

ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**ΑΝΔΡΕΑΣ ΚΑΛΕΝΤΖΩΤΗΣ****Περίληψη**

Στην παρακάτω εργασία παρουσιάζεται ένας 'νέος' τύπος σκυροδέματος, το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα. Αρχικά δίνονται κάποια ιστορικά στοιχεία. Κατόπιν αναλύεται η μέθοδος επίτευξης της αυτοσυμπύκνωσης, τα βασικά του συστατικά, τα είδη στα οποία κατηγοριοποιείται, οι ιδιότητες του σε υγρή και στερεή φάση, εφαρμογές του και τέλος ποια πλεονεκτήματα το κάνουν να ξεχωρίζει από το κοινό σκυρόδεμα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΟΡΙΣΜΟΣ

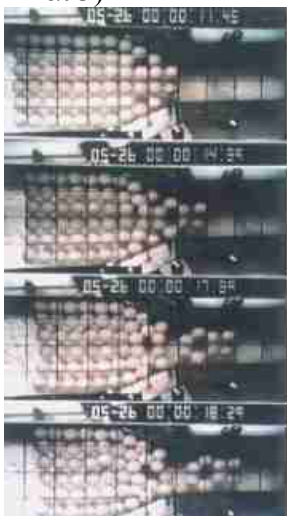
Ως αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (self compacting, ή self consolidating concrete -SCC-στη διεθνή βιβλιογραφία) καλείται το σκυρόδεμα που έχει τη δυνατότητα να πληρώσει οποιοδήποτε τύπο (ξυλότυπο, μεταλλότυπο, πλαστικότυπο κτλ.) ρέοντας ανάμεσα στον οπλισμό, και να αποκτήσει ικανή συμπύκνωση αποκλειστικά λόγω του ιδίου βάρους του και της ρεολογικής του συμπεριφοράς. Βασικά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ είναι η αυξημένη του ρευστότητα σε συνδυασμό με τη διατήρηση της απαιτούμενης συνεκτικότητας η οποία αποτελεί μέτρο της αντίστασης διαχωρισμού του μίγματος. Πρόκειται για σκυρόδεμα υψηλής επιτελεστικότητας (με επιλεκτικά αναβαθμισμένες ιδιότητες), και μάλιστα σύμφωνα με τη συνισταμένη άποψη αρκετών ερευνητών αποτελεί τη μεγαλύτερη εξέλιξη στον τομέα της τεχνολογίας σκυροδέματος τα τελευταία 50 χρόνια.

1. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

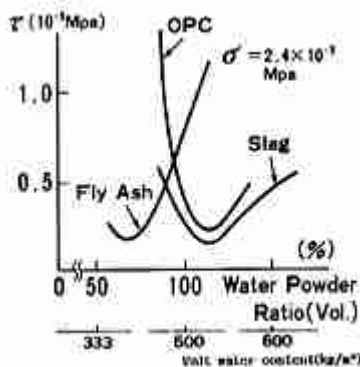
Αναφορές ερευνών γύρω από σκυροδέματα υψηλής συνοχής με ικανότητα διαμόρφωσης επίπεδης άνω επιφάνειας(self-leveling concrete) βρίσκονται στη διεθνή βιβλιογραφία ήδη από τα έτη 1975-76. Αυτός ο τύπος σκυροδέματος παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία στα τέλη της δεκαετίας του 1980 από τον καθηγητή Hajime Okamura του Tokyo University. Από το 1983 οι Ιάπωνες ενδιαφέρονταν για την ανθεκτικότητα των κατασκευών από σκυρόδεμα ,ή καλύτερα για την αντιμετώπιση του προβλήματος της μειωμένης ανθεκτικότητας που παρουσίαζαν οι παραπάνω κατασκευές. Κύρια αιτία του προβλήματος αυτού ήταν η ραγδαία ανάπτυξη της κατασκευαστικής βιομηχανίας με απαίτηση για ταχείες, ομοιόμορφες αλλά και αξιόπιστες κατασκευές χωρίς όμως να υπάρχει αρκετό επαρκώς εκπαιδευμένο εργατικό δυναμικό. Δηλαδή η συμπύκνωση του σκυροδέματος, η ελάττωση των πόρων στη μάζα του και ο απεγκλωβισμός του αέρα από την περιοχή κοντά στους ράβδους οπλισμού, που επιτυγχάνεται με δόνηση, δε διεξαγόταν από κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό. Η έλλειψη αυτή αντιμετωπίστηκε λοιπόν με το ΑΣΣ που όπως εύκολα διαπιστώνει κανείς από την ονομασία του δεν απαιτεί δόνηση για να συμπυκνωθεί. Μετά από εργαστηριακές έρευνες ,με κυριότερη αυτή των Ozawa και Maekawa, η πρώτη πρωτότυπη σύνθεση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με υλικά της Ιαπωνικής αγοράς σκυροδέματος έγινε τελικά το 1988. Υπολογίζεται πως μέχρι το 2000 στην Ιαπωνία, έγινε χρήση 400.000 m³ ΑΣΣ για τη δημιουργία προκατασκευασμένων στοιχείων. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι αν και το ΑΣΣ είναι μια Ιαπωνική πρωτοπορία έχει αρχίσει να εφαρμόζεται και στην Ευρώπη(κυρίως Σουηδία, Γαλλία, Ολλανδία) αλλά και στις ΗΠΑ. ^{[1],[2],[3],[4]}

2. ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΙΤΕΥΞΗΣ ΕΠΙΘΥΜΗΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

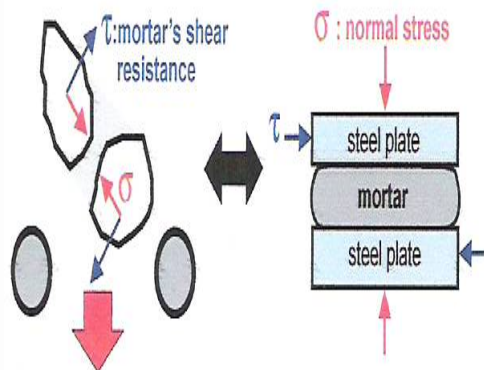
Αρχικά ο Okamura διευκολύνθηκε στον τρόπο σκέψης του καθώς ήδη στην Ιαπωνία χρησιμοποιούνταν σκυρόδεμα κατάλληλο για δόμηση μέσα σε νερό, μεγάλης δηλαδή αντίστασης σε απόμιξη. Η χρήση αυτού αποδείχθηκε όμως αναποτελεσματική σε κτηριακά έργα καθώς δεν συμπεκνωνόταν σωστά, αφού ο αέρας εγκλωβίζονταν λόγω του αυξημένου ιξώδους. Έτσι άρχισε να επεξεργάζεται έναν άλλο παράγοντα του σκυροδέματος, την εργασιμότητα. Πειραματικά διαπίστωσε τον τρόπο που ο λόγος νερού προς τσιμέντο επιδρά στις δυνάμεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στα χονδρόκοκκα αδρανή και του πολτού καθώς το μίγμα διέρχεται από μικρά κενά, και τις δυνάμεις τριβής μεταξύ των ίδιων των αδρανών. Το πείραμα με το οποίο παρατήρησε οπτικά το φαινόμενο ήταν το εξής. Αντικατέστησε τα χονδρόκοκκα αδρανή με ίδιου μεγέθους διαφανή πολυμερή σωματίδια, τα οποία ‘φύσηξε’ μέσω μειούμενης διατομής αγωγού και είδε πράγματι πως η παρεμπόδιση της ροής γινόταν λόγω της επαφής των σωματιδίων αυτών και της μεταξύ τους δύναμης(Εικόνα 1). Όσο μεγαλύτερος ο λόγος N/T τόσο μικρότερη η δύναμη αυτή και άρα τόσο μεγαλύτερη η εργασιμότητα. Αυτό όμως μειώνει ανεπιθύμητα το ιξώδες. Εδώ έγινε αναγκαία η χρήση ρευστοποιητή για την ταυτόχρονη ικανοποίηση της εργασιμότητας (που απαιτεί χαμηλό λόγο N/T) αλλά και της συνεκτικότητας που συνδέεται με το ιξώδες(απαιτεί υψηλό λόγο N/T), κάτι φαινομενικά μέχρι πριν ασυμβίβαστο. Αυτά τα αντιστρόφως ανάλογα χαρακτηριστικά καταφέρνουν να συνυπάρχουν «παραλόγως» χάριν σε υπερρευστοποιητές νέας γενιάς που προσδίδουν πλαστιμότητα στο μίγμα χωρίς να ελαττώνουν κρίσιμα το ιξώδες. Παράλληλα προσδιορίστηκαν οι αναλογίες για τα χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα αδρανή ως 50% και 40% κατά όγκο στερεών αντιστοίχως.^{[1], [2]} Αξίζει να σημειωθεί ότι μέσω πειραματικών δοκιμών κατέληξε στην αναλογία νερού προς σκόνη(λεπτόκοκκα) βλέποντας τον τρόπο που αυτή επιδρά στην τιμή της διατμητικής δύναμης μεταξύ των αδρανών. Το δεύτερο αυτό πείραμα είχε ως εξής: τοποθέτησε παράλληλα δυο μεταλλικές πλάκες και μίγμα ΑΣΣ ανάμεσά τους, και παρατήρησε ότι η διατμητική δύναμη ‘τ’ που απαιτούνταν για σχετική οριζόντια μετακίνηση εξαρτιόταν σε μεγάλο βαθμό από το λόγο νερό/σκόνη του μίγματος καταλήγοντας σε τιμές για το λόγο αυτό περίπου 0.9 – 1.0 (Εικόνες 2 και 3)



Εικόνα 1 ^[1]



Εικόνα 2 ^[1]



Εικόνα 3 ^[10]

3. ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ [2], [5]

Τα συστατικά του ΑΣΣ καθορίζονται ανάλογα με τις απαιτούμενες ιδιότητες του εκάστοτε μίγματος όμως πρέπει να συμφωνούν με τις προδιαγραφές του Ευρωπαϊκού Προτύπου EN 206-1:2000 το οποίο καλύπτει και την περίπτωση συστατικών του κοινού σκυροδέματος.

