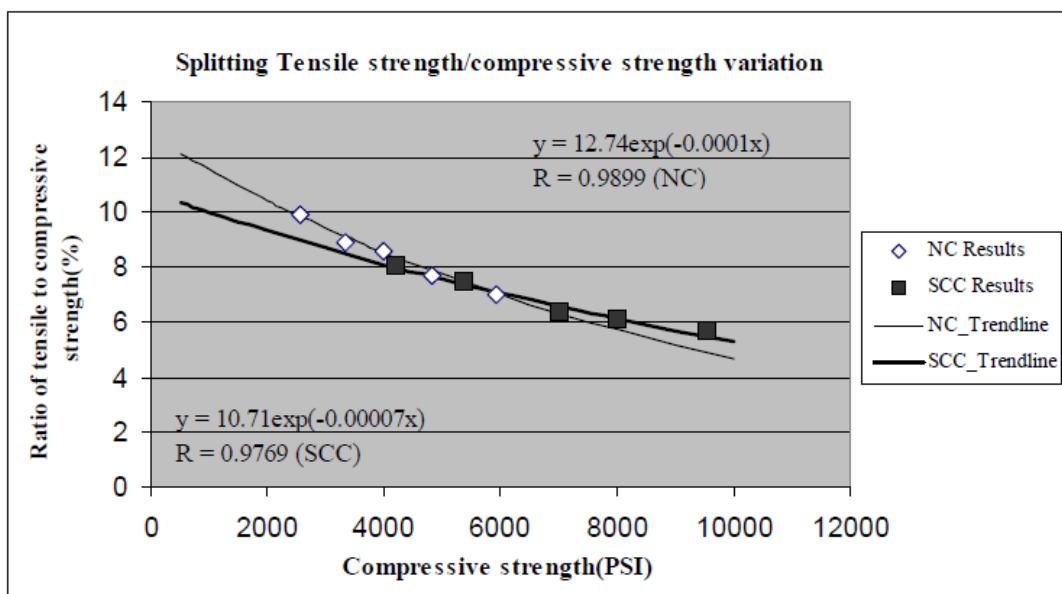


Εικόνες 4.9, 4.10 Αστοχία μορφής κώνου και διαχωρισμού (αριστερά) και διάτμησης (δεξιά) σε δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη των [1].

4.1.6 Σχέση μεταξύ εφελκυστικής και θλιπτικής αντοχής.

Η σχέση της εφελκυστικής με τη θλιπτική αντοχή του ΑΣΣ όπως υπολογίστηκε στα πλαίσια της μελέτης που παρουσιάζεται [1], απεικονίζεται στο Σχήμα 4.5, για τις διάφορες τιμές θλιπτικής αντοχής που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές του λόγου νερού/τσιμέντο (Πίνακας 4.7). Σημειώνεται ότι οι εφελκυστική αντοχή για κάθε σύνθεση προέκυψε από συμβατική δοκιμή διάρρηξης δισκοειδούς δοκιμίου.

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, σε αυτή τη μελέτη οι τιμές των λόγου εφελκυστικής προς θλιπτική αντοχή και για τους δύο τύπους σκυροδέματος (συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου) κυμαίνονται μεταξύ 0,06 και 0,10, τιμές αντίστοιχες με τις συνήθειες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία που κυμαίνονται μεταξύ 0.06 και 0.20.



Σχήμα 4.5 Καμπύλες συσχέτισης της εφελκυστικής και θλιπτικής αντοχής του συμβατικού και αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος της δοκιμής [1].

4.2 ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΣΣ.

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα της εργασίας, το ΑΣΣ χαρακτηρίζεται από ανώτερες τιμές εφελκυστικής και θλιπτικής αντοχής σε σχέση με τα συμβατικά σκυροδέματα με αντίστοιχο λόγο νερού/τσιμέντο. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την «ικανότητά» του να πληρώνει οποιαδήποτε διατομή χάρη στην ανώτερη ικανότητα διέλευσης και πλήρωσης, χαρακτηριστικά για τα οποία έχει εξαρχής σχεδιαστεί, μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η συνάφεια μεταξύ των οπλισμών και του ΑΣΣ θα είναι καλύτερη από αυτήν του συμβατικού σκυροδέματος, επειδή ρέει εύκολα γύρω από τον οπλισμό και αναπτύσσει καλή συνάφεια. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην χαμηλή περιεκτικότητα νερού και στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε σκόνη στα μείγματα ΑΣΣ, που έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση συγκέντρωσης νερού εξίδρωσης κάτω από τις οριζοντίως τοποθετημένες ράβδους οπλισμού. Με τη χρήση συμβατικού σκυροδέματος η συγκέντρωση του νερού εξίδρωσης μπορεί να προκαλέσει αύξηση τοπικά του λόγου νερό/τσιμέντο και συνεπώς να μειωθεί η αντοχή σε συνάφεια [2].

4.2.1 Συνθέσεις ΑΣΣ της δοκιμής

Το παραπάνω ενδεχόμενο αποτέλεσε αντικείμενο της πειραματικής διερεύνησης των A. Foroughi-Asl, S. Dilmaghani, H. Famili, 2008 [3]. Στη μελέτη τους χρησιμοποιήθηκαν μείγματα ΑΣΣ και συμβατικού σκυροδέματος με διαφορετικούς λόγους νερού/τσιμέντο και ίδιες ποσότητες τσιμέντου. Τα χαρακτηριστικά υλικών που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται στον Πίνακα 4.8 και οι συνθέσεις του αυτοσυμπκνούμενου και συμβατικού σκυροδέματος που σχεδιάστηκαν στους Πίνακες 4.9 και 4.10 αντίστοιχα.

Πίνακας 4.8 Χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα για τη μελέτη της συνάφειας σκυροδέματος και οπλισμού [3].

Properties	Unit	Amount
Gravel (G) Absorption	%	1.0
Sand (S) Absorption	%	1.6
Fineness Modulus (FM)	-	2.46
Maximum aggregate size (D_{max})	mm	19
Aggregate Density	kg/lit	2.67
S/(G+S)	-	0.49
G/S	-	1.06

Πίνακας 4.9 Συνθέσεις ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα για τη μελέτη της συνάφειας σκυροδέματος και οπλισμού [3].

Material	Unit	(W/C)				
		0.30	0.40	0.45	0.50	0.60
Water	lit	0.41	0.55	0.62	0.69	0.82
Cement	kg	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Silica Fume	kg	0.12	0.12	0.12	.12	0.12
Gravel	kg	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22
Sand	kg	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05
Superplasticizer	CC	99	73	61	52	30

Πίνακας 4.10 Συνθέσεις συμβατικού σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα για τη μελέτη της συνάφειας σκυροδέματος και οπλισμού [3].

Material	Unit	(W/C)				
		0.30	0.40	0.45	0.50	0.60
Water	lit	0.41	0.55	0.62	0.69	0.82
Cement	kg	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Gravel	kg	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22
Sand	kg	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05

4.2.2 Ρεολογικοί έλεγχοι ΑΣΣ

Για την εκτίμηση της ικανότητας πλήρωσης των μειγμάτων πραγματοποιήθηκε η δοκιμή Κώνου Εξάπλωσης Χρόνου t_{50} (Slump-Flow). Επιπλέον, η ικανότητα πλήρωσης και η αντίσταση σε διαχωρισμό εκτιμήθηκαν από το χρόνο διέλευσης από τη χοάνη σχήματος V (V-funnel) και η ικανότητα αυτοσυμπύκνωσης από την ικανότητα διέλευσης με τη δοκιμή L-Box. Η εργασιμότητα των μειγμάτων του συμβατικού σκυροδέματος εκτιμήθηκε με τη δοκιμή κάθισης (Slump-Test). Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών συνοψίζονται στον Πίνακα 4.11.

Πίνακας 4.11 Αποτελέσματα δοκιμών στο νωπό αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα της πειραματικής μελέτης των [3].

Test	Unit	Sample No.	(W/C)				
			0.30	0.40	0.45	0.50	0.60
Slump flow (EFNARC= 650-800) (Brite Eu Ram=600-725)	mm	SCC1	698	715	719	700	720
		SCC2	700	712	714	695	718
		SCC3	708	703	726	718	704
Slump flow (T₅₀₀) (EFNARC= 2-5) (Brite Eu Ram =3-7)	sec.	SCC1	3.6	2.7	1.9	2.9	3.0
		SCC2	3.8	2.5	2.3	3.4	2.9
		SCC3	3.7	3.0	1.8	3.9	2.2
V-funnel (EFNARC= 6-12) (Brite Eu Ram = 5-15)	sec.	SCC1	10.8	8.4	6.9	10.1	9.0
		SCC2	12.0	8.3	7.2	9.7	8.6
		SCC3	11.4	7.8	8.0	9.1	9.5
V-funnel (T₅) (EFNARC= 6-15) (Brite Eu Ram =5-18)	sec.	SCC1	18.1	13.8	11.0	15.0	12.5
		SCC2	18.8	12.9	12.6	15.0	10.8
		SCC3	17.4	14.0	10.6	16.3	13.8
L-box (EFNARC= 80-100) (BriteEu Ram =60-80)	%	SCC1	61.7	78	79.4	65.0	70.0
		SCC2	61.7	72.4	83.0	62.3	71.8
		SCC3	63.0	73.0	82.8	60.0	68.2
Is there segregation of aggregates?			No.	No.	No.	No.	No.

4.2.3 Δοκιμή εξόλκευσης οπλισμού

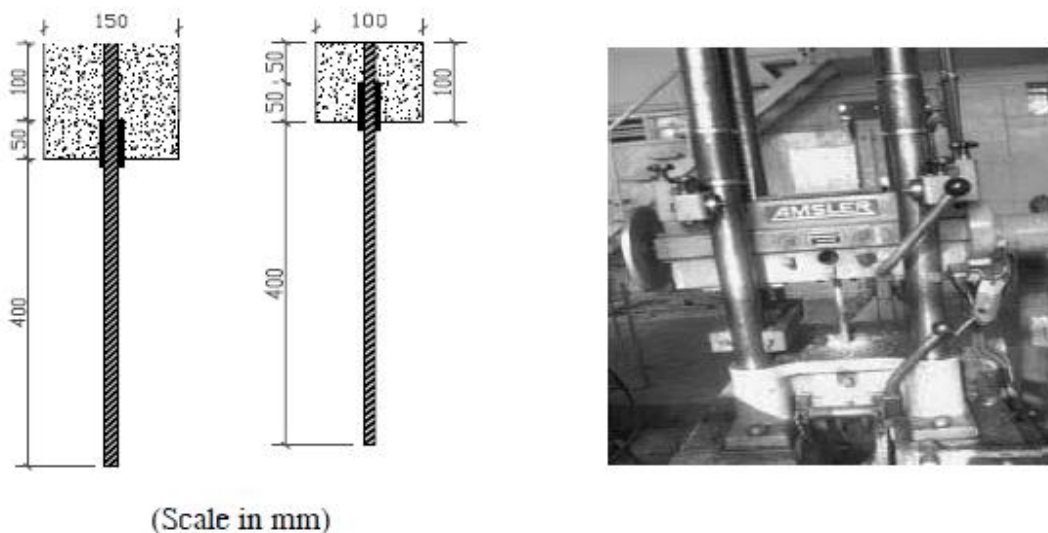
Η αντοχή της συνάφειας μεταξύ οπλισμών και σκυροδέματος μπορεί να αντιστοιχιστεί στο μέγιστο φορτίο εξόλκευσης των ράβδων του οπλισμού. Στη μελέτη των των A. Foroughi-Asl, S. Dilmaghani, H. Famili 2008 [3], που απλά συγκρίνονται δυνάμεις συνάφειας αρκούσε για την εκτίμηση της σχετικής αντοχής η μέτρηση του μεγίστου φορτίου πέραν του οποίου παρατηρείται απώλεια συνάφειας. Ωστόσο, σε περιπτώσεις σχεδιασμού θα πρέπει να ληφθούν υπόψη επιπλέον χαρακτηριστικά της δοκιμής. Γενικά το μέγιστο φορτίο είναι αντιπροσωπευτικό κριτήριο της αντοχής συνάφειας, και έχει υιοθετηθεί ευρέως από τους ερευνητές λόγω της καθαρής σημασίας του και της απλότητας της ερμηνείας του [4,5]. Υπάρχουν όμως και ερευνητές οι οποίοι έχουν εισάγει και ένα άλλο κριτήριο που αφορά την

συνάφεια, την κρίσιμη δύναμη συνάφειας. Ως κρίσιμη δύναμη συνάφειας ορίζεται η δύναμη που απαιτείται ώστε μία ράβδος οπλισμού να ολισθήσει στο σκυρόδεμα για 0.25 mm [6].

