



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟΥ

Σχοινά Ειρήνη

dpsd09068

ΘΕΜΑ

Φυσικά Πάνελ Δόμησης με φέρουσα ικανότητα

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Παπανίκος Παρασκευάς

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Παπανίκος Παρασκευάς

Μουλιανίτης Βασίλειος

Ζαχαρόπουλος Νικόλαος

ΣΥΡΟΣ ΙΟΥΝΙΟΣ 2018

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει, όσο είναι δυνατόν, να το προσδιορίσω σαφώς μέσα από την χρήση αναφορών, ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	4
1.1 Μελέτη των καλαμιών για σπλισμό πάνελ δόμησης. ....	4
1.2 Καλάμια τύπου Μπαμπού .....	8
1.2.1 Φυσικά και τεχνητά χαρακτηριστικά καλαμιών τύπου Μπαμπού .....	9
1.2.2 Διαφορετικά τεχνητά χαρακτηριστικά με βάση την μέθοδο κατασκευής του πάνελ δόμησης.....	12
1.3 Καλάμια τύπου Thatch .....	14
1.4 Φυσικά πάνελ δόμησης από καλάμια κατασκευασμένα από ίνες λιναριού.....	16
1.5 Καλάμια Arundo Donax .....	19
1.6 Πάνελ φυσικής δόμησης από τύπους καλαμιών με υλικά πλήρωσης ( Αφρομπετόν, Άχυρο ).....	23
1.6.1 Γενικά χαρακτηριστικά υλικών πλήρωσης σε πάνελ φυσικής δόμησης καλαμιών .....	23
1.6.2 Τεχνητά χαρακτηριστικά άχυρου- Πλεονεκτήματα κατά την πλήρωση σε πάνελ φυσικής δόμησης καλαμιών .....	24
1.6.3 Φυσικά χαρακτηριστικά άχυρου – Πλεονεκτήματα κατά την πλήρωση των πάνελ φυσικής δόμησης .....	28
1.6.4 Το αφρομπετόν ως μέσο πλήρωσης σε πάνελ φυσικής δόμησης με καλάμια.....	30
1.6.5 Φυσικές και τεχνητές ιδιότητες του Αφρομπετόν.....	32
1.6.6 Τα πλεονεκτήματα του Αφρομπετόν κατά την εισαγωγή στα πάνελ δόμησης καλαμιών .....	36
1.7 Παραδείγματα φέροντων οργανισμών .....	38
1.8 Συμπεράσματα.....	39
2. Σχεδίαση του Πάνελ Δόμησης .....	41
2.1 Ανάλυση της κατασκευής .....	44
2.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης .....	47
Βιβλιογραφία .....	59

## 1. Εισαγωγή

Στη σύγχρονη εποχή παρατηρείται η ανάγκη του ανθρώπου να χρησιμοποιεί σε όλες τις εκφάνσεις της ζωής του όλο και περισσότερο φυσικά υλικά, φιλικά προς τον πλανήτη και κατ' επέκταση τον ίδιο τον άνθρωπο. Πέρα από αυτό όμως υπάρχει και η ανάγκη να επιτυγχάνεται η χρήση τέτοιων υλικών με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Ένας τομέας, λοιπόν, που έχει περιθώρια βελτίωσης προς αυτήν την κατεύθυνση είναι αυτός των οικοδομικών κατασκευών.

Υπάρχει ανάγκη για χρήση φυσικών οικοδομικών υλικών που να μπορούν να παράγονται εύκολα, με απλούς τρόπους, με τη μικρότερη δυνατή βιομηχανική παρέμβαση καθώς και να είναι φιλικά προς το περιβάλλον και προς τον άνθρωπο όταν τα παράγει, τα επεξεργάζεται και τα χρησιμοποιεί σε διάφορες εφαρμογές. Όλα αυτά, βέβαια, θα πρέπει να τηρούνται σε συνδυασμό με το χαμηλότερο δυνατό κόστος παραγωγής κι επεξεργασίας. Επίσης, θα ήταν χρήσιμο να μπορεί κάποιος να τα βρει στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη, πράγμα που θα τα έκανε προσβάσιμα στην πλειοψηφία των ανθρώπων.

Όλη αυτή η σκέψη, λοιπόν, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο καλύτερος τρόπος που μπορεί να υπάρξει για τις οικοδομικές κατασκευές που να πληρεί τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι ένα δομικό πάνελ, το οποίο θα αποτελείται από φυσικά υλικά που μπορούν να παραχθούν με φυσικές διαδικασίες. Τέτοια υλικά είναι και τα καλάμια, τα οποία έχουν ιδιαίτερα καλά χαρακτηριστικά όσον αφορά τη μηχανική αντοχή και τη θερμομόνωση, πράγμα που φαίνεται και από τη μελέτη που ακολουθεί στα παρακάτω κεφάλαια. Με διάφορους συνδυασμούς χρήσεων μπορούν να επιφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα σε θερμομόνωση, σε φέρουσα ικανότητα και ως στοιχεία τοίχων πλήρωσης. Μία πιθανή προέκταση αυτών των δομικών πάνελ πιθανόν να είναι και η χρήση τους με σκοπό την απλοποίηση της παραγωγής και μεταφοράς των προκατασκευασμένων κτιρίων, λόγω των πολύ καλών ιδιοτήτων τους σε αντοχή και του χαμηλού βάρους τους ως δομικό στοιχείο.

### 1.1 Μελέτη των καλάμιών για οπλισμό πάνελ δόμησης.

Η μελέτη των πάνελ δόμησης είναι μία διαδικασία που απαιτεί συγκεκριμένους υπολογισμούς, ώστε να εξάγονται τα αποτελέσματα για τις δυνατότητες, τις ιδιότητες και τον τρόπο που μπορεί

να χρησιμοποιηθεί το κάθε πάνελ με σκοπό να φέρει τα απαιτούμενα φορτία της κάθε κατασκευής και να μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη θερμομόνωση των κτιρίων.

Σε αυτήν τη μελέτη για την ανάπτυξη διαφόρων υλικών, με σκοπό να βοηθήσουν την ανέγερση και την θερμομονωτική ικανότητα των κατοικιών, με παράλληλα χαμηλό κόστος που θα μπορεί να ανταπεξέρχεται ο πελάτης, πολλοί επιστήμονες έχουν αναπτύξει έρευνες υπολογισμού σε θεωρητικό πλαίσιο με προσομοιωτικά προγράμματα, αλλά και πρακτικές έρευνες σε ερευνητικό πλαίσιο με την δημιουργία διαφόρων κατασκευών που μπορούν να προσομοιώσουν στην πραγματικότητα, έναν αναλυτικό υπολογισμό κυρίως του τρόπου μόνωσης, αλλά όχι της φέρουσας ικανότητας, ενός κτιρίου με σκοπό την ομαλή κατοίκηση των ενοίκων μέσα σε αυτό.

Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχουν πολλές επιλογές για χρήση των πάνελ δόμησης, καθώς τα υλικά που έχουν ανακαλυφθεί και οι προσμίξεις που μπορούν να γίνουν είναι πολλές σε αριθμό και επίσης υπάρχει και η δυνατότητα για ανάμιξη υλικών για χρήση τους ως υλικά πλήρωσης που μπορούν να προσδώσουν ακόμα καλύτερες ιδιότητες σε αυτά τα πάνελ.

Συγκεκριμένα, τα Πάνελ Δόμησης στη βιομηχανική παραγωγή μπορεί να χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές με οπλισμό ή χωρίς και ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται να αποκτούν ξεχωριστές ιδιότητες για κάθε διεργασία. Ενδεικτικά παρουσιάζονται κάποιες εφαρμογές που χρησιμοποιούν πάνελ δόμησης σε κατασκευές με διάφορα χαρακτηριστικά.

Κάποιες από αυτές είναι :

- 1) Βιομηχανικά κτίρια ή αποθήκες κατασκευασμένα με σκυρόδεμα
- 2) Προσθήκες σε λιθόκτιστα κτίρια
- 3) Πολυκατοικίες με χαλύβδινο φέροντα οργανισμό
- 4) Προκατασκευασμένα λυόμενα κτίρια
- 5) Σκυρόδεμα σε κτίρια με μίξη ασβεστολιθικών αδρανών που προσφέρουν μεγαλύτερη αντοχή
- 6) Κτίρια με σκυρόδεμα και συνδετικό κονίαμα που προσφέρει επιπλέον σταθερότητα στην τοιχοποιία.

Κάθε κατασκευή πρέπει να τηρεί ορισμένες προδιαγραφές με βάση τις οποίες είναι ανάγκη να γίνεται μία σωστή κι επιτυχημένη λειτουργία της κατασκευής και των διεργασιών που διεξάγονται μέσα σε αυτή. Για παράδειγμα, κάποιες από τις προδιαγραφές που πρέπει να

πληρούν τέτοιες κατασκευές με ειδικό οπλισμό που θα προκύπτει βάσει υπολογισμών είναι οι παρακάτω :

- 1) Να υπάρχει ικανοποιητική αντοχή με δυνατότητα υπολογισμού, ώστε τα πάνελ να φέρουν τα απαιτούμενα φορτία και να έχουν ικανοποιητική αντοχή στις σεισμικές καταπονήσεις προς όλες τις κατευθύνσεις.
- 2) Να έχουν θερμομονωτικές ιδιότητες για να υπάρχει εξισορρόπηση της θερμοκρασίας τόσο το καλοκαίρι όσο και τον χειμώνα και να μειώνονται τα απαιτούμενα έξοδα για θέρμανση και κλιματισμό.
- 3) Να υπάρχει αντοχή στην φωτιά, κάτι που επιτυγχάνεται με εισαγωγή ειδικών στοιχείων που δεν είναι αγωγίμα στην θερμότητα και δεν αντιδρούν με διάφορα υπό-προϊόντα της καύσης, όπως ο Άνθρακας (C ).
- 4) Να είναι ηχομονωτικά, ώστε να περιορίζεται η μετάδοση του θορύβου εσωτερικά ή εξωτερικά.

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής λοιπόν θα μελετήσουμε τον τρόπο οπλισμού των πάνελ δόμησης, τη φέρουσα ικανότητα που θα μπορούν να αποκτήσουν και τη θερμομόνωση με καλάμια και τα σχετικά υλικά πλήρωσης. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στα παρακάτω κύρια συστατικά των καλαμιών και τον ρόλο που αυτά παίζουν στην διαδικασία οπλισμού για πάνελ δόμησης. Αναφορικά για να αναλυθεί η χρησιμότητα μίας τέτοιας κατασκευής με το συγκεκριμένο προϊόν δόμησης είναι ανάγκη να εξεταστούν οι παρακάτω παράμετροι, με ιδιαίτερη προσοχή και επιστημονική εγκυρότητα στην παρουσίαση των δεδομένων. Συγκεκριμένα κρίνεται απαραίτητη η παρουσίαση :

- Των τύπων καλαμιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή των πάνελ δόμησης σε βιομηχανική παραγωγή.
- Των φυσικών ιδιοτήτων που έχουν αυτοί οι τύποι οπλισμών και των πλεονεκτημάτων που δημιουργούν κατά τη χρήση τους σε μία κατασκευή.
- Των μηχανικών ιδιοτήτων που αποκτούν αυτοί οι τύποι οπλισμών και των πλεονεκτημάτων που έχουν σε σχέση με άλλα υλικά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, σε παρόμοιες κατασκευές.
- Παρόμοιων εφαρμογών που αναφέρονται στην βιβλιογραφία και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή-δόμηση σε διάφορες περιπτώσεις κατασκευών.

Στα πλαίσια των φυσικών ιδιοτήτων που έχουν αυτοί οι οπλισμοί καλαμιών παρουσιάζονται κάποια φυσικά χαρακτηριστικά καλαμιών που φυτρώνουν στον ελλαδικό και στον ευρωπαϊκό χώρο και είναι κούφια εσωτερικά. Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται διάφορες από αυτές τις ιδιότητες [15-18].

**Πίνακας 1**

	Αντοχή σε θλίψη	Αντοχή σε εφελκυσμό	Αντοχή σε καύση	Αντοχή σε κάμψη	Αντοχή σε ελαστικότητα	Αποθήκευση υγρασίας	Θερμομονωτικές ιδιότητες
Thatch	++	++	++ (254 J/g)	++	++	+++	++++ (0,055-0,075 W/m*K)
λινάρι	+	+	+	+	+	+++ μ=1-2 (συντελεστής διάχυσης υδρατμών)	+++ (0,04-0,045 W/m*K)
Baboo καλάμια	+++ (34,3 MPa)	+++ (14,96 N/mm <sup>2</sup> )	+++	+++ (20,27 Fb)	+ (16,1170 N/mm <sup>2</sup> )	+(12%)	++++ 0,0214-0,0414 W/m*K)
Ριζοκάλαμο	+	+	+	+	+	+++	+++
Λευκή φτέρη	+	+	+	+	+	+++ μ=10-30 (συντελεστής διάχυσης υδρατμών)	++++ (0,0042-0,0046 W/m*K)

Η χρήση των καλαμιών για τον οπλισμό των πάνελ δόμησης στην βιομηχανική παραγωγή εξυπηρετεί πολλούς σκοπούς. Αξίζει να αναφερθούν κάποιοι τύποι τέτοιων καλαμιών που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία παραγωγής για πάνελ δόμησης. Συγκεκριμένα, υπάρχουν πολλά είδη καλαμιών που ύστερα από αναζήτηση σε εταιρείες πώλησης τέτοιων ειδών μπορεί να βρεθεί μία ποικιλία τέτοιων τύπων. Ο κάθε τύπος έχει κάποια πλεονεκτήματα που το κάνουν δυνατό να χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένες περιπτώσεις εφαρμογών για τη βιομηχανική παραγωγή των πάνελ δόμησης. Συνεπώς, αναφέρονται παρακάτω οι τύποι καλαμιών που χρησιμοποιούνται στην δόμηση φυσικών πάνελ.

## 1.2 Καλάμια τύπου Μπαμπού

Αρχικά, ένας τύπος καλαμιού που χρησιμεύει πολύ σε δομικές κατασκευές και είναι ευρέως διαδεδομένο για τα πλεονεκτήματα που μπορεί να έχει είναι το Μπαμπού. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το Μπαμπού είναι ένα εξάισιο υλικό που έχει δωρίσει η φύση στον άνθρωπο και μία εξαιρετική πρώτη ύλη που ο άνθρωπος μπορεί να χρησιμοποιήσει για διάφορες κατασκευές. Μία από αυτές είναι και η κατασκευή φυσικών πάνελ δόμησης. Τα Μπαμπού μπορούν να χρησιμοποιούνται σε διάφορες βιομηχανικές μεθόδους και τύπους παραγωγής πάνελ. Το Μπαμπού έχει όλες τις προδιαγραφές για να αντικαταστήσει τον τύπο της ξυλείας για την κατασκευή πάνελ δόμησης σε ευρεία παραγωγή και να σχηματίσει μία νέα μέθοδο δόμησης με καλάμια, ύστερα βέβαια από επεξεργασία και ειδική ανάμιξη με κάποια άλλα υλικά.

Για παράδειγμα, αυτά τα είδη καλαμιών μπορούν χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αποθηκών, μέσα στις οποίες είναι στοιβαγμένα τα αποθεματικά προϊόντα που παράγονται από



την γεωργική διαδικασία. Το Μπαμπού διαθέτοντας πολλά πλεονεκτήματα στον τομέα των φυσικών χαρακτηριστικών είναι ένα από τα κύρια υλικά για τέτοιες κατασκευές.

Υπάρχουν διάφορα είδη πάνελ από μπαμπού που κατασκευάζονται ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται το καθένα. Κάποια από αυτά είναι:

- 1) Η κατασκευή panel mat από καλάμια Μπαμπού (BMB)
- 2) Η κατασκευή panel mat από καλάμια Μπαμπού, που έχουν υποστεί επεξεργασία και έχουν αποκτήσει μορφή κυματοειδών φύλλων (BMCS)
- 3) Τα φύλλα Μπαμπού που προέρχονται από τα φυλλώματα του καλαμιού και μπορούν έχουν πρόσθετες ιδιότητες, ειδικά ύστερα από επεξεργασία. (BL)
- 4) Πάνελ υψηλής πυκνότητας Μπαμπού που προέρχονται ύστερα από επεξεργασία συμπίεσης των καλαμιών, με σκοπό να υπάρχει αύξηση της πυκνότητας και κατ' επέκταση αύξηση της αντοχής σε υψηλές καταπονήσεις που μπορεί να υπάρχουν κατά την απόθεση υλικών με υψηλό βάρος πάνω στα Πάνελ. (BMMSB)

### 1.2.1 Φυσικά και τεχνητά χαρακτηριστικά καλαμιών τύπου Μπαμπού

Σύμφωνα με τους Mohanty B.N et al. που διεξήγαγαν μία βιομηχανική έρευνα για διαφόρους τύπους καλαμιών περιέγραψαν ότι αυτός ο τύπος καλαμιών είναι μία άριστη πρώτη ύλη που έχει μικρό βάρος, μακρά διάρκεια ζωής και υψηλή ποιότητα.

Αυτός ο τύπος καλαμιού ήταν αρχικά αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης ζωής στην αγροτική Ινδία. Εκεί χρησιμοποιούταν για διάφορες εφαρμογές όπως η κατασκευή κατοικιών, αλλά και αγροτικών και βιομηχανικών αποθηκών ως υλικό φυσικής δόμησης. Αυτό που τα έκανε τόσο ευρέως διαδεδομένα ήταν τα φυσικά τους χαρακτηριστικά που υπερτερούσαν σε βάρος άλλων υλικών που χρησιμοποιούνταν στην δόμηση.

Η πρώτη καταγεγραμμένη παραγωγή πάνελ από μπαμπού ήταν κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκόσμιου Πολέμου για την κατασκευή πεπιεσμένου υφασμένου φύλλου μπαμπού επικαλυμμένου με κόλλες καζεΐνης ( Tecli. Rep & Chengtu 1945). Σχεδόν την ίδια περίοδο ξεκίνησαν έρευνες στην Ινδία για ανάπτυξη της πλαστικής ύλης από μπαμπού με σύνθετη ρητίνη ( P.M Ganapathy etal. 1999). Υπάρχουν περισσότεροι από 30 τύποι προϊόντων πάνελ, που είναι

κατασκευασμένοι από μπαμπού ή από συνδυασμό μπαμπού με ξύλο ή με άλλα υλικά που προφέρουν επιπλέον ιδιότητες (κυτταρινικά υλικά).