1. ΤΣΙΜΕΝΤΟ : Γενικώς όλα τα τσιμέντα που συμμορφώνονται με το Πρότυπο EN 197-1:2000 έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για την παραγωγή ΑΣΣ. Προτιμώνται τσιμέντα με μεγάλη διασπορά κόκκων από τον υπερρευστοποιητή και τσιμέντα πλούσια σε belite.
2. ΑΔΡΑΝΗ : Τα αδρανή θα συμμορφώνονται με το πρότυπο EN 12620:2002. Το μέγεθος των αδρανών εξαρτάται από την εφαρμογή και συνήθως είναι μικρότερο από 20mm. Το κατ'όγκον ποσοστό των χονδρόκοκκων αδρανών οφείλει να περιορίζεται προς αποφυγήν «γεφυρών» αδρανών που αμποδίζουν τη διέλευση από πυκνές διατάξεις οπλισμών. Η περιεκτικότητα των αδρανών σε υγρασία θα παρακολουθείται συστηματικά και θα πρέπει να συνυπολογίζεται ώστε η ποιότητα του παραγόμενου ΑΣΣ να διατηρείται σταθερή. Τέλος όλοι οι τύποι άμμου (μέγεθος κόκκου 0.125mm – 4mm) που χρησιμοποιούνται για κοινό σκυρόδεμα είναι κατάλληλες και για την παρασκευή ΑΣΣ.
3. ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ : Το νερό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κοινού σκυροδέματος θα συμμορφώνεται με το πρότυπο EN 1008:2002 έχει αποδειχθεί κατάλληλο για την παραγωγή ΑΣΣ.
4. ΠΡΟΣΘΕΤΑ : Χρησιμοποιούνται για την εξασφάλιση ικανοποιητικών ρεολογικών χαρακτηριστικών και παράλληλα τη μείωση του κινδύνου διαχωρισμού ή εξίδρωσης. Τα κυριότερα πρόσθετα είναι τα εξής :
 - Παιπάλη (σκόνη) πετρωμάτων (διάμετρος κόκκων < 0.125mm EN 12820:2002) : Μαρμαρόσκονη, κονιορτοποιημένοι ασβεστόλιθοι, δολομίτες ή γρανίτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνδετικές κονίες.
 - Ιπτάμενη Τέφρα (IT , γνωστή και ως pulverized fuel ash ,PFA -EN 450-1:2005) : Παραπροϊόν της καύσης λεπτοαλεσμένου άνθρακα στα ηλεκτροπαραγωγικά εργοστάσια (π.χ. λιγνίτη για την Ελλάδα). Είναι υλικό με ποζολανικές ιδιότητες πολύ λεπτής διαβάθμισης (ποσοστό διερχόμενων από το κόσκινο 45mm > 75%)
 - Πυριτική Παιπάλη (silica fume, SF ή microsilica –EN 13263-1:2005) εξαιρετικά λεπτόκοκκο υλικό με μέγεθος σωματιδίων 100 φορές μικρότερα από αυτά του κοινού τσιμέντου Portland (περίπου <1 μm) ώστε να προσκολλάται επιφανειακά στα αδρανή και να γεμίζει τα κενά μεταξύ των σωματιδίων τσιμέντου , προσδίδοντας συνεκτικότητα στο μίγμα . Έτσι αναβαθμίζονται οι ιδιότητες του σκυροδέματος που συνδέονται με τη μικρορηγημάτωση στη διεπιφάνεια αδρανών – μήτρας και τη διαπερατότητα.
 - Εξαιρετικά λεπτοαλεσμένη άμορφη κολλοειδής πυρίτια (ή nanosilica): Η χρήση της (σε ποσοστό 5% κ.β. τσιμεντοειδών υλικών) περιορίζει την εξίδρωση και συμβάλλει στην σταθεροποίηση του μίγματος
 - Σκωρία υψικαμίνων (ground granulated blast furnace slag –B8 6699: 1992) : Λεπτότατοι κόκκοι προερχόμενοι από κονιορτοποίηση παραπροϊόντων υψικαμίνων σιδηρομεταλλευμάτων.
 - Πληρωτικά Γυαλιού : Ανακυκλωμένο γυαλί με μέγιστο μέγεθος κόκκου 0.1mm
 - Χρωστικές Ουσίες (χρησιμοποιούνται με βάση το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN-12878:2005)

Άλλα τσιμεντοειδή υλικά που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στο ΑΣΣ είναι η χαλαζιακή σκόνη, η παιπάλη κιμωλίας και ο μετακαολίνης. Με χρήση των παραπάνω είναι δυνατόν να μειωθεί η ποσότητα τσιμέντου στο μίγμα. Επισημαίνεται τέλος ότι πρόσθετα

όπως ο μετακαολίνης και η πυριτική παιπάλη χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές λόγω του αυξημένου τους κόστους, ενώ αντίθετα η τεράστια διαθεσιμότητα ιπτάμενης τέφρας σε συνδυασμό με το χαμηλό της κόστος την καθιστά την «ιδανική σκόνη» για χρήση στο Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα σε μεγάλες ποσότητες, που μπορούν να κυμαίνονται μεταξύ των 200 και 350 kg/m³. [6]

5. ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ : Τα χημικά πρόσμικτα είναι μακρομοριακές ενώσεις και διακρίνονται στους υπερρευστοποιητές και στους ευρέως φάσματος υδατικούς μειωτήρες με το διαχωρισμό ανάμεσα στα δυο αυτά είδη να γίνεται ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του ίδιου στην πραγματικότητα προϊόντος.

