# ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 5

## ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ

**ΣΠΜΕ**

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

**Έκδοση 1η**

**Μάρτιος 2014**

Αγαπητοί συνάδελφοι,

Το παρόν τεύχος είναι η πέμπτη Τεχνική Οδηγία της Επιτροπής Τεχνολογίας Σκυροδέματος του Συλλόγου Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας.

Στην παρούσα έκδοση γίνεται αναφορά στο «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα», μια καινοτομία που μετά την ανάπτυξή της στην Ιαπωνία κατά τη δεκαετία του 1980 έχει πολλάκις χαρακτηριστεί ως επανάσταση στο χώρο των κατασκευών από σκυρόδεμα. Επόμενο είναι λοιπόν το καινοτόμο αυτό προϊόν, μαζί με τις απαιτήσεις που οδήγησαν εξαρχής στην εμφάνισή του, να κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος και στην ελληνική αγορά κι επομένως να προκύπτει η ανάγκη για ενημέρωση των συναδέλφων γύρω από τα ειδικά του χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες της χρήσης του.

Για μια ακόμα φορά, θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ μέρους του Δ.Σ. του Σ.Π.Μ.Ε. τα μέλη της Επιτροπής για την αφιλοκερδή αυτή προσπάθεια που συντελεί στην επιμόρφωση των συναδέλφων μέσω της διάχυσης της επιστημονικής γνώσης και τεχνικής εμπειρίας.

Στόχος των Οδηγιών αυτών είναι η συλλογή και παράθεση πληροφοριών με αναφορές σε κείμενα εφαρμογής και συστάσεις οι οποίες ισχύουν τόσο στην χώρα μας όσο και σε άλλες προηγμένες τεχνολογικά χώρες του εξωτερικού. Οποιεσδήποτε παρατηρήσεις και επιστημονικές τοποθετήσεις επί του κειμένου είναι ευπρόσδεκτες και θα ληφθούν υπόψη σε μελλοντική έκδοση.

Το παρόν κείμενο σε καμία περίπτωση δεν αποτελεί κανονιστικό κείμενο με υποχρεωτική εφαρμογή και δεν υποκαθιστά κανονισμούς οι οποίοι βρίσκονται σε ισχύ ή θα ισχύσουν στο μέλλον.

Συναδελφικά

Γιώργος Πιττός

Μέλος Δ.Σ. Σ.Π.Μ.Ε.

**Η Επιτροπή Τεχνολογίας Σκυροδέματος Σ.Π.Μ.Ε. αποτελείται από:**

Α. Σακελλαρίου, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός (Πρόεδρος Επιτροπής)

Χ. Ζέρης, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π. (Αντιπρόεδρος Επιτροπής)

Ν. Μαρσέλλος, Πολιτικός Μηχανικός, MSc (Γραμματέας Επιτροπής)

Χ. Βογιατζής, Πολ. Μηχανικός

Ν. Ζυγούρης, Πολ. Μηχανικός, MSc

Β. Μπαρδάκης, Δρ. Πολ. Μηχανικός

Κ. Παπανικολάου, Επίκουρη Καθηγήτρια Παν. Πατρών

Γ. Πιττός, Πολ. Μηχανικός, MSc

Ι. Σφήκας, Πολ. Μηχανικός, MSc, Υπ.Δρ. Ε.Μ.Π.

Ν. Καρυστινός, Πολ. Μηχανικός

**ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ**
**(ΣΠΜΕ)**

**ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

# Τεχνική Οδηγία 5: Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα

Έκδοση 1η

**ΑΘΗΝΑ –2014**

**Πίνακας Περιεχομένων**

Διάγραμμα Νο 1: Διεργασίες για την παραγωγή και σκυροδέτηση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

1. Τι είναι το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ);

2. Ποια τα πλεονεκτήματά του;

3. Ποια τα σημεία προσοχής και ποιες οι προϋποθέσεις επιτυχούς παραγωγής και χρήσης ΑΣΣ;

4. Πού και πώς χρησιμοποιήθηκε;

5. Ποια τα ειδικά χαρακτηριστικά του νωπού ΑΣΣ;

6. Πώς ελέγχονται και πώς μετρούνται αυτά τα ειδικά χαρακτηριστικά;

7. Ποιες είναι οι κύριες ιδιότητες του σκληρυμένου ΑΣΣ;

8. Ποιες είναι οι ειδικές απαιτήσεις της μελέτης σύνθεσης του ΑΣΣ;

9. Απαιτείται ειδική διαδικασία παραγωγής;

10. Απαιτούνται ειδικοί χειρισμοί στη μεταφορά και εκφόρτωσή του (π.χ. στην άντληση);

11. Υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για την αποδοχή του στο εργοτάξιο;

12. Υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για τους τύπους (ξυλότυποι, μεταλλότυποι) και τον οπλισμό του έργου που σκυροδετείται με ΑΣΣ;

13. Ποια η διαδικασία διάστρωσής του;

14. Ποιος ο τρόπος συντήρησης του ΑΣΣ;

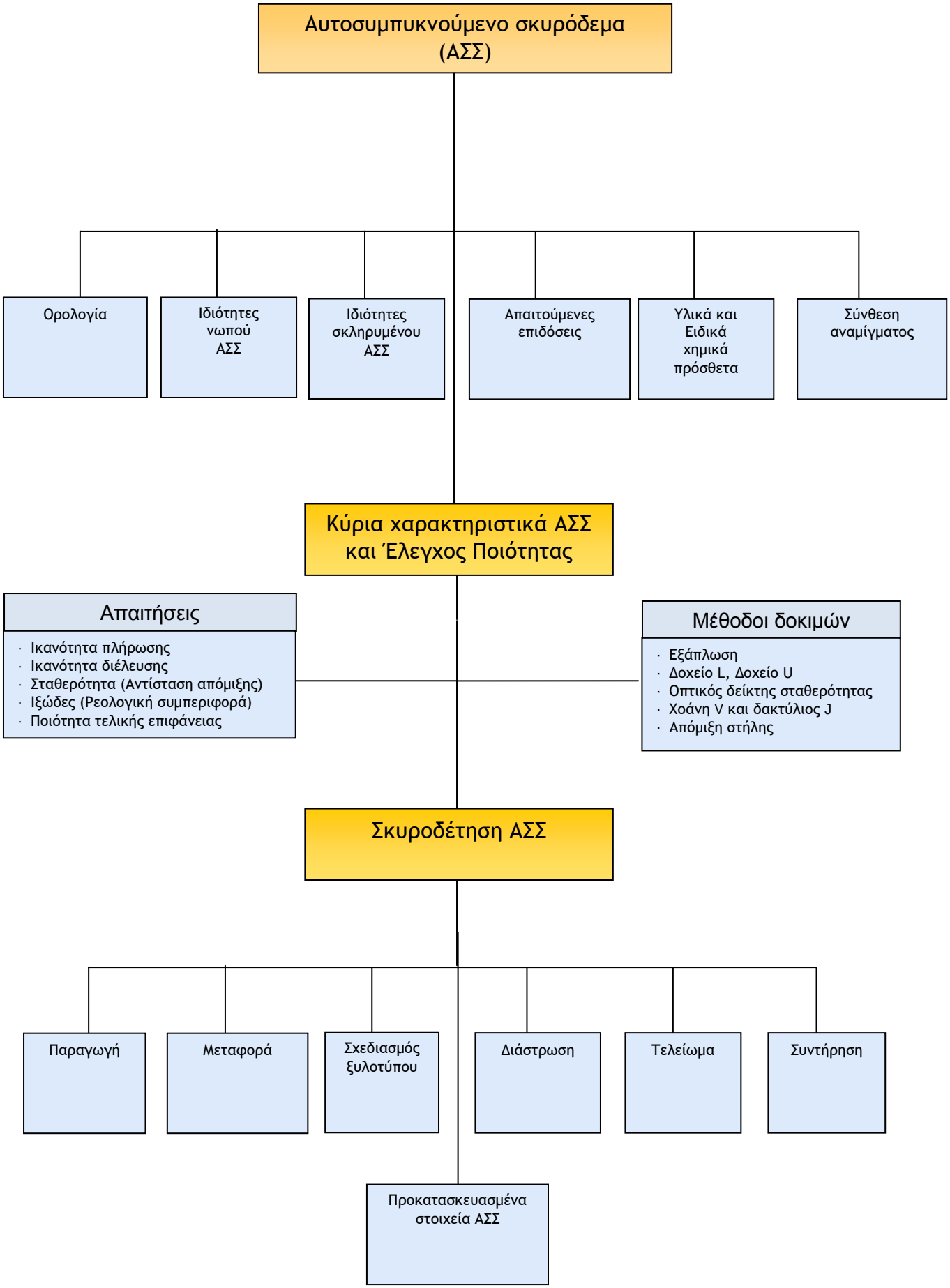
15. Ποιες οι απαιτήσεις για την τελική επιφάνεια εμφανούς σκυροδέματος με ΑΣΣ;

16. Ποιες οι απαιτήσεις για σκυροδέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων με ΑΣΣ;

17. Υπάρχουν ειδικά ΑΣΣ;

18. Πηγές

**Διάγραμμα Νο 1**: Διεργασίες για την παραγωγή και σκυροδέτηση αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.



## 1. Τι είναι το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ);

- Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ – self-compacting, ή self-consolidating, concrete – SCC – στη διεθνή βιβλιογραφία) είναι το είδος του σκυροδέματος, το οποίο δύναται να πληρώσει οποιονδήποτε τύπο (ξυλότυπο, μεταλλότυπο, πλαστικότυπο κ.τλ.) και να αποκτήσει ικανή συμπύκνωση, αποκλειστικά μέσω της βαρύτητας και της ρεολογικής του συμπεριφοράς. Κύριο χαρακτηριστικό του ΑΣΣ είναι η ιδιαίτερα αυξημένη ρευστότητά του, σε συνδυασμό με τη διατήρηση της απαιτούμενης «σταθερότητας», η οποία αποτελεί μέτρο της αντίστασης διαχωρισμού (απόμιξης) του αναμίγματος. Πρόκειται για σκυρόδεμα προηγμένης τεχνολογίας, το οποίο εμπίπτει στην κατηγορία των σκυροδεμάτων υψηλής επιτελεστικότητας (σκυροδέματα με επιλεκτικά αναβαθμισμένες ιδιότητες). Σύμφωνα με τη συνισταμένη γνώμη πολλών ερευνητών, το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα αποτελεί τη μεγαλύτερη εξέλιξη στον τομέα της τεχνολογίας σκυροδέματος τα τελευταία πενήντα χρόνια.

- Το ΑΣΣ δεν είναι ΈΝΑ υλικό, αλλά η ονομασία-ομπρέλλα μίας οικογένειας σκυροδεμάτων με ρεολογικές και λοιπές ιδιότητες που λαμβάνουν τιμές από ευρεία πεδία.

## 2. Ποια τα πλεονεκτήματά του;

**Γενικά:**

- Ένα σωστά διαστρωμένο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, με κατάλληλες αναλογίες συστατικών, μπορεί να έχει σημαντικά οικονομικά και τεχνολογικά πλεονεκτήματα για όλους τους εμπλεκόμενους: μηχανικούς, εργολάβους, εργατικό προσωπικό, περιοίκους και ιδιοκτήτες ή χρήστες, αλλά και για το περιβάλλον.

- Ουσιαστικά, το κίνητρο πίσω από τη χρήση του ΑΣΣ είναι η εξοικονόμηση χρηματικών πόρων κατά τη διάστρωση, αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου, καθώς και η εξαιρετικά αυξημένη απόδοση του υλικού. Πιο συγκεκριμένα, τα πλεονεκτήματα του ΑΣΣ μπορούν να διακριθούν στους παρακάτω έξι βασικούς άξονες:

  - Αυξημένη παραγωγικότητα
  - Μειωμένο εργατικό και εξοπλιστικό κόστος
  - Αυξημένη απόδοση υλικού και ανθεκτικότητα
  - Αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας
  - Υψηλή αισθητική
  - Αειφορία και βιώσιμη ανάπτυξη

**Αναλυτικότερα:**

**Αυξημένη παραγωγικότητα**

- Ικανότητα πλήρωσης διατομών με υψηλό ποσοστό οπλισμού ή/ και περίπλοκης γεωμετρίας (π.χ. κλειστοί τύποι με αρνητικές κλίσεις ή κατασκευές αγκύρωσης καλωδίων σε γέφυρες) ή επίπεδων επιφανειακών στοιχείων (π.χ. δάπεδα μεγάλης επιφάνειας), χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα της κατασκευής. Η ικανότητα αυτή διασφαλίζει καλύτερη παραγωγικότητα, ενώ μειώνει σημαντικά το εργατικό κόστος.

- Εξάλειψη ανάγκης για χρήση βοηθητικών μέσων συμπύκνωσης (δονητές) και απαιτούμενων καλωδίων ηλεκτροδότησής τους, Η απουσία ανάγκης συμπύκνωσης

αυξάνει την ταχύτητα ολοκλήρωσης της διάστρωσης, μειώνοντας παράλληλα το εργατικό κόστος.

· Επιτάχυνση ολοκλήρωσης σκυροδέτησης λόγω του υψηλότερου ρυθμού διάστρωσης (ταχύτερη κατασκευή).

**Μειωμένο εργατικό και εξοπλιστικό κόστος**

· Απουσία ανάγκης για μηχανική συμπύκνωση (δόνηση). Η απαιτούμενη ομοιογένεια του υλικού επιτυγχάνεται χωρίς βοηθητικά μέσα συμπύκνωσης, γεγονός που οδηγεί σε μείωση κόστους αγοράς / ενοικίασης κατάλληλου εξοπλισμού, αλλά και κόστους συντήρησης και χρήσης του.

· Ελαχιστοποίηση εργασιών επισκευής λόγω κακοτεχνιών, που συνεπάγεται μείωση εργατοωρών και επισκευαστικών υλικών, αλλά και απουσία αντιαισθητικών επισκευών σε εμφανείς επιφάνειες.

**Αυξημένη απόδοση υλικού και ανθεκτικότητα**

· Αποσύνδεση επίτευξης επιθυμητών μηχανικών χαρακτηριστικών από την ικανότητα του προσωπικού εφαρμογής της συμπύκνωσης.

· Μείωση διασποράς μηχανικών χαρακτηριστικών υλικού.

· Βελτίωση ανθεκτικότητας λόγω της λεπτότερης κοκκομετρίας, όπως αυτή προκύπτει από τη χρήση μικρότερου μέγιστου κόκκου αδρανούς (γαρμπιλοσκυρόδεμα), καθώς και λεπτόκκοκων ποζολανικών ή μη πρόσμικτων. Συνήθη πρόσμικτα αποτελούν το ασβεστολιθικό φίλλερ (αδρανές), η πυριτική παιπάλη, η ιπτάμενη τέφρα, ο μετακαολίνης, (ποζολανικά) κ.λπ.

**Αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας**

· Μείωση εργοταξιακού θορύβου (κρίσιμος παράγοντας ειδικά σε αστικές περιοχές και σε διατομές που απαιτούν υψηλή δονητική συμπύκνωση) σε επίπεδα κοντά ή χαμηλότερα των επιτρεπόμενων ορίων, όπως περιγράφονται στην Οδηγία του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου 86/188/ECC (1986): 85 dB (A).

- Μείωση της ανάγκης δόνησης για κατασκευές που τυπικώς απαιτούν την εφαρμογή εκτεταμένης συμπύκνωσης (όπως το ινοπλισμένο σκυρόδεμα ή οι εφαρμογές προκατασκευής). Σε ορισμένες περιπτώσεις, η χρήση αθόρυβου σκυροδέματος μπορεί δυνητικά να επεκτείνει τη διάρκεια της διάστρωσης σε αστικές περιοχές, καθιστώντας έτσι δυνατό τον προγραμματισμό μέρους των κατασκευαστικών διαδικασιών σε ώρες που δεν εμποδίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία της περιοχής (π.χ. κυκλοφορία).

- Μείωση ασφαλίστρων. Εγκαταστάσεις προκατασκευής που παράγουν σημαντική ηχητική ρύπανση, υποχρεώνονται στην πληρωμή υψηλών ασφαλίστρων στις ασφαλιστικές εταιρείες, που είναι υπεύθυνες για την θεραπεία των εργατών με προβλήματα ακοής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μερική μείωση του πρόσθετου κόστους του ΑΣΣ, καθιστώντας το ελκυστικό για τις εργασίες προκατασκευής.

**Υψηλή αισθητική**

· Βελτίωση της τελικής επιφάνειας των στοιχείων, καθιστώντας την λεία, χωρίς σπηλαιώσεις (φωλιές) και αποτυπώματα εξίδρωσης ή αποχρωματισμού. Αυτά τα

χαρακτηριστικά επιτυγχάνονται με κατάλληλα σχεδιασμένα μίγματα ΑΣΣ, υψηλής ποιότητας τύπους με επαρκείς μεθόδους και μέσα αποσύνδεσης και κατάλληλες πρακτικές σταθερής τοποθέτησης. Επιφάνειες υψηλής ποιότητας είναι κρίσιμες στο αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα (π.χ. ανάγλυφες επιφάνειες εμφανών σκυροδεμάτων) και σε άλλες περιπτώσεις προκατασκευής.

**Αειφορία και βιώσιμη ανάπτυξη**

· Κατανάλωση παραπροϊόντων βιομηχανίας (π.χ. πυριτική παιπάλη, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνου, λεπτόκοκκα αδρανή λατομείων, κ.λπ.) ως πληρωτικά πρόσμικτα σκυροδέματος, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος, λόγω:

- της μη απόρριψης των εν λόγω παραπροϊόντων ως περιττά υλικά
- της αντικατάστασης μέρους του τσιμέντου, που συνεπάγεται μικρότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που είναι συνδεδεμένες με την παραγωγή του

## 3. Ποια τα σημεία προσοχής και ποιες οι προϋποθέσεις επιτυχούς παραγωγής και χρήσης ΑΣΣ;

· Το ΑΣΣ παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία των συνθέσεών του ως προς τις διακυμάνσεις των ιδιοτήτων των συστατικών του υλικών (ποσοστό υγρασίας αδρανών, λεπτότητα κονιών, κ.ά.), σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Η ευαισθησία αυτή δύναται να επηρεάσει το βαθμό επίτευξης των επιθυμητών χαρακτηριστικών αυτοσυμπύκνωσης. Τα τελευταία, πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε το ΑΣΣ να χαρακτηρίζεται αφενός από χαμηλό όριο διαρροής για να εξασφαλιστεί υψηλή παραμορφωσιμότητα (ευκολία ροής χωρίς πρόσθετη διέγερση) και, αφετέρου, από μέσο πλαστικό ιξώδες για να διατηρεί ομοιογενή αιώρηση των στερεών, ώστε να μειώνονται οι ενδοσωματιδιακές συγκρούσεις, ο διαχωρισμός και η έμφραξη της ροής.

· 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 έλεγχο ποιότητας των σταδίων αυτών.

· Απαιτείται εξασφάλιση της στεγανότητας των ξυλοτύπων και προσεκτική διαστασιολόγησή τους, ιδιαίτερα για υψηλούς ρυθμούς σκυροδέτησης.

· Απαιτείται αναβάθμιση των υλικοτεχνικών υποδομών στα παρασκευαστήρια ετοίμου σκυροδέματος (π.χ. πρόσθετα σιλό αποθήκευσης κονιών, νέες συσκευές ελέγχου των ιδιοτήτων νωπού ΑΣΣ, υγρόμετρα ακριβείας).

· Οι επιμέρους απαιτήσεις για το ΑΣΣ είναι σύνθετες και εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένων των φορτίων λειτουργίας και των περιβαλλοντικών συνθηκών, τη μέθοδο διάστρωσης που θα χρησιμοποιηθεί, τις δεξιότητες του συνεργείου, τα μέτρα της διασφάλισης της ποιότητας και του ελέγχου της ποιότητας.

· Η απαιτούμενη εργασιμότητα για τη διάστρωση του ΑΣΣ εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής, τις επιλεγμένες μεθόδους διάστρωσης, τη συνθετότητα του τύπου (ξυλοτύπου, μεταλλοτύπου, πλαστικοτύπου, κ.λπ.) και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες σχεδιασμού που επηρεάζουν τον βαθμό πύκνωσης του οπλισμού.

· Για το ΑΣΣ είναι κρίσιμος ο ποιοτικός έλεγχος. Οι κατάλληλες παράμετροι ποιοτικού ελέγχου θα πρέπει να καθορίζονται κατά τη διάρκεια του σταδίου προεπιλογής μίγματος

(mixture qualification stage). Δοκιμές ποιοτικού ελέγχου θα πρέπει να εκτελούνται μόνο από έμπειρο προσωπικό. Στο παρόν, δεν υπάρχει εφαρμοζόμενο πιστοποιημένο πρόγραμμα από το ACI για δοκιμές ΑΣΣ. Γι' αυτό συνιστάται, το προσωπικό να είναι πιστοποιημένο ως εργαστηριακοί και επί τόπου τεχνικοί δοκιμών ΑΣΣ.

- Το ΑΣΣ το οποίο είναι σωστά σχεδιασμένο για την ελαχιστοποίηση του διαχωρισμού και της εξίδρωσης, οφείλει στη συνέχεια να αποδίδει ομοιογενώς σε όλο το μήκος του σκυροδετούμενου στοιχείου τις απαιτούμενες ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος.

- Όπου οι ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος όπως το μέτρο ελαστικότητας, και οι παράμετροι ερπυσμού ή συρρίκνωσης, είναι κρίσιμες, (όπως σε μεγάλου ανοίγματος στοιχεία, υποστυλώματα ή και προβόλους) θα πρέπει να εκτελούνται σχετικές δοκιμές για να επιβεβαιωθεί ότι έχει επιτευχθεί η επιθυμητή απόδοση του ΑΣΣ, ιδιαίτερα, όταν οι αναλογίες χονδρόκοκκων αδρανών ή περιεχόμενης πάστας των αναμιγμάτων του ΑΣΣ ποικίλουν σημαντικά από αυτούς των συμβατικών αναμιγμάτων.

## 4. Πού και πώς χρησιμοποιήθηκε;

### 4.1 Ιστορική αναδρομή και πεδία εφαρμογής του ΑΣΣ

- Πρωτοπόροι στην ανάπτυξη και εφαρμογή του ΑΣΣ υπήρξαν οι Ιάπωνες ερευνητές (σε ακαδημαϊκό επίπεδο) και εργολάβοι (σε επίπεδο παραγωγής), οι οποίοι εκλήθησαν να αντιμετωπίσουν, στα μέσα της δεκαετίας του '80, την αυξανόμενη έλλειψη σε ειδικευμένο προσωπικό και να μειώσουν τα επακόλουθα προβλήματα ανθεκτικότητας των κατασκευών Ο/Σ, λόγω πλημμελούς, ή ακόμη και υπερβάλλουσας δόνησης. Ως απάντηση στα προβλήματα αυτά, επροτάθη από τον καθηγητή Okamura στο Παν. του Τόκιο (πλέον στο Παν. Kochi), το 1986, η ανάπτυξη μίας σύνθεσης σκυροδέματος, η οποία θα αναιρεί την ανάγκη συμπύκνωσης του υλικού μέσω μηχανικής δόνησης (Ouchi, 1998) και θα αποτελεί μετεξέλιξη του έγχυτου ύφαλου σκυροδέματος (ή του υποβρυχίως εγχυόμενου σκυροδέματος ανθεκτικού σε απόπλυση – anti-washout underwater concrete). Βασική και θεμελιώδης εργαστηριακή έρευνα πραγματοποιήθηκε από τους Ozawa και Maekawa στο Πανεπιστήμιο του Τόκυο, ενώ η πρώτη πρωτότυπη σύνθεση ΑΣΣ με χρήση υλικών της (Ιαπωνικής) αγοράς ετοίμου σκυροδέματος έγινε πραγματικότητα το 1988 (Ozawa et al., 1989).

- Από τις αρχές του 1990, οπότε και αναπτύχθηκε, το ΑΣΣ αποκτά συνεχώς αυξανόμενη εφαρμογή σε όλο τον κόσμο. Από την εισαγωγή της χρήσης του ΑΣΣ έως πρόσφατα, έχουν μεσολαβήσει δώδεκα διεθνή συνέδρια των CANMET / ACI και ACI (με πλέον πρόσφατο το 2012), δύο Εκθέσεις Τρέχουσας Πρακτικής (State-of-the-Art Reports) των επιστημονικών επιτροπών της RILEM 174-SCC και 205-DCC, πέντε συνέδρια στη Β. Αμερική (μεταξύ 2002 και 2013), επτά διεθνή Συμπόσια (μεταξύ 1999 και 2013) επιτροπών της RILEM που είτε ασχολούνται είτε ασχολήθηκαν με το ΑΣΣ (TC-SCC, TC-CSC, TC-RFC, TC 205-DSC, TC 228-MPS και TC-SCF), καθώς και Εκθέσεις της Επιτροπής 237 του ACI (237R-07, SP-233 και SP-274).

- Μετά από την ανάπτυξη πιλοτικών συνθέσεων και το χαρακτηρισμό του υλικού στο Παν. του Τόκιο, ακολούθησε η πρώτη εφαρμογή του σε ένα κτίριο το 1990 και, σε μεγάλη κλίμακα, στην κατασκευή του πυλώνα της γέφυρας Shin-kiba Ohashi, το 1991 (Φωτ. 1). Το 1992 καταγράφεται η εφαρμογή ελαφροσκυροδέματος ΑΣΣ, στην κατασκευή του βασικού ζυγώματος μίας καλωδιωτής γέφυρας (Okamura and Ouchi., 2003), ενώ το 1998 το ΑΣΣ χρησιμοποιείται για την κατασκευή των αντίβαρων αγκύρωσης της γέφυρας Akashi Kaikyō στην πόλη Kobe της Ιαπωνίας, με το μεγαλύτερο για την εποχή άνοιγμα

στον κόσμο (1991 m). Η χρήση ΑΣΣ μείωσε το χρόνο κατασκευής των αντίβαρων από 2.5 σε 2 χρόνια (Φωτ.2).

***Φωτ. 1.*** *Η γέφυρα Shin-kiba Ohashi (πηγή: Okamura and Ouchi, 2003).*

*Φωτ.2. Η γέφυρα Akashi Kaikyō στην Ιαπωνία.*

- Στην Ευρώπη, η πρώτη χρήση του ΑΣΣ αναφέρεται κατά τα μέσα του 1990 στη Σουηδία για την κατασκευή έργων υποδομής σε συγκοινωνιακά έργα. Για την ανάπτυξη του ΑΣΣ, η ΕΕ χρηματοδότησε μεταξύ 1997 – 2000 ένα μεγάλο ερευνητικό πρόγραμμα, που εκπονήθηκε από ομάδα εταιρειών και των συλλογικών οργάνων των εταιρειών που παράγουν χημικά πρόσθετα για το σκυρόδεμα, από το οποίο προέκυψε η ευρωπαϊκή προδιαγραφή για το ΑΣΣ (Ευρωπαϊκές Οδηγίες για το ΑΣΣ)[1].

### 4.2 Πρόσφατες εφαρμογές.

- Στον όγκο της βιβλιογραφίας υπάρχει μία πληθώρα αναφορών των εφαρμογών του ΑΣΣ στη δόμηση. Πρόσφατες κτιριακές κατασκευές στις ΗΠΑ, Ευρώπη και Ασία, όπου έγινε χρήση ΑΣΣ είναι:

  - Το Κτίριο One World Trade Center στη Νέα Υόρκη, 104 όροφοι, ύψος 89 m, με τοιχεία από ΑΣΣ αντοχής 14000 psi (97 MPa) στις 56 ημέρες (Φωτ. 3).

  - Ο πύργος Millennium Tower, το υψηλότερο κτίριο από σκυρόδεμα στο San Fransisco (301 Market Str). Ύψος 197 m (58 όροφοι), από ΑΣΣ αντοχής 10000 psi (69 MPa) στους πρώτους 20 ορόφους (Φωτ. 4).

  - Ο πύργος Burj Khalifa (Burj Dubai), στο Dubai, κατασκευάσθηκε εξολοκλήρου με ΑΣΣ το 2010 (350.000 $m^3$ από σκυρόδεμα σκυροδετημένο σε νυκτερινές σκυροδετήσεις με χρήση πάγου - βλ. και Τ.Ο. 2, Σκυροδέτηση με υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος) (Φωτ. 5).

  - Το κτίριο της Mori στη Shanghai, Κίνα. Ύψος 492 m. Βραβείο Best Tall Building in the World 2008 του Council on Tall Buildings and Urban Habitat για το έτος 2008 (Φωτ.6).

  - Ο πύργος Trump Tower Chicago (2009). Ύψος 423 m (98 όροφοι). Η γενική κοιτόστρωση (3500 $m^3$) έγινε σε μία συνεχόμενη σκυροδέτηση με ΑΣΣ, διάρκειας 22 ωρών. Το ΑΣΣ είχε αντοχή 83 MPa στις 56 ημέρες. (Φωτ.7)

[1] EFNARC. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use. 2005.

***Φωτ. 3.*** *Κτίριο One World Trade Center, Νέα Υόρκη.*

***Φωτ. 4.*** *Πύργος Millennium Tower, San Fransisco.*

***Φωτ. 5.*** *Πύργος Burj Khalifa, Dubai.*

***Φωτ. 6.*** *Το κτίριο της Mori στη Shanghai.*

***Φωτ.7****. Ο πύργος Trump* Tower Chicago

### 4.3 Εφαρμογές στην Ελλάδα

- Η παραγωγή έργων από ΑΣΣ στην Ελλάδα καλύπτεται από την ΕΤΕΠ 01-01-06-00 - *Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα* που εκδόθηκε το 2012 και είναι ακόμη πολύ περιορισμένη.

