

# **ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΕ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΑΣΒΕΣΤΟ**

Ιωάννα Παπαγιάννη,  
*Καθηγήτρια Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ*

Μαρία Στεφανίδου,  
*Λέκτορας Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ*

Ελευθέριος Αναστασίου  
*Πολιτικός Μηχανικός MSc, Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ*

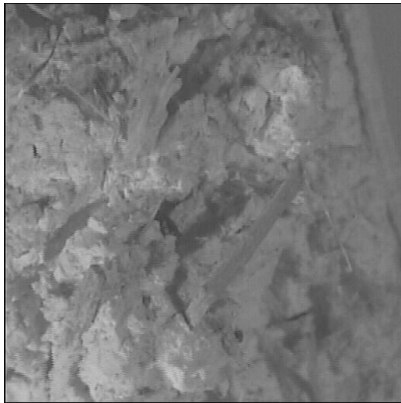
*Λέξεις κλειδιά: ασβεστοκονιάματα, ίνες πολυπροπυλενίου, φυσικές, μηχανικές ιδιότητες*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Η προσθήκη ινών σε επιχρίσματα και κονιάματα δόμησης αποτελεί γνωστή τεχνική ενίσχυσης της δομής των κονιαμάτων από την εποχή που έκτιζαν με πηλό. Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση των σύγχρονων συνθετικών ινών στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των επισκευαστικών κονιαμάτων και επιχρισμάτων που βασίζονται στην άσβεστο. Πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι που αφορούν στην επίδραση των ινών στη συστολή ξήρανσης, στην αντοχή σε κάμψη και θλίψη, στην ενέργεια πρώτης θραύσης, ενώ ελέγχθηκε και η μικροδομή των κονιαμάτων.

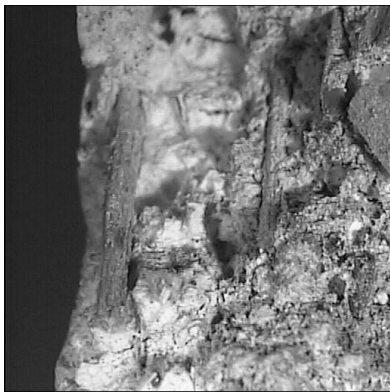
## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η τεχνική της χρήσης ινών φυσικής προέλευσης (άχυρα, ξύλινες ίνες) σε επιχρίσματα και κονιάματα δόμησης, τα οποία ως γνωστό αναπτύσσουν χαμηλές αντοχές και παρουσιάζουν έντονη μικρορηγμάτωση, είναι γνωστή από τα αρχαία χρόνια (Mehta P.K., Monteiro P. 2006) (Chandra, 1995). Έτσι κονιάματα βασισμένα στον πηλό ενισχύονταν με ίνες άχυρου ενώ ξύλινες ίνες εμπεριέχονται συχνά σε ασβεστοκονιάματα. Βασισμένοι σε κριτήρια εμπειρικά οι παλαιοί μάστορες αναμιγνύουν διάφορα πρόσμικτα σε ινώδη μορφή (φυτικής ή ζωικής προέλευσης) με τα υλικά των κονιαμάτων και φροντίζουν να συμπτυκνώνουν πολύ καλά τα κονιάματα. Συνήθως το μήκος είναι 0.5-5cm και το πλάτος 0.2-1mm ενώ το ποσοστό στη δομή των επιχρισμάτων είναι 2-5% κ.β και των κονιαμάτων δόμησης είναι 1-3%κ.β. (εικόνες1, 2).

Οι ίνες αυτές έπαιζαν σημαντικό ρόλο στη μείωση της τάσης για ρηγματώση των κονιαμάτων ενώ αυξανόταν η σταθερότητα μάζας παρά το γεγονός ότι περιμετρικά των ινών και στην επαφή με την κονία παρατηρούνται κενά (Stefanidou, Papayianni 2005).



Εικόνα 1. Ίνες άχρου σε επίχρισμα 18ου αιώνα, (Στερεοσκόπιο x10)



Εικόνα 2. Ξύλινες ίνες σε επίχρισμα βυζαντινής περιόδου (7ος αιώνας, Στερεοσκόπιο x10)

Σήμερα διατίθεται στο εμπόριο μεγάλη ποικιλία σύγχρονων ινών (από γυαλί, χάλυβα, νάυλον, ακρυλικό, πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο) αλλά οι πιο συχνά απαντώμενες στα δομικά υλικά είναι οι χαλύβδινες και οι ίνες πολυπροπυλενίου (Chandra S. Xu A. 1995) (Sickels L.B 1981). Η συμπεριφορά των κονιαμάτων υπό εφελκυσμό φαίνεται να βελτιώνεται με τη χρήση τέτοιων ινών (Wang et al, 1990).

