

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

ΕΛΑΦΡΟΒΑΡΗ ΜΟΝΩΤΙΚΑ BLOCK ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΑ
ΚΑΤΑΛΟΙΠΑ:
ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

LIGHTWEIGHT INSULATION BLOCKS MADE FROM
AGRICULTURAL RESIDUES:
CHARACTERISTICS AND DURABILITY STUDY

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ : ΜΑΝΔΑΛΑ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ, ΤΣΑΤΣΑΚΗ ΣΤΥΛΙΑΝΗ
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΠΑΓΩΝΑ ΝΟΝΗ ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗ

ΧΑΝΙΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2023

Ευχαριστίες:

Η παρούσα ερευνητική εργασία εκπονήθηκε κατά το χειμερινό εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2022-2023 στο πλαίσιο της ερευνητικής δραστηριότητας του Εργαστηρίου Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η επίβλεψη πραγματοποιήθηκε από την καθηγήτρια της σχολής αρχιτεκτόνων μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης κα. Παγώνα Νόνη Μαραβελάκη την οποία ευχαριστούμε ένθερμα για την υποστήριξη και την καθοδήγησή της για την εκπόνηση της εργασίας.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης για την ευκαιρία που μας έδωσαν να μάθουμε και να εξελιχθούμε και ιδιαίτερα την κα. Claire Oiry, αρχιτέκτονα με εξειδίκευση στις κατασκευές με φυσικά υλικά, που μας παρείχε πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια του εξαμήνου.

Περίληψη

Οι γεωργικές διαδικασίες παράγουν μεγάλη ποσότητα αποβλήτων, η διαδικασία αποβολής των οποίων είναι επιβλαβής για το περιβάλλον .

Στο πλαίσιο της παρούσας ερευνητικής εργασίας γίνεται διερεύνηση της αξιοποίησης και διαχείρισης αυτών μέσω της δημιουργίας θερμομονωτικών block.

Η έρευνα αφορά την μορφοποίηση των αποβλήτων και την συνδεσιμότητά τους με κονίες φυσικής προέλευσης με σκοπό τη δημιουργία ενός θερμομονωτικού υλικού, ικανού να αντικαταστήσει ένα συμβατικό.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας γίνεται αναφορά σε προϊόντα θερμομόνωσης με συνθετική και φυσική βάση και ανάλυση των χαρακτηριστικών τους και των ελλείψεων που παρουσιάζουν. Με αφετηρία τα παραπάνω και με αντίστοιχα υλικά που έχουν αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ελέγχων πάνω σε αυτά , στο δεύτερο μέρος της εργασίας γίνεται ανάπτυξη θερμομονωτικού block φτιαγμένου εξ ολοκλήρου από φυσικά υλικά. Τα αδρανή είναι απόβλητα γεωργικών διαδικασιών από την περιοχή της Κρήτης (καλάμι και φύλλα ελιάς) και οι κονίες φιλικές προς το περιβάλλον (ασβεστοπολτό και ποζολάνη-θηραϊκή γη) επιτυγχάνοντας μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μέσω της ανακύκλωσης και την επανάχρησης.

Στο τελευταίο σκέλος γίνεται πρόταση εφαρμογής του νέου θερμομονωτικού υλικού σε παραδοσιακές κατασκευές .

Abstract

Farming processes produce large quantities of waste whose disposal process is harmful for the environment.

An important part of this research study is the investigation regarding the utilization and management of this waste through creating heat insulating blocks.

This study deals with the formation from agro-waste and its connectivity with natural binders in order to create a insulating blocks that could replace the conventional ones.

The first part of the study is concentrated on synthetic and natural based insulation materials as well as their characteristics, advantages and disadvantages. Taking into consideration previous works performed

by the Laboratory of Materials for Cultural Heritage and Modern building of the Technical University of Crete, the second part of the study contains the development of an insulation block made exclusively from natural materials. The aggregates are agricultural waste from the general area of Crete (arundo donax chips and olive leaves) and the binders are environmentally friendly, therefore the decrease of the environmental footprint is achieved through reusing and recycling.

The last part of the study is focused on the application of the formulated blocks into traditional buildings.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες:	1
Περίληψη.....	2
Περιεχόμενα εικόνων:.....	6
Περιεχόμενα πινάκων:.....	10
Ονοματολογία και ορισμοί	10
1. Εισαγωγή	11
1.1 Αντικείμενο έρευνας:.....	11
1.2 Σκοπός	14
1.3 Μεθοδολογία	15
2. Θεωρητικό μέρος γενικό πλαίσιο	17
2.1 Ελαφροβαρή υλικά θερμομόνωσης Εισαγωγή	17
2.2 Συμβατικά ελαφροβαρή θερμομονωτικά υλικά	19
2.2.1 Διογκωμένη πολυστερίνη	19
2.2.2 Εξηλασμένη πολυστερίνη	21
2.2.3 Αφρός πολυουρεθάνης	22
2.2.4 Υαλοβάμβακας.....	23
2.2.5 Πετροβάμβακας	24
2.3 Προβλήματα συμβατικών ελαφροβαρών θερμομονωτικών υλικών	25
2.3.1 Πολυστερίνες	25
2.3.2 Αφρός Πολυουρεθάνης	26
2.3.3 Υαλοβάμβακας.....	27
2.3.4 Πετροβάμβακας	27
2.4 Κυκλική οικονομία.....	28
2.4.1 Αξιοποίηση αγροτικών αποβλήτων	28
2.5 Φυτικά ελαφροβαρή θερμομονωτικά υλικά	29
2.5.1 Κάνναβη:	29
2.5.2 Φελλός:.....	31
2.5.3 Φύκια:	34

3.5.4 Φλοιός καρύδας:	36
2.5.5 Μανιτάρι:	39
2.5.6 Φλοιός ρυζιού:	40
2.5.7 Τούβλα από άχυρο:	42
2.5.8 Ξυλόμαλλο:	44
2.6 Προβλήματα και ελλείψεις φυτικών ελαφροβαρών θερμομονωτικών	45
2.6.1 Μπλοκ κάνναβης	45
2.6.2 Φελλός	46
2.6.3 Φύκια:	47
2.6.4 Φλοιός καρύδας:	47
2.6.5 Μανιτάρι:	47
2.6.6 Φλοιός ρυζιού:	49
2.6.7 Τούβλα από άχυρο:	50
2.6.7 Πλάκες από ξυλόμαλλο:	51
2.7 Συμπέρασμα	52
3. Θεωρητικό μέρος ειδικό πλαίσιο	53
3.1 Χαρακτηριστικά συστατικών των μπλοκ μελέτης	53
3.1.1 Καλάμι / arundo donax	53
3.1.2 Ελιά/ Olea europea	55
3.1.3 Ασβεστοπολτός	57
3.1.4 Ποζολάνη	58
3.2 Cretablock	59
3.3 Χαρακτηριστικά και αποτελέσματα εργαστηρίου	60
3.3.2 Διαπνοή	63
3.3.3 Απορρόφηση νερού	64
3.3.4 Αντοχή σε θλίψη	65
3.3.5 Θερμική αγωγιμότητα	66
4. Εργαστηριακό μέρος 1 εργαστηριακοί έλεγχοι Cretablock	67
4.1 Εισαγωγή:	67

4.2 Κύκλοι αλάτων.....	68
4.3 Πλήρης βύθιση:	73
4.4 Έκθεση στα καιρικά φαινόμενα:	76
4.5 Συμπέρασμα.....	78
5. Εργαστηριακό μέρος 2 AD70OL30	79
5.1 Ανάπτυξη μονωτικού υλικού από καλάμι και ελιά	79
5.2 Χαρακτηριστικά και βέλτιστες αναλογίες	79
5.3 Συμπέρασμα:.....	87
6. Πρόταση για εφαρμογή σε παραδοσιακές κατασκευές	89
6.1 Εισαγωγή	89
6.2 Εφαρμογή.....	90
6.3 Κατασκευή προπλάσματος.....	94
Βιβλιογραφία	96
Βιβλιογραφία εικόνων	102

Περιεχόμενα εικόνων:

Εικόνα 1: Πάνελ διογκωμένης πολυστερίνης

Εικόνα 2: Κόκκοι διογκωμένης πολυστερίνης

Εικόνα 3: Πάνελ εξηλασμένης πολυστερίνης

Εικόνα 4: Πάνελ αφρού πολυουρεθάνης με επένδυση

Εικόνα 5: Μόνωση πολυουρεθάνης μέθοδος ψεκασμού

Εικόνα 6: Πάνελ και ρολό από υαλοβάμβακα

Εικόνα 7: Πάνελ από πετροβάμβακα

Εικόνα 8: Αγροκτήματα και συλλογή κάνναβης

Εικόνα 9: Απόβλητο κάνναβης

Εικόνα 10: Άχυρο κάνναβης

Εικόνα 11: Μπλοκ κάνναβης

Εικόνα 12: Μηχάνημα δοκιμών συμπίεσης

Εικόνα 13: Μηχάνημα μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας

Εικόνα 14: Απόβλητα φελλού

Εικόνα 15: Διαδικασία παραγωγής μονωτικών φελλού

Εικόνα 16: Μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας

Εικόνα 17: Θαλάσσιο περιβάλλον με φύκια

Εικόνα 18: Συλλογή φυκιών

Εικόνα 19: Δημιουργία κατασκευής μπλοκ από φύκια

Εικόνα 20: Απόβλητα κελυφών καρύδας

Εικόνα 21: Ίνες καρύδας

Εικόνα 22: Δοκιμή θλιπτικών και συμπιεστικών δυνάμεων στα δοκίμια

Εικόνα 23: Χύτευση βιοσύνθετωνμυκηλίων

Εικόνα 24: Ανάπτυξη μικκυλίων στις σακούλες με τα πριονίδια

Εικόνα 25: Θερμομονωτικό πάνελ κατασκευασμένα από μανιτάρια

Εικόνα 26: Δοκιμή κάμψης τριών σημείων στο δείγμα

Εικόνα 27: Διαδικασία κατασκευής μπλοκ από τέφρα ρυζιού

Εικόνα 28: Δοκιμή σε θλιπτικές δυνάμει

Εικόνα 29: Διαδικασία συλλογής άχυρου

Εικόνα 30: Κατασκευή τούβλων από άχυρο

Εικόνα 31: Ξυλόμαλλο

Εικόνα 32: Εγκατάσταση Ξυλόμαλλου

Εικόνα 33: Βύθιση δοκιμίου σε νερό

Εικόνα 34: Ανάπτυξη μούχλας έπειτα από ενυδάτωση

Εικόνα 35: Δοκιμή δείγματος σε κάμψη

Εικόνα 36: Ανάπτυξη μυκήτων

Εικόνα 37: Δοκιμή δειγμάτων στην απορρόφηση νερού

Εικόνα 38: Δοκίμιο κατά την ενυδάτωση

Εικόνα 40: Δοκίμιο μετά την ενυδάτωση

Εικόνα 41: Διόγκωση τούβλων από υγρασία και σπάσιμο σοβά

Εικόνα 42: Πλάκα ξυλόμαλλου σε επαφή με νερό

Εικόνα 43: Αποσάθρωση υλικού

Εικόνα 44: Καλάμι και μορφολογικά στοιχεία

Εικόνα 45: Ταβάνι με καλάμια

Εικόνα 46: Ταβάνι από καλάμια λεπτομέρεια

Εικόνα 47: Αρχαίο δέντρο ελιάς- Ανω Βούβες

Εικόνα 48: Μορφολογία καρπών και ανθών

Εικόνα 49: Ασβεστοπολτός

Εικόνα 50: Ποζολάνη

Εικόνα 51: Διάγραμμα κατασκευής - χρήσης

Εικόνα 52: Cretablocks από το Εργαστήριο του ΠΚ

Εικόνα 53: Εφαρμογή σε τοίχο

Εικόνα 54: Δοκίμια ημέρα 00

Εικόνα 55: Δοκίμια ημέρα 15

Εικόνα 56: Δοκίμια ημέρα 36

Εικόνα 57,58,59: Τα δοκίμια μέσα στα κύπελλα

Εικόνα 60: Τα δοκίμια σε πλήρη βύθιση

Εικόνα 61: Ενυδάτωση διηθητικού χαρτιού με διάλυμα αλάτων

Εικόνα 62: Εισαγωγή δοκιμίων στον φούρνο

Εικόνα 63-67: Τα δοκίμια μετά την ξήρανση στον φούρνο

Εικόνα 68: Βύθιση δοκιμίων σε δοχεία με νερό

Εικόνα 69-70: Δοκίμια έπειτα από το πέρας των 21 ημερών στα δοχεία με το νερό

Εικόνα 71: AD75-500(2)

Εικόνα 72: AD75-500(3)

Εικόνα 73: AD80-600(2)

Εικόνα 74: AD80-600(3)

Εικόνα 75: AD80-600-GO2(2)

Εικόνα 76: AD80-600-GO2(3)

Εικόνα 77: Συνολική εικόνα δοκιμίων μετά από αφαίρεση από τα δοχεία με νερό

Εικόνα 78: Δοκίμια πριν την τοποθέτησή τους στο εξωτερικό περιβάλλον

Εικόνα 79: Δοκίμια μετά την τοποθέτησή τους στο εξωτερικό περιβάλλον

Εικόνα 80: Βάση δοκιμίου AD80-600-GO2(1)

Εικόνα 81: 1.ασβεστοπολτός 2.ποζολάνη 3.καλάμι 4.φύλλα ελιάς 5.νερό 6.καλούπι ποτηράκι 7.καλούπι τετράγωνο

Εικόνα 82-92: Τα βήματα της διαδικασίας 1

Εικόνα 93: Αστοχία δοκιμίου

Εικόνα 94: Πλήρης αποκόλληση υλικού

Εικόνα 95: Μη σταθερή βάση

Εικόνα 96: Δείγματα πριν την αφαίρεση καλουπιών

Εικόνα 97: Απώλεια τμημάτων κατά την αφαίρεση

Εικόνα 98: Παραγωγή δοκιμίων με πυκνότητα 0,622 g/cm³ και 0,699 g/cm³

Εικόνα 99: Τοποθέτηση βαριδιών στα δοκίμια κατά την ξήρανσή τους

Εικόνα 100: Δοκίμια με πυκνότητα 0,699 g/cm³

Εικόνα 101: Παραγωγή δοκιμίων 50/50, πυκνότητας 0,699 g/cm³

Εικόνα 102: Αφαίρεση καλουπιών

Εικόνα 103: Δοκίμια αναλογίας 70/30 και πυκνότητας 0,699 g/cm³

Εικόνα 104: Παρουσίαση πολύ καλών αποτελεσμάτων

Εικόνα 105: Δοκίμια αναλογίας 50/50 και πυκνότητας 0,699 g/cm³

Εικόνα 106: Εμφάνιση εύθραυστων γωνιών και δυσκολία στην μεταφορά

Εικόνα 107-108: Μόνωση με φύκια, παραδοσιακή κατοικία στην Πάρο καλουπιών

Εικόνα 109: Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας

Εικόνα 110: Γωνία στήριξης

Εικόνα 111: Τοποθέτηση μπλοκ σε τοίχο

Εικόνα 112: Τοποθέτηση του μπλοκ σε απόσταση από τον τοίχο

Εικόνα 113: Κατασκευαστική τομή τοποθέτησης υλικού

Εικόνα 114: Γέμισμα καλουπιού για τη δημιουργία τούβλου δοκιμής (προσωπικό αρχείο)

Εικόνα 115: Διαστρωμάτωση υλικών πάνω σε τοίχο(προσωπικό αρχείο)

Εικόνα 116: Χειροποίητο καλούπι

Εικόνα 117: Δοκίμια για την κατασκευή προπλάσματος

Εικόνα 118: Δοκιμή κονιάματος

Εικόνα 119: Τοποθέτηση των μπλόκ πάνω στον τοίχο μετά το αρμολόγημα

Εικόνα 120: Πρώτη στρώση επιχρίσματος με τοποθέτηση πλέγματος για αποφυγή ρηγμάτωσης του υλικού

Εικόνα 121 :Κάλυψη του πλέγματος

Εικόνα 122: Τοποθέτηση τελικής στρώσης επιχρίσματος

Περιεχόμενα πινάκων:

Πίνακας 1:Συνταγές δοκιμίων

Πίνακας 2:Αποτελέσματα τεστ αντοχής στην υγρασία και διάγραμμα

Πίνακας 3: Απορρόφηση νερού σε γραμμάρια και ποσοστά

Πίνακας 4: Συνταγές δοκιμίων

Πίνακας 5: Συνταγή για AD40OL40

Ονοματολογία και ορισμοί

Cretablock : θερμομονωτικό τούβλο από καλάμι που αναπτύχθηκε στο Πολυτεχνείο Κρήτης

AD : Τα δοκίμια που ξεκινούν με αυτή τη συντόμευση περιέχουν Arundo donax (Καλάμι)

PO : Τα δοκίμια που ξεκινούν με αυτή τη συντόμευση περιέχουν Phaeophyta (φύκια)

OL : Τα δοκίμια που ξεκινούν με αυτή τη συντόμευση περιέχουν φύλλα από Olea europaea (φύλλα ελιάς)

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο έρευνας:

Με την συγκεκριμένη ερευνητική εργασία διεξάγεται έρευνα για την επανάχρηση αγροτικών αποβλήτων αποσκοπώντας στην παραγωγή νέων υλικών αντάξιων των αναγκών τις οποίες καλείται να καλύψει. Η συσσώρευση αυτών των αποβλήτων και η περιβαλλοντική ρύπανση που προκαλούν δημιούργησαν την ανάγκη εκμετάλλευσής τους και έφεραν την συζήτηση για αλλαγή στην τεχνολογία δόμησης. Η αλλαγή αυτή συνδέεται με την αειφορία και τον οικολογικό σχεδιασμό των κτιρίων. Η νέα αρχιτεκτονική εισάγει μία νέα πρόταση για την ποιότητα των κατασκευών και κατ' επέκταση το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνουν αυτές, αφού κύριο μέλημά τους είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, η μείωση των ρύπων και αποβλήτων αλλά και η ανάδειξη της κυκλικής οικονομίας. Οι νέες προσεγγίσεις έχουν ως βασικό σκοπό την ενσωμάτωση της ενέργειας στην ζωή και την δομή του κτιρίου. Η ανάγκη για αυτές τις αλλαγές υποστηρίζεται από έρευνες που αποδεικνύουν πως πολλά συμβατικά υλικά που εφαρμόζονται στα κτίρια είναι επιβλαβή για το περιβάλλον αλλά και την ανθρώπινη υγεία γενικότερα (TamV., 2007).

Το βασικότερο δομικό στοιχείο στις σύγχρονες κατασκευές είναι το σκυρόδεμα. Τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές του είναι απόρροια των πρώτων υλών από τις οποίες είναι κατασκευασμένο με τις μεθόδους και τις τεχνικές σύμφωνα με τις οποίες παράγεται να καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα και την αντοχή της κατασκευής. Τα κυριότερα συστατικά του σκυροδέματος είναι το τσιμέντο, λεπτομερή αδρανή, χονδρομερή αδρανή, νερό και αέρας. Η αναλογία για την κατασκευή του έχει ως εξής 20% τσιμέντο και το υπόλοιπο 80% είναι αδρανή, ενώ ο λόγος νερού προς τσιμέντο είναι 0.5 (NevilleA.M., 2008).

Όσον αφορά το κύριο συστατικό του το τσιμέντο, το οποίο προέρχεται από την εξόρυξη και επεξεργασία πετρωμάτων και μεταλλευμάτων, απαιτούνται ένα εκατομμύριο κυβικά μέτρα προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες της αγοράς. Το ίδιο ισχύει και για τα αδρανή που εμπεριέχονται στο τελικό μείγμα του σκυροδέματος (FlattR., 2012).

Το σκυρόδεμα σε σχέση με άλλα δομικά υλικά παράγει μεγάλη ποσότητα ρύπων, με αποτέλεσμα να δημιουργεί περιβαλλοντικά

προβλήματα , όπως εκπομπή υπέρογκης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα κατά την παραγωγή του αλλά και τεράστια ποσότητα αποβλήτων όταν το σκυρόδεμα απορρίπτεται. Πέρα από αυτά , το συνολικό απόθεμα πόρων παραγωγής εξαντλούνται με αυξανόμενο ρυθμό. Η ανακύκλωση του έχει εξελιχθεί από απλή σύνθλιψη σε τρίψιμο με βάση συγκεκριμένες διαδικασίες για την δημιουργία αρκετά υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένων αδρανών για μετέπειτα παραγωγή σκυροδέματος που όμως θεωρείται δύσκολη διαδικασία ανακύκλωσης. Επιπλέον η διαδικασία αυτή παράγει μεγάλο ποσοστό ρύπων οι οποίοι είναι επιβλαβείς. Επιπρόσθετα στο πρόβλημα της ανακύκλωσης του σκυροδέματος και των άλλων συμβατικών υλικών, δεν πρέπει να ξεχνιέται και η τοξικότητά τους λόγω των τοξικών ουσιών που εμπεριέχουν , οι οποίες απελευθερώνονται κατά την παραγωγή τους , την εφαρμογή τους αλλά και σε περίπτωση πυρκαγιάς (WanglerT., 2019). Σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα ενός κτιρίου είναι τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την κατασκευή του, αφού σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στην Γερμανία έχει αποδειχθεί ότι το 37% των δομικών υλικών είναι επιβλαβή για την υγεία, ενώ το 26% είναι τοξικά ή εντελώς τοξικά (Pacheco-TorgalF., 2012). Έχει αποδειχθεί ότι οι τοξικές ουσίες των δομικών υλικών, όταν απελευθερωθούν από αυτά, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα θα έχει αλλάξει σε τέτοιο βαθμό ώστε να παρουσιάζονται βλαβερές συνέπειες στην υγεία των χρηστών καθώς και στα οικοσυστήματα γενικότερα εάν διαπεράσουν και στο περιβάλλον (Δημούλη Α., 2006). Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί ραγδαία αύξηση της χημικής ρύπανσης με αποτέλεσμα να έχουν επέλθει πολυσήμαντοι επιβαρυντικοί παράγοντες, όπως η κλιματική αλλαγή, η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αλλά και η επιρροή στην δημόσια υγεία γενικότερα.

Συνυπολογίζοντας τα παραπάνω προκύπτει επιτακτική η ανάγκη θέσπισης ορισμένων μέτρων με σκοπό τον έλεγχο, τον περιορισμό ακόμα και την απαγόρευση της παραγωγής και εφαρμογής ορισμένων ουσιών, που κρίνονται τοξικά.

Σύμφωνα με το Ελληνικό Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, το ένα τρίτο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και περίπου το 36% της συνολικής ποσότητας ενέργειας που καταναλώνεται οφείλεται στον κτιριακό τομέα στην Ελλάδα. (Innovation, 2013). Εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής που τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να προκαλεί μεγάλες αλλαγές στην καθημερινότητα και γενικότερα στην δημόσια υγεία, η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και γενικά η ρύπανση της ατμόσφαιρας, έχουν οδηγήσει τους ερευνητές στην αναζήτηση μεθόδων καταπολέμησης αυτού του φαινομένου (NoguchiT., 2011).

Η μείωση κατανάλωσης ενέργειας, παραγωγής αποβλήτων και εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν με την δημιουργία δομικών υλικών χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματος και την εφαρμογή τους στα νέα κτίρια ή και την αντικατάσταση των ήδη εφαρμοσμένων με αυτά. Ο πιο βιώσιμος τρόπος αντιμετώπισης αυτού του φαινομένου είναι η επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων, τα οποία δεν περιέχουν συνθετικά και χημικές ουσίες μειώνοντας έτσι τη μόλυνση του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας (Lecompte T., 2015).

Με αφορμή τα παραπάνω, σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις παγκοσμίως δημιουργήθηκαν τούβλα φυτικής προέλευσης και με βάση την επανάχρηση αποβλήτων δημιουργώντας ένα βιώσιμο τρόπο κατασκευής χωρίς επιβάρυνση στο περιβάλλον. Τα συγκεκριμένα δομικά στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από μέρη ξηρών φυτών και από άλλα φυτικά υλικά. Επίσης γίνεται χρήση ελαφροσκυροδέματος φυτικής βάσης, το οποίο είναι ανακυκλώσιμο, το οποίο απαιτεί ελάχιστη ενέργεια ώστε να μετατραπεί σε δομικό υλικό και αποτελεί έτσι ένα υλικό εντελώς ασφαλές για τον χρήστη και το περιβάλλον.

Στις μέρες μας το πιο μελετημένο ελαφροσκυρόδεμα φυτικής προέλευσης είναι το Lime- HempConcrete (ArizziA., 2015) το οποίο ήδη υπάρχει στην αγορά και έχει αρχίσει η εφαρμογή του στα κτίρια (Pichon Q., 2015).

Επιπλέον η εκμετάλλευση τοπικών υλικών συνδυάζει την εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από την απαλλαγή από το μεταφορικό κόστος με την ενίσχυση της τοπικής οικονομίας.

Βασιζόμενοι στα παραπάνω και σε συνέχεια των ερευνών που εκτελεί το Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, στο πλαίσιο της εργασίας εκτελούνται εργαστηριακοί έλεγχοι σε θερμομονωτικό πάνελ, κατασκευασμένο με φυσικά εντόπια υλικά τα οποία είναι κυρίως απόβλητα γεωργικής προέλευσης.

Εν συνεχεία πρωταρχικών αποτελεσμάτων και έρευνας από το Εργαστήριο, η μελέτη και η ανάπτυξη του υλικού βασίστηκε στην χρήση του φυτού *Arundo donax*, πιο γνωστό ως το κοινό καλάμι, με συνδετικά υλικά τον τοπικό αερίκο ασβέστη και φυσικό ποζολανικό πρόσθετο προερχόμενο από το νησί της Μήλου. Η έρευνα που υλοποιήθηκε προσδιόρισε τις θερμικές ιδιότητες, τα φυσικό-μηχανικά χαρακτηριστικά αλλά και την ανθεκτικότητα των σχεδιαζόμενων πάνελ. Τα συνολικά αποτελέσματα που συλλέχθηκαν παρουσίασαν πολλές ομοιότητες με τα προϊόντα που κυκλοφορούν στο εμπόριο της Βόρειας Ευρώπης, τα Iso-Hemp και Chanvribloc.

1.2 Σκοπός

Στην συγκεκριμένη εργασία, αναλύονται οι πρακτικές επεξεργασίας και μεταποίησης των αγροτικών αποβλήτων, με στόχο την επανάχρησή τους. Βασικά δείγματα μελέτης αποτελούν τα καλάμια και τα φύλλα ελιάς που προέρχονται και τα δύο από αγροτικές εργασίες καθαρισμού των αγροκτημάτων και κλαδέματος των δέντρων στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης.

Αποτελεί γεγονός ότι πλέον το εγχείρημα της επανάχρησης γεωργικών αποβλήτων έχει εφαρμοσθεί και έχουν δημιουργηθεί μονωτικά και δομικά υλικά από φυσικά υλικά εντελώς φιλικά προς το περιβάλλον και την δημόσια υγεία.

Στην συνέχεια, σύμφωνα με την έρευνα που διεξάγεται πάνω στα προηγούμενα, το προϊόν που δημιουργείται δοκιμάζεται σε εργαστηριακούς ελέγχους και συγκρίνεται με αντίστοιχα προϊόντα που παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες και χαρακτηριστικά.

Σκοπός είναι να δημιουργηθούν θερμομονωτικά πάνελ φυτικής βάσης τα οποία θα καταφέρουν να αντικαταστήσουν τα συμβατικά, με στόχο την μείωση περιβαλλοντικής ρύπανσης και κατ' επέκταση στην βελτίωση της ανθρώπινης υγείας. Ταυτόχρονα στόχος είναι η εκμετάλλευση των αποβλήτων που προκύπτουν από τις αγροτικές εργασίες και η δημιουργία θερμομονωτικών block φιλικά προς το περιβάλλον με σκοπό την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και την επαναχρησιμοποίηση κυρίως εντόπιων υλικών. Η αξιολόγηση των θερμικών ιδιοτήτων και της ανθεκτικότητας των υλικών που έχουν αναπτυχθεί έγιναν ακραίες συνθήκες, όπως έντονες μεταβολές σε θερμοκρασία και υγρασία.

Σύμφωνα με έρευνες έχει αποδειχθεί ότι πολλά από τα δομικά υλικά με φυτική βάση παρουσιάζουν πολύ καλά αποτελέσματα και αντοχές, συναγωνίσιμες με εκείνες των συμβατικών υλικών. Έχει ερευνηθεί ότι με την εφαρμογή τους σε κτίρια προσφέρουν θερμική άνεση και εξαιτίας της φυτικής τους βάσης καθιστούν την πιο βιώσιμη λύση για μία κατοικία. Επίσης με την χρήση αυτών των υλικών επιδιώκεται η προστασία του κτιρίου από τα καιρικά φαινόμενα γεγονός που μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του και είναι ικανά να προσφέρουν μεγαλύτερη ελαστικότητα στο κτίριο συγκριτικά με άλλα συμβατικά υλικά κάνοντας το πιο ανθεκτικό σε φυσικές καταστροφές όπως πχ. σεισμοί.

Τα ελαφροβαρή θερμομονωτικά υλικά φυτικής προέλευσης έχουν το πλεονέκτημα ότι παρουσιάζουν μικρό βάρος σε συνδυασμό με αρκετά αυξημένη θερμική αγωγιμότητα συγκριτικά με το συμβατικό σκυρόδεμα. Εξαιτίας αυτού όταν πραγματοποιείται εφαρμογή τους σε τοιχοποιία δεν χρειάζεται προσθήκης εσωτερικής ή εξωτερικής

θερμομόνωσης. Αυτό το χαρακτηριστικό κάνει τα υλικά ελαφροσκυροδέματος φυτικής βάσης μία συμβατή επιλογή στην αποκατάσταση παραδοσιακών κτιρίων, σε αντίθεση με τα συμβατικά υλικά. Τέλος, εάν η παραγωγή των θερμομονωτικών πάνελ φυτικής βάσης περάσει σε βιομηχανική κλίμακα, το τελικό προϊόν θα διαθέτει συγκεκριμένα πιστοποιημένα θερμικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κάνοντας την εφαρμογή του σε κτίρια πιο απλοποιημένη και με εγγυημένες ιδιότητες και διάρκεια ζωής.

1.3 Μεθοδολογία

Σε πρώτη φάση διεξάγεται έρευνα σε βιβλιογραφία σχετικά με τα συμβατικά αλλά και τα φυτικά θερμομονωτικά υλικά.