- Υπερρευστοποιητές ή υπερπλαστικοποιητές : Οι πιο διαδεδομένοι έχουν σαν βάση τους τη σουλφοναφθαλίνη, τα πολυκαρβοξύλια, τη σουλφομελανίνη και την αμινοσουλφαμίνη. Αυξάνουν τη συνεκτικότητα και την εργασιμότητα του μίγματος χωρίς να επηρεάζουν το λόγο N/TY και την αντοχή.
- Ευρέως φάσματος υδατικούς μειωτήρες : Καθώς μειώνεται το νερό αυξάνεται ο λόγος N/TY, άρα και η αντοχή, ενώ αποκαθίσταται η εργασιμότητα και η συνεκτικότητα.

Βέβαια η δραστηριότητα των χημικών προσμίκτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως τον τύπο τους, τη χρονική στιγμή της εισαγωγής τους στο μίγμα, τη δοσολογία τους, το λόγο N/TY, την κοκκομετρική τους διαβάθμιση, το είδος των υπολοίπων τσιμεντοειδών υλικών, τη θερμοκρασία του σκυροδέματος κ.α. Υπάρχει συγκεκριμένη ποσότητα προσμίκτου για βέλτιστα αποτελέσματα εργασιμότητας του μίγματος για το επιθυμητό χρονικό διάστημα, που να αποτρέπει την απόμιξη και με ελάχιστη επίδραση στο χρόνο πήξης και τις μηχανικές ιδιότητες στις μικρές ηλικίες. Σημείο ιδιαίτερης προσοχής είναι η προσεκτική επιλογή των χημικών προσμίκτων ώστε να είναι συμβατά τόσο με το τσιμέντο του μίγματος (συνήθως Portland) όσο και μεταξύ τους.

6. ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΙΞΩΔΟΥΣ (viscosity modifying agents - VMAs): Αποτελούν καινοτομία για το πεδίο των χημικών σκυροδέματος, επιτρέποντας την Παρασκευή ΑΣΣ με μικρή ποσότητα πληρωτικών. Συνήθως προστίθενται σε ποσοστό 0.1-0.2% κ.β. τσιμεντοειδών υλικών και διακρίνονται σε δυο τύπους

- Βελτιωτικά άντλησης με βάση τη σελουλόζη
- Διαλύματα πολυαιθυλενίου-γλυκόλης.

7.ΑΕΡΑΚΤΙΚΑ : Αυτά, όπως και στο κοινό σκυρόδεμα, προσφέρουν προστασία έναντι ψύξης - απόψυξης. Η προσθήκη του αερακτικού στο ανάμιγμα ΑΣΣ πρέπει να γίνεται μετά την προσθήκη του υπερπλαστικοποιητή (AFGC,2000).

8.ΙΝΕΣ : Όπως και στο κοινό σκυρόδεμα με την προσθήκη ινών βελτιώνονται οι μηχανικές ιδιότητες του μίγματος. Ίνες από χάλυβα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ρηγμάτωσης (περιορισμός συστολής ξήρανσης) και αυξάνουν τη δυσθραυστότητα ,ενώ ίνες πολυπροπυλενίου βελτιώνουν την αντίσταση σε πυρκαγιά και την αντίσταση έναντι διαχωρισμού. Περιεκτικότητες μέχρι και 30kg/m³ ινών χάλυβα δεν υποβαθμίζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ . Για μεγαλύτερες τιμές απαιτούνται προκαταρκτικές δοκιμές της εργασιμότητας του μίγματος, με μέγιστη τιμή 50kg/m³. Αντίστοιχα για ίνες πολυπροπυλενίου η μέγιστη περιεκτικότητα ανέρχεται στο 1kg/m³.

4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ [2] , [6]

Το ΑΣΣ κατηγοριοποιείται ανάλογα με τη μέθοδο σύνθεσής του, προς αύξηση του πλαστικού του ιξώδους, αλλά και ανάλογα με τον βαθμό αυτοσυμπύκνωσης.

