

## Ενίσχυση κονιαμάτων βασισμένων στην άσβεστο με ίνες ξύλου και κάνναβης

**Μ. Στεφανίδου, Ε. Μπουσνάκη, Κ. Σφουγγάρης**

*Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*

*Λέξεις κλειδιά:* παραδοσιακά κονιάματα, φυσικές ίνες, συρρίκνωση, αντοχές

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Η ανάγκη αξιοποίησης παραπροϊόντων στη δόμηση με σκοπό τη βελτίωση των ιδιοτήτων των υλικών και το χαμηλό τους κόστος είναι αδιαμφισβήτητη στις μέρες μας. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ίνες ξύλου και κάνναβης σε κονιάματα βασισμένα στην άσβεστο. Σκοπός ήταν η παραγωγή ινοπλισμένων με φυσικά υλικά κονιαμάτων με αναβαθμισμένες ιδιότητες. Στα δοκίμια, που παρασκευάστηκαν με διάφορα ποσοστά ινών, ελέγχθηκαν μηχανικές και φυσικές ιδιότητες. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι τα δοκίμια με ίνες παρουσίασαν βραδύ ρυθμό ανάπτυξης αντοχών και σε μερικές περιπτώσεις, βελτιωμένες φυσικές ιδιότητες. Η χρήση των ινών προτείνεται σε ποσοστό 1-3%κ.β. κονιάας. Απαιτείται καλή συμύκνωση και χρήση ρευστοποιητών.

## Reinforcing lime mortars with wooden and cannabis fibers

**M. Stefanidou, E. Bousnaki, K. Sfougaris**

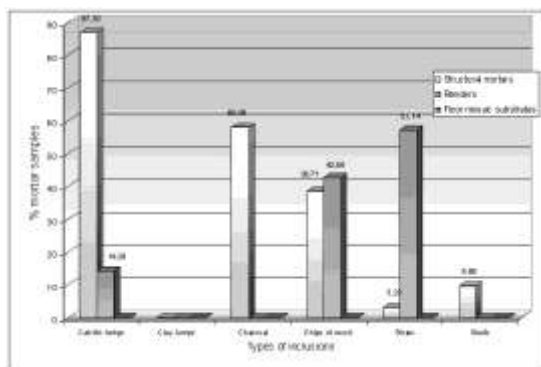
*Laboratory of Building Materials, Aristotle University of Thessaloniki*

*Keywords:* Lime mortars, wooden fibers, cannabis fibers, strength, physical properties

**ABSTRACT:** The need of utilizing by-products in construction materials is intense in our days. This research work presents the results of adding wooden and cannabis fibers, in different percentage, in lime-based mortars in order to improve some of their properties. The results indicate that the mechanical properties of the reinforced mortars present low rate development while in some cases, where strong compaction was achieved and superplasticizers were used, the physical properties were also improved

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνική της χρήσης ιών φυσικής προέλευσης (άχυρα, ξύλινες ίνες) σε παραδοσιακά επιχρίσματα και κονιάματα δόμησης, τα οποία ως γνωστό αναπτύσσουν χαμηλές αντοχές και παρουσιάζουν έντονη μικρορηγματώση, είναι γνωστή από τα αρχαία χρόνια (Stefanidou et.al,2012) (Sickels, 1981). Έτσι κονιάματα βασισμένα στον πηλό ενισχύονταν με ίνες άχυρου ενώ ξύλινες ίνες εμπεριέχονται συχνά σε δομικά ασβεστοκονιάματα. Σκοπός ήταν η βελτίωση της πλαστιμότητας, της ανθεκτικότητας και της αντοχής. Ο τύπος και το ποσοστό των ιών που συναντώνται στα παραδοσιακά κονιάματα δεν παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία αφού κυρίως χρησιμοποιούνται ξύλινες ίνες και άχυρα σε ποσοστό μέχρι 3%κ.β. της κονιάς ενώ σε μικρότερο ποσοστό υλικών συναντώνται τρίχες ζώων(κατσίκας ή αλόγου) (εικ.1). Η εργαστηριακή προσπάθεια ενίσχυσης ασβεστοκονιαμάτων τόσο με φυσικές ίνες (σιζάλ) όσο και με συνθετικές (πολυπροπυλενίου) έδειξε μια τάση αύξησης της ενέργειας απορρόφησης και σταθερότερη δομή κατά τη θραύση αλλά ταυτόχρονα καταγράφηκε μείωση της εργασιμότητας και των μηχανικών αντοχών (Χριστοδούλου, 2008) (Παπαγιάννη κ.α., 2008). Βασικό πρόβλημα παραμένει η ομοιόμορφη κατανομή των ιών στο μίγμα και η βελτίωση της πρόσφυσης τους με την πάστα.



