

Ινοπλισμένο κονίαμα υψηλών αντοχών

Ι.Α. Μαρίνος

Χημικός Μηχανικός, Διευθυντής Ποιότητας και Διεργασιών Παραγωγής ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ

Α.Κερμετζόγλου

Χημικός Μηχανικός, Διευθυντής Τεχνικής Υποστήριξης Πωλήσεων ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ

Β. Καλοϊδάς

Δρ. Χημικός Μηχανικός, Ελληνικό Κέντρο Ερευνών Τσιμέντου(ΕΚΕΤ) ΕΠΕ

Γ. Π. Ρουβέλας

Προϊστ. Τμ. Φυσικομηχανικών Δοκιμών, Ελληνικό Κέντρο Ερευνών Τσιμέντου (ΕΚΕΤ) ΕΠΕ

Λέξεις κλειδιά: high strength mortar, reinforced mortar, fiber mortar

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην ανακοίνωση αυτή παρουσιάζονται οι ιδιότητες ενός σύνθετου ινοπλισμένου κονιάματος με βάση το τσιμέντο. Το υλικό εμφανίζει ενισχυμένες μηχανικές ιδιότητες (θλιπτική και καμπτική αντοχή), βελτιωμένα ρεολογικά χαρακτηριστικά και ελαφρά διόγκωση κατά την σκλήρυνση. Οι δοκιμές τάσης-παραμόρφωσης σε κάμψη δείχνουν ότι το σκληρωμένο υλικό εμφανίζει μεγάλη απορρόφηση ενέργειας κατά την διάρκεια της καταπόνησης.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς των υφιστάμενων κατασκευών, και η χρήση των συμβατικών υλικών στον τομέα αυτό (οπλισμένο σκυρόδεμα, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, μεταλλικές κατασκευές κλπ.) οδηγούν σε ενισχύσεις που μερικές φορές δημιουργούν προβλήματα λειτουργικότητας και διάθεσης χώρου.

Ένα κονίαμα με ενισχυμένες μηχανικές ιδιότητες (θλιπτική και καμπτική αντοχή), βελτιωμένα ρεολογικά χαρακτηριστικά (εργασιμότητα, αντλησιμότητα, δυνατότητα εφαρμογής χωρίς δόνηση) και χωρίς την απαίτηση διάταξης και αγκύρωσης σημαντικού αριθμού ράβδων οπλισμού μπορεί να διευρύνει τις δυνατότητες των εφαρμογών επισκευής ή ενίσχυσης κατασκευών από σκυρόδεμα.

Στην εισήγηση αυτή παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά ενός σύνθετου ινοπλισμένου κονιάματος με βάση το τσιμέντο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή μανδύων ενίσχυσης, προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων κλπ. Το υλικό αναπτύσσεται από την ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ στο Ελληνικό Κέντρο Ερευνών Τσιμέντου στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος της ΓΓΕΤ με την συμμετοχή των φορέων: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, CUBUS Hellas ltd και EBETAM.

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.1 Υλικά

Για την σύνθεση του ινοπλισμένου κονιάματος πραγματοποιήθηκε σειρά δοκιμαστικών μιγμάτων (65) με σκοπό τον έλεγχο καταλληλότητας/συμβατότητας των συστατικών του για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στα δοκιμαστικά μίγματα ήταν:

1) Τσιμέντο CEM I 52,5. Τσιμέντο με μεγάλη περιεκτικότητα σε κλίνκερ χωρίς πρόσμικτα. Προσδίδει τις βασικές μηχανικές αντοχές στο νέο προϊόν και επιδρά στις ρεολογικές ιδιότητές του.

2) Κοκκομετρικά κλάσματα άμμου με μέγιστο μέγεθος κόκκων 1,2 mm. Στην περίπτωση θραυστής άμμου οι κόκκοι παρουσιάζουν επιφανειακή ανωμαλία που βελτιώνει την πρόσφυση του τσιμεντοπολτού, ενώ στην περίπτωση άμμου ποταμού οι λείοι κόκκοι βελτιώνουν τις ρεολογικές ιδιότητες του κονιάματος. Η αναλογία των κοκκομετρικών κλασμάτων ρυθμίζει τις ρεολογικές ιδιότητες του νωπού και τις μηχανικές ιδιότητες του σκληρυμένου κονιάματος.

