

Μηχανική Συμπεριφορά και Ανθεκτικότητα Ινοπλισμένου Κυλινδρούμενου Σκυροδέματος Mechanical Behaviour and Durability of Steel Fibre Reinforced Roller Compacted Concrete Pavements

Χάρης ΑΓΓΕΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ¹, Angela GRAEFF², Κυριάκος
ΝΕΟΚΛΕΟΥΣ³, Κύπρος ΠΗΛΑΚΟΥΤΑΣ⁴

Λέξεις κλειδιά: κυλινδρούμενο σκυρόδεμα, ινοπλισμένο σκυρόδεμα, ανακυκλωμένες χαλύβδινες ίνες, ανακυκλωμένα αδρανή, ανθεκτικότητα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στο πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας γίνεται μια προσπάθεια ανάδειξης των μηχανικών χαρακτηριστικών του ινοπλισμένου κυλινδρούμενου σκυροδέματος (ΙΚΣ) από ίνες χάλυβα. Δίνεται η βελτίωση του ενισχυμένου στοιχείου έναντι του άοπλου στοιχείου μέσω των οποίων εξάγονται συμπεράσματα για την αποδοτικότητα του οπλισμού. Γίνεται επίσης αναφορά στη συμπεριφορά του κυλινδρούμενου σκυροδέματος με φυσικά αδρανή σε αντιδιαστολή με ανακυκλωμένα αδρανή από κατεδαφίσεις όπως και από παλαιά σκυροδέματα. Το δεύτερο μέρος της εργασίας πραγματεύεται την ανθεκτικότητα του κυλινδρούμενου σκυροδέματος (ΚΣ) και ΙΚΣ μέσα από τη μελέτη της διάβρωσης του ινοπλισμού καθώς και την αντοχή σε ψύξη-απόψυξη.

ABSTRACT: The first part of this paper demonstrates the mechanical properties of Steel Fibre Reinforced Roller Compacted Concrete (SFR-RCC). The effect of adding fibres in RCC, from a structural standpoint, is illustrated through the improvements in strength and toughness characteristics, with comments on the effectiveness of different fibre types. The behavior of concrete with natural and recycled aggregates from demolitions or crushed concrete is also investigated. The second part of the paper deals with the durability of SFR-RCC through the study of corrosion resistance as well as the resistance to freeze- thaw cycles.

¹ Υποψήφιος διδάκτορας, Τμήμα Πολιτικών και Δομοστατικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο του Sheffield, email: h.angelakopoulos@sheffield.ac.uk

² Υποψήφια διδάκτορας, Τμήμα Πολιτικών και Δομοστατικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο του Sheffield, email: a.graeff@sheffield.ac.uk

³ Ανώτερος Ερευνητικός Συνεργάτης, Τμήμα Πολιτικών και Δομοστατικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο του Sheffield, email: k.neocleous@sheffield.ac.uk

⁴ Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών και Δομοστατικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο του Sheffield, email: k.pilakoutas@sheffield.ac.uk

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επαναχρησιμοποίηση των δομικών υλικών και η ανακύκλωση άλλων με σκοπό την κάλυψη αναγκών στις κατασκευές ανταποκρίνεται στο αίτημα για διαφύλαξη του φυσικού πλούτου αλλά και την αποτελεσματική διαχείριση των απορριμμάτων. Το ΚΣ έχει τη δυνατότητα να απορροφήσει σημαντικό μερίδιο ανακυκλωμένων υλικών όπως αδρανή από κατεδαφίσεις ή παλαιά σκυροδέματα, καθώς και οπλισμό με τη μορφή ινών. Στις επόμενες ενότητες επιχειρείται παρουσίαση της μηχανικής συμπεριφοράς του ΚΣ με ανακυκλωμένα αδρανή και ίνες καθώς και της ανθεκτικότητας του ΙΚΣ με φυσικά αδρανή.

ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΔΙΝΕΣ ΙΝΕΣ

Χαλύβδινες ίνες από ανακυκλωμένα ελαστικά οχημάτων

Δύο τύποι ανακυκλωμένων ινών (Σχήμα 1), με διαφορετικές κατανομές μήκους, εξετάστηκαν σε αυτήν τη φάση της έρευνας. Ο τύπος RTC6-24, είχε μήκος που κυμαινόταν μεταξύ 6-24mm, ενώ ο τύπος RTC1-15 κυμάνθηκε μεταξύ 1-15mm. Και οι δύο τύποι ίνας είχαν μέση τιμή διαμέτρου ίση με 0.23mm και εφελκυστική αντοχή περίπου 2000MPa.



(α)



(β)

Σχήμα 1. (α) Ίνες χάλυβα από μηχανικά τεμαχισμένα ελαστικά οχημάτων; (β) Κατεργασμένες ίνες χάλυβα από ελαστικά οχημάτων

Βιομηχανικές χαλύβδινες ίνες

Ένας τύπος βιομηχανικών χαλύβδινων ινών χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την μελέτη: I2C1/54. Οι ίνες αυτές είναι από σύρμα συρματοποιημένο εν ψυχρό, με κωνικά άκρα (Σχήμα 2). Οι γεωμετρικές ιδιότητες των ινών αυτών είναι 54mm σε μήκος, 1.0mm σε διάμετρο, και παρουσιάζουν εφελκυστική αντοχή γύρω στα 1100MPa.



Σχήμα 2. Χαλύβδινες βιομηχανικές ίνες I2C1/54

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΙΚΣ

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δοκιμίων ήταν 150mm σε ύψος, 150mm σε πλάτος και 550mm σε μήκος. Η σκυροδέτηση των δοκιμίων έγινε σε τρία στρώματα και η συμπίεσή τους επιτεύχθηκε με κατάλληλη συσκευή συμπίεσης (σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στο Τμήμα Πολιτικών και Δομοστατικών μηχανικών, Πανεπιστημίου του Σέφιλντ) η οποία έχει τη δυνατότητα να προετοιμάζει εργαστηριακά δοκίμια αντιπροσωπευτικά των μιγμάτων που επιτυγχάνονται υπό συνθήκες εργοταξίου. Η συσκευή (Σχήμα 3) αποτελείται από ένα κατάλληλο δονητικό σφυρί ενσωματωμένο σε ένα σύστημα πλαισίων μαζί με ένα πρόσθετο μόνιμο φορτίο. Κυκλικές ή ορθογώνιες μεταλλικές πλάκες μπορούν να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να συμπιέζονται κύλινδροι, κύβοι καθώς και παραλληλόγραμμα πρίσματα.



Σχήμα 3. Μπροστινή και πίσω όψη της συσκευής συμπίεσης

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΙΚΣ

Η αποτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των ΙΚΣ δοκιμίων εξετάστηκε μέσω δοκιμών σε στατική κάμψη και αξονική θλίψη. Στις επόμενες υποενότητες γίνεται αναφορά στα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών με αναφορές στις ίνες που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και στα αδρανή.