## 5. Ποια τα ειδικά χαρακτηριστικά του νωπού ΑΣΣ;

- Το ΑΣΣ διαφοροποιείται από το συμβατικό σκυρόδεμα, κυρίως, ως προς τη νωπή του φάση (τη φάση, δηλαδή, κατά την οποία είναι εργάσιμο). Με τον όρο «εργασιμότητα» περιγράφεται ο βαθμός της ευκολίας (ή της δυσκολίας) με την οποία το σκυρόδεμα δύναται να αναμιχθεί, να διαστρωθεί, να συμπυκνωθεί και να επεξεργαστεί κατά τις εργασίες τελειώματος. Ως μέτρα αξιολόγησης της εργασιμότητας του ΑΣΣ καθορίζονται οι ακόλουθες ιδιότητες:

  (i) Ικανότητα πλήρωσης (filling ability, unconfined flowability): Είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να ρέει ανεμπόδιστα (εντός ελεύθερων από εμπόδια όγκων) και να πληρώνει όλα τα σημεία των τύπων, εξαιτίας του ιδίου βάρους του. Η ιδιότητα αυτή είναι σημαντική για την επιλογή της μεθόδου σκυροδέτησης και της απόστασης μεταξύ των σημείων εκφόρτωσης/έγχυσης.

  (ii) Ικανότητα διέλευσης, δηλαδή ικανότητα ροής διαμέσου στενών ανοιγμάτων (passing ability, confined flowability): Είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να ρέει γύρω από εμπόδια και διαμέσου στενών ανοιγμάτων, όπως τα κενά μεταξύ των ράβδων οπλισμού, χωρίς να σημειώνεται διαχωρισμός των συστατικών του ή έμφραξη σε περιοχές των τύπων λόγω συσσώρευσης αδρανών (blockage) και, επομένως, παρεμπόδιση της ροής.

  (iii) Σταθερότητα ή αντίσταση έναντι διαχωρισμού ή απόμιξης (stability, resistance to segregation): Είναι η ικανότητα του ΑΣΣ να διατηρεί την ομοιογένειά του κατά τη μεταφορά (δηλ. κατά την – πιθανή – ανάδευσή του), κατά τη διάστρωση (δηλ. κατά τη ροή του) και κατά την πήξη του. Επομένως, διακρίνονται δύο τύποι σταθερότητας για το ΑΣΣ: Η «δυναμική» σταθερότητα (dynamic stability) του μίγματος αναφέρεται στην αντίστασή του έναντι διαχωρισμού κατά τη φάση που το υλικό βρίσκεται σε κίνηση (μεταφορά/διάστρωση), ενώ η «στατική» σταθερότητα (static stability) αναφέρεται στην αντίσταση έναντι ανάπτυξης φαινομένων εξίδρωσης, διαχωρισμού και επιφανειακής καθίζησης μετά το πέρας της διάστρωσης και για το χρονικό διάστημα που το υλικό βρίσκεται ακόμα στην πλαστική του φάση. Ικανή δυναμική σταθερότητα μιγμάτων ΑΣΣ απαιτείται για εφαρμογές στις οποίες το σκυρόδεμα πρέπει να διέλθει από στενά ανοίγματα, ενώ σημειώνεται ότι πρέπει να αποφεύγεται η ανάδευση του φορτίου ΑΣΣ κατά τη μεταφορά του.

- Άλλες ιδιότητες, όπως η αντίσταση σε απόπλυση (resistance to washout) και η δυνατότητα επίτευξης απαλλαγμένων από ατέλειες ελεύθερων επιφανειών (defect-free surfaces) δύναται να αποτελούν πρόσθετες απαιτήσεις για συγκεκριμένες εφαρμογές. Τα στοχόσημα των ικανοτήτων πλήρωσης, διέλευσης και διατήρησης της σταθερότητας υπαγορεύονται από την εκάστοτε εφαρμογή, ενώ οι τελικώς επιτευχθείσες ικανότητες (ικανότητα πλήρωσης, ικανότητα διέλευσης, σταθερότητα) εξαρτώνται από τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίον διάφορες παράμετροι επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά εργασιμότητας του ΑΣΣ.

***Πίνακας 1.*** *Παράμετροι που επηρεάζουν την ικανότητα πλήρωσης, την ικανότητα διέλευσης και τη σταθερότητα μιγμάτων ΑΣΣ.*

| Παράμετροι σχετικές με: | | Επιρροή στην: | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Ικανότητα πλήρωσης | Ικανότητα διέλευσης | Σταθερότητα |
| την εφαρμογή | Πυκνότητα οπλισμού | Υψηλές τιμές δυσχεραίνουν τη ροή | Υψηλές τιμές είναι πιθανό να προκαλέσουν έμφραξη των αδρανών μεταξύ των οπλισμών | Υψηλές τιμές επισείουν κίνδυνο διαχωρισμού |
| | Περιπλοκότητα σκυροδετούμενου στοιχείου | Περίπλοκα σχήματα είναι πιο δύσκολο να πληρωθούν | - | - |
| | Μέθοδος σκυροδέτησης | Αργές και διακοπτώμενες σκυροδετήσεις μειώνουν την απαιτούμενη δυναμική ενέργεια του ρέοντος ΑΣΣ | - | Υψηλή δυναμική ενέργεια κατά τη σκυροδέτηση δύναται να προκαλέσει διαχωρισμό του ΑΣΣ |
| | Πάχος στοιχείου | Στενές διατομές δυσχεραίνουν τη ροή | - | - |
| | Μήκος στοιχείου | Στοιχεία μεγάλου μήκους είναι πιο δύσκολο να πληρωθούν | - | - |
| | Ύψος στοιχείου | - | - | Ο κίνδυνος διαχωρισμού και εξίδρωσης είναι ανάλογος με το ύψος του στοιχείου |
| | Στενώσεις τύπων | - | Είναι πιθανό να προκαλέσουν έμφραξη των αδρανών στις περιοχές αυτές | - |
| τα χαρακτηριστικά του ΑΣΣ | Ρευστότητα (ικανότητα ανεμπόδιστης ροής) | Υψηλές τιμές αυξάνουν την ικανότητα πλήρωσης | Χαμηλές τιμές προσδίδουν πτωχά χαρακτηριστικά παραμορφωσιμότητας στο ΑΣΣ, ενώ υψηλές τιμές ενδέχεται να προκαλέσουν αστάθεια και διαχωρισμό | Αύξηση της ρευστότητας**, αυξάνει τον κίνδυνο διαχωρισμού |
| | Ιξώδες* | Πολύ υψηλές τιμές περιορίζουν την ικανότητα πλήρωσης | Η ρύθμιση του ιξώδους πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το επίπεδο ρευστότητας | Αύξηση του ιξώδους, αυξάνει τη σταθερότητα |
| | Μέγεθος χονδρόκοκκων αδρανών | - | Αδρανή μεγάλου μεγέθους αυξώνουν τον κίνδυνο έμφραξης | - |
| | Περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή | - | Υψηλές τιμές αυξάνουν την τάση για έμφραξη αδρανών | - |

* ένα μέτρο της αντίστασης ενός υλικού που βρίσκεται σε πλαστική φάση σε δεδομένη ροή.

** διατηρώντας όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του ΑΣΣ αμετάβλητα.

- Για να καταστεί δυνατή από ένα νωπό σκυρόδεμα η πλήρωση όλων των πτυχών ενός τύπου (καλουπιού), δίχως τη χρήση δονητών, θα πρέπει το υλικό να χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό παραμορφωσιμότητας (≈ ρευστότητας), συγκρίσιμο με εκείνο ενός ρευστού μέσου. Η αύξηση της ρευστότητας του τσιμεντοπολτού ενός σκυροδέματος επιτυγχάνεται με την αύξηση του λόγου νερού προς τσιμεντοειδή υλικά [cementitious materials, δηλαδή το σύνολο των συνδετικών κονιών στο ανάμιγμα], ειδάλλως η προσθήκη κατάλληλου υπερρευστοποιητή είναι απαραίτητη. Παράλληλα, ένα σκυρόδεμα με χαρακτηριστικά αυτοσυμπύκνωσης κατά τη νωπή του φάση θα πρέπει να παρουσιάζει αυξημένη αντίσταση έναντι διαχωρισμού, καθώς, εάν η τάση προς απόμιξη των συστατικών του είναι έντονη, δε θα καταστεί δυνατή η διέλευση του μίγματος από στενά ανοίγματα (π.χ. ανοίγματα μεταξύ οπλισμών), λόγω έμφραξης των πιο χονδρόκοκκων αδρανών στα χείλη των ανοιγμάτων. Η αύξηση της αντίστασης έναντι διαχωρισμού του νωπού σκυροδέματος

επιτυγχάνεται μέσω της αύξησης του ιξώδους του τσιμεντοπολτού, που επιτυγχάνεται με τη μείωση του λόγου νερού προς τσιμεντοειδή υλικά και του λόγου αδρανή προς τσιμεντοειδή υλικά, με την ορθολογιστική διαβάθμιση των αδρανών, ή με την προσθήκη ενός ειδικού χημικού παράγοντα (ρυθμιστής ιξώδους, viscosity modifying agent,VMA).

- Αύξηση της παραμορφωσιμότητας του μίγματος συνεπάγεται (ή προϋποθέτει) τη μείωση της ενέργειας η οποία δαπανάται μέσω τριβής, είτε ενδοστρωσιακής (λόγω σύγκρουσης και αλληλεμπλοκής των αδρανών κατά τη ροή του σκυροδέματος), είτε στο όριο ρέοντος σκυροδέματος – σταθερού υποστρώματος. Αντιθέτως, αύξηση του ιξώδους του μίγματος συνεπάγεται (ή προϋποθέτει) την αύξηση της ενέργειας παραμόρφωσης. Από τα παραπάνω, καθίσταται φανερή η αντιθετικότητα της ταυτόχρονης διατήρησης ενός υψηλού βαθμού παραμορφωσιμότητας του σκυροδέματος και μίας αυξημένης αντίστασης έναντι διαχωρισμού των φάσεών του. Εάν το ιξώδες του τσιμεντοπολτού αυξηθεί μέσω της μείωσης του λόγου νερού προς τσιμεντοειδή υλικά, τότε η χρήση υπερρευστοποιητή είναι απαραίτητη για την αύξηση της παραμορφωσιμότητας του μίγματος. Ως αποτέλεσμα των επιτευγμάτων της χημικής βιομηχανίας, οι υπερρευστοποιητές νέας γενιάς επιφέρουν μικρή απώλεια του ιξώδους του τσιμεντοπολοτού, επιτρέποντας με αυτόν το τρόπο τη συνύπαρξη (εντός συγκεκριμένου εύρους τιμών) φαινομενικά αλληλοκρουόμενων ιδιοτήτων, όπως είναι η υψηλή ρευστότητα και η συνετικότητα/σταθερότητα του μίγματος.

## 6. Πώς ελέγχονται και πώς μετρούνται αυτά τα ειδικά χαρακτηριστικά;

- Για την παρασκευή ενός αποδεκτού μίγματος ΑΣΣ για οποιαδήποτε εφαρμογή απαιτείται να προηγηθούν δοκιμαστικά μίγματα. Στα μίγματα αυτά θα πρέπει να ποσοτικοποιηθούν οι βασικές ιδιότητες του ΑΣΣ, δηλαδή η ικανότητα πλήρωσης, η ικανότητα διέλευσης και η σταθερότητα. Επιπλέον των τριών αυτών ιδιοτήτων, πρέπει να διασφαλίζεται και η ποιότητα της τελικής επιφάνειας.

- Για το σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί και προταθεί διάφορες δοκιμές, μέρος των οποίων έχει προτυποποιηθεί από τους αμερικανικούς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι καμία δοκιμή δεν είναι ικανή να εκτιμήσει ταυτόχρονα και τις τρεις βασικές ιδιότητες και, για το λόγο αυτό, η αξιολόγηση ενός μίγματος πραγματοποιείται με συνδυασμό περισσότερων δοκιμών.

- Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των κυριότερων δοκιμών του νωπού ΑΣΣ:

### 6.1 Δοκιμή ανεμπόδιστης εξάπλωσης (slump flow)

- Η δοκιμή εξάπλωσης αποτελεί μία τροποποίηση της γνωστής δοκιμής κάθισης και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της ελεύθερης οριζόντιας ροής του ΑΣΣ απουσία εμποδίων (ανεμπόδιστη ροή) και, ειδικότερα, της ρευστότητας και της ταχύτητας ροής.

- Η τιμή της ανεμπόδιστης εξάπλωσης, (δηλ. η διάμετρος του εξαπλωμένου δείγματος ή αλλιώς της «πίτας») η οποία κυμαίνεται μεταξύ 550 και 850 mm, είναι ένα μέτρο της ικανότητας πλήρωσης του νωπού ΑΣΣ.

### 6.2 Χρόνος εξάπλωσης $t_{500}$

- Η ταχύτητα ροής ενός μίγματος ΑΣΣ επηρεάζεται από το ιξώδες του. Ειδικά για την εργαστηριακή παρασκευή μιγμάτων ΑΣΣ, η σχετική μέτρηση του ιξώδους είναι χρήσιμη. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε το εξωτερικό άκρο της πίτας σκυροδέματος, όπως αυτή

δημιουργείται μέσω της δοκιμής ανεμπόδιστης εξάπλωσης, να φτάσει μία διάμετρο 500 mm από την στιγμή έναρξης της δοκιμής (έναρξη ανασήκωσης του κώνου) παρέχει μία εκτίμηση της ταχύτητας ανεμπόδιστης ροής του μίγματος σκυροδέματος. Για παρόμοια μίγματα, αυτό το χρονικό εύρος, που συμβολίζεται ως $t_{500}$ (s), αποτελεί μία ένδειξη του ιξώδους του μίγματος ΑΣΣ.

### 6.3 Οπτικός δείκτης σταθερότητας (Visual stability index)

- Ο οπτικός δείκτης σταθερότητας (ΟΔΣ, visual stability index VSI) περιλαμβάνει την οπτική διερεύνηση της εξαπλωμένης πίτας ΑΣΣ από τη δοκιμή εξάπλωσης. Η δοκιμή αυτή στοχεύει στον προσδιορισμό της σταθερότητας του μίγματος (Daczko and Kurtz 2001) και συνήθως εφαρμόζεται με σκοπό την συγκριτική αξιολόγηση της σχετικής σταθερότητας μεταξύ μιγμάτων ίδιας ή παρεμφερούς σύνθεσης.

### 6.4 Δοκιμή χοάνης V (V-funnel)

- Η δοκιμή χοάνης V αποτιμά την εμποδιζόμενη ροή του ΑΣΣ και το βαθμό στον οποίο το μίγμα είναι επιρρεπές σε έμφραξη σε θέσεις στενών ανοιγμάτων, εκτιμά δηλαδή την ικανότητα διέλευσης (διελευσιμότητα) του μίγματος διαμέσου στενών ανοιγμάτων και συνεισφέρει στον προσδιορισμό του ιξώδους.

- Ο χρόνος εκροής $t_v$ δίνει μία εκτίμηση της ρευστότητας του μίγματος και αποτελεί ένδειξη της ικανότητας διέλευσης διαμέσου στενών ανοιγμάτων.

### 6.5 Δοκιμή δοχείου L (L-box)

- Η δοκιμή δοχείου L αποτιμά την εμποδιζόμενη ροή του ΑΣΣ και το βαθμό στον οποίο το μίγμα είναι επιρρεπές σε έμφραξη στις θέσεις των οπλισμών, εκτιμά δηλαδή την ικανότητα διέλευσης (διελευσιμότητα) του μίγματος διαμέσου πυκνών οπλισμών ή στενών ανοιγμάτων.

- Ο ελάχιστος επιτρεπόμενος λόγος υψών του σκυροδέματος μεταξύ του άκρου του οριζόντιου τμήματος και του κατακόρυφου τμήματος του δοχείου L θεωρείται ίσος με 0.80. Αν το ΑΣΣ ρέει ελεύθερα (π.χ. όπως το νερό), τότε η τελική επιφάνεια θα είναι πλήρως οριζόντια και ο λόγος θα ισούται με 1.0. Έτσι, λόγοι πλησιέστεροι στη μονάδα συνεπάγονται καλύτερη δυνητική ροή του μίγματος ΑΣΣ.

### 6.6 Δοκιμή δοχείου U (U-box)

- Η δοκιμή δοχείου U είναι παραπλήσια της δοκιμής δοχείου L, αποτιμά δηλαδή και αυτή την εμποδιζόμενη ροή του ΑΣΣ και το βαθμό στον οποίο το μίγμα είναι επιρρεπές σε έμφραξη στις θέσεις των οπλισμών, την ικανότητα δηλαδή διέλευσης του μίγματος (διελευσιμότητα) διαμέσου πυκνών οπλισμών ή στενών ανοιγμάτων.

### 6.7 Δοκιμή απόμιξης στήλης σκυροδέματος (column segregation)

- Η δοκιμή απόμιξης στήλης σκυροδέματος αποτελεί μία δοκιμή για την εκτίμηση της ικανότητας αντίστασης του μίγματος σε πιθανή απόμιξη.

- Η δοκιμή αποσκοπεί στον προσδιορισμό της σταθερότητας των μιγμάτων ΑΣΣ.

### 6.8 Δοκιμή σταθερότητας μέσω κοσκίνισης (sieve segregation resistance ή sieve stability test)

- Η δοκιμή απόμιξης μέσω κοσκίνισης αποτελεί μία δοκιμή για την εκτίμηση της ικανότητας αντίστασης του μίγματος σε πιθανή απόμιξη.

- Η δοκιμή αποσκοπεί στον προσδιορισμό της σταθερότητας των μιγμάτων ΑΣΣ.

### 6.9 Δοκιμή δακτυλίου J (J-ring)

- Κατά την διάστρωσή του στους οπλισμένους τύπους το ΑΣΣ πρέπει να παραμένει συνεκτικό και να μην εμφανίζει διαχωρισμό των αδρανών από την πάστα κατά τη ροή του. Η δοκιμή δακτυλίου J (J-ring) χαρακτηρίζει την ικανότητα του ΑΣΣ να διέρχεται διαμέσου των ράβδων οπλισμού.

- Η προκύπτουσα εξάπλωση αποτελεί ένδειξη της ικανότητας διέλευσης (διελευσιμότητα) του ΑΣΣ διαμέσου ράβδων οπλισμού.

### 6.10 Δοκιμή διείσδυσης / Αντίσταση σε στατική απόμιξη (penetration test / static segregation resistance)

- Η δοκιμή διείσδυσης δεν μετρά με άμεσο τρόπο την αντίσταση σε στατική απόμιξη, παρέχει όμως μια εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης στατικής απόμιξης.

- Το βάθος διείσδυσης Pd προσδιορίζει τον βαθμό αντίστασης σε στατική απόμιξη. Συγκεκριμένα, χαμηλότερα βάθη συνεπάγονται και υψηλότερο βαθμό αντίστασης σε στατική απόμιξη. Ενδεικτικά, αναφέρεται ο μη δεσμευτικός πίνακας αντιστοίχισης του βάθους διείσδυσης και της κατάταξης του μίγματος ανάλογα με την ικανότητά του να ανθίσταται σε στατική απόμιξη.

## 7. Ποιες είναι οι κύριες ιδιότητες του σκληρυμένου ΑΣΣ;

Παρά το γεγονός ότι οι ιδιότητες του νωπού ΑΣΣ διαφέρουν σημαντικά από εκείνες του συμβατικού σκυροδέματος, οι ιδιότητες του σκληρυμένου ΑΣΣ μπορούν, μέσω ρύθμισης των συστατικών του μίγματος, να καταστούν παρεμφερείς ή κατά περίπτωση καταλληλότερες από τις αντίστοιχες ιδιότητες του συμβατικού σκυροδέματος. Σημειώνεται ότι τυχόν διαφορές καλύπτονται από τις ασφαλείς εκτιμήσεις των κατασκευαστικών κανονισμών. Η αναφορά στις ιδιότητες του σκληρυμένου ΑΣΣ που γίνεται στην παρούσα παράγραφο αφορά κατάλληλα σχεδιασμένο ΑΣΣ, με ελαχιστοποίηση των φαινομένων της απόμιξης και της εξίδρωσης.

### 7.1 Μηχανικές ιδιότητες

- Οι ιδιότητες ενός ΑΣΣ που παράγεται από τις ίδιες πρώτες ύλες και με την ίδια απαίτηση σε θλιπτική αντοχή, αναμένεται να είναι παρόμοιες με του συμβατικού σκυροδέματος. Οι ίδιες δοκιμές και διαδικασίες που εφαρμόζονται στο συμβατικό σκυρόδεμα πρέπει να εφαρμόζονται και στο ΑΣΣ. Στην περίπτωση που το ΑΣΣ παράγεται με πρόσθετα τσιμεντοειδή υλικά (supplementary cementitious materials, SCM), όπως η ιπτάμενη τέφρα (fly ash), η πυριτική παιπάλη (silica fume), η σκωρία υψικαμίνου (granulated blast furnace slag, GBFS), κ.ά., θα πρέπει να ελέγχεται μετά από τουλάχιστον 90 ημέρες από τη σκυροδέτηση, ώστε να προλάβουν να αναπτυχθούν οι μηχανικές του ιδιότητες.

- **Θλιπτική αντοχή** – Για την επίτευξη ενός ποιοτικού ΑΣΣ με υψηλή ρευστότητα, αλλά επαρκή, ταυτόχρονα, συνεκτικότητα για την αποφυγή φαινόμενων απόμιιξης, συχνά απαιτείται μικρότερος λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά (water/cementitious materials, w/cm) σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Πάντως η χρήση πρόσθετων τσιμεντοειδών υλικών εν γένει οδηγεί σε υψηλότερες αντοχές για την ίδια περιεκτικότητα σε νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη υψηλότερων θλιπτικών αντοχών. Για τις περιπτώσεις προκατασκευασμένων στοιχείων, ένα σύνηθες εύρος λόγων w/cm κυμαίνεται μεταξύ 0.32 και 0.40. Μίγματα με μεγαλύτερους λόγους w/cm χρησιμοποιούνται για έτοιμο σκυρόδεμα ή επισκευαστικές εφαρμογές και έχουν χαρακτηριστικά αντοχής παρεμφερή με το συμβατικό σκυρόδεμα. Μίγματα ΑΣΣ και συμβατικού σκυροδέματος με ίδιους λόγους w/cm οδηγούν σε ελαφρώς υψηλότερες αντοχές στο ΑΣΣ, λόγω της απουσίας δόνησης που δημιουργεί βελτιωμένη ζώνη αλληλεπίδρασης μεταξύ τσιμεντόπαστας και αδρανών. Άλλες μεταβολές στα συστατικά του μίγματος μπορούν επίσης να παίξουν ρόλο στο ρυθμό ανάπτυξης αλλά και την τελική τιμή της αντοχής. Τέτοιες μεταβολές περιλαμβάνουν τον λόγο άμμου προς συνολικά αδρανή (sand/total aggregate, s/a), τον τύπο και την περιεκτικότητα των πρόσθετων τσιμεντοειδών υλικών και των φίλλερ, καθώς και τον συνδυασμό χημικών προσθέτων.

- **Καμπτική αντοχή** – Όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα, η καμπτική αντοχή του ΑΣΣ εξαρτάται από τον λόγο w/cm, την περιεκτικότητα των χονδρόκοκκων αδρανών και την ποιότητα της ζώνης αλληλεπίδρασης μεταξύ αδρανών και τσιμεντόπαστας. Για τα ίδια συστατικά υλικά (ως προς την προέλευση και την περιεκτικότητά τους στο μίγμα), το ΑΣΣ μπορεί να αναπτύξει υψηλότερη καμπτική αντοχή σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα.

- **Εφελκυστική αντοχή από διάρρηξη** – 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 το γνωστό εύρος διασποράς των τιμών για το κοινό σκυρόδεμα.

- **Μέτρο ελαστικότητας** – Το μέτρο ελαστικότητας σχετίζεται με τη θλιπτική αντοχή, τον τύπο και την περιεκτικότητα αδρανών και το φαινόμενο βάρος του σκυροδέματος. Μεταβολές στην περιεκτικότητα των συστατικών, ειδικά του λόγου άμμος/αδρανή, μπορεί να επηρεάσουν το μέτρο ελαστικότητας του ΑΣΣ.

  Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αντικρουόμενες ενδείξεις για τη σχέση των μέτρων ελαστικότητας του ΑΣΣ και του συμβατικού σκυροδέματος. Έχει αναφερθεί ότι για ίδια θλιπτική αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας του ΑΣΣ μπορεί να υπολείπεται κατά 10 έως 15 % σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα ίδιας αντοχής, γεγονός που αποδίδεται στις απαιτούμενες μεταβολές στη σύνθεση για την παρασκευή ΑΣΣ. Αλλού όμως αναφέρεται ότι για ίδια θλιπτική αντοχή, τα μέτρα ελαστικότητας συμπίπτουν. Για το σχεδιασμό, το μέτρο ελαστικότητας του ΑΣΣ δύναται να υπολογιστεί από τη σχέση του CEB-FIB Model Code 90 που ισχύουν και για το κοινό σκυρόδεμα (η οποία είναι παραπλήσια με αυτή του fib MC2010)

- **Συνάφεια με τον χάλυβα οπλισμού και τα προεντεταμένα καλώδια** – Τα χαρακτηριστικά της συνάφειας του ΑΣΣ είναι παρόμοια ή καλύτερα από το συμβατικό σκυρόδεμα. Το ΑΣΣ ρέει εύκολα γύρω από τον οπλισμό και αναπτύσσει καλή συνάφεια. Η αντοχή σε συνάφεια στο ΑΣΣ μπορεί να είναι έως και 40 % υψηλότερη σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στη χαμηλότερη περιεκτικότητα του νερού και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε σκόνη στα μίγματα ΑΣΣ, που έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης του νερού της εξίδρωσης κάτω από τις οριζοντίως εγκιβωτισμένες ράβδους οπλισμού. Στο συμβατικό σκυρόδεμα, η

συγκέντρωση του νερού αυτού κάτω από τις ράβδους μπορεί να αυξήσει τον τοπικό λόγο w/cm και να μειώσει την αντοχή σε συνάφεια. Όσο αφορά στο φαινόμενο των άνω ράβδων (top bar effect), ένα ποιοτικό ΑΣΣ μπορεί να εμφανίσει περιορισμένη μείωση της αντοχής σε συνάφεια καθ' ύψος της διατομής σε σχέση με ένα ρευστό συμβατικό σκυρόδεμα.

## 7.2 Χρονικά εξαρτώμενα φαινόμενα

- **Αυτογενής συστολή, συστολή ξήρανσης και πλαστική συστολή**

  *Αυτογενής συστολή* – Σε μίγματα με σχετικά χαμηλό λόγο w/cm, υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο και πρόσθετα τσιμεντοειδή υλικά που εμφανίζουν υψηλούς ρυθμούς ποζολανικής δράσης σε μικρές ηλικίες, η αυτογενής συστολή μπορεί να είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στα προστατευτικά μέτρα για τον περιορισμό/την ελαχιστοποίηση της ξήρανσης του ΑΣΣ. Υψηλότεροι λόγοι w/cm οδηγούν σε χαμηλότερη αυτογενή συστολή.

  *Συστολή ξήρανσης* – Η συστολή ξήρανσης επηρεάζεται από την περιεκτικότητα νερού και τον όγκο της πάστας, καθώς και από την περιεκτικότητα, το μέγεθος και τη σκληρότητα των αδρανών. Υψηλοί όγκοι πάστας και μείωση της περιεκτικότητας των αδρανών μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη συστολή ξήρανσης. Για την ίδια θλιπτική αντοχή, έχει αναφερθεί ότι η συστολή ξήρανσης είναι παρόμοια ή χαμηλότερη σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Υψηλότεροι λόγοι w/cm οδηγούν σε υψηλότερη συστολή ξήρανσης.

  *Πλαστική συστολή* – Το ΑΣΣ είναι επιρρεπές στην ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συστολής, δεδομένου ότι τα μίγματα αυτά παρουσιάζουν περιορισμένη ή και καθόλου επιφανειακή εξίδρωση. Το ΑΣΣ πρέπει να προστατεύεται από ταχεία απώλεια υγρασίας και τυχόν επιφανειακή ξήρανση τουλάχιστον για τις πρώτες 24 ώρες, ακριβώς όπως το συμβατικό σκυρόδεμα που παρουσιάζει περιορισμένη ή και καθόλου επιφανειακή εξίδρωση.

- **Ερπυσμός** – Ο ερπυσμός επηρεάζεται κυρίως από τη σταθερότητα της τσιμεντόπαστας και του σκυροδέματος, καθώς επίσης και από την περιεκτικότητα και τη σκληρότητα των χονδρόκοκκων αδρανών, τη διάρκεια και τη μέθοδο συντήρησης, τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ηλικία του σκυροδέματος τη στιγμή εφαρμογής φορτίων. Στο ΑΣΣ, σημαντικό ρόλο στον ερπυσμό παίζουν η σύνθεση του μίγματος, η περιεκτικότητα της πάστας και των αδρανών. Για τις ίδιες αναλογίες συστατικών του μίγματος, ο ερπυσμός είναι παρόμοιος μεταξύ ΑΣΣ και συμβατικού σκυροδέματος. Για μεγαλύτερο όγκο πάστας στο ΑΣΣ, ο ερπυσμός είναι μεγαλύτερος από το συμβατικό σκυρόδεμα ίδιας κατηγορίας.