Για τη μελέτη των A. Foroughi-Asl, S. Dilmaghani, H. Famili 2008 [3], χρησιμοποιήθηκε η διάταξη που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.6. Σε αυτή τη δοκιμή εκτιμήθηκε η μέγιστη τάση για την οποία υπάρχει συνάφεια σε διάφορες ηλικίες των δειγμάτων γιατί τα αποτελέσματα αναμένονταν διαφορετικά για κάθε ηλικία. Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων το φορτίο καταγράφοταν και μετατρέποταν σε τάση εξόλκευσης με τον τύπο:

$$\tau = P / (\pi \cdot d \cdot l) \quad (4.1)$$

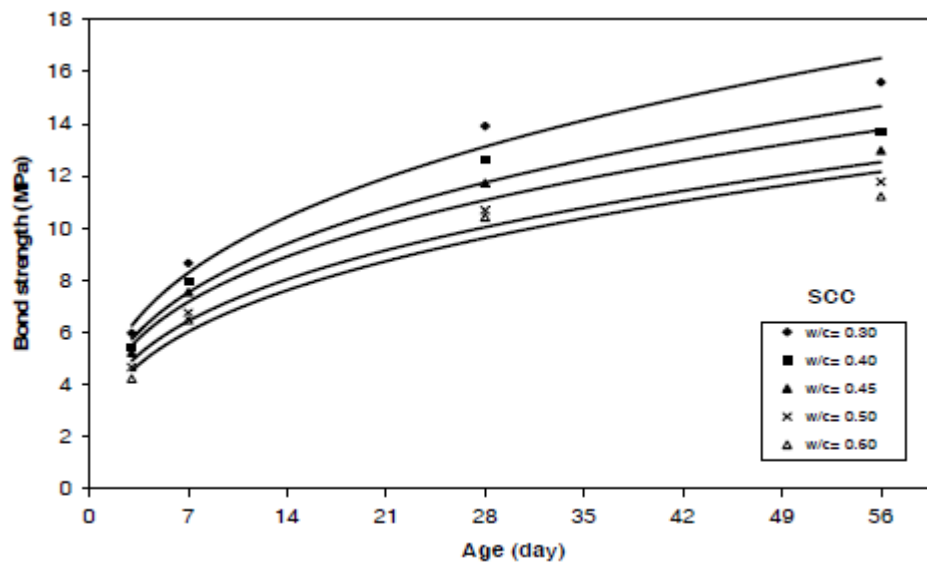
όπου P, d και l το φορτίο, η διάμετρος των ράβδων και το μήκος αγκύρωσής τους αντίστοιχα. Στον Πίνακα 4.12 συνοψίζονται τα πειραματικά αποτελέσματα (τάσεις συνάφειας) για διάφορες ηλικίες σε δοκίμια μειγμάτων ΑΣΣ και συμβατικού σκυροδέματος. Από τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να υπολογιστούν και οι σχέσεις των τάσεων συνάφειας με την ηλικία των δοκιμίων οι οποίες για αυτοσυμπυκνόμενο και συμβατικό σκυρόδεμα απεικονίζονται στα διαγράμματα των Σχημάτων 4.7 και 4.8.



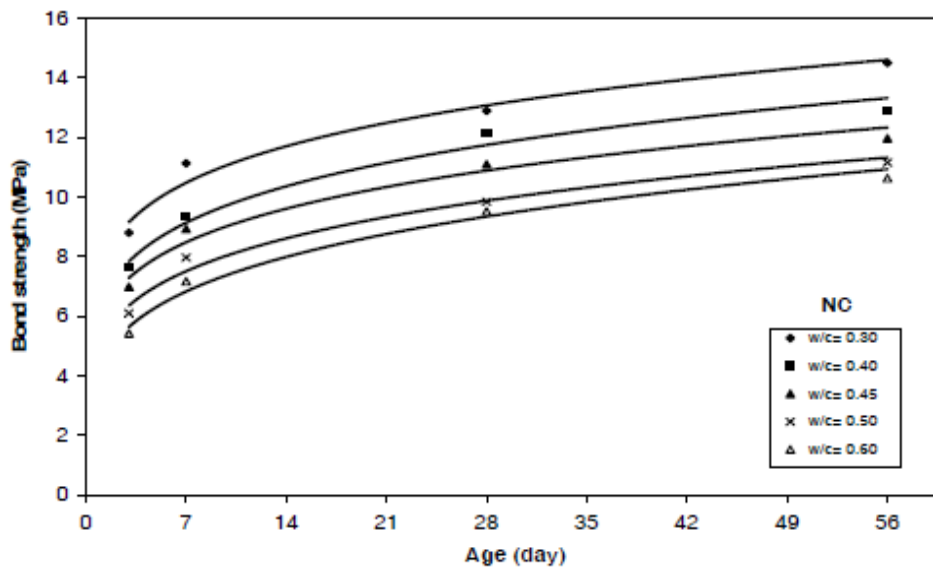
Σχήμα 4.6 Χαρακτηριστικά των δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα εξόλκευσης της μελέτης των των A. Foroughi-Asl, S. Dilmaghani, H. Famili [3] και σχετική διάταξη.

Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα δοκιμών εξόλκευσης οπλισμού για διάφορες ηλικίες δοκιμίων συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος [3].

Material	SCC					NC				
(W/C)	0.30	0.40	0.45	0.50	0.60	0.30	0.40	0.45	0.50	0.60
Age	Bond strength, MPa									
3 days	5.98	5.43	5.23	4.67	4.23	8.80	7.65	6.99	6.10	5.43
7 days	8.66	7.95	7.55	6.76	6.47	11.13	9.35	8.93	7.97	7.17
28 days	13.92	12.62	11.73	10.69	10.42	12.89	12.14	11.10	9.84	9.52
56 days	15.60	13.68	12.98	11.78	11.22	14.50	12.90	11.97	11.16	10.63



Σχήμα 4.7 Εξέλιξη των τάσεων συνάφειας σε σχέση με το χρόνο για το ΑΣΣ [3].



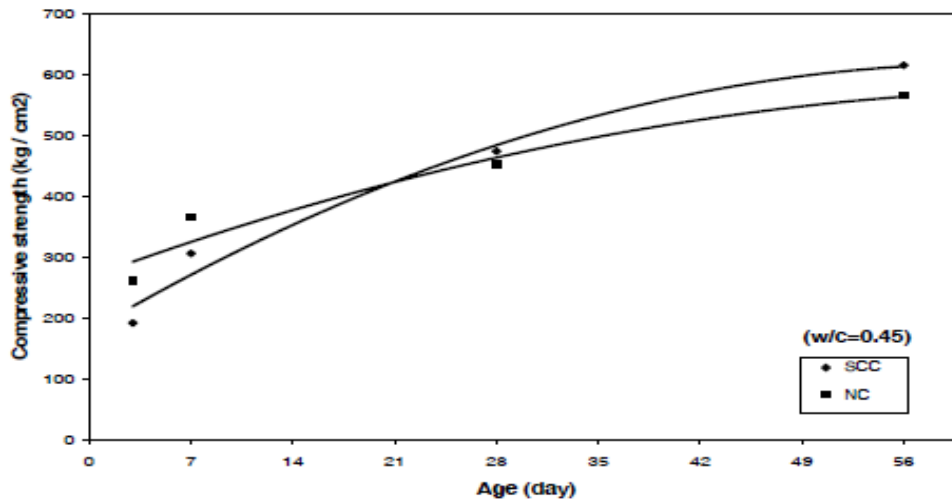
Σχήμα 4.8 Εξέλιξη των τάσεων συνάφειας σε σχέση με το χρόνο για το συμβατικό σκυρόδεμα [3].

Παράλληλα με τις δοκιμές εξόλκευσης που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της μελέτης των των A. Foroughi-Asl, S. Dilmaghani, H. Famili [3], έγιναν και δοκιμές θλίψης για κάθε ηλικία αναφοράς σε συμβατικά κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών συνοψίζονται στον Πίνακα 4.13, ενώ στο Σχήμα 4.9 απεικονίζεται η μεταβολή της θλιπτικής αντοχής με το χρόνο όπως προκύπτει από τα πειραματικά αποτελέσματα. Όπως φαίνεται τα δοκίμια ηλικίας 3 και 7 ημερών από συμβατικό σκυρόδεμα χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες τιμές θλιπτικής αντοχής, ενώ τα αντίστοιχα ηλικίας των 28 και 56 ημερών έχουν μικρότερες θλιπτικές αντοχές από αυτά του ΑΣΣ, κάτι που παρατηρείται και για τις αντοχές συνάφειας. Σύμφωνα με τις διατάξεις του ACI 318 [4], οι αντοχές συνάφειας του σκυροδέματος πρέπει να είναι γραμμικά ανάλογες με την τετραγωνική ρίζα των αντίστοιχων θλιπτικών. Η καθυστέρηση ανάπτυξης των αντοχών τόσο συνάφειας οπλισμού - σκυροδέματος όσο και έναντι θλίψης οφείλεται στην πυριτική παιπάλη και τον υπερρευστοποιητή που περιέχονται στη σύνθεση του ΑΣΣ. Τελικώς έπειτα από ένα «σημείο τομής» που παρατηρείται για ηλικίες δοκιμών από 21 – 23 ημέρες η θλιπτική αντοχή και η αντοχή συνάφειας με τον οπλισμό για το ΑΣΣ ξεπερνούν τις αντίστοιχες του συμβατικού (Σχήμα 4.9).

Από τη μελέτη των των A. Foroughi-Asl, S. Dilmaghani, H. Famili [3] που παρουσιάστηκε στην ενότητα αυτή συμπεραίνουμε πως σε νεαρές ηλικίες το ΑΣΣ δεν αναπτύσσει μεγάλες αντοχές σε θλίψη και μεγάλες δυνάμεις συνάφειας εξαιτίας της επιβραδυντικής δράσης του υπερρευστοποιητή. Συνεπώς κατά τη χρήση του θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ασφαλείας στα διάφορα στάδια κατασκευής μέχρι να αναπτυχθούν πλήρως οι ιδιότητές του. Ωστόσο, η χρήση του ΑΣΣ εξασφαλίζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα χάρη και στις μεγαλύτερες αντοχές που τελικά αναπτύσσει.

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα δοκιμών θλίψης για διάφορες ηλικίες δοκιμών συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος [3].