Εικ.1 Εγκλείσματα σε κονιάματα ρωμαϊκής περιόδου (Stefanidou et.al, 2012)

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια χρήσης φυσικών υλικών όπως ξύλινων ιών που προέρχονται από την κατεργασία κορμών δέντρων και χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ξυλοσανίδων και αποτελούν παραπροϊόντα (εικ.2) καθώς και ίνες κάνναβης που προέρχονται από την επεξεργασία του βλαστού του φυτού και χρησιμοποιούνται στην κλωστοϋφαντουργία Τα συγκεκριμένα ξυλοτεμαχίδια κάνναβης προέρχονται από το ξυλώδες τμήμα του βλαστού και αποτελούν παραπροϊόντα της επεξεργασίας του φυτού για την παραγωγή ιών (εικ.3).



Εικ.2 Ίνες ξύλου όπως χρησιμοποιήθηκαν στις συνθέσεις



Εικ.3 Ξυλώδεις ίνες κάνναβης

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ξύλινων ινών βασίζονται στην ανανεώσιμη οργανική τους φύση, στις καλές μονωτικές ιδιότητες, στα ανακυκλώσιμα και καθόλου ρυπογόνα χαρακτηριστικά τους. Η χρήση ινών κάνναβης σε τσιμεντοκονιάματα και σκυροδέματα τα τελευταία χρόνια έχει δοκιμαστεί και γίνονται προσπάθειες αξιοποίησης της μηχανική της αντοχής σε δομικά υλικά (A.D. Tran Le et.al,2010) (Marianne Le Troedec et.al, 2009) (S.Elfordy et.al, 2008)

## 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Για τις ανάγκες της εργασίας παρασκευάστηκαν εργαστηριακά 11 διαφορετικές συνθέσεις κονιαμάτων με ασβέστη κονία, φυσική ποζολάνη και πρότυπη άμμο. Οι ιδιότητες των πρώτων υλών συνοψίζονται στον πίνακα1 ενώ στον πίνακα2 καταγράφονται οι αναλογίες των συνθέσεων. Στις συνθέσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορα ποσοστά οι ξύλινες ίνες και οι ίνες κάνναβης οι οποίες πριν εισαχθούν στο μίγμα τοποθετήθηκαν για 24 ώρες σε προζυγισμένη ποσότητα νερού, για να μην απορροφήσουν την υγρασία του κονιαμάτος, αλλά και για να μπορέσουν να διασκορπιστούν μέσα στο μίγμα. Η ποσότητα αυτή του νερού προστέθηκε στο μίγμα και συνυπολογίστηκε στο νερό των συνθέσεων. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στη διασπορά των ινών στο μίγμα για να αποφευχθούν συσσωματώματα και σχηματισμοί συσσωματωμάτων των ινών. Χρησιμοποιήθηκε επίσης ρευστοποιητής πολυκαρβονικής βάσης σε ποσοστό 1.5%κ.β. της κονιάς σε μερικές συνθέσεις. Οι ίνες ξύλου έχουν μέσο μήκος 2-3mm και ειδικό βάρος 0.9g/ml ενώ αυτές της κάνναβης έχουν μήκος περίπου 1cm και ειδικό βάρος 0.3g/ml. Οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν αφορούν στην καταγραφή των φυσικών (πορώδες, τριχοειδής απορρόφηση, συρρίκνωση) και μηχανικών ιδιοτήτων (κάμψη, θλίψη) των κονιαμάτων σε 28 ημέρες και σε 3 μήνες καθώς και στη μικροδομική τους συμπεριφορά. Επίσης μελετήθηκε η επίδραση των ινών στις ιδιότητες των νωπών κονιαμάτων όπως στην εργασιμότητα η οποία ελέγχθηκε με τράπεζα εξάπλωσης όπως ορίζει ο κανονισμός EN1015-3:1999.

Πίνακας1. Ιδιότητες πρώτων υλών

	Ειδ. βάρος	Δείκτης ποζολανικότητας MPa	Περιεκτικότητα σε Ca(OH) <sub>2</sub> %	Ειδική επιφάνεια g/cm <sup>2</sup>
Ασβέστης	2.291	-	34.11	1.370
Ποζολάνη	2.202	8.5	-	1.741
Άμμος	2.65	-	-	-

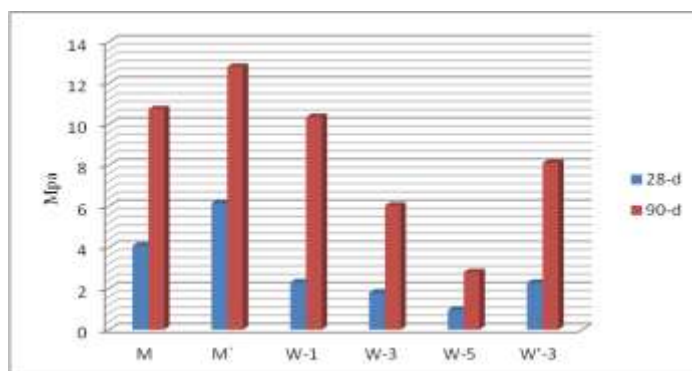
Πίνακας2. Συστατικά των συνθέσεων σε μέρη βάρους

Σύνθεση	Ασβέστης	Ποζολ.	Άμμος	Ξύλο %κ.ο.	Κάναβης %κ.ο.	Ρευστοπ. %κ.β.	N/K	Εργασ. (cm)
M	1	1	2.5				0.838	13.30
M'	1	1	2.5			1.5	0.625	13.35
W-1	1	1	2.5	1			0.963	12.10
W-3	1	1	2.5	3			1.125	11.90
W-5	1	1	2.5	5			1.375	12.45
K-1	1	1	2.5		1		0.863	13.35
K-3	1	1	2.5		3		0.875	12.95
K-5	1	1	2.5		5		0.938	13.05
K-10	1	1	2.5		10		1.025	12.40
W'-3	1	1	2.5	3		1.5	0.950	11.65
K'-3	1	1	2.5		3	1.5	0.713	11.65

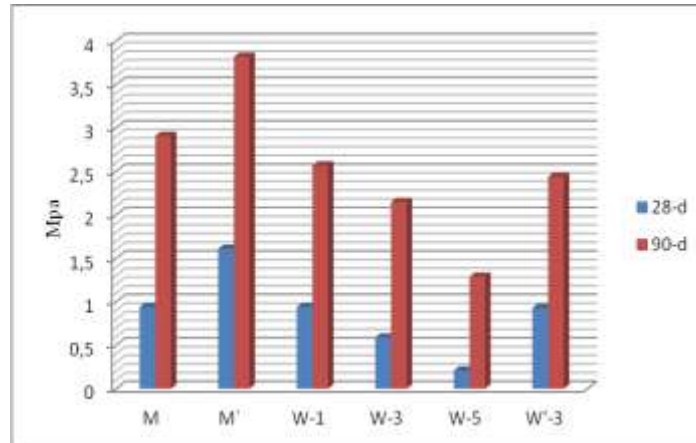
### 3ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Αντοχές-πορώδη

Από τον πίνακα2 φαίνεται ο θετικός ρόλος του ρευστοποιητή στη μείωση της απαιτούμενης ποσότητας νερού για την επίτευξη της εργασιμότητας. Επίσης καταγράφεται η αυξημένη ανάγκη σε νερό όταν προσθέτονται ίνες. Η ποσότητα του νερού είναι ανάλογη του ποσοστού ινών που υπεισέρχονται. Αποτέλεσμα αυτών των παρατηρήσεων είναι οι μειωμένες αντοχές (στη θλίψη και στην κάμψη) αναλογικά με την αύξηση του ποσοστού των ινών όπως φαίνεται στις εικόνες 4 και 5 αντίστοιχα, ενώ η παρουσία του ρευστοποιητή συντελεί στη βελτίωση των αντοχών τόσο στις συνθέσεις χωρίς ίνες όσο και σε αυτές με ίνες.

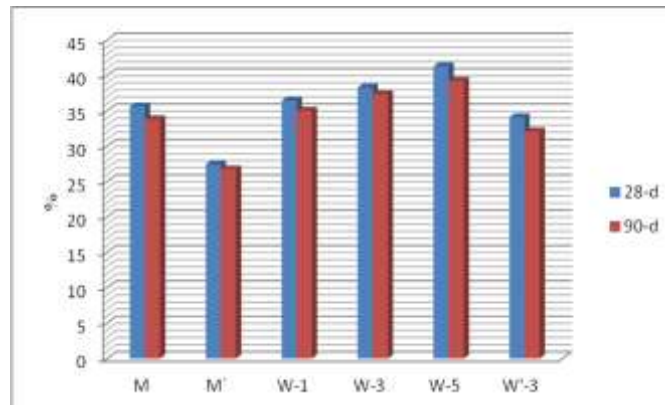


Εικ.4 Θλιπτική αντοχή κονιαμάτων με ξύλινες ίνες



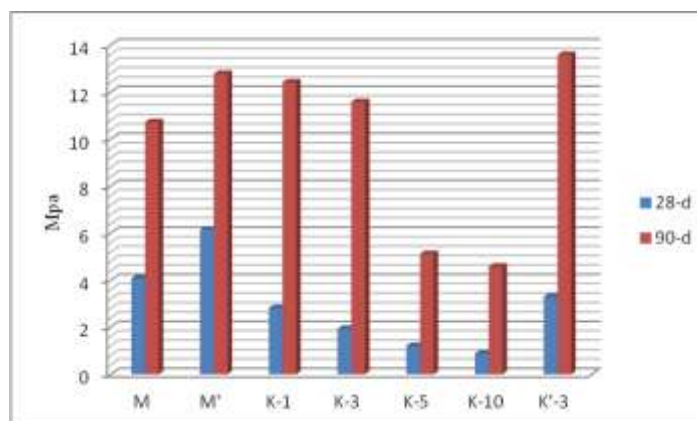
Εικ.5 Αντοχή σε κάμψη κονιαμάτων με ξύλινες ίνες

Όπως αναμενόταν, το πορώδες των συνθέσεων με ίνες καταγράφηκε υψηλότερο σε σχέση με τις συνθέσεις χωρίς ίνες ενώ στη σύνθεση με 3% ίνες και ρευστοποιητή (W'-3) το πορώδες είναι μειωμένο (εικ.6). Η συμπεριφορά αυτή σχετίζεται με την αυξημένη ποσότητα νερού στα αντίστοιχα μίγματα.

