

## **ΤΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (SCC) ΣΤΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ – ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

**ΚΟΛΙΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ**  
**ΣΟΥΓΛΕΡΗ ΙΩΑΝΝΑ**

### **Περίληψη**

*Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήσαμε το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα(SCC) και τη χρήση του στις Ενισχύσεις – Επισκευές κατασκευών. Αρχικά επεξηγούμε τον όρο SCC, κάνουμε μία γεωγραφική αναδρομή σε χώρες της Ευρώπης που έχει χρησιμοποιηθεί, εκθέτουμε τα πλεονεκτήματα αλλά και τα σημεία προσοχής στη χρήση του, παραθέτουμε τα ενσωματούμενα υλικά και τα κριτήρια αποδοχής τους καθώς και τις διαδικασίες σύνθεσης του. Στη συνέχεια παραθέτουμε φωτογραφικό υλικό από διάφορα έργα ανά την υφήλιο που κατασκευάστηκαν εξαρχής με SCC. Τέλος γίνεται αναφορά στη χρήση του κατά τις ενισχύσεις – επισκευές συμβατικών κατασκευών με συγκεκριμένα παραδείγματα.*

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### **1. ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

Ο όρος “Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα” (SCC) αναφέρεται στο 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 την χρήση δονητών μάζας ή άλλης εξωτερικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί την ομοιογένειά του. Πρόκειται για σκυρόδεμα προηγμένης τεχνολογίας το οποίο αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στην Ιαπωνία στα μέσα της δεκαετίας του '80. Πάραυτα, το SCC είναι περισσότερο μια καινοτόμος τεχνολογία, παρά ένα νέο υλικό, το οποίο επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία και στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τα τεχνικά έργα. Αλλάζει δραματικά το τοπίο σε ότι έχει να κάνει με τη σύλληψη, την παραγωγή και την τοποθέτηση του σκυροδέματος. Τέλος , πρέπει να αναφέρουμε ότι από εμάς εξαρτάται ο ορθός, αποδοτικός και ευφυής τρόπος εκμετάλλευσης της κάθε ιδιότητας και συμπεριφοράς του υλικού μας. [1], [2]

#### **2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ**

Όσον αφορά στην Ευρωπαϊκή αγορά, το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα SCC παρουσιάστηκε και αναπτύχθηκε τα τελευταία πέντε χρόνια. Όμως η πρώτη εφαρμογή του έγινε στα τέλη της δεκαετίας του '90 και στη Σουηδία, που αποτέλεσε πρωτοπόρος στην ανάπτυξη και στη χρήση του στην Ευρώπη. Οι περισσότερες εφαρμογές έχουν να κάνουν με το οδικό δίκτυο και την ευρεία χρήση αλατιού , λόγω πάγου, με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις του σκυροδέματος για αντοχή σε κύκλους ψύξης-απόψυξης αλλά και η ανθεκτικότητά του σε επιθετικούς παράγοντες να είναι αυξημένες. Στη Γαλλία μία εφαρμογή SCC σε μεγάλο έργο είναι το Κέντρο Τέχνης Meudon. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προτιμήθηκε το SCC διότι διευκόλυνε τη διαδικασία σκυροδέτησης και συντόμευσε το χρόνο παραγωγής. Στη Μεγάλη Βρετανία το SCC εφαρμόστηκε στην επισκευή μίας προβλήτας φόρτωσης πετρελαίου του Οργανισμού Βρετανικών Λιμένων στο Immingham. Η επισκευή πραγματοποιήθηκε στο άκρο της προβλήτας όπου η πρόσβαση για τη σκυροδέτηση με συμβατικούς τρόπους ήταν αδύνατη λόγω του πυκνού οπλισμού και του ύψους του στοιχείου γι' αυτό και χρησιμοποιήθηκε SCC. Τέλος στην Ολλανδία υπάρχει ταχύτατη ανάπτυξη στη χρήση του SCC κυρίως στη βιομηχανία προκατασκευής λόγω μείωσης του εργατικού κόστους, μείωσης του θορύβου και τέλειου φινιρίσματος των στοιχείων. [5]

#### **3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ SCC**

Το SCC εμφανίζει σειρά θετικών χαρακτηριστικών, όπως:

### **Αυξημένη Παραγωγικότητα**

- α) Μείωση του χρόνου σκυροδέτησης, λόγω απουσίας του σταδίου της μηχανικής δόνησης.
- β) Δυνατότητα σκυροδέτησης μελών περίπλοκης γεωμετρίας, μελών με ιδιαίτερα πυκνό οπλισμό ή επίπεδων επιφανειών μεγάλης επιφάνειας (αυτοεπιπέδωση).
- γ) Ελαχιστοποίηση των εργασιών επιδιόρθωσης των σκυροδετημένων στοιχείων λόγω κακοτεχνιών.
- δ) Μείωση του απαιτούμενου εργατικού δυναμικού ανά σκυροδετούμενο στοιχείο.
- ε) Μεγαλύτερη εργονομία στο χώρο σκυροδέτησης.