Material (W/C)	SCC					NC				
	0.30	0.40	0.45	0.50	0.60	0.30	0.40	0.45	0.50	0.60
Age	Compressive strength, MPa									
3 days	24.16	21.14	19.21	17.95	17.05	34.55	29.47	26.14	23.86	22.04
7 days	38.64	34.09	30.61	28.03	26.14	49.09	40.91	36.52	32.88	29.09
28 days	61.59	52.05	47.42	42.50	40.00	58.41	49.54	45.23	41.02	38.56
56 days	72.73	65.07	61.51	58.20	55.00	66.36	59.77	56.59	55.00	52.27

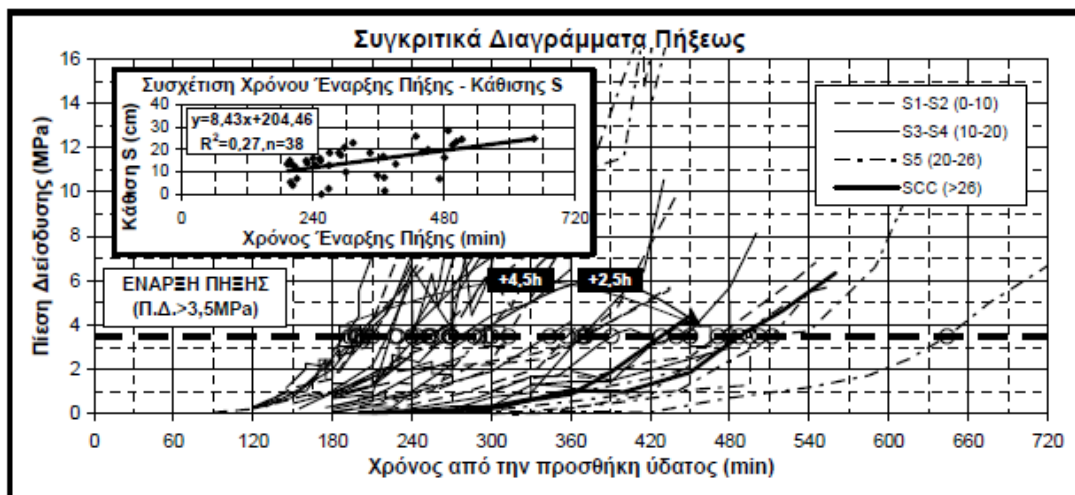


Σχήμα 4.9 Εξέλιξη των θλιπτικών αντοχών σε σχέση με το χρόνο για το συμβατικό και αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα [3].

4.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΗΞΕΩΣ ΤΟΥ ΑΣΣ.

Στα πλαίσια της έρευνας των Κωνσταντίνου Γ. Τρέζο και Ιωάννη Π. Σφήκα [7] μελετήθηκε ο χρόνος πήξεως του ΑΣΣ. Σε νωπό σκυρόδεμα μετρήθηκε η πίεση διεισδύσεως με σκοπό τον προσδιορισμό του χρόνου πήξεως. Εφαρμόστηκε η μέθοδος ελέγχου ΣΚ-313 [8] σε νωπό τσιμεντοκονίαμα το οποίο προέκυψε με υγρό κοσκίνισμα νωπού μείγματος ΑΣΣ. Μετρήθηκε η αντίσταση διείσδυσης βελόνας με τη χρήση δυναμομέτρου, με βάση την οποία ποσοτικοποιείται ο ζητούμενος χρόνος πήξεως του σκυροδέματος.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στο Σχήμα 4.10, από το οποίο προκύπτει πως τα μείγματα με μικρότερες καθίσεις παρουσιάζουν και μικρότερους χρόνους έναρξης πήξης. Αντίθετα τόσο τα μείγματα συμβατικού σκυροδέματος κατηγοριών κάθισης S5 (20 - 26cm) όσο και τα μείγματα ΑΣΣ που χαρακτηρίζονται εν γένει από μεγάλες καθίσεις (>26cm) πήζουν αργότερα από τα συμβατικά σκυροδέματα των συνήθων κατηγοριών κάθισης S1 - S4. Η διαφορά αυτή στο χρόνο πήξης του ΑΣΣ εκτιμήθηκε στη μελέτη των Κωνσταντίνου Γ. Τρέζο και Ιωάννη Π. Σφήκα [7], από 2.5 έως 4.5 ώρες.



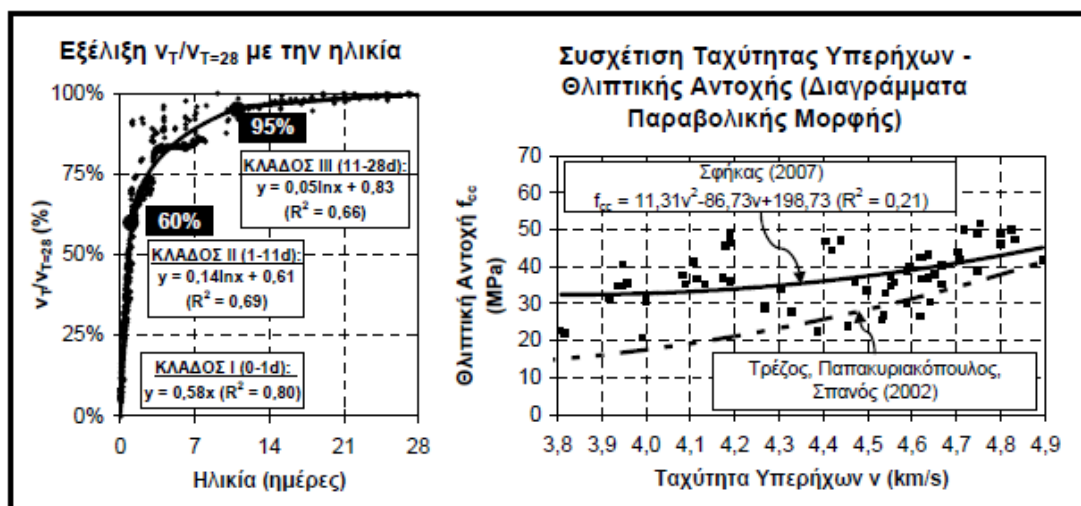
Σχήμα 4.10 Συγκριτικά διαγράμματα της πίεσης διεισδύσεως μειγμάτων συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με διαφορετικές καθίσεις [7].

4.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ.

Στα πλαίσια της μελέτης των Κωνσταντίνο Γ. Τρέζο και Ιωάννη Π. Σφήκα [7] πραγματοποιήθηκαν δοκιμές υπερήχων σε δοκίμια συμβατικού και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Η μέθοδος των υπερήχων αποτελεί μία έμμεση μη καταστροφική μέθοδο εκτίμησης της ποιότητας του σκυροδέματος, η οποία βασίζεται στην καταγραφή της ταχύτητας «διέλευσης» υπερήχων μέσω δοκιμίων για διάφορες ηλικίες του σκυροδέματος [9].

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της έρευνας των Κωνσταντίνο Γ. Τρέζο και Ιωάννη Π. Σφήκα [7] παρουσιάζονται συνοπτικά στο Σχήμα 4.11. Από το σύνολο των μετρήσεων προέκυψε τρικλαδική καμπύλη, από όπου μπορούμε να εκτιμήσουμε την πιθανή μέγιστη τιμή της ταχύτητας των υπερήχων σε οποιοδήποτε δοκίμιο μικρής ηλικίας. Παρατηρήθηκε ότι στις πρώτες 24 ώρες η αναπτυσσόμενη ταχύτητα των υπερήχων προσεγγίζει περίπου το 60% της αντίστοιχης μέγιστης, ενώ το σχετικό ποσοστό την ενδέκατη μέρα φτάνει στο 95%.

Από την ταχύτητα των υπερήχων την 28η ημέρα από την παρασκευή του σκυροδέματος, με τη χρήση εμπειρικών μοντέλων παραβολικής μορφής, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η πιθανή θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.11(β). Πρέπει να τονιστεί όμως πως ο συντελεστής συσχέτισης είναι ιδιαίτερα χαμηλός ($R^2=0.21$), οπότε οι εκτιμήσεις παρουσιάζουν μεγάλο εύρος του διαστήματος εμπιστοσύνης. Παρατηρήθηκε ότι οι καμπύλες συσχέτισης της θλιπτικής αντοχής κυβικών δοκιμίων με την ταχύτητα των υπερήχων που έχουν προκύψει από συμβατικά σκυροδέματα υποεκτιμούν τη θλιπτική αντοχή των κυβικών δοκιμίων ΑΣΣ. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο σε χαμηλές ταχύτητες (π.χ. για $v = 4.2\text{km/s}$ η διαφορά είναι περίπου 12.5MPa).



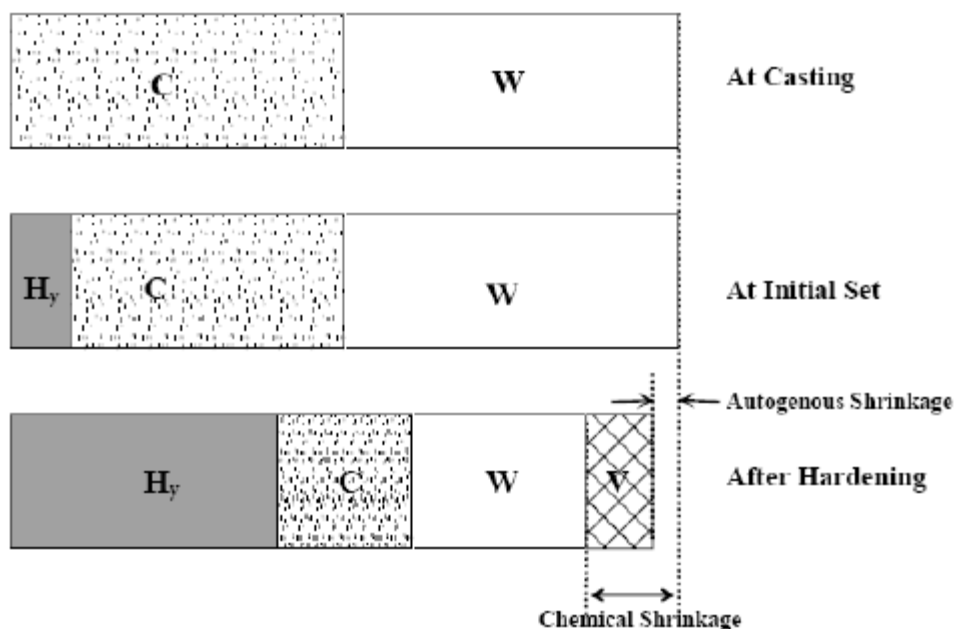
Σχήμα 4.11 (α) Τρικλαδικό διάγραμμα εξέλιξης ταχύτητας υπερήχων από την παρασκευή (νωπό σκυρόδεμα) έως τις 28 ημέρες ως ποσοστό της ταχύτητας των 28 ημερών και (β) καμπύλες συσχέτισης θλιπτικής αντοχής 28 ημερών με την ταχύτητα των υπερήχων [7].

4.5 ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Το ενδεχόμενο εμφάνισης του φαινομένου της συρρίκνωσης, εννοώντας τόσο την αυτογενή συρρίκνωση των πρώιμων αντοχών όσο και την συστολή ξήρανσης, είναι μεγαλύτερο στην περίπτωση του ΑΣΣ λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε πάστα. Η λεπτότερη κατανομή που χαρακτηρίζει το πορώδες του ΑΣΣ αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης της αυτογενούς συρρίκνωσης. Τα υψηλά ποσοστά σε τσιμεντοειδή υλικά και οι χαμηλοί λόγοι w/c αυξάνουν την ευαισθησία του σκυροδέματος σε μεταβολές του όγκου του λόγω θερμοκρασιακών διακυμάνσεων. Για να εκτιμηθεί σωστά η ευαισθησία του ΑΣΣ στη ρηγματώση λόγω μεταβολών του όγκου του, θα πρέπει να εκτιμηθούν ανάλογα οι visco-ελαστικές (visco-elastic) του ιδιότητες και η εφελκυστική του αντοχή. Οι αυξημένες μεταβολές του όγκου του ΑΣΣ δεν είναι απαραίτητο να οδηγήσουν σε αυξημένο κίνδυνο ρηγματώσεων, όταν το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από υψηλή εφελκυστική αντοχή, χαμηλό μέτρο ελαστικότητας και υψηλότερο βαθμό ερπυσμού [10].