Τα Μπαμπού επιβιώνουν σε φυσικά περιβάλλοντα με εδάφη υποβαθμισμένου χαρακτήρα και με έναν μεγάλο όγκο εναπομεινάντων αποβλήτων. Αυτό έχει λειτουργήσει θετικά για αυτόν τον τύπο καλαμιού, καθώς ακόμα και σε τεράστιες αντιξοότητες, όπως ξηρασίες, πλημμύρες και κυκλώνες, οι θάμνοι μπαμπού μπορούν να κρατήσουν την δομή τους και να μην νεκρωθούν οι ρίζες τους. Συνεπώς αυτή η επιβίωση αυτού του τύπου καλαμιού στην φύση έχει προσδώσει πολύ σημαντικές ιδιότητες, τρεις εκ των σημαντικότερων για τη δυνατότητα παραγωγής και χρήσης του είναι οι εξής :

- 1) Ένα φυσικό χαρακτηριστικό είναι η γρήγορη ανάπτυξη του καλαμιού στο φυσικό του περιβάλλον με αποτέλεσμα την δυνατότητα αυξημένου όγκου παραγωγής και παράδοσης μεγάλων παραγγελιών σε χονδρέμπορους και εταιρείες που εμπορεύονται υλικά που προκύπτουν από την επεξεργασία του και τα παράγωγα αυτής, καθώς και άλλες διεργασίες. Αυτό το πλεονέκτημα του υλικού μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της ζήτησης και στην επέκταση των αγορών σε πάνελ δόμησης που χρησιμοποιούνται για στέγαση, αλλά εν δυνάμει και στην ανέγερση βιομηχανικών εγκαταστάσεων.
- 2) Επίσης ένα τεχνητό χαρακτηριστικό που παρέχεται απλόχερα από αυτόν τον τύπο καλαμιού χωρίς καμία επεξεργασία είναι η υψηλή μηχανική του αντοχή, η οποία προκύπτει από την αντοχή του στην επιβίωση κάτω από αντίξοες συνθήκες σε χώρες που πλήττονται από φυσικές καταστροφές.  
Τέτοιου είδους αντιξοότητες λοιπόν έχουν μεταλλάξει τη δομή του καλαμιού και τον τρόπο ανάπτυξης του, δίνοντας πλεονεκτήματα ύστερα από μετάλλαξη του DNA του φυτού από το οποίο παράγεται το καλάμι.
- 3) Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που παρατηρείται είναι η ευκολία χρήσης τους. Αυτό έρχεται να συνδυαστεί με το χαμηλό βάρος τους, κάτι που τα κάνει εύκολα επεξεργάσιμα κατά την παραγωγική διαδικασία των πάνελ φυσικής δόμησης και άλλων διεργασιών αυτών.
- 4) Το Μπαμπού μπορεί να συγκριθεί με την παραγωγή ξυλείας που είναι μία από τις κύριες μορφές κατασκευής πάνελ δόμησης με φυσικά υλικά. Σύμφωνα με αυτήν την σύγκριση λοιπόν μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι, τα Μπαμπού παράγουν πολύ γρηγορότερα βιομάζα και έχουν πολύ υψηλότερες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες από αυτές του ξύλου.

Μελέτες έχουν δείξει ότι το Μπαμπού είναι το πιο κατάλληλο υλικό που έχει ανακαλυφθεί για δημιουργία πάνελ, ώστε να υποκαταστήσει το ξύλο.

Σε γενικές γραμμές αυτά τα χαρακτηριστικά που κατέχει ο πιο διαδεδομένος τύπος καλαμιού τα έχουν και η πλειοψηφία των τύπων καλαμιών. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν λεπτομέρειες και μικρές διαφορές που κάνουν το κάθε καλάμι να διαφέρει από τα άλλα και να έχει λίγο διαφορετικές ιδιότητες.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι υπάρχει μία εκτενής διαδικασία επεξεργασίας του Μπαμπού, με σκοπό να αποκτήσει κάποιες ακόμα σημαντικές ιδιότητες, όπως η αντίσταση στην πυρκαγιά και η επιπλέον σκλήρυνση. Η επεξεργασία αυτή συνήθως περιλαμβάνει την παρακάτω διαδικασία.

Τα πάνελ δόμησης με Μπαμπού :

- Επικαλύπτονται με ρητίνη με ένα πινέλο ειδικό που κάνει επιστρώσεις σε στυλ ρολού. Αυτή η επικάλυψη δεν είναι κατάλληλη για τα πάνελ δόμησης τύπου Mat. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται ειδικός σχεδιασμός ρητίνης, έτσι ώστε να μπορεί να διεισδύσει η ρητίνη στους διαστρωματικούς χώρους. Κατά την διαδικασία αυτή δεν πρέπει να υπάρχει υγρασία πάνω στο πάνελ, καθώς παίζει καθοριστικό ρόλο στην σωστή κόλληση της επικάλυψης με το πάνελ και στην απώλεια κενών αέρος ανάμεσα τους, που μπορεί να δημιουργήσουν μελλοντικά προβλήματα.
- Γίνεται μία συμπίεση του τελικού υλικού πάνω στην επιφάνεια της επικάλυψης, ώστε να εξασφαλιστεί η συνοχή των δύο στρωμάτων μεταξύ τους και αν είναι ανάγκη χρησιμοποιείται και κόλλα για περαιτέρω ασφάλεια σε σημεία που δεν έχουν ενωθεί σωστά.
- Έπειτα γίνεται μία θερμή συμπίεση, η οποία σκληραίνει ακόμα περισσότερο το υλικό και την επιφάνεια της επικάλυψης. Αυτή η θερμοκρασία ποικίλλει και δεν πρέπει να επηρεάζει το υλικό της επίστρωσης (ρητίνη)
- Τέλος, η επεξεργασία που απαιτείται για τέτοιου είδους πάνελ δόμησης με Μπαμπού παρουσία ρητίνης στην επικάλυψη για να μην υπάρχει διάβρωση του Μπαμπού με το πέρασμα του χρόνου, είναι η λείανση του πάνελ δόμησης.

## 1.2.2 Διαφορετικά τεχνητά χαρακτηριστικά με βάση την μέθοδο κατασκευής του πάνελ δόμησης.

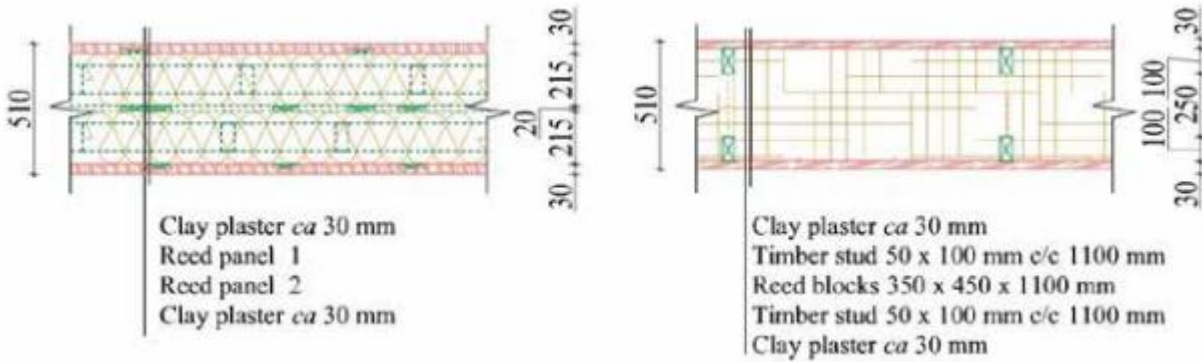
Σύμφωνα με έρευνες των M. Miljan, M. et al. μελετήθηκαν στην πράξη κάποια χαρακτηριστικά του Μπαμπού που δίνουν αυτές τις ιδιότητες και κάνουν αυτόν τον τύπο κατάλληλο για χρήση. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν τα πάνελ δόμησης ενός σπιτιού που χρησιμοποιούσε τέσσερις διαφορετικές τεχνολογίες ξύλου και μόνωση καλαμιού Μπαμπού στους εξωτερικούς τοίχους. Το πάχος του καλαμιού ήταν 450 mm. Οι επιστήμονες υπολογίζοντας την ροή θερμότητας, κατέληξαν στην εξαγωγή κάποιων τεχνητών ιδιοτήτων για το Μπαμπού. Συγκεκριμένα στην Εικόνα 1(α) και (β) φαίνεται το σπίτι που μελετήθηκαν τα τεχνητά του χαρακτηριστικά στη πρόσοψη του και στην πλάγια όψη του αντίστοιχα. Οι ερευνητές διαμόρφωσαν τέσσερα διαφορετικά στυλ κατασκευής των πάνελ που ήταν συγκεκριμένα :

- 1) Τοποθέτηση των καλαμιών κάθετα για δημιουργία του πάνελ δόμησης
- 2) Τοποθέτηση των καλαμιών οριζόντια για δημιουργία του πάνελ δόμησης.
- 3) Μπλοκ ραβδώσεων με καλάμια για δημιουργία του πάνελ δόμησης
- 4) Μπλοκ τοιχώματος με καλάμια για δημιουργία του πάνελ δόμησης.

Στα δύο τελευταία τοποθετήθηκε και ξύλινος σοβάς και ξύλο μετά την τοποθέτηση των καλαμιών. Ενδεικτικά ο τρόπος τοποθέτησης αυτών των υλικών στις δύο τελευταίες περιπτώσεις φαίνεται στις Εικόνες 2 ( α) και (β) αντίστοιχα.



**Εικόνα 1 (α)** Πρόσοψη σπιτιού με πάνελ δόμησης από Μπαμπού , **(β)** πλάγια όψη κατασκευασμένη με πάνελ δόμησης από Μπαμπού.



**Εικόνα 2 (α)** Τοποθέτηση του Μπαμπού σε πάνελ δόμηση με την μέθοδο ραβδώσεων σε ανάμιξη με σοβά και ξύλο, **(β)** Τοποθέτηση του Μπαμπού σε πάνελ δόμησης με την μέθοδο του μπλοκ τοιχώματος σε ανάμιξη με σοβά και ξύλο.

Τα αποτελέσματα έδειξαν την σύγκριση των τεχνητών χαρακτηριστικών για τις τέσσερις μεθόδους που οι ερευνητές εφάρμοσαν στο πείραμα τους, με σκοπό να κάνουν εξαγωγή των τεχνητών χαρακτηριστικών από τις τέσσερις υποπεριπτώσεις τύπων πάνελ δόμησης.

Τα αποτελέσματα έδειξαν μία εμφανή διαφορά στην Θερμική διαπερατότητα  $U$  που εκφράζεται σε μονάδες ( $W \cdot m^2 / K$ ) και δηλώνει το πόση ενέργεια θα χαθεί σε Watt μέσα από ένα τετραγωνικό μέτρο ενός πάνελ δόμησης αν μειωθεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά 1 βαθμό. Όπως προέκυψε λοιπόν φαίνεται ότι ο τύπος των πάνελ δόμησης που τοποθετούνται τα Μπαμπού κατακόρυφα και δεν υπάρχει επιπλέον υλικό φάνηκε να υπάρχει Θερμική διαπερατότητα αρκετά μεγάλη της τάξης του

- $U_{\text{κάθετων Μπαμπού καλαμιών}} = 0,383$  , ενώ ακολούθως τα
- $U_{\text{μπλοκ τοιχώματος}} = 0,329$  ,
- $U_{\text{ραβδώσεων}} = 0,269$  και
- $U_{\text{οριζόντιων Μπαμπού καλαμιών}} = 0,207$ .

Συνεπώς φάνηκε, ότι από τους τέσσερις διαφορετικούς τύπους πάνελ δόμησης αυτός, ο οποίος είχε τις πιο καλές θερμομονωτικές ικανότητες ήταν η μέθοδος της κατασκευής πάνελ δόμησης με οριζόντια διάταξη των καλαμιών Μπαμπού. Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι ένα ακόμα τεχνικό χαρακτηριστικό που βοηθάει τα πάνελ δόμησης να λειτουργούν με καλύτερη απόδοση θερμικής αντοχής είναι και ο τρόπος που τοποθετούνται γεωμετρικά τα καλάμια της εκάστοτε

εφαρμογής. Ο λόγος που τα κατακόρυφα καλάμια δεν είχαν καλές θερμομονωτικές ιδιότητες ήταν διότι αυτή η τοποθέτηση δεν μπορούσε να συμπιέσει το ένα καλάμι με το άλλο, ανεξάρτητα από το μήκος τους και αυτό διευκόλυνε την μεταφορική κίνηση του αέρα μέσα στον τοίχο με αποτέλεσμα την μετάδοση της θερμότητας έξω από το σπίτι/αποθήκη.

Επίσης φάνηκε ότι η δημιουργία τοιχώματος με απλή συνύπαρξη καλάμιών με σοβά και ξύλο χωρίς όμως την πρόσμιξη μεταξύ τους δεν αποτελεί μία θεμιτή επιλογή στα πλαίσια του στόχου της θερμομονωτικής επάρκειας, καθώς όπως φάνηκε η ύπαρξη όλων των υλικών μαζί έδινε μεγαλύτερες τιμές θερμικής διαπερατότητας.

### 1.3 Καλάμια τύπου Thatch

Άλλος τύπος καλάμιών που προσφέρει την δυνατότητα κατασκευής ενός φυσικού πάνελ δόμησης είναι τα πάνελ καλάμιών “Thatch”. Ο συγκεκριμένος τύπος καλάμιού προέρχεται από την Αφρική, καθώς εκεί το κλίμα ευημερεί για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου υλικού.

Πιο συγκεκριμένα, δημιουργείται ύστερα από μία πρωτογενή επεξεργασία που γίνεται με μία ραφή που πρωτοεφαρμόστηκε από τους Αφρικανούς και είναι συνδεδεμένη με ένα συστατικό που λέγεται ουρεθάνη ( συνδέεται με μία ευέλικτη κορυφή συστατικού ουρεθάνης ). Τα καλάμια “ Thatch”, δημιουργούν τα πάνελ φυσικής δόμησης Thatch, τα οποία είναι ιδανικά για εξωτερικούς χώρους, για να δημιουργήσουν μία όμορφη κι εκλεπτυσμένη ρύθμιση στον χώρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτά τα πάνελ έχουν την ικανότητα να είναι σχεδόν αδιάβροχα και να διαρκούν πολλά χρόνια αν το κλίμα μπορεί να υποστηρίξει την μη διάβρωση τους. Στην Εικόνα 3 φαίνονται κάποια πάνελ φυσικής δόμησης που έχουν δημιουργηθεί από αυτόν τον τύπο καλάμιού κι έχουν εγκατασταθεί σε διάφορους χώρους εστίασης και υποδοχής πελατών, όπως Ξενοδοχεία και εστιατόρια, αλλά και διάφορα καταστήματα πώλησης ή επεξεργασίας υλικών.

Συγκεκριμένα στην Εικόνα 3(α) φαίνεται ένα μαγαζί πώλησης που είναι εξ' ολοκλήρου κατασκευασμένο από αυτά τα καλάμια, τα οποία όπως προαναφέρθηκε είναι αδιάβροχα, κάτι το οποίο είναι πολύ σημαντικό για χώρες που το κλίμα ευνοεί την εμφάνιση βροχών και υγρασίας.

Στην Εικόνα 3(β) φαίνεται μία οροφή ενός καταστήματος εστίασης που είναι δημιουργημένη εξ' ολοκλήρου από καλάμια τύπου Thatch. Όπως φαίνεται υπάρχει μία ωραία αισθητική, ανάμεσα

στην κατασκευαστική γεωμετρία αυτής της εγκατάστασης που δίνει επιπλέον θετικά φυσικά χαρακτηριστικά, εκτός από τα τεχνητά χαρακτηριστικά που υπάρχουν.



(α)



(β)

**Εικόνα 3** (α) Παρουσίαση καταστήματος που έχει κατασκευαστεί αποκλειστικά από καλάμια Thatch , (β) Παρουσίαση χώρου εστίασης που η οροφή του έχει κατασκευαστεί αποκλειστικά από καλάμια Thatch.

## 1.4 Φυσικά πάνελ δόμησης από καλάμια κατασκευασμένα από ίνες λιναριού

Ένα ακόμα φυτικό υλικό που αποτελεί προϊόν κατασκευής πάνελ φυσικής δόμησης είναι οι ίνες λιναριού. Το συγκεκριμένο υλικό αποτελεί ένα οικολογικό μονωτικό για εφαρμογές σε πάνελ δόμησης, το οποίο είναι αρκετά αποδοτικό και ευρέως διαδεδομένο. Αυτό το υλικό έχει μεγάλη ζήτηση τα τελευταία χρόνια και έχει υποκαταστήσει την κατασκευή πάνελ δόμησης με ξύλο, λόγω των πλεονεκτημάτων που έχει ως εναλλακτικό υλικό.

Πολλές φορές χρησιμοποιούνται τα υπολείμματα λιναριού που προκύπτουν από καλλιέργειες στην γεωργία που υπάρχουν καλαμιές όπως είναι και η καλλιέργεια λιναριού. Η διεργασία κατασκευής των πάνελ δόμησης από λυγαριά περνάνε από διάφορα στάδια μέχρι να φτάσουν στην τελική τους μορφή και να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ενός πάνελ δόμησης. Συγκεκριμένα για να αποκτηθεί η επιθυμητή αντοχή το υλικό περνάει από επεξεργασία. Κατά την επεξεργασία αυτή παρατηρούνται τα εξής στάδια :

- 1) Στάδιο συλλογής υπολειμμάτων και συμπίεση σε ειδικό μηχάνημα κατασκευή πλακών.
- 2) Τεμαχισμός πλακών στα επιθυμητά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των πάνελ δόμησης. (Εικόνα 4 (α))
- 3) Τοποθέτηση πλακών σε ειδικά κλιματιζόμενα ψυγεία, με σκοπό την εξισορρόπηση της δομής. Αυτό το στάδιο έχει σαν σκοπό να δημιουργηθεί μία ενιαία δομή στα τεμάχια και να μην υπάρχουν σημεία, όπου μπορεί να εγκλωβιστεί ο αέρας και να δημιουργήσει προβλήματα απώλειας θερμότητας. (Εικόνα 4 (β))
- 4) Εισαγωγή των τεμαχίων σε ειδικό ξηραντήριο, με σκοπό να επιτευχθεί το απόλυτο ξηρό βάρος και να φύγει η υγρασία που προέκυψε ανάμεσα στα μόρια των τεμαχίων κατά τη διαδικασία της ψύξης. Αυτό έχει σκοπό να μειωθεί η θερμική διαπερατότητα του κάθε τεμαχίου πριν αυτά τοποθετηθούν για να κατασκευάσουν ένα πάνελ δόμησης.

Έπειτα από αυτές τις διαδικασίες τα τεμάχια που έχουν κατασκευαστεί από ίνες λιναριού, υλικό που προέρχεται από έναν τύπο καλαμιού έχουν την μορφή ορθογώνιων πλακών (Εικόνα 5), που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ενός πάνελ φυσικής δόμησης.





**Εικόνα 4 (α)** Τεμαχισμός πλακιδίων λυγαριάς σε κατάλληλη μορφή, πριν από την τελική τους διάθεση για την κατασκευή των πάνελ δόμησης, **(β)** Τοποθέτηση πλακιδίων λυγαριάς σε ειδικό ψυγείο κλιματισμού για βελτίωση τεχνητών χαρακτηριστικών.



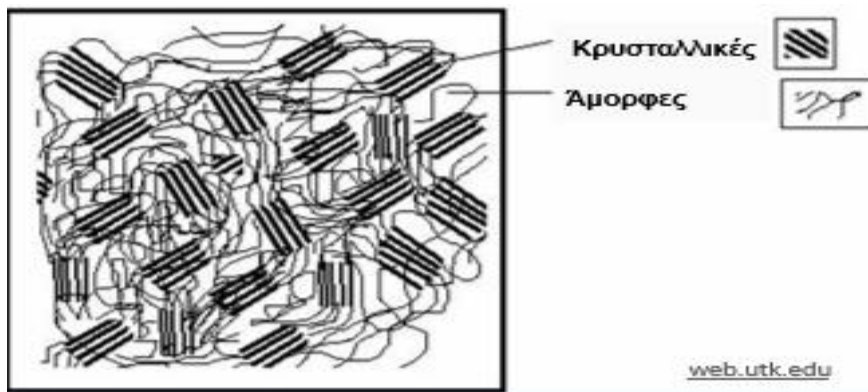
**Εικόνα 5** Τεμάχια που προορίζονται για κατασκευή πάνελ δόμησης και έχουν δημιουργηθεί έπειτα από διαδικασία κατασκευής με ίνες λινარიού.

Συνεπώς έπειτα από αυτήν την επεξεργασία το υλικό που παράγεται έχει κάποια τεχνητά χαρακτηριστικά που του προσδίδουν υψηλή ποιότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό για κατασκευή πάνελ δόμησης. Τα κύρια τεχνητά χαρακτηριστικά που έχουν αυτά τα τεμάχια είναι :

- Υψηλή συμπιεστότητα που προσδίδει σκληρή δομή μεταξύ των μορίων και δεν αφήνει πόρους αέρα να περνάνε μέσα από το υλικό. Αυτό προσδίδει μικρή θερμική διαπερατότητα και αποτελεί θετικό στοιχείο για χρήση του σε πάνελ δόμησης.
- Δυνατότητα υψηλής ποιότητας ηχομόνωσης λόγω της επεξεργασίας συμπίεσης που έχει γίνει και έχει συντελεστεί η δυνατότητα για να μην περνάνε τα ηχητικά κύματα διαμέσου του υλικού.
- Χαμηλό κόστος κατασκευής, καθώς υπάρχει άφθονο στο περιβάλλον και μπορεί να συλλεχθεί με εύκολους τρόπους, ενώ η επεξεργασία του είναι επίσης μία σχετικά εύκολη διαδικασία, σύμφωνα με τους τρόπους που περιγράφηκαν.