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στο Εργαστήριο Δομικών Υλικών του Α.Π.Θ παρασκευάστηκαν δύο σειρές κονιαμάτων, με μεικτά συστήματα κονιών, στις οποίες προστέθηκαν ίνες πολυπροπυλενίου σε αναλογία 0.5 και 2% κ.ο. της κονιάς. Οι ίνες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν μήκος 1,3mm και πλάτος 100μm. Σκοπός ήταν να καταγραφούν φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων. Οι αναλογίες των κονιαμάτων αυτών που βασίζονται στην άσβεστο καταγράφονται στον πίνακα1. Η εργασιμότητα σε όλες τις συνθέσεις ελέγχθηκε με τράπεζα εξάπλωσης βάσει του κανονισμού EN1015-3 και ήταν  $15\pm 1\text{cm}$ .

Πίνακας 1. Αναλογίες κονιαμάτων σε μέρη βάρους

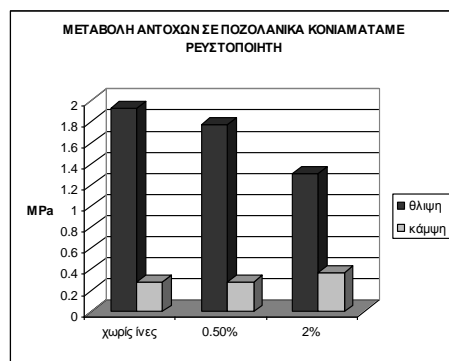
Κωδ.	Ασβέστης	Ποζολάνη	Τσιμέντο λευκό	Άμμος 0-4mm	N/K	Ίνες % κ.ο. κονιάς	Ρευστ. 1% κ.β. κονιάς
P	1	1	-	6	0.80	-	-
P2	1	1	-	6	1.09	2	-
P2-1	1	1	-	6	0.833	2	+
P1	1	1	-	6	0.86	0.5	-
P1-1	1	1	-	6	0.716	0.5	+
C	1	0,8	0,2	6	0.84	-	-
C1	1	0,8	0,2	6	1.02	0.5	-
C1-1	1	0,8	0,2	6	0.808	0.5	+
C2	1	0.8	0.2	6	1.35	2	-
C2-1	1	0.8	0.2	6	0.858	2	+

Οι ίνες τοποθετήθηκαν σε προζυγισμένη ποσότητα νερού 24 ώρες πριν την εφαρμογή τους με σκοπό να αποφευχθούν φαινόμενα συσσωματωμάτων. Ο ρευστοποιητής είναι απαλλαγμένος χλωρο-iónτων. Τα δοκίμια παρασκευάστηκαν εργαστηριακά και συντηρήθηκαν βάσει του κανονισμού EN459 για 28 ημέρες. Στην ηλικία αυτή ελέγχθηκαν η αντοχή σε θλίψη και κάμψη καθώς και το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας. Καταγράφηκε επίσης η τάση για συρρίκνωση των δοκιμίων σε συνθήκες 20°C και 65%RH. Τα αποτελέσματα των μηχανικών χαρακτηριστικών φαίνονται στον πίνακα2 και στις εικόνες 4 και 5.

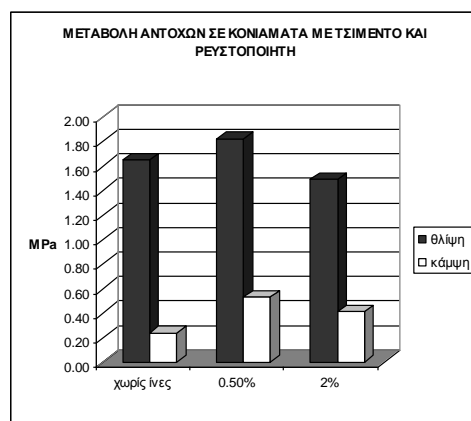
Πίνακας 2. Μηχανικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων\*

Κωδικός	Αντοχή σε θλίψη MPa	Αντοχή σε κάμψη MPa
P	1.93	0.28
P2	0.37	0.02
P2-1	1.31	0.37
P1	0.75	0.17
P1-1	1.77	0.28
C	1.65	0.24
C1	1.40	0.10
C1-1	1.82	0.53
C2	0.65	0.20
C2-1	1.49	0.41

