

ΧΡΗΣΗ ΣΚΩΡΙΩΝ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑΣ ΩΣ ΛΕΠΤΟ ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κοσμάς Κ. Σίδερης, Παναγιώτα Μανίτα

*Εργαστήριο Δομικών Υλικών Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης, Βασ.
Σοφίας 12, Ξάνθη, 671 00.*

Λέξεις-κλειδιά: Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, σκωρία κάδου, άμμος σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται η δυνατότητα παραγωγής μειγμάτων αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (ΑΣΣ) κατηγοριών αντοχής C25/30 και C30/37, με χρήση σκωρίας κάδου και άμμου σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου ως λεπτό υλικό πλήρωσης. Παράλληλα με την μελέτη της ικανότητας αυτοσυμπύκνωσης που παρουσιάζουν τα ΑΣΣ που παρασκευάζονται με τα υλικά αυτά, εξετάζονται αντιπροσωπευτικές μηχανικές τους ιδιότητες και χαρακτηριστικά ανθεκτικότητάς τους. Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της καταλληλότητας των προϊόντων σκωρίας ως εναλλακτικών υλικών πλήρωσης στο αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα.

STEEL MAKING SLAGS FOR THE PRODUCTION OF SELF-COMPACTING CONCRETES

K.K Sideris and P. Manita

Laboratory of Building Materials, School of Civil Engineering, Democritus University of Thrace, Xanthi, GR 67100 GREECE

ABSTRACT. This research focus on the suitability of slag products for the production of self compacting concrete. Four SCC mixtures of the strength classes C25/30 and C30/37 were produced. Slag products (ladle furnace slag and steel making slag originated sand (EAFS sand)) were used as filler materials. Fresh state properties and durability characteristics of the mixtures were measured and compared with the relevant measurements of normal strength concretes of the same strength class. Results indicate that steel making slags may be used for the production of SCC mixtures with improved durability properties.

Key words: self-compacting concrete, ladle furnace slag, EAFS sand.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα αποτελεί την τελευταία εξέλιξη στο χώρο της τεχνολογίας του σκυροδέματος. Πρόκειται για ένα σκυρόδεμα το οποίο, όπως λέει και η λέξη, μπορεί να συμπυκνωθεί μόνο του, χωρίς τη χρήση μηχανικών μέσων, αποκλειστικά και μόνο με το ίδιο βάρος του. Κατ' αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η χρήση των ενεργοβόρων και θορυβωδών μηχανισμών συμπύκνωσης ενώ ταυτόχρονα, λόγω του μειωμένου θορύβου, καθίσταται ευκολότερη η επικοινωνία μεταξύ του τεχνικού προσωπικού. Η ευκολία ροής και αυτοσυμπύκνωσης του νέου σκυροδέματος οδηγεί επίσης στη μείωση του απαιτούμενου χρόνου διάστροφης και στην ωφέλεια του χρόνου συμπύκνωσης των έργων. Τέλος, η πληρέστερη συμπύκνωση που επιτυγχάνεται στα μείγματα ΑΣΣ έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη ανθεκτικότητα του σκυροδέματος και κατ' επέκταση την καλύτερη ποιότητα των έργων οπλισμένου σκυροδέματος.

Η ικανότητα αυτοσυμπύκνωσης των μειγμάτων επιτυγχάνεται με τη χρήση μειωμένης ποσότητας νερού, υψηλής ποσότητας λεπτών υλικών και αυξημένης ποσότητας ισχυρού υπερρρευστοποιητή, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή εργασιμότητα. Ο επιτυχής συνδυασμός των ανωτέρω υλικών οδηγεί στην παραγωγή επιτυχούς μείγματος αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (Σίδηρης κ.α., 2003). Πολλοί ερευνητές τονίζουν την ομοιότητα του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (ΑΣΣ) με το σκυρόδεμα υψηλής επιτελεστικότητας (ΣΥΕ) το οποίο επίσης παράγεται με μειωμένους λόγους νερού προς τσιμέντο και υψηλές δοσολογίες κονιάς (Sideris 2007, Ye et al 2007a). Και στις δύο περιπτώσεις αναπτύσσεται μία πυκνή εσωτερική δομή. Στην περίπτωση του ΑΣΣ το είδος αλλά και το ποσοστό της κονιάς πλήρωσης αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την μεταβολή της εσωτερικής δομής του υλικού και επομένως για την ανθεκτικότητά του σε βάθος χρόνου (De Schutter and Audenaert, 2007).

