

ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κ. Κ. Σίδερης, Κ. Γκουζάς, Ε. Διγάλα, Π. Κατσάνης και Β. Στρατηγόπουλος.
Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ, Βασ. Σοφίας 12, 67 100, Ξάνθη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία γίνεται διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης βιομηχανικών παραπροϊόντων στην παρασκευή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος με σκοπό την αύξηση της ποσότητας των λεπτών υλικών του τελευταίου. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν η φαρίνα ηλεκτροφίλτρων, η ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας και η κατεργασμένη τέφρα Πτολεμαΐδας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, τα συγκεκριμένα βιομηχανικά παραπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος δεικνύοντας προσοχή κατά το σχεδιασμό του μείγματος. Η προσθήκη φαρίνας ηλεκτροφίλτρων μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του νωπού μείγματος, μειώνει την ικανότητα διείσδυσης μεταξύ των οπλισμών και οδηγεί σε μείωση των μηχανικών αντοχών. Από την άλλη μεριά οι ιπτάμενες τέφρες απαιτούν αυξημένη ποσότητα τσιμέντου και υπερδιπλασιασμό της δοσολογίας του υπερρευστοποιητή. Τα ΑΣΣ εμφανίζουν ικανοποιητικές -αν και σε κάποιες περιπτώσεις οριακές- ρεολογικές ιδιότητες ενώ οι μηχανικές τους αντοχές αυξάνονται σε όλες τις ηλικίες. Το βάθος ενανθράκωσης παρουσίασε μείωση σε όλα τα μείγματα που παρασκευάστηκαν με βιομηχανικά παραπροϊόντα.

Λέξεις κλειδιά: αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, φαρίνα ηλεκτροφίλτρων, ιπτάμενη τέφρα

SELF COMPACTING CONCRETE PRODUCED WITH INDUSTRIAL BY-PRODUCTS

K.K. Sideris, K. Gyzas, E. Dihala, P. Katsanis and V. Stratigopoulos

*Lab. of Building Materials, Department of Civil Engineers, DUTH, 12 Vas. Sophias str, 671 00
Xanthi*

ABSTRACT: Use of industrial by-products for the production of self-compacting concrete is experimentally investigated in this paper. According to the results of this research, it is possible to produce self-compacting concrete by using cement kiln dust or lignite fly ash. The so produced mixtures performed lower rheological properties (passing ability, segregation resistance) and they required higher amounts of cement and superplasticizer. The compressive strength of the cement kiln dust mixture was significantly reduced; on the other hand the strength of the fly ash mixtures was increased. The carbonation depth of all mixtures produced with industrial by-products was reduced.

Keywords: self-compacting concrete, cement kiln dust, lignite fly ash.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο “αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα” (ΑΣΣ) ονομάζουμε το σκυρόδεμα εκείνο που σε νωπή κατάσταση έχει την ικανότητα να τοποθετείται στους ξυλοτύπους και να διέρχεται μέσα από τον οπλισμό μόνο με την δύναμη της βαρύτητας, χωρίς τη χρήση δονητών μάζας ή άλλης εξωτερικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί την ομοιογένειά του (Okamura and Ouchi, 1999). Κατ’ αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η διαδικασία της διάστρωσης επί τόπου του έργου, αφού το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα ρέει εύκολα μέσα στους τύπους. Επιπλέον με τη χρήση του ΑΣΣ μειώνεται η ακουστική ρύπανση λόγω απουσίας δονητών μάζας και διευκολύνεται η επικοινωνία μεταξύ του τεχνικού προσωπικού, μειώνοντας τον κίνδυνο εργατικών ατυχημάτων. Έχει επίσης αποδειχθεί (Σίδερης, 2003, Persson, 2001) ότι η ανθεκτικότητα του ΑΣΣ είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του συμβατικού σκυροδέματος, λόγω της καλύτερης και πληρέστερης συμπίκνωσης που επιτυγχάνεται. Η χρήση λοιπόν του ΑΣΣ έχει ως αποτέλεσμα την παρασκευή ανθεκτικότερων κατασκευών, αφού η τελική ποιότητα του σκυροδετημένου δομικού στοιχείου δεν εξαρτάται πλέον από το δίπτυχο δονητής μάζας-ικανότητα και προθυμία χειριστού.