Αντοχή σε στατική κάμψη

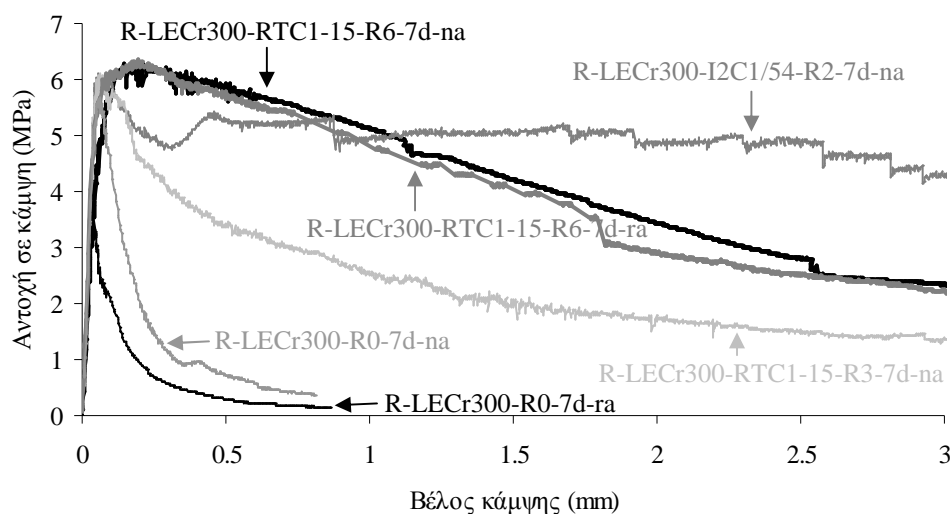
Οι δοκιμές σε κάμψη πραγματοποιήθηκαν σε ορθογώνια πρίσματα (150x150x550mm) ακολουθώντας τις συστάσεις για δοκιμές κάμψης της RILEM

(RILEM TC 162-TDF, 2002) σε συνδυασμό με τα Ιαπωνικά πρότυπα (Japan Society of Civil Engineers, 1994).

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4, η αύξηση της αντοχής σε κάμψη του ΚΣ λόγω προσθήκης ινών είναι σχετικά μικρή. Η ευεργετική δράση των ινών αφορά κυρίως τη δυσθραυστικότητα, που αυξάνεται με το ποσοστό των ινών και το λόγο μήκους προς διάμετρο (l/d), ώστε η αστοχία των ινών να γίνεται με εξόλκευση και όχι με θραύση, κάτι το οποίο αυξάνει το έργο παραμόρφωσης. Επίσης παρατηρείται ότι η παραμορφωμένη επιφάνεια των ινών (μείγμα R-LECr300-I2C1/54-R2-7d-na) βελτιώνει τη συνάφεια τους με το σκυρόδεμα και αυξάνει το φορτίο που απαιτείται για την αποκόλληση και εξόλκευσή τους.

Μετά το πρώτο ρήγμα, το ΙΚΣ με υψηλό ποσοστό ινών (R-LECr300-RTC1-15-R6-7d-na) παρουσιάζει μικρή βελτίωση αντοχής. Αντίθετα, τα δοκίμια με χαμηλά ποσοστά ινών (R-LECr300-I2C1/54-R2-7d-na, R-LECr300-RTC1-15-R3-7d-na) καθώς και το δοκίμιο (R-LECr300-R0-7d-na) του άοπλου σκυροδέματος δεν παρουσιάζουν αντίστοιχη βελτίωση αντοχής, η οριακή δηλαδή αντοχή τους συμπίπτει με την αντοχή του πρώτου ρήγματος. Για μεγαλύτερες μετατοπίσεις εμφανίζεται πτώση του αναλαμβανόμενου φορτίου, διαφορετικής όμως ταχύτητας για κάθε δοκίμιο. Στο δοκίμιο (R-LECr300-RTC1-15-R6-7d-na) η πτώση είναι ομαλή και οδηγεί σε πλαστικού τύπου αστοχία, στο δοκίμιο (R-LECr300-I2C1/54-R2-7d-na) η πτώση είναι περιορισμένη και οδηγεί σε ελαστοπλαστική αστοχία, στο δοκίμιο (R-LECr300-R0-7d-na) είναι απότομη και οδηγεί σε ψαθυρού τύπου αστοχία, ενώ στο δοκίμιο (R-LECr300-RTC1-15-R3-7d-na) είναι ενδιάμεσου τύπου, καθώς μεσολαβεί ένα πτωτικό άλμα και κατόπιν εξελίσσεται ομαλά υπό μικρότερο, όμως, φορτίο έναντι των δοκιμίων (R-LECr300-RTC1-15-R6-7d-na και R-LECr300-I2C1/54-R2-7d-na).