4.5.1 Αυτογενής Συστολή

Σε μείγματα με σχετικά χαμηλό λόγο w/cm, υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο και πρόσθετα τσιμεντοειδή υλικά που εμφανίζουν υψηλούς ρυθμούς ποζολανικής δράσης σε μικρές ηλικίες, η αυτογενής συστολή μπορεί να είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στα προστατευτικά μέτρα για τον περιορισμό/την ελαχιστοποίηση της ξήρανσης του ΑΣΣ. Υψηλότεροι λόγοι w/cm οδηγούν σε χαμηλότερη αυτογενή συστολή [2].



Σχήμα 4.12 Αντιδράσεις που προκαλούν αυτογενή συρρίκνωση. C= μη ενυδατωμένο τσιμέντο, W= ελεύθερο νερό, H_y= προϊόντα ενυδάτωσης, V= πορώδες που δημιουργήθηκε από την διαδικασία της ενυδάτωσης [11].

4.5.2 Συστολή Ξήρανσης

Η συστολή ξήρανσης επηρεάζεται από την περιεκτικότητα νερού και τον όγκο της πάστας, καθώς και από την περιεκτικότητα, το μέγεθος και τη σκληρότητα των αδρανών. Υψηλοί όγκοι πάστας και μείωση της περιεκτικότητας των αδρανών μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη συστολή ξήρανσης. Για την ίδια θλιπτική αντοχή, η συστολή ξήρανσης είναι παρόμοια ή χαμηλότερη σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Υψηλότεροι λόγοι w/cm έχουν μικρή επιρροή στη συστολή ξήρανσης ενώ αντίθετα με σταθερό λόγο w/cm και αύξηση του όγκου της πάστας αυξάνεται η συστολή ξήρανσης [12]. Οι επιταχυντές και κάποιοι μειωτές νερού ενδέχεται να προκαλέσουν αύξηση της συστολής ξήρανσης. Η χρήση αδρανών με αυξημένη σκληρότητα και περιορισμένες μεταβολές του όγκου τους μετά από διαβροχή και ξήρανση, οδηγεί σε μείωση της συστολής ξήρανσης. Ακόμα τα αδρανή επηρεάζουν το φαινόμενο εμμέσως με το να διαμορφώνουν το ποσοστό της πάστας και το απαιτούμενο νερό μείξης [13]. Επίσης η χρήση ασβεστολιθικής παιπάλης και σε μικρότερο βαθμό της ιπτάμενης τέφρας οδηγούν σε μείωση της συστολής [11].

4.5.3 Πλαστική Συστολή

Το ΑΣΣ είναι επιρρεπές στην ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συστολής, δεδομένου ότι τα μείγματα αυτά παρουσιάζουν περιορισμένη ή και καθόλου επιφανειακή εξίδρωση. Το ΑΣΣ πρέπει να προστατεύεται από ταχεία απώλεια υγρασίας και τυχόν επιφανειακή ξήρανση τουλάχιστον για τις πρώτες 24 ώρες, ακριβώς όπως το συμβατικό σκυρόδεμα που παρουσιάζει περιορισμένη ή και καθόλου επιφανειακή εξίδρωση [2].

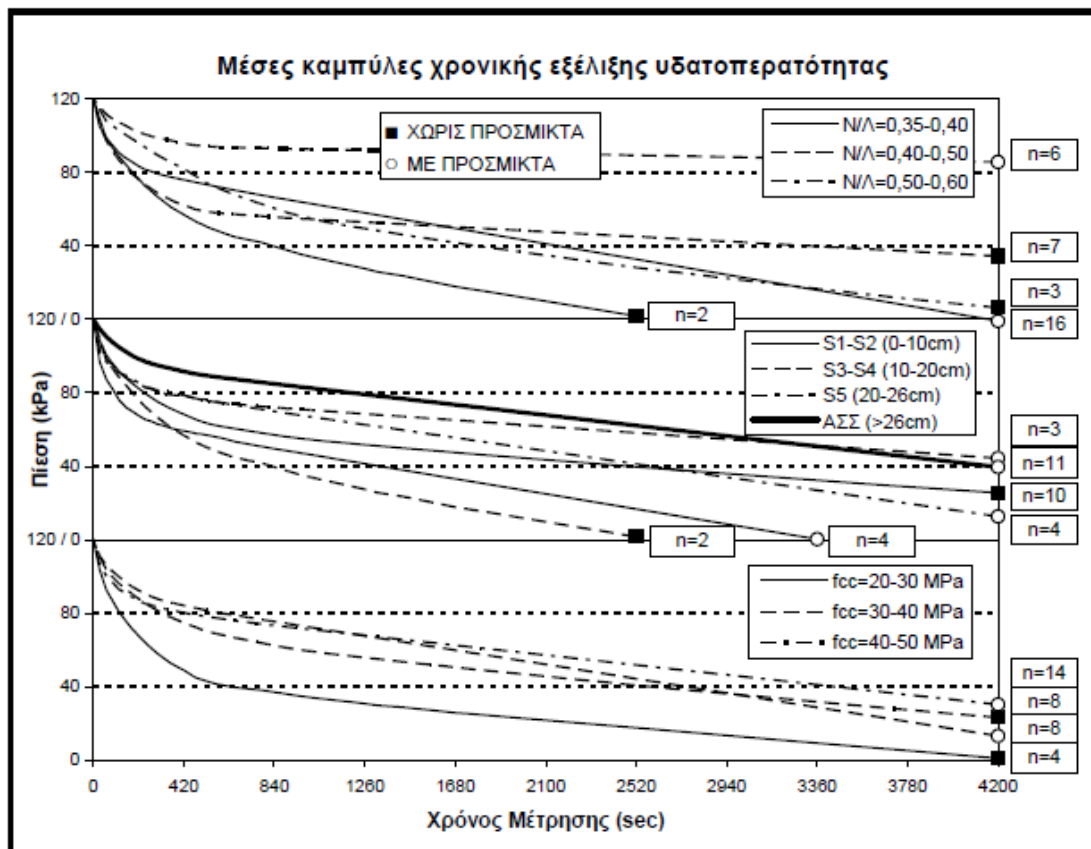
4.5.4 Ερπυσμός

Ο ερπυσμός μπορεί να επηρεαστεί κυρίως από τη σταθερότητα της τσιμεντόπαστας, από την περιεκτικότητα και την σκληρότητα των χονδρόκοκκων αδρανών, τη διάρκεια και τη μέθοδο συντήρησης, τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ηλικία του σκυροδέματος την στιγμή που θα του επιβληθούν τα φορτία που είναι να αναλάβει. Στην περίπτωση του ΑΣΣ σημαντικό ρόλο παίζουν η σύνθεση του μείγματος και η περιεκτικότητα της πάστας και των αδρανών. Για τις ίδιες αναλογίες συστατικών μείγματος ο ερπυσμός δεν διαφέρει πολύ μεταξύ ΑΣΣ και συμβατικού σκυροδέματος, αλλά για μεγαλύτερο όγκο πάστας παρουσιάζεται μικρή αύξηση του ερπυσμού στο ΑΣΣ [2].

4.6 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Από τους Κωνσταντίνο Γ. Τρέζο και Ιωάννη Π. Σφήκα [7], διεξήχθησαν μετρήσεις υδατοπερατότητας σε δοκίμια σκυροδέματος με χρήση της συσκευής GWT – 4000, με την οποία επιβάλλεται αρχική πίεση ύδατος 120 kPa στην επιφάνεια του σκυροδέματος, και καταγράφεται η εξέλιξη της επιφανειακής πίεσης σε σχέση με το χρόνο, η οποία σχετίζεται με το επιφανειακό πορώδες και την απορροφητικότητα του. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων απεικονίζονται στα διαγράμματα του Σχήματος 4.13.

Από τις παραπάνω μετρήσεις παρατηρήθηκε ότι μικρότερη υδατοπερατότητα παρουσιάζεται: (α) σε μείγματα με χρήση πρόσμικτων στα οποία ο λόγος νερού/λεπτόκοκκα υλικά N/Λ κυμαίνεται μεταξύ 0.40 και 0.50, (β) σε μείγματα ΑΣΣ με μεγάλες καθίσεις (>26cm) και (γ) σε σκυροδέματα με χρήση πρόσμικτων που αναπτύσσουν θλιπτική αντοχή μεγαλύτερη των 30MPa.



Σχήμα 4.13 Μέσες καμπύλες χρονικής εξέλιξης υδατοπερατότητας: μεταβολή της πίεσης συναρτήσει του χρόνου ανάλογα με το λόγο N/Λ , την κατηγορία κάθισης S και τη θλιπτική αντοχή f_{cc} [7].

4.7 ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΑΣΣ

Λόγω των ιδιαίτερων συστατικών του, το κόστος παραγωγής του ΑΣΣ είναι μεγαλύτερο από αυτό του συμβατικού σκυροδέματος. Η διαφορά της τιμής όμως εξαρτάται από την κατηγορία αντοχής, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.14.

Πίνακας 4.14 Διαφορά κόστους αυτοσυμπυκνούμενου και συμβατικού σκυροδέματος σε σχέση με την κατηγορία αντοχής [2].

Κατηγορία Αντοχής	C 20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Διαφορά κόστους /m ³ υλικού	15-25%	10-20%	8-15%	5-10%

Τα στοιχεία που αυξάνουν το κόστος του ΑΣΣ είναι η ποσότητα και το είδος του λεπτόκοκκου υλικού και η μεγαλύτερη ποσότητα προσμείκτων. Στις υψηλές κατηγορίες αντοχής όμως η περιεκτικότητα σε τσιμέντο είναι ήδη υψηλή οπότε η απαιτούμενη ποσότητα υλικού πλήρωσης περιορίζεται. Κατ' αυτό τον τρόπο μειώνεται σημαντικά και η διαφορά κόστους του υλικού.

Καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή ή όχι της χρήσης αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος σε ένα έργο είναι συνήθως όχι μόνο το κόστος αγοράς, αλλά κυρίως το συνολικό κόστος χρήσης τόσο κατά τη φάση κατασκευής, όσο και στο σύνολο της ζωής του έργου. Γενικά έχει επισημανθεί ότι η χρήση ΑΣΣ επιτρέπει επιτάχυνση του χρόνου σκυροδέτησης κατά 70% και μείωση του απαιτούμενου προσωπικού κατά τουλάχιστον 30%. Τα στοιχεία αυτά έχουν ιδιαίτερη βαρύτητα και μπορούν να διαμορφώσουν το κόστος κατασκευής ενός έργου με ΑΣΣ στο 98% - 105% του κόστους του αντίστοιχου έργου με χρήση συμβατικού σκυροδέματος ίδιας κατηγορίας αντοχής [14].

Ο παράγοντας της ποιότητας όμως και η συμβολή του στη διαμόρφωση του κόστους ζωής μίας κατασκευής είναι ένας ακόμη ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας. Σε εργασία οι Σίδερης κ.α. [15], παρασκεύασαν ΑΣΣ και συμβατικά σκυροδέματα κατηγοριών C25/30 και C30/37 τα οποία χρησιμοποίησαν για να υπολογίσουν τους συνολικούς χρόνους ζωής κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Με βάση τα αποτελέσματα της διείσδυσης των χλωριόντων και του βάθους ενανθράκωσης προέκυψαν τα στοιχεία κόστους, που φαίνονται στον Πίνακα 4.15. Είναι εμφανές ότι στις περιπτώσεις που απαιτούνται σκυροδέματα μέσης ή υψηλής αντοχής το συνολικό κόστος χρήσης του ΑΣΣ προκύπτει εξαιρετικά μειωμένο και μικρότερο του συμβατικού.

Πίνακας 4.15 Ανηγγμένο κόστος παραγωγής και χρήσης ΑΣΣ και Συμβατικού Σκυροδέματος [2].