Η τεχνολογία του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος πρωτοεμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980 στην Ιαπωνία από τον καθηγητή Okamura, ενώ τη δεκαετία του 1990 άρχισε η παρασκευή του και σε ευρωπαϊκές χώρες, κυρίως στη Σκανδιναβία και στην Ολλανδία. Οι Ιάπωνες είναι οι πρώτοι που έχουν θεσπίσει εθνικούς κανονισμούς για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (Japan Society of Civil Engineers, 1999), ενώ αργότερα σχετικοί κανονισμοί αναπτύχθηκαν και από άλλες χώρες όπως η Γερμανία, η Γαλλία και ορισμένες σκανδιναβικές χώρες. Με τη συγκεκριμένη τεχνολογία έχει ασχοληθεί η RILEM (Rilem, Report 23, 1999), ενώ το Φεβρουάριο του 2002 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Σκυροδέματος (EFNARC) προχώρησε στη σύνταξη σχετικών οδηγιών (EFNARC, 2002). Πρόσφατα (05/2005) παρουσιάστηκε και το σχέδιο του Ευρωπαϊκού Κανονισμού για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

Βασικό στοιχείο για τη βελτιστοποίηση των ρεολογικών ιδιοτήτων του νωπού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος είναι η περιεκτικότητά του σε πολύ λεπτά υλικά, τα οποία ορίζονται ως το άθροισμα της μάζας του τσιμέντου, της μάζας των ποζολανικών προσθέτων (πυριτική παιπάλη, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνων) και της παιπάλης που προέρχεται από την άμμο (ασβεστολιθικό ή πυριτικό φίλλερ). Με τον όρο φίλλερ χαρακτηρίζονται τα διερχόμενα από το κόσκινο των 0,075 mm (ή των 0,125 mm) στην Ευρώπη, ενώ στην Ιαπωνία για τον αντίστοιχο προσδιορισμό χρησιμοποιείται το κόσκινο των 0,090 mm.

Σύμφωνα με τον κανονισμό της EFNARC, η ποσότητα του λεπτόκοκκου υλικού πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 400-600 κιλών στο κυβικό μέτρο, προκειμένου το νωπό σκυρόδεμα να έχει τις απαιτούμενες ιδιότητες. Όταν παρά την προσθήκη των πολύ λεπτών υλικών εξακολουθεί να υπάρχει κίνδυνος απόμειξης, προστίθεται και μία μικρή ποσότητα προσθέτου ρυθμιστικού του ιξώδους (viscosity modifying agent, VMA) προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη αντίσταση του μείγματος σε απόμειξη. Η ποσότητα του απαιτούμενου προσθέτου για τη ρύθμιση του ιξώδους αυξάνεται, όσο μειώνεται η ποσότητα των λεπτόκοκκων υλικών. Μάλιστα είναι δυνατή η παρασκευή ΑΣΣ αποκλειστικά με προσθήκη VMA, χωρίς ανάλογη αύξηση των λεπτόκοκκων υλικών, τα μείγματα αυτά όμως χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη ανθεκτικότητα στο χρόνο συγκρινόμενα με τα υπόλοιπα ΑΣΣ (Σίδερης 1999, Zhu and Bartos 2003).

Πίνακας 1: Ενδεικτικές αναλογίες υλικών αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (EFNARC 2002).