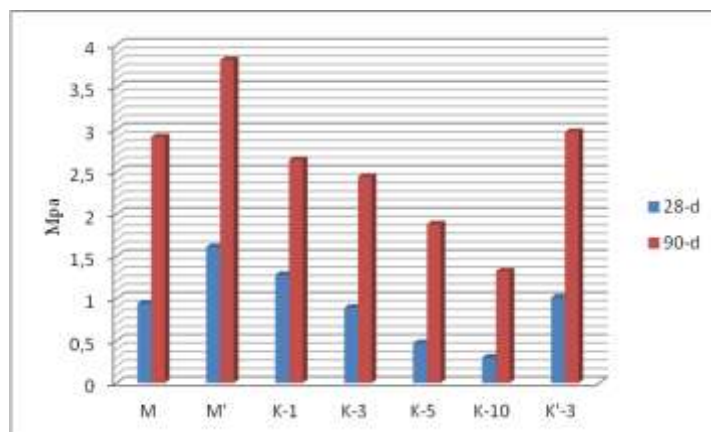


Εικ.6 Καταγραφή ανοιχτού πορώδους σε κονιάματα με ξύλινες ίνες

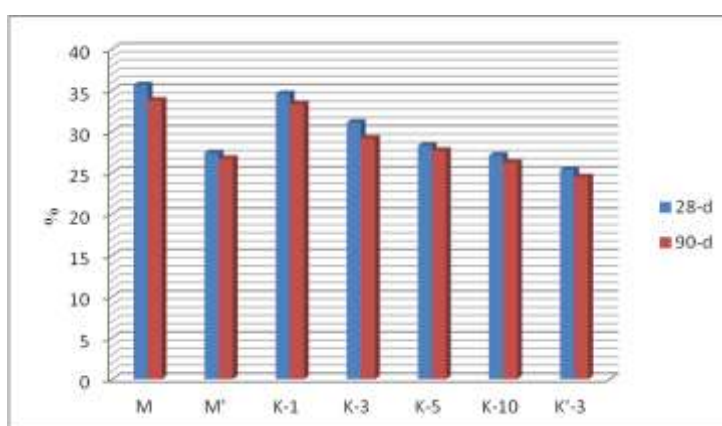
Οι αντοχές στα κονιάματα με ίνες κάνναβης καταγράφονται στις εικόνες 7-9. Παρατηρείται ότι στα κονιάματα με ίνες κάνναβης καταγράφονται υψηλότερες αντοχές σε σχέση με τα αντίστοιχα κονιάματα με ξύλινες ίνες. Όμως και σε αυτή την περίπτωση φαίνονται να μειώνονται οι αντοχές αναλογικά με το ποσοστό των ινών και αντίστοιχα να αυξάνεται το πορώδες, ενώ σημαντική είναι η παρουσία ρευστοποιητή στα μίγματα γιατί ο ρευστοποιητής συντελεί στη σύνθεση κονιαμάτων με βελτιωμένα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά.



Εικ.7 Θλιπτική αντοχή κονιαμάτων με ίνες κάνναβης



Εικ.8 Αντοχή σε κάμψη σε κονιάματα με ίνες κάνναβης



Εικ.9 Καταγραφή ανοιχτού πορώδους σε κονιάματα με ίνες κάνναβης

### 3.2 Τριχοειδής απορρόφηση

Σε ηλικία 28 ημερών καταγράφηκε ο συντελεστής τριχοειδούς απορρόφησης της υγρασίας (πίνακας 3) και φάνηκε η αυξημένη ποσότητα νερού που απορρόφησαν τα δοκίμια με ίνες ξύλου σε σχέση με τα αντίστοιχα κονιάματα με ίνες κάνναβης. Αντίθετα η συμπεριφορά των ινών της κάνναβης φαίνεται να εμποδίζει τη διείσδυση νερού με τριχοειδή φαινόμενα και μάλιστα σε υψηλά ποσοστά συμμετοχής (10%κ.ο.) παρατηρείται η μικρότερη απορρόφηση (πίνακας 4). Η μορφολογία των ινών όσο και η ιδιότητά τους να απορροφούν σημαντικά ποσά υγρασίας την οποία αποδίδουν αργότερα στο μίγμα φαίνεται να ευθύνεται για αυτή τη συμπεριφορά.

