

ΤΟ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΕΛΑΦΡΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ Ο.Σ.

**ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΓΚΙΟΚΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται σε ένα νέο τύπο σκυροδέματος, το Αυτοσυμπυκνούμενο Ελαφροσκυρόδεμα.. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει τους τρόπους επίτευξης αυτοσυμπύκνωσης, τις κατηγορίες ελαφροσκυροδεμάτων, τα βασικά του συστατικά και χαρακτηριστικά καθώς και σύγκριση με το κοινό σκυρόδεμα. Επίσης παρατίθενται οι τελευταίες έρευνες και, στοιχεία για την αντλησιμότητά του, εφαρμογές του και εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Αυτοσυμπυκνούμενο Ελαφροσκυρόδεμα (ΑΣΕΣ) είναι ένα είδος σκυροδέματος με υψηλή αντοχή, μικρότερο ειδικό βάρος και επαρκή εργασιμότητα, πλεονεκτεί έναντι του συμβατικού, κυρίως σε κατασκευές μεγάλης κλίμακας. Η χρήση του αποσκοπεί στη μείωση τόσο των φορτίων ιδίου βάρους, όσο και του μεγέθους των διατομών των μελών της κατασκευής, αποβλέποντας εν τέλει στη μείωση του κόστους. Σε αυτή την κατεύθυνση αναπτύχθηκε το Αυτοσυμπυκνούμενο Ελαφροσκυρόδεμα (ΑΣΕΣ) έχοντας χαρακτηριστικά αυτοσυμπύκνωσης και ανθεκτικότητα στο χρόνο ώστε να ικανοποιεί τις παραπάνω ανάγκες.

Οι σημαντικότερες παράμετροι που καθορίζουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος αυτού είναι :

- η πυκνότητα και η ποσότητα των ελαφροβαρών χονδρόκοκκων αδρανών
- η ποσότητα των τσιμεντοειδών υλικών
- ο λόγος νερού προς τσιμεντοειδή υλικά
- και οι ποσότητες των εκάστοτε πρόσθετων και πρόσμικτων (υπερρρευστοποιητές, σταθεροποιητές, πληρωτικά πρόσθετα)

Ρυθμίζοντας αυτά τα συστατικά μπορεί να παραχθεί σκυρόδεμα υψηλής αντοχής μέχρι και 60 MPa και σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματά του, το καθιστά άκρως ανταγωνιστικό και ικανό να αντικαταστήσει το συμβατικό σκυρόδεμα.

Ο γενικός όρος ελαφροβαρές σκυρόδεμα ή ελαφροσκυρόδεμα, αναφέρεται σε οποιοδήποτε σκυρόδεμα με πυκνότητα που έχει προκύψει μετά από ξήρανση σε κλίβανο (πυκνότητα κλιβάνου-oven dry density) που κυμαίνεται από 300- 2000 kg/m³. Η ξήρανση σε κλίβανο είναι προτυποποιημένη και προϋποθέτει θέρμανση εικοσιτετράωρης διάρκειας στους 105°C και ωριαίες διαδοχικές θερμάνσεις μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους του δοκιμίου με αντίστοιχες θλιπτικές αντοχές κύβου από 1-60 MPa και συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας από 0.17-0.86 kcal/mh °C.

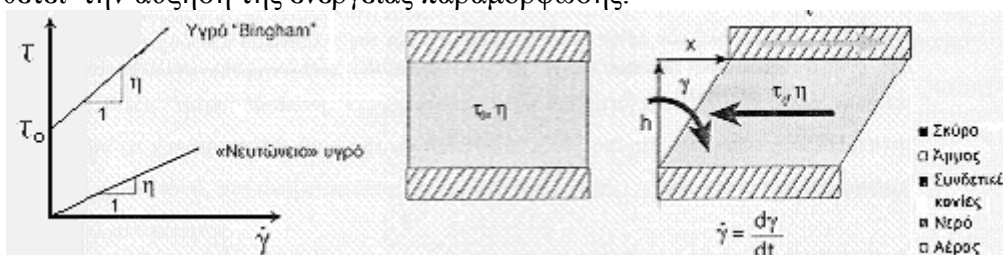
Ο όρος αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα αναφέρεται στο σκυρόδεμα εκείνο που σε νωπή κατάσταση έχει την ικανότητα να τοποθετείται στους ξυλοτύπους και να διέρχεται μέσα από τον οπλισμό μόνο με τη δύναμη της βαρύτητας χωρίς τη χρήση δονητών ή άλλης εξωτερικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί την ομοιογένεια του. [1],[4]

2.ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Προκειμένου το νωπό σκυρόδεμα να πληρώσει όλες τις πτυχές ενός τύπου, δίχως μηχανική δόνηση, πρέπει να χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό παραμορφωσιμότητας (ρευστότητας) συγκρίσιμο με αυτό ενός ρευστού μέσου. Η αύξηση της ρευστότητας του τσιμεντοπολλτού ενός σκυροδέματος επιτυγχάνεται με την αύξηση του λόγου νερού προς τσιμεντοειδή υλικά (N/TY) ή με την προσθήκη υπερρρευστοποιητή. Επίσης ζητούμενο είναι το σκυρόδεμα με

χαρακτηριστικά αυτοσυμπύκνωσης, να έχει κατά τη νωπή του φάση αυξημένη αντίσταση έναντι διαχωρισμού. Αν η τάση των συστατικών του προς απόμιξη είναι έντονη, δεν θα καταστεί δυνατή η διέλευση του μίγματος από στενά ανοίγματα, λόγω έμφραξης των πιο χονδρόκοκκων αδρανών στα χείλη των ανοιγμάτων. Έτσι, η ζητούμενη αύξηση της αντίστασης έναντι διαχωρισμού του νωπού σκυροδέματος επιτυγχάνεται μέσω της αύξησης του ιξώδους του τσιμεντοπολτού. Το ιξώδες είναι αντιστρόφως ανάλογο του λόγου N/TY και του λόγου αδρανών προς τσιμεντοειδή υλικά. Επίσης, η αύξηση της αντίστασης έναντι διαχωρισμού επιτυγχάνεται και με την ορθολογική διαβάθμιση των αδρανών ή με την προσθήκη ενός ειδικού χημικού παράγοντα. Επομένως, είναι απαραίτητο να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη μελέτη σύνθεσης βρίσκοντας το όριο της ρευστότητας του σκυροδέματος προτού φθάσει σε διαχωρισμό.

Αναλυτικότερα, αύξηση της παραμορφωσιμότητας του μίγματος προϋποθέτει τη μείωση της ενέργειας η οποία δαπανάται μέσω της τριβής, είτε ενδοστρωσιακής (λόγω σύγκρουσης και αλληλεμπλοκής των αδρανών κατά τη ροή του σκυροδέματος), είτε στο όριο του ρέοντος σκυροδέματος με το σταθερό υπόστρωμα. Αντιθέτως, η αύξηση του ιξώδους του μίγματος προϋποθέτει την αύξηση της ενέργειας παραμόρφωσης.