1. Με βάση τη μέθοδο σύνθεσης του :

- Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα τύπου κονιάς (powder type SCC) : Οι αναλογίες του μίγματος είναι τέτοιες ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση της αυτοσυμπύκνωσης, μειώνοντας το λόγο νερού προς λεπτόκοκκα (διάμετρος <0.1mm) και να υπάρχει επαρκής αντίσταση σε διαχωρισμό. Αυτό όμως μειώνει την πλαστικότητα η οποία αποκαθίσταται με προσθήκη υπερρευστοποιητών και αερακτικών. Τέτοιου τύπου ήταν τα πρώτα μίγματα ΑΣΣ.
- Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα με βάση τον ρυθμιστικό παράγοντα για το ιξώδες (Viscosity agent type SCC) : Σε μίγματα χαμηλής ποσότητας συνδετικών κονιών, η αντίσταση σε διαχωρισμό εξασφαλίζεται με προσθήκη ρυθμιστή ιξώδους, ακόμα και λίγο πριν τη διάστρωση. Η ζητούμενη πλαστικότητα και πάλι εξασφαλίζεται με χρήση προσθήκη υπερρευστοποιητών και αερακτικών. Αυτός ο τύπος σκυροδέματος αποτελεί εξέλιξη του σκυροδέματος για υποβρύχιες σκυροδετήσεις.
- Συνδυασμένος τύπος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος : Η ρευστότητα του ΑΣΣ επιτυγχάνεται με βάση τα λεπτόκοκκα όπως στον πρώτο τύπο. Παρουσιάζονται όμως σημαντικές ποιοτικές διακυμάνσεις σε αυτήν ανάλογα με τις αυξομειώσεις στην επιφανειακή υγρασία των αδρανών και την κοκκομετρική διαβάθμιση του λεπτόκοκκου κλάσματος. Αυτές οι διακυμάνσεις ελαχιστοποιούνται με χρήση ρυθμιστή ιξώδους.

2. Με βάση το βαθμό αυτοσυμπύκνωσης

- Κατηγορία 1: Για δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, όπου οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών είναι μικρότερες από 60mm ή η ποσότητα του οπλισμού υπερβαίνει τα 350kg/m³.
- Κατηγορία 2: Για δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, όπου οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών είναι μεταξύ 60mm και 200mm ή η ποσότητα του οπλισμού είναι από 100 έως 350kg/m³.
- Κατηγορία 3: Για δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, όπου οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών είναι μεγαλύτερες από 200mm ή η ποσότητα του οπλισμού είναι μικρότερη από 100kg/m³.

[6] πίνακας 4 .τυπική σύνθεση Ολλανδία

5. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΑΣΣ [3],[8]

Το βασικό χαρακτηριστικό του ΑΣΣ είναι οι ιδιότητες που έχει όσο είναι ακόμα νωπό, καθώς στη στερεή του φάση παρουσιάζει περίπου όμοιες ιδιότητες με το κοινό σκυρόδεμα. Οι ιδιότητες αυτές είναι :

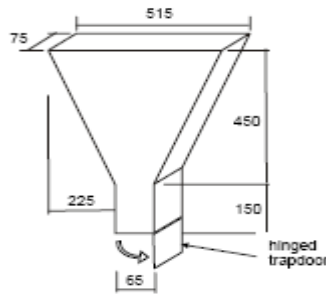
- Ροή αποκλειστικά λόγω του ίδιου βάρους του, χωρίς δόνηση
- Ροή μέσω στενών ανοιγμάτων και έτσι πλήρωση ξυλοτύπων με πυκνό οπλισμό
- Διατήρηση ομοιογένειας κατά τη μεταφορά και τη διάστρωση

Πέρα από αυτές της βασικές ιδιότητες του ΑΣΣ, για συγκεκριμένες εφαρμογές, παρασκευάζονται μίγματα με αντίσταση σε απόπλυση και απαλλαγμένες από ατέλειες ελεύθερες επιφάνειες. Για την εκτίμηση των παραπάνω ιδιοτήτων δεν υπάρχει ακόμα κάποια ομογενοποιημένη δοκιμή, που να τις ελέγχει δηλαδή ταυτόχρονα. Οι κυριότερες δοκιμές είναι:

1. Δοκιμή εξάπλωσης : Εδώ αξιολογείται η ικανότητα ανεμπόδιστης οριζόντιας ροής του ΑΣΣ, για μίγματα όπου τα χονδρόκοκκα αδρανή έχουν μέγιστη διάμετρο κόκκου μικρότερη από 40mm. Χρησιμοποιείται ο ίδιος εξοπλισμός της δοκιμής κάθισης του κοινού σκυροδέματος, δηλαδή ένας μεταλλικός κώνος κώνος ύψους 300mm, με διάμετρο βάσης 200mm και κορυφής 100mm. Αφού γεμίσει με σκυροδέμα, ο κώνος αφαιρείται και η μάζα σκυροδέματος ‘κάθεται’ λόγω ιδίου βάρους [8]. Η διαφορά είναι ότι το σκυροδέμα του δοκιμίου δεν δονείται, και αντί να μετριέται η κάθιση της κορυφής της μάζας του σκυροδέματος σε σχέση με την κορυφή του μεταλλικού κώνου, μετριέται η ακτίνα διάμετρος του κύκλου εξάπλωσης του σκυροδέματος (Εικόνα 1), η οποία αποτελεί μέτρο της ικανότητας πλήρωσης του νωπού ΑΣΣ.



