

## ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (SELF-COMPACTING CONCRETE )

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ – ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΚΤΕΝΑΣ

### Περίληψη

*Στην παρακάτω εργασία γίνεται αναφορά στο νέο τύπο σκυροδέματος, το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (ΑΣΣ). Αναφέρονται εκτενώς τα συστατικά του, ο τρόπος παραγωγής, άντλησης, μεταφοράς και διάστρωσής του. Γίνεται αναφορά σε ποιές περιπτώσεις βρίσκει εφαρμογή τόσο γενικότερα όσο και στις ενισχύσεις -επισκευές και γιατί πλεονεκτεί έναντι του συμβατικού σκυροδέματος.*

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σκυρόδεμα στις μέρες μας αποτελεί το δομικό υλικό παγκοσμίως που χρησιμοποιείται ευρύτατα λόγω της ευκολίας παραγωγής του και της ευκολίας διάστρωσής του στα δομικά στοιχεία των κατασκευών. Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που λαμβάνουν χώρα κατά την διάστρωσή του είναι και η συμπίκνωση, η διαδικασία που αποσκοπεί στο να απομακρυνθεί ο αέρας που έχει εγκλωβιστεί στο εσωτερικό της μάζας του υλικού κατά την παραγωγή και τοποθέτησή του. Για τη συμπίκνωση του σκυροδέματος στις κατασκευές συνήθως γίνεται δόνηση του νωπού σκυροδέματος κατά την χύτευση. Το παραπάνω βήμα αποτελεί σημαντικό στάδιο της κατασκευής καθώς με τη συμπίκνωση το πορώδες του σκυροδέματος περιορίζεται δραστικά ώστε έτσι να έχουμε αυξημένες αντοχές και συνεπώς αυξημένη ανθεκτικότητα στο χρόνο. Τα τελευταία χρόνια με τη χρήση του νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού υπαγορεύεται η χρησιμοποίηση πυκνότερου οπλισμού στα δομικά στοιχεία που έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται δυσχερής η χρησιμοποίηση δονητή και τη δημιουργία κενών (φωλιές) στα δομικά στοιχεία λόγω ελλιπούς συμπίκνωσης τόσο στο εσωτερικό όσο και στην επιφάνεια. Ένα ιδιαίτερα χρήσιμο στοιχείο που πρέπει να τονιστεί είναι ότι κατά τη διαδικασία της δόνησης δημιουργούνται υψηλά επίπεδα θορύβου που συνεπάγονται ανθυγιεινές συνθήκες εργασίας, αδυναμία επικοινωνίας μεταξύ των εργαζομένων που έχει ως επακόλουθο πληθώρα κακοτεχνιών και κίνδυνο εργατικού ατυχήματος.

Όλα τα παραπάνω που αναφέρθηκαν οδήγησαν στη δημιουργία ενός νέου είδους σκυροδέματος που ονομάστηκε Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (Self Compacting Concrete) με το οποίο επιτυγχάνεται η βέλτιστη συμπίκνωση του σκυροδέματος σε μια κατασκευή. Το ΑΣΣ είναι εκείνο το σκυρόδεμα που σε νωπή κατάσταση έχει την ικανότητα να τοποθετείται στους ξυλότυπους και να διέρχεται μέσα από τον οπλισμό μόνο με τη δύναμη της βαρύτητας χωρίς τη χρήση δονητών μάζας ή άλλης εξωτερικής ενέργειας ενώ συνάμα διατηρεί την ομοιογένειά του.

Η τεχνολογία του ΑΣΣ εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 1983 από τον Okamura ο οποίος έθεσε τις βάσεις για ένα σκυρόδεμα υψηλών προδιαγραφών για μεγάλα και ποιοτικά έργα όπου θα έχει αυξημένες αντοχές και μεγάλη ανθεκτικότητα στο χρόνο. Οι έρευνες για τις θεμελιώδεις αρχές και κανονισμούς που διέπουν το ΑΣΣ κατατέθηκαν από τους Ozawa και Mackawa στο Πανεπιστήμιο του Τόκιο. Την πρώτη του εμφάνιση στην Ευρώπη το ΑΣΣ την κάνει στις αρχές της δεκαετίας του 1990 στις χώρες της Σκανδιναβίας και ειδικά σε προκατασκευασμένα στοιχεία.

## 2. ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του ΑΣΣ πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του EN 206. Τα υλικά θα είναι κατάλληλα για τη χρήση που προορίζονται στο σκυρόδεμα και δεν πρέπει να περιέχουν επιβλαβή συστατικά σε ποσότητες που μπορεί να είναι επικίνδυνες για την ποιότητα, την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος ή τη διάβρωση του οπλισμού [4].