3) Ασβεστολιθική παιπάλη. Υλικό μεγέθους κόκκου < 75 μm. Επιδρά στις ρεολογικές ιδιότητες του νωπού και στο πορώδες του σκληρυμένου κονιάματος.

4) Μικροπυριτία και πυριτική παιπάλη. Υπέρλεπτα ποζολανικά υλικά με άμορφη πυριτία για την ρύθμιση ρεολογικών ιδιοτήτων του νωπού και των μηχανικών ιδιοτήτων του σκληρυμένου κονιάματος. Χρησιμοποιήθηκε συμπακνωμένη πυριτική παιπάλη (densified microsilica) εμπορίου.

5) Οργανικά πρόσθετα βελτίωσης ρεολογικών ιδιοτήτων. Χρησιμοποιήθηκαν 4 υπερρευστοποιητές τρίτης γενιάς με βάση τους πολυκαρβοξυλικούς αιθέρες. Επιβραδύνουν τις πρώιμες αντιδράσεις ενυδάτωσης επικαλύπτοντας τους κόκκους του τσιμέντου και τροποποιούν το ιξώδες του τσιμεντοπολτού με παράπλευρες μοριακές αλυσίδες. Επιτυγχάνεται αύξηση της εργασιμότητας του νωπού προϊόντος, διατήρηση της εργασιμότητας στο χρόνο, αποφυγή απόμιξης και σημαντική μείωση του λόγου νερό/τσιμέντο με αντίστοιχη αύξηση της ανθεκτικότητας (λόγω μείωσης του πορώδους) και της μηχανικής αντοχής του σκληρυμένου κονιάματος.

6) Στερεά πρόσθετα. Χρησιμοποιήθηκαν πρόσθετα ως πληρωτικά ή δραστικά υλικά για την τροποποίηση των ιδιοτήτων του κονιάματος. Παρασκευάστηκαν στο ΕΚΕΤ ή προέρχονται από τροποποίηση εμπορικών προϊόντων.

7) Ίνες. Χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικές (2 είδη) ή πολυμερείς ίνες (1 είδος) για την αύξηση της απορρόφησης ενέργειας κατά την καταπόνηση σε κάμψη. Το σχήμα και οι διαστάσεις των ινών επιδρούν στις ρεολογικές ιδιότητες του νωπού και στις μηχανικές ιδιότητες του σκληρυμένου κονιάματος.

2.2 Μέθοδοι δοκιμών

Στους Πίνακες 1 και 2 παρουσιάζονται οι μέθοδοι δοκιμών που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των ιδιοτήτων των δοκιμαστικών μιγμάτων.

Τα δοκιμαστικά μίγματα παρασκευάζονταν σε τυπικό αναμκτήρα σύμφωνα με το πρότυπο EN 196.1. Η εργασιμότητα των νωπών μιγμάτων προσδιοριζόταν με την χρήση κώνου Abrams διαστάσεων ίσων με το 1/2 του προτύπου κώνου (D1=Ø 100 mm, D2=Ø 50 mm, H=150 mm). Με τον τρόπο αυτόν διευκολύνεται η πειραματική διαδικασία μειώνοντας τον όγκο των δοκιμαστικών μιγμάτων στο 1/8 του απαιτούμενου.

Η μέθοδος EN 196.2 χρησιμοποιήθηκε ως ταχεία μέθοδος για την σύγκριση των μηχανικών αντοχών των δοκιμαστικών κονιαμάτων. Κατά την μέθοδο EN 196.2 η καμπτική αντοχή προσδιορίζεται με σταθερό ρυθμό επιβολής φορτίου στο μέσον του πρισματικού δοκιμίου και με δύο συμμετρικά σημεία στήριξης που απέχουν μεταξύ τους 100 mm (συνολικά τρία σημεία επαφής). Παρουσιάζει σημαντική διακύμανση μετρήσεων και δεν είναι αξιόπιστη για τον