Σχήμα 1 Προσομοιώματα συμπεριφοράς αιωρημάτων λόγω διατμητικής παραμόρφωσης (κατά τη ροή) με παραμέτρους το όριο έναρξης ροής, τ_0 και το πλαστικό ιξώδες, η [1]

Εάν το ιξώδες του τσιμεντοπολτού αυξηθεί μέσω της μείωσης του λόγου νερού προς τσιμεντοειδή υλικά, τότε επιβάλλεται η χρήση υπερρρευστοποιητή για την αύξηση της παραμορφωσιμότητας του μίγματος. Οι υπερρρευστοποιητές νέας γενιάς είναι πλέον σε θέση να δράσουν ανεξάρτητα, επιφέροντας μικρή μόνο απώλεια του ιξώδους του τσιμεντοπολτού, επιτρέποντας έτσι την - εντός συγκεκριμένου εύρους τιμών - συνύπαρξη φαινομενικά αλληλοκρούμενων ιδιοτήτων, όπως είναι η υψηλή ρευστότητα και η συνεκτικότητα του μίγματος. Η συμπεριφορά των νωπών τσιμεντοειδών αναμιγμάτων προσομοιώνεται με εκείνη των πλαστικών υγρών, σύμφωνα με την εξίσωση του Bingham:

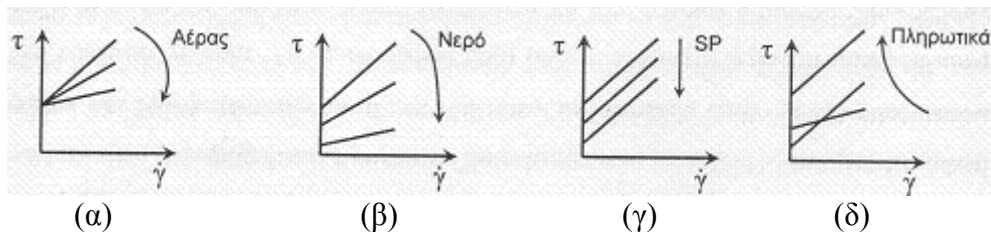
$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \dot{\gamma}$$

όπου: τ η εσωτερική διατμητική τάση

$\dot{\gamma}$ ο ρυθμός ανάπτυξης της τάσης αυτής

τ_0 το όριο έναρξης ροής, δηλαδή η κρίσιμη τιμή της διατμητικής τάσης, κάτω από την οποία το υλικό συμπεριφέρεται ως απλό (Νευτώνειο) υγρό (όσο μικρότερο το τ_0 , τόσο πλησιέστερα στη συμπεριφορά απλού υγρού βρίσκεται το μίγμα) και η_{pl} , το πλαστικό ιξώδες του υλικού (μέτρο αντίστασης ροής ενός υλικού, λόγω της εσωτερικής του τριβής).

Έτσι, αύξηση του νερού ανάμιξης έχει μεν ως αποτέλεσμα τη μείωση του ορίου έναρξης ροής αλλά και του πλαστικού ιξώδους του μίγματος. Οι Okamura et al.(2003) κατάφεραν να ανατρέψουν αυτή την αντίφαση, ελέγχοντας και ρυθμίζοντας ανεξάρτητα τις τιμές του ορίου έναρξης ροής και του πλαστικού ιξώδους του τσιμεντοπολτού με την κατάλληλη χρήση υπερρρευστοποιητών και κατάλληλα επιλεγμένης περιεκτικότητας και κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών (για την αύξηση της συνοχής του μίγματος) (Σχήμα 2).[2]



Σχήμα 2. Μεταβολή του ορίου έναρξης ροής, τ_0 και του πλαστικού ιξώδους, n , με αύξηση της ποσότητας (α) του αέρα, (β) του νερού, (γ) του υπερρευστοποιητή και (δ) των πληρωτικών. [1]

3.ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

Τα ΕΣ χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες με βάση τα αδρανή:

- Σε αυτά με ελαφρά αδρανή, που περιέχουν αδρανή μεγάλου πορώδους
- Στα κυψελωτά, που δεν περιέχουν, κατά κανόνα, χονδρόκοκκα αδρανή, ενώ ο τσιμεντοπολτός χαρακτηρίζεται από μεγάλο πορώδες
- Στα σκυροδέματα χωρίς λεπτόκοκκα αδρανή, που παρασκευάζονται από συνηθισμένα αλλά χονδρόκοκκα αδρανή και εμφανίζουν σημαντικό πορώδες

Από άποψη λειτουργίας χωρίζονται σε :

- Δομικά σκυροδέματα, που έχουν ικανοποιητική αντοχή για την κατασκευή φερόντων δομικών στοιχείων
- Μόνωσης, που έχουν πολύ μικρή αντοχή και χρησιμοποιούνται για θερμομόνωση και ηχομόνωση
- και δόμησης-μόνωσης, που έχουν μέτρια αντοχή και χρησιμοποιούνται για να φέρουν μικρά φορτία (π.χ. ίδιο βάρος) αλλά και για μόνωση.[1]

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του Αυτοσυμπυκνούμενου Ελαφροσκυροδέματος (ΑΣΕΣ) πρέπει γενικώς να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 206-1 για αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα καθώς δεν έχει αναπτυχθεί σχετικό πρότυπο για το ΑΣΕΣ. Τα υλικά θα είναι κατάλληλα για την χρήση που προορίζονται και δεν πρέπει να περιέχουν επιβλαβή συστατικά σε ποσότητες που μπορεί να είναι επικίνδυνες για την ποιότητα, την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος ή την διάβρωση του οπλισμού.

ΤΣΙΜΕΝΤΟ

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

ΑΔΡΑΝΗ

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

ΝΕΡΟ

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

ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται θα ικανοποιούν το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934-2. Οι υπερρευστοποιητές είναι θεμελιώδες συστατικό του ΑΣΕΣ για την εξασφάλιση της κατάλληλης εργασιμότητας. Όταν είναι αναγκαίο μπορούν να προστεθούν και άλλοι τύποι προσθέτων, όπως ρυθμιστές ιξώδους (viscosity modifying agents, VMA) για την αντίσταση

σε απόμιξη, αερακτικά για την βελτίωση της αντίστασης σε ψύξη-απόψυξη, επιβραδυντές για την ρύθμιση της πήξης κ.ά. Επιπροσθέτως θα πρέπει να παρέχονται από τον προμηθευτή πλήρη στοιχεία για τις ιδιότητες του προσθέτου.

ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ (ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΠΛΗΡΩΤΙΚΩΝ (FILLERS) ΚΑΙ ΧΡΩΣΤΙΚΩΝ)

Τα πρόσμικτα Τύπου I (περίπου αδρανή)

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

- Χρωστικές ουσίες που συμμορφώνονται με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12878

έχουν γενικώς αποδεχθεί κατάλληλα για την παραγωγή ΑΣΣ.

Τα πρόσμικτα Τύπου II (ποξολανικά ή λανθάνοντα υδραυλικά)

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

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

έχουν γενικώς αποδεχθεί κατάλληλα για την παραγωγή ΑΣΣ.

ΙΝΕΣ

Οι συνήθεις ίνες από χάλυβα ή από πολυμερή, χρησιμοποιούνται στο ΑΣΕΣ όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα για την βελτίωση των ιδιοτήτων του. Οι μεν χαλύβδινες χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της καμπτικής αντοχής και ενέργειας θραύσεως, οι δε πολυμερείς για την μείωση της απόμιξης, της πλαστικής συρρίκνωσης, της μικρορηγματώσης και της ανθεκτικότητας σε πυρκαϊά. Οι διεργασίες ανάμιξης και διάστρωσης θα επαληθεύονται με δοκιμαστικά αναμίγματα και εφαρμογές επίδειξης και θα εγκρίνονται από την επίβλεψη [3],[6]

5.ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση του ΑΣΕΣ είναι :

- Μείωση του χρόνου σκυροδέτησης (λόγω απουσίας του σταδίου της μηχανικής δόνησης)
- Δυνατότητα σκυροδέτησης μελών περίπλοκης γεωμετρίας (π.χ. κλειστοί τύποι με αρνητικές κλίσεις), μελών με ιδιαίτερα πυκνό οπλισμό, ή επίπεδων επιφανειών μεγάλης επιφάνειας (αυτοεπιπέδωση)
- Ελαχιστοποίηση των εργασιών επιδιόρθωσης των σκυροδετημένων στοιχείων λόγω κακοτεχνιών
- Μείωση ιδίου βάρους
- Επίτευξη καλύτερης μόνωσης (ηχομόνωση, θερμομόνωση)
- Μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στο χρόνο διαπερατότητα σε χλωριώδη ιόντα- οξείδωση χάλυβα)
- Μείωση του απαιτούμενου εργατικού δυναμικού ανά σκυροδετούμενο στοιχείο
- Μεγαλύτερη εργονομία στο χώρο σκυροδέτησης
- Αύξηση αντοχής μεταβατικής ζώνης αλλά ταυτόχρονα μείωση αντοχής σκυροδέματος λόγω χαμηλής αντοχής των αδρανών
- Καλύτερη αντλησιμότητα
- Υψηλή υδαταπορροφητικότητα και ανθεκτικότητα σε κύκλους απόψυξης
- Βελτιωμένες εξωτερικές επιφάνειες
- Ικανοποιητική και ομοιόμορφη συμπύκνωση
- Μείωση της διασποράς των τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων
- Μείωση της ηχορύπανσης (δυνατότητα σκυροδέτησης κατά τη διάρκεια περιόδων κοινής ησυχίας, ή πλησίον νοσοκομείων, σχολείων και άλλων δημοσίων κτιρίων σε ώρες λειτουργίας τους)
- Εξάλειψη της φυσικής καταπόνησης από τη χρήση δονητών (π.χ. εξάλειψη αγγειακών δυσλειτουργιών, όπως το σύνδρομο των «λευκών δακτύλων») και της πιθανότητας εργατικών ατυχημάτων