- Πραγματοποιείται αποβελτίωση της βιβλιογραφίας και καταγραφή των σημαντικών δεδομένων σχετικά με συμβατικά θερμομονωτικά πάνελ και θερμομονωτικά πάνελ με βάση φυτικής προέλευσης .
- Στην συνέχεια πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή των προβλημάτων που παρουσιάζουν τα συμβατικά και τα φυτικά θερμομονωτικά υλικά. Οι επιπτώσεις που αφήνουν τα συμβατικά υλικά στο περιβάλλον και γενικότερα στην ανθρώπινη υγεία , σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι πηγές εκμετάλλευσης έχουν αρχίσει να εξαντλούνται, δημιουργούν την ανάγκη για χρήση φυτικών δομικών υλικών.
- Σε συνέχεια παρατίθεται το ζήτημα εκμετάλλευσης των γεωργικών αποβλήτων που επίσης προκαλούν περιβαλλοντική ρύπανση και όλο ένα αυξάνονται λόγω της αύξησης των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Μέσω του συνδυασμού αυτών των παραγόντων δημιουργείται η ανάγκη αξιοποίησης του απόβλητου υλικού και η δημιουργία θερμομονωτικών block φιλικά προς το περιβάλλον.
- Στην πρώτη πειραματική ενότητα πραγματοποιείται μία σειρά από κύκλους αλάτων, με σκοπό τον έλεγχο της αντοχής στα άλατα των δοκιμίων του θερμομονωτικού υλικού που έχει αναπτυχθεί.
- Σε δεύτερο στάδιο, εξετάζεται η αντοχή τους στο νερό, μέσω της πλήρους βύθιση δοκιμίων σε αυτό.
- Επίσης εξετάζονται οι αντοχές στα καιρικά φαινόμενα αφού τοποθετούνται σε εξωτερικό περιβάλλον για έλεγχο καταπόνησης σε εναλλαγές θερμοκρασίας με την παρουσία υγρασίας.
- Με το πέρας της έρευνας αυτής διεξάγεται λεπτομερής αποτίμηση των αποτελεσμάτων , με βάση τα στοιχεία που συλλέχθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία.

- Σε τελικό στάδιο γίνεται πρόταση εφαρμογής σε παραδοσιακή κατοικία και παρατίθενται οι τρόποι με τους οποίους αυτό είναι εφικτό.

2. Θεωρητικό μέρος | γενικό πλαίσιο

2.1 Ελαφροβαρή υλικά θερμομόνωσης | Εισαγωγή

Με τον όρο θερμομόνωση ερμηνεύεται όλο το σύνολο των συγκεκριμένων εργασιών που λαμβάνουν χώρα σε συνδυασμό με τα κατάλληλα υλικά, προκειμένου να διατηρηθεί η θερμοκρασία σε ένα κτίριο. Ειδικότερα, η θερμομόνωση τοποθετείται μέσω συγκεκριμένων διαδικασιών επενδύοντας τις επιφάνειες των κτιρίων στοχεύοντας στην διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ένα θερμικά άνετο εσωτερικό κλίμα για τον χρήστη και περιορίζονται οι θερμικές απώλειες. Αυτό έχει ως απόρροια την μείωση της ανάγκης χρήσης θέρμανσης/ψύξης και κατ' επέκταση την μείωση περιβαλλοντικής ρύπανσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κτίρια τα οποία έχουν θερμομόνωση είναι ευκολότερο και λιγότερο επιβαρυντικό για το περιβάλλον αλλά ταυτόχρονα και πιο οικονομικό να ζεσταθούν ή να ψυχθούν ώστε να επέλθουν σε θερμική άνεση συγκριτικά με εκείνα τα οποία στερούνται θερμομόνωσης.

Η θερμομόνωση τοποθετείται είτε εξωτερικά του κτιρίου, είτε εσωτερικά. Η εξωτερική τοποθέτηση προσφέρει την δυνατότητα αποθήκευσης θερμότητας, η οποία έχει παραχθεί κατά την λειτουργία θέρμανσης/ψύξης, αποδίδοντας την σε μεταγενέστερο χρόνο παρέχοντας θερμική άνεση ακόμα και όταν ο χώρος δεν θερμαίνεται/ψύχεται. Αντίθετα, η εσωτερική θερμομόνωση εξασφαλίζει την γρήγορη θέρμανση/ψύξη του κτιρίου με αποτέλεσμα την παροχή θερμικής άνεσης.

Τα κτίρια τα οποία δεν διαθέτουν θερμική προστασία, παρουσιάζουν συμπυκνωμένη υγρασία στην εσωτερική επιφάνεια των τοίχων, με αποτέλεσμα την δημιουργία μούχλας αλλά και την αίσθηση ψύχους. Αντιθέτως, με την χρήση θερμομόνωσης επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας και κατ' επέκταση τη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την επένδυση του κτιρίου εξαρτώνται από τις ανάγκες του αλλά και από την επιφάνεια που είναι εφικτό να επενδυθεί. Τα πιο συνήθη θερμομονωτικά υλικά είναι :

- Η διογκωμένη και εξηλασμένη πολυστερίνη
- ο πετροβάμβακας
- οι πλάκες ξυλόμαλλου

Επίσης χρειάζεται να αναφερθεί ότι το πάχος της απαιτούμενης μόνωσης διαφέρει ανάλογα με την περιοχή στην οποία τοποθετείται και εξαρτάται από την κλιματική ζώνη αλλά και τις ιδιότητες κάθε υλικού.

Η μείωση της κατανάλωσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας στα κτίρια είναι ένα ουσιαστικό βήμα για τη μείωση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Στο άμεσο μέλλον, όλα τα νέα κτίρια θα κατασκευάζονται με πρότυπο την παθητική κατοικία και θα γίνονται επεμβάσεις στα υπάρχοντα κτίρια προκειμένου να πληρούν συγκεκριμένες ενεργειακές προϋποθέσεις. Οι νέες προσεγγίσεις στον ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό δεν κινούνται μόνο προς την κατεύθυνση της χαμηλότερης κατανάλωσης, αλλά και προς την ανάπτυξη και χρήση φυσικών και τοπικών οικοδομικών υλικών. Τα τελευταία χρόνια, ο τομέας της θερμικής προστασίας στα κτίρια λειτουργεί εστιάζοντας περισσότερο στα οικολογικά υλικά. Η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση δεν περιορίζεται μόνο στην εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και στην οικολογικά ορθή κατασκευή του κτιρίου στην οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η κατανάλωση πόρων και η παραγωγή ρύπανσης.

Τα οικοδομικά υλικά είναι υπεύθυνα για το 36% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και το 40% της ενέργειας κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2010). Η παραγωγή 1 κιλού συνηθισμένου τσιμέντου πόρτλαντ καταναλώνει περίπου 1,5 kWh ενέργειας και απελευθερώνει περίπου 1 κιλό CO₂.

Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει αλκαλικά ενεργοποιημένα υλικά (γεωπολυμερή) με διαφορετική προέλευση η οποία αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει τις ιδιότητες του υλικού που προκύπτουν. Τα γεωπολυμερή σύνθετα υλικά έχουν προσελκύσει την προσοχή των ερευνητών που επιδιώκουν να αντικαταστήσουν το τσιμέντο πόρτλαντ με υλικά πλούσια σε αλουμίνια και πυρίτιο και να τα ενεργοποιήσουν χρησιμοποιώντας αλκαλικούς ενεργοποιητές όπως πυριτικό νάτριο και διαλύματα υδροξειδίου του νατρίου. Τα ενεργοποιημένα με αλκάλια αργιλοπυριτικά υλικά έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως την αδιαλυτότητα στο νερό, τις άριστες μηχανικές ιδιότητες, τη συμπαγή μικροδομή, την αντοχή σε επιθετικά διαλύματα, υψηλές θερμοκρασίες (έως 120°C) και γρήγορες μεταβολές θερμοκρασίας χωρίς να παράγουν επικίνδυνα αέρια κατά τη θερμική έκθεση τους.

Πλέον παρουσιάζεται επιτακτική η ανάγκη για βιώσιμη ανάπτυξη αφού η εξάντληση των πρώτων υλών και των ενεργειακών πόρων είναι δεδομένη και η ατμοσφαιρική ρύπανση αυξάνεται με ραγδαίο ρυθμό συγκριτικά με το παρελθόν. Λόγω αυτού, έμφαση δίνεται στα μη τοξικά υλικά με δυνατότητα ανακύκλωσης. Η τεχνολογία πια έχει στραφεί στις φυσικές πρώτες ύλες που καλύπτουν τις περισσότερες απαιτήσεις της αειφόρου ανάπτυξης και λόγου αυτού πραγματοποιούνται έρευνες με φυσικά υλικά τα οποία είναι συγκρίσιμα με τα τυπικά οικοδομικά υλικά διότι παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά και ιδιότητες.

Η λογική της χρήσης σύγχρονων μονωτικών υλικών θα πρέπει να αλλάξει ώστε να συνυπολογίζει την ενσωματωμένη ενέργεια, το αποτύπωμα άνθρακα και τα ζητήματα απόρριψης αυτών στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

Λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές παγκόσμιες περιβαλλοντικές προκλήσεις, ξεκίνησαν έρευνες για ένα πιο βιώσιμο περιβάλλον κατοίκησης μέσω της ρύθμισης της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Για τον λόγο αυτό απαιτούνται πιο βιώσιμα υλικά προερχόμενα από ανακυκλωμένα υλικά ή φυσικής προέλευσης. Στόχος είναι η δημιουργία ελαφροβαρών θερμομονωτικών που να είναι φιλικά προς το περιβάλλον, χωρίς ρητίνες και άλλα χημικά πρόσθετα, ικανά να ανταγωνιστούν πλήρως τα μονωτικά υλικά του εμπορίου. Ήδη έχει γίνει κατασκευή κάποιων τα οποία έχουν κυκλοφορήσει στο εμπόριο και παρουσιάζουν αρκετά καλές ιδιότητες, αυτά είναι τα block από κάνναβη και τα block από φελλό (MohammadDr., 2005).

2.2 Συμβατικά ελαφροβαρή θερμομονωτικά υλικά

2.2.1 Διογκωμένη πολυστερίνη

Χάρη στον Ελληνικό Κανονισμό για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (KENAK) και τα προγράμματα «Εξοικονόμηση κατ' Οίκον», η εθνική αγορά θερμομόνωσης γνωρίζει άνθηση εδώ και δέκα χρόνια. Το πιο σύνηθες υλικό που χρησιμοποιείται λόγω του μειωμένου κόστους του είναι, της οποίας ωστόσο το ενεργειακό αποτύπωμα είναι ιδιαίτερα μεγάλο καθώς είναι υποπροϊόν του πετρελαίου και δεν είναι βιοδιασπώμενο (Oiry, Φυτώριο Ιδεών, 2021).



Εικόνα 1: Πάνελ διογκωμένης πολυστερίνης (<https://www.nuclear-power.com>)

Η διογκωμένη πολυστερίνη ανήκει στα αφρώδη, οργανικά τεχνητά θερμομονωτικά υλικά. Είναι άοσμο υλικό, συνήθως λευκού χρώματος, πολύ ελαφρύ πυκνότητας $8-30 \text{ Kg/m}^3$ καθώς η μάζα του υλικού αποτελεί μόνο 2-5% του όγκου του. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας κυμαίνεται μεταξύ $0,03-0,038 \text{ W/mK}$. Το θερμοκρασιακό εύρος βέλτιστης λειτουργίας της διογκωμένης πολυστερίνης είναι από -80°C μέχρι $+80^\circ\text{C}$. Συστήνεται να αποφεύγεται η χρήση της κοντά σε πηγές υψηλής θερμοκρασίας όπως πχ. φούρνοι (Αρναούτης Α., 2015).

Το 75% της παραγόμενης διογκωμένης πολυστερίνης χρησιμοποιείται στον κατασκευαστικό τομέα. Συγκεκριμένα βρίσκει εφαρμογή: ως θερμομόνωση και ηχομόνωση τυχόν ορόφων δαπέδων και ταρατσών, ως εξωτερική θερμομόνωση, για την κατασκευή εξωτερικών και εσωτερικών διακοσμητικών στοιχείων, σε ενδοδαπέδια συστήματα θέρμανσης, γιατί τη σεισμική θωράκιση των κτιρίων περιμετρικά και στα θεμέλια και ως ελαφρύ επίχωμα (Technomorfi, 2019).

Σε αντίθεση με άλλα θερμομονωτικά υλικά πρόκειται για ένα πολύ σταθερό υλικό στο χρόνο που δεν αποδομείται ενώ η διάρκεια εργάσιμη ζωής του ξεπερνά τα 100 χρόνια χωρίς αλλοίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών.

Λόγω της δομής διαθέτει μεγάλη αντοχή σε θλίψη και αντοχή στην διαβροχή. Κατά συνέπεια αποτελεί κατάλληλο υλικό για κατασκευές και εφαρμογές πλήρωσης. Στην Ελλάδα συναντώνται εφαρμογές που βασίζονται σε αυτή τη λογική πχ. οδοποιία (ParacharalamprousG., 2011).

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 13163:2002 , ως διογκωμένη πολυστερίνη ονομάζεται το άκαμπτο κυψελωτό πλαστικό υλικό το οποίο είναι κατασκευασμένο από την ενοποίηση σφαιριδίων διογκούμενης πολυστερίνης ή ενός εκ των συμπολυμερών της με μία κλειστή κυτταρική δομή γεμισμένη με αέρα.

Συναντάται σε μορφή μπλοκ (ορθογώνια διατομή και με πάχος όχι σημαντικά μικρότερο από το πλάτος) , τάβλας (προϊόν ορθογώνιου σχήματος και διατομής με το πάχος να είναι σημαντικά μικρότερο από τις άλλες διαστάσεις) , ρόλου (τάβλες ή λωρίδες επάνω σε εύκαμπτη επένδυση που κατά το ξετύλιγμα σχηματίζουν συνεχές μονωτικό στρώμα) αλλά και προδιαγραφόμενων προϊόντων (διαμόρφωση με κοπή, τρόχισμα από μπλοκ ή τάβλες ή μορφοποίηση με χύτευση) (IGFI, 2002).



Εικόνα 2:Κόκκοι διογκωμένης πολυστερίνης (<https://φελιζολ.com/>)

Με το νέο πρότυπο του 2012 ο διαχωρισμός των προϊόντων γίνεται ανάλογα με τις επιδόσεις του υλικού σε αντοχές (θλίψη ,κάμψη

,εφελκυσμός), με τα τεχνικά χαρακτηριστικά (πχ. Θερμική αγωγιμότητα) και τις διαστάσεις ορίζοντας 16 βασικές κατηγορίες (CEN, 2012).

Προκειμένου να παραχθεί διογκωμένη πολυστερίνη ακολουθούνται τα εξής στάδια:

1. Προ-Διόγκωση

Κάθε κόκκος του πολυστυρενίου διογκώνεται με την έκθεσή του σε ατμό για να μετατραπεί σε μεγαλύτερο σφαιρίδιο το οποίο αποτελείται από μια συστοιχία κλειστών κελιών.

2. Ωρίμανση

Μετά τη διόγκωση, οι κόκκοι περιέχουν ακόμη συμπυκνωμένο ατμό και πεντάνιο σε μικρές ποσότητες. Μετά την ψύξη, ο αέρας αντικαθιστά μερικώς τα ανωτέρω συστατικά και διαχέεται σταδιακά στους πόρους του υλικού.

3.Μορφοποίηση Αυτοί οι κόκκοι καλουπώνονται με σκοπό να σχηματίσουν πλάκες, κουτιά ή άλλα υλικά. Το καλούπι δίνει το σχήμα στο επιθυμητό προϊόν και διατηρεί την προ-άφριση. Ατμός χρησιμοποιείται για να προαχθεί ξανά διόγκωση και να πραγματοποιηθεί η ένωση κάθε κόκκου με το γειτονικό του. Έτσι, συγκροτείται ένα ομοιογενές υλικό.

4.Σχηματισμός Μετά από μικρή περίοδο ψύξης, το σχηματισμένο καλούπι, ως τελικό προϊόν, εξέρχεται της μηχανής καλουπώματος και ύστερα από περαιτέρω ωρίμανση μπορεί να κοπεί σε επιθυμητά σχήματα με τη χρήση θερμών συρμάτων ή άλλων κατάλληλων τεχνικών.

5.Επεξεργασία μετά την παραγωγή Το τελικό προϊόν μπορεί να επενδυθεί με φύλλα από πλαστικό, μέταλλο ή άλλα πεπιεσμένα υλικά για κατασκευές σε οροφές και τοίχους (ΠΑ.ΣΥ.ΔΙ.Π., 1996).

2.2.2 Εξηλασμένη πολυστερίνη

Η εξηλασμένη πολυστερίνη είναι ένα παρόμοιο προϊόν με τη διογκωμένη και θεωρείται ως ένας πιο εξελιγμένος τύπος της , παρουσιάζοντας βελτιωμένες θερμομονωτικές ικανότητες και αντοχή στην υγρασία.



Εικόνα 3: Πάνελ εξηλασμένης πολυστερίνης (<https://www.bozios.gr>)

Η παραγωγή της εξηλασμένης πολυστερίνης γίνεται με την διαδικασία της εξήλασης κατά την οποία πολυμερίζεται η θερμοπλαστική πολυστερίνη. Λόγω του αερίου που περιέχει (χλωροφθοράνθρακας) έχει επίδραση στη φωτιά, όμως όπως και στην περίπτωση της διογκωμένης πολυστερίνης αποφεύγεται η χρήση κοντά σε πηγές υψηλών θερμοκρασιών.

Είναι άοσμο υλικό, συνήθως γαλάζιου ή ανοικτοπράσινου χρώματος, ελαφρύ, πυκνότητας $20-80 \text{ Kg/m}^3$ καθώς η μάζα του υλικού αποτελεί μόνο το 3-4% του όγκου του. Έχει ομοιογενή δομή με πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες. Η θλιπτική της αντοχή είναι καθοριστικός παράγοντας ώστε να χρησιμοποιείται σε δάπεδα ή τaráτσες ως θερμομονωτικό υλικό. Το λ της κυμαίνεται από $0,03-0,032 \text{ W/mK}$. Το εύρος βέλτιστης λειτουργίας της είναι από -50°C μέχρι $+75^\circ\text{C}$ (Αρναούτης Α., 2015).

2.2.3 Αφρός πολυουρεθάνης

Ο αφρός πολυουρεθάνης ανήκει στα ελαφροβαρή αφρώδη υλικά με κλειστή κυψελωτή δομή. Κατασκευάζεται με την ένωση δύο στοιχείων, της πολυόλης και του ισοκυανικού που ανήκει στην οικογένεια των πλαστικών.

Συνήθως συναντάται σε συμπιεσμένη μορφή σπρέι όμως υπάρχει η δυνατότητα να επενδυθεί με αλουμίνιο ή πάνελ και να χρησιμοποιηθεί σε κεκλιμένες στέγες.



Εικόνα 4: Πάνελ αφρού πολυουρεθάνης με επένδυση (<https://wtinsulation.en.made-in-china.com>)

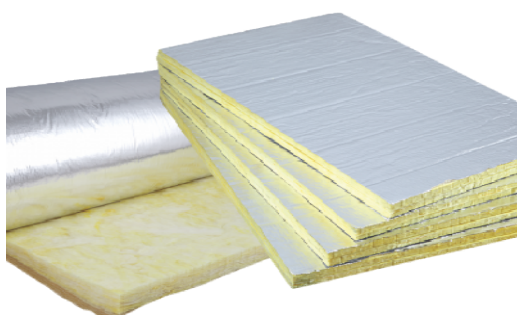


Εικόνα 5: Μόνωση πολυουρεθάνης μέθοδος ψεκασμού (<https://www.paragon-protection.com>)

Είναι άοσμο υλικό, συνήθως κίτρινου χρώματος, πολύ ελαφρύ, πυκνότητας 30-80 Kg/m³ καθώς η μάζα του υλικού αποτελεί μόνο το 3% του όγκου του. Διατίθεται σε πλάκες με πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες. Η τιμή του λ είναι από 0,023- 0,03W/mK και εξαρτάται κυρίως από το είδος του διογκωτικού υλικού. Με την πάροδο του χρόνου το αέριο διαφεύγει και αντικαθίσταται από αέρα με αποτέλεσμα την αύξηση του λ. Πριν την απαγόρευση της χρήσης του χλωροφθοράνθρακα η τιμή του λ ήταν μικρότερη από 0,2W/mK που την καθιστούσε το καλύτερο θερμομονωτικό υλικό για ψυγεία καταψύκτες. Το θερμοκρασιακό εύρος βέλτιστης λειτουργίας του αφρού πολυουρεθάνης είναι από -50°C μέχρι +110°C (Αρναούτης Α., 2015).

2.2.4 Υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας είναι ένα μονωτικό υλικό που έχει ως βασικά συστατικά το διοξείδιο του πυριτίου, δολομίτη, ασβεστόλιθο ,ανθρακική σόδα και αλουμίνα . Το όνομα του οφείλεται στην προσθήκη πολύ λεπτών ινών γυαλιού κατατάσσοντάς το στα ανόργανα ινώδη υλικά. Στη μορφή που υπάρχει σήμερα ως μονωτικό υλικό αναπτύχθηκε το 1938 από την εταιρία OwemCorning (Αρναούτης Α., 2015)..



Εικόνα 6: Πάνελ και ρολό από υαλοβάμβακα (<https://www.skliamis.gr>)

Κατά τη διαδικασία παραγωγής, το γυάλινο μαλλί παράγεται από λιωμένο γυαλί σε θερμοκρασίες άνω των +1400 ° C με τις ίνες να τραβιούνται από σπασμένο γυαλί και άμμο. Μετά από αυτό, τα προϊόντα που προκύπτουν συλλέγονται σε δέσμες χρησιμοποιώντας ένα ειδικό συγκολλητικό υλικό από άσφαλτο, θερμαίνονται στους +200 °

C και συμπιέζονται. Το υλικό που προκύπτει στη συνέχεια κόβεται ή τυλίγεται σε ρολά και παραδίδεται στην αγορά (technoexpo, 2018).

Στην αγορά κυκλοφορεί σε πλάκες πάχους 20-80mm και σε ρολά πάχους 30- 100mm. Είναι άοσμο, λευκού χρώματος αλλά λόγω της επεξεργασίας με τη ρητίνη αποκτά ένα βαθύ κίτρινο χρώμα. Είναι ελαφρύ, με πυκνότητα 30-180Kg/m³ για τις πλάκες και 30-100Kg/m³ για τα ρολά. Δεν έχει μεγάλη αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις, ιδίως σε θλίψη γι' αυτό δεν χρησιμοποιείται για θερμομόνωση οριζόντιων δομικών στοιχείων (εκτός εντός ψευδοροφών). Η τιμή του λ κυμαίνεται από 0,035-0,041W/mK. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει το συντελεστή λ, καθώς και η ύπαρξη υγρασίας και πίεσης. Έχει μεγάλο εύρος λειτουργίας σε θερμοκρασίες από -100°C μέχρι +500°C (Greenbuilding, 2015) (Αρναούτης Α., 2015).

Πρόκειται για ένα υλικό άκαυστο το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί και χωρίς επένδυση μιας και δεν αλλοιώνεται από την ηλιακή ακτινοβολία και είναι ανθεκτικό σε προσβολή από έντομα και παράσιτα.

2.2.5 Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας παράγεται από ακατέργαστα πετρώματα όπως διαβάτη και δολομίτη και σε μικρότερη περιεκτικότητα βασάλτη και μπρικέτες από την ανακύκλωση υλικών με την προσθήκη τσιμέντου. Για τη σύνθεση των ακατέργαστων υλικών χρησιμοποιούνται οξείδια του πυριτίου, αλουμινίου, ασβεστίου, μαγνησίου και σιδήρου (Αρναούτης Α., 2015).



Εικόνα 7: Πάνελ από πετροβάμβακα (<https://kouremenos.net>)

Στη συνέχεια, τα ακατέργαστα υλικά τοποθετούνται σε ένα κλίβανο όπου τήκονται σε θερμοκρασία πάνω από 1400°C. Σε αυτή τη φάση τήξης των ακατέργαστων υλικών, χρησιμοποιείται γαιάνθρακας ως ενεργειακή πηγή. Ως πρόσθετη πηγή ενέργειας, χρησιμοποιείται πετρέλαιο για την αποτέφρωση των αερίων του καπναγωγού. Με ένα εκσυγχρονισμένο σύστημα καθαρισμού των αερίων του καπναγωγού, σκόνη και μονοξείδιο του άνθρακα

κατακρατούνται, ενώ ένα μεγάλο μέρος ενέργειας επιστρέφει στην διαδικασία παραγωγής. Η μάζα που παράγεται από τη διαδικασία τήξης στον κλίβανο καταλήγει σε διάταξη που δημιουργεί τις ίνες με μηχανισμό φυγοκέντρισης. Ο μηχανισμός διαλύει τη μάζα σε σταγόνες και διερχόμενος αέρας διασπά τις σταγόνες σε ίνες. Οι ίνες περνάνε μέσα σε ένα θάλαμο συγκέντρωσης και έτσι επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός αρχικού στρώματος μονωτικού υλικού από πετροβάμβακα. Στο στάδιο αυτό προστίθεται ένας συνδέτης, με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των παραγόμενων πλακών πετροβάμβακα. Το αρχικό στρώμα καταλήγει σε ένα σύστημα εναπόθεσης – το λεγόμενο εκκρεμές - το οποίο επιτρέπει την δημιουργία εξαιρετικών μονωτικών χαρακτηριστικών προσδίδοντας μια ομοιόμορφη κατανομή των ινών και υψηλά ποσοστά συνύφανσης, και έτσι παράγεται περισσότερος χώρος για την συγκράτηση του αέρα, που είναι από τις πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του μονωτικού υλικού. Στον θάλαμο ξήρανσης, πραγματοποιείται η διαδικασία της ξήρανσης και ωρίμανσης η οποία μαζί με τη στερέωση των ινών παρέχουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μονωτικού υλικού. Η διαδικασία διεξάγεται στους 270°C με εξάτμιση του νερού και ωρίμανση του συνδέτη που είχε προστεθεί σε προηγούμενο στάδιο. Όλα τα απαέρια αποτεφρώνονται και φιλτράρονται και έτσι κλείνει ο κύκλος της χρήσης των απαερίων (KnaufInsulation, 2012)..

Υπερέχει από άλλα μονωτικά υλικά για την προσφέρει θερμομόνωση ηχομόνωση και πυροπροστασία στην κατασκευή στην οποία εφαρμόζεται.

2.3 Προβλήματα συμβατικών ελαφροβαρών θερμομονωτικών υλικών

2.3.1 Πολυστερίνες

Και οι δύο περιπτώσεις των προϊόντων πολυστερίνης, της διογκωμένης και εξηλασμένης, έχουν τις ίδιες σχεδόν ελλείψεις.

Αρχικά, η πολυστερίνη, ως παράγωγο του αργού πετρελαίου (Μαριόγλου ABEE), είναι μια μη ανανεώσιμη πρώτη ύλη γεγονός που προβάλλει την επιτακτική ανάγκη αντικατάστασης της. Παρά την υψηλή αντοχή των υλικών, λόγω της ευαισθησίας τους στην υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία αρχικά προκαλεί αλλοίωση στο χρώμα και στη συνέχεια αποσάθρωση, απαιτείται προστατευτικό επίστρωμα το οποίο προσθέτει επιπλέον πάχος στο μονωτικό σύστημα.

Στην περίπτωση της διογκωμένης πολυστερίνης για βελτίωση της πυράντοχης απαιτείται και η προσθήκη χημικών ουσιών ώστε να γίνει αυτοσβενδόμενο το υλικό.

Ενώ πρόκειται για ανακυκλώσιμα υλικά, η διαδικασία που απαιτείται για την ασφαλή προς το περιβάλλον αποβολή τους είναι αρκετά περίπλοκη και δαπανηρή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση των προϊόντων που περιέχουν πολυστερίνη στις χωματερές και εν τέλει την καύση αυτών και την εκπομπή πολύ βλαβερών για το περιβάλλον και τον άνθρωπο ουσιών.

Αν η πολυστερίνη εκτεθεί σε θερμοκρασία υψηλότερη των 100°C μαλακώνει, συσπάται και ξεκινά να λιώνει. Σε περίπτωση ανάφλεξης ή θέρμανσης σε θερμοκρασία υψηλότερη των 360°C-450°C ανάλογα με τον τύπο της πολυστερίνης, το υλικό εκπέμπει καυστικά αέρια (Πανευρωπαϊκός Σύνδεσμος Παραγωγών EPS, 2005).

Ειδικά η διογκωμένη πολυστερίνη λόγω της έντονα ψαθυρής της φύσης διασπάται εύκολα σε μικρά κομμάτια που μέσω του αέρα απλώνονται και κατά συνέπεια συμβάλουν άμεσα στη ρύπανση του περιβάλλοντος (Ecology, 2021).

2.3.2 Αφρός Πολυουρεθάνης

Η πολυουρεθάνη είναι ένα υλικό του οποίου το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον εξοπλισμό και την εμπειρία αυτό που το τοποθετεί καθιστώντας αρκετά υψηλό το ποσοστό μιας αστοχίας ειδικά στην περίπτωση ψεκασμού.

Παρόλο που πρόκειται για ένα υλικό το οποίο έχει υψηλή πυραντοχή, στην περίπτωση πυρκαγιάς εκπέμπει έναν διαβρωτικό και επιβλαβή για τον άνθρωπο καπνό που περιέχει δυνητικά καρκινογόνες ουσίες (StateofNewJerseyHealthcare, 2010).

Το υλικό απαιτεί προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία γεγονός που κάνει επιτακτική τη χρήση μίας επιπλέον στρώσης επικάλυψης ανεβάζοντας αρκετά το κόστος της διαδικασίας και καθιστώντας το μια όχι και τόσο συνήθη επιλογή σε έργα μεγάλης κλίμακας (Designeupro, 2015).

Σύμφωνα με διάφορες έρευνες σχετικά με την τοξικότητα (EuropeanComission, 2012) (NaldzhievD., 2020), η ουσία MDA (diaminodiphenylmethane) που περιέχεται στον αφρό πολυουρεθάνης, είναι τοξική για τον άνθρωπο σε περίπτωση κατάποσης ή εισπνοής σε παρατεταμένες περιόδους και μπορεί να προκαλέσει χρόνια προβλήματα στον άνθρωπο λόγω της υποβίβασης του αέρα.

2.3.3 Υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας διατίθεται σε πλάκες και ρολά συγκεκριμένων διαστάσεων. Απαιτεί μεγάλη προσοχή στην εγκατάσταση μιας και σε περίπτωση λάθος εγκατάστασης και συμπίεσης του υλικού μειώνεται η αποτελεσματικότητά του και υπάρχει περίπτωση τα ινώδη σωματίδια γυαλιού τα οποία περιέχει να εισέλθουν στο χώρο (Greenbuilding, 2015).

Στην περίπτωση επαφής με τις εύθραυστες ίνες υπάρχει πιθανότητα να μπουν στα μάτια στην αναπνευστική οδό και στο δέρμα προκαλώντας κνησμό και ερεθισμό των βλεννογόνων. Λόγω αυτού του γεγονότος, η εγκατάστασή του απαιτεί ειδικό προστατευτικό εξοπλισμό αυξάνοντας το κόστος της (RT82, 2013).

Για την κατασκευή του υαλοβάμβακα απαιτείται θέρμανση των πρώτων υλών σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (1400-1500°) ώστε αυτές να λιώσουν και σε συνδυασμό με την προσθήκη συγκολλητικών συνθετικών υλικών η διαδικασία καθίσταται μη φιλική προς το περιβάλλον (anelixi, 1994).

2.3.4 Πετροβάμβακας

Η μόνωση από πετροβάμβακα κατασκευάζεται με παρόμοιο τρόπο με αυτή από υαλοβάμβακα και αντίστοιχα απαιτεί υψηλή θερμοκρασία για την τήξη των πετρωμάτων (1300-1500°).

Έχει τις ίδιες απαιτήσεις όσον αφορά την τοποθέτηση και χρειάζεται χειρισμό με ιδιαίτερη προσοχή επειδή κάποια συστατικά που συναντώνται σε ορισμένα είδη πετροβάμβακα είναι καταχωρημένα ως καρκινογόνες ουσίες για τον άνθρωπο η παρατεταμένη έκθεση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας (IARC, 2022).

