

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΒΙΟ-ΙΝΩΝ ΣΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

THE ROLE OF BIO-FIBRES IN CEMENT MORTARS

Μαρία ΣΤΕΦΑΝΙΔΟΥ¹, Ευστράτιος ΚΕΧΑΓΙΑΣ², Μάριος ΣΓΟΥΡΟΣ²,
Φωτεινή ΚΕΣΙΚΙΔΟΥ³,
Αλέξανδρος ΛΙΑΠΗΣ³ Έλενα ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ³

Λέξεις κλειδιά: φυσικές ίνες, τσιμεντο-κονιάματα, αντοχές, παραμόρφωση
Keywords: natural fibres, cement mortars, strength, deformation

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η ανάπτυξη εξειδικευμένων δομικών υλικών που καλούνται να καλύψουν ποικίλες ανάγκες στην κατασκευή προϋποθέτει την επάρκεια και την πρόσβαση σε πόρους οι οποίοι είναι πεπερασμένοι. Σήμερα, έρχεται στο προσκήνιο η ανάγκη στροφής σε υλικά με μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα ή χρήση υλικών βιολογικής προέλευσης που θα εξασφαλίσουν τη βιωσιμότητα, σε συνδυασμό με την ανθεκτικότητα και τις μηχανικές αντοχές. Η παρούσα μελέτη, διερευνά το ρόλο των βιο-ινών που προέρχονται από τα φυτά γιούτα, καρύδα, κάνναβη και φύκια, στις ιδιότητες των τσιμεντοκονιαμάτων. Εφαρμόστηκαν επίσης ίνες πολυπροπυλενίου για λόγους σύγκρισης. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά τόσο ως προς τις μηχανικές ιδιότητες που καταγράφηκαν όσο και σχετικά με την ενέργεια που απαιτείται για τη θραύση τους η οποία είναι τουλάχιστον 50 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με ένα άοπλο δοκίμιο.

ABSTRACT: Nowadays, materials with specialized features have been developed to meet the varied and particular needs of construction. However, their development requires sufficiency and access to resources that are finite, while their processing is an aggravating factor for the environment. Therefore, the need for materials with a small environmental footprint or the use of eco-friendly materials, that will ensure viability, durability and mechanical strengths, comes to light. This study explores the role of bio-fibers derived from jute, coconut, hemp and algae plants in cement mortars. Polypropylene fibers were also used comparatively. The results were encouraging both for the mechanical properties recorded and for the energy required for their fracture which is at least 50 times higher than an reference specimen.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ιστορικά, η ανάπτυξη των κοινωνιών σχετίζεται άμεσα με την ευχέρεια των μελών της στη χρήση και στην κατεργασία των υλικών. Στη σύγχρονη εποχή,

αναπτύχθηκαν υλικά με εξειδικευμένα χαρακτηριστικά για να καλύψουν τις ποικίλες και ιδιαίτερες ανάγκες των κατασκευών. Ωστόσο, η ανάπτυξή τους προϋποθέτει την επάρκεια και την πρόσβαση σε πόρους οι οποίοι είναι πεπερασμένοι ενώ η μεταποίηση, κατά πλειοψηφία, αποτελεί επιβαρυντικό παράγοντα για το φυσικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, η βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου συμμετέχει κατά 5% στην παραγωγή αερίων θερμοκηπίου παγκοσμίως ενώ αντίστοιχα είναι και τα νούμερα κατά την παραγωγή χάλυβα. Συνεπώς, έρχεται στο προσκήνιο η ανάγκη στροφής σε υλικά με μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα ή χρήση υλικών βιολογικής προέλευσης που θα εξασφαλίσουν τη βιωσιμότητα, σε συνδυασμό με την ανθεκτικότητα και τις μηχανικές αντοχές.

Η παρούσα μελέτη, διερευνά το ρόλο των βιο-ινών που προέρχονται από τα φυτά γιούτα, καρύδα, κάνναβη και φύκια, στις ιδιότητες των τσιμεντοκονιαμάτων. Εφαρμόστηκαν επίσης ίνες PP για λόγους σύγκρισης. Η χρήση των ινών στα κονιάματα είναι γνωστή από τα αρχαία χρόνια. Ίνες όπως άχυρο και ξύλο χρησιμοποιούνταν από τους τεχνίτες προκειμένου να βελτιώσουν τα φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων [Stefanidou, 2016]. Στη σύγχρονη εποχή, λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας και των υψηλών απαιτήσεων αντοχής των υλικών, οι ίνες αυτές αντικαταστάθηκαν από χαλύβδινες, πλαστικές, πολυπροπυλενίου κλπ [Wang 1990, Papayianni, 2008, Mohseni, 2016]. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η χρήση των φυσικών ινών στα κονιάματα αυξάνεται ολοένα και περισσότερο. Στα πλεονεκτήματα της χρήσης τους περιλαμβάνονται η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής, ο περιορισμός του εύρους των ρωγμών και η πλαστιμότητα, το χαμηλό οικονομικό κόστος και το μικρό ενεργειακό τους αποτύπωμα. Η ανθεκτικότητά τους, το μήκος και ο τρόπος εισαγωγής τους παίζουν τον κύριο ρόλο στη βελτίωση των ιδιοτήτων των κονιαμάτων [Ward,1991, Ozerkan,2013]. Συνολικά, έχουν καταγραφεί τουλάχιστον 100 είδη φυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ίνες [Mwaikambo, 2001].