- Μείωση των τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων πλησίον του σημείου σκυροδέτησης
- Δυνατότητα ικανοποίησης περίπλοκων αρχιτεκτονικών απαιτήσεων (π.χ. άψογη απόδοση του αρχιτεκτονικού αναγλύφου εμφανών σκυροδεμάτων.)
- Χρησιμοποίηση συστατικών λεπτού καταμερισμού των οποίων η διάθεση προκαλεί περιβαλλοντικά προβλήματα (π.χ. πληρωτικά από βιομηχανικά παραπροϊόντα, εξαιρετικά λεπτόκοκκα υπολείμματα λατομείων κα.)

Τα ιδιαίτερα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ΑΣΕΣ, τα οποία και αποτελούν τη βασική ειδοποιό του διαφορά με το συμβατικό σκυρόδεμα, επιτρέπουν την ικανοποίηση απαιτήσεων για αυξημένη παραγωγικότητα και ανθεκτικότητα, αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας, υψηλή αισθητική και αειφόρο ανάπτυξη μόνο εάν, παράλληλα, η παραγωγική διαδικασία εξασφαλίζει σε όλα της τα στάδια απόλυτη συμμόρφωση με αυστηρά κριτήρια ποιοτικού ελέγχου. Το μεγαλύτερο μέρος της ευθύνης για την επιτυχία ή την αποτυχία μιας εφαρμογής το φέρει ο εφαρμοστής, ο οποίος έχει επιλέξει τις μεθόδους αξιοποίησης ενός υλικού με συγκεκριμένες ιδιότητες. [2],[5],[6]

6.ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΣΕΣ ΕΡΕΥΝΑ WU ET AL.

Η πιο πρόσφατη μελέτη που έχει εκπονηθεί πάνω στο ΑΣΕΣ είναι αυτή των Wu et al. (2009) στην οποία μελετάται η εργασιμότητα του παραγόμενου σκυροδέματος. Χρησιμοποιήθηκαν αδρανή διογκωμένου σχιστόλιθου φαινόμενης πυκνότητας 1363 kg/m^3 , θλιπτικής αντοχής 6.0 MPa και υδαταπορροφητικότητας 4%, άμμος κανονικής πυκνότητας, τσιμέντο Portland I 42.5R, πληρωτικό ιπτάμενης τέφρας, και ευρέως φάσματος υδατικός μειωτήρας (HRWR). Η συνολική σύνθεση των δύο παραγόμενων μιγμάτων να παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Για την ποσοτικοποίηση της εργασιμότητας των μιγμάτων πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές νωπού σκυροδέματος Slump-flow, V-funnel, L-box και U-box (Πίνακες 2, 3) με τα αποτελέσματά τους να είναι εντός των ορίων για συμβατικό ΑΣΣ (EFNARC, 2005) με εξαίρεση τους χρόνους ολοκλήρωσης της δοκιμής V-funnel, T_v . Με σκοπό τον προσδιορισμό της ομοιόμορφης κατανομής των αδρανών στο σκυρόδεμα και της ύπαρξης ή μη διαχωρισμού διεξήχθησαν οι δοκιμές (α) αντίσταση έναντι διαχωρισμού (GTM) όπου ο συντελεστής SR υποδηλώνει το ποσοστό της μάζας του σκυροδέματος που διήλθε από το κόσκινο, (β) επιφανειακής κάθισης, κατά την οποία μετράται η κάθιση της άνω επιφάνειας του ΑΣΕΣ κατά την νωπή του φάση ώστε να εκτιμηθεί η σταθερότητα του όγκου του και (γ) ομοιομορφίας της κατανομής των αδρανών όπου υπολογίζεται σε κάθε ένα από τα τέσσερα ισοϋψή τμήματα της στήλης του Σχήματος 3 η ποσότητα των αδρανών σε νωπό σκυρόδεμα.

Μίγμα	[kg/m ³]							f _c -28d [MPa]
	Τσιμέντο	Ιπτάμενη τέφρα	Άμμος	ΕΑ	Νερό	HRWR	Νωπή πυκνότητα	
SCLC1	397	170	780	416	187	6.2	1879	42.6
SCLC2	425	182	787	408	176	10.9	1920	50.1

Πίνακας 1.Αναλογίες συστατικών και θλιπτική αντοχή 28 ημερών (Wu et al., 2009),[9]

Τα αποτελέσματα της δοκιμής GTM παρουσιάζονται στον Πίνακα 3. Για το μίγμα SCLC1 ο ρυθμός απώλειας κονιάματος στα 30'¹ μετρήθηκε 0.086% με τιμή μέγιστης απώλειας κονιάματος 0.22% μετά από 5.5 ώρες, ενώ για το μίγμα SCLC2 οι αντίστοιχες τιμές ήταν 0.08% και 0.16% αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές υποδεικνύουν επαρκή σταθερότητα όγκου από τα παραγόμενα σκυροδέματα καθώς, αναφορικά με το ΑΣΣ, οι Hwang et al. (2006) προτείνουν ανώτερες τιμές 0.16% για το ρυθμό απώλειας κονιάματος στα 30' και 0.5% για

¹ Σύμφωνα με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε η αρχική μέτρηση λαμβάνεται μετά από 30'.

τη μέγιστη τιμή της απώλειας κονιάματος. Τέλος, όσον αφορά στη δοκιμή της στήλης διαχωρισμού το μίγμα SCLC1 παρουσίασε σε καθένα από τα τέσσερα ίσα τμήματα της στήλης, ποσοστό αδρανών από 23.9% έως 25.4%, με το μίγμα SCLC2 να έχει αντίστοιχα ποσοστά αδρανών 24.1% έως 26.5%, αποδεικνύοντας την ομοιόμορφη κατανομή των αδρανών στο νωπό σκυρόδεμα. [9]

Μίγμα	t = 0 min		t = 10 min		t = 30 min	
	T ₅₀₀ (s)	D ₁ xD ₂ (mm)	T ₅₀₀ (s)	D ₁ xD ₂ (mm)	T ₅₀₀ (s)	D ₁ xD ₂ (mm)
SCLC1	5.9	760 x 740	6.0	710 x 680	9.2	680 x 690
SCLC2	4.2	780 x 800	4.8	780 x 800	6.6	780 x 770

Πίνακας 2. Εξέλιξη T₅₀₀ και εξάπλωσης στο χρόνο (Wu et al., 2009),[9]

Μίγμα	I _{seg} (%)	SR (%)	T _v (s)	T ₄₀₀	L-box (%)	U-box (mm)
SCLC1	2.9	4.4	23.3	7.5	0.84	6.0
SCLC2	4.2	5.6	17.8	6.3	0.97	3.0

Πίνακας 3. Αποτελέσματα δοκιμών σε χρόνο t=0 min (Wu et al., 2009),[9]



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 3. Δοκιμές (α) σταθερότητας με κοσκίνηση (β) επιφανειακής κάθισης (γ) στήλης [11]

EPEYNA WANG HER-YUNG

Μια ενδιαφέρουσα, και από απόψεως οικολογίας, έρευνα είναι αυτή του Wang (2009) όπου διερευνάται η ανθεκτικότητα ΑΣΕΣ με τη χρήση ανακυκλωμένων αδρανών από εκσκαφή ιλύος στην περιοχή της νότιας Ταϊβάν αφού πρώτα υποβλήθηκαν στις διαδικασίες ξήρανσης, κοσκίνισματος, σχηματισμού σε μορφή δισκίων και τήξης. Τα ανωτέρω αδρανή (Σχήμα 4) έχουν κατασκευαστεί με δύο διαφορετικές φαινόμενες πυκνότητες 800 kg/m³ και 1100 kg/m³ και υδαταπορροφητικότητες 8.9% και 6.4% κ.β., αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα υλικά των μιγμάτων ήταν φυσική άμμος, τσιμέντο τύπου Ι, πληρωτικό ιπτάμενης τέφρας, σκωρία και υπερρευστοποιητής με τις αναλογίες των μιγμάτων να παρατίθενται στο Πίνακα 4.

