



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Διπλωματική Εργασία

ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΠΑΝΕΛ ΜΕ ΤΟΠΙΚΑ ΒΙΟ-ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ
Κολοκοτσά Διονυσία (ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ)
Μαραβελάκη Παγώνα
Γουρνής Δημήτριος**

Χανιά, Μάιος, 2025

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης, της σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών (ΑρΜηχ) του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η δημιουργία θερμομονωτικών πάνελ από τοπικά φυτά για κτίρια με σκοπό την εκπλήρωση συνθηκών θερμικής άνεσης μέσα σε αυτά. Η διπλωματική εργασία αυτή εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας κ. Μαραβελάκη Νόνης, στον οποία οφείλω ευχαριστίες για τη βοήθειά της. Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης στο ερευνητικό προσωπικό του εργαστηρίου και ιδιαίτερα στην κ. Καλή Καπετανάκη και στην κ. Claire Oiry, στην οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη συνεχή τους στήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Αυτή η διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη θερμομονωτικών πάνελ από φυσικά οργανικά υλικά, με σκοπό την προώθηση λύσεων για τη θερμομόνωση κτιρίων που είναι βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον. Τα κύρια υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των δειγμάτων ήταν τα φύκια Ποσειδωνίας, άγριο καλάμι *Arundo Donax* και φύλλα ελιάς. Ως συνδετικά υλικά χρησιμοποιήθηκαν ασβεστοπολτός, ποζολάνη, γύψος, νερό και άργιλος.

Οι θερμικές ιδιότητες των παραγόμενων πάνελ αξιολογήθηκαν με τη χρήση της συσκευής Hot Disk TPS 1500, εφαρμόζοντας τις μεθόδους Standard Analysis και Fine Tune Analysis. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα πάνελ αυτά έχουν ικανοποιητικές θερμομονωτικές ιδιότητες, που μπορούν να ανταγωνιστούν τα συμβατικά θερμομονωτικά υλικά της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Επιπλέον, οι μηχανικές δοκιμές επιβεβαίωσαν ότι τα πάνελ διαθέτουν επαρκή αντοχή για διάφορες εφαρμογές σε κτίρια.

Η επιλογή αυτών των υλικών βασίστηκε στη δυνατότητα εύρεσης με ευκολία καθώς στην ανανεώσιμη φύση τους, συμβάλλοντας στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των θερμομονωτικών υλικών. Η ευρεία διαθεσιμότητα και το χαμηλό κόστος παραγωγής των φυκιών Ποσειδωνίας, του καλάμιού *Arundo Donax* και των φύλλων ελιάς καθιστούν τα πάνελ αυτά οικονομικά αποδοτικά και ελκυστικά για ευρεία χρήση.

Ωστόσο, προέκυψαν κάποιες προκλήσεις κατά τη διάρκεια της έρευνας. Η ποικιλία στις περιβαλλοντικές συνθήκες και η διαφορετική προέλευση των φυσικών υλικών μπορεί να επηρεάσουν τις ιδιότητες των τελικών προϊόντων. Αυτή η μεταβλητότητα απαιτεί επιπλέον έρευνα και βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας για να εξασφαλιστεί η ομοιογένεια και η ποιότητα των παραγόμενων πάνελ.

Συνοψίζοντας, η έρευνα αυτή δείχνει ότι τα θερμομονωτικά πάνελ από φυσικά οργανικά υλικά αποτελούν μια βιώσιμη, οικολογική, αποδοτική και οικονομικά συμφέρουσα λύση για τη θερμομόνωση κτιρίων. Η χρήση αυτών των υλικών μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της κατασκευαστικής βιομηχανίας, ενώ προσφέρει υψηλή απόδοση και χαμηλό κόστος παραγωγής. Παρά τις

προκλήσεις που προέκυψαν, τα θετικά αποτελέσματα υπογραμμίζουν τη δυναμική και τη δυνατότητα ευρείας υιοθέτησης αυτής της τεχνολογίας στο μέλλον.

Abstract

This thesis focuses on the development of thermal insulation panels using natural organic materials, aiming to promote sustainable and environmentally friendly solutions for building insulation. The main materials used for the sample production were *Posidonia oceanica* seagrass, wild reed *Arundo Donax*, and olive leaves. The binding materials included lime plaster, pozzolana, gypsum, water, and clay.

The thermal properties of the produced panels were evaluated using the Hot Disk TPS 1500 device, applying the Standard Analysis and Fine Tune Analysis methods. The results showed that these panels have satisfactory thermal insulation properties, capable of competing with conventional insulation materials used in the construction industry. Additionally, mechanical tests confirmed that the panels possess sufficient strength for various building applications.

The choice of these materials was based on their abundance and renewable nature, contributing to the reduction of the environmental footprint of insulation materials. The wide availability and low production cost of *Posidonia Oceanica* seagrass, wild reed *Arundo Donax*, and olive leaves make these panels economically affordable and attractive for widespread use.

However, some challenges were encountered during the research. The variability in environmental conditions and the different origins of the natural materials can affect the properties of the final products. This variability requires further research and optimization of the production process to ensure the homogeneity, quality and performance of the produced panels.

In conclusion, this research demonstrates that thermal insulation panels made from natural organic materials are a sustainable, ecological, efficient, and economically viable solution for building insulation. The use of these materials can significantly reduce the environmental footprint of the construction industry while providing high performance and low production costs. Despite the challenges faced, the positive results highlight the potential and feasibility of widespread adoption of this technology in the future.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	11
2.1 Μετάδοση θερμότητας.....	11
2.1.1 Μετάδοση της θερμότητας με θερμική αγωγιμότητα	12
2.1.2 Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά	12
2.1.3 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία	13
2.2 Θερμική μόνωση.....	13
2.2.1 Θερμομονωτικά υλικά	13
2.2.2 Ιδιότητες και βασικά χαρακτηριστικά θερμομονωτικών υλικών	14
2.2.3 Θερμομόνωση κτιρίων	20
2.2.4 Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας	20
2.2.4.1 Εσωτερική θερμομόνωση	21
2.2.4.2 Εξωτερική Θερμομόνωση	23
2.2.4.3 Θερμομόνωση με χρήση ειδικών θερμομονωτικών τούβλων	24
2.2.4.4 Θερμομόνωση στον πυρήνα	26
2.2.5 Οφέλη θερμομόνωσης κτιρίων.....	27
2.3 Φύκια - Posidonia Oceanica.....	30
2.4 Καλάμι Arundo Donax	32
2.5 Φύλλα ελιάς.....	35
2.6 Πρόσθετα υλικά για την δημιουργία των πάνελ.....	38
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	41
3.1 Δείγματα και Υλικά	41
3.1.1 Διαδικασία κατασκευής των πάνελ	42
3.2 Μηχάνημα εκτέλεσης μετρήσεων: Hot Disk.....	48
3.3 Στάδια πειραματικής διαδικασίας στο μηχάνημα Hot Disk.....	51
3.4 Αποτελέσματα και Σχόλια	54
3.4.1 Σύγκριση μεθόδων Standard Analysis και Fine Tune Analysis	67
3.4.2 Συμπεράσματα	68
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71

1.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αστικοποίηση και βιομηχανοποίηση που πραγματοποιείται τα τελευταία χρόνια έχουν επηρεάσει και επιβαρύνει σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση, έτσι επιχειρείται η εξοικονόμηση ενέργειας σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας. Ταυτόχρονα η ανάγκη του ανθρώπου να μπορεί να αισθάνεται άνετα και να ζει αξιοπρεπώς, εντείνουν και την επιθυμία για μελέτη και εξέλιξη των συνθηκών διαβίωσης.

Η θερμική μόνωση των κτιρίων είναι ένα από τα ζητήματα αναγκαιότητας που απασχολούν την ανθρωπότητα. Η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, η κατακόρυφη αύξηση της τιμής του πετρελαίου και η ανάγκη του ανθρώπου να νιώθει θερμικά άνετος μέσα σε έναν χώρο, είναι μερικοί από τους λόγους που αναδεικνύουν τη σημαντικότητα της θερμομόνωσης. [1]

Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), τα κτίρια καταναλώνουν το 40% της ενέργειας και ευθύνονται για το 36% εκπομπών CO₂ με αποτέλεσμα να θεωρούνται οι μεγαλύτεροι καταναλωτές ενέργειας. [2],[3] Ως οι μεγαλύτεροι καταναλωτές ενέργειας, η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε στόχο την μείωση τη μείωση των οικιακών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95%, ως το 2050, σε σύγκριση με τα επίπεδα που είχαν μετρηθεί το 1990. Επιπλέον, την μείωση της οικιακής κατανάλωσης ενέργειας έως 50% μέχρι το 2050, συγκριτικά με το 1990.[4] Στην Ελλάδα ήρθε προς ψήφιση το 1979 ο Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων, όπου προέβλεπε την απαιτούμενη μόνωση στο εξωτερικό κέλυφος των κτιρίων. Τα κτίρια που είναι θερμικά μονωμένα, είναι όσα χτίστηκαν από το 1979 και μετά, όπου ψηφίστηκε ο κανονισμός αυτός, με αποτέλεσμα το 80% των κτιρίων να μη είναι θερμαινόμενα. [1], [43]

Στις μέρες μας υπάρχει μεγάλη εξέλιξη των επιστημών και πρόοδος της τεχνολογίας, έτσι φανερώνεται και η ικανότητα για μείωση έως και εκμηδένιση των ενεργειακών απωλειών σε ένα κτίριο (κτίρια nZEB). Πιο συγκεκριμένα, η εγκατάσταση θερμομονωτικών πάνελ σε ένα κτίριο έχει την μεγαλύτερη αποδοτικότητα καθώς μειώνει εξαιρετικά την ενεργειακή κατανάλωση και ταυτόχρονα τις ενεργειακές απώλειες. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μείωση της παραγωγής ενέργειας και των εκπομπών CO₂. [1],[3]

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες θερμομονωτικών υλικών για την θερμική μόνωση των κτιρίων και χωρίζονται σε: [1],[5]

- Οργανικά υλικά
 - ➔ Ινώδη υλικά (γυαλί, βράχος)
 - ➔ Κυψελοειδή υλικά (πυριτικό ασβέστιο, συνδεδεμένο περλίτη, κεραμικά υλικά)
- Ανόργανα υλικά
 - ➔ Ινώδη υλικά (κυτταρίνη, βαμβάκι, ξύλο, ζαχαροκάλαμο, κυτταρικές ίνες)

➔ Κυψελοειδή υλικά (φελλός, αφρώδες καουτσούκ, πολυστυρένιο, πολυαιθυλένιο, πολυουρεθάνη, πολυισοκυαρονικό)

- Μεταλλικές ή μεταλλοποιημένες αντανακλαστικές μεμβράνες
- Aerogels
- Θερμικοί μονωτήρες από απόβλητα
- Σύνθετα πολυμερή υλικά

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη για την κατασκευή θερμομονωτικών πάνελ από τοπικά φυτά, όπου το μονωτικό τους υλικό θα είναι και οικονομικό και αποδοτικό. Πιο συγκεκριμένα έγινε μελέτη για πάνελ όπου δημιουργήθηκαν από διάφορους συνδυασμούς ασβεστοπολτού, γύψου, αργίλου και νερού, με βασικά υλικά τα φύκια Ποσειδωνίας, τα καλάμια και τα φύλλα ελιάς.