Πίνακας 3. Συντελεστής τριχοειδούς απορρόφησης σε κονιάματα με ξύλινες ίνες

	M	M'	W-1	W-3	W-5	W'-3
C <sub>28d</sub>	1,928	1,776	1,990	2,178	2,417	1,947

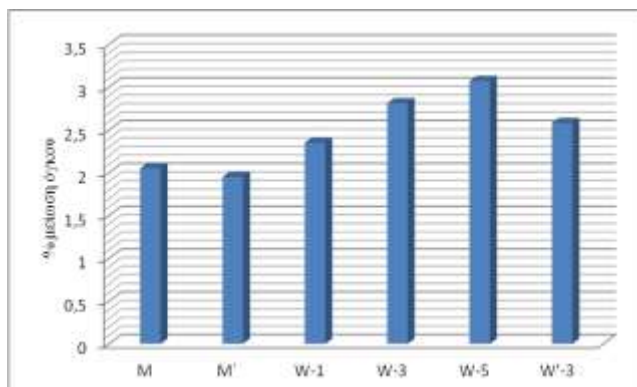
Πίνακας 4 Συντελεστής τριχοειδούς απορρόφησης σε κονιάματα με ίνες κάνναβης

	M	M'	K-1	K-3	K-5	K-10	K'-3
C <sub>28d</sub>	1,928	1,776	1,889	1,679	1,580	1,393	1,338

### 3.3 Συρρίκνωση

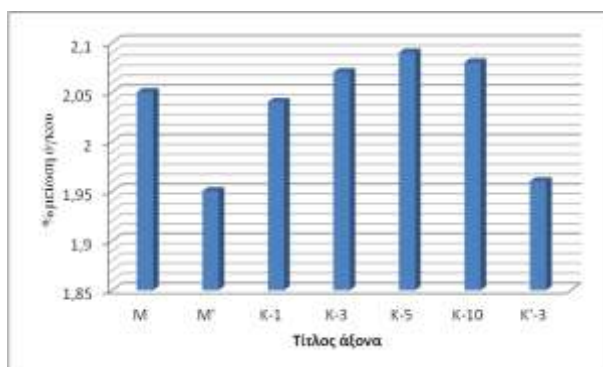
Η μείωση του όγκου των δοκιμίων με διαστάσεις 4x4x16cm που συντηρήθηκαν σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας (20 °C±2) και υγρασίας (65%RH) καταγράφηκαν σε όλες τις σειρές των συνθέσεων για 28 ημέρες. Τα αποτελέσματα δείχνουν μείωση του όγκου λόγω

συρρίκνωσης σε δοκίμια με αυξημένο ποσοστό ξύλινων ινών. Η μεγαλύτερη μείωση ήταν 3% περίπου στα δοκίμια με 5%ίνες. Ευεργετικά φαίνεται να λειτουργεί η παρουσία ρευστοποιητή στις συνθέσεις αυτές (εικ.10)



Εικ.10 Μείωση όγκου από συρρίκνωση σε δοκίμια με ξύλινες ίνες

Σημαντικά μικρότερη συρρίκνωση καταγράφηκε στα δοκίμια με ίνες κάνναβης. Η μεγαλύτερη συρρίκνωση ήταν 2,09% στα δοκίμια με 5%ίνες ενώ ίδιας τάξης ήταν η συρρίκνωση και σε μεγαλύτερο ποσοστό ινών. Η χρήση ρευστοποιητή σταθεροποίησε την κατάσταση και καταγράφηκε μικρή συρρίκνωση (εικ.11)



Εικ.11 Μείωση όγκου από συρρίκνωση σε δοκίμια με ίνες κάνναβης

### 3.4 Μικροδομή

Ο έλεγχος της μικροδομής έγινε με πολωτικό μικροσκόπιο LEICA WILD M10 και αφορά στην καταγραφή της διασποράς των ινών καθώς και της διεπιφάνειας ινών-πάστας. Η γεωμετρία και η υφή των ινών κάνναβης επέτρεψε την ομοιόμορφη διασπορά τους στο μίγμα ενώ η ιδιότητά τους να απορροφούν σημαντικά ποσά υγρασίας την οποία πιθανά αποδίδουν αργότερα στο μίγμα φαίνεται να επηρεάζουν την υγροσκοπική τους συμπεριφορά. Η επαφή τους με την πάστα ήταν κατά τόπους μόνο προβληματική (εικ.12) και πιθανά θα μπορούσε να βελτιωθεί με ισχυρότερη συμπύκνωση.