Σήμερα το ασβεστολιθικό φύλλερ είναι το πλέον διαδεδομένο λεπτόκοκκο υλικό πλήρωσης για την παραγωγή ΑΣΣ (Boel et al 2007, Ye et al 2007b). Όμως η προμήθεια ασβεστολιθικού φύλλερ (υλικού που να διέρχεται στο σύνολό του από το κόσκινο των 0.125 mm) είναι δύσκολη στον ελλαδικό χώρο, λόγω της περιορισμένης βιομηχανικής παραγωγής του. Επίσης το κόστος του είναι αρκετά υψηλό, ανεβάζοντας έτσι το κόστος παραγωγής του ΑΣΣ (Σίδηρης 2008), ενώ η χρήση του δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως φιλική προς το περιβάλλον (καταστροφή λατομείων + ενέργεια άλεσης). Από την άλλη πλευρά υπάρχουν αποτελέσματα ερευνητικών εργασιών που σαφώς καταδεικνύουν ότι το ασβεστολιθικό φύλλερ μπορεί να αντικατασταθεί από βιομηχανικά παραπροϊόντα με αποτέλεσμα την παραγωγή οικονομικότερου αλλά και ποιοτικότερου (με βελτιωμένα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας) ΑΣΣ (Σίδηρης κα 2003, Σίδηρης κα 2009).

Επομένως, θα ήταν ιδιαίτερα ωφέλιμη η εξεύρεση εναλλακτικών μορφών λεπτόκοκκων υλικών για την παραγωγή αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, ενέργεια που στοχεύει σε διπλό αποτέλεσμα: Πρώτον, η εξεύρεση ενός εναλλακτικού, και συνεπώς οικονομικότερου, λεπτόκοκκου υλικού για την παραγωγή ΑΣΣ, θα δώσει περαιτέρω ώθηση στη χρήση του νέου τύπου σκυροδέματος από τον ελληνικό κατασκευαστικό κλάδο με προφανή οφέλη τόσο για το χρόνο περάτωσης των κατασκευών, όσο και για την αναβαθμισμένη ποιότητά τους. Δεύτερον, η πιστοποίηση της καταλληλότητας χρήσης των βιομηχανικών παραπροϊόντων για την παραγωγή ποιοτικού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος θα έχει προφανή οφέλη για το περιβάλλον. Σκοπός της εργασίας αυτής αποτελεί η μελέτη της καταλληλότητας προϊόντων σκωρίας για χρήση ως εναλλακτικά υλικά πλήρωσης αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην παρούσα εργασία σχεδιάσθηκαν και παρασκευάστηκαν τέσσερα μείγματα αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων και δύο μείγματα συμβατικών σκυροδεμάτων (ΣΣ), για δύο κατηγορίες αντοχής C25/30 και C30/37. Τα τσιμέντα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν CEM II/B-M (W,P,LL) 42.5N και CEM IV/B (W,P) 32.5N. Τα λεπτόκοκκα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό τη βελτίωση των ρεολογικών χαρακτηριστικών και της συνοχής των αυτοσυμπυκνούμενων μειγμάτων ήταν σκωρία κάδου (SL) και άμμος σκωρίας κάδου ηλεκτρικού κλιβάνου (SLS). Η τελευταία χρησιμοποιήθηκε για την αντικατάσταση του συνόλου των λεπτών αδρανών του μείγματος. Η υψηλή περιεκτικότητά της σε λεπτόκοκκα υλικά προσέδωσε στο ΑΣΣ μείγμα την ποσότητα του λεπτού υλικού που απαιτείτο. Η χημική σύσταση των τσιμέντων, της σκωρίας κάδου και της άμμου σκωρίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Τα χρησιμοποιούμενα αδρανή ήταν άμμος θραυστή ασβεστολιθική στα αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα και συλλεκτή πυριτική στα συμβατικά σκυροδέματα, καθώς και συλλεκτό πυριτικό γαρμπίλι με μέγιστο κόκκο 16 mm σε όλα τα μείγματα. Ακόμη, χρησιμοποιήθηκε τελευταίας γενιάς υπερρευστοποιητής σε διαφορετικές δοσολογίες προκειμένου να αποκτήσουν τα μείγματα ικανότητες αυτοσυμπύκνωσης καθώς και επιβραδυντής. Ο λόγος νερού /τσιμέντο καθώς και η περιεχόμενη ποσότητα του τσιμέντου παρέμειναν περίπου σταθερές για όλα τα μείγματα της ίδιας κατηγορίας αντοχής.

