

## ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

**ΤΖΙΜΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ**  
**ΧΑΤΖΑΚΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

*Η παρούσα εργασία αναφέρεται στο Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα συστατικά του, ενδεικτικές συνθέσεις και οι διαδικασίες ανάμιξης, μεταφοράς, άντλησης, τοποθέτησης και συντήρησης. Επίσης γίνεται αναφορά στα κύρια χαρακτηριστικά του και στην εφαρμογή του για επισκευή- ενίσχυση δομικών στοιχείων. Τέλος συγκρίνεται με το συμβατικό σκυρόδεμα.*

### 1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σκυρόδεμα αποτελεί το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο δομικό υλικό λόγω της ευκολίας παραγωγής και διάστρωσης του στα δομικά στοιχεία των κατασκευών. Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάστρωση του είναι και η συμπίκνωση, δηλαδή η διαδικασία που αποσκοπεί στο να απομακρυνθεί ο αέρας που έχει εγκλωβιστεί στο εσωτερικό της μάζας του υλικού κατά την παραγωγή και την τοποθέτηση του. Για τη συμπίκνωση του σκυροδέματος στις κατασκευές συνήθως γίνεται δόνηση του νωπού σκυροδέματος κατά τη χύτευση με αποτέλεσμα να μειώνεται δραστικά το πορώδες, ώστε να έχουμε αυξημένες αντοχές και ανθεκτικότητα στο χρόνο. Όμως σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρείται ελλιπής συμπίκνωση και δημιουργία κενών, λόγω πυκνού οπλισμού και ανομοιομορφίας ξυλοτύπου που δυσχεραίνουν τη διαδικασία της δόνησης. Η παραπάνω ανάγκη βελτιστοποίησης της συμπίκνωσης οδήγησε στη δημιουργία του Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος (Self Compacting Concrete- SCC). Πρωτοπόροι στην ανάπτυξη και εφαρμογή του ήταν οι Ιάπωνες, με τον καθηγητή Okamura να προτείνει μια σύνθεση σκυροδέματος που αναιρεί την ανάγκη συμπίκνωσης με μηχανική δόνηση το 1986. Εξίσου καθοριστική για τη δημιουργία του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος ήταν η έρευνα των Ozawa και Maekawa στο πανεπιστήμιο του Τόκιο.

Ο όρος «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα» (ΑΣΣ) αναφέρεται στο σκυρόδεμα εκείνο που σε νωπή κατάσταση έχει την ικανότητα να τοποθετείται στους ξυλοτύπους και να διέρχεται μέσα από τον οπλισμό μόνο με τη δύναμη της βαρύτητας χωρίς τη χρήση δονητών ή άλλης εξωτερικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί την ομοιογένειά του.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η χρήση ενός σκυροδέματος χωρίς δόνηση δεν αποτελεί καινοτομία. Σύμφωνα με τους Ouchi και Nakamura, στο παρελθόν είχαν γίνει προσπάθειες με mass και shaft concrete που δεν ικανοποίησαν, επειδή παρουσίαζαν αντοχές κάτω των 35MPa και μεγάλη διακύμανση τιμών [5].

## 2) ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του ΑΣΣ πρέπει γενικώς να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του EN 206:1:2000 και να είναι κατάλληλα για τη χρήση που προορίζονται στο σκυρόδεμα χωρίς να περιέχουν επιβλαβή συστατικά σε ποσότητες που μπορεί να είναι επικίνδυνες για την ποιότητα, την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος ή τη διάβρωση του οπλισμού.

Τα υλικά αυτά είναι τα εξής:

### α) Τσιμέντο [1]

Γενικώς όλα τα τσιμέντα που συμμορφώνονται με το πρότυπο EN 197-1:2000 έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για την παραγωγή ΑΣΣ.

### β) Αδρανή [1,2]

- Χονδρόκοκκα αδρανή: όλοι οι τύποι χονδρόκοκκων αδρανών είναι κατάλληλοι για την παρασκευή ΑΣΣ. Συνιστώνται διάφορες τιμές για το μέγεθος του μεγίστου κόκκου συνήθως μεταξύ 10 και 20 mm. Ως προς το σχήμα τους, τα θραυστά και γωνιώδη αδρανή τείνουν να βελτιώσουν την αντοχή εξαιτίας της αλληλοεμπλοκής των κόκκων και της καλής τους πρόσφυσης στην τσιμεντοειδή μήτρα, ενώ τα λεία και σφαιρικά αδρανή βελτιώνουν τη ροή εξαιτίας της μικρότερης εσωτερικής τριβής.

- Το κατ'όγκον ποσοστό των χονδρόκοκκων αδρανών πρέπει να περιορίζεται έτσι ώστε να μειώνονται οι πιθανότητες επαφής ή σύγκρουσης μεταξύ τους. Σε αντίθετη περίπτωση, «γέφυρες» από χονδρόκοκκα αδρανή σχηματίζονται στη μάζα του νωπού σκυροδέματος με αποτέλεσμα να μειώνεται η ικανότητα του ΑΣΣ να διέρχεται από πυκνές διατάξεις οπλισμών, ακόμα και όταν το πλαστικό ιξώδες του τσιμεντοπολτού είναι το κατάλληλο.