	ΑΣΣ 25/30		ΑΣΣ 30/37	
	1	2	1	2
Διαφορά Κόστους (% του Συμβατικού, Ευρώ/m ³)	17	10	4	8
Διαφορά Κόστους Χρήσης (% του Συμβατικού, CO ₂)	-23.17	14.23	-65	-63
Διαφορά Κόστους Χρήσης (% του Συμβατικού, Cl)	11	13	-2.7	12

Βιβλιογραφικές Αναφορές 4^ο Κεφαλαίου

- [1] “TENSILE STRENGTH AND BONDING CHARACTERISTICS OF SELF-COMPACTING CONCRETE” by Cristian Druta B.S. (Mechanical Eng.), Polytechnic University of Bucharest, 1995 August 2003.
- [2] Τεχνική Οδηγία 5, «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα», από Επιτροπή Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος, Έκδοση 1^η, Μάρτιος 2014.
- [3] «Bond strength of reinforcement steel in self-compacting concrete» by A. Foroughi-Asl, S. Dilmaghani, H. Famili, International Journal of Civil Engineering Vol. 6, No. 1, March 2008
- [4] ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and commentary (318R- 02), USA, 2002.
- [5] Tayfun A. Söylev and Raol François, “Effects of bar-placement conditions on steel concrete”, Materials and structures, Vol. 39 (2), 2006, pp. 187-195.
- [6] Fib, Bulltin 10, “Bond of reinforcement in concrete”, state of the art Report prepared by Task Group Bond Models, former CEB, Task Group 5.2. CH-1015, Lausanne, August 2000.
- [7] «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ» από Κωνσταντίνος Γ. Τρέζος Επίκουρος Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. και Ιωάννης Π. Σφήκας Υποψήφιος Διδάκτορας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. στο 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, 2008.
- [8] Μέθοδος Ελέγχου ΣΚ-313, «Μέθοδος Προσδιορισμού του Χρόνου Πήξεως Σκυροδέματος», Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Τεχνικών Υλικών (ΕΚ3), Τμήμα Σκυροδέματος (ΕΚ3α), Αθήνα 1985.
- [9] Τρέζος Κ.Γ., Παπακυριακόπουλος Π., Σπανός Χ., «Βαθμονόμηση των έμμεσων μεθόδων υπερήχων και κρουσίμετρου μέσω πυρήνων και συμβατικών δοκιμών σκυροδέματος», 4th National Conference of HSNT & 2nd Balkan Conference of BSNDT Athens, (2002).
- [10] Siddique R., Aggarwal P., Aggarwal Y., Guprta S., “Development, Investigation and Applications of Self Compacting Concretes”, Proceedings of the Fifth International Rilem Symposium, SCC, Ghent Belgium, pp 55-60, 2007.
- [11] Άγγελος Σ. Γεωργιάδης-Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc «Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού, Παραγωγής και Χρήσης Μειγμάτων Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος σε Βιομηχανική Κλίμακα στην Ελλάδα», Διδακτορική Διατριβή, Ξάνθη, Νοέμβριος 2010.
- [12] Bissonnette B., Pascale P., and Pigeon M., “Influence of key parameters on drying shrinkage of cementitious materials”, Cement and Concrete Research, 29, pp 1655-1662, 1999.

- [13] ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures," (ACI 209R-92) American Concrete Institute, Farmington Hills, MI 1997.
- [14] «Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα και Ελληνική πραγματικότητα: Παρούσα κατάσταση και προοπτικές εξέλιξης» από Κοσμάς Κ. ΣΙΔΕΡΗΣ στο 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/ 2009, Πάφος, Κύπρος.
- [15] Σίδερης Κ.Κ., Γεωργιάδης Α., Αναγνωστόπουλος Ν., Μανίτα Π. και Σκαρλάτος Ε. (2009), «Ανάλυση κόστους χρόνου ζωής κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με αυτοσυμπυκνούμενο και συμβατικό σκυρόδεμα», Πρακτικά 16ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κύπρος, 21-23 Οκτωβρίου 2009.

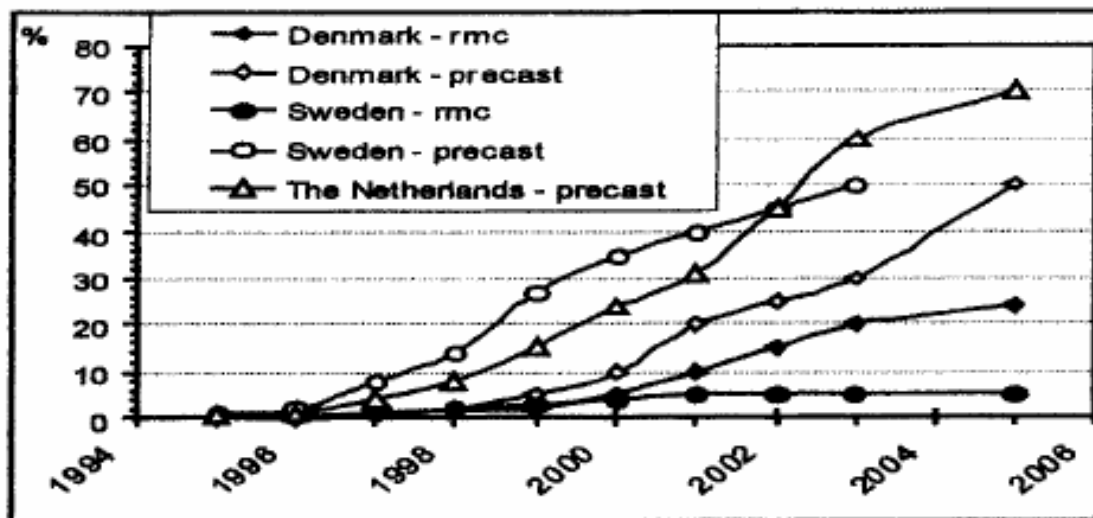
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

5.1 ΑΠΟΔΟΧΗ ΑΣΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΚΛΑΔΟ.

Παρόλο που το ΑΣΣ αρχικά εξελίχθηκε στην Ιαπωνία, εντούτοις δεν έτυχε μεγάλης αποδοχής από την Ιαπωνική αγορά. Η ιδιαιτερότητα της τελευταίας δεν επέτρεψε την αναμενόμενη εξάπλωση του ΑΣΣ και την ευρεία χρήση του. Αντ' αυτού, λίγες μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες χρησιμοποίησαν τη βασική ιδέα του ΑΣΣ, ιδρύοντας τα δικά τους εργαστήρια, εκπαίδευσαν το δικό τους προσωπικό και κυκλοφορούσαν μείγματα ΑΣΣ με δικές τους συνθέσεις προκειμένου να πετύχουν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα στην αγορά. Αποτέλεσμα όλων αυτών ήταν το «πατεντάρισμα» του ΑΣΣ από διαφορετικές εταιρίες με διαφορετικά ονόματα όπως Biocrete (Taisei Co), NV concrete (Kajima Co), SQC concrete (Maeda Co) κλπ [1].

Σε αντίθεση με την Ιαπωνία, η ιδέα του ΑΣΣ έτυχε ευρείας αποδοχής στον Ευρωπαϊκό χώρο. Ο συνδυασμός των έντονων ευρωπαϊκών ερευνητικών προσπαθειών, κάποιες από τις οποίες αναφέρθηκαν προηγουμένως, η δημιουργία εθνικών κανονισμών αλλά και η ιδιαιτερότητα των ευρωπαϊκών αγορών, υπήρξαν η αιτία της αποδοχής και της συνεχώς αυξανόμενης χρήσης του ΑΣΣ όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1



Σχήμα 5.1 Χρήση του ΑΣΣ ως ποσοστό της συνολικής παραγωγής σκυροδέματος στη Σουηδία, Δανία και Ολλανδία [2].

Όπως φαίνεται στο γράφημα το ΑΣΣ χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στο χώρο της προκατασκευής, ενώ τα ποσοστά χρήσης του στα εργοστάσια έτοιμου σκυροδέματος είναι πιο χαμηλά. Αυτή η διαφοροποίηση συμβαίνει λόγω των ιδιαίτερων αναγκών παρασκευής του ΑΣΣ. Επειδή είναι σκυροδέμα ειδικών χαρακτηριστικών, οι ανάγκες ελέγχου της διακύμανσης της ποιότητας των πρώτων υλών του κύκλου παραγωγής αλλά και του τελικού

προϊόντος είναι αυξημένες. Συνεπώς, είναι ευκολότερο να ελεγχούν όλοι αυτοί οι παράγοντες στα εργοστάσια προκατασκευής, όπου οι συνθήκες παρασκευής και διάστρωσης είναι συγκεκριμένες.

Σε Ελληνικό επίπεδο η χρήση του ΑΣΣ είναι περιορισμένη. Οι εταιρείες ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ, LAFARGE και ΕΤ ΜΠΕΤΟΝ έχουν παρασκευάσει ΑΣΣ διαφορετικών κατηγοριών αντοχής, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρκετά ειδικά τεχνικά έργα ανά τον Ελλαδικό χώρο (καταστρώματα γεφυρών, κοιτοστρώσεις, επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος κλπ). Η εταιρεία ετοιμού σκυροδέματος ΤΕΚΤΩΝ ΑΕ που δραστηριοποιείται στην περιοχή της Θράκης επίσης διαθέτει στην αγορά ΑΣΣ κατηγοριών αντοχής C25/30 και C30/37, ενώ μέχρι το 2009 μόνο μία εταιρεία προκατασκευής είχε εισάγει το ΑΣΣ στη γραμμή παραγωγής της. Πάντως διαφαίνεται μία ελαφρά αυξητική τάση για το ενδιαφέρον παραγωγής και διάθεσης του ΑΣΣ, κυρίως από εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο της προκατασκευής.

5.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΣΣ ΣΕ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ.

Το ΑΣΣ δύναται να χρησιμοποιηθεί στις επισκευές επί μέρους δομικών στοιχείων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα σε διάφορες περιπτώσεις. Για παράδειγμα στην επισκευή υποστυλωμάτων με μανδύες, όπου ο οπλισμός είναι ιδιαίτερα πυκνός και δεν είναι εφικτή η δόνηση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ΑΣΣ το οποίο θα πληρώσει τους οπλισμούς αυτούς χάρη στις ρεολογικές του ιδιότητες. Όσον αφορά τα βιομηχανικά δάπεδα η χρήση του ΑΣΣ θα απέφερε σημαντικά πλεονεκτήματα λόγω της αυξημένης αντοχής του σε φθορά και στην ικανότητά του να αυτοεπιπεδώνεται. Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην επισκευή δοκών και πλαισίων οδογεφυρών, γεφυρών, θεμελιώσεων, υδραυλικών έργων και προβλητών.

Η χρήση του ωστόσο δεν είναι τόσο διαδεδομένη και σε αυτόν το τομέα κυρίως λόγω της σχετικής άγνοιας ύπαρξής του και των οφελών του από τους κατασκευαστές, του σχετικά υψηλότερου κόστους από το συμβατικό, της περίπτωσης συμπύκνωσης κατά τη μεταφορά λόγω πιθανής καθυστέρησης και την ανάγκη για στεγανότερους ξυλότυπους που συχνά δεν είναι εφικτή στην ελληνική κατασκευαστική πραγματικότητα (Εικόνες 5.1, 5.2).



Εικόνες 5.1, 5.2 Παραδείγματα μη στεγανότητας ξυλότυπων .

Παράδειγμα της χρήσης ΑΣΣ σε επισκευή στην Ελλάδα αποτελεί η περίπτωση της ενίσχυση του ισογείου και 1^{ου} ορόφου διώροφης κατασκευής [3]. Η σκυροδέτηση έγινε σε 4 στάδια.

- Στο πρώτο στάδιο σκυροδετήθηκαν τα υποστηλώματα και τα τοιχεία του ισογείου, όπως φαίνεται στις Εικόνες 5.3, 5.4, 5.5



Εικόνες 5.3, 5.4, 5.5 Πρώτο στάδιο επισκευής διώροφης κατασκευής με χρήση ΑΣΣ [4].

