

# Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα: Μύθοι και αλήθειες για ένα καινοτόμο τύπο σκυροδέματος. Εφαρμογές στην Ελληνική πραγματικότητα

*Κ. Κ. Σίδερης*

*Επικ. Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης*

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σκυρόδεμα αποτελεί σήμερα το πλέον διαδεδομένο παγκοσμίως δομικό υλικό, λόγω της ευκολίας παραγωγής του και κυρίως της ευκολίας διάστρωσής του στα διάφορα δομικά στοιχεία των κατασκευών. Χαρακτηρίζεται όμως και από μία ιδιαιτερότητα, μοναδική μεταξύ όλων των υλικών δομής: η ποιότητα του σκυροδέματος που παραγγέλνουμε και παραλαμβάνουμε όταν έρχεται η βαρέλα στο έργο, δεν μας εγγυάται ταυτόχρονα ότι το σκυρόδεμα μετά τη διάστρωσή του θα εξακολουθήσει να έχει την ίδια ποιότητα: ένα σκυρόδεμα C20/25 που παραγγέλνουμε, παραλαμβάνουμε και ελέγχουμε σύμφωνα με τον ΚΤΣ-97 δεν μας εγγυάται ότι και μετά τη διάστρωσή του θα εξακολουθήσει να ανήκει στην ίδια κατηγορία. Αυτό, γιατί πέρα των διαφορετικών συνθηκών συντηρήσεως μεταξύ του έργου και των συμβατικών δοκιμών (βάση των οποίων χαρακτηρίζουμε το σκυρόδεμα) και της πιθανής –κι ελπίζουμε αποφευκτέας- περίπτωσης της προσθήκης επιτόπου νερού από το συνεργείο, μετά τη χύτευση ακολουθεί η συμπύκνωση του σκυροδέματος, η διαδικασία δηλαδή εκείνη που αποσκοπεί στο να απομακρυνθεί ο αέρας που έχει εγκλωβιστεί στο εσωτερικό της μάζας του υλικού κατά την παραγωγή και τοποθέτησή του. Η σημασία της συμπύκνωσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος είναι πολύ σημαντική, γιατί κατ' αυτό τον τρόπο περιορίζεται το πορώδες του σκυροδέματος, παράγων καθοριστικός τόσο για την ανάπτυξη των αντοχών του σκυροδέματος, όσο και για την αύξηση της ανθεκτικότητάς του στο χρόνο.

Ο συνηθέστερος τρόπος συμπύκνωσης του σκυροδέματος στις κατασκευές είναι με δόνηση του νωπού σκυροδέματος κατά την χύτευση. Η διαδικασία αυτή όμως προκαλεί καθυστερήσεις στην κατασκευή, που συνεπάγονται με την σειρά τους αύξηση του κόστους κατασκευής. Επίσης, η δόνηση δημιουργεί εξαιτίας του υψηλού θορύβου ανθυγιεινές συνθήκες εργασίας και έλλειψη επικοινωνίας μεταξύ των εργαζομένων, αυξάνοντας συνεπώς τον κίνδυνο κακοτεχνιών και εργατικού ατυχήματος, ενώ είναι γνωστά και τα προβλήματα που ανακύπτουν στους εργαζομένους λόγω της φυσικής καταπόνησης που υφίστανται. Από την άλλη μεριά, το όλο και αυξανόμενο ποσοστό οπλισμών που υπαγορεύει ο ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός δυσκολεύει τη διαδικασία της δόνησης και συχνά οδηγεί στο φαινόμενο δημιουργίας κενών (φωλιές) τόσο στην επιφάνεια αλλά και κυρίως, στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων. Τα κενά αυτά, αποτελέσματα της ελλιπούς συμπύκνωσης, αποτελούν ένα τοπικό σημείο πιθανής αστοχίας του σκυροδέματος, ενώ υποβιβάζουν την ποιότητα του υλικού και κατά συνέπεια την ποιότητα ολόκληρης της κατασκευής.

Τα προβλήματα που ανακύπτουν από τη χρήση δονητών μάζας κατά την συμπύκνωση του σκυροδέματος και ο υποβιβασμός της ποιότητας του διαστρωμένου υλικού λόγω ελλιπούς συμπύκνωσης ήταν οι αιτίες που οδήγησαν στη δημιουργία ενός νέου είδους σκυροδέματος που ονομάστηκε «αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα» (Self-compacting concrete). Με τον όρο «αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα» (ΑΣΣ) ονομάζουμε το σκυρόδεμα εκείνο που σε νωπή κατάσταση έχει την ικανότητα να τοποθετείται στους ξυλοτύπους και να διέρχεται μέσα από τον

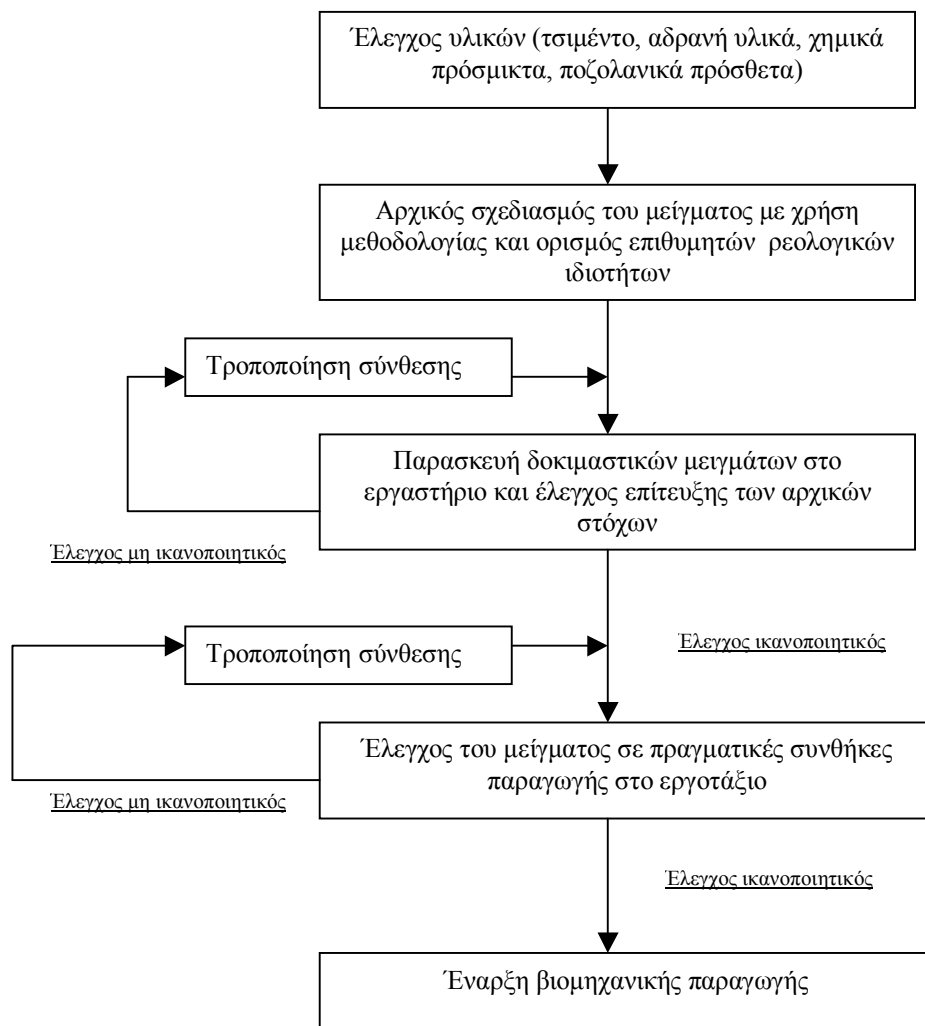
οπλισμό μόνο με την δύναμη της βαρύτητας, χωρίς τη χρήση δονητών μάζας ή άλλης εξωτερικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί την ομοιογένειά του [1]. Η τεχνολογία του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πρωτοεμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980 στην Ιαπωνία από τον καθηγητή Okamura, ενώ τη δεκαετία του 1990 άρχισε η παρασκευή του και σε ευρωπαϊκές χώρες, κυρίως στη Σκανδιναβία και στην Ολλανδία. Μέχρι σήμερα (05/2008) εθνικούς κανονισμούς για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα έχουν θεσπίσει πολλές χώρες, τόσο εκτός Ευρώπης (ΗΠΑ, Καναδάς) όσο και εντός των Ευρωπαϊκών συνόρων (Σουηδία, Γερμανία, Γαλλία, Αυστρία κ.α). Ειδικότερα στην Ευρώπη, με τη συγκεκριμένη τεχνολογία έχει ασχοληθεί η RILEM [2,3], ενώ το Φεβρουάριο του 2002 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Σκυροδέματος (EFNARC) προχώρησε στη σύνταξη σχετικών οδηγιών [4]. Τον Μάιο του 2005 κυκλοφόρησαν στο δικτυακό τόπο της EFNARC και οι Ευρωπαϊκές προδιαγραφές για το σχεδιασμό μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος [5]. Σε εθνικό επίπεδο, το Ινστιτούτο Οικονομίας των Κατασκευών (Ι.Ο.Κ.) έχει κυκλοφορήσει τις Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ) για Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα [6].