## 7.3 Ανθεκτικότητα

- **Αντίσταση σε κύκλους ψύξης – απόψυξης και αντιπαγωτικά άλατα** – Το κορεσμένο σκυρόδεμα που εκτίθεται σε επιθετικά περιβάλλοντα απαιτεί ένα ικανοποιητικό σύστημα εξαερισμού, επαρκή ωρίμανση και κατάλληλα αδρανή. Τα χαρακτηριστικά αυτά εξασφαλίζουν στο ΑΣΣ εξαιρετική αντίσταση σε κύκλους ψύξης – απόψυξης και στη δράση αντιπαγωτικών αλάτων.

- **Σύστημα κενών αέρα –** Η κατάλληλη περιεκτικότητα σε αέρα στο ΑΣΣ μπορεί να επιτευχθεί και να διατηρηθεί σταθερή. Η υψηλή ρευστότητα και η υψηλή περιεκτικότητα μειωτών νερού μπορούν, πάντως, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις να εγκλωβίσουν μεγάλες ποσότητες μεγάλων φυσσαλίδων αέρα στο ΑΣΣ. Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να χρησιμοποιούνται κατάλληλα πρόσθετα για την απομάκρυνση του αέρα ή

να γίνονται κατάλληλες τροποποιήσεις στις αναλογίες του μίγματος και τα χρησιμοποιούμενα συστατικά.

- **Μικροδομή πάστας** – Ένα καλά σχεδιασμένο ΑΣΣ μπορεί να αναπτύξει μια μικροδομή με λεπτό τριχοειδές πορώδες που μειώνει τα φαινόμενα μεταφοράς. Έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι το ΑΣΣ αναπτύσσει σημαντικά χαμηλότερες τιμές του συντελεστή αεροπερατότητας και υδαταπορροφητικότητας. Ο τυπικά χαμηλότερος λόγος w/cm του ΑΣΣ, σε συνδυασμό με τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά που αφορούν στην ομοιογένειά του σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα, μπορούν να βελτιώσουν την ζώνη αλληλεπίδρασης μεταξύ της τσιμεντόπαστας και των αδρανών, την ποιότητα της ελεύθερης επιφάνειάς του με συνεπακόλουθο περιορισμό των κενών και την αδιαπερατότητα. Πάντως, πρέπει να διασφαλίζεται ότι οι παιπάλες και τα χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στο ΑΣΣ δεν οδηγούν σε αντίθετα φαινόμενα στην διαπερατότητα και την ηλεκτρική αντίσταση.

- **Αντίσταση σε ενανθράκωση** – Το ΑΣΣ αναμένεται να έχει παρόμοια ικανότητα αντίστασης σε ενανθράκωση σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα.

### 7.4 Επαναληψιμότητα & Αναπαραγωγισιμότητα

- Τα παραπάνω ευρήματα δε θα είχαν ουσιαστική αξία, εάν το ΑΣΣ παρουσίαζε μεγάλες διασπορές στις τιμές των ιδιοτήτων κατά την επανάληψη των ίδιων δοκιμών σε δίδυμα δοκίμια από το ίδιο ανάμιγμα (επαναληψιμότητα, repeatability). Στη διεθνή βιβλιογραφία γίνονται συχνές αναφορές για χαμηλότερότερη διασπορά στις μηχανικές ιδιότητες και τις ιδιότητες ανθεκτικότητας σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Επιπροσθέτως, πειράματα που πραγματοποιήθηκαν πρόσφατα σε συνεργασία ερευνητών από την Ελλάδα και την Κύπρο (Sfikas et al. 2013), βεβαίωσαν την ικανοποιητική αναπαραγωγισιμότητα παρεμφερών μιγμάτων (reproducibility) από υλικά που συμμορφώνονται στα σύγχρονα ευρωπαϊκά πρότυπα, τα οποία ελέγχθηκαν ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες και τις ιδιότητες ανθεκτικότητας.

### 7.5 Αισθητική

- Όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους, ένα επιπλέον σημαντικό πλεονέκτημα του ΑΣΣ είναι ότι παρέχει βελτιωμένες τελικές επιφάνειες και βελτιωμένη αισθητική στο σκυρόδεμα, μέσω σημαντικού περιορισμού των ατελειών. Σημαντικό ρόλο στην επίτευξη βέλτιστης ποιότητας της τελικής επιφάνειας παίζουν η υψηλή ρευστότητα του ΑΣΣ, η απουσία δόνησης και η χρήση ποιοτικών ξυλοτύπων.

## 8. Ποιες είναι οι ειδικές απαιτήσεις της μελέτης σύνθεσης του ΑΣΣ;

### 8.1 Εισαγωγή

- Η μελέτη σύνθεσης του ΑΣΣ, ακολουθεί περίπου τα ίδια βήματα που υιοθετούνται στη μελέτη σύνθεσης ενός τυπικού σκυροδέματος, με τις επιπλέον εργαστηριακές δοκιμές που έχουν ήδη περιγραφεί σε άλλα Κεφάλαια (Slump – Flow, J-ring, V-funnel, L-box, U-box, κ.λπ.)

- Για την επιλογή των συστατικών και των αναλογιών τους στο ανάμιγμα πραγματοποιούνται δειγματοληψίες και έλεγχος των ιδιοτήτων των πρώτων υλών δηλαδή αδρανών, τσιμέντου, προσμίκτων (φίλλερ) και ειδικών χημικών προσθέτων. Στη συνέχεια, γίνονται οι υπολογισμοί και ο σχεδιασμός του μίγματος και τέλος τα δοκιμαστικά αναμίγματα.

- Ακολούθως πραγματοποιούνται εργαστηριακές δοκιμές σε δοκιμαστικά αναμίγματα από εργαστηριακό αναμικτήρα (μικρού όγκου) και καταγράφονται οι ιδιότητές τους. Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά επαληθεύονται σε συγκρότημα παραγωγής σκυροδέματος και μέσω δοκιμαστικών εργοστασιακών αναμιγμάτων στη Μονάδα (field –trial mixes).

## 8.2 Γενικές αρχές σχεδιασμού

- Κατά το σχεδιασμό του μίγματος, είναι πολύ χρήσιμο να καθορίζονται οι αναλογίες των βασικών υλικών κατ' όγκον παρά κατά βάρος.

- Ακολουθούν τυπικές αναλογίες και ποσότητες υλικών (σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες για το ΑΣΣ της EFNARC) ούτως ώστε να επιτευχθούν χαρακτηριστικά «αυτο – συμπύκνωσης». Σημειώνεται, πάντως, ότι οι παρακάτω τιμές δεν πρέπει να λαμβάνονται αυστηρά υπόψη, καθώς η εργαστηριακή εμπειρία έχει αποδείξει ότι ορισμένες, τουλάχιστον, εξ αυτών δεν είναι δεσμευτικές.

  - Λόγος νερού/κονίες (powder), μεταξύ: 0,80-1,10 (κατ' όγκον)
  - Συνολική περιεκτικότητα κονιών: 160-240 l/m$^3$ (400-600 kg/m$^3$)
  - Χονδρόκοκκα αδρανή: συνήθως 28-35% του όγκου του μίγματος
  - Λόγος Νερού/τσιμέντο, επιλέγεται βάσει των απαιτήσεων του EN 206. Τυπική δοσολογία νερού < 200l/m$^3$.
  - Η περιεκτικότητα άμμου ισοσταθμίζει τα παραπάνω συστατικά

Σημείωση: Οι «ρυθμιστές ιξώδους» (viscosity modifying admixtures), είναι χρήσιμα εργαλεία για να ισοσταθμίσουν τις διακυμάνσεις λόγω μεταβολών στην κοκκομέτρηση ή/και, την υγρασία των αδρανών.

## 8.3 Εργαστηριακά δοκιμαστικά αναμίγματα - Ρυθμίσεις

- Εργαστηριακά δοκιμαστικά αναμίγματα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να επαληθευτούν οι ιδιότητες του αρχικού μίγματος και των αναλογιών των υλικών. Εάν κριθεί απαραίτητο, μπορούν να γίνουν στη συνέχεια μεταβολές /προσαρμογές στο αρχικό μίγμα. Μόλις όλες οι αλλαγές ολοκληρωθούν, το μίγμα πρέπει να αναπαραχθεί σε μεγάλη κλίμακα στο συγκρότημα παραγωγής ή στο εργοτάξιο.

- Εάν δεν ικανοποιηθούν ουσιώδεις παράγοντες συμπεριφοράς, τότε πρέπει πιθανόν να πραγματοποιηθεί ουσιαστικός επανασχεδιασμός του μίγματος. Στις περιπτώσεις αυτές, οι απαιτούμενες ρυθμίσεις/ενέργειες μπορεί να είναι οι ακόλουθες:
  - Χρήση πρόσθετου προσμίκτου (filler) ή διαφορετικού φίλλερ (προέλευση, λεπτότητα, κ.λπ.)
  - Τροποποίηση των αναλογιών του φίλλερ της άμμου και των χονδρόκοκκων αδρανών
  - Χρήση «ρυθμιστή ιξώδους» (αν δεν έχει χρησιμοποιηθεί)
  - Τροποποίηση/ρύθμιση της ποσότητας του χημικού προσθέτου ή/και του ρυθμιστή ιξώδους
  - Χρήση διαφορετικού τύπου χημικού προσθέτου (υπερρευστοποιητή ή/και ρυθμιστή ιξώδους) πιο αποτελεσματικού με τα υπάρχοντα τοπικά υλικά.
  - Τροποποίηση της δοσολογίας του προσμίκτου, ώστε να μεταβληθεί ο λόγος νερού/τσιμεντοειδή υλικά

## 9. Απαιτείται ειδική διαδικασία παραγωγής;

- Το ΑΣΣ έχει σημαντικά μικρότερη ανοχή σε μεταβολές είτε των συστατικών του είτε στην διαδικασία ανάμιξής τους, σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό όλες οι διαδικασίες παραγωγής ΑΣΣ να παρακολουθούνται με ιδιαίτερη προσοχή.

- Ειδικότερα, η παραγωγή του ΑΣΣ θα πρέπει να γίνεται σε Μονάδες Παρασκευής Σκυροδέματος, στις οποίες ο εξοπλισμός, οι πρώτες ύλες και η λειτουργία τους να ελέγχονται κατάλληλα από ένα Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας, σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 9001 ή παρόμοιο.

- Επίσης, το προσωπικό που εμπλέκεται στις διαδικασίες παραγωγής, ελέγχου και μεταφοράς θα πρέπει να έχει επαρκή εκπαίδευση, η οποία πάντως μπορεί να έχει παρασχεθεί κατά την διάρκεια των δοκιμών.

- Για την παραγωγή ΑΣΣ, συνιστάται η χρήση αναμικτήρων βιαίας ανάμιξης. Ο χρόνος ανάμιξης πρέπει να είναι μεγαλύτερος από αυτόν του συμβατικού σκυροδέματος, καθώς λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας λεπτόκοκκων και χημικών προσθέτων ο απαιτούμενος χρόνος για την επαρκή ομογενοποίηση του μίγματος είναι αυξημένος. Σημειώνεται ότι απαιτούνται δοκιμές για τον ακριβή προσδιορισμό του βέλτιστου χρόνου ανάμιξης, κατά περίπτωση. Η παραγωγή ΑΣΣ είναι, πάντως, εφικτή και με διαφορετικούς τύπους αναμικτήρων με αυξημένο χρόνο ανάμιξης, αλλά και περισσότερες δοκιμές.

- Όσο αφορά στα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ΑΣΣ, συνιστάται να αποθηκεύονται καλυμμένα, ώστε να διατηρείται σταθερή η υγρασία τους και είναι επιθυμητό να έχουν τουλάχιστον την υγρασία απορροφήσεως. Οι έλεγχοι για την κοκκομετρική τους διαβάθμιση, καθώς και για την υγρασία τους πρέπει να είναι συχνότεροι από ότι στο συμβατικό σκυρόδεμα, καθώς το ΑΣΣ είναι σημαντικά πιο ευαίσθητο σε διακυμάνσεις λόγω της μεταβολής των παραπάνω χαρακτηριστικών των αδρανών. Συνιστάται, επίσης, η χρήση υγρασιομέτρων για τα αδρανή, η βαθμονόμηση των οποίων πρέπει να είναι συχνότερη από ότι στο συμβατικό σκυρόδεμα. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στην σωστή τοποθέτηση και λειτουργία των υγρασιομέτρων, ειδικότερα δε υπό διαφορετικές συνθήκες (υψηλή υγρασία αδρανών, στεγνά αδρανή, προβλήματα ροής αδρανών λόγω υγρασίας κλπ.). Η μεγάλη ευαισθησία του ΑΣΣ σε μεταβολές στην περιεκτικότητα νερού, οδηγεί στην ανάγκη η ποσότητα του νερού να ρυθμίζεται αδιάκοπα, ανάλογα με την υγρασία των αδρανών. Συγκεκριμένα, συνιστάται η αυτόματη διόρθωση της υγρασίας μέσω κατάλληλων αυτοματοποιημένων διαδικασιών και, κατά προτίμηση, σε συνδυασμό με την λειτουργία υγρασιομέτρων.

- Λόγω της ιδιαιτερότητας και της ευαισθησίας του ΑΣΣ σε διακυμάνσεις, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και πληθώρα δοκιμών στην αρχική –τουλάχιστον– φάση, ούτως ώστε να αποκτηθεί η απαραίτητη εμπειρία για τις απαιτούμενες διορθώσεις, σε σχέση με την ποσότητα του νερού, των χημικών προσθέτων και της ένδειξης συνεκτικότητας (κατανάλωση ρεύματος – «ζόρισμα») του αναμικτήρα, για τον συγκεκριμένο τύπο ΑΣΣ και για το ίδιο μέγεθος αναμίγματος/ παρτίδας. Οι δοκιμές αυτές είναι, επίσης, σημαντικές, ούτως ώστε όλο το εμπλεκόμενο προσωπικό να μπορεί να είναι σε θέση να εκτιμήσει οπτικά πλέον την καταλληλότητα ή μη του παραχθέντος ΑΣΣ (ιδιαίτερα σημαντικό σε περιπτώσεις μεγάλων σκυροδετήσεων όπου δεν είναι δυνατός ο έλεγχος όλων των φορτίων).

- Τέλος, σε αρκετές περιπτώσεις είναι σημαντικό να γίνει δοκιμαστική εφαρμογή, πριν την εφαρμογή του ΑΣΣ επιτόπου στο έργο, σε δείγμα αντίστοιχο με εκείνο που θα

χρησιμοποιηθεί (mock-up), ώστε να εκτιμηθούν έγκαιρα και επαρκώς όλες οι παράμετροι που απαιτούνται (τρόπος άντλησης, τρόπος χύτευσης, ικανότητα διέλευσης, τελικές επιφάνειες, κλπ.) για την επίτευξη του επιδιωκόμενου αποτελέσματος.

## 10. Απαιτούνται ειδικοί χειρισμοί στη μεταφορά και εκφόρτωσή του (π.χ. στην άντληση);

- Κατά τη φάση της διάστρωσης, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει επαρκής τροφοδοσία ΑΣΣ, ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, ούτως ώστε να μην υπάρχει διακοπή στην σκυροδέτηση, αλλά και ούτε υπερβολική αναμονή των αυτοκινήτων στο έργο (απώλεια εργασιμότητας, ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες).

- Λόγω του ότι το ΑΣΣ είναι ένα εξαιρετικά ρευστό σκυρόδεμα, είναι, κατά περίπτωση, αναγκαίο τα οχήματα μεταφοράς (αναμικτήρες) να φορτώνονται με μικρότερο φορτίο από το προβλεπόμενο για το συμβατικό σκυρόδεμα, ειδικά αν υπάρχουν ανηφορικά τμήματα στην διαδρομή. Τα οχήματα μεταφοράς πρέπει να αναδεύουν το ΑΣΣ σε όλη τη διάρκεια της διαδρομής, καθώς και κατά την αναμονή, με μια χαμηλή ταχύτητα (περίπου 1-2 στροφές/λεπτό). Πριν την έναρξη της εκφόρτωσης θα πρέπει να γίνεται ανάδευση του ΑΣΣ σε πλήρη ταχύτητα στροφών τουλάχιστον για 3 λεπτά για την διασφάλιση της ομογενοποίησης του μίγματος.

- Η χρήση υπερρευστοποιητικών ή άλλων προσθέτων είναι καλό να αποφεύγεται επί τόπου στο έργο (εκτός εάν προβλέπεται από τη μελέτη σύνθεσης για συγκεκριμένο τύπο και ποσότητα χημικού πρόσθετου), διαφορετικά η ανάμιξη του υπερρευστοποιητικού προσθέτου θα πρέπει να γίνεται με πολύ μεγάλη προσοχή στην δοσολογία και στον χρόνο ανάμιξης, ο οποίος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1 λεπτό ανά κυβικό μέτρο μεταφερόμενου σκυροδέματος και, πάντως, όχι λιγότερος από 7 λεπτά, στις μέγιστες στροφές λειτουργίας του αναμικτήρα.

- Το ΑΣΣ δύναται να εγχυθεί εντός των τύπων με τον ίδιο τρόπο, όπως και το συμβατικό σκυρόδεμα (π.χ. για κατακόρυφα στοιχεία, από το ελεύθερο άνω τμήμα του ξυλότυπου μέσω εύκαμπτου σωλήνα). Για την μείωση του κινδύνου διαχωρισμού και απόμιξης, συνιστάται ο περιορισμός του ελεύθερου ύψους εκφόρτωσης του ΑΣΣ στα 5 m (AFGC, 2000), ή η εισχώρηση του σωλήνα εντός του στοιχείου και η βαθμιαία ανύψωσή του, καθώς ο όγκος του νωπού σκυροδέματος αυξάνεται. Για κατακόρυφα στοιχεία (όπως υποτυλώματα και τοιχία), η σκυροδέτηση δύναται να πραγματοποιηθεί και μέσω εισπίεσης από το κατώτερο τμήμα των ξυλοτύπων. Τέλος, ως μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση οριζόντιας ροής του ΑΣΣ συνιστώνται τα 10 m (AFGC, 2000), ενώ μόνο ένα προτείνεται να είναι το σημείο έγχυσης του σκυροδέματος (Ludwig et al., 2001). Τα παραπάνω όρια εξαρτώνται, βέβαια, και από τις προδιαγραφές του ΑΣΣ.

- Η πείρα, σχετικά με την άντληση του ΑΣΣ, έχει δείξει ότι οι υψηλές πιέσεις εντός του δικτύου των διατάξεων άντλησης προκαλούν απώλειες στην εργασιμότητα (τόσο η εξάπλωση, όσο και το ποσοστό του αέρα στο μίγμα είναι πιθανό να μειωθούν κατά την άντληση). Για τον λόγο αυτό συνιστάται η πίεση να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα κατά την άντληση. Επίσης, επειδή σε περίπτωση διακοπής υπάρχει κίνδυνος είτε απώλειας της εργασιμότητας εντός του δικτύου είτε έμφραξης των σωληνώσεων, με αποτέλεσμα την δυσκολία ή αδυναμία επανεκκίνησης της άντλησης, συνιστάται σε περιπτώσεις διακοπής και πάντα σε συνάρτηση και με τις συνθήκες που επικρατούν (εργασιμότητα, θερμοκρασία, κ.λπ.) να διαμορφώνεται κλειστό κύκλωμα άντλησης (με επανατροφοδότηση είτε της σκάφης της αντλίας, είτε του αναμικτήρα του οχήματος μεταφοράς), ώστε το νωπό ΑΣΣ να μην μένει στάσιμο. Τέλος, συνιστάται η χρήση

σωλήνων διαμέτρου 4 ή 5 ιντσών και συνολικού μήκους μικρότερου των 300 m (JSCE, 1999), αν και μήκη άντλησης έως και 2 km έχουν αναφερθεί.

## 11. Υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για την αποδοχή του στο εργοτάξιο;

### 11.1 Γενικά

#### 11.1.1 Αποδοχή στο εργοτάξιο (Site acceptance)

- Στην περίπτωση του ΑΣΣ, είναι πολύ σημαντικό να είναι τυποποιημένος ο τρόπος ελέγχου παραλαβής. Ο παραγωγός και ο αγοραστής πρέπει, επομένως, να συμφωνήσουν σε μια διαδικασία για αποδοχή/συμμόρφωση στην αρχή της Σύμβασης. Αυτή θα περιλαμβάνει και δράσεις στην περίπτωση μη συμμόρφωσης.

- Εκτός από τον τυπικό έλεγχο του Δελτίου Αποστολής, ένας οπτικός έλεγχος του ΑΣΣ πρέπει να πραγματοποιηθεί.

- Ο αγοραστής πρέπει να διασφαλίσει ότι όλοι οι έλεγχοι αποδοχής στο εργοτάξιο πρέπει να γίνουν από ικανό, επαρκώς εκπαιδευμένο προσωπικό, σε κατάλληλο περιβάλλοντα χώρο (αυτό περιλαμβάνει ένα χώρο προστατευμένο από κλιματολογικές συνθήκες), κατάλληλα συντηρημένο και διακριβωμένο εξοπλισμό και οριζόντια επίπεδη επιφάνεια για την πραγματοποίηση των δοκιμών.

### 11.2 Έλεγχοι ποιότητας ΑΣΣ στο εργοτάξιο

#### 11.2.1 Έλεγχοι Δελτίου Αποστολής

- Κατά την άφιξη φορτίου ΑΣΣ, ελέγχεται το Δελτίο Αποστολής του αυτοκινήτου μεταφοράς και ειδικότερα τα εξής:

α) χρόνος φόρτωσης/ χρόνος άφιξης/ χρόνος εκφόρτωσης
β) κατηγορία αντοχής
γ) σύνθεση ΑΣΣ: περιεκτικότητα σε τσιμέντο (kg/m$^3$)
λόγος Ν/Τ
δοσολογία νερού (kg/m$^3$)
προσθήκη προσθέτων (επωνυμία, δοσολογία %)
δ) ειδικές απαιτήσεις (εάν έχει συμφωνηθεί) όπως: μέτρηση εξάπλωσης ΑΣΣ (κατηγορία)
θερμοκρασία ΑΣΣ
άλλα χαρακτηριστικά ΑΣΣ
(π.χ. από δοκιμές L-box, V-funnel κ.λπ.)
ε) δειγματοληψία για λήψη δοκιμίων: στοιχεία δοκιμίων (α/α, ώρα λήψης, θέση διάστρωσης, κ.λπ.)

#### 11.2.2 Έλεγχοι Ποιότητας ΑΣΣ, στο έργο

- Μετά την παραλαβή του Δελτίου Αποστολής και του φορτίου του αυτοκινήτου, γίνονται οι παρακάτω (υποχρεωτικά) δοκιμές νωπού σκυροδέματος:

α) έλεγχος εργασιμότητας, συνήθως με την τράπεζα εξαπλώσεως (Slump flow), με αναμενόμενες τιμές εξάπλωσης: 600-750 mm ή αυτές που είχαν προσδιοριστεί στη μελέτη σύνθεσης ΑΣΣ.
β) έλεγχος θερμοκρασίας σκυροδέματος

γ) έλεγχος αντοχής, με την παρασκευή τουλάχιστον έξι (6) κυβικών δοκιμίων (150x150x150mm) για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής ΑΣΣ
δ) V-Funnel test (συσκευή: Ozawa)
ε) J – Ring test (Bartos)

### 11.2.3 Άλλοι έλεγχοι

- Άλλοι έλεγχοι που μπορεί να γίνουν στο έργο περιλαμβάνουν:
  α) τον έλεγχο της αεροπεριεκτικότητας
  β) τον έλεγχο του φαινόμενου βάρους νωπού σκυροδέματος.

  Αυτοί οι έλεγχοι δεν συνηθίζονται για ΑΣΣ στο έργο.

## 11.3 Φάκελος ποιότητας

- Οι έλεγχοι, δειγματοληψίες και τα αντίστοιχα πιστοποιητικά, φυλάσσονται στο φάκελο ποιότητας του έργου.

# 12. Υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για τους τύπους (ξυλότυποι, μεταλλότυποι) και τον οπλισμό του έργου που σκυροδετείται με ΑΣΣ;

## 12.1 Οπλισμός: Οφέλη και ειδικές απαιτήσεις σε ό,τι αφορά τον οπλισμό, λόγω της χρήσης ΑΣΣ

### 12.1.1 Οφέλη

- Η χρήση του ΑΣΣ συνεπάγεται – προκύπτει από την ανάγκη να επιτευχθεί με οικονομικότητα ένα σκυρόδεμα αυξημένης ανθεκτικότητας σε περιπτώσεις όπου η πύκνωση των οπλισμών είναι μεγάλη. Λόγω της μεγαλύτερης ευκολίας του ΑΣΣ να περιβάλλει – μέσω της ρευστότητας του – τις ράβδους οπλισμού καθώς και του γεγονότος ότι μια σύνθεση ΑΣΣ χρησιμοποιεί αδρανή με μικρότερη διάσταση μέγιστου κόκκου (Dmax= 16 ή 20 mm ή ακόμα μικρότερη), η εφαρμογή του στο έργο επιτρέπει:

  - να χρησιμοποιούνται στη μελέτη μικρότερης διαμέτρου οπλισμοί με πυκνότερη διάταξη – τόσο για καλύτερο έλεγχο της ρηγμάτωσης αλά και για μείωση του μήκους αγκύρωσης και αλληλεπικάλυψης των οπλισμών (οικονομικότητα και μείωση των απαιτουμένων διαστάσεων κόμβων σε κτίρια Υψηλής Πλαστιμότητας) καθώς και
  - να αποφεύγονται δέσμες οπλισμών σε περίπτωση που οι οπλισμοί δεν χωράνε στη διατομή. Άρα, η χρήση ΑΣΣ δίνει στο μελετητή του έργου μεγαλύτερη ευελιξία στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες.

### 12.1.2 Ειδικές απαιτήσεις

- Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι σε ότι αφορά τον οπλισμό η χρήση ΑΣΣ συνεπάγεται ευμενείς έως οικονομικότερες λύσεις και ευελιξία στην όπλιση. Το αντίθετο συμβαίνει σε ότι αφορά τη σύνθεση και τη διάστρωση του ΑΣΣ. Η ύπαρξη πυκνού οπλισμού και/σε συνδυασμό με/ή ξυλοτύπους με σχήματα που συνεπάγονται δυσκολίες διάστρωσης του σκυροδέματος, όπου και είναι η χρήση ΑΣΣ πλέον συνήθης, συνεπάγεται την ανάγκη για μεγαλύτερη ρευστότητα και ικανότητα διέλευσης (passing ability) του ΑΣΣ, για να μην παρατηρηθούν φαινόμενα: i) διαχωρισμού του ΑΣΣ όταν ρέει μέσα από τις ράβδους, ii) απόμιξης του ΑΣΣ (ευστάθεια της σύνθεσης, σταθερότητα) και iii) εμπλοκής/έμφραξης του ρέοντος ΑΣΣ λόγω εγκλωβισμού των αδρανών στους

οπλισμούς, όταν αυτό υποχρεώνεται να περάσει μέσα από τους οπλισμούς και τις στενές διελεύσεις του τύπων (ενδεχομένως και υπό πίεση).

## 12.2 Τύποι (ξυλότυποι, μεταλλότυποι): Οφέλη και ειδικές απαιτήσεις σε ό,τι αφορά τους τύπους, λόγω της χρήσης ΑΣΣ

### 12.2.1 Οφέλη

· **Η καταπόνηση μειώνεται**

Η αυξημένη ρευστότητα του ΑΣΣ αφαιρεί την ανάγκη για δονητική συμπύκνωση του ΑΣΣ πλήρως, είτε σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό. Ως εκ τούτου, η καταπόνηση των τύπων και των κλωβών οπλισμού που προκύπτει κατά τη συμβατική χύτευση λόγω των δονήσεων και κραδασμών της δόνησης σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει.

· **Τελειωμένη επιφάνεια**

Το ΑΣΣ παρέχει υπό συνθήκες εξαιρετικής ποιότητας τελειωμένες επιφάνειες, γεγονός που αποτελεί και ένα ακόμη βασικό λόγο επιλογής του ΑΣΣ σε αρχιτεκτονικές χρήσεις.

### 12.2.2 Ειδικές απαιτήσεις

· **Εσωτερική επιφάνεια των τύπων και στερεότητα κατασκευής**

Η δυνατότητα να παραχθούν εξαιρετικής ποιότητας τελειωμένες επιφάνειες, προϋποθέτει τύπους με εσωτερικές διεπιφάνειες και στερεότητα που να δημιουργούν το επιφανειακό τελείωμα που απαιτείται από τη μελέτη. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που μέχρι σήμερα το ΑΣΣ έχει μεγαλύτερη εφαρμογή στην εργοστασιακή παραγωγή δομικών στοιχείων.

· **Στεγανότητα**

Σε αντίθεση με το σκυρόδεμα συμβατικής κάθισης, οι τύποι (είτε ξυλότυποι είτε μεταλλότυποι) θα πρέπει να είναι στεγανοί στις συνδέσεις τους όσο και στην επαφή με το δάπεδο στήριξης ώστε να μην υπάρξει διαφυγή πολτού, ειδικά σε συνθέσεις χαμηλού ιξώδους.

· **Επίδραση του τύπου στη σύνθεση**

Λόγω του ότι το ΑΣΣ έχει αυξημένη ρευστότητα, έχει παρατηρηθεί πειραματικά ότι η συμπεριφορά του ΑΣΣ εμφανίζει ευαισθησία στις γεωμετρικές διαστάσεις των τύπων: λόγω της σημειακής χύτευσης όπου αυξάνεται τοπικά το ύψος σκυροδέτησης, το ΑΣΣ που χυτεύεται σε στενούς τύπους έχει αυξημένη ρευστότητα από ότι το ΑΣΣ σε πλέον ογκώδη ή πεπλατυσμένα στοιχεία. Αντίθετα, το ΑΣΣ που θα χυτευθεί σε τύπους μεγάλου μήκους πρέπει να έχει εξάπλωση κώνου μεγαλύτερη των 610 mm. Παρομοίως, σε τύπους που δεν έχουν τη δυνατότητα να στεγανωθούν επιμελώς θα πρέπει να μειωθεί η εξάπλωση του ΑΣΣ.