**Α) Τσιμέντο:** Γενικώς χρησιμοποιούνται όλοι οι τύποι τσιμέντου που συμμορφώνονται με το Πρότυπο EN 197 και έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για την παραγωγή ΑΣΣ. Μια τυπική δοσολογία είναι 350-450 kg τσιμέντου ανά κυβικό μέτρο ενώ δοσολογίες πάνω από 500 kg μπορεί να προκαλέσουν συρρίκνωση. Αντίθετα δοσολογία λιγότερη των 350 kg είναι συμβατές μόνο αν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με πυριτική παιπάλη, ποζολλάνες, ιπτάμενη τέφρα κ.α. Ανάλογα με τον τύπο τσιμέντου όπως και στο δονούμενο σκυρόδεμα έχουμε και διαφορετικές συνθέσεις ΑΣΣ.

**Β) Αδρανή:** Τα αδρανή θα συμμορφώνονται με το πρότυπο EN 12620. Το μέγιστο μέγεθος των αδρανών εξαρτάται από την εφαρμογή και συνήθως είναι μικρότερο από 20 mm. Βέβαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι συνήθεις ποιότητες άμμου σκυροδέματος (θραυστές, ποταμίσιες, πυριτικές, ασβεστολιθικές). Όσον αφορά τη μορφή τα θραυστά αδρανή βελτιώνουν την αντοχή ενώ τα ποταμίσια τη ρευστότητα του ΑΣΣ.

**Γ) Νερό:** Το νερό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή σκυροδέματος θα συμμορφώνεται με το Πρότυπο EN 1008 που έχει αποδειχθεί κατάλληλο για την παραγωγή ΑΣΣ.

**Δ) Πρόσθετα:** Οι υπερρυστοποιητές είναι θεμελιώδες συστατικό του ΑΣΣ για την εξασφάλιση κατάλληλης εργασιμότητας. Όταν κρίνεται 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.α. Είναι αυτονόητο ότι για τις ιδιότητες του προσθέτου θα πρέπει να παρέχονται από τον προμηθευτή πλήρη στοιχεία.

**Ε) Πρόσμικτα:** Χρησιμοποιούνται πρόσμικτα τύπου I ( αδρανή filler, χρωστικές) και πρόσμικτα τύπου II ( ιπτάμενες τέφρες, πυριτική παιπάλη, σκωρία υψικαμίνων) τα οποία βελτιώνουν την εργασιμότητα και κανονικοποιούν την περιεκτικότητα στο τσιμέντο έτσι ώστε να μειώνεται η θερμότητα ενυδάτωσης.

**ΣΤ) Ίνες:** Όπως και στο δονούμενο σκυρόδεμα έτσι και στο ΑΣΣ χρησιμοποιούνται ίνες για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του. Οι συνήθεις ίνες είναι από χάλυβα ή από πολυμερή. Για τη βελτίωση της καμπτικής αντοχής και της ενέργειας θραύσεως χρησιμοποιούνται οι χαλύβδινες ίνες ενώ αντίθετα οι πολυμερείς ίνες χρησιμοποιούνται για τη μείωση της απόμιξης ή της πλαστικής συρρίκνωσης και της ανθεκτικότητας σε πυρκαγιά.

Οι ενδεικτικές αναλογίες υλικών ΑΣΣ είναι [1]:

Λόγος νερού/πούδρα: 0.80-1.10 κατ' όγκον.
Συνολική ποσότητα λεπτού υλικού: 160-240 lt (400-600 kg)/m <sup>3</sup>
Περιεκτικότητα χονδρόκοκκων αδρανών: 28-35 % του συνολικού όγκου του μείγματος
Ποσότητα νερού: Δεν υπερβαίνει τα 200 lt /m <sup>3</sup>

Περιεκτικότητα άμμου: Ισορροπεί τον όγκο των υπόλοιπων συστατικών.