## **ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Οι βασικές λειτουργικές ιδιότητες του νωπού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι η ικανότητα πλήρωσης (filling ability), η αντίσταση στο διαχωρισμό των υλικών - απόμειξη (segregation resistance) καθώς και η ικανότητα εισχώρησης μεταξύ των οπλισμών (passing ability). Προκειμένου να ικανοποιηθούν και οι τρεις ανωτέρω απαιτήσεις, δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη ρεολογία της τσιμεντόπαστας κατά το σχεδιασμό του μείγματος. Διεθνώς έχουν αναπτυχθεί αρκετές μεθοδολογίες για τον κατ' αρχήν σχεδιασμό ενός μείγματος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος [7-10], τα οποία αποτελέσματα όμως πρέπει πάντα να επαληθεύονται με δοκιμαστικά μείγματα πριν τεθούν σε παραγωγή. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται τα βασικά στάδια του σχεδιασμού ενός μείγματος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Βασικό στοιχείο για τη βελτιστοποίηση των ρεολογικών ιδιοτήτων του νωπού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος 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.

Η σύνθεση του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πρέπει να ελέγχεται αυστηρά όχι μόνο κάθε φορά που αλλάζει ο τύπος του τσιμέντου ή η πηγή των αδρανών υλικών όπως συμβαίνει με τα συμβατικά μείγματα, αλλά και κάθε φορά που αλλάζει η παρτίδα της χρησιμοποιούμενης άμμου, ακόμη και αν αυτή προέρχεται από το ίδιο λατομείο. Το ΑΣΣ είναι πολύ ευαίσθητο στην περιεκτικότητά του μείγματος σε λεπτά υλικά (φίλλερ) και οποιαδήποτε αλλαγή στο λεπτόκοκκο κλάσμα της άμμου (διερχόμενα από το κόσκινο των 0.125 mm) θα επιφέρει αξιοσημείωτες αλλαγές στη συμπεριφορά του ΑΣΣ.



Σχήμα 1: Βασικά στάδια σχεδιασμού μείγματος ΑΣΣ.

Σύμφωνα με τον κανονισμό της EFNARC, η ποσότητα του λεπτού υλικού πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 400-600 κιλών στο κυβικό μέτρο, προκειμένου το νωπό σκυρόδεμα να έχει τις απαιτούμενες ιδιότητες. Όταν παρά την προσθήκη των πολύ λεπτών υλικών εξακολουθεί να υπάρχει κίνδυνος απόμειξης, προστίθεται και μία μικρή ποσότητα προσθέτου ρυθμιστικού του ιξώδους (viscosity modifying agent, VMA) προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη αντίσταση του μείγματος σε απόμειξη. Η ποσότητα του απαιτούμενου προσθέτου για τη ρύθμιση του ιξώδους αυξάνεται, όσο μειώνεται η ποσότητα των λεπτών υλικών. Μάλιστα είναι δυνατή η παρασκευή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος αποκλειστικά με προσθήκη VMA, χωρίς ανάλογη αύξηση των λεπτών υλικών, τα μείγματα αυτά όμως χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη ανθεκτικότητα στο χρόνο συγκρινόμενα με τα υπόλοιπα αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα [12-13].

Γενικά ο σχεδιασμός των αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων βασίζεται στο τρίπτυχο: λεπτά υλικά-ισχυρός υπερρευστοποιητής-ρυθμιστής ιξώδους, σε συνδυασμό με υψηλή δόση τσιμέντου και χαμηλή ποσότητα νερού. Οι βασικές αρχές που διέπουν το σχεδιασμό ενός αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος σύμφωνα με τις συστάσεις της EFNARC [4] παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Ενδεικτικές αναλογίες υλικών αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος [4].

---

Λόγος νερού/πούδρα: 0.80 – 1.10 κατ'όγκον

---

Συνολική ποσότητα λεπτού υλικού: 160-240 lt (400-600 Kg) ανά κυβικό μέτρο.

---

Περιεκτικότητα χονδρόκοκκων αδρανών: 28-35% του συνολικού όγκου του μείγματος

---

Ποσότητα νερού: Δεν υπερβαίνει τα 210 lt/m<sup>3</sup> (τηρούνται οι περιορισμοί του EN-206)

---

Περιεκτικότητα άμμου: Ισοροπεί τον όγκο των υπολοίπων συστατικών.

---

## ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

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 σπλισμών (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 2 παρουσιάζονται οι εναλλακτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των βασικών ιδιοτήτων του ΑΣΣ καθώς και οι οριακές τιμές αποδοχής.

Πίνακας 2: Κριτήρια αποδοχής των ιδιοτήτων νοπού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος [5].

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	<8	25
	Orimet	sec	0	5
Ικανότητα διέλευσης (passing ability)	Συσκευή L-box	(h2/h1)	0.80	1.0
	Συσκευή U-box	(h2-h1)mm	0	30
	Συσκευή Fill-box	%	90	100
	Συσκευή J-ring	mm	0	10
Αντίσταση στο διαχωρισμό (segregation resistance)	Συσκευή GTM test	%	0	15
	Χρόνος $T_{5min}$ στη συσκευή V-funnel	sec	0	+3

Προκειμένου να χαρακτηριστεί ένα μείγμα ως αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα πρέπει να ικανοποιούνται και οι τρεις ανωτέρω ιδιότητες, ανεξαρτήτως του τρόπου (μεθόδου) με τον οποίο θα μετρηθούν.