· **Επιπόνηση: Η πίεση στους τύπους αυξάνεται**

Λόγω της μεγαλύτερης ρευστότητας από το σκυρόδεμα συμβατικής κάθισης, οι πιέσεις στους τύπους στη φάση διάστρωσης είναι μεγαλύτερες οπότε ανάλογος θα πρέπει να είναι και ο σχεδιασμός – κατασκευή τους. Οι πιέσεις στους τύπους αυξάνουν με την ταχύτητα σκυροδέτησης, οπότε ανάλογος θα πρέπει να είναι και ο σχεδιασμός όταν προβλέπεται αυξημένη ταχύτητα πλήρωσης του τύπου.

Ειδικά σε κατακόρυφα στοιχεία (τοιχεία και υποστυλώματα), ενδέχεται να πρέπει να τοποθετηθούν πρόσθετες αντηρίδες στήριξης (κόντρες) (Φωτ. 8).

Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι η ταχύτητα πλήρωσης των τύπων (εφόσον αυτή είναι εφικτή από το ρυθμό παράδοσης και έχει προσυμφωνηθεί με τον παραγωγό)

είναι πλέον αυξημένη στις εφαρμογές του ΑΣΣ, λόγω της μεγαλύτερης ευχέρειας διάστρωσης του υλικού και των μειωμένων καθυστερήσεων.

***Φωτ. 8.*** *Στήριξη κατακόρυφων τύπων σε σκυροδέτηση ΑΣΣ (πηγή: Skarendahl and Billberg 2006)*

- **Πίεση στους τύπους**

  Η πίεση στους τύπους προκύπτει κατά την αρχική πλαστική φάση του ΑΣΣ, άρα αυξάνεται κατά κανόνα όσο η σύνθεση έχει αυξημένη ρευστότητα (αυξημένη περιεκτικότητα σε ρευστοποιητή ή μειωτές ιξώδους, ή αυξημένο λόγο w/cm). Μόλις το μίγμα αρχίσει να πήζει, οπότε και μεταφέρεται το φορτίο στο σκυρόδεμα, η πίεση απομειώνεται σταδιακά, έως την πλήρη αποφόρτιση. Ως εκ τούτου, μίγματα με ταχύτερη πήξη απομειώνουν το φορτίο πιο γρήγορα.

  Γενικά, η αύξηση της περιεκτικότητας και διαστάσεων των αδρανών συνεπάγεται μείωση της αρχικής πίεσης, λόγω της παραλαβής μέρους του φορτίου από αυτά, πλην όταν είναι αυξημένο το ποσοστό των λεπτόκοκκων, λόγω του ότι αναιρείται η δυνατότητα των χονδρόκοκκων να παραλάβουν μέρος του φορτίου μέσω της εσωτερικής τριβής.

- **Προσομοιώματα φόρτισης τύπων**

  Στις παραμέτρους που επηρεάζουν την πίεση στους τύπους περιλαμβάνονται η πίεση του νερού, η ταχύτητα χύτευσης, ο χρόνος πήξης, η δόνηση, η συνεκτικότητα, η υδατοπερατότητα και η επιφανειακή υφή των τύπων, η διαστάσεις των τύπων, τα χονδρόκοκκα αδρανή, η θερμοκρασία και το ειδικό βάρος του σκυροδέματος. Η βασική παράμετρος που επηρεάζει τη μέγιστη πίεση και το ρυθμό απομείωσής της είναι η θιξοτροπία του ΑΣΣ.

## 13. Ποια η διαδικασία διάστρωσής του;

Για τη διασφάλιση της επιθυμητής απόδοσης απαιτείται, όπως σε οποιαδήποτε διαδικασία διάστρωσης σκυροδέματος για μια δεδομένη εφαρμογή, μία επιτόπου δοκιμή πεδίου ή εξομοίωση της διάστρωσης. Ως γενικές οδηγίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Η διάστρωση του ΑΣΣ θα πρέπει να είναι συνεχής και σε στρώσεις ικανού πάχους, ώστε να μη διαστρώνεται νωπό σκυρόδεμα άνωθεν ήδη σκληρυμένου σκυροδέματος και να περιορίζεται η πιθανότητα δημιουργίας αρμών ή ασθενών σημείων. Εφόσον η συνεχής διάστρωση δεν είναι εφικτή, πρέπει να προδιαγράφονται αρμοί διακοπής. Σημειώνεται, πάντως, ότι λόγω των θιξοτροπικών του χαρακτηριστικών, η διάστρωση ΑΣΣ άνωθεν κατώτερης στρώσης επιτρέπεται, εάν η δεύτερη δεν έχει φτάσει την αρχική πήξη. Στην περίπτωση αυτή προβλέπεται η χρήση δονητή μάζας για μικρή διάρκεια (2-3 δευτερόλεπτα), ώστε να αποφευχθούν τυχόν ασυνέχειες.

- Κατά τη διάστρωση του ΑΣΣ θα πρέπει να αποφεύγεται η υπερχείλιση των τύπων.

- Η διάστρωση του ΑΣΣ θα πρέπει να γίνεται με κατεύθυνση ίδια με την επιθυμητή ροή, ώστε να μεγιστοποιείται η δυνατή απόσταση από το σημείο έγχυσης.

- Η διάστρωση ΑΣΣ μέσω ελεύθερης πτώσης σε τοιχία, υποστυλώματα ή άλλου τύπου μέλη μεγάλου βάθους πρέπει να αποφεύγεται, ώστε να περιορίζεται ο εγκλωβισμός αέρα στο εσωτερικό του σκυροδέματος. Ειδικά μεταξύ διαδοχικών στρώσεων, η τοποθέτηση της νέας στρώσης μπορεί να εγκλωβίσει τοπικά φυσαλίδες αέρα. Πάντως, σε εξειδικευμένες εφαρμογές και κατόπιν κατάλληλων δοκιμών, η ελεύθερη πτώση ΑΣΣ μπορεί να εφαρμοστεί.

- Κατά την διάστρωση ΑΣΣ αποκλείεται η εφαρμογή δόνησης, καθώς θα οδηγήσει σε περισσότερα προβλήματα από εκείνα που θα λύσει. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή δόνησης μπορεί να προκαλέσει εξίδρωση ή σημαντική απόμιξη. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται και σε πηγές δονήσεων κοντά στα σκυροδετούμενα μέλη.

Ειδικότερα, ανά τύπο σκυροδετούμενου μέλους, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

### 13.1 Μέλη διπλού Τ

Μία μέθοδο παρασκευής αποτελεί η διάστρωση, αρχικά, του κορμού κάθε μέλους Τ και, εν συνεχεία, του πέλματος. Κατά την έννοια του μήκους, η διάστρωση μπορεί να ξεκινά από το μέσο του τύπου, επιτρέποντας στο ΑΣΣ να ρέει προς τα άκρα. Μία μέση εξάπλωση μεταξύ 585 και 650 mm είναι, κατά κανόνα, επαρκής για μέλη διπλού Τ. Το τελείωμα μπορεί να εφαρμοστεί μέσω δονητικής πήχης σε στάδιο πολύ αρχικής πήξης. Άλλη μέθοδο παρασκευής αποτελεί η διαδοχική συνεχής διάστρωση κάθε μέλους Τ ξεχωριστά. Στην περίπτωση αυτή, δεν απαιτείται μηχανική πήχης.

### 13.2 Δοκοί

Πολλές διαφορετικές διατομές δοκών μπορούν να παρασκευαστούν με χρήση ΑΣΣ. Πάντως, η παρασκευή σχετικώς βαθέων δοκών, με ύψη έως 2.4 m (υψίκορμες δοκοί), ή πυκνά οπλισμένων δοκών μπορεί να παρουσιάσει κάποια προβλήματα. Για την πρώτη περίπτωση εφαρμόζονται τα προδιαγραφόμενα από την παράγραφο 13.4, που αφορά τοιχία. Το σημείο έγχυσης του ΑΣΣ θα πρέπει να βρίσκεται στο ένα άκρο της δοκού και να παραμένει εκεί έως την πλήρωση της δοκού. Για πυκνά οπλισμένες δοκούς, μία μέση εξάπλωση μεταξύ 610 και 710 mm είναι, κατά κανόνα, αποτελεσματική.

### 13.3 Πλάκες

Η διάστρωση πλακών με ΑΣΣ είναι διαφορετική από την περίπτωση του συμβατικού σκυροδέματος (βλ. και Τ.Ο.4 Δάπεδα από Σκυρόδεμα – Πλάκες επί Εδάφους), λόγω την ικανότητας αυτο-επιπέδωσης του πρώτου. Η διάστρωση πρέπει να ξεκινά από ένα σημείο έγχυσης και το μίγμα να αφήνεται να ρέει όσο το δυνατό μακρύτερα, πριν τη μετακίνηση του σημείου έγχυσης. Η μέγιστη επιτρεπόμενη οριζόντια απόσταση από το σημείο έγχυσης εξαρτάται από τη σταθερότητα του σκυροδέματος και τυπικά περιορίζεται σε περίπου 10 m. Μεγαλύτερες αποστάσεις επιτρέπουν στο μίγμα να πληροί τον τύπο και να αυτο-επιπεδώνεται, περιορίζοντας έτσι την ανάγκη εφαρμογής τεχνικών τελειώματος.

### 13.4 Τοιχεία

Τα μέλη της κατηγορίας αυτής έχουν πολύ λεπτό πάχος, μικρότερο από 100 mm. Στο συμβατικό σκυρόδεμα, η δόνηση σε τοιχία μεταφέρει τον εγκλωβισμένο αέρα προς την επιφάνεια των τύπων, παρά προς την κορυφή των τύπων. Στο ΑΣΣ, πρέπει να αποφεύγεται η ελεύθερη πτώση του νωπού μίγματος και να χρησιμοποιούνται κατάλληλες μέθοδοι ή διατάξεις, ώστε να περιορίζεται ο εγκλωβισμός του αέρα. Γενικώς, είναι πολύ σημαντικό να

εξασφαλίζεται πλευρική ροή, καθώς η οριζόντια μετακίνηση του ΑΣΣ μπορεί να πληρώσει το μέλος χωρίς να εγκλωβίζεται αέρας. Συνήθη μέθοδο διάστρωσης αποτελεί η μέθοδος ”tremie-pipe”, κατά την οποία το σκυρόδεμα εγχύεται στο κέντρο ενός πυρήνα νωπού σκυροδέματος, ο οποίος συνεχώς διογκώνεται. Άλλη μέθοδος διάστρωσης είναι η πλήρωση των τύπων μέσω διοχέτευσης του σκυροδέματος από τον πόδα του τύπου, κατά την οποία ο αέρας ωθείται προς την κορυφή. Συνήθη μέθοδο διάστρωσης αποτελεί και η διοχέτευση του σκυροδέματος, μέσω κατάλληλων εξωτερικών (προσωρινών ή μη) διατάξεων. Η ταυτόχρονη χρήση πολλαπλών σημείων έγχυσης αποτελεί μία ακόμη μέθοδο διάστρωσης. Μία μέση εξάπλωση μεταξύ 660 και 700 mm είναι, κατά κανόνα, επαρκής για περιπτώσεις τοιχίων. Σημαντική παράμετρο στη διάστρωση τοιχίων αποτελεί η αυξημένη πιθανότητα απόμιξης. Από τον αμερικάνικο κανονισμό ACI 237R (2007) προτείνεται η χρήση μιγμάτων ΑΣΣ με μέσους λόγους άμμου προς συνολικά αδρανή (s/a), μέσους λόγους νερού προς τσιμεντοειδή υλικά (w/cm), βελτιστοποιημένη περιεκτικότητα τσιμεντοειδών υλικών και χρήση τροποποιητικών ιξώδους. Πάντως, τονίζεται ότι τα παραπάνω χαρακτηριστικά της σύνθεσης δεν είναι δεσμευτικά, μιας και σταθερά μίγματα ΑΣΣ, χωρίς τάση για απόμιξη, μπορούν να παρασκευαστούν με διαφορετικούς συνδυασμούς πρώτων υλών.

### 13.5 Υποστυλώματα

Τα συνήθη υποστυλώματα (κατακόρυφα μέλη) αντιμετωπίζονται, όπως και τα τοιχία (Παρ. 13.4). Σε ορισμένες περιπτώσεις προκατασκευής όμως, είναι πιθανό τα υποστυλώματα να σκυροδετούνται οριζόντια. Στην περίπτωση αυτή, τα υποστυλώματα (οριζόντια μέλη) αντιμετωπίζονται, όπως και οι δοκοί (Παρ. 13.2). Σημειώνεται, πάντως, ότι, μέσω κατάλληλης ρύθμισης των αναλογιών του μίγματος, θα πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή σε θέματα εξίδρωσης, καθώς η πιθανή εξίδρωση θα επηρεάσει την ποιότητα της παρειάς του υποστυλώματος.

## 14. Ποιος ο τρόπος συντήρησης του ΑΣΣ;

- Ως συντήρηση νοείται η διαδικασία, καθώς και τα απαιτούμενα μέτρα, ώστε το σκυρόδεμα να ωριμάσει και να αναπτύξει τις προκαθορισμένες ιδιότητες, μέσα από την διαδικασία της ενυδάτωση και την ολοκλήρωση των ποζολανικών αντιδράσεων. Ως χρόνος έναρξης της συντήρησης πρέπει να θεωρείται η έναρξη της διάστρωσης, συμπεριλαμβάνοντας τους χρόνους συμπύκνωσης και τελειώματος της ελεύθερης επιφάνειας.

- Ειδικά για το ΑΣΣ και δη τις ελεύθερες επιφάνειες, η κρισιμότητα της συντήρησης είναι ακόμα μεγαλύτερη σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Χωρίς τη λήψη κατάλληλων μέτρων συντήρησης, η μειωμένη εξίδρωση στην ελεύθερη επιφάνεια του ΑΣΣ μπορεί να οδηγήσει σε εντονότερη ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συρρίκνωσης. Επιπλέον, μεγαλύτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις κλιματολογικές συνθήκες που μπορεί να ευνοήσουν την ταχεία εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του σκυροδέματος, όπως οι υψηλές θερμοκρασίες και οι υψηλές ταχύτητες ανέμων. Εύλογα, λοιπόν, σε όλα τα σχετικά κανονιστικά κείμενα (ACI 237R, ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-01-01-06-00, European Guidelines for Self-Compacting Concrete) συστήνεται η διαδικασία της συντήρησης να ξεκινάει όσο το δυνατόν πιο άμεσα, επισημαίνοντας την κρισιμότητά της για την ποιότητα του ΑΣΣ.

- Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία (RILEM Report 35), υψηλότερη περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα οδηγεί σε υψηλότερη τάση πλαστικής συρρίκνωσης, με το φαινόμενο αυτό να εντείνεται και να περιπλέκεται ακόμη περισσότερο λόγω της καθυστερημένης πήξης του σκυροδέματος, η οποία οφείλεται στη χρήση υψηλών ποσοστών χημικών

προσθέτων στο μίγμα (admixture effect). Θα πρέπει, επίσης, να αναφερθεί ότι, λόγω της εν γένει μικρότερης διαπερατότητας του ΑΣΣ, ο ρυθμός ξήρανσης και, συνεπώς, ο ρυθμός μακροπρόθεσμης συρρίκνωσης του ΑΣΣ είναι χαμηλότεροι.

- Σύμφωνα με το ACI 237R, οι ίδιες προδιαγραφές κι απαιτήσεις για τη συντήρηση που ορίζονται στο ACI 308R εφαρμόζονται και στο ΑΣΣ. Κατ' αντιστοιχία, προφανώς, εφαρμόζονται τα οριζόμενα και από άλλα κανονιστικά κείμενα όπως το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 13670 και τον Κανονισμό Σκυροδέματος ΚΤΣ-97. Οι τρόποι συντήρησης καθορίζονται βάσει παραγόντων, όπως το νερό εξίδρωσης και η δυνατότητα να ελεγχθεί η εξάτμισή του, η επάρκεια προσωπικού, οι προγραμματιζόμενες διαδοχικές εργασίες ή τελειώματα στα υπό σκυροδέτηση στοιχεία.

- Οι τρόποι συντήρησης ΑΣΣ μπορούν να συνοψισθούν στις μεθοδολογίες για την εξασφάλιση κατάλληλου επιπέδου υγρασίας και θερμοκρασίας, όπως ορίζονται στον ΚΤΣ-97:

  - Μεθόδους που απαγορεύουν ή επιβραδύνουν την εξάτμιση νερού από την ελεύθερη επιφάνεια του μείγματος: χημικές μεμβράνες συντήρησης, επικάλυψη με βρεγμένες λινάτσες που παραμένουν υγρές σε 24ωρη βάση, άμμος, άχυρα, αδιάβροχα φύλλα κλπ.

  - Μεθόδους που αντικαθιστούν το νερό που εξατμίζεται, τροφοδοτώντας ενεργά την επιφάνεια με νερό μέσω ελεγχόμενου κορεσμού, όπως διαβροχή, πλημμύρισμα κλπ. (Εδώ μπορούν να συμπεριληφθούν και οι διαρκώς βρεγμένες λινάτσες)

- Η ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συρρίκνωσης εξαιτίας ταχείας απώλειας νερού μπορεί να αντιμετωπισθεί με την προσθήκη διογκωτικών μέσων.

- Τεχνικές επιταχυνόμενης συντήρησης αποσκοπούν στη διατήρηση της θερμότητας εντός της μάζας του σκυροδετούμενου στοιχείου οδηγώντας στην ταχεία απώλεια υγρασίας με παράλληλη ταχεία ανάπτυξη πρώιμων αντοχών. Η εφαρμογή τους εντοπίζεται κυρίως στη βιομηχανία προκατασκευασμένων στοιχείων, όπου η ταχύτητα κατασκευής και μεταφοράς των μελών πρέπει να συνοδεύεται από ικανή αντοχή τους.

- Η επιταχυνόμενη συντήρηση επιτυγχάνεται μέσω τεχνικών μόνωσης της μάζας του σκυροδετούμενου στοιχείου, ώστε να επιταχυνθεί η συντήρηση είτε μέσω διατήρησης της θερμότητας που προκύπτει από τις χημικές αντιδράσεις της διαδικασίας ενυδάτωσης είτε μέσω παροχής θερμότητας από εξωτερική πηγή όπως ατμός. Προκύπτει έτσι μείωση του συνολικού απαιτούμενου χρόνου για την ανάπτυξη αντοχών που επιτρέπουν την κατάλληλη διαχείριση των προκατασκευασμένων μελών.

- Αναλυτικές προδιαγραφές για τις προδιαγραφές επιταχυνόμενης συντήρησης μέσω διοχέτευσης ατμού δίνονται στο στην Παράγραφο 4.2.1.4 του προτύπου EN 13369.

## 15. Ποιες οι απαιτήσεις για την τελική επιφάνεια εμφανούς σκυροδέματος με ΑΣΣ;

- Η ρευστότητα του ΑΣΣ και η εξάλειψη της δόνησης έχουν ως αποτέλεσμα βελτιωμένη αισθητική. Η επιλογή των αντικολλητικών των ξυλοτύπων είναι πολύ σημαντική για την επίτευξη του επιθυμητού λείου αποτελέσματος.

- Τα χαρακτηριστικά του ξυλοτύπου για ΑΣΣ έχουν επίδραση στη στοχευόμενη ρευστότητα και σταθερότητα απόδοσης του μίγματος ΑΣΣ (Daczko and Constantiner 2001). Ο ξυλότυπος θα πρέπει να είναι υδατοστεγανός (να μην έχει διαρροές) και να μην διαρρέει το κονίαμα (grout-tight) όταν διαστρώνεται το ΑΣΣ, ειδικά όταν το μείγμα έχει σχετικά χαμηλό ιξώδες. Η ανάγκη για σχεδιασμό του ξυλοτύπου με υδατοστεγανότητα είναι μεγαλύτερη από τον συμβατικό ξυλότυπο ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία κυψελίδων και τα επιφανειακά ελαττώματα.

- Ο συντονισμός της παραγωγής είναι απαραίτητος για μεγάλες διαστρώσεις για την εξασφάλιση επαρκούς και έγκαιρης παροχής ΑΣΣ. Σε μια εφαρμογή, η οποία θα απαιτεί μια μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος (πολλαπλές παρτίδες), κάθε παρτίδα θα πρέπει να είναι διαθέσιμη μέσα σε ένα μικρό χρονικό πλαίσιο λόγω της δυνατότητας του ΑΣΣ να εκφορτώνεται γρήγορα γύρω από μια μεγάλη περιοχή. Όταν μια μεγάλη περιοχή ΑΣΣ είναι εκτεθειμένη σε ακραίες καιρικές συνθήκες, θα πρέπει να γίνονται ενέργειες για την προστασία της ενάντια π.χ. στην πρόωρη εξάτμιση υγρασίας πράγμα το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συστολής. Μια ανεπαρκής ή ασυνεχής παροχή ΑΣΣ, όταν διαστρώνεται σε πιο ξηρές και ζεστές περιβαλλοντικές συνθήκες, μπορεί να προκαλέσουν λεπτές γραμμές. Οι λεπτές γραμμές εμφανίζονται ως σκούρες, λεπτές γραμμές οι οποίες διακρίνονται μεταξύ των στρώσεων διάστρωσης του σκυροδέματος. Αυτές οι λεπτές γραμμές μπορεί να είναι μόνο εμφανισιακές ή να δηλώνουν και ψυχρούς αρμούς.

- Η τεχνική τελειώματος και ο τύπος του τελειώματος που εφαρμόζεται επηρεάζει τη συνολική εικόνα της τελική επιφάνειας του σκυροδέματος (finished concrete). Σε αντίθεση, ένα αρχιτεκτονικό πανέλο ή μια επιφάνεια υποστυλώματος σχηματίζεται και κυρίως ελέγχεται από τις ιδιότητες ροής του σκυροδέματος. Για το ΑΣΣ, μια βελτιωμένη εικόνα επιφάνειας γενικά λαμβάνεται με κατάλληλες τιμές ροής κάθισης (slump flow) με ελεγχόμενες ρεολογικές ιδιότητες και ελάχιστα ή καθόλου χαρακτηριστικά εξίδρωσης.

- Το ΑΣΣ θα αποδώσει μια μεγαλύτερη επιφάνεια σκυροδέματος έτοιμη για διαμόρφωση τελικής επιφάνειας σε ένα συγκεκριμένο σημείο στον χρόνο όταν συγκρίνεται με το συμβατικό σκυρόδεμα, λόγω ταχύτερων χρόνων διάστρωσης. Μια δοκιμή όμως πεδίου πριν από την έναρξη ενός έργου, συστήνεται για να καθοριστεί η διάστρωση, τα χαρακτηριστικά του χρόνου πήξης και οι τεχνικές τελειώματος για το ανάμιγμα.

- Όπως και με οποιαδήποτε διάστρωση σκυροδέματος για μια ορισμένη εφαρμογή, μια δοκιμή πεδίου ή ένα προσχέδιο θα πρέπει να εκτελείται για να εξασφαλιστεί ότι επιτυγχάνεται η επιθυμητή απόδοση. Γενικά μιλώντας, είναι σημαντικό να μην υπάρχει υπερχείλιση του ξυλοτύπου. Όταν επιπεδώνονται, αναμίγματα ΑΣΣ με χαμηλό ιξώδες έχουν την τάση να κυλούν κάτω από τον ευθύγραμμο πήχη επιπέδωσης (screed). Αυτό απαιτεί πολλαπλά περάσματα από το προσωπικό για την επιπέδωση του ΑΣΣ στην άκρη του καλουπιού.

- Για τη διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας πλάκας φτιαγμένης με ΑΣΣ, θα πρέπει να ακολουθούνται οι διαδικασίες της Τ.Ο. 4 του ΣΠΜΕ. Επειδή το ΑΣΣ δεν απαιτεί δόνηση για τη συμπύκνωση, τα βήματα για τη συμπύκνωση του σκυροδέματος πρέπει να παραλειφθούν.

- Πολλά αναμίγματα ΑΣΣ είναι αυτο-επιπεδούμενα και η προσπάθεια που απαιτείται για να έρθουν αυτά τα μίγματα σε συνθήκες τελικής επιπέδωσης είναι ελάχιστη. Εάν κάποια επιπέδωση είναι απαραίτητη, αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας έναν ευθύγραμμο πήχη επιπέδωσης (screed). Εάν είναι επιθυμητό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας δονούμενος πήχης επιπέδωσης (vibrating screed) σε χαμηλή ρύθμιση για την επιπέδωση του ΑΣΣ. Η διαδικασία επιπέδωσης του ΑΣΣ θα τείνει να εμπεριέχει τα

χονδρόκοκκα αδρανή στην επιφάνεια, ελαχιστοποιώντας ή εξαλείφοντας την ανάγκη για σπατουλάρισμα (bullfloat).

- Οι πλάκες ΑΣΣ μπορούν πραγματικά να δεχτούν οποιονδήποτε τύπο τελικού τελειώματος, συμπεριλαμβανομένου, αλλά που δεν περιορίζεται σ' αυτά, σπάτουλα (magnesium float swirl), μεταλλική σκούπα (broom) ή μεταλλικό μυστρί (steel trowel) (Bury and Buhler 2002). Εκτελώντας ένα επιτόπου δοκιμαστικό στην πλάκα και έναν δοκιμαστικό χρόνο πήξης στο μίγμα του ΑΣΣ, που έχει αναπτυχθεί για το δεδομένο έργο, πριν από τη διάστρωση, θα παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για την επαλήθευση του σωστού χρόνου για εφαρμογή του τελικού τελειώματος της επιφάνειας.

## 16. Ποιες οι απαιτήσεις για σκυροδέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων με ΑΣΣ;

- Το ΑΣΣ παρέχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα για τη βιομηχανία προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος ή για οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή όπου βρίσκει εφαρμογή η προκατασκευή, όπως η γεφυροποιία.

- Κάθε προκατασκευασμένο στοιχείο από ΑΣΣ οφείλει να εναρμονίζεται είτε με τις προδιαγραφές του αντίστοιχου προτύπου για το είδος του μέλους, το οποίο με τη σειρά του αναφέρεται στο EN 13369: "Common rules for precast concrete products", είτε απευθείας με το εν λόγω πρότυπο (EN 13369) το οποίο αναφέρεται στα σχετικά χωρία του EC2 (EN 1992-1) και του EN 206-1. Επίσης, σε περίπτωση χρήσης ΑΣΣ για προκατασκευασμένες προεντεταμένες δοκούς γεφυροποιίας οφείλουν να τηρούνται οι απαιτήσεις και οι προδιαγραφές που τίθενται από τους ισχύοντες κανονισμούς, όπως της AASHTO.

- Για την προκατασκευή στοιχείων Ω/Σ ο πρωτεύων στόχος είναι η επίτευξη της χαρακτηριστικής αντοχής εντός 28 ημερών. Ωστόσο, για τον παραγωγό αποτελεί επίσης βασικό ζητούμενο η επίτευξη ικανών πρώιμων αντοχών, ώστε να μπορέσει το συνεργείο να χειριστεί ακολούθως το μέλος σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις, π.χ. αποσυναρμολογώντας τους τύπους, προεντείνοντας το δοκίμιο ή και μετακινώντας το σε χώρους αποθήκευσης. Η μελέτη σύνθεσης οφείλει να λάβει υπόψη τις συγκεκριμένες εξειδικευμένες συνθήκες -ξεκαλουπώματος, διάστρωσης, τελειώματος- του στοιχείου ώστε να επιτευχθούν οι προδιαγραφές τόσο για το τελικό σκληρυμένο προϊόν – μέλος, όσο και για την πρώιμη, ρευστή φάση του ΑΣΣ εστιάζοντας σε ιδιότητες, όπως η ρευστότητα, ιξώδες, σταθερότητας (fluidity, viscosity and stability).

- Μια ακόμα προσέγγιση προς την ανάπτυξη επαρκώς υψηλής πρώιμης αντοχής είναι η επιταχυνόμενη συντήρηση με διοχέτευση ατμού μέσω του κατάλληλου εξοπλισμού, σε συνδυασμό ή όχι με την κατάλληλη μελέτη σύνθεσης.

- Κατά την παραγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων ακολουθούνται οι ίδιες διατάξεις όπως και για τα επί τόπου σκυροδετούμενα. Επιπλέον, ο παραγωγός οφείλει να ελέγχει οπτικά την ομοιογένεια (homogeneity) και τη σταθερότητα (consistence) του σκυροδέματος κατά την έγχυσή του στον τύπο, ενώ για ένα ποσοστό των σκυροδετούμενων προκατασκευαζόμενων στοιχείων πρέπει να εξετάζεται και η δοκιμή εξάπλωσης. Σε κάθε περίπτωση μπορούν και προτείνεται να διεξάγονται περαιτέρω έλεγχοι και δοκιμές. Σε κάποιες χώρες το παράρτημα D των προδιαγραφών κατά EN 13369 που αφορά τον έλεγχο παραγωγής έχει κανονιστική ισχύ και περιλαμβάνει:

  - Επιθεώρηση εξοπλισμού

- Έλεγχο πρώτων υλών
- Έλεγχο διαδικασίας παραγωγής
- Έλεγχο τελικού προϊόντος
- Μεταβολή συχνότητας ελέγχων (switching rules)

· Επισημαίνεται η ιδιαίτερη ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό, κατάλληλα εκπαιδευμένο στις τεχνικές και μεθοδολογίες σκυροδέτησης ΑΣΣ, γεγονός το οποίο βέβαια ισχύει πέραν της προκατασκευής και για το επιτόπου σκυροδετούμενο ΑΣΣ.