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των φυσικών ινών σε τσιμεντοκονιάματα και η σύγκρισή τους σε σχέση με συνθετικές ίνες πολυπροπυλενίου. Για το σκοπό αυτό παρασκευάστηκαν και ελέγχθηκαν κονιάματα ως προς τα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον, λόγω της ικανότητας των ινών να απορροφούν ενέργεια κατά τη θραύση [Bazant, 1990, Ramakrishna, 2005, Stefanidou 2016], έγινε προσπάθεια προσδιορισμού της δυσθραυστότητας των δοκιμίων, έτσι ώστε να υπολογισθεί η ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για τη θραύση τους. Παράλληλα, τα δοκίμια ελέγχθηκαν ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες μετά από έκθεση σε διαφορετικές θερμοκρασίες (100°C, 400°C και 800° C) για να διερευνηθεί η λειτουργία τους απέναντι σε έναν σημαντικό κίνδυνο, όπως αυτός της φωτιάς, λόγω της βιολογικής τους προέλευσης. Ο ρόλος των βιο-ινών (κυρίως σε ποσοστό 1,5%) καταγράφηκε ευεργετικός στην περίπτωση ελέγχου αντοχής σε κάμψη ενώ ήταν θετικός (σε σχέση με τις ίνες PP) στον έλεγχο αντοχής σε θλίψη. Οι περισσότερες βιο-ίνες λειτούργησαν προς όφελος του υλικού όταν ελέγχθηκαν φυσικές ιδιότητες όπως η τάση για συρρίκνωση, το πορώδες και η τριχοειδής απορρόφηση υγρασίας. Η συνάφεια των ινών με την τσιμεντόπαστα ήταν από καλή μέχρι ισχυρή ενώ σημαντικά ήταν τα αποτελέσματα στον έλεγχο της αυξανόμενης

θερμοκρασίας. Με βάση τα αποτελέσματα, φαίνεται ότι η χρήση ινών βιολογικής προέλευσης, σε κατάλληλα ποσοστά, είναι αποδοτική στην ενίσχυση τσιμεντοκονιαμάτων ανοίγοντας μια προοπτική εφαρμογής της μεθόδου ενίσχυσής τους και συμβάλλοντας στη λεγόμενη «πράσινη» ανάπτυξη.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Παρασκευάστηκαν πέντε διαφορετικές συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων (τσιμέντο τύπου CEM Π32,5) με διαφορετικές ίνες (πολυπροπυλένιο, κάνναβη, γιούτα, καρύδα και φύκια) και μελετήθηκαν σε σύγκριση με ένα κονίαμα αναφοράς. Οι ίνες προστέθηκαν σε ποσοστό 1,5% και 3% κ.ό. του συνολικού μίγματος και είχαν μήκος 1 cm. Οι ιδιότητες των ινών φαίνονται στον Πίνακα 1.

Ο λόγος κονιάς/αδρανών για όλες τις συνθέσεις ήταν 1:2,5 κατά βάρος. Για την ανάμιξη ακολουθήθηκε το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 1015-11 και το νερό προστέθηκε για εξάπλωση $15 \pm 1 \text{ cm}$ με βάση τον EN 1015-3. Σε όλες τις συνθέσεις προστέθηκε ρευστοποιητής προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή εργασιμότητα με σταθερό λόγο νερού/κονία. Όλες οι ίνες διατηρήθηκαν σε νερό για 24 ώρες πριν την ανάμιξη και χρησιμοποιήθηκαν κορεσμένες και επιφανειακά στεγνές, έτσι ώστε να μην απορροφήσουν περισσότερο νερό στη σύνθεση. Στον πίνακα 2 φαίνεται η κωδικοποίηση των συνθέσεων και ο λόγος νερού/κονία.

Πίνακας 1. Ιδιότητες ινών

	Jute	PP	Coconut	Cannabis	Kelp
Εφελκυσμός (MPa)	393-800	0,95-1,3	131-220	550-1110	2,61-37,3
Ειδικό βάρος (g/cm ³)	1,3-1,5	0,90	1,20	1,50	0,89

Πίνακας 2. Συνθέσεις κονιαμάτων

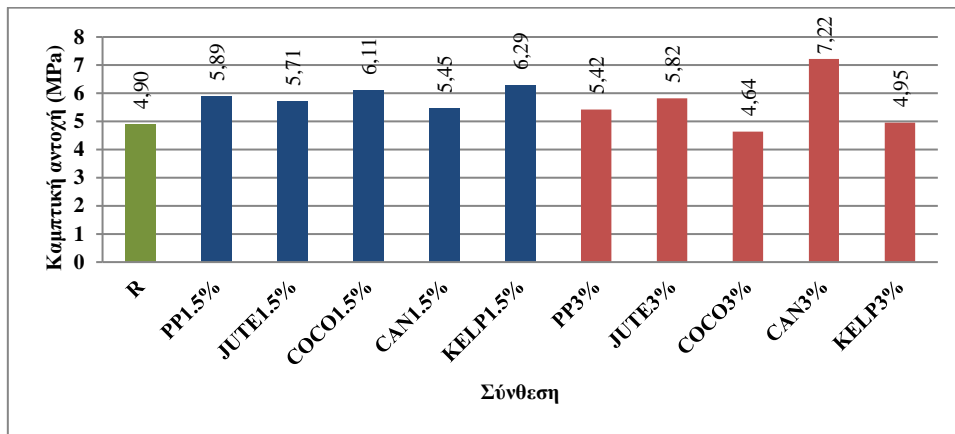
Σύνθεση	Κωδικοποίηση	N/K
Αναφορά	R	0,40
Πολυπροπυλένιο 1,5%	PP1,5	0,47
Πολυπροπυλένιο 3%	PP3	0,50
Κάνναβη 1,5%	CAN1,5	0,49
Κάνναβη 3%	CAN3	0,56
Γιούτα 1,5%	JUTE1,5	0,44
Γιούτα 3%	JUTE3	0,44
Καρύδα 1,5%	COCO1,5	0,42
Καρύδα 3%	COCO3	0,42