Αυτά τα τεχνητά χαρακτηριστικά μαζί με τα φυτικά χαρακτηριστικά που έχουν οι φυσικές ίνες του λιναριού το καθιστούν ένα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά για κατασκευές πάνελ δόμησης. Τα φυσικά χαρακτηριστικά λοιπόν που βοηθάνε το λινάρι να χρησιμοποιείται σε αυτές τις κατασκευές είναι :

- Η μακρομοριακή δομή των συγκεκριμένων ινών που αποτελούνται από μακριές αλυσίδες ινών που δημιουργούν συμπιεσμένες μορφές μορίων. Αυτές είναι πολύ ανθεκτικές στις μηχανικές καταπονήσεις, κάτι απαραίτητο για την καλή στατική ενός πάνελ δόμησης και την μακροχρόνια χρήση, χωρίς ανάγκη για συντήρηση και περαιτέρω αναβάθμισης. Αυτό είναι αποτέλεσμα της άμορφης δομής της ίνας που καταφέρνει και συγκρατεί τις κρυσταλλικές περιοχές του πολυμερούς με αποτέλεσμα την αυξημένη αντοχή της ίνας και κατ' επέκταση του πάνελ δόμησης. ( Εικόνα 6)



**Εικόνα 6** Σχηματική αναπαράσταση ίνας λιναριού με κρυσταλλικές και άμορφες δομές που υπάρχουν στην δομή της

- Το υψηλό σημείο τήξης των ιών λιναριού προσδίδει στο υλικό υψηλή πυρίμαχη συμπεριφορά και γι' αυτόν τον λόγο λαμβάνεται σαν συμπέρασμα ότι η χρήση του ως υλικό στο πάνελ δόμηση μπορεί να δώσει προστασία σε περίπτωση φωτιάς. Αυτή η ιδιότητα είναι αποτέλεσμα της κρυσταλλικότητας και των αυξημένων ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα πολυμερή που αυξάνουν την αντίσταση της ίνας στη θερμότητα.
- Ως φυτική ίνα έχει το χαρακτηριστικό ότι μπορεί να απορροφά την υγρασία ως κάποιο βαθμό και αυτό είναι ένα αρνητικό σε σχέση με τα Μπαμπού που περιγράφηκαν και ήταν αδιάβροχα.

Τα κόστη για τη δόμηση μίας οικίας με τα παραπάνω καλάμια δόμησης αναφέρονται παρακάτω:

Οικία με Baboo καλάμια : 17,7 € / 100 τμχ (10mm\*150 cm)

Δυστυχώς για τους άλλους τύπους καλαμών δεν υπάρχουν ποιοτικές πληροφορίες για την αντοχή τους και την τιμή τους στη αγορά.

## 1.5 Καλάμια Arundo Donax

Υπάρχει επίσης ένα ακόμα είδος καλαμιού, με την επιστημονική ονομασία Arundo Donax, του οποίου οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του επιτρέπουν τη χρήση του ως σπλισμό σε πάνελ δόμησης. Το πολυετές αυτό καλάμι φύεται σε αρκετές περιοχές του πλανήτη που είναι εύκρατες και υποτροπικές, σε υγροβιότοπους και παράκτιους βιότοπους κατά μήκος ποταμών και λιμνών, στις άκρες καλλιεργειών και σε αμμόλοφους. Τέτοιες περιοχές στις οποίες ευδοκιμούν τα arundo

donax υπάρχουν στην Νέα Υόρκη, στην Καλιφόρνια, στο Λος Άντζελες και σε μεσογειακές χώρες όπως η Ιταλία και η Ελλάδα (π.χ. Λήμνος, Κρήτη).



Εικόνα 7 Καλάμια Arundo Donax

Κάποια στοιχεία που έχουμε για το καλάμι αυτό είναι ότι γενικά φτάνει τα 4m ύψος, αλλά σε ιδανικές συνθήκες μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 10m. Επίσης, οι κόμβοι που υπάρχουν ανά 20cm κατά ύψος του επιτρέπουν να έχει μεγάλη μηχανική αντοχή. Ένα άλλο δομικό χαρακτηριστικό του είναι ότι έχει εξωτερική διάμετρο 2-3cm, και σε κάποιες σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει τα 4cm, ενώ έχει πάχος 0,2-0,6cm. Όταν οι συνθήκες υγρασίας το επιτρέπουν, κυρίως την άνοιξη δηλαδή, έχει γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης που φτάνει μέχρι και τα 5cm ημερησίως. Μία ακόμα σημαντική φυσική ιδιότητα που έχει το arundo donax είναι η καλή αντοχή του στη φωτιά, πράγμα που, όπως είναι λογικό, εξαρτάται από τη διάμετρο και το πάχος του. Μέσω πειραμάτων αποδείχθηκε ότι η καλύτερη θερμική αντίσταση που μπορεί να έχει ένα πάνελ κατασκευασμένο από το καλάμι αυτό, επιτυγχάνεται με τη σύζευξη δύο στρωμάτων στελεχών σε 90°, για συνολικό πάχος 4cm ( $K = 0,063 \text{wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ ).

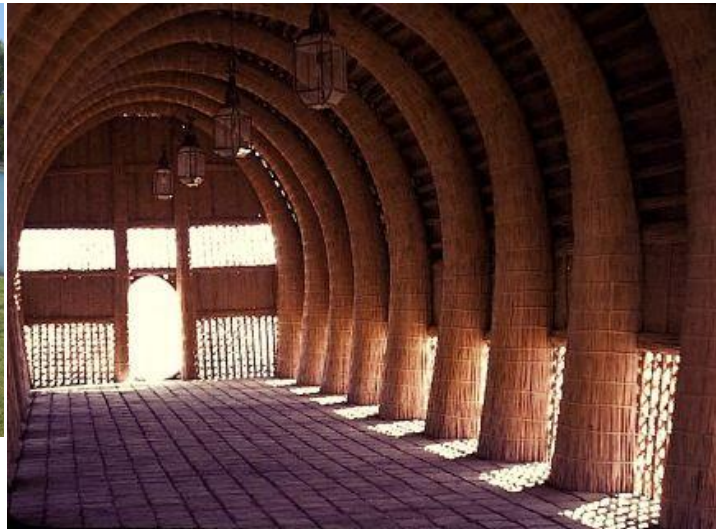
Έχουν μελετηθεί προσεγγιστικά και οι μηχανικές ιδιότητες του arundo donax όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

- Density (Πυκνότητα)  $\approx 2295,00 \text{ N m}^{-3}$
- Mean tensile strength (Μέση Αντοχή Εφελκυσμού)  $= 32,17 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$
- Mean bending strength (Μέση Αντοχή Κάμψης)  $= 130,00 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$
- Mean compressive strength (Μέση Αντοχή Θλίψης)  $= 66,50 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$
- Mean bearing strength (Μέση Αντοχή Φέρουσας Ικανότητας)  $= 26,68 \times 10^4 \text{ N m}^{-2}$

Λόγω των καλών μηχανικών ιδιοτήτων το συγκεκριμένο είδος καλαμιού έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές κατασκευές όπως δείχνουν και οι παρακάτω εικόνες



**Εικόνα 8** Beyond Architecture Group and Laboratorio Architettura Naturali (LAN) organized a workshop to build a structure made of reeds and straw bales in Fiano Romano



**Εικόνα 9** Παραδοσιακό σπίτι (Mudhif) του λαού Μαντάν, που κατοικεί στους βάλτους του Τίγρη και του Ευφράτη, ΝΑ του Ιράκ και στα σύνορα του Ιράν.



**Εικόνα 10** Φράχτης από Arundo Donax



**Εικόνα 11** Κατασκευή στην Πράσινη Ουτοπία (Μια πόλη 2000m<sup>2</sup> στην Ιταλία με παραδείγματα αρχιτεκτονικής φυτών



**Εικόνα 12** Αγροτικά κτίρια στη νότια Ιταλία με εξωτερικούς τοίχους με επένδυση από Arundo donax

## 1.6 Πάνελ φυσικής δόμησης από τύπους καλαμιών με υλικά πλήρωσης ( Αφρομπετόν, Άχυρο )

Συνεπώς, οι κατασκευές με τους διάφορους τύπους καλαμιών φαίνεται να έχουν ευρεία εφαρμογή σε διάφορες κατασκευές και σε πάνελ δόμησης. Παρ' όλα αυτά, σε πολλές εφαρμογές υπάρχει η προσθήκη και άλλων υλικών σε συνδυασμό με αυτά τα υλικά, με σκοπό να προσδώσουμε κάποιες επιπλέον ιδιότητες και να γίνει ακόμα πιο ποιοτικό το πάνελ δόμησης που δημιουργείται.

Υπάρχουν για τον λόγο αυτόν κάποια υλικά που γίνεται να αναμιχθούν με τους διάφορους τύπους πάνελ δόμησης που χρησιμοποιούν καλάμια και παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Κάποια από αυτά τα υλικά που χρησιμοποιούνται σαν υλικά πλήρωσης ώστε να βελτιώσουν τις ιδιότητες του Πάνελ δόμησης είναι τα παρακάτω :

- Αφρώδη υλικά όπως το αφρομπετόν και το αφρώδες γυαλί
- Ινώδη υλικά ( υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας )
- Κοκκώδη ( περλίτης)
- Φυσικά όπως το Άχυρο
- Τεχνητά (Καουτσούκ, σύνθετα πλαστικά κ.α.)
- Συνδυασμένα υλικά όπως ο αφρώδης γύψος

Το ζήτημα με την επιλογή του κατάλληλου υλικού για να γίνει πλήρωση με τα καλάμια έγκειται στην επιτυχία της ανάμιξης και στον τρόπο που αυτά τα δύο θα έχουν μία συγκεκριμένη δομή που θα μπορεί να δίνει καλές ιδιότητες στο πάνελ δόμησης.

### 1.6.1 Γενικά χαρακτηριστικά υλικών πλήρωσης σε πάνελ φυσικής δόμησης καλαμιών

Αξίζει να σημειωθούν οι τρόποι με τους οποίους επηρεάζονται οι θερμομονωτικές και οι ιδιότητες αντοχών ενός πάνελ πριν γίνει η επιλογή των σωστών υλικών πλήρωσης. Συγκεκριμένα, οι ιδιότητες ενός υλικού επηρεάζονται από την θερμοκρασία και την υγρασία. Δηλαδή, αν ένα πάνελ δόμησης επιτρέπει την διείσδυση υγρού αέρα στον εσωτερικό χώρο, γίνεται συμπύκνωση υδρατμών μέσα στο πάνελ. Αυτό μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στο πάνελ δόμησης και να δημιουργηθεί βλάβη που μπορεί να έχει τις παρακάτω συνέπειες :

- Μπορεί να μειώνει τις θερμικές και μηχανικές ιδιότητες του πάνελ δόμησης
- Μπορεί να μην κρατάει την θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο σταθερή
- Μπορεί να μην διατηρεί την ηχομόνωση σε καλή ποιότητα και η μετάδοση του ήχου να είναι ανεπιθύμητη.
- Να δημιουργούνται κενά στο πάνελ δόμησης και να υπάρχουν περιοχές με αέρα που δημιουργούν ανεπιθύμητη μετάδοση της θερμότητας και μείωση των αντοχών μέσα στο πάνελ, το οποίο πρέπει να είναι μία μάζα και να μην έχει κενά που θα κινείται ο αέρας.

### 1.6.2 Τεχνητά χαρακτηριστικά άχυρου- Πλεονεκτήματα κατά την πλήρωση σε πάνελ φυσικής δόμησης καλαμιών

Μία από τις τεχνικές πλήρωσης που είναι διαδεδομένη, ώστε να μην δημιουργούνται τέτοια προβλήματα όπως αυτά που αναλύθηκαν παραπάνω είναι η πλήρωση των πάνελ δόμησης καλαμιών με άχυρο.

Αυτό το υλικό μπορεί να παίξει τον ρόλο σταθεροποιητή σε διάφορα πάνελ φυσικής δόμησης από καλάμια και να προσδώσει επιπλέον ιδιότητες στα υλικά. Υπάρχουν πολλά θετικά σε σχέση με άλλα υλικά σταθεροποίησης που χρησιμοποιούνται ευρέως κατά την κατασκευή των πάνελ δόμησης. Συγκεκριμένα φαίνεται ότι με το άχυρο ως μέσο πλήρωσης επιτυγχάνεται :

- Φυσική σταθεροποίηση. Με αυτή τη μέθοδο σταθεροποίησης και λόγω της φύσης του υλικού δεν υπάρχουν χημικές αντιδράσεις μεταξύ των υλικών του άχυρου και των καλαμιών, όπως θα γινόταν για παράδειγμα αν χρησιμοποιούνται συνδετικά υλικά όπως το τσιμέντο και ο ασβέστης.
- Δημιουργία ενός ανισότροπου δικτύου περιορίζοντας κατά πολύ τη κίνηση και τις διόδους που δημιουργούνταν για τα μόρια αέρα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η



συμπύκνωση του πάνελ φυσικής δόμησης. Συγκεκριμένα αυτό γίνεται με δύο τρόπους, οι οποίοι είναι η μηχανική συμπύκνωση, δηλαδή η αφαίρεση όσο το δυνατόν περισσότερου αέρα από τη μάζα με ζύμωμα και συμπίεση. Αυτός ο τρόπος απαιτεί διεργασία συμπίεσης σε μηχάνημα ώστε να δημιουργηθούν πλάκες ανάμιξης άχυρου με τα καλάμια.

Παρ' όλα αυτά το θετικό είναι ότι η συμπίεση γίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία λόγω της ευκολίας πρόσμιξης του άχυρου με τα καλάμια. Αυτό συμβαίνει καθώς και τα δύο υλικά έχουν μαλακή υφή και μπορούν να προσμιχθούν εύκολα. Με αυτόν τον τρόπο δεν χάνει οι μηχανικές ιδιότητες που προσδίδει το πάνελ δόμησης από καλάμια.

Ο δεύτερος τρόπος απαιτεί γέμισμα των κενών που δημιουργούνται από την διαδικασία ανάμιξης με άλλα αδρανή υλικά. Σε αυτή τη περίπτωση η διαβάθμιση των κόκκων μεταξύ τους πρέπει να είναι ιδανική για να γίνει το γέμισμα. Υλικά αφρώδη μπορούν να χρησιμοποιούνται για τέτοιες διαδικασίες, όπως το αφρομπετόν.

### Υλικά πλήρωσης με άχυρο και κόλλα μέσα στο κύριο υλικό πλήρωσης

Μία ακόμα πιθανή διαδικασία είναι η χρήση του πηλού ως κόλλα στο πάνελ δόμησης άχυρου. Ο πηλός είναι μίγμα αργίλου, με αμμώδη συστατικά μικρής και μεσαίας κοκκομετρικής διαβάθμισης. Επιπλέον, εξαιτίας της αναγκαιότητας εύρεσης οικολογικών και συνάμα οικονομικών λύσεων, ο πηλός επανεμφανίζεται σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες έχοντας βελτιωμένη μορφή, καθώς οι ιδιότητές του, από περιβαλλοντική άποψη, τον κατατάσσουν μεταξύ των οικοδομικών υλικών του μέλλοντος αλλά και γιατί μέσω των σύγχρονων αναπτυγμένων τεχνολογιών μπορεί να ανταποκριθεί ικανοποιητικά στις υψηλές απαιτήσεις του σημερινού τρόπου ζωής. [14]

Μίγμα πηλού με άχυρο το οποίο χρησιμοποιείται ως γέμισμα σε ξύλινο σκελετό κατασκευής εμφανίστηκε από το 12 αι. στη Γερμανία και σε άλλα μέρη της Ευρώπης. Το άχυρο με πηλό χρησιμοποιείται για τοιχοποιίες που δεν φέρουν φορτία. Κατασκευάζεται από άχυρα, κατά προτίμηση με μακριά ίνα τα οποία αναμιγνύονται με διάλυμα πηλού ο οποίος παίζει και τον συνεκτικό ρόλο. Το άχυρο εμποτίζεται με πηλό ο οποίος είναι διαλυμένος σε νερό και στη συνέχεια συμπίεζεται σε καλούπια με μέγιστο ύψος 0,50m. Μόλις το υλικό στεγνώσει

συνεχίζεται το χτίσιμο από πάνω. Πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η ταχύτητα κατασκευής και η εξαιρετική θερμομόνωση. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγεται το υψηλότερο κόστος κατασκευής λόγω της ανάγκης χρήσης σκελετού στο κτίριο.

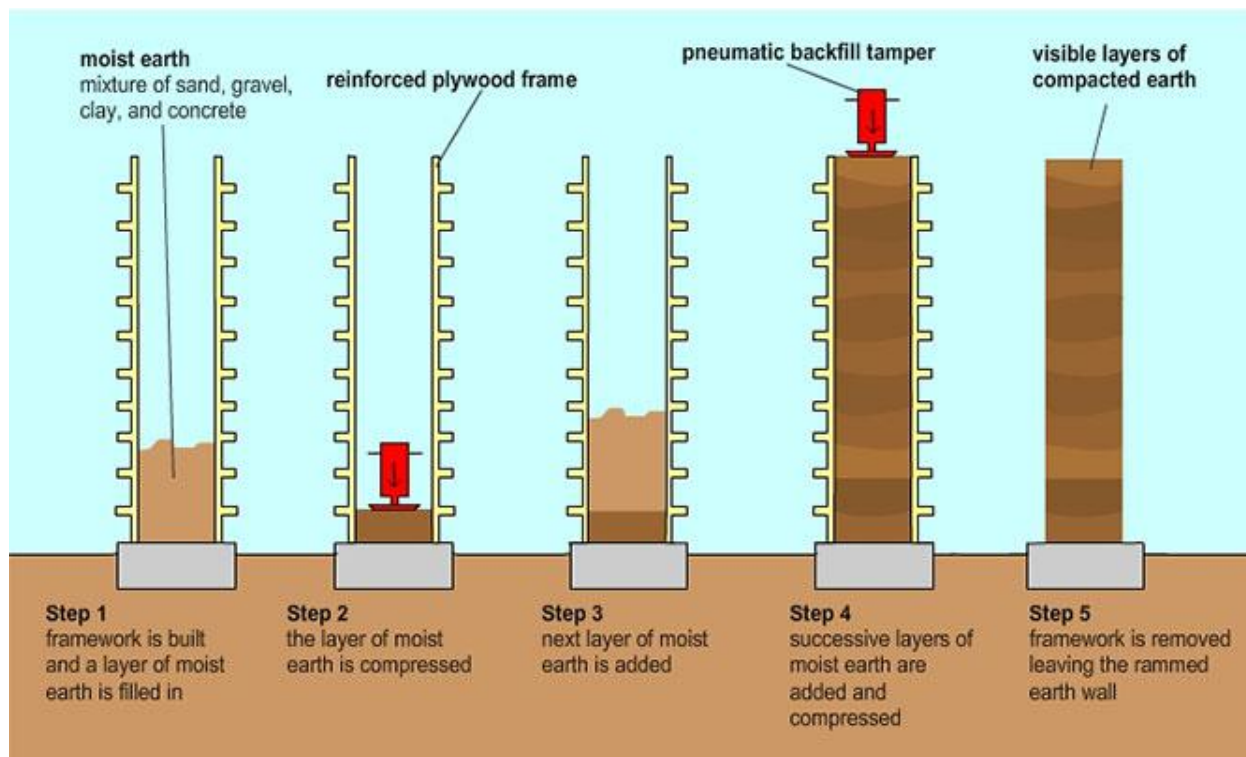
Παρακάτω φαίνεται η προετοιμασία μίγματος άχυρου – πηλού με νερό και εφαρμογή του στο ξύλινο σκελετό της κατασκευής.