### 3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ-ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Τα μέσα παραγωγής που χρησιμοποιούνται στο συμβατικό σκυρόδεμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στο ΑΣΣ. Η ανάμιξη των συστατικών όπως τα αναφέραμε πιο πάνω μπορεί να γίνουν είτε σε συγκρότημα παραγωγής είτε σε μετονιέρες. Στον κάδο ανάμιξης αρχικά γίνεται έκχυση το 90 % του νερού που χρειάζεται, τοποθετούνται τα συστατικά και στη συνέχεια το υπόλοιπο νερό, ο υπερρευστοποιητής και το πρόσμικτο τροποποιητικό του ιξώδους. Πριν τη σκυροδέτηση θα πρέπει να γίνεται ανάδευση του ΑΣΣ για 3-5 λεπτά σε πλήρη ταχύτητα και όταν προστεθούν οι υπερρευστοποιητές ανάμιξη για τουλάχιστον 1 min/m<sup>3</sup> και όχι λιγότερο από 7 min. Οι αποστάσεις χύτευσης είναι κατακόρυφη πτώση μικρότερη από 5 μέτρα και οριζόντια εξάπλωση μικρότερη από 10 μέτρα από το σημείο εκκένωσης. Η άκρη του σωλήνα εξόδου του ΑΣΣ συνίσταται να είναι βυθισμένη μέσα στη μάζα του νωπού σκυροδέματος που έχει ήδη διαστρωθεί. Επιπλέον για ύψος στήλης νωπού ΑΣΣ πάνω από 3 μέτρα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν και η υδροστατική πίεση στο σχεδιασμό των καλουπιών. Υψηλές πιέσεις εντός του ιστού των μηχανημάτων άντλησης του σκυροδέματος προκαλούν απώλειες στην εργασιμότητα του ΑΣΣ και για αυτό η πίεση στη άντληση πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Τέλος επειδή το ΑΣΣ ξηραίνεται γρηγορότερα από το δονούμενο σκυρόδεμα γιατί υπάρχει λίγο έως καθόλου νερό εξίδρωσης στην επιφάνεια πρέπει όταν γίνεται η σκυροδέτηση ΑΣΣ σε κλιματολογικές συνθήκες που ευνοούν την ταχεία εξάτμιση του νερού να αρχίζει η συντήρηση του ΑΣΣ το συντομότερο δυνατό.

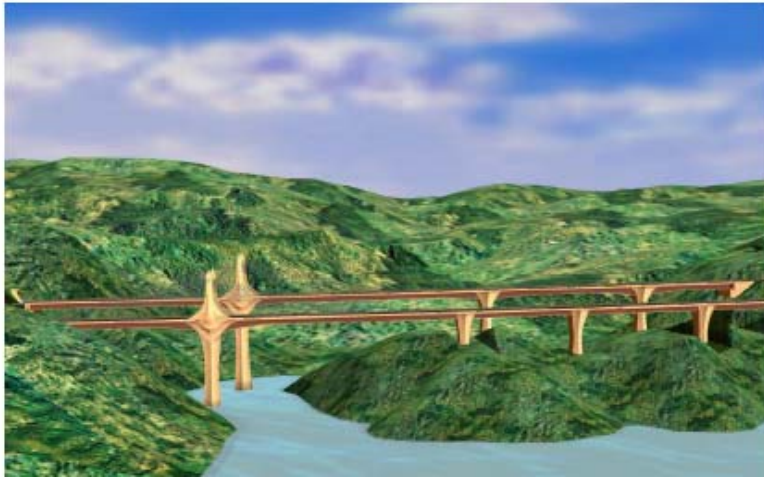
### 4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει οι βάσεις για το ΑΣΣ τέθηκαν στην Ιαπωνία και είναι απολύτως φυσικό τα πρώτα παραδείγματα και εφαρμογές να προέρχονται από εκεί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι **βάσεις αγκύρωσης της γέφυρας Akashi-Kaikyo** [3] η οποία παραδόθηκε στην κυκλοφορία τον Απρίλιο του 1998. Στη συγκεκριμένη γέφυρα χρησιμοποιήθηκαν 290.000 m<sup>3</sup> ΑΣΣ και αντίστοιχα ο χρόνος κατασκευής μειώθηκε κατά 20% από 2,5 σε 2 χρόνια. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η **κατασκευή δεξαμενών αποθήκευσης** [3] φυσικού αερίου σε υγρή μορφή τον Ιούνιο του 1998 από την Osaka Gas Company. Χρησιμοποιήθηκαν 12.000 m<sup>3</sup> ΑΣΣ που είχε ως φυσικό επακόλουθο την μείωση του χρόνου κατασκευής ( από 22 μήνες σε 18 μήνες ) και τον μειωμένο αριθμό εργατών σκυροδέματος ( από 150 άτομα σε 50 άτομα).