- Άμμος (μέγεθος κόκκων μεταξύ 0.125 και 4 mm): Όλοι οι τύποι άμμου που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή κοινού σκυροδέματος είναι κατάλληλοι και για την παρασκευή ΑΣΣ.

### γ) Νερό ανάμιξης [1]

Το νερό που συμμορφώνεται με το πρότυπο EN 1008:2002 έχει αποδειχθεί κατάλληλο για την παραγωγή ΑΣΣ.

### δ) Πρόσθετα [1]

Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται θα ικανοποιούν το πρότυπο EN 934-2:2001.

Οι υπερρευστοποιητές είναι θεμελιώδες συστατικό του ΑΣΣ 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 τη βελτίωση της αντίστασης σε ψύξη- απόψυξη, επιβραδυντές για τη ρύθμιση της πήξης κ.ά.

Οι ρυθμιστές ιξώδους πρέπει να συμμορφώνονται με τις γενικές απαιτήσεις του ΠΕΤΕΠ- Πίνακας 1.

### ε) Πρόσμικτα (Συμπεριλαμβανομένων fillers και χρωστικών) [1,3]

ι) Τα πρόσμικτα Τύπου Ι (περίπου αδρανή):

- Περίπου αδρανή filler που συμμορφώνονται με το EN 12620:2002

- Χρωστικές που συμμορφώνονται με το EN 12878:2005

έχουν γενικώς αποδειχθεί κατάλληλα για την παραγωγή ΑΣΣ.

ii) Τα πρόσμικτα Τύπου II (ποζολανικά ή λανθάνοντα υδραυλικά):

- Ιπτάμενες τέφρες (τεράστια διαθεσιμότητα και χαμηλό κόστος την καθιστούν ιδανική «σκόνη» για χρήση στο ΑΣΣ) που συμμορφώνονται με το EN 450-1:2005
  - Πυριτική παιπάλη (ακριβό υλικό, χρησιμοποιείται σε ειδικές εφαρμογές) που συμμορφώνεται με το EN 13263-1:2005
- έχουν γενικώς αποδειχθεί κατάλληλα για την παραγωγή ΑΣΣ.

#### στ) Ίνες [1,2]

Οι συνήθεις ίνες είναι από χάλυβα ή πολυμερή. Χρησιμοποιούνται στο ΑΣΣ όπως και στο δονούμενο σκυρόδεμα για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του. Οι χαλύβδινες ίνες χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της καμπτικής αντοχής και ενέργειας θραύσεως, οι δε πολυμερείς ίνες για τη μείωση της απόμιξης ή της πλαστικής συρρίκνωσης και της ανθεκτικότητας σε πυρκαγιά. Προσθήκη ινών χάλυβα σε περιεκτικότητες έως και  $30 \text{ kg/m}^3$  δεν επιφέρει υποβάθμιση των ρεολογικών χαρακτηριστικών του ΑΣΣ, ενώ για μεγαλύτερες ποσότητες ινών στο ανάμιγμα (έως και  $50 \text{ kg/m}^3$ ) θα πρέπει να προηγούνται προκαταρκτικές δοκιμές αξιολόγησης της εργασιμότητας του μίγματος. Η μέγιστη περιεκτικότητα σε ίνες πολυπροπυλενίου ανέρχεται στο  $1 \text{ kg/m}^3$ .

### 3) ΣΥΝΘΕΣΗ

Υπάρχουν διαθέσιμοι τρεις τύποι Αυτοσυμπυκνόμενου Σκυροδέματος [3,5]:

i) Αυτοσυμπυκνόμενο Σκυρόδεμα τύπου σκόνης (powder type SCC): Οι αναλογίες του μίγματος είναι τέτοιες ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση της αυτοσυμπύκνωσης, μειώνοντας το λόγο νερού προς λεπτόκοκκα (διάμετρος  $< 0,1 \text{ mm}$ ) και να υπάρχει επαρκής αντίσταση σε διαχωρισμό. Η ζητούμενη πλαστικότητα εξασφαλίζεται με τη χρήση υπερρευστοποιητών και αερακτικών.

ii) Αυτοσυμπυκνόμενο Σκυρόδεμα με παράγοντες θιξοτροπικότητας (Viscosity agent type SCC): Σε αυτό τον τύπο Αυτοσυμπυκνόμενου Σκυροδέματος, η αυτοσυμπύκνωση του εξασφαλίζεται με τη χρήση παραγόντων αλλαγής θιξοτροπικότητας, οι οποίοι βοηθούν στην κατακράτηση νερού, καθυστερώντας έτσι τη ξήρανση και βελτιώνοντας κυρίως την αντίσταση σε διαχωρισμό, την αντοχή και την δομή των πόρων. Η ζητούμενη πλαστικότητα εξασφαλίζεται με τη χρήση υπερρευστοποιητών και αερακτικών.

iii) Συνδυασμένος τύπος Αυτοσυμπυκνόμενου Σκυροδέματος (Combined type SCC): Σε αυτόν τον τύπο, η ικανότητα αυτοσυμπύκνωσης εξασφαλίζεται κυρίως με τη μείωση του λόγου νερού προς λεπτόκοκκα (τσιμέντο + filler + παιπάλη αδρανών), όπως στον πρώτο τύπο, ενώ ένας παράγοντας αλλαγής θιξοτροπικότητας εισάγεται στο μίγμα έτσι ώστε να μειωθεί η ποιοτική διακύμανση του φρέσκου σκυροδέματος λόγω των διαφοροποιήσεων στην επιφανειακή υγρασία των αδρανών και των κλασμάτων τους κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Αυτό διευκολύνει τον έλεγχο ποιότητας κατά τη διάρκεια της παραγωγής.