Φύκια 1,5%	KELP1,5	0,32
Φύκια 3%	KELP3	0,42

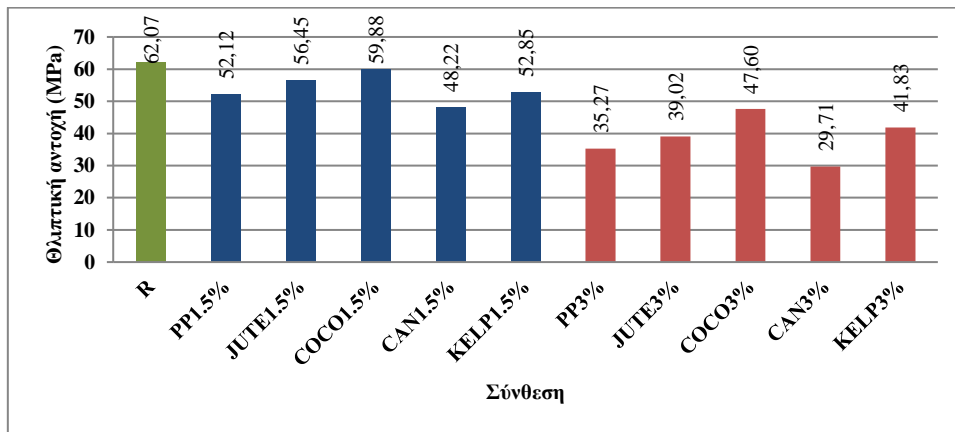
Δημιουργήθηκαν πρισματικά δοκίμια διαστάσεων 4x4x16 cm που συντηρήθηκαν σε υγρό περιβάλλον (RH 95±5%) για 28 ημέρες.

Έλεγχος μηχανικών χαρακτηριστικών

Μετά τη συντήρηση μετρήθηκε η αντοχή των δοκιμίων σε κάμψη και θλίψη (EN 1015-11). Προσδιορίστηκε το δυναμικό και το στατικό μέτρο ελαστικότητας και υπολογίστηκε ο δείκτης δυσθραυστότητας της κάθε σύνθεσης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στα Σχήματα 1-5.



Σχήμα 1. Αντοχή σε κάμψη συνθέσεων με ίνες σε ποσοστό 1,5% και 3% κ.ο.

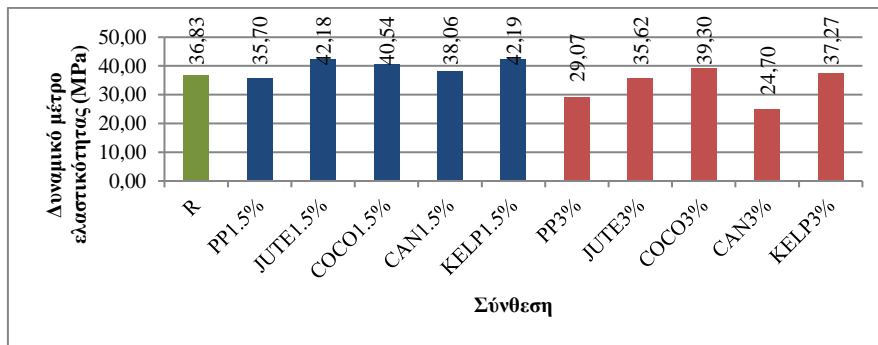


Σχήμα 2. Αντοχή σε θλίψη συνθέσεων με ίνες σε ποσοστό 1,5% και 3% κ.ο.