Πίνακας 1. Χημική σύσταση τσιμέντου και λεπτόκοκκων υλικών πλήρωσης.

| | CEMIV 32.5 | CEMIII- A/M 42,5N | Σκωρία κάδου | Άμμος Σκωρίας Ηλεκτρικού κλιβάνου |
|---------------------------------------|---------------|-------------------------|-----------------|--|
| SiO ₂ ^a | 28 | 23,85 | 32,50 | 18 |
| Al ₂ O ₃ | 9 | 5,22 | 2,05 | - |
| Fe ₂ O ₃ | 5,5 | 4,13 | - | - |
| FeO | - | - | - | 31 |
| CaO | 48 | 58,20 | 54,10 | 23 |
| MgO | 2,2 | 3,20 | 5,55 | 3,52 |
| MnO | - | - | - | - |
| SO ₃ | 3,2 | 3,30 | - | 0,3 |
| K ₂ O | 1,5 | 0,68 | - | 0,09 |
| Na ₂ O | 0,5 | 0,32 | 0,34 | 0,3 |
| LoI ^b | 1,9 | 1,57 | 3,19 | - |
| SG ^c (gr/cm ³) | 3,15 | 3,10 | 2,56 | 3,29 |

Τα προαναφερόμενα μείγματα θα συμβολίζονται ως SCC SL (αυτοσυμπυκνούμενο με σκωρία κάδου) και SCC SLS (αυτοσυμπυκνούμενο με άμμο σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου). Τα μείγματα συμβατικού σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθούν ως μείγματα αναφοράς θα συμβολίζονται ως NC. Οι αναλογίες μείξεως όλων των σκυροδεμάτων παρουσιάζονται κατωτέρω στον Πίνακα 2. Επίσης, στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι τιμές των ρεολογικών χαρακτηριστικών όλων των σκυροδεμάτων.

Πίνακας 2: Αναλογίες μείξεως αυτοσυμπυκνούμενων και συμβατικών σκυροδεμάτων.

| Αναλογίες μείξεως (kg/m ³) | ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ | | | | ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ | |
|---|--------------------------------|--------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------|
| | Σκωρία κάδου | | Άμμος Σκωρίας κάδου | | NC | NC |
| | SCC 25/30 SL | SCC 30/37 SL | SCC 25/30 SLS | SCC 30/37 SLS | 25/30 | 30/37 |
| CEMII-B/M 42,5 | 50,9 | 130,43 | 50,9 | 130,43 | 50,00 | 130,67 |
| CEM IV-B 32.5 | 305,1 | 304,43 | 305,1 | 304,43 | 30,67 | 304,67 |
| Σκωρία Κάδου | 93,74 | 46,22 | - | - | - | - |
| Άμμος Σκωρίας | - | - | 1203,60 | 1138,8 | - | - |
| ΆμμοςΣυλλεκτή | - | - | - | - | 980,0 | 1010,0 |
| Άμμος Θραυστή | 881,4 | 880,0 | - | - | - | - |
| Γαρμπίλι | 800 | 800 | 800 | 800 | 850,20 | 760 |
| Νερό | 192,90 | 187,71 | 192,90 | 187,71 | 209,90 | 187,00 |
| Υπερ/τής | 4,26 | 10,58 | 3,44 | 7,14 | 2,81 | 3,16 |
| W/C | 0,54 | 0,43 | 0,54 | 0,43 | 0,6 | 0,43 |
| Κάθιση (cm) | - | - | - | - | 21,00 | 21,00 |
| Εξάπλωση D(cm) | 79,50 | 77,25 | 67,00 | 70,75 | - | - |
| V FUNNEL 1 (sec) | 8,50 | 10,80 | 5,40 | 6,10 | - | - |
| V FUNNEL 2 (sec) | 15,00 | 15,00 | 11,00 | 10,00 | - | - |
| LBOX (h₂/h₁) | 0,89 | 0,96 | 0,84 | 0,92 | - | - |