Μία τυπική αναλογία συστατικών για την παρασκευή του συνδυασμένου τύπου ΑΣΣ σε Ευρώπη, Αμερική, Ιαπωνία παρουσιάζεται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1 – Τυπικές αναλογίες συστατικών για συνδυασμένο τύπο ΑΣΣ [5]

Συστατικά	Europe	U.S.A.	Japan
Νερό	200 kg	154 kg	175 kg
Τσιμέντο τύπου Portland	310 kg	416 kg	298 kg
Ιπτάμενη τέφρα	190 kg	0	206 kg
Λεπτόκοκκα αδρανή	700 kg	1015 kg	702 kg
Χονδρόκοκκα αδρανή	750 kg	892 kg	871 kg
*HRWR	6.5 kg	2616 ml	10.6 kg
**VMA	7.5 kg	542 ml	0.0875 kg

Σημείωση:

\* HRWR = Ευρέως φάσματος υδατικοί μειωτήρες, οι οποίοι μειώνουν το νερό ανάμιξης και με την προσθήκη χημικού στο ύφυργο μίγμα αποκαθιστούν τη συνεκτικότητα και την εργασιμότητα (High-range water reducing admixture).

\*\* VMA = Οι ρυθμιστικοί παράγοντες για το ιξώδες επιτρέπουν την παρασκευή ΑΣΣ με μικρή ποσότητα πληρωτικών (περιπτώσεις σκυροδεμάτων με μεγάλο λόγο νερού προς τσιμεντοειδή υλικά). Προστίθενται συνήθως σε ποσοστά 0.1-0.2% κ.β. τσιμεντοειδών υλικών (Viscosity-modifying-agents).

Πρέπει να τονιστεί ότι το ΑΣΣ δεν είναι τυποποιημένο, επειδή πρέπει πρώτα να καθοριστούν οι δομικές απαιτήσεις και οι ειδικές συνθήκες του έργου στο οποίο θα εφαρμοσθεί. Δηλαδή το σχήμα των στοιχείων, οι διαστάσεις, η πυκνότητα του οπλισμού, οι μέθοδοι μεταφοράς, τοποθέτησης, φινιρίσματος και αγωγής του σκυροδέματος [3]. Ωστόσο υπάρχουν κανονισμοί όπως οι **EFCA**, **EFNARC**, οι οποίοι δίνουν διάφορες αναλογίες συστατικών. Ο **ΠΕΤΕΠ** (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές) προτείνει τις αναλογίες του μίγματος με βάση τον **EFNARC**. Η σύνθεση κατά **EFNARC** δίνεται στον ακόλουθο πίνακα 2.

Πίνακας 2 - Σύνθεση ΑΣΣ κατά EFNARC [1]

Λόγος νερού/Τσιμεντοειδή υλικά	0.8-1.10 κατ' όγκο
Συνολική ποσότητα σε κονία	160-240lt/m <sup>3</sup> ΑΣΣ (400-600 kg/ m <sup>3</sup> )
Περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή (<4 mm)	280-350 lt/ m <sup>3</sup> ΑΣΣ
Περιεκτικότητα σε τσιμέντο	350-450 kg/ m <sup>3</sup> ΑΣΣ
Περιεκτικότητα σε νερό	<200 lt/ m <sup>3</sup> ΑΣΣ
Περιεκτικότητα σε πάστα	>400 lt/ m <sup>3</sup> ΑΣΣ
Περιεκτικότητα σε άμμο	50% κ.β. των συνολικών αδρανών

#### 4) ΑΝΑΜΙΞΗ

Αξίζει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχει σαφής συστηματοποίηση ως προς τη σειρά με την οποία θα τοποθετήσουμε τα υλικά στον αναμκτήρα, αφού η βέλτιστη ακολουθία των συστατικών εξαρτάται όχι μόνο από τη συγκεκριμένη σύνθεση, αλλά και από το είδος του εξοπλισμού του εκάστοτε παρασκευαστηριού. Γενικά οι διαδικασίες προσθήκης θα πρέπει να ακολουθούν τις συστάσεις του προμηθευτή [1].

Ως προς την ανάμιξη του ΑΣΣ, πρέπει να αναμιγνύεται περισσότερο χρονικό διάστημα από το συμβατικό σκυρόδεμα, λόγω του χαμηλού λόγου νερού/ λεπτόκοκκα. Εμπειρικά το ΑΣΣ πρέπει να αναμιγνύεται για τουλάχιστον 120sec. Όλοι οι τύποι αναμκτήρων θεωρούνται κατάλληλοι για την ανάμιξη του ΑΣΣ (με προτίμηση στους τύπους «διπλού άξονα» (“twin shaft”) και «οριζόντιας ανάμιξης» (“pan type”). Επίσης ο όγκος του μίγματος θα πρέπει να μην υπερβαίνει το 70% της χωρητικότητας του αναμκτήρα ώστε να αποφύγουμε πιθανή υπερφόρτωση του τελευταίου [4].