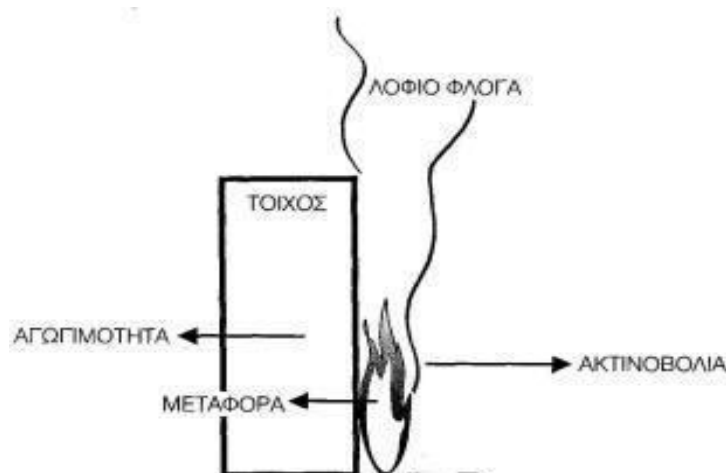
2.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Μετάδοση θερμότητας

Η θερμότητα μεταδίδεται πάντα από ένα θερμότερο σημείο σε ένα άλλο χαμηλότερης θερμοκρασίας με στόχο την εξισορρόπηση των θερμοκρασιών. Η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τον μέσο που υπάρχει ανάμεσα στα δυο σημεία. Πιο συγκεκριμένα οι μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας είναι: [6]

- Με θερμική αγωγιμότητα
- Με μεταφορά ή συναγωγή
- Με θερμική ακτινοβολία



Εικόνα 2.1.3.1: Μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας

2.1.1 Μετάδοση της θερμότητας με θερμική αγωγιμότητα

Ως θερμική αγωγιμότητα ορίζεται η φυσική ιδιότητα που σχετίζεται με τη μετάδοση ενέργειας (θερμότητας) από ένα σώμα ή μόριο σε ένα άλλο μέσω επαφής. Η θερμική αγωγιμότητα μετριέται από τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ενός υλικού (λ). Με αυτό τον τρόπο εκφράζεται η ευκολία ή δυσκολία ενός υλικού στο να μεταφέρει ενέργεια σε σχέση με ένα άλλο. Τα υλικά που η θερμική αγωγιμότητά τους είναι μικρότερη από 0.10 χαρακτηρίζονται ως θερμομονωτικά υλικά λόγω της μεγάλης αντίστασης που επιδεικνύουν στην μεταφορά θερμότητας.

2.1.2 Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά

Ως μεταφορά ορίζεται η ανταλλαγή θερμότητας στη μάζα ρευστών σωμάτων από μια περιοχή σε μια άλλη. Έτσι επιτυγχάνεται η μεταφορά των ρευστών (αέριων ή υγρών) από τα θερμά σημεία στα ψυχρότερα με αποτέλεσμα την θέρμανσή του. Αυτό πραγματοποιείται είτε φυσικά, όπου η ροή του ρευστού οφείλεται στις διαφοροποιήσεις της πυκνότητας, είτε εξαναγκασμένα, όπου η μετακίνηση του ρευστού είναι εξαναγκασμένη από κάποια αντλία (π.χ. καλοριφέρ).

2.1.3 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Ορίζεται η μετάδοση θερμικής ενέργειας από ένα θερμό σώμα σε ένα άλλο με την μορφή κυμάτων. Ακτινοβολία εκπέμπουν όλα τα σώματα. Όταν η ακτινοβολία προσπέσει σε ένα σώμα, απορροφάται από αυτό και θερμαίνει το σώμα.

2.2 Θερμική μόνωση

Θερμομόνωση είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί η μείωση της ταχύτητας μετάδοσης θερμότητας μεταξύ αντικειμένων που βρίσκονται σε θερμική επαφή, ή σε απόσταση ικανή για να επιδράσει θερμική ακτινοβολία. Αυτή επιτυγχάνεται με διάφορους μεθόδους, όπως η χρήση κατάλληλων προϊόντων (θερμομονωτικά υλικά). [50]

2.2.1 Θερμομονωτικά υλικά

Θερμομονωτικά υλικά είναι τα υλικά που πετυχαίνουν την θερμομόνωση ενός κτιρίου και έχουν ως στόχο την μείωση της ροής θερμότητας μεταξύ σωμάτων ή χώρων που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία. Η μονωτική τους ιδιότητα προέρχεται από τη χημική τους φύση, ή και από την φυσική τους δομή, δηλαδή στην παρουσία πολλών μικρών πόρων ή στην παρουσία ενός πλέγματος ινών, που εγκλωβίζεται ο αέρας. Ο εγκλωβισμένος αέρας ως «κακός αγωγός» της θερμότητας, αποτρέπει την εύκολη μετάδοση της θερμότητας. Για να θεωρηθεί ένα υλικό ως θερμομονωτικό, πρέπει να η τιμή της θερμικής του αγωγιμότητας να είναι μικρότερη από των 0.20 W/mK . [8]

2.2.2 Ιδιότητες και βασικά χαρακτηριστικά θερμομονωτικών υλικών

- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ:

[8], [9]

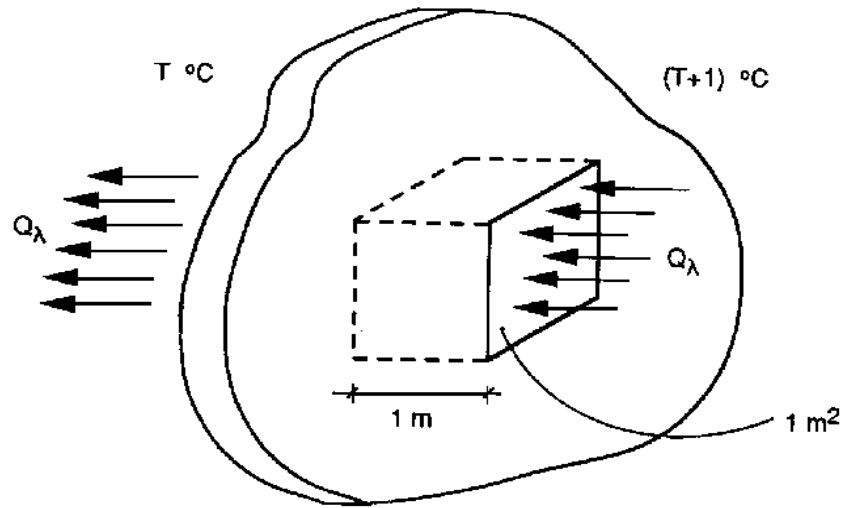
Είναι η ποσότητα θερμότητας που ρέει ανά μονάδα χρόνου (σε Watt) μέσα από τις απέναντι πλευρές ενός υλικού με πάχος 1m και τμήμα επιφάνειας 1m^2 , όταν η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών επιφανειών είναι ίση με 1°C . Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, τόσο καλύτερες θερμομονωτικές ιδιότητες έχει. Οι μονάδες μέτρησής της είναι:

$\text{kcal/h m }^\circ\text{C}$ ή $\text{W/m}\cdot\text{K}$, δηλαδή $1 \text{ kcal/h m }^\circ\text{C} = 1,16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Γνωρίζοντας ότι:

- $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ Joule}$
- $1 \text{ h} = 3600 \text{ sec}$
- $1\text{W} = 1\text{Joule/sec}$

Τότε: $1 \text{ kcal/h m }^\circ\text{C} = 4,18 \cdot 1000 / 3600 = 1,161 \text{ W/m K}$

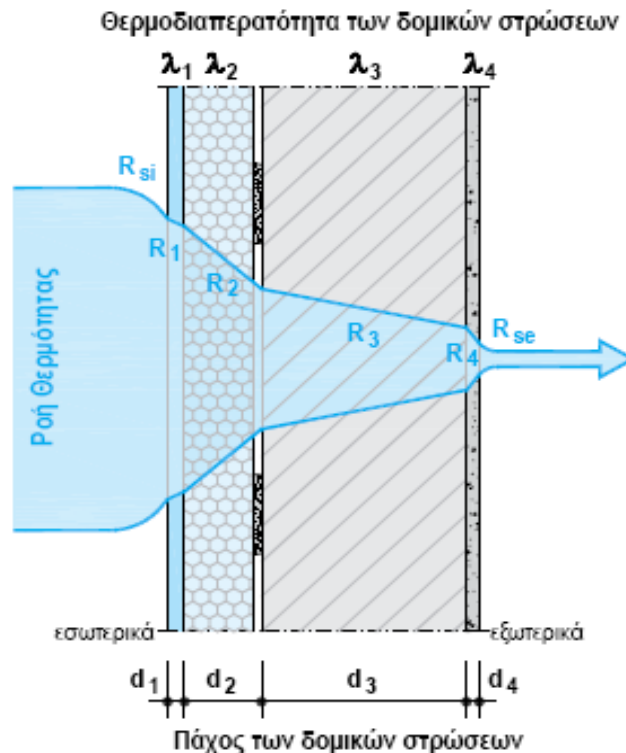


Εικόνα 2.2.2.1: Εικονική περιγραφή συντελεστή θερμική αγωγιμότητας

- **Συντελεστής θερμοπερατότητας, K:**

[9]

Είναι η ποσότητα θερμότητας που ρέει ανά μονάδα χρόνου (σε Watt) μέσα από 1 m^2 ενός δομικού υλικού, με πάχος d και χρονικού διαστήματος 1 ώρας, όταν η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών επιφανειών είναι ίση με $1 \text{ } ^\circ\text{Κέλβιν}$ ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$). Ο συντελεστής θερμοπερατότητας μετριέται σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο και βαθμό Κέλβιν ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$).