Τα παραγόμενα μίγματα είχαν μεταβαλλόμενο λόγο N/T και διαφορετικές ποσότητες νερού ανάμιξης (140, 150 και 160 kg/m³). Η εξάπλωση των σκυροδεμάτων ήταν 510 με 580 mm διατηρώντας αυτές τις τιμές ακόμα και 60 λεπτά μετά την ανάμιξη. Μεγαλύτερη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή ανέπτυξαν τα μίγματα με 160 kg/m³ περιεχόμενου νερού, με αυξανόμενη αντοχή για μείωση του λόγου N/T και για τα αδρανή με την μεγαλύτερη πυκνότητα (Σχήμα 5). [8]

(1) Particle density 800 kg/m³ · Dmax=12.7mm
 (2) Particle density =1100 kg/m³ · Dmax=9.5 mm

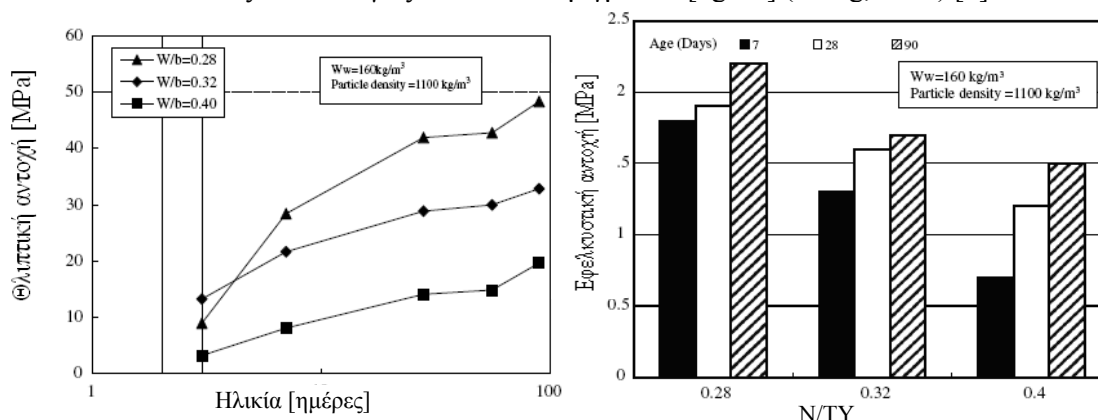


Σχήμα 4. Μορφή των δύο διαφορετικών παραγωμένων ειδών αδρανών (Wang, 2009) [8]

Μίγμα	N/TY	Τσιμέντο	Σκωρία	Ιπτάμενη τέφρα	ΧΑ	ΛΑ	SP	Νωπή πυκνότητα
1	0.28	314	16.8	140.9	289.8	801	9.4	1562
2	0.28	335	18.0	140.9	289.8	801	9.9	1584
3	0.28	382	20.5	140.9	289.8	801	10.8	1634
4	0.32	335	18.1	140.9	289.8	801	7.3	1584
5	0.40	240	12.9	140.9	289.8	801	7.8	1484
6	0.28	244	13.2	211.2	229.7	1200	12.6	1898
7	0.28	280	15.5	211.2	229.7	1200	14.7	1936
8	0.28	315	16.9	211.2	208.8	1200	15.1	1952
9	0.32	256	13.7	211.2	208.8	1200	13.0	1889
10	0.40	170	9.1	211.2	208.8	1200	10.9	1799

Σημείωση: η πυκνότητα των αδρανών στα μίγματα 1-5 είναι 800 kg/m³ ενώ στα μίγματα 6-10 είναι 1100 kg/m³

Πίνακας 4. Αναλογίες συστατικών μιγμάτων [kg/m³] (Wang, 2009) [8]



(α)

(β)

Σχήμα 5. (α) Θλιπτική και (β) εφελκυστική αντοχή για διαφορετικούς λόγους N/T (Wang, 2009), [8]

7.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΣΕΣ ΜΕ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

- Το ΑΣΕΣ παρουσιάζει υψηλότερη αντοχή από το κοινό σκυρόδεμα και έχει καλύτερη εργασιμότητα, καθώς έχει τη δυνατότητα να μεταφέρεται, διαστρώνεται και συμπυκνώνεται καλύτερα.
- Το ειδικό του βάρος είναι μικρότερο, αφού τα αδρανή του είναι ελαφρά. Έτσι μειώνεται το ίδιο βάρος, όπως και οι διαστάσεις των μελών της κατασκευής, με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους ανά μονάδα όγκου.
- Με χρήση ΑΣΕΣ μειώνεται η ανάγκη παρουσίας εξειδικευμένου προσωπικού κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης.
- Το ΑΣΕΣ παρουσιάζει μεγαλύτερο κίνδυνο αποφλοιώσης λόγω πυρκαγιάς και παρόμοια συμπεριφορά σε δράση παγετού.

- Ο χρόνος κατασκευής μειώνεται με χρήση ΑΣΕΣ σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα, καθώς οι αναγκαίες εργασίες κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης μειώνονται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση και του εργατικού κόστους.
- Το ΑΣΕΣ έχει μεγαλύτερη αντίσταση στο διαχωρισμό κατά τη σκυροδέτηση, απ' ότι το συμβατικό, λόγω υψηλής συνοχής.
- Η κρισιμότητα της συντήρησης είναι μεγαλύτερη για το ΑΣΕΣ σε σχέση με το κοινό Σκυρόδεμα
 - Η συστολή ξήρανσης δε διαφοροποιείται σημαντικά από εκείνη του κοινού σκυροδέματος. Βέβαια τα πειραματικά αποτελέσματα σ' αυτήν την περίπτωση είναι αντιφατικά
- Η επιφάνεια τελειώματος του ΑΣΕΣ είναι καλύτερη από αυτήν του συμβατικού σκυροδέματος, με το οποίο μπορούμε να πετύχουμε παρόμοια επιφάνεια τελειώματος μόνο όταν έχουμε πολύ καλή δόνηση.
- Το ΑΣΕΣ έχει μεγαλύτερη αντίσταση στο διαχωρισμό κατά τη σκυροδέτηση, απ' ότι το συμβατικό, λόγω υψηλής συνοχής [1],[2],[4]

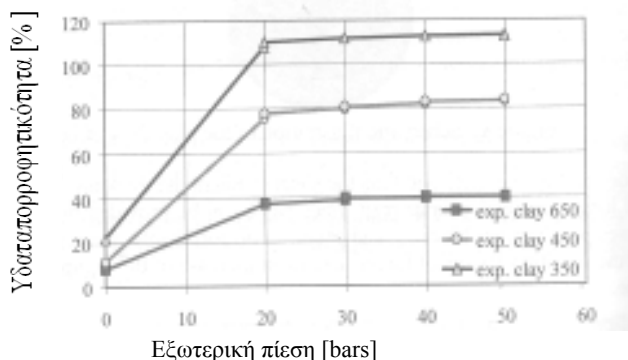
8.ΑΝΤΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΑΣΕΣ

Το 2003 διεξήχθη μια έρευνα με θέμα την προοπτική ενίσχυσης κτιρίων με ΑΣΕΣ (Haist et al., 2003). Τα στοιχεία που οδήγησαν στην παραπάνω διερεύνηση είναι: η συνήθως απαγορευτική για την ενίσχυση κτιρίων, αύξηση του ιδίου βάρους, η επιθυμητή αντλησιμότητα σε περίπτωση δυσπρόσιτων κτιρίων, αλλά και η απαιτούμενη εργασιμότητα και ρευστότητα του αντλούμενου σκυροδέματος.