Ως προς τη σειρά ανάμιξης, χρήζει ιδιαίτερης προσοχής ο χρόνος εισαγωγής του υπερρευστοποιητή στο μίγμα. Οι Orgas και Dehn προτείνουν να εισάγεται πρώτα ποσότητα ίση με τα 2/3 της συνολικής ποσότητας του υπερρευστοποιητή, ενώ το υπόλοιπο του χημικού προσμίκτου να προστίθεται μετά από λίγο χρόνο (μεγαλύτερο των 45sec) [2].

#### 5) ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Οι οδηγοί κατά τη μεταφορά πρέπει να έχουν σαφείς οδηγίες για το χειρισμό του ΑΣΣ. Πριν το γέμισμα με ΑΣΣ θα πρέπει να εξασφαλίσουν ότι δεν υπάρχουν νερό και ανεπιθύμητες ουσίες στο τύμπανο. Ιδιαίτερη φροντίδα πρέπει να λαμβάνεται για μεγάλες αποστάσεις. Επίσης πρέπει να διασφαλίζεται ότι οι αναμκτήρες του ΑΣΣ εκτελούν αργές περιστροφές του τυμπάνου τους μέχρι την παράδοση του υλικού στο εργοτάξιο. Τέλος, σε

καμία περίπτωση οι οδηγοί δε θα πρέπει να επεμβαίνουν στο μίγμα, προσθέτοντας είτε νερό είτε πρόσμικτα [5].

Πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παράγοντες που αλληλεπιδρούν στην παραδιδόμενη ποιότητα του νωπού ΑΣΣ. Δηλαδή:

- Μέγεθος της κατασκευής
- Παραγωγική ικανότητα της μονάδας παραγωγής
- Δυνατότητα απορρόφησης του παραδιδόμενου σκυροδέματος
- Μη αναμενόμενη διακοπή στη σκυροδέτηση μπορεί να έχει ως συνέπεια ποικίλες επιζήμιες επιπτώσεις στο τελικό αποτέλεσμα [1].

## 6) ΑΝΤΛΗΣΗ, ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

### **Άντληση**

Τόσο η εξάπλωση όσο και το ποσοστό του αέρα στο μίγμα είναι πιθανόν να μεταβληθούν κατά την άντληση (συνήθως μειώνονται). Συνιστάται η χρήση σωλήνων διαμέτρου 4-5 in και συνολικού μήκους μικρότερου από 300 m (JSCE 1999) [2].

### **Διάστρωση**

Πριν τη χύτευση πρέπει να ελέγχεται η σωστή τοποθέτηση των καλουπιών και του οπλισμού. Για να μειώσουμε τον κίνδυνο διαχωρισμού και απόμιξης, οι αποστάσεις χύτευσης είναι: κατακόρυφη απόσταση μικρότερη από 5 m και οριζόντια εξάπλωση μικρότερη από 10 m από το σημείο εκκένωσης [1].

Συνιστάται η άκρη του σωλήνα εξόδου ΑΣΣ να είναι βυθισμένη μέσα στη μάζα του νωπού σκυροδέματος που έχει ήδη διαστρωθεί [1].

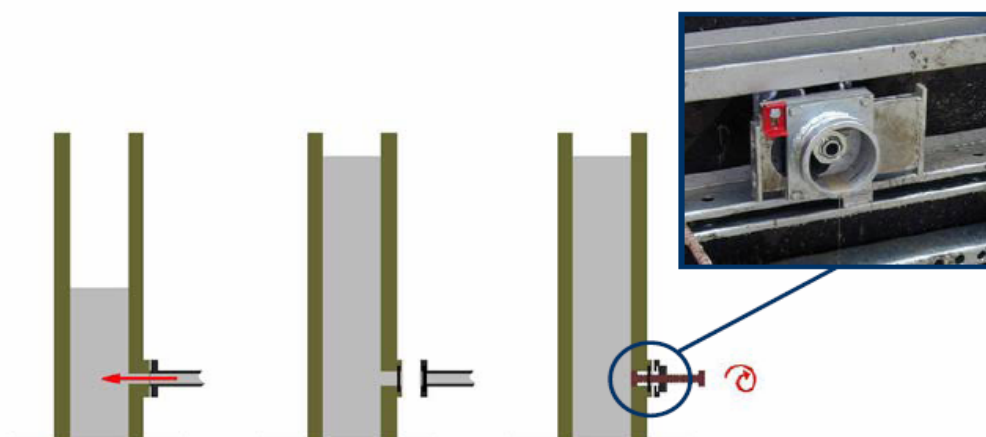
Καλούπια που είναι κατάλληλα για δονούμενο σκυρόδεμα, είναι κατάλληλα και για ΑΣΣ. Η πίεση που δέχονται οι ξυλότυποι είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ταχύτητα ανόδου της στάθμης του σκυροδέματος. Κατόπιν τούτου συνιστάται η κατάλληλη ρύθμιση της ταχύτητας χύτευσης [1].