$R_{1..4}$ = Αντίσταση θερμικής διαπερατότητας των δομικών στρώσεων

R_{si} = Θερμική αντίσταση εσωτερικά = Θερμική μεταφορά από αέρα δωματίου στο δομικό στοιχείο εσωτερικά

R_{se} = Θερμική αντίσταση εξωτερικά = Θερμική μεταφορά από δομικό στοιχείο στον εξωτερικό αέρα

Εικόνα 2.2.2.2: Ροή θερμότητας από ένα δομικό στοιχείο

- **Συντελεστής θερμοδιαφυγής, Λ :**

[10]

Είναι η ποσότητα θερμότητας που διαρρέει ανά μονάδα χρόνου (σε Watt) μέσα από 1m² ενός δομικού υλικού, με πάχος d και χρονικού διαστήματος 1 ώρας, όταν η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών επιφανειών είναι ίση με 1 °Κέλβιν (W/m²·K). Ο συντελεστής θερμοδιαφυγής ισούται με $\Lambda = \frac{\lambda_i}{d_i}$ και μετριέται σε Kcal/m² · h · °C ή W/m²·K. Ο τύπος που εκφράζει την αντίσταση θερμοδιαφυγής είναι: $R = \frac{1}{\Lambda}$

- **Συντελεστής αντίστασης στην διάχυση υδρατμών, μ :**

[9]

Ο συντελεστής υδρατμοπερατότητας προσδιορίζει το μέγεθος της αντίστασης που παρουσιάζει ένα δομικό υλικό στην διάχυση των υδρατμών σε σχέση με εκείνη του ατμοσφαιρικού αέρα ίδιου πάχους με του δομικού υλικού. Ο αέρας ορίζεται να έχει τιμή $\mu=1$, έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, μ , ενός υλικού τόσο δυσκολότερα περνούν ανάμεσα οι υδρατμοί στην μάζα του.

- **Πυραντοχή υλικού:**

[11], [12]

Σύμφωνα με το πρότυπο EN-13501/1 που ισχύει σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αντίδραση των δομικών υλικών στη φωτιά, η ταξινόμησή τους γίνεται με τους παρακάτω χαρακτηρισμούς, A1, A2, B, C, D, E, F, ανάλογα με το πόσο εύφλεκτα είναι. Στην κατηγορία A1 ανήκουν τα μη αναφλέξιμα προϊόντα, ενώ στην κατηγορία F ανήκουν τα πιο αναφλέξιμα, που δεν αντιστέκονται καθόλου στη φωτιά. Τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά οργανικής προέλευσης κατατάσσονται στην κατηγορία των εύφλεκτων υλικών, σε αντίθεση με υλικά όπως ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας, ο περλίτης ή το αφρώδες γυαλί που δεν είναι αναφλέξιμα.

- **Ειδικό βάρος:**

Ένα υλικό το οποίο είναι ελαφρύτερο μπορεί να μην έχει το ίδιο αποτελεσματικές θερμομονωτικές ιδιότητες σε σχέση με ένα υλικό το οποίο είναι βαρύτερο, λόγω των

μεγαλύτερων και πυκνότερων κυψελίδων. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει την χρησιμότητα της ιδιότητας του ειδικού βάρους.

- **Μηχανική αντοχή:**

Είναι πολύ σημαντική η μηχανική αντοχή ενός θερμομονωτικού υλικού, ιδιαίτερα αν τοποθετείται στην φέρουσα τοιχοποιία και στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής, διότι αναμένεται να τους ασκηθούν ισχυρά φορτία. [13] Επιπλέον, όταν τα θερμομονωτικά υλικά τοποθετούνται σε αυτοφερόμενες κατασκευές ή ψευδοροφές, η γνώση της αντοχής σε εφελκυστικές τάσεις είναι χρήσιμη. Η αντοχή σε εφελκυσμό εκφράζει την ικανότητα ενός υλικού να ανθίσταται σε εφελκυστικές τάσεις. Αντίστοιχα το όριο της θραύσης εκφράζει την τιμή της τάσης, όπου η συνοχή ενός υλικού χάνεται. [14] Εξίσου σημαντικό είναι να ληφθούν υπόψιν και άλλες ιδιότητες των θερμομονωτικών υλικών, όπως η φθορά στο χρόνο, η προσβολή από τρωκτικά και έντομα, η αλληλεπίδραση με άλλα υλικά, το κόστος των υλικών, η ευκολία μεταφοράς και τοποθέτησης. [15]

- **Επίδραση της Θερμοκρασίας:**

[10]

Οι τιμές ενός θερμομονωτικού υλικού εξαρτώνται άμεσα από την θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται ταυτόχρονα και η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ενώ μειώνεται η θερμομονωτική του ικανότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η τοποθέτηση θερμομονωτικών υλικών σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες όπως λέβητες. Παρατηρείται αλλοίωση της υφής τους, συρρίκνωση της μάζας τους και θραύσης των κυψελίδων τους. Στα ανόργανα υλικά η επίδραση της θερμοκρασίας είναι μικρότερη.

- **Επίδραση υγρασίας:**

[16]

Η υγρασία, επίσης επηρεάζει την τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Υλικά με ανοιχτές κυψελίδες που ποτίζονται από υγρασία, είτε τους μειώνονται είτε

χάνονται τελείως οι θερμομονωτικές τους ικανότητες και αυξάνεται ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας τους. Αυτό συμβαίνει διότι ο αέρας που βρίσκεται στις κυψελίδες εκτοπίζεται από το νερό, που έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας 0.57 W/mK , και δημιουργώντας δυνάμεις συνάφειας με τα τοιχώματα αυξάνει τη θερμική τους αγωγιμότητα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σε περίπτωση παγετού με θερμοκρασία μικρότερη του μηδενός το νερό μπορεί να μετατραπεί σε πάγο αυξάνοντας τον όγκο του κατά 10% με συνέπεια την πιθανή καταστροφή της δομής του.

Υπάρχουν θερμομονωτικά υλικά με κλειστές κυψελίδες που ο αέρας είναι εγκλωβισμένος, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται το υλικό από την υγρασία.

- **Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας:**

[17]

Αφρώδη θερμομονωτικά υλικά όπως τα πολυστερινικά, σε μακροχρόνια έκθεσή τους στις ηλιακές ακτίνες, κινδυνεύουν με μείωση των θερμομονωτικών τους ιδιοτήτων. Το αποτέλεσμα αυτό δημιουργείται λόγω της αλλοίωσης που υπάρχει στο υλικό από την ηλιακή ακτινοβολία, κάνοντάς το ταυτόχρονα πιο εύθραυστο χωρίς αντοχή. Τα συγκεκριμένα υλικά προφυλάσσονται σε σκιασμένους χώρους και όταν τοποθετούνται επικαλύπτονται με κάποια επίχριση εξωτερικά.

- **Μεταβολή διαστάσεων:**

[18]

Ένα από τα χαρακτηριστικά των υλικών, όπως και των θερμομονωτικών, είναι η θερμοδιαστολή τους, δηλαδή η μεταβολή των διαστάσεών τους και η διόγκωση της επιφάνειάς τους από την άνοδο της θερμοκρασίας. Σε κάποια από αυτά παρατηρείται μεγάλη αύξηση της επιφάνειάς τους. Για τον λόγο αυτό πριν τοποθετηθούν, γίνεται μελέτη ώστε να ληφθούν μέτρα για την πιθανή αύξηση της επιφάνειάς τους από την άνοδο της θερμοκρασίας, συμβάλλοντας παράλληλα στο να μην προκληθούν ανορθωτικές τάσεις στο υλικό.

- **Χημική συμπεριφορά:**

[19]

Έχει παρατηρηθεί ότι οι χημικοί διαλύτες, όπως η βενζίνη ή το βενζόλιο, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τα οργανικά θερμομονωτικά υλικά, προκαλώντας τους σημαντική ζημιά. Το ίδιο έχει παρατηρηθεί και για τα αφρώδη οργανικά υλικά όταν έρχονται σε επαφή με ασφατικές μεμβράνες (πίσσα και ρευστή ασφαλτος). Τέλος, θερμομονωτικά υλικά που έχουν ως πρώτη ύλη το ξύλο ή το καλάμι, κινδυνεύουν να καταστραφούν σε περίπτωση επαφής τους με κόλλες και χημικούς διαλύτες.