Από την έρευνα σε επίπεδο εσωτερικής δομής το ΑΣΕΣ κρίνεται κατάλληλο για την άντλησή τους εξής λόγους: α) έχει αυξημένο περιεχόμενο σε λεπτόκοκκα υλικά και κονίαμα, β) το κονίαμα του ΑΣΕΣ μπορεί να ρυθμιστεί κατάλληλα ώστε να έχει υψηλό ιξώδες και να είναι ανεξάρτητο της εξωτερικής πίεσης, αποφεύγοντας το διαχωρισμό αδρανών.

Το σημαντικότερο πρόβλημα που προκύπτει με την αντλησιμότητα του ΑΣΕΣ είναι τα πορώδη των ελαφρών αδρανών. Το μεγάλο πορώδες των ελαφρών αδρανών (εδώ τεχνητά αδρανή διογκωμένης αργίλου) μπορεί να ελεγχθεί εύκολα υπό συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, όμως σε αυξανόμενη εξωτερική πίεση η υδαταπορροφητικότητα αυξάνεται δραματικά (Σχήμα 6). Έτσι υπάρχουν δύο προτεινόμενες μέθοδοι για τον περιορισμό της υδαταπορροφητικότητας των Ελαφρων αδρανών κατά τη διάρκεια της άντλησης.

Η πρώτη μέθοδος που εφαρμόζεται είναι η επικάλυψη των αδρανών με ένα λεπτό στρώμα από πολυμερή ή τσιμεντοειδή υλικά. Ειδικά η τελευταία περίπτωση έχει μελετηθεί και κριθεί ως επιτυχημένη για την περίπτωση της άντλησης σκυροδέματος περιορίζοντας την απορρόφηση των ΕΑ. Ωστόσο, αποτελεί μια πολύπλοκη, χρονοβόρα και ακριβή μέθοδο, και δεν υιοθετείται από τη συγκεκριμένη έρευνα.



Σχήμα 6. Υδαταπορροφητικότητα αδρανών (% κ.β.) υπό αυξανόμενη πίεση (Haist et al., 2003),[7]

Η μέθοδος που εφαρμόζεται και εξετάζεται λεπτομερειακά είναι η επέμβαση στη διαδικασία απορρόφησης των αδρανών κατά την άντληση, η οποία και εξαρτάται από τις ρεολογικές ιδιότητες του απορροφώμενου υγρού, που αποτελεί ένα αιώρημα των υλικών λεπτού καταμερισμού στο νερό. Ο σκοπός είναι να μελετηθεί η σύσταση του αιωρήματος (η οποία και επηρεάζει και τα ρεολογικά του χαρακτηριστικά) και σε συνδυασμό με το μέγεθος του πορώδους των ΕΑ να επιτευχθεί η επιρροή της διαδικασία απορρόφησης. Μόνο σωματίδια με ίσο ή μικρότερο κόκκο από το μέγεθος των πόρων μπορούν να συνεισφέρουν στην παραπάνω διαδικασία. Συμπεραίνεται τε ότι, στην προκειμένη περίπτωση, το υλικό με μέγεθος μικρότερο των 1 μm παίζει σημαντικό ρόλο, αυξάνοντας το ιξώδες του αιωρήματος και επιβραδύνοντας τη διαδικασία εισχώρησής του στο εσωτερικό των αδρανών.

Για τη διερεύνηση της καταλληλότητας του ΑΣΕΣ στην άντληση παρήχθησαν τρία μίγματα, ΑΣΣ με αδρανή κανονικής πυκνότητας (ΚΠΑ), ΑΣΕΣ με κανονικής πυκνότητας άμμο (ΚΑ) και ΑΣΕΣ με ελαφρά άμμο (ΕΑΜ). Οι αναλογίες των συστατικών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Τα παραχθέντα μίγματα εισήλθαν σε ένα ειδικά κατασκευασμένο κλειστό κύκλωμα άντλησης συνολικού μήκους 40 μέτρων (Σχήμα 7) και μετρήθηκαν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά τους τόσο πριν την είσοδό τους (δείγμα Νο 0) όσο και μετά την ολοκλήρωση ενός κύκλου (δείγμα Νο 1), την πάροδο 15 λεπτών (δείγμα Νο 2) και την πάροδο 25 λεπτών (δείγμα Νο 3). Τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων των ρεολογικών δοκιμών εξάπλωσης T_{500} και V-funnel του Σχήματος 8, μας οδηγούν στα εξής συμπεράσματα:

Συστατικά	ΑΣΣ	ΑΣΕΣ-ΚΑ	ΑΣΕΣ-ΕΑΜ
CEM Π32.5R	378	320	338
Ιπτάμενη τέφρα	220	209	218
Νερό ανάμιξης	176	159	165
Υπερρευστοποιητής	3.4	3.2	5.1
Ρυθμιστής ιξώδους	-	0.5	1.0
ΚΑ 0/4	675	640	-
ΚΠΑ 4/8	508	-	-
ΚΠΑ8/16	354	-	-
ΕΒΑ 0/2	-	-	340
ΕΑ 2/10	-	485	429
Νωπή πυκνότητα	2300	1820	1580

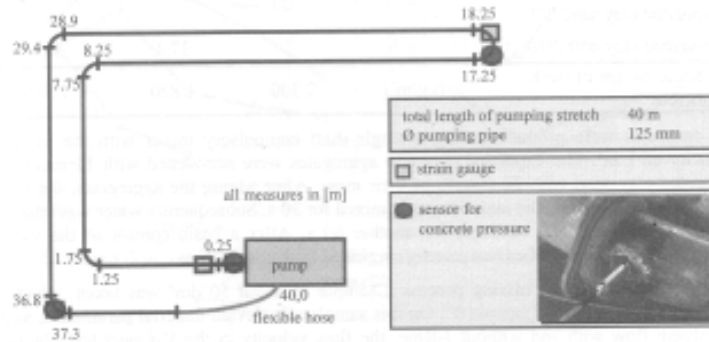
Πίνακας 5. Συστατικά μιγμάτων (Haist et al., 2003),[7]

Το μίγμα ΑΣΕΣ-ΚΑ εμφανίζει τη χειρότερη διατήρηση ρεολογικών χαρακτηριστικών κατά την άντληση με το πέρας του χρόνου. Αντίθετα τα μίγματα ΑΣΣ και ΑΣΕΣ-ΕΑΜ παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά με βελτίωση των ιδιοτήτων μετά τον πρώτο κύκλο άντλησης και σταδιακή απομείωσή τους με το χρόνο. Συγκεκριμένα, το ΑΣΕΣ-ΕΑΜ αναπτύσσει καλύτερα ρεολογικά χαρακτηριστικά τόσο πριν όσο και μετά την έναρξη της άντλησης.

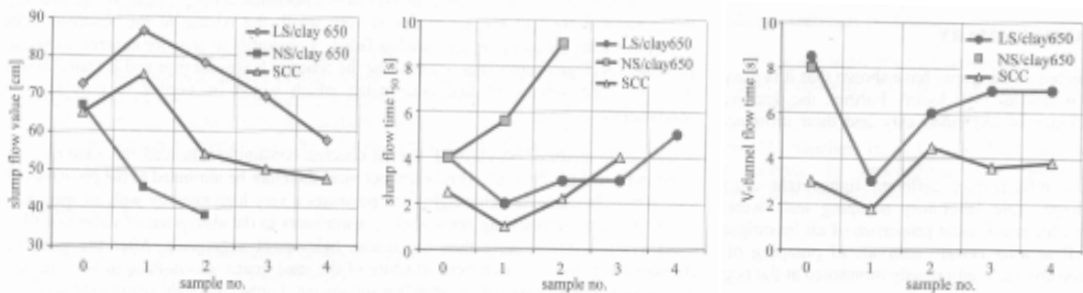
Έχοντας σταθερούς τους όγκους των αδρανών για τα τρία μίγματα, οι διαφορές επικεντρώνονται στο είδος τους. Το μίγμα ΑΣΕΣ-ΚΑ εμφάνισε μια απότομη μείωση της εργασιμότητας μετά την έναρξη της άντλησης οφειλόμενη στην απορρόφηση νερού αλλά και λεπτόκοκκων υλικών από τα ΕΑ κατά την άντληση, ενώ μετά την μείωση της πίεσης η συνολική ποσότητα του αιωρήματος δεν μπορεί να εξέλθει από τους μικρούς εξωτερικούς πόρους των τεχνητών αδρανών αργίλου.

Αντίθετα, στο μίγμα ΑΣΕΣ-ΕΑ δεν παρουσιάστηκε η παραπάνω μείωση της εργασιμότητας οδηγώντας στη διερεύνηση των ιδιοτήτων της ΕΑΜ. Καθώς η ΕΑΜ έχει ένα ανοικτό πορώδες σύστημα χωρίς τεχνητή εξωτερική επικάλυψη, συνεισφέρει στην απορρόφηση του αιωρήματος πολύ περισσότερο από τα ΕΑ διογκωμένης αργίλου. Μόλις η πίεση μειώνεται επιτρέπει στην άμμο να αποδεσμεύσει στο σκυρόδεμα μια μεγάλη ποσότητα του απορροφημένου αιωρήματος. Ακόμη με την παραπάνω διαδικασία η ΕΑΜ φαίνεται να

αντισταθμίζει την απορρόφηση του κονιάματος, καθώς τα ρεολογικά χαρακτηριστικά δεν επηρεάζονται. [7]



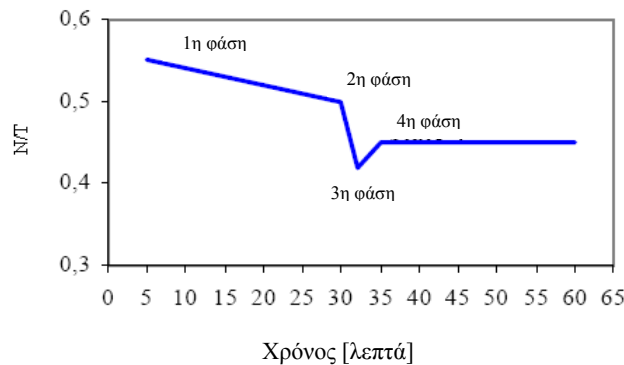
Σχήμα 7. Κλειστό κύκλωμα σωληνώσεων άντλησης σκυροδέματος (Haist et al., 2003) [7]



(α) (β) (γ)

Σχήμα 8. Μεταβολή αποτελεσμάτων (α) δοκιμής εξάπλωσης (β) T_{500} (γ) V-funnel για αυξανόμενο χρόνο άντλησης (Haist et al., 2003) [7]

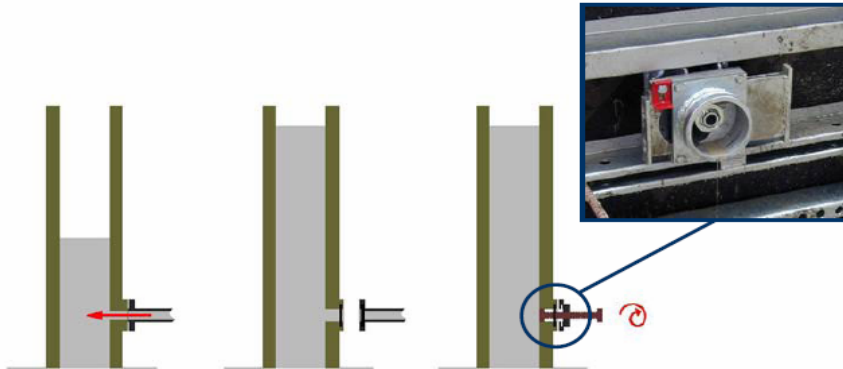
Ακόμη σε μια έρευνα του Πανεπιστημίου Τεχνολογίας του Μπρνο από τους Hela and Hubertova (2005) επισημαίνεται ότι σε περίπτωση μετακίνησης του σκυροδέματος με εποχούμενο αναμικτήρα και ανάμιξης η ποσότητα του νερού του μίγματος πρέπει να αυξάνεται κατά ποσότητα ίση με την ποσότητα του νερού που απορροφάται από τα αδρανή κατά την μεταφορά και την άντλησή τους, λαμβάνοντας υπ' όψιν την απορρόφηση των αδρανών σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Επίσης, αναφέρεται η αναγκαιότητα της προσθήκης σταθεροποιητή ώστε να αποφευχθεί ο διαχωρισμός των αδρανών κατά τη διαδικασία. Η χαρακτηριστική πορεία του λόγου νερού προς τσιμέντο στο ΑΣΕΣ κατά την άντληση δίνεται στο Σχήμα 9 με 1η φάση το τέλος της ανάμιξης, 2η φάση μετά τη μεταφορά στην αρχή της άντλησης, 3η φάση κατά τη διάρκεια της άντλησης, όπου και αναπτύσσεται η μέγιστη πίεση και 4η φάση μετά την άντληση.



Σχήμα 9 Λόγος νερού προς τσιμέντο κατά τις τέσσερις φάσεις (Hela et al., 2005)[7]

.ΧΡΗΣΕΙΣ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ-ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ Ο.Σ.

Το ΑΣΕΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν για κάθε είδους κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς και στις επισκευές δομικών στοιχείων. Συγκεκριμένα ενδείκνυται στην ενίσχυση κατακόρυφων στοιχείων (υποστυλωμάτων), στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται μανδύες, λόγω της ευκολίας ροής του μέσα από πυκνό οπλισμό, αποφεύγοντας έτσι τη δημιουργία αδύναμων περιοχών. Ο τρόπος της σκυροδέτησης μπορεί να γίνει μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων [Σχήματα 10,11]. Ακόμα μπορεί να εφαρμοστεί για την επισκευή βιομηχανικών δαπέδων, γεφυρών, δοκών και πλαισίων οδογεφυρών και για την επισκευή θεμελιώσεων υδραυλικών έργων.



Σχήμα 10. Σκυροδέτηση μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων [11]



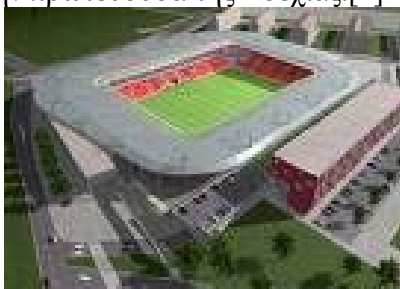
Σχήμα 11. Λεπτομέρεια σκυροδέτησης μέσω εισπίεσης [11]

Επόμενη χρήση του ΑΣΕΣ βρίσκουμε στην κατασκευή του γηπέδου Volkswagen Arena της πόλης Wolfsburg (Γερμανία) όπου κατασκευάστηκαν αρκετά δομικά στοιχεία (συγκεκριμένα στους διαδρόμους των άνω διαζωμάτων του σταδίου) από σκυρόδεμα κατηγορίας LC25/28 D1.6.