Η επίδραση των ανακυκλωμένων αδρανών (από κατεδάφιση) δίνεται επίσης στο Σχήμα 4. Σύμφωνα με το Σχήμα 4, τα ανακυκλωμένα αδρανή επηρεάζουν αρνητικά την αντοχή σε κάμψη του ΚΣ (R-LECr300-R0-7d-ra), ελαττώνοντας την κατά περίπου 30% σε σχέση με τα άοπλα δοκίμια με φυσικά αδρανή (R-LECr300-R0-7d-na). Η προσθήκη υψηλού ποσοστού ανακυκλωμένων ινών, σε δοκίμια με ανακυκλωμένα αδρανή (R-LECr300-RTC1-15-R6-7d-ra), αποσβένει την αρνητική επίδραση των χαμηλής ποιότητας αδρανών και κάνει την αντοχή σε κάμψη εφάμιλλη του ΙΚΣ με φυσικά αδρανή (R-LECr300-RTC1-15-R6-7d-na).



Σχήμα 4. Αντοχή σε στατική κάμψη

Στα πλαίσια της έρευνας αυτής επίσης εξετάστηκαν αδρανή από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα. Τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά καθώς δεν παρουσιάστηκε μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ΚΣ.

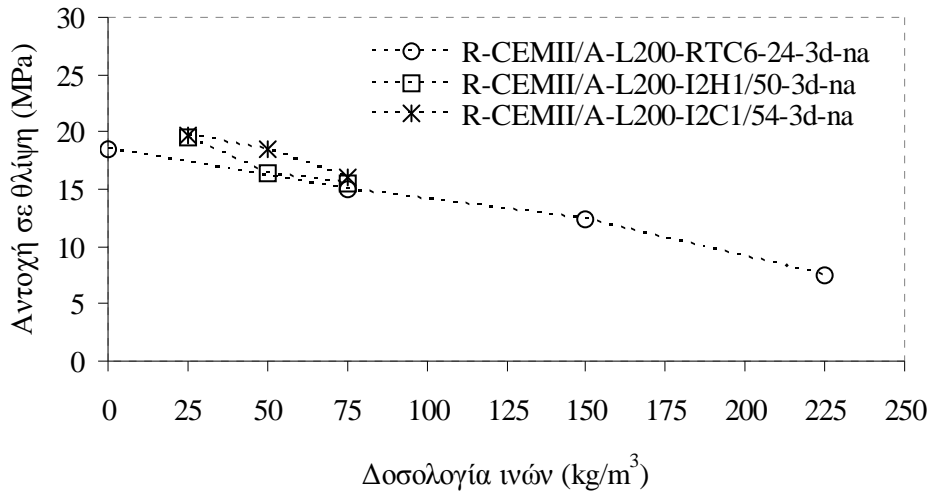
Αντοχή σε αξονική θλίψη

Η αντοχή σε αξονική θλίψη εξετάστηκε με δοκιμές σε κυλίνδρους (150x300mm) οι οποίες πραγματοποιήθηκαν ακολουθώντας τις συστάσεις για δοκιμές κάμψης της BS EN 12390-3 (2002).