Εικ.12 Διασπορά ινών κάνναβης στο μίγμα

Η μορφολογία των ξύλινων ινών και η λεπτή τους μορφή αύξησε τη δυσκολία ενσωμάτωσής τους στο μίγμα και το έκανε δύσκολα εργάσιμο. Στις διεπιφάνειες αναπτύχθηκε ένα δίκτυο τριχοειδών κενών που αύξησε την τριχοειδή απορρόφηση και το πορώδες του μίγματος με συνέπεια τη μείωση των αντοχών.



Εικ.13 Κατανομή ξύλινων ινών στο μίγμα

#### 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι συνθέσεις με ίνες ξύλου παρουσίασαν μεγαλύτερες δυσκολίες τόσο στην νωπή όσο και στη ξηρή κατάσταση των δοκιμίων. Οι δυσκολίες ήταν ανάλογες του ποσοστού των ινών και αφορούσαν στην ανάδευση, στην απαίτηση περισσότερου νερού και στη συμπύκνωση του μίγματος. Αποτέλεσμα ήταν να καταγραφούν μικρότερες αντοχές και αυξημένο πορώδες. Το δίκτυο μικρορωγμών στην διεπιφάνεια ινών-πάστας φαίνεται να ευθύνεται για την αυξημένη τριχοειδή απορρόφηση. Παρόλα αυτά όμως η εικόνα από τη θραύση των δοκιμίων φαίνεται να είναι θετική από τη χρήση των ξύλινων ινών λόγω αυξημένης πλαστιμότητας και διατήρησης της συνοχής των θραυσμένων δοκιμίων. Ο ρόλος του ρευστοποιητή ήταν σημαντικός κυρίως στη μείωση του νερού ανάδευσης και κατ'επέκταση σε μια σειρά άλλων ιδιοτήτων (περιορισμός συρρίκνωσης, απορρόφησης νερού βελτιωμένες αντοχές). Στην περίπτωση των ινών κάνναβης η μορφολογία και η υφή τους έδειξε ότι υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησής τους στη δόμηση αφού συντελούν σε μικρή απορρόφηση υγρασίας, σε καλή πρόσφυση με την πάστα, ενώ με την παρουσία ρευστοποιητών μπορεί να συντελέσουν στην αύξηση των αντοχών. Το βέλτιστο ποσοστό ινών κάνναβης είναι 1-3% και φαίνεται ότι η εφαρμογή τους αξίζει περισσότερης διερεύνησης.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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



Stefanidou M., Papayianni I., Pachta V.(2012) “Evolution of Inclusions in historic mortars” *Archaeometry*, Volume 54, Issue 4, Pages: 737–751

A.D. Tran Le, C. Maalouf, T.H. Mai, E. Wurtz, F. Collet.( 2010) “ Transient hygrothermal behaviour of a hemp concrete building envelope” *Energy and Buildings* , Issue10, Volume 42.

Marianne Le Troedec, Claire S.Peyratout, Agnes Smith, Thierry Chotard.( 2009) “Influence of various chemical treatments on the interactions between hempfibres and a lime matrix” *Journal of the European Ceramic Society*.

S.Elfordy, F.Lucas, F.Trancret. Y.Scudelller, L.Goudet (2008) “Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (hempconcrete )manufactured by a projection process” *Construction and Building Materials* 22

Παπαγιάννη Ι., Μ. Στεφανίδου, Λ. Αναστασίου (2008) “Χρήση συνθετικών ιών σε κονιάματα βασισμένα στην άσβεστο” *1<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων ΤΕΕ Αθήνα* σελ. 1885-1892

Χριστοδούλου Σ. (2008) “ Μελέτη συμπεριφοράς των επιχρισμάτων ιστορικών κτιρίων” *Διπλωματική εργασία ΔΠΜΣ, Προστασία Συντήρηση και Αποκατάσταση Έργων Τέχνης και Μηχανισμών Υπεύθυνη: Ι. Παπαγιάννη*