Για ύψος στήλης νωπού ΑΣΣ πάνω από 3 m θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η υδροστατική πίεση στο σχεδιασμό των καλουπιών. Η πρακτική έχει δείξει ότι οι υψηλές πιέσεις εντός του ιστού των μηχανημάτων άντλησης του σκυροδέματος προκαλούν απώλειες στην εργασιμότητα του ΑΣΣ. Συνεπώς θα πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα ώστε να διατηρείται η πίεση κατά την άντληση σε χαμηλά επίπεδα. Όταν υπάρχουν ενδείξεις για υψηλές πιέσεις, συνιστάται παύση στη διάστρωση ΑΣΣ [1].

### **Δόνηση**

Η δόνηση του ΑΣΣ θα πρέπει γενικά να αποφευχθεί, αφού είναι πιθανό να καταλήξει σε καθίζηση των χονδρόκοκκων αδρανών. Αν δεν επιτευχθεί η επιθυμητή συμπίκνωση το σκυρόδεμα θα πρέπει πρώτα να ελεγχθεί για τη συμμόρφωσή του στους κανονισμούς (προδιαγραφές). Αν εμπίπτει στις προδιαγραφές το σκυρόδεμα, αλλά δεν έχουμε καταφέρει την πλήρη συμπίκνωση τότε ίσως χρειαστεί μία ελαφρά δόνηση. Ακόμα σε μερικές κατασκευές η μορφή του ξυλοτύπου μπορεί να προκαλέσει εγκλωβισμό του αέρα σε συγκεκριμένες θέσεις, οπότε είναι αναπόφευκτη η χρήση δονητή [7].

Η σκυροδέτηση μπορεί να γίνει και μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων, όπως φαίνεται στις εικόνες 1 και 2. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε κατακόρυφα στοιχεία [6, 7].



Εικ.1 – Σκυροδέτηση μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων [7]



Εικ. 2 – Λεπτομέρεια σκυροδέτησης μέσω εισπίεσης [8]

Επιπλέον προτείνεται η διαδικασία της χύτευσης να είναι συνεχής και χωρίς διακοπή, ώστε να διατηρηθούν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ και να μειωθούν οι χρωματικές διαφορές και τα επιφανειακά στίγματα. Επίσης πρέπει να αποφεύγεται ο υψηλός ρυθμός σκυροδέτησης που οδηγεί στη δημιουργία κενών. Τέλος ο ξυλότυπος πρέπει να είναι καθαρός από υπολείμματα και νερό [7].

Οποιαδήποτε μέθοδος έγχυσης σκυροδέματος κι αν χρησιμοποιηθεί, η επιφάνεια εξάπλωσης του στον ξυλότυπο πρέπει να (καθ)οριστεί. Για ένα δεδομένο ΑΣΣ η αποδεκτή επιφάνεια εξάπλωσης εξαρτάται από την ικανότητά του να κινείται μέσα στον ξυλότυπο και να παραμένει ομοιογενές υλικό. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια εξάπλωσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα του διαχωρισμού, κάτι που σαφέστατα δεν επιθυμούμε [6].

### **Συντήρηση**

Το ΑΣΣ ξηραίνεται γρηγορότερα από το δονούμενο σκυρόδεμα, γιατί υπάρχει λίγο έως καθόλου νερό εξίδρωσης στην επιφάνεια. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όταν η σκυροδέτηση γίνεται σε κλιματολογικές συνθήκες, οι οποίες ευνοούν την ταχεία εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια σκυροδέματος, όπως οι υψηλές θερμοκρασίες και οι υψηλές ταχύτητες ανέμων [1].

## **7) ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση του ΑΣΣ είναι [2]:

- Μείωση του χρόνου σκυροδέτησης (λόγω απουσίας του σταδίου της μηχανικής δόνησης)
- Δυνατότητα σκυροδέτησης μελών περίπλοκης γεωμετρίας (π.χ. κλειστοί τύποι με αρνητικές κλίσεις), μελών με ιδιαίτερα πυκνό οπλισμό, ή επίπεδων επιφανειών μεγάλης επιφάνειας (αυτοεπιπέδωση)
- Ελαχιστοποίηση των εργασιών επιδιόρθωσης των σκυροδετημένων στοιχείων λόγω κακοτεχνιών
- Μείωση του απαιτούμενου εργατικού δυναμικού ανά σκυροδετούμενο στοιχείο
- Μεγαλύτερη εργονομία στο χώρο σκυροδέτησης
- Βελτιωμένες εξωτερικές επιφάνειες
- Ικανοποιητική και ομοιόμορφη συμπύκνωση
- Μείωση της διασποράς των τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων
- Μείωση στην παραγωγή θορύβου στο εργοτάξιο στα επιτρεπτά όρια που περιγράφονται στη ντιρεκτίβα του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου 86/188/ECC των 85 dB (A)
- Εξάλειψη της φυσικής καταπόνησης από τη χρήση δονητών (π.χ. εξάλειψη αγγειακών δυσλειτουργιών, όπως το σύνδρομο των «λευκών δακτύλων») και της πιθανότητας εργατικών ατυχημάτων
- Μείωση των τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων πλησίον του σημείου σκυροδέτησης
- Δυνατότητα ικανοποίησης περίπλοκων αρχιτεκτονικών απαιτήσεων (π.χ. άψογη απόδοση του αρχιτεκτονικού αναγλύφου εμφανών σκυροδεμάτων)



Τα προαναφερθέντα θετικά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ επιτρέπουν την ικανοποίηση απαιτήσεων για αυξημένη παραγωγικότητα και ανθεκτικότητα, αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας και υψηλή αισθητική. Όμως, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η απόλυτη συμμόρφωση με αυστηρά κριτήρια ποιοτικού ελέγχου σε όλα τα στάδια, από την παραγωγή μέχρι και τη συντήρηση.