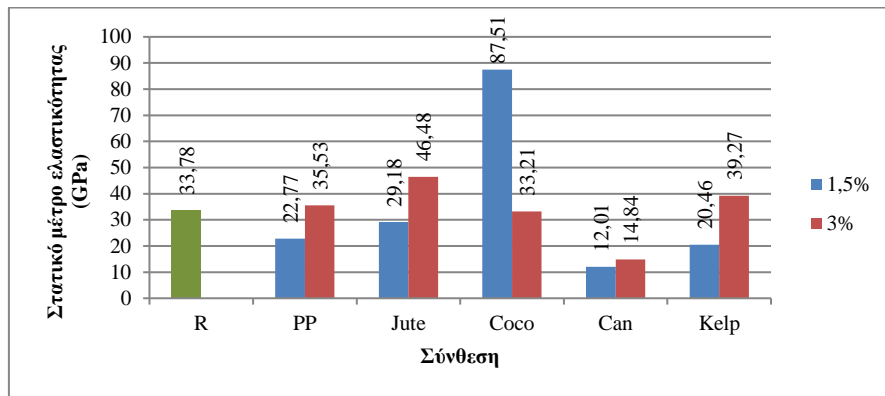
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, η προσθήκη των ινών αυξάνει την εφελκυστική αντοχή των συνθέσεων σε όλες τις περιπτώσεις, με εξαίρεση τη σύνθεση με 3% ίνες καρύδας. Σημειώνεται ότι στην μορφή αστοχίας των ινών καρύδας παρατηρήθηκε εξώλκευση κάποιων ινών και όχι θραύση τους. Ωστόσο φαίνεται ότι, σε ποσοστό 1,5%κ.ο. οι ίνες βελτιώνουν την εφελκυστική αντοχή κατά τουλάχιστον 10%, ενώ η μεγαλύτερη αύξηση επιτεύχθηκε στη σύνθεση με το 3% κάνναβης (47%). Συνολικά, όλα τα δοκίμια παρουσίασαν ελεγχόμενη μορφή αστοχίας. Στις συνθέσεις με τις ίνες καρύδας και τα φύκη φαίνεται να λειτούργησαν βελτιωτικά σε ποσοστό 1,5% συγκριτικά με τις συνθετικές ίνες, ενώ και σε περιεκτικότητα ινών 3% οι ίνες γιούτας και κάνναβης ξεπέρασαν την εφελκυστική αντοχή της σύνθεσης με τις ίνες πολυπροπυλενίου.

Αντίθετα, η προσθήκη των ινών φαίνεται πως δεν ευνοεί τη βελτίωση της θλιπτικής αντοχής (Σχήμα 2). Καταγράφεται μείωση σε ποσοστό 3,5% για το 1,5% των ινών της καρύδας, με τη μεγαλύτερη πτώση της αντοχής να συμβαίνει για τη σύνθεση με 3% κάνναβης (μείωση μέχρι και 52%). Γενικά, φαίνεται πως μεγαλύτερο ποσοστό ινών οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση της αντοχής σε θλίψη. Ωστόσο, και σε αυτήν την περίπτωση η θλιπτική αντοχή των δοκιμίων με ίνες γιούτας, καρύδας και φύκη ξεπέρασε την αντοχή της σύνθεσης με ίνες πολυπροπυλενίου. Η αυξημένη ανάγκη σε νερό στις συνθέσεις με ίνες φαίνεται να είναι ο βασικός λόγος της μείωσης της θλιπτικής αντοχής.

Για τον προσδιορισμό του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας χρησιμοποιήθηκε συσκευή μέτρησης ταχύτητας υπερήχων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που φαίνονται στο Σχήμα 3, παρατηρείται ότι η προσθήκη ινών σε ποσοστό 1,5% δείχνει να ευνοεί τις αντοχές καταγράφοντας πυκνές δομές, σε αντίθεση με το 3% όπου παρατηρείται μείωση έως και 49%. Στην καταγραφή του στατικού μέτρου ελαστικότητας, καταγράφεται αύξηση της αντοχής με χρήση ινών και ειδικά σε ποσοστό 1,5% για τα περισσότερα είδη ινών (Σχήμα 4).



Σχήμα 3. Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας συνθέσεων με ίνες σε ποσοστό 1,5% και 3%



Σχήμα 4. Στατικό μέτρο ελαστικότητας συνθέσεων με ίνες σε ποσοστό 1,5% και 3%
 Επιπλέον, δοκίμια ελέγχθηκαν σε κάμψη τριών σημείων κατά JCI-S-001 (2003), με στόχο τον υπολογισμό της ενέργειας θραύσης, που προέκυψε από τους παρακάτω τύπους. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 5.

$$G_F = \frac{0.75 \cdot W_0 + W_1}{A_{lig}}$$

$$W_1 = 0.75 \cdot \left(\frac{S}{L} m_1 + 2m_2 \right) g \cdot CMOD_c$$

Όπου ,

G_F , ενέργεια θραύσης (N/mm²)

W_0 , εμβαδό κάτω από την καμπύλη φορτίου-CMODμέχρι τη θραύση του δοκιμίου (N*mm)

W_1 , έργο λόγω του ίδιου βάρους του δοκιμίου και του εξοπλισμού που βρίσκεται πάνω σε αυτό (N*mm)

A_{lig} , ενεργός διατομή στο σημείο εγκοπής (mm²)

m_1 , βάρος δοκιμίου (kg)

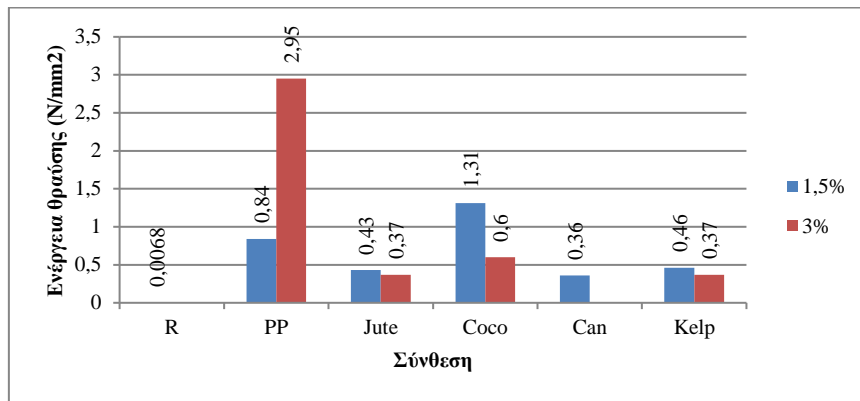
S , απόσταση μεταξύ των στηρίξεων (mm)