Λόγος νερού/πούδρα: 0.80 – 1.10 κατ'όγκον
Συνολική ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού: 160-240 lt (400-600 Kg) ανά κυβικό μέτρο.
Περιεκτικότητα χονδρόκοκκων αδρανών: 28-35% του συνολικού όγκου του μείγματος
Ποσότητα νερού: Δεν υπερβαίνει τα 200 lt/m ³ (τηρούνται οι περιορισμοί του EN-206)
Περιεκτικότητα άμμου: Ισορροπεί τον όγκο των υπολοίπων συστατικών.

Γενικά ο σχεδιασμός των ΑΣΣ βασίζεται στο τρίπτυχο: λεπτόκοκκα υλικά-ισχυρός υπερρρευστοποιητής-ρυθμιστής ιξώδους, σε συνδυασμό με υψηλή δόση τσιμέντου και χαμηλή ποσότητα νερού. Οι βασικές αρχές που διέπουν το σχεδιασμό ενός ΑΣΣ σύμφωνα με τις συστάσεις της EFNARC παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Ως λεπτόκοκκα υλικά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν διάφορα βιομηχανικά παραπροϊόντα. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η δυνατότητα χρήσης ελληνικών βιομηχανικών παραπροϊόντων στην παρασκευή ΑΣΣ. Τα βιομηχανικά παραπροϊόντα που εξετάστηκαν ήταν η κατεργασμένη ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας (ΚΤΠ), η ακατέργαστη ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας (ΙΤΠ), και η φαρίνα ηλεκτροφίλων (ΦΗΦ).

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΜΕΙΓΜΑΤΩΝ-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Η χημική σύσταση του τσιμέντου και των υπολοίπων υλικών παρουσιάζεται στον Πίνακα 2. Οι αναλογίες μείξεως των μειγμάτων ΑΣΣ παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 2: Χημική ανάλυση ιπταμένων τεφρών και φαρίνας ηλεκτροφίλων.

Οξείδια (%)	ΦΗΦ	ΙΤΠ	ΚΤΠ
SiO ₂	13,68	27,10	45,15
Ενεργό SiO ₂	--	-	22,58
Al ₂ O ₃	4,36	11,22	17,50
Fe ₂ O ₃	2,30	4,14	8,18
CaO	42,59	38,43	14,87
Ενεργό CaO	--	12,34	1,64
MgO	1,23	3,46	3,44
SO ₃	0,10	6,31	4,72
Na ₂ O	0,28	0,81	--
K ₂ O	0,79	0,54	--
Διερχόμενα από το κόσκινο 45 μm	---	16	25,5

Από τον Πίνακα 3 φαίνεται κατ' αρχήν ότι είναι δυνατή η παρασκευή μειγμάτων ΑΣΣ με χρήση βιομηχανικών παραπροϊόντων. Με χρήση της κατάλληλης μεθοδολογίας σχεδιασμού (Σίδερης, 2005) προκύπτουν οι βέλτιστες αναλογίες μείξεως για κάθε μείγμα.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η απαίτηση του ΑΣΣ για μεγαλύτερη ποσότητα λεπτόκοκκων υλικών μπορεί να καλυφθεί με χρήση ασβεστολιθικού φύλλερ (μείγμα 1). Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποσότητα φαρίνας ηλεκτροφίλων (μείγμα 11), η οποία όμως οδηγεί σε λιγότερο εργάσιμο μείγμα., εάν παραμένουν σταθερές οι ποσότητες του νερού και του υπερρρευστοποιητή. Στην περίπτωση χρήσης των ιπταμένων τεφρών (μείγματα 14 και 15) τα μείγματα που προκύπτουν έχουν αυξημένη απαίτηση σε περιεκτικότητα τσιμέντου (για να καλυφθεί η απαιτούμενη ποσότητα λεπτών υλικών) καθώς και σε υπερρρευστοποιητή. Λόγω του μικρότερου τελικού υδατοτσιμεντοσυντελεστή, τα μείγματα αυτά παρουσιάζουν ιδιότητες αυτοσυμπύκνωσης κατώτερες του μείγματος 1. Ας επισημανθεί η μειωμένη αντίσταση

διαχωρισμού των υλικών (segregation resistance) που παρουσιάζουν αυτά: οι τιμές που μετρήθηκαν στη συσκευή V-funnel είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με αυτές των μειγμάτων 1 και 11 και βρίσκονται στο άνω όριο των αποδεκτών αποτελεσμάτων.