Εικόνα 1^[11]



Εικόνα 2^[10]

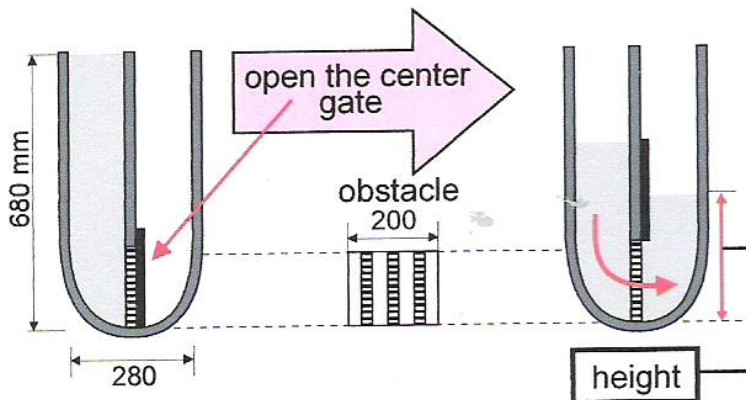


Εικόνα 3^[10]

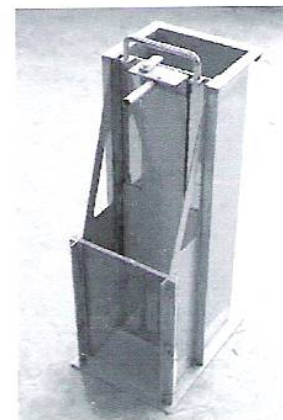
2. Η δοκιμή V-Funnel : Αυτή είναι μια μέθοδος εκτίμησης την αντίσταση διαχωρισμού, χρησιμοποιώντας μια χοάνη σχήματος V (Εικόνες 2 και 3), όγκου 12 λίτρων, και μετρώντας το χρόνο απορροής του μίγματος, για μέγιστη διάμετρο κόκκου χονδρόκοκκων αδρανών μικρότερη από 25mm.

3. Η δοκιμή T-50 : Άλλη μια μέθοδος εκτίμησης την αντίσταση διαχωρισμού του ΑΣΣ. Εδώ υπολογίζεται ο απαιτούμενος χρόνος για κύκλο εξάπλωσης διαμέτρου 500mm, στη δοκιμή εξάπλωσης που προαναφέρθηκε. Χαρακτηριστικές τιμές αυτής της δοκιμής για τυπικά μίγματα ΑΣΣ δίνουν χρόνο T-50 περίπου 2-5 δευτερόλεπτα.

4. Η δοκιμή U-box και δοκιμή Fill-Box: Αυτές είναι μέθοδοι εκτίμησης της ικανότητας ροής του ΑΣΣ μέσω εμποδίων, για μίγματα όπου τα χονδρόκοκκα αδρανή έχουν μέγιστη διάμετρο κόκκου μικρότερη από 25mm. Καθώς το μίγμα μετακινείται από τον ένα θάλαμο στον άλλο μετριέται ο απαιτούμενος χρόνος και τα σχετικά ύψη του σκυροδέματος στους δυο θαλάμους των κιβωτίων (Εικόνες 4 και 5).



Εικόνα 4^[10]



Εικόνα 5^[10]

6. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΑΣΣ ^[3]

Τα βασικά συστατικά του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι πρακτικά τα ίδια με αυτά του κοινού δονούμενου σκυροδέματος πέραν της ανάμιξης σε διαφορετικά ποσοστά και βέβαια της χρήσης ειδικών προσμίκτων και πρόσθετων όπως φάνηκε παραπάνω. Εργαστηριακοί έλεγχοι αλλά και πρακτικές εφαρμογές απέδειξαν ότι οι ιδιότητες του στερεού ΑΣΣ είναι πράγματι παρόμοιες με αυτές του κοινού σκυροδέματος, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα

Λόγος νερό/τσιμέντο (%)	25 - 40
Περιεκτικότητα αέρα (%)	4.5 - 6
Θλιπτική Αντοχή (ηλικία 28 ημερών)(MPa)	40 - 80
Θλιπτική Αντοχή (ηλικία 96 ημερών)(MPa)	55 - 100
Εφελκυστική Αντοχή	2.4 -4.8
Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	30 - 36

7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Οι πρώτες γνωστές εφαρμογές του ΑΣΣ έγιναν στην Ιαπωνία καθώς και εκεί αναπτύχθηκε αυτός ο τύπος σκυροδέματος, και ήταν οι βάσεις αγκύρωσης τις γέφυρας Akashi-Kaiyo (Εικόνα 6) που παραδόθηκε σε κυκλοφορία το 1998, με άνοιγμα 1.991 m, που με χρήση ΑΣΣ μειώθηκε ο χρόνος κατασκευής κατά 20%, και οι δεξαμενές αποθήκευσης φυσικού αερίου σε υγρή μορφή (Liquid Natural Gas – LNG) στην Οσάκα της Ιαπωνίας, όπου το εξωτερικό περίβλημα των δεξαμενών κατασκευάστηκε με προένταση και χρήση Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος.