2.2.3 Θερμομόνωση κτιρίων

Τα κτίρια θεωρούνται από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας σε όλες τις χώρες. Δεν είναι τυχαίο ότι το 40% της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση προέρχεται από αυτά. [2], [3] Τα κτίρια σχεδιάζονται ώστε να αισθάνονται οι κάτοικοι θερμικά άνετα μέσα σε αυτά. Η σωστή λειτουργία τους και ο εκσυγχρονισμός τους με σκοπό την μείωση των ενεργειακών απωλειών είναι στρατηγικός στόχος για το μέλλον. Η θερμομόνωση των κτιρίων, ως επιβραδυντής της μεταφοράς θερμότητας, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία για την επίτευξη αυτού του στόχου. Άλλα σημαντικά εργαλεία για εξοικονόμηση ενέργειας μπορούν να αποτελέσουν η αντικατάσταση των παλαιών οικιακών συσκευών με καινούριες ή η αντικατάσταση του παλαιού φωτισμού με νέο. [1]

2.2.4 Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας

Η τοποθέτηση θερμομονωτικών υλικών μπορεί να γίνει ως εξής:

- ➔ Θερμομόνωση εσωτερικά των δομικών στοιχείων
- ➔ Θερμομόνωση εξωτερικά των δομικών στοιχείων

- ➔ Θερμομόνωση με χρήση ειδικών τούβλων
- ➔ Θερμομόνωση στον πυρήνα των δομικών στοιχείων

2.2.4.1 Εσωτερική θερμομόνωση

Η εσωτερική θερμομόνωση εφαρμόζεται στο εσωτερικό των επιφανειών ενός κτιρίου, δηλαδή στην τοιχοποιία, στην οροφή ή στο δάπεδο. Αξιοποιείται για την άμεση και γρηγορότερη απόδοση στο σύστημα θέρμανσης ή ψύξης σε ένα χώρο. Μετά την διακοπή του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης ο χώρος ψύχεται γρηγορότερα λόγω της μη εκμετάλλευσης της θερμοχωρητικότητας του κελύφους. [15]

Για τον λόγο αυτό η εσωτερική θερμομόνωση χρησιμοποιείται κυρίως σε κτίρια διακοπτόμενης χρήσης όπως σχολεία, δημόσιες υπηρεσίες, εργασιακοί χώροι, θέατρα, όπου η διακύμανση της θερμοκρασίας τους είναι σημαντική μόνο κατά την διάρκεια λειτουργίας τους. Επίσης χρησιμοποιείται σε διαμερίσματα χωρίς να απαιτείται αδειοδότηση από τους άλλους ενοίκους μιας πολυκατοικίας ή σε εξοχικές κατοικίες, που η παραμονή σε αυτές δεν είναι για μεγάλο χρονικό διάστημα. Συμπερασματικά, για μικρό διάστημα παραμονής δεν απασχολεί να απορροφήσει θερμότητα ο τοίχος, αλλά να θερμανθεί γρήγορα ο χώρος.

Σημαντικό να αναφερθεί ότι τα θερμομονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται για αυτήν την περίπτωση δεν είναι αναγκαίο να έχουν αντοχή στις εξωτερικές καιρικές μεταβολές. Επίσης μπορούν να τοποθετηθούν σχεδόν όλα τα θερμομονωτικά υλικά. [20]

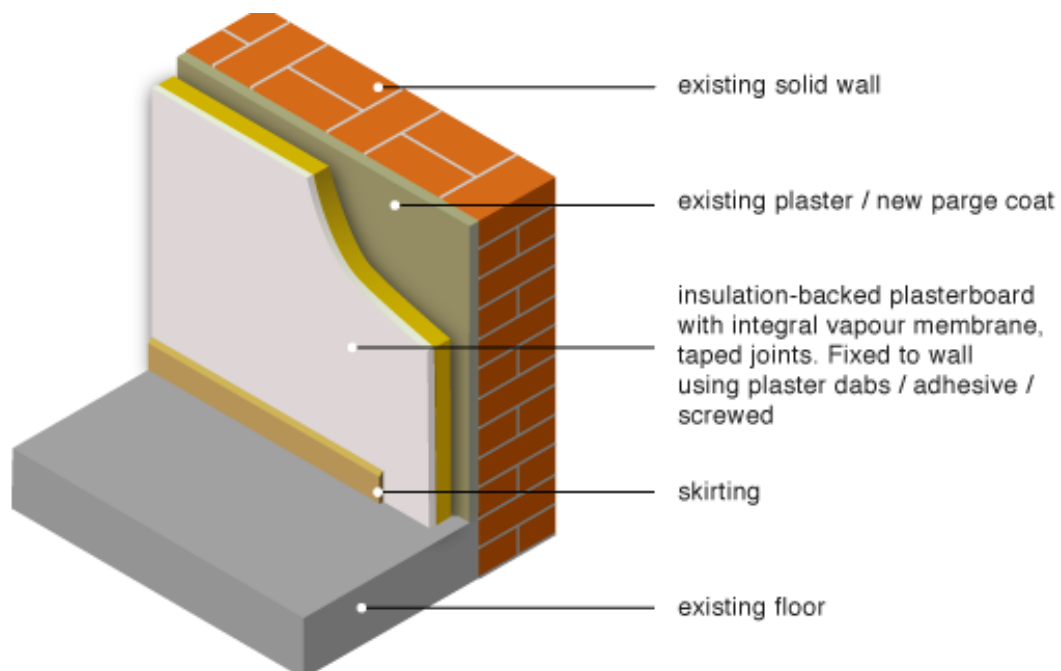
Πλεονεκτήματα:

- Είναι οικονομικότερη από την εξωτερική θερμομόνωση διότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, επομένως δεν απαιτούν την ίδια προστασία.
- Η θέρμανση του χώρου είναι συντομότερη.

- Εφαρμόζεται όλο τον χρόνο ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες και μπορεί να συνδυαστεί με άλλες οικοδομικές εργασίες όπως ανακαίνιση.
- Η εξωτερική εικόνα του κτιρίου παραμένει αμετάβλητη.

Μειονεκτήματα:

- Ο ωφέλιμος χώρος του εσωτερικού του κτιρίου μειώνεται. Τα θερμομονωτικά υλικά καταλαμβάνουν το 3%-4%.
- Υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν ανεπιθύμητες θερμογέφυρες που αυξάνουν τις απώλειες και τις θερμικές τάσεις στο κτίριο.
- Μη προστασία των δομικών στοιχείων από τις μεταβολές της θερμοκρασίας τον χειμώνα ή το καλοκαίρι, με συνέπεια η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου να μην είναι πολύ καλή.
- Πιθανότητα σχηματισμού επιφανειακής δρόσου λόγω των απροστάτευτων δομικών στοιχείων και κίνδυνος ρωγμών λόγω της εισροής βρόχινου νερού. [11]



Εικόνα 2.2.4.1.1: Εσωτερική θερμομόνωση

2.2.4.2 Εξωτερική Θερμομόνωση

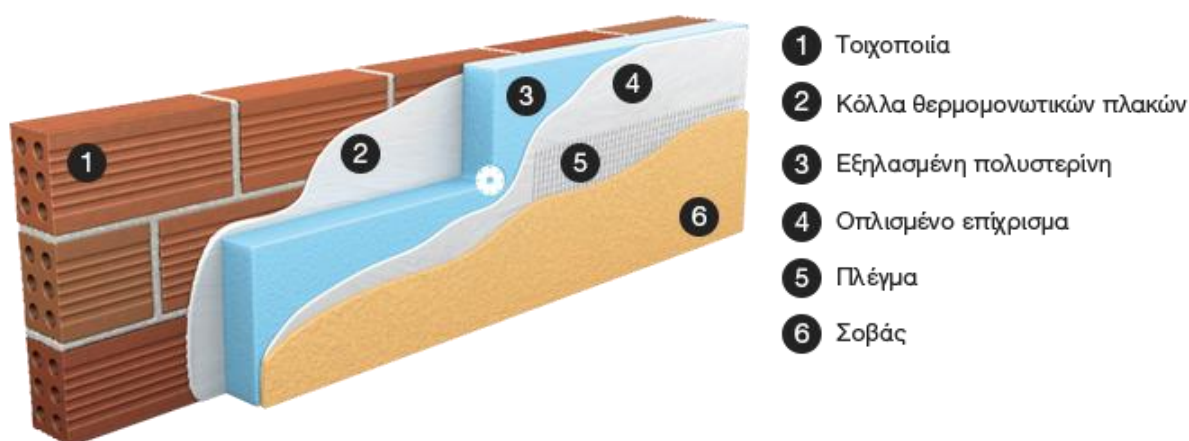
Η εξωτερική θερμομόνωση εφαρμόζεται στο εξωτερικό μέρος όλων των κατακόρυφων εξωτερικών τοίχων και προστατεύεται από διαδοχικές στρώσεις ειδικών υλικών ώστε να παρέχεται αντοχή στον χρόνο, στις καιρικές συνθήκες, στις μηχανικές καταπονήσεις. Μερικά από τα ειδικά υλικά που επενδύονται είναι φύλλα αλουμινίου, ασβεστοτσιμέντο, πλάκες από προπαρασκευασμένο σκυρόδεμα κ.α. Η εξωτερική θερμομόνωση εφαρμόζεται συνήθως σε κτίρια με συνεχή χρήση, ώστε να επιτευχθούν σταθερές θερμοκρασιακές συνθήκες διατηρώντας τη θερμότητα μετά το τέλος της λειτουργίας της θέρμανσης. [15]

Πλεονεκτήματα:

- Εξοικονόμηση ενέργειας και οικονομίας, καθώς οι θερμικές απώλειες μειώνονται έως 60% με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος για θέρμανση ή ψύξη.
- Πλήρης θερμομόνωση του κτιρίου παρουσιάζοντας ομοιόμορφη θερμοπερατότητα δίχως τη δημιουργία θερμογεφυρών στα δομικά στοιχεία.
- Προστασία των εξωτερικών επιφανειών των τοίχων από την εμφάνιση υγρασίας και μούχλας, θωρακίζοντας το εσωτερικό από τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Συγχρόνως αποφεύγονται και οι ζημιές σε σωληνώσεις από την υγρασία και την παγωνιά.
- Η φέρουσα ικανότητα του κτιρίου προστατεύεται από τις μεταβολές της θερμοκρασίας.
- Δεν καταλαμβάνει ωφέλιμο χώρο στο εσωτερικό του κτιρίου.
- Εκμεταλλεύεται πλήρως την θερμοχωρητικότητα του τοίχου.
- Προστασία από θερμικές καταπονήσεις και διάχυσης υδρατμών που προκαλούν ρωγμές και σκασίματα στο εξωτερικό των τοίχων για ένα εύλογο χρονικό διάστημα.