\* μ.ο. τριών δοκιμίων



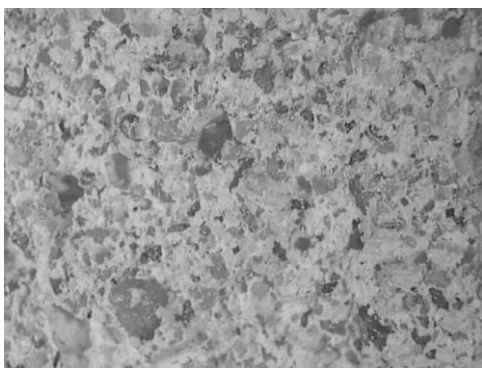
Εικόνα 4. Επίδραση ινών στις αντοχές των ποζολανικών κονιαμάτων



Εικόνα 5. Επίδραση ινών στις αντοχές των κονιαμάτων με τσιμέντο

Από την επισκόπηση των αποτελεσμάτων είναι φανερό ότι με την προσθήκη των ινών δημιουργείται πρόβλημα εργασιμότητας των αναμιγμάτων. Αυτό οδηγεί, εάν υπάρχει όριο συγκεκριμένο εργασιμότητας, σε υψηλότερους λόγους N/K και άρα σε πτώση των αντοχών. Είναι φανερό επίσης ότι η χρήση ρευστοποιητών μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερους λόγους N/K. Φαίνεται λοιπόν ότι υπάρχει βέλτιστη λύση σχεδιασμού αναλογιών ανάμιξης όσον αφορά την απαιτούμενη εργασιμότητα και το ποσοστό προσθήκης ινών. Ενδιαφέρον είναι ότι ακόμα και σε περιπτώσεις μιγμάτων μεγαλύτερου λόγου N/K ως προς τα μίγματα αναφοράς η αντοχή σε κάμψη είναι εμφανώς μεγαλύτερη.

Η εξέταση της μικροδομής των κονιαμάτων χωρίς ίνες (εικόνα6) και με διαφορετικό ποσοστό ινών αποκάλυψε ότι στην περίπτωση που περιέχεται 2% ίνες παρατηρούνται συσσωματώματα ινών λόγω προβληματικής ανάδευσης (εικόνα7) ενώ καλύτερη είναι η εικόνα στην περίπτωση που οι ίνες προστίθενται σε ποσοστό 0.5% με ομοιόμορφη διασπορά μέσα στη μάζα (εικόνα 8).



Εικόνα 6. Μικροδομή κονιάματος χωρίς ίνες (Στερεοσκόπιο x8)

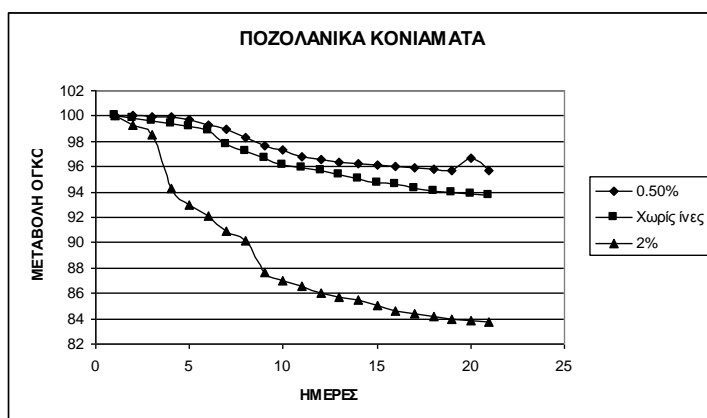


Εικόνα7. Κονίαμα με 2% ίνες. Συσσωματώματα ινών (Στερεοσκόπιο x8)

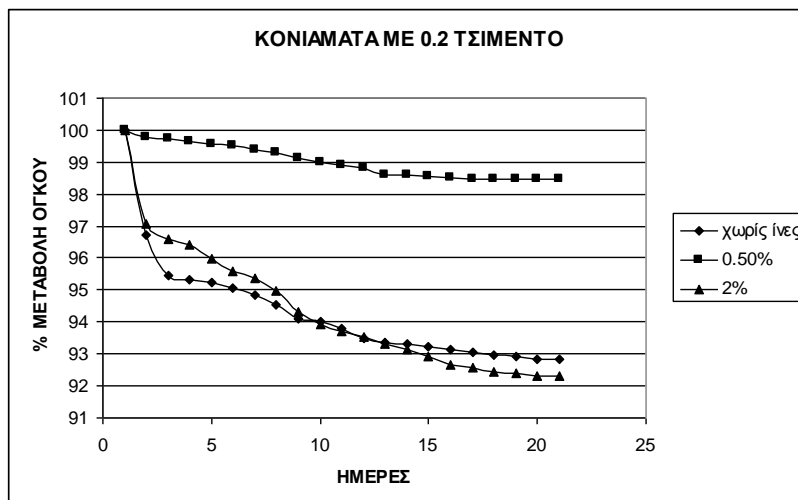


Εικόνα 8. Κονίαμα με 0.5% ίνες. Ομοιόμορφη κατανομή ινών (Στερεοσκόπιο x8)

Ο έλεγχος της συρρίκνωσης των δοκιμίων με ίνες και χωρίς ίνες έδειξε ότι σε όλα τα συστήματα κονιών η προσθήκη ινών μειώνει τη μεταβολή του όγκου και επομένως αυξάνει τη σταθερότητα της μάζας των κονιαμάτων (εικόνες 9 και 10). Μεγαλύτερη μείωση της συρρίκνωσης επιτυγχάνεται με το υψηλότερο ποσοστό προσθήκης ινών 2% κ.ο. ακόμα και όταν προσδίδεται αύξηση της θλιπτικής αντοχής των κονιαμάτων.



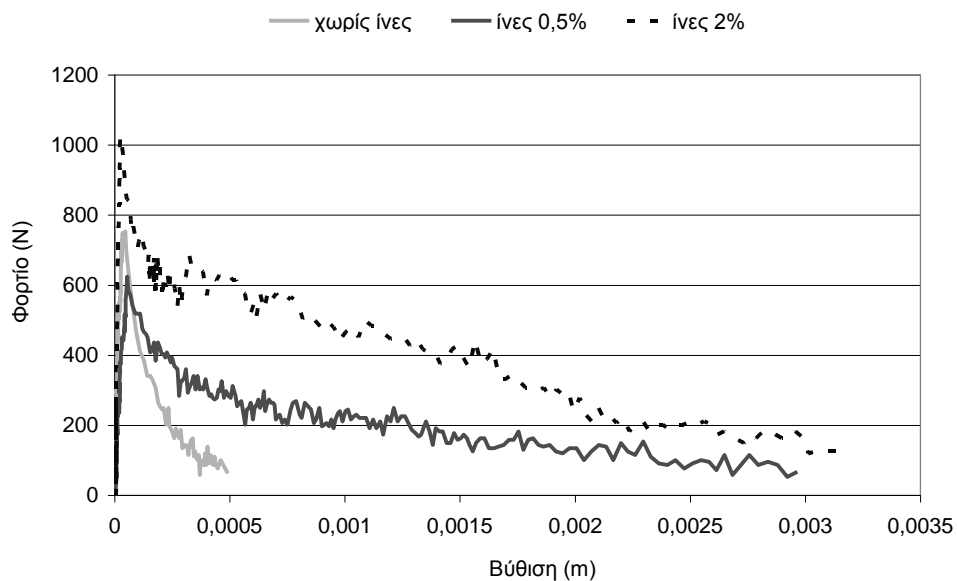
Εικόνα 9. Συρρίκνωση ποζολανικών κονιαμάτων χωρίς ρευστοποιητή



Εικόνα 10. Συρρίκνωση κονιαμάτων με τσιμέντο χωρίς ρευστοποιητή

Η εκτίμηση της συμβολής των ινών στη μείωση της ψαθυρότητας μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας μεθόδους θραυστομηχανικής (Ward and Li, 1991). Συγκεκριμένα, κάποιες από τις συνθέσεις ελέγχθηκαν ως προς την πλαστιμότητά τους μέσω της απορρόφησης ενέργειας θραύσης και των δεικτών δυσθραυστότητας κατά ASTM C1018-94. Οι έλεγχοι διενεργήθηκαν σε πρισματικά δοκίμια διαστάσεων 10x10x40 cm και από τον έλεγχό τους σε αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη προέκυψαν τα αντίστοιχα διαγράμματα φορτίου βύθισης (Εικόνα 11).

Οι συνθέσεις που ελέγχθηκαν ήταν κονιάματα ποζολάνης-άσβεστου, δηλαδή οι συνθέσεις P (άοπλο), P1-1 (0.5% ίνες κ.ο.) και P2-1 (2% ίνες κ.ο.) και κονιάματα ποζολάνης-άσβεστου-τσιμέντου, δηλαδή οι συνθέσεις C (άοπλο), C1-1 (0.5% ίνες κ.ο.) και C2-1 (2% ίνες κ.ο.).



Εικόνα 11. Διάγραμμα φορτίου-βύθισης για τα κονιάματα ποζολάνης-άσβεστου (σειρά P)

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των δεικτών δυσθραυστότητας  $I_5$ ,  $I_{10}$  και  $I_{20}$ , όπως και της ενέργειας θραύσης  $G_f$  δίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Εκτίμηση πλαστιμότητας κονιαμάτων

Σύνθεση	Ίνες	$I_5$	$I_{10}$	$I_{20}$	$G_f$ N/m
P	άοπλο	-	-	-	12
P 1-1	0,5% κ.ο.	5.2	8.9	15.4	144
P 2-1	2% κ.ο.	7.3	12.2	22.4	198
C	άοπλο	-	-	-	8
C 1-1	0,5% κ.ο.	5.6	10.1	16.3	161
C 2-1	2% κ.ο.	3.9	7.1	13.2	116

### 3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προσθήκη των ινών φαίνεται να αυξάνει σημαντικά την ενέργεια που απορροφά το κονίαμα κατά τη θραύση του σε όλες τις περιπτώσεις, ανεξάρτητα από τις άλλες μηχανικές του αντοχές. Ειδικά στις συνθέσεις ποζολάνης-άσβεστου το μεγαλύτερο ποσοστό ινών δίνει και καλύτερα αποτελέσματα. Οι σχετικά μειωμένες τιμές της σύνθεσης C 2-1 μπορούν να αποδοθούν στη μεγάλη δυσκολία συμπύκνωσης και ομοιογενούς κατανομής



των ινών στο μίγμα, κάτι που άλλωστε είναι εμφανές και από τη θλιπτική και καμπτική αντοχή του μίγματος. Όταν επιτυγχάνεται καλή συμύκνωση και ομοιογενής κατανομή όπως στο μίγμα C 1-1 με ποζολάνη-άσβεστο-τσιμέντο ως κονία και 0,5% ίνες κ.ο. οι δείκτες απορρόφησης ενέργειας είναι μεγαλύτεροι από το αντίστοιχο κονίαμα με ποζολάνη και άσβεστο ως κονία χωρίς ίνες

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εργασιμότητα του νωπού μίγματος επηρεάζεται δυσμενώς από την προσθήκη των ινών κάτι που πρέπει να αντιμετωπίζεται στο σχεδιασμό των αναμιγμάτων.

Επιπλέον ο ρόλος των ινών όσον αφορά στη μείωση των συστολών ξήρανσης και την αύξηση της παραμορφωσιμότητας των κονιαμάτων είναι σημαντικός κάτι που για τα επιχρίσματα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Συμπερασματικά μπορεί να λεχθεί ότι η προσθήκη ινών βελτιώνει ουσιαστικά τη σταθερότητα όγκου των κονιαμάτων μειώνοντας την τάση ρηγμάτωσης από θερμοκρασιακές μεταβολές. Απαιτείται όμως προσεκτικός σχεδιασμός του αναμίγματος και επιλογή του ποσοστού προσθήκης ινών ώστε να αποφευχθούν τα προβλήματα ανεπαρκούς συμύκνωσης του μίγματος του κονιάματος και ανομοιόμορφης κατανομής των ινών.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Chandra S. "Use of natural polymers in concrete" Workshop on Materials for Consolidation and restoration of monuments and Historical Buildings: Reading, Interpreting and Recovering the knowledge of Traditional Materials, Thessaloniki Edited by I.Papayianni, P. Astrinidou (1995) 21-27

Chandra S., A. Xu "Influence of oil additions on the durability of cement mortars" Proc. VIII ICPIIC Oostende, Belgium, Edited by D. Van Gemert, (1995) 187-192

Mehta P.K. & Monteiro P. "Concrete: Microstructure, Properties and Materials" (Third Edition) McGraw-Hill, New York (2006) pp. 106-112

Sickels L.B. "Organic additives in Mortars" Edinburgh Architectural Review Vol.8, (1981) 15

Stefanidou M., I.Papayianni "Inclusions in selected mortars of ancient technology" 10<sup>th</sup> International Conference on Microscopy Applied to Building Materials, University of Paisley, Scotland, (2005) 345-351

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

