

ΡΕΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Αντώνιος Κανελλόπουλος
Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Ματθαίος Ματθαίου
Μεταπτυχιακός Φοιτητής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Μιχάλης Πέτρου
Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Ιωάννης Ιωάννου
Λέκτορας, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Μαρίνα Νεοφύτου
Λέκτορας, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Λέξεις κλειδιά: Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, ρεολογία, αντοχές

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ) είναι ένας νέος τύπος σκυροδέματος με βασικό χαρακτηριστικό τη δυνατότητα ροής διαμέσου πυκνού οπλισμού ή γεωμετρικά σύνθετων δομικών στοιχείων με μοναδική επιρροή το ίδιο του το βάρος. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια σειρά αποτελεσμάτων πάνω στα ρεολογικά χαρακτηριστικά μιγμάτων ΑΣΣ που παρασκευάστηκαν στο Πανεπιστήμιο Κύπρου χρησιμοποιώντας υλικά διαθέσιμα στην τοπική αγορά.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σκυρόδεμα είναι το πιο διαδεδομένο δομικό υλικό με τις εφαρμογές του να ποικίλουν ευρέως. Κάθε χρόνο δεκαπέντε δισεκατομμύρια τόνοι σκυροδέματος χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για τις ανάγκες της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Πλέον, κατά τη μελέτη των κατασκευών τα θέματα της ανθεκτικότητας παρουσιάζουν αυξανόμενο ενδιαφέρον. Σημαντικό ρόλο στην ανθεκτικότητα παίζουν ο επιθυμητός κύκλος ζωής μιας κατασκευής καθώς και η ποιότητα των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή της. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση των κατασκευών από σκυρόδεμα, η ανθεκτικότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την μικροδομή του υλικού καθώς και με τις χημικές και μηχανικές διεργασίες που συμβαίνουν εντός αυτής.

Οι απαιτήσεις για υλικά με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες και αυξημένη ανθεκτικότητα οδήγησαν στη δημιουργία νέων τύπων σκυροδέματος. Η αρχή έγινε στις αρχές της δεκαετίας του '70 με το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής και στη συνέχεια είχαμε την εισαγωγή των ινοπλισμένων σκυροδεμάτων καθώς και των σκυροδεμάτων υψηλής επιτελεστικότητας. Η βελτιωμένη μικροδομή των νέων τύπων σκυροδέματος μπορεί να οδήγησε σε αισθητά καλύτερες μηχανικές ιδιότητες σε σύγκριση με το κοινό σκυρόδεμα, δεν έλυσε όμως ένα βασικό πρόβλημα της τεχνολογίας σκυροδέματος: το πρόβλημα της συμπίκνωσης.

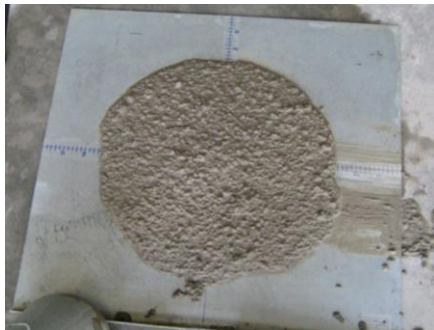
Η σωστή συμπίκνωση του σκυροδέματος είναι μια σημαντική παράμετρος τόσο για τη βραχυπρόθεσμη όσο και την μακροπρόθεσμη συμπεριφορά του υλικού. Ανεπαρκής συμπίκνωση μπορεί να οδηγήσει στην διατήρηση του υφιστάμενου δικτύου τριχοειδών πόρων οι οποίοι βρίσκονται εντός του σκυροδέματος, και κατά συνέπεια στη μείωση της ομοιογένειας του μίγματος επηρεάζοντας άμεσα τις ιδιότητες του υλικού. Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι ο όρος «ανεπαρκής συμπίκνωση» δεν συμπεριλαμβάνει μόνο την κατάσταση κατά την οποία έχει ασκηθεί λιγότερη μηχανική δόνηση από αυτή που απαιτείται. Ανεπαρκής συμπίκνωση μπορεί επίσης να προκληθεί από υπέρμετρη μηχανική συμπίκνωση, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε έντονη απόμιξη και εκτεταμένη εξίδρωση.