· Εάν υπάρξει ανάγκη, μπορεί να γίνει κατάλληλη επεξεργασία της επιφάνειας του μέλους προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή στιλπνότητα/ομαλότητα/λείανση. Η χρήση δόνησης πρέπει να γίνεται με πολλή προσοχή ώστε να μην προκύψει διαχωρισμός (segregation) του μίγματος. Η διαδικασία τελειώματος είναι παρόμοια με αυτή του συμβατικού δονούμενου σκυροδέματος, με τη διαφορά πως γενικά ξεκινάει σε μεταγενέστερο χρόνο, ανάλογα με τη σύνθεση, τις ιδιότητες και τη θερμοκρασία τόσο του σκυροδέματος, όσο και του περιβάλλοντος χώρου. Η συντήρηση των ελεύθερων επιφανειών γίνεται κατά τον ίδιο τρόπο με τα επί τόπου σκυροδετούμενα στοιχεία ΑΣΣ (βλ. Κεφ. 14).

## 17. Υπάρχουν ειδικά ΑΣΣ;

### 17.1 ΑυτοΣυμπυκνούμενο ΕλαφροΣκυρόδεμα

· Το ΑυτοΣυμπυκνούμενο ΕλαφροΣκυρόδεμα (ΑΣΕΣ) είναι ένα υλικό που ανήκει στην κατηγορία των σκυροδεμάτων υψηλής επιτελεστικότητας και το οποίο συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του δομικού ΕλαφροΣκυροδέματος[1] (ΕΣ), όπως μειωμένα ίδια βάρη, ανάπτυξη χαμηλών πιέσεων στους τύπους κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης, υψηλή μονωτική ικανότητα (θερμομόνωση, ηχομόνωση), βελτιωμένη ανθεκτικότητα στο χρόνο και αντίσταση σε πυρκαγιά και χημική προσβολή, με τα χαρακτηριστικά αυτοσυμπύκνωσης, τα οποία μεταφράζονται στην ικανότητα του υλικού να πληρώνει τους τύπους στους οποίους εγχέεται, να διελεύσει μέσα από στενά ανοίγματα και να αντισταθεί στο διαχωρισμό των συστατικών του υλικών.

· Οι έως σήμερα καταγεγραμμένες εφαρμογές ΑΣΕΣ περιλαμβάνουν προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία [φατνώματα (Umehara et al., 1999), κερκίδες σταδίων (Hubertova, 2007), τοιχία (Ranjbar et al., 2011), τοιχία σκυροδετημένα εντός μονίμων θερμομονωτικών τύπων ICFs (Shi and Yang, 2005)], πλάκες σκυροδέματος ενισχυμένες με πλέγμα ινών άνθρακα εμποτισμένο με πολυμερή (Yao and Gerwick, 2006)]. Στην Ελλάδα, συστηματική μελέτη της μηχανικής και τεχνολογίας Αυτοσυμπυκνούμενου Κισσηροδέματος έχει πραγματοποιηθεί στο Πανεπιστήμιο Πατρών (βάσει αυτής, δύναται να παραχθεί ΑΣΕΣ με αμιγή σκελετό αδρανών κίσσηρης κατηγορίας αντοχής LC20/22 και πυκνότητας D1.4 κατά EN 206).

[1] Το ελαφροσκυρόδεμα ΕΣ ορίζεται ως το σκυρόδεμα με πυκνότητα κλιβάνου μικρότερη από 2000 kg/m$^3$. Τα ΕΣ χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: σε αυτά με ελαφρά αδρανή (ΣΕΑ), που περιέχουν αδρανή μεγάλου πορώδους, στο κυψελωτό ΕΣ, που γίνεται προσθήκη αερακτικών προσμίκτων και δεν περιέχει, κατά κανόνα, χονδρόκοκκα αδρανή και στα σκυροδέματα χωρίς λεπτόκοκκα αδρανή (ΣΧΛ), που παρασκευάζονται από συνηθισμένα αλλά χονδρόκοκκα αδρανή και εμφανίζουν σημαντικό πορώδες.

### 17.2 Ινοπλισμένο ΑυτοΣυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα

- Ο βασικός ρόλος των ινών στο σκυρόδεμα είναι η αύξηση της παραμόρφωσης αστοχίας του υλικού (που σχετίζεται με εφελκυστικές τάσεις) και ο περιορισμός της ρηγμάτωσης (π.χ. λόγω συστολής ξήρανσης), ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις επιτυγχάνεται και (μικρή συνήθως) αύξηση αντοχής. Αποτέλεσμα είναι κυρίως η αύξηση της δυσθραυστότητας του υλικού, δηλ. της ικανότητάς του να απορροφήσει ενέργεια κατά την παραμόρφωση.

- Το ΑΣΣ δύναται να περιέχει ίνες διαφόρων τύπων (π.χ. χάλυβα, υάλου, πολυπροπυλενίου, κ.ά.) και λόγων διαστάσεων L/D (aspect ratio: ο λόγος μήκους προς διάμετρο ινών), ενώ επίσης συναντώνται εφαρμογές ινοπλισμένου ΑΣΕΣ (Hela and Hubertova, 2007).

## 18. Πηγές


18.1 ACI 237. Self-Consolidating Concrete. American Concrete Institute. 2007.

18.2 The European Guidelines for Self- Compacting Concrete. Self Compacting Concrete European Project Group. EFNARC. 2005.

18.3 ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-01-01-06-00 (ΦΕΚ221.Β.2012), Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή για το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα. 2009.

18.4 ACI 308R – 01 “Guide to curing concrete”, American Concrete Institute

18.5 EN 13369-2004 “Common rules for precast concrete products”

18.6 NCHRP REPORT 628 “Self-Consolidating Concrete for Precast, Prestressed Concrete Bridge Elements”, TRB – Transportation Research Board of the National Academies

18.7 ΚΤΣ ‘97

18.8 ASTM Standard C1611/ 1611M Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete. 2009.

18.9 ASTM Standard C1610/ 1610M. Standard Test Method for Static Segregation of Self-Consolidating Concrete Using Column Technique. 2010.

18.10 ASTM Standard C1621/ 1621M. Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring. 2009.

18.11 ASTM Standard C1712. Standard Test Method for Rapid Assessment of Static Segregation Resistance of Self Consolidating Concrete Using Penetration Test. 2009.

18.12 D’Ambrosia M.D., Lange D.A., Self-Consolidating Concrete: The Good, the Bad and the Ugly. Structure Magazine. January 2007. pp.48-50.

18.13 Daczko, J. A., and Kurtz, M. A., 2001, Development of High-Volume Coarse Aggregate Self-Compacting Concrete, Proceedings of the Second International Symposium on SCC, Oct. 23-25, Tokyo, Japan.

18.14 De Schutter G., Guidelines for testing fresh Self-Compacting Concrete, European Research Project: Measurement of Properties of Fresh Self-Compacting Concrete

(TESTING-SCC), 2005.

18.15 EN 12350-10. Testing fresh concrete - Part 10: Self-compacting concrete - L box test. 2010.

18.16 EN 12350-11. Testing fresh concrete - Part 11: Self-compacting concrete - Sieve segregation test. 2011.

18.17 EN 12350-12. Testing fresh concrete - Part 12: Self-compacting concrete - J-ring test. 2010.

18.18 EN 12350-8. Testing fresh concrete - Part 8: Self-compacting concrete - Slump-flow test. 2010.

18.19 EN 12350-9. Testing fresh concrete - Part 9: Self-compacting concrete - V-funnel test. 2010.

18.20 EN 206-1. Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity. 2000.

18.21 European Council Directive 86/188/EEC: Protection of workers from the risks related to exposure to noise at work. May, 12th 1986.

18.22 European Research Project: Measurement of Properties of Fresh Self-Compacting Concrete (TESTING-SCC) , 2005. Final Report. ACM Centre, University of Paisley, 2005, UK.

18.23 Interim Guidelines for the Use of Self-Consolidating Concrete in Precast/Prestressed Concrete Institute Member Plants (TR-6-03), Precast/Prestressed Concrete Institute. 2003, USA

18.24 RILEM Report 23 - Self-Compacting Concrete - State-of-the-Art Report

18.25 RILEM Report 35 - Casting of Self Compacting Concrete

18.26 RILEM Report 38 - Durability of Self-Compacting Concrete

18.27 Russell H.G., ASTM Test Method for Static Segregation Resistance of SelfConsolidating Concrete Inc. HPC Brige Views Issue 60, Mar/Apr 2010.

18.28 The Designers' Guide to the use of Expamet Hy-Rib Expamet Building Products Ltd., PO Box 52, Longhill Industrial Estate (North), HARTLEPOOL, Cleveland TS25 1PR, England Tel: +44 (0) 1429 866 655 Fax: +44 (0) 1429 866 633 email: enquiries@hy-rib.com www.hy-rib.com. Third Edition December 2004. Hy-Rib is a registered trademark ® © Copyright Expamet Building Products December 2004

18.29 Title Discussion of possible reasons - surface defects of SCC. Author Gram, Hans-Erik. Source Betonwerk + fertigteil-technik. August 2004, 16 (8): 28-33.

18.30 Markus Peterson, 2008

http://www.sbuf.se/projectdocuments/info/11304/SBUF%2011304%20&%2011413%20Doktorsavhandling%20HIGH-PERFORMANCE%20AND%20SELF-COMPACTING%20CONCRETE%20IN%20HOUSE%20BUILDING.pdf

18.31 Title Discussion of possible reasons - surface defects of SCC. Author Gram, Hans-Erik. Source Betonwerk + fertigteil-technik. August 2004, 16 (8): 28-33.

18.32 Brameshuber, W. and Uebachs, S., 2002, “Investigation of the Formwork Pressure Using Self-Compacting Concrete,” Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium, Self-Compacting Concrete, pp. 281-287

18.33 FHWA-HIF-11-015 Innovator, Federal Highway Administration, US Dept. of Transportation, No 22, Δεκ. 2010. FHWA-HIF-11-015. http://www.fhwa.dot.gov/hfl/innovator/pdfs/issue22.pdf

18.34 Okamura H. and Ouchi M., 2003. Self Compacting Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology, 1

18.35 Skarendahl Å. and P. Billberg. 2006. Casting of Self Compacting Concrete. Rep. 35, RILEM TC 188-CSC.

18.36 ΣΠΜΕ. Τεχνική Οδηγία 2. Σκυροδέτηση με υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σεπτέμβριος 2011.

18.37 ΣΠΜΕ. Τεχνική Οδηγία 4. Δάπεδα από σκυρόδεμα (πλάκες επί εδάφους). Ιούνιος 2013.

18.38 Bury and Buhler Bury, M. A., and Bühler, E., 2002, “Methods and Techniques for Placing Self-Consolidating Concrete—An Overview of Field Experiences in North American Applications,” Proceedings of the First North American Conference on the Design and Use of SCC, ACBM, Chicago, Ill., Nov. 12-13

18.39 Daczko, J. A., and Constantiner, D., 2001, “Rheodynamic Concrete,” IBRACON Conference, Instituto de Brasileiro do Concrete.

18.40 EN 1992-1-1. 2004. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General. rules and rules for buildings

18.41 EN 13670. 2009. Execution of concrete structures

18.42 EN 206-9. 2010. Additional Rules for Self-Compacting Concrete (SCC).

18.43 Khayat, K. H., and Daczko, J., 2002, “The Holistic Approach to Self-Consolidating Concrete,” Proceedings of the First North American Conference on the Design and Use of SCC, Chicago, Ill., Nov., pp. 3-8.

18.44 Sfikas I., Kanellopoulos A., Trezos K., Petrou M. 2013. Durability of similar Self-Compacting Concrete batches produced in two different EU Laboratories. Construction & Building Materials, Vol.40, pp.207-216. DOI: 0.1016/j.conbuildmat.2012.09.100

18.45 Sfikas I., Trezos K. 2013. Effect of composition variations on bond properties of Self-Compacting Concrete specimens. Construction & Building Materials, Vol.41, pp.252-262. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.094.

18.46 Trezos KG., Sfikas IP, Pasios CG. 2014 (in press). Influence of water-to-binder ratio on top-bar effect and bond variation across length in Self-Compacting Concrete specimens. Cement & Concrete Composites

18.47 Michael Kaffetzakis and Catherine Papanicolaou (2012), “Chapter 8: Mix Proportioning Method for Lightweight Aggregate SCC (LWASCC) Based on the Optimum Packing Point Concept”, In: Innovative Materials and Techniques in Concrete Construction, ACES Workshop, Michael N. Fardis (Ed.), Springer Netherlands, pp 131-151.

18.48 Papanicolaou, C.G. and Kaffetzakis, M.I. (2011), "Lightweight Aggregate Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art & Pumice Application", Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 9, No. 1, 15-29.

18.49 Umehara H., Hamada D., Yamamuro H. and Oka S. (1999), Development and usage of self-compacting concrete in precast field. In: The 1st RILEM International Symposium on Self-compacting Concrete. RILEM, Paris, France, 705-717.

18.50 Hubertova M. (2007), "Lightweight self-compacting concrete precast elements used in SK Slavia Prague stadium", BFT Betonwerk + Fertigteil-Technik, Concrete Plant + Precast Technology.

18.51 Shi, C. and Yang, X., (2005). "Design and application of self-consolidating lightweight concretes". In: Z. Yu, C. Shi, K. H. Khayat and Y. Xie Eds. 1st International Symposium on Design Performance and Use of Self-Compacting Concrete – SCC'2005, Changsha 26-28 May 2005. RILEM PUBLICATIONS S.A.R.L., 55-64.

18.52 Yao, S. X. and Gerwick, B. C., (2006). "Development of Self-Compacting Lightweight Concrete for RFP Reinforced Floating Concrete Structures [online]." Available from:

http://www.gerwick.com/topmenu/aboutgerwick/technicalpapers/Documents/Development%20of%20Self-Compacting%20Lightweight%20Concrete.pdf [Accessed 06 February 2014].

18.53 Ranjbar M.M., Hosseinali Beygi M., Nikbin I.M., Rezvani M. and Barari A. (2011), "Evaluation of the Strength Variation of Normal and Lightweight Self-Compacting Concrete in Full Scale Walls", Materials Technology, vol 45, no. 6, pp. 571-577.

18.54 Hela, R., Hubertova, M. (2007), "Research of effect of fibre reinforcement at characteristics of lightweight self-compacting concrete". In: De Schutter, G., Boel, V. (eds.) Proceedings of the SCC2007, 5th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Gent (2007).

18.55 Grünewald, S., & Walraven, J. C. (2001). Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete. Cement and Concrete Research, 31(12), 1793-1798.

**Ενδεικτική Πρόσθετη Ελληνική Βιβλιογραφία**

- Παπανικολάου Κ., Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα: Μία Καινοφανής Τεχνολογία, Περιοδικό Σκυρόδεμα, Τεύχ. 2, 2006.
- Παπανικολάου Κ., Το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα στην Ελληνική πραγματικότητα, νέες εξελίξεις, τάσεις και προοπτικές, Παρουσίαση στο πλαίσιο Ημερίδας του Ελληνικού Τμήματος Σκυροδέματος για το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, 7 Μαΐου 2008, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Παπανικολάου Κ.Γ., Τριανταφύλλου Αθ.Χ. 2003. Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα: Ανασκόπηση, Ιδιότητες και Προοπτικές στην Ελλάδα. 14ο Συνέδριο Σκυροδέματος (Κως)
- Παπανικολάου Κ.Γ., Φρυγανάκης Δ.Γ., Τριανταφύλλου Αθ.Χ. 2006. Εργαστηριακός έλεγχος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος χαμηλού κόστους. 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος (Αλεξανδρούπολη)
- Βογιατζής Χ., Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, Εφαρμογές – λύσεις & προβλήματα, Παρουσίαση στο πλαίσιο Ημερίδας του Ελληνικού Τμήματος Σκυροδέματος για το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, 7 Μαΐου 2008, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Σφήκας Ι. Ιδιότητες Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος. 2007. Μεταπτυχιακή Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Επιβλ. Καθ. Κ. Τρέζος. Βραβείο Θωμαϊδειου Ιδρύματος.

- Τρέζος Κ., Σφήκας Ι. Διερεύνηση Ιδιοτήτων Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος. 2008. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών & Στοιχείων του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας. Αθήνα.
- Τρέζος Κ., Σφήκας Ι., Παύλου Δ. Μελέτη Ιδιοτήτων Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος. 2009. 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Πάφος, Κύπρος
- Γεωργίου Κ., ΑΣΣ και ελληνική πραγματικότητα. Λύσεις με ΑΣΣ στην Ελλάδα από ΙΝΤΕΡΜΠΕΤΟΝ Δ.Υ., Παρουσίαση στο πλαίσιο Ημερίδας του Ελληνικού Τμήματος Σκυροδέματος για το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, 7 Μαΐου 2008, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Τελωνιάτη Δ., Η διεθνής εμπειρία από τη χρήση Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος δείχνει το δρόμο και στην Ελλάδα, Παρουσίαση στο πλαίσιο Ημερίδας του Ελληνικού Τμήματος Σκυροδέματος για το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, 7 Μαΐου 2008, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Γεωργιάδης Α., Σίδερης Κ.Κ., Αναγνωστόπουλος Ν. 2006. Μία βελτιωμένη μέθοδος σχεδιασμού και ποιοτικού ελέγχου μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (ΑΣΣ). 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος (Αλεξανδρούπολη)
- Κοροπούλης Ι. 2003. Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα - SCC (Self Compacting Concrete). 14ο Συνέδριο Σκυροδέματος (Κως)
- Λάππα Ε.Σ., Van der Veen C., Walraven J.C. 2003. Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής οπλισμένο με χαλύβδινες ίνες. 14ο Συνέδριο Σκυροδέματος (Κως)
- Σίδερης Κ. Κ., Κυριτσάς Σ. και Χανιωτάκης Ε. Μηχανικά χαρακτηριστικά και ανθεκτικότητα αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων παρασκευασθέντων με ελληνικά υλικά'', Πρακτικά 14 Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως, Ελλάδα, 2003,
- Σίδερης Κ. Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα: μύθοι και αλήθειες για ένα καινοτόμο τύπο σκυροδέματος. Αναφορά στην Ελληνική πραγματικότητα. Παρουσίαση στο πλαίσιο Ημερίδας του Ελληνικού Τμήματος Σκυροδέματος για το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα, 7 Μαΐου 2008, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Σίδερης Κ.Κ., Κυριτσάς Σ., Χανιωτάκης Ε. 2003. Μηχανικά χαρακτηριστικά και ανθεκτικότητα αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων παρασκευασθέντων με ελληνικά υλικά. 14ο Συνέδριο Σκυροδέματος (Κως)Παπανικολάου Κ., Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα: Μία Καινοφανής Τεχνολογία, Περιοδικό Σκυρόδεμα, Τεύχ. 2, 2006.

**ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ**
**(ΣΠΜΕ)**

**ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

# Παράρτημα
# Τεχνικής Οδηγίας 5: Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα

Έκδοση 1η

**ΑΘΗΝΑ –2014**

**Πίνακας Περιεχομένων**

1. Τι είναι το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ);

2. Ποια τα πλεονεκτήματά του;

3. Ποια τα σημεία προσοχής και ποιες οι προϋποθέσεις επιτυχούς παραγωγής και χρήσης ΑΣΣ;

4. Πού και πώς χρησιμοποιήθηκε;

5. Ποια τα ειδικά χαρακτηριστικά του νωπού ΑΣΣ;

6. Πώς ελέγχονται και πώς μετρούνται αυτά τα ειδικά χαρακτηριστικά;

7. Ποιες είναι οι κύριες ιδιότητες του σκληρυμένου ΑΣΣ;

8. Ποιες είναι οι ειδικές απαιτήσεις της μελέτης σύνθεσης του ΑΣΣ;

9. Απαιτείται ειδική διαδικασία παραγωγής;

10. Απαιτούνται ειδικοί χειρισμοί στη μεταφορά και εκφόρτωσή του (π.χ. στην άντληση);

11. Υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για την αποδοχή του στο εργοτάξιο;

12. Υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για τους τύπους (ξυλότυποι, μεταλλότυποι) και τον οπλισμό του έργου που σκυροδετείται με ΑΣΣ;

13. Ποια η διαδικασία διάστρωσής του;

14. Ποιος ο τρόπος συντήρησης του ΑΣΣ;

15. Ποιες οι απαιτήσεις για την τελική επιφάνεια εμφανούς σκυροδέματος με ΑΣΣ;

16. Ποιες οι απαιτήσεις για σκυροδέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων με ΑΣΣ;

17. Υπάρχουν ειδικά ΑΣΣ;

## 1. Τι είναι το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ);

- Το ΑΣΣ είναι περισσότερο μία καινοφανής τεχνολογία, παρά ένα νέο υλικό, το οποίο επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία και στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τα τεχνικά έργα. Οι αλλαγές αυτές είναι στην ουσία αλλαγές νοοτροπίας, δηλαδή αλλαγές με πολιτισμικές προεκτάσεις. Για την περίπτωση του ΑΣΣ, οι τελευταίες αφορούν όχι μόνο τον τεχνικό κόσμο, αλλά το σύνολο του κοινωνικού ιστού, καθώς η «οικοδομή» (εάν αναφερόμαστε στην επί τόπου δόμηση) δεν είναι πλέον ένας χώρος ο οποίος προκαλεί έντονη όχληση (περιβαλλοντική ρύπανση και ηχορύπανση ή κυκλοφοριακά προβλήματα, λόγω πολύωρου αποκλεισμού οδών πρόσβασης) αλλά χώρος κατασκευής πολιτιστικών στοιχείων (κτίρια κατοικιών, γραφείων, μουσεία, κ.λπ. και για παράδειγμα: όλα κατασκευασμένα από αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα με ΑΣΣ).

*Τι δεν είναι το ΑΣΣ – πλάνες & παρανοήσεις*

- Ο ενθουσιασμός που συνοδεύει την εισαγωγή νέων πρακτικών σε κάθε τομέα της ζωής, πολλώ δε μάλλον στον κατασκευαστικό, οδηγεί συχνά σε παρανοήσεις για τους περιορισμούς και τις δυνατότητες των πρακτικών αυτών, παρανοήσεις που γίνονται εξαιτίας κυρίως της έλλειψης ενημέρωσης σχετικά με τις ικανές και αναγκαίες συνθήκες που πρέπει να υπάρχουν έτσι ώστε οι νέες μέθοδοι να αποδώσουν καρπούς. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η δημιουργία ανεδαφικών επιδιώξεων από πλευράς του τεχνικού κόσμου και η απογοήτευσή του όταν το αποτέλεσμα δεν δικαιώνει τον «μύθο». **Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, λοιπόν:**

  - **Δεν είναι πανάκεια.** Η επιλογή ΑΣΣ σε ένα έργο πρέπει να προκύπτει από την ανάγκη ικανοποίησης συγκεκριμένων απαιτήσεων (π.χ. σκυροδέτηση πυκνά οπλισμένων στοιχείων ή/και περίπλοκης γεωμετρίας, δυσχερής προσβασιμότητα, περιορισμός επιφανειακών ατελειών, κ.ά.), οι οποίες θα συνοδεύονται από αντίστοιχες (σαφώς στοχοθετημένες και κατά το δυνατόν ποσοτικοποιημένες) επιτελεστικότητες (π.χ. ικανότητα ροής μέσω στενών ανοιγμάτων, υψηλά ρεοδυναμικά χαρακτηριστικά, αντίσταση στην απόμιξη, κ.ά.). Παράλληλα, η χρήση ΑΣΣ θα πρέπει να συμβάλλει στη μεγιστοποίηση του λόγου ποιότητας προς κόστος, όπου ως «ποιότητα» ορίζεται ο βαθμός επίτευξης του συνόλου των επιτελεστικοτήτων του έργου. Η χρήση ΑΣΣ σε περιπτώσεις που δεν συντρέχουν συγκεκριμένοι λόγοι που να τη δικαιολογούν, κρίνεται ως μία μάλλον αντιοικονομική επιλογή (εάν κατά την οικονομική αποτίμηση του έργου ληφθεί υπ'όψιν κατά κύριο λόγο το κόστος κατασκευής).
  - **Δεν είναι μόδα.** Αν και ο μιμητισμός στο πεδίο των τεχνικών έργων δεν είναι κάτι το σύνηθες (εάν εξαιρεθούν ίσως κάποιοι αρχιτεκτονικοί νεωτερισμοί), μπορεί να λειτουργήσει ως προτρεπτικός παράγοντας για την άκριτη χρήση ΑΣΣ, καθώς το τελευταίο έχει εκληφθεί από μερίδα μηχανικών και κατασκευαστών ως η σφραγίδα ενός de facto ποιοτικού, σύγχρονου έργου.
  - **Δεν είναι ένα «μαγικό» υλικό.** Τα σκυροδέματα τα οποία εμπίπτουν στην κατηγορία του ΑΣΣ δεν περιέχουν «εξωτικά» συστατικά υλικά, αλλά μοιράζονται συνήθως τα ίδια με το κοινό σκυρόδεμα, πλην κάποιων χημικών προσμίκτων τελευταίας γενιάς. Η αντίληψη που θέλει το ΑΣΣ να είναι ένα «παντοδύναμο» υλικό ενέχει κινδύνους, καθώς από μόνο του το ΑΣΣ όχι μόνο δε δύναται να εγγυηθεί ένα υψηλό επίπεδο ποιότητας, αλλά απουσία μίας πληθώρας απαραίτητων και αλληλοσυνδεόμενων διεργασιών και προϋποθέσεων (π.χ. στάδια ποιοτικού ελέγχου, εκπαίδευση, μέθοδοι διαχείρισης του υλικού κατά τη νωπή φάση και κατά την ωρίμανση, κ.ά.) δύναται να δημιουργήσει μεγαλύτερα προβλήματα από εκείνα που καλείται να αντιμετωπίσει. Ας αναφέρουμε ορισμένα παραδείγματα:

- Η αυξημένη ρευστότητα του ΑΣΣ δύναται να προκαλέσει αντίθετα με τα επιθυμητά αποτελέσματα όταν οι χρησιμοποιούμενοι τύποι παρουσιάζουν κακοτεχνίες (π.χ. διαρροές από συναρμογές ξυλοτύπων), ή όταν δεν έχουν διαστασιολογηθεί κατάλληλα ώστε να δύνανται να φέρουν με ασφάλεια τις εσωτερικές πλευρικές πιέσεις λόγω υψηλού ρυθμού σκυροδέτησης (σε κατακόρυφα στοιχεία). Κάτι τέτοιο δε συνεπάγεται ότι το ΑΣΣ μειονεκτεί ως προς την ευχέρεια σκυροδέτησης, αλλά ότι οι συναφείς με τη σκυροδέτηση εργασίες πρέπει να πληρούν υψηλά κριτήρια ποιότητας.

(α) (β)

***Φωτ. 1.*** *(α) Μικρής έκτασης διαρροή ΑΣΣ από φραγμό σκυροδέτησης (γαλβανισμένο πλέγμα) (Hy-Rib®, 2004), (β) Ρωγμοειδές περίγραμμα του αποστατήρα από σκυρόδεμα σε επιφάνεια στοιχείου από ΑΣΣ (Gram, 2004).*

- Επίσης, το ΑΣΣ «κληρονομεί», σε κάποιον βαθμό, τις γνωστές από το συμβατικό σκυρόδεμα ευαισθησίες όσον αφορά την εξάρτηση της ποιότητας των (εν επαφή με τους τύπους) επιφανειών από πλείστους παράγοντες, όπως (μεταξύ άλλων) το υλικό των τύπων (π.χ. μερικώς, ή καθόλου απορροφητικοί), τα αποκολλητικά προϊόντα σκυροδέματος (για το ξεκαλούπωμα), ή ο ρυθμός σκυροδέτησης (που σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε εγλωβισμένο αέρα). Η εμπειρία έχει δείξει ότι η επιλογή των καταλληλότερων εργαλείων και μεθόδων για μία συγκεκριμένη σύνθεση ΑΣΣ είναι δυνατή μόνο έπειτα από δοκιμές πεδίου.

- Ειδικά το ζήτημα της ποιότητας επιφανειών από ΑΣΣ έχει αποτελέσει ένα από τα «ισχυρά χαρτιά» των διαφόρων ενεργειών προώθησης του ΑΣΣ στην αγορά. Το επιχείρημα που χρησιμοποιείται είναι ότι, λόγω της πολύ μικρής εξίδρωσης του ΑΣΣ, οι προκύπτουσες (ελεύθερες) επιφάνειες δεν παρουσιάζουν αποχρωματισμούς ή αποτυπώματα φυσαλίδων. Αυτό είναι αληθές για ΑΣΣ με σχετικά μικρούς λόγους νερού προς τσιμεντοειδή υλικά, προσεκτική διαβάθμιση των λεπτόκοκκων αδρανών και υψηλές περιεκτικότητες σε υλικά λεπτού καταμερισμού. Ωστόσο, για ΑΣΣ με χαμηλή περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά και υψηλούς λόγους νερού προς τσιμεντοειδή υλικά (της τάξης του 0,6)[1] το φαινόμενο της εξίδρωσης μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονο με τάσεις επιδείνωσης σε χαμηλές θερμοκρασίες σκυροδέτησης.

- Επίσης, ορισμένα έλαια αποκόλλησης σκυροδέματος (φυτικής κυρίως προέλευσης) έχουν επιβραδυντική δράση για την ενυδάτωση του τσιμέντου πλησίον του τύπου και, επομένως, το εξιδρούμενο νερό δύναται να κινηθεί καθ'ύψος του καλουπιού (από τον πυθμένα του στοιχείου προς τα επάνω) και να προκαλέσει αποχρωματισμούς (τα κοινώς

[1] Το ΑΣΣ με μικρή περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά και συνήθους κατηγορίας αντοχής (π.χ. C20/25) αποτελεί πάγια απαίτηση των παραγωγών ετοίμου σκυροδέματος, οι οποίοι επιθυμούν την εισαγωγή του ΑΣΣ στην καθημερινή τους παραγωγή, αρκεί αυτή να συνοδεύεται από σχετικά μικρές παρεμβάσεις στις συνήθεις μεθόδους που ακολουθούν.