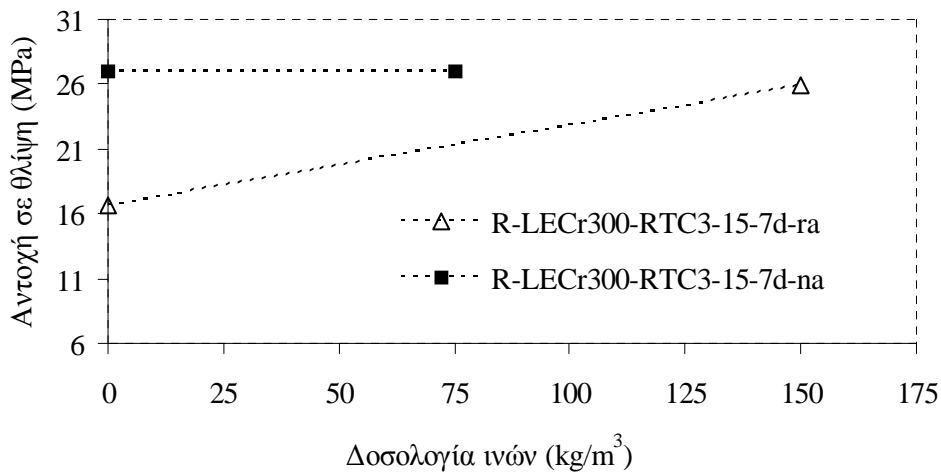
Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 5, η αντοχή σε θλίψη ινοπλισμένων δοκιμίων με σχετικά χαμηλό ποσοστό τσιμέντου (200 kg/m^3), παρουσιάζει σημαντική ελάττωση με την αύξηση της δοσολογίας ινών. Η ελάττωση της αντοχής σε θλίψη έφτασε και το 50% για δοσολογία ινών ίση με 225 kg/m^3 . Το ίδιο φαινόμενο επαναλήφθηκε με όλους τους τύπους ινών που εξετάστηκαν, με τις ανακυκλωμένες ίνες να εμφανίζουν ελαφρώς μεγαλύτερη ελάττωση λόγω των ακανόνιστων γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους, που ευνοούν την δημιουργία κενών στο σκυρόδεμα.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η αντοχή σε θλίψη άοπλου και ινοπλισμένου ΚΣ με αυξημένη ποσότητα τσιμέντου (300 kg/m^3), για δοκίμια με ανακυκλωμένα και φυσικά αδρανή. Δείχνεται ότι η αυξημένη ποσότητα τσιμέντου στο μείγμα επιτρέπει την ενσωμάτωση ινών χωρίς να επηρεάζεται η αντοχή σε θλίψη στη περίπτωση των δοκιμίων με φυσικά αδρανή (R-LECr300-RTC3-15-7d-na). Στη περίπτωση που χρησιμοποιήθηκαν ανακυκλωμένα αδρανή (από υλικό κατεδάφισης) η αντοχή σε κάμψη ελαττώθηκε κατά 40%. Η αρνητική επίδραση

των ανακυκλωμένων αδρανών στην αντοχή σε θλίψη του ΚΣ αντισταθμίστηκε πλήρως με την ενσωμάτωση 150 kg/m³ ανακυκλωμένων ινών.



Σχήμα 5. Αντοχή σε θλίψη δοκιμίων με 200 kg/m³ τσιμέντο, με διάφορες δοσολογίες ινών



Σχήμα 6. Αντοχή σε θλίψη δοκιμίων με ανακυκλωμένα και φυσικά αδρανή (300 kg/m³ τσιμέντο)

ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΙΚΣ

Αντοχή σε διάβρωση

Έως τώρα δεν υπάρχει συμφωνία ως προς το ποια είναι η αποτελεσματικότερη μέθοδο για την εκτίμηση της ανθεκτικότητας σε επιταχυνόμενη διάβρωση για ινοπλισμένο σκυρόδεμα. Επιπλέον, σχεδόν όλες οι εργασίες που εκπονήθηκαν στο χώρο υιοθέτησαν διαφορετικές τεχνικές χωρίς να παρατίθεται κάποιος συσχετισμός μεταξύ τους.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για την επιτάχυνση της διάβρωσης, βασίστηκε σε βύθιση δοκιμίων σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου (3% NaCl). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιείχε 4 ημέρες βύθισης σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου συνοδευόμενες από 3 ημέρες ξήρανσης σε θερμοκρασία δωματίου.

Ανάλυση αποτελεσμάτων αντοχής σε διάβρωση: Οπτική ανάλυση

Φωτογραφικό υλικό συλλέχτηκε σε τρία στάδια, για τη μελέτη της εξέλιξης της διάβρωσης: σε κατάσταση πριν από τη διάβρωση, κατόπιν 2.5 μηνών (Σχήμα α,β) και σε 5 μήνες (Σχήμα γ,δ).