Πρέπει να καταστεί σαφές ότι το μεγαλύτερο μέρος της ευθύνης για την επιτυχία ή την αποτυχία μιας εφαρμογής το φέρει ο εφαρμοστής. Τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα ENV 1992-1-1 και ENV 13760-1 δίνουν οδηγίες, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ο σωστός τρόπος σκυροδέτησης σε κατασκευές που χρησιμοποιείται υψηλής ποιότητας σκυρόδεμα. Αυτές οι συστάσεις βασίζονται στον οδηγό βέλτιστης πρακτικής εφαρμογής και θα πρέπει να ακολουθούνται πάντα, αν το ζητούμενο είναι η επίτευξη ενός ανθεκτικού σκυροδέματος. Παρ' όλα αυτά, όπως έχει δείξει η μέχρι σήμερα εμπειρία, οι οδηγίες αυτές πολύ συχνά ακολουθούνται μερικώς! ή αγνοούνται πλήρως. Αυτή είναι και η συνηθέστερη αιτία αποσάρθρωσης των κατασκευών από σκυρόδεμα [3].

Για την εξασφάλιση της επιτυχίας της εφαρμογής του ΑΣΣ και της πλήρους αξιοποίησης των ιδιοτήτων του πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ιδιαιτερότητες του:

- Μεγαλύτερη ευαισθησία των συνθέσεων στις διακυμάνσεις των ιδιοτήτων των συστατικών ( ποσοστό υγρασίας αδρανών, λεπτότητα κονιών, κ.α.).  
Το ΑΣΣ δε «συγχωρεί» λάθη.
- Πιθανότητα ύπαρξης διαφορών μεταξύ ρεολογικής συμπεριφοράς στο εργαστήριο και στο πεδίο.  
Το ΑΣΣ απαιτεί 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.
- Εξασφάλιση στεγανότητας ξυλοτύπων και προσεκτική διαστασιολόγηση τους για υψηλούς ρυθμούς σκυροδέτησης.  
Το ΑΣΣ απαιτεί υψηλό βαθμό συνεργείας και ποιότητας σε όλα τα στάδια της παραγωγής.
- Απαίτηση αναβάθμισης των υπαρχουσών υλικοτεχνικών υποδομών στα παρασκευαστήρια (π.χ. πρόσθετα σιλό αποθήκευσης κονιών, νέες συσκευές ελέγχου των ιδιοτήτων νωπού ΑΣΣ, υγρόμετρα ακριβείας).  
Η παραγωγή ενός προηγμένου προϊόντος δεν μπορεί να γίνει με τη χρήση παρωχημένης τεχνολογίας [2].

## 8) ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τόσο η θλιπτική αντοχή του ΑΣΣ, όσο και η εξέλιξη της συναρτήσεως του χρόνου είναι απολύτως συγκρίσιμες με τα αντίστοιχα μεγέθη του κοινού σκυροδέματος, όταν βάση σύγκρισης είναι ο λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά [2].

Σύμφωνα με πειράματα που έγιναν με σκοπό τη σύγκριση ΑΣΣ με συμβατικό σκυρόδεμα (ίδιας ονομαστικής θλιπτικής αντοχής από 40 έως 80 MPa), σε δείγματα υποστλωμάτων διαστάσεων  $235 \times 235 \times 1400$  mm, προέκυψαν τα ακόλουθα ενδιαφέροντα στοιχεία. Συγκεκριμένα, για κοινό σκυρόδεμα ονομαστικής αντοχής 50MPa παρατηρήθηκε γραμμική μείωση καθ' ύψος του δείγματος, τόσο της θλιπτικής του αντοχής όσο και του μέτρου ελαστικότητας του. Δηλαδή, από πυρήνα που λήφθηκε από τη βάση του δείγματος βρήκαμε  $f'_c = 53\text{MPa}$  και  $E_c = 37\text{GPa}$ , ενώ από πυρήνα της κορυφής,  $f'_c = 46\text{MPa}$  και  $E_c = 36\text{GPa}$ . Εν αντιθέσει, το ΑΣΣ παρουσίασε ομοιόμορφη κατανομή των ιδιοτήτων του, με τη θλιπτική του αντοχή να κυμαίνεται από 45-47MPa και το  $E_c$  να ισούται με 29GPa. Επίσης, προέκυψε ότι το ΑΣΣ έχει μεγαλύτερη ολκιμότητα σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα [11].

Αξίζουν να αναφερθούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη χρήση ΑΣΣ σε γέφυρες. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε απότομη αύξηση της θλιπτικής αντοχής την 3<sup>η</sup> μέρα μετά την σκυροδέτηση, η οποία πλησιάζει το 80% της 28<sup>ης</sup> μέρας. Σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα η θλιπτική αντοχή του ΑΣΣ την 28<sup>η</sup> μέρα ήταν σχεδόν 100% μεγαλύτερη. Ακόμα αναφέρεται ότι από πειράματα που έγιναν, το μέτρο ελαστικότητας παρουσίασε μία αύξηση της τάξης του 30-45% πάνω από αυτήν του συμβατικού. Βέβαια στη δεδομένη εφαρμογή, δεν αναφέρεται η ακριβής σύσταση των συγκρινόμενων σκυροδεμάτων [9].