προσδιορισμό της καμπτικής αντοχής κατά την εμφάνιση της πρώτης ρωγμής στην περίπτωση των ινοπλισμένων κονιαμάτων

Πίνακας 1. Μέθοδοι δοκιμών στο ξηρό και στο νωπό κονίαμα

Ιδιότητα	Μέθοδος μέτρησης	Πρότυπο
Κοκκομετρία	Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα	EN 1015-1
Εργασιμότητα	Δοκιμή εξάπλωσης με κώνο Abrams μισών διαστάσεων	Εσωτερικό ΕΚΕΤ

Πίνακας 2. Μέθοδοι δοκιμών στο σκληρυμένο κονίαμα

Ιδιότητα	Μέθοδος μέτρησης	Πρότυπο
Καμπτική αντοχή 2, 7, 28 ημ.	Κάμψη τριών σημείων σε δοκίμια 40 mm x 40 mm x 160 mm	EN 196.1
Θλιπτική αντοχή 2, 7, 28 ημ.	Μονοαξονικής θλίψη στα ημιπρίσματα της καμπτικής αντοχής	EN 196.1
Παραμόρφωση σε κάμψη		ASTM C 1018
Συστολή ξήρανσης	Μεταβολή μήκους σε σκληρυμένο υδραυλικό κονίαμα	Με βάση ASTM C 157

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

3.1 Βασική σύνθεση και ιδιότητες

Τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών μιγμάτων οδήγησαν στην σύνθεση με κωδικό 2132 που αποτελεί το βασικό μίγμα για την περαιτέρω βελτίωση της επιτελεστικότητας του υλικού. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι ιδιότητες της σύνθεσης 2132 και των συνθέσεων 2133 και 2132X που αποτελούν τροποποιήσεις της 2132. Η σύνθεση 2132 περιέχει ίνες μήκους 30 mm από ανοξείδωτο χάλυβα κεκαμμένες στα άκρα και υπερρευστοποιητή με κωδικό SP1. Η σύνθεση 2133 περιέχει υπερρευστοποιητή με κωδικό SP2 στην ίδια αναλογία και στην σύνθεση 2132X δεν περιέχονται ίνες.

Η σύνθεση 2132 χαρακτηρίζεται από πολύ καλή εργασιμότητα που είναι αναγκαία για την πλήρωση των διακένων κατά την χύτευση του νωπού κονιάματος. Η εξάπλωση με την χρήση κώνου Abrams κανονικών διαστάσεων (D1=Ø 200 mm, D2=Ø 100 mm, H=300 mm) μετρήθηκε ίση με 700 mm και είναι αποτέλεσμα της κοκκομετρικής κατανομής των συστατικών και των προσθέτων. Η χρήση του υπερρευστοποιητή SP2 στην σύνθεση 2133 μείωσε δραστικά την εργασιμότητα του νωπού κονιάματος (390 mm) αν και διατηρήθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες.

Η καμπτική και θλιπτική αντοχή της σύνθεσης 2132 κατά EN 196.2 βρέθηκε ίση με 11,9 MPa και 109,8 MPa αντίστοιχα στην ηλικία των 28 ημερών. Η θλιπτική αντοχή των αντίστοιχων κυβικών δοκιμίων μετρήθηκε ίση με 98,6 MPa. Οι μετρήσεις καμπτικής αντοχής παρουσιάζουν μεγάλες τυπικές αποκλίσεις και καλύπτουν στατιστικά την εμφανιζόμενη διαφορά από την ηλικία των 7 ημερών (13,9 MPa) στην ηλικία των 28 ημερών (11,9 MPa). Σημειώνεται ότι στην ηλικία των 28

ημερών έχουν καταγραφεί τιμές καμπτικής αντοχής έως και 16,2 MPa και θλιπτικής αντοχής έως και 123,1 MPa.