Μειονεκτήματα:

- Η θέρμανση του χώρου χρειάζεται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
- Είναι εκτεθειμένη στις κλιματολογικές μεταβολές, οπότε είναι αναγκαία η επιπλέον επίχριση αυτών των υλικών.
- Δυσκολία ή αδυναμία στην τοποθέτηση θερμομονωτικών υλικών με έντονο εξωτερικό μορφολογικό σχεδιασμό.
- Το κόστος είναι αυξημένο (επίχριση υλικών, ενοικίαση σκαλωσιών για την τοποθέτηση).
- Απαιτείται προσοχή στην κατασκευή και τοποθέτηση ώστε να μην δημιουργηθούν ρωγμές στην όψη. [21]



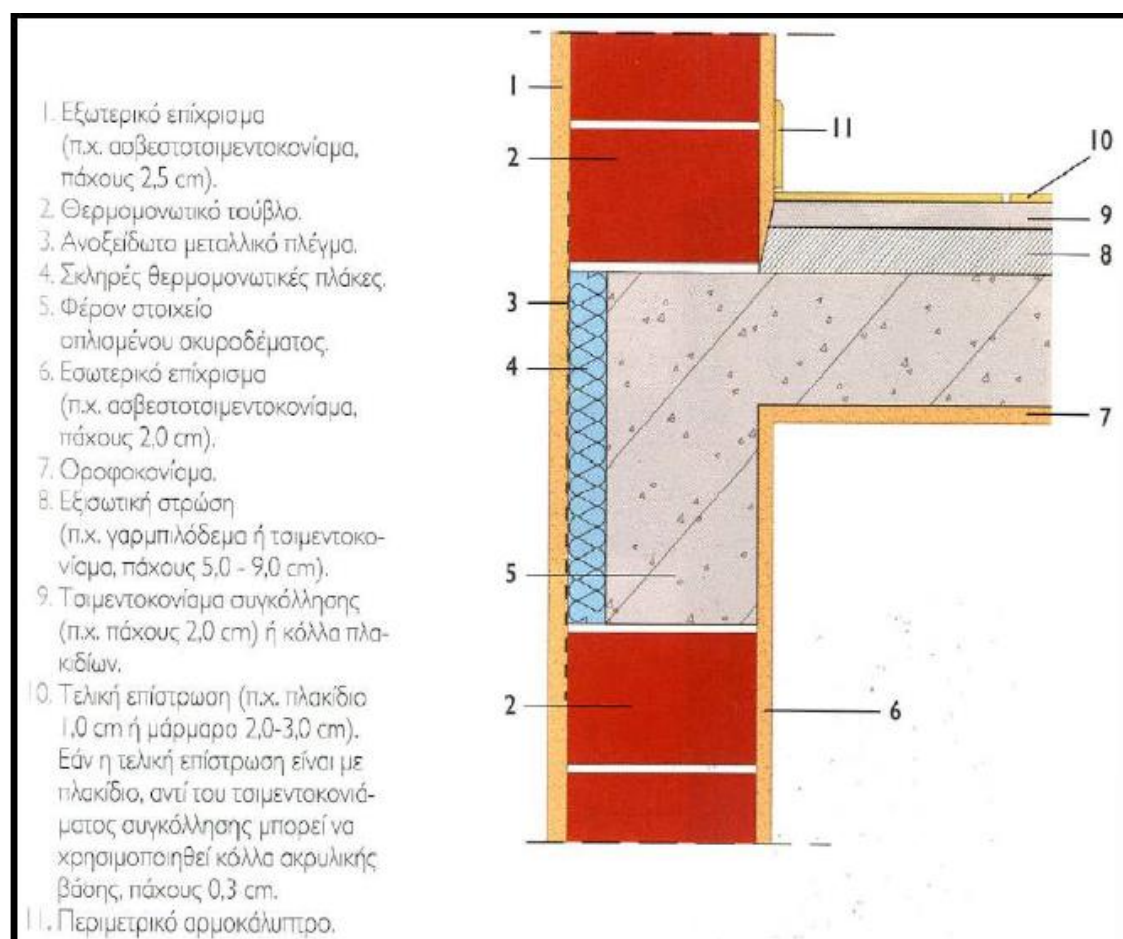
Εικόνα 2.2.4.2.1: Εξωτερική θερμομόνωση

2.2.4.3 Θερμομόνωση με χρήση ειδικών θερμομονωτικών τούβλων

Τα θερμομονωτικά τούβλα θεωρούνται ως αυτοδύναμες θερμομονωτικές μονάδες, καθώς τα ίδια τα δομικά υλικά έχουν τον ρόλο της θερμομονωτικής στρώσης. Ένα από τα χαρακτηριστικά τους είναι η μειωμένη αντοχή σε θλίψη για την επιτυχία της θερμομόνωσης και χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν μεμονωμένα φορτία. [10] Η μεταφορά της θερμοκρασίας γίνεται με αγωγιμότητα και

έπειτα μεταφέρεται σε όλη την μάζα του τούβλου. Για να υλοποιηθεί αυτό το σύστημα χρησιμοποιούνται τούβλα με κυψελωτό σκυρόδεμα ή τούβλα με γέμιση από πολυουρεθάνη.

Πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι η αντίσταση στην διάχυση των υδρατμών, οι μικρές διαστολές και το γρήγορο στέγνωμα των υλικών των τοίχων. Αντιθέτως, **μειονεκτεί** στο ότι παρουσιάζει μικρή θερμοχωρητικότητα με αποτέλεσμα την ψύξη του κτιρίου σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την διακοπή θέρμανσης, την ανάπτυξη χαμηλότερων εσωτερικών θερμοκρασιών στις επιφάνειες και την προσβολή από την θερμοκρασία της βροχής μειώνοντας την θερμική προστασία. [15]



Εικόνα 2.2.4.3.1: Θερμομονωτικά τούβλα

2.2.4.4 Θερμομόνωση στον πυρήνα

Με αυτού του είδους την θερμική προστασία, το μονωτικό στρώμα τοποθετείται στο διάκενο που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο τοίχους που ενώνονται. Είναι σημαντικό να γίνεται μελέτη στην τοιχοποιία πριν την κατασκευή, για την διαπερατότητα των υδρατμών ώστε να αποφευχθούν οι συμπυκνώσεις αυτών στην μάζα της τοιχοποιίας. Ο τοίχος στο εσωτερικό μέρος θα απορροφήσει την θερμική ενέργεια, όταν το κτίριο θερμαίνεται και θα την επιστρέψει στον χώρο όταν δεν θερμαίνεται, ώστε να υπάρξει ομοιόμορφη θερμοκρασία στο εσωτερικό. Σημαντικό να αναφερθεί ότι μπορούν να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε θερμομονωτικό υλικό, αρκεί να εφάπτεται σωστά στα δύο μέρη της τοιχοποιίας. [11], [20]

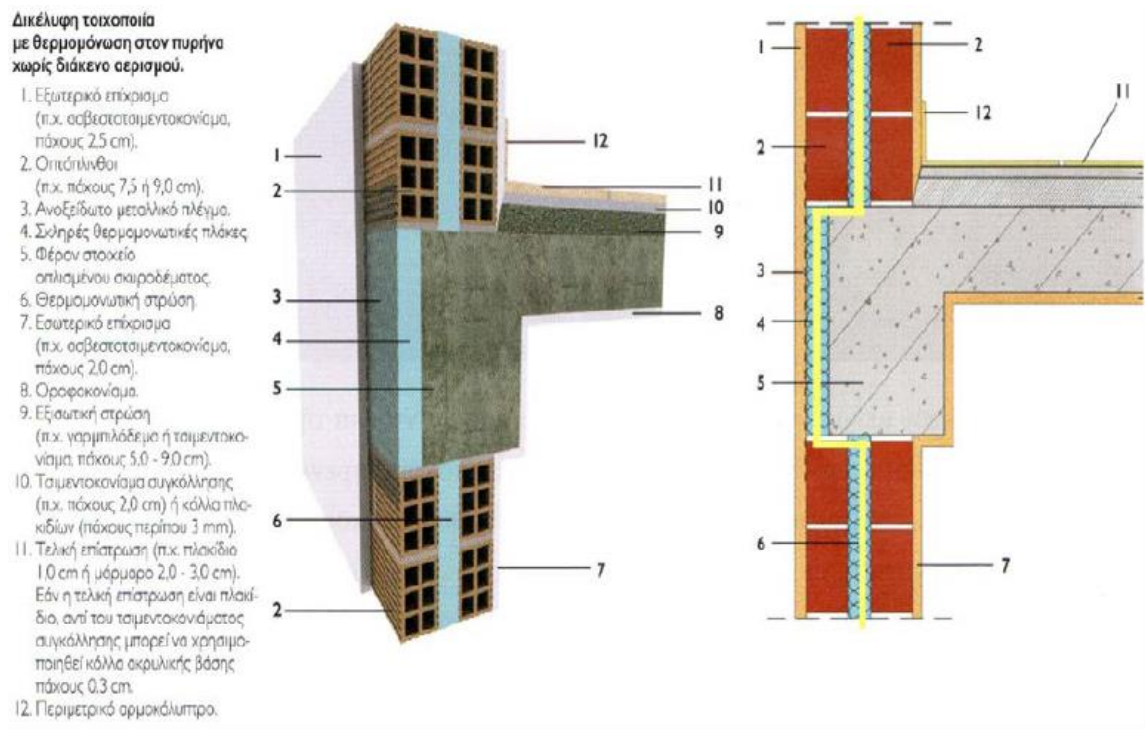
Πλεονεκτήματα:

- Η τοποθέτηση θερμομονωτικών υλικών είναι η ευκολότερη.
- Σε περίπτωση βροχής η θερμομονωτική προστασία διατηρείται χωρίς να επηρεάζεται.
- Εκμεταλλεύεται την θερμοχωρητικότητα του τοίχου σε μικρό βαθμό συνδυάζοντάς την με την ελεύθερη αρχιτεκτονική σχεδίαση και διαμόρφωση των όψεων.