2.4 Κυκλική οικονομία

Η κυκλική οικονομία αποτελεί το νέο πράσινο μοντέλο ανάπτυξης σε παγκόσμιο επίπεδο, αντιπροσωπεύοντας την αλλαγή στην σχέση μεταξύ φύσης και ανθρώπινης κοινωνίας, αφού η εκμετάλλευση των πόρων, της ενέργειας και των υλικών αλλάζει ριζικά με στόχο την βιώσιμη ανάπτυξη.

Κεντρικός στόχος αυτού του μοντέλου είναι ο περιορισμός της αλόγιστης χρήσης των πόρων αλλά και η εξάλειψη του υπέρογκου όγκου αποβλήτων που έχει δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, ο μηδενισμός των αποβλήτων όλων των σταδίων παραγωγής, μέσω της συντήρησης, της ανακατασκευής, της επαναχρησιμοποίησης αλλά και της ανακύκλωσης. Επιδιώκεται η μακροζωία και διατήρηση των προϊόντων, του εξοπλισμού και της υποδομής ακόμα και μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Επίσης κύριος στόχος είναι η χρήση αποβλήτων μετατρέποντας τα σε παραγωγικούς πόρους και χρήσιμα υλικά, δίνοντας έτσι την πιο βιώσιμη εκδοχή τους. Επομένως, το βασικό επίτευγμα της κυκλικής οικονομίας είναι να σχηματιστεί ένα μοντέλο κυκλικό και να εκλείψει το γραμμικό που υπάρχει μέχρι τώρα. Με αυτό το μοντέλο ανάπτυξης, πρόκειται να ενισχυθούν οι πόροι, να μειωθεί η εξάρτηση από τους μη ανανεώσιμους αλλά και από τις πρώτες ύλες που τείνουν να εκλείψουν ενώ ταυτόχρονα να μειωθεί το κόστος (KirchherrJ., 2017).

2.4.1 Αξιοποίηση αγροτικών αποβλήτων

Τα γεωργικά απόβλητα είναι το υλικό που λαμβάνεται εξαιτίας της φυτικής παραγωγής και από την ανάπτυξη των φυτών. Στο παρελθόν τα γεωργικά απόβλητα και η βιομάζα είτε καιγόntonταν είτε γίνονταν οργανικό λίπασμα. Πλέον ερευνάται η εναλλακτική αξιοποίηση αυτών των αποβλήτων, αφού η βιομάζα παράγεται σε άφθονη ποσότητα σε παγκόσμιο επίπεδο.

Είναι γεγονός ότι η βιομάζα έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρική, θερμότητα, βιοκαύσιμα αυτοκινήτων). Τα τελευταία χρόνια, ξεκινάει η έρευνα και παραγωγή διάφορων δομικών υλικών με κύριο συστατικό τα γεωργικά απόβλητα, με την κυκλική οικονομία να διαδίδεται σε όλο ένα και περισσότερους τομείς.

Αρχικά ερευνήθηκε η εκμετάλλευση των απορριμμάτων του καφέ και αξιοποιήθηκαν στην παραγωγή πυρότουβλων σε συνδυασμό με πηλό ψημένα στους 1050°C. Οι ιδιότητες όπως η συρρίκνωση, η πυκνότητα και η αντοχή σε θλίψη, ήταν τα βασικά χαρακτηριστικά που

οδήγησαν στην λειτουργικότητα του συγκεκριμένου τούβλου. Αυτά απέδιδαν εξαιρετικές αντοχές σε πυρασφάλεια, συμπίεση και σε δοκιμασίες τοξικότητας, σε διαδικασία έκπλυσης (Kadir K., 2015).

Επίσης το 2016 αξιοποιήθηκαν πριονίδια, τα οποία αποτελούν σύνηθες αγροτικό απόβλητο, για κατασκευή τούβλων. Παρατηρήθηκαν καλές ιδιότητες γενικά, όμως σημειώθηκε μεγάλη πρόσφυση, με αποτέλεσμα να απορροφάται μεγάλο ποσοστό υγρασίας.

Το αποτέλεσμα μιας ακόμα έρευνας που πραγματοποιήθηκε με επίκεντρο τα γεωργικά απόβλητα ήταν ότι έπειτα από μεγάλο χρονικό διάστημα καθίζησής τους, σχηματιζόταν μία στάχτη. Χρησιμοποιώντας την στάχτη αυτή για την δημιουργία τούβλων, παρατηρήθηκε μέγιστη ξηρότητα, μεγάλη πλαστικότητα, ανθεκτικότητα στο νερό και βέλτιστη περιεκτικότητα σε υγρασία.

Κατά το άλεσμα του ορυζώνα, προκύπτει 22% σπασμένο ρύζι, αναποφλοίωτο το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως συστατικό δημιουργίας τούβλων, παρουσιάζοντας όμως μέτριες μηχανικές ιδιότητες.

Το 2016, αποδεικνύεται από μελέτες ότι η εισαγωγή πίτουρου από σιτάρι στην κατασκευή οπτόπλινθων δημιουργεί μεγάλες πυράντοχες ιδιότητες και μεγάλες αντοχές σε θλίψη.

Έρευνες που διεξήχθησαν απέδειξαν ότι το κέλυφος καρύδας είναι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο ασφαλικό μείγμα για δημιουργία οδοστρωμάτων (Jeffrey S.N.A., 2016) αλλά και στην δημιουργία τούβλων. Το υλικό αυτό διαθέτει μεγάλες μηχανικές αντοχές, αντοχές στις καιρικές συνθήκες και μεγάλη αντοχή στην θλίψη και την τριβή σε σύγκριση με άλλα συμβατικά. Επίσης είναι ικανό να χρησιμοποιηθεί για ενίσχυση κραμάτων και κονιών. Ο φλοιός καρύδας θεωρείται εντελώς μη εκμεταλλεύσιμο απόβλητο και γι' αυτό τον λόγο μελετήθηκε για την εισαγωγή στην κατασκευή, αποδίδοντας χαμηλή πυκνότητα μετατρέποντας το αρκετά λειτουργικό και εύχρηστο (CollinsR., 1994).

2.5 Φυτικά ελαφροβαρή θερμομονωτικά υλικά

2.5.1 Κάνναβη:

Η μόνωση από κάνναβη είναι ένα φυσικό θερμομονωτικό υλικό το οποίο αποτελείται συγκεκριμένα από άχυρο κάνναβης και φυσικά συνδετικά. Το προϊόν τοποθετείται σε ξύλινο καλούπι του οποίου το πάχος διαμορφώνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της θερμικής ζώνης της κάθε περιοχής. Το μπλοκ αποξηραίνεται για 2 έως 3 μήνες. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία είναι ασβέστης, άχυρα από κάνναβη, νερό και ποζολάνη. Τα άχυρα από κάνναβη προέρχονται

από απόβλητα του φυτού και πριν τοποθετηθούν στο μείγμα του θερμομονωτικού μπλοκ βρέχονται. Το παραγόμενο μπλοκ αποτελεί μία βιώσιμη λύση θερμομόνωσης, καθώς η απουσία τοξικών και συνθετικών υλικών το καθιστά φιλικό προς το περιβάλλον. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του θερμομονωτικού μπλοκ υπάρχουν σε αφθονία ως κατάλοιπο άλλων διεργασιών στις χώρες τις οποίες γίνεται καλλιέργεια. Αναφορικά, το άχυρο κάνναβης είναι σχετικά ελαφρύ υλικό, ασφαλές στην κατασκευή, επαναχρησιμοποιούμενο και εντελώς βιοδιασπώμενο. Ο ασβέστης που χρησιμοποιείται για συνδετικούς λόγους μπορεί να αντικατασταθεί και από πηλό. Συνεπώς το μπλοκ συναντάτε και με τις δύο παραλλαγές στην αγορά, με εξίσου φιλικά προς το περιβάλλον υλικά (Rhydwen R., 2010)



Εικόνα 8: Αγροκτήματα και συλλογή κάνναβης (<https://www.sciencedirect.com/>)



Εικόνα 9: Απόβλητο κάνναβης
(<https://www.mdpi.com/2075-5309/6/3/40>)

Εικόνα 10: Άχυρο κάνναβης
(<https://www.sciencedirect.com/>)

Το μπλοκ κάνναβης εφαρμόζεται κυρίως εσωτερικά της κατοικίας κι στην συνέχεια τοποθετείται επίχρισμα. Το πάχος του μπορεί να διαφέρει και προσαρμόζεται ανάλογα με την περιοχή τις κάθε κατασκευής.



Εικόνα 11: Μπλοκ κάνναβης(<https://www.mdpi.com/>)

Σύμφωνα με τα δεδομένα, παρουσιάζει πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες και μπορεί να παρέχει αποτελεσματική αποθήκευση θερμότητας, βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο την συνολική θερμική απόδοση του κτιρίου. Σημειώνονται θερμικά πλεονεκτήματα, όσον αφορά στην αεροστεγανότητα χωρίς να δημιουργούνται θερμογέφυρες. Εξαιτίας του μεγάλου πορώδους του, επιτυγχάνεται διαπερατότητα των ατμών ρυθμίζοντας τις διακυμάνσεις της υγρασίας.



Εικόνα 12: Μηχάνημα δοκιμών συμπίεσης
(<https://www.mdpi.com/>)



Εικόνα 13: Μηχάνημα μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας
(<https://www.sciencedirect.com/>)

Παράλληλα υπάρχει αυξημένη αντοχή σε θλίψη και έχει σημειωθεί ότι όσο λιγότερη η παρουσία νερού, τόσο μικρότερη η πιθανότητα εμφάνισης μούχλας (Korjenic A., 2011). Επιπλέον, οι αντοχές του μπλοκ σε κάμψη έδωσαν πολύ καλά αποτελέσματα (Sassu M., 2016)

2.5.2 Φελλός:

Η μόνωση από φελλό κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας το υποπροϊόν(απόβλητο) από την βιομηχανία πωμάτων και μετατρέποντας το σε κόκκους φελλού. Έπειτα το προϊόν που παράγεται θερμαίνεται με ατμό και συμπιέζεται πάνω σε ένα καλούπι. Με αυτή την τεχνική οι κόκκοι φελλού διαστέλλονται και ενεργοποιείται το φυσικό

συνδετικό τους υλικό, ενοποιώντας έτσι όλους τους κόκκους στο καλούπι. Σε αυτή την διαδικασία τις περισσότερες φορές δεν γίνεται χρήση κάποιου άλλου συνδετικού ή χημικού υλικού. Επιπροσθέτως κανένα από τα υλικά δεν απορρίπτεται, ακόμα και τα απόβλητα που παράγονται από την συγκεκριμένη διαδικασία τροφοδοτούνται ξανά στον κύκλο παραγωγής.



a. Cork 0-4 mm

b. Cork 4-8 mm

c. Cork 8-16 mm

Εικόνα 14: Απόβλητα φελλού (<https://www.sciencedirect.com/>)



Εικόνα 15: Διαδικασία παραγωγής μονωτικών φελλού (<https://www.sciencedirect.com/>)

Η μόνωση από φελλό εφαρμόζεται ως εξωτερική θερμομόνωση σε μορφή ημιάκαμπτης σανίδας. Επιπλέον εφαρμόζεται και εσωτερικά σε τοίχους και οροφές με σανίδα πάχους ανάλογου εκείνου που ορίζεται από το νόμο της εκάστοτε κλιματικής ζώνης. Το πάχος αυτού του μονωτικού υλικού μπορεί να κυμανθεί από 1 έως 12 εκατοστά.

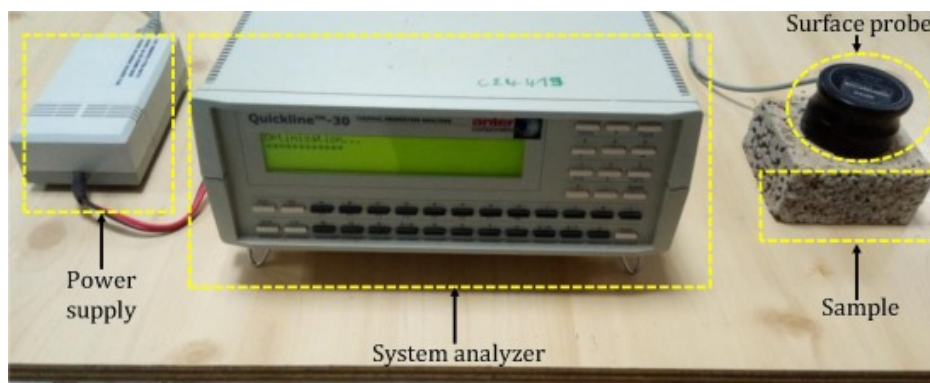
Σύμφωνα με τα δεδομένα το θερμομονωτικό υλικό από φελλό μπορεί να διαρκέσει έως και 50 χρόνια χωρίς μείωση στην απόδοσή του. Σε αντίθεση με τα συμβατικά θερμομονωτικά υλικά τα οποία με την πάροδο του χρόνου χάνουν τις αρχικές τους ιδιότητες και σταδιακά υποβαθμίζεται η θερμική τους απόδοση. Παράλληλα ο φελλός έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα ατμών συγκριτικά με άλλα συμβατικά υλικά, επομένως σημειώνεται μικρότερος κίνδυνος προβλημάτων υγρασίας

στην εσωτερική επιφάνεια των τοίχων, με αποτέλεσμα την παράταση ζωής της κατασκευής.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο φελλός είναι ένα προϊόν φιλικό προς το περιβάλλον, αφού είναι παραγόμενος μέσω βιώσιμων δασοκομικών διαδικασιών, ανανεώσιμος πόρος χωρίς καμία επιβάρυνση προς την φύση. Συγχρόνως τα δάση φελλού προφέρουν ποικίλες ευεργετικές ιδιότητες προς το περιβάλλον, όπως την σταθεροποίηση του εδάφους και την διαφύλαξη του από την αιολική διάβρωση που θα οδηγούσε στην ερημοποίηση του. Ακόμη τα δάση φελλού φιλτράρουν τους ρύπους, βελτιώνοντας την ποιότητα του νερού και απορροφώντας ταυτόχρονα τεράστιες ποσότητες διοξείδιο του άνθρακα. Με αυτό τον τρόπο λειτουργούν σαν καταβόθρες άνθρακα. Συμπληρωματικά σε περίπτωση πυρκαγιάς είναι ικανά να λειτουργήσουν ως φράγμα, εξαιτίας της αργής καύσης που παρουσιάζουν, σημαντική ιδιότητα του φλοιού του φελλού, προστατεύοντας με αυτό τον τρόπο τις τριγύρω περιοχές.

Για την κατασκευή των θερμομονωτικών σανίδων φελλού χρησιμοποιείται υποπροϊόν φελλού από την βιομηχανία πωμάτων, που κατατάσσεται στα απόβλητα της βιομηχανίας. Η διαδικασία παραγωγής της θερμομονωτικής σανίδας δεν παράγει κάποιο απόβλητο λόγω του φελλού, ενώ ο ίδιος είναι ένα προϊόν βιοδιασπώμενο και ανακυκλώσιμο έως το τέλος της ζωής του. Ακόμη τις περισσότερες φορές δεν γίνεται χρήση κάποιου πρόσθετου χημικού κατά την διαδικασία επεξεργασίας και παραγωγής της μόνωσης, αφού τα μόνα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ο φελλός και νερό. Ταυτόχρονα από τον φελλό δεν αναδύεται κάποιο αέριο και η επιφάνειά του είναι τέτοια ώστε να μην προσκολλάται πάνω σκόνη και ρύποι, έτσι καθίσταται αντιμυκητιακό και αντιμικροβιακό υλικό. Μετά το πέρας της διάρκειας ζωής του, θα αποσυντεθεί δίχως να απελευθερωθούν στο περιβάλλον τοξικά μικροπλαστικά ή άλλες συνθετικές ενώσεις επιβαρύνοντάς το.

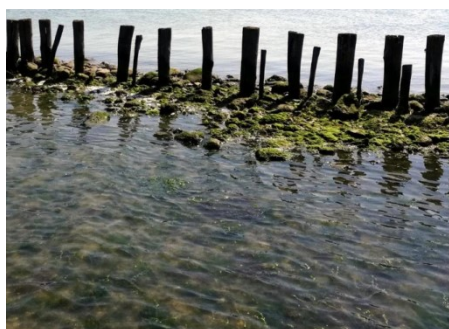
Η μόνωση από φελλό παρουσιάζει αρκετά καλές ιδιότητες, μία από τις οποίες είναι η υψηλή τιμή R που κυμαίνεται από 3,4 – 4 ανά εκατοστό (Saxton T.) ανάλογα με την πυκνότητα. Εκτός αυτού με την πάροδο των χρόνων η θερμική του απόδοση δεν μειώνεται, σε αντίθεση με άλλα συμβατά μονωτικά υλικά τα οποία συγχρόνως εκπέμπουν αέριο για μεγάλο διάστημα σε βάθος χρόνου. Επιπλέον ο φελλός είναι υποαλλεργικός, αντιμυκητιακός, αντιμικροβιακός και παρουσιάζει πολύ καλές ηχοαπορροφητικές ιδιότητες. Άλλο ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι η μεγάλη διαπερατότητα ατμών, δίνοντάς του την δυνατότητα αναπνοής, επιτρέποντας στην επιφάνεια της τοιχοποιίας να στεγνώσει. Η υψηλή ανθεκτικότητα στην φωτιά λόγω της αργής καύσης και η απουσία πρόσθετων εύφλεκτων τοξικών του προσδίδουν σταθερό ευρύτερο φάσμα θερμοκρασιών, σε αντίθεση με άλλα συμβατικά θερμομονωτικά που απαιτούν την προσθήκη επιβραδυντικών φλόγας καθιστώντας τα πιο περιορισμένα στο φάσμα θερμοκρασίας (Saxton T.)



Εικόνα 16: Μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας(<https://www.sciencedirect.com/>)

2.5.3 Φύκια:

Η μόνωση από φύκια κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας τα θαλάσσια φύκια, τα οποία είναι οργανισμοί που ζουν σε υδάτινο περιβάλλον και προκαλούν ρύπανση στις ακτές, αφού με την υποχώρηση της παλίρροιας μεγάλη ποσότητα αυτών παραμένει έξω από την θάλασσα. Ο πολλαπλασιασμός των φυκιών αυξάνεται σημαντικά τους θερινούς μήνες οδηγώντας σε μία σοβαρή ποσότητα αποβλήτων.



Εικόνα 17: Θαλάσσιο περιβάλλον με φύκια



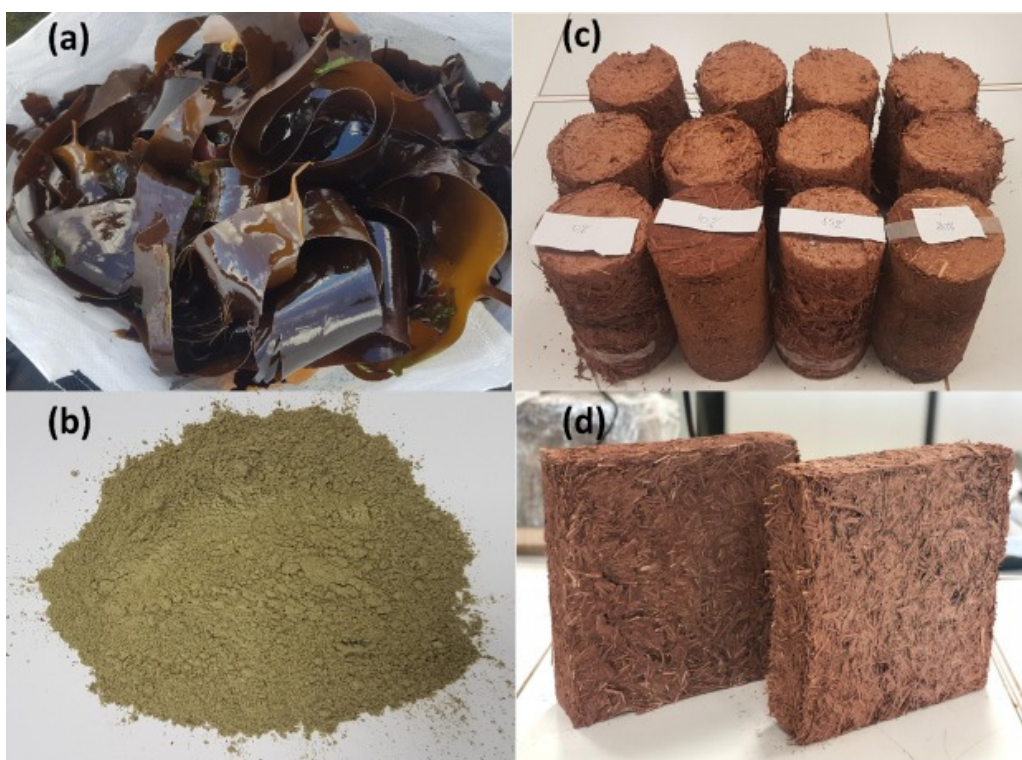
Εικόνα 18: Συλλογή φυκιών

(<https://link.springer.com/>)

Η κατασκευή θερμομονωτικών από φύκια φαίνεται ως μία οικονομική λύση, με χαμηλές απαιτήσεις σε πόρους και φιλική προς το περιβάλλον. Η εισαγωγή φυκιών στα θερμομονωτικά επιτυγχάνεται είτε με ίνες φυκιών είτε σε μορφή σκόνης, ακόμα και με χρήση αποβλήτων από αυτά. Αφού συλλεχθούν, στεγνώνουν σε φούρνο για 24 ώρες στους 40°C. Στην συνέχεια τοποθετούνται σε ειδικό μηχάνημα που μετά από έντονη ανακίνηση, διαχωρίζει τις ίνες των φυκιών από την θαλάσσια άμμο. Τα φύκια καθαρίζονται, με σκοπό να αφαιρεθούν όλες οι

χρωστικές ουσίες και οι ακαθαρσίες που περιέχουν αλλά χωρίς να αφαιρεθεί το περιεχόμενο της κυτταρίνης και του αλγινικού. Μετά από αυτή την διαδικασία κόβονται σε μικρότερα κομμάτια, τοποθετούνται σε δοχείο με χλωριούχο νάτριο σε ρυθμιστικό διάλυμα οξικού pH4,5 στους 80°C για δύο ώρες, με σκοπό την λεύκανσή τους. Έπειτα τα φύκια πλένονται μέχρι το pH τους να γίνει ουδέτερο (Berglund L., 2021). Τα φύκια τα οποία έχουν καθαριστεί πλήρως επεξεργάζονται περαιτέρω σε ένα μύλο τριβής, εξοπλισμένο με χονδροειδείς πέτρες λείανσης ώσπου να γίνουν σκόνη και σε τελικό στάδιο περνιούνται από κόσκινο 63 mm.

Για την δημιουργία του δοκιμίου χρησιμοποιούνται φύκια, υδράσβεστος, ποζολάνη και νερό. Το μείγμα αυτό συμπιέζεται σε λαδωμένο καλούπι χειροκίνητα και αποθηκεύεται σε μέρος θερμοκρασίας 20°C για 24 ώρες. Στην συνέχεια τα καλούπια τοποθετούνται σε φούρνο 40°C για 48 ώρες. Η διαδικασία ξήρανσής τους διαρκεί 21 ημέρες συνολικά. Η προσθήκη φυκιών στο μείγμα επιτυγχάνει την ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας αλλά και υψηλή αντοχή σε θλιπτική δύναμη (Berglund L., 2021).



Εικόνα 19: Δημιουργία κατασκευής μπλοκ από φύκια (<https://www.sciencedirect.com/>)

Η συγκεκριμένη μόνωση εφαρμόζεται τις περισσότερες φορές σε εσωτερικές τοιχοποιίες και σε οροφές σε μορφή block, σε πάχος ανάλογο με εκείνο που απαιτεί ο κανονισμός της κλιματικής ζώνης που τοποθετείται.

Το θερμομονωτικό block από φύκια είναι απόλυτα φιλικό προς το περιβάλλον, ασφαλές προς άτομα με αλλεργικές ασθένειες και προσδίδει στο κτίριο την δυνατότητα αναπνοής, διατηρώντας την φυσική ισορροπία του αέρα. Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχει ασφάλεια

φωτιάς, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των φυκιών σε πυρίτιο το οποίο τα καθιστά μη εύφλεκτο υλικό. Σε περίπτωση πυρκαγιάς τα αποξηραμένα φύκια απλά θα πέσουν, δίχως να προκληθεί φωτιά. Παράλληλα το προϊόν αυτό είναι μη τοξικό, αφού κατά την καύση τους δεν απελευθερώνονται δηλητηριώδη αέρια και τοξικές ουσίες. Επιπλέον εξαιτίας της υψηλής τους περιεκτικότητας σε ιώδιο, ασβέστιο και άλλες ουσίες απωθούν τρωκτικά και μικρόσωμα ζώα τα οποία συχνά ροκανίζουν θερμομονωτικά υλικά όπως ο αφρός. Ακόμα τα μπλοκ αυτά προσδίδουν πολύ καλές ιδιότητες σε αντοχές θλίψης, συμπίεσης και ελαστικότητας. Η θερμική αγωγιμότητα του θερμομονωτικού μπλοκ φυκιών είναι $0,073 \text{ W/mK}$ (Berglund L., 2021), κλάσης B. Η φυσική χημική τους ισορροπία τους εξασφαλίζει μεγάλη διάρκεια ζωής υπό κανονικές συνθήκες (Bouasria M., 2021).

3.5.4 Φλοιός καρύδας:

Η κατασκευή μόνωσης από τον φλοιό καρύδας φαίνεται να είναι μία αρκετά βιώσιμη εναλλακτική στα θερμομονωτικά υλικά, αφού παρουσιάζει καλές ιδιότητες και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Απαλλαγμένη από χημικά συνδετικά όπως φορμαλδεΐδη και φαινολικές ρητίνες οι οποίες είναι τοξικές, περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την ενοποίηση του μείγματος, χωρίς να χρειάζεται πρόσθετα. Οι καρύδες είναι σε αφθονία στις τροπικές χώρες και το κέλυφός τους παραμένει αναξιοποίητο, αποτελώντας ένα μεγάλο μέρος των αποβλήτων σε εκείνες τις περιοχές. Ο φλοιός της καρύδας αποτελείται από 30% φυτικές ίνες και το υπόλοιπο 70% είναι το σκληρό μέρος του. Και τα δύο έχει αποδειχθεί ότι έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε λιγνίνη και φαινολικά, συστατικά τα οποία χρησιμοποιούνται ως εγγενής ρητίνη στην παραγωγή μονωτικών υλικών (Panyakaew S., 2011).



Εικόνα 20: Απόβλητα κελυφών καρύδας (<https://www.sciencedirect.com/>)

Η θερμομονωτική σανίδα από φλοιό καρύδας δημιουργείται, έπειτα από μεγάλη πίεση των ινών καρύδας μέσα σε ένα καλούπι. Σε πρώτη φάση ο φλοιός της καρύδας απομονώνεται από την ψίχα και τοποθετείται σε εξωτερικό ηλιόλουστο περιβάλλον για τρεις ημέρες έως ότου η υγρασία φτάσει στο 10%. Στην συνέχεια τοποθετείται σε φούρνο στους 80 °C μέχρι η υγρασία να φτάσει στο 6-7%. Έπειτα οι ίνες τεμαχίζονται σε διαστάσεις 8mm και τοποθετούνται σε καλούπι που του ασκείται θερμή συμπίεση, δημιουργώντας την θερμομονωτική σανίδα. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την συμπίεση είναι τρεις: 160 °C, 180 °C και 200 °C σε χρόνο 7, 10 και 13 λεπτά. Η μονωτική σανίδα χρειάζεται να έχει περίπου 5 – 13% περιεκτικότητα σε υγρασία. Για την δημιουργία του τελικού προϊόντος, το μείγμα υποβάλλεται σε μία διαδικασία κατά την οποία εφαρμόζεται θερμότητα και πίεση σε ένα στρώμα αποτελούμενο από ίνες καρύδας και ρητίνη. Η πίεση που ασκείται κατά την δημιουργία των πλακών είναι 14,7 MPa. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι με την αύξηση της πυκνότητας της σανίδας αλλά και του χρόνου πίεσης και της θερμοκρασίας αυξάνονται και οι μηχανικές της ιδιότητες (Manohar K., 2006).



Εικόνα 21: Ίνες καρύδας (<http://article.nadiapub.com/>)

Η θερμομονωτική σανίδα από τον φλοιό καρύδας εφαρμόζεται στον πυρήνα της τοιχοποιίας ή και εξωτερικά αυτής. Είναι ικανή να αντικαταστήσει όλες τις συμβατικές μονώσεις και τον αφρό, παρουσιάζοντας κοινές ιδιότητες. Ο χρόνος ζωής της μπορεί να φτάσει έως και τα 35 με 40 χρόνια, δεδομένου ότι έχει τοποθετηθεί σε περιβάλλον χωρίς ακραίες καιρικές συνθήκες.

Το συγκεκριμένο θερμομονωτικό υλικό είναι φιλικό προς το περιβάλλον, κατασκευασμένο χωρίς τοξικές ουσίες. Παρουσιάζει αρκετά καλές μηχανικές ιδιότητες και προσφέρει στο μονωτικό πολύ καλή αντοχή σε κάμψη ή προσθήκη ινών καρύδας. Τέλος το προϊόν αυτό έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα προσφέροντας θερμική άνεση στο κτίριο που εφαρμόζεται. Οι τιμές θερμικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από 0,046 έως 0,068 W/mK (PanyakaewS., 2011).



Εικόνα 22: Δοκιμή θλιπτικών και συμπιεστικών δυνάμεων στα δοκίμια
(<https://www.sciencedirect.com/>)

2.5.5 Μανιτάρι:

Τα τελευταία χρόνια έχει επιτευχθεί η κατασκευή μονωτικού από μανιτάρι, ένας φιλικός προς το περιβάλλον τρόπος κατασκευής θερμομονωτικών προϊόντων χαμηλού κόστους. Για καλύτερα αποτελέσματα, προστέθηκε στο μείγμα και πριονίδι από ξύλο. Τα προϊόντα αυτά κοσκινίζονται και παράγεται το ξυλομυκήλιο. Συνήθως επιλέγονται κωνοφόρα δέντρα, διότι τα ρινίσματα ξύλου τους αποτελούν ανανεώσιμο πόρο και υποπροϊόν της δασικής βιομηχανίας. Σε πρώτη φάση η παραγωγή του μικκυλίου επιτυγχάνεται τοποθετώντας σπόρους μέσα σε αποστειρωμένη σακούλα με νερό, τοποθετημένη σε σκοτεινό και υγρό μέρος. Ακόμη προστίθεται και μικρό μέρος μεθανόλης και παρασιτοκτόνου, προκειμένου να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών. Παραμένει έτσι για 7 – 10 ημέρες και μετά μαζεύεται το μανιτάρι. Έπειτα τεμαχίζεται το ξύλο σε πριονίδια διαμέτρου που κυμαίνεται από 1 έως 20 mm. Στην συνέχεια το πριονίδι αποστειρώνεται στους 121°C για 30 λεπτά. Το μανιτάρι μετά από την συγκομιδή του μεταφέρεται στο αποστειρωμένο πριονίδι κι αφού αναμειχθεί με λίπασμα παραμένει έτσι για επτά ημέρες, ώστε να το απορροφήσει το υπόστρωμα και να αναπτυχθεί. Η καλύτερη ανάπτυξη μυκήτων επιτεύχθηκε σε πριονίδι που προέρχεται από σημύδα. Στα υπόλοιπα είδη μαλακού και σκληρού ξύλου που πραγματοποιήθηκε δεν επήλθε το επιθυμητό αποτέλεσμα (Euring M., 2015).