Γέφυρα Akashi-Kaikyo ( Απρίλιος 1998)

Ένα άλλο παράδειγμα όπου είχαμε ευρεία χρήση ΑΣΣ είναι η γέφυρα Ritto [7] που αποτελεί τμήμα αυτοκινητόδρομου διπλής κατεύθυνσεως (ένα τμήμα για Τόκιο και ένα για Οζάκα αντίστοιχα). Η συγκεκριμένη γέφυρα προκειμένου να πληρεί τις αυστηρές προδιαγραφές της JSCE (Japan Society Of Civil Engineers) και τους Αντισεισμικούς Κανονισμούς καθώς το μέγιστο ύψος κολώνας έφτανε τα 103,5 μέτρα χρησιμοποίησε ΑΣΣ. Πληρούσε τα κριτήρια για υψηλές αντοχές, ανθεκτικότητα στο χρόνο και ευκολία σκυροδέτησης παρά την ιδιομορφία του έργου.



Γέφυρα Ritto (Shiga Prefecture Nature Park)



Σχήμα Κολώνας Γέφυρας

Εκτός όμως από τα παραπάνω ευρεία χρήση έχουμε και **στα προκατασκευασμένα στοιχεία** όπου ένα τυπικό παράδειγμα εταιρείας είναι το **Consolis Group** [8]. Αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές προκατασκευασμένων στοιχείων με εργοστάσια σε 11 χώρες, 5000 εργαζόμενους και ετήσιο κύκλο εργασιών 618 εκατομμύρια ευρώ. Από την ετήσια κατασκευή 1,800,000 m<sup>3</sup> σκυροδέματος τα 120,000 m<sup>3</sup> είναι ΑΣΣ. Παρόλο που τα συστατικά για την παρασκευή ΑΣΣ είναι 15 % -20 % ακριβότερα το τελικό κόστος είναι 5% - 15 % λιγότερο από ότι στο συμβατικό σκυρόδεμα. Έτσι η συγκεκριμένη εταιρεία χρησιμοποιεί το ΑΣΣ για κατασκευή κολώνων, δοκών και τοιχείων καθώς και για κατασκευή τεχνητών υφάλων που βυθίζονται στη θάλασσα και αποτελούν καταφύγιο για ψάρια και άλλους οργανισμούς (Spenncon AS, Trondheim).

Ένα άλλο πρόσφατο έργο όπου χρησιμοποιήθηκε ΑΣΣ είναι στη Βαρσοβία, την πρωτεύουσα της Πολωνίας. Δίπλα στον κεντρικό σιδηροδρομικό σταθμό κατασκευάζεται **κτίριο υψηλών προδιαγραφών** που θα περιλαμβάνει εστιατόρια, εμπορικό κέντρο, υπόγειο πάρκινγκ 1800 θέσεων, ξενοδοχείο, κινηματογραφικές αίθουσες και χώρους εκθέσεων. Χαρακτηριστικό είναι ότι συνολικά θα χρησιμοποιηθούν 212,000 m<sup>3</sup> σκυροδέματος εκ των οποίων τα 4,800 m<sup>3</sup> θα είναι ΑΣΣ. Το ΑΣΣ χρησιμοποιείται μάλιστα για την κατασκευή τοίχων που το πάχος του φθάνει τα 150 cm.



Βαρσοβία –Πολωνία ( Ιούνιος 2005)

Εκτός όμως από όλα τα παραπάνω το ΑΣΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί **για την επισκευή ενός δομικού στοιχείου**. Είναι σύνηθες το ενδεχόμενο κατά την διάρκεια ξεκαλουπώματος ενός δομικού στοιχείου με αρκετά πυκνό οπλισμό το σκυρόδεμα να μην έχει περάσει από τα σίδερα είτε επειδή έχουμε αρκετά χονδρόκοκκο οπλισμό, είτε λόγω κακής δόνησης ή και για πολλούς άλλους λόγους. Οι επισκευές που γίνονται με επισκευαστικά κονιάματα δεν προσφέρουν πάντα το ιδεατό αποτέλεσμα με συνέπεια το δομικό στοιχείο να μην είναι ανθεκτικό σε εξωτερικούς παράγοντες και σε σεισμική δραστηριότητα.

Το ΑΣΣ μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και στην περίπτωση **βλάβης υποστυλωμάτων, δοκών και πλακών**. Στα υποστυλώματα η πιο συνηθισμένη βλάβη είναι η θραύση του σκυροδέματος σε μια διατομή από θλίψη και διάτμηση καθώς και ο λυγισμός του οπλισμού. Για την επισκευή του υποστυλώματος κατασκευάζεται μανδύας από οπλισμένο σκυρόδεμα ο οποίος περιβάλλει το παλιό υποστυλώμα. Για να αντιμετωπίσουμε τη συστολή ξήρανσης του νέου σκυροδέματος χρησιμοποιούμε ειδικά πρόσμικτα. Με το ΑΣΣ όμως και τη χρήση του σε τέτοιες συνθήκες καθυστερεί η ξήρανση και βελτιώνεται η αντοχή και η δομή των πόρων του σκυροδέματος [6].