Οι αναλογίες μείξεως των ΑΣΣ προέκυψαν με βάση τη μελέτη σύνθεσης που προηγήθηκε με χρήση της μεθόδου Σχ.Ε.Δι.Πυ (Σίδηρης, 2008). Η σκωρία κάδου χρησιμοποιήθηκε σε ογκομετρικό ποσοστό ίσο με το αντίστοιχο του ασβεστολιθικού λεπτόκοκκου το οποίο και καλείται να αντικαταστήσει. Η άμμος σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου προστέθηκε σε συνολικό όγκο ίσο με το άθροισμα των όγκων της θραυστής άμμου και του όγκου του λεπτόκοκκου των αντίστοιχων αυτοσυμπυκνούμενων σκυροδεμάτων.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν ήταν η θλιπτική αντοχή στις ηλικίες των 7 και 28 ημερών και η εφελκυστική αντοχή διαρρήξεως στην ηλικία των 28 ημερών. Στην μέτρηση της θλιπτικής αντοχής χρησιμοποιήθηκαν κυβικά δοκίμια ακμής 150mm και στην μέτρηση της αντοχής σε εφελκυσμό διαρρήξεως χρησιμοποιήθηκαν κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 150 x 300 mm. Τα δοκίμια συντηρήθηκαν έως την ηλικία θραύσεως σε θάλαμο συντηρήσεως με συνθήκες 20 ± 20C, RH ≥ 98%. Η εκάστοτε τιμή της αντοχής προέκυψε ως η μέση τιμή των μετρήσεων τριών δοκιμίων.

Τα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας που μετρήθηκαν ήταν το βάθος επιταχυνόμενης ενανθράκωσης και ο συντελεστής διείσδυσης χλωριόντων. Το βάθος ενανθράκωσης μετρήθηκε σε κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 60x100mm (4 δοκίμια ανά μείγμα) μετά από παραμονή των δοκιμίων για 6 εβδομάδες στο θάλαμο επιταχυνόμενης ενανθράκωσης με συγκέντρωση CO₂ ίση με 10% και σχετική υγρασία 65-72%. Η μέτρηση του βάθους ενανθράκωσης πραγματοποιήθηκε μετά από ψεκασμό του σκυροδέματος με διάλυμα φαινολοφθαλείνης και προέκυψε ως η μέση τιμή των τεσσάρων μετρήσεων. Στον προσδιορισμό της διείσδυσης χλωριόντων χρησιμοποιήθηκαν κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 100x200mm. Η τιμή του βάθους διείσδυσης ελήφθη μετά από ψεκασμό του δείγματος με διάλυμα 0,1 M AgNO₃ και στην συνέχεια υπολογίσθηκε ο συντελεστής διείσδυσης χλωριόντων $D_{nssm}(x10^{-12}, m^2/s)$ κατά NT BUILT 492. Η εκάστοτε τιμή προέκυψε ως η μέση τιμή των μετρήσεων τριών δοκιμίων.