Εξωτερική διάβρωση είχε ήδη ξεκινήσει κατά τη συντήρηση των δοκιμίων, πριν από την έκθεσή τους στις συνθήκες επιταχυνόμενης διάβρωσης. Τα αποτελέσματα της διάβρωσης ήταν ιδιαίτερα ορατά στα δοκίμια με ανακυκλωμένες ίνες τα οποία περιείχαν μεγαλύτερες δοσολογίες ινών (150 kg/m³) σε σχέση με τα δοκίμια που περιείχαν βιομηχανικές ίνες (50 kg/m³).



α) Εξωτερική όψη ΙΚΣ με ανακυκλωμένες ίνες (2,5 μήνες)

β) Εξωτερική όψη ΙΚΣ με βιομηχανικές ίνες (2,5 μήνες)

γ) Εξωτερική όψη ΙΚΣ με ανακυκλωμένες ίνες (5 μήνες)

δ) Εξωτερική όψη ΙΚΣ με βιομηχανικές ίνες (5 μήνες)

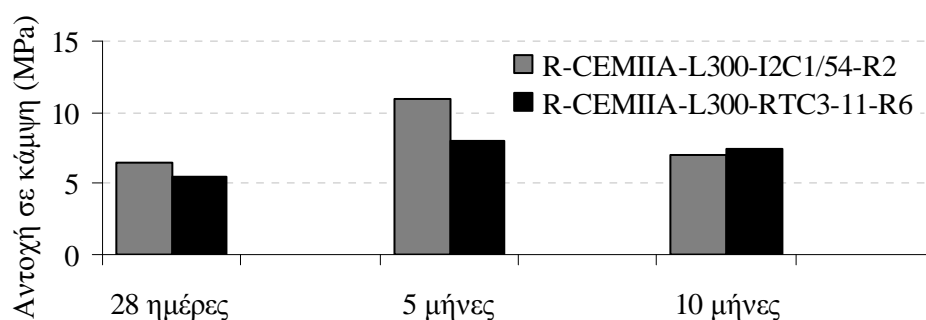
Σχήμα 7. Εξωτερική όψη δοκιμίων σε 2.5 και 5 μήνες επιταχυνόμενης διάβρωσης

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 7α στους πρώτους 2,5 μήνες σε περιβάλλον επιταχυνόμενης διάβρωσης, με δυσκολία διακρίνεται το χρώμα του σκυροδέματος καθώς η σκωρίαση έχει διαδοθεί σημαντικά στο εξωτερικό των δοκιμίων. Σημειώνεται ότι υπήρξε αποκόλληση μικρών κομματιών σκυροδέματος κατά τη μετακίνηση των δοκιμίων. Στη περίπτωση των δοκιμίων με βιομηχανικές ίνες (Σχήμα 7β) παρατηρήθηκε σκωρίαση του οπλισμού αλλά σε μικρότερη έκταση λόγω του μικρότερου αριθμού ινών που περιείχαν.

Το σχήμα 7γ,δ παρουσιάζει δοκίμια που παρέμειναν σε περιβάλλον επιταχυνόμενης διάβρωσης για 5 μήνες. Τα ίδια συμπεράσματα που εξήχθησαν για τους 2,5 μήνες σε διάβρωση ισχύουν και στη περίπτωση των 5 μηνών με τη διαφορά ότι σε αυτή τη περίπτωση η επιφανειακή διάβρωση έχει ακόμα μεγαλύτερη έκταση.

Ανάλυση αποτελεσμάτων αντοχής σε διάβρωση: Αντοχή σε στατική κάμψη

Αποτίμηση της επίδρασης της διάβρωσης στα μηχανικά χαρακτηριστικά των ΙΚΣ δοκιμίων εξετάστηκε μέσω δοκιμών σε στατική κάμψη και αξονική θλίψη. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αντοχής σε κάμψη συνοψίζονται στο Σχήμα 8.