Εικόνα 6^[10]

Στην Ευρώπη αρκετά σημαντικά έργα έχουν γίνει με ΑΣΣ. Τέτοια είναι στη Γαλλία το Κέντρο Τέχνης της Meudon, στη Σουηδία , που αποτελεί πρωτοπόρο για την ανάπτυξη του ΑΣΣ στην Ευρώπη, χρησιμοποιείται κυρίως για οδικά έργα και για εφαρμογές στην κατασκευή προκατασκευασμένων τομέων επένδυσης σήραγγων, όπως η σήραγγα της περιοχής Grind. Σήμερα το μεγαλύτερο υπό κατασκευή τεχνικό έργο στη Σουηδία είναι το Sodra Lanke Project που περιλαμβάνει τη δημιουργία νότιας περιμετρικής της Στοκχόλμης, 7 οδικούς κόμβους, με γέφυρες και σήραγγες, δομημένα με ΑΣΣ. Το συνολικό μήκος του έργου είναι περίπου 22.6 km και το κόστος περί τα 800 εκατομμύρια δολάρια , ενώ υπολογίζεται να χρειαστούν 225.000m³ σκυροδέματος ^[3]. Ακόμα στη Μεγάλη Βρετανία εφαρμόστηκε για επισκευή προβλήτας φόρτωσης πετρελαίου στο Immingham. ^[6]

Στην Ελλάδα έχει χρησιμοποιηθεί σε ελάχιστα τεχνικά έργα (ιδιωτικά και έργα υποδομής). Δοκιμαστικά αναμίγματα και σκυροδετήσεις έλαβαν χώρα στο εργοτάξιο της ζεύξης Ρίου-Αντιρρίου στα πλαίσια διερεύνησης της πιθανότητας χρήσης του στο μεγάλο αυτό τεχνικό έργο. Τελικά μόνο ένα στοιχείο (36m³) των μόνιμων μερών του έργου κατασκευάστηκε από ΑΣΣ. Άλλες εφαρμογές είναι κατασκευή βιομηχανικών δαπέδων, δωμάτων, θεμελίων και ενισχύσεων υπό τη μορφή έγχυτων μανδυών σε υποστυλώματα ^[7] (π.χ. Εικόνα 7)



Εικόνα 7^[12]

8. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΣΣ ^[9]

- Δε χρειάζεται δόνηση άρα λιγότερος θόρυβος στο εργοτάξιο, δυνατότητα σκυροδέτησης ακόμα και σε ώρες κοινής ησυχίας. Καλύτερο περιβάλλον εργασίας και σημαντική μείωση της πιθανότητας εργατικών ατυχημάτων.
- Δυνατότητα σκυροδέτησης μελών περίπλοκης γεωμετρίας και πυκνού οπλισμού (π.χ. Εικόνα 8)



Εικόνα 8^[4]

- Αύξησης ταχύτητας σκυροδέτησης που οδηγεί σε αύξηση της παραγωγικότητας
- Διευκόλυνση της διαδικασίας της σκυροδέτησης, με λιγότερες απαιτήσεις σε προσωπικό άρα και μείωση του συνολικού κόστους της κατασκευής.
- Διαβεβαίωση αξιόπιστης συμπύκνωσης του μίγματος άρα μεγαλύτερη ανθεκτικότητα κατασκευής.
- Μείωση της διασποράς των τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων
- Μικρότερη φθορά των ξυλοτύπων αφού δε δονείται το σκυρόδεμα
- Μικρότερη φθορά στους αναδευτήρες του νωπού σκυροδέματος λόγω μικρότερων εσωτερικών διατμητικών δυνάμεων
- Καλύτερες επιφάνειες μετά το ξεκαλούπωμα, με λιγότερες ατέλειες και άρα οικονομία αφού δεν απαιτούνται περαιτέρω εργασίες επιδιόρθωσής τους.
- Αυξημένη αντοχή σε πρώιμο στάδιο σε σχέση με το δονούμενο σκυρόδεμα
- Μικρότεροι λόγοι νερού/τσιμέντο (< 0.35) που οδηγεί σε αύξηση της αντοχής χωρίς ταυτόχρονη απώλεια εργασιμότητας

- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας λόγω απουσίας δόνησης
- Μειωμένη διαπερατότητα
- Πολύ καλή άντληση
- Περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση συστατικών λεπτού καταμερισμού των οποίων η διάθεση προκαλεί περιβαλλοντικά προβλήματα.
- Ταχύτερη αποπεράτωση επισκευών και άρα μικρότερη στέρηση χρήσης των προς επισκευή έργων.