L , συνολικό μήκος δοκιμίου (mm)

m_2 , βάρος του εξοπλισμού που βρίσκεται πάνω στο δοκίμιο (kg)

g , επιτάχυνση της βαρύτητας (9,807 m/s²)

$CMOD_c$, άνοιγμα εγκοπής κατά την τελική θραύση του δοκιμίου (mm)



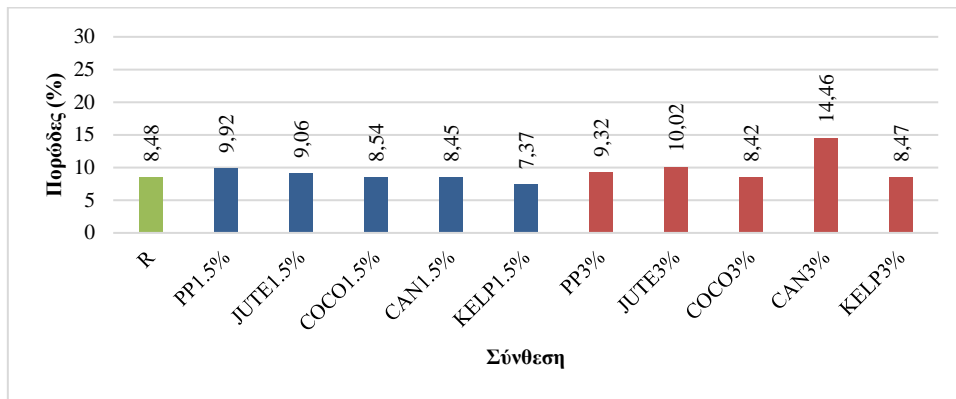
Σχήμα 5. Ενέργεια θραύσης συνθέσεων με ίνες σε ποσοστό 1,5% και 3%

Όπως προκύπτει από τις μετρήσεις, η ενέργεια που απαιτείται για τη θραύση των ινοπλισμένων κονιαμάτων είναι τουλάχιστον 50 φορές μεγαλύτερη από αυτή του άοπλου. Οι ίνες καρύδας φαίνεται να έχουν ευεργετικές ιδιότητες σε σχέση με τις υπόλοιπες βιο-ίνες.

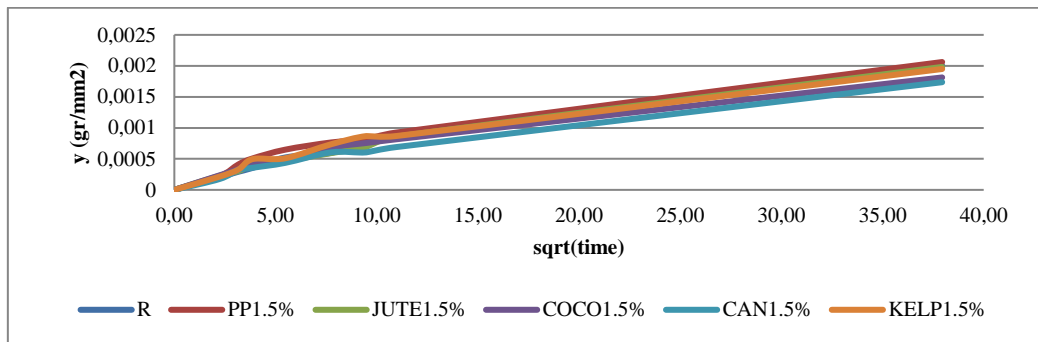
Έλεγχος φυσικών χαρακτηριστικών

Έγινε προσδιορισμός του ανοιχτού πορώδους (RILEM CPC 11.3) και της τριχοειδούς απορρόφησης (EN1015-18) σε ηλικία 28 ημερών για όλες τις συνθέσεις, καθώς επίσης μετρήθηκε και η συρρίκνωση των δοκιμίων σε συνθήκες συντήρησης $20 \pm 1^\circ \text{C}$ και $\text{RH } 60 \pm 5\%$. Από το Σχήμα 6 προκύπτει ότι για όλες τις συνθέσεις υπάρχει μια μικρή αύξηση του πορώδους, με εξαίρεση τα φύκια και την καρύδα. Ιδιαίτερα, η σύνθεση με τα φύκια παρουσιάζει μείωση του πορώδους της τάξης του 13% που οφείλεται στην ισχυρή συνάφεια των ινών με την συνδετική πάστα.