Ακόμη προσδιορίστηκε η υδατοαπορροφητικότητα όλων των μειγμάτων σκυροδέματος στην ηλικία των 28 ημερών κατά RILEM TC 116. Χρησιμοποιήθηκαν κυβικά δοκίμια ακμής 150mm (3 δοκίμια ανά μείγμα) και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις χρονικές στιγμές των 10 min, 1 h, 2h, 4 h, 8 h και 24 h. Η εκάστοτε τιμή προέκυψε ως η μέση τιμή των μετρήσεων τριών δοκιμίων.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι τιμές της θλιπτικής αντοχής όλων των παρασκευασθέντων σκυροδεμάτων στις ηλικίες των 7 και 28 ημερών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Τιμές μηχανικών αντοχών αυτοσυμπυκνούμενων και συμβατικών σκυροδεμάτων.

| Αντοχή (MPa) | ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ | | | | ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ | |
|-----------------|-----------------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------|---------|
| | SCC25/30 SL | SCC30/37 SL | SCC25/30 SLS | SCC30/37 SLS | NC25/30 | NC30/37 |
| f_{c7} | 35,13 | 49,93 | 28,76 | 49,80 | 28,38 | 35,62 |
| f_{c28} | 47,88 | 60,89 | 38,27 | 49,93 | 32,56 | 49,80 |
| f_{ct28} | 3,32 | 4,48 | 3,78 | 4,48 | 3,31 | 4,06 |

Αναφορικά με τη θλιπτική αντοχή, η υπεροχή των ΑΣΣ με σκωρία κάδου και άμμο σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου είναι εμφανής και στις δύο εξετασθείσες ηλικίες και στις δύο κατηγορίες αντοχών. Τα ΑΣΣ κατηγορίας αντοχής C25/30 συγκρινόμενα με το αντίστοιχο συμβατικό, παρουσιάζουν αύξηση της θλιπτικής αντοχής κατά 24% το ΑΣΣ με σκωρία κάδου και 1% το ΑΣΣ με άμμο σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου, στην ηλικία των 7 ημερών. Τα αντίστοιχα ποσοστά για την ηλικία των 28 ημερών είναι 47% και 18%. Τα ΑΣΣ κατηγορίας αντοχής C30/37 συγκρινόμενα με το αντίστοιχο συμβατικό, σημειώνουν 40% αύξηση της τιμής της θλιπτικής αντοχής τους, στην ηλικία των 7 ημερών. Τα αντίστοιχα ποσοστά για την ηλικία των 28 ημερών είναι 22% για το ΑΣΣ με σκωρία κάδου, ενώ το ΑΣΣ με άμμο σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου δεικνύει παραπλήσια αντοχή με το συμβατικό.

Οι τιμές της εφελκυστικής αντοχής διαρρήξεως όλων των μειγμάτων στην ηλικία των 28 ημερών αναφέρονται στον Πίνακα 3. Τα ΑΣΣ με σκωρίες εμφανίζουν ελαφρώς αυξημένη εφελκυστική αντοχή σε σχέση με τα συμβατικά σκυροδέματα. Αναφορικά με τα ΑΣΣ κατηγορίας αντοχής C25/30, το ΑΣΣ με σκωρία κάδου παρουσιάζει παραπλήσια αντοχή και το ΑΣΣ με άμμο σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου σημειώνει αύξηση κατά 14%, συγκρινόμενα με το αντίστοιχο συμβατικό. Αντίστοιχα, τα ΑΣΣ κατηγορίας αντοχής C30/37 σημειώνουν 10% αυξημένη τιμή εφελκυστικής αντοχής, συγκρινόμενα με το αντίστοιχο συμβατικό.