Η ικανότητα πλήρωσης του μείγματος (filling ability) εκτιμάται συνήθως με βάση το μέτρο εξάπλωσης. Για τη μέτρηση αυτή χρειάζεται ένας συνηθισμένος κώνος καθίσεως (κώνος Abrams) μία μεταλλική επιφάνεια διαστάσεων τουλάχιστον 900x900mm. Ο κώνος γεμίζεται σε μία στρώση και στη συνέχεια ανασηκώνεται αφήνοντας το σκυρόδεμα να εξαπλωθεί. Λόγω της ρευστότητας του ΑΣΣ σχηματίζεται μία επιφάνεια στρογγυλή («πίτα»). Το μέτρο εξάπλωσης ισούται με το μέσο όρο δύο κάθετων μεταξύ τους διαμέτρων της πίτας αυτής. Η συσκευή εξάπλωσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.

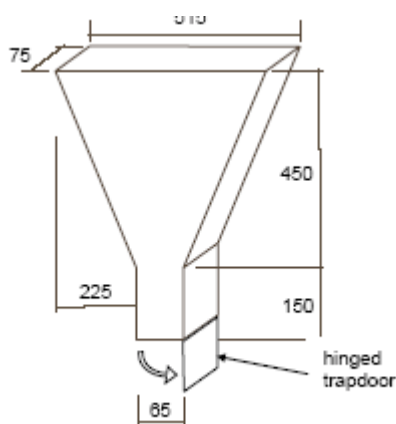


Σχήμα 2: Συσκευή μέτρησης του μέτρου εξαπλώσεως αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

Μία δευτερογενής ένδειξη της ικανότητας ροής του ΑΣΣ είναι και ο χρόνος  $T_{50}$ , δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να εξαπλωθεί το μείγμα σε διάμετρο 50 mm. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του

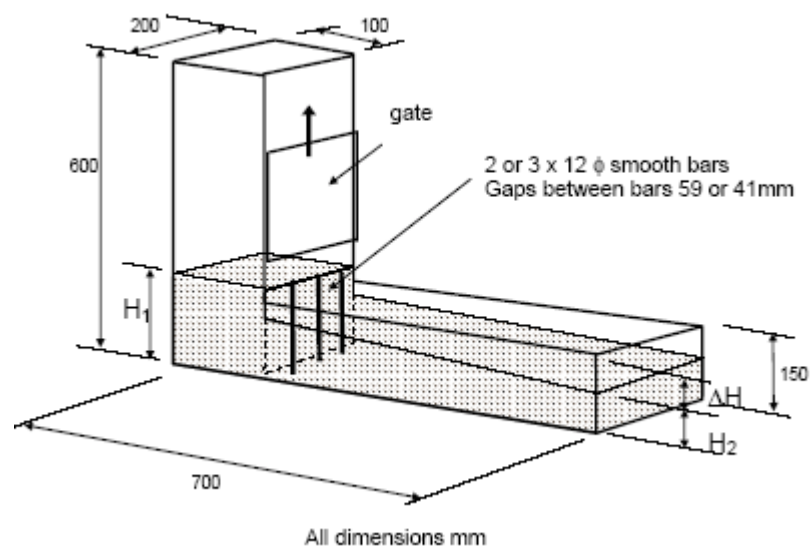
Ευρωπαϊκού Προγράμματος Brite-EuPam [11] χρόνος 3-7 sec είναι αποδεκτός για εφαρμογές έργων πολιτικού μηχανικού, ενώ για κτιριακές κατασκευές χρειάζονται 2-5 sec.

Η αντίσταση του μείγματος στο διαχωρισμό των υλικών του μετριέται συνήθως με τη συσκευή V-funnel (Σχήμα 3). Πρόκειται για ένα κάδο σχήματος V και χωρητικότητας περίπου 12 λίτρων σκυροδέματος ο οποίος είναι κλειστός στο κάτω άκρο του με μία θυρίδα. Ο κάδος γεμίζεται με το ΑΣΣ και στη συνέχεια η θυρίδα ανοίγει, αφήνοντας το περιεχόμενο να αδειάσει σε ένα κουβά. Μετράμε το χρόνο που απαιτείται για να αδειάσει το δοχείο από τη στιγμή που ανοίγουμε τη θυρίδα. Ο χρόνος αυτός πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6-12 δευτερολέπτων, σύμφωνα με τον Πίνακα 2. Στη συνέχεια ξαναγεμίζουμε το δοχείο με το σκυρόδεμα που έχει αδειάσει στον κουβά και αφού περάσουν 5 λεπτά, ξανανοίγουμε τη θυρίδα και μετράμε εκ νέου το χρόνο εκκένωσης. Πιθανή απόμειξη του μείγματος θα έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική αύξηση του χρόνου αυτού. Η αύξηση του χρόνου εκκένωσης τη δεύτερη φορά δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 3 δευτερόλεπτα. Σύμφωνα όμως με νεώτερες μελέτες, η μέτρηση αυτή δεν αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση.



Σχήμα 3: Συσκευή V-funnel για τη μέτρηση της ροής και της αντίστασης του μείγματος στο διαχωρισμό των συστατικών του.

Η ικανότητα διείσδυσης του ΑΣΣ δια μέσου των οπλισμών μετριέται στο εργαστήριο με τη συσκευή L-box. (Σχήμα 4). Πρόκειται για ένα κουτί σχήματος L ο κατακόρυφος και ο οριζόντιος κλάδος του οποίου επικοινωνούν με μία συρόμενη θυρίδα. Μπροστά από την έξοδο του κατακόρυφου κλάδου υπάρχουν τρία κάθετα σίδερα  $\Phi 12\text{mm}$  σε συγκεκριμένες αποστάσεις μεταξύ τους. Αφού γεμίσει ο κατακόρυφος κάδος με το ΑΣΣ, ανοίγουμε τη θυρίδα και αφήνουμε το μείγμα να περάσει δια μέσου των οπλισμών στον οριζόντιο κλάδο. Όταν το σκυρόδεμα σταματήσει να ρέει, μετράμε με ένα μέτρο τα ύψη  $H_1$  και  $H_2$ , στα άκρα του οριζόντιου τμήματος. Ο λόγος  $H_2/H_1$  πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 0.80.



Σχήμα 4: Συσκευή L-Box για τη μέτρηση της ικανότητας διέλευσης του σκυροδέματος μεταξύ των οπλισμών.

#### ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.

Το ΑΣΣ δεν είναι παρά ένα σκυρόδεμα με βελτιωμένα ρεολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία απορρέουν από τον προσεκτικό σχεδιασμό του μείγματος και τη μεγαλύτερη περιεκτικότητά του σε λεπτά υλικά. Τα γνωρίσματά του αυτά επιφέρουν ριζικές αλλαγές στον κατασκευαστικό τομέα αυξάνοντας την παραγωγικότητα, μειώνοντας τους κινδύνους εργατικών ατυχημάτων, βελτιώνοντας τις συνθήκες εργασίας και υγιεινής των τεχνιτών και τελευταίο, αλλά και πλέον σημαντικό, βελτιώνοντας την ποιότητα των κατασκευών αφού το νέο υλικό δεν έχει ανάγκη εξωτερικής συμπύκνωσης. Το ΑΣΣ είναι συνήθως ακριβότερο τουλάχιστον κατά 10-20% σε σχέση με το αντίστοιχο συμβατικό σκυρόδεμα της ίδιας κατηγορίας αντοχής. Αν λάβουμε όμως υπόψη και τους προαναφερθέντες παράγοντες, τότε υπολογίζεται ότι το κόστος ανά κυβικό μέτρο διαστρωμένου ΑΣΣ κυμαίνεται στο 98%-102% του αντίστοιχου συμβατικού σκυροδέματος, ανάλογα πάντα με την περίπτωση.