Τα τελευταία 20 χρόνια αυξήθηκαν σημαντικά οι απαιτήσεις για υψηλότερες αντοχές και αυξημένη πλαστιμότητα, με αποτέλεσμα την τοποθέτηση πυκνότερου οπλισμού. Κατά συνέπεια, η χρήση δονητών μάζας έγινε δύσκολη και σε αρκετές περιπτώσεις αναποτελεσματική. Η βασική αυτή παράμετρος, σε συνδυασμό με τα υψηλά επίπεδα θορύβου κατά τη διαδικασία της δονητικής συμπίκνωσης καθώς και η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την αξιοπιστία και την ανθεκτικότητα των κατασκευών. Στις αρχές της δεκαετίας του '80 ξεκίνησε να δημιουργείται η ιδέα ενός υλικού που θα έχει την ιδιότητα να αυτό-συμπυκνώνεται ενώ παράλληλα θα έχει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από το κοινό σκυρόδεμα (Okamura 1977). Αυτό το νέο υλικό ονομάστηκε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ) και το πρώτο πρότυπο μίγμα ολοκληρώθηκε το 1988 χρησιμοποιώντας μη εξειδικευμένα υλικά (Okamura & Uchi 2003). Το ΑΣΣ συγκέντρωσε γρήγορα την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας και έγινε ο πιο καινοτόμος τύπος σκυροδέματος, μιας και μπορούσε άμεσα να τεθεί σε πρακτική εφαρμογή.

Το ΑΣΣ μειώνει σημαντικά τους χρόνους διάστρωσης ενώ διασφαλίζει ομοιογενή εξάπλωση του υλικού ακόμα και σε βαριά οπλισμένα δομικά στοιχεία. Η ρευστότητα του καθώς και η αντίστασή του στην απόμιξη διασφαλίζουν υψηλό επίπεδο ομοιογένειας, εξαιρετικά μικρό ποσοστό κενών και ομοιόμορφη κατανομή αντοχών.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τους σκοπούς της ερευνητικής μελέτης που παρουσιάζεται σε αυτή την εισήγηση μελετήθηκαν τρεις σειρές μιγμάτων ΑΣΣ. Τα μίγματα αυτά δημιουργήθηκαν ως αποτέλεσμα μεγάλου αριθμού προκαταρκτικών δοκιμών προκειμένου να επιτευχθούν οι σωστές αναλογίες οι οποίες θα έδιναν μίγματα τα οποία θα είχαν τα χαρακτηριστικά ενός αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Ο χαρακτηρισμός των μιγμάτων ως ΑΣΣ έγινε χρησιμοποιώντας τρεις από τις εμπειρικές πειραματικές διατάξεις όπως αυτές περιγράφονται από τις Ευρωπαϊκές οδηγίες για τη χρήση ΑΣΣ (EFNARC 2005). Πιο συγκεκριμένα έγινε χρήση του μέτρου εξάπλωσης (slump flow test), της χοάνης σε σχήμα V (V-Funnel) και του δοχείου σχήματος L (L-Box) (Εικ. 1).



(α)



(β)



(γ)

“Εικόνα 1. Οι εργαστηριακοί μέθοδοι εμπειρικού χαρακτηρισμού των ρεολογικών ιδιοτήτων του ΑΣΣ: (α) slump test, (β) V-Funnel test και (γ) L-Box test.”

2.1 Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των μιγμάτων ΑΣΣ που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία ικανοποιούν τις απαιτήσεις του EN 206 – 1, το οποίο καθορίζει τις προδιαγραφές των υλικών που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα. Για την παραγωγή των διαφόρων μιγμάτων ΑΣΣ χρησιμοποιήθηκαν τρία είδη τσιμέντου: 32,5 R τύπου CEM-II B, 42,5 R τύπου CEM-II A και 52,5 N τύπου CEM-II B. Η χημική ανάλυση των τσιμεντοκονιών καθώς και η περιεκτικότητά τους στα διάφορα συστατικά παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2.

Πίνακας 1. Χημική ανάλυση τσιμεντοκονιών

		32.5 R CEM-II B	42.5 R CEM-II A	52.5 N CEM-II A
SiO ₂	%	18.98	19.09	19.96
Al ₂ O ₃	%	4.51	4.80	5.05
Fe ₂ O ₃	%	2.31	2.41	2.58
CaO	%	59.06	60.44	60.43
MgO	%	2.15	2.23	2.35
SO ₃	%	2.81	3.45	3.46
Cl-	%	0.031	0.028	0.043
F-	%	0.17	0.19	0.19
Na ₂ O	%	0.41	0.38	0.41
K ₂ O	%	0.57	0.59	0.61
Alkalies	%	0.79	0.77	0.81
LOSS ON IGNITION (950 °C)	%	8.31	5.18	4.08

Πίνακας 2. Συστατικά τσιμεντοκονιών

Συστατικό	%	32.5 R	42.5 R	52.5 N
Κλίνκερ		67,4	78,51	77,54
Γύψος		5,14	5,82	5,69
Ασβέστης		15,42	8,35	4,76
Σκωρία		11,59	6,76	11,02

Ως πρόσμικτο πληρωτικό χρησιμοποιήθηκε κοινή ασβεστολιθική παιπάλη. Χρησιμοποιήθηκε επίσης υπέρ-ρευστοποιητής με βάση τα τροποποιημένα πολυκαρβοξυλικά πολυμερή. Με βάση τις προδιαγραφές του κατασκευαστή το μέγιστο ποσοστό υπέρ-ρευστοποιητή που θα μπορούσε να μπει στο μίγμα αντιστοιχεί στο 3% της ποσότητας του τσιμεντοποιητικού μέσου. Στην περίπτωση μας θεωρούμε ότι αυτό ισούται με το άθροισμα της

τσιμεντοκονίας και της ασβεστολιθικής παιπάλης. Τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη ήταν ασβεστολιθικά χονδρόκοκκα αδρανή κοκκομετρικής διαβάθμισης 4/10 και 8/20, καθώς και λεπτόκοκκα αδρανή κοκκομετρικής διαβάθμισης 0/4 ενώ έγινε χρήση και ψαμμιτικού άμμου. Για όλα τα αδρανή έγιναν μετρήσεις για τον υπολογισμό του ποσοστού υγρασίας καθώς και τον υπολογισμό της απορροφητικότητας τους (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Ποσοστά υγρασίας και απορροφητικότητας αδρανών

Υλικό	Υγρασία (%)	Απορροφητικότητα (%)
Σκύρα 8/20	1,42	3,50
Σκύρα 4/10	0,39	3,60
Άμμος 0/4	2,71	1,60
Ψαμμιτική Άμμος	9,51	1,70

2.2 Πειραματική διαδικασία

Αφού έγινε ο σχεδιασμός των μιγμάτων ακολούθως ζυγίζονταν τα υλικά και τοποθετούνταν σε οριζόντιο αναμικτήρα με την πιο κάτω σειρά: χονδρόκοκκα αδρανή, ασβεστολιθική πούδρα, λεπτόκοκκα αδρανή, τσιμέντο, νερό αναμιγμένο με 30% του υπέρ-ρευστοποιητή και τέλος ο υπόλοιπος ρευστοποιητής. Ακολούθως γίνονταν οι έλεγχοι των ρεολογικών ιδιοτήτων του μίγματος και στη συνέχεια λαμβάνονταν κυβικά και κυλινδρικά δοκίμια. Μετά από 24 ώρες τα δοκίμια τοποθετούνταν σε δεξαμενή υγρής συντήρησης κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) μέχρι και την 28^η ημέρα οπότε και γινόταν ο έλεγχος των μηχανικών ιδιοτήτων. Η παρούσα μελέτη εξετάζει μόνο 2 σειρές μιγμάτων οι οποίες παρουσιάζονται στους Πίνακες 4 και 5.

Πίνακας 4. Αναλογίες μιγμάτων σειράς A.

Μίγμα		A1	A2	A3	A4
CEM II 42.5 R	kg/m ³	350	350	350	350
Νερό	kg/m ³	210	210	210	210
Ασβεστ. Παιπάλη	kg/m ³	175	175	175	175
Σκύρα 8/20	kg/m ³	300	300	300	300
Σκύρα 4/10	kg/m ³	500	500	500	500
Άμμος 0/4	kg/m ³	280	280	280	280
Ψαμμιτική Άμμος	kg/m ³	491	491	491	491
Υπέρ-ρευστοποιητής	kg/m ³	7.5	9	9.375	11.025
% max SP	%	48	57	59.5	70
w/c	-	0.6	0.6	0.6	0.6
w/b	-	0.4	0.4	0.4	0.4

Πίνακας 5. Αναλογίες μιγμάτων σειράς Β.

Μίγμα		B1	B2	B3
Τύπος Τσιμέντου		(42.5R)	(52.5N)	(32.5R)
	kg/m ³	350	350	350
Νερό	kg/m ³	210	210	210
Ασβεστ. Παιπάλη	kg/m ³	175	175	175
Σκύρα 8/20	kg/m ³	300	300	300
Σκύρα 4/10	kg/m ³	500	500	500
Άμμος 0/4	kg/m ³	280	280	280
Ψαμμιτική Άμμος	kg/m ³	491	491	491
Υπέρ-Ρευστοποιητής	kg/m ³	9	9	9
% max SP		57.14	57.14	57.14
w/c	-	0.6	0.6	0.6
w/b	-	0.4	0.4	0.4

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

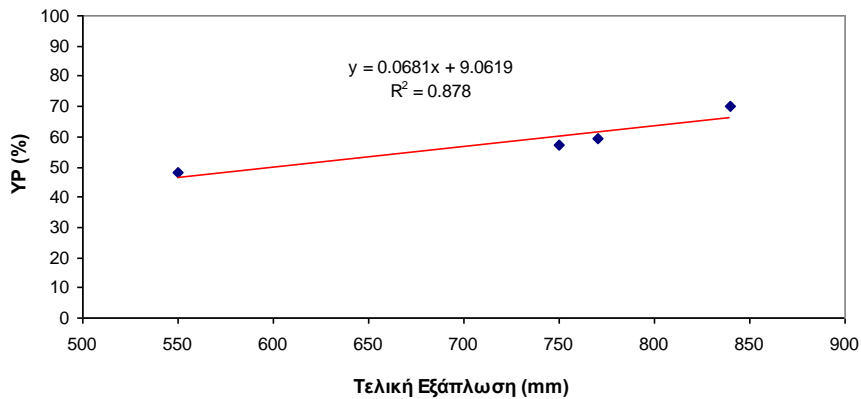
Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει τα ρεολογικά και μηχανικά χαρακτηριστικά για τα μίγματα της πρώτης σειράς:

Πίνακας 6. Ρεολογικά χαρακτηριστικά μιγμάτων σειράς Α

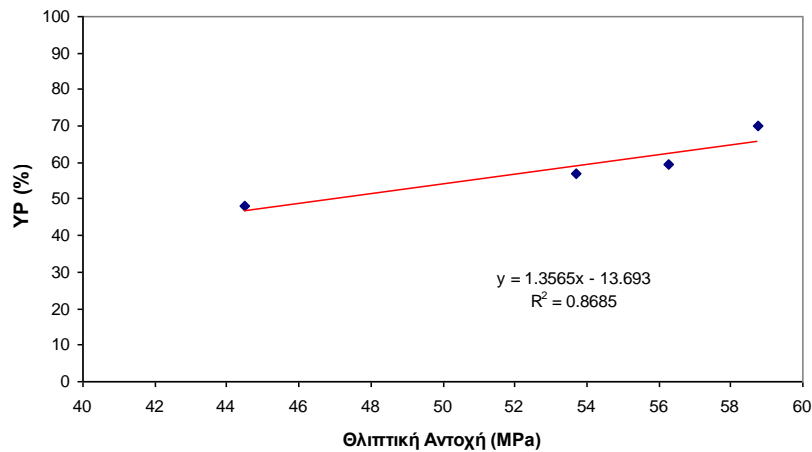
Μίγμα		A1	A2	A3	A4
T500	sec	4	2.3	2.97	2.06
Τελική Εξάπλωση	mm	550	750	770	840
Χοάνη - V	sec	10	6.54	9	7.47
Χοάνη - V @ 5 min	sec	14	7.45	11.94	10
Βαθμός Διέλευσης	%	-	95.6	92.8	99
f _{cu}	MPa	44.51	53.72	56.27	58.75
f _t	MPa	3.23	3	3.18	3.25
E	GPa	-	-	-	-

Τα τέσσερα μίγματα αυτής της σειράς διαφέρουν μόνο στην ποσότητα του υπέρ-ρευστοποιητή που έχει χρησιμοποιηθεί στο καθένα ξεχωριστά (Πίνακας 4). Όπως αναμενόταν αύξηση του υπέρ-ρευστοποιητή οδήγησε

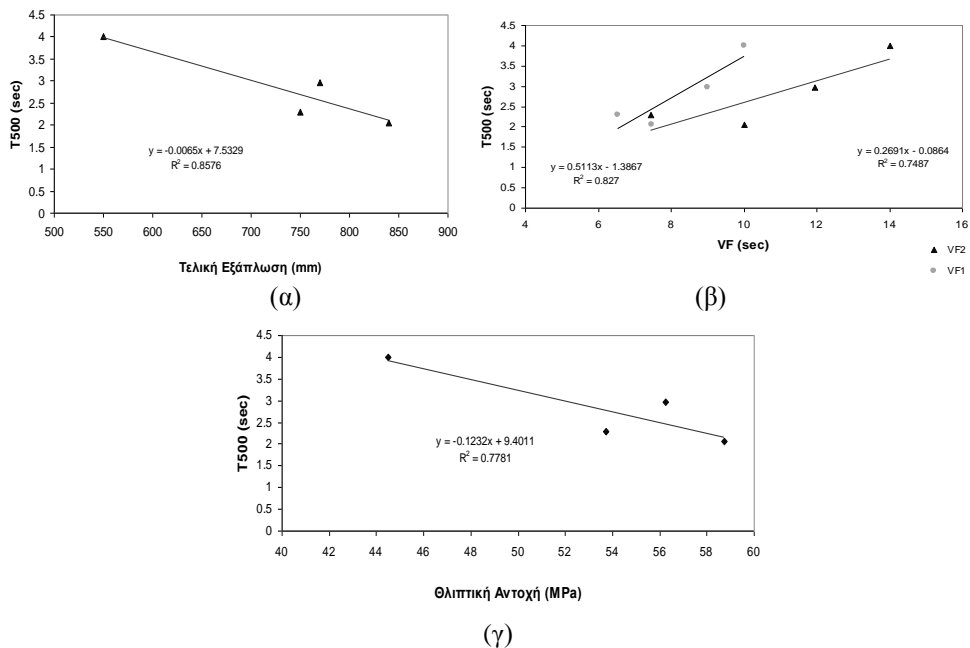
στην ταυτόχρονη αύξηση της τελικής εξάπλωσης του μίγματος, χωρίς όμως αυτή να συνοδεύεται από ανάλογη μείωση του χρόνου T500. Παρομοίως, αύξηση παρατηρείται στις τιμές της θλιπτικής αντοχής καθώς αυξάνει το ποσοστό του υπέρ-ρευστοποιητή. Οι γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν δείχνουν τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα ρεολογικά χαρακτηριστικά και τις μηχανικές αντοχές για τα μίγματα της σειράς A.



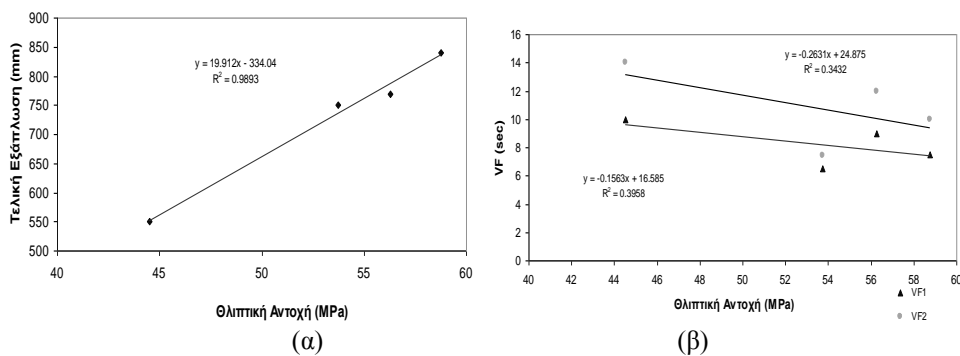
“Σχήμα 1. Σχέση ανάμεσα στη τελική εξάπλωση και το ποσοστό (επί του μέγιστου) υπέρ-ρευστοποιητή (YP) που χρησιμοποιήθηκε στα μίγματα της σειράς A.”



“Σχήμα 2. Σχέση ανάμεσα στη θλιπτική αντοχή και το ποσοστό (επί του μέγιστου) υπέρ-ρευστοποιητή που χρησιμοποιήθηκε στα μίγματα της σειράς A.”



“Σχήμα 3. Σχέση ανάμεσα στο χρόνο εξάπλωσης T500 και (α) την τελική εξάπλωση, (β) τους χρόνους εκροής από την χοάνη V και (γ) την θλιπτική αντοχή.”



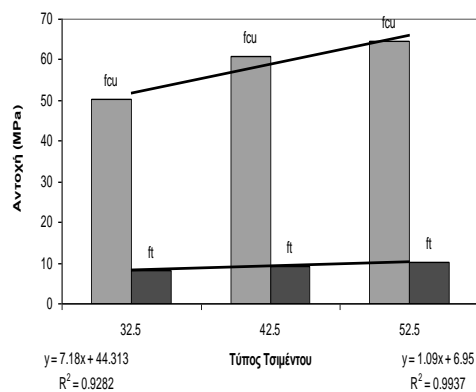
“Σχήμα 4. Σχέση ανάμεσα στη θλιπτική αντοχή και (α) την τελική εξάπλωση, (β) τους χρόνους εκροής από την χοάνη V.”

Ο Πίνακας 7 που ακολουθεί παρουσιάζει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά καθώς και τις μηχανικές ιδιότητες για τα μίγματα της σειράς Β. Όπως ήταν αναμενόμενο η αύξηση της αντοχής της τσιμεντοκονίας οδήγησε σε ταυτόχρονη αύξηση στην αντοχή του τελικού μίγματος. Παρατηρώντας περαιτέρω τις τιμές του Πίνακα 7 διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχουν

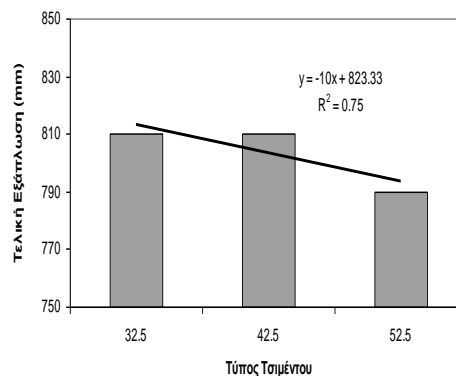
ουσιαστικές διαφορές ανάμεσα στα ρεολογικά χαρακτηριστικά των τριών μιγμάτων. Εν τούτοις στο εργαστήριο ο οπτικός έλεγχος έδειξε ότι όσο αυξανόταν η αντοχή της χρησιμοποιούμενης τσιμεντοκονίας (άρα όσο μειωνόταν η κοκκομετρική της διαβάθμιση) τόσο μεγάλωνε η συνοχή του μίγματος και απομακρυνόταν ο κίνδυνος απόμιξης.

Πίνακας 7. Ρεολογικά χαρακτηριστικά μιγμάτων σειράς Β

Μίγμα		B1	B2	B3
Τύπος Τσιμέντου		(42.5R)	(52.5N)	(32.5R)
T500	sec	2.4	2.66	2
Τελική Εξάπλωση	mm	810	790	810
Χοάνη - V	sec	7.69	10.45	9
Χοάνη - V @ 5 min	sec	11.66	14	12.03
Βαθμός Διέλευσης	%	97	100	100
f _{cu}	MPa	60.98	64.7	50.34
f _t	MPa	9.23	10.17	7.99
E	GPa	30.38	30.7	30.23

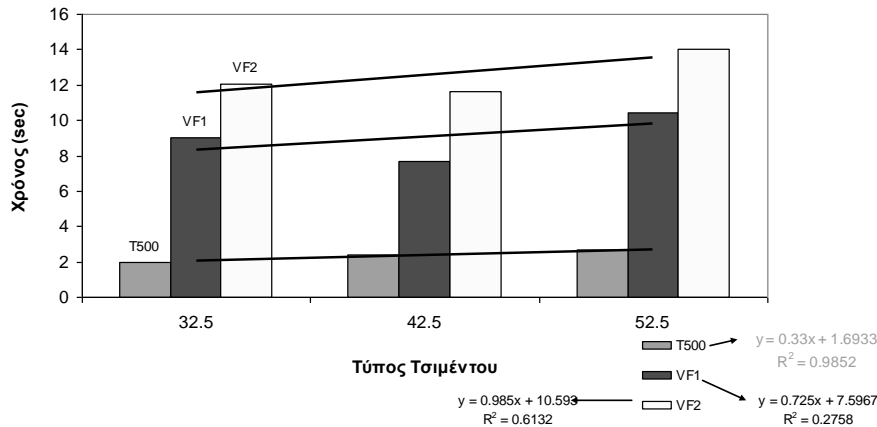


(α)



(β)

“Σχήμα 5. Η επιρροή του τύπου του τσιμέντου πάνω (α) στην αντοχή του τελικού μίγματος και (β) στην τελική εξάπλωση.”



“Σχήμα 6. Η επιρροή του τύπου του τσιμέντου πάνω στους χρόνους εκροής της χόανης καθώς και στο χρόνο T500.”

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζονται δυο σειρές μιγμάτων ΑΣΣ. Στην πρώτη σειρά όπου η μόνη μεταβλητή παράμετρος είναι το ποσοστό του υπέρ-ρευστοποιητή που χρησιμοποιήθηκε στα μίγματα, παρατηρείται μια φυσιολογική αύξηση στην τελική εξάπλωση του μίγματος με την αύξηση του χρησιμοποιούμενου ποσοστού. Επίσης φαίνεται ο υπέρ-ρευστοποιητής να επηρεάζει και τη θλιπτική αντοχή των μιγμάτων, η οποία αυξάνει αυξάνοντας την ποσότητα του υπέρ-ρευστοποιητή. Η συσχέτιση των υπολοίπων ρεολογικών χαρακτηριστικών δεν μπορεί να προσφέρει ασφαλή συμπεράσματα για την ώρα. Στην δεύτερη σειρά μιγμάτων όπου η μόνη μεταβλητή παράμετρος είναι ο τύπος του τσιμέντου, παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα ρεολογικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων. Εν τούτοις ο οπτικός έλεγχος των μιγμάτων στο εργαστήριο έδειξε ότι αυξάνοντας την αντοχή του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου, αυξάνεται παράλληλα η συνοχή του μίγματος και απομακρύνεται το ενδεχόμενο της απόμιξης.

5. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Οι θεμελιώδεις παράμετροι που χαρακτηρίζουν την ρεολογία του ΑΣΣ μπορούν μόνο να προέλθουν από τις αποκαλούμενες καμπύλες ροής που λαμβάνονται με τη βοήθεια ιξωδόμετρων ή ρεόμετρων. Μια καμπύλη ροής ενός ρευστού περιγράφει τη σχέση μεταξύ της διατμητικής τάσης, τ , και του ρυθμού διάτμησης $\dot{\gamma}$. Πολλά ρευστά όπως το νερό και η γλυκερίνη συμπεριφέρονται όπως ένα νευτώνικό ρευστό όπου η διατμητική τάση είναι

ανάλογη προς το ρυθμό διάτμησης όπως εκφράζεται από την εξίσωση 1. Η χαρακτηριστική παράμετρος ενός τέτοιου νευτωνικού ρευστού είναι το δυναμικό ιξώδες, μ .

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (1)$$

Σε αντίθεση με το νευτωνικό ρευστό, το νωπό ΑΣΣ αρχίζει να ρέει μόνο εάν η διατμητική τάση υπερβαίνει την τάση διαρροής τ_0 . Ο απλούστερος τρόπος προσομοίωσης της ρεολογικής συμπεριφοράς του νωπού ΑΣΣ είναι η καμπύλη ροής ρευστού Bingham (εξίσωση 2). Σε αυτή την περίπτωση δύο χαρακτηριστικές παράμετροι είναι απαραίτητες για να περιγράψουν την καμπύλη ροής. Αυτοί είναι η τάση διαρροής τ_0 και το πλαστικό ιξώδες μ_p .

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma} \quad (2)$$

Στόχος αυτής της μελέτης είναι η συσχέτιση των παραμέτρων Bingham (τάση διαρροής και πλαστικό ιξώδες) με μετρήσεις που πάρθηκαν από δοκιμές χαρακτηρισμού του ΑΣΣ. Η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος για τον χαρακτηρισμό της ρεολογικής συμπεριφοράς του ΑΣΣ στη νωπή κατάσταση είναι αυτή της δοκιμής εξάπλωσης. Κατά την διάρκεια της δοκιμής εξάπλωσης μπορεί να γίνει εκτίμηση του ιξώδους του ΑΣΣ μετρώντας απλά το χρόνο που χρειάστηκε το σκυρόδεμα να φτάσει σε μια διάμετρο εξάπλωσης 500mm από την στιγμή που ανυψώνεται ο κώνος.

Για να αξιολογηθεί η επίδραση των ρεολογικών παραμέτρων στη ροή του ΑΣΣ, αναπτύσσεται ένα θεωρητικό μοντέλο με τη βοήθεια της διαστατικής ανάλυσης. Σκοπός της ανάλυσης αυτής είναι να συνδεθούν μέσω μιας μαθηματικής εξίσωσης η ταχύτητα ροής σε διάμετρο εξάπλωσης 500mm, το ιξώδες και η τάση διαρροής. Στόχος της μελλοντικής έρευνας είναι η αξιολόγηση του συγκεκριμένου μοντέλου και κατά πόσο μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα στην περίπτωση των Νευτώνειων ρευστών και στην συνέχεια η εφαρμογή του στην περίπτωση του ΑΣΣ.

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θέλουν να ευχαριστήσουν την τσιμεντοποιία Βασιλικού και συγκεκριμένα τον κύριο Κίμωνα Ευαγόρου για την πολύτιμη συνεισφορά τους στην παρούσα ερευνά.

7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά

Okamura H., “Self-Compacting High Performance Concrete”, *Concrete International*, Vol. 19, No. 7, 1997, pp 50-54.

Okamura H. & Ouchi M., “Self Compacting Concrete”, *Journal of Advanced Concrete Technology – JCI*, Vol.1, No. 1, 2003, pp 5-15.

Πρότυπα (standards)

EFNARC: The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, 2005.

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