λεγόμενα «νερά»). Σε επίπεδα στοιχεία, το λιμνάζον νερό της εξίδρωσης συνεισφέρει μεν στην έγκαιρη (αυτο)συντήρησή τους, αλλά όντας πτωχό σε λεπτά υλικά, δημιουργεί ένα επιδερμικό στρώμα, το οποίο εύκολα αποφλοιώνεται σε μεταγενέστερα στάδια της συντήρησης. Ακόμη και αυτά τα προβλήματα όμως δύνανται να αντιμετωπιστούν, αρκεί να διεξαχθεί σχετική έρευνα και να προβούν οι ενδιαφερόμενοι στις ανάλογες δοκιμές. **Το σημαντικό είναι να εγκαταλείψει ο τεχνικός κόσμος την αποφθεγματική αναφορά στο ΑΣΣ και την εξιδανικευμένη εικόνα που έχει γι'αυτό** και να υιοθετήσει μία ολιστική θεώρηση αυτού που αποκαλούμε εν γένει «τεχνολογία σκυροδέματος», μία θεώρηση που δεν θα εστιάζεται μόνο στα συστατικά υλικά και στη μελέτη σύνθεσης αλλά θα συνυπολογίζει τη συνεργιστική δράση όλων των εμπλεκόμενων τεχνολογικών παραγόντων στον κύκλο παραγωγής τεχνικών έργων από σκυρόδεμα.

***Φωτ. 2.*** *Φυσαλίδες σε επιφάνεια νωπού ΑΣΣ σε επίπεδο στοιχείο και τα αποτυπώματά τους στην ίδια επιφάνεια μετά το πέρας της πήξης (Peterson, 2008).*

***Φωτ. 3.*** *Ρωγμές λόγω αυτογενούς συστολής και συστολής ξήρανσης σε στοιχείο ΑΣΣ (Lange). Ο κίνδυνος ρηγμάτωσης σε στοιχεία ΑΣΣ λόγω πλημμελούς συντήρησης είναι ιδιαίτερα αυξημένος.*

## 2. Ποια τα πλεονεκτήματά του;

### Αυξημένη παραγωγικότητα

- Μεγαλύτερη ευελιξία στην κατανομή των σημείων έγχυσης, η οποία μπορεί να μειώσει την ανάγκη για συχνές μετακινήσεις των αναμικτήρων και του δικτύου αντλιών (με συνεπακόλουθη μείωση του πλήθους των αντλιών, των χειριστών τους, κ.λπ.). Αυτή η ευελιξία μπορεί να μειώσει τόσο τη διάρκεια της σκυροδέτησης, όσο και τους απαιτούμενους εργατικούς και οικονομικούς πόρους.

- Μεγαλύτερη ευελιξία στον λεπτομερή σχεδιασμό του οπλισμού, καθώς αποφεύγεται η ανάγκη πρόβλεψης θέσεων για την εφαρμογή της συμπύκνωσης (π.χ. ανεπαρκές δέσιμο οπλισμών, μεγαλύτερες αποστάσεις οπλισμών) και, σε ορισμένες περιπτώσεις, επιτρέπεται η χρήση πυκνών οπλισμών μικρής διαμέτρου για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης.

**Μειωμένο εργατικό και εξοπλιστικό κόστος**

- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τύπων (ξυλότυπων, μεταλλότυπων, πλαστικότυπων κ.λπ.) λόγω του μειωμένου βαθμού φθοράς τους ανά σκυροδέτηση, λόγω της απουσίας δόνησης.

- Μικρότερες απαιτήσεις για διαδικασίες εξομάλυνσης – επιπέδωσης τελικών επιφανειών, καθώς η ικανότητα αυτό-επιπέδωσης διασφαλίζει επίπεδες και ομαλές επιφάνειες. Παράλληλα, μειώνονται οι ανάγκες (και συνεπώς το κόστος) για την προμήθεια και την τοποθέτηση υλικών που χρησιμοποιούνται για την επιπέδωση και την προετοιμασία υποστρωμάτων για την εφαρμογή των τελικών επιστρώσεων (γεμίσματα).

**Αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας**

- Ελαχιστοποίηση της φυσικής καταπόνησης από τη χρήση δονητών (π.χ. εξάλειψη αγγειακών δυσλειτουργιών, όπως το σύνδρομο των «λευκών δακτύλων») και πιθανότητας εργατικών ατυχημάτων.

- Μείωση συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων πλησίον των θέσεων σκυροδέτησης.

- Μείωση πλήθους εργατικών ατυχημάτων, λόγω του ασφαλέστερου εργασιακού περιβάλλοντος. Η εξάλειψη εντατικών και κοπιαστικών εργασιών, αλλά και η απουσία καλωδίων ηλεκτροδότησης βοηθητικών μέσων συμπύκνωσης, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τους κινδύνους πτώσης.

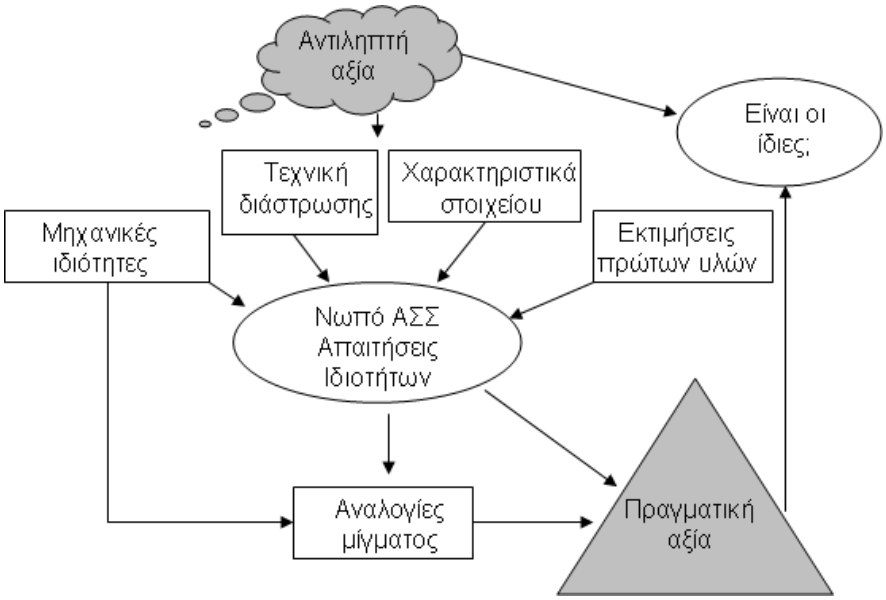
**Αειφορία και βιώσιμη ανάπτυξη**

- Μια συνοπτική παρουσίαση των πλεονεκτημάτων του ΑΣΣ δίνεται στο Σχ. 1.

***Σχήμα 1.*** *Πλεονεκτήματα ΑΣΣ*

## 3. Ποια τα σημεία προσοχής και ποιες οι προϋποθέσεις επιτυχούς παραγωγής και χρήσης ΑΣΣ;

- Το επόμενο σχήμα δείχνει τις πολλές μεταβλητές που επηρεάζουν τις επιθυμητές ιδιότητες του νωπού ΑΣΣ.



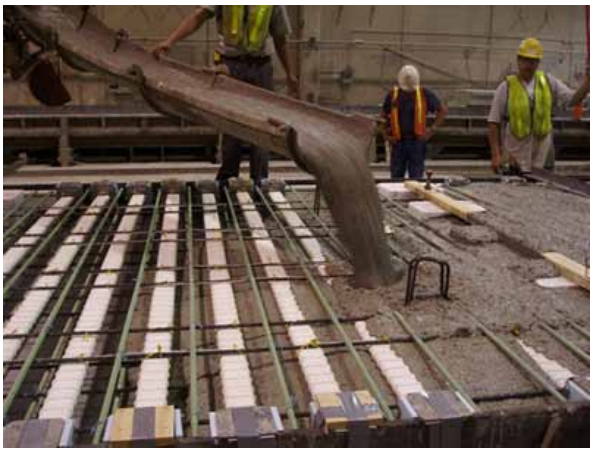

***Σχήμα 2.*** *Μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται με τον προσδιορισμό των απαιτούμενων ιδιοτήτων του νωπού ΑΣΣ* (*Khayat and Daczko 2002*).

- Πέραν των μεταβλητών του έργου και των πρώτων υλών, θα πρέπει να συνυπολογίζονται και οι οικονομικές μεταβλητές.

## 4. Πού και πώς χρησιμοποιήθηκε;

### 4.1 Ιστορική αναδρομή και πεδία εφαρμογής του ΑΣΣ

- Αξίζει να σημειωθεί, ότι μέχρι σήμερα, το ΑΣΣ έχει μεγαλύτερο όγκο εφαρμογής στην προκατασκευαστική βιομηχανία (Φωτ. 4, 5), όπου έχει προχωρήσει η εφαρμογή του, παρά στο έτοιμο σκυρόδεμα, όπου η εφαρμογή του παραμένει ακόμη σχετικά περιορισμένη.



***Φωτ. 4.*** *Εφαρμογή ΑΣΣ σε προκατασκευασμένες πλάκες για χρήση στη γεφυροποιία (FHWA – HIF – 11-015).*

***Φωτ. 5.*** *Επιφανειακά χαρακτηριστικά προκατασκευασμένης δοκού από ΑΣΣ που σκυροδετήθηκε υπό πίεση από κάτω (EFNARC 2005).*

- Λόγω της υψηλής ρευστότητάς του, η εφαρμογή του ΑΣΣ επεκτάθηκε από τη συμβατική δόμηση στις κατασκευές σηράγγων και στις ενισχύσεις υφισταμένων έργων από σκυρόδεμα, όπου οι ιδιότητές του το καθιστούν ανταγωνιστικό έναντι του σκυροδέματος συμβατικής κάθισης, λόγω της ικανότητας του ΑΣΣ να διαστρώνει - ή καλύτερα να πληρώνει - κατάλληλα διαμορφωμένους στεγανοποιημένους ξυλοτύπους, αντλούμενο υπό πίεση (π.χ. στην προκατασκευή, στην κατασκευή σηράγγων ή μανδυών και στην ενίσχυση πλακών με αύξηση του πάχους τους κάτωθεν) και λόγω της ικανότητάς του, διοχετευόμενο υπό πίεση, να εισχωρήσει σε όλο τον όγκο του νέου στοιχείου, μέσα και πίσω από πυκνούς οπλισμούς, μετά από κατάλληλη εκτόνωση των θυλάκων αέρα που θα προκύψουν (Φωτ. 5, 6).

***Φωτ. 6.*** *Σκυροδέτηση σύμμικτου δαπέδου με ΑΣΣ αντλούμενο υπό αρνητική πίεση.*

- Λόγω της ικανότητας του ΑΣΣ να ικανοποιεί περίπλοκες μορφοπλαστικές απαιτήσεις σταδιακά επιλέχθηκε και σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές όπου απαιτείται άψογη απόδοση του αναγλύφου εμφανών σκυροδεμάτων.

- Τέλος, στη βιβλιογραφία αναφέρονται και περιπτώσεις επιλογής του ΑΣΣ, έναντι του συμβατικού σκυροδέματος, λόγω των σημαντικών βελτιώσεων που συνεπάγεται η χρήση του στην κατασκευαστική διαδικασία (βλ. και παράγραφο 2), όπως είναι η μείωση του εργατικού κόστους και του χρόνου σκυροδέτησης, η σημαντική μείωση της όχλησης και του θορύβου, καθώς και το μειωμένο ρίσκο λόγω ενδεχόμενων κρίσιμων αστοχιών και καταπόνησης του ξυλοτύπου που σχετίζονται με την εφαρμογή δόνησης στη φάση

συμπύκνωσης (π.χ. η χρήση στο Εθνικό Μουσείο Ινδο-Αμερικάνων στην Ουάσινγκτον των Η.Π.Α. [ACI 237R-2007]).

### 4.2 Πρόσφατες εφαρμογές.

- Ο πύργος Yokohama Landmark Tower, ύψους 296.3 m, ο υψηλότερος στην Ιαπωνία, κατασκευής 1993 (Φωτ. 7).

***Φωτ. 7.*** *Ο πύργος Yokohama Landmark Tower, Ιαπωνία.*

### 4.3 Εφαρμογές στην Ελλάδα

- Κατά τη συγγραφή της παρούσης, η εφαρμογή ΑΣΣ στην Ελλάδα για δομική (φέρουσα) χρήση άρχισε σταδιακά από το 2008 στην κατασκευή μικρών κτιριακών έργων, ενώ, έκτοτε, έχει εφαρμοσθεί σε μία πεζογέφυρα από εμφανές σκυρόδεμα στη Λεωφόρο Κηφισιίας στην Αθήνα (2010), όπου λόγω της σημαντικά μεγάλης πύκνωσης των οπλισμών η συμβατική σκυροδέτηση δεν θα είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα των επιθυμητών αρχιτεκτονικών τελειωμάτων (Φωτ. 8), στην κατασκευή μίας ογκώδους θεμελίωσης σιλό αποθήκευσης υλικών σε τσιμεντοβιομηχανία στον Ασπρόπυργο Αττικής το 2013 (Φωτ. 9).

***Φωτ. 8.*** *Πεζογέφυρα στη Λεωφ. Κηφισιάς από ΑΣΣ (Αρχιτεκτονική Μελέτη: Αλ. Σαμαράς κ Συν., Στατική Μελέτη: Φ. Καρυδάκης).*

***Φωτ. 9.*** *Ταυτόχρονη σκυροδέτηση με δύο αντλίες της θεμελίωσης διαστάσεων 80x20x1,0 $m^3$ πάχος, στον Ασπρόπυργο Αττικής*

## 5. Ποια τα ειδικά χαρακτηριστικά του νωπού ΑΣΣ;

- Η συμπεριφορά των νωπών τσιμεντοειδών αναμιγμάτων προσομοιώνεται με εκείνη των «πλαστικών» (παχύρευστων) υγρών, σύμφωνα με την εξίσωση του Bingham (βλ. και Σχήματα 3 και 4):

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma} \qquad (1)$$

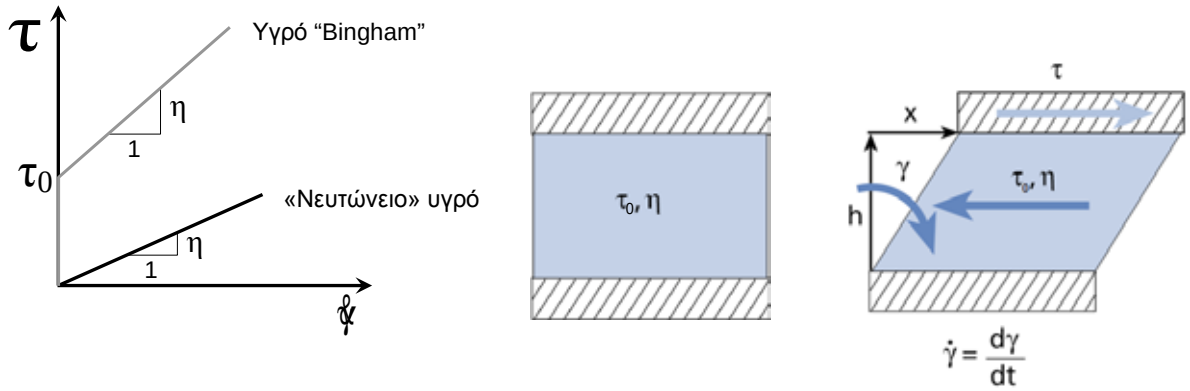
όπου,

$\tau$ : η εσωτερική διατμητική τάση (Pa) που αναπτύσσεται στο υλικό λόγω της ροής,

$\tau_0$ : το όριο έναρξης ροής, δηλαδή η κρίσιμη τιμή της διατμητικής τάσης (Pa) κάτω από την οποία το υλικό δεν ρέει και συμπεριφέρεται ως ένα ιδεατό «στερεό» ελαστοπλαστικό υλικό, με όριο «διαρροής» $\tau_0$ , [όσο μικρότερο το $\tau_0$ , τόσο πλησιέστερα στη συμπεριφορά ενός απλού (Νευτώνειου) υγρού βρίσκεται το ανάμιγμα],

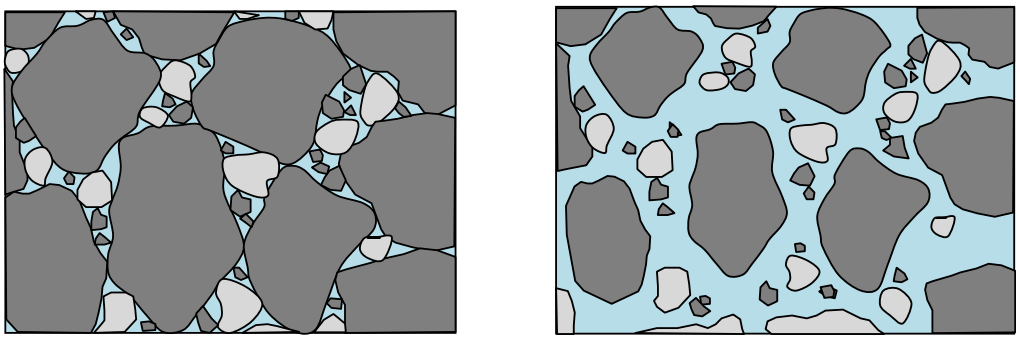
$\dot{\gamma}$ : ο ρυθμός ανάπτυξης διατμητικής (δηλαδή, γωνιακής) παραμόρφωσης ($\dot{\gamma} = d\gamma/dt$), λόγω της ροής και

$\eta$ : το πλαστικό ιξώδες του υλικού (δηλαδή, μέτρο της αντίστασης ενός υλικού στη ροή, λόγω της εσωτερικής του τριβής).




(α) (β) (γ)

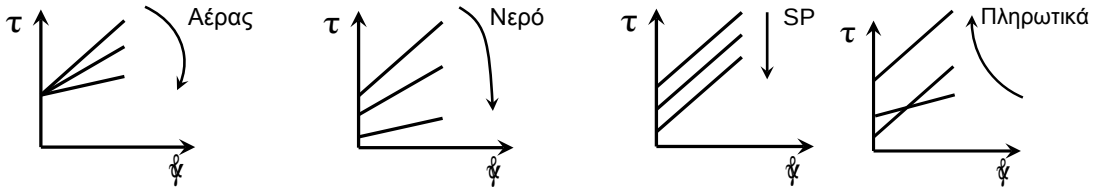
***Σχήμα 3.*** *Προσομοιώματα συμπεριφοράς αιωρημάτων λόγω διατμητικής παραμόρφωσης (κατά τη ροή) με παραμέτρους το όριο έναρξης ροής, $\tau_0$ και το πλαστικό ιξώδες, $\eta$.*



(α) (β)

***Σχήμα 4.*** *(α) Κατά τη ροή, η εσωτερική διατμητική τάση στο κοινό σκυρόδεμα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το ΑΣΣ, λόγω έντονης αλληλεμπλοκής των αδρανών. (β) Στο ΑΣΣ, όλα τα αδρανή διατηρούνται σε αιώρηση εντός του τσιμεντοπολτού.*

- Έτσι, αύξηση του νερού ανάμιξης έχει μεν ως αποτέλεσμα τη μείωση του ορίου έναρξης ροής (αύξηση της κάθισης), αλλά και του πλαστικού ιξώδους του μίγματος, γεγονός το οποίο, όπως προαναφέρθηκε, οδηγεί σε διαχωρισμό των αδρανών από τον τσιμεντοπολτό. Η αντίφαση αυτή ανετράπη καθώς έγινε δυνατό να ελεγχθούν και να ρυθμιστούν ανεξάρτητα οι τιμές του ορίου έναρξης ροής και του πλαστικού ιξώδους του τσιμεντοπολτού με την κατάλληλη χρήση υπερρευστοποιητών (για τη βελτιστοποίηση της διασποράς των κόκκων των συνδετικών κονιών) και τη βελτιστοποίηση της περιεκτικότητας και κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών στο ανάμιγμα (για την αύξηση της συνοχής του μίγματος) (Σχήμα 5).




(α) (β) (γ) (δ)

***Σχήμα 5.*** *Μεταβολή του ορίου έναρξης ροής, $\tau_0$ και του πλαστικού ιξώδους, η με αύξηση της ποσότητας (α) του αέρα, (β) του νερού, (γ) του υπερρευστοποιητή και (δ) των πληρωτικών.*

## 6. Πώς ελέγχονται και πώς μετρούνται αυτά τα ειδικά χαρακτηριστικά;

- Στον παρακάτω Πίνακα 1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι πλέον διαδεδομένες δοκιμές ελέγχου. Σημειώνεται ότι έχουν αναπτυχθεί και άλλες δοκιμές, οι οποίες μπορούν να αναζητηθούν στη βιβλιογραφία, οι οποίες όμως δεν έχουν τύχει ευρείας αποδοχής ή εφαρμογής. Για τον έλεγχο και την κατάταξη μιας παρτίδας σκυροδέματος, οι προκαθορισμένες δοκιμές πραγματοποιούνται τη στιγμή της εφαρμογής για εργαστηριακό σκυρόδεμα ή τη στιγμή της παράδοσης για το έτοιμο σκυρόδεμα.

***Πίνακας 1.*** *Συνοπτική παρουσίαση κυριότερων δοκιμών νωπού ΑΣΣ*

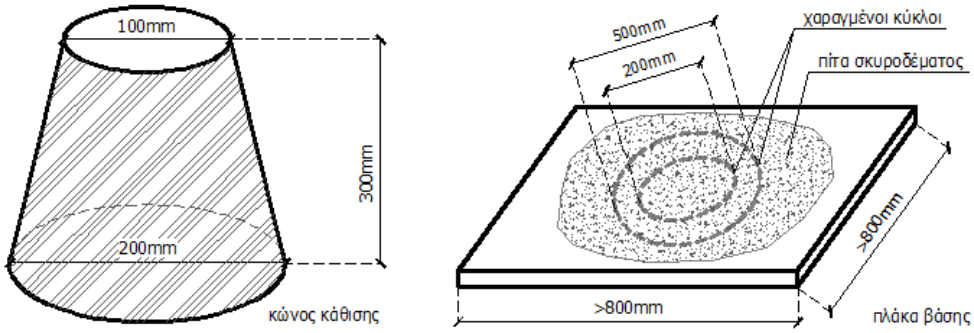
| **Ονομασία** | **Ελεγχόμενη** | | | | **Εφαρμοζόμενα** | | **Μετρούμενα** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Δοκιμής** | **Ιδιότητα** | | | | **Πρότυπα** | | **Μεγέθη** |
| | Ικ.Πλ. | Ικ.Διελ. | Σταθ. | Ιξώδες | αμερικάνικα | ευρωπαϊκά | |
| **Εξάπλωση** | × | | | | ASTM C1611/ 1611M | EN 12350-8 | - Εξάπλωση |
| | | | | × | ASTM C1611/ 1611M | EN 12350-8 | - Χρόνος εξάπλωσης |
| | | | × | | μη διαθέσιμο | μη διαθέσιμο | - Εμπειρικός δείκτης οπτικής σταθερότητας |
| **Χοάνη V** | × | × | | | μη διαθέσιμο | EN 12350-9 | - Χρόνος εκροής |
| | | | × | | μη διαθέσιμο | EN 12350-9 | - Χρόνος εκροής μετά από 5 min |
| **Δοχείο L** | × | × | | | υπό ανάπτυξη | EN 12350-10 | - Λόγος υψών στα άκρα του δοχείου |
| **Δοχείο U** | × | × | | | μη διαθέσιμο | μη διαθέσιμο | - Υψομετρική διαφορά μεταξύ διαμερισμάτων |
| **Σταθερότητα μέσω Κοσκίνισης** | | | × | | ASTM C1610/ 1610M | EN 12350-11 | - Βάρος χονδρόκοκκων αδρανών καθ' ύψος |
| **Δακτύλιος J** | × | × | | | ASTM C1621/ 1621M | EN 12350-12 | - Εξάπλωση<br>- Διαφορά υψών εντός και εκτός δακτυλίου |
| **Έλεγχος διείσδυσης (Στατική απόμιξη)** | | | × | | ASTM C1712 | μη διαθέσιμο | - Βύθιση (βάθος διείσδυσης) κυλίνδρου |

Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των κυριότερων δοκιμών του νωπού ΑΣΣ:

## 6.1 Δοκιμή ανεμπόδιστης εξάπλωσης (Slump flow test)

*Σύνοψη δοκιμής*:

- Πρότυπος κώνος του Abrams πληρώνεται με σκυρόδεμα σε μία φάση, χωρίς να συμπυκνωθεί. Ο κώνος ανασηκώνεται και το σκυρόδεμα αφήνεται να ρεύσει. Η μέση τιμή δύο διαμέτρων της τελικώς εξαπλωμένης «πίτας» σκυροδέματος, μετρούμενων σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις, αναφέρεται ως εξάπλωση του σκυροδέματος.




***Σχήμα 6.*** *Εξοπλισμός δοκιμής ανεμπόδιστης εξάπλωσης (Slump flow test) (πηγή: Σφήκας 2007)*

***Πίνακας 2.*** *Κατηγορίες εξάπλωσης σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-9:2010 Concrete: Additional rules for self-compacting concrete (SCC)*

| Κατηγορία | Εξάπλωση (mm) |
|---|---|
| **SF1** | 550 έως 650 |
| **SF2** | 660 έως 750 |
| **SF3** | 760 έως 850 |

- Όσο υψηλότερες οι τιμές της ανεμπόδιστης εξάπλωσης, τόσο αυξημένη η δυνατότητα κάλυψης μεγαλύτερων αποστάσεων από το σημείο έγχυσης. Από την οπτική παρατήρηση της εξαπλωμένης «πίτας» μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη σταθερότητα του μίγματος, ενώ οι τιμές ανεμπόδιστης εξάπλωσης από διαδοχικές δοκιμές δεν πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από 50 mm.

## 6.2 Χρόνος εξάπλωσης $t_{500}$

*Σύνοψη δοκιμής:*

- Με χρήση κατάλληλου χρονόμετρου, μετράται ο χρόνος (με ακρίβεια ενός δεκάτου του δευτερολέπτου) από τη χρονική στιγμή έναρξης της ανασήκωσης του κώνου κατά τη δοκιμή εξάπλωσης, μέχρι οποιοδήποτε άκρο της εξαπλωνόμενης «πίτας» σκυροδέματος να φτάσει τη διάμετρο των 500 mm.

- Ο χρόνος εξάπλωσης $t_{500}$ αποτελεί μία ένδειξη της ταχύτητας ροής και, ως εκ τούτου, συνδέεται με το ιξώδες του μίγματος. Μεγαλύτεροι χρόνοι $t_{500}$ αποτελούν ένδειξη μιγμάτων με υψηλότερο ιξώδες και αντιστρόφως. Χρόνοι μικρότεροι των 2 δευτερολέπτων χαρακτηρίζουν μίγματα με χαμηλό ιξώδες, ενώ χρόνοι μεγαλύτεροι των 5 δευτερολέπτων γενικώς υποδεικνύουν μίγματα ΑΣΣ υψηλού ιξώδους.

***Πίνακας 3****. Κατηγορίες ιξώδους – $t_{500}$ σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-9:2010 Concrete: Additional rules for self-compacting concrete (SCC)*

| Κατηγορία | Χρόνος εξάπλωσης $t_{500}$ (s) |
|---|---|
| **VS1** | < 2,0 |
| **VS2** | ≥ 2,0 |

### 6.3 Οπτικός δείκτης σταθερότητας (Visual stability index)

*Σύνοψη δοκιμής*:

- Η εξαπλωμένη «πίτα», όπως προκύπτει από τη δοκιμή ανεμπόδιστης εξάπλωσης, αξιολογείται οπτικά από έμπειρο παρατηρητή και αποδίδεται δείκτης 0, 1, 2 ή 3, ο οποίος χαρακτηρίζει τη σταθερότητα του μίγματος, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.