Παρά τα εμφανή πλεονεκτήματά του, το ΑΣΣ μέχρι σήμερα έχει τύχει περιορισμένης αποδοχής από τον τεχνικό κόσμο της χώρας. Κάποιες από τις μεγάλες εταιρίες σκυροδέματος (Interbeton και ET Beton) έχουν εφαρμόσει τον καινοτόμο αυτό τύπο σκυροδέματος σε αρκετές περιπτώσεις [13-14], ενώ η Lafarge Beton πρόκειται σύντομα να κυκλοφορήσει στην Ελληνική αγορά το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με την ονομασία Agilia [15]. Σε εργαστηριακό επίπεδο έχει παρασκευαστεί ΑΣΣ με ελληνικά υλικά από τους συγγραφείς της εργασίας [12]. Στην προαναφερόμενη εργασία παρασκευάστηκε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα τόσο με ασβεστολιθικά, όσο και με πυριτικά αδρανή. Οι αναλογίες των μειγμάτων που παρασκευάστηκαν με πυριτικά αδρανή παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, ενώ οι αναλογίες των μειγμάτων που παρασκευάστηκαν με ασβεστολιθικά αδρανή παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 3: Αναλογίες μείξεως ( $\text{Kg/m}^3$ ) και ρεολογικά χαρακτηριστικά νοπού σκυροδέματος με πυριτικά αδρανή[10].

	NCC-S	NCC-V	NCC1-S	NCC2-S	SCC	SCC-L	SCC-V	SCC1-S	SCC2-S
Filler	-	-	-	-	300	330	-	-	-
Άμμος θραυστή	389	384	385	406	380	990	1094	960	1008
Άμμος φυσική	583	576	540	565	475	-	-	-	-
Γαρμ/λι	972	959	760	795	790	530	825	725	751
Τσιμ/το	350	380	430	350	350	350	380	430	350
Πυρ. παιπάλη	-	-	21.5	20	-	-	-	21.5	20
Νερό	205	220	206	215	205	205	220	206	203.5
Υπρ/τής VMA	1.6%	0.65%	2.4%	1%	2.6%	1.64%	3.76%	2.8%	2.4%
	-	-	-	-	-	-	0.6	-	-
Κάθιση	16 cm	13 cm	19 cm	20 cm	-	-	-	-	-
Εξάπλωση					82 cm	66 cm	77 cm	80 cm	77.5
L-box					0.87	0.80	0.83	0.82	0.80
H2/H1									
V-funnel					11.16 sec	9 sec	8.68 sec	6.75 sec	8.66 sec

\*\*\* Υπερ/τής: lt/100 Kg λεπτού υλικού

Πίνακας 4: Αναλογίες μείξεως ( $\text{Kg/m}^3$ ) και ρεολογικά χαρακτηριστικά νοπού σκυροδέματος με ασβεστολιθικά αδρανή.

	NCC-20	NCC-22	SCC-19	SCC-21	SCC-L
Filler	-	-	330	330	330
Άμμος θραυστή	990	990	990	990	990
Γαρμ/λι	860	860	530	530	530
Τσιμ/το	350	350	350	350	350
Νερό	205	205	205	205	205
Υπρ/τής VMA	1.65%	1.65%	2.57%	2.42%	1.64%
	-	-	-	-	-
Κάθιση	150 mm	140 mm	-	-	-
Εξάπλωση			720 mm	670 mm	66 cm
L-box			0.85	0.81	0.80
H2/H1					
V-funnel			6.76 sec	8.00 sec	9 sec

\*\*\* Υπερ/τής: lt/100 Kg λεπτού υλικού

Για την παρασκευή όλων των μειγμάτων χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο πόρτλαντ I42.5R, εκτός των μειγμάτων NCC-22 και SCC-21 που παρασκευάστηκαν με Π32.5N. Κατά περίπτωση, σε ορισμένα μείγματα χρησιμοποιήθηκε ασβεστολιθικό ή πυριτικό φίλλερ και πυριτική παιπάλη. Παράλληλα εξετάστηκε και η δυνατότητα παρασκευής αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος αποκλειστικά με χρήση ρυθμιστού του ιξώδους (VMA). Οι θλιπτικές αντοχές παρουσιάζονται στους πίνακες 5 και 6 για τα μείγματα που παρασκευάστηκαν με πυριτικά και ασβεστολιθικά αδρανή αντίστοιχα.



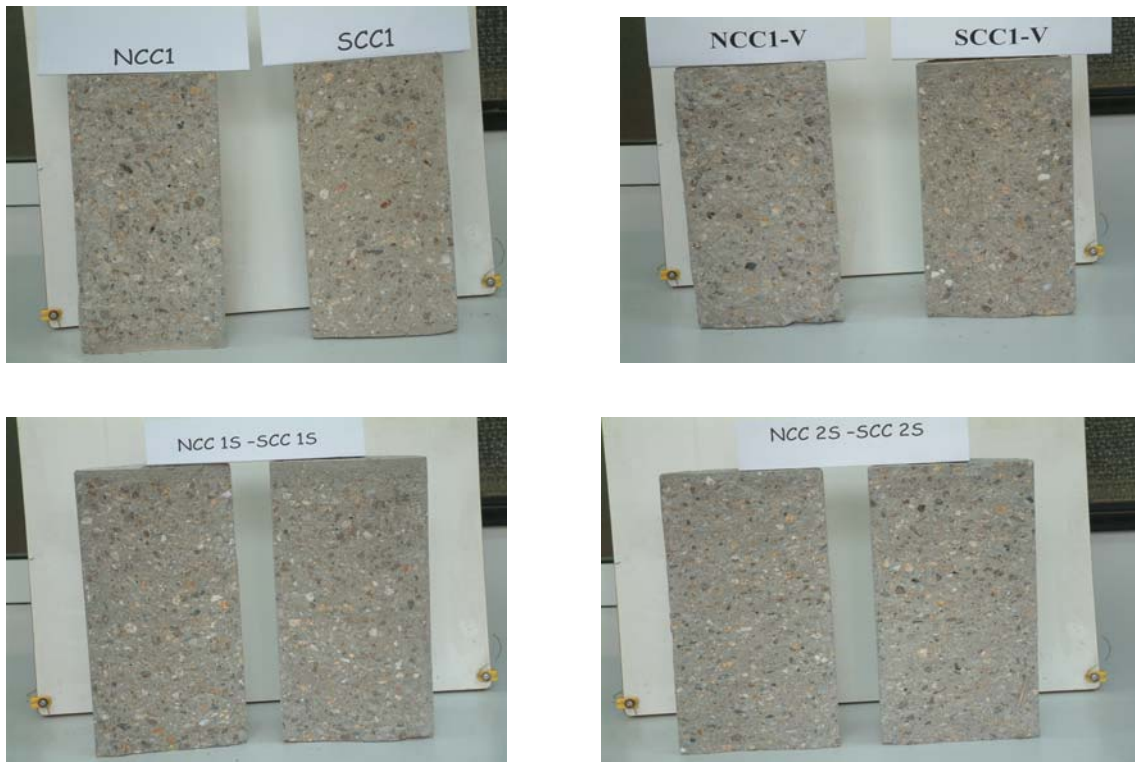
Πίνακας 5: Μηχανικά χαρακτηριστικά συμβατικών και αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων που παρασκευάστηκαν με πυριτικά αδρανή [10].