- Στο δεύτερο στάδιο σκυροδετήθηκαν οι δοκοί και τα μπαλκόνια του 1^{ου} ορόφου όπως φαίνεται στις Εικόνες 5.6, 5.7, 5.8, 5.9



Εικόνες 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 Δεύτερο στάδιο επισκευής διώροφης κατασκευής με χρήση ΑΣΣ [4].

- Στο τρίτο στάδιο σκυροδετήθηκαν τα υποστυλώματα του 1^{ου} ορόφου όπως φαίνεται στις Εικόνες 5.10, 5.11



Εικόνες 5.10, 5.11 Τρίτο στάδιο επισκευής διώροφης κατασκευής με χρήση ΑΣΣ [4].

- Στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο σκυροδετήθηκαν οι δοκοί του 2^{ου} ορόφου όπως δείχνουν οι Εικόνες 5.12, 5.13



Εικόνες 5.12, 5.13 Τέταρτο στάδιο επισκευής διώροφης κατασκευής με χρήση ΑΣΣ [4].

Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης ΑΣΣ σε επέμβαση σε υφιστάμενο κτίριο στην Ελλάδα αποτελεί η ενίσχυση θεμελίωσης οικοδομής στην Κυψέλη Αττικής, κατασκευής στα τέλη της δεκαετίας του '70, που αποτελείται από υπόγειο και ισόγειο με ημιώροφο (Εικόνες 5.14, 5.15) [3]. Στην επισκευή αυτή δεν υπήρχε δυνατότητα σκυροδέτησης με πρέσσα και δεν έπρεπε να κλείσει η κυκλοφορία του δρόμου λόγω σημαντικού κυκλοφοριακού φόρτου και διέλευσης μέσου μαζικής μεταφοράς.



Εικόνες 5.14, 5.15 Οικοδομή στην Κυψέλη Αττικής της οποίας η θεμελίωση ενισχύθηκε με χρήση ΑΣΣ [4].

Λόγω των δυσχερειών που προαναφέρθηκαν επιλέχθηκε το ΑΣΣ για να δοθεί λύση. Έγινε διάνοιξη 2 οπών στην πλάκα οροφής υπογείου και δημιουργήθηκε μία διάταξη από σέσουλες από το πεζοδρόμιο προς τις οπές και με αυτόν τον τρόπο έγινε η σκυροδέτηση. Η κατηγορία ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκε ήταν C25/30, ο χρόνος εκφόρτωσης της βαρέλας κυμαινόταν από 8 – 12 λεπτά, η συνολική διαδικασία σκυροδέτησης των 100 m³ σκυροδέματος διήρκησε 3 ώρες και 30 λεπτά και δεν παρεμποδίστηκε καθόλου η κυκλοφορία του δρόμου (Εικόνες 5.16 – 5.21).



Εικόνες 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21 Διαδικασία ενίσχυσης οικοδομής στην Κυψέλη Αττικής με χρήση ΑΣΣ [4].

Τέλος, σε μια άλλη περίπτωση επισκευής υποστυλωμάτων [3], επιλέχθηκε το ΑΣΣ λόγω της δυσκολίας πρόσβασης που οδήγησε στη σκυροδέτηση από ένα μόνο σημείο και του πυκνού οπλισμού που καθιστούσε αδύνατη τη διαδικασία της δόνησης (Εικόνες 5.22-5.25).

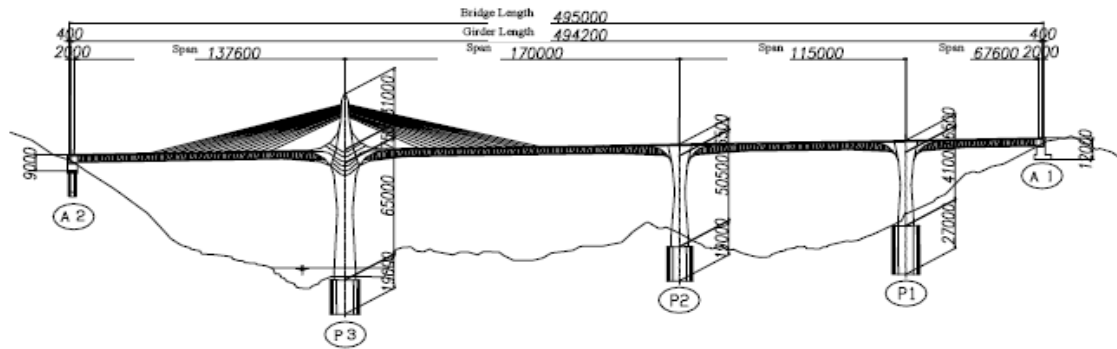


Εικόνες 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 Ενίσχυση υποστυλώματος (μανδύες) και θεμελίωσης με χρήση ΑΣΣ [4].

5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΣΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ.

5.3.1 Γέφυρα Ritto Bridge.

Η γέφυρα η οποία κατασκευάστηκε στο New Meishin ως τμήμα αυτοκινητοδρόμου στο Ritto της Ιαπωνίας, είναι συνδυασμός καλωδιωτής και γέφυρας σε δοκούς (Σχήμα 5.2). Το υψηλότερο βάθρο της έχει ύψος 65 μέτρα. Το υψηλής αντοχής σκυρόδεμα και οπλισμοί, τα οποία σχεδιάστηκαν με όριο αναλογίας 50 MPa και διαρροής 685 MPa αντίστοιχα, χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή με στόχο την αποτελεσματική αντίστασή της στους σεισμούς. Το ΑΣΣ επιλέχθηκε για να εξασφαλιστεί ικανοποιητική εργασιμότητα κατά την κατασκευή των βάθρων.



Σχήμα 5.2 Σχηματική απεικόνιση της γέφυρας Ritto στην Ιαπωνία [5].

Οι προδιαγραφές του ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκε στη γέφυρα φαίνονται στον Πίνακα 5.1 σύμφωνα με τις υποδείξεις του JSCE and Japan Highway Public Corporation [6].

Πίνακας 5.1 Προδιαγραφές του υψηλής αντοχής ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκε στη γέφυρα Ritto στην Ιαπωνία [7].

Testing Items	Unit	Spec.
Fresh concrete		
Slump Flow	(mm)	600 or 650
Flow time until 500mm	(sec.)	3 to 15
U type filling capacity	(mm)	min.300
V type Funnel flow time	(sec.)	8 to 15
Air content	(%)	4.5
Chloride ion content	(kg/m ³)	max.0.3
Hardened concrete		
Compressive strength	MPa	50

Στα εργαστήρια παρασκευάστηκαν μείγματα ΑΣΣ και έγιναν δοκιμές μέχρι να αναπτυχθεί η τελική οριστική σύνθεση. Η τελική σύνθεση σκυροδέματος που προέκυψε καθώς και τα αποτελέσματα των δοκιμών νεπού και σκληρυμένου σκυροδέματος που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.2 και 5.3 αντίστοιχα.

Το ολοκληρωμένο έργο απεικονίζεται στην Εικόνα 5.26.

Πίνακας 5.2 Η τελική σύνθεση του ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκε στη γέφυρα Ritto στην Ιαπωνία [7].

Mix proportion (In-house trial mix)										
Design Compressive Strength (MPa)	Water Cement Ratio (%)	Maximum Aggregate size (mm)	Slump Flow (mm)	Air Content (%)	Unit weight(kg/m ³)					
					Cement	Water	Fine Aggregate	Coarse Aggregate		HRWR
								20mm	13mm	
50	33.0	20	600 650*	4.5	470	155	868	505	336	6.11

Πίνακας 5.3 Αποτελέσματα δοκιμών του νωπού και σκληρυμένου ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκε στη γέφυρα Ritto στην Ιαπωνία [7].

Test result									
Testing Time from Mixing Complete	Slump Flow (mm)	Flow Time 500mm (sec.)	Flow Time Stop (sec.)	U Type Filling (mm)	V Type Funnel (sec.)	Air Content (%)	Concrete Temp (degree Centigrade)	Compressive Strength (MPa)	
								7days	28days
5	630	6.1	34.0	338	11.8	4.3	19.0	41.1	74.0



Εικόνα 5.26 Άποψη της γέφυρας στο New Meishin, Ritto της Ιαπωνίας [8].

5.3.2 Γέφυρα Higashi-Oozu.

Ο φορέας του καταστρώματος της γέφυρας Higashi-Oozu στην Ιαπωνία αποτελείται από προκατασκευασμένες, προεντεταμένες κύριες δοκούς σχήματος T. Για τις δοκούς αυτές, στην αρχή της κατασκευής σχεδίαζαν να χρησιμοποιήσουν συμβατικό σκυρόδεμα κάθισης 80 mm. Ωστόσο συνειδητοποίησαν πως το συμβατικό σκυρόδεμα δεν ήταν ικανό να διαμορφώσει ικανοποιητικά την επιφάνεια των δοκών λόγω των διαστάσεών τους. Επίσης

απαιτούταν ο περιορισμός του θορύβου των δονήσεων ώστε να μειωθεί η ενόχληση στην περιοχή του εργοταξίου. Έτσι λοιπόν η μοναδική λύση για το έργο αυτό ήταν η χρήση ΑΣΣ για την κατασκευή των δοκών.

Στον Πίνακα 5.4 φαίνεται η σύνθεση του ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκε, το οποίο ήταν τύπου κονιάς με προσθήκη ιπτάμενης τέφρας (περιεκτικότητας 20% του συνολικού κονιάματος).

Πίνακας 5.4 Η σύνθεση του ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκε στη γέφυρα Higashi-Oozu στην Ιαπωνία [9].

W/B (%)	F/B (%)	Unit weight (kg/m ³)					SP (B*%)
		Water	Binder		Fine Aggregate	Coarse Aggregate	
			Cement	Fly Ash			
30.5	20	175	457	118	840	744	1.0

Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ποιοτικών ελέγχων του σκυροδέματος. Τα αποτελέσματα τόσο του νωπού σκυροδέματος όσο και της δοκιμής θλίψης είναι σχετικά σταθερά και ικανοποιούν τα κριτήρια που στόχευαν οι κατασκευαστές κατά το σχεδιασμό.

Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα ποιοτικών ελέγχων του ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκε στη γέφυρα Higashi-Oozu στην Ιαπωνία [9].

	Fresh Concrete Test			Compressive Strength (MPa)			
	Slump Flow (mm)	V Type Funnel (sec.)	Air Content (%)	At Stripping	At the Age of 1 Day	7 Days	28 Days
Target value	650	12	2.0	30MPa or more		50MPa or more	
Number of Data	39	39	39	39	19	35	34
Mean Value	665	12.1	1.8	41.2	39.7	62.4	71.0
Maximum Value	695	14.0	2.5	54.2	44.5	69.5	80.5
Minimum Value	620	9.0	1.2	33.5	33.5	58.0	64.9
Standard Deviation	20	1.5	0.3	5.5	2.7	3.0	4.7

Στον Πίνακα 5.6 συγκρίνονται τα δύο ενδεχόμενα χρήσης συμβατικού σκυροδέματος και ΑΣΣ όσον αφορά το κόστος τους. Για το ΑΣΣ, το κόστος των υλικών αυξήθηκε κατά 4%, το κόστος εργασίας μειώθηκε 33% και το ολικό μειώθηκε 7%. Οι λόγοι που οδήγησαν στη χαμηλότερη τιμή του ΑΣΣ είναι η χρήση της σχετικά φθηνής Ιπτάμενης Τέφρας και η κατασκευή του ΑΣΣ σε εργοστάσιο προεντεταμένου σκυροδέματος. Τα έξοδα κατασκευής των δοκιμίων που ελέγχθηκαν δεν λήφθηκαν υπ' όψιν στον υπολογισμό αλλά σταδιακά μπορούν να μειωθούν.