### **Αυξημένη Ανθεκτικότητα**

- α) Βελτωμένες εξωτερικές επιφάνειες.
- β) Ικανοποιητική και ομοιόμορφη συμπύκνωση.
- γ) Μείωση της διασποράς των τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων.

### **Αναβαθμισμένο Περιβάλλον Εργασίας**

- α) Μείωση της ηχορύπανσης.
- β) Εξάλειψη της φυσικής καταπόνησης από τη χρήση δονητών και της πιθανότητας εργατικών ατυχημάτων.
- γ) Μείωση των τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων κοντά στο σημείο σκυροδέτησης.

### **Υψηλή Αισθητική**

Δυνατότητα ικανοποίησης περίπλοκων αρχιτεκτονικών απαιτήσεων (κυρίως όσον αφορά εμφανή σκυροδέματα και απόδοση του αρχιτεκτονικού αναγλύφου τους).

### **Αειφορία και Βιώσιμη Ανάπτυξη**

Χρησιμοποίηση συστατικών λεπτού καταμερισμού των οποίων η διάθεση προκαλεί περιβαλλοντικά προβλήματα (πληρωτικά από βιομηχανικά παραπροϊόντα, εξαιρετικά λεπτόκοκκα υπολείμματα λατομείων). [1]

## **4. ΣΗΜΕΙΑ ΠΡΟΣΟΧΗΣ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ SCC**

- α) Μεγαλύτερη ευαισθησία των συνθέσεων στις διακυμάνσεις των ιδιοτήτων των συστατικών (ποσοστό υγρασίας αδρανών, λεπτότητα κονιών, κ.λ.π.)
- β) Πιθανότητα ύπαρξης διαφορών μεταξύ ρεολογικής συμπεριφοράς στο εργαστήριο και στο πεδίο. Δηλαδή απαιτείται μεγαλύτερη εξειδίκευση του προσωπικού το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μελέτη σύνθεσης, την παραγωγή, τη μεταφορά, την άντληση, τη διάστρωση και τον ποιοτικό έλεγχο των σταδίων αυτών.
- γ) Εξασφάλιση στεγανότητας των ξυλοτύπων και προσεχτική διαστασιολόγηση για υψηλούς ρυθμούς σκυροδέτησης. Απαιτείται υψηλός βαθμός συνέργειας και ποιότητας σε όλα τα στάδια της παραγωγής.
- δ) Απαιτήση αναβάθμισης των υπαρχουσών υλικοτεχνικών υποδομών στα παρασκευαστήρια (π.χ. επιπλέον χώροι αποθήκευσης κονιών, νέες συσκευές ελέγχου των ιδιοτήτων ναπού SCC, υγρόμετρα ακριβείας).

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν, πως η παραγωγή ενός προηγμένου προϊόντος δεν δύναται να πραγματοποιηθεί με τη χρήση παρωχημένης τεχνολογίας και χρειαζόμαστε αυστηρότερα κριτήρια ποιοτικού ελέγχου για τις πρώτες ύλες, τη διαδικασία παραγωγής, την τήρηση της γραμμής παραγωγής στο εργοτάξιο και τη συντήρηση. Γενικά, ενώ η διατύπωση των κριτηρίων ποιότητας βασίζεται κυρίως σε αντικειμενικές επιστημονικές αρχές και δεδομένα, η σωστή τους εφαρμογή στην πράξη εξαρτάται άμεσα από την επικρατούσα νοοτροπία στον τεχνικό κόσμο. Έτσι, οι αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία και στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τα τεχνικά έργα είναι στην ουσία αλλαγές νοοτροπίας, δηλαδή αλλαγές με πολιτισμικές προεκτάσεις. Για την περίπτωση του SCC, οι τελευταίες αφορούν όχι μόνο τον τεχνικό κόσμο, αλλά το σύνολο του κοινωνικού ιστού, καθώς η οικοδομή παύει να είναι ένας χώρος που προκαλεί έντονη όχληση. [1]

## 5. ΕΝΣΩΜΑΤΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του Αυτοσυμπυκνόμενου Σκυροδέματος (SCC) πρέπει γενικώς να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 206-1. Πρέπει να είναι κατάλληλα για την χρήση που προορίζονται και δεν πρέπει να περιέχουν επιβλαβή συστατικά σε ποσότητες που μπορεί να είναι επικίνδυνες για την ποιότητα, την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος ή την διάβρωση του οπλισμού.

### α) Τσιμέντο

Γενικώς όλα τα τσιμέντα που συμμορφώνονται με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1 έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για την παραγωγή SCC. Όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα, απαιτούνται διαφορετικές συνθέσεις SCC όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι τσιμέντου.

### β) Αδρανή

Τα αδρανή θα συμμορφώνονται με το πρότυπο EN 12620:2002. Το μέγιστο μέγεθος των αδρανών εξαρτάται από τις συνθήκες εφαρμογής και συνήθως είναι μικρότερο από 20 mm. Η περιεκτικότητα των αδρανών σε υγρασία θα παρακολουθείται συστηματικά και θα πρέπει να συνυπολογίζεται ώστε η ποιότητα του παραγόμενου SCC να διατηρείται σταθερή.

### γ) Νερό

Το νερό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή σκυροδέματος και συμμορφώνεται με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1008, έχει αποδειχθεί κατάλληλο για την παραγωγή SCC.

### δ) Πρόσθετα

Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται θα ικανοποιούν το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934-2. Οι υπερρευστοποιητές είναι θεμελιώδες συστατικό του SCC για την εξασφάλιση της κατάλληλης εργασιμότητας. Όταν είναι αναγκαίο μπορούν να προστεθούν και άλλοι τύποι προσθέτων, όπως ρυθμιστές ιξώδους (viscosity modifying agents, VMA) για την αντίσταση σε απόμιξη, αερακτικά για την βελτίωση της αντίστασης σε ψύξη-απόψυξη, επιβραδυντές για την ρύθμιση της πήξης κ.ά. Οι ρυθμιστές ιξώδους δεν καλύπτονται ειδικά από το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934-2 αλλά θα πρέπει να συμμορφώνονται με τις γενικές απαιτήσεις του Πίνακα 1 αυτού του προτύπου. Επιπροσθέτως θα πρέπει να παρέχονται από τον προμηθευτή πλήρη στοιχεία για τις ιδιότητες του προσθέτου.

### ε) Πρόσμικτα (συμεριλαμβανομένων fillers και χρωστικών)

Τα πρόσμικτα Τύπου I (περίπου αδρανή)

- Περίπου αδρανή filler που συμμορφώνονται με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12620

- Χρωστικές ουσίες που συμμορφώνονται με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12878

έχουν γενικώς αποδεχθεί κατάλληλα για την παραγωγή SCC.

Τα πρόσμικτα Τύπου II (ποζολανικά ή λανθάνοντα υδραυλικά)

- Ιπτάμενες τέφρες που συμμορφώνονται με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 450-1

- Πυριτική παιπάλη που συμμορφώνεται με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13263-1

έχουν γενικώς αποδεχθεί κατάλληλα για την παραγωγή SCC.

### στ) Ίνες

Οι συνήθεις ίνες από χάλυβα ή από πολυμερή, χρησιμοποιούνται στο SCC όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα για την βελτίωση των ιδιοτήτων του. Οι μεν χαλύβδινες χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της καμπτικής αντοχής και ενέργειας θραύσεως, οι δε πολυμερείς για την μείωση της απόμιξης, της πλαστικής συρρίκνωσης, της μικρορηγματώσης και της ανθεκτικότητας σε πυρκαϊά. Οι διεργασίες ανάμιξης και διάστρωσης θα επαληθεύονται με δοκιμαστικά αναμίγματα και εφαρμογές επίδειξης και θα εγκρίνονται από την επίβλεψη. [2] – [4] -[10]

## 6. ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ SCC

Η σύνθεση του SCC θα ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις που αφορούν το νωπό και το

σκληρυμένο σκυρόδεμα. Για το νωπό σκυρόδεμα οι ενδεικτικές απαιτήσεις αναφέρονται στο κεφ. 3.5. Το σκληρυμένο σκυρόδεμα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 206-1 .

Ως μέσον για τον σχεδιασμό των ρεολογικών ιδιοτήτων του SCC χρησιμοποιείται το προσομοίωμα στερεών-πάστας, σύμφωνα με το οποίο η φάση της πάστας περιβάλλει την φάση των στερεών και γεμίζει όλα τα κενά.

Η φάση της πάστας περιλαμβάνει το ελεύθερο νερό, τα πρόσμικτα και όλα τα σωματίδια μεγέθους μικρότερου από 0,125 mm (τα λεπτού διαμερισμού), και θεωρείται ιξώδες ρευστό (με ιδιότητες ρευστού Bingham).

Η φάση των στερεών περιλαμβάνει όλα τα σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου από 0,125 mm καθ'ώς και το απορροφούμενο από αυτά νερό και θεωρείται φάση που παρουσιάζει εσωτερική τριβή. Το απορροφούμενο νερό από τα σωματίδια αυτής της φάσης δεν συμμετέχει στις ρεολογικές ιδιότητες του SCC.

Η διάκριση των υλικών σε στερεά και πάστα αφορά μόνον το προσομοίωμα. Το κλάσμα των αδρανών που συγκρατείται στο κόσκινο των 0,125 mm δεν είναι φυσικώς διαχωρισμένο κατά τις διεργασίες παραγωγής του SCC.

Η εργασιμότητα και η συνεκτικότητα είναι οι χαρακτηριστικές ιδιότητες της φάσης της πάστας και τα κενά μεταξύ των σωματιδίων είναι η χαρακτηριστική ιδιότητα της φάσης στερεών. Οι ιδιότητες του SCC προσδιορίζονται από τις ιδιότητες των δύο φάσεων και από την αναλογία όγκων τους, όπως σχηματικά φαίνεται στο Σχ. 1.



Σχήμα 1: Ιδιότητες των δύο φάσεων του SCC [4]

#### α) Σύνθεση κατά EFNARC

(European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems: Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία για τα Εξειδικευμένα Κατασκευαστικά Χημικά και τα Συστήματα Σκυροδέματος)

Για τον καθορισμό των αναλογιών του μίγματος είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται οι κατ' όγκο

αναλογίες των συστατικών. Ενδεικτικές τυπικές τιμές των αναλογιών και ποσοτήτων για την παρασκευή SCC είναι οι ακόλουθες:

- Λόγος νερό προς /λεπτομερή: 0,80–1,10 κατ' όγκο
- Συνολική περιεκτικότητα σε λεπτομερή: 160–240 lt/m<sup>3</sup> SCC (400-600 kg/m<sup>3</sup>)
- Περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή (>4 mm): 280-350 lt/m<sup>3</sup> SCC. Η περιεκτικότητα

σε χονδρόκοκκα αδρανή δεν υπερβαίνει τα  $500 \text{ lt/m}^3$  SCC

- Περιεκτικότητα σε τσιμέντο:  $350-450 \text{ kg/m}^3$  SCC
- Λόγος νερού προς τσιμέντο: Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 206-1 Τυπικά το ελεύθερο νερό δεν υπερβαίνει τα  $200 \text{ lt/m}^3$  SCC
- Περιεκτικότητα σε πάστα:  $>400 \text{ lt/m}^3$  SCC
- Περιεκτικότητα σε άμμο:  $> 50\%$  κατά βάρος συνολικών αδρανών

Γενικώς συνιστάται συντηρητική προσέγγιση στον σχεδιασμό ώστε να εξασφαλίζεται ότι το SCC θα διατηρεί τις ρεολογικές του ιδιότητες κατά την διακύμανση των ιδιοτήτων των συστατικών. Συνήθως, χρησιμοποιούνται ρυθμιστές ιξώδους για την αντιστάθμιση της διακύμανσης της κοκκομετρικής κατανομής της άμμου ή/και της υγρασίας των αδρανών. Σημειώνεται ότι για την επίτευξη των απαιτούμενων ιδιοτήτων (εργασιμότητα, συνεκτικότητα, αντοχή, ανθεκτικότητα κλπ) απαιτούνται εργαστηριακές μελέτες με σκοπό την επιλογή των καταλλήλων συστατικών και την ρύθμιση των αναλογιών τους. Στην περίπτωση που ικανοποιούνται όλες οι απαιτήσεις στο εργαστηριακό ανάμιγμα, η σύνθεση θα πρέπει να δοκιμασθεί σε βιομηχανική κλίμακα στην μονάδα παραγωγής σκυροδέματος ή στο έργο.

Η σύνθεση αναμίγματος συνοψίζεται παρακάτω:

- Καθορισμός ιδιοτήτων/επιδόσεων SCC
- Επιλογή συστατικών
- Σχεδιασμός σύνθεσης αναμίγματος (Εδώ μπορεί να γίνει δοκιμή νέων συστατικών)
- Έλεγχος ιδιοτήτων/επιδόσεων στο εργαστήριο
- Επιβεβαίωση ιδιοτήτων/επιδόσεων στην μονάδα σκυροδέματος ή στο έργο

#### β) Διορθωτικές ενέργειες

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις θα πρέπει να επανασχεδιασθεί η σύνθεση του SCC. Ανάλογα με την φαινόμενη αιτία, μπορούν να γίνουν οι παρακάτω ενέργειες:

- Προσθήκη επιπλέον ποσότητας ή διαφορετικού τύπου λεπτομερούς υλικού (φίλερ)
- Τροποποίηση των αναλογιών της άμμου ή των χονδρών αδρανών
- Προσθήκη ρυθμιστή ιξώδους, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται ήδη
- Μεταβολή της δόσης του υπερρυστοποιητή ή του ρυθμιστή ιξώδους
- Χρήση άλλων τύπων υπερρυστοποιητών ή ρυθμιστών ιξώδους που να είναι πλέον συμβατοί με τα χρησιμοποιούμενα υλικά
- Τροποποίηση της περιεκτικότητας του μίγματος σε νερό και συνεπώς του λόγου νερού προς υλικά λεπτού διαμερισμού.[4]-[10]

#### γ) Η μέθοδος Okamura για την σύνθεση SCC.

Η εργαστηριακή αυτή μέθοδος σχεδιασμού συνθέσεων SCC αναπτύχθηκε από τον Ιάπωνα καθηγητή Okamura που πρώτος ασχολήθηκε συστηματικά με το SCC. Σημειώνεται ότι με την μέθοδο αυτή μπορεί να προκύψουν αναλογίες ή ποσότητες που διαφέρουν από αυτές που αναφέρονται στην 6α.

Η μέθοδος Okamura περιλαμβάνει την εξής ακολουθία:

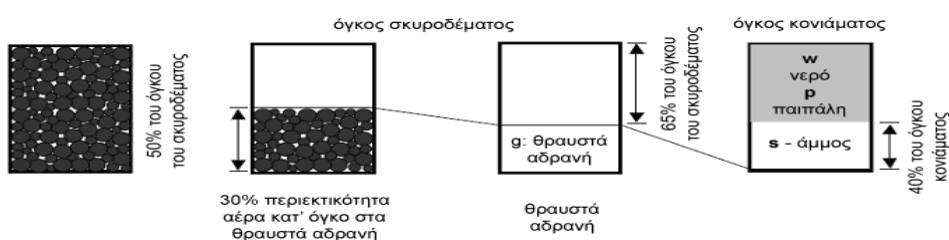
- 1) Καθορισμός της επιθυμητής περιεκτικότητας σε αέρα (συνήθως 2% κ.ο)
- 2) Καθορισμός του όγκου των χονδρών αδρανών
- 3) Καθορισμός της περιεκτικότητας σε άμμο
- 4) Σχεδιασμός της σύστασης της συνδετικής πάστας
- 5) Προσδιορισμός του βέλτιστου λόγου νερού προς υλικά λεπτού διαμερισμού και της δόσης του υπερρυστοποιητή στο κονίαμα
- 6) Αξιολόγηση των ιδιοτήτων/επιδόσεων του SCC με πρότυπες δοκιμές:
  - Περιεκτικότητας του SCC σε αέρα.

Η περιεκτικότητα του SCC σε αέρα είναι συνήθως 2% κ.ο. Όταν απαιτείται μεγαλύτερη αεροπεριεκτικότητα (για σκυροδέματα ανθεκτικά στην ψύξη/απόψυξη) προστίθεται

αερακτικό.

- Καθορισμός του όγκου των χονδρόκοκκων αδρανών

Η περιεκτικότητα του SCC σε χονδρόκοκκα αδρανή υπολογίζεται με βάση το φαινόμενο βάρος των αδρανών (φαινόμενο βάρος σωρευμένου υλικού ορίζεται ως η μάζα του υλικού που περιέχεται στην μονάδα του όγκου σωρευμένου υλικού και εκφράζεται σε  $\text{kg/m}^3$ ). Κατά τον Okamura, η περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή (κόκκοι μεγέθους μεγαλύτερου από 4 mm) θα πρέπει να ανέρχεται στο 50-60% του φαινομένου βάρους των αδρανών. Για παράδειγμα εάν το φαινόμενο βάρος των αδρανών των χονδρόκοκκων αδρανών είναι  $1550 \text{ kg/m}^3$  η περιεκτικότητα των χονδρόκοκκων αδρανών στο SCC θα είναι  $775-930 \text{ kg/m}^3$ . Η λογική των υπολογισμών φαίνεται στο Σχ. 2. Όταν ο όγκος των χονδρών αδρανών στο σκυρόδεμα υπερβαίνει ένα όριο, η πιθανότητα επαφής μεταξύ των κόκκων αυξάνεται απότομα και υπάρχει αυξημένος κίνδυνος έμφραξης όταν το σκυρόδεμα διέρχεται μεταξύ των ράβδων του οπλισμού.



Σχ.2 Διάγραμμα υπολογισμού της περιεκτικότητας του SCC σε χονδρόκοκκα αδρανή και άμμο [4]

Η βέλτιστη περιεκτικότητα σε χονδρά αδρανή εξαρτάται από:

- Το μέγιστο μέγεθος κόκκου. Όσο μειώνεται το μέγεθος του μέγιστου κόκκου τόσο μπορεί να αυξηθεί η περιεκτικότητα σε χονδρά αδρανή.
- Την επιφάνεια των αδρανών. Η περιεκτικότητα σε χονδρά αδρανή μπορεί να αυξηθεί με την χρήση στρογγυλεμένων αντί θραυστών αδρανών.
- Καθορισμός της περιεκτικότητας σε άμμο

Η περιεκτικότητα του κονιάματος σε άμμο (κόκκοι μεγέθους 0,125 – 4 mm) θα πρέπει να ισούται με το 40-50% του φαινομένου βάρους της άμμου. Για παράδειγμα εάν το φαινόμενο βάρος της άμμου είναι  $1610 \text{ kg/m}^3$  η περιεκτικότητα της άμμου στο SCC θα είναι  $644-805 \text{ kg/m}^3$ .

- Σχεδιασμός της σύστασης της πάστας

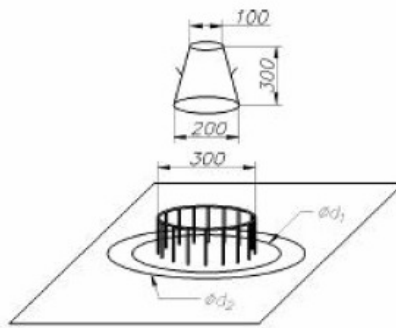
Ο σχεδιασμός της σύστασης της πάστας γίνεται πειραματικά. Στην πειραματική διαδικασία προσδιορίζεται ο λόγος νερού/λεπτομερή για τον οποίο η δοκιμή εξάπλωσης της πάστας με τον κώνο κάθισης παρουσιάζει μηδενική σχετική εξάπλωση. Ο λόγος αυτός συμβολίζεται ως βρ. Η πάστα μετά την ανάσυρση του κώνου παραμορφώνεται από το ίδιο βάρος και μετριέται το μήκος δύο διαμέτρων,  $d_1$  και  $d_2$  που σχηματίζουν γωνία  $90^\circ$  (Σχ.3). Η σχετική εξάπλωση  $\Gamma\text{r/m}$  υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$d = 0,5 (d_1 + d_2) \quad (1)$$

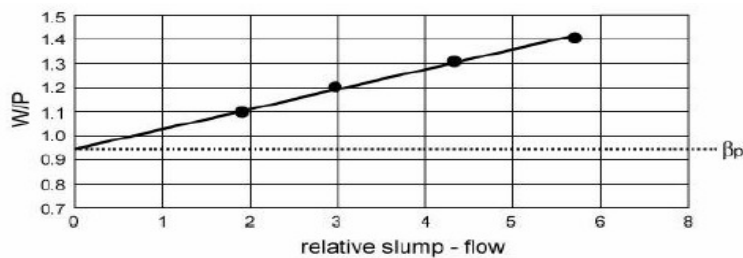
$$\Gamma\text{r/m} = (d/d_0)^2 - 1 \quad (2)$$

Όπου  $d_0$  η αρχική διάμετρος της βάσης του κώνου (= 100 mm)

Παρασκευάζονται πάστες με την προκαθορισμένη αναλογία συστατικών (τσιμέντο και λεπτομερή) και διαφορετικούς λόγους w/p νερού/λεπτομερή (π.χ. 1.1, 1.2, 1.3, 1.4). Στις πάστες αυτές προσδιορίζεται η σχετική εξάπλωση  $\Gamma\text{r/m}$  και από την συσχέτιση w/p με  $\Gamma\text{r/m}$  προσδιορίζεται ο λόγος βρ όπως φαίνεται στο τυπικό Σχ.4.



Σχ.3 Μετρήσεις για την σχετική εξάπλωση Γρ/μ [4]



Σχ.4. Προσδιορισμός του λόγου νερού/ λεπτομερή βρ [4]

- Προσδιορισμός του βέλτιστου λόγου νερού προς λεπτού διαμερισμού υλικά λεπτομερή και της δόσης του υπερρευστοποιητή στο κονίαμα

Ο προσδιορισμός του βέλτιστου λόγου νερού/ λεπτομερή και της δόσης του υπερρευστοποιητή στο κονίαμα γίνεται πειραματικά, με χρήση των δοκιμών του κώνου εξάπλωσης και της χοάνης εκροής σχήματος V.

Οι δοκιμές πραγματοποιούνται με λόγο w/p στην περιοχή από 0,8 βρ έως 0,9 βρ με διαφορετικές περιεκτικότητες υπερρευστοποιητή και με περιεκτικότητα σε άμμο όπως καθορίζεται παραπάνω.

Οι παρακάτω τιμές θεωρούνται ικανοποιητικές:

Εξάπλωση: 24-26 cm

Χρόνος εκροής από τη χοάνη εκροής σχήματος V : 7-11 s

Στην περίπτωση που ικανοποιείται η δοκιμή του κώνου εξάπλωσης και ο χρόνος εκροής από τη χοάνη σχήματος V είναι μικρότερος από 7s, προτείνεται η μείωση του λόγου w/p, ενώ στην περίπτωση που ο χρόνος εκροής είναι μεγαλύτερος από 11s, προτείνεται η αύξηση του λόγου w/p.

Στην περίπτωση που τα κριτήρια δεν ικανοποιούνται τότε ο συνδυασμός συστατικών που χρησιμοποιήθηκε δεν ήταν κατάλληλος για την παρασκευή SCC. Στην περίπτωση αυτή προτείνεται κατά σειρά η δοκιμή διαφορετικού υπερρευστοποιητή, διαφορετικού προσθέτου και τέλος διαφορετικού τσιμέντου.

- Αξιολόγηση των ιδιοτήτων/ επιδόσεων του SCC με πρότυπες δοκιμές

Η δόση του υπερρευστοποιητή καθορίζεται τελικά με βάση τις πρότυπες δοκιμές στο SCC, στο οποίο έχουν ήδη καθορισθεί, όπως παραπάνω οι αναλογίες των υπολοίπων συστατικών.[4]-[6]

## 7. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ SCC ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ (φωτογραφικό υλικό)

α) Νέο εργοστάσιο ITALCEMENTI – CALUSCO

2 πύργοι ύψους 103,80m → 20.000m<sup>3</sup> SCC (C30/37)



Εικόνες 1,2: Εργοστάσιο ITALCEMENTI – CALUSCO [3]-[8]

β) Νέος πύργος ελέγχου αεροδρομίου BERGAMO



Εικόνες 3, 4, 5: Πύργος ελέγχου αεροδρομίου Bergamo [3]

γ) Νέος πύργος ελέγχου αεροδρομίου TARANTO



Εικόνα 6: Πύργος ελέγχου αεροδρομίου Taranto [3]



δ) Σήραγγα ABDALAJIS τρένου υπέρ – υψηλής ταχύτητας (350km/h) MALAGA – CORDOBA

Διπλή σήραγγα 7,3km

Χρήση SCC χαρακτηριστικής αντοχής 80MPa



Εικόνα 7: Σήραγγα Abdalajis [9]

ε) Χώρος στάθμευσης στο Νοσοκομείο παιδών στο WISCONSIN

9 όροφοι

50.000m<sup>2</sup> επιφάνεια

1.600 θέσεις

αντοχή 28 ημερών 41MPa



Εικόνες 8, 9: Χώρος στάθμευσης στο Νοσοκομείο Παιδών στο Winsconsin [3]

## ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ SCC ΣΤΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ – ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ

### 1. ΓΕΝΙΚΑ

Το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (SCC) 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 είναι αδύνατη η διαδικασία της δόνησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί SCC λόγω της εύκολης ροής του μέσα από πυκνό οπλισμό. Επίσης όσον αφορά την επισκευή βιομηχανικών δαπέδων, κυρίως λόγω φυσικής φθοράς, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε SCC χάρη στην ιδιότητα της αυτοεπιπέδωσής του. Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην επισκευή δοκών και πλαισίων οδογεφυρών, γεφυρών, θεμελιώσεων υδραυλικών έργων και προβλητών.[1]-[7]

Πρέπει να αναφέρουμε όμως, πως το SCC δεν έχει διαδοθεί και σ'αυτόν τον τομέα κυρίως λόγω της άγνοιας της υπαρξής του από τους πιο παλιούς του επαγγέλματος, του σχετικά υψηλότερου κόστους (+10-15€/m<sup>3</sup>), της πιθανότητας -σε περίπτωση καθυστέρησης- να συμπυκνωθεί μέσα στο δίκτυο και της ανάγκης για στεγανότερους ξυλότυπους. [3]



Εικόνες 10,11: Παραδείγματα μη – στεγανότητας ξυλοτύπων [3]

### 2. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ ΚΑΙ Α' ΟΡΟΦΟΥ ΔΙΟΡΟΦΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

Για την επισκευή αυτής της κατασκευής έγινε σκυροδέτηση σε 4 στάδια

- 1<sup>ο</sup> στάδιο (υποστυλώματα και τοιχεία ισογείου)



Εικόνες 12, 13, 14: 1<sup>ο</sup> στάδιο επισκευής κατασκευής με SCC [3]

- 2ο στάδιο (δοκοί και μπαλκόνια Α' ορόφου)



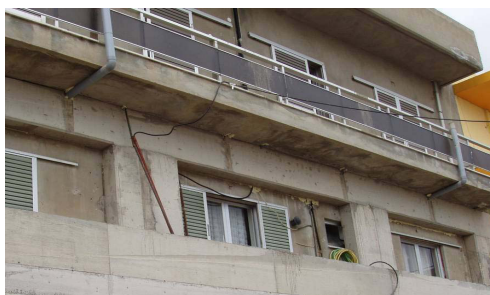
Εικόνες 15, 16, 17, 18: 2ο στάδιο επισκευής κατασκευής με SCC [3]

- 3ο στάδιο (υποστυλώματα Α' ορόφου)



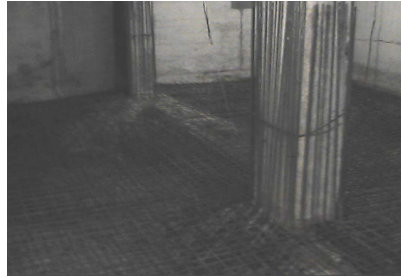
Εικόνες 19,20: 3ο στάδιο επισκευής κατασκευής με SCC [3]

- 4ο στάδιο (δοκοί Β' ορόφου)



Εικόνες 21,22: 4ο στάδιο επισκευής κατασκευής με SCC [3]

**3. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣ** στην Κυψέλη Αττικής, κατασκευής τέλους δεκαετίας '70, αποτελούμενη από υπόγειο και ισόγειο με ημιόροφο. Δεν υπάρχει η δυνατότητα σκυροδέτησης με πρέσσα και δεν πρέπει να κλείσει η κυκλοφορία του δρόμου λόγω σημαντικού κυκλοφοριακού φόρτου και διέλευσης μέσου μαζικής μεταφοράς.



**Εικόνες 23,24:** Οικοδομή στην Κυψέλη Αττικής με ανάγκη ενίσχυσης θεμελίωσης [3]

Λόγω των δυσχερειών που προαναφέρθηκαν επιλέχθηκε το SCC ως σκυρόδεμα στη διαδικασία ενίσχυσης. Έγινε διάνοιξη δύο οπών στην πλάκα οροφής υπογείου και δημιουργήθηκε μία διάταξη από σέσουλες από το πεζοδρόμιο προς τις οπές για να γίνει η σκυροδέτηση. Η σκυροδέτηση έγινε με SCC κατηγορίας C25/30, ο χρόνος εκφόρτωσης βαρέλας κυμαινόταν μεταξύ 8 και 12 λεπτών, η συνολική διαδικασία της σκυροδέτησης διήρκησε 3 ώρες και 30 λεπτά (100m<sup>3</sup>) και δεν παρεμποδίστηκε διόλου η κυκλοφορία του δρόμου.





Εικόνες 25, 26, 27, 28, 29, 30: Διαδικασία ενίσχυσης οικοδομής με SCC

#### 4. Ενίσχυση υποστυλωμάτων (μανδύες) και θεμελίωσης με SCC

Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το SCC λόγω της δυσκολίας πρόσβασης που οδήγησε στη σκυροδέτηση από ένα μόνο σημείο, και του πολύ πυκνού οπλισμού που καθιστούσε αδύνατη τη διαδικασία της δόνησης.



Εικόνες 31, 32, 33, 34: Ενίσχυση υποστυλώματος (μανδύες) και θεμελίωσης με SCC [3]

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Α.Γ. Παπανικολάου, Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα: Μία καινοφανής τεχνολογία
- [2] Μ. Καφφετζάκης, Μεταπτυχιακή διατριβή: Μελέτη μηχανικών και ρεολογικών ιδιοτήτων του αυτοσυμπυκνόμενου κισσηροδέματος, Πάτρα 2009
- [3] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, library.tee.gr  
Ημερίδα ΕΤΣ/ΤΕΕ Αθήνα 2008, Χρήστος Κ. Βογιατζής, Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα: Εφαρμογές – Λύσεις & Προβλήματα
- [4] Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., Πρόγραμμα δράσεων για τον εκσυγχρονισμό της παραγωγής δημ.

έργων, Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών (Ι.Ο.Κ), “Προσωρινές τεχνικές εθνικές προδιαγραφές – Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα”, iok.gr/petep01-01-06-00.pdf

[5] European Concrete Societes Network 2001, Concrete Best Practice: Guidance from a European perspective.

[6] H. Okamura, M.Ouchi: Self-Compacting Concrete, Journal of Advanced Technology Vol.1, 5-15 April 2003, Japan Concrete Institute, eng-forum.com/articles/articles/selfconcrete.pdf

[7] Tommaso Albanesi, Camillo Nuti: 1<sup>st</sup> US – Italy Seismic Bridge Workshop

[8] italcementi.it./ITA/cementerie+e+comunita+locali/Calusco+d+Adda

[9] adif.es/en\_US/infraestructuras/lineas\_de\_alta\_velocidad/cordoba-malaga/tunel\_abdalajis.shtml

[10] **Τυποποιητικές παραπομπές**

ΕΛΟΤ EN 197-1 Μέρος 1: Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα.

ΕΛΟΤ EN 206-1 Μέρος 1: Προδιαγραφή, επίδοση, παραγωγή, συμμόρφωση.

ΕΛΟΤ EN 450-1 Ιπτάμενη τέφρα για σκυρόδεμα. Μέρος 1: Ορισμός, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης.

ΕΛΟΤ EN 934-2 Πρόσθετα σκυροδέματος, κονιαμάτων και ενεμάτων - Μέρος 2 : Πρόσθετα σκυροδέματος - Ορισμοί απαιτήσεις, συμμόρφωση, σήμανση και επισήμανση.

ΕΛΟΤ EN 1008 Νερό ανάμιξης σκυροδέματος - Προδιαγραφή για δειγματοληψία, έλεγχο και αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού.

ΕΛΟΤ EN 12350-1 Δοκιμές νωπού σκυροδέματος - Μέρος 1: Δειγματοληψία.

ΕΛΟΤ EN 12350-2 Δοκιμές νωπού σκυροδέματος - Μέρος 2: Δοκιμή κάθισης.

ΕΛΟΤ EN 12620 Αδρανή σκυροδεμάτων.

ΕΛΟΤ EN 12878 Χρωστικές ύλες για το χρωματισμό δομικών υλικών, που βασίζονται στο τσιμέντο ή/και στον ασβέστη - Προδιαγραφές και μέθοδοι δοκιμής.

ΕΛΟΤ EN 13263-1 Πυριτική παιπάλη για σκυρόδεμα. Μέρος 1: Ορισμοί απαιτήσεις και κριτήρια συμμόρφωσης.