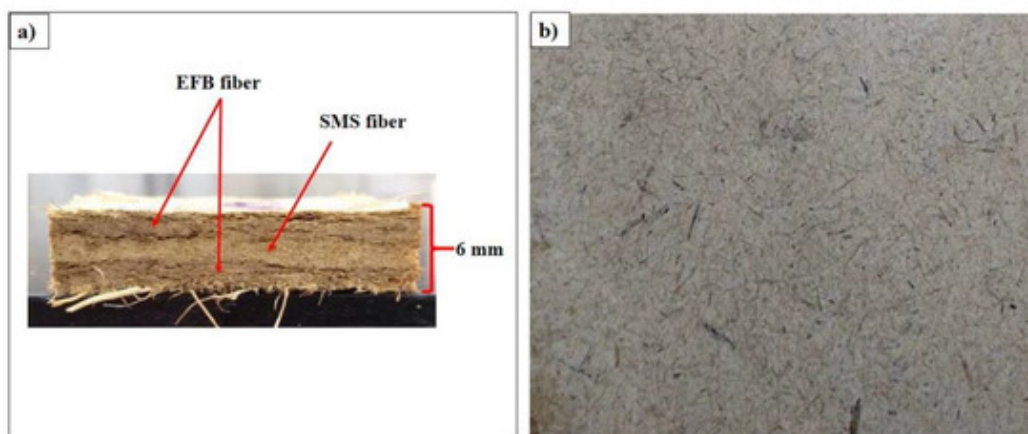


Εικόνα 23: Χύτευση βιοσύνθετων μικκυλίων
(<https://www.mdpi.com/>)



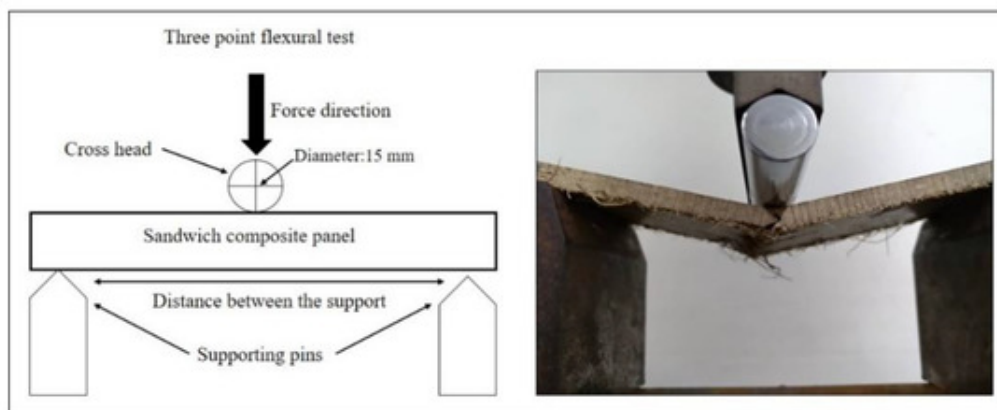
Εικόνα 24: Ανάπτυξη μικκυλίων στις σακούλες με τα πριονίδια(<https://www.mdpi.com/>)

Στην συνέχεια τοποθετείται σε καλούπι με σκοπό τον σχηματισμό τούβλου και παραμένει έτσι για πέντε ημέρες ώστε να στεγνώσει. Τέλος, ψήνεται στο φούρνο στους 200 °C προκειμένου να διακοπεί η ανάπτυξή του και να σκληρύνει εντελώς.



Εικόνα 25: Θερμομονωτικό πάνελ κατασκευασμένα από μανιτάρια(<https://www.mdpi.com/>)

Τα πλεονεκτήματα αυτού του νέου μπλοκ είναι αρκετά. Αρχικά απαιτείται χαμηλή ενέργεια κατά την παραγωγή και επιπλέον αυτή δεν προκαλεί απόβλητα. Είναι ένα προϊόν το οποίο ανακυκλώνεται εύκολα, χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον με τοξικές ουσίες κατά την αποσύνθεσή του. Ακόμα φαίνεται να παρουσιάζει αντοχή στην φωτιά και πολύ καλά αποτελέσματα στην μετάδοση του ήχου, καθιστώντας το αρκετά καλό ηχομονωτικό υλικό (Wimmers G., 2019). Οι τιμές θερμικής αγωγιμότητας κυμαίνονται μεταξύ 0,051 W/mK έως 0,055 W/mK (Dahmen J., 2017).

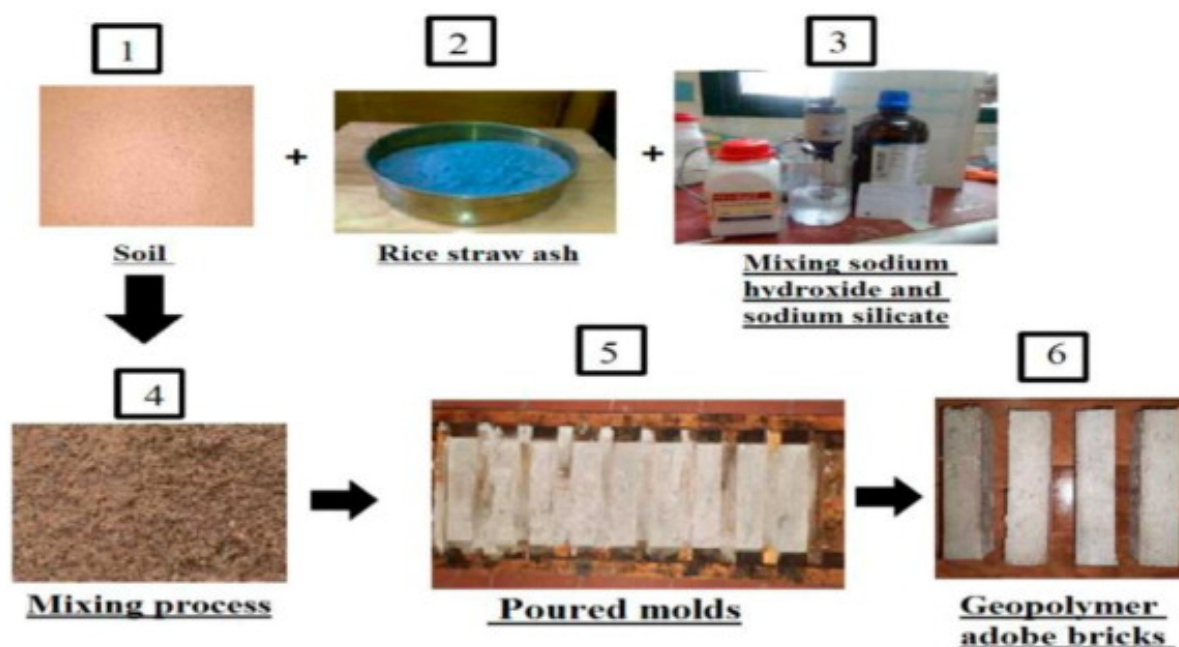


Εικόνα 26: Δοκιμή κάμψης τριών σημείων στο δείγμα(<https://www.mdpi.com/>)

2.5.6 Φλοιός ρυζιού:

Το άχυρο ρυζιού είναι ένα σημαντικό γεωργικό απόβλητο που προκαλεί περιβαλλοντικά προβλήματα. Το γεγονός αυτό έδωσε το έναυσμα να ξεκινήσει η εκμετάλλευσή του για την κατασκευή μονωτικών προϊόντων, αφού έπειτα από εργαστηριακούς ελέγχους έδωσε αρκετά καλές μηχανικές ιδιότητες. Αρχικά πραγματοποιείται η συγκομιδή της καλλιέργειας ρυζιού και στην συνέχεια πραγματοποιείται καύση του άχυρου ρυζιού σε αποτεφρωτήρα στους 600–700 °C. Ύστερα το χρώμα μεταβάλλεται σε μπλε. Η τέφρα από άχυρο ρυζιού είναι η κύρια πηγή πυριτίου (87–97%) που χρησιμοποιείται ως δομικό υλικό. Σημειώθηκε ότι με την αύξηση της τέφρας στο γεωπολυμερές σκυρόδεμα αυξήθηκε

η ανθεκτικότητα του σύνθετου υλικού, αλλά απαιτείται και η προσθήκη αλουμινίου διότι το προϊόν της τέφρας περιέχει πολύ λίγο. Τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή των θερμομονωτικών block είναι λάσπη, νερό, ποζολάνη, τέφρα ρυζιού και άχυρο άλλων ινών που μπορεί να προστεθούν για να αυξήσουν την αντοχή του σύνθετου υλικού. Για την δημιουργία του μείγματος, ζυγίζονται τα υλικά και στην συνέχεια αναμειγνύονται σε ξηρή κατάσταση για 5 λεπτά. Έπειτα προστίθεται στο μείγμα υδροξειδίου του νατρίου και πυριτικό νάτριο και ανακατεύονται για 10 λεπτά. Το μείγμα που δημιουργείται τοποθετείται σε καλούπια διαστάσεων $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ και τοποθετούνται σε φούρνο στους 80°C για 24 ώρες. Όταν ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία αφαιρούνται τα καλούπια και τα δοκίμια αφήνονται σε θερμοκρασία δωματίου για 28 ημέρες προκειμένου να υποστούν πλήρης σκλήρυνση (Damanhuri M., 2020).



Εικόνα 27: Διαδικασία κατασκευής μπλοκ από τέφρα ρυζιού (<https://www.sciencedirect.com/>)

Η χρήση τέτοιων τούβλων σε κτίρια προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, αφού είναι ανθεκτικό, πυρίμαχο, μη τοξικό, βιοδιασπώμενο, έχει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και χαμηλά επίπεδα μετάδοσης ήχου μέσω των τοίχων. Επίσης τα τούβλα αυτά είναι αρκετά πιο ελαφριά από τα κανονικά τούβλα προσδίδοντάς τους το πλεονέκτημα στον χειρισμό αλλά και στην μεταφορά, μειώνοντας το κόστος. Η εφαρμογή αυτού του τούβλου πραγματοποιείται εσωτερικά του κτιρίου και στην συνέχεια τοποθετείται επίχρισμα.

Το συγκεκριμένο θερμομονωτικό υλικό είναι φιλικό προς το περιβάλλον, κατασκευασμένο χωρίς τοξικές ουσίες. Οι μηχανικές του ιδιότητες φαίνεται να είναι αρκετά καλές και προσφέρει στο μονωτικό πολύ καλή αντοχή στο νερό, αφού η απορρόφησή του είναι αρκετά μικρή. Είναι πυράντοχο και τα υλικά του δεν φέρουν κίνδυνο για ανάπτυξη φωτιάς. Επίσης έχει καλά αποτελέσματα στην θερμική

αγωγιμότητα, προσφέροντας θερμική άνεση στο κτίριο. Τέλος η πραγματική πυκνότητα της τέφρας ρυζιού είναι $2,13 \text{ g/cm}^3$, η οποία είναι μικρότερη από την πυκνότητα του τσιμέντου $3,15 \text{ g/cm}^3$, που σημαίνει ότι αυτό είναι πιο ελαφρύ υλικό, επομένως απαιτεί και λιγότερη ενέργεια κατά την επεξεργασία του (Morsy M., 2022)

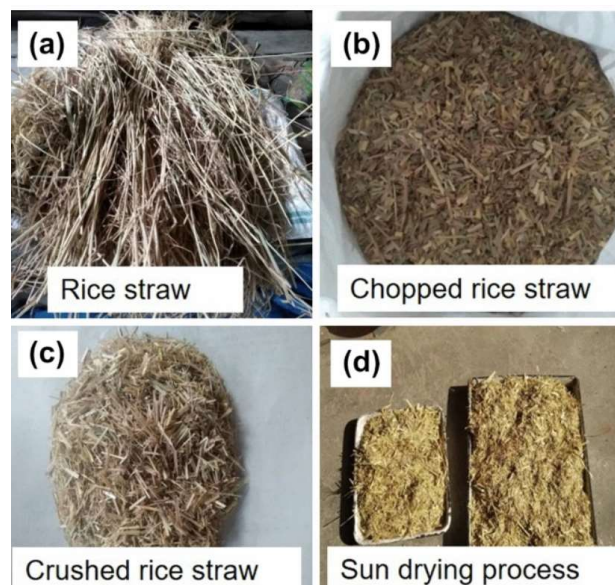
Η θερμική αγωγιμότητα του θερμομονωτικού μπλοκ φυκιών είναι $0,023 \text{ W/mK}$ (Damanhuri M., et al., 2020).



Εικόνα 28: Δοκιμή σε θλιπτικές δυνάμεις (<https://iopscience.iop.org/>)

2.5.7 Τούβλα από άχυρο:

Η καινοτομία και η σημασία αυτής της μελέτης έγκειται στη δημιουργία ελαφροβαρών πλακών, ανθεκτικών στις καταπονήσεις. Με την εφαρμογή ινών άχυρου γίνεται χρήση φυσικών υλικών και κατ' επέκταση το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του δομικού υλικού μειώνεται (Kheetan M., 2022).



Εικόνα 29: Διαδικασία συλλογής άχυρου (<https://www.nature.com/>)

Το τούβλο από άχυρο είναι κατασκευασμένο από αργιλώδες χώμα το οποίο έχει υγρανθεί και του έχει προστεθεί για ενίσχυση κομμένο άχυρο, τρίχες κασίκας αλλά και άλλες ίνες που στην συνέχεια τοποθετούνται σε καλούπια διαστάσεων 30x15x12. Τα τούβλα αυτά χτίζονται όπως τα συμβατικά τούβλα χρησιμοποιώντας λάσπη για την συγκόλλησή τους. Η χρήση άχυρου ως υποκατάστατο, ενισχύει την κυκλική οικονομία, καθώς πραγματοποιείται επανάχρηση του αποβλήτου υλικού και συνεπώς μειώνεται η περιβαλλοντική μόλυνση. Επίσης δεν ρυπαίνει κατά τα την καύση του ούτε κατά την παραγωγή του.



Εικόνα 30: Κατασκευή τούβλων από άχυρο (<https://www.cob.gr/>)

Το τούβλο από άχυρο προσφέρει ευκολία στην κατασκευή του, έχει χαμηλό κόστος και εξαιτίας της εισαγωγής χώματος στο μείγμα προσδίδει ελαστικότητα στην κατασκευή.

Για την κατασκευή του τούβλου χρειάζεται χώμα το οποίο έχει περιεκτικότητα σε άργιλο ποσοστό 15% - 30% για καλύτερη συνοχή. Για την κατασκευή των τούβλων από άχυρο υπάρχουν δύο τρόποι, που είτε τοποθετείται σε καλούπια και πραγματοποιείται ξήρανση του μείγματος είτε πρεσάρεται με υδραυλικές πρέσες. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα για χρήση σε πάτωμα, με προσθήκη χρώματος και με την επίστρωση ενός λεπτού στρώματος πηλού και σε τελικό στάδιο επαλειμμένο με φυσικό λάδι.

Η χρήση τούβλων άχυρου πραγματοποιείται εσωτερικά της τοιχοποιίας αλλά και σε δάπεδα και στην συνέχεια γίνεται εφαρμογή επιχρίσματος.

Το συγκεκριμένο υλικό είναι φιλικό προς το περιβάλλον, παρουσιάζει μεγάλη ελαστικότητα και καλές θερμικές ιδιότητες αποδίδοντας θερμική άνεση στο κτίριο. Αυτό οφείλεται στην μεγάλη θερμική μάζα συγγρατώντας πολύ καλά την ζέστη ή την δροσιά. Επίσης το άχυρο παρουσιάζεται σε αφθονία και είναι εύκολα ανακυκλώσιμο υλικό καθώς τα απόβλητα από αυτό υποβάλλονται σε διαδικασία κομπόστ και μετατρέπονται σε λίπασμα. Δεν παρουσιάζει καμία τοξικότητα, αφού είναι ένα υλικό καθαρό και γενικότερα ακίνδυνο για τους ζωντανούς οργανισμούς. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του άχυρου κυμαίνεται από 0,04 – 0,07 W/(m·K).

2.5.8 Ξυλόμαλλο:

Το ξύλο είναι ένα από τα υλικά που κατέχουν σημαντική θέση στον κατασκευαστικό τομέα από την αρχαιότητα (Κακάρας, 2011). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι πρόκειται για ένα υλικό εύκολα προσβάσιμο παγκοσμίως που ανάλογα με την κατεργασία του, μπορεί να αποκτήσει πολλές διαφορετικές εφαρμογές.

Στον τομέα της μόνωσης η πιο συνήθης μορφή η οποία συναντάται είναι αυτή των ινών ή των θραυσμάτων (Aigbomian E. P., 2014) (Coatanlem P., 2006) (Sulastiningsih, Sutigno, & Memed, 1987).



Εικόνα 31: Ξυλόμαλλο (fnr.de)



Εικόνα 32: Εγκατάσταση Ξυλόμαλλου

(<https://www.insulation-info.co.uk>)

Τα μονωτικά υλικά που περιέχουν ξύλο, μοιράζονται τα οφέλη του (Orji, 2023) ως ανανεώσιμο, ασφαλές φυσικό με αποδεδειγμένη απόδοση υλικό όσον αφορά τη θερμομόνωση, την υγρασιμότητα και την ηχομόνωση (Trump, 2021).

Οι ίνες του ξύλου έχουν χρησιμοποιηθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους στο πλαίσιο της ανάπτυξης δομικών υλικών λόγω των ιδιοτήτων τους πχ. ενίσχυση σε κονιάματα με άμμο (Taoukil, 2012).

Μια από τις πιο γνωστές εφαρμογές του ξύλου που συναντάται στην μοντέρνα δόμηση είναι το ξυλόμαλλο. «Το ξυλόμαλλο, ανήκει στην κατηγορία των σύνθετων θερμομονωτικών υλικών και αποτελείται από ξυλώδεις ίνες, που έχει αναμιχθεί με τσιμέντο υψηλής αντοχής ή καυστική Μαγνησία.» (Μπαμίχας, 2013). Το πρότυπο για την παραγωγή μονωτικών πάνελ ξυλόμαλλου δημιουργήθηκε το 1938 κάνοντας το συγκεκριμένο υλικό ένα από τα παλαιότερα κατοχυρωμένα θερμομονωτικά υλικά κατασκευασμένα από ανανεώσιμα υλικά. Σε

έρευνα Υπουργείου στην Γερμανία που αφορούσε την παραγωγή ξυλόμαλλου και παραλλαγών αυτού, διαπιστώθηκε πως η χρήση των ινών ξύλου συνέβαλλε στην βελτίωση της θερμικής αγωγιμότητας, του τελικού προϊόντος, με τις τιμές αυτής να κυμαίνονται από 0,039 έως 0,070 $\text{λW}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ανάλογα με το πάχος του υλικού και τις κονίες, πχ. παραφίνη, ρητίνες κα (FNR, 2019).

Οι συνήθεις μορφές του είναι είτε ως απλές συμπαγείς πλάκες, που χρησιμοποιούν σαν πρώτη ίνες ξυλόμαλλου και τσιμέντο (ή καυστικό οξείδιο του μαγνησίου) σε πυκνότητα από 0.3 – 0.5 g/cm^3 , είτε ως πλάκες με επένδυση ξυλόμαλλου και ενδιάμεση στρώση άλλου θερμομονωτικού υλικού όπως διογκωμένης πολυστερίνης ή πετροβάμβακα (Καπραβέλος, 2015) (Μπαμίχας, 2013).

Σύμφωνα με τη KnaufInsulation, «πριν τη χρήση σε κλειστό χώρο, οι πλάκες ξυλόμαλλου πρέπει να εγκλιματιστούν τουλάχιστον για 48 ώρες στο χώρο στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση, ιδανικά σε θερμοκρασία η οποία θα ισχύει και στην τελική χρήση του χώρου» (KnaufInsulation, 2014)

Η τοποθέτηση ακολουθεί τη λογική μιας συμβατικής τοιχοποιίας και οι πλάκες ιδανικά τοποθετούνται κατά την ίδια κατεύθυνση. Η στήριξη τους γίνεται με μεταλλικούς συνδετήρες. (KnaufInsulation, 2014)

2.6 Προβλήματα και ελλείψεις φυτικών ελαφροβαρών θερμομονωτικών

2.6.1 Μπλοκ κάνναβης

Η μέθοδος κατασκευής και οι ιδιότητες των θερμομονωτικών block τα οποία έχουν ως κύριο συστατικό τους την κάνναβη σε μορφή άχυρου καταφέρνουν να συναγωνιστούν σε μεγάλο βαθμό την επίδοση των συμβατικών υλικών που όμως δεν αναιρεί το υψηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα που προκύπτει στο στάδιο της καλλιέργειας του φυτού μιας και για την κατασκευή 1 m^2 θερμομονωτικού υλικού απαιτούνται περίπου 75 m^2 καλλιέργειας (Technichanvre, 2016).

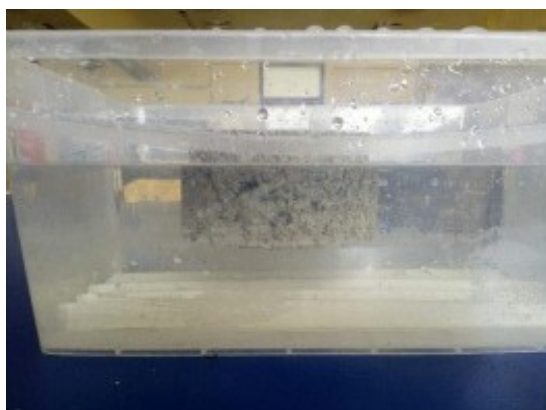
Συγκεκριμένα το φυτό της κάνναβης χρειάζεται υπόστρωμα με πολύ καλή αποστράγγιση και χαμηλά ποσοστά αργίλου ενώ παράλληλα απαιτεί μεγάλη ποσότητα νερού καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης του

η οποία διαρκεί 80-90 μέρες (Smith-Heisters, 2008). Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου το φυτό απορροφά συστατικά από το έδαφος καταστρώνοντας υποχρεωτικό τον εμπλουτισμό του για την ανάπτυξη του φυτού κυρίως με άζωτο και σε μικρότερο ποσοστό φώσφορο και κάλιο (Aubin, 2015). Οι συνθήκες αυτές σε συνδυασμό με την ανάγκη για μεσαία θερμοκρασία και τη μη έκθεση σε ακραίες καιρικές συνθήκες καθιστά το περιθώριο καλλιέργειας μικρό και το περιορίζει στην περίοδο πριν και μετά το καλοκαίρι για καλλιέργεια στον ελλαδικό χώρο.

2.6.2 Φελλός

Το 80% της παγκόσμιας παραγωγής του φελλού λαμβάνει χώρα στην ιβηρική χερσόνησο και πρόκειται για ένα δέντρο το οποίο χρειάζεται περίπου 25 χρόνια για να ωριμάσει πλήρως και να μπορεί να γίνει η πρώτη συγκομιδή του υλικού. Στη συνέχεια απαιτούνται 9-14 χρόνια για να γίνει η αναπλήρωση του φλοιού (Sierra-Pérez J., 2015). Στον ελλαδικό χώρο δεν υπάρχουν φυσικές συστάδες της φελλοφόρου δρυός (ΙΤΕ, Σε εξέλιξη), γεγονός που αυξάνει σημαντικά το κόστος των θερμομονωτικών υλικών με βάση τα παράγωγα της.

Οι φυσικές ιδιότητες του φελλού όσον αφορά την υγρομόνωση αλλά και τη θερμομόνωση διατηρούνται παρά την έντονη επεξεργασία του υλικού μέσω κοκκοποίησης και ψησίματος σε κλίβανο. Όμως κατά τη δοκιμή εφαρμογής του φελλού ως θερμομονωτικό υλικό σε εξωτερική επιφάνεια χωρίς συνθετικά πρόσθετα παρατηρήθηκε ανάπτυξη μικροοργανισμών λόγω της παγιδευμένης υγρασίας (Wilton O., 2022).



Εικόνα 33: Βύθιση δοκιμίου σε νερό ενυδάτωση
(<https://www.sciencedirect.com/>)



Εικόνα 34: Ανάπτυξη μούχλας έπειτα από

Τα θερμομονωτικά block και πάνελ με βάση το φελλό που κυκλοφορούν ως προϊόντα στο εμπόριο, προκύπτουν από την ανάμιξη του φελλού, στη μορφή κόκκων, με συνθετικά υλικά μη φιλικά προς το περιβάλλον όπως η πολυουρεθάνη με σκοπό να εξασφαλίσουν την

αντοχή και να βελτιώσουν και να εξασφαλίσουν μακροπρόθεσμα τις ιδιότητες του φυσικού υλικού (Park S.J, 2021).

2.6.3 Φύκια:

Ο τρόπος κατασκευής και τα χαρακτηριστικά των θερμομονωτικών πάνελ φτιαγμένων από φύκια, έχουν παρουσιάσει πολλά υποσχόμενες προοπτικές για αντικατάσταση των συμβατικών μονωτικών, τα οποία δεν είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Όμως για να επιτευχθεί η βέλτιστη αντοχή στο νερό χρειάζεται να επανεξεταστεί το πορώδες του υλικού καθώς φαίνεται πως το μέγεθός του επιτρέπει μετά από κάποια ώρα παρουσίας νερού, αυτό να εισχωρεί στο μονωτικό υλικό και να επιφέρει σοβαρά προβλήματα σε βάθος χρόνου. Το αλγινικό νάτριο που περιέχεται στα φύκια επιδρά στους πόρους του υλικού και εξαιτίας των υδροφιλικών του ιδιοτήτων και της συγκράτησης του νερού. Τα φύκια έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό την υψηλή απορρόφηση της υγρασίας σε μείγματα υδρασβέστου επομένως αυξάνουν την υγρασκοπική επίδοση του πάνελ με την προσθήκη τους σε αυτό (Bouasria M., 2021).

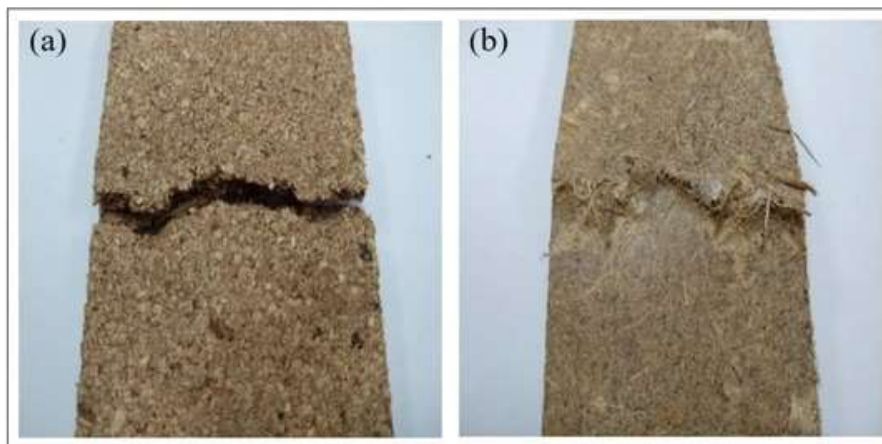
2.6.4 Φλοιός καρύδας:

Η παραγωγή καρυδών είναι σε αφθονία στις παράκτιες περιοχές των τροπικών χωρών, αφού είναι ένα φυτό το οποίο ευδοκιμεί μόνο σε αρκετά ζεστό κλίμα. Το γεγονός αυτό καθιστά προβληματική την παγκόσμια εφαρμογή του συγκεκριμένου προϊόντος, καθώς συνυπολογίζοντας τα μεταφορικά θα ανέβει αρκετά το κόστος του. Πέρα από αυτό, η τοποθέτηση του συγκεκριμένου θερμομονωτικού υλικού σε περιβάλλοντα με αρκετά ζεστό ή υγρό κλίμα συνεπάγεται επιπλοκές που χρήζουν επίλυσης, κυρίως για τα οργανικά υλικά. Χρειάζεται πριν εισαχθούν στην αγορά αυτά τα καινοτόμα μονωτικά υλικά να έχει επιλυθεί το πρόβλημα ανάπτυξης μυκήτων, της προστασία από έντομα και να αποκτήσει καλύτερες αποδόσεις στην υγρασία και την απορρόφηση νερού. Σχετικά με το πρόβλημα της διόγκωσης του μονωτικού πάνελ μία πιθανή λύση είναι η κάλυψή του με αδιάβροχο υλικό, όπως πλαστικό (πολυπροπυλένιο) (PanyakaewS., 2011).

2.6.5 Μανιτάρι:

Η καλλιέργεια των μανιταριών, αποτελεί έναν εύκολο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο, καθώς δεν παράγει όγκο αποβλήτων και δεν απαιτεί

χρήση τοξικών ουσιών. Το γεγονός αυτό καθιστά το θερμομονωτικό μπλοκ συναγωνίσιμο με άλλα συμβατικά μονωτικά του εμπορίου, μη φιλικά προς το περιβάλλον. Παρόλα αυτά έχουν σημειωθεί κάποια προβλήματα, τα οποία χρήζουν μελέτης πριν παραδοθεί στην αγορά. Αρκετά σημαντική είναι η μειωμένη αντοχή σε εφελκυσμό και θεωρείται απαραίτητη η βελτίωσή του προκειμένου να εφαρμοσθεί σε κτίριο.



Εικόνα 35: Δοκιμή δείγματος σε κάμψη(<https://www.mdpi.com>)

Επίσης παρατηρήθηκε ευαισθησία στην βιολογική διάβρωση, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μυκήτων και μικροοργανισμών στο προϊόν.



Εικόνα 36: Ανάπτυξη μυκήτων(<https://www.mdpi.com>)

Επίσης αρκετά σοβαρό θεωρείται και το πρόβλημα της υγροσκοπικότητας του μπλοκ, αφού με παρουσία νερού ή υγρασίας σημειώνεται απορρόφηση προκαλώντας διόγκωση του υλικού (Wimmers G., 2019).



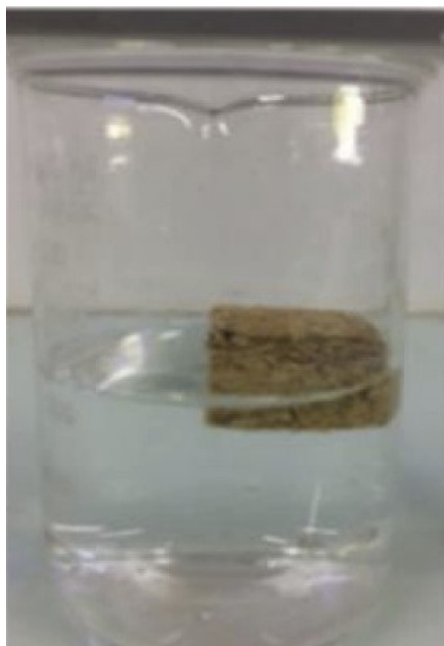
Εικόνα 37: Δοκιμή δειγμάτων στην απορρόφηση νερού(<https://www.mdpi.com>)

2.6.6 Φλοιός ρυζιού:

Τα θερμομονωτικά μπλοκ φτιαγμένα από φλοιό ρυζιού και οργανικά υλικά, δεν παρουσιάζουν βέλτιστες αντοχές σε πειραματικές διαδικασίες νερού, αφού κατά την βύθισή τους σε δοχείο με νερό, διαλύθηκαν την 28^η ημέρα ενυδάτωσής τους. Επομένως για την κατασκευή αυτών των τούβλων και την εισαγωγή τους στο εμπόριο, χρειάζεται η έρευνα για καλύτερες αντοχές σε υδάτινο περιβάλλον. Επίσης το συγκεκριμένο δομικό υλικό φαίνεται να έχει αρκετά μεγάλο πορώδες συγκριτικά με άλλους συμβατικούς τύπους ελαφροσκυροδέματος, κι αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμικής αγωγιμότητας. Για τον λόγο αυτό το συγκεκριμένο θερμομονωτικό υλικό συνίσταται να εφαρμόζεται στον εσωτερικό τοίχο του κτιρίου (Morsy M., 2022).