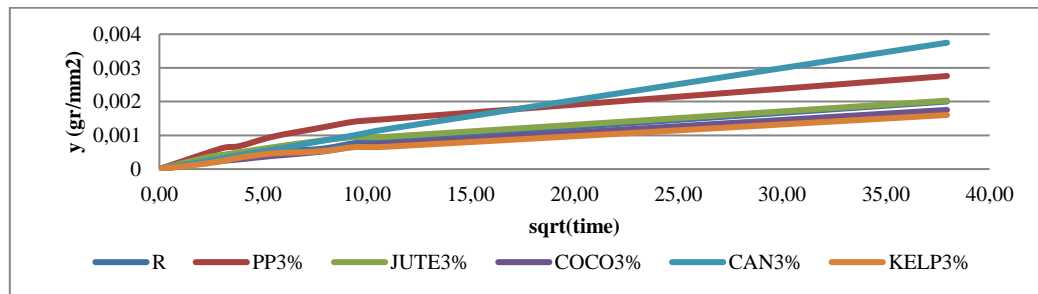
Τα αποτελέσματα της τριχοειδούς απορρόφησης παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη διακύμανση. Οι συνθετικές ίνες PP αυξάνουν την απορρόφηση σε σχέση με το άοπλο δοκίμιο κατά 35%. Μεγαλύτερη σταθερότητα στην εξέλιξη του τριχοειδούς φαινομένου δείχνουν οι ίνες καρύδας που κατά τον διπλασιασμό του ποσοστού των ινών διατήρησαν χαμηλά την τριχοειδή απορρόφηση, η οποία βρέθηκε μειωμένη κατά 13% σε σχέση με τον μάρτυρα. Γενικότερα, βρέθηκε ότι πέραν από τις συνθετικές ίνες για ποσοστό 1,5% κ.ό. η τριχοειδής απορρόφηση μειώνεται, ενώ για αύξηση της περιεκτικότητας των ινών το φαινόμενο περιορίζεται ιδιαίτερα για τις ίνες από φύκη και καρύδα (Σχήμα 7 και 8).



Σχήμα 6. Ανοιχτό πορώδες συνθέσεων με ίνες σε ποσοστό 1,5% και 3%κ.ο.



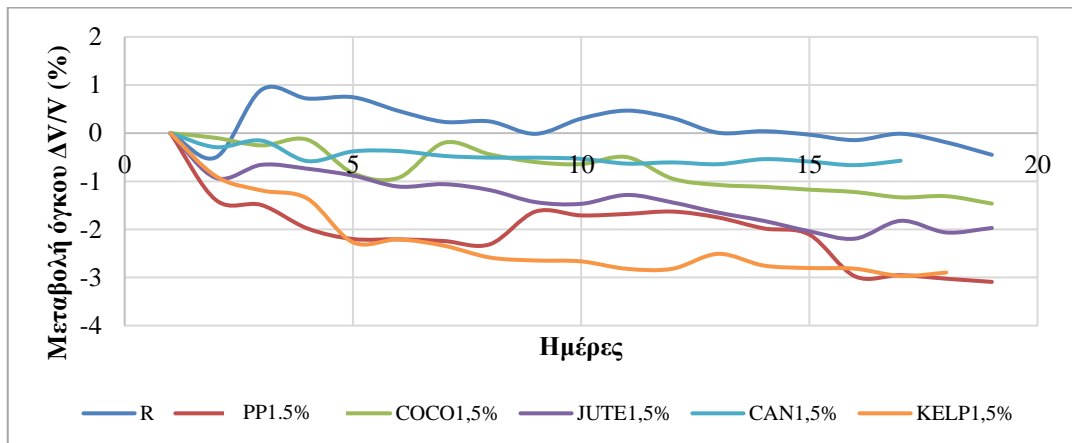
Σχήμα 7. Τριχοειδής απορρόφηση συνθέσεων με ίνες σε ποσοστό 1,5%



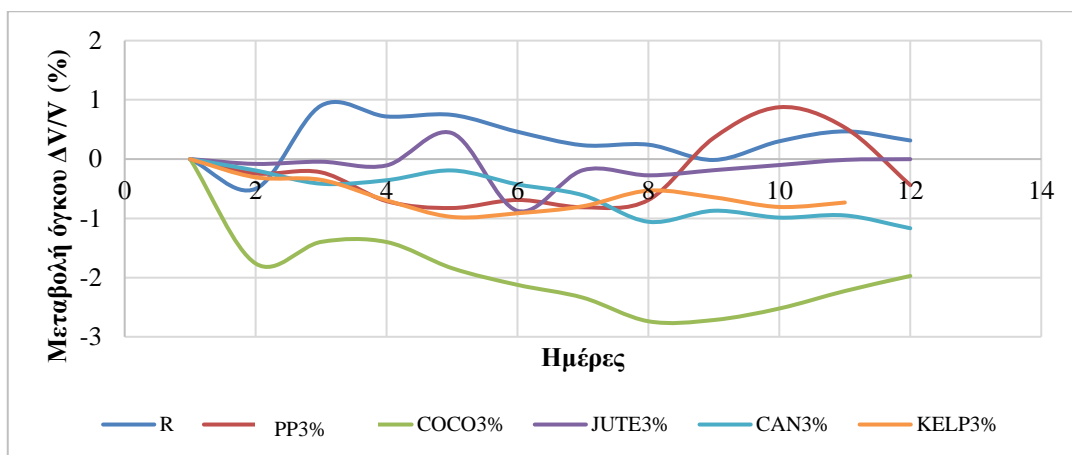
Σχήμα 8. Τριχοειδής απορρόφηση συνθέσεων με ίνες σε ποσοστό 3%

Από τη μέτρηση της συρρίκνωσης (Σχήμα 9 και 10) προκύπτει ότι το είδος των ινών, η απορροφητικότητα τους σε νερό και το ποσοστό που καταλαμβάνουν στη σύνθεση επηρεάζει τα αποτελέσματα. Οι συνθέσεις με 1,5% περιεκτικότητα σε ίνες παρουσιάζουν μικρότερη τάση συρρίκνωσης επειδή δεν υπάρχει πλεόνασμα νερού που να εξατμίζεται αφήνοντας κενούς χώρους όπως συμβαίνει στις

συνθέσεις με πολλές ίνες. Τόσο οι ίνες κάνναβις όσο και της καρύδας έχουν μικρή τάση συρρίκνωσης.