Πίνακας 5.6 Σύγκριση τιμών ΑΣΣ και συμβατικού σκυροδέματος για την περίπτωση της γέφυρας Higashi-Oozu στην Ιαπωνία [10].

	Conventional Concrete	SCC
Material	100	104.1
Labor	100	67.2
Total	100	92.5

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως οι δοκοί σχήματος T από ΑΣΣ που κατασκευάστηκαν στο εργοστάσιο προεντεταμένου σκυροδέματος που είχε δημιουργηθεί στα πλαίσια του έργου απέδωσαν οικονομική λύση, καθώς ικανοποιούνταν κάποιες συνθήκες. Ωστόσο, στην Ιαπωνία το ΑΣΣ εξακολουθεί να θεωρείται ως ένα σκυρόδεμα ειδικών απαιτήσεων με αυξημένο κόστος παραγωγής. Παρόλα αυτά, εκτός από τα πολλαπλά πλεονεκτήματα που έχει το ΑΣΣ θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και άλλες αξίες πέρα από την τιμή με σκοπό την διάδοσή του, όπως η αντοχή του στο χρόνο και η μικρότερη, συγκριτικά με το συμβατικό σκυρόδεμα, περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Η τελική μορφή των κυρίων δοκών του καταστρώματος της γέφυρας Higashi-Oozu παρουσιάζονται στις Εικόνες 5.27, 5.28.



Εικόνες 5.27, 5.28 Τελική μορφή των δοκών σχήματος T του καταστρώματος της γέφυρα Higashi-Oozu [5].

5.3.3 Κέντρο Τέχνης της Meudon, Γαλλία.

Το Κέντρο Τέχνης της Meudon (Εικόνα 5.29) αποτελεί ένα αρχιτεκτονικό αριστούργημα και σχεδιάστηκε από τον Jacques Ripault. Αποτελείται από ένα auditorium 450 θέσεων, μία υπερυψωμένη σκηνή σε ύψος 15 μέτρων, το φουαγιέ της κυρίας εισόδου και αίθουσες γραφείων. Το auditorium έχει κατασκευαστεί από δύο κυκλικά τοιχεία σκυροδέματος ύψους 15 μέτρων (Εικόνα 5.30). Το εσωτερικό τοιχείο έχει ακτίνα 10.7 m και πάχος 30 cm. Ο χώρος μεταξύ των δύο τοιχείων χρησιμοποιείται σαν διάδρομος πρόσβασης κοινού. Τα τοιχεία σκυροδετήθηκαν σε τμήματα μήκους 20 m και ύψους 8.10 m. Η επιλογή του ΑΣΣ ήταν η λύση που δόθηκε σε αυτό το έργο, συνολικού προϋπολογισμού 4.26 εκ.

ευρώ, καθώς διευκόλυνε τη διαδικασία σκυροδέτησης και συντόμευσε το χρόνο κατασκευής [11].



Εικόνα 5.29 Άποψη του Κέντρου Τέχνης της Meudon [11].



Εικόνα 5.30 Τα δύο ομόκεντρα τοιχεία στο Κέντρο Τέχνης της Meudon κατά την κατασκευή τους [11].

5.3.4 Σήραγγα στη περιοχή Grind, Σουηδία.

Η Σουηδία έχει συντελέσει σημαντικά αποτελώντας πρωτοπόρο χώρα στην ανάπτυξη και στη χρήση του ΑΣΣ στην Ευρώπη και πολλά έργα, κυρίως οδικά, έχουν κατασκευαστεί με αυτόν τον τύπο σκυροδέματος.

Το συγκεκριμένο τεχνικό έργο βρίσκεται στη περιοχή Grind, βόρεια της πόλης Udevalla, στη δυτική ακτή της Σουηδίας. Αποτελείται από δύο παράλληλες σήραγγες μήκους 160 μέτρων. Η αρχική υποστηρικτική στρώση των τοιχωμάτων τους κατασκευάστηκε από ινοπλισμένο σκυρόδεμα (με μεταλλικές ίνες), ενώ ακολούθησε στεγανοποίηση με μεμβράνη PVC και τελική επένδυση με προκατασκευασμένα στοιχεία από αυτοσυμπκνούμενο σκυρόδεμα (Εικόνα 5.31). Η ευρεία χρήση αλατιού στους παγωμένους δρόμους της Σουηδίας, είχε σαν αποτέλεσμα αυξημένες απαιτήσεις για αντοχή σε κύκλους ψύξης-απόψυξης αλλά και ανθεκτικότητα σε εξωτερικούς παράγοντες για το σκυρόδεμα. Η σύνθεση του ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκε στο έργο φαίνεται στον Πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7 Σύνθεση ΑΣΣ που χρησιμοποιήθηκε στις σήραγγες στην περιοχή Grind στη Σουηδία [11].

Τσιμέντο (Cementa Anlagging)	400 kg
Ασβεστολιθικό φίλερ ($D_{max} = 0,5 \text{ mm}$)	160 kg
Φυσικά αδρανή 0 – 8 mm	730 kg
Θραυστά αδρανή 8 – 16 mm	850 kg
Υπερρευστοποιητής κατά CE (1% κ.β. τσιμέντου)	4 kg
Αερακτικό πρόσμικτο	0,4 kg
Λόγος N/T	0,4
Εξάπλωση	670 – 750 mm
Περιεκτικότητα σε αέρα	Περίπου 5%



Εικόνα 5.31 Επένδυση σήραγγας με προκατασκευασμένα στοιχεία από ΑΣΣ στην περιοχή Grind στη Σουηδία [11].

5.3.5 Μελέτη Sodra Lanken, Σουηδία.

Το Sodra Lanken αποτελεί το μεγαλύτερο έργο υποδομής στη Σουηδία. Αποτελείται από έξι χιλιόμετρα αυτοκινητοδρόμου τεσσάρων λωρίδων που ενώνει τα νότια τμήματα της Στοκχόλμης. Επίσης περιλαμβάνει επτά σημαντικούς κόμβους με γέφυρες, τοίχους αντιστήριξης, εισόδους σηράγγων και σήραγγες. Το συνολικό μήκος του αυτοκινητοδρόμου που βρίσκεται σε σήραγγα είναι 16,6 χιλιόμετρα. Ο συνολικός όγκος σκυροδέματος που απαιτήθηκε ήταν 225.000 κυβικά μέτρα.

Το ΑΣΣ αρχικά έχει χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές όπου η δόνηση καθίσταται δύσκολη, σε έργα που απαιτείται υψηλή αισθητική, σε επένδυση βράχων με σκυρόδεμα, σε κατασκευές υπόγειων υποδομών, σε βραχώδεις εισόδους σηράγγων, σε τοίχους αντιστήριξης με αρνητική κλίση και σε βοηθητικές κατασκευές.

Στην μελέτη του έργου Sodra - Lanken, σε ένα σημείο της τα δύο παράλληλα τούνελ δεν είχαν ισχυρή βραχώδη επένδυση για περίπου 20 μέτρα. Ο μόνος τρόπος για να σταθεροποιηθούν οι σήραγγες με την ελλιπή και κατά τμήματα λεπτή επένδυση από βράχο ήταν η κατασκευή «υποστηρικτικών» τόξων σκυροδέματος. Ο στόχος ήταν να κατασκευαστεί μία δυνατή και σταθερή κατασκευή, με επαρκή αντοχή έναντι των εδαφικών και υδραυλικών φορτίσεων και με καλή ανθεκτικότητα. Αποφασίστηκε λοιπόν ότι το ΑΣΣ ήταν κατάλληλο για αυτήν την περίπτωση, λόγω της πολυπλοκότητας της κατασκευής, του πυκνού οπλισμού που προέκυψε και της ανώμαλης επιφάνειας διάστρωσης που προσέφερε ο βράχος. Επίσης τα καλούπια της οροφής έπρεπε να εφαρμόζουν με τα καλούπια της βάσης με τέτοιο τρόπο που θα ήταν αδύνατον στους εργάτες να μπορούν να δονήσουν.

Από προηγούμενη χρήση του ΑΣΣ στο έργο αυτό τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά. Η άντληση του σκυροδέματος γινόταν από μία ή περισσότερες αντλίες τοποθετημένες στα καλούπια. Ένα χαλύβδινο πάμα έπειτα έκλεινε τα ανοίγματα στις βαλβίδες. Ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής ήταν η καλή ομοιογένεια και η σταθερή επαφή με τα άνω τμήματα των επιφανειών των βράχων. Τόσο σταθερή επαφή δεν θα ήταν εφικτή με τον κανονικό τρόπο άντλησης και δόνησης σε ανοίγματα τα οποία έπειτα θα έκλειναν στην πρόοδο του έργου.

Σε όλες τις παρτίδες σκυροδέματος που έφταναν στο έργο γινόταν δοκιμή εξάπλωσης και σε κάθε έξι παρτίδες ελεγχόταν η θερμοκρασία του μείγματος. Στις πρώτες τρεις και έπειτα σε κάθε έξι παρτίδες γινόταν έλεγχος της περιεκτικότητας σε αέρα. Η σύνθεση του σκυροδέματος είχε ως εξής [5]:

- Τσιμέντο χαμηλών αλκαλικών και υψηλής ανθεκτικότητας στα θειικά: 440 kg/m³
- Ασβεστολιθική παιπάλη: 160 kg/m³
- Φυσικά στρογγυλεμένα αδρανή 0-8 mm: 880 kg/m³
- Χονδρόκοκκα αδρανή, θραυσμένα 8-16 mm: 720 kg/m³
- Λόγος νερού προς τσιμέντο: 0.38 (+/- 0.01)
- Αντοχή κυβικών δοκιμίων 28 ημερών: 70-80 MPa

- Διακύμανση των τιμών δοκιμής εξάπλωσης: 720 mm - 770 mm με τιμές σχεδίασης 740 mm
- Η περιεκτικότητα σε αέρα διατηρήθηκε σε ποσοστά 4-7%

Στην αρχή κάθε φάσης παραγωγής οι τιμές των δοκιμών εξάπλωσης έτειναν προς τα κάτω φτάνοντας τιμές κάτω από 450 mm - 500 mm, παρόλο που ο χρόνος μεταφοράς δεν υπερέβαινε τα 10 -20 λεπτά. Η εξήγηση δόθηκε σε μία αστάθεια του τσιμέντου. Το πρόβλημα λύθηκε με τη χρήση ρευστοποιητή (Glenium 51) στο όχημα ανάδευσης. Με μισό λίτρο περίπου ρευστοποιητή για κάθε κυβικό μέτρο σκυροδέματος οι τιμές της εξάπλωσης βελτιώθηκαν κατά 200 mm περίπου. Αν δεν επιτυγχανόταν το επιθυμητό αποτέλεσμα στην πρώτη φάση επαναλαμβανόταν η διαδικασία. Περίπου το 30% των παρτίδων σκυροδέματος που έφταναν στο έργο χρειάζονταν διόρθωση.