Εικόνα 38: Δοκίμιο πριν την ενυδάτωση



Εικόνα 39: Δοκίμιο κατά την ενυδάτωση
(<https://www.sciencedirect.com>)



Εικόνα 40: Δοκίμιο μετά την ενυδάτωση

2.6.7 Τούβλα από άχυρο:

Το τούβλο από άχυρο παρουσιάζει μικρή αντίσταση στην διάχυση υδρατμών. Το πάχος των δομικών στοιχείων είναι μεγάλο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να στεγνώνει η εξωτερική του επιφάνεια σε αντίθεση με την εσωτερική όπου παραμένει υψηλό ποσοστό υγρασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα την σήψη. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο τα υλικά να είναι εντελώς στεγνά πριν την χρήση τους και τα υλικά των επιχρισμάτων χρειάζεται να αναπνέουν. Πέρα από αυτά, τα τούβλα από άχυρα παρουσιάζουν μέτρια πυραντίσταση. Τέλος δεν είναι εφικτή η τοποθέτησή τους εξωτερικά, διότι με την τοποθέτηση επιχρίσματος υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας μικρών ρηγματώσεων και οπών που επιτρέπουν την εισχώρηση νερού. Σε αυτή τη περίπτωση τα τούβλα από άχυρο παρουσιάζουν πρόβλημα διαπνοής και εξάνθισης με αποτέλεσμα το σκάσιμο του σοβά.



Εικόνα 41: Διόγκωση τούβλων από υγρασία και σπάσιμο σοβά(<https://www.nature.com>)

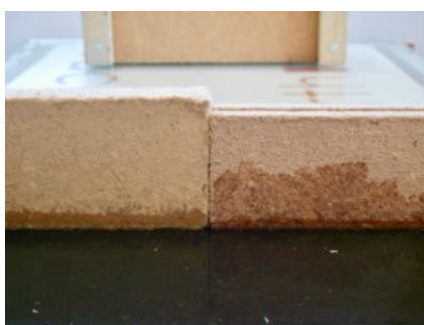
2.6.7 Πλάκες από ξυλόμαλλο:

Οι πλάκες ξυλόμαλλου, παρουσιάζουν τεχνικά χαρακτηριστικά που μπορούν να ανταγωνιστούν τα εξ ολοκλήρου συνθετικά υλικά που κυκλοφορούν στην αγορά. Το γεγονός αυτό αποδίδεται όχι μόνο στις ιδιότητες του ξύλου το οποίο περιέχεται σε μορφές ινών αλλά και των υπολοίπων υλικών που καθιστούν το συγκεκριμένο υλικό, όχι και τόσο φιλικό προς το περιβάλλον.

Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 2.1, το η παραγωγή ενός κιλού τσιμέντου απαιτεί 1,5kWh ενέργειας ενώ απελευθερώνει 1 κιλό CO₂. Επιπλέον, απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες (1300-1450 βαθμοί Κελσίου) για την ενοποίηση των επιμέρους συστατικών του τσιμέντου και την μετατροπή των πρώτων υλών σε κλίνκερ σε κλίβανο (Potgieter, 1997) γεγονός που ενισχύει το αρνητικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα του υλικού.

Για την παραγωγή της καυστικής μαγνησίας, απαιτούνται επίσης υψηλές θερμοκρασίες 900 βαθμών, που αν και είναι χαμηλότερες σε σχέση με το τσιμέντο συμβάλλουν στην παραγωγή CO₂ (Gehring, 2019).

Η τοποθέτηση του προϊόντος απαιτεί εξειδίκευση λόγω των αρκετών προϋποθέσεων που τη συνοδεύουν. Ο χειρισμός του υλικού πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός ώστε να μην σπάσουν οι ίνες και το ξυλόμαλλο πριν τη χρήση του πρέπει να αποθηκευτεί σε οριζόντια θέση σε στεγνές συνθήκες στον χώρο στον οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τουλάχιστον 48 ώρες με τον χώρο να είναι πολύ καλά αεριζόμενος ώστε να γίνει σωστός εγκλιματισμός. Στη συνέχεια η τοποθέτηση γίνεται με τη χρήση συνδετήρων υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Πρέπει σε κάθε περίπτωση να είναι πάντα πολύ καλά προστατευμένες από την υγρασία και σε περίπτωση που βραχούν πρέπει να λάβουν ειδικής μεταχείρισης πριν χρησιμοποιηθούν (στέγνωμα και ελαφρύ τρίψιμο της επιφάνειας για την αφαίρεση λεκέδων) (KnaufInsulation, 2014).



Εικόνα 42: Πλάκα ξυλόμαλλου σε επαφή με νερό

(<https://www.backtoearth.co.uk/>)



Εικόνα 43: Αποσάθρωση υλικού

(<https://www.sandberg.co.uk/>)

2.7 Συμπέρασμα

Λαμβάνοντας τα στοιχεία των παραπάνω παραδειγμάτων υπόψη, για την χρήση των υλικών αυτών την Ελλάδα, δημιουργείται η ανάγκη εισαγωγής αυτών ή και συστατικών τους από το εξωτερικό, η μεταφορά των οποίων αυξάνει περαιτέρω το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα αλλά και το συνολικό κόστος.

Όλα αυτά οδηγούν στην ανάγκη ανάπτυξης υλικών που προκύπτουν από την αξιοποίηση εύκολα προσβάσιμων πρώτων υλών που προέρχονται από την εγχώρια παραγωγή και καταλοίπων αυτής που θα καταστήσουν το υλικό αλλά και τη διαδικασία παραγωγής αυτού, φιλικά προς το περιβάλλον. Επίσης συνυπολογίζοντας τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που αποδίδουν στο τελικό θερμομονωτικό υλικό, στο οποίο παρατηρούνται ακόμα κάποια προβληματικά σημεία, δημιουργείται η ανάγκη για χρήση υλικών που σημειώνουν καλύτερες επιδόσεις και γενικότερα χαρακτηριστικά. Λαμβάνοντας υπόψη όλα αυτά και από την ανάγκη για χρήση εντόπιων υλικών, τα οποία θα συνεισφέρουν στην μείωση του κόστους μεταφοράς, καταλήξαμε στην χρήση αγροτικών αποβλήτων από καλάμι και ελιά.

Το καλάμι παρουσιάζει μεγάλος αντοχές σε θλίψη και εφελκυσμό. Επίσης η ελιά έχει αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες το οποίο την καθιστά ένα υλικό που παρέχει φυσική προστασία ενάντια στην ανάπτυξη μικροοργανισμών στον τομέα των υλικών. Πέρα από αυτό, τα φύλλα της ελιάς περιέχουν πολυφαινόλες οι οποίες έχουν την δυνατότητα να αυξήσουν τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών, συγκεκριμένα την αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό. Τέλος η εισαγωγή της ελιάς σε δομικά υλικά μειώνει την πυκνότητα και αυξάνει σημαντικά την αντοχή στη θραύση.

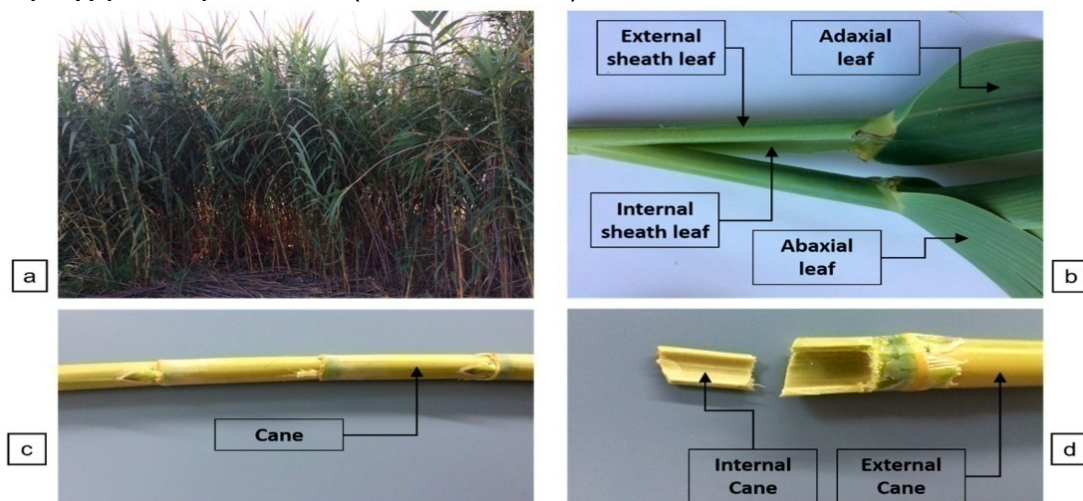
Με την χρήση αυτών των υλικών, αντιμετωπίζονται τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν στα άλλα φυτικά μπλοκ και σε συνδυασμό με την επανάχρηση των εντόπιων αποβλήτων υλικών, τα οφέλη που προσφέρει το νέο υλικό, πολλαπλασιάζονται .

3. Θεωρητικό μέρος | ειδικό πλαίσιο

3.1 Χαρακτηριστικά συστατικών των μπλοκ μελέτης

3.1.1 Καλάμι / *arundo donax*

Το καλάμι είναι ένα πολύ ψηλό, ευθυτενές και ανθεκτικό φυτό που και κατατάσσεται στην κατηγορία των αγρωστωδών και συναντάται στις περισσότερες χώρες του κόσμου είτε ως ενδημικό είδος είτε ως χωροκατακτητικό (Hafliger E, 1981). Έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί σε μία μεγάλη ποικιλία υποστρωμάτων και θερμοκρασιών υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης υγρασίας. Τυπικά ευδοκιμεί σε περιοχές με υψόμετρο μικρότερο των 500 μέτρων όμως υπάρχουν αναφορές για ύπαρξη του συγκεκριμένου είδους σε υψόμετρο 2.500 μέτρων στην περιοχή των Ιμαλαΐων. (Perdue, 1958)



Εικόνα 44:καλάμι και μορφολογικά στοιχεία

Αναπτύσσεται σε πυκνές συστάδες και το ύψος του μπορεί να φτάσει από 2 έως 8 μέτρα. Έχει ρίζες που φτάνουν βαθιά στο χώμα και στην επιφάνεια εμφανίζει ριζίδια μεγέθους 1 έως 4 εκατοστών τα οποία ξεκινούν να διαχωρίζονται και να πολλαπλασιάζονται κατά τον δεύτερο χρόνο ανάπτυξης. Στο εσωτερικό του είναι κενό με τοιχώματα πάχους 2 έως 7 χιλιοστά και στο μήκος τους χωρίζονται και κόμβους που απέχουν 12 έως 30 cm. Ο ιστός της επιφάνειας του στελέχους του καλάμιού είναι πολύ σκληρός αλλά εύθραυστος με γυαλιστερή επιφάνεια που αποκτά ένα ανοιχτό κίτρινο χρυσαφί χρώμα όταν ωριμάσει πλήρως. Τα φύλλα που αναπτύσσονται απέναντι ανά 2 κατά το μήκος του καλάμιού και είναι 5 έως 8 cm ξεκινώντας από μια φαρδιά βάση και καταλήγοντας σε μία λεπτή άκρη. Τα άνθη αναπτύσσονται σε

διακλαδισμένες ταξιανθίες (κορύμβους) των 30 έως 60 εκατοστών. (Perdue, 1958)

Λόγω του ότι είναι υδρόβιο φυτό, αναπτύσσεται σε περιοχές όπου υπάρχουν επιφανειακά ύδατα (πχ. λίμνες, ποτάμια) αλλά και έντονα υπόγεια ρεύματα (Rezk & Edany, 1979) Προτιμά το γλυκό νερό όμως έχει τη δυνατότητα να επιβιώσει και σε υφάλμυρα νερά παρουσιάζοντας όμως μικρότερο ρυθμό ανάπτυξης και μπορεί να αντέξει περιόδους ξηρασίας έως και 3 χρόνια. (Perdue, 1958) Το καλάμι ανάλογα με το συγκεκριμένο είδος, έχει 45% έως 75% της αντοχής σε εφελκυσμό και 70% έως 100% της αντοχής σε θλίψη του μπαμπού και ελαφρά χαμηλότερο συντελεστή ελαστικότητας σε σχέση με όλα τα είδη του μπαμπού. (Greco S., December 2022)

Ο γρήγορος ρυθμός ανάπτυξης σε συνδυασμό με τον εύκολο πολλαπλασιασμό του μέσω της διαίρεσης των ριζιδίων (Dudley, 2000) έχει κατατάξει το καλάμι στη λίστα με τα 100 πιο επικίνδυνα και χωροκατακτητικά φυτά του κόσμου λόγω των αλλαγών που επιφέρει στα περιβάλλοντα τα οποία αναπτύσσεται. (LoweS., 2020)

Συγκεκριμένα κατά μία μελέτη στη νότια Καλιφόρνια που είχε σκοπό την καταγραφή της ανάπτυξης μετά το κλάδεμα του καλαμιού υπολογίστηκε ότι ο μέσος ρυθμός ανάπτυξης ήταν 6,25 εκατοστά την ημέρα για τις πρώτες 40 μέρες και 2,67 εκατοστά για τις πρώτες 150 ημέρες. Οι μετρήσεις αυτές αφορούσαν ανάπτυξη από πλήρως ώριμα ριζίδια σε κανονικές συνθήκες. (Rieger&Kreager, 1989). Σε ιδανικές συνθήκες καλλιέργειας υπάρχουν αναφορές για ανάπτυξη έως και 10 εκατοστά ανά ημέρα. (Perdue, 1958).

Σε έρευνα που διεξήχθη σε καλάμια πάχους 9-11 χιλιοστών ,σύμφωνα με τα πρωτόκολλα που περιγράφονται στο ISO 22157:2019 , προέκυψε πώς όσον αφορά τα σημεία ανάμεσα στους κόμβους του καλαμιού η αντοχή σε θλίψη ήταν υψηλότερη από την αντοχή σε εφελκυσμό (127.4 MPa και 103.7MPa αντίστοιχα) (MolariL., 2020).

Στο παρελθόν το καλάμι έβρισκε παγκοσμίως πολλές εφαρμογές οι οποίες σε μεγάλο βαθμό εγκαταλείφθηκαν και το καλάμι έχει αντικατασταθεί με σύγχρονα υλικά , ενισχύοντας το πρόβλημα της διαχείρισης των καταλοίπων που προκύπτουν.

Στη σύγχρονη αρχιτεκτονική με φυσικά υλικά γίνονται προσπάθειες επανένταξης του καλαμιού όπως για παράδειγμα στην Πορτογαλία όπου στα πλαίσια ενός εγχειρήματος τα καλάμια χρησιμοποιούνται σε συστάδες για τη δημιουργία καμαρών που εντάσσονται σε εντυπωσιακές κατασκευές οργανικού χαρακτήρα (Canyanina, 2008).



Εικόνα 45: Ταβάνι με καλάμια



Εικόνα 46: Ταβάνι με καλάμια λεπτομέρεια

Στην Ελλάδα τα καλάμια συναντώνται σε ταβάνια παραδοσιακών κατασκευών. Συγκεκριμένα τοποθετούνταν σε συστάδες ως σκελετός, καρφωμένα σε καδρόνια, πάνω στα κύρια οριζόντια δοκάρια της στέγης. Στο τέλος το σύστημα αυτό σοβατιζόταν. Αντίστοιχες εφαρμογές συναντώνται και στην Ιταλία σε κατασκευές έως τα μέσα του 20ου αιώνα (Andrault J., 2014-15).

3.1.2 Ελιά/ *Olea europaea*

Το δέντρο της ελιάς είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την περιοχή της Μεσογείου όπου και καταγράφονται τα αρχαιότερα παραδείγματα του καλλιεργήσιμου είδους, της *Olea europaea* L. Το 90% της παραγωγής το οποίο ανέρχεται σε 11 εκατομμύρια εκτάρια (2017) προέρχεται από την Ελλάδα την Ιταλία την Ισπανία την Πορτογαλία τη Γαλλία την Κύπρο το Ισραήλ την Ιορδανία το Μαρόκο την Τουρκία και την Τυνησία ενώ παράγωγες συναντώνται και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και την Αυστραλία (Ziroril., 2020).

Πρόκειται για ένα δέντρο υποτροπικό, αιθαλές, ανεμόφυλλο το ύψος του οποίου μπορεί να φτάσει τα 15 έως 20 μέτρα και ο μέσος χρόνος ζωής του κυμαίνεται από μερικές δεκάδες έως εκατοντάδες έτη (Ποντίκης, 1994)



Εικόνα 47: Αρχαίο δέντρο ελιάς- Άνω Βούβες



Εικόνα 48: η μορφολογία καρπών και ανθών

Η μακροζωία αποδίδεται στην ανθεκτικότητα του ξύλου και στην ικανότητα ανάπτυξης νέας βλάστησης από το ριζικό σύστημα και το λαιμό. Έχοντας χαμηλές εδαφικές απαιτήσεις μπορεί να αναπτυχθεί σε υποστρώματα ποικίλων μορφολογιών και σύστασης έχοντας όμως προτίμηση σε υποστρώματα πλούσια σε άζωτο ενώ ευνοείται από την παρουσία ασβεστίου καλίου και βορίου. (Κηπογεωργική, 2017)

Το φύλλο της ελιάς είναι πράσινο στο επάνω μέρος και σταχτί στο κάτω έχει λεία επιφάνεια με δερματώδη υφή και λογχοειδή όψη. Το κάθε φύλλο χωρίς εξωτερικές παρεμβολές μπορεί να παραμείνει από 2 έως 3 χρόνια πάνω στο δέντρο (Ποντίκης, 1994)

Μετά την περίοδο συγκομιδής των ελαιόδεντρων, τα μικρότερα κλαδιά και τα φύλλα (U. Fillat, 2018) (με εξαίρεση ένα μικρό ποσοστό το οποίο χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή) αποτελούν κατάλοιπα της γεωργικής διαδικασίας καίγονται σε υπαίθριους χώρους συμβάλλοντας σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κυρίως διοξειδίου του άνθρακα.

Τα κατάλοιπα αυτά αποτελούν λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα δηλαδή μια μη αμυλούχα βιομάζα 2^{ης} γενιάς από το ινώδες κομμάτι των υλικών φυτικής προέλευσης (Prabir, 2013) και βρίσκονται σε αφθονία μιας και σύμφωνα με υπολογισμούς η παραγωγή τους ανά εκτάριο ελαιοκαλλιέργειας είναι 3.000 κιλά (J.M. Romero-García, 2014)

Η συγκεκριμένη βιομάζα έχει προταθεί ως λύση φυσική και φιλική προς το περιβάλλον για ενίσχυση της υδροθερμικής και στατικής επίδοσης δομικών υλικών (A. Mousa, 2010).

Υπάρχουν πέντε διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας του φύλλου της ελιάς ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται (EspesoJ., 2021). Σύμφωνα με έρευνα που αφορούσε συντηρητικά τροφών, το εκχύλισμα που προκύπτει από την άλεση των φύλλων ελιάς διαθέτει αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες (KorukluogluM., 2010). Το χαρακτηριστικό αυτό, μπορεί να αξιοποιηθεί ως φυσική προστασία ενάντια στην ανάπτυξη μικροοργανισμών στον τομέα των υλικών κατασκευής.

Τα φύλλα της ελιάς περιέχουν επίσης πολυφαινόλες σε υψηλή συγκέντρωση 7%. Ένα συστατικό το οποίο έχει την δυνατότητα να αυξήσει τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών συγκεκριμένα την αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό (ArsyadM.A., 2019). Σε έρευνα που διεξάχθηκε στην Ιορδανία με στόχο την ανάπτυξη ενός βιοδιασπώμενου υποκατάστατου του πλαστικού με τη χρήση βιοδιασπώμενων υλικών (ζελατίνη, γλυκερίνη , νερό κ.ά.) και με την προσθήκη φύλλων ελιάς, προέκυψε πώς με την αύξηση της συγκέντρωσης των φύλλων ελιάς στο μείγμα μειώθηκε η πυκνότητα και αυξήθηκε σημαντικά η αντοχή στη θραύση (Kandah, 2022).

3.1.3 Ασβεστοπολτός

Η άσβεστος αποτελεί ένα από τα παλαιότερα δομικά υλικά όπως και η πέτρα, αφού η χρήση του πραγματοποιούνταν από το 4000π.Χ. με την κατασκευή των πυραμίδων της Αιγύπτου και το 1500π.Χ. για το παλάτι της Κνωσού στην Κρήτη, κατασκευές που υπάρχουν έως και σήμερα.

Ο ασβέστης παράγεται από την θερμική επεξεργασία του ασβεστόλιθου. Ο ασβεστοπολτός προκύπτει από την ανάμειξη του ασβέστη και νερό. Κατά τη ανάμειξη, δημιουργείται χημική αντίδραση η οποία απελευθερώνει αρκετή ποσότητα θερμότητας. Ο ασβεστοπολτός χρησιμοποιείται σε κονιάματα, προσδίδοντας συγκολλητικές ιδιότητες, ενώ ταυτόχρονα διευκολύνει την εργασία αυτό (Ruiz-Agudo E., 2010).

Οι κατηγορίες των δομικών ασβεστών που χρησιμοποιούνται για κονιάματα σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ EN 459-1:2010 είναι:

- Υδραυλικές άσβεστοι
- 17 Αερικές άσβεστοι
- Σβησμένες άσβεστοι
- Η υδράσβεστος σε σκόνη
- Ασβεστοπολτός

Το προϊόντα προερχόμενα από τον ασβέστη αποτελούν βέλτιστη λύση για προστασία από υγρασία, χωρίς να μειώνεται το πορώδες τους και να παρατηρείται εξάτμιση της υγρασίας από το εσωτερικό τους.

Γενικότερα ο ασβέστης δίνει στα μείγματα την δυνατότητα αναπνοής και με αυτό τον τρόπο διακινείται η υγρασία στην τοιχοποιία, μέσω την αύξησης της επιφάνειας επαφής αυτής με τον ατμοσφαιρικό αέρα.(OatesJH., 1998)

Η υδράσβεστος είναι μία αερική ανόργανη κονία σε σκόνη που παρασκευάζεται από τη σβέση του ασβέστη και αποτελείται από υδροξείδιο του ασβεστίου. Η υδράσβεστος σήμερα μπορεί να θεωρηθεί από τα πιο αντιπροσωπευτικά υλικά της οικολογικής οικοδομικής και είναι κατάλληλη για την παρασκευή κονιαμάτων αρμολόγησης-επιχρισμάτων υψηλής διαπνοής, σοβάδων, ενεμάτων και υδροχρωμάτων (CazallaO., 2004).



Εικόνα 49: Ασβεστοπολτός(<https://betolit.gr/>)

3.1.4 Ποζολάνη

Η ποζολάνη συναντάται είτε στη φύση ως φυσική ποζολάνη, είτε από τεχνητές πηγές σε σκωρία υψικαμίνων, ιπτάμενη τέφρα και στάχτη σταθμών παραγωγής ενέργειας.

Η φυσική ποζολάνη συναντάται ως βιομηχανικό ορυκτό ηφαιστειακής προέλευσης και περιέχει υψηλό ποσοστό ενεργού διοξειδίου του πυριτίου αλλά και οξείδιο του αργιλίου.

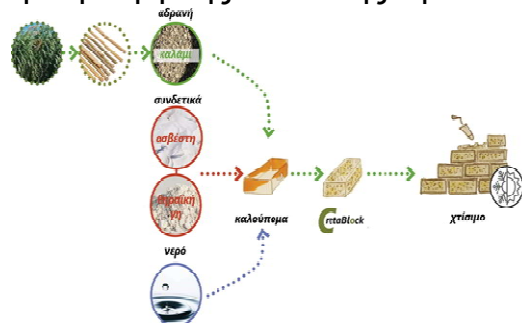
Η επεξεργασμένη ποζολάνη, όταν αναμειχθεί με ασβέστη και νερό, δημιουργεί κονίαμα στο οποίο το πυριτικό και η αλουμίνα αντιδρούν σχηματίζοντας υδραυλικές ενώσεις (HewlettP., 1998).



Εικόνα 50: Ποζολάνη(<https://www.prolat.gr/>)

3.2 Cretablock

Από τον Φεβρουάριο του 2020, το Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονη Δόμησης, στη Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του ΠΚ ξεκίνησε μια έρευνα με υπεύθυνη την αρχιτέκτονα μηχανικό Msc Claire Oiry και Συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ για καθοδήγηση των φοιτητών Παγώνα Μαραβελάκη και τη συνδρομή των προπτυχιακών φοιτητών Βαρδάκη Στέφανου και Δημητρίου Γεωργίου, βασισμένη στη μελέτη θερμομονωτικών πάνελ κατασκευασμένων με φυσικά τοπικά υλικά, αποτελούμενα κυρίως από απόβλητα γεωργικής και άλλης προέλευσης.



Εικόνα 51: Διάγραμμα κατασκευής-χρήσης

(φυτώριο ιδεών)



Εικόνα 52: Cretablocks από το Εργαστήριο του ΠΚ

Το Cretablock είναι ένα οικολογικό οικοδομικό υλικό το οποίο έχει την δυνατότητα να καλύψει τις ανάγκες του κατασκευαστικού τομέα στην Ελλάδα και μειώσει το ενεργειακό αποτύπωμα των σύγχρονων κατασκευών. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση της διογκωμένης πολυστερίνης που περιέχεται στο 85% των προϊόντων που χρησιμοποιούνται για τη μόνωση των κτιρίων. Ταυτόχρονα στη σύνθεσή του δεν χρησιμοποιούνται επικίνδυνα υλικά όπως οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη σύνθεση διογκωτικών παραγόντων ενώ ταυτόχρονα μειώνονται οι εκπομπές CO_2 μιας και για την κατασκευή του δεν απαιτούνται ιδιαίτερα ενεργοβόρες διαδικασίες. Λόγω των μετρικών και θερμικών χαρακτηριστικών του ελαφροσκυροδέματος φυτικής βάσης, τα οποία μπορούν να πιστοποιηθούν κατά την παραγωγή σε βιομηχανική κλίμακα, αποτελεί ισάξια επιλογή με τα συμβατικά υλικά. Η χρήση των τοπικών βιο- παραγομένων υλικό συνοδεύεται από την αποφυγή του μεταφορικού κόστους σε ενεργειακό και οικονομικό επίπεδο. Στην περιοχή της Κρήτης η αφθονία του καλαμιού ως χωροκατακτητικό φυτό το κάνει ιδανική επιλογή για εντόπιες κατασκευές. Επιπλέον χρησιμοποιείται αερίκος ασβέστης τοπικής παραγωγής και φυσική ποζολάνη από τη Μήλο (Oiry, Φυτώριο Ιδεών, 2021).

Το υλικό σε μορφή πάνελ διαστάσεων 15x30x60cm έχει εφαρμοστεί σε εξωτερικό τοίχο στην πανεπιστημιούπολη του Πολυτεχνείου Κρήτης μαζί με αισθητήρες για την υγρασία και τη θερμοκρασία. Για την υγρασία δεν υπάρχουν δεδομένα. Τα δεδομένα των αισθητήρων της θερμοκρασίας έδειξαν διαφορά έως και 10 βαθμών

κελσίου σε σχέση με σημεία της ίδιας τοιχοποιίας στην οποία δεν είχε εφαρμοστεί η θερμοπρόσοψη.



Εικόνα 53:Εφαρμογή σε τοίχο

Μετά από έλεγχο στο πάνελ η θερμική αγωγιμότητα (EN 12667) προσδιορίστηκε στο $\lambda:0,07 \text{ W/mk}$, ίση με αυτή του αντίστοιχου προϊόντος από κάνναβη που κυκλοφορεί στο εμπόριο.

Στη συνέχεια παραθέτονται οι διαδικασίες και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια ανάπτυξης του υλικού και πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης από την Αρχιτέκτων Μηχανικό M.Sc Claire Oiry.

3.3 Χαρακτηριστικά και αποτελέσματα εργαστηρίου

Τα αποτελέσματα των ελέγχων που παρατίθενται παρακάτω προέρχονται από τους ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης από την Αρχιτέκτονα Μηχανικό M.Sc Claire Oiry.

Τα δείγματα προέρχονται από τις δοκιμές που οδήγησαν στην τελική σύνθεση του Cretablock και στα οποία έχει πραγματοποιηθεί σε προγενέστερο χρόνο η μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας (λ).

Sample	Recipe (%vol)							
	CL90 - Putty lime (%)	Natural pozzolanic additive (%)	Gypsum (%)	Red Earth (%)	Water (%)	Aggregates (%)	Agg. (gr.)	Agg. (ml.)
AD80-750	10	6	0	0	4	80	100	1500
AD75-500	12,5	7,5	0	0	5	75	66	1000
AD75-600	12,5	7,5	0	0	5	75	80	1200
AD80-600	10	6	0	0	4	80	80	1200
AD80-600- C01	0	0	0	10	10	80	80	1200
AD80-600- G02	10	0	6	0	4	80	80	1200
AD80-600- G05	12	0	4	0	4	80	80	1200
PO80-600	10	6	0	0	4	80	48	1200

Πίνακας 1: Συνταγές δοκιμών

Οι εργαστηριακοί έλεγχοι έγιναν σε επιλεγμένα δείγματα με τις εξής συνταγές για $\lambda < 0,080$

AD80-750 ,AD75-500, AD75-600, AD80-600,AD80-600-G05, OL70-5000

Και για $\lambda > 0,085$

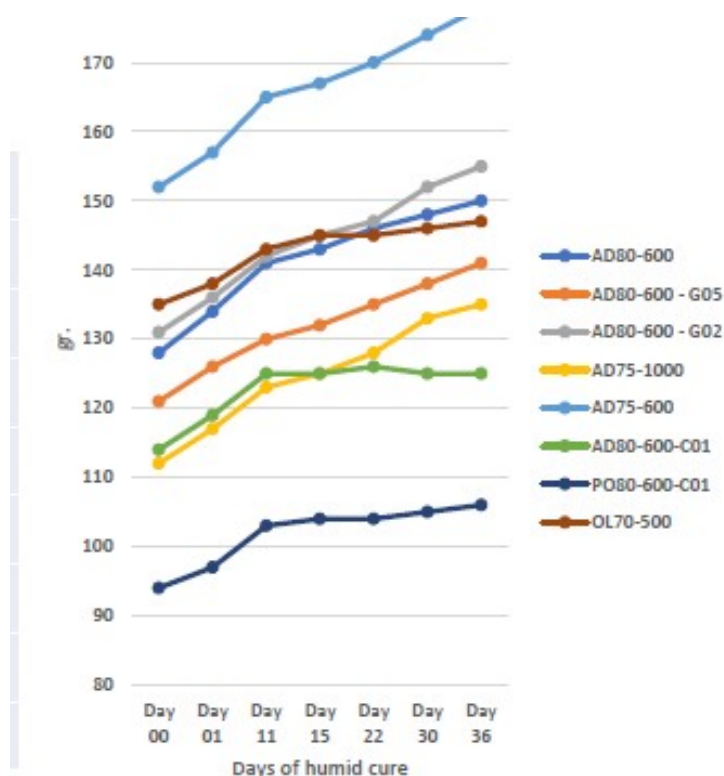
PO80-600-C01,AD80-600-C01,AD80-600-G02

3.3.1 Αντοχή υγρασίας

Ο πρώτος έλεγχος αφορούσε την αντοχή σε υγρασία και την καταγραφή της εμφάνισης μούχλας στα δοκίμια σε ένα διάστημα 36 ημερών μέσα σε θάλαμο συντήρησης με $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ και $> 90 \% \text{ HR}$.

θάλαμο συντήρησης με $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ και $> 90\% \text{ HR}$.

	Day 00	Day 01	Day 11	Day 15	Day 22	Day 30	Day 36
AD80-600	-	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	μούχλα ++	μούχλα +++	μούχλα +++
AD75-1000	-	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	μούχλα +	μούχλα ++	μούχλα +++
AD80-600 - G05	-	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	μούχλα +	μούχλα ++	μούχλα +++
AD80-600 - G02	-	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	μούχλα +	μούχλα +	μούχλα ++	μούχλα +++
AD75-600	-	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	μούχλα +
AD80-600-C01	-	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	μούχλα +	μούχλα ++	μούχλα +++	μούχλα +++
PO80-600-C01	-	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	μούχλα +
OL70-500	-	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	καμία αλλαγή	μούχλα ++	μούχλα ++	μούχλα +++



Πίνακας 2: Αποτελέσματα τεστ αντοχής στην υγρασία και διάγραμμα

Σε όλα τα δοκίμια παρατηρήθηκε σταθερή συμπεριφορά χωρίς αλλαγές μέχρι την 15η ημέρα κατά την οποία καταγράφηκε εμφάνιση μούχλας στα AD80-600-C01 (δοκίμιο κατασκευασμένο με κοκκινόχρωμα, νερό και καλάμι) και στο AD80-600-G02 (δοκίμιο κατασκευασμένο με ασβεστοπολτό, γύψο, νερό και καλάμι). Την μεγαλύτερη αντοχή σε

υγρασία εμφάνισε το AD75-600(δοκίμιο από ασβεστοπολτό, ποζολάνη θηραϊκή γη , νερό και καλάμι) το οποίο εμφάνισε μούχλα κατά την 36η ημέρα στον θάλαμο.



Εικόνα 54: Δοκίμια ημέρα 00



Εικόνα 55: Δοκίμια ημέρα 15



Εικόνα 56: Δοκίμια ημέρα 36

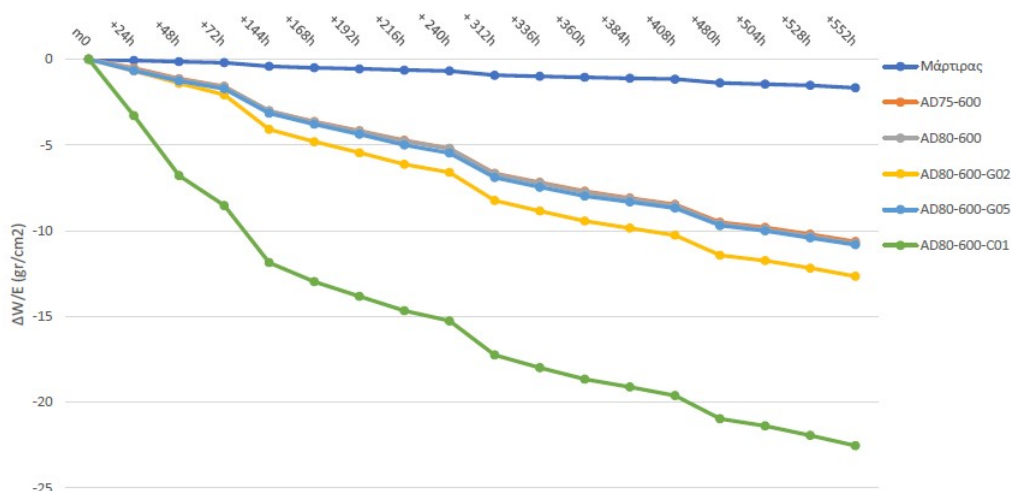
3.3.2 Διαπνοή

Στη συνέχεια έγινε έλεγχος στα δοκίμια AD75-600, AD80-600, AD800-600, AD80-600-G02, AD80-600-G05, AD80-600-C01 για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας των υδρατμών υπό ισοθερμικές συνθήκες κατά το EN ISO 12572:2016 όπου το δοκίμιο τοποθετείται σε κύπελλο για 552 ώρες .

Από αυτό τον έλεγχο προέκυψε ότι η διαπερατότητα των υδρατμών ήταν χαμηλότερη στο AD80-600-C01 (δοκίμιο κατασκευασμένο με κοκκινόχωμα , νερό και καλάμι) με -25 gr/cm^2 ενώ τα υπόλοιπα παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά με τις μετρήσεις να κυμαίνονται από $-12,5 \text{ gr/cm}^2$ έως -11 gr/cm^2 .



Εικόνα 57,58,59 Τα δοκίμια μέσα στα κύπελλα

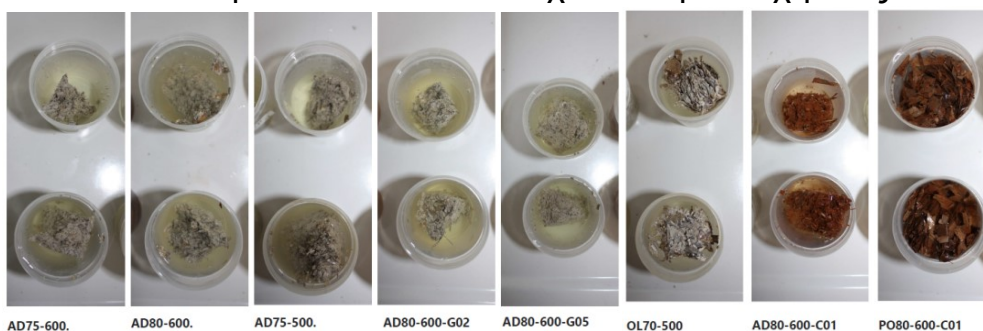


Διάγραμμα αποτελεσμάτων διαπερατότητας υδρατμών

3.3.3 Απορρόφηση νερού

Κατά τον έλεγχο απορρόφησης νερού 16 δοκίμια (8 διαφορετικές συνταγές) ζυγίστηκαν και βυθίστηκαν πλήρως σε νερό για 24 ώρες. Στη συνέχεια ζυγίστηκαν ξανά για να υπολογιστεί το ποσοστό νερού που απορρόφησαν.

Τα δοκίμια AD75-600, AD80-600, AD75-500, AD80-600-G02, AD80-600-G05 διατήρησαν τη συνοχή τους χωρίς απώλεια υλικού, τα δοκίμια OL70-500, AD80-600-C01 παρουσίασαν μερική απώλεια υλικού ενώ τα δοκίμια PO80-600-C01 έχασαν τη συνοχή τους.



Εικόνα 60: Τα δοκίμια σε πλήρη βύθιση

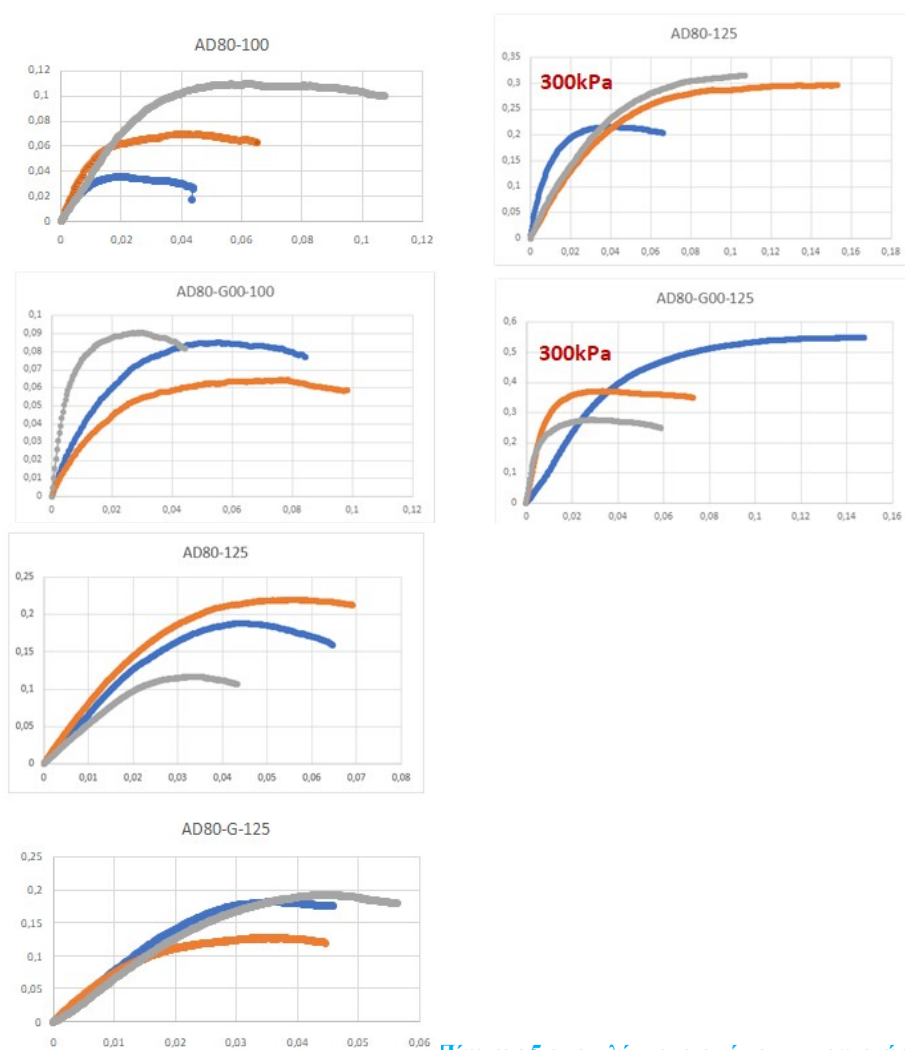
Όσον αφορά την απορρόφηση νερού, τα δοκίμια OL70-500(01,02) απορρόφησαν το μικρότερο ποσοστό και το βάρος τους αυξήθηκε κατά 72% και 48% αντίστοιχα (αρχικό βάρος : 15.9gr και 8.4gr τελικό βάρος:27.38gr και 12.46gr) . Η μεγαλύτερη απορρόφηση παρατηρήθηκε στα δοκίμια AD80-600(01,02) των οποίων το βάρος αυξήθηκε κατά 115% και 114% αντίστοιχα (αρχικό βάρος 12.83gr και 7.73gr και τελικό βάρος 27.64gr και 16.54gr)

	AD75 - 600 - 01	AD75 - 600 - 02	AD75 - 500 - 01	AD75 - 500 - 02	AD80 - 600 - 01	AD80 - 600 - 02	AD80 - 600 - G02 - 01	AD80 - 600 - G02 - 02	AD80 - 600 - G05 - 01	AD80 - 600 - G05 - 02	AD80 - 600 - C01 - 01	AD80 - 600 - C01 - 02	PO0 - 600 - C01 - 01	PO80 - 600 - C01 - 02	OL70 - 500 - 01	OL70 - 500 - 02
Initial weight	9.39	20.19	11.55	19.69	12.83	7.73	7.97	10.44	11.98	21.67	9.99	18.78	7.45	8.64	15.9	8.4
Weight +24h	17.48	38.24	22.92	39.62	27.64	16.54	15.06	19.49	20.71	39.18	19.48	-	-	-	27.38	12.46
Weight +24h as a percentage of the initial weight	186%	189%	198%	201%	215%	214%	189%	187%	173%	181%	195%	-	-	-	172%	148%

Πίνακας 3: Απορρόφηση νερού σε γραμμάρια και ποσοστά

3.3.4 Αντοχή σε θλίψη

Στο τεστ αντοχής σε θλίψη υποβλήθηκαν έξι δοκίμια: κυβάρια AD80-100 και AD80-125 τα οποία δεν περιείχαν γύψο ,κυβάρια AD80-G00-100 και AD80-G00-125 τα οποία περιείχαν γύψο , κυλινδρικά δοκίμια AD89-125 και AD80-G-125.



Πίνακας 5 αποτελέσματα από το τεστ αντοχής σε θλίψη

3.3.5 Θερμική αγωγιμότητα

Η θερμική αγωγιμότητα (EN 12667) των δοκιμίων χωρίς γύψο ήταν ίση με $\lambda:0,065 \text{ W/mk}$ ενώ σε αυτά που περιέχουν γύψο υπολογίστηκε στο $\lambda:0,074 \text{ W/mk}$

4. Εργαστηριακό μέρος 1| εργαστηριακοί έλεγχοι Cretablock

4.1 Εισαγωγή:

Στο Εργαστήριο Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές διαδικασίες για τα ακόλουθα δοκίμια:

- AD75-500
- RO80-600
- AD80-600C01
- AD80-600
- AD80-600-GO2

Για τα παραπάνω δοκίμια οι συνταγές που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή τους ήταν η ακόλουθη :

Sample	Recipe (%vol)							
	CL90 - Putty lime (%)	Natural pozzolanic additive (%)	Gypsum (%)	Red Earth (%)	Water (%)	Aggregates (%)	Agg. (gr.)	Agg. (ml.)
AD75-500	12,5	7,5	0	0	5	75	66	1000
AD80-600-C01	0	0	0	10	10	80	80	1200
AD80-600	10	6	0	0	4	80	80	1200
AD80-600-G02	10	0	6	0	4	80	80	1200

Πίνακας 4: Συνταγές δοκιμών

Οι εργαστηριακοί έλεγχοι ξεκίνησαν όταν τα δοκίμια βρίσκονταν σε θερμοκρασία δωματίου με χαμηλά ποσοστά υγρασίας. Είχαν ήδη πραγματοποιηθεί οι έλεγχοι που αναφέρονται στο προηγούμενο κεφάλαιο 3.4. Στην συνέχεια τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε 11 κύκλους αλάτων, που τοποθετήθηκαν σε τρυβλία με διηθητικό χαρτί και εμποτίστηκαν με διάλυμα αλάτων, με σκοπό να καταγραφούν οι αντοχές τους στα άλατα και να σημειωθούν οι αλλαγές του κάθε δοκιμίου ξεχωριστά κάθε φορά. Έπειτα τα δοκίμια δέχθηκαν πλήρη βύθιση σε δοχείο με νερό για 19 ημέρες, προκειμένου να διερευνηθεί η αντοχή τους σε νερό. Τέλος ο τελευταίος εργαστηριακός έλεγχος που διενεργήθηκε ήταν η έκθεση των δοκιμών σε εξωτερικό χώρο στις καιρικές συνθήκες για 40 ημέρες.

4.2 Κύκλοι αλάτων

Πριν την έναρξη του κάθε κύκλου αλάτων όλα τα δοκίμια ζυγίζονται και φωτογραφίζονται.

Σε 100 ml απιονισμένου νερού προστίθενται 14gr αλάτων (Na_2SO_2) και ανακατεύονται έως ότου να δημιουργηθεί ένα διαυγές διάλυμα. Σε τρυβλία των 9 mm τοποθετείται διηθητικό χαρτί και με τη βοήθεια μιας πιπέτας γίνεται η ενυδάτωση του με το διάλυμα. Στη συνέχεια τα δοκίμια τοποθετούνται στο διηθητικό χαρτί ώστε να απορροφήσουν το διάλυμα. Κατά τη διαδικασία αυτή γίνεται διαρκής έλεγχος της συχνότητας του διηθητικού χαρτιού και όταν αυτό στεγνώνει ενυδατώνεται ξανά. Η διαδικασία αυτή διαρκεί 2 ώρες. Τέλος τα δοκίμια ζυγίζονται ξανά και τοποθετούνται σε φούρνο στους 80 βαθμούς για 10 ώρες. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε συνολικά 26 φορές σε αυτά τα δοκίμια (15 προγενέστερες με χαμηλότερη περιεκτικότητα αλατιού στο διάλυμα 7gr/100ml και 11 φορές στα πλαίσια εκπόνησης της εργασίας). Ο συγκεκριμένος εργαστηριακός έλεγχος πραγματοποιείται με σκοπό να αξιολογηθούν οι αντοχές στο νερό αλλά και στην καταπόνηση παρουσία αλάτων.



Εικόνα 61: Ενυδάτωση διηθητικού χαρτιού με διάλυμα αλάτων

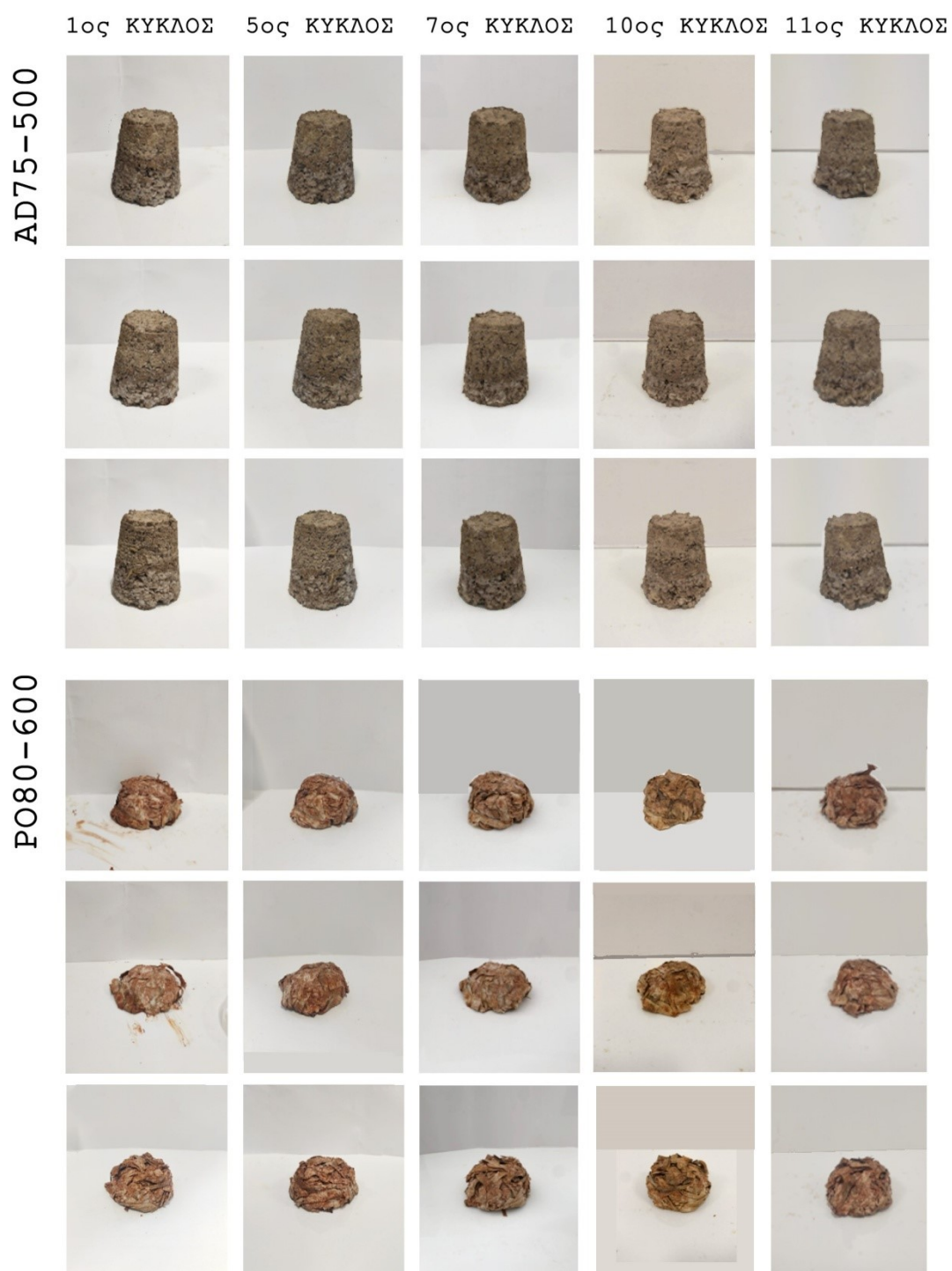


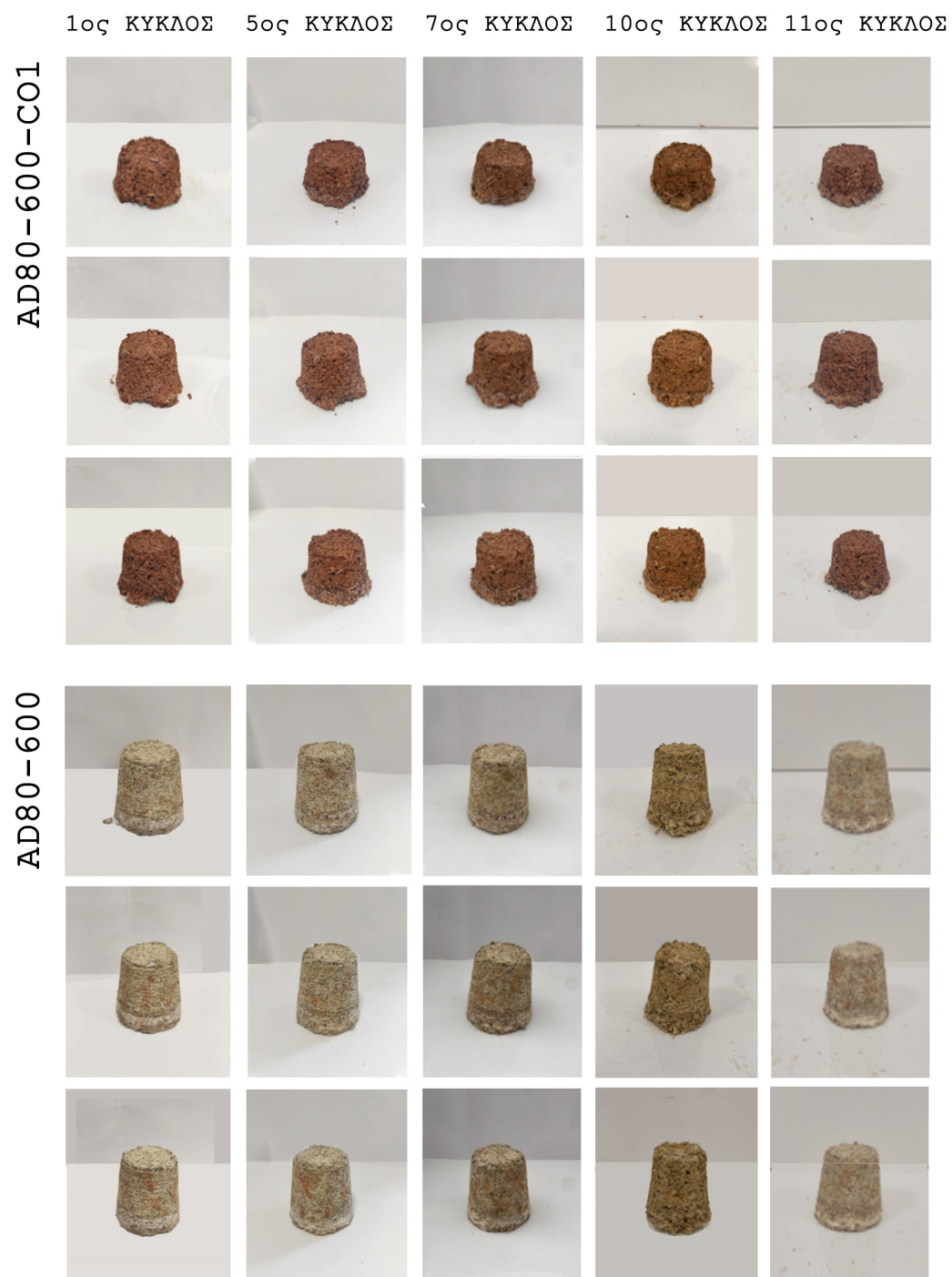
Εικόνα 62: Εισαγωγή δοκιμίων στον φούρνο

Με την συνεχή ενυδάτωση των δοκιμίων παρουσία αλάτων και έπειτα την αποξήρανσή τους στον φούρνο υποβλήθηκαν σε διαδικασία διόγκωσης, απορρόφηση νερού και έπειτα σε διαστολή, εξάτμιση νερού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να υπάρξουν μικρές απώλειες τμημάτων στα δοκίμια, αλλά γενικά δεν σημειώθηκε πλήρης αστοχία σε κάποιο δοκίμιο. Παράλληλα για την μικρή απώλεια, καθοριστικό ρόλο είχε στην

ενυδάτωση των δοκιμίων η παρουσία αλάτων, καθώς με την απορρόφηση του νερού εισχώρησαν τα άλατα στο εσωτερικό των δοκιμίων και κατά την εξάτμιση του νερού τα άλατα παρέμεναν στο εσωτερικό των δοκιμίων, δημιουργώντας κρυστάλλους κάνοντας το δοκίμιο να διασταλεί και να δημιουργηθούν ρηγματώσεις.

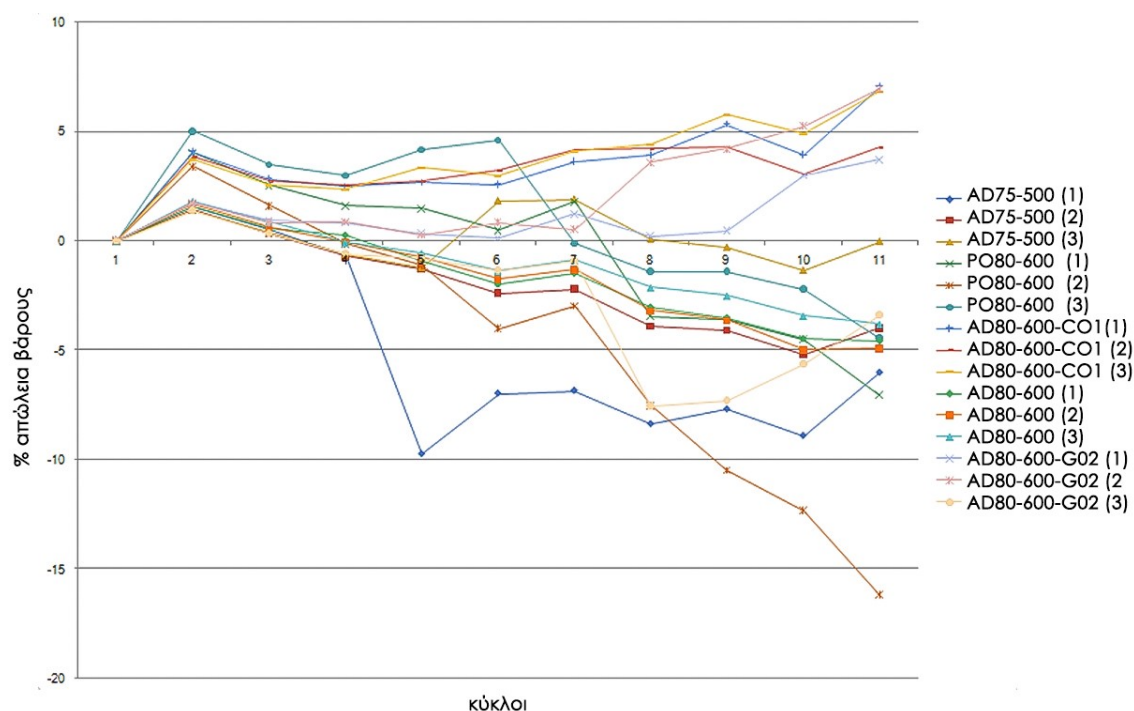
Η απορροφητικότητα αυξάνεται ενώ οι κύκλοι. Το περισσευούμενο διάλυμα των αλάτων μειώνεται κατά περίπου 50%-40%-20% κάθε φορά. Παρατηρείται ότι τα πρώτα 45 λεπτά απορροφάται το 50% του διαλύματος από τα δοκίμια. Η απορρόφηση γίνεται κυρίως από τα δοκίμια: AD75-500, AD80-600, AD80-600-GO2. Στην μία ώρα παρατηρείται ο μεγαλύτερος βαθμός απορρόφησης και έπειτα το πέρας της μίας ώρας ο βαθμός απορροφητικότητας ξεκινάει να φθίνει.







Εικόνα 53-67: Τα δοκίμια μετά την ξήρανση στον φούρνο



Διάγραμμα απώλειας βάρους δοκιμών σε ποσοστά

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η απώλεια βάρους των δοκιμών από την αρχή των κύκλων αλάτων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της εργασίας. Την μεγαλύτερη απώλεια βάρους την παρουσίασαν τα δείγματα: AD80-600-CO1(1), AD80-600-CO1(2), AD80-

600-CO1(3) και AD80-600-GO2(3) ενώ την μικρότερη απώλεια την είχε το δοκίμιο: PO80-600(2), επίσης το δοκίμιο AD75-500(3) παρέμεινε σχεδόν στο ίδιο του βάρος με ελάχιστη μεταβολή.

Πιο συγκεκριμένα:

AD75-500: Η απορρόφηση του διαλύματος νερού παρουσία αλάτων (Na_2SO_2) γίνεται εντονότερα σε κάθε επανάληψη και από τον κύκλο (20) ξεκίνησε να παρατηρείται έντονη απώλεια υλικού από την βάση του δοκιμίου αλλά και η εμφάνιση κρυστάλλων (εξάνθιση) έως το $\frac{1}{2}$ περίπου του ύψους του δοκιμίου.

PO80-600: Καθ' όλη την διάρκεια των κύκλων αλάτων η απορρόφηση του διαλύματος από τα συγκεκριμένα δοκίμια ήταν ελάχιστη. Παρατηρήθηκε μία μικρή αύξηση βάρους αλλά και εξάνθιση περιμετρικά του δοκιμίου, ενώ δεν σημειώθηκε καθόλου απώλεια τμημάτων.

AD80-600-CO₁: Κατά την διάρκεια των κύκλων αλάτων η απορρόφηση του διαλύματος ήταν μικρή και παρόλο που παρατηρήθηκε μικρή εξάνθιση, σημειώθηκε αύξηση του όγκου του διαλύματος και αλλοίωση στην βάση του δείγματος, καθώς αποκολλήθηκαν μικρά τμήματος.

AD80-600: Με σταθερά μικρή απορρόφηση του διαλύματος παρατηρείται μικρή εξάνθιση περιμετρικά της βάσης του δοκιμίου και μικρή αύξηση στο βάρος του. Δεν υπήρξε καθόλου απώλεια υλικού.

AD80-600-GO₂: Η απορρόφηση των διαλυμάτων ήταν έντονη και από τον 17^ο κύκλο ξεκίνησε να διακρίνεται σαθρότητα και απώλεια υλικού από τη βάση.

4.3 Πλήρης βύθιση:

Για να εκτιμηθεί η αντοχή στο νερό των δοκιμίων, βυθίζονται πλήρως σε δοχεία γεμάτα νερό.

Πριν την βύθιση στα δοχεία με το νερό τα δοκίμια ζυγίστηκαν και φωτογραφήθηκαν.

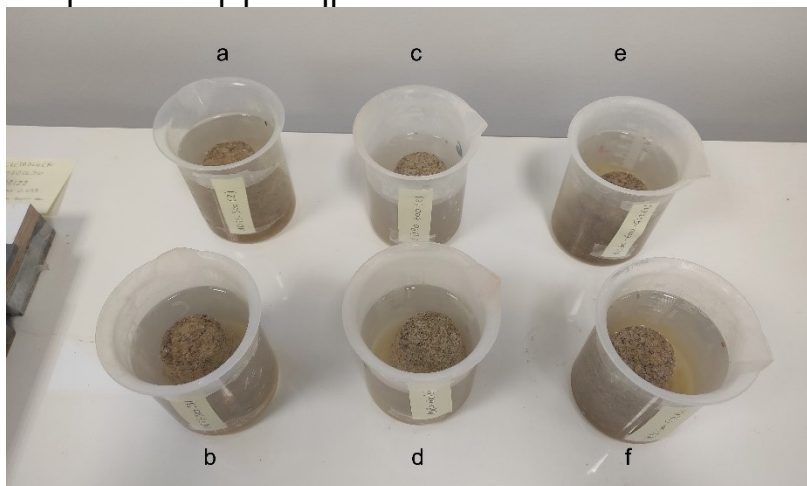
Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε δοχείο γεμάτο με νερό για 21 ημέρες. Στόχος αυτού του πειράματος ήταν η καταγραφή της αντοχής των δοκιμίων κατά την καταπόνηση της έκθεσής τους στο νερό για τόσες ημέρες αλλά και η παρατήρηση για απώλεια τμήματος του κάθε δοκιμίου.

Τα δοκίμια που εφαρμόστηκαν στην εργαστηριακή δοκιμή της πλήρους βύθισης ήταν τα εξής:

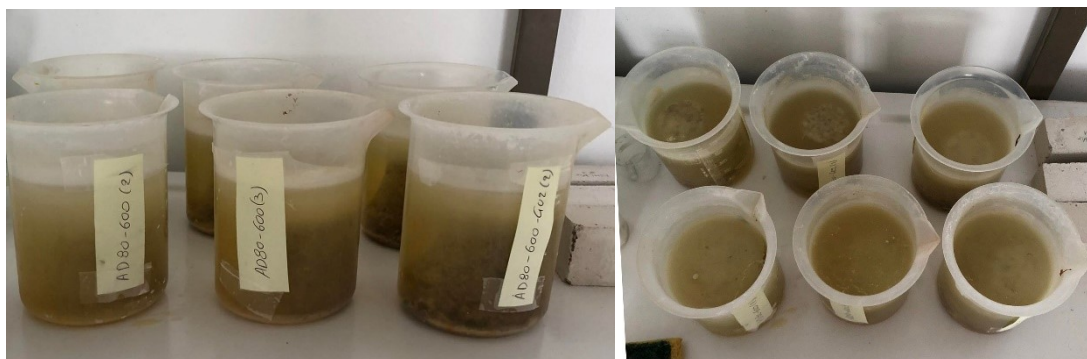
a:AD75-500(2)

b:AD75-500(3)
 c:AD80-600(2)
 d:AD80-600(3)
 e:AD80-600-GO₂(2)
 f:AD80-600-GO₂(3)

Επιλέχθηκαν αυτά τα 6 δοκίμια για την εφαρμογή της γήρανσης σε δοχείο γεμάτο νερό για διάστημα 21 ημερών, διότι εμφάνισαν τις καλύτερες επιδόσεις συγκριτικά με τα υπόλοιπα δοκίμια που κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο.



Εικόνα 68: Βύθιση δοκιμών σε δοχεία με νερό

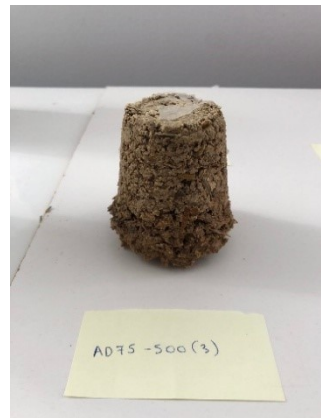


Εικόνα 69-70: Δοκίμια έπειτα από το πέρας των 21 ημερών στα δοχεία με το νερό

Μετά την αφαίρεσή τους από τα δοχεία με το νερό παρατηρήθηκε ότι τα δοκίμια:
AD75-500(2) και (3) είχαν μικρή απώλεια υλικού.

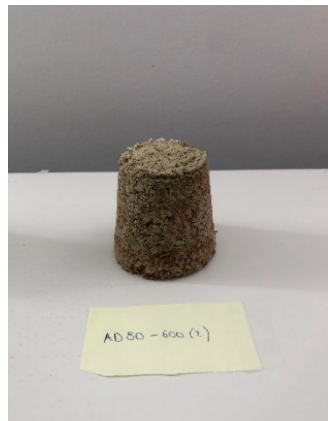


Εικόνα 71: AD75-500(2)



Εικόνα 6: AD75-500(3)

AD80-600(2) και (2) δεν παρατηρήθηκε καμία απώλεια τμήματος υλικού.



Εικόνα 73: AD80-600(2)



Εικόνα 74: AD80-600(3)

AD80-600-GO₂(2) και (3) σημειώθηκε αρκετά μεγάλη ποσότητα απώλειας τμήματος του δοκιμίου έπειτα από την αφαίρεσή του από το δοχείο με το νερό.



Εικόνα 75: AD80-600-GO2(2)



Εικόνα 7: AD80-600-GO2(3)

Γενικά σε όλα τα δοκίμια παρατηρήθηκε όταν αφαιρέθηκαν από τα δοχεία με το νερό ο σχηματισμός μίας λεπτής άσπρης κρούστας στην εξωτερική τους επιφάνεια.

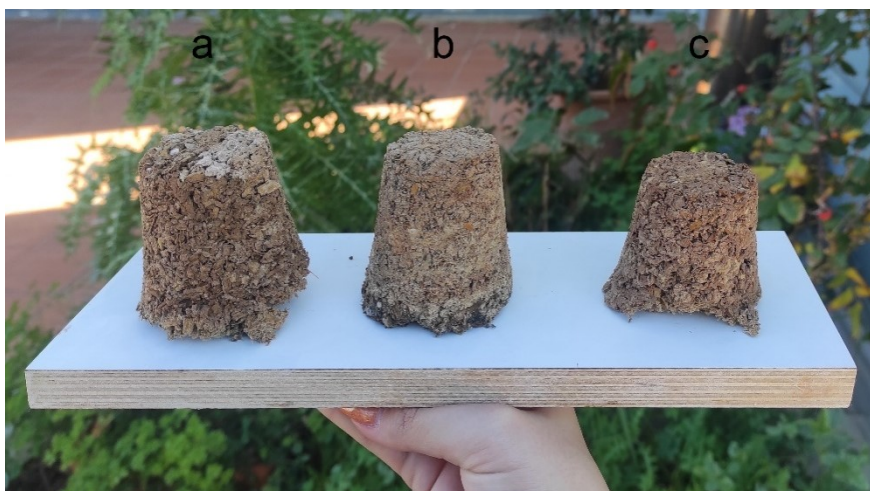


Εικόνα 77: Συνολική εικόνα δοκιμίων μετά από αφαίρεση από τα δοχεία με νερό

4.4 Έκθεση στα καιρικά φαινόμενα:

Σε πρώτη φάση τα δοκίμια φωτογραφίστηκαν και ζυγίστηκαν. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε εξωτερικό περιβάλλον σε επαφή με το χώμα και διατηρήθηκαν εκεί για 40 ημέρες. Κύριος στόχος την εργαστηριακής δοκιμής ήταν η αντοχή των δοκιμίων στις εξωτερικές συνθήκες όπως την υγρασία, την εναλλαγή της θερμοκρασίας σε καθημερινή βάση αλλά και την αντοχή τους στα καιρικά φαινόμενα όπως βροχή, αέρας και έκθεση στον ήλιο.

Η θερμοκρασία που επικρατούσε το διάστημα εκείνο κυμάνθηκε από 7-18°C και οι χαμηλότερες θερμοκρασίες σημειώθηκαν κυρίως τις νυχτερινές ώρες και οι πιο αυξημένες τις μεσημβρινές. Το ποσοστό της υγρασίας ήταν από 59%-98% και οι μεγαλύτερες τιμές καταγράφηκαν κυρίως νυχτερινές ώρες. Το διάστημα της έκθεσης των δοκιμίων στα καιρικά φαινόμενα δεν σημειώθηκαν ιδιαίτερες βροχοπτώσεις αλλά υπήρξε έντονη ακτινοβολία και γενικότερα έντονες εναλλαγές στην θερμοκρασία, προκαλώντας γήρανση και καταπόνηση στα δοκίμια.



Εικόνα 78: Δοκίμια πριν την τοποθέτησή τους στο εξωτερικό περιβάλλον

Τα δοκίμια που υποβλήθηκαν σε αυτή την διαδικασία ήταν τα εξής:

a:AD75-500(1)

b: AD80-600(1)

c:AD80-600-GO₂(1)

Επιλέχθηκαν αυτά τα τρία συγκριτικά με όλα τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο επιστημών, διότι ήταν αυτά που παρουσίασαν την καλύτερες αντοχές στις προηγούμενες εργαστηριακές δοκιμές. Επομένως ήταν και αυτά που θα είχαν τα πιο καλά αποτελέσματα.

Έπειτα από την έκθεση των δοκιμών στα καιρικά φαινόμενα για διάστημα 40 ημερών παρατηρήθηκαν οι εξής μεταβολές.



Εικόνα 79: Δοκίμια μετά την τοποθέτησή τους στο εξωτερικό περιβάλλον

Το πρώτο δοκίμιο (AD75-500) δεν παρουσίασε κάποια ιδιαίτερη μεταβολή, παρά μόνο ελάχιστη απώλεια υλικού περιμετρικά της βάσης του. Το δεύτερο δοκίμιο (AD80-600) δεν εμφάνισε καμία μεταβολή κατά την διάρκεια της έκθεσης του στο εξωτερικό περιβάλλον. Τέλος το τρίτο δοκίμιο (AD80-600-GO₂) κατά την αφαίρεσή του από το φυσικό έδαφος

αποσυγκολλήθηκε από την βάση του, με αποτέλεσμα να αποσπαστεί σημαντικό τμήμα του.



Εικόνα 8: Βάση δοκιμίου AD80-600-GO2(1)

4.5 Συμπέρασμα

Έπειτα από την ολοκλήρωση των τριών εργαστηριακών δοκιμασιών που πραγματοποιήθηκαν συμπεραίνουμε ότι το πιο ανθεκτικό δοκίμιο σε όλες τις καταπονήσεις που τους επιβλήθηκαν είναι το AD80-600. Το σύνολο των δοκιμών παρουσίασε απώλεια τμήματος κυρίων στην βάση του, ακόμα και αποσυγκόλληση μεγάλου τμήματός του. Όμως το AD80-600 κατά την διάρκεια και των τριών εργαστηριακών ελέγχων δεν σημείωσε κάποια αστοχία ούτε και απώλεια τμήματος.

5. Εργαστηριακό μέρος 2 | AD70OL30

5.1 Ανάπτυξη μονωτικού υλικού από καλάμι και ελιά

Με αφετηρία την ανάπτυξη του Cretablock, στο πλαίσιο της παρούσας ερευνητικής επιχειρήθηκε η ανάπτυξη ενός νέου θερμομονωτικού υλικού που επιδιώκει να αξιοποιήσει ένα ευρύτερο φάσμα αγροτικών καταλοίπων μέσω της εκμετάλλευσης των καλάμιών αλλά και των φύλλων ελιάς. Η ώθηση για την επιλογή των υλικών έγινε από τις ιδιότητες των δύο αδρανών συστατικών που σε συνδυασμό με τις κατάλληλες κονίες παρουσιάζουν τις προοπτικές ανάπτυξης ενός πολύ ανθεκτικού υλικού.

Συγκεκριμένα έγινε αξιοποίηση των μηχανικών αντοχών του καλαμιού (*Arundo donax*), της ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων που μπορούν να προσφέρουν οι πολυφαινόλες των φύλλων ελιάς (*olive leaves*) και των φυσικών αντιμικροβιακών συστατικών.

Βασισμένοι στην συνταγή που χρησιμοποιήθηκε για το Cretablock, με αδρανή το καλάμι και τα φύλλα ελιάς και με τις κονίες που αναφέρονται στο παράρτημα (3.1) έγιναν οι δοκιμές που παραθέτονται παρακάτω με στόχο την εύρεση των βέλτιστων αναλογιών στα πλαίσια του Εργαστηρίου Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.

5.2 Χαρακτηριστικά και βέλτιστες αναλογίες

Διαδικασία 1:

Αρχικά συγκεντρώνονται όλα τα υλικά (καλάμι, φύλλα ελιάς, ασβεστοπολτός, ποζολάνη προλατ και νερό) και υπολογίζονται οι κατάλληλες ποσότητες.

συνταγή		ml για 2L
putty lime	12,50%	250
pozzolanic additive	7,50%	150
arundo donax chips	40%	800
olive leaves	40%	800
water/binder	0,5	200
siever	10mm	
wet density	0,622	

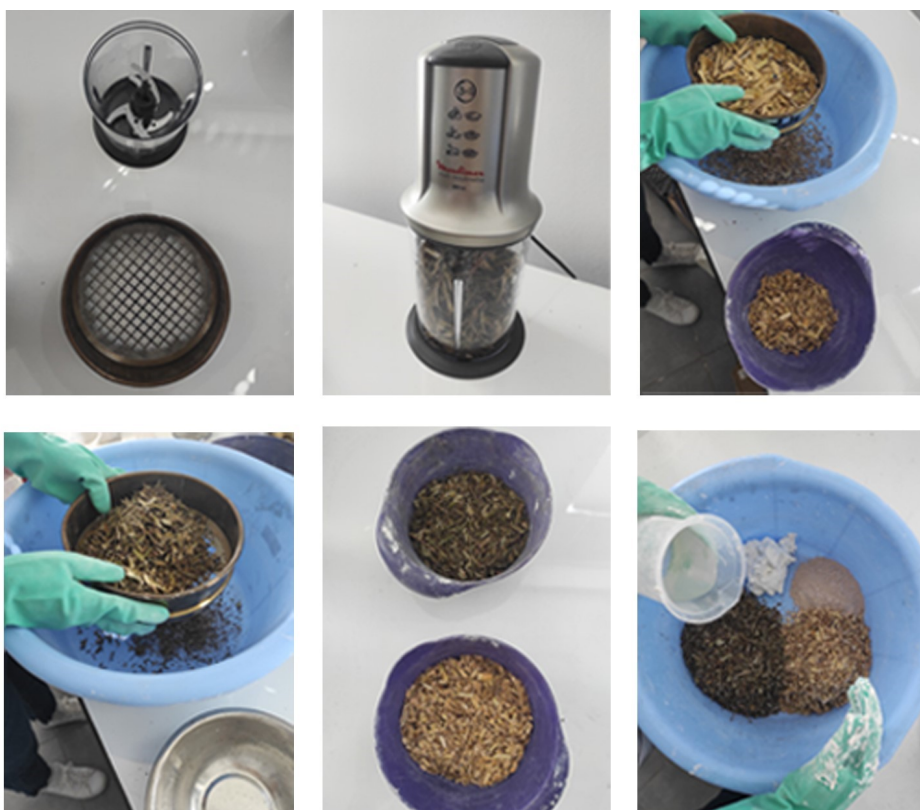
Πίνακας 5: Συνταγή για AD40OL40



Εικόνα 81: 1.ασβεστοπολτός 2.ποζολάνη 3.καλάμι 4.φύλλα ελιάς 5.νερό 6.καλούπι ποτηράκι 7.καλούπι τετράγωνο

Σε πρώτη φάση χρησιμοποιήσαμε 50% φύλλα ελιάς και 50% καλάμι για αδρανή

Όλα τα υλικά τοποθετούνται σε μια λεκάνη και ανακατεύονται με το χέρι(με τη χρήση γαντιού) έως ότου τα αδρανή έχουν καλυφθεί πλήρως από τις κονίες ώστε να δημιουργηθεί ένα ομοιογενές μείγμα. Ύστερα υπολογίζεται ο όγκος των καλουπιών που θα χρησιμοποιηθούν (καλούπι 'ποτηράκι' 120ml , καλούπι 'τετράγωνο 9x9x3mm' 243ml) και γίνεται η μετατροπή σε γραμμάρια ανάλογα με την επιθυμητή πυκνότητα. Τέλος το μείγμα ADOL τοποθετείται στα καλούπια.





Εικόνα 82-92: Τα βήματα της διαδικασίας 1

Για αρχή η πυκνότητα που εφαρμόστηκε ήταν $0,622 \text{ g/cm}^3$: ποτηράκι: 74,66 gr, τετράγωνο: 151,2 gr

Έπειτα από την αφαίρεση των καλουπιών στα πρώτα δοκίμια το αποτέλεσμα δεν ήταν πολύ ικανοποιητικό καθώς υπήρξε αστοχία των δειγμάτων.



Εικόνα 93: Αστοχία δοκιμίου



Εικόνα 94: Πλήρης αποκόλληση υλικού



Εικόνα 95: Μη σταθερή βάση

Για τον λόγο αυτό τα δεδομένα παραγωγής των δοκιμίων επανεξετάστηκαν και προχωρήσαμε σε νέα διαδικασία.

Διαδικασία 2:

Σε δεύτερη φάση ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία όπως παραπάνω με την διαφορά της αναλογίας των αδρανών τα οποία μεταβλήθηκαν σε 70% τεμαχισμένο καλάμι και 30% φύλλα ελιάς. Η συνταγή των δοκιμίων είχε ως εξής:

Putty lime	12,50%
Pozzolanic additive	7,50%
Arundo donax chips	56%
Olive leaves	24%
water/binder	0,5

Η πυκνότητα των δοκιμίων ήταν η ίδια με των προηγούμενων, δηλαδή 0,622 g/cm³ : ποτηράκι: 74,66 gr, τετράγωνο: 151,2 gr

Τα αποτελέσματα μετά την αφαίρεση των καλουπιών ήταν λίγο καλύτερα συγκριτικά με εκείνα της πρώτης φοράς, αλλά σημειώθηκε ξανά αστοχία.



Εικόνα 96: Δείγματα πριν την αφαίρεση καλουπιών



Εικόνα 97: Απώλεια τμημάτων κατά την αφαίρεση καλουπιών

Διαδικασία 3:

Σε τρίτη φάση πραγματοποιείται παραγωγή δειγμάτων με αναλογίες αδρανών καλαμιού/φύλλων ελιάς 70/30. Στην συγκεκριμένη διαδικασία παράχθηκαν δείγματα δύο διαφορετικών πυκνοτήτων 0,622 g/cm³ και 0,699 g/cm³ με βάση την διαδικασία 1 και με κοσκίνισμα αδρανών από κόσκινο 10mm. Επίσης πραγματοποιήθηκε προσθήκη βάρους στα δοκίμια με σκοπό την ορθότερη ξήρανσή τους και την αποφυγή θρυμματίσεως της βάσης τους.

Πυκνότητα 0,699 g/cm³ : ποτηράκι: 97,06gr, τετράγωνο: 170 gr



Εικόνα 98: Παραγωγή δοκιμίων με πυκνότητα 0,622 g/cm³ και 0,699 g/cm³



Εικόνα 99: Τοποθέτηση βαριδίων στα δοκίμια κατά την ξήρανσή τους

Έπειτα από αφαίρεση καλουπιών των δοκιμίων παρατηρήθηκε ότι καλύτερα αποτελέσματα είχαν τα δείγματα με την μεγαλύτερη

πυκνότητα, $0,699 \text{ g/cm}^3$, καθώς τα άλλα θρυμματίστηκαν και παρουσίασαν ευαισθησία κατά την μεταφορά τους.



Εικόνα 100: Δοκίμια με πυκνότητα $0,699 \text{ g/cm}^3$

Διαδικασία 4:

Σε τέταρτη φάση πραγματοποιήθηκε διαδικασία παραγωγής με αναλογίες αδρανών καλαμιού/φύλλων ελιάς 50/50 και πυκνότητα $0,699 \text{ g/cm}^3$. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την διαδικασία 1 και με βάση την συνταγή της διαδικασίας 1, με την διαφορά ότι τα αδρανή πέρασαν από κόσκινο 5mm για να έχουμε λεπτόκοκκα αδρανή. Στόχος ήταν να μειωθεί η γυαλιστερή πλευρά των φυτικών αδρανών ώστε το μείγμα να ομογενοποιηθεί καλύτερα και να επιτευχθεί βέλτιστη συνοχή και καλύτερες αντοχές. Επίσης έγινε προσθήκη βάρους.



Εικόνα 101: Παραγωγή δοκιμών 50/50, πυκνότητας $0,699 \text{ g/cm}^3$

Έπειτα από αφαίρεση καλουπιών των δοκιμίων σημειώθηκαν σχετικά εύθραυστα δοκίμια με τάση αποσυγκόλλησης των γωνιακών τμημάτων τους.



Εικόνα 102: Αφαίρεση καλουπιών

Διαδικασία 5:

Σε Πέμπτη φάση δημιουργήθηκαν δοκίμια με αναλογίες αδρανών καλαμιού/φύλλων ελιάς 70/30 και πυκνότητα $0,699 \text{ g/cm}^3$. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την διαδικασία 2 και με βάση την συνταγή της διαδικασίας 2. Τα αδρανή των φύλλων ελιάς έγιναν σχεδόν σκόνη και τα αδρανή του καλαμιού περάστηκαν από κόσκινο 5mm. Με το κοσκίνισμα επιτυγχάνεται ομοιογένεια στα μεγέθη των αδρανών, γεγονός που βοηθά στην ομοιογένεια του μίγματος. Επίσης είναι απαραίτητη η προσθήκη βαριδίου στο πάνω μέρος των δειγμάτων, καθώς υπάρχει καλύτερη συνοχή έπειτα από την αφαίρεση των καλουπιών.



Εικόνα 103: Δοκίμια αναλογίας 70/30 και πυκνότητας $0,699 \text{ g/cm}^3$

Έπειτα από την αφαίρεση των καλουπιών, παρατηρήθηκαν οι βέλτιστες αντοχές συγκριτικά με τις προηγούμενες διαδικασίες και τα δοκίμια δεν είχαν καμία απώλεια τμήματος κατά την αφαίρεση καλουπιών ή κατά την μεταφορά τους.



Εικόνα 104: Παρουσίαση πολύ καλών αποτελεσμάτων

Διαδικασία 6:

Σε έκτη φάση δημιουργήθηκαν δοκίμια με αναλογίες αδρανών καλαμιού/φύλλων ελιάς 50/50 και πυκνότητα $0,699 \text{ g/cm}^3$. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την διαδικασία 1 και με βάση την συνταγή της διαδικασίας 1. Τα αδρανή των φύλλων ελιάς έγιναν σχεδόν σκόνη και τα αδρανή του καλαμιού περάστηκαν από κόσκινο 5mm. Τέλος προστέθηκε βάρος στο πάνω μέρος των καλουπιών.



Εικόνα 105: Δοκίμια αναλογίας 50/50 και πυκνότητας 0,699 g/cm³

Έπειτα από αφαίρεση των καλουπιών, παρατηρήθηκαν όχι τόσο ικανοποιητικά αποτελέσματα όσο της διαδικασίας 5, αφού γωνιακά τμήματα των δοκιμίων σημείωσαν ευθραυστότητα και η μεταφορά των δοκιμίων ήταν αρκετά επίφοβη.



Εικόνα 106: Εμφάνιση εύθραυστων γωνιών και δυσκολία στην μεταφορά

5.3 Συμπέρασμα:

Έπειτα από την ολοκλήρωση 6 διαφορετικών διαδικασιών και δοκιμών με την πυκνότητα και τις αναλογίες των αδρανών καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η καλύτερη διαδικασία ήταν η 5. Επομένως, για βέλτιστες αντοχές και καλύτερο αποτέλεσμα, χρειάζεται να αναμειχθούν

αδρανή καλαμιού/ φύλλων ελιάς αναλογίας 70/30 σύμφωνα με την συνταγή της διαδικασίας 2. Έπειτα χρειάζεται τα αδρανή των φύλλων ελιάς να γίνουν σχεδόν σκόνη και να περαστούν από κόσκινο 5mm όπως και το καλάμι είναι απαραίτητο να περάσει από το ίδιο κόσκινο. Η πυκνότητα των δειγμάτων που παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα είναι η 0,699 g/cm³ g/cm³. Τέλος είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί βαρίδιο στο πάνω μέρος των δοκιμών καθώς υπάρχει καλύτερη συνοχή στα δοκίμια.

6. Πρόταση για εφαρμογή σε παραδοσιακές κατασκευές

6.1 Εισαγωγή

Τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα των εργαστηριακών ελέγχων πάνω στο θερμομονωτικό υλικό που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο , αποτελούν ένα έναυσμα για πιθανή μελλοντική χρήση αυτού, σε πολλούς τύπους κατασκευών.

Λόγω της έκτασης του θέματος, σε αυτό το κεφάλαιο η προσοχή θα εστιαστεί στην ανάπτυξη μιας πρότασης εφαρμογής που αφορά παραδοσιακά κτίρια στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης ώστε η διαδικασία αποκατάστασης ή ενεργειακής βελτίωσης αυτών να είναι φιλική προς το περιβάλλον και να έχει χαμηλότερο ενεργειακό αποτύπωμα.

Παράλληλα με αυτό τον τρόπο επιδιώκεται η επίλυση του προβλήματος της μόνωσης σε κτήρια οικισμών στα οποία δεν υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης θερμοπρόσοψης λόγω απαγόρευσης της μορφοποίησης της εξωτερικής αισθητικής η οποία προστατεύεται από τις διατάξεις του άρθρου 4 του Ν.1577/1985.

Η θερμομόνωση των κτιρίων στα παραδοσιακά κτίσματα επιτυγχανόταν με τεχνικές στις οποίες βρίσκει τις ρίζες της η μοντέρνα βιοκλιματική αρχιτεκτονική αλλά και με τη χρήση διαφόρων υλικών με ποικίλους τρόπους εφαρμογής όπως για παράδειγμα στρώσεις ξηρών φυκιών ή βούρλο στα δώματα που σε συνδυασμό με την επεξεργασία των εξωτερικών επιφανειών είχαν αξιόλογο θερμομονωτικό αποτέλεσμα (Καϊτατζής, 2006).



Εικόνα 107-108 Μόνωση με φύκια, παραδοσιακή κατοικία στην Πάρο

(<https://kataskevesktirion.gr>)

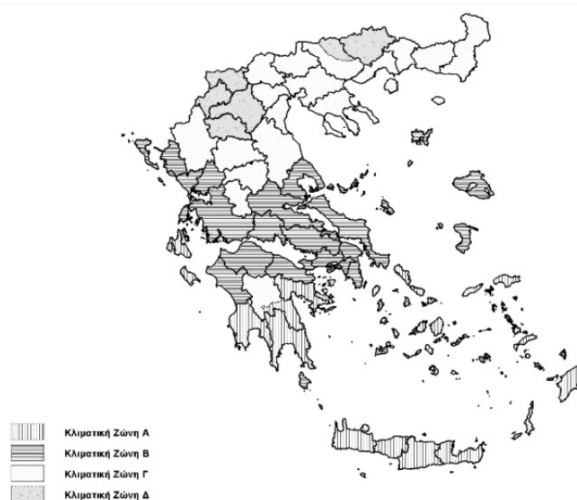
Με βάση τις αρχές αυτές των παραδοσιακών μεθόδων θερμομόνωσης, με τη χρήση του νέου αυτού υλικού βασισμένου σε φυσικά υλικά που προέρχονται από τον τόπο στον οποίο χρησιμοποιείται επιδιώκεται μονωτικό αποτέλεσμα αντάξιο αυτών που προκύπτουν από τη χρήση συμβατικών υλικών μη φυσικών στο

περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατή μία παρέμβαση στο κέλυφος του κτιρίου πιστή στην παράδοση, με χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα και κόστος παραγωγής.

Η συγκεκριμένη πρόταση μπορεί με τις κατάλληλες προσαρμογές να εφαρμοστεί και σε παραδοσιακές κατοικίες που εντοπίζονται στα νησιά του Αιγαίου οι οποίες μοιράζονται κοινά βασικά τυπολογικά χαρακτηριστικά με αυτές της Κρήτης (ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ Κ., 2008). .

6.2 Εφαρμογή

Σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό η Κρήτη βρίσκεται στην α κλιματική ζώνη (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2010). της οποίας ο μέγιστος επιτρεπτός συντελεστής θερμοπερατότητας καλύπτεται με τοποθέτηση πάνελ πάχους 10 εκατοστών εσωτερικά της παραδοσιακής κατοικίας στον τοίχο και την οροφή. Για την περίπτωση τοποθέτησης σε άλλες κλιματικές ζώνες υπάρχει δυνατότητα αύξησης του πάχους του υλικού ώστε να πληρεί τις προϋποθέσεις. Εναλλακτικά είναι εφικτή η τοποθέτησή του σε απόσταση από τον τοίχο και με πλήρωση του κενού με αλλά φυσικά θερμομονωτικά όπως π.χ. μαλλί προβάτου.



Εικόνα 109: Σχηματική απεικόνιση των κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας

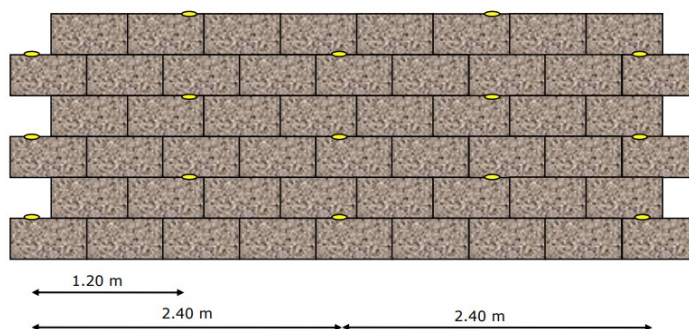
(<http://portal.tee.gr/>)

Προτείνεται η τοποθέτηση με μικρή απόσταση 10εκ. Από το έδαφος για αποφυγή προσβολής από την ανοδική υγρασία. Στη συνέχεια τα πάνελ στερεώνονται στον τοίχο με τη χρήση μεταλλικών γαλβανισμένων γωνιών σύνδεσης στήριξης 30x70mm. Η στήριξη των γωνιών στον τοίχο γίνεται με βίδες ενώ στα πάνελ γίνεται με πρόκες των 70mm. Για

την στερέωση απαιτείται μία μεταλλική γωνία ανά δύο τετραγωνικά ή ανά 1,20 m στον οριζόντιο άξονα (Technichanvre, 2016).



Εικόνα 110: γωνία στήριξης



Εικόνα 111: τοποθέτηση μπλοκ σε τοίχο

(<http://www.technichanvre.com/>)

Στην περίπτωση που η κατοικία βρίσκεται σε κλιματική ζώνη που απαιτεί μεγαλύτερο πάχος θερμομόνωσης εσωτερικά ακολουθείται το ίδιο πρότυπο με γωνίες μεγαλύτερου μήκους που επιτρέπουν την απόσταση από τον τοίχο για την τοποθέτηση επιπλέον θερμομονωτικού υλικού.