	NCC-S	NCC-V	NCC1-S	NCC2-S	SCC	SCC-L	SCC-V	SCC1-S	SCC2-S
$f_{c2days}$ (MPa)	25,4	25,8	43,9	30,6	32,4	26,8	25	39,9	29,9
$f_{c28days}$ (MPa)	52,0	49,8	69,7	48,0	60,7	53,2	51	68,3	47,3
$E_c$ (Gpa)	31,1	29	36,2	33,9	32,5	-	30,2	36,3	34,9
$f_{ct,sp}$ (MPa)	2,6	2,2	2,6	3,1	2,8	-	2,9	3,1	2,8

Πίνακας 6: Μηχανικά χαρακτηριστικά συμβατικών και αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων που παρασκευάστηκαν με ασβεστολιθικά αδρανή .

	NCC-20	NCC-22	SCC-19	SCC-21	SCC-L
$f_{c2days}$ (MPa)	27,05	18,35	33,9	20,95	26,8
$f_{c7days}$ (MPa)	36,25	27,65	47,15	30,95	-
$f_{c28days}$ (MPa)	43,80	37,75	57,45	43,70	53,2

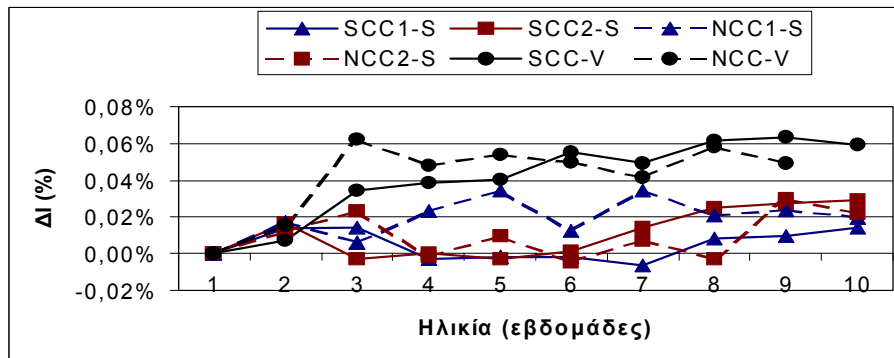
Στο σχήμα 5 παρουσιάζονται τα τμήματα των κυλινδρικών δοκιμίων που προέκυψαν μετά τη μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής διαρρήξεως. Είναι φανερό ότι σε κανένα μείγμα αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος δεν παρατηρήθηκε απόμειξη ή ελλιπής συμπύκνωση. Αντιθέτως η δομή όλων των ΑΣΣ είναι παρόμοια με αυτή των αντίστοιχων συμβατικών μειγμάτων ή βελτιωμένη.



Σχήμα 5: Τομές κυλινδρικών δοκιμίων συμβατικού (NCC) και αυτοσυμπυκνούμενου (SCC) σκυροδέματος.

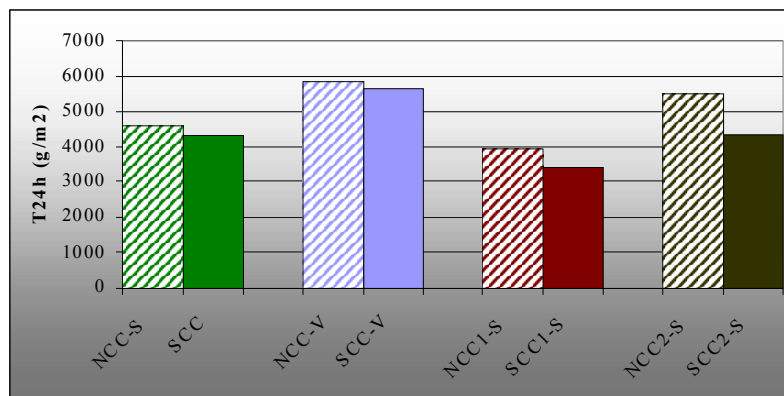
Παράλληλα με τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των μειγμάτων διενεργήθηκαν και μετρήσεις χαρακτηριστικών ανθεκτικότητας στο χρόνο, προκειμένου να αποκτηθεί μία πληρέστερη εικόνα της συμβολής των νέων σκυροδεμάτων στη βελτίωση της ποιότητας των κατασκευών. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν η συστολή ξηράνσεως των μειγμάτων, η υδατοπερατότητά τους καθώς και η αντίστασή τους σε ενανθράκωση [10].

Η συστολή ξηράνσεως μετρήθηκε σε πρισματικά δοκίμια διαστάσεων 40x40x160mm. Τα δοκίμια παρέμειναν σε θάλαμο συντηρήσεως μέχρι την ηλικία των 7 ημερών και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε χώρο του εργαστηρίου με  $RH = 50-60\%$  και  $T=20\pm 2$  °C. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν μέχρι την ηλικία των 3 μηνών και τα αποτελέσματα (μέσος όρος τριών μετρήσεων) παρουσιάζονται στο σχήμα 6.



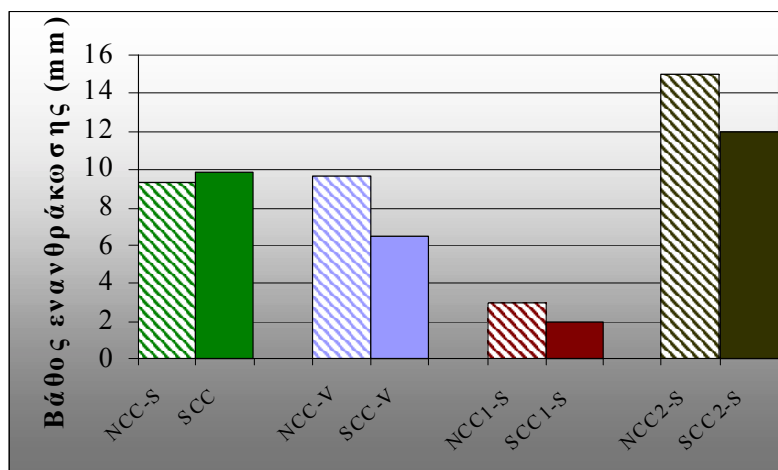
Σχήμα 6: Συστολή ξηράσεως παρασκευασθέντων σκυροδεμάτων [10].

Η υδατοαπορροφητικότητα των μειγμάτων μετρήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό της RILEM TC 116. Τα δοκίμια παρέμειναν στο θάλαμο συντηρήσεως για 28 ημέρες. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε ξηραντήριο με θερμοκρασία 65°C όπου και παρέμειναν μέχρι σταθεροποίησης του βάρους τους. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε στην ηλικία των 60 ημερών και τα αποτελέσματα (μέσος όρος δύο μετρήσεων) παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7: Υδατοαπορροφητικότητα συμβατικών και αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων [10].