Πίνακας 3. Συστατικά και ιδιότητες συνθέσεων 2132, 2133 και 2132X

ΚΩΔ. ΣΥΝΘΕΣΗΣ		2132	2133	2132X
Τσιμέντο	kg/m ³	682	682	687
Στερεό πρόσθετο	kg/m ³	13,9	13,9	14,0
Αμμος	kg/m ³	1421	1421	1433
Ινες	kg/m ³	61	61	0
Νερό	kg/m ³	231	231	233
Υπερρευστοποιητής SP1	kg/m ³	9,1		9,1
Υπερρευστοποιητής SP2	kg/m ³		9,1	
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ				
Εξάπλωση με κώνο Abrams κανονικών διαστάσεων	mm	700	390	700
Καμπτική αντοχή EN196.1 (40x40x160 mm³)				
2 ημερ	MPa	11,7	10,6	10,7
7 ημερ	MPa	13,4	13,2	13,2
28 ημερ	MPa	11,9	13,5	11,8
Θλιπτική αντοχή EN196-1 (40x40x160 mm³)				
2 ημερ	MPa	58,1	71,5	69,2
7 ημερ	MPa	90,9	93,9	83,5
28 ημερ	MPa	109,8	110,5	99,7
Θλιπτική αντοχή ΣΚ 304 κύβος 150 mm – 28 ημερ.				
	MPa	98,6		

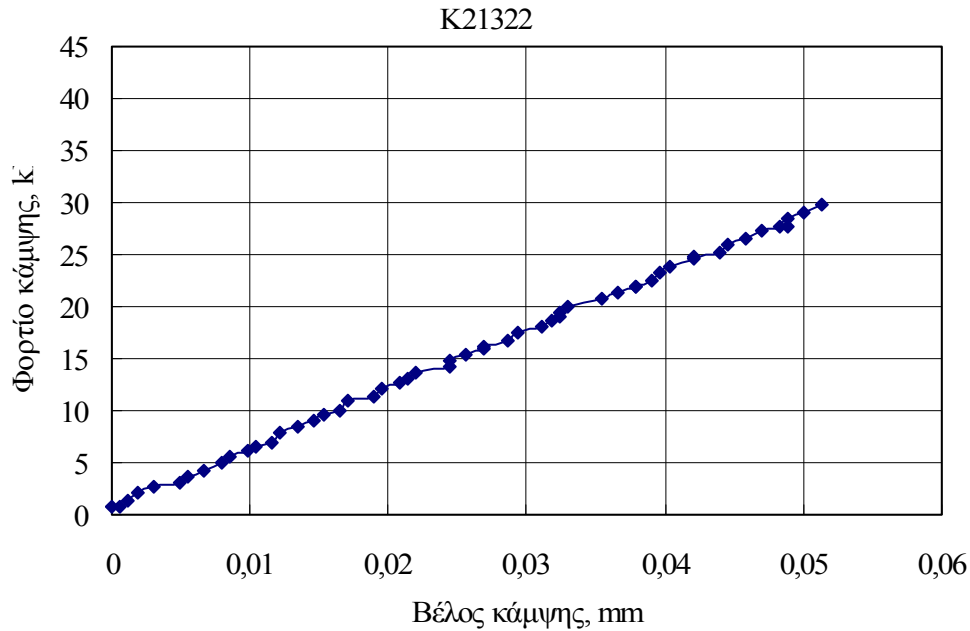
3.2 Δοκιμές δυσθραυστότητας σε κάμψη

Με σκοπό την μελέτη της συμπεριφοράς του σκληρυμένου υλικού της σύνθεσης 2132 σε κάμψη κατασκευάστηκε σειρά πρισματικών δοκιμίων διαστάσεων 100x100x500 mm³ με και χωρίς ίνες στα οποία προσδιορίστηκε η δυσθραυστότητα και η καμπτική αντοχή σύμφωνα με το Πρότυπο ASTM C 1018 “Standard test method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete” που είναι κατάλληλο για ινοπλισμένο σκυρόδεμα. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στον Τομέα Μεταφορών & Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Σ. Κόλια.

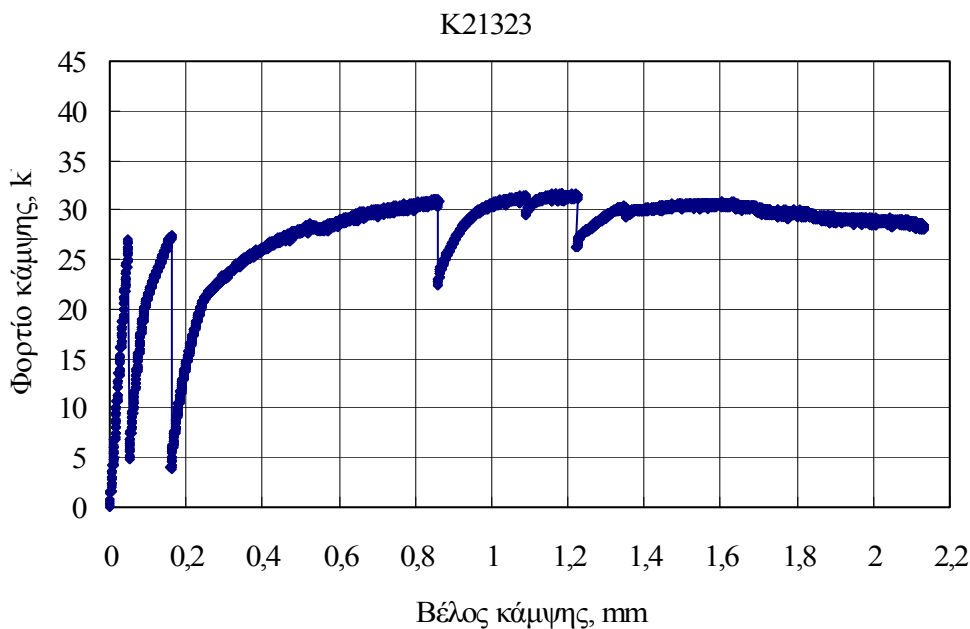
Κατά την μέθοδο ASTM C 1018 η καμπτική αντοχή προσδιορίζεται με σταθερή ταχύτητα μεταβολής του βέλους κάμψης με την επιβολή φορτίου σε δύο συμμετρικά σημεία του δοκιμίου που απέχουν μεταξύ τους 150 mm και με δύο συμμετρικά σημεία στήριξης που απέχουν μεταξύ τους 450 mm (συνολικά τέσσερα σημεία επαφής). Η φόρτιση έγινε σε σερβο-υδραυλική μηχανή MTS 100 kN με έλεγχο της ταχύτητας επιβολής βέλους κάμψεως που ορίστηκε στα 0,05mm/s. Το βέλος κάμψης μετριόταν με δύο επαγωγικά μικηροσκόπια τοποθετημένα στις δύο πλευρές του

δοκιμίου. Η μέση τιμή των δύο μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς και στα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης.

Στα Σχήματα 1 και 2 παρουσιάζονται αντιπροσωπευτικά διαγράμματα του επιβαλλόμενου φορτίου ως συνάρτηση του βέλους κάμψης στο μέσον του δοκιμίου για δοκίμια χωρίς και με ίνες.



Σχήμα 1. Διάγραμμα μεταβολής του φορτίου κάμψης συναρτήσει του βέλους κάμψης. Δοκίμιο K21322 χωρίς ίνες.



Σχήμα 2. Διάγραμμα μεταβολής του φορτίου κάμψης συναρτήσει του βέλους κάμψης. Δοκίμιο K21323 με ίνες.

Στην περίπτωση του δοκιμίου με ίνες είναι εμφανής η πτώση και η ανάκτηση του φορτίου κάμψης μετά την δημιουργία ρωγμών και το πολλαπλάσιο βέλος κάμψης (~ 2 mm έναντι ~0,052 mm στο δοκίμιο χωρίς ίνες). Διακρίνονται τουλάχιστον 4 σημεία πτώσης του φορτίου λόγω δημιουργίας ρωγμών.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται φυσικά μεγέθη που χαρακτηρίζουν την αντοχή του σκληρυμένου υλικού σε κάμψη και υπολογίζονται από τα διαγράμματα βέλους κάμψης. – φορτίου.

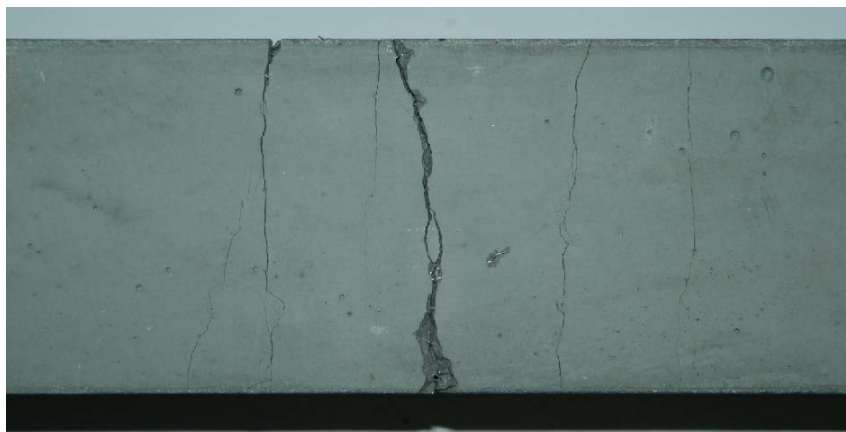
Η αντοχή σε κάμψη κατά την δημιουργία της πρώτης ρωγμής είναι μικρότερη από την προσδιοριζόμενη με την μέθοδο EN 196.1 που αποδίδεται στις διαφορετικές πειραματικές συνθήκες θραύσης και στον σημαντικά μεγαλύτερο όγκο του δοκιμίου της μεθόδου ASTM C 1018.

Μέχρι την δημιουργία της πρώτης ρωγμής η καμπτική αντοχή και το βέλος κάμψης έχουν γειτονικές τιμές για τα άοπλα και τα ινοπλισμένα δοκίμια. Η μέση τιμή της καμπτικής αντοχής στα 7 άοπλα δοκίμια υπολογίστηκε ίση με 6,6 MPa με τυπική απόκλιση 1,7 MPa με αντίστοιχες τιμές για τα 9 ινοπλισμένα δοκίμια 6,0 MPa και 1,1 MPa. Μετά την δημιουργία της πρώτης ρωγμής τα άοπλα δοκίμια αστόχησαν ψαθυρά (εκτός του 2169224 που παρουσίασε μικρό φθίνοντα κλάδο) ενώ στα ινοπλισμένα δοκίμια παρατηρείται απότομη μείωση του φορτίου και στην συνέχεια ανάληψη του φορτίου μέσω των ινών και του μη ρηγματωμένου τμήματος της διατομής. Η κεντρική ρωγμή δεν επεκτείνεται σε όλο το ύψος της διατομής. Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται με την δημιουργία παραπλεύρων ρωγμών εκατέρωθεν της κεντρικής (Σχήμα 5). Σημειώνεται ότι για μεγάλες τιμές του βέλους κάμψης το φορτίο παραμένει μεγαλύτερο από το φορτίο δημιουργίας της πρώτης ρωγμής. Πτωτικός κλάδος παρατηρήθηκε σε ορισμένα δοκίμια μετά την συμπλήρωση βέλους περίπου 2 mm.

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4 είναι εμφανές ότι η ενέργεια θραύσης των ινοπλισμένων δοκιμίων είναι πολλαπλάσια από εκείνη των άοπλων δοκιμίων. Σημειώνεται ότι λόγω της αυξανόμενης εφαρμογής των ινοπλισμένων κονιαμάτων ή/και σκυροδεμάτων (Οικονόμου 2003a) ο μηχανισμός της καμπτικής συμπεριφοράς και της εξόλκευσης των ινών αποτελεί αντικείμενο της σύγχρονης εφαρμοσμένης έρευνας (Karayannis 1997, Naaman 1976, Naaman 1985).