Μειονεκτήματα:

- Η αντισεισμική συμπεριφορά που παρέχει δεν είναι καλή, με αποτέλεσμα να χρειάζεται η σύνδεση των δύο κελυφών ιδιαίτερη φροντίδα.
- Δεν καταφέρνει να εκμεταλλευτεί εξολοκλήρου την θερμοχωρητικότητα του τοίχου αλλά μερικώς.
- Σε περίπτωση που το υλικό προσβληθεί από υγρασία λόγω βροχής ή συμπύκνωσης ή λόγω διάχυσης υδρατμών, δυσχεραίνεται η απομάκρυνσή της.

- Δίνει την δυνατότητα δημιουργίας θερμογεφυρών στην επαφή με τον φέροντα οργανισμό. [11]



Εικόνα 2.2.4.4.1: Θερμομόνωση στον πυρήνα

2.2.5 Οφέλη θερμομόνωσης κτιρίων

Τα τελευταία χρόνια αναδεικνύονται συνεχώς τα πλεονεκτήματα που παρέχει η θερμομόνωση των κτιρίων. Παρακάτω επισημαίνονται μερικά: [5], [44]

- **Μείωση του κόστους θέρμανσης**

Σκοπός της θέρμανσης ενός χώρου είναι η δημιουργία άνετων συνθηκών διαμονής. Με την θερμομόνωση ενός κτιρίου επιτυγχάνεται η μείωση απωλειών ενέργειας. Έτσι, η θερμότητα στο εσωτερικό του χώρου διατηρείται και ταυτόχρονα μειώνεται και η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται και το κόστος.

- **Δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης**

Σε χώρους χωρίς θερμική μόνωση, ο θερμός αέρας έρχεται σε επαφή με τις ψυχρές εσωτερικές επιφάνειες του τοίχου δημιουργώντας ψυχρά ρεύματα. Με την μόνωση των τοίχων, διατηρείται η θερμοκρασία του αέρα, καθώς αλλάζει σε μικρό βαθμό, στο εσωτερικό των χώρων και δημιουργείται το αίσθημα της θερμικής άνεσης εντός του κτιρίου. Τέλος, η αναγκαία θερμοκρασία για την δημιουργία αυτών των συνθηκών, είναι μικρότερη από την θερμοκρασία που θα απαιτούταν σε μη θερμικά μονωμένα κτίρια.

- **Θερμική άνεση ακόμα και όταν ο χώρος δεν θερμαίνεται λόγω εκμετάλλευσης της θερμοχωρητικότητας των υλικών**

Θερμομονώνοντας εξωτερικά ένα οίκημα επιτυγχάνεται διατήρηση της θερμότητας, που έχει παραχθεί, μέσα στους τοίχους. Αξιοποιώντας την θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων, ακόμα και όταν ο χώρος δεν θερμαίνεται παραμένουν οι συνθήκες θερμικής άνεσης για ένα επιπλέον χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα την ελάττωση λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης

- **Αποφυγή υγρασίας συμπύκνωσης στις εσωτερικές επιφάνειες των τοίχων**

Σε κτίρια χωρίς μόνωση εμφανίζεται η υγρασία συμπύκνωσης στις εσωτερικές επιφάνειες των τοίχων. Οι υδρατμοί του αέρα έρχονται σε επαφή με τοίχους που έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία δρόσου, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μαύρων κηλίδων στους τοίχους από την μούχλα που αναπτύσσεται. Με την εξωτερική θερμομόνωση επιτυγχάνεται υψηλότερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία δρόσου, αποφεύγοντας την ανάπτυξη αυτών των φαινομένων.

- **Μείωση των πιθανοτήτων σχηματισμού υγρασίας στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων των κατασκευών**

Σε χώρους με υψηλή υγρασία εντοπίζεται εξάπλωση υδρατμών μέσω των δομικών στοιχείων προς το εξωτερικό περιβάλλον. Ταυτόχρονα υδροποιούνται οι υδρατμοί στους μη μονωμένους κρύους τοίχους προκαλώντας φθορές στην αντοχή τους. Με την εξωτερική θερμομόνωση αποτρέπεται το φαινόμενο αυτό.

- **Προστασία των δομικών στοιχείων του περιβλήματος του κτιρίου από τις έντονες θερμικές καταπονήσεις**

Η θερμική μόνωση των κτιρίων τα προστατεύει από τις θερμικές καταπονήσεις των εξωτερικών δομικών τους στοιχείων και έχει ως σκοπό να εκμηδενίσει την πιθανότητα δημιουργίας ρωγμών ή σχισμών στο εξωτερικό υλικό των κτιρίων.

- **Μικρό αρχικό κόστος κατασκευής συστήματος θέρμανσης ή ψύξης**

Σε κάθε κτίριο υπάρχει η ανάγκη για κατασκευή συστήματος θέρμανσης ή ψύξης με στόχο την δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης για τον χρήστη. Με την θερμομόνωση των κτιρίων η ανάγκη αυτή παραμένει αλλά σε μικρότερο βαθμό, έτσι με τον περιορισμό των θερμικών απωλειών ενέργειας, δίνεται η δυνατότητα κατασκευής μικρότερου και οικονομικότερου συστήματος ψύξης και θέρμανσης.

- **Ηχοπροστασία με την χρήση θερμομονωτικών υλικών με ίνες**

Η προστασία ενός κτιρίου από ανεπιθύμητους εξωτερικούς ήχους και θορύβους είναι ένα από τα ζητήματα που έχουν απασχολήσει στην βελτίωση της ανθρώπινης διαβίωσης. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν συμβεί, τα θερμομονωτικά υλικά από ίνες, όπως ο υαλοβάμβακας, απορροφούν τις ηχητικές οχλήσεις και προσφέρουν ηχοπροστασία.

- **Προστασία του περιβάλλοντος**

Η προστασία του περιβάλλοντος είναι μείζων θέμα που απασχολεί συνεχώς. Τα κτίρια, ως ο μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας, με την θερμομόνωσή τους επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας και επιπλέον η σημαντική μείωση της κατανάλωσης των ενεργειακών πόρων. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών αερίων CO₂. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το ότι ένα μονωμένο κτίριο εκπέμπει 45% λιγότερο CO₂ από ένα μη μονωμένο. [44]

2.3 Φύκια - *Posidonia Oceanica*

Ως φύκη ορίζονται μια μεγάλη κατηγορία προκαρυωτικών και ευκαριωτικών οργανισμών, που δεν έχουν ρίζες, βλαστούς, φύλλα, άνθη, καρπούς και ζουν σε υδάτινα περιβάλλοντα με κύριο χαρακτηριστικό τους την ικανότητά τους να φωτοσυνθέτουν. Παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία διαφορετικών ειδών που υπερβαίνει τα 50000 και υπολογίζεται ότι άνω του 50% του παραγόμενου φωτοσυνθετικού οξυγόνου της ατμόσφαιρας προέρχεται από αυτά. Στην Ελλάδα υπολογίζεται ότι υπάρχουν περίπου 600 είδη φυκών. Τα λιβάδια *Posidonia Oceanica* (PO) τα οποία μοιάζουν με “καφέ κορδέλες” και τα συναντάμε σε παραλίες, δεν είναι φύκη, αλλά ανήκουν στην κατηγορία των θαλάσσιων φυτών, καθώς περιέχουν ρίζες, βλαστούς, φύλλα. Τέλος καλύπτουν μια έκταση 25000-50000 km² στις παράκτιες ζώνες της μεσογείου. [22], [50]

Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, οι αντίξοες καιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θάλασσα, ενώ η αυξημένη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα CO₂ στο περιβάλλον συμβάλλει στην αποκόλληση και μεταφορά φύλλων και τμημάτων ριζωμάτων του φυτού PO στις παράκτιες περιοχές. Η υπερβολική συσσώρευση αυτών των υπολειμμάτων έχει οδηγήσει σε σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ παράλληλα έχει δημιουργήσει κοινωνικές και οικονομικές προκλήσεις στις παράκτιες ζώνες της Μεσογείου. Επιπλέον, η διαδικασία συλλογής και μεταφοράς των ξηρών υπολειμμάτων του PO προς χώρους υγειονομικής ταφής συνοδεύεται από υψηλό οικονομικό κόστος. Ως εκ τούτου, καθίσταται αναγκαίο να εξεταστούν εναλλακτικές στρατηγικές διαχείρισης αυτής της βιομάζας. Μια πιθανή προσέγγιση περιλαμβάνει την αξιοποίηση του PO ως βιώσιμου υλικού που μπορεί να ενσωματωθεί σε καινοτόμες πρακτικές σχεδιασμού, προβάλλοντας τα πολλαπλά οφέλη αυτής της χρήσης.

Τα φύκια εδώ και πολλές δεκαετίες χρησιμοποιούνται από διάφορες χώρες, όπως Κίνα και Δανία, ως μονωτικό υλικό για τοίχους και στέγες. Μερικά από τα χαρακτηριστικά τους είναι:

- Σε σχέση με ορισμένα οικοδομικά υλικά, είναι **μη τοξικά με αντιβακτηριακές ενώσεις** και μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς χημικά πρόσθετα, ως μονωτικό υλικό.
- Λόγω ότι καλύπτονται και προστατεύονται από το αλάτι της θάλασσας, **η δομή τους καταστρέφεται δύσκολα** από βακτήρια ή έντομα.
- Επίσης επειδή είναι φυσικό προϊόν, είναι **λιπασματοποιήσιμο** και στο τέλος της ζωής του μπορεί να απορριφθεί εύκολα.
- Οι ίνες φυκιών **απορροφούν και απελευθερώνουν** τους υδατμούς χωρίς να επηρεάζεται ή να βλάπτεται η μονωτική τους ικανότητα. Έτσι το κτίριο παραμένει μονωμένο.
- Είναι **πυρίμαχα**. [23]

Για την μετατροπή των ΡΟ σε θερμομονωτικό υλικό είναι αναγκαίο να αφαιρεθεί η προσκολλημένη άμμος από αυτά. Σύμφωνα με το Fraunhofer Institute for Chemical η ανακίνηση των φυκιών αναδείχθηκε ως αποτελεσματικότερος τρόπος να αποβληθεί η άμμος και να διασφαλιστούν ίνες όσο το δυνατόν μακρύτερες. Τα φύκια είναι μια καλή επιλογή υλικού, η οποία στην κατασκευαστική βιομηχανία έχει βρει θέση σε αρκετές εφαρμογές. Τέλος, έχουν καλύτερη απόδοση όταν συλλέγονται και ξηραίνονται, όχι σε φούρνους, αλλά φυσικά.



Εικόνα 2.3.1: Ξεβρασμένα Ποσειδωνία Φύκια σε ακτή

2.4 Καλάμι *Arundo Donax*

[24], [25], [45]

Τα καλάμια είναι ένας ταχέως αναπτυσσόμενος ανανεώσιμος πόρος, που είναι άμεσα διαθέσιμος σε πολλά μέρη του κόσμου. Στην Κρήτη και γενικότερα στην Ελλάδα, καθώς και σε άλλες μεσογειακές χώρες όπως η Ιταλία, παρατηρείται σε μεγάλο ποσοστό το είδος καλαμιού *Arundo Donax*, το οποίο είναι ένα φυτό που αναπτύσσεται σε περιοχές με εύκρατο και υποτροπικό κλίμα, σε παράκτιες ζώνες, σε λίμνες, σε όχθες ποταμών, σε υδροβιότοπους, σε έλη αλλά ακόμα και σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Πιο συγκεκριμένα στην Κρήτη, τα καλάμια κυρίως λόγω των φυσικών και μηχανικών τους ιδιοτήτων χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια για διάφορες χρήσεις. Μερικές από τις χρήσεις τους είναι τροφή για τα ζώα, για στήριξη των φυτών στα χωράφια, για δημιουργία σκίαστρων και σκέπαστρων, για δημιουργία κωθωνιών αλλά ακόμα και για διαχωρισμό των χωραφιών. [46]

Το καλάμι *Arundo Donax*, αναπτύσσεται με μέσο ύψος τα 4 μέτρα (με μέγιστο τα 10 μέτρα υπό ιδανικές συνθήκες), εξωτερική διάμετρο 2 με 3 εκατοστά, πάχος 2 με 6 χιλιοστά. Κατά την άνοιξη, όπου παρατηρούνται έντονα φαινόμενα υγρασίας, το καλάμι *Arundo Donax* αναπτύσσεται ταχύτατα με μέγιστη ημερήσια αύξηση τα 5 εκατοστά. Ένα από τα σημαντικότερα προτερήματα του είδους αυτού είναι η καλή αντίσταση που έχει στη φωτιά, η οποία ιδανικά επιτυγχάνεται σε πάνελ με ένωση δύο επιπέδων από καλάμια υπό ορθή γωνία (ολικού πάχους 4 εκατοστών).

Εξαιρετικά βοηθητικά χαρακτηριστικά του φυτού είναι η ταχυτάτη ανάπτυξη του, η προσαρμοστικότητα και ανθεκτικότητα του σε διαφορετικά κλίματα και εδαφικές συνθήκες (σε ήλιο και συννεφιά, σε συνθήκες χειμώνα ή καλοκαιριού, ξηρασίας, διάβρωσης ή υγρού εδάφους – έλη και βάλτους - ακόμα και σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα καθώς και σε ασθένειες του εδάφους). Ακόμη ένα μεγάλο προσόν του είδους είναι η ευρεία διαθεσιμότητα του παγκοσμίως. Διαθέτει επίσης, υψηλή μηχανική αντοχή στην κάμψη και χαμηλή πυκνότητα.

Λόγω των ιδιαίτερα θετικών ιδιοτήτων που αναφέρθηκαν πιο πάνω, το φυτό έχει χρησιμοποιηθεί ως πηγή βιομάζας, βιοκαυσίμων και οικοδομικών πρακτικών (πάνελ, ενίσχυση του οπλισμού σκυροδέματος, στήριξη για στέγες – ειδικά για ενίσχυση της θερμομόνωσης και της μηχανικής αντοχής).

Πίνακας 2.4.1: Φυσικές και χημικές ιδιότητες του *Arundo Donax* [24]

Properties	Values	Measurement units
Real density	1168 ± 3	kg/m ³
Bulk density	893	kg/m ³

Apparent density	476 - 583	kg/m ³
Cellulose content	43.59	%
Hemicellulose content	20.5 – 32.03	%
Lignin content	17.2 – 21.31	%
Ash	1.9 – 6.14	%
Thermal Conductivity	0.06	W/(m·K)
Tensile strength	248	N/mm ²
Young's modulus - Tension	15.3	N/mm ²
Compressive strength	57	N/mm ²
Young's modulus - Compression	13.4	N/mm ²



Εικόνα 2.4.1: Καλάμια *Arundo Donax*



Εικόνα 2.4.2: Φράχτης από Arundo Donax

2.5 Φύλλα ελιάς

Τα φύλλα ελιάς γίνονται μια ενδιαφέρουσα επιλογή για τη μόνωση κτιρίων και σπιτιών. Αυτό το φυσικό υλικό, λαμβάνεται από εκατομμύρια ελαιόδεντρα που αναπτύσσονται στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς είναι ένα δέντρο που εναρμονίζεται πλήρως με το κλίμα της. Η ελιά είναι ένα δέντρο με μεγάλη αντοχή στην ανομβρία, ενώ αναπτύσσεται και σε άγονα εδάφη. Ο μέσος όρος ζωής ενός ελαιόδεντρου είναι 300 έως 600 χρόνια. Η άνθισή της ξεκινά στο τέλος της άνοιξης και το μάζωμα της αρχίζει από τέλη Σεπτεμβρίου και τελειώνει τον Φεβρουάριο. [48]

Από τα αρχαία χρόνια, τα ελαιόδεντρα καλλιεργούνται και χρησιμοποιούνται από τους λαούς της Μεσογείου, με πρώτους τους Έλληνες, για διάφορες χρήσεις. Για παράδειγμα χρησιμοποιείται ως διατροφικό προϊόν είτε καταναλώνοντας τον καρπό της, είτε καταναλώνοντας τον χυμό ελαιόλαδου. Ο χυμός της χρησιμοποιείται επίσης για φαρμακευτικούς σκοπούς, για καθαριστικές χρήσεις (σαπούνι), ως καλλυντικό. Τα κλαδιά της και ο κορμός της χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για θέρμανση, για κατασκευή εργαλείων. Λόγω των τόσων πολλών εφαρμογών του, από τους Αρχαίους Έλληνες, χρησιμοποιήθηκε και ως σύμβολο ειρήνης, φιλίας και νίκης. [47]

Σήμερα, στην Ελλάδα και σε άλλες ώρες της Μεσογείου καλλιεργούνται τεράστιες εκτάσεις ελαιόδεντρων. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα στατιστικά αυτά του έτους 2011 από την FAOSTAT: [47]

Πίνακας 2.5.1: Κύριες χώρες παραγωγής ελιάς

Θέση	Χώρα	Παραγωγή (τόνους)	Καλλιεργήσιμη περιοχή (εκτάρια)	Απόδοση (q/εκτάριο)
	Συνολική παγκόσμια παραγωγή	19.845.300	9.634.576	20.598
01	Ισπανία	7.820.060	2.330.400	29.781
02	Ιταλία	3.182.204	1.144.420	27.806
03	Ελλάδα	2.000.000	850.000	23.529
04	Τουρκία	1.750.000	798.493	21.916
05	Μαρόκο	1.415.902	597.513	22.839
06	Συρία	1.095.043	684.490	15.997
07	Αλγερία	610.776	295.000	14.237
08	Τυνησία	562.000	1,779.950	4.848

09	Αίγυπτος	459.650	52.668	87.273
10	Πορτογαλία	443.800	343.200	12.931

Στην Κρήτη συγκεκριμένα το 65%, περίπου 2.350.000 στρέμματα, της γεωργικής έκτασης του νησιού καλύπτεται από ελαιώνες, με παραγωγή 60.000 έως 120.000 τόνων ελαιόλαδου ετησίως. [50] Με βάση τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνεται ότι από τη διαδικασία παραγωγής ελαιόλαδου, που περιέχει το μάζωμα των ελαιόδεντρων και έπειτα την επεξεργασία στα ελαιοτριβία, δημιουργείται ένας μεγάλος όγκος βιολογικών αποβλήτων (φύλλα, λεπτά και χοντρά κλαδιά), που θα μπορούσε να ανακτηθεί σε διάφορες χρήσεις. Σύμφωνα με μελέτες, η Ισπανία που είναι και η πρώτη χώρα φυτεμένων ελαιόδεντρων, παράγει περισσότερους από 7.5 εκατομμύρια τόνους αποβλήτων. Τα φύλλα αποτελούν το 25% κατά βάρος, τα λεπτά κλαδιά το 50% κατά βάρος και τα χοντρά κλαδιά το 25% κατά βάρος. [26]

Σήμερα, τα απόβλητα της ελιάς, διερευνούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως ζωοτροφές, στη μαγειρική, σε ενεργούς άνθρακες, σε κομπόστ, σε υποστρώματα για καλλιέργειες και επικεντρώνονται κυρίως σε μελέτες για την παραγωγή ενέργειας όπως βιομάζα, βιοκαύσιμα. [26] Μία άλλη ερευνητική προσέγγιση, η οποία εξετάζεται και στην παρούσα διπλωματική, είναι η αξιοποίηση των αποβλήτων στην ανάπτυξη δομικών υλικών όπως θερμομονωτικών και ηχομονωτικών πάνελ. Δεδομένου ότι τα φύλλα ελιάς είναι φυσικά, δεν απαιτούν επεξεργασία ή χημικές επιστρώσεις και είναι φιλικά προς το περιβάλλον τα καθιστά μια βιώσιμη επιλογή ως μονωτικό υλικό και προσφέρει μια φυσική λύση χωρίς τη χρήση τοξικών ουσιών. Επιπλέον, η χρήση των φύλλων ελιάς στη μόνωση μπορεί να συμβάλει στη βιωσιμότητα και την προστασία του περιβάλλοντος μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Τέλος, η χρήση φύλλων ελιάς για μόνωση συμβάλλει στην προώθηση της τοπικής παραγωγής και της βιώσιμης ανάπτυξης. Η συλλογή και η επεξεργασία των φύλλων ελιάς αποτελεί πηγή εισοδήματος για τις τοπικές κοινότητες, ενισχύει την τοπική οικονομία και προωθεί τη βιώσιμη παραγωγή.