Η αντίσταση στην ενανθράκωση μετρήθηκε σε κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 63x100 mm. Τα δοκίμια παρέμειναν για 7 ημέρες στο χώρο του εργαστηρίου (RH=50%, T=20°C ) και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε θάλαμο επιταχυνόμενης ενανθράκωσης (RH=65%, T=20°C, CO<sub>2</sub>=10%). Τα δοκίμια παρέμειναν στον ανωτέρω θάλαμο για πέντε εβδομάδες και κατόπιν, αφού θραύστηκαν σε διάρρηξη, οι δύο πλευρές κάθε δοκιμίου ψεκάστηκαν με διάλυμα φαινολοφθαλείνης. Οι τιμές του βάθους ενανθράκωσης (μέσος όρος τεσσάρων δοκιμίων) παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8: Βάθος ενανθράκωσης συμβατικών και αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων [10].

Τα μείγματα που παρασκευάστηκαν -συμβατικά και ΑΣΣ- ανήκουν ανά δύο στην ίδια κατηγορία αντοχής. Εξετάστηκαν μείγματα που ανήκουν στις κατηγορίες C25/30 έως και C45/55. Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα, δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ της θλιπτικής αντοχής που αναπτύσσουν τα ΑΣΣ και αυτής που αναπτύσσουν τα συμβατικά μείγματα. Σε κάποιες περιπτώσεις μάλιστα παρατηρούμε ελαφριά αύξηση της αντοχής των ΑΣΣ, αυτή όμως δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε να τοποθετεί το μείγμα σε άλλη κατηγορία αντοχής.

Εκεί όπου φαίνεται η σημαντική διαφορά υπέρ των ΑΣΣ είναι στις μετρήσεις της ανθεκτικότητας. Σε κάθε περίπτωση τα ΑΣΣ παρουσιάζουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας στο χρόνο. Η βελτίωση των ΑΣΣ κυμαίνεται μεταξύ 5 και 15% σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά σκυροδέματα, ανάλογα με το είδος του μείγματος και τη μετρούμενη ιδιότητα.

Παρά τα σαφή πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση του, το ΑΣΣ δεν έχει τύχει μέχρι σήμερα ευρείας αποδοχής. Ένας από τους βασικούς λόγους γι' αυτό είναι η ευαισθησία του μείγματος στην παρουσία υγρασίας και στη διακύμανση τόσο της τελευταίας, όσο και της περιεκτικότητας σε λεπτά υλικά. Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες σχεδιασμού μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Η πρώτη προσπάθεια παρουσίασης μεθόδου σχεδιασμού μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (ΑΣΣ) έγινε από τον καθηγητή Okamura το 1995 [17] και ονομάστηκε «Γενική μέθοδος». Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη μελέτη των χαρακτηριστικών αυτοσυμπύκνωσης σε κονίαμα. Αφού εξαχθούν τα πρώτα συμπεράσματα και καθορισθούν οι αναλογίες των βασικών υλικών καθώς και του απαιτούμενου υπερρευστοποιητή, ξεκινούν δοκιμαστικές συνθέσεις κονιαμάτων. Η μέθοδος αυτή αποτελεί μέχρι σήμερα ένα αξιόπιστο εργαλείο για το σχεδιασμό μειγμάτων ΑΣΣ. Βασικό της μειονέκτημα είναι η αποκλειστική χρήση τσιμέντου Πόρτλαντ καθώς και η απουσία πρόβλεψης χρήσης λεπτόκοκκων υλικών. Επίσης δεν γίνεται καμία αναφορά στην επίτευξη συγκεκριμένης κατηγορίας αντοχής.

Νέες μεθοδολογίες παρουσιάστηκαν στη συνέχεια (18-24), πολλές από αυτές στηριζόμενες στη γενική μέθοδο και στη διεξαγωγή αρχικών δοκιμαστικών συνθέσεων σε κονιάματα. Παρά τα γενικά ικανοποιητικά αποτελέσματα όμως οι περισσότερες χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένους περιορισμούς στην εφαρμογή τους, (όπως τη χρήση ειδικού προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή, την απουσία πρόβλεψης για χρήση ιπτάμενων τεφρών ή πυριτικής παιπάλης, τη χρήση συγκεκριμένων σταθερών που έχουν προκύψει μετά από πειράματα σε αδρανή υλικά συγκεκριμένης χώρας, τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων τσιμέντου) ενώ αρκετές είναι ιδιαίτερα

δύσχρηστες [24]. Όλες οι ανωτέρω μέθοδοι έχουν επιβεβαιωθεί στην πράξη οδηγώντας στην παρασκευή μειγμάτων με ιδιαίτερα υψηλές αντοχές (άνω των 40-50 MPa στις 28 ημέρες), γεγονός που από μόνο του δεν αφήνει περιθώρια για οποιαδήποτε σκέψη χρήσης τους στην ελληνική αγορά.

Στο Εργαστήριο Δομικών Υλικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης στην Ξάνθη αναπτύχθηκε από τον Επίκουρο Καθηγητή Κ.Κ. Σίδηρη, η «**Ολιστική Μέθοδος Σχεδιασμού και Ελέγχου Διακύμανσης Πρώτων Υλών μειγμάτων Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος**» (ΣχΕΔιΠΥ), η οποία βασίζεται στην κατ' αρχήν μελέτη των ιδιοτήτων αυτοσυμπύκνωσης σε κονιάματα. Η προαναφερόμενη μέθοδος (ΣχΕΔιΠΥ) επιτρέπει τον κατ' αρχήν σχεδιασμό μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος χωρίς περιορισμούς, π.χ. στη χρήση της ποσότητας και του είδους του τσιμέντου, στη χρήση των λεπτών υλικών ή των ποζολανικών προσμείκτων, στην κατηγορία θλιπτικής αντοχής. Παράλληλα αποτελεί και ένα αξιόπιστο εργαλείο ελέγχου της ποιότητας του μείγματος στο εργοστάσιο παρασκευής σκυροδέματος, εφόσον ελέγχει την διακύμανση της ποιότητας των πρώτων υλών, όπως την μεταβολή της υγρασίας ή /και της κοκκομετρίας των αδρανών υλικών. Η μέθοδος ΣχΕΔιΠΥ χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για την παρασκευή άνω των σαράντα διαφορετικών μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων διαφορετικών κατηγοριών αντοχής με διαφορετικά υλικά (τσιμέντα, αδρανή υλικά, λεπτόκοκκα υλικά και χημικά πρόσμεικτα) της ελληνικής αγοράς.

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Ο προσδιορισμός και η σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με βάση τη μέθοδο σχεδιασμού (ΣχΕΔιΠΥ) φαίνεται, στην απλουστευμένη μορφή της, στο διάγραμμα του Σχήματος 9 [25]:



Σχήμα 9: Βασικά στάδια σχεδιασμού μείγματος ΑΣΣ.

Η μεθοδολογία που προτείνεται στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

*ΒΗΜΑ 1<sup>ο</sup>: Υπολογισμός του  $\beta_p$*

Όπως φαίνεται από το Σχ. 9 θα πρέπει να οριστούν οι ρεολογικές ιδιότητες του προς σχεδιασμό μείγματος. Αυτό αφορά στα παρακάτω:

- Είδος του τσιμέντου (τύπος, αντοχή, προέλευση)
- Είδος λεπτών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν (φίλλερ, πυριτική παιπάλη κλπ)
- Εύρεση βρ

Εφόσον προσδιοριστούν οι δύο πρώτες παράμετροι, ξεκινά η διαδικασία υπολογισμού της τιμής του βρ. Η τελευταία ορίζεται ως ο λόγος των όγκων  $V_w/V_p$  (Water/Powder), για τον οποίο κατά την εκτέλεση της δοκιμής του κώνου εξάπλωσης θα παρατηρείται μηδενική εξάπλωση.