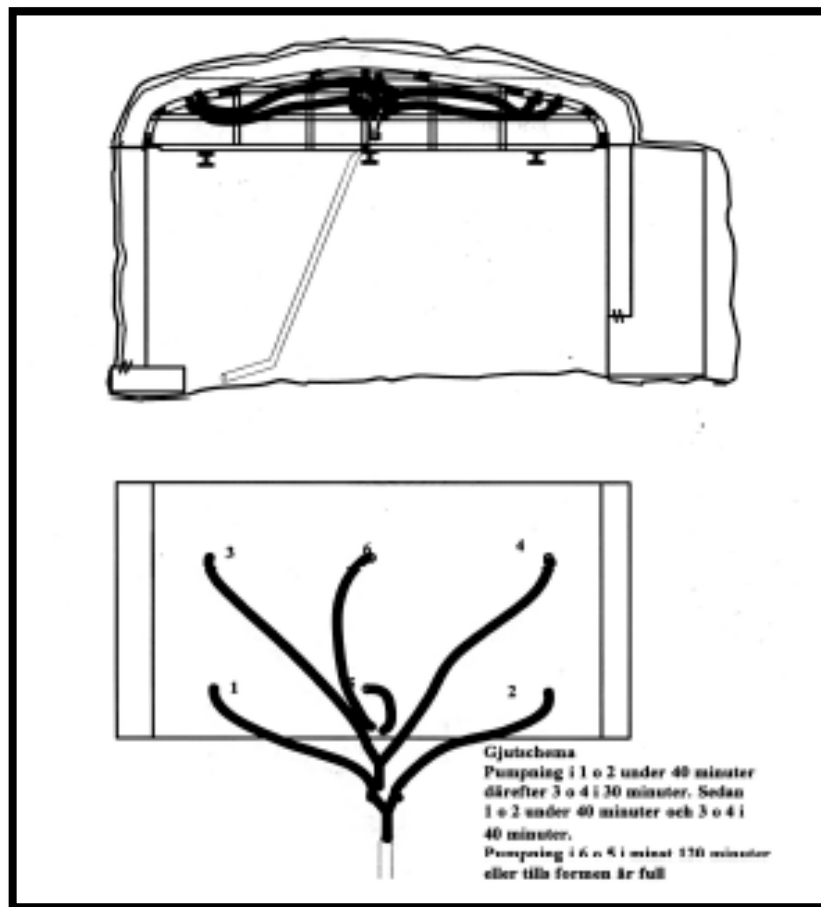
Για να επιτευχθεί η συνεχής άντληση του σκυροδέματος τα οχήματα ανάδευσης παρατάσσονταν το ένα δίπλα στο άλλο όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.32. Με την μέθοδο αυτή δινόταν η ευκαιρία το φορτηγό που κατέφθανε αργότερα να αντλεί 300 λίτρα περίπου στη ροή του προηγούμενου, στο οποίο οι δοκιμές είχαν πραγματοποιηθεί. Έπειτα γινόταν η δειγματοληψία και τα δείγματα που λαμβάνονταν ήταν πιο αντιπροσωπευτικά του τελικού προϊόντος που χρησιμοποιούταν στο έργο αποφεύγοντας τον κίνδυνο το δείγμα να έχει υποστεί σημαντική πρόωρη συμπίκνωση. Επίσης οι δοκιμές ελέγχου εκτελούνταν την ώρα που ακόμη αντλούσε σκυροδέμα το προηγούμενο φορτηγό, χωρίς να χάνεται χρόνος αφού μετά το πέρας των δοκιμών ξεκινούσε η άντληση στην υπάρχουσα ροή.



Εικόνα 5.32 Η παράταξη των οχημάτων για συνεχή άντληση στο έργο Sodra Lancken [5].

Το δεύτερο και δυσκολότερο κομμάτι του έργου ήταν η σκυροδέτηση των τόξων στα άνω τμήματα της σήραγγας. Κάθε τόξο είχε άνοιγμα 8 έως 9 μέτρα και εκτεινόταν σε μήκος 12 μέτρων περίπου. Οι δοκιμές ελέγχου ήταν ίδιες με αυτές που πραγματοποιούνταν κατά τη σκυροδέτηση των τοιχείων αλλά οι τιμές σχεδιασμού για τη δοκιμή της εξάπλωσης αυτή τη φορά έπρεπε να ξεπεράσουν τα 750 mm. Η διάταξη των βαλβίδων φαίνεται στο Σχήμα 5.3. Τέσσερις βαλβίδες τοποθετήθηκαν ένα μέτρο πάνω από την αρχή του τόξου και 2 μέτρα από τα πλαϊνά τοιχεία. Ακόμη δύο βαλβίδες τοποθετήθηκαν στο υψηλότερο σημείο στη μέση του τόξου. Στην αρχή κάθε φάσης ξεκινούσε η σκυροδέτηση από τις πρώτες δύο κάτω βαλβίδες

για περίπου 40 λεπτά, μετά στις άλλες δύο κάτω βαλβίδες για επίσης 40 λεπτά. Συνεχιζόταν αυτή η εναλλαγή έως ότου φτάσει το σκυρόδεμα το 1.5 μέτρο σε ύψος, όπου η ροή μεταφερόταν στις μεσαίες βαλβίδες στο ανώτερο σημείο του τόξου.



Σχήμα 5.3 Απεικόνιση της διάταξης των βαλβίδων τροφοδοσίας [5].

Στα τελικά στάδια της σκυροδέτησης δόθηκε περαιτέρω προσοχή στην αποσυναρμολόγηση των ξυλοτύπων λόγω της πιθανής ανάπτυξης αυξημένων πιέσεων του σκυροδέματος από την τέλεια πλήρωση των ξυλοτύπων. Η άντληση του σκυροδέματος σταματούσε μόλις το σκυρόδεμα άρχισε να ρέει από σωλήνες υπερχειλίσης οι οποίοι έφταναν σε ψηλότερα σημεία από την κατασκευή στην βραχώδη οροφή της σήραγγας.

Βιβλιογραφικές Αναφορές 5^{ου} Κεφαλαίου

- [1] Hayakawa M. (1993): “Development and Application of super workable concrete” In Special Concretes – Workability and Mixing, BArtos P.J.M and Cleland D.J. (Eds) E&FN Spon, London, UK (1993) pp.183-190.
- [2] Glavind M, Nielsen C.V., Gredsted L. And Hansen C.N. ”SCC – A technical

- breakthrough and a success for the Danish concrete industry” In Proceedings of the fifth international Symposium on SCC, Ghent, Belgium, (2007), RILEM publications, Cachan, France, pp. 993-999.
- [3] Κολιόπουλος Αριστείδης, Σουγλήρη Ιωάννα: «Το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (SCC) στις Ενισχύσεις-Επισκευές Κατασκευών», «17^ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών», Πάτρα, Φεβρουάριος 2011.
- [4] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, library.tee.gr, Ημερίδα ΕΤΣ/ΤΕΕ Αθήνα 2008, Χρήστος Κ. Βογιατζής, Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα: Εφαρμογές- Λύσεις & Προβλήματα.
- [5] Masahiro Ouchi, Sada-aki Nakamura, Thomas Osterberg, Sven-Erik Hallberg, Myint Lwin 2003 ISHPC: “APPLICATIONS OF SELF-COMPACTING CONCRETE IN JAPAN, EUROPE AND THE UNITED STATES”.
- [6] Japan Society of Civil Engineers: Concrete Library 93, High-fluidity Concrete Construction Guideline 1999.
- [7] Nakajima Y., Nakazono A., Mori S., .High Strength Self-Compacting Colored Concrete for Ritto Bridge Substructure (New Meishin Expressway). Proceedings of the first fib Congress 2002, pp.137-146. October, 2002.
- [8] Downloadable by: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:OmiOdori_bridge02.jpg
- [9] Taniguchi H., Tanaguchi K., Uechi H., Akizuki S. Fabrication of Prestressed Concrete Composite Girders by Self-Compacting Concrete using Fly Ash, Technical Report of Sumitomo Construction Co., Vol. 120, 2002.
- [10] Okamura H., Maekawa K., Ozawa K., High-Performance Concrete, Gihodo Publishing, 1993.
- [11] M. Corradi, R.S. Khurana, Β. Κροκίδης, Θ. Παναγιωτίδης: «Οικοδομώντας Ανθεκτικές Κατασκευές με Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα», 14ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Κως 2003.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Το ΑΣΣ αποτελεί ένα σκυρόδεμα ειδικών απαιτήσεων, σχεδιασμένο κατάλληλα ώστε να έχει βελτιωμένες ρεολογικές ιδιότητες. Δύναται να πληρώνει οποιαδήποτε διατομή ακόμη και με πυκνό οπλισμό απουσία εξωτερικών δυνάμεων (δόνηση) παρά μόνο με το ίδιο βάρος του, διατηρώντας τη σύνθεσή του σε όλα τα στάδια παραγωγής, μεταφοράς και χύτευσής του
- Έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον σε παγκόσμιο επίπεδο τις τελευταίες δεκαετίες, όχι μόνο για χρήση, αλλά περαιτέρω για μελέτη και ανάπτυξη του ιδιαίτερου αυτού υλικού. Στην Ελλάδα η χρήση του δεν είναι τόσο διαδεδομένη, αν και τα τελευταία χρόνια κινεί το ενδιαφέρον όλο και περισσότερων ερευνητών και κατασκευαστών
- Τα πλεονεκτήματά του χρήσης το καθιστούν χρήσιμο σε ορισμένες δύσκολες περιπτώσεις και καλείται να δώσει λύσεις σε προβλήματα όπως αδύνατη ή ασύμφορη δόνηση, σκυροδέτηση πολύπλοκων ή με πυκνό οπλισμό διατομών, περιπτώσεις κατασκευών σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου υπάρχει ανάγκη για ταχεία σκυροδέτηση και με χαμηλά επίπεδα θορύβου. Επιπλέον ελαχιστοποιούνται οι επιδιορθώσεις λόγω κακής συμπίκνωσης και είναι κατάλληλο για την απόδοση περίπλοκων αρχιτεκτονικών απαιτήσεων όπως αρχιτεκτονικά ανάγλυφα από σκυρόδεμα
- Δημιουργούνται όμως και νέες απαιτήσεις και προϋποθέσεις για τη χρήση του και αυστηρά κριτήρια ποιοτικού ελέγχου σε όλα τα στάδια παραγωγής, μεταφοράς και χύτευσης. Είναι αναγκαία η κατάλληλη κατάρτιση του προσωπικού και η εξοικείωσή του με χημικά πρόσμικτα, η αναβάθμιση των υλικοτεχνικών υποδομών και η χρήση στεγανότερων ξυλοτύπων καθώς και ο πιο προσεκτικός σχεδιασμός τους. Επίσης το ΑΣΣ παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία σε διακυμάνσεις των ιδιοτήτων ορισμένων συστατικών που εμπεριέχει
- Για τον έλεγχο των βελτιωμένων ρεολογικών του ιδιοτήτων απαιτούνται νέες μέθοδοι με διαφορετικές συσκευές από αυτές του συμβατικού σκυροδέματος και οι τιμές που εξάγονται από τις δοκιμές αυτές θα πρέπει να ανήκουν στο εύρος τιμών αποδοχής του ΑΣΣ ή στις ανάλογες απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής
- Οι μηχανικές ιδιότητες του ΑΣΣ σε σύγκριση με ένα ανάλογης ποιότητας συμβατικό σκυρόδεμα στην πλειοψηφία συμπίπτουν ή είναι ελαφρώς βελτιωμένες, καθιστώντας το ανθεκτικό και κατάλληλο για οποιαδήποτε κατασκευή
- Το κόστος της παρασκευής του ΑΣΣ είναι αυξημένο, αν ληφθούν υπόψη όμως παράγοντες όπως ο χρόνος σκυροδέτησης, το μειωμένο προσωπικό, η αποφυγή επισκευών λόγω κακής συμπίκνωσης και η ανθεκτικότητά του με την πάροδο του χρόνου η διαφορά του κόστους μειώνεται σημαντικά. Επίσης για σκυροδέματα υψηλότερης αντοχής το κόστος συμπίπτει επειδή αυξάνεται η περιεκτικότητα λεπτών

υλικών στο συμβατικό, πράγμα που ισχύει στο ΑΣΣ και είναι σημαντικός παράγοντας όσον αφορά το κόστος του

- Τέλος το ΑΣΣ δεν είναι ικανό να αντικαταστήσει πλήρως το συμβατικό σκυρόδεμα, είναι ένα σκυρόδεμα ειδικών απαιτήσεων και ιδιοτήτων και η χρήση του μπορεί να δώσει λύση σε συγκεκριμένες κατασκευαστικές ανάγκες χάρη στις βελτιωμένες ιδιότητές του, για τις οποίες και έχει σχεδιαστεί