Σχήμα 9. Συρρίκνωση συνθέσεων με ίνες 1,5%κ.ο.

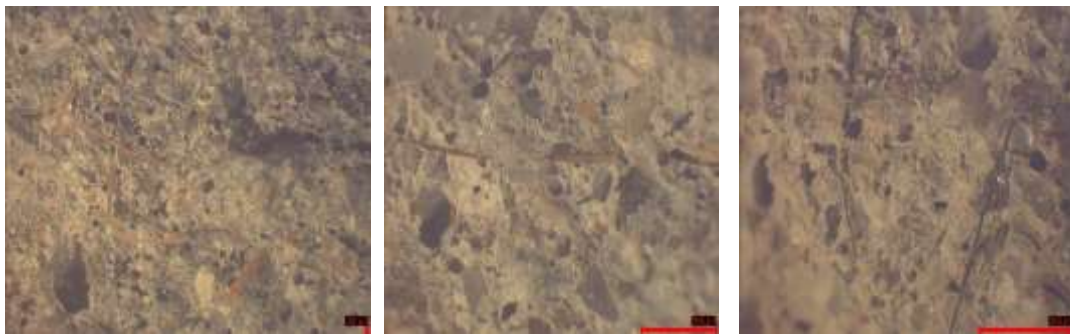


Σχήμα 10. Συρρίκνωση συνθέσεων με ίνες 3%κ.ο.

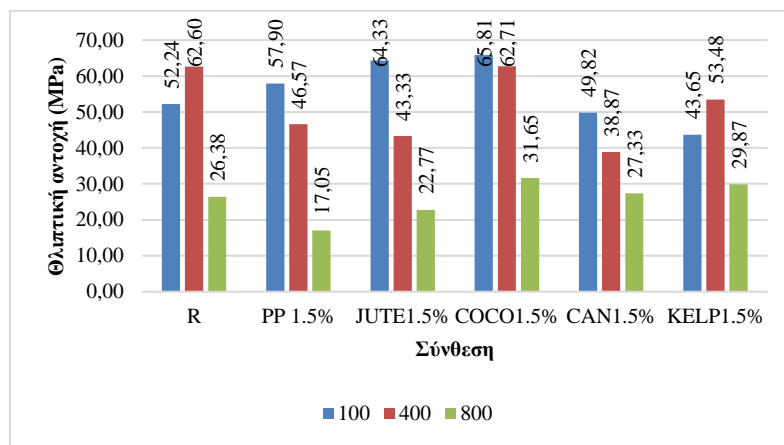
Ανθεκτικότητα σε θερμοκρασίες

Όλες οι συνθέσεις μετά τις 28 ημέρες εκτέθηκαν στους 100 °C, 400 °C και 800° C για μία ώρα με σκοπό να προσδιορισθεί η ανθεκτικότητα των ινών σε υψηλές θερμοκρασίες. Για το σκοπό αυτό παρασκευάστηκαν δοκίμια 10x10x10cm. Έπειτα έγινε έλεγχος της θλιπτικής αντοχής και καταγράφηκε αύξηση μετά την έκθεση στους 100°C ειδικά στις συνθέσεις με 1,5% ίνες. Στη θερμοκρασία αυτή η ελεύθερη υγρασία απομακρύνεται συντελώντας στην αύξηση της θλιπτικής αντοχής (Σχήμα 12) Η μείωση των αντοχών είναι μεγαλύτερη στις συνθέσεις με