## 5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ –ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Επιγραμματικά μπορούμε να πούμε ότι τα πλεονεκτήματα του ΑΣΣ έναντι του συμβατικού σκυροδέματος είναι πάρα πολλά. Ειδικότερα:1. Ο χρόνος κατασκευής από τα πιο μικρά έργα έως τα πιο σύνθετα και πολύπλοκα μειώνεται δραστικά καθώς μειώνεται ο χρόνος σκυροδέτησης.2. Μειώνεται η παρουσία προσωπικού κατά τη διάρκεια σκυροδέτησης.3. Το τελικό προϊόν είναι αρκετά ποιοτικό.4. Το ΑΣΣ παρουσιάζει αυξημένες αντοχές και ανθεκτικότητα στο χρόνο.5. Πλέον με το ΑΣΣ είναι περισσότερο εύκολη η δημιουργία και η

χρήση σύνθετων και πολύπλοκων δομικών στοιχείων καθώς το ΑΣΣ ρέει ανεμπόδιστα και φυσικά. 6. Επιπλέον με την απουσία δόνησης μειώνεται δραστικά ο θόρυβος στο εργοτάξιο και δημιουργείται πλέον ένα ευχάριστο εργασιακό περιβάλλον, καλύτερη επικοινωνία των εργαζομένων και εκλείπει ο κίνδυνος εργατικού ατυχήματος. Χαρακτηριστικά ο Pierre-Claude Aitcin αναφέρει το ΑΣΣ σαν *silent concrete* καθώς η χύτευσή του μπορεί να γίνει οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας είτε πρωί είτε βράδυ [2]. 7.Τέλος όπως έχουμε αναφέρει και στα παραδείγματα παραπάνω το τελικό κόστος του ΑΣΣ σε σχέση με το συμβατικό είναι 5% έως 15% λιγότερο.

Στην Ελλάδα η χρήση του ΑΣΣ είναι από ανύπαρκτη έως σχεδόν μηδενική. Επειδή όπως πάντα κάποια πράγματα που δεν χρησιμοποιούνται ευρύτατα υπάρχει αμφιβολία ως προς την αποτελεσματικότητά τους πρόσφατη έρευνα [5] έδειξε ότι η κατασκευή ΑΣΣ με ελληνικά υλικά είναι εφικτή και μάλιστα με αντοχές τουλάχιστον ίδιες ή και καλύτερες των συμβατικών σκυροδεμάτων. Ας ελπίσουμε αυτή η έρευνα να αποτελέσει την απαρχή για την ευρεία χρήση του ΑΣΣ και στον ελληνικό χώρο της κατασκευής.

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1].**Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές –Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα-** Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών ( I.O.K ), Ιούνιος 2005
- [2].**Cements of yesterday and today – Concrete of tomorrow** , Pierre-Claude Aitcin, July 2000
- [3].**Self-Compacting Concrete, Development, Applications and Investigations**, Masahiro Ouchi, Japan
- [4].**Specifications and Guidelines for Self Compacting Concrete** , EFNARC, February 2002
- [5].**Μηχανικά Χαρακτηριστικά και Ανθεκτικότητα Αυτοσυμπυκνούμενων Σκυροδεμάτων παρασκευασθέντων με ελληνικά υλικά** , Κ.Κ.Σίδερης, Σ. Κυριτσάς, Ε. Χανιωτάκης, Πρακτικά 14 Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως 2003
- [6].**Uniformity of in situ properties of self-compacting concrete in full-scale structural elements**, Wenzhong Zhu, John C.Gibbs, Peter J. M. Bartos , September 2000
- [7].**High Strength Self-Compacting Colored Concrete for Ritto Bridge**, Yoshimitsu Nakajima, Akihiro Nakazono, Seiji Mori, Japan
- [8].**Self-Compacting Concrete – Developments in the precast Industry**, Klaus Juvas, Finland, 2004
- [9].**Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα: Ανασκόπηση, Ιδιότητες και Προοπτικές στην Ελλάδα**, Παπανικολάου Κ., Τριανταφύλλου Αθ., Πρακτικά 14 Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως 2003

Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα