



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

**"Πειραματική μελέτη του κονιάματος της
δομικής ασβεστοκάνναβης και διερεύνηση
της επίδρασής της, στη θερμική
συμπεριφορά σε δομικά μέλη κτιρίων"**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΖΑΡΑΚΗ ΣΜΑΡΑΓΔΑ

Διπλωματούχου Αρχιτέκτονα Μηχανικού Π.Κ.

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Ε.ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ

Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

**"Πειραματική μελέτη του κονιάματος της
δομικής ασβεστοκάνναβης και διερεύνηση
της επίδρασής της, στη θερμική
συμπεριφορά σε δομικά μέλη κτιρίων"**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΖΑΡΑΚΗ ΣΜΑΡΑΓΔΑ

Διπλωματούχου Αρχιτέκτονα Μηχανικού Π.Κ.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Ε.ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ, Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Ε.ΜΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. ΤΣΑΚΑΛΑΚΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018

*Ευχαριστώ ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής μου κα Ελένη
Αλεξάνδρου για την συνεργασία και τον χρόνο της.*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η πειραματική μελέτη των θερμικών ιδιοτήτων του κονιάματος της δομικής ασβεστοκάνναβης, καθώς και η διερεύνηση της επίδρασής της, στη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων που συμμετέχει ως δομικό υλικό. Στο πρώτο στάδιο καταγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά και η ανατομία του φυτού της κάνναβης, παράγοντες που παίζουν καθριστικό ρόλο στις θερμικές ιδιότητες που προσδίδει η κάνναβη στο υπό μελέτη κονίαμα. Στη συνέχεια ακολουθεί το πειραματικό μέρος, κατά το οποίο κατασκευάζεται δοκίμιο ασβεστοκάνναβης, με σκοπό την καταγραφή των θερμικών ιδιοτήτων της, ενώ τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αντίστοιχα ευρήματα από προηγούμενες σχετικές έρευνες. Στο τελευταίο στάδιο πραγματοποιείται υπολογιστική προσομοίωση στο αρχοντικό Τριανταφύλλου στο Βόλο, μέσω του προγράμματος Design Builder, στο οποίο εισάγονται τα ευρήματα από το πειραματικό μέρος. Με τη χρήση του Energy Plus διεξάγονται αποτελέσματα σχετικά με τη θερμική συμπεριφορά των δομικών μελών του κτιρίου ξεχωριστά, αλλά και του συνόλου του χώρου, στον οποίο χρησιμοποιείται δομική ασβεστοκάνναβη. Σκοπός της υπολογιστικής προσομοίωσης είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων του κονιάματος της ασβεστοκάνναβης, με πραγματικές τιμές αντίστοιχου υλικού, που έχουν προκύψει σε προηγούμενη έρευνα.

ABSTRACT

Recently, there has been an increasing interest in natural building, as well as the use of techniques that place major emphasis on sustainability. Among the materials common to natural building, researchers have shown special interest in the use of hempcrete, as a material for both construction and insulation.

This essay will focus on the experimental study of the thermal qualities of hempcrete mortar, in conjunction with the evaluation of the thermal behavior of buildings where hempcrete is used as the main building material.

The first chapters describe the general characteristics and the anatomy of Cannabis Sativva, which altogether display a pivotal role to the thermal quality of the mortar that is being examined. In the experimental stage that follows, a hempcrete block is being constructed and tested for its thermal qualities. The results of the examination are being compared to the findings of previous researches.

During the last stage of this essay, a simulation of Triantafylloy mansion is created through computer. Through Design Builder, all the findings of the experimental stage are being imported. With the use of Energy Plus, the results are being conducted, in relation not only to the thermal behavior of each building part, but also to the whole building. The main purpose of this simulation is the comparison between the results of hempcrete mortar's thermal behavior and the real rates that have been conducted through past researches where an equivalent material was examined.

Πίνακας Περιεχομένων

Μέρος Α': Θεωρητικό Μέρος

1. Βιώσιμη Αρχιτεκτονική	16
2. Κατασκευάζοντας με Άσβεστο	18
3. Βιώσιμη Κατασκευή με Ασβεστοκάνναβη	20
4. Κατασκευές με Διάφορα Είδη Καλλιέργειας και Φυσικές Ίνες	22
4.1 Ρωμαϊκό τσιμέντο	22
4.2 Ξυλόπηκτη Τοιχοποιία	23
4.3 Κατασκευές από αχυρόμπαλες	24
4.3 Τσιμέντο με ξυλόμαλλο	24
5. Ιστορία της Κάνναβης	25
6. Η Καλλιέργεια Κάνναβης στην Ελλάδα	26
7. Ανατομία της Κάνναβης	28
8. Σκυρόδεμα Ασβεστοκάνναβης	29
8.1 Τσιμέντο	31
8.2 Ποζολάνες	32
8.2.1 Ιπτάμενη Τέφρα	33
8.2.2 Σκωρία Υψικαμίνων, (GGBS)	33
8.2.3 Θηραϊκή Γη	34
8.3 Άχυρο Κάνναβης	34
9. Κατασκευαστικές Μέθοδοι	35
9.1 Μέθοδος Συμπίεσης	35
9.2 Μέθοδος Ψεκασμού	36
9.3 Μέθοδος με προκατασκευασμένα τούβλα	37
10. Παραδείγματα Κτιρίων Από Ασβεστοκάνναβη	38
10.1 Northcote Hemp House	38
10.2 The Marrickville Hempcrete House	39
10.3 Push House	41
10.4 Hemp Cottage Bevan Architects Terrace	43

10.5 Österåker Runö, Sweden.....	44
10.6 Adnams Building, United Kingdom	45
10.7 Hemp Homes, United Kingdom	45

Μέρος Β': Πειραματικό Μέρος

11. Θερμομόνωση.....	47
12. Γενικές Αρχές Θερμομόνωσης	47
12.1 Η θερμοπερατότητα, (U-value)	48
12.2 Η θερμική αγωγιμότητα, (λ)	48
12.3 Η Θερμοχωρητικότητα, (Q).....	48
13. Θερμικές και Μηχανικές Ιδιότητες της Ασβεστοκάνναβης.....	49
13.1 Θερμική Αγωγιμότητα.....	49
13.2 Θερμοχωρητικότητα - Θερμική Μάζα	51
13.3 Τριχοειδής Αναρρίχηση	52
13.4 Διαπερατότητα.....	54
13.5 Αντοχή σε Θλίψη	55
14. Προηγούμενες έρευνες πάνω σε σκυροδέματα ασβεστοκάνναβης	56
14.1 Μηχανικές Ιδιότητες	56
14.1.1 Αντοχή σε θλίψη	56
14.1.2 Αντοχή σε εφελκυσμό.....	57
14.2 Υγροσκοπικές ιδιότητες	58
14.3 Πορώδες	60
14.4 Θερμικές Ιδιότητες.....	60
15. Υλικά και Μέθοδος Κατασκευής Δοκιμίου Ασβεστοκάνναβης	63
15.1 Άχυρο κάνναβης	63
15.2 Συνδετικό.....	63
15.3 Μίξη – Καλούπωμα – Σετάρισμα	64
16. Πειραματικό μέρος	66
16.1 Μέθοδος Θερμαινόμενων Πλακών	66
16.1.1 Πειραματικό Μέρος	68
16.2 Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (Differential Scanning Calorimetry), (DSC)	69

16.2.1 Πειραματικό Μέρος	71
16.3 Πείραμα Υδατοαπορρόφησης	74

Μέρος Γ': Υπολογιστική Προσομοίωση

17. Οικία Σαρρή Τριανταφύλλου, Περιγραφή Κτιρίου	76
18. Πρόγραμμα Προσομοίωσης Design Builder, (Energy Plus)	80
19. Προσομοίωση Μοντέλου.....	81
19.1. Σχεδιασμός Μοντέλου.....	81
19.2 Κατασκευαστικά Υλικά	85
19.2.1 Ισόγειο – Πρώτος Όροφος	85
19.2.2 Δεύτερος Όροφος	87
19.2.3 Κουφώματα Κτιρίου.....	89
20. Προσομοίωση	91
20.1 Αποτελέσματα Προσομοίωσης	92
20.1.1 Ανάλυση Κτιρίου.....	92
20.1.2 Ανάλυση Ορόφων	95
20.1.2.1 Πρώτος Όροφος	95
20.1.2.2 Δεύτερος Όροφος	97
20.1.2.3 Ανάλυση 3 ^ο Ορόφου, Θερινός Οντάς	99
20.1.3 Ανάλυση Ξυλόπηκτης τοιχοποιίας	102
20.2 Αποτελεσματα Πραγματικών Μετρήσεων	104
20.3 Συμπεράσματα	107
20.3.1 Καλοκαιρινή Περίοδος	107
20.3.2 Χειμερινή Περίοδος.....	109
Παράρτημα.....	112

Ευρετήριο Εικόνων

<i>Εικόνα 1.</i> Τομή βλαστού κάνναβης.....	28
<i>Εικόνα 2.</i> Συμπιεσμένη ασβεστοκάνναβη.....	36
<i>Εικόνα 3.</i> Συμπιεσμένη ασβεστοκάνναβη.....	36
<i>Εικόνα 4,5.</i> Μέθοδος ψεκασμού ασβεστοκάνναβης.....	37
<i>Εικόνα 6,7.</i> Κατασκευή με τούβλα από ασβεστοκάνναβη	37
<i>Εικόνα 8,9.</i> Απεικονίσεις του Northcore Hemp House.....	38
<i>Εικόνα 10,11.</i> Απεικονίσεις οικάς Marrickville.....	40
<i>Εικόνα 12.</i> Κατασκευή της οικάς Marrickville.....	41
<i>Εικόνα 13,14.</i> Απεικονίσεις οικάς Push House	42
<i>Εικόνα 15.</i> Κατασκευή οικάς Push House.....	42
<i>Εικόνα 16,17.</i> Κατασκευή οικάς Hemp Cottage	43
<i>Εικόνα 18.</i> Αποκατάσταση του κτιρίου Runö	44
<i>Εικόνα 19.</i> Τοποθέτηση της ασβεστοκάνναβης	44
<i>Εικόνα 20,21.</i> Απεικονίσεις Adnams Building.....	45
<i>Εικόνα 22.</i> Απεικονίσεις των Hemp Homes	46
<i>Εικόνα 23.</i> Σχηματική απεικόνιση συσκευών θερμαινόμενων πλακών	67
<i>Εικόνα 24.</i> Σχηματική απεικόνιση κελιού DSC	70
<i>Εικόνα 25.</i> Οικία Σαρρη Τρανταφύλλου	77
<i>Εικόνα 26.</i> Οικία Σαρρή Τρανταφύλλου, Σαχνισί.....	78
<i>Εικόνα 27.</i> Οικία Σαρρη Τρανταφύλλου, Σαχνισί Εσωτερικό.....	78
<i>Εικόνα 28.</i> Αξονομετρική Τομή.....	79
<i>Εικόνα 29.</i> Κάτοψη Ισογείου	79
<i>Εικόνα 30.</i> Κάτοψη Ορόφου	79
<i>Εικόνα 31.</i> Κάτοψη Δεύτερου ορόφου.....	79
<i>Εικόνα 32.</i> Εσωτερικός σκελετος τοίχου ασβεστοκάνναβης.....	83
<i>Εικόνα 33.</i> Αξονομετρική απεικόνιση του μοντέλου.....	84
<i>Εικόνα 34.</i> Αξονομετρική απεικόνιση κτιρίου μετά την τοποθέτηση υλικών	90

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

<i>Διάγραμμα 1.</i> : Η Θερμική αγωγιμότητα του δοκιμίου ασβεστοκάνναβης συναρτήσει της θερμοκρασίας	68
<i>Διάγραμμα 2.</i> Καμπύλη θέρμανσης με ρυθμό 10·C/min, πρώτο δείγμα	72
<i>Διάγραμμα 3.</i> Καμπύλη θέρμανσης με ρυθμό 10·C/min δεύτερο δείγμα	73
<i>Διάγραμμα 4.</i> Καμπύλη θέρμανσης με ρυθμό 10·C/min τρίτο δείγμα.	73
<i>Διάγραμμα 5.</i> Συντελεστής υδατοαπορρόφησης δοκιμίου ασβεστοκάνναβης	75
<i>Διάγραμμα 6.</i> Ανάλυση κτιρίου καλοκαιρινή περίοδος.....	93
<i>Διάγραμμα 7.</i> Ανάλυση κτιρίου χειμερινή περίοδος.....	94
<i>Διάγραμμα 8.</i> Ανάλυση πρώτου ορόφου καλοκαιρινή περίοδος	96
<i>Διάγραμμα 9.</i> Ανάλυση πρώτου ορόφου χειμερινή περίοδος	96
<i>Διάγραμμα 10.</i> Ανάλυση δεύτερου ορόφου καλοκαιρινή περίοδος	98
<i>Διάγραμμα 11.</i> Ανάλυση δεύτερου ορόφου χειμερινή περίοδος	98
<i>Διάγραμμα 12.</i> Ανάλυση δεύτερου, πρώτη ζώνη (λίθινη τοιχοποιία), καλοκαιρινή περίοδος .	100
<i>Διάγραμμα 13.</i> Ανάλυση δεύτερου, δεύτερη ζώνη (ξυλόπηκτη τοιχοποιία), καλοκαιρινή περίοδος	100
<i>Διάγραμμα 14.</i> Ανάλυση δεύτερου, πρώτη ζώνη (λίθινη τοιχοποιία), χειμερινή περίοδος.....	101
<i>Διάγραμμα 15.</i> Ανάλυση δεύτερου, δεύτερη ζώνη (ξυλόπηκτη τοιχοποιία), χειμερινή περίοδος	101
<i>Διάγραμμα 16.</i> Ανάλυση νότιας ξυλόπηκτης τοιχοποιίας, καλοκαιρινή περίοδος	103
<i>Διάγραμμα 17.</i> Ανάλυση νότιας ξυλόπηκτης τοιχοποιίας, χειμερινής περίοδος.....	103
<i>Διάγραμμα 18.</i> Ημερήσιες θερμοκρασίες στους τρεις χώρους και το εξωτερικό. Μάιος 2002	105
<i>Διάγραμμα 19.</i> Ημερήσιες θερμοκρασίες στους τρεις χώρους και το εξωτερικό, πρώτη τοποθέτηση, Δεκέμβριος 2001	105
<i>Διάγραμμα 20.</i> Ημερήσιες θερμοκρασίες στους τρεις χώρους και το εξωτερικό, δεύτερη τοποθέτηση, Φεβρουάριος 2000	106
<i>Διάγραμμα 21.</i> Ημερήσιες θερμοκρασίες στους τρεις χώρους και το εξωτερικό, πρώτη τοποθέτηση, Ιούλιος 2002	106
<i>Διάγραμμα 22.</i> Ημερήσιες θερμοκρασίες στους τρεις χώρους και το εξωτερικό, δεύτερη τοποθέτηση, Ιούλιος 2003	106

Μέρος Α': Θεωρητικό Μέρος

1. Βιώσιμη Αρχιτεκτονική:

Η βιώσιμη αρχιτεκτονική αποτελεί μία κατασκευαστική λογική, που επιδιώκει να ελαχιστοποιήσει τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κτιρίων, στο σύνολο των ενεργειών που λαμβάνουν χώρα κατά τη δημιουργία μίας κατασκευής. Το τελικό αποτέλεσμα πρέπει να περιλαμβάνει την βιοκλιματική μελέτη σχεδιασμού, την αποτελεσματικότητα και τη μετριοπαθή χρήση υλικών και ενέργειας του χώρου και τόπου ανάπτυξης του οικοσυστήματος συνολικά. Η βιώσιμη αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί μια συνειδητή ποσότητα ενέργειας με οικολογική προσέγγιση, για τον σχεδιασμό του δομημένου περιβάλλοντος.

Η ενεργειακή απόδοση σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός κτιρίου είναι ο σημαντικότερος στόχος της βιώσιμης αρχιτεκτονικής. Οι αρχιτέκτονες χρησιμοποιούν πολλές διαφορετικές παθητικές και ενεργές τεχνικές για να μειώσουν τις ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων και να αυξήσουν την ικανότητά τους να συλλαμβάνουν ή να παράγουν τη δική τους ενέργεια. Βασικά κλειδιά για την αξιοποίηση των τοπικών περιβαλλοντικών πόρων, όπως το φως της ημέρας, τα ηλιακά θερμικά κέρδη και ο αερισμός, αποτελούν η μελέτη και η ανάλυση του εκάστοτε τόπου.

Η ιδέα της βιωσιμότητας ή του οικολογικού σχεδιασμού προκύπτει από την ανάγκη της διασφάλισης ότι οι δράσεις και οι αποφάσεις μας σήμερα δεν θα εμποδίσουν τις ευκαιρίες των μελλοντικών γενεών.

Η περιβαλλοντική διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών στο Ρίο ντε Τζανέιρο το 1992, έπαιξε καταλυτικό ρόλο στην πορεία της κατασκευαστικής βιομηχανίας, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη εστίαση ενδιαφέροντος στην αειφόρο ανάπτυξη, συνοδευόμενη από βιώσιμο δομημένο περιβάλλον, ([10]Bokalders & Block, 2004).

Οι διαδρομές που μπορούν να οδηγήσουν σε ένα βιώσιμο οικοδομικό περιβάλλον είναι ποικίλες. Διάφοροι όροι που συνήθως χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη βιώσιμη αρχιτεκτονική είναι τα πράσινα κτίρια, η οικολογική δόμηση, το μηδενικό ενεργειακό αποτύπωμα. Όλες αυτές οι περιγραφές αναφέρονται περίπου στο ίδιο περιεχόμενο. Τα κτίρια δεν είναι απομονωμένες μονάδες που υπάρχουν από μόνα τους, αλλά αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του περιβάλλοντος και ως αυτό αντιδρούν με τη φύση γύρω τους.

Η ιδέα να χρησιμοποιηθεί το άχυρο στην κατασκευή γεννήθηκε από κάποιους πρωτοπόρους στη Νεμπράσκα, οι οποίοι ήρθαν αντιμέτωποι με την έλλειψη ξυλείας. Παρά την έλλειψη ξύλου βρέθηκαν με άφθονο άχυρο στην κατοχή τους, το οποίο το χρησιμοποίησαν αναπτύσσοντας την τεχνική κατασκευής με αχυρόμπαλες. Αντίστοιχα, στη Νότια Σουηδία για να αντιμετωπίσουν την έλλειψη ξυλείας, ανέπτυξαν την τεχνική της μισής ξυλόπηκτης κατασκευής, με στόχο να μειώσουν τη χρήση ξύλου στα κτίρια, ([1]Aronsson et al., 2002). Οι βασικοί λόγοι που ερευνητές και μηχανικοί στρέφονται στην κατασκευή βιώσιμων κατοικιών, είναι η εξάντληση των πόρων και πηγών ενέργειας, η μείωση της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, η οποία ευθύνεται για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς και η μείωση του συνολικού κόστους των κατασκευών. Παρατηρώντας το σύγχρονο περιβάλλον πρέπει να μελετηθούν οι δυνατότητες που μας παρέχει σήμερα αλλά και μελλοντικά, με σκοπό την προστασία του, αλλά και την σωστή αξιοποίηση του. Με γνώμονα την οικολογική συμπεριφορά μπορούν να χρησιμοποιηθούν οικοδομικά υλικά, τα οποία βρίσκονται σε αφθονία στο τοπικό περιβάλλον και έχουν τη δυνατότητα να παράγονται αλλά και να ανακυκλώνονται από την ίδια τη φύση. Τέτοιου είδους υλικά μπορούν να παραχθούν από φυσικές πρώτες ύλες, όπως καλλιέργειες, οι οποίες δεν παράγουν υψηλά ποσοστά ενέργειας και δεν απαιτούν υψηλές τεχνολογικές διαδικασίες.

Αφού μελετήθηκαν διαφορετικοί ορισμοί της βιωσιμότητας, ο Atkinson (2008) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι στο επίκεντρο της βιώσιμης ανάπτυξης δίνεται έμφαση στην ανθρώπινη ευημερία, αλλά και πώς να διατηρηθεί η ευημερία αυτή, μέσα στο χρόνο. Η ζήτηση από τους καταναλωτές για την οικοδόμηση βιώσιμότερων κατοικιών είναι αρκετά μεγάλη, γεγονός που οδηγεί στην αλλαγή του κτιριακού τομέα, από τη συμβατική κατασκευή στη βιώσιμη αρχιτεκτονική.

Τα οικολογικά κτίρια έχουν επίκεντρο την ενεργειακή απόδοση κατά τη χρήση, την πολύ καλή μόνωση της κατασκευής, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη συλλογή όμβριων υδάτων, ([2]Bevan & Woolley, 2008) . Η εξέλιξη αυτή μπορεί να διαπιστωθεί ανά τον κόσμο, όπου τα τελευταία χρόνια υπήρξε μια τεράστια εστίαση στα κτίρια χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και στα παθητικά σπίτια - «passive haus» (καλά μονωμένα σπίτια που απαιτούν ελάχιστη ή καθόλου ενέργεια για θέρμανση). Ωστόσο, το βιώσιμο κτίριο δεν είναι το ίδιο με το ενεργειακά αποδοτικό κτίριο. Η καλή ενεργειακή απόδοση είναι μόνο μία πτυχή της βιώσιμης οικοδόμησης. Η εξέλιξη προς

την ενεργειακή απόδοση αποτελεί σίγουρα ένα βήμα προς την οικοδόμηση βιωσιμότερης ανάπτυξης, αλλά αυτό που χρειάζεται είναι η ποικιλομορφία. Με αυτή την προοπτική, η ασβεστοκάνναβη μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική λύση στις σύγχρονες ενεργειακά αποδοτικές μεθόδους κατασκευής κτιρίων, προσθέτοντας περισσότερη ποικιλομορφία στην ευρεία κλίμακα βιώσιμης οικοδόμησης.

2. Κατασκευάζοντας με Άσβεστο:

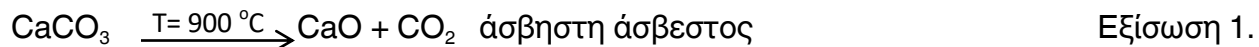
Η άσβεστος έχει χρησιμοποιηθεί σε κατασκευαστικές τεχνικές για πάνω από 5.000 χρόνια. Αρχαιολογικά στοιχεία δείχνουν πως η παρουσία της στον οικοδομικό τομέα ήταν τόσο έντονη, όλο αυτό το χρονικό διάστημα λόγω της ανθεκτικότητας, της αντοχής και των υδραυλικών ποιοτήτων της.

Οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν άσβεστο εκτενώς στο οικοδομικό τους σύστημα και εξευγένισαν την εφαρμογή της σε κονιάματα και σοβάδες, που παρέμειναν ως κύριο επιφανειακό επίχρισμα των κτιρίων μέχρι τον δέκατο ένατο αιώνα.

Σήμερα, το ενδιαφέρον για την άσβεστο ως οικοδομικό υλικό, αναβιώνει ταχύτατα από εκείνους που προτιμούν την εφαρμογή μίας πιο φυσικής λύσης για τις ανάγκες της κατασκευής τους. Η άσβεστος, ο γύψος και ο πηλός είναι ιδιαίτερα κατάλληλα υλικά για την κατασκευή κτιρίων με άχυρο ή άλλων μη εδώδιμων καλλιιεργειών. Αυτά τα φυσικά συνδετικά υλικά σε συνδιασμό με το άχυρο, το καουτσούκ, κ.λ.π. δημιουργούν έναν ισχυρό, συμπαγή, δομικό στοιχείο με καλή διαπνοή.

Η πρώτη ύλη για την παρασκευή ασβέστου είναι συνήθως ο ασβεστόλιθος, αλλά υπάρχουν και άλλες πηγές, όπως η κιμωλία, οι κοραλλιογενείς βράχοι, ή ακόμη και τα κοχύλια. Ο ασβεστόλιθος που περιέχει ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), θερμαίνεται σε κλίβανο με θερμοκρασία περίπου στους $900\text{ }^\circ\text{C}$, για να σχηματιστεί διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και οξείδιο του ασβεστίου (CaO), (Εξίσωση 1). Το οξείδιο του ασβεστίου που σχηματίζεται συνήθως αναφέρεται ως άσβηστη άσβεστος. Η άσβηστη άβεστος σε συνδυασμό με νερό μετατρέπεται σε υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)_2) και είναι ευρέως γνωστή με την ονομασία υδράσβεστος. (Εξίσωση 2). Η ενυδατωμένη άσβεστος αντιδρά με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) του ατμοσφαιρικού αέρα και δημιουργεί ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) μέσω μιας διαδικασίας γνωστή ως ενανθράκωση. Αυτή η αντίδραση είναι εξαιρετικά αργή, καθώς δημιουργείται ένα φιλμ ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3), γύρω από τα σωματίδια υδροξειδίου του

ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), καθιστώντας πιο δύσκολο για το διοξείδιο του άνθρακα να ενωθεί με τα υδροξείδια του ασβεστίου που δεν έχουν αντιδράσει.



Οι κονίες υδραυλικής ασβέστου παράγονται έπειτα από έψηση ασβεστολιθικών πρώτων υλών που περιέχουν αφενός ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και αφετέρου αργίλιο και φορείς διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2) σε ποσοστό από 15 έως 35%. Οι θερμοκρασίες που γίνονται οι αντιδράσεις είναι σημαντικότερα χαμηλότερες από εκείνες στις οποίες λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της πυροσυσσωμάτωσης, κατά τη διάρκεια παραγωγής του κλίνκερ (Dettmering, et al. 1996). Κατά την έψηση οι άργιλοι καταστρέφονται σε θερμοκρασίες από 400 έως 600°C, ενώ στο θερμοκρασιακό εύρος από 950 έως 1250°C αντιδρούν με το οξείδιο του ασβεστίου (CaO) και δημιουργούν ασβεστοπυριτικές και ασβεστοαργιλικές φάσεις, (Μαρκόπουλος). Οι ενεργές ενώσεις που δημιουργούνται από τα αργιλικά υλικά είναι διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), αλούμινα Al_2O_3 και οξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3), δίνοντας ένα επιπρόσθετο χημικό σύνολο, μαζί με τη διαδικασία της ενανθράκωσης, ([3]Paulien de Bruijn,2008). Τα ποιοτικά αλλά και τα ποσοτικά χαρακτηριστικά του αργιλικού και του πυριτικού υλικού που ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια της έψησης και δεσμεύεται από το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), σχηματίζοντας τις ασβεστοπυριτικές ενώσεις που είναι παρούσες σε μία υδραυλική κονία, καθορίζει και το βαθμό της υδραυλικότητάς της. Έτσι σύμφωνα με το βαθμό υδραυλικότητας κάθε κονία κατατάσσεται ως ασθενής, μέτρια και ισχυρά υδραυλική, ([22]Μαρκόπουλος, 2008). Προσθέτοντας ποζολάνες σε ασβεστόλιθο με μικρότερη περιεκτικότητα αργιλικών υλικών θα οδηγήσει σε ένα μεγαλύτερο υδραυλικό σύνολο. Σε σύγκριση με το τσιμέντο, η άσβεστος είναι ένα λιγότερο άκαμπτο και πιο διαπερατό υλικό, με χαμηλότερες μηχανικές αντοχές. Έχει υψηλό πορώδες, με αποτέλεσμα να δημιουργεί ένα ελαφρύτερο οικοδομικό υλικό. Πρώτες ύλες, αδρανή και πρόσθετα πρέπει να επιλέγονται με προσοχή, έχοντας κατά νου τις επιθυμητές τελικές ιδιότητες του οικοδομικού υλικού, ([3]Paulien de Bruijn). Η υδραυλική άσβεστος έχει την ιδιότητα να πήζει και να σκληραίνει όταν έρχονται σε επαφή με το νερό, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει θετικά στην διαδικασία

της σκλήρυνσης. Οι άσβεστοι διακρίνονται στις υδραυλικές και στις φυσικές υδραυλικές ασβέστους και δεν παράγονται βιομηχανικά στην Ελλάδα. Η άσβεστος είναι σχετικά ασθενής στην αντοχή σε θλίψη αλλά και στην αντοχή σε εφελκυσμό, με αποτέλεσμα οι τοιχοποιίες που είναι κατασκευασμένες από άσβεστο να έχουν ένα βαθμό ευελιξίας σε σχέση με τοιχοποιίες από σκυρόδεμα, το οποίο έχει υψηλή αντοχή και άρα μεγάλη αντίσταση στην κίνηση. Επίσης το υψηλό pH της ασβέστου προστατεύει τα συσσωματώματα κάρναβης από μούχλα και βακτήρια για μεγάλο χρονικό διάστημα, ([4]Evrard & de Herde, 2005)

3. Βιώσιμη Κατασκευή με Ασβεστοκάνναβη:

Η χρήση ανανεώσιμων γεωργικών καλλιεργειών ως πρώτων υλών για την οικοδομική βιομηχανία, οδηγεί στην ανάπτυξη ενός βιώσιμου δομημένου περιβάλλοντος. Ο τρόπος με τον οποίο το χτισμένο περιβάλλον καταναλώνει φυσικούς πόρους σημαίνει πως αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους συντελεστές στο παγκόσμιο και τοπικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, ([5]Woolley, 2006). Ως εκ τούτου, μια στροφή προς τη χρήση ανανεώσιμων υλικών στον τομέα των κατασκευών, όπως π.χ. μη εδώδιμες καλλιέργειες, είναι επιτακτική. Ο [6]Toledo et al., (2003) υπογραμμίζει τη σημασία της χρήσης φυτικών ινών στα σκυροδέματα, ιδιαίτερα σε μη βιομηχανικές χώρες, όπως η Ελλάδα. Ακόμη επισημαίνει ότι οι φυτικές ίνες είναι αρκετά φθηνές και άμεσα διαθέσιμες, ενώ απαιτούν χαμηλό βαθμό εκβιομηχάνισης για την επεξεργασία τους, καθώς και μικρή ποσότητα ενέργειας για την παραγωγή τους, με αποτέλεσμα το χαμηλό κόστος. Άλλα παραδείγματα μη εδώδιμων καλλιεργειών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κατασκευαστικά υλικά αποτελούν το λινάρι, ο μίσχανθος και το άχυρο δημητριακών.

Η χρήση γεωργικών καλλιεργειών σε ένα δομικό υλικό όπως η ασβεστοκάνναβη δημιουργεί ένα υλικό με χαμηλή πυκνότητα, μειώνοντας έτσι την ενέργεια που απαιτείται για τη μεταφορά του ([4]Evrard, 2003). Η άσβεστος απαιτεί λιγότερη ενέργεια από το τσιμέντο για να παραχθεί, με χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα, επειδή χρησιμοποιούνται κλίβανοι σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, ([5]Woolley, 2006, [4]Evrard, 2003). Ο [7]Boutin et al., (2005) αναφέρει ότι η ασβεστοκάνναβη έχει χαμηλό αντίκτυπο στο περιβάλλον και δυνητικά ευνοϊκές επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, κάτι που καταγράφει και ο [4]Evrard (2003) αναφέροντας την

αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα στις κατασκευές από ασβεστοκάνναβη. Κατά τη διάρκεια της ζωής τους τα φυτά απορροφούν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, ώστε να πραγματοποιηθεί η φωτοσύνθετική τους δραστηριότητα. Πρόκειται για ένα «ενάρετο» κύκλο: όσο ανεβαίνει το διοξείδιο, τόσο αυξάνεται η φωτοσύνθεση και τόσο τα φυτά απορροφούν περισσότερο διοξείδιο, πράγμα που στη συνέχεια τονώνει την ανάπτυξη των φυτών, ενισχύοντας έτσι τη φωτοσύνθεση. Ως εκ τούτου, όταν η κάνναβη μετά τη συγκομιδή χρησιμοποιείται ως δομικό υλικό, η ποσότητα διοξειδίου που έχει συλλέξει το φυτό, αποθηκεύεται μέσα στο υλικό σε όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου, χωρίς να απελευθερώνεται στο περιβάλλον.

Ο [7]Boutin et al., (2005) εκτιμά ότι ένα τετραγωνικό μέτρο από τοίχο ασβεστοκάνναβης αποθηκεύει μεταξύ 14 και 35 kg CO₂ με διάρκεια ζωής 100 έτη. Ακόμη, οι [2]Bevan & Woolley (2008) εκτιμούν ότι ένα κυβικό μέτρο ασβεστοκάνναβης μπορεί να δεσμεύσει 108 kg CO₂. Αυτό οφείλεται, όπως αναφέρεται παραπάνω, στην αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα από την κάνναβη αλλά και από το ξύλο κατασκευής του εσωτερικού σκελετού, καθώς και από την άσβεστο, η οποία χρησιμοποιεί το διοξείδιο του άνθρακα, κατά την σκλήρυνση.

Σημαντικό πλεονέκτημα της ασβεστοκάνναβης είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Η ενέργεια που καταναλώνεται στα κτίρια οφείλεται στην ανάγκη για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, αλλά και χρήση διάφορων εγκατεστημένων συσκευών και εξοπλισμών. Η ποσότητα κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και κλιματισμό, σε μια κατασκευή από ασβεστοκάνναβη μειώνεται σε μεγάλο βαθμό, λόγω καλύτερης θερμικής λειτουργίας του κτιρίου. Το ιδιαίτερο πορώδες του υλικού, αλλά και οι υγροσκοπικές ιδιότητες της κάνναβης, συμβάλλουν ενεργά στη διατήρηση των εσωτερικών θερμοκρασιών ενός κτιρίου σε ισορροπία, χωρίς επιπλέον τεχνητά συστήματα ψύξης-θέρμανσης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η ασβεστοκάνναβη μπορεί να λειτουργήσει ως φράγμα στην υγρασία με καλά αποτελέσματα στην αεροστεγανότητα, ιδίως όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με επιχρίσματα, που έχουν ως βάση την άσβεστο, ([2]Bevan & Woolley, 2008). Λόγω μείωσης των στρώσεων, εξαλείφεται η χρήση φράγματος υδρατμών πολυμερικής φύσης για την επίτευξη αεροστεγανότητας του κελύφους του κτιρίου, κάτι που είναι αναγκαίο σε ορισμένες μεθόδους κατασκευής.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ξυλόπηκτη κατασκευή, κατά την οποία είναι απαραίτητη η χρήση φραγμάτων υδρατμών πολυμερικής βάσης, ώστε να δημιουργηθεί ένα αεροστεγές κτιριακό περίβλημα, με σκοπό την αποτροπή της εισόδου του εσωτερικού αέρα, μέσα στα ψυχρότερα κομμάτια της κατασκευής. Αυτή η διαδικασία αεροστεγανότητας εμπεριέχει κινδύνους στις ραφές και στις συνδέσεις, οι οποίες δεν μπορούν να είναι απόλυτα προστατευμένες λόγω ασυνέχειας, με αποτέλεσμα η υγρασία να έχει την δυνατότητα εισχώρησης στην κατασκευή. Αυτό αυξάνει τις πιθανότητες μικροβιακής ανάπτυξης εσωτερικά του σκελετού.

Τέλος η ασβεστοκάνναβη έχει πολύ χαμηλό βάρος σε σύγκριση με άλλα συμβατικά κατασκευαστικά υλικά, όπως το τούβλο και το μπετό, κάτι που αποτελεί πλεονέκτημα και κατά την κατασκευή αλλά και κατά την κατεδάφιση ενός κτιρίου. Ακόμη, περιέχει χαμηλή ενσωματωμένη ενέργεια σε σχέση με άλλα οικοδομικά υλικά, αφού σε πλειονότητα περιέχει ανανεώσιμες πρώτες ύλες, γεωργικής προέλευσης όπως η κάνναβη.

4. Κατασκευές με Διάφορα Είδη Καλλιέργειας και Φυσικές Ίνες:

Η ασβεστοκάνναβη αποτελεί μία υπενθύμιση άλλων οικοδομικών υλικών και τεχνικών, είτε σύγχρονων, είτε ιστορικών. Αυτά τα κατασκευαστικά υλικά χρησιμοποιούν μη βρώσιμες καλλιέργειες ή άλλες φυσικές ίνες για να δημιουργήσουν βιώσιμες και ανθεκτικές κατασκευές. Ανάμεσα σε αυτά τα ιστορικά υλικά βρίσκουμε το Ρωμαϊκό τσιμέντο και την ξυλόπηκτη τοιχοποιία ή αλλιώς τσατμά.

4.1 Ρωμαϊκό τσιμέντο:

Το Ρωμαϊκό τσιμέντο είναι ένα αρχαίο οικοδομικό υλικό, στο οποίο ένας συνδετικός παράγοντας όπως η άσβεστος συνδιάζεται με σκύρα όπως η άμμος, ([8]Delatte, 2001). Η άσβεστος συνδιάζεται με ποζολάνες, ηφαιστιακά υλικά, καθώς και ινώδη οργανικά υλικά για να βελτιώσει την αντοχή σε σφελκυσμό, με σκοπό να εμποδίσει την καταστροφή του υλικού. Ο ασβέστης προερχόταν από τη θέρμανση ασβεστόλιθου σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία των 900 βαθμών, μια διαδικασία πολύ λιγότερο ενεργοβόρα σε σχέση με τις σημερινές.

Στην περίπτωση των βυθισμένων κατασκευών, οι οποίες πρέπει να αντιστέκονται στη διάβρωση του θαλασσινού νερού, οι Ρωμαίοι ακολουθούσαν μια αρκετά ασυνήθιστη

τακτική: ο ασβέστης αναμειγνυόταν με ηφαιστειακή τέφρα και στη συνέχεια έμπαινε σε ξύλινα καλούπια. Όταν τα καλούπια βυθίζονταν στη θάλασσα, το θαλασσινό νερό πυροδοτούσε μια εξώθερμη χημική αντίδραση, στην οποία ο ασβέστης ενσωμάτωνε μόρια νερού στη δομή του και αντιδρούσε με την τέφρα για να συγκρατήσει όλα τα υλικά του τσιμέντου στη θέση τους. Διάφορες αναλύσεις έδειξαν ότι η χρήση ηφαιστειακής τέφρας, η οποία περιείχε αλουμίνιο προσέφερε μια ασυνήθιστα σταθερή κρυσταλλική δομή στο σκυρόδεμα, (Το Βήμα).

Η χρήση της ασβέστου ως συνδετικό υλικό σε συνδυασμό με σκύρα και νερό δημιουργεί ένα οικοδομικό υλικό που έχει χρησιμοποιηθεί και έχει αποδείξει την ανθεκτικότητά του πάνω από μία χιλιετία. Μέσα από μία μετάφραση από τον [9]Winter (2006) ο συγγραφέας του *De Agri Cultura*, Cato (234-149 π.χ.), περιγράφει την κατασκευή μίας φάρμας με το παραπάνω υλικό. Το μίγμα που περιγράφει ο Cato πριν από περίπου δύο χιλιάδες χρόνια, περιέχει άσβεστο, σκύρα όπως πέτρα, χώμα, άμμο και άχυρο ως ινώδες οργανικό υλικό, καθώς και νερό, ώστε να δημιουργήσει το κατάλληλο οικοδομικό υλικό. Η χρήση της ασβέστου στις κατασκευές χρονολογείται ακόμη παλιότερα από αυτή την αναφορά. Σύμφωνα με τον Adam (1996) η άσβεστος ήδη χρησιμοποιούνταν σε επιχρίσματα στη Μικρή Ασία την έκτη χιλιετία π.χ, ([3]Paulien de Bruijn).

4.2 Ξυλόπηκτη Τοιχοποιία:

Μία ακόμη ιστορική μέθοδος κατασκευής είναι η ξυλόπηκτη τοιχοποιία. Σε αυτή την τεχνική χρησιμοποιείται ένας ξύλινος σκελετός με κάθετα και οριζόντια στοιχεία, ποικίλων διατομών και μορφής. Κατακόρυφοι και διαγώνιοι πήχεις στηρίζονται ή συνδέονται με τη φέρουσα κατασκευή. Ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η προσθήκη των δομικών στοιχείων από ξύλο στην τοιχοποιία αυξάνεται η ικανότητά του φορέα να παραλαμβάνει εφελκυστικές τάσεις και προσδίδεται πλαστικότητα. Πάνω στον σκελετό που δημιουργείται, τοποθετείται και συμπιέζεται το μίγμα πηλού και άχυρου, εσωτερικά και εξωτερικά του πλέγματος, μέχρι να ομογενοποιηθεί και να σχηματιστεί ένα ενιαίο στρώμα. Σε αυτή την τεχνική ο ξύλινος σκελετός αποτελεί τον φέροντα οργανισμό, ενώ ο πηλός με το άχυρο το υλικό πλήρωσης, το οποίο έχει αξιόλογες θερμομονωτικές ιδιότητες και υψηλή θερμική μάζα. Το άχυρο βελτιώνει την αντοχή της πλήρωσης. Υπάρχουν αρκετές ομοιότητες μεταξύ της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας και

της κατασκευής με ασβεστοκάνναβη, εφόσον και οι δύο χρησιμοποιούν ξύλινο σκελετό ως φέροντα οργανισμό σε συνδιασμό με πλήρωση που περιέχει ινώδες οργανικό υλικό, (άχυρο και κάνναβη). Στην ασβεστοκάνναβη η άσβεστος χρησιμοποιείται ως συνδετικός παράγοντας, αντικαθιστώντας τη λάσπη και την κοπριά της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας, ([3]Paulien de Bruijn).

4.3 Κατασκευές από αχυρόμπαλες:

Μία οικοδομική τεχνική η οποία χρησιμοποιεί μη βρώσιμες καλλιέργειες είναι η κατασκευή σπιτιών από αχυρόμπαλες. Αποτελεί μία σχετικά μοντέρνα κατασκευαστική τεχνική, η οποία προέκυψε στην Αμερική στα τέλη του 1800, εξαιτίας της εφεύρεσης της θεριζοαλωνιστική μηχανής, που δένει αυτόματα το άχυρο σε μπάλες, ([11]Jones, 2007, [5]Woolley, 2006). Όπως και στην περίπτωση της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας, οι άνθρωποι άσρχισαν να κατασκευάζουν σπίτια από άχυρο, εξαιτίας της μεγάλης παραγωγής και αποθήκευσης άχυρου, ξύλινων δοκαριών και άλλων οικοδομικών υλικών. Οι άποικοι στη Νεμπράσκα άρχισαν να κατασκευάζουν προσωρινά σπίτια από άχυρο, το οποίο αποτελούσε απόβλητο από την καλλιέργεια του σιταριού, ([11]Jones 2007).

Η κατασκευή με αυτή τη μέθοδο πραγματοποιείται με τις αχυρένιες μπάλες να στοιβάζονται η μία πάνω στην άλλη, με τρόπο ώστε να αποφευχθούν μεγάλες παραμορφώσεις μετά την κατασκευή. Στη συνέχεια, τα τοιχώματα των αχυρόμπαλων σοβατίζονται και από στις δύο πλευρές. Εάν είναι απαραίτητο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα εσωτερικό ξύλινο πλαίσιο ως φέροντας οργανισμός, με τα δέματα άχυρου να μετατρέπονται σε υλικό πλήρωσης ([5]Woolley, 2006). Τα πλεονεκτήματα της κατασκευής με αχυρόμπαλες είναι η καλή ακουστική και θερμική μόνωση ([5]Woolley, 2006). Ωστόσο, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να μην προκύψουν προβλήματα υγρασίας. Επιπροσθέτως, εκτός από της καλές θερμομονωτικές ιδιότητες, αυτή η μέθοδος ανήκει στην κατηγορία της βιώσιμης αρχιτεκτονικής, εφόσον χρησιμοποιούνται ανανεώσιμα τοπικά γεωργικά υλικά, ([14]Goodhew et al., 2004).

4.4 Τσιμέντο με ξυλόμαλλο:

Το τσιμέντο με ξυλόμαλλο αποτελεί ένα συγχρονο οικοδομικό υλικό, το οποίο κατασκευάστηκε για πρώτη φορά στην Αυστρία στις αρχές του 1908, ([15]Rückert, 2000). Το υλικό αποτελείται από ξυλόμαλλο, τσιμέντο και νερό. Στις συγχρονες μέρες το ξυλόμαλλο χρησιμοποιείται για τις θερμομονωτικές του και ηχομονωτικές του ιδιότητες, για τη ρύθμιση της υγρασίας και για την αντίστασή του στην αποσύνθεση από τα έντομα, ([15]Rückert, 2000 Wolfe & [16]Gjinolli 1997). Με αυτά τα πλεονεκτήματα μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν μονοκατοικίες από μπλοκ τσιμέντου με ξυλόμαλλο. Το υλικό διατίθεται με τη μορφή προκατασκευασμένων στοιχείων τοιχοποιίας ή ως υλικό χύτευσης. Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί αρκετά σπίτια από αυτό το υλικό αλλά όχι στην Ελλάδα, όπου χρησιμοποιείται ως θερμομονωτική και ηχομονωτική στρώση στην τοιχοποιία.

5. Ιστορία της Κάνναβης:

Η κάνναβη προέρχεται από την κεντρική Ασία και διαδόθηκε από εκεί στην Κίνα, όπου για πρώτη φορά αναφέρεται ως καλλιεργήσιμο φυτό το 2800 Π.Χ., (Fröier, 1960). Ο Fröier (1960) αναφέρει πως η κάνναβη μεταφέρθηκε από την Ασία στην Ευρώπη μέσω δύο διαφορετικών διαδρομών, η μία ήταν μέσω της Ρωσίας και των Βαλτικών χωρών και η άλλη μέσω των Μεσογειακών χωρών.

Στον Ελληνικό χώρο οι πρώτες αναφορές στην κάνναβη απαντώνται για πρώτη φορά τον 5ο αιώνα π.Χ. σε συγγραφικό έργο του «πατέρα της ιστορίας» Ηρόδοτου. Σχετικές αναφορές σε συγγράμματα αρχαίων Ελλήνων συγγραφέων αρχίζουν και πληθαίνουν από τον 5ο αιώνα π.Χ. και μετά. Μέσα από αυτές, γνωστοποιείται στον σύγχρονο κόσμο, ότι οι αρχαίοι Έλληνες καλλιεργούσαν και χρησιμοποιούσαν την κάνναβη, ως πρώτη ύλη για την κατασκευή караβόπανων, σχοινιών και υφασμάτων κάθε λογής, καθώς και ως θεραπευτικό αλλά και ως ευφορικό μέσο. Οι αρχαίοι Έλληνες πιστεύεται ότι διδάχτηκαν την καλλιέργεια της κάνναβης και την τεχνική επεξεργασίας των ινών της από τους γείτονές τους εξ' Ανατολής, (www.agro24.gr).

Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα και της Τουρκοκρατίας η καλλιέργεια της κάνναβης στην Ελλάδα συνεχίζεται σε αρκετά περιορισμένο βαθμό, λόγω των αλλεπάλληλων πολέμων και της μακροχρόνιας υποδούλωσής της από Φράγκους, Ενετούς και Τούρκους. Το 1875 περίπου, εκδηλώθηκε ουσιαστικά η πρώτη σοβαρή προσπάθεια

οργανωμένης καλλιέργειας κλωστικής κάνναβης, η οποία διαδόθηκε σημαντικά στα χρόνια που ακολούθησαν, (www.agrocapital.gr).

Μέχρι και τα μέσα του 20ού αιώνα, η κάνναβη αποτελούσε βασική γεωργική καλλιέργεια και εξαγωγίμο προϊόν. Είναι χαρακτηριστικό ότι, μέχρι το 1957, όπου με νόμο απαγορεύθηκε η καλλιέργεια του φυτού, λειτουργούσαν στην Ελλάδα επτά κανναβουργεία που επεξεργάζονταν την ίνα για τη δημιουργία σκοινιών. Ακόμη, εκείνη την περίοδο, ήταν πολύ διαδεδομένη και η ιδιωτική επεξεργασία του φυτού, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του νοικοκυριού για τσουβάλια, σχοινιά, ρούχα, δίχτυα κ.ά., (www.agrocapital.gr).

Λόγω αμερικανικών πιέσεων στο πλαίσιο της αντιναρκωτικής εκστρατείας, αλλά και η εμφάνιση του βαμβακιού, καθώς και η παραγωγή των συνθετικών ινών αργότερα, οδήγησαν στην εγκατάλειψη της καλλιέργειάς της σε διεθνές επίπεδο. Από 10,9 εκατ. στρέμματα, μέση ετήσια έκταση παγκοσμίως, την πενταετία 1948 - 1952, υποχώρησε στα 1,5 εκατ. στρέμματα την πενταετία 1987 - 1991, με κυριότερες χώρες καλλιέργειας την Κίνα, τον Καναδά, τις Ινδίες, την Αυστραλία, τη Ρωσία και την Ουγγαρία, (www.agrocapital.gr).

Παρόλα αυτά στις αρχές της δεκαετίας του '90, άρχισε η περίοδος αναβίωσης της κλωστικής κάνναβης. Ο βασικός λόγος ήταν ότι δημιουργήθηκαν νέες πολύ παραγωγικές ποικιλίες με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε ρητίνες THC (κάτω από 0.2%), ενώ αναπτύχθηκε και νέα τεχνολογία για την επεξεργασία της ίνας με χαμηλότερο κόστος. Αυτό το είδος καλλιέργειας αναφέρεται ως βιομηχανική κάνναβη και περιλαμβάνει την κλωστική και τη δομική, οι οποίες διαφέρει χημικά από τη φαρμακευτική. Έτσι η Ευρωπαϊκή Ένωση άρχισε να επιδοτεί ξανά την καλλιέργειά της. (www.agrocapital.gr).

6. Η Καλλιέργεια Κάνναβης στην Ελλάδα:

Τον Απρίλιο του 2016, η παραγωγή της κλωστικής κάνναβης νομιμοποιήθηκε από το ελληνικό κράτος φέρνοντας νέες ευκαιρίες στις αγορές, τόσο στο εγχώριο εμπόριο, όσο και προοπτικές για μελλοντικές εξαγωγές. Είναι γνωστό το γεγονός ότι οι τομείς της γεωργίας και της κτηνοτροφίας στην Ελλάδα έχουν σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης. Με το σωστό κλίμα, έδαφος και γεωγραφικό προφίλ ακόμη και οι πιο μη-συμβατικές καλλιέργειες μπορούν να ευδοκιμήσουν. Ως αποτέλεσμα της πρόσφατης

νομοθεσίας, ιδρύθηκε ο πρώτος συνεταιρισμός βιολογικής κλωστικής κάνναβης στην Ελλάδα, (kannabio.wordpress.com).

Η πρώτη σοδιά βιομηχανικής κάνναβης που καλλιεργήθηκε και συλλέχθηκε από τον συνεταιρισμό, χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ευρέος φάσματος προϊόντων, μεταξύ των οποίων τρόφιμα και ποτά, καλλυντικά και προϊόντα προσωπικής φροντίδας, καθώς και βιολογικά προϊόντα ελαιοποίησης. Επόμενος στόχος του συνεταιρισμού είναι να προχωρήσει στην κατασκευή βιομηχανικής μονάδας που θα μεταποιεί τη βιομηχανική κάνναβη σε κλωστική και δομική κάνναβη, με στόχο την παραγωγή ασβεστοκάνναβης ως οικοδομικό υλικό, (kannabio.wordpress.com).

Η μετατροπή των νόμων στην Ελλάδα είναι ένα πολύ πρόσφατο γεγονός και δεν έχει περάσει το απαραίτητο χρονικό διάστημα για την ανάπτυξη βιομηχανικών μονάδων παραγωγής και μεταποίησης βιομηχανικής κάνναβης. Παρόλα αυτά το κλίμα, το γεωγραφικό προφίλ της χώρας, αλλά και τα οικονομικά οφέλη που προσφέρει η χρήση της δημιουργούν εϋνοϊκές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη της βιομηχανίας στον Ελλαδικό χώρο.

Η βιομηχανική κάνναβη προσαρμόζεται σε διάφορα περιβάλλοντα. Είναι εαρινή καλλιέργεια και ευδοκimei καλύτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 15-27 βαθμούς Κελσίου. Στην Ελλάδα η σπορά της βιομηχανικής κάνναβης, ιδανικά γίνεται από τα μέσα Μαρτίου μέχρι τα μέσα-τέλος Απριλίου, ανάλογα με την περιοχή, διότι η θερμοκρασία του εδάφους πρέπει να ανέβει πάνω από τους 10 βαθμούς Κελσίου. Η ξηρασία και ο καύσωνας μειώνουν την απόδοση αλλά και το μέγεθος των ινών. Επίσης, η βιομηχανική κάνναβη δεν ανέχεται τον παγετό, την ανεπαρκή υγρασία αλλά και τις πολύ υγρές συνθήκες (π.χ. πλημμύρες), (kannabio.wordpress.com).

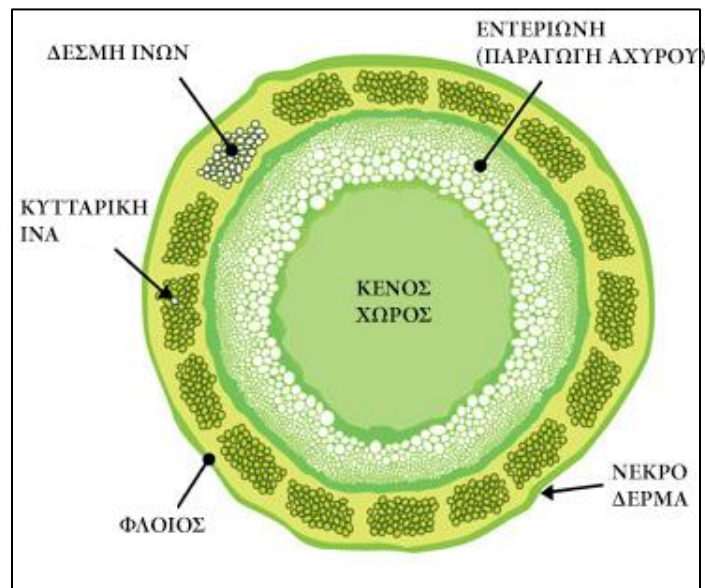
Είναι ένα φυτό μικρού προς μέσου βιολογικού κύκλου (90-150 ημερών), ανάλογα με την ποικιλία και τον σκοπό της καλλιέργειας. Το φυτό αναπτύσσεται με μια μέση ανάπτυξη τα 50 εκ. το μήνα και μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 3-5 μέτρα ύψος. Η καλλιέργεια κάνναβης δεν απαιτεί φυτοφάρμακα ([2]Bevan & Woolley, 2008) αλλά μόνο λίγα λιπάσματα. Μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί ως μέρος μιας καλλιέργειας, ώστε να αποφευχθεί η προσβολή των ζιζανίων σε ένα χωράφι ([18]Holstmark, 2006). Η συγκομιδή γίνεται τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο, ανάλογα με την περιοχή (kannabio.wordpress.com).

7. Ανατομία της Κάνναβης:

Η κάνναβη είναι ένα ταχέως αναπτυσσόμενο ετήσιο φυτό. Αποτελεί μέλος της οικογένειας των Κανναβοειδών και ανήκει στο γένος των Κνιδωδών, (στο οποίο περιλαμβάνεται και η οικογένεια της τσουκνίδας). Παράγει, είτε αρσενικές, είτε θηλυκές αναπαραγωγικές δομές, με τη βιομηχανική κάνναβη να είναι αρσενικού γένους. Το φυτό περιλαμβάνει ένα μόνο είδος, την ήμερη Κάνναβη (*Cannabis sativa*) και υπάρχει στη φύση σε περισσότερες από εκατό παραλλαγές (*cannabis indica*, *cannabis ruderalis*, κ.α.), που διαφέρουν μεταξύ τους, κυρίως ως προς την περιεκτικότητά τους σε ορισμένες δραστικές ουσίες, (el.wikipedia.org). Οι πρώτες ύλες που παράγονται από την κάνναβη, όπως οι ίνες και το άχυρο συνήθως διαχωρίζονται ανάλογα τη χρήση τους. Ιστορικά το άχυρο κάνναβης το οποίο προέρχεται από την εντεριώνη των στελεχών, αποτελούσε παραπροϊόν των βιομηχανιών παρασκευής ινών κάνναβης και πωλούνταν είτε για καύση, είτε ως υλικό για στρωμή αλόγων ιππασίας (εφημερίδα "Καθημερινή, άρθρο Λίνας Γιάνναρου). Παρόλα αυτά το άχυρο κάνναβης τις συγχρονες μέρες χρησιμοποιείται σε προϊόντα υψηλότερης ποιότητας, όπως η δομική ασβεστοκάνναβη. Σε σχέση με άλλα φυτικά σκυροδέματα στην ασβεστοκάνναβη χρησιμοποιείται μόνο το υλικό από την εντεριώνη και όχι οι ίνες.

Ο βλαστός της κάνναβης μπορεί να διαχωριστεί σε ίνες, άχυρο και σπόρους. Οι ίνες κάνναβης βρίσκονται στον εσωτερικό φλοιό του βλαστού. (Σχήμα 1.) Οι ίνες κάνναβης έχουν υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό ([19]Bledzki & Gassan, 1999) και πλεονεκτούν στην παραγωγή χαρτιού, υφασμάτων και σύνθετων υλικών με φυσικές ίνες.

Σύμφωνα με τον [20]Karus (2005), οι



Εικόνα 1. Τομή βλαστού κάνναβης.

εφαρμογές των ινών κάνναβης στην Ευρώπη είναι η βιομηχανία χαρτοπολτού και χατιού, η δόμηση, η μόνωση (μονωτικά χαλιά) και η αυτοκινητοβιομηχανία.

Οι σπόροι κάνναβης στην Ευρώπη σήμερα, πωλούνται κυρώς ως τροφή ζώων και πουλιών. Ωστόσο, λόγω των θρεπτικών ιδιοτήτων τους, οι σπόροι κάνναβης έχουν επίσης μεγάλο ενδιαφέρον και στον τον τομέα των ανθρώπινων τροφίμων ([20]Karus, 2005). Στην Αμερική στα τέλη του 19^{ου} αιώνα το άχυρο κάνναβης χρησιμοποιούνταν ακόμη ως προϊόν καύσης, ([21]Roulac, 1995).

Το άχυρο κάνναβης, που προέρχεται από την εντεριώνη καταλαμβάνει από 40% μέχρι 60% της συνολικής μάζας του βλαστού του φυτού, ([4]Evrard, 2003). Στην Ευρώπη, τόσο ο [4]Evrard (2003) όσο και ο [17]Fröier K. (1960) αναφέρουν ότι το άχυρο κάνναβης ιστορικά χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο για την ξήρανση των μίσχων κάνναβης πριν από το διαχωρισμό των ινών. Ο διαχωρισμός μεταξύ των ινών και της εντεριώνης για την παραγωγή του δομικού άχυρου είναι απαραίτητος, διότι διαφέρουν στη χημική τους σύνθεση και δεν μπορούν να συνεργαστούν για την παραγωγή της ασβεστοκάνναβης.

8. Σκυρόδεμα Ασβεστοκάνναβης:

Το ενδιαφέρον για τη χρήση της ασβεστοκάνναβης, ως δομικό υλικό έχει μεγαλώσει πολύ τα τελευταία χρόνια. Η ασβεστοκάνναβη αποτελείται από το συνδιασμό άχυρου κάνναβης, που λειτουργεί ως σκύρα και συνδετικό υλικό με βάση την άσβεστο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δομικό – πληρωτικό υλικό για την κατασκευή τοιχοποιίας. Η ασβεστοκάνναβη έχει πολλές ευεργετικές ιδιότητες ως υλικό, όπως οι πολύ χαμηλές επιπτώσεις στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά η χρήση της ασβεστοκάνναβης στον σύγχρονο κατασκευαστικό τομέα είναι περιορισμένη, λόγω περιοριστικών νόμων καλλιέργειας του φυτού.

Πρώτη φορά που η κάνναβη εισάγεται ως δομικό υλικό, είναι στη Γαλλία στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ελαφρών σκυροδεμάτων. ([4]Evrard et al., 2006). Μετά από τις πρώτες μελέτες η χρήση της κάνναβης σε συνδιασμό με την άσβεστο έχει εξελιχθεί σε περισσότερο συμβατικό υλικό και διατίθεται στο εμπόριο από πολλές εταιρίες κυρίως στη Γαλλία και στην Αγγλία.

Το άχυρο κάνναβης αναμιγνύεται με συνδεδετικά κονιάματα δομικών ασβέστων για να δημιουργηθεί ένα οικοδομικό υλικό, το οποίο παρέχει καλές θερμικές και ακουστικές μονωτικές ιδιότητες ([4]Envard, 2003), αλλά και χαμηλές περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις ([7]Boutin et al., 2005). Επίσης, το υλικό είναι διαπερατό από υδρατμούς (αναπνέει), με αποτέλεσμα να παρέχει ρύθμιση της υγρασίας με παθητικό τρόπο. Ο έλεγχος της υγρασίας είναι επωφελής τόσο για την ανθρώπινη υγεία, διότι βελτιώνει την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, όσο και για τη διατήρηση της ποιότητας του κελύφους του κτιρίου. Μπορούν να παραχθούν διαφορετικά επίπεδα μόνωσης, τα οποία επιτυγχάνονται με τη χύτευση υλικού σε διάφορα πάχη. Βέβαια, το πιο συνηθισμένο πάχος τοιχοποιίας σε μία νέα κατασκευή από ασβεστοκάνναβη είναι 300mm ή 350mm. Ακόμη, στις νέες κατασκευές, η ασβεστοκάνναβη χρησιμοποιείται συχνότερα για την κατασκευή τοίχων, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μονωτικών πλακών δαπέδου, μόνωση στέγης, αλλά και ολόκληρη οροφή. Η θερμική απόδοση που επιτυγχάνεται ποικίλλει ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται, (www.ukhempcrete.com)

Επιπλέον ως κατασκευαστική μέθοδος επιτρέπει την απλοποίηση και τη μείωση του αριθμού των στρώσεων των υλικών που χρησιμοποιούνται στην τοιχοποιία ([5]Woolley, 2006). Ένας τοίχος από ασβεστοκάνναβη είναι μονοστρωματικός, δηλαδή αποτελείται μόνο από το μίγμα τις ασβεστοκάνναβης σε συνδυασμό με ένα εξωτερικό επίχρισμα, το οποίο προστατεύει τον τοίχο από τις καιρικές καταπονήσεις. Κατ' επέκταση, προβλήματα ασυνέχειας στις τοιχοποιίες αποφεύγονται, σε σύγκριση με συμβατικές κατασκευαστικές μεθόδους, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι πιθανότητες θερμικών γυφιών.

Για την κατασκευή τοιχοποιίας, στην απλούστερη μορφή της, χρησιμοποιούνται μόνο τρία διαφορετικά υλικά (άσβεστος, κάνναβη, ξυλεία), τα οποία προσκολλώνται στενά μεταξύ τους. Οι τοίχοι από ασβεστοκάνναβη χυτεύονται γύρω από ένα δομικό ξύλινο σκελετό, ο οποίος λειτουργεί ως φέροντας οργανισμός, δεδομένου ότι το υλικό δεν είναι αρκετά ισχυρό από μόνο του να φέρει μεγάλα φορτία. Αν και έχει κάποια θλιπτική αντοχή, αυτή δεν είναι αρκετή ώστε να στηρίξει το βάρος της οροφής και του δαπέδου. Η ασβεστοκάνναβη όμως, παρέχει καλή αντοχή σε εφελκυσμό, με αποτέλεσμα η χρήση της ξυλείας να μπορεί να ελαχιστοποιηθεί, με τη σωστή και καλή μελέτη σχεδιασμού του ξύλινου σκελετού, (www.ukhempcrete.com).

Τα επιχρίσματα, που χρησιμοποιούνται για την προστασία της τοιχοποιίας, εσωτερικά και εξωτερικά, είναι κυρίως ασβεστοκονιάματα, τα οποία τοποθετούνται απευθείας στην επιφάνεια της ασβεστοκάνναβης, χωρίς να προστίθονται επιπλέον υλικά στο βασικό τοίχωμα. Έκτος από τα επιχρίσματα υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθεί εξωτερική επένδυση από ξύλο, τούβλο, πέτρα κ.λ.π. εάν είναι επιθυμητό, (www.ukhempcrete.com).

Είναι απολύτως εφικτό να κατασκευαστούν μεγάλα κτίρια, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με δομικό σκελετό κατασκευασμένο από χάλυβα, ο οποίος μπορεί να φιλοξενήσει αρκετούς ορόφους από χυτή ασβεστοκάνναβη. Ωστόσο, είναι πιθανό ο σκελετός να σχεδιάζεται με πολυπλοκότερη μορφή. με σκοπό την αύξηση της αντοχής του. Σε αυτή την περίπτωση, ταχύτερη και οικονομικότερη λύση είναι η χρήση των προκατασκευασμένων επιφανειών ή τούβλων από ασβεστοκάνναβη σε σχέση με την χύτευση του μίγματος, (www.ukhempcrete.com).

Η συνηθέστερη συνταγή για το συνδετικό κονίαμα περιέχει υδραυλική άσβεστο για την ανάπτυξη αντοχών του υλικού, αλλά και υδράσβεστο. Διάφορες μελέτες έχουν αποδείξει πως μέσα στο μίγμα μπορούν να προστεθούν και άλλα υλικά για τη βελτίωση διάφορων ιδιοτήτων του υλικού, όπως τσιμέντο, ποζολάνες ή διάφορα πρόσθετα.

8.1 Τσιμέντο:

Η προσθήκη τσιμέντου στο μίγμα έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές με σκοπό να αυξήσει τις αντοχές του υλικού. Τα περισσότερα αποτελέσματα έδειξαν πως όσο αυξάνεται το τσιμέντο αυξάνονται και οι αντοχές, αλλά σε πολύ μικρό ποσοστό, με τις τιμές να παραμένουν κάτω από 1 MPa. Κατά συνέπεια, το υλικό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φέροντας οργανισμός και ο ξύλινος σκελετός παραμένει απαραίτητος για την ανάπτυξη αντοχών της τοιχοποιίας.

Με την προσθήκη τσιμέντου, όπως είναι αναμενόμενο, το υλικό χάνει ποσοστό της αειφορίας του και αποκτά περισσότερη ενσωματωμένη ενέργεια, οπότε η χρήση του καλό είναι να αποφεύγεται. Άλλος ένας λόγος που το τσιμέντο είναι ακατάλληλη προσθήκη στο μίγμα της ασβεστοκάνναβης, είναι το μεγάλο ποσοστό υδραυλικότητάς του. Το τσιμέντο αποτελείται από διάφορες ενώσεις οι οποίες σχηματίζονται από κύρια οξειδία, συγκεκριμένα, οξείδιο του ασβεστίου, διοξείδιο του πυριτίου, αλουμίνα και οξείδιο του σιδήρου. Αυτά τα οξειδία μορφοποιούνται ταχύτερα από την άσβεστο

και αλλάζουν χημικά κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης. Το τσιμέντο είναι απόλυτα υδραυλικό και καθώς μορφοποιείται προσλαμβάνει νερό. Οι [4]Evrard και Herde (2005) πιστεύουν ότι η πλούσια άσβεστος (οξειδίο του ασβεστίου) είναι καταλληλότερη για τη δημιουργία ασβεστοκάνναβης σε σχέση με το τσιμέντο. Ο βασικός λόγος που τους οδηγεί σε αυτό το συμπέρασμα είναι η διαδικασία αργής ανθρακώσεως του ασβέστη, η οποία είναι συμβατότερη με την γρήγορη πρόσληψη νερού από τα συσσωματώματα κάνναβης, σε σύγκριση με τις αντιδράσεις ενός υδραυλικού συνδετικού όπως το τσιμέντο. Ακόμη, Τα φυτά περιέχουν πολυσακχαρίτες υδατανθράκων, οι οποίοι μεταναστεύουν μέσα στην τσιμεντένια μήτρα και αντιδρούν με τις αντιδράσεις ενυδάτωσης του συνδετικού, επιβραδύνοντας την ένυδρη μορφοποίηση, ([23]Peschard A, Govin A, Pourchez J, et al., 2006, [24]Laskowski J., Liu Q., O' Conor C., 2007).

8.2 Ποζολάνες:

Η ανακάλυψη των ιδιοτήτων της ποζολάνης έγινε από τους Ρωμαίους. Το όνομά της προέρχεται από το χωριό Ποτσοζόλι (Pozzuoli) της Ιταλίας στην περιοχή του Βεζούβιου απ' όπου εξορύχθηκαν σημαντικές ποσότητες από τους Ρωμαίους. Η ποζολάνη ήταν συστατικό του Ρωμαϊκού σκυροδέματος το οποίο αποτέλεσε σημαντική καινοτομία των Ρωμαίων στις κατασκευές, (el.wikipedia.org).

Οι ποζολάνες είναι λεπτόκοκκες ανόργανες κονίες με μορφή πούδρας. Περιέχουν οξείδια πυριτίου, αργιλίου, ασβεστίου, σιδήρου και αλκαλικά υλικά, στα οποία επέδρασαν υψηλές θερμοκρασίες. Όταν αναμιχθούν σε πολύ λεπτόκοκκη μορφή με υδροξείδιο του ασβεστίου αποκτούν συνδετικές ιδιότητες και εμφανίζουν σε συνεργασία με το νερό υδραυλικές ιδιότητες παρόμοιες με το τσιμέντο, (fysiki-domisi.blogspot.gr).

Οι ποζολάνες προέρχονται είτε από τη φύση (φυσικές ποζολάνες), είτε από τεχνητές πηγές, όπως η σκωρία υψικάμινων, η ιπτάμενη τέφρα από την καύση λιθάνθρακα ή λιγνίτη, η πυριτική παιπάλη -silica fume- (κράματα σιδηροπυριτίου) και τα λεπτοκονιορτοποιημένα κεραμικά (κεραμάλευρο), (fysiki-domisi.blogspot.gr).

Η φυσική ποζολάνη είναι ορυκτό ηφαιστειακής προέλευσης (ηφαιστειακοί τόφφοι) και περιέχει υψηλό ποσοστό ενεργού διοξειδίου του πυριτίου αλλά και οξείδιο του αργιλίου, δηλαδή αλούμινα. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ορυκτών που έχει ποζολανικές ιδιότητες και αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν φυσικές ποζολάνες. Φυσικές

ποζολάνες είναι η ηφαιστειακή τέφρα μαγματογενών πετρωμάτων, όπως η θηραϊκή γη και το Trass του Ρήνου, ή η τέφρα μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων, που περιέχουν υψηλό ποσοστό ενεργού αργίλου, (fysiki-domisi.blogspot.gr).

Όταν οι ποζολάνες εισάγονται σε μίγματα με άσβεστο βοηθούν στη βελτίωση του χρόνου μορφοποίησης, καθώς και στη ρύθμιση της ποιότητας του κονιάματος. Προστίθοντας ποζολάνες τα χαρακτηριστικά του μίγματος τροποποιούνται. Η βελτίωση της μορφοποίησης προκύπτει από την ύπαρξη του πυριτίου και της αλούμινας παρουσία νερού. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται υδραυλική μορφοποίηση ([25]Holmes & Wingate, 1997). Οι ποζολάνες τονώνουν και βελτιώνουν την υδραυλική μορφοποίηση. Τέλος, βελτιώνουν την εργασιμότητα του μίγματος μειώνοντας τη συνολική ποσότητα νερού. Βέβαια η εργασιμότητα δεν πρέπει να αυξάνεται πολύ γιατί μειώνονται οι τελικές αντοχές.

8.2.1 Ιπτάμενη Τέφρα:

Η ιπτάμενη τέφρα αντιδρά με την οικοδομική άσβεστο (υδροξείδιο του ασβεστίου) κατά την παρασκευή του συνδετικού μίγματος με αποτέλεσμα να παράγεται ένυδρο πυριτικό ασβέστιο, (CSH):



Η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί στερεό απόβλητο προϊόν (ή παραπροϊόν), το οποίο παράγεται σε εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από καύση άνθρακα, με αποτέλεσμα να είναι ευρέως διαθέσιμο. Χρησιμοποιώντας ιπτάμενη τέφρα μέσα σε ένα συνδετικό μίγμα, μειώνεται ο κίνδυνος εναπόθεσης τοξικών ουσιών από τη διασπορά ιπτάμενης τέφρας στο περιβάλλον. Επιπλέον, με τη χρήση της ιπτάμενης τέφρας, αντικαθιστώντας ένα ενεργειακά απαιτητικό υλικό, όπως το τσιμέντο (ή στην περίπτωση της ασβεστοκάνναβης, ποσοστό της υδράσβεστου), εξοικονομείται ενέργεια για παραγωγή του συνδετικού υλικού. Δυστυχώς, η ιπτάμενη τέφρα από μόνη της, δεν είναι ένα φιλικό προς το περιβάλλον προϊόν. Η άμεση εισπνοή υψηλών συγκεντρώσεων ιπτάμενης τέφρας μπορεί να προκαλέσει πιθανά προβλήματα υγείας, (EPRI, 1998).

8.2.2 Σκωρία Υψικαμίνων, (GGBS):

Η σκωρία υψικαμίνων είναι υποπροϊόν, που προκύπτει από τη διαδικασία παραγωγής ατσαλιού και σιδήρου. Δημιουργείται από μια ρυπογόνο βιομηχανία και αποτελεί ένα

απόβλητο προϊόν, το οποίο εναποτίθεται σε υγειονομική ταφή. Αποτελεί υδραυλικό υλικό, το οποίο ενυδατώνεται με την παρουσία νερού και πολλές φορές δεν θεωρείται πραγματική ποζολάνη. Η αυτοενυδάτωση της σκωρίας είναι μία πολύ αργή διαδικασία, αλλά η άσβεστος λειτουργεί ως ενεργοποιός δύναμη, (Elsevier Ltd., 1988). Η αντίδραση ενυδάτωσης της σκωρίας συνοδεύεται από μία βραδύτερη ασβεστοποζολανική αντίδραση: το άμορφο πυρίτιο και η αλούμινα μέσα στη λάσπη αντιδρούν με την άσβεστο σχηματίζοντας επιπρόσθετα ενυδατωμένα προϊόντα.

8.2.3 Θηραϊκή Γη:

Η θηραϊκή γη, ή αλλιώς ηφαιστειακή γαία, είναι ανόργανο, ποζολανικό υλικό με υδραυλικές ιδιότητες. Έχει πάρει το όνομα της από το νησί Θήρα, όμως μπορεί να βρεθεί και σε άλλες περιοχές. Οι ιδιότητες της θηραϊκής γης είναι γνωστές από την αρχαιότητα καθώς γνωρίζουμε πως υπήρξε βασικό συστατικό του "δυαδικού τσιμέντου" δηλαδή ενός μείγματος εφάμιλλου του σημερινού τσιμέντου που αποτελούνταν από την ανάμειξη θηραϊκής γης, υδράσβεστου και άμμου. Σήμερα, η θηραϊκή γη χρησιμοποιείται για την ενίσχυση κονιαμάτων καθώς η ένωση της με την υδράσβεστο σχηματίζει ασβεστοπυριτικές ενώσεις που με την παρουσία υγρασίας σκληραίνουν το κονίαμα, εξασφαλίζοντας έτσι υψηλή αντοχή, υδραυλικότητα και μεγάλη διάρκεια ζωής, (www.kourasanit.com).

8.3 Άχυρο Κάνναβης:

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το άχυρο κάνναβης προέρχεται από την εσωτερική επιδερμίδα του βλαστού που ονομάζεται εντεριώνη. Ο διαχωρισμός μεταξύ των ινών και της εντεριώνης για την παραγωγή του δομικού αχύρου είναι απαραίτητος, διότι διαφέρουν στη χημική τους σύνθεση και δεν μπορούν να συνεργαστούν για την παραγωγή καλών ιδιοτήτων στην ασβεστοκάνναβη. Σε σύγκριση με το άχυρο κάνναβης, οι ίνες περιέχουν υψηλά ποσοστά κυτταρίνης και πηκτίνης, με χαμηλή περιεκτικότητα σε λιγνίνη, ιδιότητες που τις καθιστά κατάλληλες για την παραγωγή χαρτιού και κλωστής ([26]Van der Werf, 1994). Η εντεριώνη έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε πηκτίνη, γεγονός που την καθιστά καταλληλότερη για τη δημιουργία δομικού υλικού, σε συνδιασμό με συνδετικό την άσβεστο. Η πηκτίνη είναι γνωστή ως χηλικός παράγοντας, ([27]Dalmay *et al.*, 2010) και μπορεί να αντιδράσει με ασβεστικά ιόντα σε αλκαλικό περιβάλλον, ([28]Sedan *et al.*, 2007).

Όταν τοποθετούνται ίνες κάνναβης μέσα στο μίγμα αυξάνεται η περιεκτικότητα σε πηκτίνη, καθώς και η συγκέντρωση πυριτίου. Κατά συνέπεια, το πυρίτιο δεν μπορεί να δημιουργήσει ίζημα με το ασβέστιο και να παράξει ένυδρο πυριτικό ασβέστιο, επειδή τα σβεστικά ιόντα δεν είναι διαθέσιμα, εφόσον δεσμεύονται με την πηκτίνη που περιέχουν οι ίνες κάνναβης. Το ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (CSH) είναι υπεύθυνο για την σκλήρυνση του μίγματος, με αποτέλεσμα, η εισαγωγή των ινών στο μίγμα να καθυστερεί τη μορφοποίηση, ([28]Sedan et al., 2008). Ακόμη, έχουν μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό και θεωρητικά θα μπορούσαν να αυξήσουν τις μηχανικές ιδιότητες του μίγματος, αλλά έχει αποδειχτεί από προηγούμενα πειράματα πως το μέτρο ελαστικότητας και η ακαμψία μειώνονται, ([29]Sedan et al., 2008, Le Troëdec et al., 2009). Από τις ίνες κάνναβης μπορούμε να παράξουμε εξαιρετικά μονωτικά πανέλα.

Όταν προστίθεται μόνο άχυρο κάνναβης στην ασβεστοκάνναβη δημιουργείται ένα πιο ομογενοποιημένο μίγμα σε σχέση με εκείνο που περιέχει ίνες, ([4]Evrard et al., 2006). Άλλο ένα πλεονέκτημα του αχύρου είναι, πως κατά τη συμπίεση τα σωματίδια κάνναβης επιπεδοποιούνται και δεν σπάνε, ([4]Evrard, 2003).

Τέλος η εντεριώνη είναι κατασκευασμένη από μικρές φλέβες, μέσω των οποίων κυκλοφορεί το νερό και οι χυμοί στο φυτό. Αυτή η κυτταρική μορφή μοιάζει πολύ με κηρήθρα και συμβάλει ευνοϊκά στις μονωτικές και υγροσκοπικές ιδιότητες του αχύρου κάνναβης, ([4]Evrard, 2003).

9. Κατασκευαστικές Μέθοδοι:

Υπάρχουν τρεις οικοδομικές μέθοδοι για την κατασκευή τοιχοποιίας με ασβεστοκάνναβη. Όλες χρησιμοποιούν εσωτερικό ξύλινο σκελετο, ο οποίος λειτουργεί ως φέροντας οργανισμός και προσφέρει μηχανικές αντοχές στην κατασκευή. Οι κατασκευαστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Μέσω Συμπίεσης (Tamping).
- Μέσω Ψεκασμού (Spraying).
- Με Προκατασκευασμένα Τούβλα (Block).

9.1 Μέθοδος Συμπίεσης:

Για την κατασκευή χρησιμοποιούνται φύλλα από κόντρα πλακέ, τα οποία προσωρινά προσαρτώνται και από τις δύο πλευρές του φέροντος ξύλινου πλαισίου, δημιουργώντας ένα καλούπι το οποίο γεμίζεται με την ασβεστοκάνναβη. Το μίγμα της ασβεστοκάνναβης συμπιέζεται είτε με το χέρι, είτε με κάποια άλλη συμπιεστική μηχανή, όπως μία ξύλινη σανίδα, ώστε να εξαλειφθεί οποιοδήποτε μεγάλο κενό αέρος μέσα στο υλικό. Αρκετά σημαντικός παράγοντας για την σωστή μορφοποίηση του υλικού αποτελεί η συμπίεση, η οποία δεν πρέπει να οδηγεί στη δημιουργία μεγάλης πυκνότητας στο υλικό, διότι αυτό προκαλεί φτωχότερες θερμικές ιδιότητες στην τελική τοιχοποιία. Από την άλλη πλευρά κατά την συμπίεση η δύναμη που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι αρκετά έντονη ώστε να μειωθούν στο λιγότερο βαθμό, τα μεγάλα κενά αέρος μέσα στο υλικό, ([30]Erven, 2007). Τα φύλλα από κόντρα πλακέ πρέπει να αφαιρούνται αμέσως μόλις τοποθετηθεί το μίγμα της ασβεστοκάνναβης στο καλούπι και πήξει σε σημείο που να μπορεί να σταθεί από μόνο του, ([31]Carpenter, 2006).



Εικόνα 2.: Συμπιεσμένη ασβεστοκάνναβη μετά την αφαίρεση των προσωρινών καλουπιών. (<http://www.weststructure.co.uk/>).



Εικόνα 3.: Συμπιεσμένη ασβεστοκάνναβη μετά την αφαίρεση των προσωρινών καλουπιών, (<http://www.greenbuildermedia.com>).

9.2 Μέθοδος Ψεκασμού:

Σε αυτή τη μέθοδο δημιουργείται ένα ξηρό μίγμα που αποτελείται από άχυρο κάνναβης και το συνδετικό υλικό, το οποίο ψεκάζεται μέσω ενός σωλήνα με τη δύναμη της ροής συμπιεσμένου αέρα. Το νερό ενσωματώνεται ακριβώς πριν την έξοδο της μάνικας και ρυθμίζεται από το χειριστή μέσω μίας βαλβίδας. Για την κατασκευή τοποθετούνται προσωρινά φύλλα κόντρα πλακέ από τη μία πλευρά του

φέροντος ξύλινου πλαισίου και η ασβεστοκάνναβη ψεκάζεται μέσω της ειδικής ψεκαστικής μηχανής κατευθείαν πάνω στο κόντρα πλακέ. Το μίγμα προσκολλάται επαρκώς στις σανίδες χωρίς να χρειάζεται περεταίρω υποστήριξη, ώστε να παραμείνει στη θέση του. Η μέθοδος ψεκασμού προκαλεί μικρή πυκνότητα εξαιτίας της απόστασης και της γωνίας ψεκασμού, ([32]Collet, Petrot, 2014).



Εικόνα 4.: Μέθοδος ψεκασμού ασβεστοκάνναβης, (www.kenderbetonhaz.hu).



Εικόνα 5.: Μέθοδος ψεκασμού ασβεστοκάνναβης, (cannabisdigest.ca).

Μετά την ανάμειξη και τη διαμόρφωση και με τις δύο μεθόδους, η ασβεστοκάνναβη χρειάζεται αρκετές ημέρες για να ωριμάσει και να σκληρύνει. Η όλη διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε εργοτάξιο, αλλά είναι αργή, ακατάστατη και εξαρτώμενη από τις καιρικές συνθήκες. Η ασβεστοκάνναβη χρειάζεται ξηρό κλίμα ενώ κατά την ωρίμανση καλό είναι να εγκατασταθεί μία επιπρόσθετη επένδυση με σκοπό την προστασία από βροχές. Ως εκ τούτου, κατά την κατασκευή οι καλές περιβαλλοντικές συνθήκες αποτελούν πρώτη προτεραιότητα, (www.2degreesnetwork.com).

9.3 Μέθοδος με προκατασκευασμένα τούβλα:

Σε αυτή τη μέθοδο δημιουργείται ένας ξύλινος σκελετός που λειτουργεί ως φέρων οργανισμός, κατάλληλα διαμορφωμένος, ώστε να εφαρμοστούν ακριβώς οι υποδοχείς που διαθέτουν τα προκατασκευασμένα τούβλα. Αφού τοποθετηθούν όλα τα τούβλα πάνω στο ξύλινο πλαίσιο, εγκαθίσταται μία εξωτερική πλάκα τοίχου, ([33]Robin, 2007). Στη Γαλλία έχουν κατασκευαστεί αρκετά σπίτια με αυτή τη μέθοδο στις περιοχές του Παρισιού, του Περπινιάν και στη Νότια Βρετάνη.



Εικόνα 6.: Κατασκευή με τούβλα από ασβεστοκάνναβη, (chanvriblock.com).



Εικόνα 7.: Κατασκευή με τούβλα από ασβεστοκάνναβη, (www.420magazine.com).

10. Παραδείγματα Κτιρίων Από Ασβεστοκάνναβη:

10.1 Northcote Hemp House:

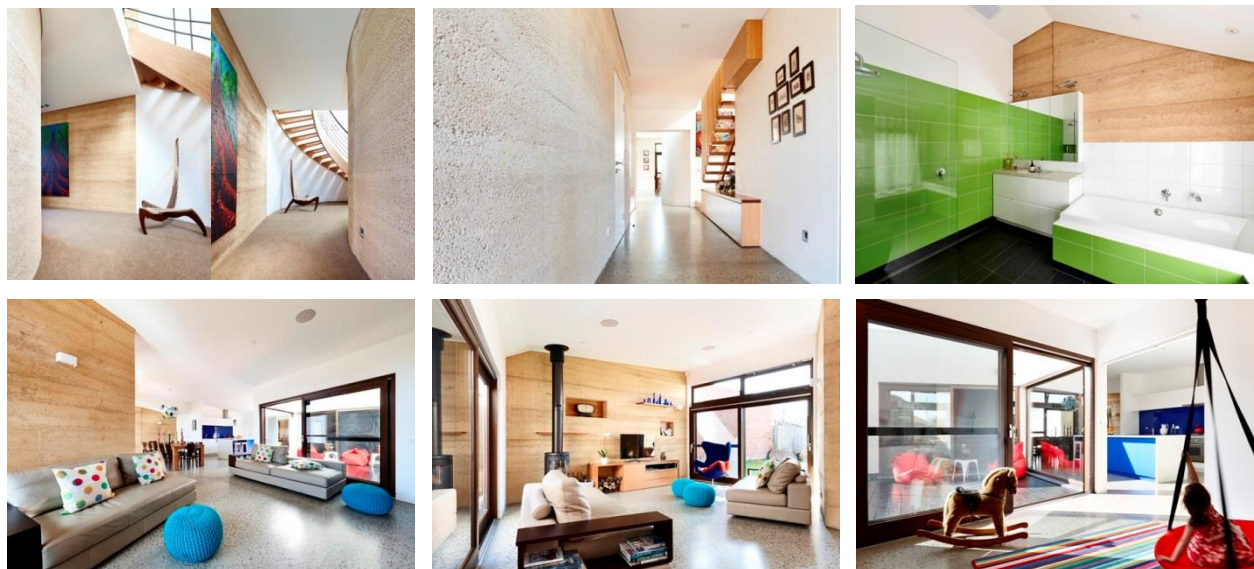
Το αρχιτεκτονικό γραφείο Steffen Welsch Architects κατασκεύασε το 2012 το Hemp House στην οδό Jenkins Street 123, στο Northcote της Αυστραλίας. Το έργο αποτελείται από ένα σπίτι δύο κατοικιών και κατοικείται από δύο οικογένειες που μοιράζονται την πίσω αυλή. Χτίστηκε από το συνδυασμό τριών υλικών, όπως το καλουπωτό αργιλόχωμα και το ξύλο, ενώ η κύρια τοιχοποιία αποτελείται από ασβεστοκάνναβη, (www.weekendnotes.com).

Οι αρχιτέκτονες στον όρο «περιβάλλον» εκτός από την αισθητική θέλησαν να συμπεριλάβουν χαρακτηριστικά όπως, η ακουστική, η ποιότητα του αέρα και η φυσική θερμική άνεση. Κάτι τέτοιο μπορούσε να επιτευχθεί μέσω των καλών ποιότητων που παρέχει η κάνναβη ως δομικό υλικό. Η τοιχοποιία έχει τη δυνατότητα να αναπνέει και να ρυθμίζει την υγρασία στους εσωτερικούς χώρους, γεγονός που συμβάλλει στην άνεση του κτιρίου. Η πορώδης επιφάνεια απορροφά τον ήχο και συμβάλλει στην ευχάριστη ακουστική σε όλα τα δωμάτια, (www.steffenwelsch.com.au). Και τα δύο σπίτια είναι τοποθετημένα κεντρικά σε σχέση με την εσωτερική αυλή, προσφέροντας κατάλληλο προσανατολισμό, που παρέχει και στα δύο σπίτια το απαραίτητο φως για την μεγιστοποίηση της παθητικής ηλιακής σχεδίασης και τις τεχνολογίες εξοικονόμησης νερού, (<http://www.sanctuarymagazine.org.au>).

Η συγκεκριμένη κατοικία συμμετέχει στο φεστιβάλ Open House Melbourne, που λαμβάνει χώρα κάθε καλοκαίρι στην Αυστραλία και επιτρέπει την είσοδο στο κοινό για λίγες μέρες με στόχο να το επισκεφτεί και να ενημερωθεί για τους φυσικούς τρόπους δόμησης με ιδιαίτερη έμφαση στην ασβεστοκάνναβη, (www.weekendnotes.com).



Εικόνα 8.: Εξωτερικές απεικονίσεις του Northcore Hemp House, (www.steffenwelsch.com.au).



Εικόνα 9.: Διάφορες απεικονίσεις του Northcore Hemp House, (www.steffenwelsch.com.au).

10.2 The Marrickville Hempcrete House:

Η κατοικία Marrickville στο Σίδνεϊ της Αυστραλίας είναι ένα συναρπαστικό έργο που δείχνει πώς μπορούν να ικανοποιηθούν οι ακουστικές απαιτήσεις μειώνοντας τον θόρυβο των αεροσκαφών, χωρίς συμβιβασμούς στη θερμική απόδοση και την αισθητική. Η πρόκληση του σχεδιασμού ήταν να δημιουργηθεί ένας καλύτερος χώρος διαβίωσης για μια τετραμελή οικογένεια χωρίς να αυξηθεί η κάλυψη του χώρου.

Το ζευγάρι επέλεξε κάτι περισσότερο από ένα απλό κτίριο με συμβατικά στοιχεία. Αποφάσισε να πραγματοποιήσει ένα τολμηρό βιώσιμο σχέδιο, χρησιμοποιώντας την ασβεστοκάνναβη ως το κύριο δομικό υλικό για μια νέα, παθητική ηλιακή δώροφη προσθήκη στο υπάρχον κτίσμα. Οι αρχιτέκτονες που προσλήφθηκαν να πραγματοποιήσουν το έργο ήταν ο Tracy Graham, διευθυντής του Connected Design και ο Nick Sowden, (www.sanctuarymagazine.org.au).

Στο ισόγειο, η υπάρχουσα κουζίνα, το μπάνιο και το playroom κατεδαφίστηκαν και κατασκευάστηκαν καινούρια. Ο νέος όροφος αποτελείται από ένα κυρίως υπνοδωμάτιο, δωμάτιο μελέτης και κοινόχρηστο μπάνιο, καταλαμβάνοντας συνολικά 35 τετραγωνικά μέτρα. Η σημασία των γειτόνων έπαιξε σημαντικό ρόλο στην κατασκευή. Το ύψος του ισογείου μειώθηκε για να μην αυξηθεί πολύ το ύψος του ορόφου, με αποτέλεσμα να εξασφαλιστεί η ιδιωτικότητα και να μην επηρεαστεί δυσμενώς η ηλιακή πρόσβαση των γειτόνων, (www.sanctuarymagazine.org.au).

Στην εξωτερική τοιχοποιία της προσθήκης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της συμπίεσης ενώ στη στέγη η ασβεστοκάνναβη τοποθετήθηκε ως μόνωση, σε συνδιασμό με σανίδες οξειδίου του μαγνησίου ως εξωτερική επικάλυψη. Οι λόγοι που επιλέχθηκε η ασβεστοκάνναβη ήταν οι καλές θερμικές και ακουστικές αποδόσεις, καθώς και η ικανότητα διαπνοής του υλικού. Η θερμική απόδοση αποδείχτηκε εξαιρετική, σημειώνοντας ρεκόρ για τα δεδομένα του χειμώνα στο Σίδνεϊ, με εξωτερική πρωινή θερμοκρασία στους 5°C και εσωτερική στους 18°C, (www.sanctuarymagazine.org.au).



Εικόνα 10.: Εξωτερικές απεικονίσεις οικίας Marrickville, (www.houzz.com)





Εικόνα 11.: Εσωτερικές απεικονίσεις οικίας Marrickville, (www.houzz.com), (www.sanctuarymagazine.org.au).



Εικόνα 12.: Απεικονίσεις κατά την κατασκευή της οικίας Marrickville, (www.houzz.com), (www.sanctuarymagazine.org.au).

10.3 Push House:

Η εταιρία Push Design κατάφερε να δημιουργήσει ένα υπέροχο σπίτι, το οποίο είναι αρκετά μεγάλο αλλά απίστευτα ελαφρύ για το περιβάλλον, την κατανάλωση ενέργειας και το συνολικό κόστος. Αποτελεί το πρώτο σπίτι στις Η.Π.Α. που κατασκευάστηκε από ασβεστοκάνναβη το 2010. Βρίσκεται στο Asheville της Βόρειας Καρολίνας και έχει έκταση 315 τετραγωνικά μέτρα, (inhabitat.com).

Το μίγμα της ασβεστοκάνναβης περιλαμβάνει άσβεστο, νερό και άχυρο κάνναβης, ενώ η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή ήταν η έκχυση του μίγματος μέσα σε καλούπια με κατάλληλη συμπίεση για την τελική μορφοποίηση. Έχει πολύ καλή ποιότητα μόνωσης και η υψηλή θερμική μάζα του υλικού βοηθά στη διατήρηση σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας. Το ενεργειακά αποδοτικό σύστημα τοιχοποιίας συνδυάζεται με μια υπερ-αποδοτική αντλία θερμότητας που βασίζεται στον αέρα για την αποτελεσματική θέρμανση και ψύξη του σπιτιού χωρίς τεράστια δαπάνη χρημάτων στον εξοπλισμό, (inhabitat.com).

Οι εσωτερικοί τοίχοι αποτελούνται από το Purepanel, ένα άλλο μοναδικό προϊόν που κατασκευάζεται από ανακυκλωμένο χαρτί. Η οικία διαθέτει επίσης 30 παράθυρα που είναι εξοπλισμένα με γυαλί υψηλής τεχνολογίας. Τοποθετήθηκαν με σκοπό να επιτρέπουν την είσοδο του φωτός της ημέρας χωρίς όμως την υπερθέρμανση του χώρου, (inhabitat.com).

Η χρήση αυτών των οικολογικών υλικών μείωσε το κόστος κατασκευής της κατοικίας σε μέτριο βαθμό και οδήγησε στο ποσό των 130\$ ανά τετραγωνικό μέτρο, (inhabitat.com).



Εικόνα 13.: Εξωτερικές απεικονίσεις οικίας Push House, (inhabitat.com).



Εικόνα 14.: Εσωτερικές απεικονίσεις οικίας Push House, (inhabitat.com).



Εικόνα 15.: Απεικονίσεις κατασκευής οικίας Push House, (inhabitat.com).

10.4 Hemp Cottage Bevan Architects Terrace:

Οι Bevan Architects ολοκλήρωσαν πρόσφατα την κατασκευή ενός απλού, φωτεινού εξοχικού σπιτιού διακοπών από ασβεστοκάνναβη, 70 τετραγωνικών μέτρων, στην ακτή της Βόρειας Ιρλανδίας. Η κατοικία έχει κατασκευαστεί με τη μέθοδο της συμπιεσμένης ασβεστοκάνναβης με εσωτερικό ξύλινο σκελετο που λειτουργεί ως φέρων οργανισμός και προέρχεται από ξυλεία που παράγεται στην περιοχή, (inhabitat.com).

Οι τοιχοποιίες από ασβεστοκάνναβη εκτός από το να απομακρύνουν τον άνθρακα, παρέχουν εκπληκτική θερμική και ακουστική απόδοση. Οι τοίχοι διαπνέουν και είναι ικανοί να απορροφούν και να αποδίδουν υγρασία, δημιουργώντας ένα πολύ πιο υγιεινό εσωτερικό χώρο από τις συμβατικές δομικές μεθόδους. Λόγω των μονωτικών ιδιοτήτων της ασβεστοκάνναβης, δεν χρησιμοποιήθηκαν πλαστικές ή τοξικές μεμβράνες στην κατασκευή, (inhabitat.com).

Το σπίτι ανταποκρίνεται στον αγροτικό του χαρακτήρα ενσωματώνοντας στοιχεία των τοπικών κτισμάτων, χρησιμοποιώντας υλικά με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση αλλά με υψηλές αποδόσεις. Η βόρεια πλευρά διαθέτει μια φυτεμένη στέγη, ενώ στη νότια, η στέγη είναι κατασκευασμένη από σχιστόλιθο εξασφαλίζοντας τη σύνδεση του σπιτιού με τα πιο παραδοσιακά κτίρια της περιοχής. Ακόμη η οροφή του εξοχικού σπιτιού είναι μονωμένη με 350mm μαλλί προβάτου, οπότε δεν υπάρχει καμία πιθανότητα πλημμύρας, (inhabitat.com).



Εικόνα 16.: Απεικονίσεις κατασκευής οικίας Hemp Cottage, (inhabitat.com).



Εικόνα 17.: Εξωτερικές απεικονίσεις οικίας Hemp Cottage, (inhabitat.com).

10.5 Österåker Runö, Sweden:

Αυτό το έργο αποτελεί μία αποκατάσταση ισογείου με ασβεστοκάνναβη, ενός κτιρίου με ξυλόπηκτη τοιχοποιία στο Österåker, βόρεια της Στοκχόλμης. Ξεκίνησε από τον Ronnie και αποτελεί ένα από τα πρώτα γνωστά έργα με ασβεστοκάνναβη στη Σουηδία. Οι εργασίες ανακαίνισης πραγματοποιήθηκαν το φθινόπωρο του 2011.

Οι τοίχοι και τα δάπεδα απογυμνώθηκαν στο εσωτερικό, αφήνοντας την ξύλινη δομή εκτεθειμένη. Φύλλα ινών κάνναβης εφαρμόστηκαν στα δάπεδα, ως μονωτικό υλικό. Η ασβεστοκάνναβη εφαρμόστηκε στους τοίχους μέσω μίας προσωρινής ξύλινης κατασκευής που λειτούργησε ως καλούπι. Επίσης τοποθετήθηκαν στους τοίχους, μικρές ξύλινες καρφίτσες, πάνω στις οποίες τοποθετήθηκαν σανίδες γύψου ενισχυμένες με ίνες, ([3]Paulien de Bruijn).



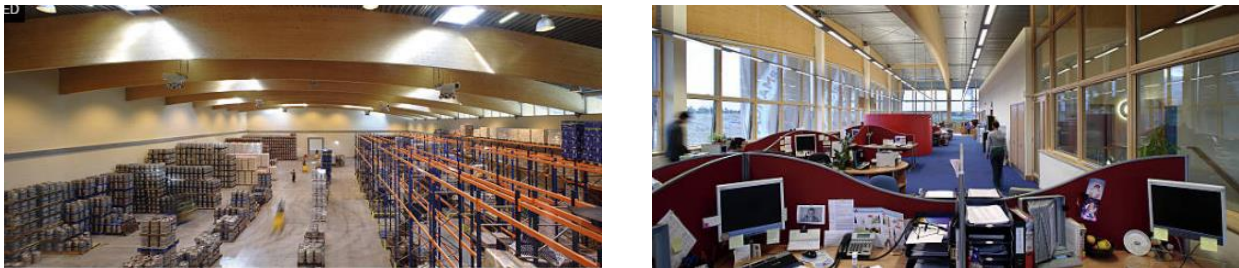
Εικόνα 18.: Αποκατάσταση του κτιρίου Runö στο Österåker, φθινόπωρο 2011, (Picture: R. Kilman)



Εικόνα 19.: Εσωτερική απεικόνιση των εξωτερικών τοίχων μετά την τοποθέτηση της ασβεστοκάνναβης, (Picture: R. Kilman)

10.6 Adnams Building, United Kingdom:

Η αγγλική ζυθοποιία Adnams δημιούργησε ένα κέντρο διανομής και αποθήκευσης κοντά στο Southwold το 2006. Χρησιμοποιήθηκαν προκατασκευασμένα δομικά τούβλα ασβεστοκάνναβης για την κατασκευή διαφραγματικών τοίχων με μια επιπλέον κοιλότητα γεμάτη με περισσότερη κάνναβη και άσβεστο, δίνοντας την τιμή U-value: 0,18 W / mK ([34]Lane, 2006). Η θερμομόνωση του ίδιου του κελύφους του κτιρίου αποδείχθηκε επαρκής, με αποτέλεσμα να μην εγκατασταθεί μηχανική ψύξη για την απαραίτητη επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας αποθήκευσης, ([34]Lane, 2006).



Εικόνα 20.: Εσωτερικές απεικονίσεις Adnams Building, (www.gettyimages.co.uk).



Εικόνα 21.: Εξωτερικές απεικονίσεις Adnams Building, (www.gettyimages.co.uk).

10.7 Hemp Homes, United Kingdom:

Αυτά τα σπίτια που σχεδιάστηκαν από τον αρχιτέκτονα Ralph Carpenter (Modece Architects) βρίσκονται στο Haverhill, στο Suffolk. Το έργο αποτελείται από τέσσερα σπίτια, τα δύο κατασκευάστηκαν με ασβεστοκάνναβη, ενώ τα άλλα δύο με συμβατική

τοιχοποιία. Τα σπίτια συγκρίθηκαν μεταξύ τους από το Βρετανικό κέντρο έρευνας κτιρίων (BRE, 2002). Μερικά από τα βασικά ευρήματα ήταν ότι οι δομικές ιδιότητες και η αντοχή των σπιτιών από ασβεστοκάνναβη ήταν τουλάχιστον ίσες με εκείνες των σπιτιών με συμβατικές τοιχοποιίες. Επιπλέον, οι μετρήσεις έδειξαν πως οι εξωτερικοί τοίχοι των σπιτιών ασβεστοκάνναβης, διατηρούν περισσότερη θερμότητα από εκείνους των σπιτιών με συμβατική τοιχοποιία (BRE, 2002). Ένα άλλο εύρημα ήταν ότι παρόλο που και οι δύο μορφές κατασκευής προσφέρουν την ίδια προστασία έναντι της διείσδυσης νερού στην τοιχοποιία, τα σπίτια ασβεστοκονιάματος συγκρατούσαν λιγότερη ποσότητα μέσα στην κατασκευή. Το Βρετανικό κέντρο έρευνας (2002) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα σπίτια από ασβεστοκάνναβη αντιδρούν πολύ καλά και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη καλύτερα από τα σπίτια συμβατικής τοιχοποιίας, όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, την ακουστική μόνωση, τη διαπερατότητα και τη σταθερότητα του νερού.



Εικόνα 22.: Εξωτερικές κατασκευαστικές απεικονίσεις των Hemp Homes στο Suffolk, (www.panacea-bocaf.org).

Μέρος Β': Πειραματικό Μέρος

11. Θερμομόνωση:

Στόχος της θερμομόνωσης είναι η διασφάλιση της θερμικής άνεσης και υγιεινής διαβίωσης των ενοίκων. Η θερμομόνωση συμβάλλει στη μείωση των θερμικών απωλειών, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση ή κλιματισμό. Η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου πρέπει να διατηρείται περίπου στους 20°C, η οποία προσφέρει άνεση σε άτομα με κανονική ένδυση. Η θερμοκρασία των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο πρέπει να διατηρείται το πολύ 4 °C - 5°C χαμηλότερα από την εσωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος, για να αποφεύγεται η αίσθηση ψύχους. Τέλος, απαραίτητη είναι η ανανέωση του αέρα στο χώρο με στόχο την απομάκρυνση οσμών, διοξειδίου του άνθρακα και υγρασίας.

Ταυτόχρονα με τα θερμομόνωση εξίσου σημαντικές είναι η ηχομόνωση και η υγρασιμόνωση σε ένα κτίριο. Οι τρεις αυτές διαφορετικές ανάγκες μόνωσης σε μια κατασκευή μπορούν να καλυφθούν αποτελεσματικά από την ασβεστοκάνναβη, αν χρησιμοποιηθεί και τοποθετηθεί με τον κατάλληλο τρόπο. Το υλικό αυτό συμβάλλει στην διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας σε σταθερά επίπεδα, καθώς μειώνονται ή ακόμη και εξαλείφονται οι θερμικές απώλειες. Το αποτέλεσμα είναι η εξοικονόμηση ενέργειας λόγω μειωμένης ανάγκης για ψύξη και θέρμανση.

12. Γενικές Αρχές Θερμομόνωσης:

Ως θερμομόνωση ορίζεται η μείωση μεταφοράς θερμότητας μεταξύ αντικειμένων, τα οποία βρίσκονται σε θερμική επαφή ή σε απόσταση ικανή για επίδραση από ακτινοβολία. Στόχος των θερμομονωτικών υλικών σε ένα κτίριο είναι να μειώσουν τη θερμική ροή μεταξύ σωμάτων ή χώρων που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία. Η θερμότητα είναι μια ενέργεια που μεταφέρεται εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας, από σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας προς σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η μεταφορά θερμότητας σταματά όταν εξισώνονται οι θερμοκρασίες των σωμάτων. Αυτό ονομάζεται θερμική ισορροπία. Η θερμότητα που μεταφέρεται σ' ένα σώμα εξαρτάται από την μάζα του, το είδος του υλικού ή από την μεταβολή της θερμοκρασίας του, (el.wikipedia.org).

Οι βασικές αρχές της θερμομόνωσης και οι συντελεστές μέσω των οποίων ελέγχεται η απόδοση των υλικών είναι οι εξής:

- 12.1 Η θερμοπερατότητα, (U-value): Η θερμοπερατότητα αποτελεί την αντίσταση θερμοδιαφυγής ($1/\Lambda$) ενός m^2 υλικού συγκεκριμένου πάχους και εκφράζει τη ροή θερμότητας που προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας. Εξαρτάται από το πάχος των υλικών, τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού και την περιεχόμενη υγρασία. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του υλικού και μικρότερη η θερμική αγωγιμότητα τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη θερμοδιαφυγή, (www.mcit.gov.cy).
- 12.2 Η θερμική αγωγιμότητα, (λ): Η θερμική αγωγιμότητα εκφράζει τη θερμική ισχύ που διέρχεται μέσα από τις απέναντι πλευρές ενός ομοιογενούς ισότροπου υλικού πάχους 1m, όταν η διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ των επιφανειών αυτών διατηρείται σταθερή. Ο συντελεστής λ αποτελεί φυσική ιδιότητα κάθε υλικού και η τιμή του επηρεάζεται από τη φύση του υλικού, την πυκνότητά του, τη δομή του, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση. Όσον αφορά τη δομή, σημαντικό ρόλο παίζουν το μέγεθος και η διανομή των μακροπόρων του υλικού, οι οποίοι είτε καταλαμβάνονται από αέρα, είτε από υδρατμούς. Όσο περισσότεροι καταλαμβάνονται από αέρα, τόσο μειώνεται η θερμική αγωγιμότητα του υλικού, διότι η θερμοαγωγιμότητα της υγρασίας είναι κατά 23 φορές μεγαλύτερη από του αέρα, (www.mcit.gov.cy).
- 12.3 Η Θερμοχωρητικότητα, (Q): Η θερμοχωρητικότητα ενός υλικού εκφράζει την ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας ύπο δεδομένη αλλαγή θερμοκρασίας. Η θερμοχωρητικότητα εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού, την ειδική θερμοχωρητικότητα και την αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοχωρητικότητα της τοιχοποιίας, τόσο αποτελεσματικότερα εμποδίζεται η ταχεία ψύξη ή, η θέρμανση των χώρων. Τους χειμερινούς μήνες για παράδειγμα τα δομικά μέλη με μεγάλη θερμοχωρητική ικανότητα, συγκεντρώνουν θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια της ημέρας, ή μέσω του τεχνητού συστήματος θέρμανσης του κτιρίου. Η αποβολή τη θερμότητας γίνεται με χρονική

υστέρηση, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η γρήγορη ψύξη των χώρων, (www.mcit.gov.cy).

Επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμομονωτική ικανότητα ενός υλικού είναι η διαπερατότητα και η τροχοειδής απορρόφηση υγρασίας του υλικού, οι οποίοι συμβάλλουν στη σωστή διαπνοή του κτιρίου και στη ρύθμιση της υγρασίας στους εσωτερικούς χώρους.

13. Θερμικές και Μηχανικές Ιδιότητες της Ασβεστοκάνναβης:

Η ασβεστοκάνναβη είναι ένα υλικό με πολύ καλές θερμικές ιδιότητες. Έχει υψηλή θερμοχωρητικότητα, μέτρια πυκνότητα, καθώς και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, τρεις ιδιότητες που την καθιστούν πολύ καλό θερμομονωτικό υλικό. Επίσης έχει υψηλή θερμική μάζα σε σχέση με άλλα χαμηλού βάρους σκυροδέματα. Όσον αφορά τις μηχανικές αντοχές, συναντάμε αρκετά χαμηλές τιμές και σε θλίψη, αλλά και σε εφελκυσμό, με αποτέλεσμα να πρέπει πάντα να χρησιμοποιείται σε συνδιασμό με έναν εσωτερικό φέροντα σκελετό.

13.1 Θερμική Αγωγιμότητα:

Οι τιμές για τη θερμική αγωγιμότητα των σκυροδεμάτων ασβεστοκάνναβης κυμαίνονται ανάμεσα στα 0,05 και 0,12 W/m K, ανάλογα με τη σύνθεση και την πυκνότητα του εκάστοτε μίγματος, ([35]Daly P, Ronchetti P, Woolley T., 2010). Ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού είναι η πυκνότητα. Η θερμική αγωγιμότητα αυξάνεται με περίπου γραμμικό τρόπο σε σχέση με την πυκνότητα. ([12]Cerezo V., 2005).

Ο αέρας έχει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, με αποτέλεσμα τα σκυροδέματα που περιέχουν μεγάλη ποσότητα αέρα να είναι λιγότερο θερμοαγώγιμα. Η μικροδομή του αχύρου κάνναβης αποτελείται από πολύ μεγάλο πορώδες, το οποίο περιλαμβάνει μεγάλη ποσότητα βιώσιμου αέρα, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμικής αγωγιμότητας της ασβεστοκάνναβης. Ακόμη το άχυρο κάνναβης λόγω της μορφής του, μέσα στο μίγμα του σκυροδέματος, δημιουργεί μεγάλους μακροπόρους μεταξύ των σωματιδίων κάνναβης, οι οποίοι διαμορφώνονται από το ποσοστό συμπίεσης κατά τη μορφοποίηση. Αυτοί οι πόροι περιέχουν σημαντικό ποσοστό αέρα, συνεπώς, η

αύξησή τους, με την προσθήκη επιπλέον αχύρου κάνναβης, οδηγεί στη μείωση της θερμικής αγωγιμότητας του τελικού υλικού, ([4]Evrard A., 2003).

Ο αέρας που περιλαμβάνεται στο πορώδες του υλικού, περιέχει ένα ποσοστό υγρασίας, το οποίο καθορίζεται από την σχετική περιβαλλοντική υγρασία. Το νερό έχει υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα από τον αέρα, οπότε η αύξηση της σχετικής περιβαλλοντικής υγρασίας αυξάνει την περιεχόμενη υγρασία στο υλικό και επηρεάζει τη θερμική αγωγιμότητα. Επομένως, σε κρύα και υγρά κλίματα η θερμική αγωγιμότητα αυξάνεται σε σχέση με ξηρά και ζεστά, ([3]Paulien de Bruijn, 2012, R. Walker, S. Pavia).

Η αύξηση της ποσότητας του αχύρου κάνναβης οδηγεί σε φανερές διαφορές στην πυκνότητα της ασβεστοκάνναβης, αλλά οι διαφορές μεταξύ των τιμών της θερμικής αγωγιμότητας δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες, ([3]Paulien de Bruijn, 2012). Κατ'επέκταση η αύξηση της ποσότητας του αχύρου στο μίγμα, με στόχο καλύτερα θερμικά αποτελέσματα, πρέπει να γίνεται με προσοχή, ώστε να μην επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό οι μηχανικές αντοχές.

Το συνδετικό αποτελεί το πιο θερμοαγώγιμο υλικό στο σκυρόδεμα. Η περίπτωση προσθήκης μεγαλύτερου ποσοστού συνδετικού στο μίγμα, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας του τελικού σκυροδέματος. Μία τάση υποστηρίζει πως η υδραυλικότητα του συνδετικού μειώνει τη θερμική αγωγιμότητα. Η πυκνότητά του συνδετικού εξαρτάται από το ποσοστό των μικροπόρων, ([12]Cerezo V., 2005). Η παραγωγή περισσότερων μικροπόρων προκαλείται από την αύξηση της υδραυλικότητας του συνδετικού, ([37]F.murphy, R. Walker, S Pavia). Με την αύξηση των μικροπόρων, αυξάνεται η ποσότητα του περιεχόμενου αέρα, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμικής αγωγιμότητας του συνδετικού και άρα του τελικού προϊόντος.

Παλαιότερες έρευνες έχουν δείξει πως ο τύπος του συνδετικού επηρεάζει τη θερμική αγωγιμότητα του τελικού σκυροδέματος, ([38]Gourlay E, Arnaud L., 2010, [32]Collet F., Pretot S., 2014), αλλά αυτή η θέση δεν υποστηρίζεται από τις περισσότερες μελέτες. Ο λόγος είναι, πως η θερμική αγωγιμότητα δεν μπορεί να επηρεαστεί ουσιαστικά από από το μικρό ποσοστό αέρα που συλλέγουν οι μικροπόροι του συνδετικού, αλλά από το μεγαλύτερο ποσοστό αέρα μέσα στους μακροπόρους που δημιουργούνται μεταξύ των σωματιδίων της κάνναβης. Είναι πιθανό να παρατηρηθεί ουσιαστικότερη διαφορά

αν η υδραυλικότητα αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό, πράγμα που μπορεί να επηρεάσει άλλες ιδιότητες.

Ακόμη, σε περίπτωση εισαγωγής κάποιου πρόσθετου στο μίγμα, όπως ο συγκρατητής νερού, μπορεί να οδηγήσει σε λίγο μεγαλύτερες τιμές θερμικής αγωγιμότητας, εξαιτίας της συγκράτησης υδριτών στους μικροπόρους του συνδετικού και στη μείωση του περιεχόμενου αέρα, ο οποίος έχει χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα, ([36]S. Pavia, 2014).

Συνολικά, η θερμική αγωγιμότητα της ασβεστοκάνναβης εξαρτάται από τον τρόπο κατασκευής του σκυροδέματος, από τις πρώτες ύλες, από την πυκνότητα και το περιεχόμενο νερό. Η αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας εξαιτίας της πυκνότητας και της αναλογίας κάνναβης/συνδετικό είναι σαφής, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που το είδος του συνδετικού παίζει κάποιο ρόλο. Τέλος, η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται στη μίξη, έχει χαμηλή επίδραση στη θερμική αγωγιμότητα σε σχέση με την πυκνότητα, αλλά πρέπει να συνυπολογίζεται στην υδροθερμική συμπεριφορά του οικοδομικού κελύφους, ([32]Collet F., Pretot S., 2014).

13.2 Θερμοχωρητικότητα - Θερμική Μάζα:

Η ασβεστοκάνναβη έχει μεγάλη θερμική μάζα συγκρινόμενη με άλλα χαμηλού βάρους οικοδομικά υλικά. Αποτελεί ένα ελαφρύ υλικό με χαρακτηριστικά βαρύτερων υλικών και έχει την ιδιότητα να μονώνει και να αποθηκεύει θερμότητα, καθώς και να μετριάζει τις διακυμάνσεις των εξωτερικών θερμοκρασιών, ([39]Kinnane, O., McGranaghan, G., &Robinson, A., 2015). Σύμφωνα με τις μέχρι τώρα μελέτες το εύρος τιμών θερμοχωρητικότητας που έχει καταγραφεί είναι μεταξύ 1000 – 4690 J/KgK.

Όσον αφορά τη θερμοχωρητικότητα του αχύρου κάνναβης, κυμαίνεται από 1800 J/KgK μέχρι 2300 J/KgK, (www.greenspec.co.uk). Το άχυρο κάνναβης είναι παρόμοιο με κάποια είδη σκληρών ξύλων στην κυτταρική του δομή και σύνθεση, αποτελούμενο από 50% κυτταρίνη, 28% λιγνίνη και 20% ημικυτταρίνη. ([4]Evrard A., de Herde A., Minet J., 2006). Το άχυρο κάνναβης είναι ένα πολύ απορροφητικό υλικό εξαιτίας των μικροπόρων του και της υψηλά τριχοειδούς δομής του, γεγονός που το καθιστά πολύ υγροσκοπικό. Το εσωτερικό πορώδες του αχύρου αποτελείται από 15% πόρους μεγέθους 70μm και 85% πόρους 400μm, ([40]Giedrius Balčiūnas, Sigita Vėjelis, Saulius Vaitkus, Agnė Kairytė, 2013). Οι πόροι αυτοί έχουν την ικανότητα να

απορροφούν νερό το οποίο έχει υψηλή θερμοχωρητικότητα ($C_p = 4.182 \text{ J/kgK}$ (20°C), γεγονός που οδηγεί στην αύξηση της θερμοχωρητικότητας της ασβεστοκάνναβης. Η επίπτωση του συνδετικού υλικού στη θερμοχωρητικότητα δεν έχει ερευνηθεί λεπτομερώς, αλλά οι περισσότερες μελέτες καταγράφουν πως δεν παίζει ουσιαστικό ρόλο στην αυξομείωση των τιμών της. Παρόλα αυτά σε προηγούμενες έρευνες υποστηρίζεται πως η αύξηση της ασβέστου στο συνδετικό υλικό μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της θερμοχωρητικότητας, ([3]Paulien de Bruijn, Peter Johansson, 2008), λόγω της παραγωγής περισσότερων ενυδατωμένων προϊόντων. Το περιεχόμενο νερό, όπως αναφέρεται παραπάνω, συμβάλλει στην αύξηση της θερμοχωρητικότητας της ασβεστοκάνναβης, λόγω της υψηλής θερμοχωρητικότητας του. Ο Evrard και ο de Herde σημειώνουν εξίσου, πως η ειδική θερμοχωρητικότητα αυξάνεται με την αύξηση της σχετικής υγρασίας ([4]Evrard A., de Herde A., Minet J., 2006). Χημικά το δεσμευμένο νερό στους υδρίτες του τσιμέντου έχει υψηλή θερμοχωρητικότητα (2200 J/kgK). Συνεπώς, η παρουσία υδριτών στο σκυρόδεμα κάνναβης οδηγεί στην αύξηση της θερμοχωρητικότητας του υλικού. Αυτό αποτελεί μία πιθανή εξήγηση για τα ασβεστοποζολανικά συνδετικά, τα οποία περιέχουν μικρότερο ποσοστό υδριτών και άρα δημιουργούν σκυροδέματα κάνναβης με χαμηλότερη θερμοχωρητικότητα. Κατά συνέπεια και η χρήση συγκρατητών νερού οδηγούν σε άυξηση της θερμοχωρητικότητας, ([37]R. Walker, S. Pavia, 2014). Τέλος υπάρχει μία τάση που υποστηρίζει πως περισσότερο υδραυλικά συνδετικά δημιουργούν σκυροδέματα κάνναβης με υψηλότερη θερμοχωρητικότητα, ([37]R. Walker, S. Pavia, 2014). Είναι πιθανό πως αν μελετηθούν μεγάλες διαφορές στο υδραυλικό περιεχόμενο των συνδετικών υλικών, τα αποτελέσματα μπορεί να οδηγήσουν σε ισχυρότερη σχέση μεταξύ της θερμοχωρητικότητας και της υδραυλικότητας του συνδετικού υλικού.

13.3 Τριχοειδής Αναρρίχηση:

Το σκυρόδεμα ασβεστοκάνναβης είναι ένα αρκετά υγροσκοπικό υλικό, δηλαδή έχει μεγάλη ικανότητα να συγκρατεί νερό στους τριχοειδείς πόρους του, εξαιτίας του μεγάλου πορώδους της μικροδομής του. Η τριχοειδής αναρρίχηση επιτυγχάνεται μέσω του δικτύου που δημιουργείται από τους μακροπόρους μεταξύ των σωματιδίων κάνναβης, αλλά και από τους μικροπόρους του συνδετικού και της κυτταρικής δομής του αχύρου, (δομή κηρήθρας).

Ένας τοίχος ασβεστοκάνναβης χρειάζεται πάντα εσωτερικό σκελετό, που φέρει τα φορτία και συνήθως αποτελείται από ξύλο. Παρόλα αυτά το ξύλο σε υψηλά επίπεδα υγρασίας μπορεί να σαπίσει, να υποστεί σήψη και να αναπτυχθούν μύκητες. Επομένως, οι υγρασκοπικές ιδιότητες της ασβεστοκάνναβης και η κατάσταση υγρασίας μέσα σε έναν τοίχο ασβεστοκάνναβης, πρέπει να μελετηθούν ιδιαίτερα, για να αποφευχθούν οι φθορές που μπορεί να προκαληθούν. Μέχρι σήμερα υπάρχουν πολύ λίγες μελέτες που έχουν ασχοληθεί με τις ιδιότητες υγρασίας της ασβεστοκάνναβης, ([41]Colinart et al., 2012). Βασικός παράγοντας, για να κατανοηθεί πλήρως η συμπεριφορά της τριχοειδούς αναρρίχησης της ασβεστοκάνναβης, αποτελούν, οι ισόθερμες ρόφησης – εκρόφησης και ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης, σε πολύ υψηλές σχετικές περιβαλλοντικές υγρασίες, (>95%RH), διότι εκεί παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά στην απορρόφηση υγρασίας. Προηγούμενες μελέτες καταγράφουν την τριχοειδή αναρρίχηση για σχετική περιβαλλοντική υγρασία από 20% RH έως 95%RH με παρόμοια ή κοντινά αποτελέσματα. Σε ποσοστά σχετικής περιβαλλοντικής υγρασίας άνω του 95% η τριχοειδής αναρρίχηση αυξάνεται κατακόρυφα χωρίς σαφή επιστημονική εξήγηση, επομένως σε αυτό το εύρος υγρασίας χρειάζεται περαιτέρω μελέτη το υλικό, ([3]Paulien de Bruijn, 2012).

Εξαιτίας των διαφορετικών αναλογιών στο συνδετικό και των διάφορων πυκνοτήτων σκυροδέματος που έχουν κατασκευαστεί στις μέχρι τώρα έρευνες, δεν είναι δυνατή η διαμόρφωση μίας συγκεκριμένης επιστημονικής προσέγγισης βάση των αποτελεσμάτων, για την συμπεριφορά της τριχοειδούς απορρόφησης. Παρόλα αυτά, όσον αφορά το συνδετικό υλικό, σε προηγούμενες έρευνες, η μελέτη ποικίλων αναλογιών υδρασβέστου, υδραυλικής ασβέστου και τσιμέντου ή ποζολανών, σε διαφορετικά δείγματα, δεν έδειξε ουσιαστικές διαφορές στις τιμές της τριχοειδούς απορρόφησης, ([37]R. Walker, S. Pavia, 2014). Βέβαια, ο [4]Evrard (2003) παρατήρησε πως περισσότερο υδραυλικά συνδετικά μειώνουν την ικανότητα υδατοαπορρόφησης της ασβεστοκάνναβης. Αυτή αποτελεί παρόμοια συμπεριφορά με τις ασβεστοτσιμεντόπαστες, όπου ο συντελεστής τριχοειδούς απορρόφησης μειώνεται με την αύξηση του περιεχόμενου τσιμέντου. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στη μεγάλη παραγωγή προϊόντων ενυδάτωσης, τα οποία αυξάνουν τον αριθμό των μικρότερων πόρων στη μικροδομή του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα να διακόπτουν το

τριχοειδές δίκτυο (Arandigoyen M. Alvarez JI., 2006, S. Pavia, 2014). Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και με την εισαγωγή συγκρατητών νερού, οι οποίοι δημιουργούν μικρότερους πόρους και μειώνουν την τριχοειδή απορρόφηση, ([36]S. Pavia, 2014).

Ακόμη, σύμφωνα με τον [3]Paulien de Bruijn, (2013), η τριχοειδής αναρρίχηση εξαρτάται από την ποσότητα της ασβέστου που εισάγεται στο συνδετικό υλικό. Η ασβέστος έχει υψηλότερο ποσοστό υγρασίας σε σχέση με το άχυρο κάρναβης σε υψηλές σχετικές περιβαλλοντικές υγρασίες, (> 80% RH). Επίσης δημιουργεί μεγαλύτερο πορώδες στη μικροδομή του κονιάματος σε σχέση με το πορώδες της κυτταρικής δομής του άχυρου κάρναβης. Ο συνδιασμός της διαφορετικής μικροδομής των υλικών και η εισαγωγή μεγαλύτερης ποσότητας ασβέστου στο συνδετικό οδηγεί στην αύξηση της τριχοειδούς αναρρίχησης.

13.4 Διαπερατότητα:

Το σκυρόδεμα ασβεστοκάρναβης έχει πολύ καλή απόκριση στη διαπερατότητα των υδρατμών. Η κοινή βιομηχανική εικόνα του συντελεστή αντίστασης διάχυσης υδρατμών (μ) του σκυροδέματος ασβεστοκάρναβης είναι 4.85: \pm 0.24 σύμφωνα με το EN12572 για δείγματα με αναλογία: συνδετικό : κάρναβη : νερό, 2:1:3 και πυκνότητα 400Kg/m³. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που έχουν καταγραφεί σε προηγούμενες έρευνες, δεν είναι δυνατή η σύσταση μίας ορισμένης τάσης για τη διαπερατότητα λόγω τις ποικιλίας πυκνοτήτων και σύνθεσης των διάφορων δοκιμίων, ([36]S. Pavia, 2014). Βέβαια, όπως για στην τριχοειδή απορρόφηση, το πορώδες του υλικού παίζει σημαντικό ρόλο και στη διαπερατότητα. Οι μεγάλοι μακροπόροι μεταξύ των σωματιδίων κάρναβης παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στην καλύτερη διαπνοή του υλικού. Το ποσοστό αυτών των μακροπόρων, όπως αναφέρεται παραπάνω, εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού. Όσο μικρότερη είναι η πυκνότητα τόσο αυξάνονται η μακροπόροι, με αποτέλεσμα την καλύτερη διαπερατότητα, ([36]S. Pavia, 2014). Αντίστοιχα, έχει παρατηρηθεί, πως ο τύπος του συνδετικού επηρεάζει επίσης τη διαπερατότητα, σε μικρότερο βαθμό. Έτσι τα συνδετικά με λιγότερη υδραυλικότητα παράγουν σκυροδέματα με μικρότερο συντελεστή αντίστασης διάχυσης υδρατμών, λόγω της μείωσης του πορώδους του του υλικού, ([42]Tran Le A., 2011, Grelat A., 2005).

13.5 Αντοχή σε Θλίψη:

Η ασβεστοκάνναβη έχει χαμηλή αντοχή σε θλίψη, ([43]Arnaud & Gourlay, 2012, [45]Nozahic *et al.*, 2012, [44]Nguyen *et al.*, 2009, [3]de Bruijn, 2008, [46]Elfordy *et al.*, 2008, [4]Evrard, 2003), με αποτέλεσμα ένας τοίχος από ασβεστοκάνναβη να χρειάζεται επιπλέον εσωτερικό σκελετό που λειτουργεί ως φέροντας οργανισμός και παραλαμβάνει τα φορτία. Οι τιμές που έχουν καταγραφεί από προηγούμενες μελέτες για την αντοχή σε θλίψη της ασβεστοκάνναβης κυμαίνονται από 0.2 Μρα μέχρι 2 Μρα. Η αντοχή της ασβεστοκάνναβης εξαρτάται από τη σύνθεση του συνδετικού, την συμπίεση του μίγματος, που ρυθμίζει την πυκνότητα και από την ποσότητα της φυτικής σκύρας.

Όσον αφορά το συνδετικό, το υλικό που αυξάνει την αντοχή είναι το τσιμέντο. Σε προηγούμενες έρευνες οι διάφορες συνθέσεις συνδετικών που έχουν μελετηθεί δεν έχουν δείξει ουσιαστικές διαφορές μεταξύ τους, με εξαίρεση αυτές που περιείχαν τσιμέντο. Το τσιμέντο αυξάνει αισθητά τη θλιπτική αντοχή, αλλά χωρίς ουσιαστικά αποτελέσματα, ώστε να μετατραπεί η ασβεστοκάνναβη σε φέρον υλικό. Επιπλέον, το τσιμέντο δημιουργεί προβλήματα συμβατότητας με τη φυτική σκύρα, ενώ μειώνει την αειφορία του τελικού υλικού, λόγω κατανάλωσης ενέργειας κατά την παραγωγή του. Με γνώμονα τα προηγούμενα, η χρήση του τσιμέντου καλό είναι να αποφεύγεται και να αντικαθίσταται από περισσότερο όξινα ορυκτά όπως ηθηραϊκή γη, ή φυσικές ποζολάνες, ([47]V. Nozalic, S. Amziane, G. Torrent, K. Saidi, H. De Baynast, 2012).

Το άχυρό κάνναβης δημιουργεί το μεγαλύτερο πρόβλημα στις αντοχές της ασβεστοκάνναβης. Στα συμβατικά σκυροδέματα η διεπαφή ανάμεσα στην φυτική σκύρα και στο συνδετικό αποτελεί το πιο αδύναμο σημείο του συστήματος. Στην περίπτωση της ασβεστοκάνναβης η φυτική σκύρα αποτελεί τη μεγαλύτερη αδυναμία του σκυροδέματος, αφού τις μηχανικές αντοχές τις υποστηρίζει μόνο το συνδετικό υλικό. Προηγούμενες μελέτες και αναλύσεις με SEM έχουν δείξει, πως τα σωματίδια ασβεστοκάνναβης λειτουργούν ως κενά στο τελικό υλικό, λόγω του μεγάλου πορώδους τους, αλλά και της περιορισμένης προσκόλλησης τους στο συνδετικό, ([45]Nguyen T., Picandet V., Amziane S., Baley C., 2009, V. Nozalic, S. Amziane, G. Torrent, K. Saidi, H. De Baynast, 2012). Εφόσον, η φυτική σκύρα λειτουργεί αρνητικά στις μηχανικές αντοχές, η ποσότητα που εισάγεται στο μίγμα πρέπει να μελετάται προσεκτικά. Επίσης, ένας τρόπος αύξησης της αντοχής, αποτελεί η αύξηση της

πυκνότητας. Η αύξηση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της μεγαλύτερης συμπίεσης του σκυροδέματος κατά τη μορφοποίηση, μία ενέργεια που μειώνει το πορώδες, αλλά πλήττει τις θερμικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Είναι αναγκαίο να διεξαχθούν περαιτέρω μελέτες σε σχέση με τις μηχανικές ιδιότητες της ασβεστοκάνναβης, με στόχο τη δημιουργία ενός σκυροδέματος, που υποστηρίζει φέρουσες τοιχοποιίες χωρίς εσωτερικό σκελετό. Σε αυτή την περίπτωση ανοίγονται νέες δυνατότητες στη χρήση του, όπως παρασκευή προκατασκευασμένων στοιχείων τοίχου, παρόμοιων με τις τσιμεντοσανίδες.

14. Προηγούμενες Έρευνες Πάνω σε Σκυροδέματα Ασβεστοκάνναβης:

14.1 Μηχανικές Ιδιότητες:

Σε αυτή την έρευνα δεν θα πραγματοποιηθούν πειράματα που αφορούν τις μηχανικές αντοχές του δοκιμίου, αλλά θα περιοριστεί στην ανάλυση των θερμικών ιδιοτήτων του. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά διάφορες τιμές και αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών σχετικά με τις μηχανικές αντοχές.

14.1.1 Αντοχή σε θλίψη:

Η αντοχή σε θλίψη της ασβεστοκάνναβης ποικίλει ανάλογα με το είδος του συνδετικού, την αναλογία του μίγματος, καθώς και με την ηλικία του υλικού. Ο [4]Evrard (2003) μελέτησε τέσσερα διαφορετικά μίγματα σβεστοκάνναβης και κατέγραψε θλιπτικές αντοχές από 0.2 μέχρι 0.5 Mpa ενώ οι τιμές για το μέτρο ελαστικότητας κυμάνθηκαν από 3 έως 26 Mpa. Ο [48]Arnaud *et al.* (2006) βρήκε τιμές για θλιπτική αντοχή που κυμάνθηκαν από 0.4 έως 1.2 Mpa και για το μέτρο ελαστικότητας από 40 έως 90 Mpa. Αυτές οι τιμές θλιπτικής αντοχής δεν είναι επαρκείς ώστε να θεωρηθεί η ασβεστοκάνναβη υλικό, από το οποίο μπορεί να δημιουργηθεί φέρουσα τοιχοποιία χωρίς εσωτερικό σκελετό. Οι μικρότερη τιμή για θλιπτική αντοχή σε φέρων υλικό είναι 3.5Mpa.

Για το συνδετικό χρησιμοποιούνται υδράσβεστος, υδραυλική άσβεστος και τσιμέντο ή ποζολάνες. Ανάλογα με τις αναλογίες αυτών των υλικών επηρεάζονται οι τελικές αντοχές. Η χρήση του τσιμέντου αυξάνει τις αντοχές της ασβεστοκάνναβης, αλλά

χωρίς ουσιαστικά αποτελέσματα. Ο [3]Paulien de Bruijn (2008), σε ένα δοκίμιο κατέγραψε αντοχή σε θλίψη 2.78 Μpa, αλλά το συνδετικό που χρησιμοποιήθηκε αποτελούνταν μόνο από τσιμέντο, κάτι που επηρέασε αρνητικά σε μεγάλο βαθμό τις θερμικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Εξαιτίας, τις χημικής ασυμβατότητας με το άχυρο κάνναβης, της πολύ μικρής αύξησης των μηχανικών αντοχών, με αντίκτυπο τις αρνητικές επιπτώσεις στις θερμικές ιδιότητες, καθώς και τη μείωση της αειφορίας του τελικού υλικού, η χρήση του τσιμέντου δεν προτιμάται. Τέλος, οι τελικές αντοχές χρειάζονται αρκετό χρόνο για να επιτευχθούν, εξαιτίας της υδρασβέστου που περιέχεται στο συνδετικό. Η υδράσβεστος δεσμεύει διοξείδιο του άνθρακα κατά το σετάρισμα κάτι που σκληραίνει το υλικό, αλλά αποτελεί μία πολύ αργή διαδικασία η οποία χρειάζεται από μερικούς μήνες μέχρι μερικές δεκαετίες για να ολοκληρωθεί, ([48]Arnaud *et al.*, 2006).

Η αναλογία συνδετικού – αχύρου κάνναβης – νερού επηρεάζει επίσης τις μηχανικές αντοχές. Η αύξηση του νερού στο μίγμα δρα αρνητικά στις μηχανικές αντοχές. Προηγούμενες έρευνες έδειξαν πως η προανάμειξη του νερού με το συνδετικό οδηγεί σε μικρότερες ποσότητες απαιτούμενου νερού στο μίγμα, με αποτέλεσμα καλύτερες τελικές αντοχές, ([3]Paulien de Bruijn, 2008). Επίσης έχει μελετηθεί και η αύξηση του αχύρου στο μίγμα με σκοπό τη βελτίωση των θερμικών ιδιοτήτων, αλλά με πολύ αρνητικά αποτελέσματα στην αντοχή του τελικού προϊόντος.

Ο [48]Arnaud *et al.*, 2006 κατέγραψε πως η ασβεστοκάνναβη έχει την ικανότητα να παραμορφώνεται σε μεγάλο βαθμό πριν τη ρήξη. Αναφέρει ότι ο κίνδυνος ξαφνικής κατάρρευσης του οικοδομικού υλικού είναι μάλλον χαμηλός, καθώς δεν υπάρχουν ρωγμές στο υλικό για ποσοστό συμπίεσης 10-15%. Συγκρινόμενο με συμβατικά οικοδομικά υλικά αυτές οι τιμές είναι πολύ υψηλές.

14.1.2 Αντοχή σε εφελκυσμό:

Οι [49]O'Dowd & Quinn (2005) αναφέρουν πως η αντοχή σε εφελκυσμό ποικίλει ανάλογα με το μίγμα και κυμαίνεται από 0,12 έως 0,23 MPa. Ακόμη, διαπίστωσαν ότι ένα μίγμα με λόγο κάνναβης/ασβέστου: 3: 1 κατ'όγκο είχε αντοχή σε εφελκυσμό 0,15 MPa.

14.2 Υγροσκοπικές ιδιότητες:

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για τη δημιουργία φέροντος οργανισμού, στις κατασκευές από ασβεστοκάνναβη αποτελεί η διαμόρφωση εσωτερικού ξύλινου σκελετού. Ωστόσο, η ξυλεία είναι αρκετά ευαίσθητη σε υψηλά επίπεδα υγρασίας, καθώς αυτή μπορεί να προκαλέσει σήψη, αποσύνθεση και την ανάπτυξη μυκήτων. Επομένως, οι υγροσκοπικές ιδιότητες και οι συνθήκες υγρασίας στο εσωτερικό ενός τοίχου, κατασκευασμένο από ασβεστοκάνναβη, πρέπει να μελετηθούν ενδελεχώς, ώστε να κατανοηθούν πλήρως. Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα έχουν εκπονηθεί λίγες μελέτες που ερευνούν τις υγροσκοπικές ιδιότητες της ασβεστοκάνναβης.

Για να προσδιοριστεί η μεταφορά του νερού μέσα στο υλικό, καθώς και η συμπεριφορά του στα διάφορα επίπεδα περιβαλλοντικής υγρασίας, είναι απαραίτητο να μελετηθεί η τριχοειδής απορόφηση σε ολόκληρη την κλίμακα υγρασίας, ώστε τα πειράματα προσομοίωσης να δώσουν ακριβή αποτελέσματα. Η [50]Collet et al. (2008) μέτρησε ισόθερμες ρόφησης, σε εύρη υγρασίας πάνω από 97%, για κονιάματα και επιχρίσματα ασβεστοκάνναβης. Τα αποτελέσματα έδειξαν, σιγμοειδείς γραφικές παραστάσεις με μεγάλες σχετικές αποκλίσεις στα υψηλότερα επίπεδα υγρασίας.

Επίσης, τις υγροσκοπικές ιδιότητες τις μελέτησε και ο [12]Cerezo (2005), ο οποίος παρήγαγε ισόθερμες ρόφησης και εκρόφησης, σε πειράματα προσομοίωσης μέσω ενός τοίχου ασβεστοκάνναβης. Αυτές οι ισόθερμες έδειξαν ξεκάθαρη καθυστέρηση. Η ισόθερμη ρόφησης παράχθηκε σε σχετική υγρασία πάνω από 95%.

Ο [4]Evrard (2008), μελέτησε τις υγροσκοπικές ιδιότητες μέσω πειραμάτων προσομοίωσης, σε έναν τοίχο κατασκευασμένο από μίγμα ασβεστοκάνναβης. Μέσω μίας συσκευής με πλάκα πίεσης, μέτρησε μία ισόθερμη ρόφησης σε όλο το εύρος υγρασίας, η οποία δεν έδειξε καθυστέρηση ιδιαίτερης σημασίας. Σύμφωνα με τον [4]Evrard (2008), η ισορροπία θεωρήθηκε ότι επιτεύχθηκε όταν η μάζα μεταβλήθηκε λιγότερο από 1% σε 24 ώρες. Για μικρά σπασμένα δείγματα από ασβεστοκάνναβη πήρε πολύ λίγες ημέρες, πάνω από 15, ώστε να επιτευχθεί η αντίστοιχη ισορροπία. Αυτό το διάστημα αποτελεί πολύ μικρό χρόνο σε σχέση με την αναμονή για την πραγματική ισορροπία, (χωρίς καμία αλλαγή βάρους).

Άλλες ισόθερμες ρόφησης για μίγματα ασβεστοκάνναβης έχουν περιγραφεί από τους [42]Tran Le et al. (2010). Ωστόσο, δεν μετρήθηκε καμία ισόθερμη ρόφησης σε ολόκληρη την κλίμακα υγρασίας (έως 100% RH). Όταν μελετάται η ασβεστοκάνναβη

που εκτίθεται σε φορτία υψηλής υγρασίας, η ισόθερμη ρόφησης σε υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας έχει μεγάλο ενδιαφέρον.

Ο [4]Evrard (2008) διεξήγαγε δοκιμές σε κύπελλα. Χρησιμοποίησε τέσσερα δείγματα τοποθετημένα σε μεγάλα γυάλινα βάζα πάνω σε γέλη πυριτίου, (silica gel). Τα βάζα τοποθετήθηκαν κλιματικό θάλαμο με 50% σχετική υγρασία. Με αυτή τη μέθοδο προσδιορίστηκε ο ξηρός συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας την τιμή που καταγράφηκε υπολογίστηκε η διαπερατότητα των υδρατμών.

Ο [3]Paulien de Bruijn, (2012) μελέτησε δύο διαφορετικά μίγματα ασβεστοκάνναβης, τα οποία είχαν παρόμοια συμπεριφορά στις ισόθερμες ρόφησης και εκρόφησης, αν και το μίγμα με μεγαλύτερο ποσοστό ασβέστου έδειξε ψηλότερες τιμές. Οι ισόθερμες και στα δύο δείγματα ήταν σχετικά οριζόντιες για σχετική υγρασία μέχρι 95%, αλλά στο διάστημα μεταξύ 95% - 100% παρατηρήθηκε και στις δύο απότομη αύξηση με έντονη κλίση. Η ασβεστοκάνναβη έχει ιδιαίτερη συμπεριφορά σε ψηλά ποσοστά υγρασίας γι' αυτό πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω σε υγρά και κρύα κλίματα.

Γενικά, πολλές έρευνες έχουν δείξει πως η ασβεστοκάνναβη μπορεί να αντέξει σε καλό βαθμό τα μεγάλα φορτία υγρασίας, (BRE, Suffolk, University, 2002). Επίσης, η μεταφορά θερμικών φορτίων και υγρασίας μέσα στο υλικό, αποτελούν συζευγμένα φαινόμενα.

Οι [37]Pavia et al., (2014), μελέτησαν το συντελεστή απορρόφησης σε δοκίμια ασβεστοκάνναβης διαφόρων μιγμάτων και οι τιμές που βρέθηκαν κυμάνθηκαν μεταξύ $2.65 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{1/2}$ και $3.37 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{1/2}$ μέσα στο πρώτο εικοσιτετράωρο. Αυτές είναι χαμηλότερες τιμές από αυτές που παρατήρησαν ο [4]Evrard (2008) και ο [3]Paulien de Bruijn (2009), οι οποίες είναι $4.42 \pm 0,27 \text{ Kg/ m}^2 \text{ h}^{1/2}$ και $9 \text{ Kg/ m}^2 \text{ h}^{1/2}$ αντίστοιχα, διότι τα δοκίμια που εξέτασαν είχαν ψηλότερες πυκνότητες. Η τριχοειδής συμπεριφορά ήταν παρόμοια σε όλα τα δοκίμια, με την απορρόφηση νερού να είναι ιδιαίτερα ψηλή στην αρχή, αλλά με το πέρασμα του χρόνου να μειώνεται κατά πολύ. Ακόμη παρατήρησε πως οι συγκρατητές νερού μέσα στο μίγμα μειώνουν το συντελεστή απορρόφησης, λόγω δημιουργίας μικρότερων μικροπόρων.

14.3 Πορώδες:

Μια μοναδική ιδιότητα της ασβεστοκάνναβης είναι το διπλό πορώδες του υλικού. Ο [48]Arnaud et al. (2006) ανέφερε ένα μικροσκοπικό πορώδες στα άχυρα κάνναβης. Επιπλέον υπάρχει ένα μακροσκοπικό πορώδες, το οποίο δημιουργείται από τη διάταξη των άχυρων κάνναβης μέσα στο μείγμα. Το μοναδικό πορώδες της ασβεστοκάνναβης διαμορφώνεται από πολλά χαρακτηριστικά μεγέθη. Οι μακροπόροι οφείλονται στην ατελή διάταξη των άχυρων κάνναβης μέσα στο μίγμα, οι μεσοπόροι δημιουργούνται ανάμεσα στα κομμάτια άχυρου και συνδετικού και τέλος οι μικροπόροι διαμορφώνονται εντός του ασβεστικού συνδετικού, ([43]Arnaud & Gourlay, 2012, [50]Collet et al., 2008). Το πορώδες της ασβεστοκάνναβης εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο συμπίεσης του μείγματος και φυσικά από την πυκνότητα του τελικού υλικού. Όσο αυξάνεται η πυκνότητα, τόσο μικρότερο είναι το πορώδες.

14.4. Θερμικές Ιδιότητες:

Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης της ασβεστοκάνναβης ως οικοδομικού υλικού είναι οι καλές του θερμομονωτικές ιδιότητες ([4]Evrard & De Herde, 2010, [51]Arnaud, 2009, [46]Elfordy et al., 2008, [12]Cerezo, 2005, [4]Evrard 2003, [13]Arnaud & Cerezo) . Ο [13]Arnaud & Cerezo, (2001) εξέτασαν τη θερμική αγωγιμότητα σε ένα μίγμα ασβεστοκάνναβης, με πυκνότητα 330 kg / m^3 , το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή τοίχου. Μετά τη διεξαγωγή των πειραμάτων η μέση τιμή θερμικής αγωγιμότητας που καταγράφηκε ήταν 0.135 W/mK .

Ο [12]Cerezo (2005) διαπίστωσε ότι η θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται τόσο από τη σχετική υγρασία όσο και από την πυκνότητα του υλικού. Πειράματα σε μίγμα με ενδιάμεση πυκνότητα (περ. 450 kg / m^3) έδειξαν θερμική αγωγιμότητα $0,10-0,11 \text{ W/mK}$ σε τιμές χαμηλής σχετικής υγρασίας (0-50% RH) και $0,13 \text{ W/mK}$ σε τιμές ψηλότερης σχετικής υγρασίας (75% RH).

Οι συγκρίσεις μεταξύ θερμικής αγωγιμότητας και πυκνότητας έγιναν από τον [51]Arnaud (2009). Οι τιμές βρέθηκαν να κυμαίνονται μεταξύ $0,07$ και $0,11 \text{ W / mK}$ για πυκνότητες μεταξύ 200 και 500 kg / m^3 . Ο [51]Arnaud (2009) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι θερμικές ιδιότητες της ασβεστοκάνναβης είναι πολύ ευαίσθητες

στους υδρατμούς και πως η θερμική αγωγιμότητα δίδει σαφή αύξηση όταν αυξάνεται η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

Ο [4]Evrard (2003) μελέτησε τις θερμικές ιδιότητες της ασβεστοκάνναβης σε διάφορες πυκνότητες και σε δύο διαφορετικές σχετικές υγρασίες. Διαπίστωσε πως για ένα μείγμα που χρησιμοποιήθηκε σε πείραμα προσομοίωσης τοίχου, η θερμική αγωγιμότητα ήταν $0,08 \text{ W / mK}$ για δείγματα σε ξηρό περιβάλλον και $0,13 \text{ W / mK}$ για δείγματα σε κλιματιζόμενο περιβάλλον με σχετική υγρασία 40%. Επίσης, διαπίστωσε πως η ειδική θερμοχωρητικότητα της ασβεστοκάνναβης είναι $1,4 \text{ kJ/kgK}$ και η θερμική διάχυση $0,14 \text{ mm}^2 / \text{s}$.

Ο [46]Elfordy et al. (2008) παρουσίασε αποτελέσματα για τη σχέση μεταξύ πυκνότητας και θερμικής αγωγιμότητας και διαπίστωσε ότι η θερμική αγωγιμότητα αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας. Οι [4]Evrard & De Herde (2002) έδειξαν ότι αυτή η σχέση είναι γραμμική. Ακόμη, βρήκαν θερμική αγωγιμότητα $0,11 \text{ W/mK}$ για δείγματα σε ξηρό περιβάλλον και $0,317 \text{ W/mK}$ για δείγματα σε περιβάλλον με σχετική υγρασία 100%.

Ο [44]Nguyen et al. (2009,) μελέτησε την κατεύθυνση των σωματιδίων και την επίδρασή της στις θερμικές ιδιότητες. Διαπίστωσε ότι η θερμική αγωγιμότητα κάθετα στην κατεύθυνση των σωματιδίων κάνναβης είναι χαμηλότερη από την θερμική αγωγιμότητα παράλληλα στην κατεύθυνση των σωματιδίων.

Η [32]Collet et al., (2014), μελέτησε τον τρόπο κατασκευής των δοκιμών και πως αυτός επηρεάζει τις θερμικές ιδιότητες της ασβεστοκάνναβης. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν πως ο τρόπος παρασκευής των δοκιμών (μέσω ψεκασμού ή έγχυσης σε καλούπι), επηρεάζει την πυκνότητα του υλικού και άρα την θερμική αγωγιμότητα. Ακόμη, διαπίστωσε πως το περιεχόμενο νερό στα δοκίμια έχει χαμηλή επίδραση στη θερμική αγωγιμότητα, αλλά πρέπει να συνυπολογίζεται στην υδροθερμική συμπεριφορά του υλικού. Η θερμική αγωγιμότητα για για ψηλές πυκνότητες είναι ψηλότερη κατά δύο φορές σε σχέση με χαμηλότερες πυκνότητες σε δοκίμια με ίδιο τρόπο παρασκευής.

Η [37]Pavia et al., (2014), μελέτησε διάφορα μίγματα ασβεστοκάνναβης και οι τιμές θερμικής αγωγιμότητας κυμάνθηκαν μεταξύ 0.39 W/m^2 και 0.46 W/m^2 . Οι ψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν σε δοκίμια με μεγαλύτερη πυκνότητα. Η μελέτη της κατέληξε πως η θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα. Γενικά, δεν οδηγήθηκε σε ουσιαστικά αποτελέσματα, που να αποδεικνύουν ότι ο τύπος του

υλικού επηρεάζει τη θερμική αγωγιμότητα, σε συνθήκη με τους Gourlay και Arnaud, οι οποίοι κατέληξαν πως ο τύπος του συνδετικού επηρεάζει ουσιαστικά. Πιθανολογείται να ευθύνεται το διαφορετικό υδραυλικό περιεχόμενο των μιγμάτων, λόγω εισαγωγής ποζολάνων.

Ακόμη, η [37]Pavia et al., (2014) μελέτησε την ειδική θερμοχωρητικότητα και οι τιμές που κατέγραψε κυμάνθηκαν μεταξύ 1240 J/KgK και 1350 J/KgK. Αυτές οι τιμές είναι λίγο μεγαλύτερες από τις τιμές που κατέγραψε ο [42]Tran Le AD et al., (2010) (1000 J/KgK) και χαμηλότερες από δοκίμια με ψηλότερη πυκνότητα (480 Kg^m³) που μελέτησε ο [4]Enrard, (2008), με τιμή θερμοχωρητικότητας 1560 J/KgK.

Στο Queen's University στο δέκατο συνέδριο προηγμένων δομικών υλικών διάφοροι ερευνητές μελέτησαν τις θερμικές ιδιότητες της ασβεστοκάνναβης μέσω πειραμάτων προσομοίωσης, κατασκευάζοντας έναν τοίχο, ο οποίος αφήθηκε να στεγνώσει για ένα χρόνο. Στο συνδετικό υλικό προσέθεσαν συγγρατητή νερού σκωρία υψικαμίνου. Η θερμική αγωγιμότητα υπολογίστηκε μέσα από πολλές δοκιμές θερμοκρασιών και ο μέσος όρος των τιμών είναι 0.105 W/mK. Η ειδική θερμοχωρητικότητα μετρήθηκε 1350 J/KgK.

Ο [3]Paulien de Bruijin, (2012) μελέτησε τη θερμική συμπεριφορά σε δύο διαφορετικά μίγματα ασβεστοκάνναβης σε δύο εύρη σχετικής υγρασίας. Το μίγμα με μεγαλύτερη πυκνότητα έδειξε ψηλότερη τιμή θερμικής αγωγιμότητας, αλλά συνολικά οι τιμές δεν είχαν μεγάλες διαφορές και κυμάνθηκαν μεταξύ 0.100 W/mK και 0.105 W/mK. Αντίστοιχα το μίγμα με την ψηλότερη πυκνότητα είχε και τη μεγαλύτερη τιμή ειδικής θερμοχωρητικότητας. Οι τιμές της ειδικής θερμοχωρητικότητας κυμάνθηκαν μεταξύ 3000 J/KgK και 4690 J/KgK.

15. Υλικά και Μέθοδος Κατασκευής Δοκιμίου Ασβεστοκάνναβης:

Υλικά:

15.1 Άχυρο κάνναβης:

Το άχυρο κάνναβης που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του δοκιμίου:

- προέρχεται από την Αυστία και αποτελεί μέρος της σοδιάς του 2016.
- Το υλικό ήταν αποθηκευμένο μέσα σε σακούλα, η οποία ήταν τοποθετημένη σε εσωτερικό εργαστηριακό χώρο.
- Πριν την δημιουργία του μίγματος το υλικό δεν ξηράνθηκε σε φούρνο, ώστε να απομακρυνθεί το περιεχόμενο νερό.
- Το άχυρο ήταν 100% καθαρό άχυρο και δεν περιείχε ίνες.

15.2 Συνδετικό:

Όσον αφορά το συνδετικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη περιείχε υδράσβεστο (υδροξείδιο του ασβεστίου, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) και ιπτάμενη τέφρα, που αποτελεί τεχνητή ποζολάνη.

Το δοκίμιο κατασκευάστηκε από εξειδικευμένο και έμπειρο οικοδόμο, τον Μάνο Ξημέρη, ο οποίος εξασφάλισε τη σωστή διαδικασία παραγωγής και επεξεργασίας του. Οι τιμές των ποσοτήτων που συνθέτουν το μίγμα παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ/ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ
Υδράσβεστος (υδροξείδιο του ασβεστίου, $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	800 gr
Τεχνητή ποζολάνη, Ιπτάμενη Τέφρα	400 gr
Άχυρο Κάνναβης	480 gr
Νερό	$\cong 1500$ gr

Πίνακας.1: Ποσότητες των υλικών στο μίγμα ασβεστοκάνναβης

Η αναλογία Συνδετικό: Άχυρο Κάνναβης: Νερό είναι 2,5:1:3. Η ποσότητα του νερού δεν καταγράφεται με ακρίβεια, αλλά πραγματοποιείται εμπειρικός έλεγχος του μίγματος κατά την παρασκευή του από τον παρασκευαστή.

Γενικότερα, η ποσότητα νερού που εισάγεται στο μίγμα διαφοροποιείται ανάλογα με τη σύσταση του συνδετικού υλικού, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να υπάρχει σταθερή και ακριβής αναλογία περιεχόμενου νερού. Κατά συνέπεια, η ακριβής ποσότητα νερού

καθορίζεται κατά την ανάμιξη, μέσω της επίτευξης της κατάλληλης εργασιμότητας του μίγματος. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν εκτεταμένες μελέτες, σχετικά με την εργασιμότητα της ασβεστοκάνναβης, αλλά στην παρούσα μελέτη το περιεχόμενο νερό καθορίστηκε από εξειδικευμένο και έμπειρο οικοδόμο, τον Μάνο Ξημέρη, ο οποίος εξασφάλισε τη σωστή εργασιμότητα του μίγματος.

15.3 Ανάμιξη – Παρασκευή Μίγματος:

Η ακολουθία ανάμιξης στα κονιάματα από κάνναβη δεν έχει ακόμη καθοριστεί. Σε προηγούμενες μελέτες κάποιοι ερευνητές βρέχουν την κάνναβη πριν από την προσθήκη του συνδετικού υλικού ([12]Cerezo et. al., 2005, [44]Nguyen T., 2010), ενώ άλλοι σχηματίζουν μία τσιμεντόπαστα από το συνδετικό και κάποιο ποσοστό από το συνολικό νερό πριν προσθέσουν την κάνναβη στο μίγμα, ([38]Gourlay E., Arnaud L., 2010, [52]Hirst E., Walker P., Paine K., Yates T., 2010). Προηγούμενες έρευνες έδειξαν πως σε ασβεστο-ποζολανικά κονιάματα, διαβρέχοντας την κάνναβη πριν την προσθήκη στο μίγμα, το συνδετικό υλικό αυξάνει τη ζήτηση ύδατος του σκυροδέματος και δεν προσδίδει σημαντικά οφέλη στις ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Στην παρούσα μελέτη η ανάμιξη πραγματοποιήθηκε με το χέρι και ο συνολικός χρόνος ανάμιξης κράτησε 10 λεπτά. Η διαδικασία παρασκευής δοκιμίου ξεκίνησε με την εισαγωγή νερού στην κάνναβη, μέχρι να φτάσει σε ελαφρύ κορεσμό. Το συνδετικό υλικό αναμείχθηκε χωρίς την προσθήκη νερού και έπειτα προστέθηκε στην κάνναβη. Κατά την ανάμειξη η προσθήκη του τελικού νερού έγινε σταδιακά, μέχρι το συνδετικό υλικό να καλύψει επαρκώς την κάνναβη. Η πλαστικότητα και εργασιμότητα του τελικού μείγματος, καθώς και η επαρκή ποσότητα νερού, ελέγχθηκαν σε ένα πρώτο σφαιρικό δείγμα 12 εκατοστών. Το δείγμα συμπίεστηκε ώστε να διαπιστωθεί ομοιόμορφη ρηγμάτωση, παράλληλη στον άξονα συμπίεσης, με φορά από το εσωτερικό του δείγματος προς την επιφάνεια.

Κατά τη διαδικασία παρασκευής διαφόρων δοκιμίων, με διαφορετικούς τρόπους ανάμειξης, διαπιστώθηκε ότι, η αρχική προσθήκη νερού στην κάνναβη, συμβάλει στη μείωση του χρόνου ανάμειξης και την αποφυγή σφάλματος υπερκορεσμού σε νερό στο τελικό μείγμα. Η ποσότητα του συνολικού νερού διαφέρει ανάλογα την μορφή και την ποιότητα υδρασβέστου (σκόνης ή πολτού), καθώς και από την κοκκομετρία και ποιότητα των ποζολάνων.

Το μίγμα τοποθετήθηκε σε ξύλινο καλούπι 30 x 30 x 5 με επένδυση από μεμβράνη σε ένα μόνο στρώμα και πιέστηκε απαλά δημιουργώντας μια πυκνότητα παρόμοια με εκείνη της τυπικής κατασκευής τοίχου.

Το καλούπι απομακρύνθηκε και τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε ένα δωμάτιο σκλήρυνσης στους $16 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ και $75 \pm 10\%$ σχετική υγρασία. Τα δείγματα παρέμειναν στο κλιματιζόμενο δωμάτιο για 14 ημέρες. Στη συνέχεια αφέθηκαν σε προστατευμένο εξωτερικό χώρο για 21 ημέρες. Τέλος, ακολούθησαν 18 μήνες σκλήρυνσης σε εργαστηριακές συνθήκες πριν από τη μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας (τιμή λ).

16. Πειραματικό μέρος:

Στην παρούσα μελέτη διεξήχθησαν τρία πειράματα για την διερεύνηση των θερμικών ιδιοτήτων του δοκιμίου ασβεστοκάνναβης. Σκοπός της εργασίας είναι η εισαγωγή των αποτελεσμάτων σε εξειδικευμένο ψηφιακό πρόγραμμα προσομοίωσης για την μελέτη της ενεργειακής κατανάλωσης και της θερμικής συμπεριφοράς υφιστάμενης κατοικίας στην οποία τοποθετείται το υλικό για την πλήρωση τοιχοποιίας. της ασβεστοκάνναβης σε υφιστάμενη κατοικία . Στην παρούσα μελέτη δεν μελετώνται οι μηχανικές ιδιότητες της ασβεστοκάνναβης.

16.1 Μέθοδος Θερμαινόμενων Πλακών:

Η μέθοδος θερμαινόμενων πλακών αποτελεί μια συγκριτική μέθοδο για τη μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας, δεδομένου ότι για τη βαθμονόμηση της συσκευής πρέπει να χρησιμοποιούνται δείγματα γνωστών ιδιοτήτων θερμικής μετάδοσης. Οι ιδιότητες των δειγμάτων βαθμονόμησης πρέπει να είναι ανιχνεύσιμες σε μια απόλυτη μέθοδο μέτρησης (π.χ. μέθοδος GHP). Για να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις αυτής της μεθόδου, η θερμική αντίσταση του δείγματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $0,10 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε επίπεδα, ομογενή στερεά, συμπαγή ή αφρώδη σε στερεή κατάσταση.

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου έγκειται στη δημιουργία μίας καθορισμένης ροής θερμότητας, η οποία περνά μέσα από ένα δοκίμιο. Για την δημιουργία της ροής θερμότητας χρησιμοποιούνται δύο πλάκες ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας. Μία θερμή πλάκα σταθερής θερμοκρασίας, μέσω της οποίας διαβιβάζεται θερμική ενέργεια στο δοκίμιο και μία ή δύο ψυχρές πλάκες σταθερής θερμοκρασίας που απάγουν τη θερμότητα, μετά τη διόδο στο δοκίμιο. Οι επιφάνειες των πλακών που έρχονται σε επαφή με το δείγμα αποτελούνται από κάποιο μέταλλο υψηλής θερμικής αγωγιμότητας, ενώ ταυτόχρονα τοποθετούνται κατάλληλοι αισθητήρες μέτρησης ροής θερμότητας.

Η θερμότητα ρέει από την θερμή πλάκα στην ψυχρή πλάκα μέσα από το δοκίμιο. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των πλακών διατηρείται σταθερή μέχρι να επιτευχθούν συνθήκες σταθερής μετάδοσης θερμότητας εντός του δείγματος. Στη συνέχεια, η θερμική αγωγιμότητα, λ ($\text{W}/(\text{mK})$), του δοκιμίου υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση Fourier.

Η θερμοκρασία και η ροή θερμότητας στις πλάκες και σε διάφορες θέσεις στο δοκίμιο καταγράφονται από ένα σύστημα συλλογής δεδομένων που αποτελείται από αισθητήρες θερμοκρασίας και ροής θερμότητας, μια συσκευή λήψης δεδομένων, και έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή.

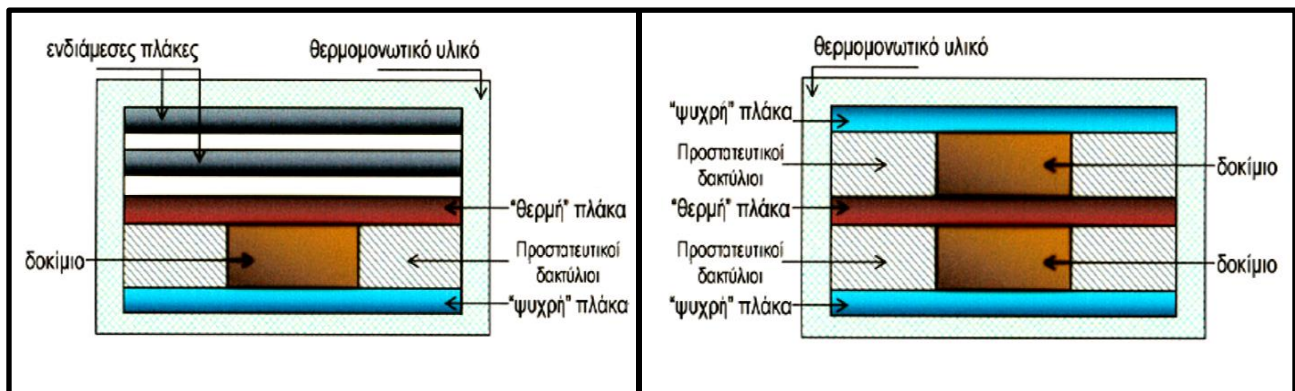
$$\lambda = \frac{q \cdot d}{\Delta T}$$

Εξίσωση Fourier

Η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται κυρίως από τον ακριβή προσδιορισμό της ροής θερμότητας. Κατά συνέπεια, πριν από κάθε μέτρηση οι αισθητήρες ροής θερμότητας πρέπει να βαθμονομούνται με τη βοήθεια πρότυπων δειγμάτων. Ακόμη, για να εξασφαλιστεί ορθά η διαδικασία, η μέτρηση και η βαθμονόμηση πρέπει να διεξάγονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Οι πλευρικές θερμικές απώλειες/ κέρδη δεν μπορούν να εξαλειφθούν πλήρως, παρά μόνο να μειωθούν με τη χρήση πλευρικής μόνωσης. Επίσης, απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή διεξαγωγή της μέτρησης αποτελεί η τέλεια επαφή μεταξύ των επιφανειών του δοκιμίου και των πλακών της συσκευής.

Σύμφωνα με τα πρότυπα τα βασικά στοιχεία μιας συσκευής θερμαινόμενων πλακών είναι:

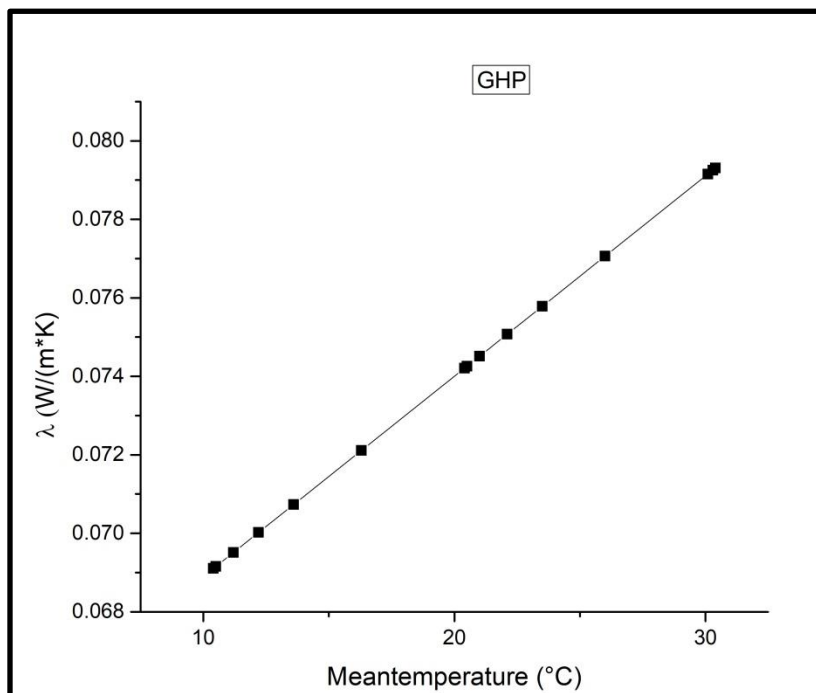
- Ένα πλαίσιο που φέρει δύο μεταλλικές πλάκες
- Μία μονάδα θέρμανσης και μια μονάδα ψύξης
- Τουλάχιστον ένας αισθητήρας ροής θερμότητας
- Αισθητήρες θερμοκρασίας
- Σύστημα συλλογής και καταγραφής μετρήσεων
- Σύστημα ελέγχου



Εικόνα.23: Σχηματική απεικόνιση συσκευών θερμαινόμενων πλακών

16.1.1 Πειραματικό Μέρος:

Η θερμική αγωγιμότητα λ (W/mK) στο δοκίμιο μετρήθηκε με συσκευή θερμαινόμενων πλακών TLP 300 - 2P, Two-plate-apparatus, Pressure: 400 N. Το δοκίμιο που εξετάστηκε είχε διαστάσεις 300mm x 300mm x 50 mm. Το δείγμα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε για τη βαθμονόμηση της συσκευής ήταν. Ο συνολικός χρόνος που χρειάστηκε για να ολοκληρωθεί η μέτρηση ήταν 11:30 ώρες. Το αποτέλεσμα της μέτρησης παρουσιάζεται με τη μορφή διαγράμματος, έπειτα από επεξεργασία με το λογισμικό Origin 9 2015.



Διάγραμμα .1: Η Θερμική αγωγιμότητα του δοκιμίου ασβεστοκάνναβης συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης, καταγράφηκαν διάφορες τιμές θερμικής αγωγιμότητας, ανάλογα τη μέση θερμοκρασία του δείγματος ασβεστοκάνναβης. Η μέση τιμή αυτών είναι $\lambda = 0.074 \pm 0.004$ W/mK για πυκνότητα δοκιμίου 300Kg/m^3 . Η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας είναι αρκετά χαμηλή συγκριτικά με προηγούμενες έρευνες για δοκίμια με μεγαλύτερες πυκνότητες ([4]Evrard A. 2008, [3]Paulien de Bruijn, [37]S. Pavia, 2014). Οι χαμηλές τιμές της θερμικής αγωγιμότητας ήταν αναμενόμενες, διότι η θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται κυρίως από την πυκνότητα του

υλικού. Όσο μικρότερη πυκνότητα έχει ένα υλικό, τόσο μικρότερη είναι και η θερμική αγωγιμότητα.

16.2 Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (Differential Scanning Calorimetry), (DSC):

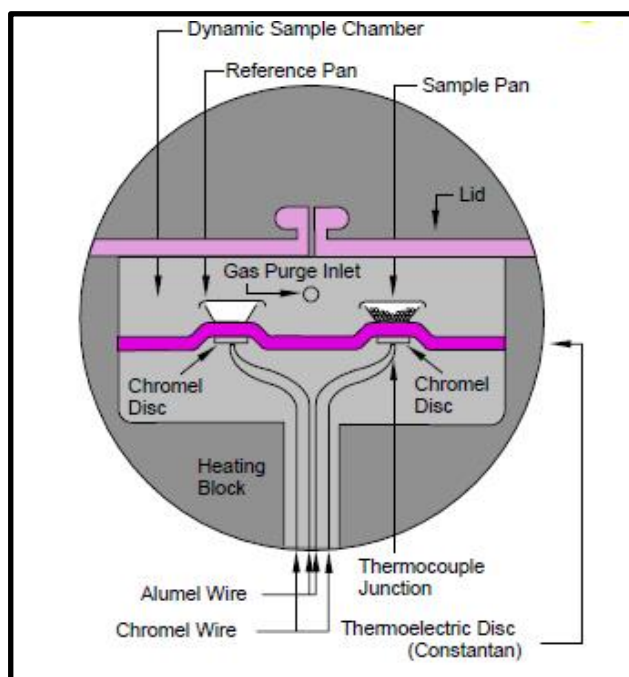
Με τις τεχνικές θερμικής ανάλυσης μελετάται η συμπεριφορά διάφορων υλικών συναρτήσει της θερμοκρασίας. Οι τεχνικές θερμικής ανάλυσης είναι κυρίως τεχνικές χαρακτηρισμού υλικών και φυσικών μετρήσεων. Ανάλογα με το ρυθμό ψύξης - θέρμανσης του δοκιμίου, επηρεάζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Κατά συνέπεια, έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένα πρωτόκολλα εκτελέσεως των πειραμάτων, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση.

Στις τεχνικές θερμικής ανάλυσης ανήκει η μέθοδος της Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης (Differential Scanning Calorimetry - DSC). Η Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (DSC) είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη, προσιτή και ευέλικτη τυποποιημένη μέθοδος για τον προσδιορισμό των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών. Η διάταξη DSC μελετά τη θερμότητα που απορροφάται η εκλύεται από το δείγμα του υλικού, κατά τη θέρμανση ή ψύξη, σε μία επιλεγμένη περιοχή θερμοκρασιών. Οι μετρήσεις προσφέρουν ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες, για φυσικές και χημικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα και εκφράζονται με ενδόθερμες ή εξώθερμες διεργασίες ή μεταβολές στην θερμοχωρητικότητα.

Σκοπός της διάταξης είναι η σύγκριση της εξέλιξης της θερμοκρασίας του υπό μελέτη δείγματος σε ένα μικρό περιορισμένο χώρο, σε σχέση με τη θερμοκρασία της καψιδίου αναφοράς σε συμμετρική θέση, κατά την ταυτόχρονη υποβολή τους σε ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα θερμοκρασίας. Το Σχήμα.1 δίνει μια σχηματική αναπαράσταση των κύριων τμημάτων ενός οργάνου DSC [73].

Για την διεξαγωγή του πειράματος τοποθετούνται σε δύο θερμαινόμενους υποδοχείς του μικροφούνρου DSC, δύο σφραγισμένα καψίδια αλουμινίου. Το ένα περιέχει το δείγμα του υλικού που μελετάται και το άλλο είναι κενό (δοκίμιο αναφοράς). Με τη χρήση του καψιδίου επιτυγχάνεται καλή θερμική επαφή με την πηγή παροχής ισχύος και τους αισθητήρες ελέγχου του συστήματος. Στο περιβάλλον των υποδοχέων δημιουργείται αδρανής ατμόσφαιρα με ροή αζώτου και ο θερμικός ελεγκτής (υπολογιστής) αρχίζει να θερμαίνει τους υποδοχείς με προκαθορισμένο σταθερό ρυθμό. Τα δύο καψίδια είναι διαφορετικά λόγω του διαφορετικού περιεχομένου τους.

Κατα τη διάρκεια του πειράματος η θερμοκρασία του υπό μελέτη δείγματος παραμένει συνεχώς ίση με αυτή του δείγματος αναφοράς, με τη βοήθεια θερμοζευκτών, ενώ η θερμοκρασία και των δύο αυξάνει (ή μειώνεται) γραμμικά με τον χρόνο, σύμφωνα με τον προκαθορισμένο ρυθμό θέρμανσης ή ψύξης. Το καψίδιο με το δείγμα απαιτεί περισσότερη θερμότητα για να κρατήσει το ρυθμό άυξης της θερμοκρασίας του. Η ισχύς που θερμαίνει ή ψύχει το δοκίμιο μεταβάλλεται σύμφωνα με την Αρχή της Αντιστάθμισης Ισχύος, ώστε οι θερμοκρασίες του δοκιμίου και του υλικού αναφοράς να παραμένουν οι ίδιες. Με αυτό τον τρόπο μετρούνται άμεσα διαφορές θερμότητας. Παρατηρώντας τις διαφορές στη ροή θερμότητας, ανάμεσα στο δείγμα και στο καψίδιο αναφοράς, καταγράφονται τα ποσά ενέργειας που απορροφώνται ή εκλύονται κατά τη μετατροπή των διάφορων φάσεων. Στη συνέχεια καταγράφεται η ροή θερμότητας συναρτήση του χρόνου ή της θερμοκρασίας για εξώθερμες, ή ενδόθερμες φυσικοχημικές διεργασίες.



Εικόνα.24: Σχηματική απεικόνιση κελιού DSC

Με την μέθοδο της Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης (DSC) μπορούν να μετρηθούν τα εξής:

- Η υαλώδης μετάπτωση
- Τα σημεία τήξεως και βρασμού

- Ο χρόνος κρυστάλλωσης και η θερμοκρασία κρυστάλλωσης
- Το ποσοστό κρυσταλλικότητας
- Η θερμότητα τήξης και αντίδρασης
- Η ειδική θερμοχωρητικότητα
- Η οξειδωτική/θερμική σταθερότητα
- Ο ρυθμός και ο βαθμός σκλήρυνσης
- Η κινητική των αντιδράσεων
- Η καθαρότητα

16.2.1 Πειραματικό Μέρος:

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμικής ανάλυσης με την πειραματική διάταξη DSC για το δοκίμιο ασβεστοκάνναβης. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή του πειράματος ήταν:

- Pyris 6 DSC, της εταιρίας Perkin Elmer.
- Ηλεκτρονικός υπολογιστής με το κατάλληλο λογισμικό (Pyris Software for Windows)
- Παροχή ροής υγρού και αερίου αζώτου.

Σκοπός του πειράματος ήταν να μετρηθεί η ειδική θερμοχωρητικότητα του δοκιμίου. Η θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση (C_p) και όγκο (C_v) είναι μία εξαιρετικά σημαντική καταστατική συνάρτηση στην Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης, επειδή απουσία χημικών αντιδράσεων ή μετασχηματισμών φάσεων, το πλάτος της καμπύλης DSC είναι ανάλογο της θερμοχωρητικότητας του δείγματος σε σταθερή πίεση.

Η θερμοχωρητικότητα υποδηλώνει πόση θερμότητα χρειάζεται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία του δείγματος κατά 1°C . Η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας καλείται ειδική θερμοχωρητικότητα. Η τεχνική DSC προσδιορίζει πάντα το C_p καθώς είναι αδύνατο να διατηρηθούν τα δείγματα υπό σταθερό όγκο όταν αυξάνεται η θερμοκρασία.

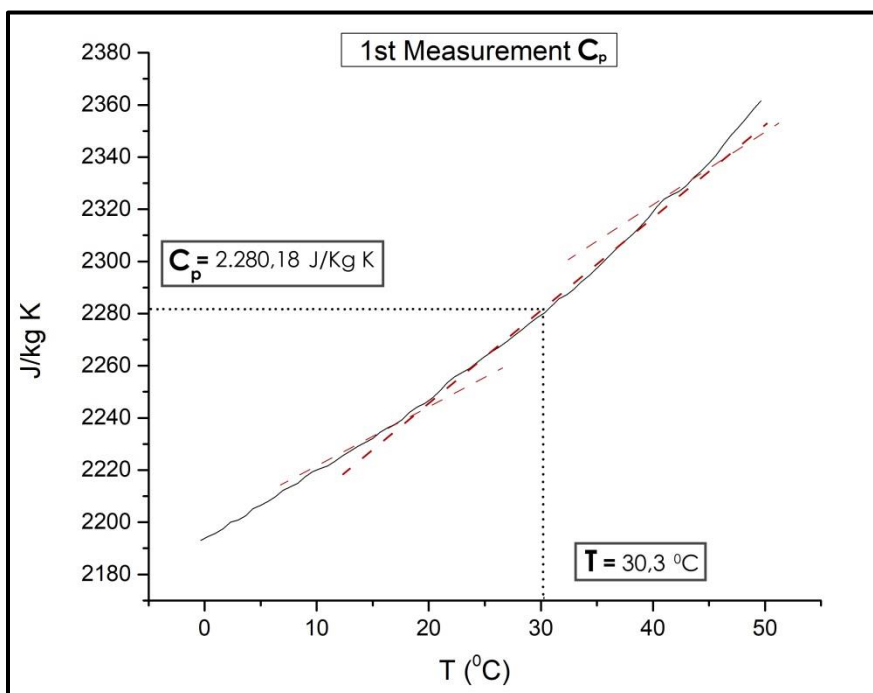
Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε κομμάτι του δοκιμίου, το οποίο κονιορτοποιήθηκε, ώστε να τοποθετηθεί στο καψίδιο αλουμινίου. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τρία δείγματα από τη σκόνη που παράχθηκε, ώστε να υπολογιστεί ένας μέσος όρος των αποτελεσμάτων, λόγω της ανομοιογένειας της σκόνης. Ο συνολικός χρόνος σάρωσης για κάθε δείγμα διήρκεσε 7 λεπτά, με ρυθμό θέρμανσης 10°C ανά λεπτό. Η θερμοκρασία εισόδου ήταν -10°C , ενώ η θερμοκρασία εξόδου ήταν 60°C .

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραμμάτων έπειτα από επεξεργασία με το λογισμικό Origin 9 2015.

Μέθοδος υπολογισμού της ειδικής θερμοχωρητικότητας:

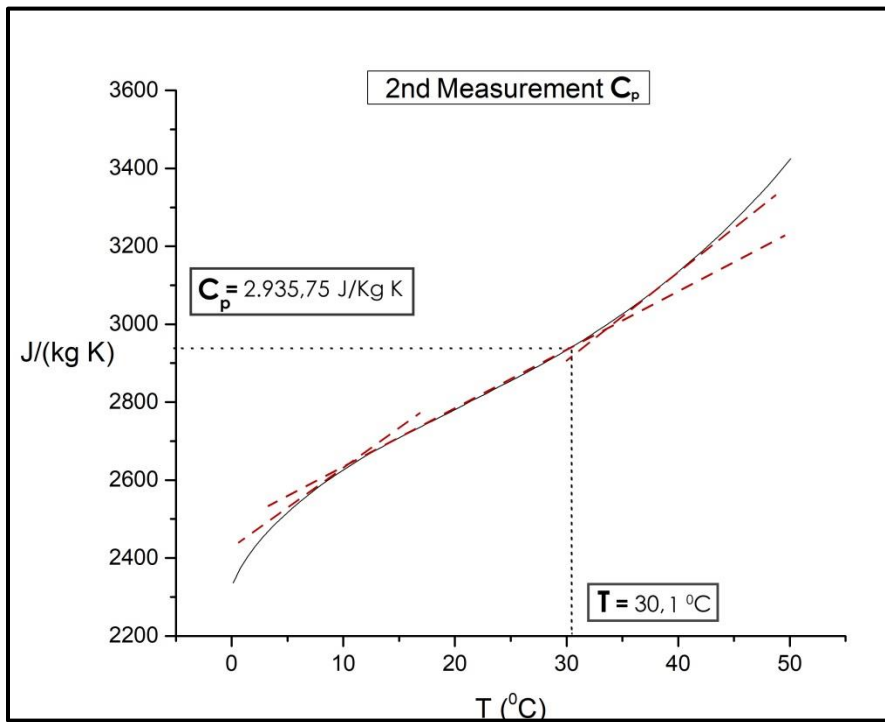
Το δοκίμιο που εξετάστηκε, είχε μάζα $m = 4,7400 \text{ mg}$. Βάσει των Διαγραμμάτων 1-3 και της μεθόδου $\text{half } C_p \text{ extrapolated}$ γίνεται ο υπολογισμός της ειδικής θερμοχωρητικότητας. Χαράζονται δύο εφαπτόμενες ευθείες στο ανώτερο και κατώτερο τμήμα του «βήματος» της καμπύλης και εφαπτόμενη στο κάθετο τμήμα του «βήματος». Στη συνέχεια, προβάλλουμε στον άξονα των y το ευθύγραμμο τμήμα που σχηματίζεται από τα δύο σημεία τομής των οριζόντιων εφαπτομένων και της κάθετης. Η προβολή αυτή αντιστοιχεί στο ΔC_p . Στη συνέχεια υπολογίζουμε τον μέσο όρο των τιμών ΔC_p για κάθε δείγμα, ώστε να βρούμε τη μέση τιμή της θερμοχωρητικότητας του υλικού.

Πρώτο δείγμα ($m = 4,740 \text{ mg}$):



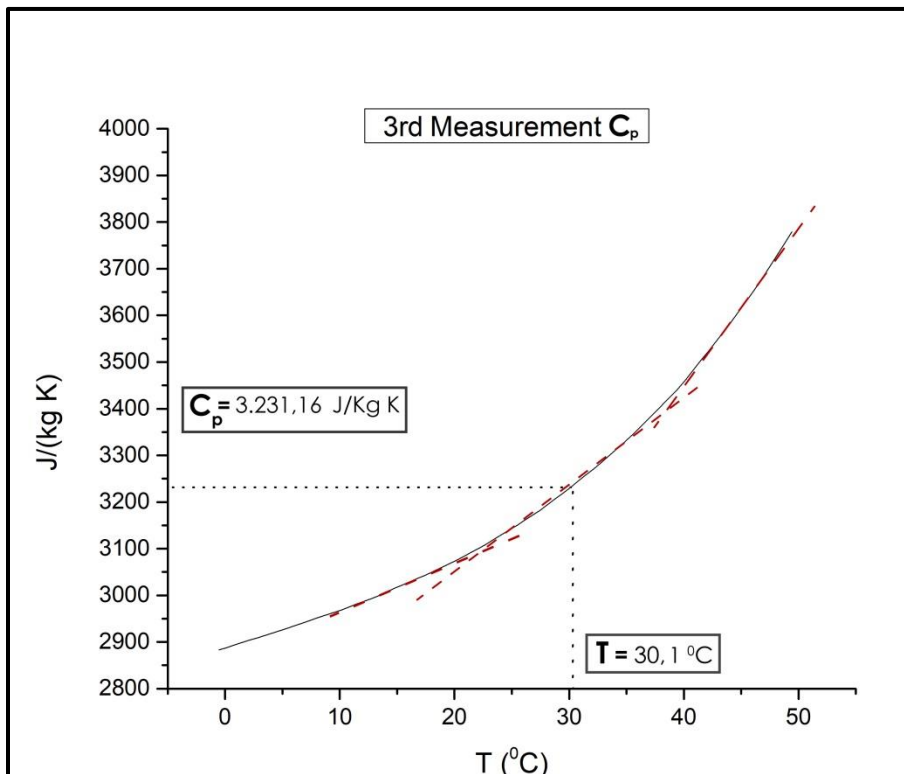
Διάγραμμα. 2: Καμπύλη θέρμανσης με ρυθμό $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$

Δεύτερο δείγμα ($m = 5,900 \text{ mg}$):



Διάγραμμα. 3: Καμπύλη θέρμανσης με ρυθμό $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$

Τρίτο δείγμα ($m = 4,740 \text{ mg}$):



Διάγραμμα. 4: Καμπύλη θέρμανσης με ρυθμό $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$

Ο μέσος όρος της ειδικής θερμοχωρητικότητας των τριών δειγμάτων είναι $C_p = 2.815,69 \text{ J/Kg K}$ για το δοκίμιο με πυκνότητα 300 Kg/m^3 . Η τιμή της ειδικής θερμοχωρητικότητας είναι αρκετά ψηλότερη σε σχέση με προηγούμενες έρευνες, για δοκίμια με μεγαλύτερες πυκνότητες, ([4]Evrard A. 2008, [3]Paulien de Bruijn, [37]S. Pavia, 2014).

16.3 Πείραμα Υδατοαπορρόφησης:

Σκοπός της συγκεκριμένης δοκιμής ήταν η εκτίμηση του συντελεστή τριχοειδούς απορρόφησης του δοκιμίου ασβεστοκάνναβης. Πριν την έναρξη της διαδικασίας, μετρήθηκε το βάρος του δοκιμίου, το οποίο υπολογίστηκε $33,83\text{g}$. Στη συνέχεια το δείγμα ασβεστοκάνναβης με διαστάσεις $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ τοποθετήθηκε σε δοχείο που στο κάτω μέρος του υπήρχε ένα υδρόφυλλο μέσο με απιονισμένο νερό.

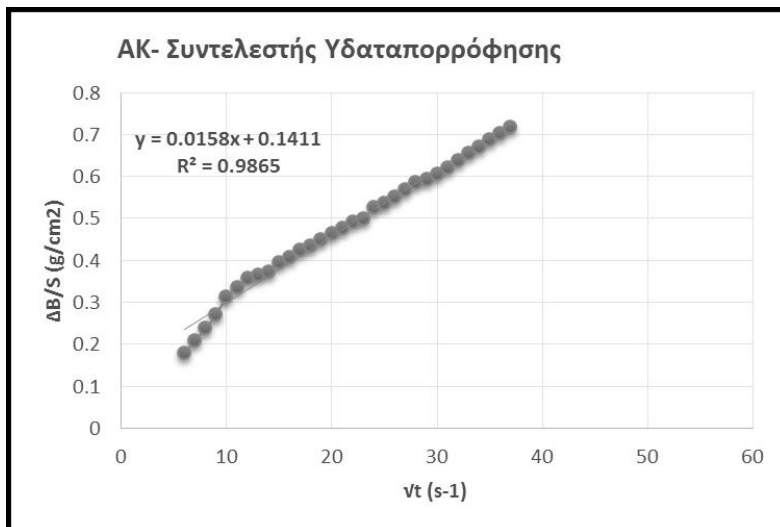
Κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου, το δείγμα απορροφά νερό μέσω των τριχοειδών πόρων του και το μέτωπο νερού κατευθύνεται προς την πάνω πλευρά του δείγματος. Η ποσότητα του απορροφούμενου νερού μετρήθηκε ζυγίζοντας το δείγμα σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα μέχρι να έρθει σε κορεσμό και να σταθεροποιηθεί το βάρος του. Ο συντελεστής τριχοειδούς απορρόφησης προσδιορίζεται από τη κλίση της ευθείας γραμμής, σύμφωνα με την εξίσωση.

$$A = \Delta B / (S \sqrt{t})$$

όπου A είναι ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης ($\text{kg/m}^2 \text{ s}^{-1/2}$), ΔB είναι η μάζα του απορροφούμενου νερού που μετριέται σε χρονικές στιγμές t_1 και t_0 αντίστοιχα (kg), S είναι το εμβαδό της επιφάνειας του δείγματος s που είναι σε επαφή με το νερό (m^2) και t είναι το χρονικό διάστημα από το χρόνο t_0 έως το χρόνο t_1 (s).

Κατά τη διάρκεια του δεύτερου σταδίου, το μέτωπο του νερού έχει φτάσει στο πάνω μέρος του δείγματος και κάθε επιπλέον αύξηση στη μάζα του απορροφούμενου νερού μπορεί να αποδοθεί στη διάχυση του νερού στο δομικό υλικό ή στη μεταφορά του νερού διαμέσω άλλων πόρων.

Οι μετρήσεις αποδίδονται με τη μορφή διαγράμματος ύστερα από επεξεργασία με το λογισμικό Excel.



Διάγραμμα .5: Συντελεστής υδαταπορρόφησης δοκιμίου ασβεστοκάνναβης.

Σύμφωνα με το πρότυπο NORMAL 11/85 και EN 1925 ο συντελεστής υδαταπορρόφησης υπολογίζεται, μέσω μίας εφαπτομένης, από τον μέσο όρο των τιμών του λόγου, ο οποίος ισούται με την τιμή της κλίσης των σημείων της καμπύλης του διαγράμματος. Στην γραμμή τάσης δεν συμπεριλήφθηκαν τα αρχικά και τελικά σημεία της καμπύλης, παρά μόνο ο βασικός κορμός των σημείων που προσομοιάζει καλύτερα σε ευθεία γραμμή. Η τιμή που καταγράφεται είναι $C = 15,8 \text{ mg}/(\text{cm}^2 \cdot \sqrt{\text{s}})$ ή $C = 9,48 \text{ Kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ και ο συντελεστής συσχέτισης είναι 0,987 που κρίνεται υψηλός. Ο συντελεστής απορρόφησης συγκριτικά με προηγούμενες μελέτες κρίνεται υψηλός, λόγω της χαμηλής πυκνότητας του δοκιμίου. Η τιμή του είναι ψηλότερη από τις τιμές που παρατηρήθηκαν από τον [4]Evrard 2008 και τους [3]Bruijn et al., 2009 ($4,42 \pm 0.27 \text{ Kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ και $9 \text{ Kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ αντίστοιχα). Η ασβεστοκάνναβη λόγω του μεγάλου πορώδους και της χαμηλής πυκνότητας απορροφάει νερό με μεγάλη ταχύτητα, το οποίο προκαλεί εκτεταμένες φθορές. Κατα τη διάρκεια της δοκιμής εμφανίστηκαν αποκολλήσεις τεμαχίων του υλικού στα σημεία εκείνα που είχαν κορεστεί από το νερό.

Το δοκίμιο που εξετάστηκε είχε εξαιρετικά χαμηλή πυκνότητα ($300 \text{ Kg}/\text{m}^2$.) Έτσι στη φάση του κορεσμού, ενώ με όρους όγκου, το νερό καταλαμβάνει μόλις το 17,43% του όγκου το δοκιμίου, με όρους μάζας το δοκίμιο αυξάνει την μάζα του κατά 70,85%.

Η ασβεστοκάνναβη ως υλικό απαιτεί ιδιαίτερη προστασία από το νερό, γι' αυτό κάθε φορά που χρησιμοποιείται, πρέπει να συνδιάζεται με κατάλληλο και συμβατό επίχρισμα, ώστε να μειώνονται οι πιθανότητες επαφής της με νερό.

Μέρος Γ': Υπολογιστική Προσομοίωση

Στην παρούσα ενότητα πραγματοποιείται προσωμοίωση κτιρίου, μέσω του ενεργειακού λογισμικού Design Builder, στην παραδοσιακή οικία Σαρρή Τριανταφύλλου, η οποία βρίσκεται στον οικισμό Αγίου Γεωργίου Νηλείας στο Πήλιο. Το Πήλιο ανήκει στην ηπειρωτική Μεσογειακή κλιματική ζώνη και χαρακτηρίζεται από κρύους χειμώνες με δυνατούς βοριοανατολικούς ανέμους, βροχές, καταιγίδες και συχνές χιονοπτώσεις. Η θερμοκρασία το χειμώνα είναι χαμηλή και συχνά πέφτει υπό το μηδέν. Τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά. Το κλίμα διαφοροποιείται ελαφρά ανάλογα τον προσανατολισμό. Το χωριό Άγιος Γεώργιος Νηλείας βρίσκεται σε υψόμετρο 700 μέτρων και το χειμώνα οι μέγιστες θερμοκρασίες φτάνουν γύρω στους 10°C ενώ οι ελάχιστες πέφτουν συχνά κάτω από το μηδέν. Το καλοκαίρι οι μέγιστες τιμές κυμαίνονται από 30 μέχρι 35°C ενώ το χαρακτηριστικό στοιχείο της περιόδου είναι η μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μέρας και νύχτας, ([53]Ε. Αλεξάνδρου, 2014).

17. Οικία Σαρρή Τριανταφύλλου, Περιγραφή Κτιρίου:

Η οικία Σαρρή Τριανταφύλλου αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα της τοπικής παραδοσιακής αρχιτεκτονικής του Πηλίου και των ευρύτερων οικισμών του, όπως ο Άγιος Γεώργιος. Το 1850, η οικία χωρίστηκε σε δύο ιδιοκτησίες (αδερφομοίρι), με αποτέλεσμα την αλλοίωση της παραδοσιακής μορφής τμήματος του κτιρίου. Η αυθεντική αρχιτεκτονική του σώζεται μόνο στο δυτικό μισό. Το άλλο μισό, ανακατασκευάστηκε σχεδόν εκ θεμελίων με «νεοκλασική» προσέγγιση του χώρου, χωρίς μεσότοιχο. Ο διαχωριστικός τοίχος είναι ελαφριά κατασκευή και σήμερα αποτελείται από τούβλα. Το κτίριο διαθέτει ένα επιπλέον κτίσμα, που συγκεντρώνονται οι βοηθητικοί χώροι της κατοικίας, το οποίο χωρίστηκε στη μέση με τη διάνοιξη του κεντρικού δρόμου, (arch.ntua.gr).

Η κατοικία αναπτύσσεται σε τρία δίχωρα επίπεδα σύμφωνα με το παραδοσιακό πρότυπο. Η μπροστινή ζώνη με νοτιοδυτικό προσανατολισμό περιλαμβάνει τους χώρους υποδοχής και διημέρευσης. Αντίστοιχα, οι πίσω χώροι με βορειοδυτικό προσανατολισμό και στα τρία επίπεδα, περιλαμβάνουν τα υπνοδωμάτια στους ορόφους και την κουζίνα στο ισόγειο. Όλοι οι χώροι διαθέτουν από ένα τουλάχιστον

μικρό άνοιγμα, εκτός από τον χώρο υποδοχής στον δεύτερο όροφο, ο οποίος περιβάλλεται από ξυλόπηκτη τοιχοποιία με διαμπερή ανοίγματα. Το σπίτι κατοικείται χειμώνα - καλοκαίρι με μικρές απουσίες των ενοίκων ([53]Ε. Αλεξάνδρου, 2014).

Κατά την αποκατάσταση του, οι επισκευές περιορίζονται στην ενίσχυση της δομής χωρίς σημαντικές αλλαγές στην διάρθρωση των χώρων και το κτιριακό κέλυφος. Δεν τοποθετούνται μονώσεις ή διπλοί υαλοπίνακες στα κουφώματα, ενώ θερμαίνεται αποκλειστικά με τα δύο τζάκια των ορόφων και με ένα μικρό θερμαντικό σώμα στο ισόγειο, ([53]Ε. Αλεξάνδρου, 2014).

Το χαρακτηριστικό αρχιτεκτονικό στοιχείο που συναντάται στην οικία είναι το σαχνισί. Τοποθετείται στον δεύτερο όροφο της οικίας και αποτελεί προεξοχή στηριγμένη σε ξύλινα στοιχεία, τα οποία προβάλλουν πέρα από τα όρια της τοιχοποιίας του από κάτω ορόφου. Ουσιαστικά αποτελεί την εξέλιξη του τούρκικου χαγιατιού, το οποίο αρχικά ήταν ημιυπαίθριος χώρος και με στην πορεία του χρόνου έκλεισε.

Το σαχνισί, αποτελείται από ξύλινο σκελετό, ο οποίος κατασκευάζεται με οριζόντια και κατακόρυφα μέλη, συνδεδεμένα σε ένα σύνολο που συνιστά την υποδομή των ελαφρών τοίχων. Αυτοί οι ελαφριοί τοίχοι ονομάζονται τσατμάδες και αποτελούνται από πλεγμένα καλάμια, άχυρα ή ξύλα πολύ μικρής διατομής, ενώ ως πληρωτικό - συνδετικό υλικό χρησιμοποιείται η λάσπη.

Το σαχνισί, στην παραδοσιακή κατοικία, διαθέτει τα μεγαλύτερα ανοίγματα του κτιρίου και είναι προσανατολισμένο προς το νότο, νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά με σκοπό την αξιοποίηση του φωτός και της θερμότητας του ήλιου. Πάνω από τα ανοίγματα παρατηρούνται γύψινοι φεγγίτες, οι οποίοι προσθέτουν στην αξιοποίηση του ήλιου, (arch.ntua.gr).



Εικόνα.25: Οικία Σαρρη Τρανταφύλλου



Εικόνα.26: Οικία Σαρρη Τρανταφύλλου, Σαχνισί

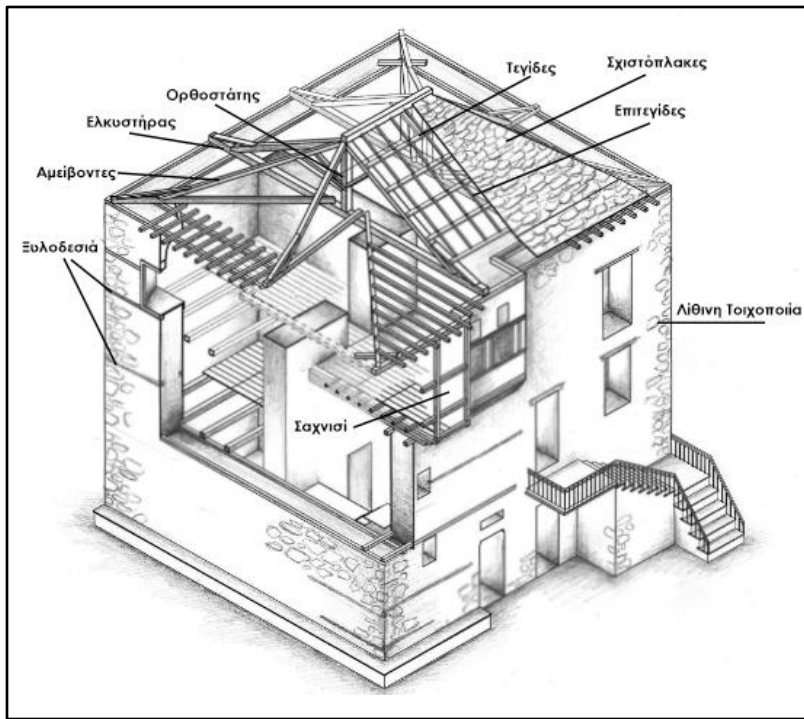


Εικόνα.27: Οικία Σαρρη Τρανταφύλλου, Σαχνισί Εσωτερικό

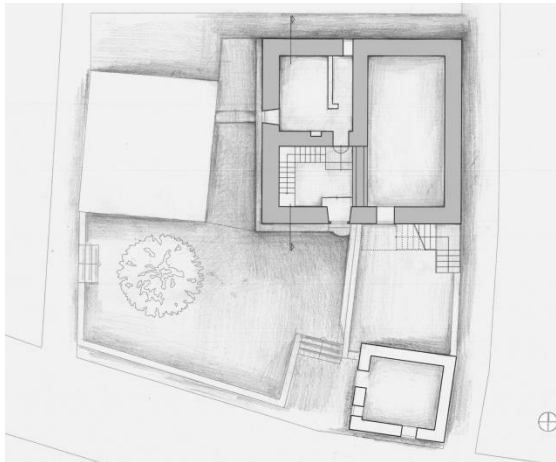
Οι εξωτερικοί τοίχοι αποτελούνται από λιθοδομές ενισχυμένες με ξυλοδεσιές και έχουν μεγάλο πάχος στην βάση, το οποίο μειώνεται στην ανωδομή. Οι τοιχοποιίες είναι τρίστρωτες, δηλαδή οι δύο παρειές (εσωτερική και εξωτερική) χτίζονται παράλληλα ενώ τα κενά μεταξύ τους γεμίζουν με μικρότερα λιθοσώματα και λάσπη. (arch.ntua.gr).

Η διαίρεση των χώρων εσωτερικά γίνεται με τσατμάδες, ενώ η εσωτερική επικοινωνία επιτυγχάνεται με την κατασκευή ξύλινης σκάλας.

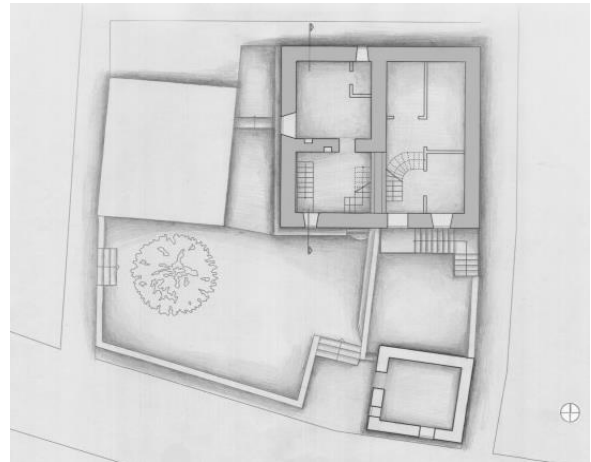
Η στέγη είναι η βασικότερη κατασκευή του κτίσματος, καθώς προφυλάσσει το κτίριο από τα φυσικά στοιχεία. Η κάλυψη της κατοικίας πραγματοποιείται με κεκλιμένη τετράρριχτη ξύλινη στέγη. Ως υλικό επικάλυψης χρησιμοποιούνται σχιστόπλακες, οι οποίες στρώνονται από κάτω προς τα πάνω, ώστε να αλληλοεπικαλύπτονται και να μην επιτρέπουν στο νερό να εισέλθει στην κατασκευή, (arch.ntua.gr).



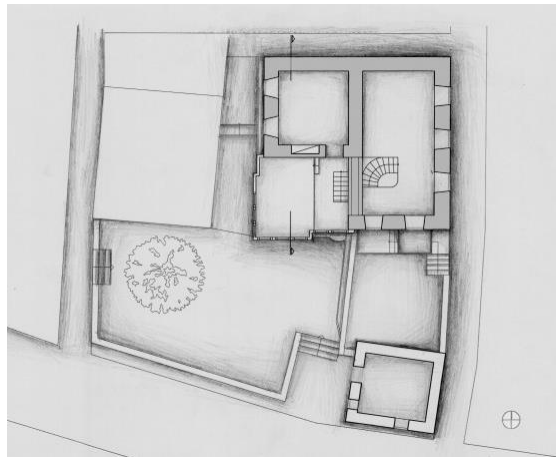
Εικόνα.28: Αξονομετρική Τομή



Εικόνα.29: Κάτοψη Ισογείου



Εικόνα.30: Κάτοψη Ορόφου



Εικόνα.31: Κάτοψη Δεύτερου ορόφου

18. Πρόγραμμα Προσομοίωσης Design Builder, (Energy Plus):

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση της θερμικής συμπεριφοράς της ασβεστοκάνναβης ως δομικό υλικό. Πιο συγκεκριμένα προσομοιώνεται η χρήση του υλικού, ως υλικό πλήρωσης της ξυλόπηκτης κατασκευής του δευτέρου ορόφου στην οικία Τριανταφύλλου. Για την επίτευξη της θερμικής ανάλυσης χρησιμοποιείται το πρόγραμμα προσομοίωσης κτιρίων και χώρων, DesignBuilder. Το πρόγραμμα προσφέρει πληροφορίες, ως προς την ενεργειακή κατανάλωση και τη θερμική συμπεριφορά ολόκληρου του κτιρίου ή μεμονωμένων μελών του. Για την προσομοίωση επιλέγεται η οικία Τριανταφύλλου, στην οποία συναντάται ξυλόπηκτος τοίχος, ίδιας κατασκευαστικής λογικής με την τοιχοποιία από ασβεστοκάνναβη. Η οικία έχει αποκατασταθεί πλήρως, με υλικά που σέβονται τον ιστορικό της χαρακτήρα. Ταυτόχρονα, έχει ήδη πραγματοποιηθεί θερμική μελέτη της υφιστάμενης κατάστασης από την κ. Ε. Αλεξάνδρου, επίκουρη καθηγήτρια του Ε.Μ.Π. Μετά το πέρας της προσομοίωσης συγκρίνονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας με αυτά της υπάρχουσας μελέτης. Το μοντέλο του κτιρίου κατασκευάστηκε στο περιβάλλον εργασίας του DesignBuilder, ενώ η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε μέσω της ενσωματωμένης εφαρμογής energy plus. Το πρόγραμμα λειτουργεί σύμφωνα με την παρακάτω ιεραρχία:

- Τοποθεσία
- Κτίριο
- Μπλοκ (Όροφοι)
- Ζώνη (Χώροι)
- Επιφάνειες (Δομικά μέλη)
- Ανοίγματα (Παράθυρα/Πόρτες)

Το DesignBuilder, καθώς και το e⁺, ακολουθούν ένα μοντέλο ιεραρχίας δεδομένων. Το DesignBuilder χρησιμοποιεί περαιτέρω την «κληρονομικότητα δεδομένων», μέσω κατηγοριών, επιτρέποντάς την αυτόματη συμπλήρωση των υποκατηγοριών. Με αυτόν τον τρόπο η πληροφορία διαβιβάζεται αυτόματα, από επίπεδα υψηλότερης κατηγορίας σε επίπεδα χαμηλότερης κατηγορίας, καθιστώντας την εισαγωγή δεδομένων ταχύτερη και πιο αξιόπιστη.

Τα προεπιλεγμένα δεδομένα κληρονομούνται από το πάνω επίπεδο ιεραρχίας, έτσι, τα δεδομένα του μπλοκ κληρονομούνται από το επίπεδο του κτιρίου, τα δεδομένα της ζώνης κληρονομούνται από δεδομένα του μπλοκ και τα δεδομένα της επιφάνειας κληρονομούνται από τα δεδομένα ζώνης. Αν πραγματοποιηθεί μία αλλαγή σε μία ρύθμιση, τότε αυτή η αλλαγή κληρονομείται σε όλα τα επίπεδα κατώτερης ιεραρχίας. Η κατανόηση της παραπάνω ιεραρχίας είναι πολύ βασική για τον σωστό σχεδιασμό των κτιρίων.

Για την σωστή χρήση του προγράμματος, απαραίτητη διαδικασία αποτελεί ο διαχωρισμός των διεργασιών σε τρία βασικά στάδια. Το πρώτο είναι ο σχεδιασμός του κτιρίου, δηλαδή η βασική του γεωμετρία, το επόμενο είναι ο ορισμός των τεχνικών χαρακτηριστικών (υλικά) του μοντέλου και τέλος η προσομοίωση με το Energy Plus για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Τα χαρακτηριστικά του μοντέλου, αφορούν σε στοιχεία, όπως τα υλικά κατασκευής του κτιρίου, τα πάχη των δομικών μελών, η ανθρώπινη δραστηριότητα, τα ανοίγματα, ο σκιασμός, η θέρμανση, η ψύξη, ο αερισμός κ.α. Κατά συνέπεια, το τρίτο στάδιο αποτελεί τη σημαντικότερη διαδικασία, εφόσον από αυτή εξαρτάται κυρίως η ορθότητα των τελικών αποτελεσμάτων. Η κατανόηση αυτών των τριών σταδίων είναι πολύ σημαντική για την βέλτιστη χρήση του προγράμματος. Στην επόμενη ενότητα, περιγράφεται ο τρόπος σχεδιασμού της οικίας Σαρρή Τριανταφύλου, ενώ καταγράφονται τα βασικότερα στάδια επεξεργασίας.

19. Προσομοίωση Μοντέλου

19.1 Σχεδιασμός Μοντέλου:

Κατά την εκκίνηση του προγράμματος πρέπει να οριστεί η περιοχή του βρίσκεται το κτίριο. Οι επιλογές template που είναι διαθέσιμες στη βιβλιοθήκη του προγράμματος είναι όλες οι περιοχές της Ελλάδος που έχουν αεροδρόμιο. Επιλέγεται η πόλη της Λάρισσας, διότι είναι η κοντινότερη περιοχή στον Άγιο Γεώργιο, με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες. Στην ενότητα hourly weather data εισάγεται αρχείο με τα κλιματικά δεδομένα του Βόλου. Η επιλογή περιοχής είναι πολύ σημαντική καθώς από εκεί λαμβάνονται τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης.

Ο σχεδιασμός του κτιρίου πραγματοποιείται σύμφωνα με τα σχέδια κατασκευής του, καθώς το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα εισαγωγής αρχείου .dxf.

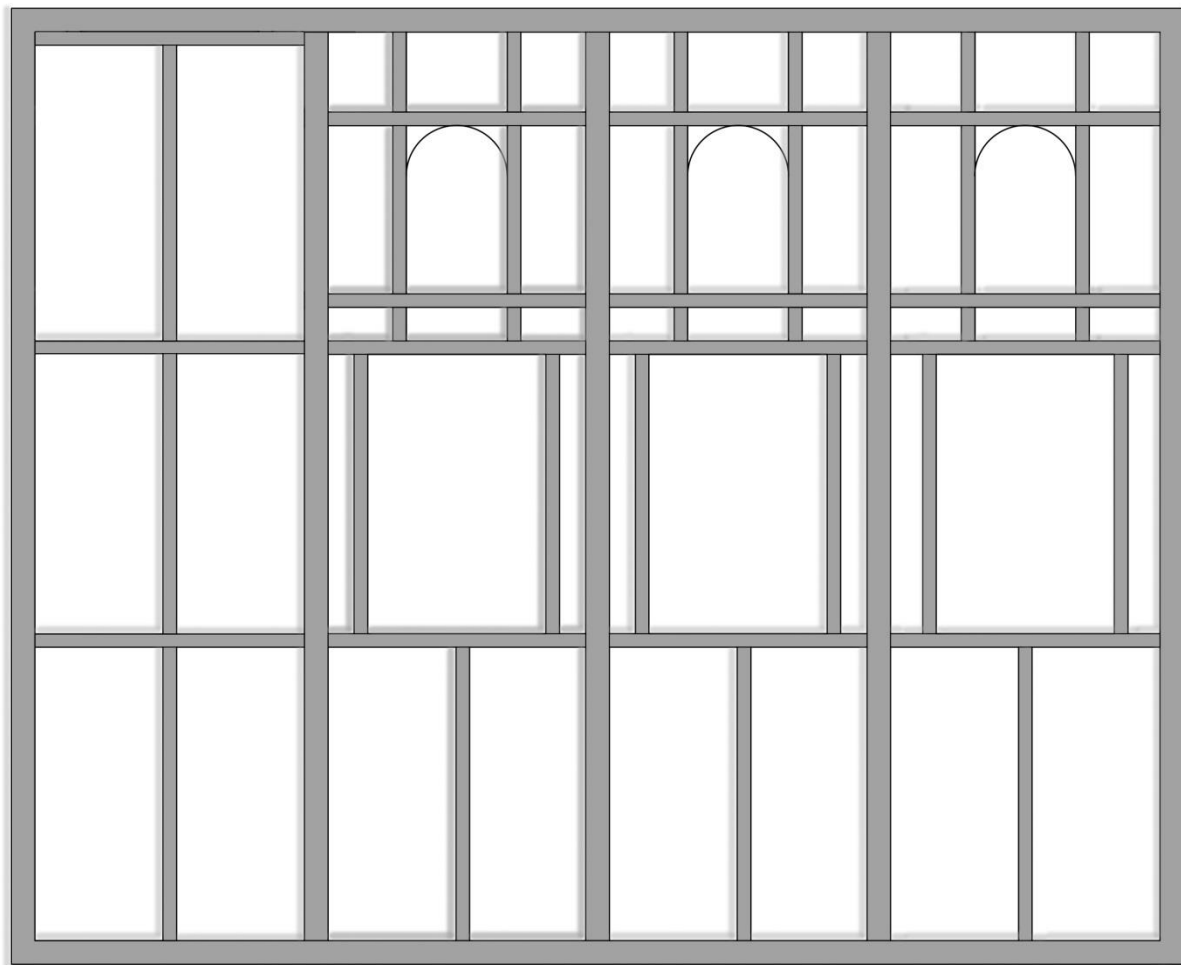
Ο σχεδιασμός των επιφανειών δεν πραγματοποιείται ξεχωριστά, αλλά σε μορφή block για κάθε όροφο. Αρχικά σχεδιάζεται το ισόγειο, με την εντολή add new block. Σημαντικό για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του προγράμματος, είναι οι επί μέρους επιφάνειες που απαρτίζουν το block κάθε ορόφου. Κάθε block αποτελείται από τους τοίχους, τις οροφές και τα δάπεδα. Τα χαρακτηριστικά των επιφανειών αποδίδονται σε επόμενη διαδικασία.

Κάθε block ορόφου σχεδιάζεται με την εντολή building block και συνίσταται από το δάπεδο (floor), την οροφή (roof) και τους τοίχους (walls). Το block του ισογείου περιλαμβάνει δύο χώρους οι οποίοι διαχωρίζονται με λίθινο εσωτερικό τοίχο. Για την δημιουργία των επί μέρους χώρων χρησιμοποιείται η εντολή Draw partitions. Η τελευταία διαδικασία που πραγματοποιείται είναι ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων, (πόρτες-παράθυρα). Για την εισαγωγή αυτών των στοιχείων ανοίγεται στο κατώτερο επίπεδο της ιεραρχίας και επιλέγεται σε ποια επιφάνεια (δηλαδή τοίχο), θα εισαχθούν τα ανοίγματα. Για την εισαγωγή των πορτών και των παραθύρων, χρησιμοποιούνται οι εντολές draw door και draw window αντίστοιχα.

Ο σχεδιασμός του πρώτου ορόφου πραγματοποιείται με την ίδια διαδικασία, πάνω από το block του ισογείου, καθώς έχει όμοια διαρρύθμιση και χαρακτηριστικά με το ισόγειο. Αντίθετα, ο σχεδιασμός του ορόφου, αποτελεί πιο σύνθετη διαδικασία, λόγω των πολλών ανοιγμάτων και των κατασκευαστικών ιδιομορφιών της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας. Αρχικά, σχεδιάζεται ο όροφος με την εντολή add block, με σκοπό να εξασφαλιστεί η συνάφεια και συνέχεια με το υπόλοιπο κτίριο. Σε αυτό περιλαμβάνονται, δύο χώροι, οι οποίοι διαχωρίζονται με λίθινο εσωτερικό τοίχο. Όπως και στους άλλους δύο ορόφους, ο διαχωριστικός τοίχος σχεδιάζεται με την εντολή draw partitions σύμφωνα με τις υποδείξεις των σχεδίων. Στη συνέχεια, σχεδιάζονται τα παράθυρα, τα οποία είναι δύο τύπων, απλό παράθυρο και φεγγίτης. Για τη σχεδίαση των ανοιγμάτων, όπως και στους άλλους δύο ορόφους, επιλέγονται οι επιφάνειες στις οποίες τοποθετούνται.

Το σημείο που κατασκευάζεται το σαχνισί, δηλαδή η ξυλόπηκτη τοιχοποιία, βρίσκεται στο νοτιοδυτικό κομμάτι της κάτοψης. Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού της τοιχοποιίας αποτελεί, ο σχεδιασμός του εσωτερικού ξύλινου σκελετού.

Η δημιουργία του συστήματος του ξυλότυπου στις επιφάνειες των ξυλόπηκτων τοίχων, πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια σχεδίων και σχεδιαστικών εργαλείων του design builder. Οι ξύλινες δοκοί, δημιουργούνται με την εντολή draw sub-surfaces και αντιμετωπίζονται ως υπο – επιφάνειες, δηλαδή σαν "εξαιρέσεις", στο σύνολο του τοίχου. Ο λόγος που ακολουθείται αυτή η διαδικασία είναι τα διαφορετικά υλικά κατασκευής από τα οποία αποτελούνται οι ξυλόπηκτοι τοίχοι. Για να μπορέσουν να γίνουν σωστά οι υπολογισμοί κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης, ο προσομοιωτής πρέπει να αντιλαμβάνεται την διαφορετικότητα των υλικών, ώστε να υπολογιστεί η σωστή τιμή U-value της συνολικού τοίχου.



Εικόνα.32: Ο σκελετός του ξυλόπηκτου νότιου τοίχου με ασβεστοκάνναβη.

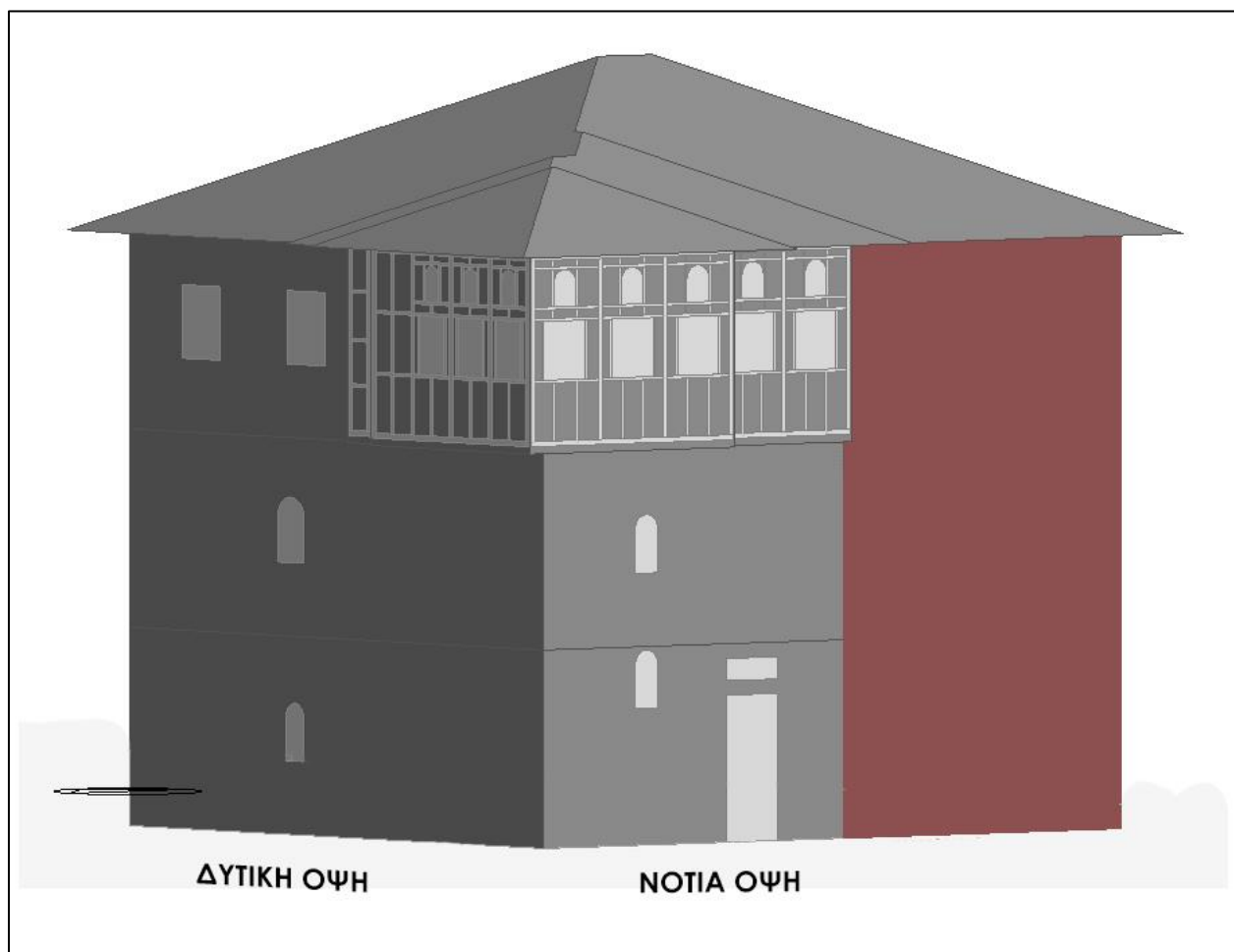
Στο τελευταίο στάδιο, ακολουθεί η κατασκευή της στέγης, η οποία αποτελείται από ξύλινο σκελετό και επικάλυψη από σχιστόλιθο.

Ο σχεδιασμός της στέγης πραγματοποιείται με την εντολή add new block, στην οποία επιλέγεται ως τύπος block, το building block με μορφή pitched roof. Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα να οριστούν, η κλίση της στέγης, ο τύπος της στέγης (τετράριχτη, δίριχτη, κ.λ.π.), καθώς και το μήκος προεξοχής από τον τοίχο, (γείσο).

Σύμφωνα με τα σχέδια και τους αναγκαίους υπολογισμούς, σχεδιάζεται, τετράριχτη στέγη, κλίσης 25%, η οποία προεξέχει 0,60m.

Στην συνέχεια προστίθεται το διπλανό κτίριο, καθώς επηρεάζει την θερμική συμπεριφορά της οικίας, εξαιτίας της μεσοτοιχίας που τα χωρίζει.

Τα γειτονικό κτίριο, κατασκευάζονται με την εντολή add new block και επιλέγεται ο τύπος component block - adiabatic (μπορντό επιφάνειες), καθώς βρίσκεται σε επαφή με την οικία Σαρρή Τρανταφύλου, αλλά δεν μεταφέρει θερμότητα πέραν της εξωτερικής του επιφάνειας, αλλά επηρεάζει τον σκιασμό και τον ηλιασμό του κτιρίου.



Εικόνα.33: Αξονομετρική απεικόνιση του μοντέλου

19.2 Κατασκευαστικά Υλικά:

Μετά τον σχεδιασμό του κτιρίου, ακολουθεί η σημαντικότερη διαδικασία, η οποία αποδίδει τα τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης. Η διαδικασία τοποθέτησης των υλικών έχει τη δυνατότητα να εκτελεστεί στο επίπεδο κτιρίου, μπλοκ, ζώνης, επιφανειών και ανοιγμάτων.

Η συγκεκριμένη μελέτη ασχολείται με την θερμική συμπεριφορά των δομικών μελών του κτιρίου, η οποία εξαρτάται εξολοκλήρου από τα κατασκευαστικά υλικά. Κατά συνέπεια, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για το δομικό σύστημα, παράγοντες όπως, η ανθρώπινη δραστηριότητα, ο φωτισμός, η θέρμανση, ο ηλεκτρισμός, η χρήση υπολογιστών και ο εξοπλισμός, δεν συμπεριλαμβάνονται στην έρευνα.

Οι παράγοντες που περιλαμβάνονται κατά την προσομοίωση, μπορούν να επιλεχθούν με ακρίβεια, στην ενότητα occupancy - schedule. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι στο κτίριο δεν υπολογίζεται ανθρώπινη δραστηριότητα, δημιουργείται πρόγραμμα, στο οποίο, η πυκνότητα των ανθρώπων στο κτίριο είναι 0.

Στην καρτέλα construction, ορίζονται τα κατασκευαστικά υλικά, των διαφόρων δομικών μελών του κτιρίου. Στην κείμενη μελέτη, τα υλικά τοποθετούνται ανάλογα τη μορφολογία του ορόφου και ορίζονται είτε σε επίπεδο block, είτε σε επίπεδο επιφάνειας. Ο λόγος που ακολουθούνται αυτές οι δύο διαδικασίες, έγκειται στην ύπαρξη διαφορετικών υλικών, σε τοιχοποιίες που ανήκουν στην ίδια ζώνη. Επίσης, όλα τα υλικά, των τοίχων, δαπέδων, οροφών και στεγών, κατασκευάζονται από την αρχή, ώστε να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα και σύμφωνα με τις πρώτες ύλες που υπάρχουν στην Ελλάδα.

19.2.1 Ισόγειο – Πρώτος Όροφος:

Στο ισόγειο και τον πρώτο όροφο, τα υλικά που διαμορφώνονται, καθώς και ο τρόπος εισαγωγής τους είναι ίδιος, εξαιτίας της ομοιότητάς τους. Τα υλικά που κατασκευάζονται αφορούν το πάτωμα, την οροφή και τις λίθινες τοιχοποιίες.

Το πάχος των τοίχων, ορίζεται από την καρτέλα δημιουργίας υλικών, δίνοντας πάχος σε κάθε στρώμα υλικού, που συνθέτει την τοιχοποιία. Στην παρούσα μελέτη οι λίθινοι τοίχοι που περιλαμβάνει το κτίριο θεωρούνται ισόπαχοι, γι' αυτό κατασκευάζεται ένα μόνο υλικό λιθοδομής. Σε περίπτωση τοίχων με διαφορετικά πάχη, πρέπει να

οριστούν ξεχωριστά οι διάφοροι τύποι λιθοδομών, γιατί αποτελεί παράγοντα, που ενδέχεται να συμβάλει σε διαφορετικές θερμικές συμπεριφορές.

Τα στρώματα υλικών που συνθέτουν την λιθοδομή φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Τα κονιάματα αρμολόγησης, καλύπτουν το 30% του συνολικού όγκου της τοιχοποιίας και το υπόλοιπο 70% αποτελείται από λίθους. Από το 30% των κονιαμάτων αρμολόγησης, το 10-15% αποτελούν τα ενέματα, που προστίθενται για την πλήρωση των κενών που δημιουργούνται στην τοιχοποιία. Για την κατασκευή της λιθοδομής, στην καρτέλα δημιουργίας υλικών, τα κονιάματα δεν αποτελούν ένα αυτόνομο στρώμα (layer), αλλά χρησιμοποιείται η επιλογή bridged, με την οποία στην ουσία "ενώνονται" τα δύο υλικά διαφορετικής αγωγιμότητας, η πέτρα και το κονίαμα.

Σε όλα τα υλικά που κατασκευάστηκαν, ορίστηκαν ξεχωριστά για το καθένα, οι θερμικές ιδιότητες, δηλαδή η θερμική αγωγιμότητα, η θερμοχωρητικότητα και η πυκνότητα. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του ισογείου και του ορόφου.

Πίνακας Δομικών Μελών Ισογείου:

	ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΛΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ				
	Πάχος Υλικού (m)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (J/Kg K)	Πυκνότητα (Kg/m ³)	U-value (W/m ² K)
	ΠΑΤΩΜΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ				
Ξυλεία Δαπέδου	0,03	0,14	1200	650	
Τσιμεντοκονία	0,07	0,41	840	1200	
Σκυρόδεμα	0,1	1,13	1000	2000	
Αφρός Πολ/θανης	0,13	0,04	1400	10	
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ					1,626
Επίχρισμα	0,01	0,25	1000	900	
Ασβεστολιθική Πέτρα	0,20	1,70	900	2200	
Αδρανή Υλικά	0,18	2,00	1000	2200	
Ασβεστολιθική Πέτρα	0,20	1,70	900	2200	
Κονίαμα	30% του όγκου	0,83	1000	2040	

	ΟΡΟΦΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ				1,932
Σανίδωμα από πεύκο	0,3	0,14	1000	600	
Κόντρα Πλακέ	0,02	0,15	2500	560	

Πίνακας Δομικών Μελών Ορόφου:

	ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΛΗ ΠΡΩΤΟΥ ΟΡΟΦΟΥ				
	Πάχος Υλικού (m)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (J/Kg K)	Πυκνότητα (Kg/m ³)	U-value (W/m ² K)
	ΠΑΤΩΜΑ ΟΡΟΦΟΥ				2,422
Ξυλεία Δαπέδου	0,03	0,14	1200	650	
	ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΟΡΟΦΟΥ				1,626
Επίχρισμα	0,01	0,25	1000	900	
Ασβεστολιθική Πέτρα	0,20	1,70	900	2200	
Αδρανή Υλικά	0,18	2,00	1000	2200	
Ασβεστολιθική Πέτρα	0,20	1,70	900	2200	
Κονίαμα	30% του όγκου	0,83	1000	2040	
	ΟΡΟΦΗ ΟΡΟΦΟΥ				1,932
Σανίδωμα από πεύκο	0,3	0,14	1000	600	
Κόντρα Πλακέ	0,02	0,15	2500	560	

19.2.2 Δεύτερος Όροφος:

Τα υλικά που τοποθετούνται στον δεύτερο όροφο είναι τα ίδια με τους υπόλοιπους δύο, με τη διαφορά της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας από ασβεστοκάνναβη. Σε αυτή την περίπτωση τα υλικά ορίζονται σε επίπεδο επιφάνειας γιατί η τοιχοποιία από λιθοδομη και η τοιχοποιία από ασβεστοκάνναβη ανήκουν στην ίδια ζώνη. Οι τιμές των θερμικών ιδιοτήτων που ορίζονται για το κονίαμα ασβεστοκάνναβης, είναι αυτές που προέκυψαν από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο για το δοκίμιο

ασβεστοκάνναβης που κατασκευάστηκε. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του δευτέρου ορόφου.

Πίνακας Δομικών Μελών Δευτέρου Ορόφου:

	ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΛΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΟΡΟΦΟΥ				
	Πάχος Υλικού (m)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (J/Kg K)	Πυκνότητα (Kg/m ³)	U-value (W/m ² K)
	ΠΑΤΩΜΑ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΟΡΟΦΟΥ				
	ΞΥΛΕΙΑ ΔΑΠΕΔΟΥ				
					2,422
Σανίδωμα από πέυκο	0,03	0,14	1200	650	
	ΔΑΠΕΔΟ ΞΥΛΟΠΗΚΤΗΣ ΠΡΟΕΞΟΧΗΣ				
					0,246
Επίχρισμα	0,025	0,50	1300	1000	
Πετροβάμβακας	0,14	0,04	840	30	
Ξυλεία	0,03	0,14	1200	650	
	ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΟΡΟΦΟΥ				
	ΛΙΘΙΝΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ				
					1,626
Επίχρισμα	0,01	0,25	1000	900	
Ασβεστολιθική Πέτρα	0,20	1,70	900	2200	
Αδρανή Υλικά	0,18	2,00	1000	2200	
Ασβεστολιθική Πέτρα	0,20	1,70	900	2200	
Κονίαμα	30% του όγκου	0,83	1000	2040	
	ΞΥΛΟΠΗΚΤΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ				
					0,259
	ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ				
Επίχρισμα	0,04	0,25	1000	900	
Ασβεστοκάνναβη	0,25	0,074	2815	300	
Επίχρισμα	0,04	0,25	1000	900	
	ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΞΥΛΟΠΗΚΤΩΝ				
Επίχρισμα	0,04	0,25	1000	900	
Ξύλινος Σκελετός Δρυς	0,15	0,12	2380	480	
Επίχρισμα	0,04	0,25	1000	900	
	ΟΡΟΦΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΟΡΟΦΟΥ				
					0,280
Υαλοβάμβακας	0,13	0,04	840	12	

Κόντρα Πλακέ	0,02	0,15	2500	560	
ΣΤΕΓΗ ΚΤΙΡΙΟΥ					2,120
Πλάκα Σχιστόλιθου	0,05	0,96	1000	1800	
Κονίαμα από Κοκκινόχωμα	0,05	1,28	880	1460	
Σανίδωμα από Πεύκο	0,03	0,14	1200	600	

19.2.3 Κουφώματα Κτιρίου:

Στον όροφο συναντώνται τα περισσότερα ανοίγματα του κτιρίου, τα οποία χωρίζονται σε δύο τύπους:

- Παράθυρα ξυλόπηκτης τοιχοποιίας
- Φεγγίτες ξυλόπηκτης τοιχοποιίας
- Παράθυρα λίθινης τοιχοποιίας

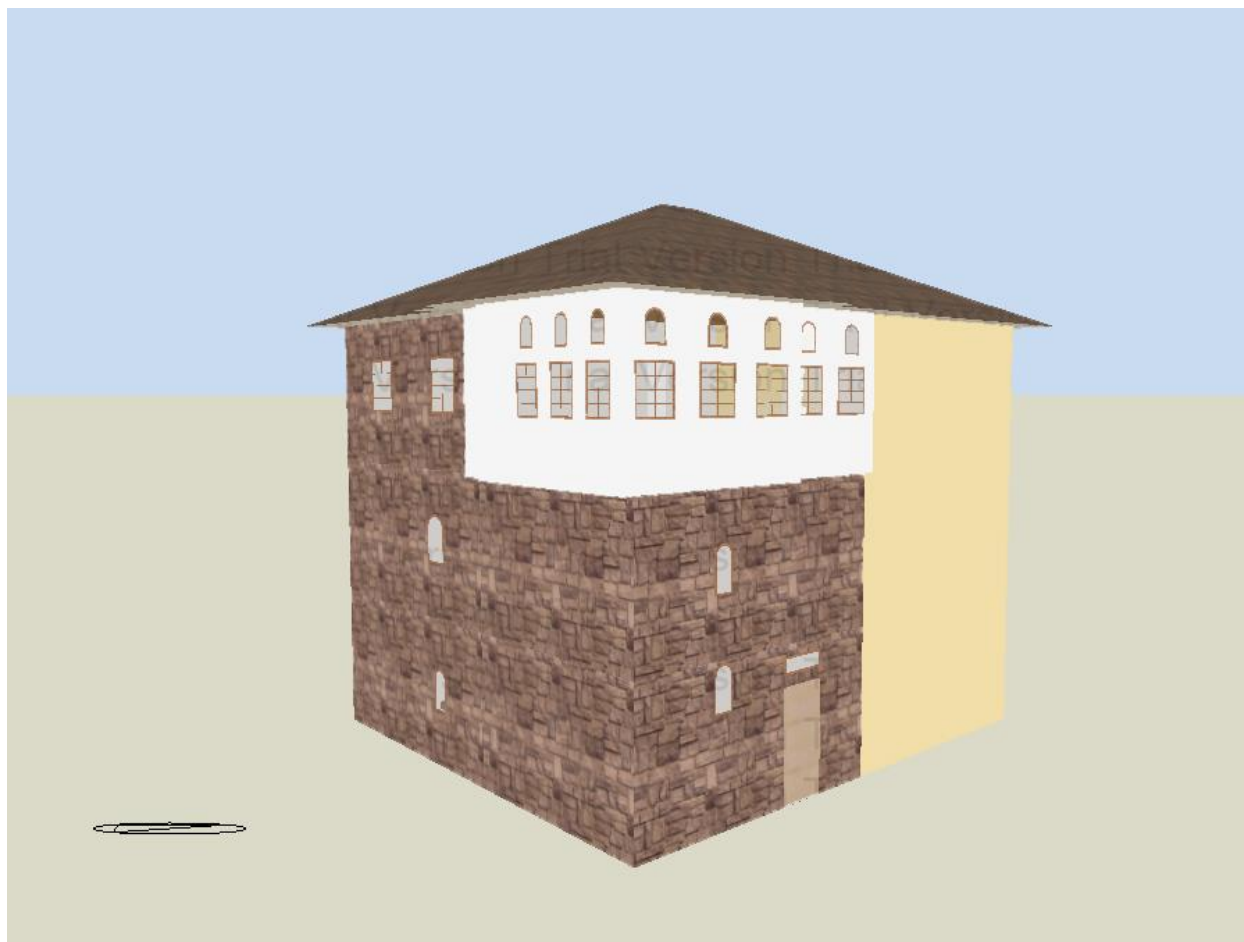
Όπως στην καρτέλα construction, έτσι και στην αντίστοιχη των ανοιγμάτων, δίνεται η δυνατότητα κατασκευής του υλικού του ανοίγματος, για κάθε ξεχωριστή περίπτωση. Μέσω των επιλογών, ορίζεται το υλικό κατασκευής του πλαισίου των παραθύρων, το πάχος του, και η μορφή του υαλοστασίου.

Τα κουφώματα αντιμετωπίζονται ως διπλά και απαρτίζονται από δύο μονούς υαλοπίνακες με ενδιάμεσο κενό. Αντιοίσιχα με τα παράθυρα ορίζονται τα υλικά για την εξωτερική πόρτα και την πόρτα στον όροφο. Στον πίνακα που ακολουθεί, ορίζονται τα στρώματα που τα απαρτίζουν.

Πίνακας Κουφωμάτων:

	ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ				U-value (W/m ² K)
	Πάχος Υλικού (m)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (J/Kg K)	Πυκνότητα (Kg/m ³)	
	ΠΑΡΑΘΥΡΑ				
Ξύλινος Σκελετός	0,07	0,19	2390	700	1,857
Υαλοστάσιο	0,003				5,894
	ΠΟΡΤΑ ΙΣΟΓΕΙΟΥ				2,381
Ξύλινη από	0,035	0,14	2720	419	

Πεύκο					
	ΠΟΡΤΑ ΟΡΟΦΟΥ				3,630
Δρυς	0,02	0,19	2390	700	



Εικόνα.34: Αξονομετρική απεικόνιση κτιρίου μετά την τοποθέτηση υλικών

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθεί , ότι η εμφάνιση του μοντέλου, δεν θυμίζει ακριβώς την πραγματικότητα, καθώς προτεραιότητα του προγράμματος, είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών και όχι η εξωτερική απεικόνιση.

20. Προσομοίωση:

Για την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων που αφορούν στην θερμική λειτουργία του κτιρίου, των χώρων και των επιφανειών, που μελετώνται χρησιμοποιείται η καρτέλα simulation, όπου σε ειδικές καρτέλες επιλέγονται οι κατάλληλες συνθήκες ώστε να υπολογιστούν οι επιθυμητές αναλύσεις.

Σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε στην προηγούμενη ενότητα, για το συγκεκριμένο κτίριο, στο πεδίο Edit, στην καρτέλα Outputs - Simulation Output Options, ενεργοποιούνται οι παρακάτω επιλογές, στις ενότητες Graphable outputs και Comfort and Environmental:

- Surface Heat Transfer
- Environmental
- Internal Gains including solar
- Store surface Output
 - Store opening/sub-surface output
 - Inside Surface Temperature
 - Outside Surface Temperature
 - Surface Heat Gain
 - Internal Convective Heat Transfer Coefficient
 - External Convective Heat Transfer Coefficient

Επίσης, ενεργοποιείται η επιλογή "Include unoccupied zones in block and building totals and averages", επειδή θεωρείται πως το κτίριο δεν χρησιμοποιείται, ώστε να μην επηρεαστούν τα αποτελέσματα θερμικής συμπεριφοράς από τον ανθρώπινο παράγοντα.

20.1 Αποτελέσματα Προσομοίωσης:

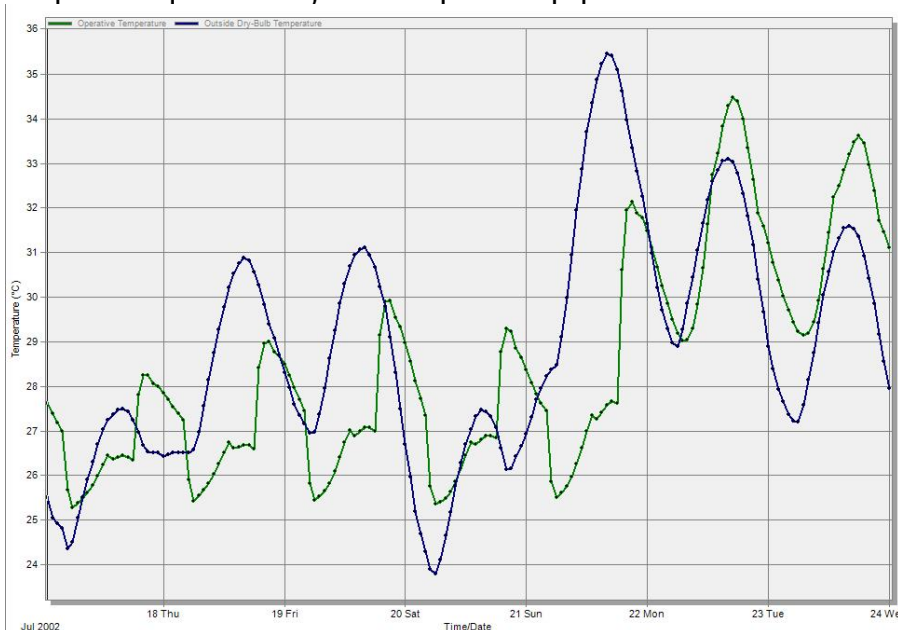
Στην ενότητα που ακολουθεί, αναλύεται ο δεύτερος όροφος της οικίας Σαρρή Τριανταφύλου, μέσα από μια σειρά διαγραμμάτων. Στόχος είναι να μελετηθεί η θερμική συμπεριφορά του ξυλόπηκτου τοίχου από ασβεστοκάνναβη. Αρχικά αναλύεται η θερμική συμπεριφορά του συνολικού κτιρίου, ενώ στη συνέχεια αναλύεται ο τρίτος όροφος, δηλαδή το καλοκαιρινό, οι κλειστοί χώροι του και ξεχωριστά τα δομικά μέλη του. Οι προσομοιώσεις έχουν πραγματοποιηθεί σε δύο εποχές, χειμώνα και καλοκαίρι. Οι ημερομηνίες που επιλέγονται αντιστοιχούν στις πιο δυσμενείς εβδομάδες για κάθε περίοδο. Όσον αφορά το καλοκαίρι, οι ημερομηνίες που επιλέγονται είναι 17 – 23 Ιουλίου και για τον χειμώνα είναι 11 – 17 Δεκεμβρίου. Για τις συγκεκριμένες εβδομάδες έχουν πραγματοποιηθεί θερμικές μετρήσεις από την κ. Ε. Αλεξάνδρου. Όλες οι προσομοιώσεις, έχουν διεξαχθεί με κλειστά παράθυρα αλλά χωρίς εξώφυλλα, χωρίς τεχνητή θέρμανση και ψύξη, χωρίς την παρουσία ανθρώπων και χωρίς οικιακό εξοπλισμό, προκειμένου να ελεγχθεί η θερμική λειτουργία των δομικών μελών του κτιρίου.

20.1.1 Ανάλυση Κτιρίου:

Στα διαγράμματα που ακολουθούν γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης των θερμοκρασιών που επικρατούν στο συνολικό κτίριο, κατά τη διάρκεια μίας εβδομάδας των δύο περιόδων, στην οποία έχουν ήδη γίνει ενόργανες μετρήσεις καταγραφής θερμοκρασίας στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου και έξω από αυτό (Ε. Αλεξάνδρου 2014). Η προσομοίωση πραγματοποιείται στην υπάρχουσα κατάσταση του κτιρίου, αλλά με τον ξυλόπηκτο τοίχο κατασκευασμένο από ασβεστοκάνναβη, χωρίς περεταίρω σκιασμό πέρα από το υφιστάμενο τοπίο. Παραθυρόφυλλα συναντώνται μόνο στον θερινό οντά στον τρίτο όροφο, τα οποία θεωρούνται ανοιχτά και δεν χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση. Σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί η μεσοτοιχία με το διπλανό κτίριο, διότι μόνο οι τρεις όψεις της οικίας είναι ελεύθερες στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Το γεγονός αυτό μειώνει την εκτεθειμένη μάζα του κτιρίου στον καιρό, μειώνοντας τις απώλειες μέσω του κελύφους.

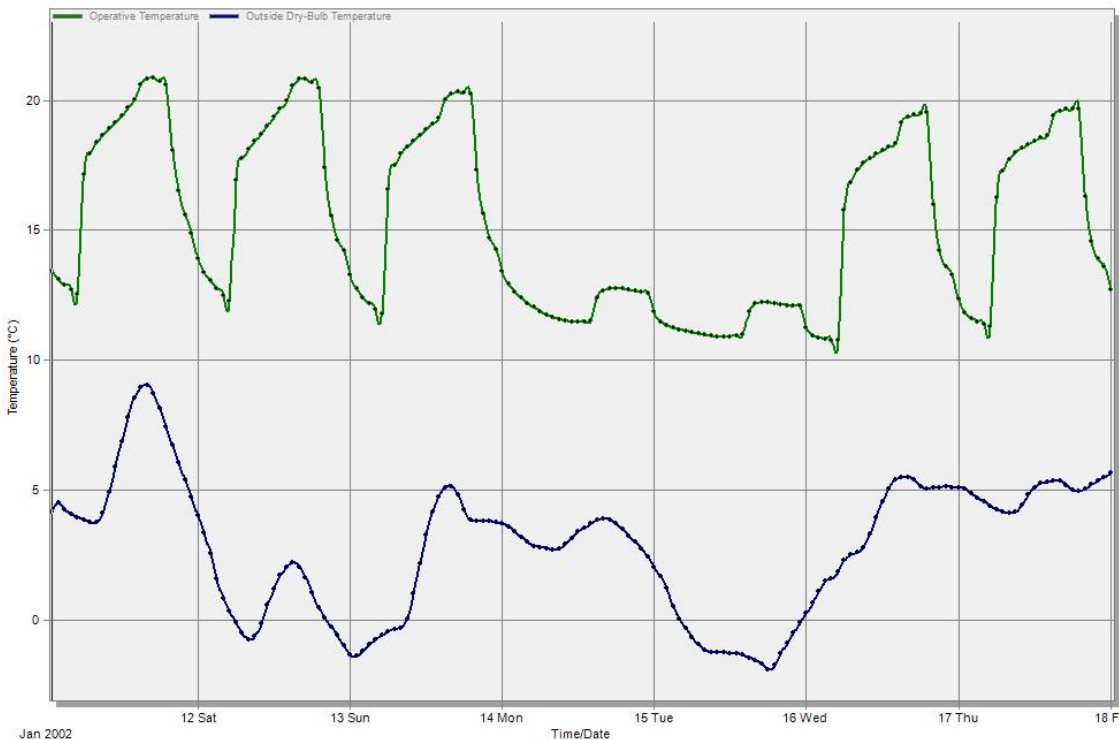
Από το διάγραμμα της προσομοίωσης προκύπτουν πολλές διακυμάνσεις θερμοκρασιών μέσα στην εβδομάδα, η οποίες ακολουθούν σε κάποιο βαθμό τις

διακυμάνσεις των εξωτερικών θερμοκρασιών. Η μέση θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, το καλοκαίρι να κυμαίνεται στους 29°C. Η μέγιστη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα καταγράφεται στους 35,5 °C στις 5.00 ΜΜ, ενώ η μικρότερη καταγράφεται στους 24 °C στις 5.00 ΠΜ. Αντίστοιχα, η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρείται στο εσωτερικό του κτιρίου είναι 34,5°C στις 5.00 ΜΜ, ενώ η μικρότερη είναι 25,5 °C στις στις 5.00 ΠΜ. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του διαγράμματος, τις περισσότερες μέρες, η θερμοκρασία τις επίμαχες ώρες του μεσημεριού, διατηρείται στους 26 °C και μόνο τις τρεις τελευταίες μέρες τις εβδομάδας αυξάνεται πάνω από τους 30 °C. Αξιοσημείωτο είναι, πως παρατηρείται μία αύξηση της θερμοκρασίας με χρονική υστέρηση, κατά τις βραδινές ώρες. Αυτό οφείλεται στο ότι το κτίριο, κατά κύριο λόγο αποτελείται από πέτρα, υλικό με σχετικά μεγάλη θερμική μάζα και θερμοχωρητικότητα. Αυτές οι ιδιότητες δίνουν τη δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας και την απόδοσής της, σταδιακά στο χρόνο. Κατά συνέπεια, τις βραδινές ώρες που η θερμοκρασία μειώνεται, τα δομικά μέλη απελευθερώνουν θερμότητα, ιδιότητα που λειτουργεί ευνοϊκότερα τη χειμερινή περίοδο. Αυτή η ιδιότητα γίνεται ιδιαίτερα εμφανής τις μέρες που η εξωτερικές θερμοκρασιακές συνθήκες είναι αρκετά ψηλές. Όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές τότε οι λιθοδομές δεν αποφορτίζονται θερμικά. Το κτίριο διατηρεί υψηλές εσωτερικές θερμοκρασίες ακόμη και μετά την πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Αυτή η συνθήκη μπορεί να ρυθμιστεί με τη χρήση θερμομόνωσης, που στην παρούσα περίπτωση απουσιάζει από τη λιθοδομή.



Διάγραμμα.6: Ανάλυση κτιρίου καλοκαιρινή περίοδος

Κατά τη χειμερινή περίοδο παρατηρείται σταθερός κύκλος διακυμάνσεων, με μέση θερμοκρασία εσωτερικού αέρα στους 16 °C. Η μέγιστη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα καταγράφεται στους 9 °C στις 4.00 ΜΜ, ενώ η μικρότερη καταγράφεται στους -3 °C στις 5.00 ΠΜ. Αντίστοιχα, η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρείται στο εσωτερικό του κτιρίου είναι 20,8°C, στις 5.00 ΜΜ ενώ η μικρότερη είναι 10,7°C στις 4.00 ΠΜ. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του διαγράμματος, τις περισσότερες μέρες, η θερμοκρασία τις μεσημεριανές/απογευματινές ώρες, διατηρείται σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, γύρω στους 19 °C. Μόνο τις μέρες που η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα υπό το μηδέν, οι ψηλότερες θερμοκρασίες στο εσωτερικό του κτιρίου κυμαίνονται στους 12,7 °C. Σε αυτή την περίπτωση η μεγάλη θερμική μάζα της λίθινης τοιχοποιίας ευνοεί τη θερμική άνεση τις ώρες με ηλιοφάνεια. Πρέπει να σημειωθεί πως στο ισόγειο και στον πρώτο όροφο του κτιρίου, που αποτελεί και το χειμερινό της οικίας, συναντώνται πάρα πολύ λίγα ανοίγματα, γεγονός που ευνοεί την διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας σε καλά επίπεδα.



Διάγραμμα.7: Ανάλυση κτιρίου χειμερινή περίοδος

20.1.2 Ανάλυση Ορόφων:

Σε αυτή την παράγραφο θα αξιολογηθούν τα θερμοκρασιακά αποτελέσματα του πρώτου και του δεύτερου ορόφου, που λειτουργούν ως το χειμερινό και το θερινό αντίστοιχα.

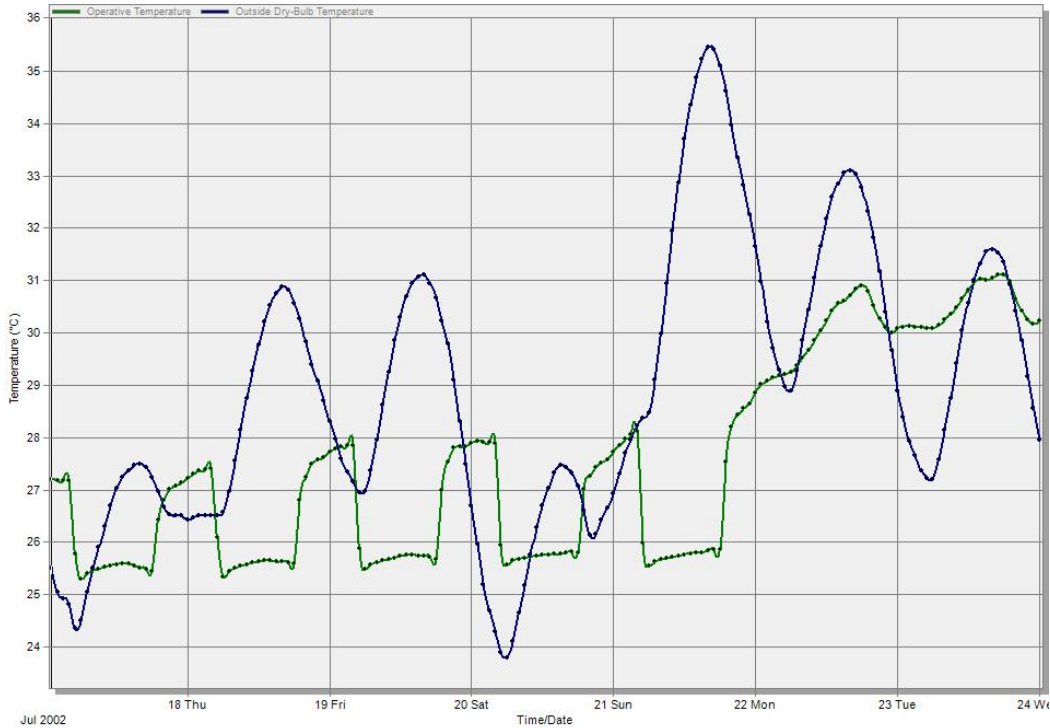
20.1.2.1 Πρώτος Όροφος:

Ο πρώτος όροφος μελετάται ως block και δεν αναλύονται ξεχωριστά οι χώροι του, διότι στόχος είναι η καταγραφή της θερμικής συμπεριφοράς της λιθοδομής, από την οποία αποτελείται ολόκληρος ο όροφος. Ταυτόχρονα, δεν χρησιμοποιείται μέσο θέρμανσης, όπως και σε όλες τις προσομοιώσεις.

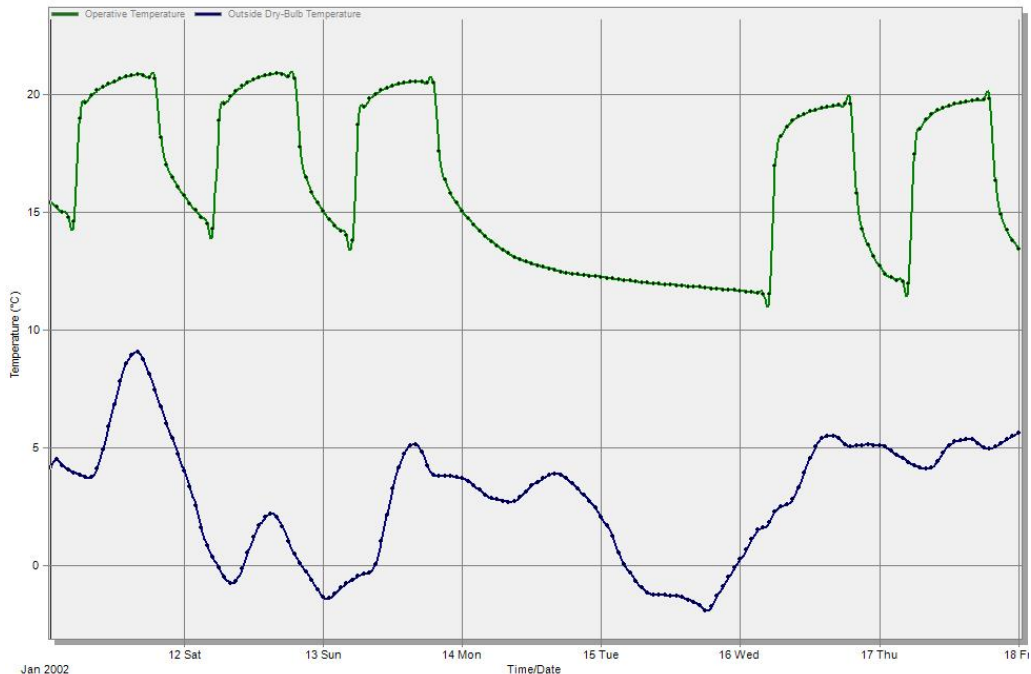
Από το διάγραμμα της προσομοίωσης την καλοκαιρινή περίοδο, φαίνεται ότι οι εσωτερικές θερμοκρασίες ακολουθούν τις θερμοκρασιακές αυξομειώσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος, ενώ η μέση θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό του πρώτου ορόφου κυμαίνεται στους 27°C. Οι μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα για καλοκαίρι και χειμώνα είναι οι ίδιες με την παραπάνω ανάλυση. Αντίστοιχα, η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρείται στο εσωτερικό του κτιρίου είναι 30,9°C στις 6.00 ΜΜ, ενώ η μικρότερη κυμαίνεται στους 25,3°C τις περισσότερες ώρες της ημέρας. Αυτό που παρατηρείται από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι, πως τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες η εσωτερική θερμοκρασία διατηρείται ανάμεσα στους 25°C - 26°C, ενώ τις βραδινές ώρες, που η εξωτερική θερμοκρασία μειώνεται, καταγράφεται αύξηση μέχρι και δύο βαθμούς. Αυτή η χρονική υστέρηση οφείλεται στις θερμικές ιδιότητες της λίθινης τοιχοποιίας, οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω, καθώς και στην απουσία ανοιγμάτων. Σε γενικές γραμμές, τις απογευματινές και βραδυνές ώρες, η εσωτερική θερμοκρασία του ορόφου κυμαίνεται μεταξύ των 27,8°C και 31°C όλες τις ημέρες, ακόμη και τις μέρες που η εξωτερική θερμοκρασία ξεπερνά τους 35°C.

Κατά τη χειμερινή περίοδο παρατηρείται σταθερός κύκλος διακυμάνσεων, με τη μέση θερμοκρασία εσωτερικού αέρα να κυμαίνεται στους 16°C. Η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρείται στο εσωτερικό του κτιρίου είναι 21°C, στις 4.00 ΜΜ ενώ η μικρότερη είναι 11,5°C στις 4.00 ΠΜ. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του διαγράμματος, τις περισσότερες μέρες, η θερμοκρασία τις μεσημεριανές/απογευματινές ώρες, διατηρείται σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, γύρω στους 19°C, δηλαδή κοντά στις

συνθήκες άνεσης (21 °C). Ο ρόλος του συγκεκριμένου ορόφου είναι να διατηρεί ψηλές θερμοκρασίες τη χειμερινή περίοδο, κάτι που προκύπτει και από τον αρχιτεκτονικό του σχεδιασμό. Από τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων, ο σχεδιάσμός του, αλλά και η λίθινη τοιχοποιία πετυχαίνει τη διατήρηση των υψηλών θερμοκρασιών για την επίτευξη της θερμικής άνεσης τις λειτουργικές ώρες.



Διάγραμμα.8: Ανάλυση 1^{ου} ορόφου καλοκαιρινή περίοδος



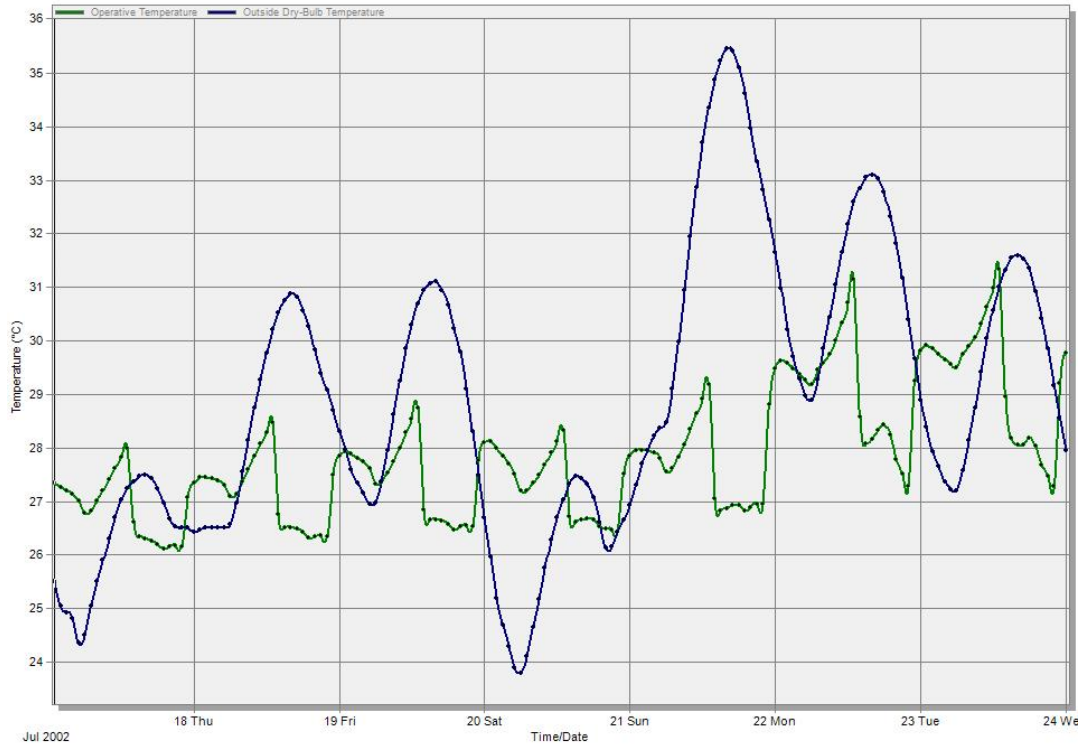
Διάγραμμα.9: Ανάλυση 1^{ου} ορόφου χειμερινή περίοδος

20.1.2.2 Δεύτερος Όροφος:

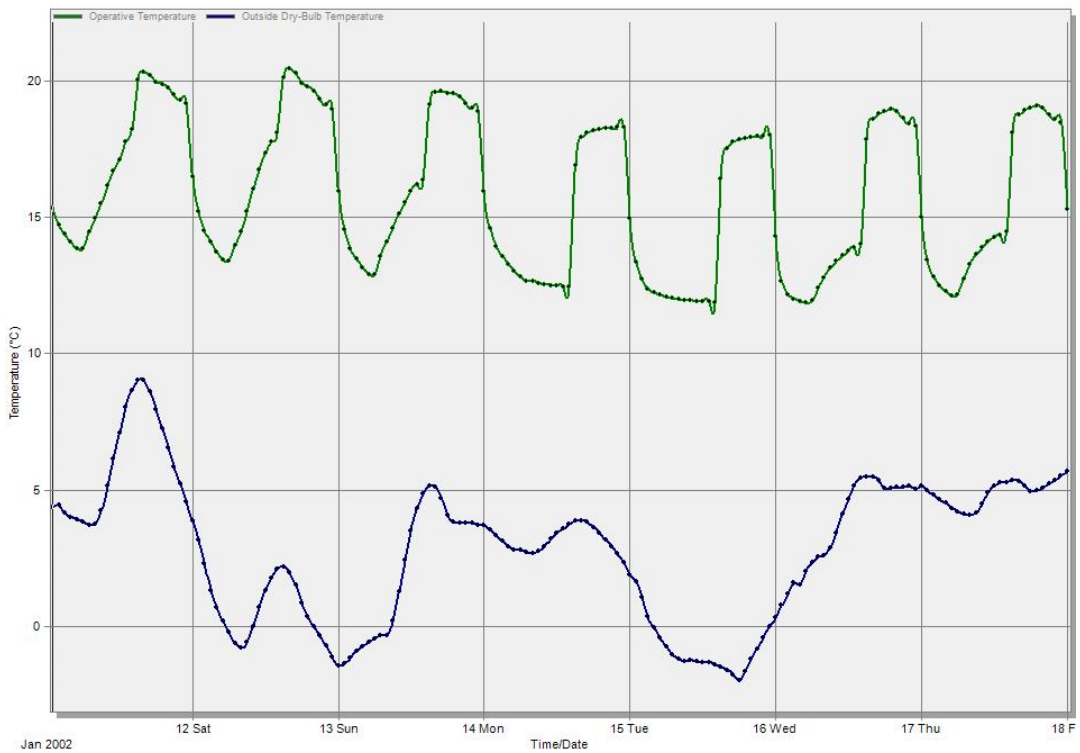
Ο δεύτερος όροφος μελετάται ως block αλλά και κάθε χώρος ξεχωριστά, ώστε να καταγραφεί η θερμική συμπεριφορά της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας, από την οποία αποτελείται ο νοτιοδυτικός χώρος.

Όπως αναφέρεται παραπάνω, στον δεύτερο όροφο της οικίας, ο νότιος χώρος του, αποτελεί τον καλοκαιρινό οντά και οι νοτιοδυτικοί τοίχοι του αποτελούνται από την ξυλόπηκτη τοιχοποιία με ασβεστοκάνναβη. Οι συνολικές εσωτερικές θερμοκρασίες διαφέρουν από τις εξωτερικές από 4 έως 10 βαθμούς χαμηλότερα στο σύνολό τους. Από το διάγραμμα της προσομοίωσης για τη θερινή περίοδο προκύπτουν αρκετές διακυμάνσεις μέσα στην εβδομάδα, ενώ η μέση θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό του δεύτερου ορόφου, κυμαίνεται στους 28 °C. Αντίστοιχα, η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρείται στο εσωτερικό του κτιρίου είναι 31,3°C στη 1.00 ΜΜ, ενώ η μικρότερη κυμαίνεται στους 26,5 °C από το μεσημέρι μέχρι το βράδυ. Σε γενικές γραμμές η θερμική συμπεριφορά του ορόφου είναι παρόμοια με τον χειμερινό οντά, αλλά κατά ένα βαθμό ψηλότερη. Επίσης και σε αυτόν τον όροφο παρατηρείται το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης, λόγω των μεγάλων διαφορών των εξωτερικών θερμοκρασιών μεταξύ ημέρας και νύχτας.

Κατά τη χειμερινή περίοδο, στο θερινό οντά παρατηρούνται αρκετά καλά αποτελέσματα με σταθερό κύκλο διακυμάνσεων και με τη μέση θερμοκρασία εσωτερικού αέρα να κυμαίνεται στους 18 °C. Η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρείται στο εσωτερικό του κτιρίου είναι 20,5°C, στις 4.00 ΜΜ ενώ η μικρότερη είναι 11,8 °C στις 6.00 ΠΜ. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του διαγράμματος, όλες τις μέρες, η εσωτερική θερμοκρασία τις λειτουργικές ώρες διατηρείται πάνω από τους 18 °C, ενώ πέφτει από τις 12.00 το βράδυ μέχρι τις 12.00 το μεσημέρι. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στην απουσία των ανοιγμάτων στην βορινή πλευρά, καθώς και στην μεσοτοιχία με το διπλανό κτίριο που μειώνει την απώλεια θερμικών κερδών. υπάρχουν τα περισσότερα ανοίγματα, παράθυρα και φεγγίτες, που συνεισφέρουν αποτελεσματικά στα θερμικά κέρδη την ημέρα και απώλειες το βράδυ – αν και αυτές μπορούν να περιορισθούν με το κλείσιμο των σκούρων-. Η ξυλόπηκτη τοιχοποιία από ασβεστοκάνναβη, παρόλο που αποτελεί ελαφριά κατασκευή, λόγω των θερμικών ιδιοτήτων της, συνεισφέρει αποτελεσματικά στη διατήρηση των υψηλών εσωτερικών θερμοκρασιών. Περαιτέρω ανάλυση πραγματοποιείται στην επόμενη παράγραφο.



Διάγραμμα.10: Ανάλυση 2^{ου} ορόφου καλοκαιρινή περίοδος



Διάγραμμα.11: Ανάλυση 2^{ου} ορόφου χειμερινή περίοδος

20.1.2.3 Ανάλυση 3^{ου} Ορόφου, Θερινός Οντάς:

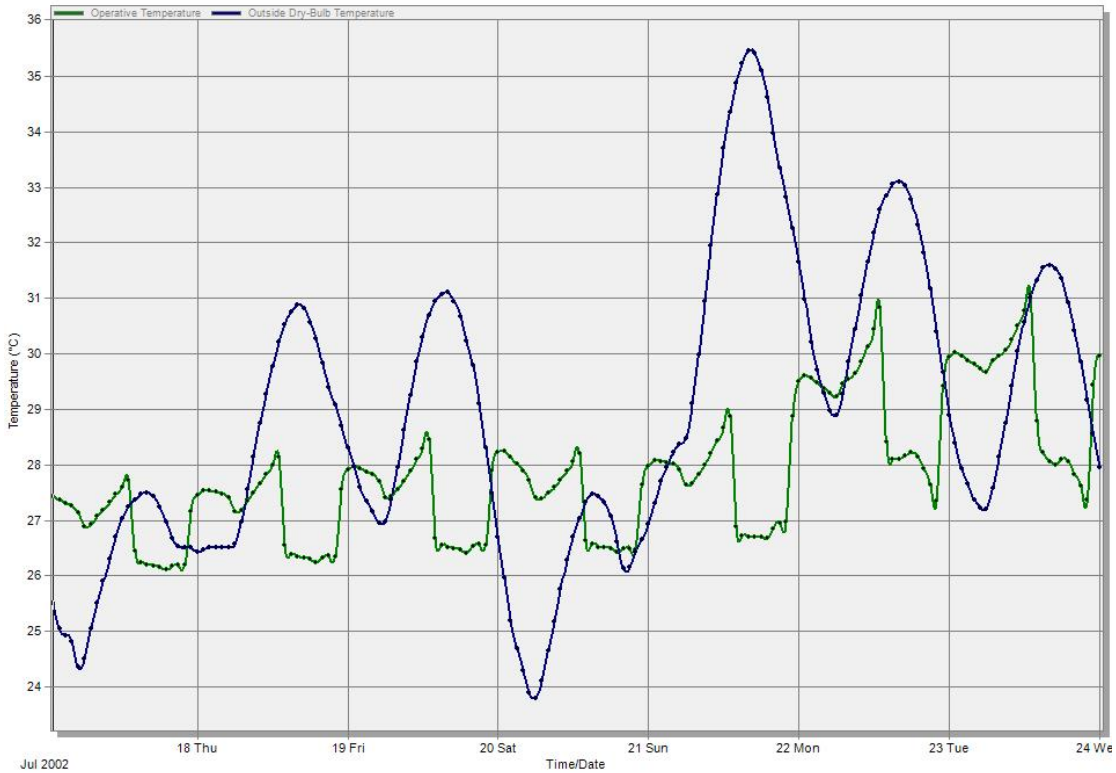
Στην παρούσα παράγραφο αναλύονται και συγκρίνονται οι δύο διαφορετικές ζώνες του τρίτου ορόφου στις δύο περιόδους. Η πρώτη ζώνη περιλαμβάνει το βορειοδυτικό κομμάτι, το οποίο αποτελείται από λίθινη τοιχοποιία, ενώ η δεύτερη ζώνη περιλαμβάνει το νοτιοδυτικό χώρο που αποτελείται από την ξυλόπηκτη τοιχοποιία με ασβεστοκάνναβη. Οι δύο ζώνες συγκρίνονται μεταξύ τους για κάθε περίοδο.

Κατά την προσομοίωση της καλοκαιρινής περιόδου τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και στις δύο ζώνες. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται τις μεσημεριανές ώρες, ενώ το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης κατά τις βραδυνές ώρες, πραγματοποιείται και στις δύο ζώνες. Η χρονική υστέρηση οφείλεται, όπως αναφέρεται παραπάνω, στη μεγάλη θερμοχωρητικότητα των υλικών. Η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία που καταγράφεται για την πρώτη ζώνη (λίθινη τοιχοποιία) είναι 26,2°C και 30,8°C, ενώ για τη δεύτερη ζώνη (ξυλόπηκτη τοιχοποιία) είναι 26,1°C και 31,5°C. Η μέση τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας και για τις δύο ζώνες είναι 27°C.

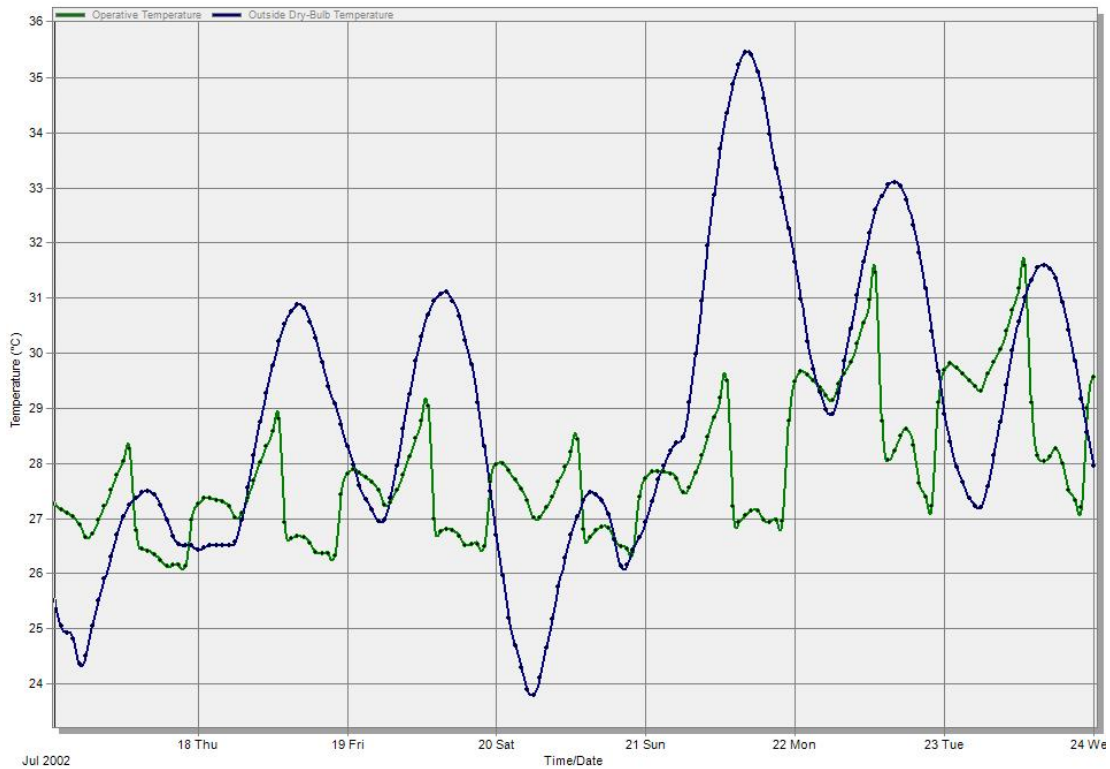
Κατά την προσομοίωση της χειμερινής περιόδου, τα αποτελέσματα της πρώτης ζώνης, (λίθινη τοιχοποιία), είναι παρόμοια με εκείνα του πρώτου ορόφου. Η εσωτερική θερμοκρασία δεν ακολουθεί τις εξωτερικές διακυμάνσεις διατηρώντας έναν σταθερό κύκλο θερμοκρασιών. Οι μέγιστες θερμοκρασίες καταγράφονται, από το μεσημέρι στις 3.00MM μέχρι το βράδυ στις 11.00MM και κυμαίνονται από τους 17,5°C μέχρι τους 19,5°C. Οι τιμές αυτές είναι περίπου 2 βαθμούς χαμηλότερα από τον πρώτο όροφο. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες καταγράφονται τις πρωινές ώρες και κυμαίνονται από τους 11,8°C μέχρι τους 12,5°C, όπως και στον πρώτο όροφο.

Όσον αφορά τη ζώνη με την ξυλόπηκτη τοιχοποιία τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα καλά. Η εσωτερική θερμοκρασία, ομοίως με την πρώτη ζώνη, δεν ακολουθεί τις εξωτερικές διακυμάνσεις, διατηρώντας επίσης έναν σταθερό κύκλο θερμοκρασιών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως, η εσωτερική θερμοκρασία, τις λειτουργικές ώρες (μεσημέρι_βράδυ), κυμαίνεται από τους 18°C μέχρι τους 21,5°C, τιμή που αντιπροσωπεύει την θερμική άνεση. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες καταγράφονται τις πρωινές ώρες με ελάχιστη τιμή τους 12°C. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στις θερμικές ιδιότητες του υλικού και στην ύπαρξη ανοιγμάτων που δημιουργούν θερμικά κέρδη, αλλά και απώλειες.

Διαγράμματα προσομοίωσης καλοκαιρινής περιόδου:

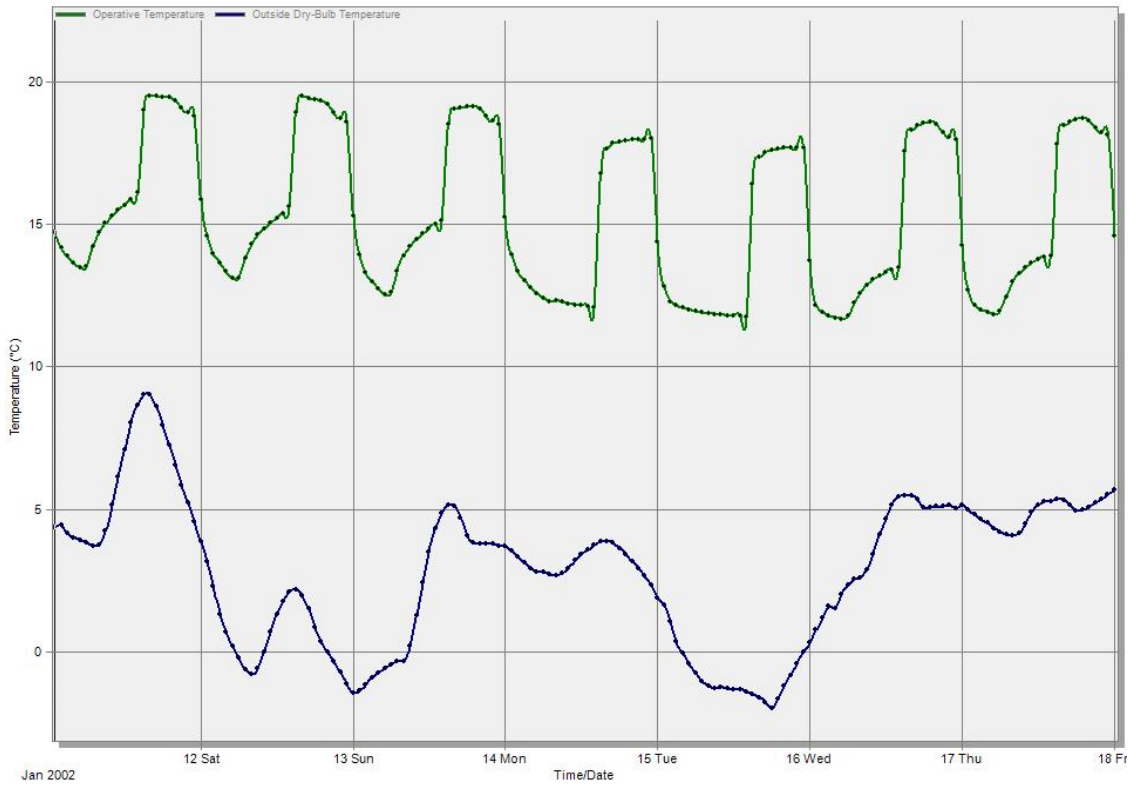


Διάγραμμα.12: Ανάλυση 2^{ου}, πρώτη ζώνη (λίθινη τοιχοποιία), καλοκαιρινή περίοδος

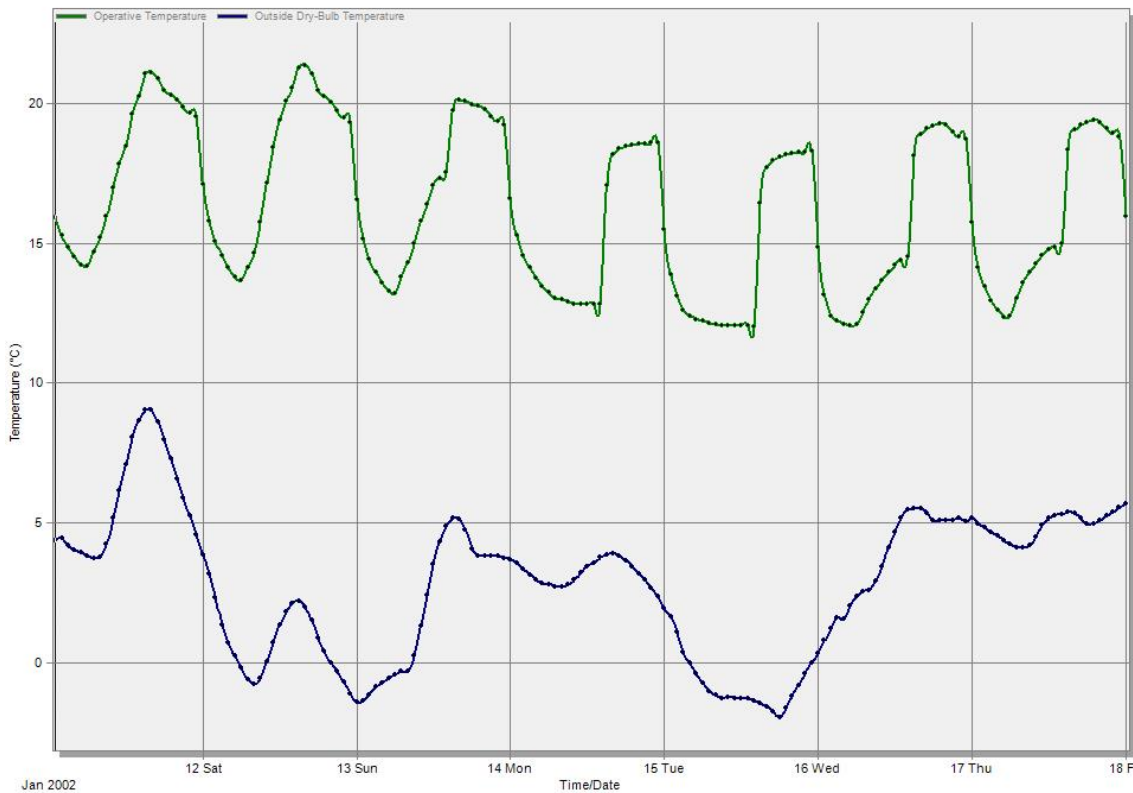


Διάγραμμα.13: Ανάλυση 2^{ου}, δεύτερη ζώνη (ξυλόπηκτη τοιχοποιία), καλοκαιρινή περίοδος

Διαγράμματα προσομοίωσης χειμερινής περιόδου:



Διάγραμμα.14: Ανάλυση 2^{ου} , πρώτη ζώνη (λίθινη τοιχοποιία), χειμερινή περίοδος



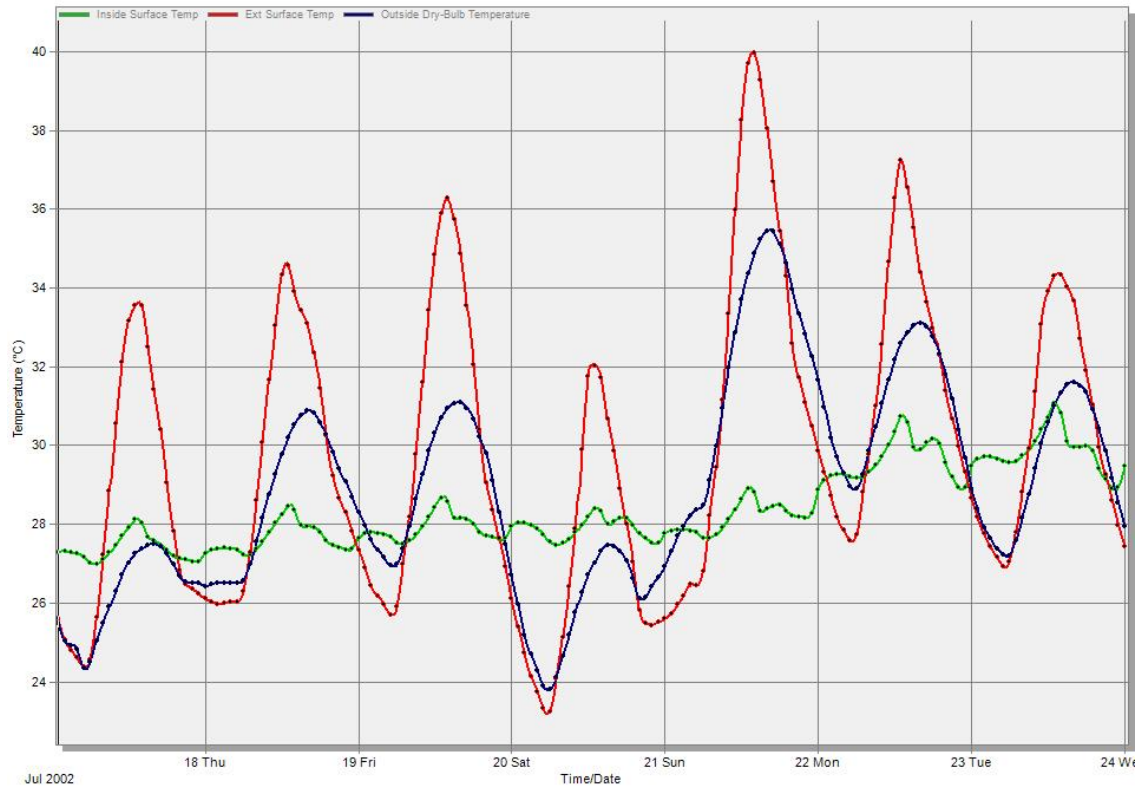
Διάγραμμα.15: Ανάλυση 2^{ου} , δεύτερη ζώνη (ξύλινη τοιχοποιία), χειμερινή περίοδος

20.1.3 Ανάλυση Ξυλόπηκτης τοιχοποιίας:

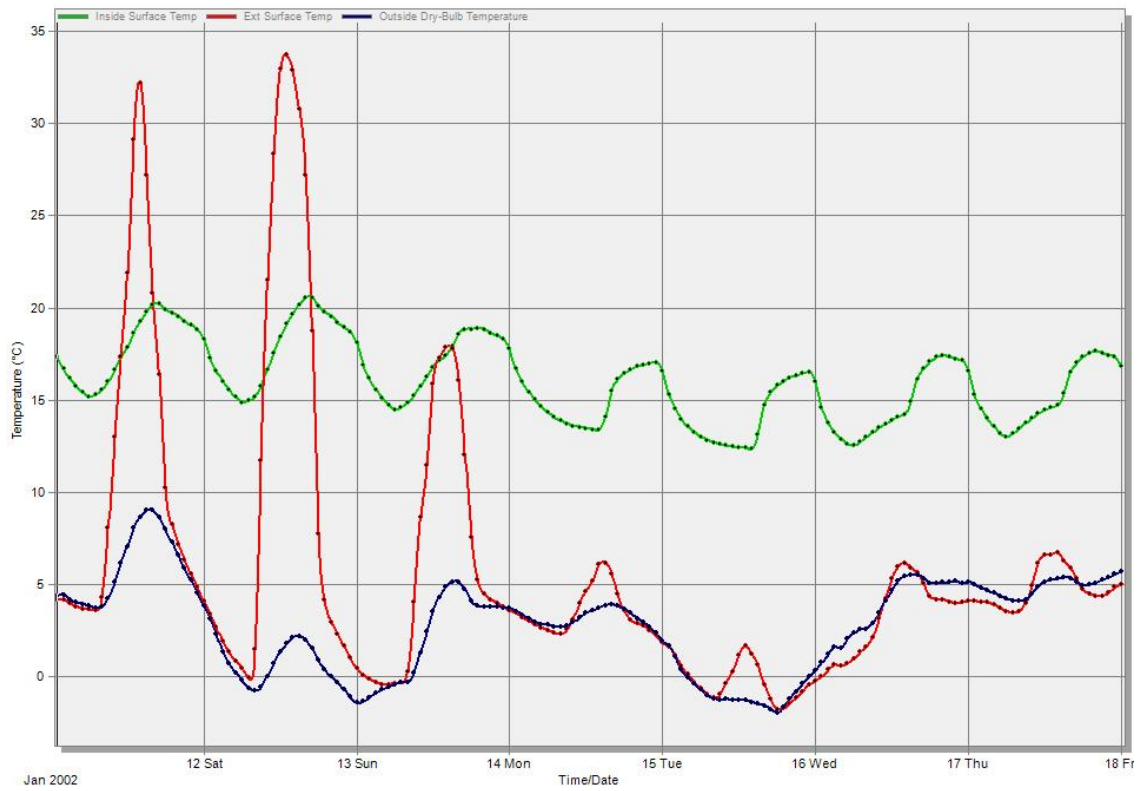
Σε αυτή την παράγραφο αναλύονται οι εξωτερικές και εσωτερικές θερμοκρασίες των επιφανειών της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας από ασβεστοκάνναβη για της δύο χρονικές περιόδους, Για την θερμική ανάλυση επιλέγεται ο νότιος τοίχος της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας.

Κατά την προσομοίωση της καλοκαιρινής περιόδου τα αποτελέσματα καταγράφουν μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της εξωτερικής επιφάνειας της τοιχοποιίας, που ακολουθούν τις διακυμάνσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας. Αντίθετα, οι εσωτερική επιφάνεια είναι σχετικά σταθερή, όλες τις ώρες της ημέρας με μικρές διακυμάνσεις τις καμπύλης, περίπου στον ένα βαθμό. Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας, τις πρώτες τρεις μέρες, κυμαίνεται στους 27°C με 28°C, ενώ τις επόμενες, αυξάνεται κατά δύο βαθμούς, εξαιτίας της αύξησης της εξωτερικής θερμοκρασίας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, παρατηρείται λίγο ψηλότερη η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας σε σχέση με τις πρώτες πρωινές ώρες, αποτέλεσμα της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του υλικού, οι οποία δημιουργεί μία χρονική υστέρηση στην απελευθέρωση θερμότητας.

Κατά την προσομοίωση της χειμερινής περιόδου τα αποτελέσματα καταγράφουν μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της εξωτερικής επιφάνειας της τοιχοποιίας, που ακολουθούν τις διακυμάνσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας ειδικά τις μέρες με ηλιοφάνεια. Στο διάγραμμα του χειμώνα είναι σαφές ότι τις υπόλοιπες μέρες που η κόκκινη καμπύλη παραμένει στα ίδια περίπου επίπεδα με την μπλέ ότι η μέρες είναι νεφοσκεπείς. Αντίθετα, η εσωτερική επιφάνεια ακολουθεί έναν σταθερό θερμοκρασιακό κύκλο, με διαφορές θερμοκρασίας ως τους 5 βαθμούς, μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο. Τις πρώτες τρεις μέρες η θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας κυμαίνεται μεταξύ 19,0°C και 20,2°C τις λειτουργικές ώρες, ενώ οι χαμηλότερες τιμές που καταγράφονται, κυμαίνονται μεταξύ 14,8°C και 16,0°C τις πρώτες πρωινές ώρες. Τις επόμενες μέρες επειδή η εξωτερική θερμοκρασία μειώνεται, οι θερμοκρασίες που καταγράφονται είναι κατά δύο βαθμούς χαμηλότερες. Τα παραπάνω αποτελέσματα οφείλονται στις καλές θερμικές ιδιότητες της ασβεστοκάνναβης, δηλαδή στην ικανοποιητική θερμική αντίσταση του υλικού.



Διάγραμμα.16: Ανάλυση νότιας ξυλόπηκτης τοιχοποιίας, καλοκαιρινή περίοδος



Διάγραμμα.17: Ανάλυση νότιας ξυλόπηκτης τοιχοποιίας, χειμερινή περίοδος

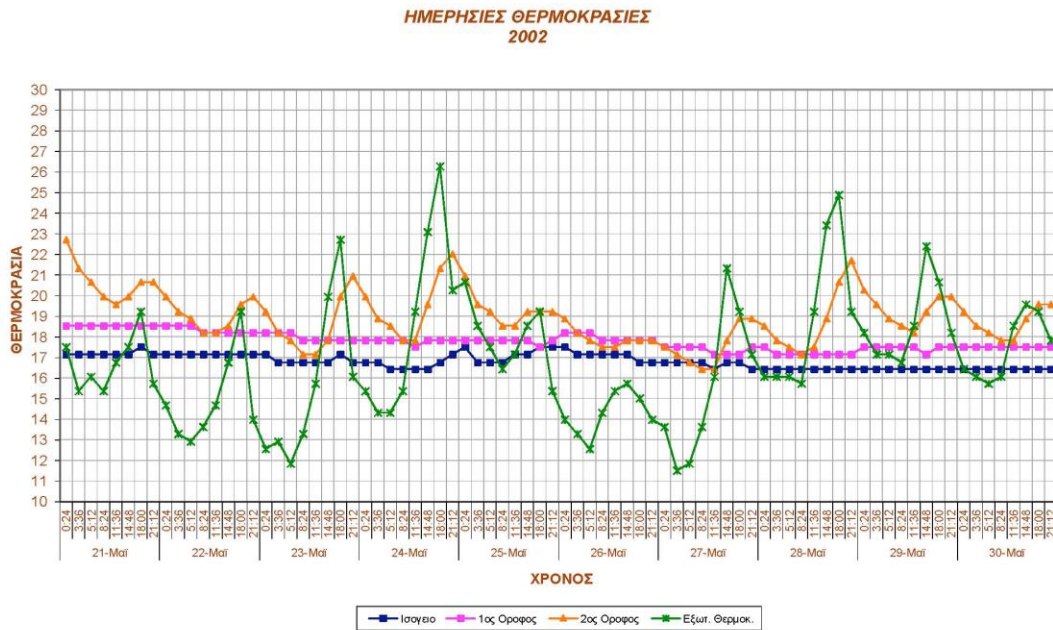
20.2 Αποτελέσματα Πραγματικών Μετρήσεων:

Στην ενότητα που ακολουθεί καταγράφονται οι πραγματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο κτίριο, από την κ. Ε. Αλεξάνδρου[53] και παρουσιάστηκαν στο Εθνικό Συνεδρίο «Ιστορία των Δομικών Κατασκευών», Ξάνθη 5-7 Δεκεμβρίου 2014. Οι μετρήσεις διήρκεσαν δύο χρόνια, με στόχο να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του κελύφους. Ταυτόχρονα, συγκρίθηκαν οι λίθινοι με μεγάλη μάζα τοίχοι σε σχέση με τον ξυλόπηκτο του τελευταίου ορόφου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο χρονικές περιόδους. Το πρώτο διάστημα (11/2001-12/2002) τοποθετήθηκαν αισθητήρες στους βορειοδυτικούς χώρους των δύο πρώτων ορόφων και στον νοτιοδυτικό του τελευταίου, (καλός οντάς) ([54]Κίζης, 1994). Στο δεύτερο διάστημα (1/2003-11/2004) πραγματοποιήθηκε αναστροφή της θέσης των αισθητήρων. Στα δύο πρώτα επίπεδα τοποθετήθηκαν στους νοτιοδυτικούς χώρους, ενώ στον τελευταίο όροφο στη βορειδυτική ζώνη. Τέλος, καταγράφηκε η εξωτερική θερμοκρασία σε δύο διαφορετικά σημεία της αυλής. Σημαντική παράμετρος στις μετρήσεις αποτελεί η ανατολική πλευρά του κτιρίου, η οποία είναι μεσοτοιχία με το διπλανό κτίριο. Το γεγονός αυτό μειώνει τις απώλειες, λόγω της προστασίας της επιφάνειας του κελύφους από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

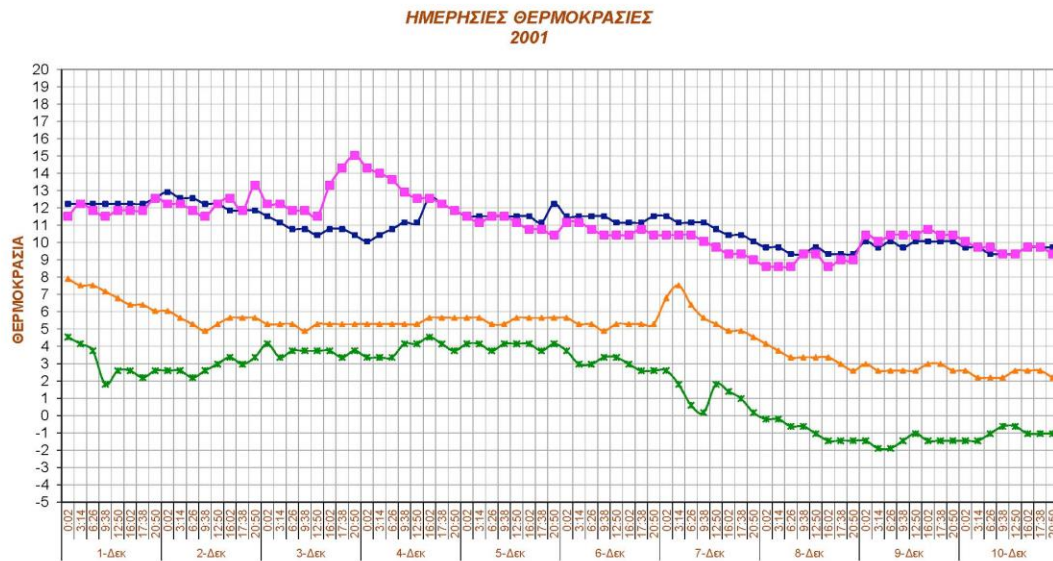
Την καλοκαιρινή περίοδο οι εσωτερικές θερμοκρασίες των δύο πρώτων ορόφων παραμένουν σταθερές, με ελάχιστες διακυμάνσεις, κοντά στις συνθήκες της θερμικής άνεσης. Η διαφορά με την εξωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται στους 8 με 10 βαθμούς χαμηλότερα. Λόγω της μεγάλης μάζας της λίθινης τοιχοποιίας και των ελάχιστων ανοιγμάτων, παρατηρείται το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης, κατά τη διάρκεια της νύχτας. Δηλαδή η εσωτερική θερμοκρασία των χώρων αυξάνεται τις βραδινές ώρες. Στον δεύτερο όροφο η βόρεια ζώνη ακολουθεί το ίδιο μοτίβο με τους υπόλοιπους ορόφους, αλλά ο χώρος που αποτελείται από την ξυλόπηκτη τοιχοποιία έχει διαφορετική συμπεριφορά. Η καμπύλη θερμοκρασίας δεν είναι σταθερή, αλλά ακολουθεί τις διακυμάνσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας, παραμένοντας 4 με 6 χαμηλότερα.

Την χειμερινή περίοδο οι θερμοκρασίες του συνόλου του κτιρίου παραμένουν κάτω από τις συνθήκες άνεσης σε όλους τους χώρους. Βέβαια, ο χώρος με την ξυλόπηκτη τοιχοποιία παρουσιάζει τις χαμηλότερες θερμοκρασίες, με την καμπύλη του διαγράμματος να καταγράφει διακυμάνσεις που ακολουθούν τις εξωτερικές

θερμοκρασίες. Στους υπόλοιπους χώρους παρατηρείται σταθερότητα με ψηλότερες θερμοκρασίες. Σε γενικές γραμμές το κέλυφος λειτουργεί καλά το καλοκαίρι, ενώ τον χειμώνα η απουσία μέσων τεχνητής θέρμανσης διατηρεί τις θερμοκρασίες σε χαμηλά επίπεδα. Πρέπει να σημειωθεί πως το κτίριο κατοικείται όλο το χρόνο, με αποτέλεσμα να μην γίνεται γνωστή η συμβολή των ενοίκων, στα θερμοκρασιακά αποτελέσματα (άνοιγμα των παραθύρων, σκίαση, χρήση των τζακιών κ.λ.π.).

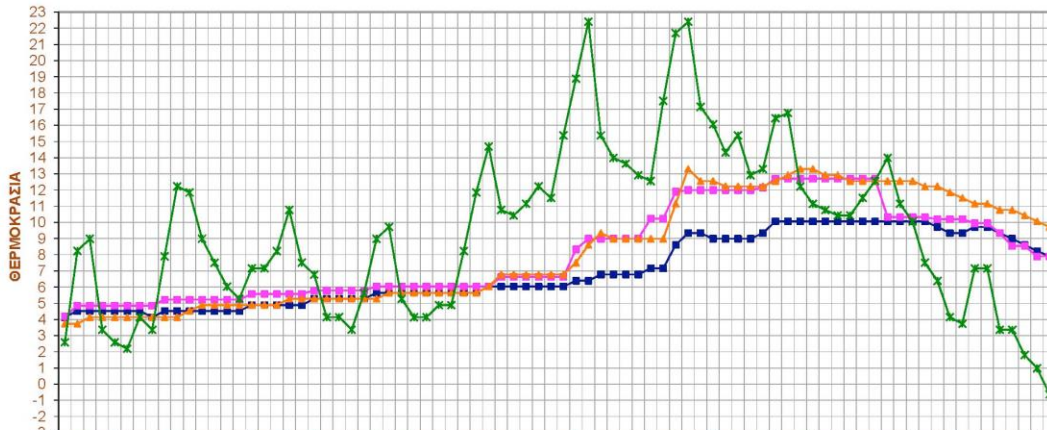


Διάγραμμα .18: Ημερήσιες θερμοκρασίες στους τρεις χώρους και το εξωτερικό. Μάιος 2002



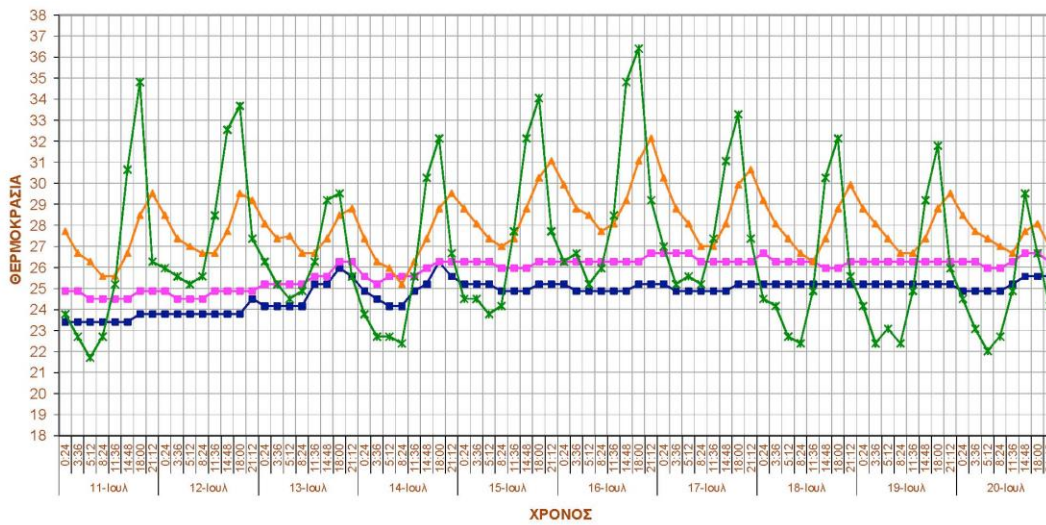
Διάγραμμα .19: Ημερήσιες θερμοκρασίες στους τρεις χώρους και το εξωτερικό, πρώτη τοποθέτηση. Δεκέμβριος 2001

ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ
2004



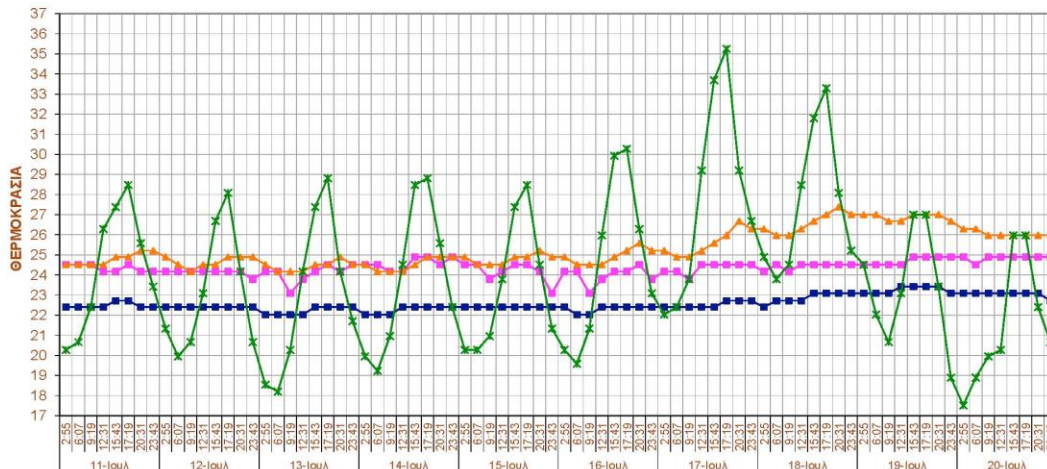
Διάγραμμα .20: Ημερήσιες θερμοκρασίες στους τρεις χώρους και το εξωτερικό, δεύτερη τοποθέτηση. Φεβρουάριος 2000

ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ
2002



Διάγραμμα .21: Ημερήσιες θερμοκρασίες στους τρεις χώρους και το εξωτερικό, πρώτη τοποθέτηση. Ιούλιος 2002

ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ
2003



Διάγραμμα 22: Ημερήσιες θερμοκρασίες στους τρεις χώρους και το εξωτερικό, δεύτερη τοποθέτηση. Ιούλιος 2003

20.3 Συμπεράσματα:

Από την διαδικασία της παραπάνω ανάλυσης, γίνεται κατανοητή η θερμική συμπεριφορά της λίθινης και της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας. Στόχος της παρούσας μελέτης είναι να διερευνηθεί η θερμική συμπεριφορά της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας από ασβεστοκάνναβη. Σε γενικές γραμμές, τα δύο αυτά υλικά, παρά τη διαφορετική τους δομή παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα στα αποτελέσματα των διαγραμμάτων της προσομοίωσης.

20.3.1 Καλοκαιρινή Περίοδος:

Όσον αφορά τους χώρους που περιβάλλονται από την λίθινη τοιχοποιία, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε σχέση με τις πραγματικές μετρήσεις, δεν παρουσιάζουν ουσιαστικές αποκλίσεις.

Κατά την προσομοίωση, τις δυσμενείς ώρες της ημέρας η θερμοκρασία βρίσκεται ανάμεσα στους 25°C και τους 26°C, θερμοκρασίες που αντιστοιχούν στη θερμική άνεση για τους καλοκαιρινούς μήνες. Σε ορισμένες μέρες, η διαφορά της εσωτερικής θερμοκρασίας φτάνει από τους 7 μέχρι και τους 10 βαθμούς χαμηλότερα από την εξωτερική θερμοκρασία. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται και στην πρώτη ζώνη του δεύτερου ορόφου, με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες κατά ένα βαθμό ψηλότερες, σε σχέση με τον από κάτω όροφο. Σημαντικό ρόλο σε αυτά τα αποτελέσματα παίζουν τα λιγοστά ανοίγματα των χώρων, που επιτρέπουν μικρή εισροή της ηλικής ακτινοβολίας.

Αντίστοιχες θερμοκρασίες καταγράφονται και στις πραγματικές μετρήσεις, με τη διαφορά πως δεν παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, με τις καμπύλες των θερμοκρασιών να παραμένουν σχετικά σταθερές.

Όσον αφορά τον χώρο που περιβάλλεται από ξυλόπηκτη κατασκευή, παρά τη χρήση των διαφορετικών υλικών, τα αποτελέσματα είναι παρόμοια μεταξύ της προσομοίωσης και των πραγματικών μετρήσεων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης η ξυλόπηκτη κατασκευή από ασβεστοκάνναβη, ακολουθεί παρόμοια εικόνα με τη βορινή λίθινη ζώνη. Οι εσωτερικές θερμοκρασίες τις δυσμενείς ώρες κυμαίνονται μεταξύ 26°C και 27°C, θερμοκρασίες που βρίσκονται κοντά στις συνθήκες θερμικής άνεσης για τους καλοκαιρινούς μήνες. Κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρούνται αρκετές

διακυμάνσεις, που ακολουθούν τις αυξομειώσεις των εξωτερικών θερμοκρασιών, αλλά με αρκετούς βαθμούς διαφορά. Δηλαδή, η διαφορά της εσωτερικής θερμοκρασίας φτάνει από τους 7 μέχρι και τους 10 βαθμούς χαμηλότερα από την εξωτερική θερμοκρασία. Οι εσωτερικές θερμοκρασίες αυξάνονται μέχρι και τρεις βαθμούς, με την αύξηση της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Αντίστοιχες θερμοκρασίες καταγράφονται και στις πραγματικές μετρήσεις, με την αντίστοιχη ακολουθία διακυμάνσεων. Σημαντική συμβολή στα αποτελέσματα των πραγματικών μετρήσεων, παίζουν ρόλο τα πολλά παράθυρα που τοποθετούνται στην ξυλόπηκτη τοιχοποιία, τα οποία μπορούν να προσφέρουν καλό αερισμό στο χώρο, με σωστή χρήση και κατά συνέπεια μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Η χρήση τους δεν μπορεί να γίνει γνωστή εφόσον το κτίριο κατοικείται.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι εμφανείς οι χαρακτηριστικές θεμικές ιδιότητες της λίθινης τοιχοποιίας. Έχει τη δυνατότητα να αποδίδει την αποθηκευμένη θερμότητα, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μειώνεται, με χρονική υστέρηση. Αποτέλεσμα αυτού, είναι κατά την διάρκεια της νύχτας, η εσωτερική θερμοκρασία να είναι υψηλότερη από την εξωτερική. Αυτή η ιδιότητα συναντάται σε βαριά υλικά με μεγάλη θερμική αδράνεια και μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Η θερμοχωρητικότητα δίνει τη δυνατότητα σε ένα υλικό να αποθηκεύει θερμότητα. Η θερμική αδράνεια οδηγεί σε θερμική μετατόπιση των φάσεων, επιβραδύνοντας την αλλαγή θερμοκρασίας στο εσωτερικό του τοίχου. Η ροή θερμότητας κινείται από το εσωτερικό του υλικού προς την εξωτερική επιφάνεια, η οποία επηρεάζει τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα. Όταν η ροή θερμότητας επιβραδύνεται, δημιουργείται το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης. Αυτή η συμπεριφορά είναι αναμενόμενη για τη λίθινη τοιχοποιία, η οποία αποτελεί βαρύ υλικό. Αξιοσημείωτο είναι, πως μεγάλη θερμοχωρητικότητα παρουσιάζει και το κονίαμα ασβεστοκάνναβης παρά τη χαμηλή πυκνότητά του. Η ασβεστοκάνναβη έχει μεγάλη θερμική μάζα συγκρινόμενη με άλλα χαμηλού βάρους οικοδομικά υλικά, η οποία αποδίδεται στο άχυρο κάνναβης. Αποτελεί ένα ελαφρύ υλικό με χαρακτηριστικά βαρύτερων υλικών και έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει θερμότητα, και να μετριάξει τις διακυμάνσεις των εξωτερικών θερμοκρασιών.

Σε γενικές γραμμές η απόδοση της ξυλόπηκτης τοιχοποιίας από ασβεστοκάνναβη παρουσιάζει παρόμοια θερμική συμπεριφορά με την υφιστάμενη, κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

20.3.2 Χειμερινή Περίοδος:

Όσον αφορά τους χώρους που περιβάλλονται από την λίθινη τοιχοποιία, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε σχέση με τις πραγματικές μετρήσεις, παρουσιάζουν αρκετές αποκλίσεις.

Κατά την προσομοίωση οι χώροι του ισογείου και του πρώτου ορόφου που αποτελούνται από λίθινη τοιχοποιία παρουσιάζουν παρόμοια αποτελέσματα μεταξύ τους. Οι εσωτερικές θερμοκρασίες ακολουθούν έναν σταθερό κύκλο διακυμάνσεων ανεξάρτητα της εξωτερικής θερμοκρασίας. Σε γενικές γραμμές, οι θερμοκρασίες από το μεσημέρι μέχρι το βράδυ διατηρούνται κοντά στις θερμοκρασίες θερμικής άνεσης. Οι τιμές κυμαίνονται από 17°C μέχρι 21°C με τον πρώτο όροφο να εμφανίζει λίγο ψηλότερες θερμοκρασίες. Όσον αφορά τις πραγματικές μετρήσεις, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν αποκλίσεις. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πραγματικών μετρήσεων, οι θερμοκρασίες των χώρων, που περιβάλλονται από λίθινη τοιχοποιία, κυμαίνονται από τους 9°C μέχρι τους 15°C, αρκετά χαμηλότερα σε σχέση με την προσομοίωση. Ακόμη, η καμπύλη της πραγματικής εσωτερικής θερμοκρασίας παραμένει σχετικά σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας και δεν παρουσιάζει αυξομειώσεις όπως στην προσομοίωση. Βέβαια σημαντική παράμετρος αποτελεί η παρουσία των ενοίκων της οικίας. Δεν μπορεί να γίνει ουσιαστική σύγκριση, διότι οι οικία κατοικείται όλο το χρόνο. Οι χώροι αυτοί περιλαμβάνουν τζάκι, για το οποίο δεν είναι δυνατή η γνώση της συχνότητας χρήσης του.

Σίγουρα η προσομοίωση παρουσιάζει μεγαλύτερες θερμοκρασίες από τις πραγματικές μετρήσεις. Μόνο τις μέρες που η θερμοκρασία παραμένει για αρκετό χρονικό διάστημα υπό το μηδέν, οι εσωτερικές θερμοκρασίες της προσομοίωσης αγγίζουν της πραγματικές.

Όσον αφορά τον νοτιοδυτικό χώρο του δεύτερου ορόφου, η ξυλόπηκτη τοιχοποιία με ασβεστοκάνναβη παρουσιάζει εξαιρετικά αποτελέσματα σε σχέση με την υφιστάμενη. Σύμφωνα με τις πραγματικές μετρήσεις, οι θερμοκρασίες καταγράφονται αρκετά χαμηλές και κυμαίνονται από τους 2°C μέχρι τους 8°C. Αυτό το αποτέλεσμα

προκύπτει από το ελαφρύ υλικό που είναι κατασκευασμένοι οι ξυλόπηκτοι τοίχοι. Ταυτόχρονα, η τοιχοποιία περιλαμβάνει πολλά παράθυρα και φεγγίτες, τα οποία δημιουργούν θερμικές απώλειες, κατά τους χειμερινούς μήνες, ιδίως τις μέρες με περιορισμένη ηλιοφάνεια. Επίσης, τα ηλιακά κέρδη εξαρτώνται από τη σωστή διαχείριση των ανοιγμάτων από τους ενοίκους, η οποία δεν γίνεται γνωστή.

Αντίθετα, το κονίαμα ασβεστοκάνναβης είναι ένα ελαφρύ υλικό, με πολύ χαμηλή πυκνότητα και εξαιρετικές θερμικές ιδιότητες. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων του δοκιμίου που εξετάστηκε, έδειξαν τιμή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 0,075 \text{ W/mK}$, που προσδίδει στο υλικό πολύ καλές θερμομονωτικές ικανότητες. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων εισήχθησαν στο λογισμικό και δημιούργησαν ένα υλικό με πολύ καλή τιμή U-value. Κατά συνέπεια, οι θερμοκρασίες που καταγράφονται στα διαγράμματα της προσομοίωσης θεωρούνται αρκετά αξιόπιστα. Σίγουρα, με την υλοποίηση πραγματικών μετρήσεων μπορούν να συγκριθούν οι ανάλογες αποκλίσεις.

Οι εσωτερικές θερμοκρασίες που καταγράφονται τις λειτουργικές ώρες κατά την χειμερινή περίοδο, κυμαίνονται από τους $18 \text{ }^\circ\text{C}$ μέχρι τους 21°C , τιμές που αντιπροσωπεύουν τη θερμική άνεση. Ταυτόχρονα, όπως αναφέρεται παραπάνω, λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας, το υλικό έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την αποδίδει αργότερα, διατηρώντας σε ικανοποιητικά επίπεδα την θερμοκρασία του χώρου κατά τη διάρκεια της νύχτας. Τα πολλά ανοίγματα στο χώρο, από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, δεν φαίνεται να επηρεάζουν αρνητικά τη θερμοκρασία. Βέβαια, θεωρήθηκε πως δεν υπάρχουν εξώφυλλα, οπότε αξιοποιούνται όλα τα ηλιακά κέρδη κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Εν κατακλείδι, σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, η ασβεστοκάνναβη αποτελεί ένα υλικό, που προσδίδει πολύ ικανοποιητικές ποιότητες μόνωσης στην τοιχοποιία κατά τους χειμερινούς μήνες, διαμορφώνοντας καλές θερμοκρασίες χωρίς τη χρήση τεχνητών μέσων. Σημαντικός παράγοντας βέβαια, είναι και ο προσανατολισμός του κτιρίου, καθώς και η σωστή διαχείριση των χώρων από τους ενοίκους μίας κατοικίας, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό θερμοκρασιακό αποτέλεσμα. Η προσομοίωση είναι μία μέθοδος αξιολόγησης του υλικού, αλλά σίγουρα πρέπει πάντα να ελέγχεται με ενόργανες μετρήσεις, σε πραγματικές συνθήκες για απόλυτα αξιόπιστα αποτελέσματα. Στην παρούσα μελέτη συμπεραίνεται

πως η ασβεστοκάνναβη αποτελεί ιδανικό υλικό για την αναβάθμιση της θερμικής απόδοσης παλαιότερων παραδοσιακών και ιστορικών κτιρίων.

Παράρτημα

[1] Aronsson, K.-Å., Broström, A., Larsson, H. & Lindahl, P. (2002). *Tradition i trä: en resa genom Sverige [Traditions in wood: a journey through Sweden]*. Stockholm, Sweden: Byggförlaget. In Swedish.

[2] Bevan, R. & Woolley, T. (2008). *Hemp Lime Construction - A guide to building with hemp lime composites*. Bracknell, UK.

[3]

I de Bruijn, P.B. (2008). *Hemp Concretes - Mechanical Properties using both Shives and Fibres*. Licentiate Thesis. Alnarp:Swedish University of Agricultural Science I de Bruijn, P.B., Jeppsson, K-H., Sandin, K. & Nilsson, C. (2009). Mechanical properties of lime-hemp concrete containing shives and fibres. *Journal of Biosystems Engineering*.

II de Bruijn, P.B. & Johansson, P. (2012). Moisture transport properties of lime-hemp concrete determined over the complete moisture range. *Submitted to an international peer-reviewed journal*.

III de Bruijn, P.B. & Johansson, P. (2012). Moisture fixation and thermal properties of lime-hemp concrete. *Submitted to an international peerreviewed journal*.

IV de Bruijn, P.B., Johansson, P., Jeppsson, K-H. & Nilsson, C. (2012). Measured and simulated hygric performance of lime-hemp concrete walls exposed to rain. *Submitted to an international peer-reviewed journal*.

[4]

Evrard, A. (2003). *Bétons de Chanvre - Synthèse des Propriétés Physiques Saint Valérien: Construire en Chanvre*. In French.

Evrard, A. (2008). *Transient Hygrothermal Behaviour of Lime-Hemp Materials*. PhD Thesis. Leuven, Belgium:Université Catholique de Louvain.

Evrard, A. & De Herde, A. (2010). Hygrothermal performance of Lime-Hemp wall assemblies. *Journal of Building Physics*.

Evrard, A., De Herde, A. & Minet, J. (2006). *Dynamical interactions between heat and mass flows in Lime-Hemp Concrete*. Research in Building Physics and Building Engineering .

[5] Woolley, T. (2006). *Natural Building - A Guide to Materials and Techniques*. Wiltshire, UK: The Crowood.

[6] Toledo, R.D., Ghavami, K., England, G.L. & Scrivener, K. (2003). Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. *Cement & Concrete Composites*.

[7] Boutin, M.-P., Flamin, C., Quinton, S., Gosse, G. & Inra, L. (2005). *Étude des caractéristiques environnementales du chanvre par l'analyse de son cycle de vie [Study of environmental characteristics of hemp by means of an analysis of its life-cycle]*: Ministère de l'Agriculture et de la Pêche [Ministry of Agriculture and Fishery]. In French.

Delatte, N.J. (2001). Lessons from Roman cement and concrete. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*.

[9] Winter, T.N. (2006). Roman Concrete: The Ascent, Summit and Decline of an Art. *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences*.

[10] Bokalders, V. & Block, M. (2004). *Byggekologi, kunskaper för ett hållbart byggande [Building ecology, knowledge for sustainable building]*. Stockholm, Sweden: Svensk Byggtjänst.

[11] Jones, B. (2007). *Building with straw bales: A Practical Guide for the UK and Ireland*. Totnes, Devon, United Kingdom: Green Books Ltd.

[12] Cerezo, V. (2005). *Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique* PhD Thesis. Saint Valérien: L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

[13] Arnaud, L. & Cerezo, V. (2001). *Qualification physique des matériaux de construction à base de chanvre* Saint Valérien: L'École Nationale des Travaux Publics de l'État.

[14] Goodhew, S., Griffiths, R. & Woolley, T. (2004). An investigation of the moisture content in the walls of a straw-bale building. *Building and Environment*.

[15] Rückert, M. (2000). *Ny byggmetod med träullsplattor [A new building method with wood wool cement boards]* MSc Thesis. Lund, Sweden: Lund University. In Swedish.

[16] Wolfe, R. & Gjinolli, A. (1997). Cement-bonded wood composites as an engineering material. In: *Proceedings of Conference on the Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications*, Madison, Wisconsin, USA, September 1996.

- [17] Fröier, K. (1960). *Lin och hampa : nutida svensk odling, beredning och användning* Stockholm: LTs Förlag. In Swedish
- [18] Holstmark (2006). *Hampa i Ekologisk Odling*. Jönköping: Swedish Board of Agriculture. In Swedish
- [19] Bledzki, A.K. & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*.
- [20] Karus, M. (2005). *European Hemp Industry 2001 till 2004: Cultivation, raw materials, products and trends*.
- [21] Roulac, J.W. (1995). *Industrial Hemp: Practical Products-Paper to Fabrics to Cosmetics*. Ojai, USA: Hemptech.
- [22] Μαρκόπουλος, Θ., Ρεπούσκου, Ε., Ροτόντο, Π., Τριανταφύλλου, Γ., & Αποστολάκη, Χ. (2008). Σύνθεση και ποιοτικός έλεγχος δομικών κονιαμάτων από ασβεστολιθικές πρώτες ύλες της Κρήτης. *1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων*. Αθήνα: ΤΕΕ.
- [23] A Peschard, A Govin, J Pourchez, *et al.* Effect of Polysaccharides on the Hydration of Cement Suspension[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2006, 26(8): 1 439–1 445
- [24] Laskowski J., Liu Q., O' Conor C., 2007, Current understanding of the mechanism of polysaccharide adsorption at the mineral/aqueous solution interface. *Int. J. Miner Process*.
- [25] Holmes & Wingate, 1997, *Building With Lime: A Practical Introduction* by Holmes, Stafford, Wingate, Michael (1997) Paperback.
- [26] Van der Werf, 1994, *Crop physiology of fibre hemp (Cannabis sativa L.)*
- [27] Dalmay, P., Smith, A., Chotard, T., Sahay-Turner, P., Gloaguen, V. & Krausz, P. (2010). Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: influence of hemp or flax fibres on the properties of set gypsum. *Journal of Materials Science*.
- [28] Sedan, D., Pagnoux, C., Chotard, T., Smith, A., Lejolly, D., Gloaguen, V. & Krausz, P. (2007). Effect of calcium rich and alkaline solutions on the chemical behavior of hemp fibres. *Journal of Materials Science*.
- [29] Sedan, D., Pagnoux, C., Smith, A. & Chotard, T. (2008). Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction. *Journal of the European Ceramic Society*.

- [30] Erven, H. (2007). *Course 'Utilisation du chaux naturelles avec le chanvre'*. Personal Communication. Pleumeur-Bodou, France.
- [31] Carpenter, R. (2006). *Modece Architects*. Personal Communication. Bury St Edmunds, United Kingdom.
- [32] Florence Collet, Sylvie Pretot Thermal conductivity of hemp concretes: Variation with formulation, density and Water content, (2014).
- [33] Robin, R. (2007). *Easy Chanvre*. Personal Communication. Saint-Philibert, France.
- [34] Lane, T. (2006). Beer, Cannabis, Glue and a Generous Helping of Lime. *Building Magazine*.
- [35] P. Daly, P. Ronchetti, T. Woolley, Hemp lime bio-composite as a construction material. Environmental Protection Agency, Ireland, 2010.
- [36] S. Pavia, Moisture transfer and thermal properties of hemp–lime concretes, August 2014, Trinity College Dublin.
- [37] F. Murphy, S. Pavia & R. Walker, An assessment of the physical properties of lime-hemp Concrete, Dept. of Civil Engineering, Trinity College, Dublin, Ireland, 2014.
- Walker, R., Pavia, S. (2010), 'Behaviour and Properties of Lime-Pozzolan Pastes'. Proceeding of 8th International Masonry Conference, Dresden, ed. by W. Jäger, B. Haseltine.
- Walker R, Pavia S. (2011) 'Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime–pozzolan pastes', *Journal of Materials and Structures*.
- Walker, R., and Pavia, S. (2012), 'Influence of hemp's soluble components on pozzolanic reactions and on the properties of the hemp biocomposite' –in press.
- [38] Gourlay e., Arnaud L., "Comportement hygrothermique des murs de béton de chanvre", Congre's SFT 2010, Le Touquet, France, May 2010.
- [39] Kinnane, O., McGranaghan, G., & Robinson, A., 2015, Experimental investigation of thermal inertia properties in hemp-lime concrete walls. Queen's University Belfast.
- [40] G. Balčiūnas S. Vėjelis, S. Vaitkus, A. Kairytė, Physical Properties and Structure of Composite Made by Using Hemp Hurds and Different Binding Materials, *Procedia Engineering* (2013)

- [41] Colinart, T., Glouannec, P. & Chauvelon, P. (2012). Influence of the setting process and the formulation on the drying of hemp concrete. *Construction and Building Materials*.
- [42] Tran Le, A.D., Maalouf, C., Mai, T.H., Wurtz, E. & Collet, F. (2010). Transient hygrothermal behaviour of a hemp concrete building envelope. *Energy and Buildings*.
- [43] Arnaud & Gourlay, Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes, March 2012.
- [44] Nguyen, T.-T., Picandet, V., Amziane, S. & Baley, C. (2009). Influence of compactness and hemp hurd characteristics on the mechanical properties of lime and hemp concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*.
- [45] Nozahic, V., Amziane, S., Torrent, G., Saidi, K. & De Baynast, H. (2012). Design of green concrete made of plant-derived aggregates and a pumice-lime binder. *Cement & Concrete Composites*.
- [46] Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F., Scudeller, Y. & Goudet, L. (2008). Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete ("hempcrete") manufactured by a projection process. *Construction and Building Materials*.
- [47] Nozahic, V., Amziane, S., Torrent, G., Saidi, K. & De Baynast, H. (2012). Design of green concrete made of plant-derived aggregates and a pumice-lime binder. *Cement & Concrete Composites*.
- [48] Arnaud, L., Cerezo, V. & Samri, D. (2006). Global approach for the design of building material containing lime and vegetable particles. *Proceedings of the 6th International Symposium on Cement & Concrete and CANMET/ACI International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development*.
- [49] O'Dowd, J. & Quinn, D. (2005). *Investigating properties of hemp and lime construction*. Bachelor Thesis. Dublin:University College Dublin.
- [50] Collet, F., Bart, M., Serres, L. & Miriel, J. (2008). Porous structure and water vapour sorption of hemp-based materials. *Construction and Building Materials*.
- [51] Arnaud, L. (2009). Comparative study of hygrothermal performances of building materials In: *Proceedings of 11th International Conference on Nonconventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009)*, Bath, United Kingdom, 6-9 September 2009.

[52] Hirst, E., Walker, P., Paine, K., & Yates, T. (2010). Characterisation of low density hemp-lime composite building materials under compression loading.

[53] Ε. Αλεξάνδρου, Διερεύνηση των βιοκλιματικών στοιχείων και αποτίμηση της θερμικής συμπεριφοράς των παραδοσιακών και ιστορικών κατασκευών.

[54] Κίζης, Ι. (1994). *Πηλιορείτικη Οικοδομία*. Αθήνα: Πολιτιστικό Τεχνολογικό Ίδρυμα ΕΤΒΑ.