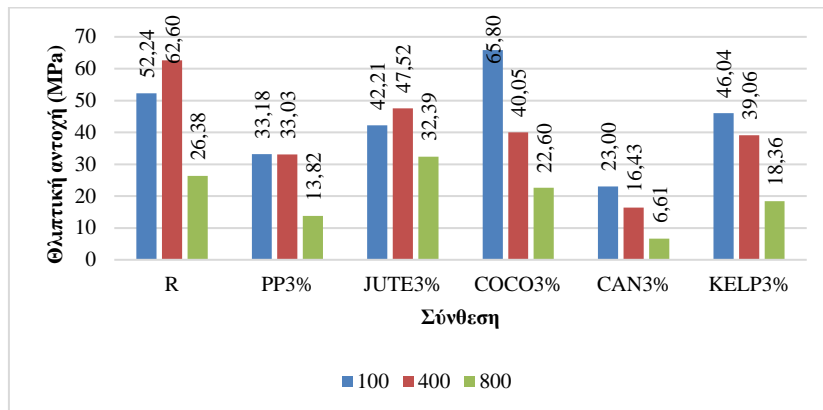
περισσότερες ίνες όπως φαίνεται στο σχήμα 13. Μείωση της αντοχής καταγράφεται στους 400 °C ενώ η αντοχή μειώνεται σημαντικά στους 800C. Σε χαμηλή θερμοκρασία η δομή δεν φαίνεται να επηρεάζεται και οι ίνες δεν χάνουν την ισχυρή τους πρόσφυση με την πάστα (Σχήμα11). Στους 400 καταγράφεται μια συρρίκνωση ενώ στους 800 οι ίνες καίγονται ή μένουν ίχνη με κενούς χώρους, που μαζί με τις δομικές αλλαγές που συμβαίνουν στην πάστα και στις διεπιφάνειες αδρανών και πάστας σε αυτές τις θερμοκρασίες, συντελούν στην πτώση της αντοχής (σε θερμοκρασίες άνω των 400° C ξεκινάει η αφυδάτωση του C-S-H gel και η απώλεια της τσιμεντοειδούς ιδιότητας του κονιάματος) (Chan, 1998) (W. Khaliq and F. Waheed, 2017).



Σχήμα 11. Έκθεση δοκιμίων στους 100C(αριστερά) στους 400(κέντρο) και στους 800C (δεξιά)



Σχήμα 12. Αντοχή σε θλίψη των συνθέσεων με 1,5% ίνες μετά την έκθεση σε θερμοκρασίες



Σχήμα 13. Αντοχή σε θλίψη των συνθέσεων με 3% ίνες μετά την έκθεση σε θερμοκρασίες

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως προκύπτει από την πειραματική μελέτη η χρήση φυσικών ιών φαίνεται να λειτουργεί προς όφελος της εφελκυστικής αντοχής και της παραμορφωσιμότητας των δοκιμίων. Η ενέργεια που απαιτείται για τη θραύση τους είναι τουλάχιστον 50 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με ένα άοπλο δοκίμιο ενώ σε πολλές περιπτώσεις πλεονέκτησαν έναντι της χρήσης ιών πολυπροπυλενίου. Ωστόσο, τα φυσικά χαρακτηριστικά τους όπως είναι η συρρίκνωση, το πορώδες και η τριχοειδής απορρόφηση εμφανίζουν αύξηση λόγω της απορροφητικότητας των ιών σε νερό ιδιαίτερα όταν οι ίνες συμμετέχουν σε μεγάλο ποσοστό. Όσον αφορά στην ανθεκτικότητα σε θερμοκρασίες φαίνεται ότι για θερμοκρασίες μέχρι και 400° C η πρόσφυση των ιών διατηρείται, ενώ όπως αναμενόταν στους 800° C παρατηρείται κατάρρευση. Από την πειραματική διερεύνηση προκύπτει ότι οι φυσικές ίνες, ως υλικά χαμηλού κόστους, και ενεργειακού αποτυπώματος έχουν δυνατότητα αξιοποίησης στο δομικό τομέα. Ανοίγει με τον τρόπο αυτό ένα πεδίο μελέτης μιας οικολογικής προσέγγισης στο πρόβλημα της ενίσχυσης υλικών τσιμέντου με ίνες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bazant Z.P., Kazemi M.T., “Determination of fracture energy, process zone length and brittleness number from size effect, with application to rock and concrete” International Journal of Fracture, 44 (1990), 111-131

Ghan Y.N., G. Peng F., Anson M., “Residual strength and pore structure of high-strength concrete and normal strength concrete after exposure to high temperatures”, Cement and Concrete Composites, 21 (1999), 23-27

- Gozde N., Ahsan O., Mansour S., Iyengar S.R., “Mechanical performance and durability of treated palm fiber reinforced mortars”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2 (2013), 131–142
- Khaliq W., Waheed F., “Mechanical response and spalling sensitivity of air entrained high-strength concrete at elevated temperatures”, *Construction and Building Materials*, Vol 150 (2017), 747-757
- Mohseni E., Khotbehsara M., Naseri F., Monazami M., Sarker P., “Polypropylene fiber reinforced cement mortars containing rice husk ash and nano-alumina”, *Construction and Building Materials*, 111 (2016), 429–439
- Mwaikambo L.Y., Ansell M.P., “Chemical Modification of Hemp, Sisal, Jute, and Kapok Fibers by Alkalization”, *Journal of Applied Polymer Science*, 84 (2002), 2222–2234
- Papayianni I., Stefanidou M., Anastasiou E., “Use of synthetic fibers in lime-based mortars ” 1st National Congress on Building Materials and Components Technical Chamber of Greece, Athens (2008), 1885-1892
- Ramakrishna G., Sundararajan T., “Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortarslabs: a comparative study”, *Cement & Concrete Composites*, 27 (2005), 547–553
- Stefanidou M., Papachristoforou M., Kesikidou F., “Fiber reinforced lime mortars”, 4th Historic Mortars Conference, 10-12th October 2016, Santorini, Greece
- Wang Y., Li V.C., Backer, S., “Tensile properties of synthetic fiber reinforced mortar”. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 12, No 1 (1990), 29-40
- Ward Y. & Li V.C., “Dependence of flexural behaviour of fibre reinforced mortar on material fracture resistance and beam size”, *Construction and Building Materials*, Vol. 5, No 3 (1991), 151-161