**Εικόνα 13** Προετοιμασία μίγματος άχυρου – πηλού με νερό και εφαρμογή στο ξύλινο σκελετό της κατασκευής [20]

#### Άλλοι τύποι πλήρωσης

Άλλοι τύποι πλήρωσης μπορεί να είναι το εγκιβωτισμένο αργιλοσκυρόδεμα (rammed earth), που χρησιμοποιούνται κυρίως στις ξηρές και στις υγρές περιοχές της βόρειας Ευρώπης (Εικόνα 14).



**Εικόνα 14** Διαδικασία δημιουργίας rammed earth πάνελ

Η τεχνική rammed earth μειονεκτεί σε σχέση με τις άλλες φυσικές μεθόδους δόμησης στο ότι απαιτεί επεξεργασία με μηχανικό εξοπλισμό ο οποίος ανεβάζει το κόστος. Από την άλλη μεριά βέβαια αυτό γίνεται προς όφελος της ταχύτητας. Οι τοίχοι κατασκευάζονται με πάχος τουλάχιστον 35 εκατοστά για να είναι σταθεροί και να έχουν ικανοποιητική θερμική μάζα. Ένα από τα σημαντικά οφέλη του rammed earth είναι η υψηλή θερμική μάζα. Μπορεί να απορροφήσει τη θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την απελευθερώσει τη νύχτα. Κατ' αυτόν τον τρόπο συγκρατεί τις ημερήσιες θερμοκρασιακές μεταβολές και μειώνει τις ανάγκες για κλιματισμό και θέρμανση. Σε ψυχρά κλίματα απαιτείται η επένδυση των τοίχων με μονωτικά υλικά (όπως το Styrofoam). Επίσης θα πρέπει να προστατευτούν από δυνατή βροχή και να μονωθούν με ατμούς αδιάβροχων επικαλυπτικών υλικών. Το ποσοστό της υγρασίας διατηρείται σε επίπεδα μεταξύ 40% έως 60%, τιμές ιδανικές για τα άτομα που υποφέρουν από άσθμα ή για ευπρόσβλητα αντικείμενα όπως είναι τα βιβλία. Η θερμική μάζα και το περιεχόμενο σε άργιλο των rammed earth κατασκευών επιτρέπουν στο κτίριο να «αναπνέει» σε μεγαλύτερο βαθμό από όσο επιτυγχάνεται με τις κατασκευές από μπετόν, αποφεύγοντας έτσι τα προβλήματα συμπύκνωσης και δίχως σημαντικές θερμικές απώλειες [21]



**Εικόνα 15** Midori Uchi by Naikoon Contracting and Kerschbaumer Design. Photography by Ema Peter.



**Εικόνα 16**

### 1.6.3 Φυσικά χαρακτηριστικά άχυρου – Πλεονεκτήματα κατά την πλήρωση των πάνελ φυσικής δόμησης

Άλλα φυσικά χαρακτηριστικά του άχυρου που δίνουν πλεονέκτημα ως μέσο πλήρωσης σε πάνελ φυσικής δόμησης είναι σύμφωνα με τον Mohamed Salah Gharib Elsayed, ο οποίος δημοσίευσε έρευνα για το άχυρο ως υλικό ανάμιξης σε πάνελ δόμησης, τα εξής :

- 1) Το άχυρο έχει πολύ καλές θερμομονωτικές ικανότητες σε σχέση με τους συμβατικούς τοίχους από τσιμέντο λόγω της υψηλής πυκνότητας τους ύστερα από συμπίεση. Αυτό το χαρακτηριστικό προέρχεται από την ινώδη δομή του που το καθιστά υλικό όπως το λινάρι που περιγράφηκε προηγουμένως. Συνεπώς έχει πολυκρυσταλλική δομή και αποτελείται από μακριές αλυσίδες ινών που δημιουργούν συμπιεσμένες μορφές μορίων.

Αυτός είναι και ο λόγος που το κάνει ανθεκτικό και κατάλληλο για την αύξηση της μηχανικής συμπεριφοράς των πάνελ δόμησης. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1 η αντίσταση στη μετάδοση θερμότητας R ενός τοίχου με άχυρο είναι σχεδόν διπλάσια σε σχέση με τα συμβατικά πάνελ δόμησης.

**Πίνακας 2:** Παρουσίαση της αντίστασης στη μετάδοση θερμότητας R ενός τοίχου που περιέχει συμβατικά υλικά σε πάνελ δόμησης (π.χ τσιμέντο) και σε πάνελ δόμησης με υλικό πλήρωσης άχυρο.

CONSTRUCTION	R-VALUE	COMENTS
Συμβατικά πάνελ δόμησης	2.0 to 3.5	Εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες, τη ρύθμιση του χτισίματος, τα υλικά χτισίματος και τον τύπο μόνωσης.
Πάνελ δόμησης με υλικό πλήρωσης άχυρο	5.5 to 8.5	Εξαρτάται από τη δύναμη των ανέμων, την ποιότητα και την πυκνότητα των πάνελ δόμησης με άχυρο και το πώς είναι στοιβαγμένα.

- 2) Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που δίνει πλεονέκτημα στο άχυρο για να χρησιμοποιηθεί ως μέσο πλήρωσης στα πάνελ δόμησης των καλαμιών είναι ότι αποτελεί μία υγιή και οικολογική επιλογή. Συγκεκριμένα δεν περιέχει χημικά χαρακτηριστικά, τοξίνες ή βαφές, με αποτέλεσμα να μην παράγουν εκπομπές που μπορεί να επηρεάσουν την υγεία των ατόμων που εργάζονται ή κατοικούν μέσα στις δομές με πάνελ δόμησης. Ένα ακόμα πλεονέκτημα αυτού είναι ότι υπάρχει δυνατότητα για άφθονο πάχος τοιχώματος, το οποίο συνεπάγεται μία ισχυρή ηχομόνωση με πολύ απλά υλικά και με χαμηλό κόστος.
- 3) Μία ακόμα φυσική δυνατότητα του άχυρου είναι η ικανότητα του να συμπιέζεται σε μεγάλο ποσοστό, όσο και να έχει συμπιεστεί υπό την επεξεργασία του. Αυτό του δίνει την δυνατότητα να αντέχει μεγάλα φορτία και συνεπώς να έχει καλή στατική συμπεριφορά κατά την κατασκευή των πάνελ δόμησης. Αυτό είναι και ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά, για το οποίο χρησιμοποιείται ως μέσο πλήρωσης στα πάνελ φυσικής δόμησης με καλάμια. Ενδεικτικά φαίνεται ότι ένα πάνελ δόμησης που εμπεριέχει άχυρο μπορεί να αντέξει έως και  $48.826 \text{ kg/m}^2$  δύναμη πίεσης.
- 4) Η πλήρωση των πάνελ δόμησης με άχυρο με σωστή και συμπαγή συμπίεση προσφέρει μία καλύτερη προστασία από τα παράσιτα που θα μπορούσαν να παρεισφρήσουν από τα

πάνελ φυσικής δόμησης, καθώς και από τα πάνελ ξύλινης κατασκευής. Αυτό συμβαίνει γιατί το καθαρό και ξηρό άχυρο έχει πολύ λίγη θρεπτική ουσία σαν υλικό και συνεπώς είναι ανίκανο να στηρίξει έναν πληθυσμό παρασίτων για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα στο πάνελ που υπάρχει. Επίσης λόγω της επιπλέον κάλυψης των κενών σχεδόν μηδενίζεται αυτή η πιθανότητα να περάσουν τερμίτες μέσα από το πάνελ φυσικής δόμησης.

5) Τέλος το άχυρο διαθέτει μεγαλύτερη αντοχή σε φωτιά και παρέχει πυρίμαχη προστασία στα πάνελ φυσικής δόμησης καθώς η φωτιά δεν μπορεί να βρει μέρη που να εμπεριέχουν οξυγόνο για να πραγματοποιηθεί η ανάφλεξη. Αυτό ισχύει, λόγω της καλής συμπίεσής του άχυρου, άρα και λόγω της απουσίας οξυγόνου που είναι αποτέλεσμα της καλής συμπίεσης. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2 φαίνεται η αντίσταση σε φωτιά σε μονάδες χρόνου για τρία διαφορετικά πάνελ δόμησης. Συγκεκριμένα φαίνεται η σύγκριση τριών τύπων πάνελ δόμησης που είναι οι εξής :

- Πάνελ δόμησης με άχυρο χωρίς συμπίεση
- Πάνελ δόμησης με συμπιεσμένο άχυρο
- Πάνελ δόμησης από πλαίσιο ξύλου και επένδυση.

**Πίνακας 3:** Παρουσίαση αντίστασης σε πυρκαγιά για τρία διαφορετικά πάνελ δόμησης που συναντώνται συχνά σε κατοικίες και σε βιομηχανικά κτίρια (όπως στην γεωργία)

MATERIAL	FIRE RESISTANCE
Πάνελ με άχυρο χωρίς συμπίεση	30 minutes
Πάνελ με συμπιεσμένο άχυρο	2 hours
Πάνελ από πλαίσιο ξύλου κι επένδυση	8 minutes

#### 1.6.4 Το αφρομετόν ως μέσο πλήρωσης σε πάνελ φυσικής δόμησης με καλάμια

Το αφρομετόν ορίζεται ως ελαφρύ κυψελοειδές τσιμέντο, που μπορεί να χαρακτηριστεί ως ελαφρύ σκυρόδεμα (πυκνότητα 400–1850 kg/m<sup>3</sup> ) με τυχαία κενά αέρος που δημιουργούνται

από την ανάμιξη παραγόντων αφρισμού στο κονίαμα ή την προσθήκη προκατασκευασμένου αφρού σε αυτό.

Είναι γνωστό για την υψηλή του ρευστότητα, τη χαμηλή περιεκτικότητά του σε τσιμέντο, την περιορισμένη χρήση αδρανών υλικών και τις άριστες θερμομονωτικές και ηχομονωτικές του ιδιότητες λόγω των κενών στη δομή του. Αυτά τα χαρακτηριστικά το καθιστούν κατάλληλο ως μέσο πλήρωσης σε πάνελ δόμησης.

Επίσης, θεωρείται οικονομική λύση για την κατασκευή μεγάλης κλίμακας ελαφρών κατασκευαστικών υλικών κι εξαρτημάτων όπως δομικά μέλη, χωρίσματα, βαθμίδες πλήρωσης και οδοστρώματα λόγω της εύκολης διαδικασίας παραγωγής κοντά στα σημεία εφαρμογής, στα οποία καταλήγει μέσω σωληνώσεων και άντλησης. Στην πράξη, το αφρομετόν έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε δομικές εφαρμογές σε διάφορες χώρες, όπως Γερμανία, ΗΒ, Φιλιππίνες, Τουρκία, Ταϊλάνδη, κλπ.

. Όπως αναφέραμε , το αφρομετόν είναι ένα εξαιρετικά αφρώδες σκυρόδεμα που περιέχει ελαφριά υλικά. Τα πιο βασικά είναι:

- Τσιμέντο
- Αδρανή (άμμος, ιπτάμενη τέφρα, περλίτης, κ.α.)
- Το νερό
- Ο αφρός

Κάποια επιπλέον υλικά που προστίθενται στο μίγμα ,πριν την εισαγωγή του αφρού, για να προσδώσουν στο αφρομετόν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά είναι:

- Πλαστικοποιητές
- Ίνες πολυπροπυλενίου (ή και άλλων ειδών ίνες)

Οι ιδιότητες αυτού του υλικού εξαρτώνται από τη μικροδομή και τη σύνθεση του, οι οποίες επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι :

- Η μικροδομή και η σύνθεση του σκυροδέματος
- Οι μέθοδοι που διεξάχθηκαν για να γίνει το αφρώδες υλικό
- και οι μέθοδοι που διεξάχθηκαν για την σκλήρυνση του τελικού προϊόντος.

Η κυψελοειδής μορφή του φαίνεται χαρακτηριστικά στις Εικόνες 17 και 18



**Εικόνα 17** Απεικόνιση Αφρομετόν με την ενδεικτική κυψελοειδή μορφή του.



**Εικόνα 18** Ελαφρύ σκυρόδεμα

### 1.6.5 Φυσικές και τεχνητές ιδιότητες του Αφρομετόν

Το χαρακτηριστικό του αφρομετόν που επηρεάζει περισσότερο τις ιδιότητές του είναι η πυκνότητα.

Συνήθως η πυκνότητα του Αφρομετόν κυμαίνεται μεταξύ 400-1850 kg/m<sup>3</sup>, ανάλογα με την περίπτωση που αναλύουμε. Η επιλογή της ιδανικής πυκνότητας για την κάθε περίπτωση χρήσης προκύπτει από τις ιδιαίτερες ανάγκες για θερμομόνωση κι αντοχή. Κάποιες εξισώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της επιθυμητής πυκνότητας είναι:

$$P_m = x + x(w/c) + x(s/c) + x(a/c)(w/a) + x(s/c)(w/s) + RD_f V_f \quad \text{και}$$

$$1000 = (x/RD_c) + x(w/c) + x\left(\frac{a/c}{RD_a}\right) + x\left(\frac{s/c}{RD_s}\right) + x(a/c)(w/a) + x(s/c)(w/s) + V_f$$

(όπου  $P_m$ : επιθυμητή πυκνότητα χύτευσης (kg/m<sup>3</sup>),  $x$ : περιεκτικότητα σε τσιμέντο (kg/m<sup>3</sup>),  $(w/c)$ : αναλογία νερού - τσιμέντου,  $(s/c)$ : αναλογία άμμου-τσιμέντου,  $(a/c)$ : αναλογία τέφρας - τσιμέντου,  $(w/a)$ : αναλογία νερού - τέφρας,  $(w/s)$ : αναλογία νερού - άμμου,  $V_f$ : όγκος αφρού,  $RD_f$ : σχετική πυκνότητα αφρού,  $RD_a$ : σχετική πυκνότητα τέφρας,  $RD_c$ : σχετική πυκνότητα τσιμέντου,  $RD_s$ : σχετική πυκνότητα άμμου)



Η σύνθεση του μίγματος είναι σωστή όταν η πραγματική πυκνότητα και η επιθυμητή δε διαφέρουν περισσότερο από 2-7%. Πρέπει, ακόμα, η διαφορά |ξηρή πυκνότητα - πυκνότητα χύτευσης| να είναι από 100 μέχρι 120 kg/m<sup>3</sup>.

Επίσης, η συνοχή και η ρεολογική τιμή του αφρομετόν εξαρτώνται από τη δυνατότητα εξάπλωσης - επάλειψής του (spreadability), η οποία πρέπει να έχει τιμή μεταξύ 40% και 60% σε 20sec. Η λειτουργικότητα είναι αποδεκτή όταν για το βασικό μίγμα τσιμέντου - άμμου ισχύει  $85\text{mm} \leq \text{spreadability} \leq 125\text{mm}$ , ή  $115 \leq \text{spreadability} \leq 140\text{mm}$  όταν προστεθεί ιπτάμενη τέφρα.

Η δομή του αφρομετόν, που αποτελείται από φυσαλίδες, είναι διακριτή, καθώς είναι μεγάλης τάξης μεγέθους που ανέρχεται μεταξύ των 0,1 και 1 mm. Το αφρώδες σκυρόδεμα ή αφρομετόν είναι μία ελεύθερης ροής υλικό που μπορεί να τοποθετηθεί χωρίς κάποια εξειδικευμένη επεξεργασία συμπύκνωσης. Το μόνο που απαιτείται για την εισαγωγή του είναι ένα εργαλείο που θα το εισάγει στο πάνελ δόμησης με μία σταθερή πίεση, μέχρις ότου το πάνελ γεμίσει.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η δημιουργία αυτής της αφρώδους δομής του υλικού μπορεί να δημιουργηθεί με φυσικό παράγοντα αφρισμού με βάση τα απόβλητα που χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιομηχανία και χρησιμοποιούνται για αυτόν τον σκοπό. Η βασική απαίτηση για το υλικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του αφρού είναι ότι πρέπει να καθιστά τον αφρό ικανό να παραμένει σταθερός και να μην καταρρέει κατά την διαδικασία της συμπίεσης μέσα σε ένα πάνελ δόμησης.

Γενικά, υπάρχουν δύο μέθοδοι προσθήκης αφρού στο μίγμα με την πρώτη να είναι η πιο αποτελεσματική.

- Η μία μέθοδος είναι με προσθήκη προπαρασκευασμένου αφρού στο μίγμα (pre-foaming method). Για τη δημιουργία του αφρού υπάρχουν επίσης δύο μέθοδοι, η ξηρή και η υγρή. Γενικά προτιμάται η ξηρή μέθοδος καθώς ο αφρός που παράγεται είναι πιο σταθερός και οι φούσκες που δημιουργούνται είναι μικρότερες από 1mm, πράγμα που επηρεάζει θετικά την αντοχή του αφρομετόν όταν προστεθεί σε αυτό. Αντίθετα, με την υγρή μέθοδο οι φούσκες έχουν διάμετρο μεταξύ 2mm και 5mm και ο αφρός που προκύπτει είναι λιγότερο σταθερός, άρα είναι πιθανότερο να καταρρεύσει κατά την εισαγωγή του και την παραμονή του στο μίγμα τσιμέντου.
- Η δεύτερη μέθοδος είναι η εισαγωγή δραστικών παραγόντων αφρισμού μέσα στο μητρικό μίγμα κατά τη διαδικασία ανάμιξης.

Οι παράγοντες που παίζουν ρόλο στον αφρισμό μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κύριες ομάδες, οι οποίες είναι οι φυσικοί παράγοντες αφρισμού και οι συνθετικοί παράγοντες αφρισμού.

Σύμφωνα με τους φυσικούς παράγοντες αφρισμού γίνεται ο φυσική διεργασία παραγωγής του αφρού με διάφορα υποπροϊόντα από την βιομηχανία και από εκχυλίσματα όπως το θειώδες άλας, ή η υπο-σαπουνάδα, τα οποία είναι αποτελεσματικά υλικά που προσφέρουν τις ιδιότητες για να χρησιμοποιηθεί ο αφρός ως μέσο πλήρωσης, ύστερα από πρόσμιξη με μπετόν.

Οι συνθετικοί παράγοντες παράγονται σύμφωνα με τις τεχνικές απαιτήσεις, ώστε να υπάρχουν μόνιμες ιδιότητες και η διάρκεια ζωής του αφρομπετόν που θα αναμιχθεί στο πάνελ δόμησης να αυξηθεί αισθητά. Επίσης, κάποιες συνθετικές αλλαγές συμβαίνουν για να εξασφαλιστεί η αύξηση της σκλήρυνσης, ώστε να μην υπάρχει περίπτωση κατάρρευσης κατά την πρόσμιξη με το πάνελ δόμησης, λόγω των υψηλών πιέσεων εισαγωγής.

Η πυκνότητα του αφρού είναι συνήθως περίπου  $110 \text{ kg/m}^3$  και οι ερευνητές αναφέρουν ότι αυτά τα υλικά πρέπει να κατασκευάζονται με προσοχή, ώστε να μην υπάρχει φόβος κατάρρευσης του τελικού προϊόντος.