Σχήμα 12. Στάδιο Wolfsburg [11]

Το 2007 διεξήχθη μια έρευνα από τη Hubertova (2007) πάνω στην παραγωγή ΑΣΕΣ κατηγορίας LC35/38 D1.8 και την δυνατότητα προκατασκευής δομικών στοιχείων σχήματος L που θα αποτελούσαν σχεδόν το σύνολο των προκατασκευασμένων στοιχείων του σταδίου Eden (χωρητικότητα 21000 θεατών) στην πρωτεύουσα της Τσεχίας.[1]



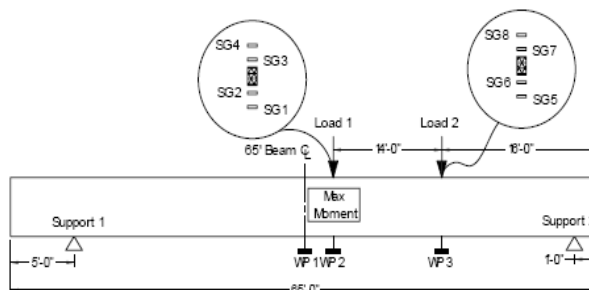
Σχήμα 13. Στάδιο Eden Πράγας (Τσεχία) με δομικά στοιχεία ΑΣΕΣ.[1]

10. ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΑΣΕΣ

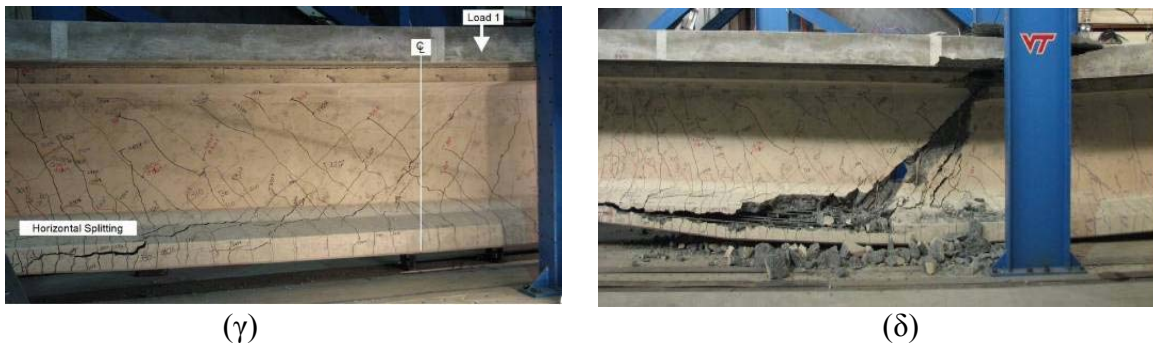
Ένας ακόμα τομέας που αναφέρεται εφαρμογή ΑΣΕΣ είναι αυτός του προεντεταμένου σκυροδέματος. Το 2007 ο Dymond από την Πολυτεχνική Σχολή της Βιρτζίνια των ΗΠΑ, παρουσίασε τη μεταπτυχιακή του διατριβή με θέμα την διατμητική αντοχή προεντεταμένης πλακοδοκού με ΑΣΕΣ (Σχήμα 14α). Η 20 μέτρων μήκους δοκός μελετήθηκε σε διάτμηση με σκοπό την ενδεχόμενη εφαρμογή προεντεταμένου ΑΣΕΣ σε οδογέφυρες. Η σκυροδέτηση έγινε εκτός εργαστηρίου (Bayshore Concrete Products Corporation) με αποτέλεσμα να μη δίνονται στοιχεία για τα χρησιμοποιούμενα στο ΑΣΕΣ συστατικά. Το παραγόμενο σκυρόδεμα ανέπτυξε υψηλές αντοχές, με τιμές 28 ημερών, 61.77 MPa θλιπτική αντοχή, 4.5 MPa εφελκυστική αντοχή και 23.78 GPa μέτρο ελαστικότητας. Η δοκιμή (Σχήμα 14β) διεξήχθη σε δύο στάδια, καθώς στο αρχικό στάδιο με φορτίο έως 623 KN (Σχήμα 14γ) το έμβολο έφθασε το μέγιστο της μετακίνησής του. Στη συνέχεια, μετά από αναπροσαρμογή της πειραματικής διάταξης, συνεχίσθηκε η δοκιμή φθάνοντας μέγιστο φορτίο 1290 KN (Σχήμα 14δ), το οποίο αναφέρεται ότι δεν αποτελεί την αντοχή του δοκιμίου, καθώς της διατμητικής αστοχίας προηγήθηκε η καμπτική αστοχία, με αποτέλεσμα την μεταβολή της τιμής αντοχής. Συμπερασματικά, κρίνεται ότι η χρήση προεντεταμένου ΑΣΕΣ μπορεί να είναι επιτυχής, ωστόσο το αντικείμενο χρήζει περαιτέρω πειραματικής διερεύνησης για τον προσδιορισμό της πραγματικής διατμητικής αντοχής. [1]



(α)



(β)



Σχήμα 14. (α) Προεντεταμένη δοκός από ΑΣΕΣ (β) πειραματική διάταξη (γ) αρχική καμπτοδιατμητική ρηγμάτωση (δ) αστοχία (Dymond, 2007) [1]

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την μελέτη των ερευνών που έχουν γίνει μέχρι στιγμής μπορούμε συμπερασματικά να πούμε ότι όσον αφορά στο ΑΣΕΣ, η μελέτη σύνθεσής του είναι απαραίτητη για την παραγωγή σκυροδέματος με αξιόλογες ρεολογικές και μηχανικές ιδιότητες.

Πιο συγκεκριμένα, αναφορικά με τα επιθυμητά ρεολογικά χαρακτηριστικά, για να παρουσιάσει το μίγμα την απαιτούμενη ρευστότητα η οποία και ποσοτικοποιείται με τη δοκιμή εξάπλωσης (Slump-Flow), παρατηρείται ότι με την μείωση της πυκνότητας του μίγματος αυξάνεται ο χρόνος T_{500} χωρίς να επηρεάζεται όμως η τελική εξάπλωσή του. Αύξηση της εξάπλωσης παρουσιάζεται κατά την αύξηση του περιεχόμενου στο μίγμα νερού ή του όγκου του τσιμεντοπολτού. Παρατηρείται επίσης ότι η αντίσταση σε διαχωρισμό των αδρανών και η ικανότητα αυτοσυμπύκνωσης των μιγμάτων, εξαρτάται από το ιξώδες του κονιάματος και από τη διαφορά των πυκνοτήτων μεταξύ ΕΑ και κονιάματος.

Η προσθήκη κατάλληλου υπερρρευστοποιητή ή ευρέως φάσματος υδατικού μειωτήρα είναι οι συνήθεις επιλογές για την επίτευξη απαιτούμενης εργασιμότητας. Ακόμη η προσθήκη πληρωτικών, συνήθως αντικαθιστώντας μέρος της ποσότητας του τσιμέντου (έως 50%), βοηθάει να διατηρείται η αντίσταση του μίγματος σε διαχωρισμό αδρανών. Συνήθη πληρωτικά είναι η ιπτάμενη τέφρα, το πληρωτικό γυαλιού, η πυριτική παιπάλη και η σκωρία υψικαμίνων

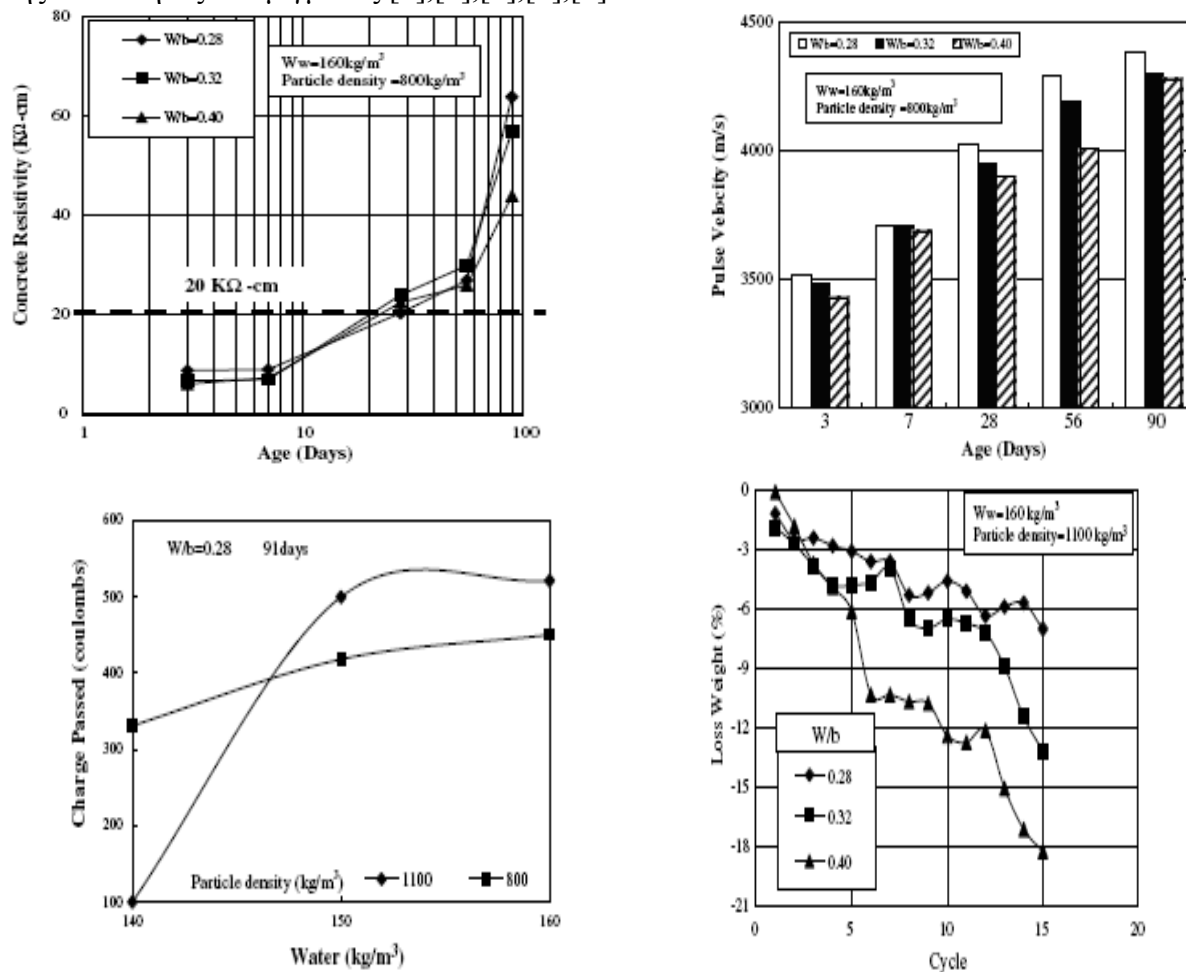
Η χρήση κορεσμένων αδρανών αποδείχτηκε από πειραματικά αποτελέσματα (Hubertova et al. 2006) ότι βοηθάει στην συνεκτικότητα και στην εργασιμότητα του ΑΣΕΣ, βελτιώνοντας παράλληλα και τις φυσικο-μηχανικές ιδιότητές του. Συγκεκριμένα η θλιπτική αντοχή μιγμάτων με ξηρά αδρανή μετρήθηκε 5 MPa μικρότερη από την αντίστοιχη για μίγματα με κορεσμένα αδρανή. Επίσης η αντλησιμότητα του ΑΣΕΣ με αδρανή ανοικτού πορώδους συστήματος αποδεικνύεται καλύτερη συγκρινόμενη με εκείνη του ΑΣΣ.

Παρατηρήθηκε ακόμη ότι η αύξηση του κ.ό. λόγου νερού προς τσιμεντοπολτό προκαλεί μείωση τόσο της διατμητικής αντίστασης όσο και της ρευστότητας του μίγματος, ενώ η προσθήκη ρυθμιστικού ιξώδους σε ποσότητα της τάξεως του 0.3% της μάζας του τσιμέντου του μίγματος οδηγεί σε αντίστροφο αποτέλεσμα.

Όσον αφορά στις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος προκύπτει από τις έρευνες ότι η αύξηση του ποσοστού των λεπτόκοκκων αδρανών ως προς το σύνολο των αδρανών, με τιμές πάνω από 50% , οδηγεί σε μείωση των κενών, αύξηση της πυκνότητας και συνεπώς αύξηση της θλιπτικής αντοχής του μίγματος. Αντίστοιχο αποτέλεσμα παρουσιάζει η προσθήκη πληρωτικού γυαλιού. Μικρότερη αύξηση της θλιπτικής αντοχής παρατηρείται προσθέτοντας ιπτάμενη τέφρα, η οποία όμως συνεισφέρει στη διατήρηση των ρεολογικών χαρακτηριστικών. Οι δοκιμές αποδεικνύουν ότι με την μείωση του παραπάνω λόγου αυξάνεται η αντοχή του σκυροδέματος, ενώ για σταθερό λόγο η αύξηση του όγκου των τσιμεντοειδών (με προφανώς αντίστοιχη αύξηση του όγκου του νερού) οδηγεί επίσης σε μεγαλύτερες αντοχές. Ενδεικτικές τιμές από τα μίγματα

που παρήχθησαν είναι μέγιστη θλιπτική αντοχή 63 MPa, εφελκυστική αντοχή 2.6 MPa και μέτρο ελαστικότητας 13-27 GPa.

Ειδικότερα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προσθήκη ινών μετάλλου σε περιεκτικότητα έως 0.5% του όγκου του μίγματος χωρίς να επηρεάζει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά οδηγεί σε περιορισμό της ψαθυρής αστοχίας του σκυροδέματος και σε αύξηση της απορροφηθείσας ενέργειας έως 100 φορές. Η μείωση του όγκου του νερού βοηθάει στην αποφυγή συστολής ξήρανσης και αύξηση της διαπερατότητας. Τέλος, η ηλεκτρική αντίσταση του σκυροδέματος, που είναι επιθυμητή για αποφυγή διάβρωσης του οπλισμού σε οπλισμένο σκυρόδεμα, παρατηρείται ότι αυξάνει με την μείωση του περιεχόμενου νερού αλλά και με την αύξηση της πυκνότητας του μίγματος.[1],[2],[5],[6],[8]



Σχήμα 15. Αποτελέσματα δοκιμών (α) ηλεκτρικής αντίστασης (β) ταχύτητας διάδοσης υπερήχων (γ)διαπερατότητας σε χλωριόντα και (δ) απώλεια βάρους λόγω διάβρωσης (Wang, 2009)[8]

12.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Καφφετζάκης Μιχάλης (2009), «Μελέτη Μηχανικών και Ρεολογικών Ιδιοτήτων Αυτοσυμπυκνούμενου Κισσηροδέματος», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Παπανικολάου Αικατερινη, Καφφετζάκης Μιχάλης «ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΚΙΣΣΗΡΟΔΕΜΑ» 16ο Πανελλήνιο συνέδριο σκυροδέματος Πάφος, Κύπρος, 2009.

- [2] Κ.Γ.Παπανικολάου, «Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα: Μία καινοφανής τεχνολογία», Εσωτερικό κείμενο Εργαστηρίου Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών .
- [3] Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, Πρόγραμμα Δράσεων για τον Εκσυγχρονισμό της Παραγωγής Δημ. Έργων, Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών (Ι.Ο.Κ), «Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές –Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα», Έκδοση 2.0., Νοεμβρίου 2009 (www.iok.gr/petep/01-01-06-00.pdf)
- [4] Τριανταφύλλου Α. (2004) «Δομικά Υλικά» Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα
- [5] Hwang C. L. and Hung M. F. (2005), «Durability design and performance of self-consolidating lightweight concrete» Construction and Building Materials
- [6] Owens, P. L. (1993), Lightweight aggregates for structural concrete, in Structural Lightweight Concrete, Editor: John L. Clarke, Chapman & Hall, London 1993.
- [7] Haist M., Mechtcherine V., Breitzel H. and Müller S. H. (2003), «Retrofitting of building structures using pumpable self-compacting lightweight concrete» 3rdInternational Symposium on Self-compacting Concrete, Reyjkjavik, Iceland 2003.
- [8] Wang H.Y. (2009), «Durability of self-consolidating lightweight aggregate concrete using dredged silt» Construction and Building Materials V.23
- [9] Wu Z., Zhang Y., Zheng J. and Ding Y. (2009), «An experimental study on the workability of self-compacting lightweight concrete» Construction and Building Materials V.23
- [10] Selbstverdichtender Leichtbeton, BFT, 12/2004.
- [11] . <http://www.stadiumguide.com/volkswagenarena.htm>