Πίνακας 3: Αναλογίες μείξεως σκυροδεμάτων και μετρήσεις ρεολογικών ιδιοτήτων.

Αναλογίες μείξεως (Kg/m ³)	Μείγμα 1	Μείγμα 11	Μείγμα 14	Μείγμα 15
CEM ΙΙΑ/Μ 42.5N	337	353	373	373
Φίλλερ	240	---	--	
Ιπτάμενη Τέφρα	--		74,5 (ΚΤΠ)	74,5 (ΙΤΠ)
ΦΗΦ	--	204	--	---
Άμμος (ασβεστολιθική)	782	805	1014	1014
Γαρμπίλι	800	800	800	800
Νερό (συνολικό)	220	220	212	214
Υπερ/της (%)	1,23	1,25	2,8	3,1
Εξάπλωση (cm)	71	60	70	65
L- Box (H ₂ /H ₁)	0.96	0.8	0.86	0.92
V-funnel (sec)	4.35	5	18	10

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε όλα τα μείγματα μετρήθηκαν η θλιπτική αντοχή σε διάφορες ηλικίες. Η μέτρηση της θλιπτικής αντοχής πραγματοποιήθηκε σε κυβικά δοκίμια σκυροδέματος 100x100x100 mm (για τις ηλικίες των 2, 28 και 60 ημερών) και 150x150x150 mm για την ηλικία των 28 ημερών, ενώ η τιμή κάθε ηλικίας αποτελεί το μέσο όρο τριών μετρήσεων. Η εφελκυστική αντοχή διαρρήξεως και το στατικό μέτρο ελαστικότητας μετρήθηκαν στην ηλικία των 28 ημερών σε κυλινδρικά δοκίμια 150x300 mm. Η τιμή κάθε ηλικίας αποτελεί το μέσο όρο δύο μετρήσεων. Οι μετρήσεις των μηχανικών χαρακτηριστικών παρουσιάζονται για όλα τα μείγματα στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Μετρήσεις μηχανικών ιδιοτήτων μειγμάτων ΑΣΣ.

	Θλιπτική αντοχή (MPa) κύβων 100x100x100			f _{c28} (MPa)	E (GPa)	f _{ct} (MPa)
	2 ημ.	28 ημ	60 ημ			
Μείγμα 1	16.1	31.7	40.7	40.7	23.0	2.35
Μείγμα 11	11.3	15.0	23.5	28.3	19.2	2.22
Μείγμα 14	31.8	34.9	45.1	60.0	19.0	2.11
Μείγμα 15	23.9	34.3	49.7	53.0	18.6	4.41

Παράλληλα παρασκευάστηκαν κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος διαστάσεων 60x100 mm. Τα δοκίμια αυτά, αφού συντηρήθηκαν όπως ορίζει ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97) για διαφορετικό χρόνο, τοποθετήθηκαν σε θάλαμο επιταχυνόμενης ενανθράκωσης, με συγκέντρωση CO₂ = 10%, σχετική υγρασία 70% και θερμοκρασία 20±2 °C. Μετά από παραμονή έξι εβδομάδων στον ανωτέρω θάλαμο τα δοκίμια θραύστηκαν και ψεκάστηκαν με διάλυμα φαινολοφθαλείνης, προκειμένου να μετρηθεί το βάθος ενανθράκωσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για όλα τα μείγματα στον Πίνακα 5.