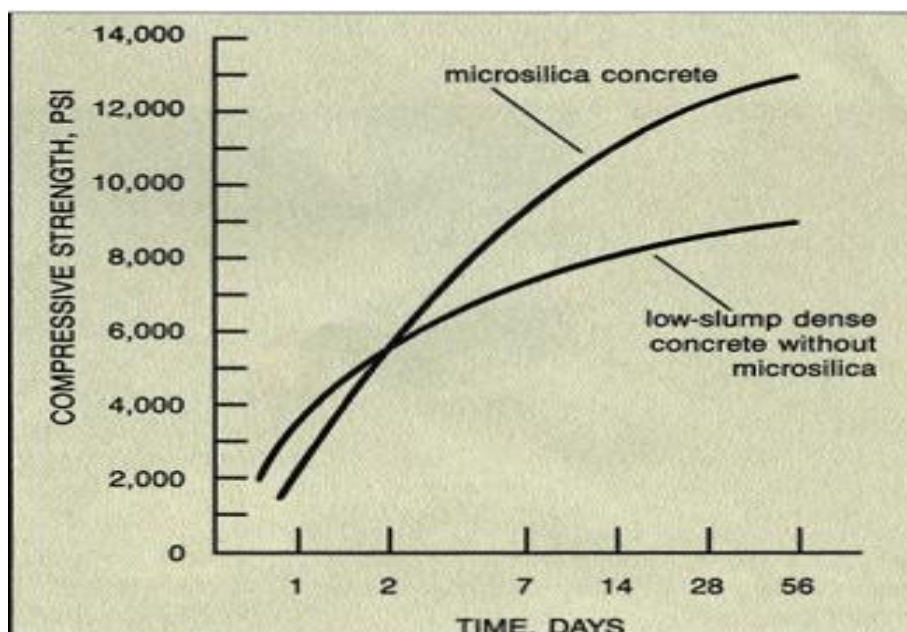
Ένα ακόμα στοιχείο που παίζει σημαντικό ρόλο στις ιδιότητες του αφρομπετόν είναι και η αναλογία ανάμιξης των διάφορων συστατικών από τα οποία είναι φτιαγμένο πριν αναμιχθεί με το αφρώδες διάλυμα. Συγκεκριμένα, αυτό το μίγμα, που έχει υγρή μορφή, μπορεί να έχει διάφορες δομές σύστασης, όπως είναι η παρακάτω :

- 1) Τσιμέντο, τέφρα και άμμος
- 2) Τσιμέντο, τέφρα , συστατικά από σκόνη του  $\text{SiO}_2$  (περλίτης) , υπολείμματα πυριτίου (άμμος)
- 3) Τσιμέντο, άργιλος και άμμος
- 4) Τσιμέντο, υπολείμματα τέφρας και άμμος

Συνεπώς με βάση τον τύπο του μπετόν που χρησιμοποιείται πριν από την τελική ανάμιξη και την αναλογία που υπάρχει ανάμεσα στους τέσσερις συνδυασμούς μπορεί να προκύψει και διαφορετική μορφή αφρομπετόν. Όμως μικροπροσμίξεις σε αυτό το μητρικό μίγμα μπορούν να βελτιώσουν πολλές σημαντικές ιδιότητες.

Όπως φαίνεται παρακάτω τα υπολείμματα πυριτίου αυξάνουν την αντοχή θλίψης του αφρομετόν, όπως κάνει και η σκόνη του SiO<sub>2</sub>. Η μικροσκοπική μεμβράνη και η δομή των μορίων αυτών των υλικών, που είναι 50-100 φορές λεπτότερη από αυτή του απλού τσιμέντου, προσφέρουν ισχυρό πλεονέκτημα αντοχής. Συχνά, έπειτα από την εισαγωγή του στο μπετόν, το πυρίτιο ονομάζεται συμπυκνωμένος αέρας σωματιδίων του πυριτίου.

Για να επιτευχθεί αυτή η διαδικασία εισαγωγής του συστατικού στο μπετόν γίνεται θέρμανση του μπετόν στους 2000 βαθμούς Κελσίου και κατά την ψύξη γίνεται η συμπύκνωση των σωματιδίων μέσα σε αυτό. Παρακάτω στην Εικόνα 19 φαίνεται ένα ποιοτικό διάγραμμα που δείχνει τις βελτιωμένες ιδιότητες στη μηχανική αντοχή του μπετόν με την προσθήκη υπολειμμάτων του πυριτίου.



**Εικόνα 19** Διαγραμματική απεικόνιση της μηχανικής αντοχής που έχει το μπετόν χωρίς υπολείμματα πυριτίου και το μπετόν με υπολείμματα πυριτίου ως συνάρτηση του χρόνου.

Βέβαια, όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν κι άλλα υλικά που όταν προστίθενται στο μίγμα βελτιώνουν την απόδοσή του. Τέτοια είναι οι ίνες υάλου, πολυπροπυλενίου, κ.α. οι οποίες αυξάνουν την αντοχή του αφρομετόν καθώς εμποδίζουν τη διάδοση των μικρορωγμών και αυξάνουν την ταχύτητα απορρόφησης ενέργειας και τη σκληρότητά του. Οι ίνες υάλου, επιπλέον, αυξάνουν την πυραντοχή και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού. Έχει παρατηρηθεί

ότι το κατάλληλο κλάσμα όγκου των ινών πρέπει να είναι μέχρι 3%. Τη βελτίωση της αντοχής του υλικού φαίνεται να βοηθάει και η προσθήκη τέφρας και ορυκτών προσμίξεων στο μίγμα, καθώς μειώνουν την αραιότητά του (porosity).

Μία ακόμη ιδιότητα του αφρομετόν που το καθιστά πιο χρήσιμο από το κανονικό σκυρόδεμα είναι ότι το πρώτο απορροφά τον ήχο 10 φορές περισσότερο από το δεύτερο, το οποίο ως επί το πλείστον τον ανακλά. Την ιδιότητα αυτή τη χρωστάει στην κυψελοειδή μικροδομή του, στην οποία οφείλεται και η υψηλή θερμομονωτική του ικανότητα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμομόνωση, όπως και η πυραντοχή, είναι αντιστρόφως ανάλογη της πυκνότητας. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη η πυκνότητα του υλικού, τόσο μεγαλύτερη θερμομονωτική ικανότητα και πυραντοχή έχει. Έχει παρατηρηθεί ότι η θερμική αγωγιμότητα του κανονικού σκυροδέματος είναι σχεδόν 60% μεγαλύτερη από αυτήν του αφρομετόν.

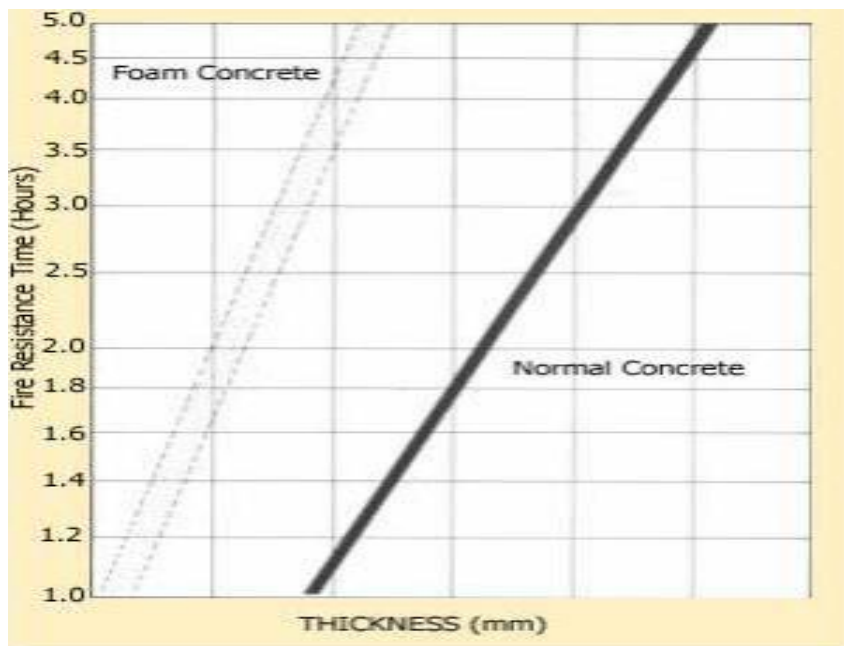
### 1.6.6 Τα πλεονεκτήματα του Αφρομετόν κατά την εισαγωγή στα πάνελ δόμησης καλαμιών

Τα πλεονεκτήματα που παρέχει το αφρομετόν σε σχέση με άλλα πάνελ φυσικής δόμησης με καλάμια χωρίς την χρήση αφρομετόν είναι πολύ σημαντικά, καθώς προσδίδουν επιπλέον ιδιότητες και βελτίωση πολλών τιμών σημαντικών παραμέτρων όπως οι αντοχή στις μηχανικές τάσεις, στις θερμικές απώλειες κ.α. Πιο συγκεκριμένα το αφρομετόν ενισχύει την ασφάλεια των πάνελ δόμησης στα εξής ζητήματα :

- Αυξάνει την αντίσταση στην φωτιά. Αυτό συμβαίνει καθώς η εισαγωγή αυτού του υλικού στα πάνελ φυσικής δόμησης αυξάνει τη ξηρή πυκνότητα με το μετόν και το αφρώδες υλικό, δίνοντας μικρότερη θερμική αγωγιμότητα και ευφλεκτότητα στο πάνελ δόμησης.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 20 το αφρώδες μετόν μπορεί να αυξήσει την αντίσταση στην πυρκαγιά για ένα συγκεκριμένο πάχος ενός πάνελ φυσικής δόμησης. Συγκεκριμένα φαίνεται ότι για να επιτευχθεί ίδια αντίσταση σε πυρκαγιά από ένα πάνελ δόμησης με υλικό πλήρωσης κανονικό μετόν και όχι αφρομετόν χρειάζεται ένα πολύ μεγαλύτερο πάχος που μπορεί να μην είναι οικονομικά επιθυμητό να φτιαχτεί από τους κατασκευαστές. Ένας ακόμη λόγος που το αφρομετόν έχει μεγαλύτερη πυραντοχή είναι ότι κρατάει τη φλόγα στην επιφάνειά του, άρα δε "σκάει" ή "εκρήγνυται" όπως το

μπετόν. Το αφρομπετόν που περιέχει υδραυλικό τσιμέντο αναλογίας  $Al_2O_3/CaO > 2$  αντέχει έως και 1540 °C.



**Εικόνα 20** Σύγκριση του αφρομπετόν με το μπετόν ως μέσο πλήρωσης για την ικανότητα αντίστασης σε πυρκαγιά

- Αυξάνει την θερμομόνωση στο πάνελ δόμησης, καθώς κύριο χαρακτηριστικό του αφρομπετόν είναι η χαμηλή θερμική του αγωγιμότητα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, όσο μικρότερη η πυκνότητά του, τόσο μικρότερη και η θερμική αγωγιμότητα, άρα τόσο μεγαλύτερη η θερμομονωτική του ικανότητα. Αυτό οφείλεται στον μεγάλο αριθμό των κλειστών κοιλοτήτων του που σχηματίζουν την πολυκυτταρική δομή του υλικού και καταλήγουν σε ένα στρώμα μίγματος αφρού με πυκνότητα κοντά στα  $400 \text{ kg/m}^3$  σε πρόσμιξη με το επεξεργασμένο υλικό από τα καλάμια.
- Χαμηλός συντελεστής διαπερατότητας (χαμηλή απορρόφηση νερού και ύπαρξης υγρασίας). Αυτή η ιδιότητα είναι αποτέλεσμα της υδραυλική αγωγιμότητας των πορωδών υλικών που μειώνεται γενικά με την αύξηση της ποσότητας αέρα στους πόρου του υλικού. Λόγω των κενών αέρα που δημιουργούνται στην μήτρα από διασυνδεόμενες μικροφουσαλίδες στο αφρομπετόν επιτυγχάνεται η χαμηλή διαπερατότητα.

- Αντοχή σε θερμοκρασίες υπό του μηδενός. Η ισχυρή πολυκρυσταλλική δομή και η ισχυρή αντοχή στην μετάδοση της θερμοκρασίας, καθιστά το αφρομετόν ανθεκτικό σε τέτοιου είδους αντιξοότητες.
- Δυνατότητα απορρόφησης μεγάλου ποσού μηχανικής ενέργειας. Αυτό το πλεονέκτημα οφείλεται στην κυτταρική δομή του αφρώδους σκυροδέματος, καθώς το υλικό συμπιέζεται κατά τη διάρκεια ενός χτυπήματος, δηλαδή η αντίσταση του αφρού, λόγω των κενών αέρος, αυξάνει την απορρόφηση της ενέργειας της μηχανικής καταπόνησης. Αυτό βοηθάει να εγκατασταθούν πάνελ δόμησης με καλάμια, αφού έχουν αναμιχθεί με αφρομετόν, σε μέρη που είναι ευάλωτα σε σεισμικά χτυπήματα (αντισεισμικότητα).
- Μείωση ευαισθησίας σε καταστροφή του τοιχώματος λόγω παρασίτων. Αυτό το ζήτημα ξεπερνιέται με την χρήση αφρομετόν, διότι διαθέτει ανθεκτικές μικρο-φουσαλίδες που δεν επηρεάζονται από αντιδράσεις με υδρογονάνθρακες ή άλλες χημικές ουσίες που ενδέχεται να υπάρχουν κατά την τοποθέτηση του αφρώδους σκυροδέματος.

## 1.7 Παραδείγματα φέροντων οργανισμών

Ο άνθρωπος ασχολείται με τη φέρουσα τοιχοποιία για την κατασκευή κτιρίων από τα αρχαία χρόνια και στη διάρκεια αυτών έχουν δοκιμαστεί πολλοί μέθοδοι και υλικά για την κατασκευή της, ανάλογα πάντα με τις ανάγκες της κάθε περίπτωσης. Κάποια παραδείγματα από τοιχοποιίες που χρησιμοποιήθηκαν μέσα στα χρόνια είναι αυτές από πέτρα, τούβλα και πλίνθους από χώμα κι άχυρο ή από πορώδες τσιμέντο, τα οποία συνδυασμένα με κάποιο μίγμα συνδετικού κονιάματος αποκτούν σταθερότητα και φέρουσα ικανότητα. Βέβαια, ο ευρωπαϊκός κανονισμός δόμησης πλέον δεν επιτρέπει την κατασκευή φερόντων στοιχείων από αυτά τα υλικά χωρίς τη συνύπαρξη ζωνών ενίσχυσης από οπλισμένο σκυρόδεμα. Κάτι τέτοιο αυτόματα σημαίνει ότι στις συμβατικές οικοδομές τα δομικά στοιχεία περιέχουν οπλισμό από χάλυβα.

Σε πολλά μέρη του πλανήτη, όπου οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν και οι οικονομικές συνθήκες το απαιτούν, συναντάμε επίσης, δομικές κατασκευές από καλάμια σε συνδυασμό με λάσπη ανακατεμένη με άχυρο ή τρίχες ζώων.

Μία άλλη διαδεδομένη μέθοδος δόμησης οικοδομών είναι ο ξύλινος σκελετός ο οποίος εξασφαλίζει μεγαλύτερη ταχύτητα δόμησης, μικρότερο βάρος και ικανοποιητική αντοχή. Το

συγκεκριμένο είδος δόμησης φαίνεται να είναι αρκετά δημοφιλές κυρίως στην Αμερική, στην Ιαπωνία και σε άλλα μέρη εδώ και πολλά χρόνια.

Μία μέθοδος δόμησης που έχει κάνει την εμφάνισή της πιο πρόσφατα σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις, είναι οι σύγχρονες ταχυκατασκευές, οι οποίες χρησιμοποιούν διάφορα είδη ξύλου και μονωτικά υλικά για να κατασκευάσουν τους τοίχους και τα φέροντα στοιχεία. Αυτός ο τρόπος δόμησης για να επιτρέπεται με τους σημερινούς ευρωπαϊκούς κανονισμούς, στο κτίριο πρέπει να υπάρχει φέρον οργανισμός από ξύλο.

## 1.8 Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από την ανάλυση που διεξάχθηκε για τους τύπους καλαμιών και τις μεθόδους με τις οποίες μπορούν να κατασκευάζονται τα πάνελ δόμησης με αυτά τα υλικά, παρατηρείται ότι υπάρχει μία ποικιλία από επιλογές κατά την κατασκευή τέτοιων πάνελ δόμησης.

Βάση ερευνητικών μελετών πολλών επιστημόνων υπάρχει δυνατότητα για βελτιστοποίηση των σημαντικών και απαραίτητων ταυτόχρονα ιδιοτήτων που πρέπει να έχουν τα πάνελ δόμησης με καλάμια με διάφορες μεθόδους. Κάποιες από τις μεθόδους αυτές αναφέρονται στα παραπάνω κεφάλαια και είναι οι εξής :

1. Κατάλληλη επιλογή τύπου καλαμιού με βάση την ανάγκη των βέλτιστων ιδιοτήτων που ο κάθε τύπος μπορεί να υποστηρίξει καλύτερα και της τοπικής δυνατότητας παραγωγής, καθώς και του κόστους παραγωγής.
2. Κατάλληλη επεξεργασία καλαμιών με σκοπό την βελτιστοποίηση των απαιτούμενων ιδιοτήτων για τα πάνελ δόμησης.
3. Κατάλληλες μέθοδοι δημιουργίας πάνελ δόμησης με σκοπό την εξάλειψη ατελειών από αυτά και την καλύτερη αντοχή τους στο πέρασμα του χρόνου.
4. Εκμετάλλευση τόσο των φυσικών χαρακτηριστικών αρκετών καλαμιών που χρησιμοποιούνται, όσο και των τεχνητών χαρακτηριστικών ύστερα από την επεξεργασία και τοποθέτηση των υλικών με σωστή στοίχιση, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη πυκνότητα στο πάνελ δόμησης, άρα και η μέγιστη αντοχή.

5. Ενδυνάμωση του πάνελ δόμηση με καλάμια με υλικά πλήρωσης όπως το άχυρο και το αφρομπετόν, που μπορούν να προσδώσουν στο πάνελ δόμησης επιπλέον ιδιότητες σκλήρυνσης και αντοχής και άλλες ιδιότητες που αναφέρονται, λόγω της κάλυψης των κενών και της ανάπτυξης διαφορετικών δομών μέσα στα πάνελ δόμησης.

Συνεπώς όλα αυτά τα συμπεράσματα οδηγούν σε ένα θετικό αποτέλεσμα για την χρήση πάνελ φυσικής δόμησης από καλάμια τύπου Μπαμπού, Thatch, λιναριού ή Arundo Donax που μπορούν να προσμιχθούν με άλλα συστατικά όπως το άχυρο και το αφρομπετόν με σκοπό να σχηματίσουν πιο ανθεκτικά πάνελ δόμησης για χρήση στη βιομηχανία και στις κτιριακές κατασκευές. Βέβαια, εφόσον το αφρομπετόν είναι πιο εύθραυστο από το μπετόν και η ελαστικότητά του είναι περίπου 4 φορές μικρότερη από αυτήν του κανονικού, μπορούμε να αυξήσουμε την αντοχή και την ελαστικότητά του με προσθήκη ινών πολυπροπυλενίου, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση των κονιαμάτων, και ινών υάλου. Στη δική μας περίπτωση μπορεί να γίνει επιπλέον προσθήκη άχυρου, το οποίο έχει καλές ιδιότητες αντοχής και θερμομόνωσης.

Ένα ακόμα θετικό της δόμησης με πάνελ από καλάμια είναι ότι τα πάνελ αυτά αποτελούν ένα πολύ οικονομικό δομικό στοιχείο, καθώς τα καλάμια φυτρώνουν στη φύση και το κόστος παραγωγής τους είναι ελάχιστο. Έτσι λοιπόν, παρά το μικρό κόστος, η ποιότητα και οι πολύ καλές φυσικές τους ιδιότητες τα θέτουν ως ένα πολύ καλό υλικό για κατασκευή των πάνελ δόμησης.

Στον ελληνικό χώρο, όπως προαναφέρθηκε, ευδοκιμούν τα καλάμια Arundo Donax των οποίων οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες έχουν μελετηθεί εκτενώς, πράγμα που μας διευκολύνει να μελετήσουμε με τη σειρά μας τη συμπεριφορά τους ως οπλισμό σε πάνελ δόμησης. Για το λόγο αυτό φαίνεται να αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή συνδυασμένο με υλικό πλήρωσης που αποτελείται από αφρομπετόν και άχυρο, εφόσον κάτι τέτοιο μειώνει το τελικό κόστος παραγωγής λόγω της χαμηλής αξίας του άχυρου ως γεωργικό απόβλητο, που επιπλέον βελτιώνει τις μηχανικές, θερμομονωτικές και πυράντοχες ιδιότητες του τελικού προϊόντος του πάνελ.

Είναι θέμα περαιτέρω μελέτης η πυκνότητα και η διάταξη των καλάμιών σαν στοιχείων οπλισμού των πάνελ.



## 2. Σχεδίαση του Πάνελ Δόμησης

Για τη σχεδίαση του πάνελ δόμησης χρειάστηκε αρχικά να καταλήξουμε σε κάποια χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει, ώστε να πληρεί τις απαιτούμενες προϋποθέσεις για χρήση του στην κατασκευή κτιρίων. Για να γίνει αυτό, λάβαμε υπ' όψη μας το ύψος που έχει συνήθως ένα σπίτι-όροφος, το ύψος των κουφωμάτων που χρησιμοποιούνται σε αυτό, καθώς και τις ηλεκτρικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις που θα πρέπει να μπορούν να γίνουν σε ένα κτίριο κατασκευασμένο από πάνελ δόμησης. Παίρνουμε, λοιπόν, ως δεδομένα τα παρακάτω:

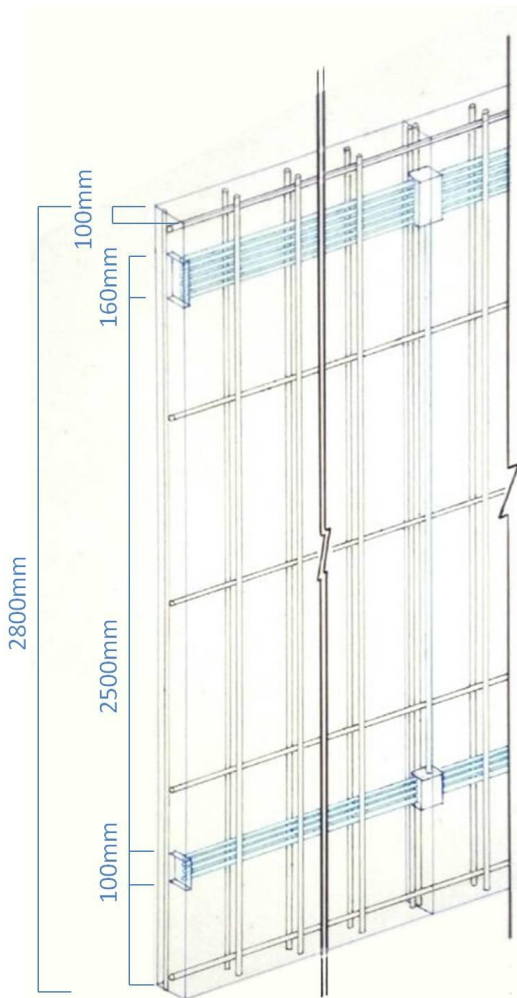
- Το συνηθισμένο ύψος ενός σπιτιού είναι περίπου 3m, από τα οποία περίπου τα 200mm είναι το πάχος της πλάκας. Επομένως, το ύψος του πάνελ θα πρέπει να είναι 2800mm
- Τα εσωτερικά κουφώματα έχουν ύψος 2200mm, ενώ τα εξωτερικά 2300mm
- Όσον αφορά τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις θα πρέπει να γίνει πρόβλεψη για έξι γραμμές
  1. Μία γραμμή για την κεντρική παροχή ρεύματος
  2. Μία γραμμή για τα φώτα
  3. Μία γραμμή για τις πρίζες
  4. Μία γραμμή για τηλεόραση
  5. Μία γραμμή τηλεφώνου
  6. Μία γραμμή για ενισχυμένες πρίζες ή/και για κάθε άλλη πιθανή χρήση
- Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται στις υδραυλικές εγκαταστάσεις έχουν  $\varnothing 15$ . Οι υδραυλικές εγκαταστάσεις απαιτούν την ύπαρξη τεσσάρων γραμμών.
  1. Μία γραμμή για το ζεστό νερό
  2. Μία γραμμή για το κρύο νερό
  3. και δύο γραμμές για εγκατάσταση θέρμανσης

Όπως ισχύει και στις συμβατικές οικίες, θα πρέπει οι γραμμές των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων να βρίσκονται κατά βάση στην πάνω πλευρά του πάνελ, οι οποίες, λόγω του ύψους των κουφωμάτων, θα ξεκινάνε από το ύψος των 2500mm, ενώ οι γραμμές των υδραυλικών εγκαταστάσεων να βρίσκονται κοντά στην κάτω πλευρά του πάνελ. Επίσης, απαιτείται να υπάρχει προσβασιμότητα και στα δύο είδη γραμμών. Αυτό, όπως συνηθίζεται, γίνεται εφικτό με την ύπαρξη κουτιών επισκεψιμότητας. Μάλιστα, θα πρέπει να μπορούν να "επικοινωνούν" τα

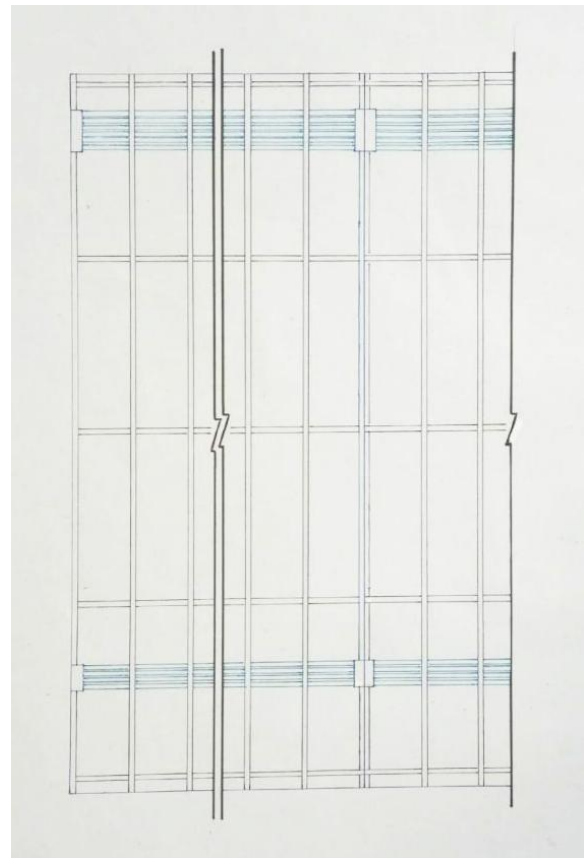
πάνω κουτιά με τα κάτω με προβλεπόμενο κάθετο αγωγό, για την κάθοδο των καλωδίων διακοπών και πριζών, αλλά και για την πιθανή χρήση για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κάποιων από τους προβλεπόμενους αγωγούς των υδραυλικών εγκαταστάσεων, οι οποίοι μένουν αχρησιμοποίητοι λόγω του ότι βρίσκονται μακριά από το λουτρό και την κουζίνα.

Η απόφαση για τη διάταξη των καλαμιών προέκυψε θεωρώντας ως βασικότερες δυνάμεις καταπόνησης που δέχεται ένα δομικό στοιχείο, κυρίως τις κατακόρυφες και δευτερευόντως τις οριζόντιες. Επομένως, θεωρήθηκε απαραίτητο το πάνελ δόμησης να οπλισθεί με ένα πλέγμα από κάθετα και οριζόντια καλάμια, με τα πρώτα να είναι περισσότερα από τα δεύτερα σε αριθμό. Έχοντας αυτό κατά νου, αποφασίστηκε το πλέγμα αυτό να αποτελείται από δύο στρώσεις κάθετων καλαμιών και μία οριζόντιων, η οποία θα βρίσκεται ανάμεσά τους. Κάτι τέτοιο αποσκοπεί στην ενίσχυση της φέρουσας ικανότητάς του, ώστε να μπορεί να παίξει το ρόλο και του φέροντος στοιχείου, εκτός από του στοιχείου πλήρωσης. Βέβαια, η απαιτούμενη πυκνότητα των καλαμιών, καθώς και το μήκος του πάνελ, μελετώνται σε επόμενο κεφάλαιο.

Λαμβάνοντας, λοιπόν, υπ' όψη όλα τα παραπάνω, καταλήξαμε στη μορφή και τις διαστάσεις που θα πρέπει να έχει τελικά το πάνελ δόμησης και φαίνεται στις εικόνες 21 και 22



**Εικόνα 21** Προοπτική απεικόνιση του πάνελ. Οι αγωγοί για τις ηλεκτρικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις είναι ίδιοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται στις συμβατικές κατασκευές οικοδομών κι έχουν  $\varnothing 20$

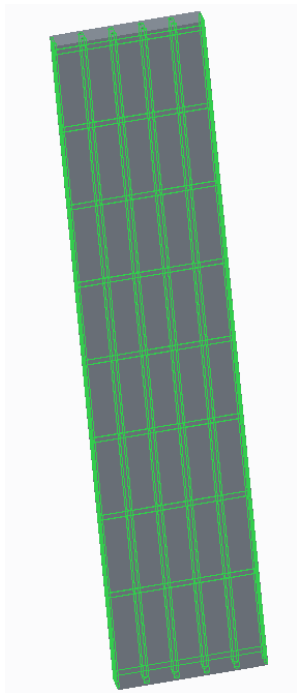


**Εικόνα 22** Πρόοψη του πάνελ. Το βάθος των κουτιών επισκεψιμότητας είναι 60mm

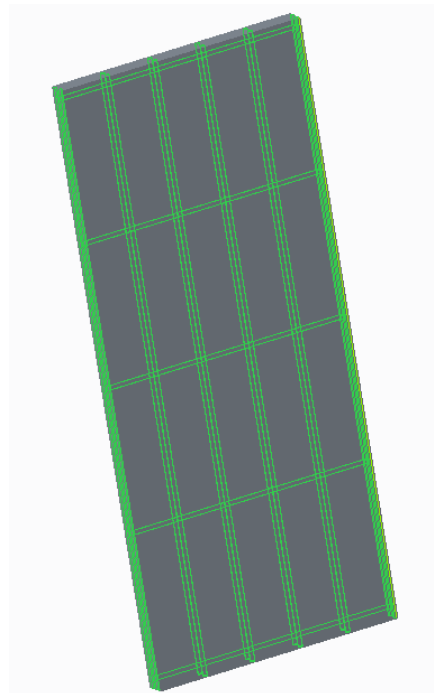
## 2.1 Ανάλυση της κατασκευής

Το πάνελ δόμησης για να έχει ικανοποιητική αντοχή θα πρέπει να είναι οπλισμένο με αρκετά καλάμια στην κάθετη και οριζόντια διεύθυνση, τα οποία έχουν περίπου  $\varnothing 20$ . Επιπλέον, όπως αναφέρεται στην εικόνα 21, περιλαμβάνει και πλαστικούς αγωγούς  $\varnothing 20$  για τις ηλεκτρικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις, και το συνολικό του πάχος είναι 100mm, συμπεριλαμβανομένου του υλικού πλήρωσης. Η ανάλυση μιας τέτοιας κατασκευής απαιτεί απαγορευτικό χρόνο υπολογισμού. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε να γίνει ανάλυση μόνο του βασικού υλικού που είναι το αφρομπετόν με τα καλάμια ενίσχυσης.

Για τη μελέτη της κατασκευής του πάνελ δόμησης έγινε ανάλυση σε δύο γεωμετρίες (Α και Β) με το πάνελ να έχει το ίδιο ύψος και στις δύο περιπτώσεις, αλλά διαφορετικό μήκος και πυκνότητα καλαμιών (Εικόνες 23 και 24)

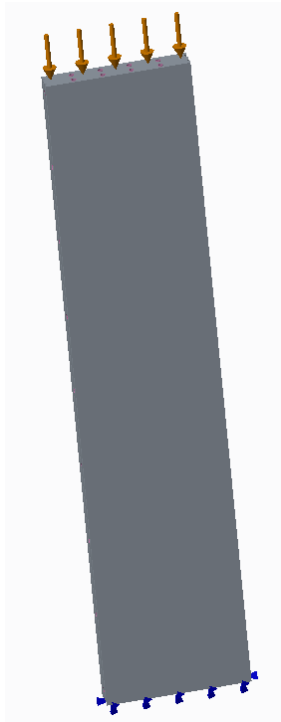


**Εικόνα 23** Γεωμετρία Α. Μήκος: 600mm, ύψος: 2800mm, απόσταση οριζόντιων καλαμιών 338mm. Το πρώτο και το τελευταίο οριζόντιο καλάμι απέχουν από την πάνω και κάτω πλευρά του πάνελ αντίστοιχα 50mm

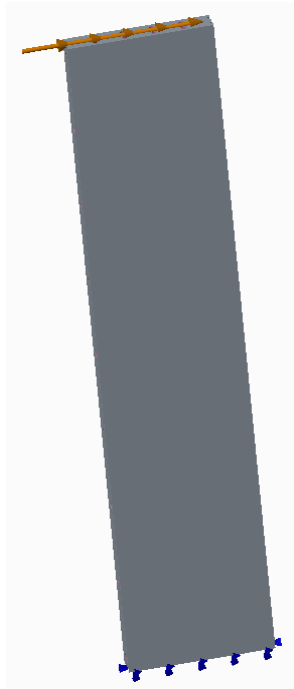


**Εικόνα 24** Γεωμετρία Β. Μήκος: 1200mm, ύψος: 2800mm, απόσταση οριζόντιων καλαμιών 675mm. Το πρώτο και το τελευταίο οριζόντιο καλάμι απέχουν από την πάνω και κάτω πλευρά του πάνελ αντίστοιχα 50mm

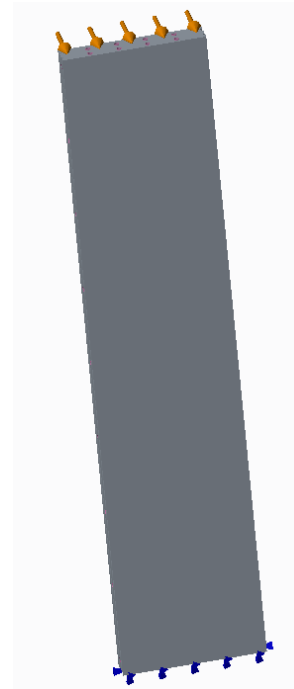
Για κάθε Γεωμετρία εξετάστηκαν τρία είδη φόρτισης, που είναι η θλίψη (εικόνα 25), η διάτμηση (εικόνα 26) και η κάμψη (εικόνα 27). Σε όλες τις περιπτώσεις φόρτισης η δύναμη που ασκείται ανά εμβαδόν επιφάνειας είναι 1 MPa και η κάτω επιφάνεια του τοίχου πακτώθηκε. Από την ανάλυση προέκυψε ότι αυτή η φόρτιση είναι πολύ μεγάλη για την φόρτιση 3 και αποφασίστηκε να ασκείται τάση ίση με 0.01 MPa.



Εικόνα 25 Θλίψη

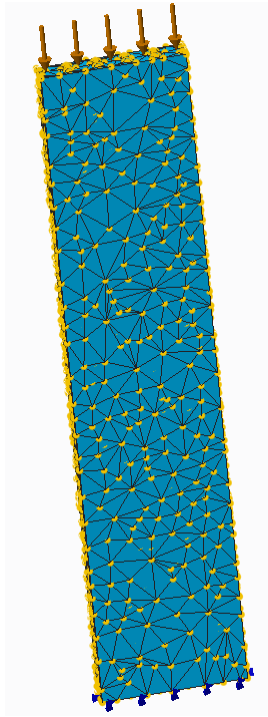


Εικόνα 26 Κάμψη/Διάτμηση

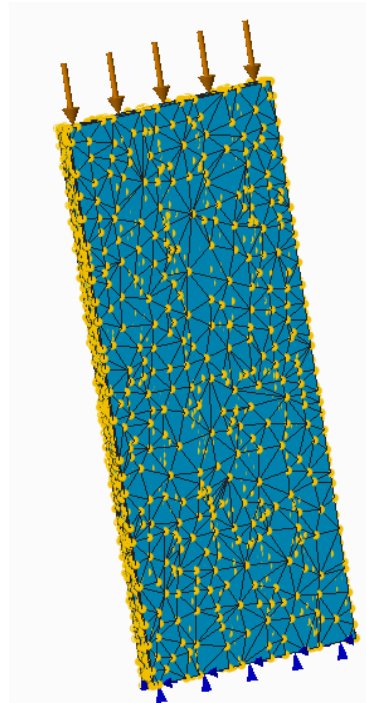


Εικόνα 27 Κάμψη/Διάτμηση

Στη συνέχεια έγινε η διακριτοποίηση της κατασκευής. Πήραμε ως δεδομένο το μέτρο ελαστικότητας του αφρομετόν, το οποίο βρέθηκε από βιβλιογραφία ότι είναι 2GPa, και του καλαμιού, που βρέθηκε ότι είναι 9GPa .Και στις δύο γεωμετρίες υπάρχουν δύο είδη στοιχείων, τα οποία φαίνονται στις εικόνες 28 και 29. Για το αφρομετόν χρησιμοποιήθηκαν τετράεδρα στοιχεία (29190 για τη γεωμετρία A και 28560 για τη γεωμετρία B) και για τη μοντελοποίηση των καλαμιών κελυφοειδή στοιχεία (shells) (8900 για τη γεωμετρία A και 8000 για τη γεωμετρία B), στα οποία δόθηκε το μέτρο ελαστικότητας των καλαμιών( 9GPa), 2mm πάχος και  $\varnothing$  20.



Εικόνα 28 Γεωμετρία Α-διακριτοποίηση



Εικόνα 29 Γεωμετρία Β-διακριτοποίηση

## 2.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των 6 αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό Creo Simulate. Οι αναλύσεις είναι ο συνδυασμός δύο γεωμετριών και 3 φορτίσεων. Παρουσιάζονται οι μετατοπίσεις στη διεύθυνση φόρτισης, η μέγιστη και ελάχιστη κύρια τάση στο αφρομεπετόν καθώς και η μέγιστη και ελάχιστη κύρια τάση στα καλάμια ενίσχυσης.

Στις εικόνες 30-38 φαίνονται τα αποτελέσματα για τη Γεωμετρία Α και στις εικόνες 39-47 τα αποτελέσματα για τη Γεωμετρία Β. Η γεωμετρία Α έχει περίπου διπλή πυκνότητα καλαμιών ενίσχυσης σε σχέση με τη γεωμετρία Β. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέγιστες τιμές τάσεων και μετατοπίσεων για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Θα πρέπει να τονιστεί ότι σύγκριση μεταξύ των διαφόρων φορτίσεων δεν είναι δυνατή καθώς η εφαρμοζόμενη δύναμη είναι αυθαίρετη και η πρώτη φόρτιση είναι θλίψη ενώ οι δύο άλλες είναι κάμψεις σε διαφορετικά επίπεδα με τελείως διαφορετικές ροπές αδράνειας (στη φόρτιση 2 η

ροπή αδράνειας είναι πολύ μεγαλύτερη από τη φόρτιση 3). Γι' αυτό το λόγο, το φορτίο 3 ορίστηκε 100 φορές μικρότερο.