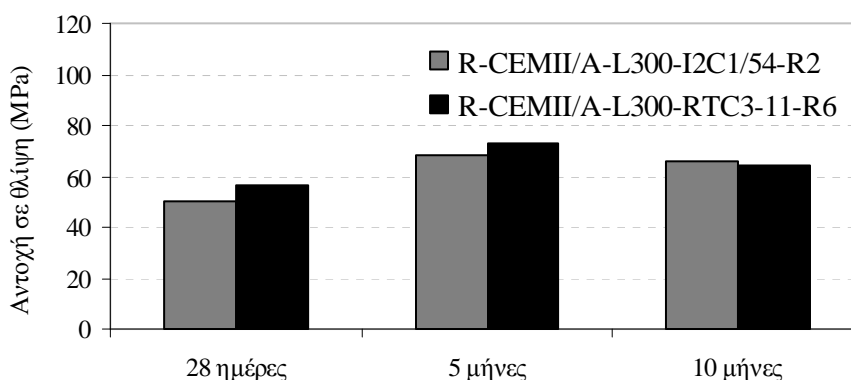
Σχήμα 8. Αποτελέσματα δοκιμών σε κάμψη

Σύμφωνα με το Σχήμα 8, η αντοχή σε στατική κάμψη κατόπιν επιταχυνόμενης διάβρωσης για 5 μήνες παρουσιάζεται αυξημένη συγκριτικά με την αντοχή του δοκιμίου αναφοράς στις 28 ημέρες. Η αύξηση της αντοχής οφείλεται καθολικά στην αναμενόμενη αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος με το χρόνο, και παραμένει ανεπηρέαστη από τη διάβρωση καθώς για το διάστημα των 5 μηνών ήταν μόνο επιφανειακή. Στους 10 μήνες η αντοχή σε κάμψη παρουσιάζεται μειωμένη συγκριτικά με την αντοχή στους 5 μήνες αλλά κυμαινόμενη στα ίδια επίπεδα με την αντοχή κατά τις πρώτες 28 ημέρες. Αυτό δείχνει ότι μετά τους πρώτους 10 μήνες σε περιβάλλον επιταχυνόμενης διάβρωσης τα αποτελέσματα

της διάβρωσης αρχίζουν να επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες του ΙΚΣ και είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό.

Ανάλυση αποτελεσμάτων αντοχής σε διάβρωση: Αντοχή σε αξονική θλίψη

Το Σχήμα 8, παρουσιάζει τα αποτελέσματα των δοκιμών σε θλίψη, για 28 ημέρες (δοκίμιο αναφοράς), 5 μήνες και 10 μήνες σε περιβάλλον επιταχυνόμενης διάβρωσης. Ανάλογα συμπεράσματα με αυτά των δοκιμών σε κάμψη μπορούν να εξαχθούν και στη περίπτωση των δοκιμών σε θλίψη για την επίδραση της διάβρωσης καθώς τα αποτελέσματά της αρχίζουν να γίνονται ορατά μετά τους πρώτους 10 μήνες.