***Πίνακας 4.*** *Οπτικός Δείκτης Σταθερότητας – Ερμηνεία & Κριτήρια Επιλογής (πηγή: ACI 237R-07)*

| **Τιμή ΟΔΣ** | **Ερμηνεία** | **Κριτήρια** |
|---|---|---|
| **0** | Υψηλή σταθερότητα μίγματος | Απουσία ενδείξεων απόμιξης στην εξαπλωμένη πίτα |
| **1** | Σταθερό μίγμα | Απουσία στεφάνης κονιάματος ή σωρού αδρανών στην εξαπλωμένη πίτα |
| **2** | Ασταθές μίγμα | Μικρή στεφάνη κονιάματος (< 10 mm) ή σωρός αδρανών ή συνδυασμός τους στην εξαπλωμένη πίτα |
| **3** | Υψηλή αστάθεια μίγματος | Εμφανής απόμιξη με παρουσία μεγάλης στεφάνης κονιάματος (> 10 mm) ή μεγάλης σωρού αδρανών στο κέντρο της εξαπλωμένης πίτας ή συνδυασμός τους. |

*Φωτ. 10 Παραδείγματα απόδοσης ΟΔΣ σε εξαπλωμένα δείγματα ΑΣΣ (πηγή: Ramage et al., 2004).*

- Τιμή του ΟΔΣ ίση με 0 ή 1 αποτελεί ένδειξη ότι το μίγμα ΑΣΣ είναι σταθερό και κατάλληλο για την στοχευόμενη χρήση. Τιμή του ΟΔΣ ίση με 2 ή 3 αποτελεί ένδειξη δυνητικής απόμιξης και απαιτεί μεταβολή ή προσαρμογή του μίγματος από τον παραγωγό για την διασφάλιση της σταθερότητας. Δεδομένου ότι ο ΟΔΣ προσδιορίζεται οπτικά, μπορεί να είναι υποκειμενικός. Ως εκ τούτου, η αποτίμηση ενός μίγματος μέσω του ΟΔΣ μπορεί να

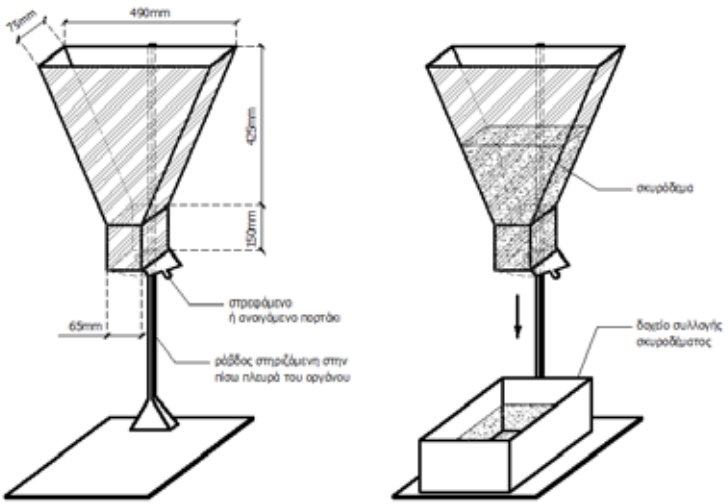
αποτελεί ένα εξαιρετικό εργαλείο για την παραγωγή ΑΣΣ, αλλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί για την αποδοχή ή την απόρριψη ενός δεδομένου μίγματος. Η δοκιμή του ΟΔΣ αφορά κυρίως μίγματα ΑΣΣ που τείνουν να παρουσιάσουν φαινόμενα εξίδρωσης, διαφορετικά δεν βοηθά στην αναγνώριση της απομικτικής τάσης του μίγματος. Συνοψίζοντας, ακόμα κι αν δεν παρατηρηθούν φαινόμενα απόμιξης δε διασφαλίζεται ότι αυτή δε θα συμβεί σε άλλη χρονική στιγμή ή υπό άλλες συνθήκες.

## 6.4 Δοκιμή χοάνης V (V-funnel)

*Σύνοψη δοκιμής*:

- Η δοκιμή πραγματοποιείται με συσκευή τύπου χοάνης, ορθογωνικής διατομής. Το κάτω άκρο της χοάνης καταλήγει σε θύρα εκροής. Η χοάνη πληρώνεται με νωπό σκυρόδεμα και καταγράφεται ο χρόνος εκροής, $t_v$ (s), από τη χρονική στιγμή ανοίγματος της θύρας εκροής έως τη χρονική στιγμή που ο παρατηρητής που στέκεται άνωθεν της χοάνης δει φως στη θέση της θύρας εκροής. Στη συνέχεια, το δοχείο επαναπληρώνεται με το ίδιο υλικό και παραμένει σε ηρεμία για 5 λεπτά. Η δοκιμή επαναλαμβάνεται και μετράται ο νέος χρόνος εκροής $t_v$ 5 min.

- Ειδικά για περιπτώσεις με μεγάλη περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα αδρανή, είναι πιθανό να δημιουργηθούν συνθήκες έμφραξης στο στόμιο της χοάνης. Σημαντική είναι, επίσης, η επίδραση της γωνίας της χοάνης και των διαστάσεων διατομής του στομίου, αν και δεν είναι πλήρως ποσοτικοποιημένη. Η δεύτερη φάση της δοκιμής ($t_v$ 5 min) δίνει μία εκτίμηση για την τάση του μίγματος να απομιγνύεται. Συγκεκριμένα, μεγαλύτεροι χρόνοι εκροής $t_v$ 5 min συνεπάγονται φαινόμενα απόμιξης.




***Σχήμα 7.*** *Εξοπλισμός δοκιμής χοάνης V (V-Funnel) (πηγή: Σφήκας 2007)*

***Πίνακας 5.*** *Κατηγορίες ιξώδους – Χοάνη V σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-9:2010 Concrete: Additional rules for self-compacting concrete (SCC)*

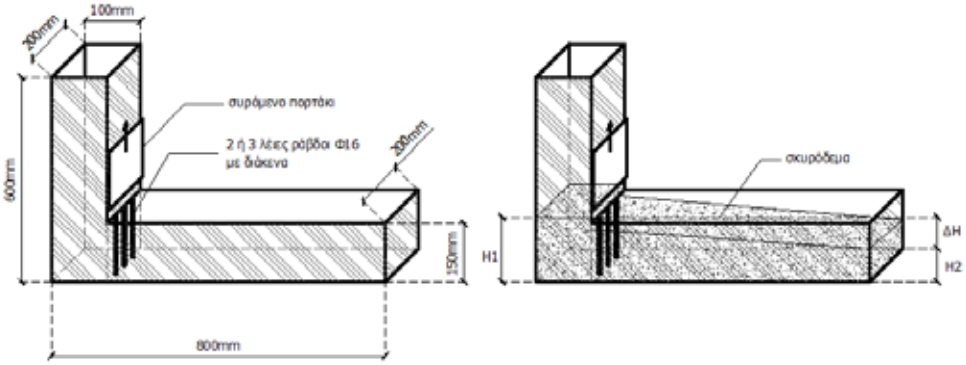
| Κατηγορία | Χρόνος εκροής $t_V$ (s) |
|---|---|
| **VF1** | < 9,0 |
| **VF2** | 9,0 έως 25,0 |

## 6.5 Δοκιμή δοχείου L (L-box)

*Σύνοψη δοκιμής*:

- Η δοκιμή πραγματοποιείται με συσκευή που αποτελείται από δοχείο ορθογωνικής διατομής σχήματος L, με ένα κατακόρυφο και ένα οριζόντιο τμήμα. Τα δύο τμήματα χωρίζονται από κινούμενη θύρα, μπροστά από την οποία είναι τοποθετημένες δύο ή τρεις κατακόρυφες λείες ράβδοι χάλυβα. Το κατακόρυφο τμήμα του δοχείου πληρώνεται με ΑΣΣ και, αμέσως μετά, η θύρα ανασηκώνεται, αφήνοντας το μίγμα να ρεύσει στο οριζόντιο τμήμα του δοχείου. Μετά τη λήξη της ροής, το ύψος του σκυροδέματος στο άκρο του οριζόντιου τμήματος εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό (%) του εναπομείναντος ύψους του σκυροδέματος στο κατακόρυφο τμήμα του δοχείου. Η δοκιμή πραγματοποιείται αρχικώς με τρεις κατακόρυφες ράβδους και, εφόσον η δοκιμή δεν είναι επιτυχής (λόγος υψών<0,80), η δοκιμή επαναλαμβάνεται με δύο κατακόρυφες ράβδους.

- Ο λόγος υψών του σκυροδέματος αποτελεί ένδειξη της ικανότητας διέλευσης ή του βαθμού στον οποίο εμποδίζεται η διέλευση του ΑΣΣ διαμέσου των οπλισμών. Χονδρόκοκκα αδρανή πίσω από τις ράβδους οπλισμού (έμφραξη) και πιθανή απόμιξη στο άκρο του οριζόντιου τμήματος μπορούν να εντοπιστούν οπτικά. Τέτοια φαινόμενα πρέπει να αντιμετωπίζονται μέσω της μεταβολής των αναλογιών των συστατικών του μίγματος, ώστε να διασφαλίζεται η σταθερότητά του.




***Σχήμα 8.*** *Εξοπλισμός δοκιμής δοχείου L (L-Box) (πηγή: Σφήκας 2007)*

***Πίνακας 6.*** *Κατηγορίες διελευσιμότητας – Δοχείο L σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-9:2010 Concrete: Additional rules for self-compacting concrete (SCC)*

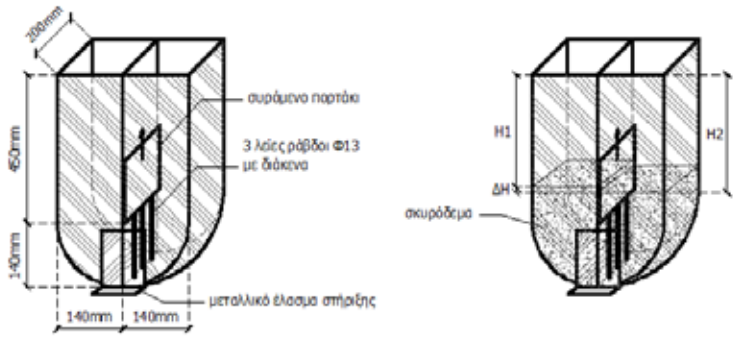
| Κατηγορία | Λόγος υψών (-) |
|---|---|
| **PL1** | ≥ 0,80 με 2 ράβδους |
| **PL2** | ≥ 0,80 με 3 ράβδους |

## 6.6 Δοκιμή δοχείου U (U-box)

*Σύνοψη δοκιμής*:

- Η δοκιμή πραγματοποιείται με συσκευή που αποτελείται από δοχείο ορθογωνικής-κυκλικής διατομής σχήματος U, με δύο κατακόρυφα διαμερίσματα. Τα δύο διαμερίσματα χωρίζονται από κινούμενη θύρα, μπροστά από την οποία είναι τοποθετημένες τρεις κατακόρυφες λείες ράβδοι χάλυβα. Το ένα διαμέρισμα του δοχείου (από την αντίθετη πλευρά των ράβδων) πληρώνεται με ΑΣΣ και, αμέσως μετά, η θύρα ανασηκώνεται, αφήνοντας το μίγμα να ρεύσει στο άλλο διαμέρισμα του δοχείου, έως το μίγμα να

ισορροπήσει στα δύο διαμερίσματα βάσει της αρχής των συγκοινωνούντων δοχείων. Μετά τη λήξη της ροής, μετράται η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο διαμερισμάτων.




***Σχήμα 9.*** *Εξοπλισμός δοκιμής δοχείου U (U-Box) (πηγή: Σφήκας 2007)*

- Η μέγιστη επιτρεπόμενη υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο διαμερισμάτων είναι ίση με 30 mm. Αν το ΑΣΣ ρέει ελεύθερα (π.χ. όπως το νερό), τότε η στάθμη στα δύο διαμερίσματα θα βρίσκεται στο ίδιο ύψος. Μεγαλύτερες υψομετρικές διαφορές αποτελούν ένδειξη της ικανότητας διέλευσης ή του βαθμού στον οποίο εμποδίζεται η διέλευση του ΑΣΣ διαμέσου των οπλισμών. Χονδρόκοκκα αδρανή πίσω από τις ράβδους οπλισμού (έμφραξη) και πιθανή απόμιξη στο άκρο του οριζόντιου τμήματος δεν μπορούν συνήθως να εντοπιστούν οπτικά, εκτός εάν η πλευρά της συσκευής είναι διαφανής. Τέτοια φαινόμενα πρέπει να αντιμετωπίζονται μέσω της μεταβολής των αναλογιών των συστατικών του μίγματος, ώστε να διασφαλίζεται η σταθερότητά του.

### 6.7 Δοκιμή απόμιξης στήλης σκυροδέματος (column segregation)

*Σύνοψη δοκιμής*:

- Κυλινδρικό δοκίμιο πληρώνεται με σκυρόδεμα σε μία φάση, χωρίς να συμπυκνωθεί. Το δοκίμιο είναι χωρισμένο σε τέσσερα τμήματα που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά επίπεδα της στήλης. Το σκυρόδεμα από το ανώτερο και το κατώτερο τμήμα υπόκεινται στη διαδικασία του υγρού κοσκινίσματος (κοσκίνισμα σε πρότυπο κόσκινο No. 4 / 4.75 mm). Τα βάρη των χονδρόκοκκων αδρανών που παραμένουν τελικώς στα κόσκινα ζυγίζονται και συγκρίνονται, υπολογίζοντας έτσι την ποσοστιαία απόμιξη**.**

- Η ποσοστιαία απόμιξη, S (%), υπολογίζεται με τη βοήθεια της ακόλουθης εξίσωσης:

$$S\ (\%) = [(CA_B - CA_T)/((CA_B + CA_T)/2)] \times 100 \quad \text{για } CA_B > CA_T$$
$$S\ (\%) = 0 \quad \text{για } CA_B < CA_T$$

όπου *CAi* το βάρος των χονδρόκοκκων αδρανών (Coarse Aggregates) του κάτω (*i=B*, bottom) ή του άνω (*i=T*, top) τμήματος της στήλης.

Αν και μία ποσοστιαία απόμιξη κάτω του 10 % θεωρείται πρακτικώς ικανοποιητική για το ΑΣΣ, σημειώνεται ότι δεν έχει, προς το παρόν, καθοριστεί συγκεκριμένο επίσημο όριο για την αποτίμηση της ανεκτής απόμιξης.

***Φωτ. 11.*** *Εξοπλισμός δοκιμής απόμιξης στήλης σκυροδέματος*

### 6.8 Δοκιμή σταθερότητας μέσω κοσκίνισης (sieve segregation resistance ή sieve stability test)

*Σύνοψη δοκιμής*:

- Δείγμα νωπού σκυροδέματος παραμένει σε ηρεμία για 15 λεπτά και καταγράφονται τυχόν φαινόμενα εξίδρωσης. Αμέσως μετά, το άνω μέρος του δείγματος εκχύνεται σε κόσκινο με τετραγωνικά ανοίγματα 5 mm, άνωθεν δοχείου υποδοχής, και παραμένει σε ηρεμία για 2 λεπτά. Στη συνέχεια, το υλικό που διαπέρασε το κόσκινο ζυγίζεται και υπολογίζεται η ποσοστιαία απόμιξη.

- Η ποσοστιαία απόμιξη, SR (%), υπολογίζεται με τη βοήθεια της ακόλουθης εξίσωσης:

$$SR\ (\%) = (Wps - Wp)\ 100 / Wc$$

  όπου Wps το μικτό βάρος του δοχείου υποδοχής (μαζί με το κοσκινισμένο υλικό), Wp το καθαρό βάρος του δοχείου υποδοχής και Wc το μικτό βάρος του πληρωμένου με υλικό κοσκίνου (πριν την κοσκίνιση).

***Φωτ. 12.*** *Εξοπλισμός δοκιμής σταθερότητας μέσω κοσκίνισης (πηγή: European Research Project – Testing SCC 2005)*

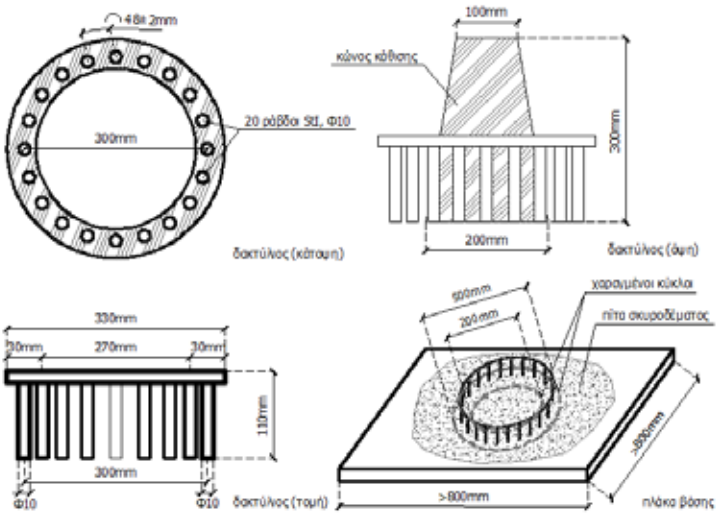
***Πίνακας 7.*** *Κατηγορίες αντίστασης σε απόμιξη μέσω κοσκίνισης σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-9:2010*
*Concrete: Additional rules for self-compacting concrete (SCC)*

| Κατηγορία | Απομιγμένο ποσοστό (%) |
|---|---|
| **SR1** | ≤ 20 |
| **SR2** | ≤ 15 |

### 6.9 Δοκιμή δακτυλίου J (J-ring)

*Σύνοψη δοκιμής*:

- Πρότυπος κώνος του Abrams, που περιβάλλεται από δακτύλιο με κάθετες λείες ράβδους, πληρώνεται με σκυρόδεμα σε μία φάση, χωρίς να συμπυκνωθεί. Ο κώνος ανασηκώνεται και το σκυρόδεμα αφήνεται να ρεύσει διαμέσου των ράβδων. Η μέση τιμή δύο διαμέτρων της τελικώς εξαπλωμένης «πίτας» σκυροδέματος, μετρούμενων σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις, αναφέρεται ως ροή διαμέσου του δακτυλίου J. Η δοκιμή πραγματοποιείται αρχικώς με δέκα έξι κατακόρυφες ράβδους και, εφόσον η δοκιμή δεν είναι επιτυχής (υψομετρική διαφορά > 10mm, η δοκιμή επαναλαμβάνεται με δώδεκα κατακόρυφες ράβδους.




***Σχήμα 10.*** *Εξοπλισμός δοκιμής δακτυλίου J (J-Ring) (πηγή: Σφήκας 2007)*

***Πίνακας 8.*** *Κατηγορίες διελευσιμότητας – Δακτύλιος J σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-9:2010*
*Concrete: Additional rules for self-compacting concrete (SCC)*

| Κατηγορία | Υψομετρική διαφορά (mm) |
|---|---|
| **PJ1** | ≤ 10 με 12 ράβδους |
| **PJ2** | ≤ 10 με 16 ράβδους |

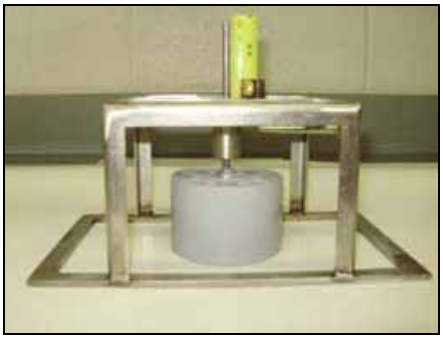
- Υψηλότερες τιμές εξάπλωσης διαμέσου του δακτυλίου J συνεπάγονται αφενός δυνατότητα κάλυψης μεγαλύτερων αποστάσεων από το σημείο έγχυσης και αφετέρου δυνατότητα ταχύτερης πλήρωσης τύπων ή δοκιμίων. Η διαφορά μεταξύ της εξάπλωσης

διαμέσου του δακτυλίου J και της ανεμπόδιστης εξάπλωσης, όπως προκύπτει από τη δοκιμή εξάπλωσης, αποτελεί ένδειξη του βαθμού, στον οποίο εμποδίζεται η διέλευση διαμέσου ράβδων οπλισμού. Η ίδια δοκιμή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της πιθανότητας έμφραξης μίγματος ΑΣΣ για δεδομένη εφαρμογή. Εφόσον οι ράβδοι εγκλωβίσουν τα χονδρόκοκκα αδρανή εντός του δακτυλίου, τότε το μίγμα έχει υψηλή πιθανότητα έμφραξης και οι αναλογίες των συστατικών του θα πρέπει να αναπροσαρμοστούν, ώστε να διασφαλιστεί η σταθερότητα του μίγματος.

### 6.10 Δοκιμή διείσδυσης / Αντίσταση σε στατική απόμιξη (penetration test / static segregation resistance)

*Σύνοψη δοκιμής*:

- Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιείται ο πρότυπος κώνος του Abrams, τοποθετημένος ανάποδα, πάνω στον οποίο στηρίζεται με κατάλληλη διάταξη ειδική συσκευή διείσδυσης κυλινδρικής μορφής. Μετά την πλήρωση του κώνου με σκυρόδεμα, ο κύλινδρος έρχεται κεντρικά σε επαφή με την τελική επιφάνεια και, μετά την παρέλευση 30 δευτερολέπτων καταγράφεται το βάθος διείσδυσης, Pd.



***Φωτ. 13.*** *Εξοπλισμός δοκιμής διείσδυσης (πηγή: Russell - HPC Bridge Views, 2010)*

***Πίνακας 9.*** *Βαθμός αντίστασης σε στατική απόμιξη*

| **Βάθος διείσδυσης Pd (mm)** | **Βαθμός αντίστασης σε στατική απόμιξη** |
|---|---|
| Pd ≤ 10 | Ανθεκτικό |
| 10 < Pd < 25 | Μέτρια ανθεκτικό |
| Pd ≥ 25 | Μη ανθεκτικό |

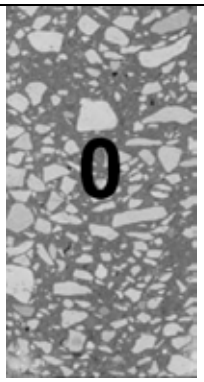
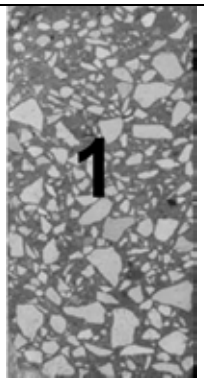
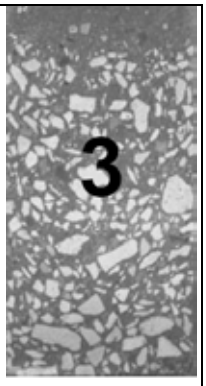
### 6.11 Οπτικός Δείκτης Σταθερότητας Σκληρυμένου Σκυροδέματος (ΟΔΣ, visual stability index – Hardened VSI) / Δοκιμή Στατικής Απόμιξης (Static segregation test)

*Σύνοψη δοκιμής*:

Κατόπιν της δοκιμής έμμεσου εφελκυσμού (από διάρρηξη), τα κυλινδρικά δοκίμια αξιολογούνται οπτικά από έμπειρο παρατηρητή, ανάλογα με την ύπαρξη στρώσης πάστας ή κονιάματος στο άνω τμήμα τους και το πάχος αυτής, καθώς και με την κατανομή των χονδρόκοκκων αδρανών καθ' ύψος της διατομής τους. Ο αποδιδόμενος δείκτης 0, 1, 2 ή 3 χαρακτηρίζει τη στατική σταθερότητα (static segregation) του μίγματος, σύμφωνα με τον Πίνακα 10. Η απόδοση ενός δείκτη HVSI αποτελεί έναν ποιοτικό τρόπο αποτίμησης της

σταθερότητας του δείγματος (χαρακτηριστικό το οποίο επηρεάζεται από την βαρύτητα). Είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση του χαρακτηριστικού αυτού, μέσω χρήσης λογισμικού ανάλυσης εικόνας, το οποίο υπολογίζει τα ποσοστά των χονδρόκοκκων αδρανών σε καθένα από τα τέσσερα καθ' ύψος τεταρτημόρια της διατομής.

***Πίνακας 10.*** *1 Οπτικός Δείκτης Σταθερότητας Σκληρυμένου Σκυροδέματος (πηγή: Shen & Illinois Test procedure SCC-6, 2007)*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ενδεικτική εικόνα διατομής κυλίνδρου καθ' ύψος |   |   | |   |
| Δείκτης Οπτικής Σταθερότητας (VSI) | 0: Υψηλή Σταθερότητα | 1: Σταθερότητα | 2: Αστάθεια | 3: Υψηλή Αστάθεια |
| Στρώση πάστας ή κονιάματος στο άνω τμήμα κυλίνδρου | Απουσία | Απουσία | Μικρή (<2,5cm) | Σημαντική (>2,5cm) |
| Διαφορά μεγεθών κόκκων χονδρόκοκκων αδρανών και κατανομής τους καθ' ύψος | Μη εμφανής | Μικρή | Μικρή | Εμφανής |

## 6.12 Άλλες δοκιμές

Στη βιβλιογραφία βρίσκουμε αναφορές και σε άλλες δοκιμές για το ΑΣΣ (δοχείο Orimet, κάθιση K, χοάνη O, κ.ά.), οι οποίες πάντως δεν έχουν τύχει ευρείας εφαρμογής ή προτυποποίησης από τα επίσημα κανονιστικά κείμενα (ACI 237R-07, EN 206-9) ή τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες για το ΑΣΣ. Συμπληρωματικές πληροφορίες μπορούν να αναζητηθούν σε πηγές που παραπέμπει ο αμερικάνικος κανονισμός ACI 237R-07, στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Οδηγιών για τον έλεγχο νωπού ΑΣΣ (2005), κ.α.

Στη συνέχεια δίνεται υπό μορφή πίνακα μια σύνοψη των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των δοκιμών νωπού ΑΣΣ.

***Πίνακας 11.*** *Σύνοψη πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων δοκιμών νωπού ΑΣΣ (πηγή: De Schutter – Testing SCC 2005 )*

| **Δοκιμή** | **Πλεονεκτήματα** | **Μειονεκτήματα** |
|---|---|---|
| **Εξάπλωση** | • Ευκολία και εξοικείωση<br>• Καλός δείκτης ικανότητας πλήρωσης<br>• Πολύ καλή συσχέτιση με τη ρεολογία (εξάπλωση S με την τάση διαρροής; t500 με το πλαστικό ιξώδες)<br>• Ευαισθησία στην περιεκτικότητα νερού<br>• Απαιτεί μόνο έναν χειριστή<br>• Κατάλληλη για έλεγχο συμμόρφωσης<br>• Καλός δείκτης ικανότητας ροής<br>• Δυνατή η οπτική παρατήρηση έντονης απόμιξης | • Απαιτεί άκαμπτη και επίπεδη πλάκα βάσης<br>• Πολύ ευαίσθητη στην υγρασία της πλάκας βάσης<br>• Δεν αποδίδει πλήρη συμπεράσματα για την ικανότητα πλήρωσης<br>• Ο χρόνος t500 δε μετράται εύκολα για πολύ ρευστά μίγματα<br>• Συνήθως απασχολεί δύο χειριστές<br>• Ευαίσθητη στον παρατηρητή<br>• Δεν μπορεί να εκτιμήσει μέση απόμιξη |
| **Χοάνη V** | • Αρκετά καλή συσχέτιση με το πλαστικό ιξώδες<br>• Δείκτης ικανότητας πλήρωσης<br>• Δημοφιλής μέθοδος<br>• Δυνατότητα ανίχνευσης σοβαρών εμπλοκών | • Δύσκολη σωματικά στην εφαρμογή της<br>• Μη διακριτά πρακτικά όρια αποτελεσμάτων<br>• Συνήθως απαιτεί δύο χειριστές<br>• Αδύνατη οπτική αξιολόγηση |
| **Δοχείο L** | • Οικεία και δημοφιλής μέθοδος<br>• Καλός δείκτης ικανότητας διέλευσης<br>• Κατασκευάζεται από κάθε είδους υλικό<br>• Καλή συσχέτιση με την εξάπλωση<br>• Δυνατότητα μοναδικής καταγραφής (H2) | • Οι τιμές μπορεί να είναι άχρηστες για μεγάλες εξαπλώσεις<br>• Δυσκολία εφαρμογής επιτόπου του έργου και καθαρισμού<br>• Σημαντική η επίτευξη επιπεδότητας<br>• Σχετικά μεγάλος χρόνος προετοιμασίας και ελέγχου |
| **Σταθερότητα μέσω κοσκίνισης** | • Εύκολη στη διεξαγωγή<br>• Συνδυάζεται με τη δοκιμή διείσδυσης<br>• Εκτιμά τη στατική και τη δυναμική απόμιξη<br>• Καλή συσχέτιση με την πραγματική κατάστασης στην κατασκευή | • Απαιτεί ηλεκτρονικό ζυγό<br>• Αργή δοκιμή<br>• Σχετικά νέα δοκιμή, όχι πολύ δημοφιλής |
| **Δακτύλιος J** | • Ευκολία και μεταφερσιμότητα<br>• Συνδυασμός με δοκιμή εξάπλωσης<br>• Η εμποδιζόμενη εξάπλωση συσχετίζεται με την ικανότητα πλήρωσης<br>• Η υψομετρική διαφορά εντός και εκτός δακτυλίου συσχετίζεται με την ικανότητα διέλευσης<br>• Δυνατότητα οπτικής εκτίμησης εμφραξης και ισχυρής απόμιξης<br>• Δυνητικά καλύπτει όλες τις βασικές ιδιότητες | • Πιο δύσκολη μέτρηση από τη δοκιμή εξάπλωσης<br>• Δεν είναι εξαιρετικά δημοφιλής<br>• Η υψομετρική διαφορά εντός και εκτός δακτυλίου μπορεί να επηρεαστεί από την ικανότητα πλήρωσης<br>• Ο χρόνος t500 είναι δύσκολο να καταγραφεί<br>• Συνήθως απαιτεί δύο χειριστές<br>• Ευαίσθητη στον χειριστή<br>• Δεν μπορεί να ανιχνεύσει μέτρια απόμιξη |
| **Διείσδυση** | • Συνδυάζεται με τη δοκιμή σταθερότητας μέσω κοσκίνισης<br>• Ευκολη και ταχεία δοκιμή | • Μεγάλος χρόνος διεξαγωγής<br>• Μετρά μόνο τη στατική και όχι τη δυναμική απόμιξη<br>• Σχετικά νέα δοκιμή, όχι πολύ δημοφιλής |