**Πίνακας 4** Αποτελέσματα αναλύσεων

Γεωμετρία	Φόρτιση	Μέγιστη μετατόπιση (mm)	Μέγιστη κύρια τάση μπετόν (MPa)	Ελάχιστη κύρια τάση μπετόν (MPa)	Μέγιστη κύρια τάση καλάμια (MPa)	Ελάχιστη κύρια τάση καλάμια (MPa)
A	1	1,39	1,07	3,93	5,10	8,95
A	2	128	90,5	86,2	212	205
A	3	42,3	3,02	3,07	5,2	5,2
B	1	1,40	1,40	4,20	5,3	8,8
B	2	35,2	48,7	46,5	105	110
B	3	41,8	2,77	2,42	5,2	5,5

Αρχικά, από τις εικόνες και από τη λεπτομερή εξέταση των αποτελεσμάτων παρατηρούμε τα εξής:

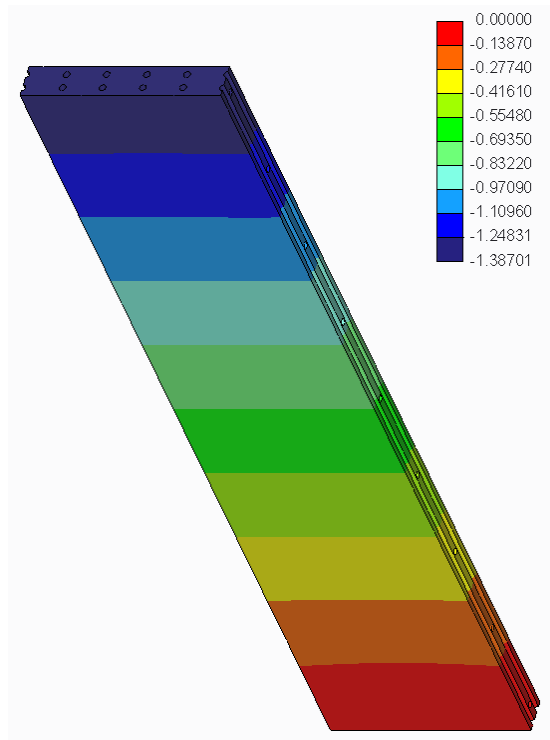
- Για τη φόρτιση 1, στο αφρομπετόν οι μέγιστες τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή των καλαμιών λόγω της μεταφοράς δύναμης και κατανέμονται σχεδόν ομοιόμορφα κατά μήκος των καλαμιών.
- Για τις άλλες 2 φορτίσεις, οι μέγιστες τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή μέγιστης καμπτικής ροπής (περιοχή πάκτωσης).
- Το ίδιο συμβαίνει και για την κατανομή των τάσεων στα καλάμια, όπου οι τάσεις είναι μεγαλύτερες λόγω της μεγαλύτερης δυσκαμψίας τους.



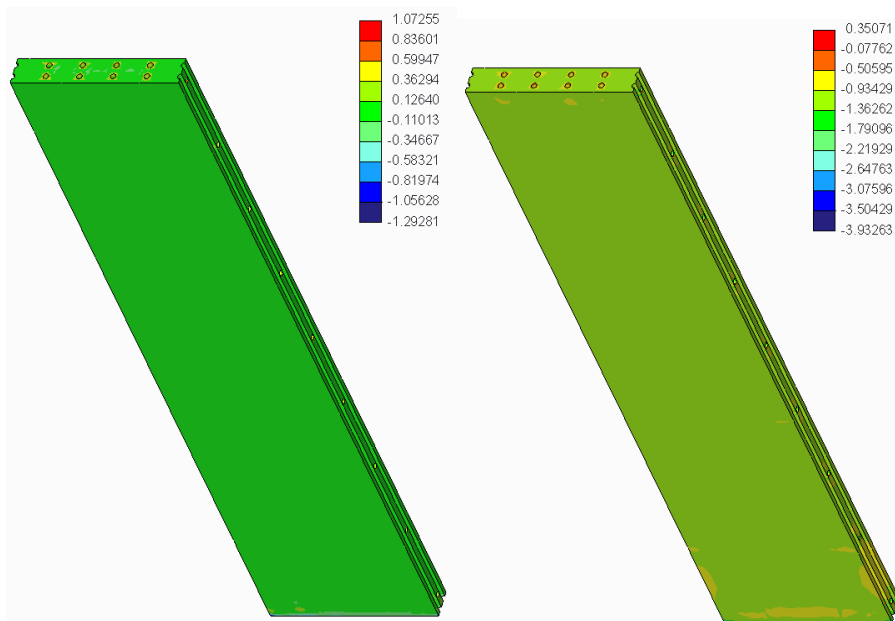
Συγκρίνοντας τις δύο γεωμετρίες (πυκνότητα καλαμιών) παρατηρούμε ότι οι τάσεις στο αφρομετόν για την περίπτωση της θλίψης (φόρτιση 1) είναι μικρότερες στη γεωμετρία Α από 7% (ελάχιστη κύρια) έως 30% (μέγιστη κύρια). Αυτό σημαίνει ότι ο διπλασιασμός της πυκνότητας των καλαμιών οδηγεί σε σημαντική μείωση των εφελκυστικών τάσεων στο αφρομετόν, οι οποίες είναι και πιο επικίνδυνες. Η αύξηση της πυκνότητας των καλαμιών δεν αλλάζει σημαντικά τις τάσεις στα καλάμια.

Για την φόρτιση 3, όπου δεν έχουμε σημαντική αλλαγή της δυσκαμψίας των δύο γεωμετριών παρατηρούμε μόνο μικρές αλλαγές στις τάσεις με σημαντικότερες τη μείωση των τάσεων στην γεωμετρία Β.

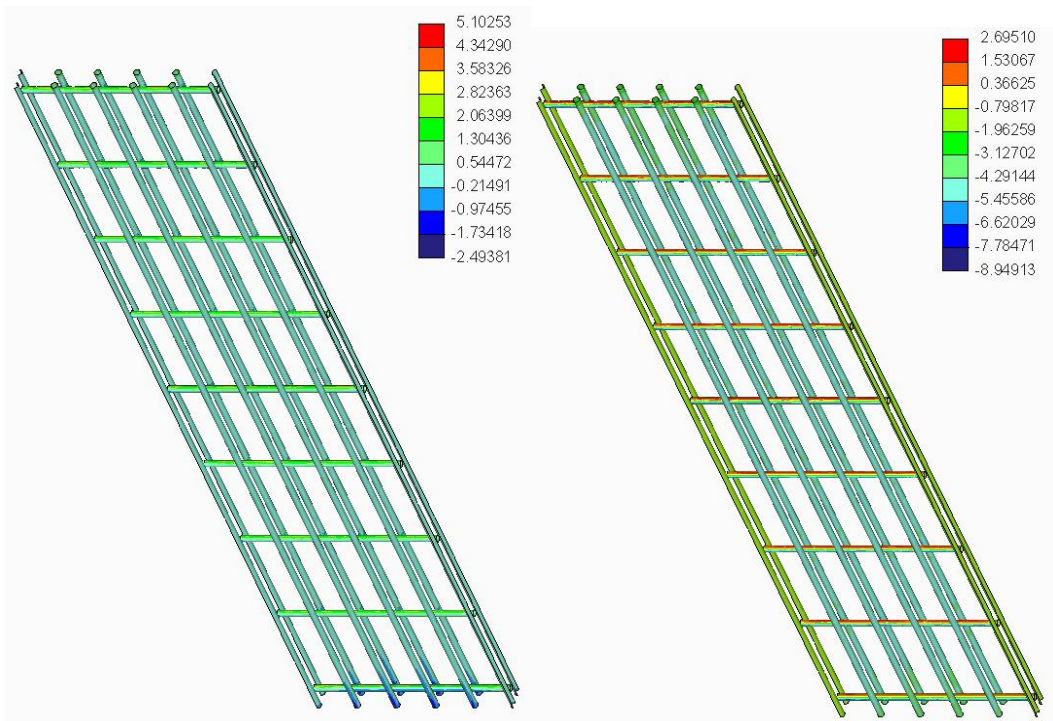
Απαιτείται περαιτέρω θεωρητική και πειραματική μελέτη για να επιβεβαιωθούν τα παραπάνω αποτελέσματα.



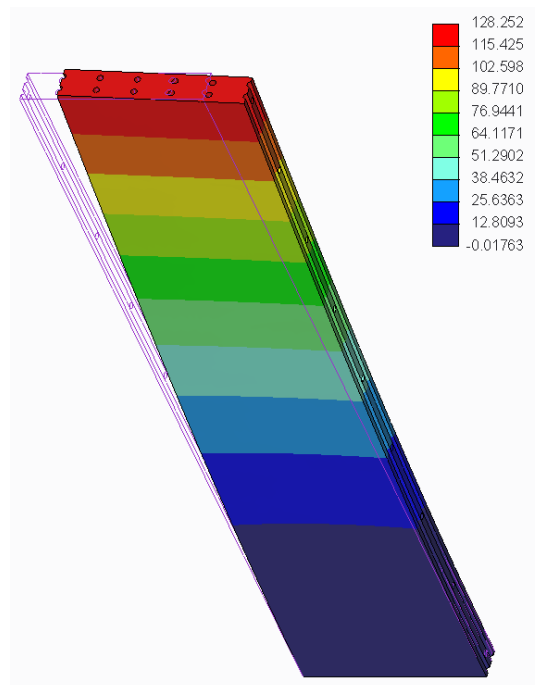
Εικόνα 30 Κατανομή μετατοπίσεων (Γεωμετρία Α - 1<sup>η</sup> φόρτιση)



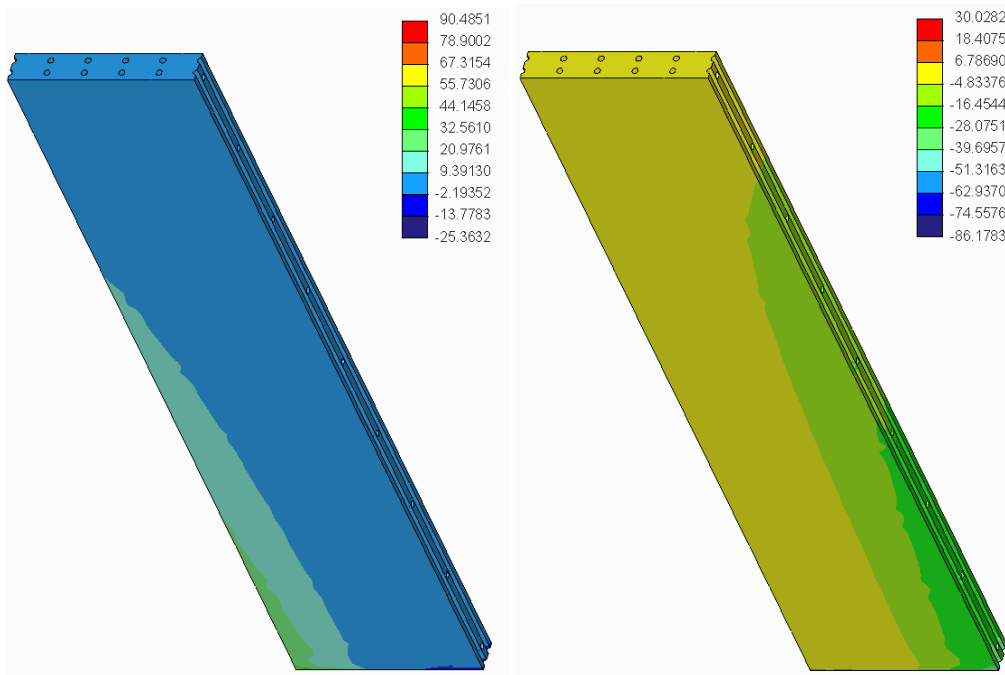
Εικόνα 31 Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στο αφρομετόν (Γεωμετρία Α - 1η φόρτιση)



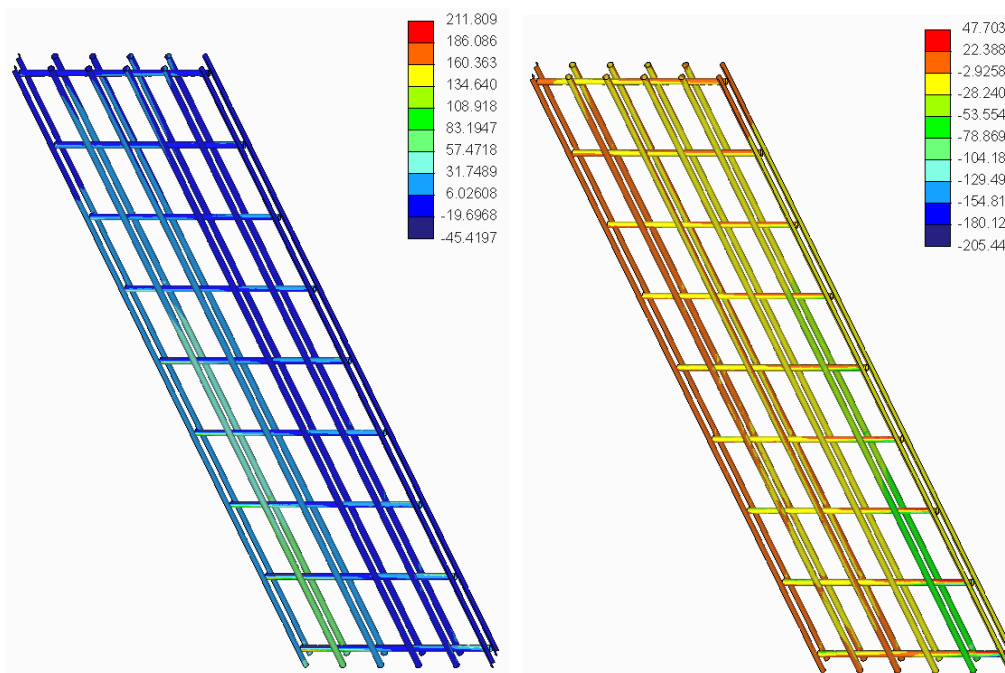
**Εικόνα 32** Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στα καλάμια ενίσχυσης (Γεωμετρία Α - 1η φόρτιση)



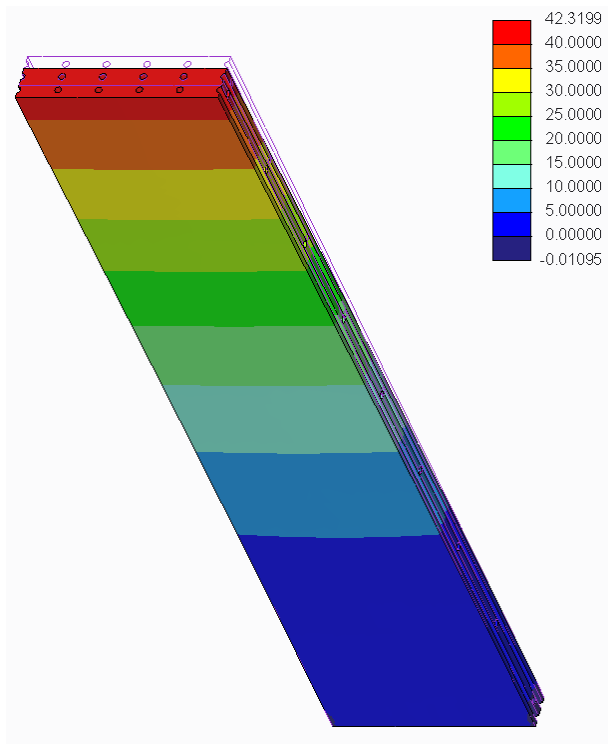
**Εικόνα 33** Κατανομή μετατοπίσεων (Γεωμετρία Α - 2η φόρτιση)



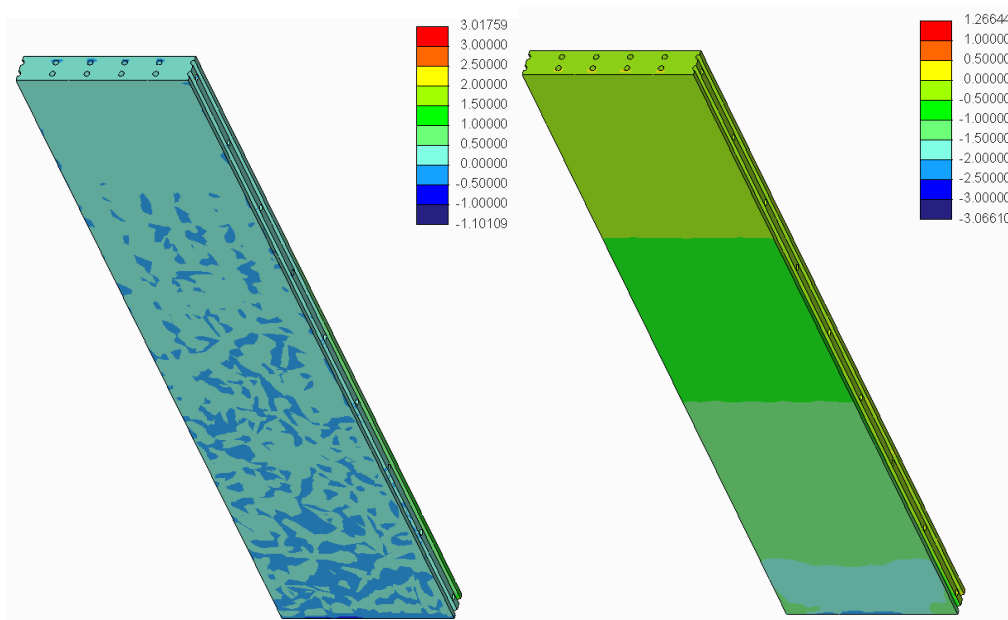
**Εικόνα 34** Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στο αφρομετόν (Γεωμετρία Α - 2η φόρτιση)



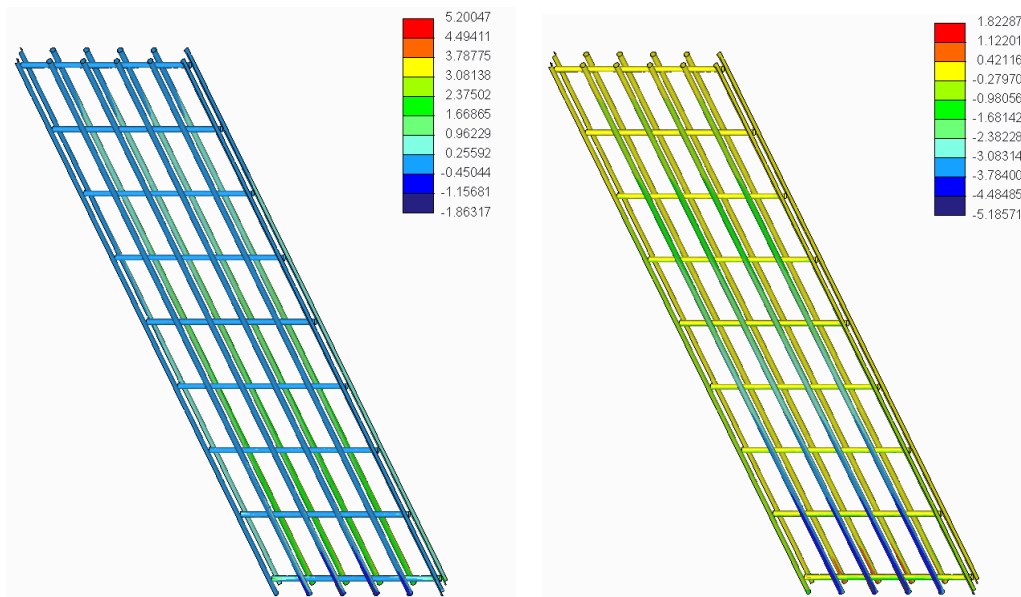
**Εικόνα 35** Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στα καλάμια ενίσχυσης (Γεωμετρία Α - 2η φόρτιση)



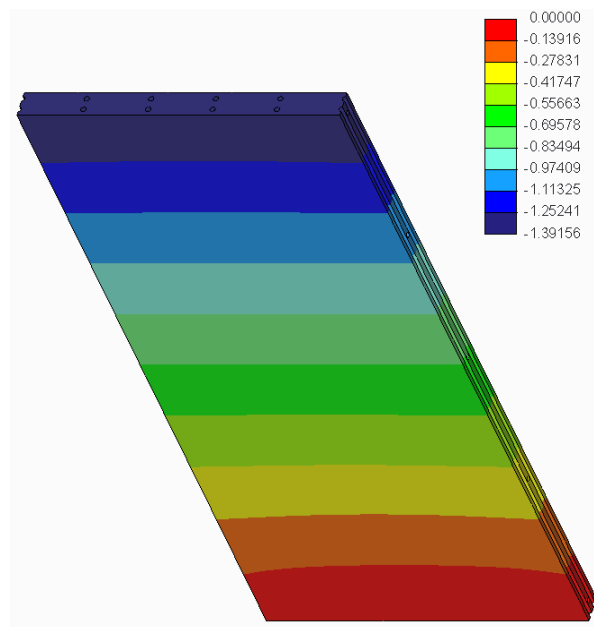
Εικόνα 36 Κατανομή μετατοπίσεων ( Γεωμετρία Α - 3η φόρτιση)



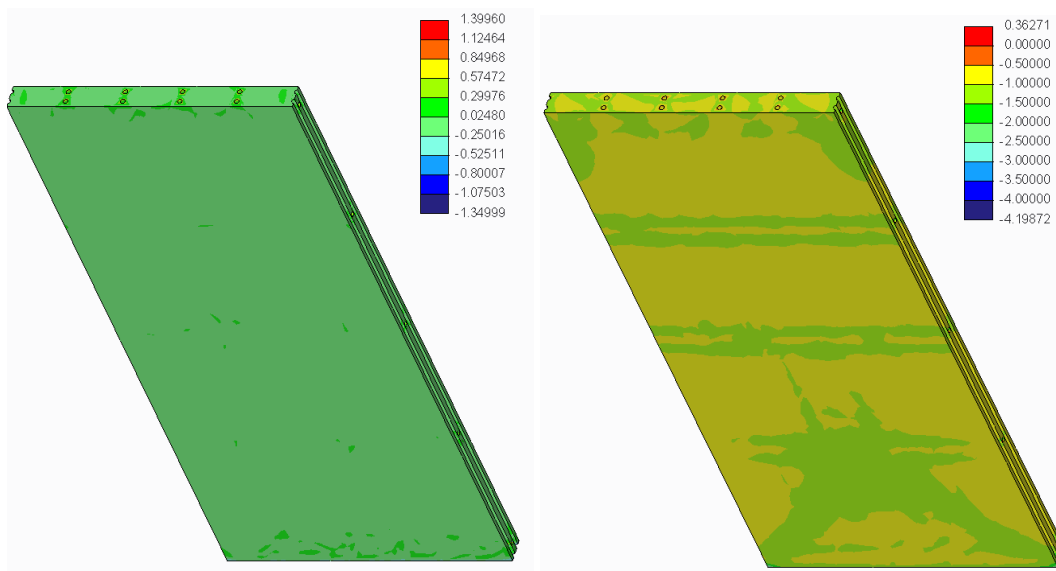
Εικόνα 37 Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στο αφρομετόν (Γεωμετρία Α - 3η φόρτιση)



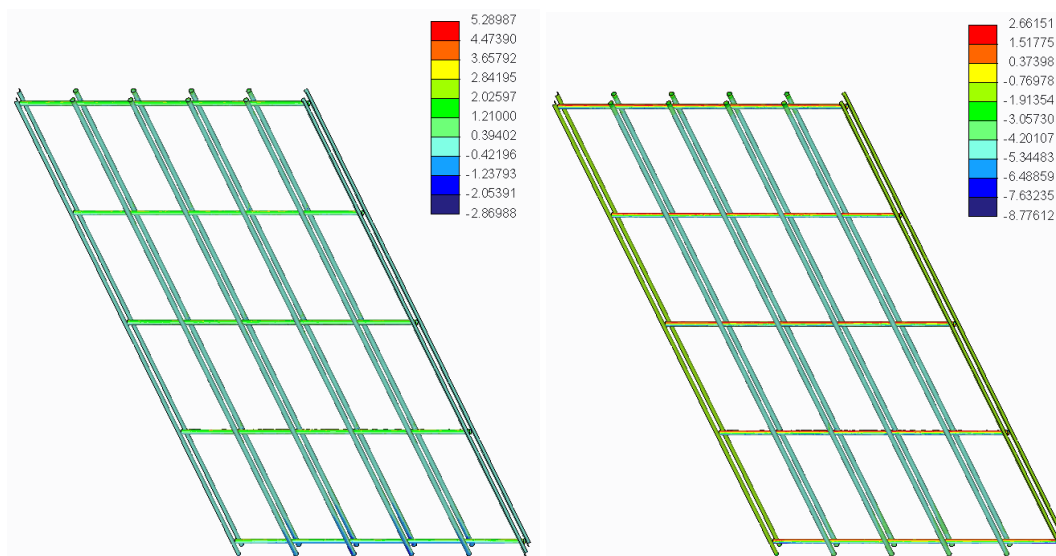
**Εικόνα 38** Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στα καλάμια ενίσχυσης (Γεωμετρία Α - 3η φόρτιση)



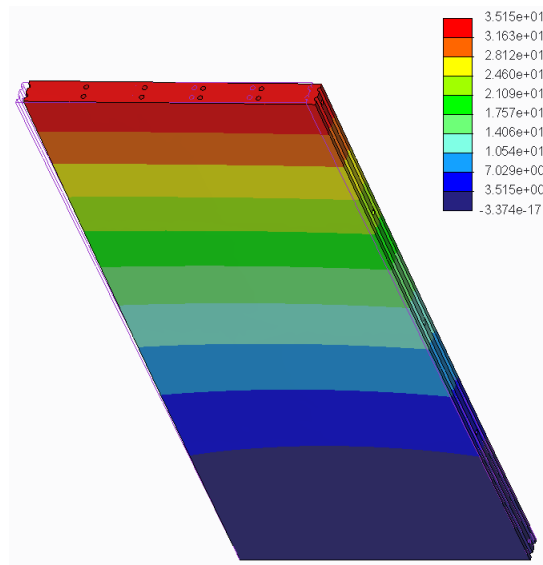
**Εικόνα 39** Κατανομή μετατοπίσεων (Γεωμετρία Β - 1η φόρτιση)



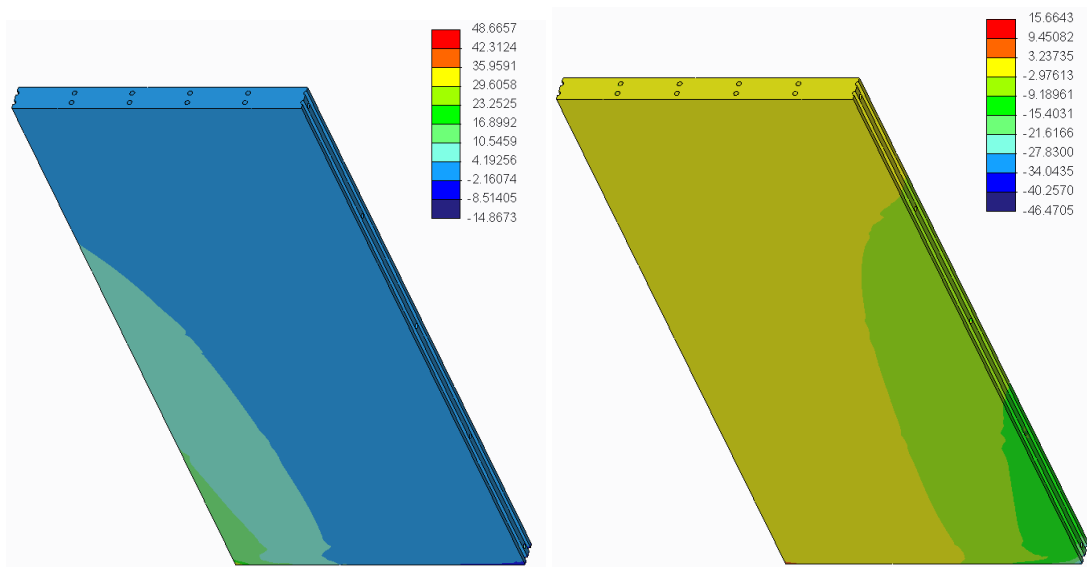
**Εικόνα 40** Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στο αφρομετόν (Γεωμετρία Β - 1η φόρτιση)



**Εικόνα 41** Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στα καλάμια ενίσχυσης (Γεωμετρία Β - 1η φόρτιση)

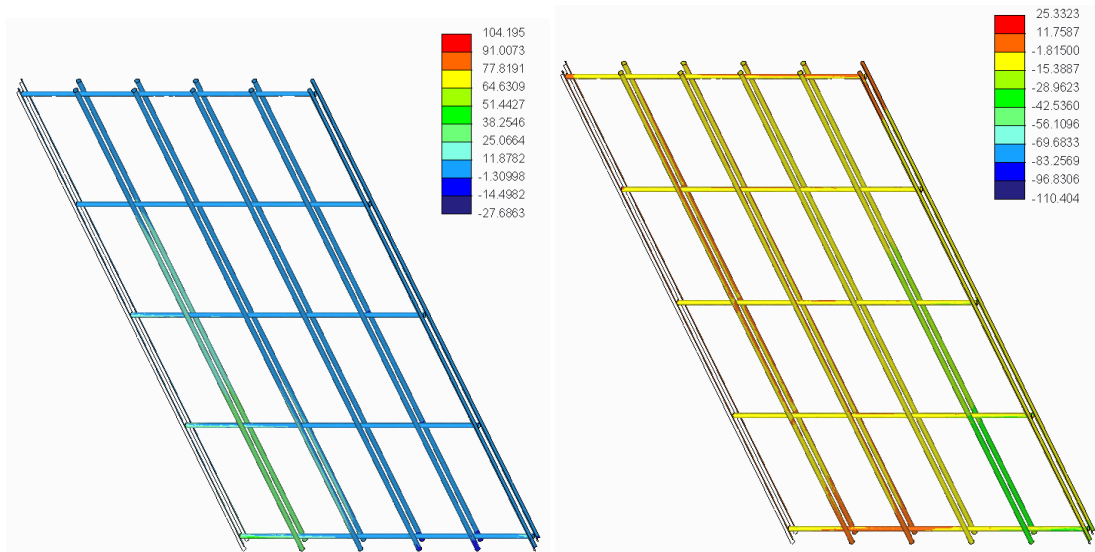


Εικόνα 42 Κατανομή μετατοπίσεων (Γεωμετρία Β - 2η φόρτιση)

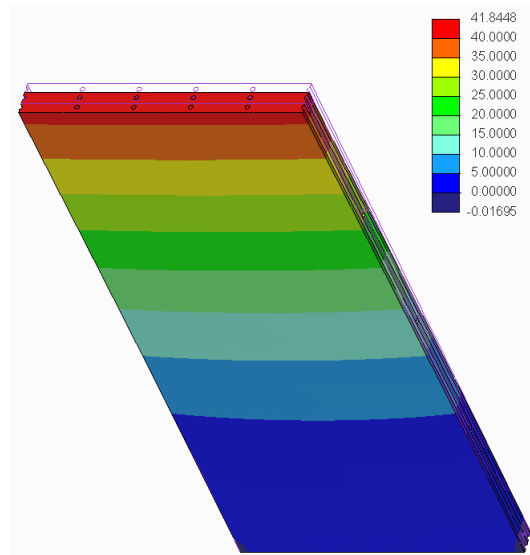


Εικόνα 43 Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στο αφρομετόν (Γεωμετρία Β - 2η φόρτιση)

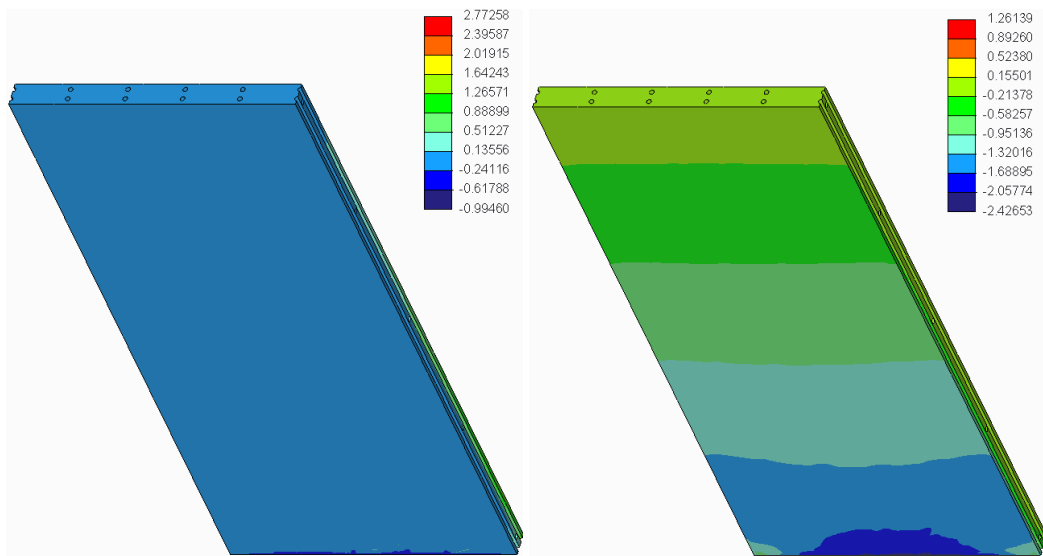




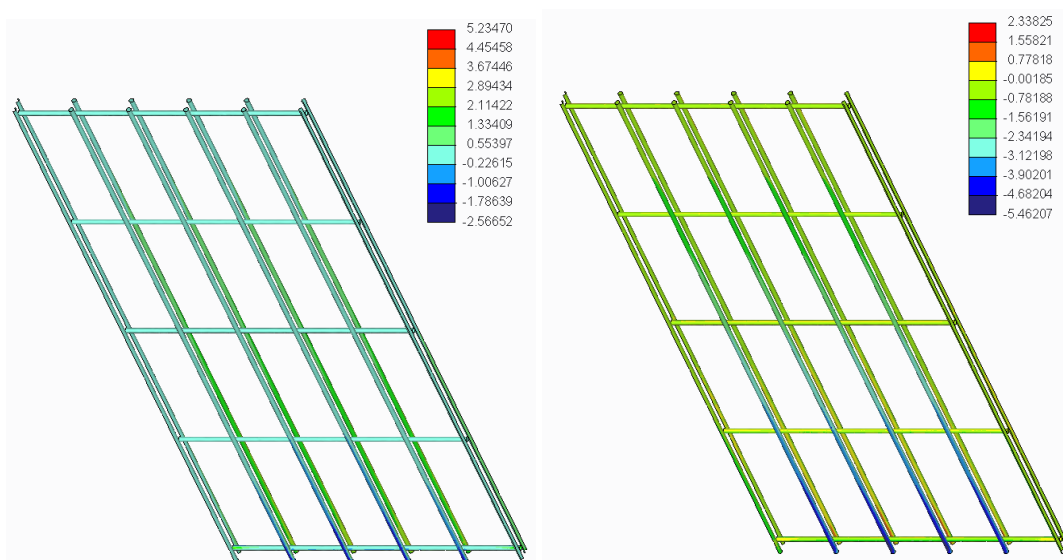
**Εικόνα 44** Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στα καλάμια ενίσχυσης (Γεωμετρία Α - 2η φόρτιση)



**Εικόνα 45** Κατανομή μετατοπίσεων (Γεωμετρία Β - 3η φόρτιση)



**Εικόνα 46** Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στο αφρομετόν (Γεωμετρία Β - 3η φόρτιση)



**Εικόνα 47** Κατανομή μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης στα καλάμια ενίσχυσης (Γεωμετρία Β - 3η φόρτιση)

## Βιβλιογραφία

- 1) <http://www.amazuluinc.com/products/thatch-reed-panels/>
- 2) M. Miljan, M.-J. Miljan, J. Miljan, K. Akermann and K. Karja , “Thermal transmittance of reed-insulated walls in a purpose-built test “Department of Rural Building, Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia
- 3) Mohanty B.N , Sujatha.D & Uday .D.N, “Bamboo Composite material : Game - changer for developing economies”, IPIRTI, P.B.No2273, Tumkur Road, Bangalore, India, 10th World Bamboo Congress, Korea 2015
- 4) Άννα Καρατζάνη, “Δομή και ιδιότητες των ινών” Έκδοση 1, Αθήνα 2014
- 5) ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Α. ΣΦΥΡΙΔΗ , «ΜΕΛΕΤΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ (PANELS) ΑΠΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΛΙΝΑΡΙΟΥ», Α΄ ΤΟΜΕΑΣ ΜΑΘΗΜΑΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΞΥΛΟΥ, ΚΑΡΔΙΤΣΑ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2011
- 6) Mohamed Salah Gharib Elsayed , “Straw Bale is Future House Building Material “ ,Architect - Egypt
- 7) Nails, Amazon "Information guide to straw bale building for self-builders and the construction industry" Amazon Nails, Todmorden, England. 2001. [www.strawbalefutures.org.uk](http://www.strawbalefutures.org.uk)
- 8) King B. "Buildings of earth and straw" Ecological design press, Sausalito, California U.S.A. 1996.
- 9) Παναγιώτα Σπυροπούλου, Ειρήνη Τσακαλάκη , “Διερεύνηση πρακτικών δόμησης” , Τομέας IV: Συνθέσεων Τεχνολογικής Αιχμής Ιούλιος 2013
- 10) ΑΝΤΩΝΙΑΔΟΥ ΣΟΦΙΑ , ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : “ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ” , ΚΑΒΑΛΑ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2005
- 11) MD Jalal, Aftab Tanveer, K Jagdeesh and Furqan Ahmed , “Foam Concrete” , Department of Civil Engineering, Jayaprakash Narayan College of engineering, Mahabubnagar-509001, Telangana, India. International Journal of Civil Engineering Research. ISSN 2278-3652 Volume 8, Number 1 (2017), pp. 1-14
- 12) B KARTHIKEYAN , R SELVARAJ AND S SARAVANAN ,”Mechanical Properties of Foam Concrete “, ISSN 0974-5904, Volume 08, No. 02, April 2015, P.P.115-119

- 13) "How microsilica improves concrete", Copyright © 1985, The Aberdeen Group,  
[http://www.concreteconstruction.net/how-to/materials/how-microsilica-improves-concrete\\_o](http://www.concreteconstruction.net/how-to/materials/how-microsilica-improves-concrete_o)
- 14) Βαρουτά – Φλώρου, Η άντληση εμπειρίας από τη φιλοσοφία δόμησης των ιστορικών κτιρίων, Αθήνα 2009.
- 15) <http://bamboo.wikispaces.asu.edu/4.+Bamboo+Properties> ,
- 16) <http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522160379.pdf>,
- 17) <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PH2000100876>,
- 18) Πτυχιακή Εργασία με τίτλο " Κατασκευή συγκροτήματος τεσσάρων μεμονωμένων κατοικιών μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, στην Κηφισιά Αττικής με χρήση βιοκλιματικού σχεδιασμού και Α.Π.Ε"., Τομέας Β', των ΚΟΥΒΕΛΟΣ ΑΛΕΞΙΟΣ και ΝΙΚΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ,  
[oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/.../pol\\_201400679.pdf?...1...](http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/.../pol_201400679.pdf?...1...)
- 19) <http://capereed.com/wp-content/uploads/2012/10/Cape-Reed-Technical-Specifications-Print-Friendly-Copy.pdf>
- 20) [https://www.researchgate.net/publication/270449373\\_Use\\_of\\_giant\\_reed\\_Arundo\\_Donax\\_L\\_in\\_rural\\_constructions](https://www.researchgate.net/publication/270449373_Use_of_giant_reed_Arundo_Donax_L_in_rural_constructions)
- 21) [http://en.wikipedia.org/wiki/Light\\_clay](http://en.wikipedia.org/wiki/Light_clay)
- 22) <http://www.cob.gr/texnikes>
- 23) Jun Jiang , Zhongyuan Lu, Yunhui Niu, Jun Li, Yuping Zhang, Study on the preparation and properties of high-porosity foamed concretes based on ordinary Portland cement, Materials and Design, 92, 949-959, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127515309199>
- 24) Ameer A. Hilal, Nicholas Howard Thom, Andrew Robert Dawson, On void structure and strength of foamed concrete made without/with additives, Construction and Building Materials, 85, 157-164, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815003724>
- 25) Y.H. MugahedAmran, Nima Farzadnia, A.A.Abang Ali, Properties and applications of foamed concrete; a review, Construction and Building Materials, 101, 990-1005, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815305328>