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 4 η χρήση φαρίνας ηλεκτροφίλτρων οδηγεί σε σημαντική μείωση των αντοχών του σκυροδέματος σε κάθε ηλικία. Είναι αξιοσημείωτο ότι παρά την αυξημένη ποσότητα του τσιμέντου στο μείγμα 11 και το χαμηλότερο υδατοτσιμεντοσυντελεστή του τελευταίου σε σχέση με το μείγμα 1, η θλιπτική αντοχή των 28 ημερών παρουσιάζει μείωση

κατά 33%. Αποτέλεσμα αυτού είναι η σημαντική διαφορά που εμφανίζεται στην κατηγορία αντοχής: το μείγμα 1 χαρακτηρίζεται ως C30/37 ενώ το μείγμα 11 ως C16/20. Το υψηλό ποσοστό θεικών της συγκεκριμένης φαρίνας πιστεύεται ότι είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο αυτό το οποίο χρήζει περαιτέρω μελέτης. Μικρή πτώση στη θλιπτική αντοχή των 90 ημερών παρατηρήθηκε και σε δοκίμια με χαμηλό ποσοστό ΦΗΦ στην εργασία των Batis et al, 1996.

Αντίθετα με το μείγμα 11, τα μείγματα στην παρασκευή των οποίων χρησιμοποιήθηκε ιπτάμενη τέφρα (μείγματα 14, 15) παρουσιάζουν αυξημένες μηχανικές αντοχές σε όλες τις ηλικίες. Για το φαινόμενο αυτό ευθύνεται η αυξημένη ποσότητα τσιμέντου σε συνδυασμό με την ποζολανική ιδιότητα που χαρακτηρίζει τις ιπτάμενες τέφρες. Μεταξύ των δύο ειδών τέφρας που εξετάστηκαν, το μείγμα με την Κ.Τ.Π. παρουσίασε υψηλότερες τιμές μηχανικών αντοχών, γεγονός που οφείλεται στην επεξεργασία της. Πάντως και τα δύο μείγματα χαρακτηρίζονται ως C35/45.

Πίνακας 5: Βάθος ενανθράκωσης δοκιμίων σκυροδέματος

Συντήρηση:	1 ημέρα	3 ημέρες	7 ημέρες
Βάθος ενανθράκωσης (mm)			
Μείγμα 1:	30	19	11
Μείγμα 11:	21	16	8
Μείγμα 14:	16	8	6
Μείγμα 15:	20	9	7

Στον πίνακα 5 παρουσιάζεται το βάθος ενανθράκωσης όλων των μειγμάτων ανάλογα με το χρόνο συντήρησης. Από τον πίνακα αυτόν φαίνεται η μεγάλη σημασία της διάρκειας της υγρής συντήρησης στο βάθος ενανθράκωσης των δοκιμίων. Η υγρή συντήρηση 7 ημερών περιόρισε το βάθος ενανθράκωσης στο 70% της αντίστοιχης τιμής που μετρήθηκε στα μείγματα τα οποία είχαν υποστεί συντήρηση 1 ημέρας. Η φαρίνα ηλεκτροφίλων είχε στην περίπτωση αυτή ευνοϊκά αποτελέσματα, αφού το βάθος ενανθράκωσης των δοκιμίων του μείγματος 11 μειώθηκε σε σχέση με το μείγμα 1 (μείγμα αναφοράς) για όλες τις ηλικίες συντήρησης.

Ακόμη μεγαλύτερη ήταν η μείωση του βάθους ενανθράκωσης των μειγμάτων στην παρασκευή των οποίων χρησιμοποιήθηκε κατεργασμένη και ακατέργαστη ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας. Η μείωση στην περίπτωση αυτή έφτασε και το 50% της τιμής που μετρήθηκε στα δοκίμια του μείγματος αναφοράς και ήταν ιδιαίτερα εντυπωσιακή στα δοκίμια με συντήρηση 1 ημέρας. Η μεγαλύτερη δόσολογία τσιμέντου σε συνδυασμό με την ποσότητα της τέφρας οδήγησαν στο σχηματισμό επιπλέον πρωτογενών και δευτερογενών ενύδρων, η παρουσία των οποίων είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του ενεργού πορώδους και του βάθους ενανθράκωσης (Sideris et al, 2005). Μεταξύ των δύο τεφρών η κατεργασμένη τέφρα Πτολεμαΐδας αποδείχθηκε πιο αποτελεσματική όσον αφορά τη μείωση του βάθους ενανθράκωσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας η φαρίνα ηλεκτροφίλων καθώς και η ιπτάμενη τέφρα Πτολεμαΐδας μπορούν υπό προϋποθέσεις να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος. Τα μείγματα αυτά όμως απαιτούν μεγαλύτερη δόσολογία τσιμέντου, μεγαλύτερη ποσότητα υπερρευστοποιητή και παρουσιάζουν ελαφρά κατώτερες ιδιότητες αυτοσυμπύκνωσης, ιδιαίτερα όσον αφορά την αντίσταση στο διαχωρισμό των υλικών των μειγμάτων στην παρασκευή των οποίων χρησιμοποιήθηκε ιπτάμενη τέφρα. Η χρήση της συγκεκριμένης φαρίνας ηλεκτροφίλων οδήγησε σε σημαντική μείωση των αντοχών των μειγμάτων σε πρώιμες και μεθύτερες ηλικίες. Αντίθετα, στην περίπτωση των μειγμάτων που παρασκευάστηκαν με ιπτάμενες τέφρες, η αυξημένη δόση του τσιμέντου που απαιτήθηκε σε συνδυασμό με τις ποζολανικές και υδραυλικές ιδιότητες των τεφρών οδήγησε σε αυξημένες

αντοχές. Το βάθος ενανθράκωσης όλων των αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων στην παρασκευή των οποίων χρησιμοποιήθηκαν βιομηχανικά παραπροϊόντα μειώθηκε σε σχέση με το μείγμα αναφοράς.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Batis G., Katsiamboulas A., Meletiou C.A. and Chaniotakis E.: "Durability of reinforced concrete made with composite cement kiln dust", in *Proceedings of the International conference Concrete in the Service of Mankind*, Vol. "Concrete for Environment Enhancement and Protection", Dundee, 1996, pp. 67-72.

EFNARC, 2002. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete.

Japan Society of Civil Engineers, 1999. Recommendation for Self Compacting Concrete, Edited by T. Uomoto and K. Ozawa, *JSCE Concrete Engineering Series 31*.

Okamura H., Ouchi M.: "Self compacting concrete. Development, present use and future", in *Proceedings of the First International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete*, Stockholm, Sweden, September, pp. 3-14.

Persson B.: "Assesment of the chloride migration coefficient, internal frost resistance, salt frost scaling and sulphate resistance of self-compacting concrete", *Report NTVBM-3100*, Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, Lund, Sweden, 2001.

RILEM Report 23: *State of the Art Report of RILEM Technical Committee 174 SCC "Self Compacting Concrete"*. RILEM Publications, 2001.

Sideris K.K., Savva A. Papayianni I. 2005. Sulfate Resistance and Carbonation of plain and blended cements, *Cement and Concrete Composites*, (in press).

Zhu W, Bartos P. J. M. 2003. Permeation properties of self-compacting concrete, *Cement and Concrete Composites*, (in press).

Σίδερης Κ.Κ., Κυριτσάς Σ., Χανιωτάκης Ε. 2003. Μηχανικά χαρακτηριστικά και Ανθεκτικότητα Αυτοσυμπυκνούμενων Σκυροδεμάτων παρασκευασθέντων με Ελληνικά Ποζολανικά Υλικά, *Πρακτικά 14^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος*, Κως, 15-17 Οκτωβρίου 2003, Τόμος Β, σελ. 187-193.

Σίδερης Κ.Κ. 2005. Βελτιωμένη μέθοδος σχεδιασμού και ποιοτικού ελέγχου μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, *Εσωτερική ανακοίνωση Εργαστηρίου Δομικών Υλικών Πολυτεχνικής Σχολής ΔΠΘ*, Ξάνθη.