Η τιμή του βρ εξαρτάται μόνο από το σύνολο των λεπτών υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Για το σκοπό αυτό επιβάλλεται ο επαναπροσδιορισμός της σε περίπτωση αλλαγής του τύπου του τσιμέντου ή/και προσθήκης διαφορετικών λεπτόκοκκων υλικών (π.χ. φίλλερ ή πυριτική παιπάλη).

### Ορισμοί

#### Λεπτά Υλικά (Powder)

Υλικά τα οποία περνούν από το κόσκινο των 0,125 mm. (συμπεριλαμβάνεται το αντίστοιχο κλάσμα των λεπτών υλικών της άμμου, η ποσότητα φίλλερ, η πυριτική παιπάλη κλπ).

#### Πάστα (Paste)

Το άθροισμα του τσιμέντου, των λεπτών υλικών, του νερού και του αέρα.

#### Κονίαμα (Mortar)

Το άθροισμα της πάστας και των αδρανών, ο μέγιστος κόκκος των οποίων είναι μικρότερος των 4 mm.

#### $V_w, \rho_w$

Ο όγκος του νερού και ειδικό βάρος νερού αντίστοιχα.

#### $V_p, \rho_p$

Ο όγκος των λεπτών υλικών και ειδικό βάρος λεπτών υλικών αντίστοιχα.

#### $V_s, \rho_s$

Ο όγκος της άμμου και ειδικό βάρος άμμου αντίστοιχα.

### ΒΗΜΑ 2<sup>ο</sup>: Υπολογισμός συστατικών κονιάματος.

Μετά την εύρεση του  $\beta_p$  θα υπολογιστούν οι βέλτιστες αναλογίες των υλικών που απαιτούνται για αυτοσυμπύκνωση. Ο υπολογισμός των αναλογιών πραγματοποιείται πρώτα σε κονίαμα. Για το σκοπό αυτό θεωρούμε την αρχική ποσότητα αέρα ίση με 2%, ενώ ο όγκος των χονδρόκοκκων αδρανών (γαρμπίλι), σύμφωνα με την παρούσα μέθοδο, θεωρείται σταθερά ίσος με 30% του συνολικού όγκου του σκυροδέματος.

Η πρωτοτυπία της μεθόδου ΣχΕΔιΠΥ σε αυτό το σημείο έγκειται στο γεγονός ότι όλη η διαδικασία ξεκινά από το σκυρόδεμα που βρίσκεται ήδη σε παραγωγή.

Τα κριτήρια αυτοσυμπύκνωσης όσον αφορά το κονίαμα είναι:

- i. Η δοκιμή του κώνου εξάπλωσης
- ii. Η δοκιμή του V-Funnel

### ΒΗΜΑ 3<sup>ο</sup>: Υπολογισμός αναλογιών σκυροδέματος.

Στο βήμα αυτό επιτυγχάνεται με χρήση της μεθόδου ΣχΕΔιΠΥ, η αρχική παρασκευή μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος συγκεκριμένων κατηγοριών αντοχής.

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τα δοκιμαστικά μείγματα των κονιαμάτων προχωρά η παρασκευή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Είναι δηλαδή γνωστός ο συνδυασμός των αναλογιών όσον αφορά το τσιμέντο, νερό και άμμο καθώς η περιεκτικότητα του μείγματος σε γαρμπίλι θεωρείται σταθερή και ίση με  $800 \text{ kg/m}^3$ . Η ποσότητα του ρευστοποιητή που απαιτείται για αυτοσυμπύκνωση στο σκυρόδεμα, σε σχέση με την αντίστοιχη του κονιάματος, είναι περίπου διπλάσια. Μετά από τις μέχρι τώρα παρασκευές κονιαμάτων και τις ισάριθμες μεταβάσεις σε σκυροδέματα, η ποσότητα του ρευστοποιητή στο σκυρόδεμα ( $\rho_{σκ}$ ) προκύπτει από την ποσότητα του ρευστοποιητή στο κονίαμα ( $\rho_κ$ ) από τον ακόλουθο τύπο:

$$p_{σχ} = p_{σκ} \times (2 \pm 0,3)$$

Τέλος για τον έλεγχο των ρεολογικών ιδιοτήτων των νωπών μειγμάτων για σκυροδέματα, θα χρησιμοποιηθούν:

- Ο κώνος εξάπλωσης
- Η συσκευή L- Box
- Η συσκευή V-Funnel
- Η συσκευή J- Ring

με τους περιορισμούς που αναφέρονται στον Ευρωπαϊκό Κανονισμό Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος (European Guidelines for Self-Compacting Concrete, 2005).

Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των νωπών μειγμάτων (μέτρο εξάπλωσης, ικανότητα διείσδυσης μεταξύ των οπλισμών, αντίσταση στον διαχωρισμό αδρανών) μετρώνται και καταγράφονται σε κάθε περίπτωση.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ΑΣΣ μπορεί να επιφέρει ριζικές αλλαγές στο χώρο των κατασκευών αυξάνοντας την παραγωγικότητα, μειώνοντας τους κινδύνους εργατικών ατυχημάτων, βελτιώνοντας τις συνθήκες εργασίας και υγιεινής των τεχνιτών και αυξάνοντας την ποιότητα των κατασκευών αφού το νέο υλικό δεν έχει ανάγκη εξωτερικής συμπύκνωσης. Μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα έργα πολιτικού μηχανικού, ενώ ιδιαίτερα πρόσφορη φαίνεται να είναι η εφαρμογή του σε βιομηχανίες προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος.

Στο Εργαστήριο Δομικών Υλικών του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης βρίσκονται σε εξέλιξη ερευνητικά προγράμματα για τη βελτιστοποίηση της παρασκευής ΑΣΣ όλων των κατηγοριών αντοχής, με επιστημονικό υπεύθυνο τον Επίκουρο Καθηγητή Κ.Κ. Σίδηρη. Στα πλαίσια αυτά αναπτύχθηκε η «Ολιστική Μέθοδος Σχεδιασμού και Ελέγχου Διακύμανσης Πρώτων Υλών μειγμάτων Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος» (ΣχΕΔιΠΥ), με την οποία καθίσταται απλούστερη η παραγωγή αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων διαφορετικών κατηγοριών αντοχής (C20/25 και ανώτερη) καθώς και ο συνεχής έλεγχος της διακύμανσης των πρώτων υλών και η διόρθωση των συνθέσεων σε καθημερινή βάση προκειμένου να διασφαλιστεί η σταθερή ποιότητα του προϊόντος. Τα μείγματα αυτά παρουσιάζουν βελτιωμένες ρεολογικές ιδιότητες που επιτρέπουν τη δίοδο του σκυροδέματος από τους πυκνούς οπλισμούς των ξυλοτύπων των κατασκευών και την αποτελεσματική συμπύκνωσή τους αποκλειστικά και μόνο λόγω του ιδίου βάρους τους.

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα μπορεί να παραχθεί κατόπιν λεπτομερούς σχεδιασμού και τροποποίησης των συμβατικών μειγμάτων. Το μείγμα που προκύπτει ανήκει στην ίδια κατηγορία αντοχής με το συμβατικό σκυρόδεμα, αλλά παρουσιάζει βελτιωμένα κάποια μηχανικά χαρακτηριστικά του όπως το μέτρο ελαστικότητας και την εφελκυστική αντοχή διαρρήξεως.