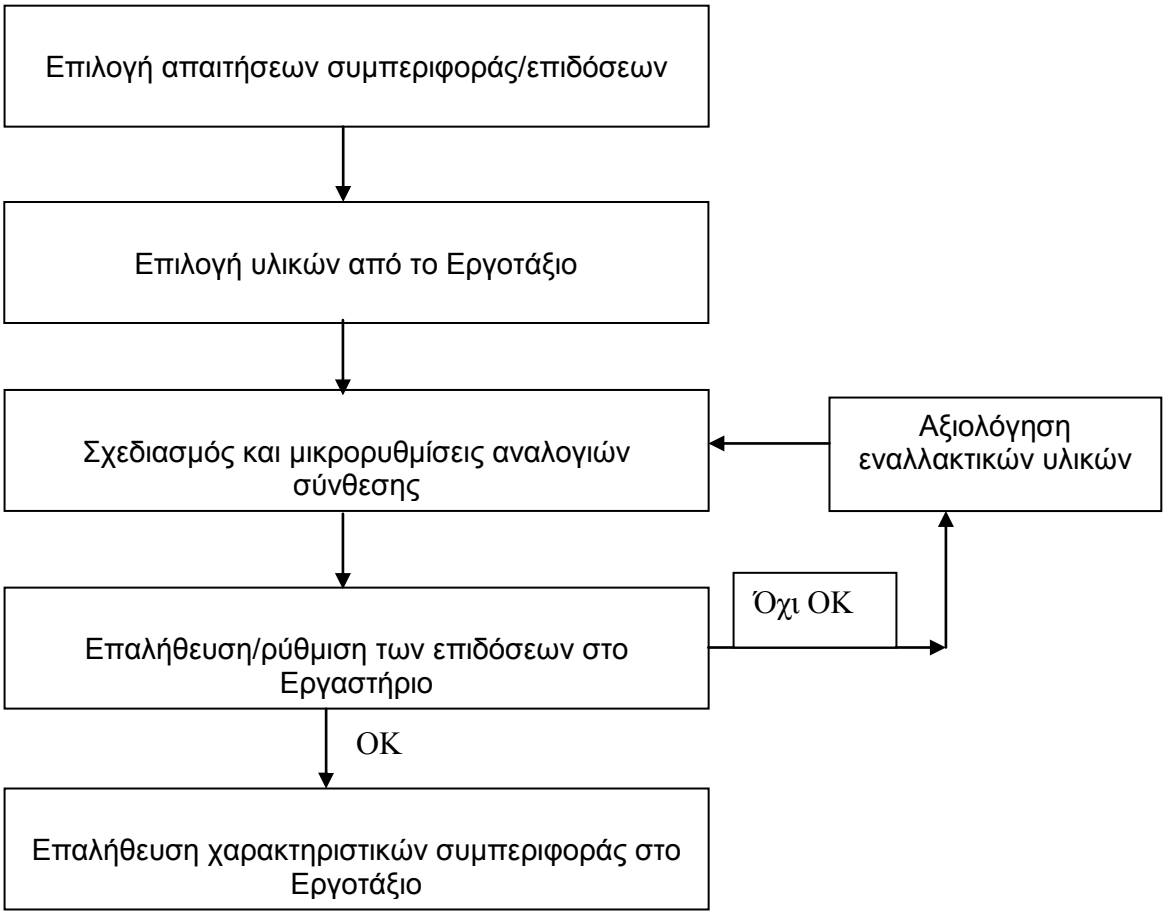
## 7. Ποιες είναι οι κύριες ιδιότητες του σκληρυμένου ΑΣΣ;

---

## 8. Ποιες είναι οι ειδικές απαιτήσεις της μελέτης σύνθεσης του ΑΣΣ;

### 8.2 Γενικές αρχές σχεδιασμού

- Κατά το σχεδιασμό του μίγματος η επιλογή και οι μικρομεταβολές υλικών στο σχεδιασμό του, μπορούν να γίνουν σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:




- Κατά το σχεδιασμό του μίγματος είναι καλύτερα να υιοθετούνται οι σχετικές αναλογίες κατ' όγκον και όχι κατά βάρος.
- Ένα παράδειγμα για αποτελεσματικό σχεδιασμό ΑΣΣ έχει αναπτυχθεί από τον Okamura (βλ. efnarc.org)

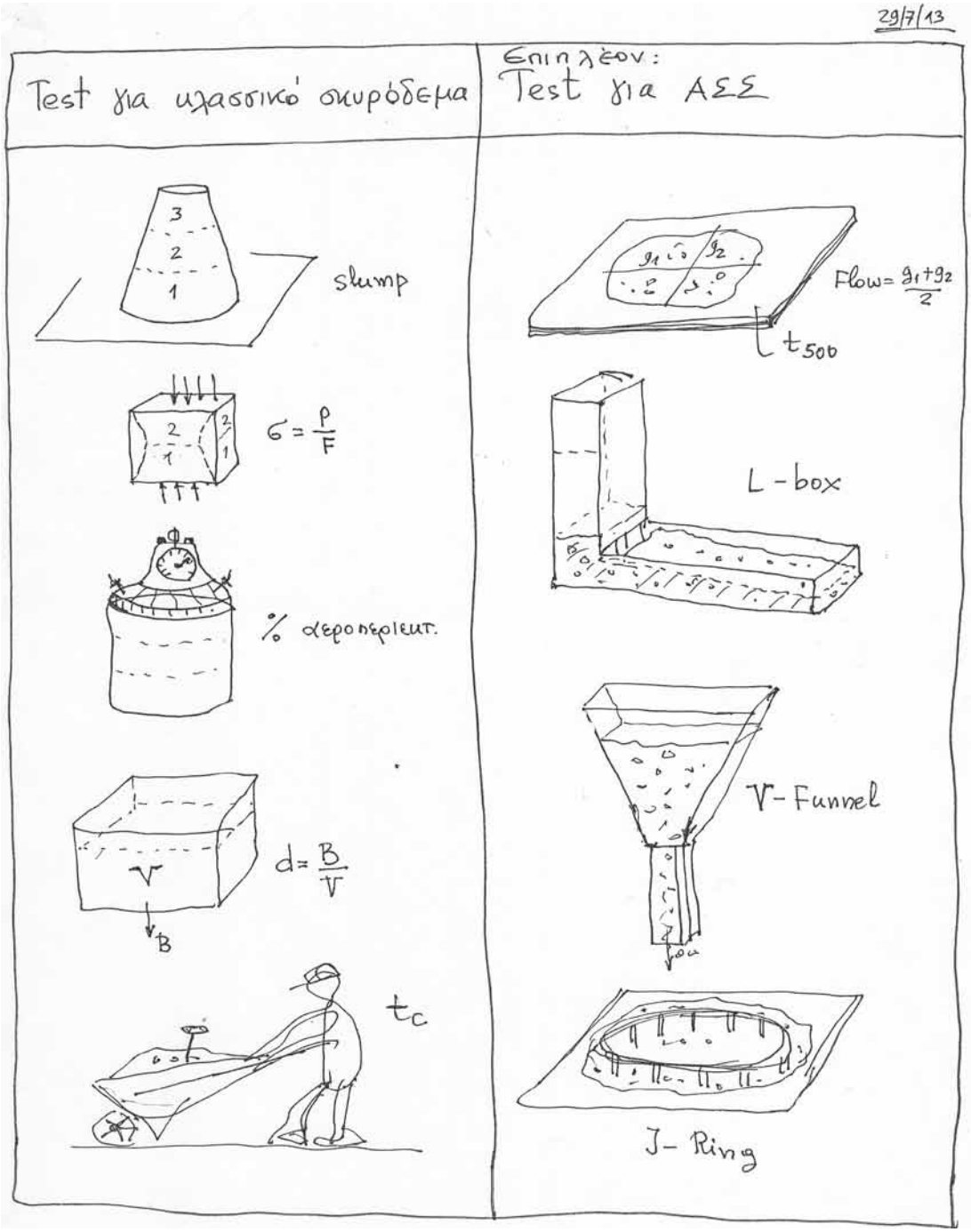
  Η μεθοδολογία περιλαμβάνει:

  - Καθορισμό επιθυμητής περιεκτικότητας σε αέρα (συνήθως: 2%)
  - Προσδιορισμό όγκου χονδρόκοκκων αδρανών
  - Προσδιορισμό περιεκτικότητας άμμου
  - Σχεδιασμό συνθέσεως τσιμεντόπαστας
  - Προσδιορισμό βέλτιστου λόγου Νερού/κονίες και υπερρευστοποιητικού στο κονίαμα

  Η τελική σύνθεση αποφασίζεται βάσει δοκιμών σε σκυρόδεμα.

### 8.3 Εργαστηριακά δοκιμαστικά αναμίγματα - Ρυθμίσεις

Στο παρακάτω σχήμα γίνεται συνοπτική παρουσίαση – σύγκριση των βασικών εργαστηριακών δοκιμών μεταξύ ενός μίγματος συνήθους σκυροδέματος και ενός μίγματος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.




***Σχήμα 11.*** *Συνοπτική σύγκριση βασικών δοκιμών ΣΣ – ΑΣΣ (πηγή: Μαρσέλλος Ν)*

## 9. Απαιτείται ειδική διαδικασία παραγωγής;

- Όλοι οι τύποι αναμικτήρων θεωρούνται κατάλληλοι για την ανάμιξη του ΑΣΣ (με προτίμηση στους τύπους «διπλού άξονα» (“twin shaft”) και «οριζόντιας ανάμιξης» (“pan type” με συγχρονικά περιστρεφόμενα πτερύγια και έκκεντρα τοποθετημένο

αυτοπεριστρεφόμενο αναμίκτη). Ο όγκος του μίγματος θα πρέπει να μην υπερβαίνει το 70% της χωρητικότητας του αναμικτήρα, για την αποφυγή διακοπής της λειτουργίας του τελευταίου λόγω υπερφόρτωσης (Ouchi & Nakajima, 2001). Η στεγανοποίηση του αναμικτήρα κατά τη φάση λειτουργίας του είναι απαραίτητη για την αποφυγή απώλειας τσιμεντοπολτού και του συνεπακολουθούμενου κινδύνου διαχωρισμού του μίγματος, είτε εντός του αναμικτήρα, είτε εντός του κάδου στον οποίο εκφορτώνεται.

- Η ακολουθία, αλλά και οι επιμέρους χρόνοι ανάμιξης επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του νωπού ΑΣΣ. Ωστόσο, από τη βιβλιογραφική έρευνα δεν καθίσταται δυνατή η συστηματοποίηση της σειράς με την οποία τα υλικά θα πρέπει να εισέρχονται στον αναμικτήρα, καθώς η βέλτιστη ακολουθία των συστατικών εξαρτάται τόσο από τη συγκεκριμένη σύνθεση, όσο και από το είδος του εξοπλισμού του εκάστοτε παρασκευαστηρίου. Σύμφωνα με τους Ouchi & Nakajima (2001), ο συνολικός χρόνος ανάμιξης μείγματος ΑΣΣ θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 120 sec πριν την εισαγωγή του υπερρευστοποιητή και, σύμφωνα με τους Ludwig et al. (2001), τουλάχιστον 180 sec μετά την εισαγωγή του. Ιδιαίτερης σημασίας φαίνεται να αποτελεί ο χρόνος εισαγωγής του υπερρευστοποιητή στο μίγμα. Οι Orgass and Dehn (2006) αναφέρουν ότι η τιμή της δοκιμής Slump-flow αυξάνεται σημαντικά με την εισαγωγή του υπερρευστοποιητή στο μίγμα σε δύο δόσεις. Συστήνουν να εισάγεται πρώτα ποσότητα περίπου ίση με τα δύο τρίτα της συνολικής ποσότητας του υπερρευστοποιητή, ενώ το υπόλοιπο του χημικού προσμίκτου να προστίθεται μετά από λίγο χρόνο (μεγαλύτερο των 45 sec). Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αυτός, τόσο μεγαλύτερη η τιμή της δοκιμής slump-flow (τα αποτελέσματα δεν διαφοροποιούνταν για χρόνους μεγαλύτερους των 120 sec).

**10. Απαιτούνται ειδικοί χειρισμοί στη μεταφορά και εκφόρτωσή του (π.χ. στην άντληση);**

---

**11. Υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για την αποδοχή του στο εργοτάξιο;**

---

**12. Υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για τους τύπους (ξυλότυποι, μεταλλότυποι) και τον οπλισμό του έργου που σκυροδετείται με ΑΣΣ;**

### 12.1 Οπλισμός: Οφέλη και ειδικές απαιτήσεις σε ό,τι αφορά τον οπλισμό, λόγω της χρήσης ΑΣΣ

#### 12.1.1 Οφέλη

- Η αυξημένη ρευστότητα του ΑΣΣ – εφόσον τηρούνται στη σύνθεση και οι απαιτήσεις για μειωμένο νερό, έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη συνάφεια του σκυροδέματος με τον οπλισμό σε όλη τη διατομή, λόγω του ότι το ΑΣΣ:

- Περιβάλλει καλύτερα τις ράβδους οπλισμού τόσο κάτω όσο και άνω, άρα δεν φαίνεται (και με πειραματικά αποτελέσματα) να εμφανίζει την ευαισθησία του σκυροδέματος συμβατικής κάθισης στην περιοχή II (κακής) συνάφειας,
- Δεν εμφανίζει φαινόμενα συγκράτησης νερού και επομένως σχηματισμού δικτύου πόρων λόγω εξίδρωσης κάτω από τους οπλισμούς σε σκυροδέτηση κάθετα προς τη διεύθυνση των ράβδων,
- Μειώνει τη συγκράτηση νερού κάτω από τους οπλισμούς και επομένως την τοπική αύξηση του λόγου Ν/Τ και
- Έχει γενικά μικρότερα φαινόμενα συστολής ξήρανσης άρα και καλύτερη συνάφεια κατά την ωρίμανση.

- Σύμφωνα με πειραματικά αποτελέσματα, η συνάφεια του ΑΣΣ είναι έως και 40% αυξημένη σε σχέση με το σκυρόδεμα συμβατικής κάθισης[1] ενώ δεν παρατηρείται χωροταξική διαφοροποίηση ως προς τη διεύθυνση και σημείο χύτευσης, είτε το ΑΣΣ ρέει κατακόρυφα (τοιχείο, υποστύλωμα) είτε οριζόντια (δοκός, πλάκα).

- Πέραν της απουσίας περιοχών δυσμενούς συνάφειας όμως, στην περίπτωση σκυροδέτησης ΑΣΣ από σχετικά μεγάλο ύψος υπάρχει μεγαλύτερη ευαισθησία είτε σε απόμιξη, είτε στην τάση να υπάρχει αύξηση του εγλωβιζόμενου αέρα στο μίγμα, λόγω και της απουσίας δόνησης. Ως εκ τούτου, η πτώση από ελεύθερο ύψος θα πρέπει να αποφεύγεται, η δε τάση για απόμιξη πρέπει να ληφθεί υπόψη και να αποφευχθεί με κατάλληλη μελέτη σύνθεσης (βλ. κεφ. 8).

### 12.1.2 Ειδικές απαιτήσεις.

- Και οι τρεις αστοχίες που περιγράφηκαν στο κυρίως κείμενο (δηλαδή: διαχωρισμός, απόμιξη και έμφραξη) συνεπάγονται ειδική μελέτη σύνθεσης ΑΣΣ, με αυξημένη ρευστότητα και συνάμα συνεκτικότητα, οι οποίες πρέπει να προβλεφθούν από τον παραγωγό σε συνεργασία με τον προδιαγράφοντα / μελετητή και να οριστικοποιηθούν επί τόπου στο έργο κατά την παραλαβή, με τις πρότυπες δοκιμές που προβλέπονται για αυτό το σκοπό: τη δοκιμή Δακτυλίου J στο εργαστήριο και στο επί τόπου και τη δοκιμή Δοχείου L στο εργαστήριο (βλ. κεφ. 6).

- Χαρακτηριστικά, συνιστάται:
  - Σε περιπτώσεις μεσαίας και υψηλής πυκνότητας οπλισμών, η χρήση ΑΣΣ με αυξημένη κατηγορία εξάπλωσης..
  - Για την ελαχιστοποίηση της διακοπής της ροής από την εμπλοκή των αδρανών στις ράβδους σε περιπτώσεις σκυροδέτησης πυκνών οπλισμών απαιτεί η μέγιστη ονομαστική διάσταση κόκκου της σύνθεσης να μην υπερβαίνει τα 12,5 mm ο δε όγκος των αδρανών διαστάσεως ψηφίδας να είναι μεταξύ 28% και 32% του όγκου του σκυροδέματος (οι δοκιμαστικές συνθέσεις θα πρέπει να αρχίσουν με αναλογίες κ.ό. 50% - 50% άμμο και ψηφίδα).
  - Η σύνθεση σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να περιλαμβάνει και χημικά πρόσθετα τροποποίησης του ιξώδους (ρυθμιστές ιξώδους, VMA).

*Συμπερασματικά, η διάστρωση (ταχύτητα παράδοσης, τρόπος και ταχύτητα διάστρωσης) θα επηρεάσουν τους παραπάνω παράγοντες επιτελεστικότητας του ΑΣΣ και είναι συνάρτηση της ποσότητας, πυκνότητας και διαμέτρου των οπλισμών και άρα πρέπει να προσυμφωνηθούν ώστε να ληφθούν υπόψη στη σύνθεση του ΑΣΣ πριν την παράδοση.*

[1] Sonebi, M., and Bartos, P. J. M., 1999, "Hardened SCC and its Bond with Reinforcement," Proceedings of the First International RILEM Symposium on SCC, Stockholm, Sept., pp. 275-289.

## 12.2 Τύποι (ξυλότυποι, μεταλλότυποι): Οφέλη και ειδικές απαιτήσεις σε ό,τι αφορά τους τύπους, λόγω της χρήσης ΑΣΣ

### 12.2.1 Οφέλη

- **Στεγανότητα**

Λόγω της έλλειψης επιπεδότητας στην έδραση, η βάση των τύπων (πλάκα, θεμέλιο, μπετόν καθαριότητος) θα πρέπει να υδατοστεγανώνεται με τσιμεντόπαστα.

Στην περίπτωση πλήρωσης τύπων μέσω άντλησης υπό πίεση από το κάτω μέρος, θα πρέπει να προβλέπονται ανακουφιστικές οπές διαφυγής του αέρα ώστε να μην εγκλωβισθεί και για να γίνεται έλεγχος της επέκτασης του μετώπου σκυροδέτησης, ενώ θα πρέπει να αυξάνεται η ρευστότητα του μίγματος.

Για σκυροδέτηση σε επιφάνειες εκτεταμένες σε πλάτος (πλάκες), η παροχή ΑΣΣ θα πρέπει να γίνεται με πολλαπλές εισόδους λαμβάνοντας υπόψη και τη χωροθέτηση σημείων / γραμμών πύκνωσης των οπλισμών που ενδέχεται να εμποδίζουν την ομαλή ροή κατά πλάτος του ΑΣΣ μέσα στο στοιχείο.

- **Επιπόνηση: Η πίεση στους τύπους αυξάνεται**

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα, τύποι με αυξημένη ακαμψία και λείες διεπιφάνειες έχουν ως αποτέλεσμα να αυξάνονται οι πιέσεις κατά τη χύτευση, να απομειώνονται δε αυτές με μειωμένο ρυθμό απομείωσης. Πέραν αυτού, η τραχύτητα των διεπιφανειών είναι επίσης σημαντική: μείωση της τριβής στις διεπιφάνειες με εφαρμογή διασπαστικών ουσιών αποκόλλησης τύπου συνεπάγεται μείωση των τριβών και αύξηση των πιέσεων αυτών.

- **Πίεση στους τύπους**

Η ταχύτητα χύτευσης αυξάνει την αρχική πίεση στους τύπους, με άνω όριο, σε περίπτωση ταχείας χύτευσης και υψηλής ρευστότητας, την υδροστατική. Εφόσον ο ρυθμός χύτευσης μειωθεί συμβαίνει το αντίθετο. Γενικά, εκτός αν υπάρξουν προκαταρκτικές δοκιμαστικές μετρήσεις στο πεδίο με τη συγκεκριμένη σύνθεση και συνθήκες σκυροδέτησης, το ΑΣΣ θα πρέπει να θεωρείται ως υγρό, η δε φόρτιση υδροστατική για το σχεδιασμό των τύπων.

Λόγω της εξάρτησης των ιδιοτήτων του υλικού από τη θερμοκρασία, η εγκάρσια πίεση στους τύπους ελαττώνεται όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή της μάζας του ΑΣΣ είναι υψηλή.

Σε περιπτώσεις που η πλήρωση των τύπων γίνεται με άντληση υπό πίεση μέσω σωλήνα που είναι συνδεδεμένος στο κάτω μέρος του τύπου, η πίεση στους τύπους είναι αυξημένη μέχρι έως και διπλάσια αυτής που προκύπτει κατά τη σκυροδέτηση άνωθεν (Brameshuber and Uebachs, 2002).

- **Προσομοιώματα φόρτισης τύπων**

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πιέσεις σχεδιασμού που κυμαίνονται μεταξύ 100% της υδροστατικής πίεσης έως και 60% αυτής, για ρυθμούς χύτευσης που έχουν πρακτικό ενδιαφέρον, ανάλογα με τις παραμέτρους παραπάνω και το προσομοίωμα. Πάντως, σύμφωνα με τα αναφερόμενα, δεν υπάρχει αυτή τη στιγμή μια πρόβλεψη του φορτίου μεταξύ των προσομοιωμάτων που να συσχετίζεται με τις ιδιότητες της σύνθεσης, ενώ τα διάφορα προσομοιώματα δεν συμφωνούν με τις προβλέψεις του ρυθμού απομείωσης του φορτίου αυτού.

*Συμπερασματικά, μέχρι να εμπλουτισθούν οι γνώσεις από περισσότερα πειραματικά δεδομένα, οι ξυλότυποι και οι συνδέσεις – στηρίξεις τους θα πρέπει να μελετώνται θεωρώντας ότι το ΑΣΣ συμπεριφέρεται σαν υδροστατικό υλικό, σε περιπτώσεις δε σκυροδέτησης υπό πίεση, η πίεση θα πρέπει να αυξάνεται αναλογικά έως και 100% της υδροστατικής εφόσον η ταχύτητα σκυροδέτησης είναι μεγάλη.*

**13. Ποια η διαδικασία διάστρωσής του;**

---

**14. Ποιος ο τρόπος συντήρησης του ΑΣΣ;**

---

**15. Ποιες οι απαιτήσεις για την τελική επιφάνεια εμφανούς σκυροδέματος με ΑΣΣ;**

---

**16. Ποιες οι απαιτήσεις για σκυροδέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων με ΑΣΣ;**

---

**17. Υπάρχουν ειδικά ΑΣΣ;**

**17.1 ΑυτοΣυμπυκνούμενο ΕλαφροΣκυρόδεμα**

- Η παραγωγή του ΑΣΕΣ περιλαμβάνει μία σειρά από δυσκολίες, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με: i) τη μελέτη σύνθεσης, η οποία είναι πολυπλοκότερη από τη μελέτη σύνθεσης ενός συμβατικού ΑΣΣ, καθώς χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευαισθησία της σύστασης στη μεταβολή των αναλογιών των συστατικών, ii) τη διαδικασία παραγωγής του ΑΣΕΣ, η οποία έχει κυρίως να κάνει με τη διαχείριση των ελαφρών αδρανών (ΕΑ), τα οποία έχουν μικρή αντοχή σε σύνθλιψη, αλλά και μεγάλη υδαταπορροφητικότητα, iii) το κόστος, καθώς τα ελαφρά αδρανή (κυρίως τα τεχνητά) έχουν μεγαλύτερο κόστος από τα συμβατικά ασβεστολιθικά αδρανή, ενώ συχνά απαιτείται η αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου για την επίτευξη των επιθυμητών αντοχών, με συνεπακόλουθη αύξηση του κόστους και iv) την ενημέρωση της αγοράς, στην οποία υπάρχει περιορισμένη χρήση του ΑΣΕΣ, γεγονός που συνοδεύεται από την έλλειψη έμπειρου εργατικού προσωπικού και υλικοτεχνικών υποδομών.

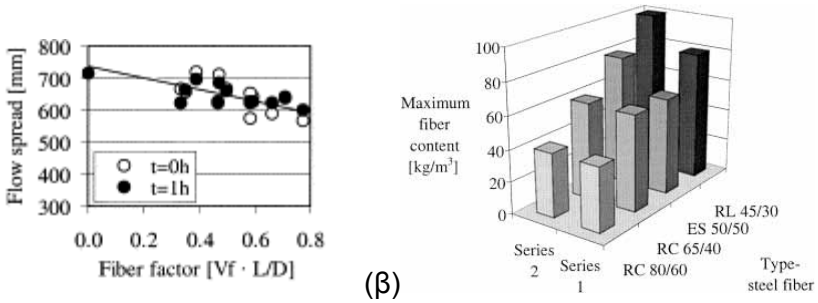
- Οι σημαντικότερες παράμετροι που καθορίζουν τις ιδιότητες αυτού του σκυροδέματος είναι η περιεκτικότητα σε ελαφρά αδρανή και η πυκνότητά τους, η περιεκτικότητα σε τσιμεντοειδή υλικά, ο λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά και η περιεκτικότητα σε πρόσθετα και χημικά πρόσμικτα (π.χ. πληρωτικά, ορυκτά πρόσθετα, υπερρευστοποιητές, σταθεροποιητές).

- Για την παραγωγή ΑΣΕΣ χρησιμοποιούνται κυρίως τεχνητά ελαφρά αδρανή με συχνότερα χρησιμοποιούμενο αδρανές τη διογκωμένη άργιλο (βλ. εταιρείες Liapor και

Leca). Η πλειονότητα των παραγόμενων μειγμάτων παρουσιάζει ανεμπόδιστη εξάπλωση μεταξύ 650 mm και 750 mm (κατηγορία SF2 κατά EN206), ενώ – λόγω του μειωμένου ιδίου βάρους τους – κατατάσσονται (γενικώς) σε κατηγορίες νωπών ιδιοτήτων (κατά EN206) που αντιστοιχούν σε ΑΣΣ μετρίας ρεοδυναμικότητας. Το σύνηθες εύρος της ειδικής θλιπτικής αντοχής (δηλ. του λόγου της θλιπτικής αντοχής του ΑΣΕΣ προς την πυκνότητα κλιβάνου του) εκτείνεται από 8 Í $10^{-3}$ MPa/(kg/$m^3$) έως 38 Í $10^{-3}$ MPa/(kg/$m^3$) [σημ. η ειδική θλιπτική αντοχή ενός συμβατικού σκυροδέματος κατηγορίας αντοχής C30/37 είναι περίπου ίση με 20 Í $10^{-3}$ MPa/(kg/$m^3$)], ενώ οι λόγοι N/TY (νερού προς τσιμεντοειδή υλικά) κυμαίνονται από 0.21 έως 0.54 και η περιεκτικότητα των TY (συνυπολογίζοντας το βαθμό ενεργότητας των διαφόρων TY) κυμαίνεται από 385 kg/$m^3$ έως 775 kg/$m^3$. Αναλόγως τα συστατικά υλικά και τη μελέτη σύνθεσης, δύνανται να παραχθούν ΑΣΕΣ με θλιπτικές αντοχές που κυμαίνονται από 20 MPa έως 60 MPa. Ένα προσεκτικά σχεδιασμένο μείγμα ΑΣΕΣ είναι αντλήσιμο.

## 17.2 Ινοπλισμένο ΑυτοΣυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα

- Κρίσιμο σημείο της μελέτης σύνθεσης του ινοπλισμένου ΑΣΣ (συμπεριλαμβανομένης της επιλογής του είδους των ινών και της περιεκτικότητας του μείγματος σε αυτές) είναι η απομείωση των χαρακτηριστικών εργασιμότητας και, επομένως, αυτοσυμπύκνωσης του υλικού, εξαιτίας της αλληλεμπλοκής των ινών κατά τη ροή του σκυροδέματος (βλ. Σχήμα Χα). Η αλληλεμπλοκή αυτή μπορεί να είναι τόσο έντονη, ώστε η ροή του ΑΣΣ να είναι ανομοιόμορφη, παρουσιάζοντας κατά τόπους συσσωματώματα ινών/αδρανών. Αυτό μπορεί να αξιολογηθεί οπτικά μέσω της δοκιμής Slump-flow, εάν το εξαπλωμένο δείγμα δεν είναι κυκλικού σχήματος ή εάν παρουσιάζει έντονη ανομοιογένεια στη διασπορά αδρανών και ινών. Όσο υψηλότερος είναι ο λόγος διαστάσεων των ινών, τόσο μικρότερη είναι η μέγιστη δυνατή περιεκτικότητας σε ίνες, ώστε να δύναται το σκυρόδεμα να διατηρεί τα επιθυμητά στοχόσημα αυτοσυμπύκνωσης. Στην ίδια λογική, για την ίδια ποσότητα ινών επιτυγχάνονται καλύτερα χαρακτηριστικά αυτοσυμπύκνωσης, όταν ο λόγος διαστάσεων των ινών είναι μικρός. Ο προσδιορισμός της μέγιστης δυνατής περιεκτικότητας σε ίνες δεν είναι μονοσήμαντος, αλλά εξαρτάται (εκτός από τα χαρακτηριστικά των ινών) και από τη μελέτη σύνθεσης του εκάστοτε «μητρικού» ΑΣΣ. Στο Σχήμα 12 δίνονται μέγιστες περιεκτικότητες μειγμάτων ΑΣΣ σε μεταλλικές ίνες διαφόρων τύπων.




(α) (β)

***Σχήμα 12.*** *(α) Μείωση της τιμής Slump-flow συναρτήσει του γινομένου της κατ'όγκον περιεκτικότητας σε μεταλλικές ίνες επί τον λόγο διαστάσεων αυτών, (β) Μέγιστες περιεκτικότητες μειγμάτων ΑΣΣ σε μεταλλικές ίνες διαφόρων τύπων (πηγή: Grewald and Walraven, 2001).*

ISBN: 978 – 960 – 99996 – 5 - 6

ΣΠΜΕ

ΣΥΛΛΟΓΟΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΛΛΑΔΑΣ