

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κωνσταντίνος Γ. Τρέζος

Επίκουρος Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Ιωάννης Π. Σφήκας

Υποψήφιος Διδάκτορας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Λέξεις κλειδιά: αυτοσυμπκνούμενο σκυρόδεμα, χρόνος πήξεως, πορώδες, υδατοπερατότητα, ταχύτητα υπερήχων, συνάφεια

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά του Αυτοσυμπκνούμενου Σκυροδέματος (ΑΣΣ), καθώς και στις νέες απαιτήσεις που ανακύπτουν από τη χρήση του. Παρασκευάστηκαν 33 μίγματα ΑΣΣ 16 διαφορετικών συνθέσεων και οι αναλογίες των συστατικών συγκρίθηκαν με τις αναλογίες που προτείνονται από τη διεθνή βιβλιογραφία. Εξετάστηκε η επιρροή πρόσμικτων στα βασικά ρεολογικά μεγέθη, καθώς και στη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή. Καταγράφηκαν οι επιπτώσεις διαφορετικών συνθέσεων στα βασικά μετρούμενα μεγέθη των δοκιμών ελέγχου των ρεολογικών χαρακτηριστικών του νωπού σκυροδέματος. Μελετήθηκαν η εξέλιξη της πήξεως και της ταχύτητας των υπερήχων συναρτήσει του χρόνου. Διερευνήθηκε η συσχέτιση του πορώδους και της υδατοπερατότητας με τα διάφορα χαρακτηριστικά του ΑΣΣ. Τέλος, εξετάστηκε η επιρροή της χρήσης ΑΣΣ στη συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ΑΣΣ αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες σύγχρονες πρωτοτυπίες στον τομέα των κατασκευών παγκοσμίως. Μέχρι σήμερα, σε διεθνές επίπεδο, το πλήθος των κατασκευών με χρήση ΑΣΣ ως κύριο υλικό είναι αρκετά περιορισμένο, ενώ στον ελληνικό χώρο η χρήση ΑΣΣ περιορίζεται κυρίως σε δευτερεύουσες κατασκευές. Το ΑΣΣ δεν παράγεται ευρέως από τις εταιρίες παραγωγής και συνήθως αναφέρεται ως σκυρόδεμα «ειδικού τύπου». Οι προοπτικές εξέλιξης όμως μπορούν να θεωρηθούν μεγάλες, καθώς οι ελληνικές πρώτες ύλες προσφέρονται για την παρασκευή ΑΣΣ και τα πλεονεκτήματά του νέου υλικού έχουν ήδη αρχίσει να κερδίζουν την εμπιστοσύνη των ερευνητών, γεγονός που αποδεικνύεται από το συνεχώς αυξανόμενο πλήθος δημοσιεύσεων και αναφορών σε ελληνικά συνέδρια (Κως 2003, Αλεξανδρούπολη 2006) και σε επιστημονικές εργασίες.

2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

2.1.Πλεονεκτήματα

Το ΑΣΣ παρουσιάζει μεγάλο πλήθος πλεονεκτημάτων, με κυριότερα τα ακόλουθα:

- δυνατότητα πλήρωσης πυκνά οπλισμένων ή δύσκολων γεωμετρικά ξυλότυπων, χωρίς να απαιτείται δόνηση
- αύξηση της αντοχής και της ανθεκτικότητας, βελτίωση της συνάφειας και της εν γένει ποιότητας της κατασκευής
- μικρότερες απαιτήσεις καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας (εξοικονόμηση ενέργειας) και δραστική μείωση θορύβου στο έργο (εργοταξιακός θόρυβος)
- μείωση επαγγελματικών ασθενειών (καρδιαγγειακά νοσήματα, προβλήματα βαρηκοΐας, δερματικά προβλήματα, κ.λπ.) και ασφαλέστερο εργασιακό περιβάλλον
- μειωμένο κόστος μέσω του περιορισμού του απαιτούμενου εξοπλισμού (αγορά, συντήρηση και χρήση μηχανικών δονητών και εργαλείων φινιρίσματος τελικών επιφανειών) και λόγω της εξάλειψης της ανάγκης για υλικά που χρησιμοποιούνται για την εξομάλυνση και την προετοιμασία του υποστρώματος για την επίστρωση τελικών υλικών δαπέδων (πλακιδίων, ξύλινων δαπέδων)
- μη ιδιαίτερα αυξημένο κόστος παρασκευής συνυπολογιζομένων των μετακατασκευαστικών πλεονεκτημάτων (αποφυγή δαπανηρών επισκευών λόγω του σημαντικά μικρότερου πλήθους ατελειών, μειωμένο κόστος συντήρησης, μεγαλύτερος χρόνος ζωής ξυλότυπων και μεταλλότυπων λόγω της απουσίας της δόνησης που φθείρει το υλικό)

2.2.Ειδικές Απαιτήσεις

Παράλληλα με τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται, η χρήση ΑΣΣ δημιουργεί σημαντικές νέες απαιτήσεις:

- Τα επιμέρους συστατικά του ΑΣΣ επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο τα χαρακτηριστικά του νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος, επομένως πρέπει να συνυπολογίζονται δεδομένα όπως:
 - η περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα υλικά – φύλλερ (συνήθως ασβεστολιθικού τύπου),
 - τα χαρακτηριστικά των αδρανών (κοκκομετρία, ποσοστό περιεχόμενης παιπάλης, σχήμα και μέγεθος κόκκων),
 - τα χημικά χαρακτηριστικά και οι απαιτούμενες ποσότητες ρευστοποιητών, ευρέως φάσματος μειωτήρων ύδατος και τροποποιητικών ιξώδους.

- Οι ρεολογικές ιδιότητες του νωπού ΑΣΣ επηρεάζονται άμεσα και σημαντικά από την περιεχόμενη υγρασία, γεγονός που επιτάσσει η προσθήκη νερού να γίνεται συνυπολογίζοντας με ακρίβεια την περιεχόμενη υγρασία στα αδρανή (προηγμένο σύστημα ελέγχου υγρασίας).
- Το ΑΣΣ παρουσιάζει μικρότερη ανοχή σε διακυμάνσεις της παραγωγής του από ότι το Συμβατικό Σκυρόδεμα (ΣΣ), γεγονός που περιορίζει την επιτυχή παραγωγή του σε μονάδες παρασκευής, στις οποίες ο εξοπλισμός και ο χειρισμός των οργάνων, καθώς και τα υλικά ελέγχονται συστηματικώς λαμβάνοντας υπόψη και τις κλιματικές συνθήκες (υψηλό επίπεδο ποιοτικού ελέγχου).
- Η επιθυμητή σύνθεση καθορίζεται από την επιτελεστικότητα, η οποία επιλέγεται ανάλογα με τις απαιτήσεις για την ικανότητα πλήρωσης, την ικανότητα διέλευσης και τη σταθερότητα κάθε συγκεκριμένης εφαρμογής.
- Η διάστρωση του ΑΣΣ πρέπει να διεξάγεται από έμπειρο τεχνικό προσωπικό (σε επίπεδο επιβλέποντος).
- Οι έλεγχοι των ρεολογικών ιδιοτήτων του νωπού σκυροδέματος θα πρέπει να εκτελούνται με βάση προτυποποιημένες μεθόδους.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Πίνακας 1. Πραγματοποιηθείσες συνθέσεις

A/A	Λεπτόκοκκα (cm)			Αδρανή			Νερό W	Πρόσμικτα		
	C 32.5 kg	C 42.5 kg	F -	G1 2.36-25 kg	G2 4-19 kg	S 0-8 kg		A1 ή %cm	A2 ή %cm	A3 %cm
1	460	-	-	350	525	905	178	1.80	0.80	-
2	460	-	-	350	525	905	178	2.25	1.00	0.70
3	340	-	-	-	680	1160	185	2.25	1.00	0.70
4	340	-	-	-	770	1070	185	4.50	1.25	2.10
5	340	-	-	-	770	1070	185	3.50	1.00	1.40
6	340	-	-	-	770	1070	170	3.50	1.00	1.50
7	340	-	156	-	770	1070	185	3.50	1.25	1.50
8	327	-	150	-	740	1000	168	4.50	1.50	2.10
9	326	-	150	-	739	1001	187	4.50	1.50	2.10
10	322	-	149	-	733	991	190	-	1.50	-
11	323	-	149	-	736	994	199	-	1.50	-
12	317	-	148	-	727	968	198	-	1.50	-
13	315	-	145	-	697	923	191	-	1.75	-
14	-	302	139	-	687	864	183	-	1.75	-
15	-	297	156	-	674	848	180	-	1.50	-
16	147	147	154	-	662	858	180	-	1.50	-

*C: τσιμέντο, F: φίλλερ, G: χονδρόκοκκα αδρανή, S: άμμος, W: νερό, A: πρόσμικτο

Για την παρασκευή των μιγμάτων χρησιμοποιήθηκαν πρόσμικτα τριών εταιριών A1, A2 και A3. Για κάθε σύνθεση παρασκευάστηκαν από ένα έως τρία αναμίγματα με τη χρήση ενός πρόσμικτου κάθε φορά, σύμφωνα με τον Πίνακα 1.

Στο εργαστηριακό μέρος διεξήχθησαν οι ακόλουθες δοκιμές ελέγχου:

- Κάθιση (Slump) νωπού σκυροδέματος με και χωρίς πρόσμικτα για την εκτίμηση της εργασιμότητας του υλικού.
- Δοκιμή Εξάπλωσης (Slumpflow), με την οποία εκτιμάται η ικανότητα πλήρωσης και η ρευστότητα του υλικού.
- Δοκιμή Δακτυλίου J (J-Ring), με την οποία ελέγχεται η ικανότητα διέλευσης – ροής μέσω στενών ανοιγμάτων, καθώς και η ικανότητα πλήρωσης.
- Δοκιμή Χοάνης V (V-Funnel), με την οποία εκτιμώνται η ικανότητα πλήρωσης και η αντίσταση του υλικού σε απόμιξη.
- Δοκιμή Δοχείου L (L-Box), με την οποία εκτιμάται η ικανότητα διέλευσης, αλλά και η ικανότητα πλήρωσης.
- Δοκιμή Δοχείου U (U-Box), με την οποία εκτιμώνται η ικανότητα διέλευσης – ροής μέσω στενών ανοιγμάτων και η ικανότητα πλήρωσης.
- Εξέλιξη της πήξης του σκυροδέματος σε δοκίμιο που προκύπτει από υγρό κοσκίνισμα του νωπού μίγματος και μέτρηση της πίεσης διείσδυσης βελόνας στο νωπό τσιμεντοκονίαμα.
- Μέθοδος των υπερήχων (Ultrasonic Pulse Velocity), με την οποία εξετάζεται η μεταβολή της ταχύτητας των υπερήχων από την νωπή φάση του υλικού μέχρι την απόκτηση της πλήρους αντοχής.
- Μέτρηση υδατοπερατότητας (Waterpermeability), με την οποία εκτιμάται η αντίσταση σε διείσδυση ύδατος και εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με την ανθεκτικότητα.
- Δοκιμή εξόλκευσης (Pull-Out), με την οποία εκτιμάται η συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα οπλισμού.
- Θραύση κυβικών και κυλινδρικών δοκιμίων για τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και της εφελκυστικής αντοχής σε διάρρηξη.

4. ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΙΓΜΑΤΟΣ

Από τη σύγκριση των αναλογιών των συστατικών με τις προτεινόμενες τιμές από τη διεθνή βιβλιογραφία παρατηρήθηκε ότι οι αναλογίες της παρούσας εργασίας προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις μέσες τιμές που προτείνονται από διάφορους διεθνείς και εθνικούς οργανισμούς (ACI, EFNARC, IOK), καθώς και από ερευνητές του εξωτερικού (Okamura, Yurgui et. al., Ambrose et. al.). Οι προτεινόμενες αναλογίες συγκρίθηκαν με τις μέσες τιμές του συνόλου των συνθέσεων (βλ. Πίν. 2, γραμμή «Σφήκας,

1-16»), καθώς και ξεχωριστά με την 16^η σύνθεση (βλ. Πίν. 2, γραμμή «Σφήκας, 16»), η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η πλέον επιτυχημένη ως προς τα αποτελέσματα που έδωσε στους ρεολογικούς ελέγχους.

Πίνακας 2. Σύγκριση αναλογιών συνθέσεων με προτεινόμενες τιμές της διεθνούς βιβλιογραφίας

	Ποσότητες ανά m ³ (kg/m ³)					Ποσοστιαίες αναλογίες (%)							
	C	cm	G	W	P	W/cm	G/B _{tot}	P/B _{tot}	M/B _{tot}	G/AGG	S/AGG	cm/SOL	(cm+S)/AGG
ACI	-	386 475	-	-	-	32 45	28 32	34 40	68 72	-	50	-	-
EFNARC	-	380 600	750 1000	150 210	-	-	27 36	30 38	-	-	50	-	-
IOK	350 450	400 600	-	-	400	-	25	-	-	-	50	-	-
Okamura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	36	22	64
Yurgui et. al.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	46	24	78
Ambros et. al.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	56	18	78
Σφήκας (1-16)	348	425	755	182	613	44	32	26	68	43	57	19	81
Σφήκας (16)	294	448	662	180	635	40	31	29	69	44	56	23	86

*C: τσιμέντο, cm: λεπτόκοκκα (τσιμέντο+φίλλερ), G: χονδρόκοκκα αδρανή, W: νερό, S: άμμος, AGG: αδρανή (σκύρα+γαρμπίλι+άμμος), SOL: στερεά (λεπτόκοκκα+αδρανή), P: πάστα (λεπτόκοκκα+νερό+πρόσμικτα), M: κονίαμα (πάστα+άμμος), W/cm: λόγος νερού προς λεπτόκοκκα, B_{tot}: συνολικό βάρος 1m³ μίγματος

5. ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΩΝ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Από τη διεξαγωγή των ελέγχων που αφορούν στην εκτίμηση των ιδιοτήτων νωπών μιγμάτων ΑΣΣ με εμπειρικές μεθόδους (δοκιμές εξάπλωσης, δακτυλίου J, χοάνης V, δοχείων L και U) εξήχθησαν συμπεράσματα ως προς την επιρροή διαφόρων παραμέτρων στα βασικά μετρούμενα μεγέθη.

Πίνακας 3. Επιρροή βασικών παραμέτρων στα μετρούμενα μεγέθη κατά τη διεξαγωγή των εμπειρικών ή προτυποποιημένων ελέγχων των νωπών ιδιοτήτων των μιγμάτων

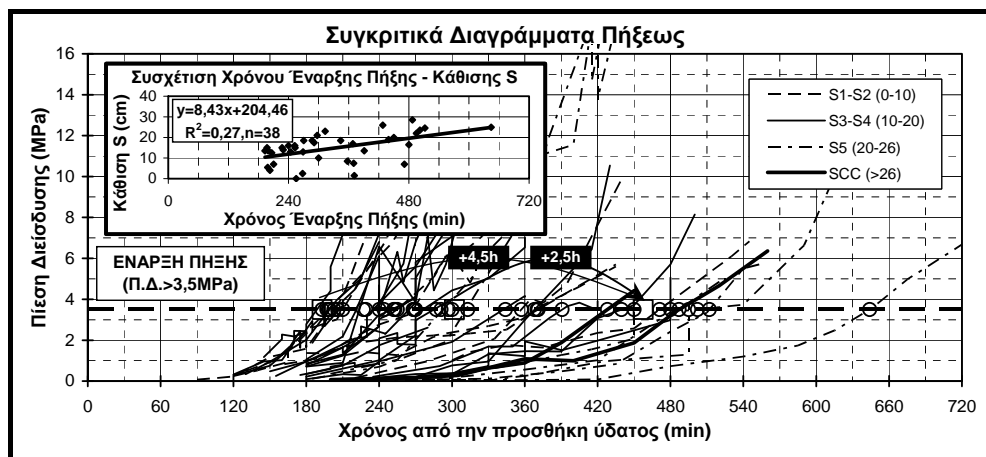
	ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ			
	Αύξηση λόγου N/Λ	Αύξηση λόγου N/T	Αύξηση κάθισης S	Αύξηση θλιπτικής αντοχής f _{cc}
ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	N/Λ	N/T	S	αντοχής f _{cc}
Χρόνος εξάπλωσης TF	-	-	+	+

Χρόνος εξάπλωσης T50	-	-	-	+
Διαφορά χρόνων εξάπλωσης TF-T50	-	-	+	+
Εξάπλωση SF	0	+	+	-
Εξάπλωση SF _J	0	+	+	+
Υψομετρική διαφορά ράβδων Δh _J	-	-	-	-
Χρόνος εκροής T _{V,A}	-	-	-	+
Χρόνος εκροής T _{V,B}	-	+	-	+
Λόγος λ _{H,L} =H _{2,L} /H _{1,L}	-	+	-	-
Χρόνος εξάπλωσης T _{L,20}	+	+	-	+
Χρόνος εξάπλωσης T _{L,40}	+	+	-	+
Υψομετρική διαφορά ΔH _U	+	+	+	-

* [+] αύξηση, [-] μείωση, [0] καμία μεταβολή

6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΑΣΣ ΣΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΠΗΞΕΩΣ

Στο νωπό σκυρόδεμα μετρήθηκε η πίεση διεισδύσεως με σκοπό τον προσδιορισμό του χρόνου πήξεως. Εφαρμόστηκε η Μέθοδος Ελέγχου ΣΚ-313 σε νωπό τσιμεντοκονίαμα, το οποίο προέκυψε μέσω υγρού κοσκινίσματος του νωπού μίγματος ΑΣΣ. Με χρήση δυναμόμετρου μετρήθηκε η αντίσταση σε διείσδυση βελόνας, με την οποία εκτιμάται ο χρόνος πήξεως του σκυροδέματος. Παρατηρήθηκε (Σχ. 1) ότι μίγματα με μικρότερες καθίσεις παρουσιάζουν μικρότερους χρόνους έναρξης πήξης, ενώ τόσο τα μίγματα ΣΣ κατηγορίας κάθισης S5 (20-26cm) όσο και τα μίγματα ΑΣΣ που εν γένει χαρακτηρίζονται από μεγάλες καθίσεις (>26cm) πήζουν αργότερα από το ΣΣ των συνήθων κατηγοριών κάθισης S1-S4 (2.5 έως 4.5 ώρες αργότερα για το ΑΣΣ).

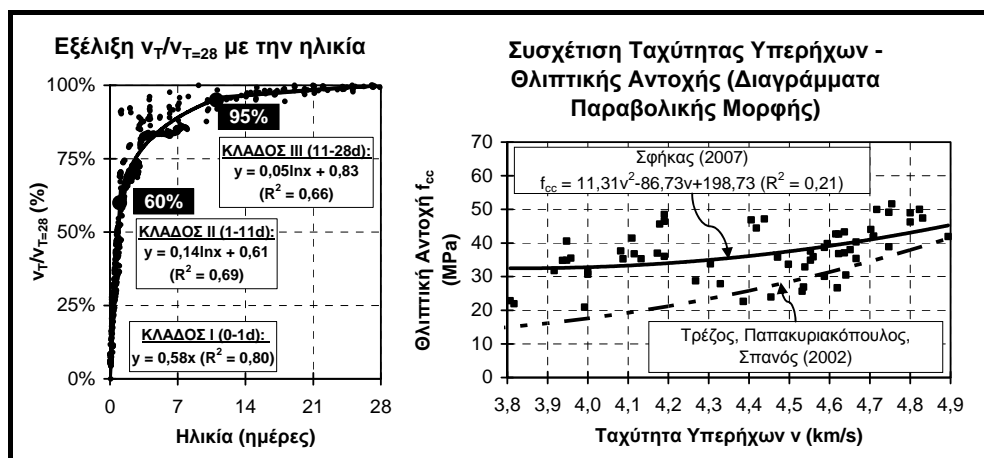


Σχήμα 1. Συγκριτικά διαγράμματα της πίεσης διεισδύσεως μιγμάτων με διαφορετικές καθίσεις

7. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ (ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ) ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η μέθοδος των υπερήχων αποτελεί μια έμμεση μη καταστροφική μέθοδο εκτίμησης της ποιότητας του σκυροδέματος μέσω της καταγραφής της ταχύτητας των υπερήχων σε δοκίμια για διάφορες ηλικίες του σκυροδέματος. Από το σμήνος όλων των διαθέσιμων μετρήσεων προέκυψε τρικλαδική καμπύλη (Σχ. 2Α), με βάση την οποία είναι δυνατή η εκτίμηση της πιθανής μέγιστης τιμής της ταχύτητας των υπερήχων σε οποιοδήποτε δοκίμιο μικρής ηλικίας. Παρατηρήθηκε ότι στις πρώτες είκοσι τέσσερις ώρες η αναπτυσσόμενη ταχύτητα των υπερήχων προσεγγίζει περίπου το 60% της μέγιστης ταχύτητας που θα αναπτυχθεί, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για την ενδέκατη ημέρα προσεγγίζει το 95%.

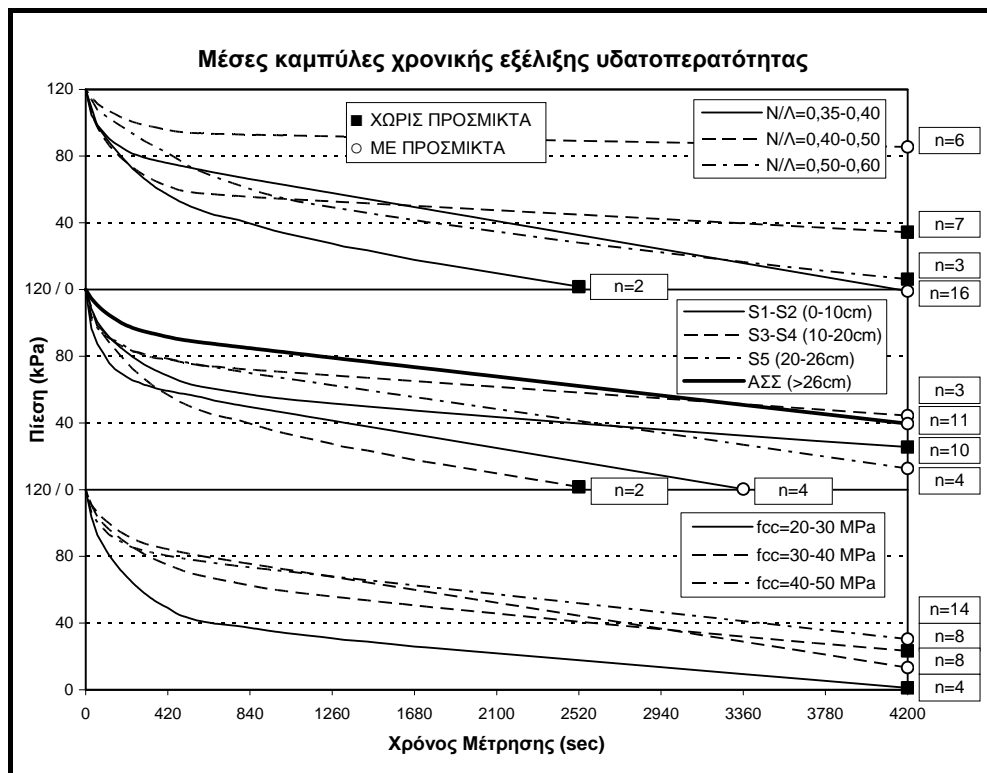
Από την ταχύτητα των υπερήχων σε ηλικία 28 ημερών είναι δυνατόν, με βάση εμπειρικά μοντέλα παραβολικής μορφής (Σχ. 2Β), να εκτιμηθεί η πιθανή θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, πρέπει όμως να τονιστεί ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι ιδιαίτερος χαμηλός ($R^2=0.21$) οπότε οι εκτιμήσεις παρουσιάζουν μεγάλο εύρος του διαστήματος εμπιστοσύνης. Παρατηρήθηκε ότι οι καμπύλες συσχέτισης της θλιπτικής αντοχής κυβικών δοκιμίων με την ταχύτητα των υπερήχων που έχουν προκύψει από συμβατικά σκυροδέματα υποεκτιμούν τη θλιπτική αντοχή των κυβικών δοκιμίων ΑΣΣ. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο σε χαμηλές ταχύτητες (π.χ. για $v=4.2\text{km/s}$ η διαφορά είναι περίπου 12.5MPa).



Σχήμα 2. Α. Τρικλαδικό διάγραμμα εξέλιξης ταχύτητας υπερήχων από την παρασκευή (νωπό σκυρόδεμα) έως τις 28 ημέρες ως ποσοστό της ταχύτητας των 28 ημερών - Β. Καμπύλες συσχέτισης θλιπτικής αντοχής 28 ημερών με την ταχύτητα των υπερήχων.

8. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΔΑΤΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΣΣ

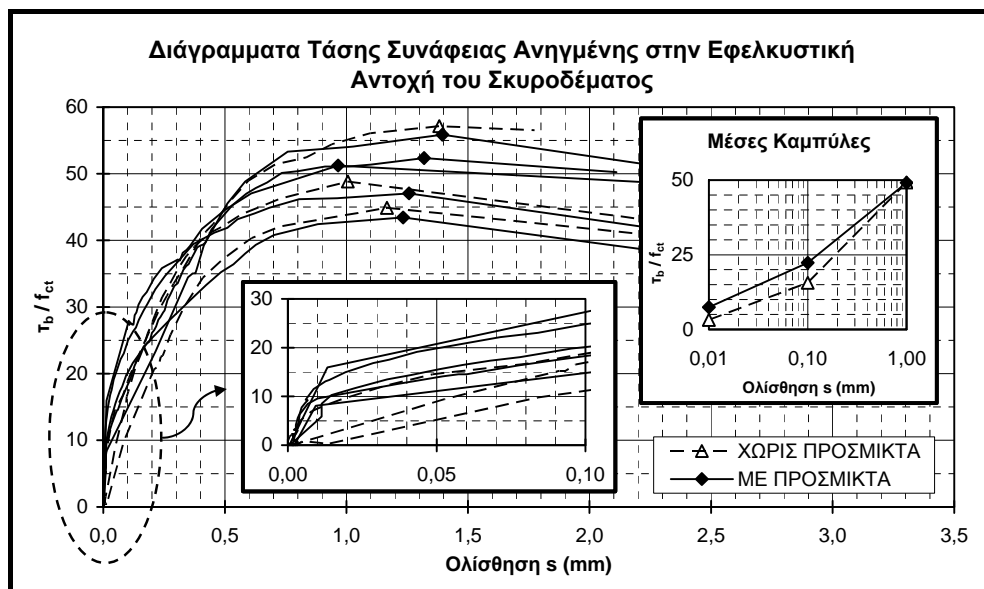
Στα δοκίμια σκυροδέματος διεξήχθησαν μετρήσεις υδατοπερατότητας με χρήση της συσκευής GWT-4000, με την οποία επιβάλλεται αρχική πίεση ύδατος 120kPa στην επιφάνεια του σκυροδέματος, και καταγράφεται η εξέλιξη της επιφανειακής πίεσης (Σχ. 3) συναρτήσει του χρόνου, η οποία σχετίζεται με το επιφανειακό πορώδες και την απορροφητικότητα του σκυροδέματος. Από τις παραπάνω μετρήσεις παρατηρήθηκε ότι μικρότερη υδατοπερατότητα παρουσιάζεται: α) σε μίγματα με χρήση πρόσμικτων στα οποία ο λόγος N/Λ κυμαίνεται μεταξύ 0.40 και 0.50, β) σε μίγματα ΑΣΣ με μεγάλες καθίσεις (>26cm) και γ) σε σκυροδέματα με χρήση πρόσμικτων που αναπτύσσουν θλιπτική αντοχή μεγαλύτερη των 30MPa.



Σχήμα 3. Μέσες καμπύλες χρονικής εξέλιξης υδατοπερατότητας: μεταβολή της πίεσης συναρτήσει του χρόνου ανάλογα με το λόγο N/Λ, την κατηγορία καθίσης S και τη θλιπτική αντοχή f_{cc}

9. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΑΣΣ ΣΤΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ

Στις 28 μέρες μετά τη σκυροδέτηση των δοκιμίων διεξήχθησαν δοκιμές εξόλκευσης για τον προσδιορισμό της τάσης συνάφειας μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος. Από τη σύγκριση μιγμάτων με και χωρίς χρήση πρόσμικτων παρατηρήθηκε (Σχ. 4) ότι τα μίγματα ΑΣΣ με χρήση πρόσμικτων παρουσίασαν μεγαλύτερη ανηγμένη τάση συνάφειας για μικρές ολισθήσεις (μικρότερες των 0.10mm) ενώ για μεγαλύτερες ολισθήσεις οι διαφορές ήταν μικρές. Συγκεκριμένα: η μέση ανηγμένη (προς την αντίστοιχη εφελκυστική αντοχή) τάση συνάφειας ήταν αυξημένη κατά 57% για τιμή ολίσθησης 0.01mm σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή σε μίγματα χωρίς πρόσμικτα. Για ολίσθηση 0.10mm η ανηγμένη τάση συνάφειας ήταν αυξημένη κατά 30%, ενώ για τιμή ολίσθησης ίση με 1.00mm οι ανηγμένες τάσεις συνάφειας ήταν περίπου ίσες.

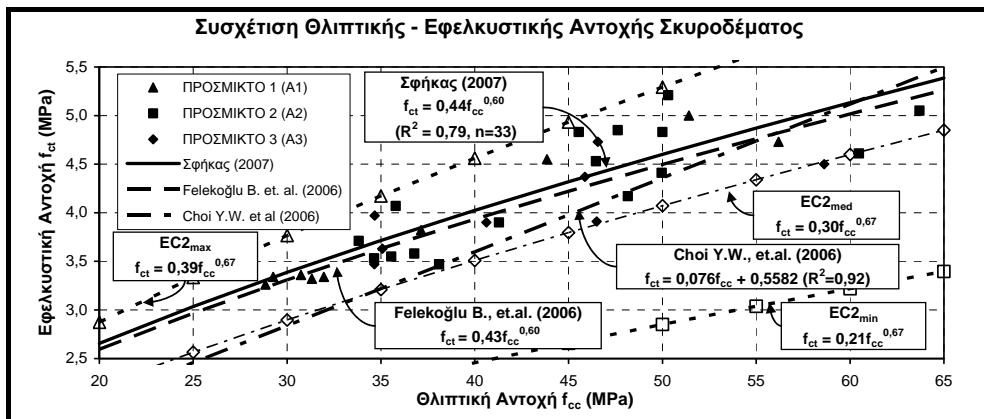


Σχήμα 4. Καμπύλες ανηγμένης τάσης συνάφειας (τ_b/f_{ct}) του σκυροδέματος συναρτήσει της ολίσθησης (s).

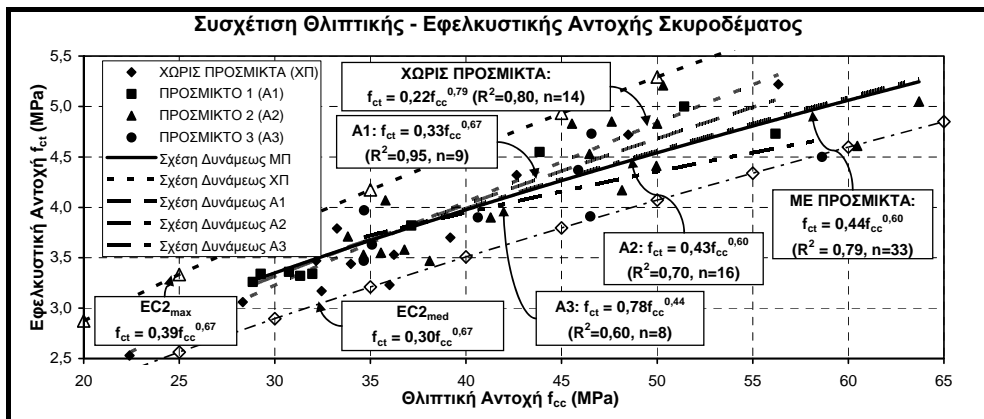
10. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Οι μετρήσεις θλιπτικής αντοχής (σε μονοαξονική θλίψη) και εφελκυστικής αντοχής (σε διάρρηξη) (ΕΛΟΤ 722) των δοκιμίων μιγμάτων ΑΣΣ οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η συσχέτιση των δύο αντοχών ακολουθεί σχέση

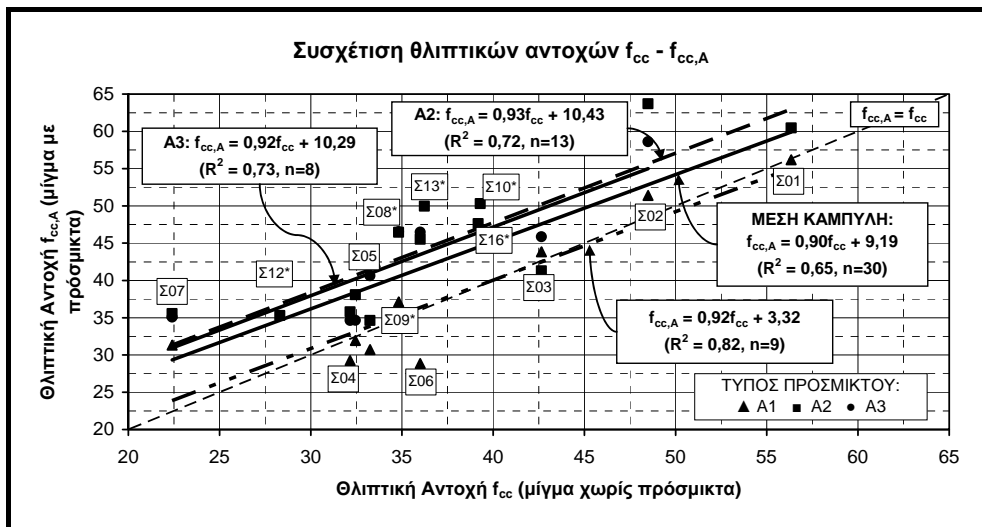
δυνάμεως ($f_{ct}=0.44 \cdot f_{cc}^{0.60}$, $R^2=0.79$, $n=33$). Παρατηρήθηκε (Σχ. 5) ότι σε παρόμοια αποτελέσματα ($f_{ct}=0.43 \cdot f_{cc}^{0.60}$) κατέληξε και άλλη έρευνα από τη βιβλιογραφία (Felekoğlu, 2006). Στα επόμενα διαγράμματα (Σχ. 6, 7) δίδονται οι επιμέρους καμπύλες για μίγματα χωρίς πρόσμικτα και ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο πρόσμικτο (A1, A2 ή A3) και εξετάζεται η επιρροή κάθε πρόσμικτου στη θλιπτική αντοχή. Από τη σύγκριση των καμπυλών με και χωρίς χρήση πρόσμικτων παρατηρήθηκε (Σχ. 6) ότι η προσθήκη πρόσμικτων έχει συνέπεια για μεγάλες θλιπτικές αντοχές (>38MPa) οι αντίστοιχες εφελκυστικές αντοχές να είναι μειωμένες σε σχέση με δοκίμια χωρίς πρόσμικτα.



Σχήμα 5. Καμπύλες συσχέτισης θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής και σύγκριση με καμπύλες της βιβλιογραφίας.



Σχήμα 6. Καμπύλες συσχέτισης θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής μιγμάτων χωρίς χρήση πρόσμικτων και με χρήση πρόσμικτων (ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο πρόσμικτο)



Σχήμα 7. Συσχέτιση θλιπτικής αντοχής μιγμάτων με χρήση πρόσμικτων με τη θλιπτική αντοχή μιγμάτων χωρίς πρόσμικτα

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ΑΣΣ αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες σύγχρονες πρωτοτυπίες στον τομέα των κατασκευών παγκοσμίως με μεγάλες προοπτικές εξέλιξης στον ελληνικό χώρο. Το πλήθος των πλεονεκτημάτων του νέου υλικού είναι σημαντικό, όσον αφορά στη αύξηση των αντοχών και της ανθεκτικότητας, στη βελτίωση της συνάφειας με τον χάλυβα και της, εν γένει, ποιότητας της κατασκευής. Το νέο υλικό απαιτεί παράλληλα ιδιαίτερη προσοχή για την επίτευξη της ευρωστίας του μίγματος, μέσω του σωστού προσδιορισμού των συστατικών του, τον έλεγχο της περιεχόμενης υγρασίας των αδρανών και την επιλογή της επιθυμητής επιτελεστικότητας. Το ΑΣΣ παρουσιάζει μικρότερη ανοχή σε διακυμάνσεις της παραγωγής του σε σχέση με το ΣΣ και επομένως η επιτυχής παραγωγή του προϋποθέτει μονάδες παρασκευής με άρτιο εξοπλισμό, συνεπή χειρισμό οργάνων και ελεγχόμενα υλικά.

Κυριότερα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας είναι τα ακόλουθα:

- Στη σύνθεση του μίγματος: α) ο λόγος Ν/Λ πρέπει να κυμαίνεται περί το 0.40, β) η αναλογία, επί του συνολικού όγκου του μίγματος, πρέπει να ανέρχεται: για τα χονδρόκοκκα αδρανή σε ~ 30%, για την άμμο σε ~ 40% και για την πάστα (τσιμέντο+φίλλερ+νερό+πρόσμικτα) σε ~ 30%.
- Η πήξη μιγμάτων ΑΣΣ καθυστερεί σε σχέση με τα μίγματα ΣΣ κατά 2.5 έως 4.5 ώρες.
- Οι ερμηνευτικές καμπύλες που συσχετίζουν τη θλιπτική αντοχή κυβικών δοκιμών με την ταχύτητα των υπερήχων και οι οποίες έχουν

προκύπτει για συμβατικά σκυροδέματα υποεκτιμούν τη θλιπτική αντοχή των κυβικών δοκιμίων ΑΣΣ. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο σε χαμηλές ταχύτητες (π.χ. για $v=4.2\text{km/s}$ η διαφορά είναι περίπου 12.5MPa).

- Μειωμένη υδατοπερατότητα και συνεπώς μεγαλύτερη ανθεκτικότητα προκύπτει: α) σε μίγματα με χρήση πρόσμικτων με λόγο Ν/Λ που κυμαίνεται μεταξύ 0.40 και 0.50, β) σε μίγματα ΑΣΣ με μεγάλες καθίσεις (>26cm) και γ) σε σκυροδέματα με χρήση πρόσμικτων που αναπτύσσουν θλιπτική αντοχή μεγαλύτερη των 30MPa.
- Για μικρές ολισθήσεις (<0.10mm) το ΑΣΣ παρουσιάζει βελτιωμένη συνάφεια. Πιο συγκεκριμένα, για τις χαρακτηριστικές ολισθήσεις 0.01mm και 0.10 mm το ΑΣΣ παρουσιάζει τιμές ανηγμένης τάσης συνάφειας αυξημένες αντίστοιχα κατά 57% και 30% σε σχέση με το ΣΣ, ενώ για τιμή ολίσθησης ίση με 1.00mm η ανηγμένη τάση φαίνεται να εξισώνεται μεταξύ ΑΣΣ και ΣΣ.
- Η συσχέτιση θλιπτικών και εφελκυστικών αντοχών ακολουθεί σχέση δυνάμεως. Η προσθήκη πρόσμικτων έχει συνέπεια για μεγάλες θλιπτικές αντοχές (>38MPa) οι αντίστοιχες εφελκυστικές αντοχές να είναι μειωμένες σε σχέση με δοκίμια χωρίς πρόσμικτα.

12. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ACI Committee 237, "Self-Consolidating Concrete (ACI 237R-07)", American Concrete Institute (ACI) (2007)

BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA, EFNARC, "The European Guidelines for Self Compacting Concrete" (2005)

Felekoğlu B., Turkel S., Baradane B., "Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete", Building and Environment (2006)

Saak A.W., Jennings H.M., Shah S.P., "New Methodology for Designing Self-Compacting Concrete", ACI Materials Journal, V. 98, No. 6, pp. 429-439, November-December (2001)

Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών (ΙΟΚ), «ΠΕΤΕΠ 01-01-06-00: Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα» (2005)

Σπανός Χ., Σπιθάκης Μ., Τρέζος Κ., «Μέθοδοι για την επιτόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών», ΕΠΑΝΤΥΚ, Τ.Ε.Ε. (2006)

Σφήκας Ι.Π., «Τεχνολογία Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος», Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Δομοστατικός Σχεδιασμός & Ανάλυση Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα (2007)

Τρέζος Κ.Γ., Παπακυριακόπουλος Π., Σπανός Χ., «Βαθμονόμηση των έμμεσων μεθόδων υπερήχων και κρουσίμετρου μέσω πυρήνων και συμβατικών δοκιμίων σκυροδέματος», 4th National Conference of HSNT & 2nd Balkan Conference of BSNDT Athens, (2002)