Πίνακας. 4 Χαρακτηριστικές τιμές φυσικών μεγεθών από την δοκιμή κάμψης ASTM C 1018 σε δοκίμια 100x100x500 mm³ της σύνθεσης 2132

Δοκίμιο		Ηλικία	Μέτρο Ελαστικότητας σε κάμψη		Φορτίο 1ης ρωγμής	Αντοχή σε κάμψη	Βέλος 1ης ρωγμής	Ενέργεια θραύσης μέχρι την 1η ρωγμή	3 x βέλος 1ης ρωγμής	Ενέργεια θραύσης	10,5 x βέλος 1ης ρωγμής	Ενέργεια θραύσης
			Χωρίς διάτμηση	Με διάτμηση								
			E1	E2	P1	f _f	δ1	A1	δ3 = 3 δ1	A3	δ10=10,5 δ1	A10
		ημέρες	MPa	MPa	kN	MPa	mm	kN mm	mm	kN mm	mm	kN mm
2169224	άοπλο	14	30500	38000	12,30	3,7	0,0232	0,158	0,0696	0,363		
K21321	άοπλο	28	34000	42500	24,22	7,3	0,0409	0,506				
K21322	άοπλο	28	33500	41500	29,74	8,9	0,0513	0,782				
K21324	άοπλο	28	31500	39000	25,44	7,6	0,0464	0,622				
21691-X	άοπλο	28	31000	38500	18,95	5,7	0,0354	0,359				
21692-X	άοπλο	28	27000	33500	20,70	6,2	0,0439	0,443				
21691	άοπλο	34	31500	39000	23,10	6,9	0,0421	0,506				
2132124	ινοπλ.	14	30500	38000	23,19	7,0	0,0439	0,540	0,1319	1,963	0,4615	9,856
2132224	ινοπλ.	14	28000	35000	16,02	4,8	0,0330	0,319	0,0989	1,236	0,3461	5,550
K21323	ινοπλ.	28	32500	40500	26,95	8,1	0,0476	0,662	0,1428	2,433	0,4999	10,482
21321-X	ινοπλ.	28	29500	36500	22,41	6,7	0,0439	0,488	0,1318	2,186	0,4614	11,251
21322-X	ινοπλ.	28	28500	35500	15,72	4,7	0,0500	0,250	0,1501	1,209	0,5255	6,317
K2132a	ινοπλ.	30	32000	40000	18,02	5,4	0,0323	0,328	0,0970	1,386	0,3397	6,020
2132a1	ινοπλ.	33	36000	44500	21,34	6,4	0,0342	0,373	0,1026	1,637	0,3591	8,072
2132a2	ινοπλ.	33	33500	41500	20,65	6,2	0,0354	0,380	0,1062	1,610	0,3717	8,869
2132a3	ινοπλ.	33	35500	44000	16,50	5,0	0,0269	0,239	0,0806	0,902	0,2820	4,546



Σχήμα 5. Κάτοψη κεντρικής περιοχής ινοπλισμένου δοκιμίου μετά την καταπόνηση σε κάμψη

3.3 Συρρίκνωση – Διόγκωση

Η συνήθης συρρίκνωση κατά την σκλήρυνση που συμβαίνει στα κονιάματα με βάση το τσιμέντο δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στην λειτουργία ενός επισκευαστικού κονιάματος υψηλής επιτελεστικότητας (Οικονόμου 2003b, Hewlett 2004, Neville 1995) Η ιδιότητα μπορεί να αντιστραφεί σε ελαφρά διόγκωση με την χρήση ειδικών προσθέτων και κατάλληλης κοκκομετρικής κατανομής των υλικών.