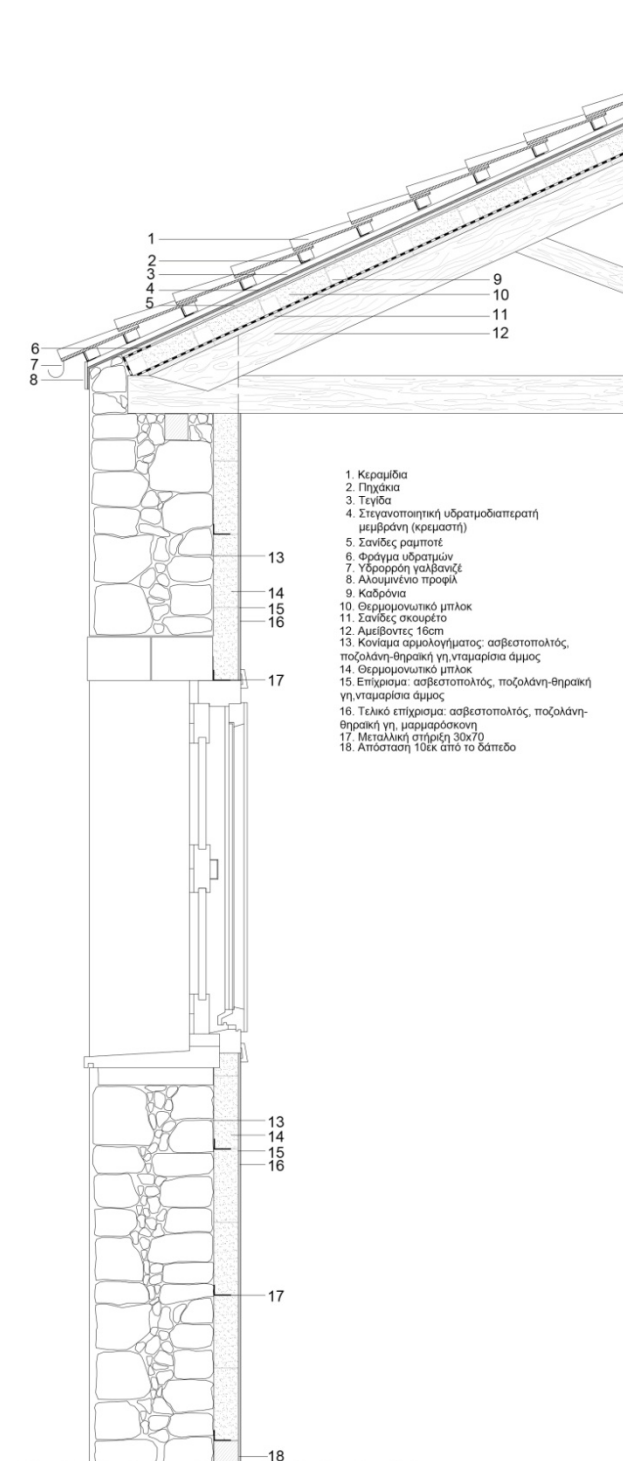
Εικόνα 112: Τοποθέτηση του μπλοκ σε απόσταση από τον τοίχο

(<http://www.technichanvre.com/>)

Σημαντική είναι και η μετατόπιση της κάθε σειράς κατά τουλάχιστον 1/3 του μήκους του μπλοκ ώστε να αποφευχθούν οι ενιαίοι αρμοί κατακόρυφα και να εξασφαλιστεί η στατική επάρκεια της κατασκευής (Technichanvre, 2016).

Ανάμεσα στα πάνελ και σε σχέση με τον τοίχο προτείνεται αρμολόγημα από φυσικά υλικά (ασβεστοπολτός, ποζολάνη-θηραϊκή γη, νταμαρίσια άμμος) σε αναλογίες 1-0,4-4,5. Με τη χρήση οδοντωτής σπάτουλας τοποθετείται μια λεπτή στρώση του κονιάματος, πάχους 3mm, για την ενοποίηση των μπλοκ μεταξύ τους αλλά και από σειρά σε σειρά. Το προτεινόμενο επίχρισμα χωρίζεται σε 2 στρώσεις. Η εσωτερική στρώση που εφαρμόζεται απευθείας επάνω στο θερμομονωτικό υλικό

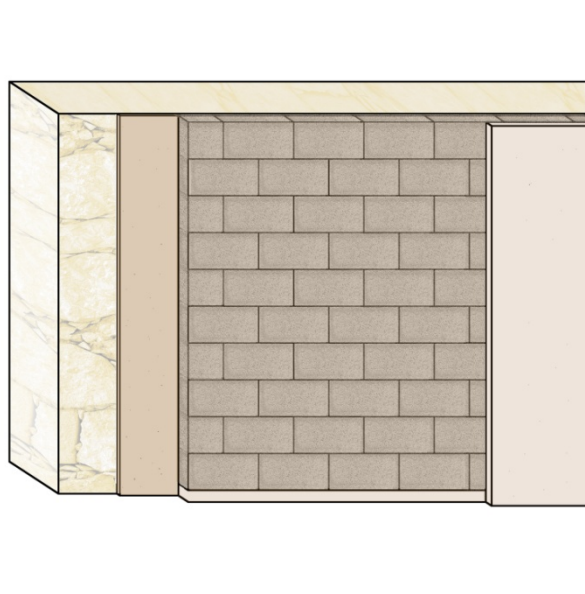
είναι η ίδια με αυτή του αρμολογήματος , ενώ η δεύτερη στρώση αποτελείται από ασβεστοπολτό, ποζολάνη-θηραϊκή γη και μαρμαρόσκονη για πιο λείο αποτέλεσμα.



Εικόνα 113: Κατασκευαστική τομή τοποθέτησης υλικού (προσωπικό αρχείο με εμπλουτισμό λεπτομερειών από σχέδια της Claire Oiry)



Εικόνα 114: Γέμισμα καλουπιού για τη δημιουργία τούβλου δοκιμής (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 115: Διαστρωμάτωση υλικών πάνω σε τοίχο(προσωπικό αρχείο)

6.3 Κατασκευή προπλάσματος

Τέλος , στο πλαίσιο της εργασίας έγινε μία μακέτα απεικόνισης της εφαρμογής των υλικών. Για την κατασκευή της , κατασκευάσαμε ένα καλούπι διαστάσεων 150x80x40 mm με το οποίο μπορεί να γίνει παραγωγή έως τριών μικρών μπλοκ του υλικού σε κλίματα 1:20 ανά γέμισμα(εικ. 116,117)



Εικόνα 116: Χειροποίητο καλούπι*



Εικόνα 117: Δοκίμια για την κατασκευή
προπλάσματος*



Εικόνα 118: Δοκιμή κονιάματος*

**εικόνες προσωπικού αρχείου*

Στη συνέχεια , έγινε η παραγωγή του κονιάματος και των επιχρισμάτων βάσει των αναλογιών που αναφέρονται στο κεφάλαιο 6.2 και εφαρμόστηκαν σε επιφάνεια όπως φαίνεται στις εικόνες 119, 120,121.



Εικόνα 119: Τοποθέτηση των μπλόκ πάνω στον τοίχο μετά το αρμολόγημα



Εικόνα 120: Πρώτη στρώση επιχρίσματος με τοποθέτηση πλέγματος για αποφυγή ρηγμάτωσης του υλικού



Εικόνα 121 :Κάλυψη του πλέγματος



Εικόνα 122: Τοποθέτηση τελικής στρώσης επιχρίσματος

*εικόνες προσωπικού αρχείου

Βιβλιογραφία

- European Comission. (2012, 3). Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure 4,4'-Diaminodiphenylmethane [MDA]Limits for. *Employment, Social Affairs and Inclusion* , σσ. 6-7.
- A. Mousa, G. H. (2010, 59). Thermoplastic composites based on renewable natural resources: unplasticized PVC/Olive husk. *International Journal of Polymeric Materials* , σ. 843.
- Aigbomian E. P., F. M. (2014, February Volume 52, 15). Development of wood-crete from treated sawdust. *Construction and Building Materials* , σσ. 353-360.
- Andrault J., G. M. (2014-15). Αφέτες (Βόρειο Τμήμα). Αθήνα: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ - ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΑΤΟΜΕΑΚΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ 5ΟΥ ΕΞΑΜΗΝΟΥ.
- anelixi. (1994). <https://anelixi2020.org/>. Ανάκτηση 2 17, 2023, από <https://anelixi2020.org/kathara-ylika-kai-technologies/kathara-ulika-kai-texnologies-oikodomika-proionta-monoseis-oriktes-monoseis-monoseis-yalovamvaka/>
- Arizzi A., B. M. (2015, 05). The Influence of the Type of Lime on the Hygric Behaviour and Bio-Receptivity of Hemp Lime Composites Used for Rendering Applications in Sustainable New Construction and Repair Works. *PLOS ONE* .
- Arsyad M.A., , A. (2019 , Volume 28 Issue 1). Effects of Olive Leaf Powder on Mechanical Properties of Heat-Induced Surimi Gel. *Journal of Aquatic Food Product Technology* , σ. Abstract.
- Aubin, M. S.-B. (2015, 1(1)). Industrial Hemp Response to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilization. *Crop, Forage, and Turfgrass Management* , σ. 2.
- Berglund L., T. N.-V. (2021 , 13 (29)). Seaweed-Derived Alginate–Cellulose Nanofiber Aerogel for Insulation Applications. *ACS Applied Materials & Interfaces* .
- Bouasria M., M. Y. (2021, 06 15). Valorisation of stranded Laminaria digitata seaweed as an insulating earth material. *Construction and Building Materials* , σσ. 4 - 6.
- Canyaviva. (2008). *Canyaviva Architectura Natural*. Ανάκτηση από <https://canyaviva.org/>
- Cazalla O., R.-N. C. (2004, 12 21). Aging of Lime Putty: Effects on Traditional Lime Mortar Carbonation. *Journal of the American Ceramic Society* .
- CEN. (2012). 13163:2012, EN. *Thermal insulation products for buildings - Factory made expanded polystyrene (EPS) products - Specification* .

- Coatanlem P., J. R. (2006, November Volume 20, Issue 9). Lightweight wood chipping concrete durability. *Construction and Building Materials* , σ. 777.
- Collins R., C. S. (1994). Recycling and Use of Waste Materials and By-Products in Highway Construction. *National Cooperative Highway Research Program* .
- Dahmen J. (2017, 01). Soft Futures: Mushrooms and Regenerative Design. *Journal of Architectural Education* .
- Damanhuri M., L. ,. (2020, 04). Mechanical Properties of Rice Husk Ash (rha) Brick as Partial Replacement of Clay. *Journal of Physics* .
- Desigupro. (2015). Θερμομόνωση με αφρό πολυουρεθάνης (PPU). Ανάκτηση από myhouse-el.desigupro.com: <https://myhouse-el.desigupro.com/strojmaterialy-i-tehnologii/uteplenie-penopoliuretanom#i-2>
- Dudley, T. L. (2000). *Arundo donax* L. In: Bossard, Carla C.; Randall, John M.; Hoshovsky, Marc C., eds. Invasive plants of California's wildlands. *Berkeley, CA: University of California Press* , σσ. 53-58.
- Ecology, W. D. (2021). *ecology.wa.gov*. Ανάκτηση 2 18, 2023, από 2021 plastics laws: <https://ecology.wa.gov/Waste-Toxics/Reducing-recycling-waste/Waste-reduction-programs/Plastics/2021-plastic-pollution-laws/Expanded-polystyrene-ban>
- Espeso J., I. A. (2021). Olive Leaf Waste Management. *Frontiers in Sustainable Food Systems* , σσ. 4-6.
- Euring M., K. A. (2015, 02 10). Hot-air/hot-steam process for the production of laccase-mediator-system bound wood fiber insulation boards. *BioResources* .
- FNR, f. n. (2019). *Insulating materials-renewable raw materials*. Gülzow-Prüzen: bundesministerium für ernährung landwirtschaft und verbraucherschutz.
- Gehring, C. L. (2019, 164). Processing of Caustic Calcined Magnesite (Magnesium Oxide) by the Use of Triboelectrostatic Belt Separation. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* , σ. 303.
- Greco S., M. L. (December 2022). *Microscopical features of six species of Phyllostachys bamboo and Arundo donax*.
- Greenbuilding. (2015, 11 20). *greenbuilding.gr*. Ανάκτηση 2 17, 2023, από <https://greenbuilding.gr/thermomonose/%CF%85%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%B2%CE%AC%CE%BC%CE%B2%CE%B1%CE%BA%CE%B1%CF%82/>
- Hafliger E, S. H. (1981). *Grass weeds* 2. Basle Switzerland, 23 pp: Ciba-Geigy Ltd.
- Hewlett P. (1998). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Elsevier.
- IARC, A. C. (2022). *Monographs* , σ. 1.
- IGFI, C. p. (2002). Thermal insulation products for buildings - Factory made products of expanded polystyrene (EPS) - Specification. *SIST EN 13163:2002* , 7.
- Innovation, E. T. (2013, 12). Energy Efficiency Directive. *Austrian Federal Ministry of Economy* .

- J.M. Romero-García, L. N.-P. (2014). Biorefinery based on olive biomass, State of the art and future trends. *Bioresource Technology* 179 , σσ. 421-432.
- Jeffry S.N.A., J. P. (2016). The Influence of Coconut Shell as Coarse Aggregates in Asphalt Mixture. *Key Engineering Materials* .
- Kadir K., H. H. (2015, VOL. 10, NO. 15). The utilization of coffee waste into fired clay brick. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences* , σ. Abstract.
- Kandah. (2022, 2 17). Production of Biodegradable Bioplastics Filled with Jordanian Olive Tree Leaves. *Chemical and Engineering Technology* , σσ. 755-761.
- Kheetan M. (2022, 12). Properties of lightweight pedestrian paving blocks incorporating wheat straw: Micro-to macro-scale investigation. *Results in Engineering* .
- Kirchherr J., R. D. (2017, 12). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling* , σσ. 1-8.
- KnaufInsulation. (2014). Συμβουλές για την εφαρμογή του ξυλόμαλλου Heraklith. Ανάκτηση από <https://www.knaufinsulation.gr/%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AE%CF%82-heraklith>
- KnaufInsulation. (2012). ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ ΚΑΙ ΠΩΣ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ;. Ανάκτηση 2023, από <https://www.knaufinsulation.gr/>: <https://www.knaufinsulation.gr/en/node/239>
- Korjenic A., P. V. (2011, 09). Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings* , σσ. 1-4.
- Korukluoglu M., S. Y. (2010, 34). Antibacterial activity and chemical constitutions of *Olea europaea* l. leaf extracts. *Journal of Food Processing and Preservation* , σσ. 383–396.
- Lecompte T., T. P. (2015, 06). Study of lime and hemp concrete (LHC) – mix design, casting process and mechanical behaviors. *ACADEMIC JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING* .
- Linn Berglund, T. N.-V. (n.d.). Seaweed-Derived Alginate–Cellulose Nanofiber Aerogel for Insulation Applications.
- Lowe S., B. M. (2020). 100 of the World’s Worst Invasive Alien Species: A Selection From The Global Invasive Species Database. *Encyclopedia of Biological Invasions. The Invasive Species Specialist Group* , σσ. pp. 715–716.
- Manohar K., R. D. (2006, 03). Biodegradable fibrous thermal insulation. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* .
- Mohammad Dr. (2004). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment* .
- Mohammad Dr. (2005, 03). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment* .
- Mohammad Dr., A.-H. S. (2005, 03). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment* , σσ. 1-6.

- Mohammad Dr., A.-H. S. (2004, 01 19). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment* , σσ. 1-6.
- Mohammad Dr., A.-H. S. (2005, 03). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment* , σσ. 1-6.
- Molari L., S. F. (2020, 6 1). Arundo donax: A widespread plant with great potential as sustainable. *Construction and Building Materials* , σ. 13.
- Morsy M., A. K. (2022, 05 29). Recycling rice straw ash to produce low thermal conductivity and moisture-resistant geopolymer adobe bricks. *Saudi Journal of Biological sciences* .
- Naldzhiev D., M. D. (2020, 2 Volume 169). Polyurethane insulation and household products – A systematic review of their impact on indoor environmental quality. *Building and Environment* , σσ. 20-23.
- Noguchi T., K. R. (2011, 03 10). Minimizing environmental impact and maximizing performance in concrete recycling. *Structural concrete* .
- Oates J. H. (1998). Lime and Limestone: Chemistry and Technology, Production and Uses. *Wiley VCH* .
- Oiry. (2021). Φυτώριο Ιδεών. Ενίσχυση δράσεων ακαδημαϊκής καινοτομίας και επιχειρηματικότητας στα πλαίσια του, (σ. 4). Χανιά.
- Oiry. (2021). Φυτώριο Ιδεών. Φυτώριο Ιδεών Ενίσχυση δράσεων ακαδημαϊκής καινοτομίας και επιχειρηματικότητας στα πλαίσια του Παρατηρητηρίου Καινοτόμου Επιχειρηματικότητας της Περιφέρειας Κρήτης. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Orji, B. T. (2023, 81). Wood fiber - sodium silicate mixtures for additive manufacturing of composite materials. *European Journal of Wood and Wood Products* , σσ. 59–60.
- Pacheco-Torgal F., J. S. (2012). *Toxicity of Building Materials*. Woodhead.
- Panyakaew S., F. S. (2011, 06). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and Buildings* .
- Papacharalampous G., S. E. (2011). FIRST TIME APPLICATION OF EXPANDED POLYSTYRENE. *4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications*. Norway.
- Park S.J, C. S. (2021, 217(123437)). Natural cork agglomerate enabled mechanically robust rigid polyurethane foams with outstanding viscoelastic damping properties. *Polymer* , σ. Conclusions.
- Perdue, R. E. (1958, 12). Arundo donax--source of musical reeds and industrial cellulose. *Economic Botany* , σσ. 368-404.
- Pichon Q. (2015). Base pour construire. *Construire-en-chanvre* .
- Potgieter, J. (1997). High temperature chemistry in a cement. *South African Journal of Chemistry* , σσ. 111-114.
- Prabir, B. (2013). *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory*. Elsevier Inc.

- Rezk, M. R., & Edany, T. Y. (1979, 22(2)). Comparative responses of two reed species to water table levels. *Egyptian Journal of Botany* , σ. 157.
- Rhydwen R., B. R. (2010). An investigation of the thermal properties of hemp and clay monolithic walls. *Proceedings of Advances in Computing and Technology* (σσ. 163-170). London: roar@uel.
- Rieger, J. P., & Kreager, D. A. (1989). Giant reed (*Arundo donax*): a climax community of the riparian zone. *Proceedings of the California Riparian Systems conference* (σσ. 222-225). Davis, CA: Protection, management, and restoration for the 1990's.
- Robert E. Perdue, J. (1958, Oct. - Dec). *Arundo donax*: Source of Musical Reeds and Industrial Cellulose. *Economic Botany*, Vol. 12, No. 4 , σ. 369.
- RT82. (2013). *Fire Safety Encyclopedia*. Ανάκτηση 2 2023, 17, από <https://rt82.ru/en/the-theory-of-suppression/harakteristiki-min-vaty-minvata-harakteristiki-vidy-sovety/>
- Ruiz-Agudo E., R.-N. C. (2010, 06 26). Microstructure and Rheology of Lime Putty. *ACS Publications* .
- Sassu M., G. L. (2016, 07). On the Use of Vibro-Compressed Units with Bio-Natural Aggregate. *Buildings* , σσ. 1-6.
- Saxton T. (n.d.). Cork Insulation Guide.
- Sierra-Pérez J., B.-R. J.-L. (2015). Environmental implications of cork as thermal insulation in façade retrofits. *Advanced Building Skins Conference*. Bern (Switzerland) : https://www.researchgate.net/publication/283546981_Environmental_implications_of_cork_as_thermal_insulation_in_facade_retrofits.
- Smith-Heisters, S. (2008, 13(2)). Environmental Costs of Hemp Prohibition in the United States. *Journal of Industrial Hemp* , σ. 8.
- State of New Jersey Healthcare. (2010). *Hazardous Substance Fact Sheet-urethane*. New Jersey, Usa: <https://www.nj.gov/>.
- Sulastiningsih, I., Sutigno, P., & Memed, R. (1987, 4(3)). Properties of wood-wool board manufactured from 19 wood species from central Sulawesi. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan (Indonesia)* , σσ. 21-25.
- Taoukil, D. E. (2012). Effect of the incorporation of wood wool on thermo physical proprieties of sand mortars. *KSCE Journal of Civil Engineering* .
- Technichanvre. (2016). *Technichanvre* , σ. 7.
- Technichanvre. (2016). The hemp block for insulation in construction. (σ. 20). France: Technichavre.
- technoexpo. (2018, 7 22). *techno.expertexpro.com*. Ανάκτηση 2 17, 2023, από Τεχνικά χαρακτηριστικά του ορυκτοβάμβακα, τα σήματα και τα κριτήρια επιλογής του: <https://techno.expertexpro.com/el/stroitelnye-materialy/77-minvata-tekhnicheskie-kharakteristiki.html>
- Technomorfi. (2019, May 8). <https://www.technomorfi.gr/>. Ανάκτηση 2 19, 2023, από <https://www.technomorfi.gr/ell/product/Leyki-Diogkomeni-Polysterini-EPS>

- Trump, D. P. (2021 , January 29). Wood Insulation Guide - Pros, Cons, and Cost. *Rise* .
- U. Fillat, B. W.-S. (2018, Issue 179). Assessing cellulose nanofiber production from olive tree pruning residue. *Carbohydrate Polymers* , σσ. 252-261.
- Wilton O., B. H. (2022). Cork Construction. *Bartlett Design Research Folios Publication* , σσ. 18, 30-31.
- Wimmers G., K. J. (2019, 03 14). Fundamental Studies for Designing Insulation Panels. *Bioresources* , σσ. 1-12.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2010, 1 12). <http://www.opengov.gr/>. Ανάκτηση από <http://www.opengov.gr/minenv/?p=189>
- Zipori I., E. R.-G. (2020, 10). Sustainable Management of Olive Orchard Nutrition: A Review. *Agriculture* , σσ. 1–21.
- Αρναούτης Α., Θ. Σ. (2015). Θερμομονωτικά Υλικά. *Ενεργειακό Γραφείο Κύπρου* (σσ. 3-4). Λευκωσία: Ενεργειακό Γραφείο Κύπρου.
- Δημούλη Α. (2006). *ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ*. Ξάνθη.
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. (2010, 6 18). Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. *Official Journal of the European Union* , σ. 13(3).
- ΙΤΕ. (Σε εξέλιξη). `Διερεύνηση καταλληλότητας νέων δασοπονικών ειδών & μεθόδων για αναδασώσεις μετά από πυρκαγιά. *Ερευνητικό πρόγραμμα χρηματοδοτούμενο από το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε*. Θεσσαλονίκη: <https://www.fri.gr/index.php/el/2010-10-07-11-04-50/2012-03-09-12-00-21/2010-11-08-12-44-49>.
- Καϊτατζής, Φ. (2006). *Ελευθροτυπία* .
- Κακάρας, Ι. (2011). Εφαρμογές του ξύλου στην Ελλάδα από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. *15ου Πανελλήνιου Δασολογικού Συνεδρίου*, (σ. Κεφάλαιο 2). Καρδίτσα.
- Καπραβέλος, Β. (2015). *Η χρήση του ξύλου ως βασικό δομικό υλικό*. Αθήνα: ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- Κηπογεωργική. (2017). *Ελιά-Καλλιέργεια – Εχθροί & Ασθένειες*. https://www.kipogeorgiki.gr/journal2/blog/post?journal_blog_post_id=38.
- Κωνσταντίνος, Π. (1997). *Ειδική Δενδροκομία – Ελαιοκομία*. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κωνσταντίνος, Π. (1997). *Ειδική δενδροκομία*. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μαριόγλου ΑΒΕΕ. (n.d.). *Τι είναι η διογκωμένη πολυστερίνη*. Ανάκτηση 2 20, 2023, από <https://panmonotiki.gr/diogkomeni-polysterini-eps/>
- Μπαμίχας. (2013). *Πτυχιακή Εργασία:Μελέτη Θερμομόνωσης κτηρίων-κατοικιών με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς*. Αθήνα: Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ΤΕ. Α.Ε.Ι Πειραιά.
- ΠΑ.ΣΥ.ΔΙ.Π. (1996). *Πως παράγεται το EPS*. Ανάκτηση από www.epshellas.com: <https://www.epshellas.com/index.php/eps/production-eps>

Πανερωπαϊκός Σύνδεσμος Παραγωγών EPS. (2005). *Συμπεριφορά EPS σε περίπτωση πυρκαγιάς*. Πανερωπαϊκός Σύνδεσμος Παραγωγών EPS.

ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ Κ., Δ.-Κ. Α. (2008). ΤΟ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΣΠΙΤΙ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ. αθήνα: ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ ΚΑΙ ΕΦΗΣ ΜΙΧΕΛΗ.

Ποντίκης. (1994). *Ειδική δένδροκομία*. Αθήνα: Σταμούλης.

Βιβλιογραφία εικόνων

Εικόνα 1: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/heat-transfer/heat-losses/insulation-materials/expanded-polystyrene-eps/>

Εικόνα 2: <https://φελιζολ.com/wp-content/uploads/kokkos-felizol-1-300x187.jpg>

Εικόνα 3: <https://www.bozios.gr/product/monosi/thermomonwsi/eksilasmeni-polysterini/fibran-maestro-toichoy-2500x600x80/>

Εικόνα 4: <https://wtinsulation.en.made-in-china.com/product/RyfEjLubXqhW/China-Thermal-Insulation-Polyurethane-Foam-Board-with-Aluminum-Foil-Coat.html>

Εικόνα 5: <https://www.paragon-protection.com/what-you-should-know-about-spray-foam-insulation/>

Εικόνα 6: <https://www.skliamis.gr/el/monotika/yalobambakas.html>

Εικόνα 7: <https://kouremenos.net/product/petrovamvakas/>

Εικόνα

8: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993721000087?casa_token=gw2gyPOFwWUAAAAA:ahQMnOOJUFiOW5H87tFfZL5L9capdrg1vurf0oZKzI20AS4PTi6nkxeVQ50NPHTRGJaw3LA-g

Εικόνα 9: <https://www.mdpi.com/2075-5309/6/3/40>

Εικόνα

10: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002611?casa_token=5ZYEdNe_qqYAAAAA:WaVEd6dbbQtplcm5K1D8CfcLK4J3bhzoKCaIGjBEx-7qdP7GdQ8jEZ5DbLq4PvdcCR3hNrlXpw

Εικόνα 11: <https://www.mdpi.com/2075-5309/6/3/40>

Εικόνα 12: <https://www.mdpi.com/2075-5309/6/3/40>

Εικόνα

13:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002611?casa_token=5ZYEdNe_qqYAAAAA:WaVEd6dbbQtplcm5K1D8CfcLK4J3bhzoKCaIGjBEx-7qdP7GdQ8jEZ5DbLq4PvdcCR3hNrIXpw

Εικόνα

14:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820327392?casa_token=ltJP-l6qPzkAAAAA:AuooPK77HhNw8sxSVD8bXNS-gzZq--fCUMu2YzvK4CNsSw8qTtJwAaqNqyTY6VR5yxX6_eV5lq

Εικόνα

15:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820327392?casa_token=ltJP-l6qPzkAAAAA:AuooPK77HhNw8sxSVD8bXNS-gzZq--fCUMu2YzvK4CNsSw8qTtJwAaqNqyTY6VR5yxX6_eV5lq

Εικόνα

16:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820327392?casa_token=ltJP-l6qPzkAAAAA:AuooPK77HhNw8sxSVD8bXNS-gzZq--fCUMu2YzvK4CNsSw8qTtJwAaqNqyTY6VR5yxX6_eV5lq

Εικόνα 17:<https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-019-00270-x>

Εικόνα 18:<https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-019-00270-x>

Εικόνα 19:<https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-019-00270-x>

Εικόνα 20:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821015051>

Εικόνα 21:<http://article.nadiapub.com/IJAST/vol59/2.pdf>

Εικόνα 22:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821015051>

Εικόνα 23:<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/224>

Εικόνα 24:<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/224>

Εικόνα 25:<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/224>

Εικόνα 26:<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/224>

Εικόνα 27:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X22001292>

Εικόνα 28:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1529/4/042034/pdf>

Εικόνα 29:<https://www.nature.com/articles/s41598-022-07057-y>

Εικόνα 30:<https://www.cob.gr/technikes/122-adobe-bricks.html>

Εικόνα 31:

https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Brosch_Daemmstoffe_2020_web.pdf

Εικόνα 32: <https://www.insulation-info.co.uk/insulation-material/wood-wool>

Εικόνα

33:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820327392?casa_token=ltJP-l6qPzkAAAAA:AuooPK77HhNw8sxSVD8bXNS-gzZq--fCUMu2YzvK4CNsSw8qTtJwAaqNqyTY6VR5yxX6_eV5lq

Εικόνα

34: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820327392?casa_token=ltJP-l6qPzkAAAAA:AUoopK77HhNw8sxSVD8bXNS-gzZq--fCUMu2YzvK4CNsSw8qTtJwAaqNqyTY6VR5yxX6_eV5lg

Εικόνα 35: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/224>

Εικόνα 36: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/224>

Εικόνα 37: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/224>

Εικόνα 38: <https://www.mdpi.com/2075-5309/6/3/40>

Εικόνα 39: <https://www.mdpi.com/2075-5309/6/3/40>

Εικόνα 40: <https://www.mdpi.com/2075-5309/6/3/40>

Εικόνα 41: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-07057-y>

Εικόνα 42: <https://www.backtoearth.co.uk/wet-process-vs-dry-process-wood-fibre/>

Εικόνα 43: <https://www.sandberg.co.uk/site/inspection/woodwool/>

Εικόνα 44: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/11/4273>

Εικόνα 45: <https://www.soulouposeto.gr/2019/04/paradosiakos-petroktistos-oikismos-aspros-potamos.html>

Εικόνα 46: <http://5a.arch.ntua.gr/project/14155/14439>

Εικόνα 47 : https://en.wikipedia.org/wiki/Olive_tree_of_Vouves

Εικόνα 48: https://en.wikipedia.org/wiki/Olive#/media/File:Olea_europaea_-_K%C3%B6hler%E2%80%93Medizinal-Pflanzen-229.jpg

Εικόνα 49: Ασβεστοπολτός

Εικόνα 50: Ποζολάνη

Εικόνα 51: Φυτώριο Ιδεών

Εικόνα 52: Προσωπικό αρχείο

Εικόνα 53: Φυτώριο Ιδεών

Εικόνα 54: Φυτώριο Ιδεών

Εικόνα 55: Φυτώριο Ιδεών

Εικόνα 56: Φυτώριο Ιδεών

Εικόνα 57,58,59: Φυτώριο Ιδεών

Εικόνα 60: Φυτώριο Ιδεών

Εικόνα 61-106: Προσωπικό αρχείο από τους εργαστηριακούς ελέγχους

Εικόνα 107-108: <https://kataskevesktirion.gr/%CF%84%CE%B1-%CE%B9%CE%BD%CF%8E%CE%B4%CE%B7-%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BC%CE%BF%CE%BD%C>

F%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC-
 %CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%83%CF%84%CE%BF-
 %CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%B7/
 καλουπιών

Εικόνα 109 :

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/kenak/files/TOTEE_20701-1_2017_TEE_1st_Edition.pdf

Εικόνα 110-112:<http://www.technichanvre.com/wp-content/uploads/2013/09/Chanvribloc-Notice-technique-2016.pdf>

Εικόνα 113-122: Προσωπικό αρχείο