Τόσο η εφελκυστική αντοχή του ΑΣΣ από διάρρηξη, όσο και η σχέση της με τη θλιπτική του αντοχή είναι απολύτως συγκρίσιμες με τα αντίστοιχα μεγέθη του κοινού σκυροδέματος, όταν βάση σύγκρισης είναι ο λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά. Η παρατηρούμενη διασπορά των τιμών αυτών είναι συμβατή με αυτήν του συμβατού σκυροδέματος [2].

Η συνάφεια οπλισμού-σκυροδέματος φαίνεται να είναι η ίδια και στους δύο τύπους. Όμως δεν έχει τεκμηριωθεί ακόμα, λόγω αντιφατικών αποτελεσμάτων [2].

Η συστολή ξήρανσης δε διαφοροποιείται σημαντικά από εκείνη του κοινού σκυροδέματος. Βέβαια τα πειραματικά αποτελέσματα και σ' αυτήν την περίπτωση είναι αντιφατικά [2].

Η κρισιμότητα της συντήρησης είναι μεγαλύτερη για το ΑΣΣ σε σχέση με το κοινό σκυρόδεμα [2].

Στο συμβατικό σκυρόδεμα ο βέλτιστος βαθμός συμπύκνωσης είναι 0.97, ενώ στο ΑΣΣ είναι 0.98-1 (ο βέλτιστος βαθμός συμπύκνωσης είναι 1). Όσο απομακρυνόμαστε από τη μονάδα έχουμε μείωση της αντοχής, συγκεκριμένα για κάθε 0.01 χάνουμε 5% της αντοχής [8].

Το ΑΣΣ έχει μεγαλύτερη αντίσταση στο διαχωρισμό κατά τη σκυροδέτηση, απ' ότι το συμβατικό, λόγω υψηλής συνοχής [7].

Η διαπερατότητά του ΑΣΣ είναι μικρότερη από αυτή του συμβατικού εξαιτίας της μεγάλης αναλογίας μικρότερων σωματιδίων στο μίγμα. Ενδεικτικά, όταν έχουμε ΑΣΣ η διείσδυση του νερού για τον ίδιο λόγο νερού προς τσιμέντο μειώνεται κατά 1/3 σε σχέση με το συμβατικό [8].

Η επιφάνεια τελειώματος του ΑΣΣ είναι καλύτερη από αυτήν του συμβατικού σκυροδέματος, με το οποίο μπορούμε να πετύχουμε παρόμοια επιφάνεια τελειώματος μόνο όταν έχουμε πολύ καλή δόνηση [5, 8].

Ο χρόνος κατασκευής μειώνεται με χρήση ΑΣΣ σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα, καθώς οι αναγκαίες εργασίες κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης μειώνονται. Αυτό έχει

σαν αποτέλεσμα τη μείωση του εργατικού κόστους [5].

Με χρήση ΑΣΣ μειώνεται η ανάγκη παρουσίας εξειδικευμένου προσωπικού κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης [8].

Το ΑΣΣ παρουσιάζει μεγαλύτερο κίνδυνο αποφλοίωσης λόγω πυρκαγιάς και παρόμοια συμπεριφορά σε δράση παγετού [2].

### **Σύγκριση κόστους [2,9]**

Για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, η σύγκριση κόστους μεταξύ συμβατικού και ΑΣΣ πρέπει να γίνεται βάσει ολιστικής οικονομοτεχνικής θεώρησης και όχι ως απλή και αόριστη αναφορά μιας τιμής. Συγκεκριμένα, η χρήση ΑΣΣ επιφέρει αύξηση του συνολικού κόστους του υλικού (πρώτες ύλες και παραγωγή), που συνήθως είναι 10% έως 50% ακριβότερο του συμβατικού. Επίσης, το κόστος των ξυλοτύπων ενδέχεται να είναι μεγαλύτερο όταν χρησιμοποιούμε ΑΣΣ, αν και η φθορά των καλουπιών είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με εκείνη η οποία οφείλεται στη χρήση συμβατικού σκυροδέματος. Εν αντιθέσει, το κόστος εργατικών για άντληση και διάστρωση και οι δαπάνες επισκευών μετά την αφαίρεση ξυλοτύπων είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τη χρήση κοινού σκυροδέματος.

Γενικά, το ΑΣΣ είναι κατά 10-20% ακριβότερο από το κοινό σκυρόδεμα, όμως πρέπει να συνεκτιμηθούν η πολύ μεγάλη ανθεκτικότητα που προσφέρει το ΑΣΣ καθώς και όλα τα πλεονεκτήματα που πηγάζουν από τη χρήση του.

## **9) ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Με βάση τη βιβλιογραφία, το ΑΣΣ έχει εφαρμοστεί κυρίως στη γεφυροποιία. Μερικές εφαρμογές του είναι: η γέφυρα Ritto στην Ιαπωνία, οι προκατασκευασμένες T δοκοί της οδογέφυρας Higashi-Oozu στην Ιαπωνία και οι βάσεις αγκύρωσης της γέφυρας Akashi-Kaiyo που παραδόθηκε στην κυκλοφορία το 1998. Επίσης το ΑΣΣ έχει χρησιμοποιηθεί και στην Ευρώπη, όπως η σήραγγα στη Σουηδία- στην περιοχή Grind, καθώς επίσης στην Ολλανδία, Βρετανία και αλλού [5].