Σε δοκίμια της σύνθεσης 2132 διαστάσεων 40x40x160 mm³ μετρήθηκε η μεταβολή του μήκους σε σχέση με τον χρόνο για διαφορετικές συνθήκες συντήρησης. Στον Πίνακα 5 και στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Τα δοκίμια 2132α που εκτέθηκαν αμέσως μετά την χύτευσή τους σε συνθήκες εργαστηρίου παρουσίασαν εξ αρχής ελαφρά διόγκωση που συνεχίστηκε μέχρι την ηλικία των 28 ημερών και δείχνει να διατηρείται ελαφρώς αυξανόμενη μέχρι και τους 15 μήνες (0,014%). Τα δοκίμια 2132β που συντηρήθηκαν κατά τις 7 πρώτες ημέρες σε συνθήκες υγρού θαλάμου (20±1 °C και σχετική υγρασία >90%), παρουσιάζουν πολύ μικρή αρχική συρρίκνωση στην ηλικία των 7 ημερών και στην συνέχεια ακολουθούν την εξέλιξη των δοκιμίων 2132α. Τα δοκίμια 2132γ που πρακτικά συντηρούνται σε συνθήκες υγρού θαλάμου εμφανίζουν πολύ μικρότερη διόγκωση από τα δοκίμια των δύο άλλων σειρών.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την χρήση κατάλληλα επιλεγμένων ή τροποποιημένων υλικών παρασκευάστηκε βασική σύνθεση ινοπλισμένου κονιάματος με σκοπό την ανάπτυξή της ως κονίαμα υψηλών αντοχών για την βελτίωση της αντισεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων. Η βασική ινοπλισμένη σύνθεση είχε τα εξής χαρακτηριστικά:

- Εργασιμότητα: 700 mm εξάπλωση με χρήση κώνου Abrams
- Θλιπτική αντοχή κατά ΣΚ-304 (κύβος ακμής 150 mm) 98,6 MPa
- Καμπτική αντοχή κατά ASTM C 1018 (πρίσμα 100x100x500 mm³) κατά την δημιουργία πρώτης ρωγμής 6,0 MPa, μέγιστο βέλος κάμψης 2 mm
- Απορρόφηση ενέργειας κατά την καμπτική καταπόνηση πολλαπλάσια της αντίστοιχης άοπλου υλικού

- Ελαφρά διόγκωση σε συνθήκες περιβάλλοντος

Πίνακας 5. Συνθήκες συντήρησης και διόγκωση για δοκίμια 40x40x160 mm³ της σύνθεσης 2132

2132α		2132β		2132γ	
Συντήρηση		Συντήρηση		Συντήρηση	
	Ημέρες		Ημέρες		Ημέρες
Εργαστήριο	1- τέλος	Υγρός θαλ.	0-7	Υγρός θαλ.	0-7
		Εργαστήριο	7- τέλος	Εργαστήριο	7-14
				Υγρός θαλ.	14 - τέλος
Ηλικία	Διόγκωση	Ηλικία	Διόγκωση	Ηλικία	Διόγκωση
	%		%		%
7 ημ	0,0027	7 ημ	-0,0015	7 ημ	-0,0015
14 ημ	0,0097	14 ημ	0,0077	14 ημ	0,0077
21 ημ	0,0092	21 ημ	0,0074	21 ημ	0,0015
28 ημ	0,0129	28 ημ	0,0110	28 ημ	0,0040
2 μην	0,0119	2 μην	0,0125	2 μην	0,00325
3 μην	0,0118	3 μην	0,0136	3 μην	0,00350
4 μην	0,0130	4 μην	0,0146	4 μην	0,00475
5 μην	0,0118	5 μην	0,0136	5 μην	0,00400
9 μην	0,0098	9 μην	0,0143	9 μην	0,00325
15 μην	0,0135	15 μην	0,0138	15 μην	0,00150

5 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Οικονόμου, Χ.Μ. 2003a. Τεχνολογία του σκυροδέματος, 234-237, Αθήνα: Τεκδοτική
- Οικονόμου, Χ.Μ. 2003b. Τεχνολογία του σκυροδέματος, 160-164, Αθήνα: Τεκδοτική
- Hewlett, P.C. (editor) 2004. Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 390-394, Oxford: Elsevier
- Karayannis C.G. & Chalioris C.E. Steel fiber pullout from cementitious matrices", 1ο Ελληνικό Συνέδριο Συνθέτων Υλικών και Κατασκευών, Ξάνθη.
- Naaman A.E. & Shah S.P. 1976. Pull-Out Mechanisms in Steel Fiber-Reinforced Concrete. Journal of Structural Engineering, Aug., Vol. 102, No. ST8, 1537-1548.
- Naaman A.E. 1985. High Strength Fiber Reinforced Cement Composites. Proceedings of MRS Symposium on Potential of Very High Strength Cement-Based Materials, Materials Research Society, J.F.Young (editor). Vol 42, 217-229.