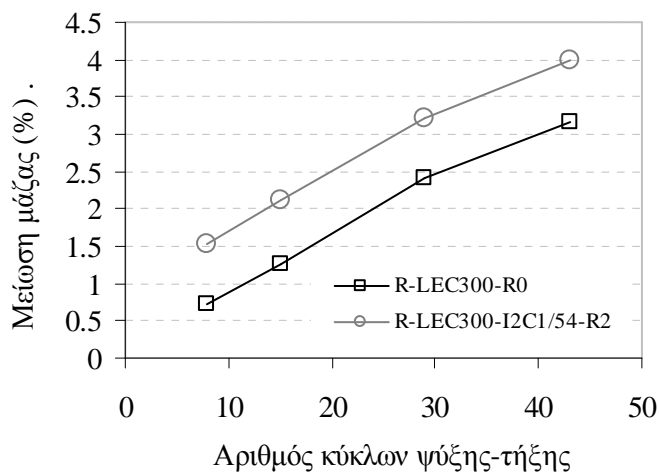


Σχήμα 8. Αποτελέσματα δοκιμών σε θλίψη

Αντοχή σε κύκλους ψύξης- τήξης

Η αντοχή σε κύκλους ψύξης-τήξης εξετάστηκε ακολουθώντας τις συστάσεις BS DD CEN/TS 12390-9:2006. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε ειδικά δοχεία με διάλυμα χλωρίου. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν μέσα σε περιβαλλοντολογικό θάλαμο και εκτέθηκαν σε διαδοχικούς κύκλους ψύξης- τήξης. Η θερμοκρασία στο κέντρο των δοκιμίων ανα κύκλο (24 ώρες) κυμαινόταν από 20°C σε -15°C, και διανύθηκαν συνολικά 42 κύκλοι ψύξης- τήξης.

Μετρήσεις για τη μείωση της μάζας έγιναν στους 7, 14, 28 και 42 κύκλους Σχήμα 9α. Μια αρχική εκτίμηση των αποτελεσμάτων αυτών είναι ότι η προσθήκη ινών στο ΚΣ ελαττώνει την αντοχή σε κύκλους ψύξης- τήξης καθώς προσθέτουν αλληλοσυνδεόμενα κενά στα μείγματα.



(α)

(β)

Σχήμα 9. (α) Αποτελέσματα δοκιμών σε κύκλους ψύξης- τήξης, (β) Όψη δοκιμίου μετά από 28 διαδοχικούς κύκλους ψύξης- τήξης

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προσθήκη ινών από χάλυβα έχει σημαντική θετική επίδραση στην πλαστική παραμόρφωση του κυλινδρούμενου σκυροδέματος. Οι βιομηχανικές ίνες είναι πιο αποτελεσματικές από τις ανακυκλωμένες σε ισοδύναμες δοσολογίες ινών.

Το ΚΣ με ανακυκλωμένα αδρανή (από κατεδάφιση) παρουσιάζει κατώτερη μηχανική συμπεριφορά σε αντιδιαστολή με ΚΣ με φυσικά αδρανή. Η προσθήκη υψηλού ποσοστού ανακυκλωμένων ινών, σε δοκίμια με ανακυκλωμένα αδρανή, αποσβένει την αρνητική επίδραση των χαμηλής ποιότητας αδρανών και κάνει την αντοχή τους εφάμιλλη του ΙΚΣ με φυσικά αδρανή. Επίσης αδρανή από ανακυκλωμένα σκυροδέματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία στο ΚΣ και ΙΚΣ.

Η αντοχή σε θλίψη δεν πρέπει να λαμβάνεται σαν δείκτης απόδοσης του ΙΚΣ καθώς δεν αντανάκλα τη θετική επίδραση των ινών, ειδικά σε χαμηλές περιεκτικότητες σε τσιμέντο (200 kg/m^3).

Όσον αφορά την ανθεκτικότητα του ΙΚΣ τα αποτελέσματα επιταχυνόμενης διάβρωσης και κύκλων ψύξης- τήξης έδειξαν ότι δεν αναμένεται μείωση της αντοχής στους πρώτους 10 μήνες έκθεσης στο ανάλογο περιβάλλον.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αυτή η έρευνα (μέρος του προγράμματος EcoLanes) χρηματοδοτήθηκε από το 6^ο πρόγραμμα-πλαίσιο της ΕΕ, στο πλαίσιο της σύμβασης με αριθμό 031530.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

BS EN 12390-3 (2002), Testing of hardened concrete – part 3: compressive strength of test specimens. British Standards Institution, London.

CEN (2006) ‘Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling. DD CEN/TS 12390-9:2006.’ European Committee for Standardisation , Brussels, 2006.

RILEM TC 162-TDF, “Test and design methods for steel fibre reinforced concrete: bending test”, *Materials and Structures*, Vol. 35 (253), pp. 579-582, (2002).

Japan Society of Civil Engineers, Methods of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fibre reinforced concrete. Concrete Library of JSCE, SF4, pp 58-61, (1994).