Το ΑΣΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν για κάθε είδους κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα [3], καθώς και στις **επισκευές** δομικών στοιχείων. Συγκεκριμένα ενδείκνυται στην ενίσχυση κατακόρυφων στοιχείων (υποστυλωμάτων), στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται μανδύες, λόγω της ευκολίας ροής του μέσα από πυκνό οπλισμό, αποφεύγοντας έτσι τη δημιουργία αδύναμων περιοχών. Ο τρόπος της σκυροδέτησης μπορεί να γίνει μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων [Εικ. 1]. Ακόμα μπορεί να εφαρμοστεί για την επισκευή βιομηχανικών δαπέδων, γεφυρών, δοκών και πλαισίων οδογεφυρών και για την επισκευή θεμελιώσεων υδραυλικών έργων [10].

## 10) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην Ελλάδα το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα έχει χρησιμοποιηθεί σε ελάχιστα τεχνικά έργα (ιδιωτικά και έργα υποδομής). Όμως, το ενδιαφέρον που εκδηλώνει το ειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό στον τομέα της τεχνολογίας του ΑΣΣ είναι τεράστιο. Έτσι, τα τελευταία χρόνια γίνονται πολλά σχετικά ερευνητικά προγράμματα με σκοπό την ανάπτυξη συνθέσεων ΑΣΣ με εγχώρια υλικά. Συμπερασματικά, για την ευρύτερη χρησιμοποίησή του, απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι εμπλεκόμενοι φορείς στον κατασκευαστικό κύκλο να μεταβάλλουν κάποιες παραδοσιακές και παγιωμένες αντιλήψεις και να εφαρμόσουν σχετικά νέες πρακτικές.

Προσωπική εκτίμηση είναι ότι το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα θα παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στον κατασκευαστικό τομέα αφού τα πλεονεκτήματά του έναντι του συμβατικού είναι αδιαμφισβήτητα. Εξάλλου, σύμφωνα με τη συνισταμένη γνώμη ειδικών η χρησιμότητα του ΑΣΣ αποδεικνύεται από την ταχύτατη διάδοσή του, που γρήγορα θα το μετατρέψει από ένα ειδικό σε ένα κοινό τύπο σκυροδέματος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, Πρόγραμμα Δράσεων για τον Εκσυγχρονισμό της Παραγωγής Δημ. Έργων, Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών ( I.O.K ), “**Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές –Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα**”, Αθήνα, Δεκέμβριος, 2004.
2. Κ.Γ.Παπανικολάου, “**Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα: Μία καινοφανής τεχνολογία**”, Εσωτερικό κείμενο Εργαστηρίου Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών .
3. Corradi M., Khurana R.S., Κροκίδης Β., Παναγιωτίδης Θ., “**Οικοδομώντας Ανθεκτικές Κατασκευές με Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα**”, Πρακτικά 14ου Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως 2003, σ. 130-142.
4. Ouchi M. & Nakajima Y., COMS Engineering Corporation, “**A guide for manufacturing and construction of self-compacting concrete-Learning from Real Troubles**”, 2001.
5. Masahiro Ouchi, Sada-aki Nakamura, Thomas Osterberg and Sven-Erik Hallberg, Myint Lwin, “**Applications of Self-Compacting Concrete in Japan, Europe and the United States**” (<http://www.fhwa.gov/index.html>).
6. AFGC – Association Française de Genie Civil, “**Documents scientifiques et techniques, Betons Auto-Plaçants, Recommendations provisoires**”, Juillet 2000.

7. BIBM, CEMBURAEU, ERMCO, EFCA, EFNARC, THE SELF-COMPACTING CONCRETE EUROPEAN PROJECT GROUP, “**The European Guidelines for Self-Compacting Concrete – Specification, Production and Use**”, May 2005.
8. Marco Borroni, “**Self Compacting Concrete for high performance structures**” ([http://www.buzziunicem.it/contents34/instance1/files/document/277Self\\_Compacting\\_Concrete\\_for\\_high\\_performance\\_structures.pdf](http://www.buzziunicem.it/contents34/instance1/files/document/277Self_Compacting_Concrete_for_high_performance_structures.pdf)).
9. Nowak Andrzej S., Laumet Pascal, Czarnecki Artur A., Kaszynska Maria, Sverszen Maria M., Podhoreck Piotr j., “**US Specific Self Compacting Concrete for Bridges**”, Report Number NCHRP IDEA Project 89, 2005 (<http://pubsindex.trb.org/document/view/default.asp?lbid=761734>).
10. **MAPEI-Stabilcem SCC** (<http://www.Mapei.com>).
11. Patrick Paultre, Kamal Khayat, Daniel Cusson, and Stephan Tremblay, National Research Council Canada ( NRC ), “**Structural performance of self- consolidating concrete used in confined concrete columns**”, ACI Structural Journal,v.102, no.4, July 2005, pp.560-568 (<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/nrcc46894/nrcc46894.pdf>).