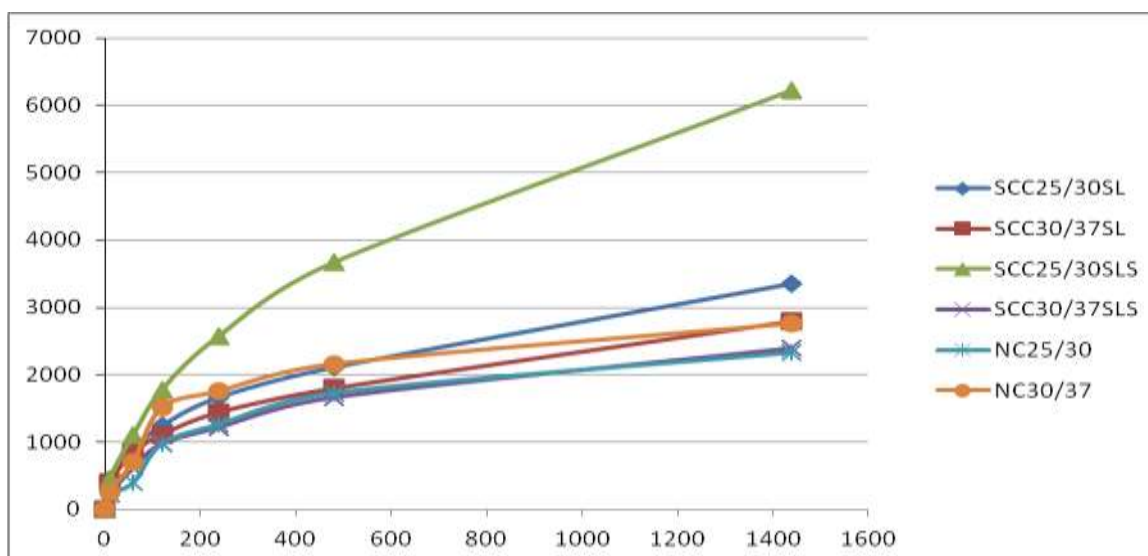
Οι τιμές του βάθους ενανθράκωσης και του συντελεστή διείσδυσης έναντι χλωριόντων όλων των αυτοσυμπυκνούμενων και συμβατικών σκυροδεμάτων καταγράφονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας αυτοσυμπυκνούμενων και συμβατικών σκυροδεμάτων.

| | ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ | | | | ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ | |
|--|--------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------|---------|
| | SCC25/30 SL | SCC30/37 SL | SCC25/30 SLS | SCC30/37 SLS | NC25/30 | NC30/37 |
| Βάθος ενανθράκωσης (mm) | 4,2 | 1,1 | 8,6 | 1,6 | 9,3 | 3,2 |
| Συντ/στής διείσδυσης χλωριόντων D_{nssm} (x $10^{-12} m^2/s$) | 42,10 | 16,90 | 29,70 | 22,47 | 39,9 | 12,92 |

Το βάθος ενανθράκωσης όλων των ΑΣΣ παρουσιάζεται μειωμένο σε σχέση με το αντίστοιχο των συμβατικών σκυροδεμάτων της ίδιας κατηγορίας αντοχής. Το ποσοστό μείωσης μάλιστα είναι ιδιαίτερα υψηλό (έως και 50%) για τα μείγματα με σκωρία κάδου αλλά και για το μείγμα SCC25/30SLS. Το μείγμα SCC30/37SLS παρουσιάζει επίσης μειωμένο βάθος ενανθράκωσης σε σχέση με το μείγμα αναφοράς NC25/30, η διαφορά αυτή όμως περιορίζεται μόλις στο 10%.

Διαφορετική φαίνεται ότι είναι η επίδραση των σκωριών στο συντελεστή διείσδυσης έναντι χλωριόντων των ΑΣΣ. Στη χαμηλή κατηγορία αντοχής 25/30 η προσθήκη σκωρίας κάδου προκαλεί μία ανεπαίσθητη αύξηση στο συντελεστή D, ενώ η χρήση άμμου σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου μία μείωση. Στην υψηλότερη κατηγορία αντοχής παρατηρείται αύξηση του συντελεστή D και για το μείγμα με σκωρία κάδου και για το μείγμα με άμμο σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου, η οποία πάντως δεν είναι ιδιαίτερα έντονη.



Σχήμα 1: Διάγραμμα υδατοαπορροφητικότητας αυτοσυμπυκνούμενων και συμβατικών σκυροδεμάτων.