Βέβαια υπάρχουν και κάποια σημεία προσοχής για την παραγωγή μιγμάτων ΑΣΣ. Υπάρχει μικρότερη ευαισθησία σε διακυμάνσεις των ιδιοτήτων των συστατικών. Απαιτείται μεγαλύτερη εξειδίκευση του προσωπικού που είναι υπεύθυνο για τη μελέτη σύνθεσης, την παραγωγή, τη μεταφορά, την άντληση και τη διάστρωση του ΑΣΣ. Εξασφάλιση στεγανότητας των ξυλοτύπων λόγω κινδύνου απώλειας μίγματος και προσεκτική τους διαστασιολόγηση για υψηλούς ρυθμούς σκυροδέτησης. Για την περίπτωση της προκατασκευής είναι αναγκαία η αναβάθμιση των εγκαταστάσεων και των υπάρχουσων υλικοτεχνικών εξοπλισμών(π.χ. πρόσθετο σιλό αποθήκευσης κονιών, νέες συσκευές ελέγχου των ιδιοτήτων του νωπού ΑΣΣ).^[2]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα είναι από τις μεγαλύτερες πρωτοτυπίες στον τομέα της κατασκευής, ειδικά αν σκεφτούμε πως οι προοπτικές για εξελίξεις στα υπόλοιπα δομικά της στοιχεία (οπλισμός, τύποι)δεν είναι εξίσου μεγάλες. Δεν είναι κάτι τελείως νέο, και ήδη έχει εφαρμοστεί διεθνώς σε αρκετές περιπτώσεις, όχι μόνο πειραματικά (είτε σε ακαδημαϊκό επίπεδο είτε σε εργαστήρια βιομηχανιών του κατασκευαστικού κλάδου). Το σύνολο των έργων αυτών λειτουργεί ευμενώς υπέρ της εξάπλωσης της τεχνολογίας του ΑΣΣ καθώς αποτελούν ζωντανή επιβεβαίωση των πειραματικών συμπερασμάτων προηγούμενων ετών. Τέλος, στην Ελλάδα το ΑΣΣ θα μπορούσε να αντικαταστήσει ικανοποιητικά το κοινό σκυρόδεμα, με μια τέτοια κίνηση πιθανότερα να ξεκινάει στον τομέα της προκατασκευής. Για να συμβεί κάτι τέτοιο θα πρέπει έναντι της εμπιστοσύνης κυρίως σε δοκιμασμένες ήδη μεθόδους (δονούμενο σκυρόδεμα) να υπερισχύσει η συνειδητοποίηση των ωφελειών από τις νέες τεχνολογίες. Σήμερα το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα θεωρείται σκυρόδεμα ‘ειδικού τύπου’ και το δονούμενο σκυρόδεμα είναι αυτό που θεωρείται κοινό. Όμως οι ταχύτατοι ρυθμοί εξάπλωσης του, σε διεθνές επίπεδο αποτελούν προάγγελο πιθανής αναθεώρησης ανάμεσα στο χαρακτηρισμό των δυο αυτών διαφορετικών τύπων σκυροδέματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://concrete.t.u-tokyo.ac.jp/en/research/HPC/ferdevelop.htm>
2. **Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα: Ανασκόπηση, Ιδιότητες και Προοπτικές στην Ελλάδα**,(2003),Πρακτικά 14^ο Συνεδρίου Σκυροδέματος Κως 2003, Κ.Γ.Παπανικολάου, Αθ.Χ.Τριανταφύλλου
3. **Applications of Self-Compacting Concrete in Japan, Europe and the United States**, (<http://www.fhwa.dot.gov/BRIDGE/scc.pdf>), Masahiro Ouchi, Sada-aki Nakamura, T. Osterberg, S.V. Hallberg, M. Lwin
4. **Self-Compacting Concrete: what is new?** , (<http://www.encosrl.it/enco%20srl%20ITA/servizi/pdf/high/34.pdf>) , M. Collepari
5. **Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές**, (www.iok.gr/petep/01-01-06-00.pdf) , Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.

6. **Οικοδομώντας Ανθεκτικές Κατασκευές με Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα**, Πρακτικά 14 Συνεδρίου Σκυροδέματος Κως 2003, M.Corradi, R.S.Khurana, Β.Κροκίδης, Θ.Παναγιωτίδης
7. **Εργαστηριακός Έλεγχος Αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος χαμηλού κόστους**, Πρακτικά 15^{ου} Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κ.Γ.Παπανικολάου, Δ.Γ.Φρυγανάκης, Αθ.Χ.Τριανταφύλλου
8. **Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος Μέρος Ι**, Πάτρα 2004, Μ.Φαρδής
9. **SCC places itself in a class of its own**, (http://www.precast.org/publications/mc/TechArticles/01_Fall_SCC.htm), Dean.A.Frank
10. **Self-Compacting Concrete**, April 2003, Journal of Advanced Concrete Technology Vol.1, No 1, 5-15, Hajime Okamura, Masahiro Ouchi
11. **An introduction to self-consolidating concrete**, Technical Bulletin TB-1500, http://www.na.graceconstruction.com/custom/concrete/downloads/TB_1500B.pdf
12. **Self Compacting Concrete - Building and Construction - Danish Technological Institute**, <http://www.danishtechnology.dk/building/2028>
13. <http://www.kuraray-am.com/pvaf/repair.php> (Εξώφυλλο)