Η καλύτερη συμπύκνωση που επιτυγχάνεται στα αυτοσυμπυκνούμενα μείγματα είναι υπεύθυνη για το μικρότερο πορώδες των τελευταίων. Αυτό αποδεικνύεται και από τις βελτιωμένες ιδιότητες ανθεκτικότητας (υδατοαπορροφητικότητας και ενανθράκωσης) που παρουσιάζουν τα μείγματα αυτά. Στα πλαίσια έρευνας που διενεργείται έχουν προγραμματιστεί και πραγματοποιούνται επιπλέον μελέτες ανθεκτικότητας των παρασκευασθέντων μειγμάτων. Από τα μέχρι στιγμής διαθέσιμα αποτελέσματα εδραιώνεται η αντίληψη ότι τα αυτοσυμπυκνούμενα μείγματα έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συμβατικά μείγματα. Η διαπίστωση αυτή έχει ακόμη μεγαλύτερη σημασία αν αναλογιστεί κανείς ότι τα συμβατικά μείγματα που εξετάστηκαν, είχαν παρασκευασθεί και συμπυκνωθεί στο εργαστήριο όπου η συμπύκνωση ήταν ιδιαίτερα επιμελημένη και σύμφωνα με τους κανονισμούς. Κάτι τέτοιο βέβαια δεν ισχύει στην πράξη, όπου το τρίπτυχο *δονητής μάζας- τεχνίτη- δυσμενείς συνθήκες εργασίας* σε συνδυασμό με την ύπαρξη πυκνού οπλισμού δεν μπορεί να μας εγγυηθεί πλήρη συμπύκνωση. Όλοι αυτοί οι παράγοντες εκλείπουν με τη χρήση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, αποτέλεσμα της χρήσης του οποίου είναι η αυξημένη ταχύτητα κατασκευής και κυρίως η βελτιωμένη ποιότητα των έργων και οι καλύτερες συνθήκες εργασίας των εργαζομένων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Okamura H., Ouchi M.: "Self compacting concrete. Development, present use and future", in Proceedings of the First International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Stockholm. Sweden, September 1999, pp. 3-14.
2. RILEM Report 23: State of the Art Report of RILEM Technical Committee 174 SCC "Self Compacting Concrete". RILEM Publications, 2001.



3. RILEM Report 35: State of the Art Report of RILEM Technical Committee 188 CSC "Casting of Self Compacting Concrete". RILEM Publications, 2006.
4. EFNARC: Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, February 2002.
5. BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO (2005): European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use, May 2005, *downloadable from [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)*
6. ΠΕΤΕΠ: «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα», Ινστιτούτο Οικονομίας των Κατασκευών, [www.iok.gr](http://www.iok.gr)
7. Nan Su, Kung-Chung Hsu, His-Wen Chai: "A simple mix design method for self-compacting concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 31 (2001), pp.1799-1807.
8. A. W. Saak, H. M. Jennings, S. P. Shah: "New Methodology for Designing Self-Compacting Concrete", ACI Materials Journal, Vol 98, November-December 2001, pp. 429-439.
9. Edamatsu Y, and Nishida N.: "A Rational Mix-Design Method for Self-Compacting Concrete Considering Interaction between Coarse Aggregates and Mortar Particles", Proceedings of the 1<sup>st</sup> RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, A. Skarendahl and O. Petersson, eds, 1999, pp.309-320.
10. Yoshinobu Edamatsu, Takumi Sugamata, Masahiro Ouchi: "A simple mix-design method for self-compacting concrete based on mortar flow and funnel tests", Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete , O. Wallevik and I. Nielsson, eds, 17-20 August 2003, pp. 356-368.
11. W. Zhu, P. J. M. Bartos: "Permeation Properties of self-compacting concrete", Cement and Concrete Composites, 2003, in press.
12. Σίδηρης Κ.Κ., Κυριτσάς Σ., Χανιωτάκης Ε.: "Μηχανικά χαρακτηριστικά και Ανθεκτικότητα Αυτοσυμπυκνούμενων Σκυροδεμάτων παρασκευασθέντων με Ελληνικά Ποζολανικά Υλικά", Πρακτικά 14<sup>ου</sup> Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως, 15-17 Οκτωβρίου 2003, Τόμος Β, σελ. 187-193.
13. Εφαρμογές αυτοσυμπυκνόμενου σκυροδέματος από την εταιρία Interbeton: Προσωπική επικοινωνία με κ. Κ. Γεωργίου, Διευθυντή Πωλήσεων Ιντερνπετόν Α.Ε.
14. Εφαρμογές αυτοσυμπυκνόμενου σκυροδέματος από την εταιρία ET BETON: Προσωπική επικοινωνία με κ. Χ. Βογιατζή, Διευθυντή Πιότητας ET ΜΠΕΤΟΝ Α.Ε.
15. Εφαρμογές αυτοσυμπυκνόμενου σκυροδέματος από την εταιρία LAFARGE BETON: Προσωπική επικοινωνία με κ. Ν. Μπαχά,,Τμήμα Marketing Lafaege Beton, υπεύθυνη της ανάπτυξης της σειράς Agilia.
16. Brite-EuRam Project BRPR-CT96-0366: "Rational Production and improved working environment through using self compacting concrete", Final Report.
17. Okamura H. and Ozawa K. (1995): Mix design for self-compacting concrete, Concrete Library of JSCE, 25, 1995, pp.107-120.
18. Domone P., Chai H. and Jin J (1999): Optimum mix proportioning of self-compacting concrete, Proceedings of International Conference on Innovation in Concrete Structures: Design and Construction, Dundee, September 1999, Thomas Telford; London, pp. 277-285.
19. Domone P. and Chai H. (1997): Testing of binders for High-Performance Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 27 (8), 1997, pp. 141-147.
20. Edamatsu Y., Nishida N, and Ouchi M. (1999): A rational mix-design method for self-compacting concrete considering interaction between coarse aggregate and mortar particles. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, September 1999, pp. 309-320.
21. Ouchi M, Hibino M., Ozawa K and Okamura H. (1998): A rational mix-design method for mortar in self-compacting concrete. Proceedings of the Sixth South-East Asia Pacific Conference of Structural Engineering and Construction, Taipei, Taiwan, 1998, pp 1307-1312.

22. Pelova G., Takada K. and Walraven J.(1998): Aspects of the Development of Self-Compacting Concrete in the Netherlands, applying the Japanese mix design system. Fracture Mechanics and Physics of Construction Materials and Structures; Andreikiv OY, Luchko JJ, editors. 3rd edition. The National Academy of Sciences of Ukraine, Kamaniar, 1998.
23. Petersson O., Billberg P., and Van B.K. (1996): A model for self-compacting concrete, Proceedings of the RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, Paisley, June 1996, ed. Bartos PJM, Marris DJ, E&FN SPON, London, pp.484-492.
24. Saak W.A, Jennings H.M. and Shah S.P. ( 2001): New methodology for designing Self-Compacting Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 98, No 6, 2001, pp. 429-439.
25. Α. Γεωργιάδης, Κ. Κ. Σίδηρης, Ν. Αναγνωστόπουλος: «Μία βελτιωμένη μέθοδος σχεδιασμού και ποιοτικού ελέγχου μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (ΑΣΣ)», πρακτικά του 15ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, 25-27 Οκτωβρίου 2006, Αλεξανδρούπολη, σελ. 427-438, Τόμος Γ.