Οι τιμές της υδατοαπορροφητικότητας των παρασκευασθέντων μειγμάτων παρουσιάζονται ανωτέρω στο Σχήμα 1. Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι γενικά οι σκωρίες κάδου δεν προκαλούν αξιοσημείωτη μεταβολή στην ικανότητα υδατοαπορρόφησης των ΑΣΣ σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά μείγματα της ίδιας κατηγορίας αντοχής. Η ίδια διαπίστωση φαίνεται να ισχύει και για την περίπτωση του ΑΣΣ C30/37 που παρασκευάστηκε με σκωρία άμμου ηλεκτρικού κλιβάνου. Η τελευταία όμως φαίνεται να αυξάνει σημαντικά την υδατοαπορροφητικότητα του ΑΣΣ C25/30 SLS.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Τα ακόλουθα συμπεράσματα προέκυψαν μετά την ολοκλήρωση της παρούσας έρευνας: Μεταξύ των μειγμάτων της ίδιας κατηγορίας αντοχής, τα αυτοσυμπκνούμενα σκυροδέματα που παρασκευάστηκαν με σκωρίες χαλυβουργίας παρουσίασαν βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά και ικανοποιητική συμπεριφορά ανθεκτικότητας. Τα ΑΣΣ που παρασκευάστηκαν με σκωρία κάδου, εμφάνισαν ιδιαίτερα βελτιωμένη αντίσταση έναντι ενανθράκωσης ενώ εμφάνισαν σχεδόν ταυτόσημες τιμές του συντελεστή διείσδυσης έναντι χλωριόντων και του συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας σε σχέση με τα συμβατικά σκυροδέματα ίδιας κατηγορίας αντοχής. Η άμμος σκωρίας ηλεκτρικού κλιβάνου προσέδωσε στα ΑΣΣ επίσης βελτιωμένη συμπεριφορά έναντι ενανθράκωσης, καθώς και σχεδόν παρόμοιες τιμές του συντελεστή διείσδυσης έναντι χλωριόντων. Η επίδρασή της όμως στο πορώδες των παρασκευασθέντων μειγμάτων χρήζει περαιτέρω έρευνας.

5. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Σίδερης ΚΚ, Κυριτσάς Σ, Χανιωτάκης Ε, (2003), "Μηχανικά χαρακτηριστικά και Ανθεκτικότητα Αυτοσυμπκνούμενων Σκυροδεμάτων παρασκευασθέντων με Ελληνικά Ποζολανικά Υλικά", Πρακτικά 14ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως, 15-17 Οκτωβρίου 2003, Τόμος Β, σελ. 187-193.

Σίδερης ΚΚ, (2008), "Ανάπτυξη μεθοδολογίας σχεδιασμού και ποιοτικού ελέγχου μειγμάτων αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος – μελέτη των ιδιοτήτων του νέου υλικού σε νωπή και σκληρυμένη κατάσταση", Τελική έκθεση ερευνητικού προγράμματος.

Κ.Κ. Σίδερης, Γεωργιάδης Α.Σ., Αναγνωστόπουλος Ν.Σ., Μανίτα Π. Α., Σκαρλάτος Ε.Β., (2009), «Ανάλυση κόστους χρόνου ζωής κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με αυτοσυμπκνούμενο και συμβατικό σκυροδέμα», Πρακτικά 16ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Πάφος, 21-23 Οκτωβρίου 2009.

Boel V, Audenaert K, De Schutter, G, Heirman T, Vandewalle L, Desmet B, Vantomme J, (2007), "Transport properties of self-compacting concrete with limestone filler or fly ash", Materials and Structures, V.40, pp. 507-515.

De Schutter G, Audenaert K., (Eds), (2007), "Durability of Self-compacting concrete", State of the Art report of RILEM TC 205-DSC, RILEM Report 38, RILEM Publications SARL, ISBN 978-2-35158-048-6, pp.185.

NT Build 443 (1995): NordTest Method for Accelerated Chloride Penetration Into Hardened Concrete.

RILEM (1999), RILEM TC 116: "Technical recommendations: Determination of the capillary absorption of water of hardened concrete", Materials and Structures V.32 (4), pp. 176-179

Sideris KK, (2007), "Mechanical characteristics of self consolidating concrete exposed to elevated temperatures", ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, pp.648-654.

Ye G, Liu X., De Schutter G, Taerwe L. and Vandeveld P, (2007a), "Phase distribution and microstructural changes of self-compacting concrete paste at elevated temperature", Cement and Concrete Research, V.37, pp. 978-987.

Ye G, Liu X, De Schutter G., Poppe A-M , Taerwe L, (2007b), "Influence of limestone filler in SCC on hydration and microstructure of cement pastes", Cement and Concrete Composites, V.29, pp. 94-102.