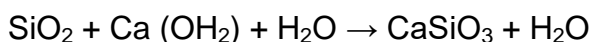


Εικόνα 2.5.1: Φύλλα ελιάς κατά το μάζωμα του καρπού

2.6 Πρόσθετα υλικά για την δημιουργία των πάνελ

• Ποζολάνη

Η ποζολάνη αποτελεί ένα αναπόσπαστο μέρος της κατασκευής και της βιομηχανίας τσιμέντου. Η ιστορία της ποζολάνης αντικατοπτρίζει διακυμάνσεις και ανακαλύψεις που εκτείνονται σε αιώνες και έχει επηρεάσει σημαντικά την ανθρώπινη πολιτική, αρχιτεκτονική και οικονομία. Ως ποζολάνες ορίζονται φυσικά ή τεχνητά υλικά με πυριτική ή αργιλοπυριτική σύνθεση, τα οποία, όταν βρίσκονται σε πολύ λεπτό διαμερισμό και σε συνθήκες υγρασίας, αντιδρούν χημικά με την υδράσβεστο ($\text{Ca}(\text{OH}_2)$), δίνοντας υδραυλικές ιδιότητες παρόμοιες με του τσιμέντου. Η χημική αντίδραση που συντελείται προσφέροντας κονιάματα με υψηλή μηχανική αντοχή, μείωση της οξείδωσης και αύξηση της στεγανότητας είναι η εξής: [30, [31]



Στην αρχαία Ρώμη, οι Ρωμαίοι ανακάλυψαν τη χρήση της ποζολάνης, όπου το όνομά της προέρχεται από το χωριό Pozzuoli της Ιταλίας, που είναι κοντά στον Βεζούβιο και από εκεί άρχισε η εξόρυξή της. Ήδη από τα αρχαία χρόνια ο Βιτρούβιος είχε παρατηρήσει την άριστη συμπεριφορά κονιαμάτων με ποζολάνη. Αυτή η ανακάλυψη επέτρεψε την κατασκευή εντυπωσιακών κατασκευών σε μνημεία της Ιταλίας και της Αρχαίας Ελλάδας. Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα, η χρήση της ποζολάνης υποχώρησε, αλλά επανήλθε στο προσκήνιο κατά τον 18ο και 19ο αιώνα, όταν ανακαλύφθηκε η χημική της χρησιμότητα. Αυτή η ανακάλυψη συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη της βιομηχανίας τσιμέντου και στην κατασκευή σύγχρονων υποδομών. [27], [28], [29]

Οι ποζολάνες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τις φυσικές και τις τεχνητές. Οι φυσικές ποζολάνες είναι ηφαιστειακές γαίες όπως η Ιταλική ποζολάνη από το Pozzuoli, η Θηραϊκή γη, γερμανική Trass. Τεχνητές ποζολάνες είναι οι ποζολάνες που δημιουργούνται από τη θερμική επεξεργασία άργιλου και σχιστόλιθου στους 770 – 900 °C . Επίσης, τεχνητή ποζολάνη θεωρείται και η ιπτάμενη τέφρα από την καύση λιθανθράκων και λιγνιτών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η φυσική ποζολάνη από Θηραϊκή γη, η οποία αποτελείται από ηφαιστειακή στάχτη, κίσηρη και οψιδιανός. Είναι πλούσια σε οξείδια του πυριτίου και του αργιλίου με σύσταση: [48]

SiO₂	66 %
Al₂O₃	14.5 %
Fe₂O₃	5.5 %
CaO	3.0 %
MgO	0.8 %

SO₃	0.7 %
Na₂O	3.5 %
K₂O	2.0 %

Η απώλεια πύρωσης της Θηραϊκής γης στους 1000 °C είναι 3.5 %. Λατομεία που παράγουν φυσική ποζολάνη στην Ελλάδα υπάρχουν στη Μήλο, στην Κίμωλο, στο Γυαλί. Το ειδικό της βάρος είναι 1.1 gr/cm³ και η υγρασία της κυμαίνεται μεταξύ 14 – 22. [49]

Σήμερα, η ποζολάνη χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές κατασκευαστικές εφαρμογές, όπως στην κατασκευή σκυροδέματος, έργων οδοποιίας, υδραυλικών έργων και βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Συνεχίζει να αποτελεί βασικό υλικό για τη βελτίωση της αντοχής και της ανθεκτικότητας των κατασκευών, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη βιώσιμων κατασκευών και υποδομών.

• Ασβεστοπολτός

Ο ασβεστοπολτός είναι ένα υψηλής ποιότητας οικοδομικό υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές αποκατάστασης και κατασκευής. Παράγεται από την καύση ασβεστούχων υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία γρήγορου ασβέστη (CaO), ο οποίος στη συνέχεια σβήνεται με νερό για να σχηματίσει υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)₂). Αυτή η διαδικασία εξασφαλίζει την παραγωγή ενός υλικού με εξαιρετική ελαστικότητα και προσκόλληση. [32]

Ο ασβεστοπολτός χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή στη διάβρωση και την ικανότητα να επιτρέπει την "αναπνοή" των κτιρίων, δηλαδή τη διήθηση υγρασίας. Αυτός ο μηχανισμός αποτρέπει τη συσσώρευση υγρασίας στους τοίχους, μειώνοντας τον κίνδυνο ζημιών και αυξάνοντας τη μακροζωία των κατασκευών. [33] Επιπλέον, η χρήση του σε συνδυασμό με ποζολανικά υλικά, όπως η τέφρα πυριτίου ή η Θηραϊκή γη, βελτιώνει τις μηχανικές του ιδιότητες και την αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό. [34]

Ένας σημαντικός μηχανισμός που συμβάλλει στην αντοχή του ασβεστοπολτού είναι η ανθράκωση. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, το υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)₂) αντιδρά με το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) της ατμόσφαιρας, σχηματίζοντας ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃), το οποίο είναι εξαιρετικά ανθεκτικό. Αυτή η αντίδραση μπορεί να διαρκέσει αρκετά χρόνια, αλλά εξασφαλίζει μακροχρόνια σταθερότητα και αντοχή στις καιρικές συνθήκες. [35]

Οι κύριες εφαρμογές της ασβεστοκονίας περιλαμβάνουν:

Αποκατάσταση Ιστορικών Κτιρίων: Συχνά χρησιμοποιείται για την ανακαίνιση και τη συντήρηση ιστορικών κτιρίων, διατηρώντας την αυθεντικότητά τους.

Ενίσχυση Τοίχων: Χρησιμοποιείται για την ενίσχυση και την ανακατασκευή τοίχων, προσδίδοντας αντοχή και ανθεκτικότητα.

Διακοσμητικές Επιφάνειες: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία διακοσμητικών επιφανειών, προσδίδοντας μια φυσική και παραδοσιακή αίσθηση.

Συνολικά, ο ασβεστοπολτός αντιπροσωπεύει ένα εξαιρετικό οικοδομικό υλικό που συνδυάζει την παραδοσιακή γνώση με τις σύγχρονες ανάγκες της ανακαίνισης και της συντήρησης κτιρίων. Η χρήση της απαιτεί ειδικές τεχνικές, αλλά προσφέρει μοναδικά πλεονεκτήματα όπως η αντοχή στην υγρασία και η διαπνοή. Ο ένυδρος ασβέστης που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των πάνελ ήταν από την Ασβεστοποιία Κρήτης (ΑΣΒΕΚ).

• Γύψος

Ο γύψος αποτελεί ένα πολυχρηστικό υλικό με πολλές χρήσεις στην οικοδομική βιομηχανία και διαθέτει διάφορες ιδιότητες. Όταν αναφερόμαστε στο γύψο, συνήθως εννοούμε την υδρατμική μορφή του, αλλά αυτή είναι μόνο μία από τις πολλές μορφές που μπορεί να λάβει.

Ο γύψος, με χημικό τύπο $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, είναι ένα φυσικό υλικό που απαντάται ευρέως στη φύση και αποτελείται από θειικό ασβέστιο συνδυασμένο με δύο μόρια νερού. Εμφανίζει λευκή απόχρωση, κρυσταλλική δομή και μέτρια διαλυτότητα σε νερό. Όταν εκτεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. $150\text{--}170^\circ\text{C}$), χάνει μερικό νερό, σχηματίζοντας ημίνερο γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), ο οποίος αντιδρά με νερό για να σκληρύνει, προσφέροντας ευκολία στη διαμόρφωση. Η μη τοξικότητά του και η δυνατότητα επανάδρασης τον καθιστούν ιδανικό για αρχιτεκτονικές εφαρμογές. [36], [37]

Παρά το γεγονός ότι ο γύψος διαθέτει σχετικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα ($0,17\text{--}0,25 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), δεν θεωρείται κύριο υλικό για θερμομόνωση. Η πολυστερίνη ($0,03\text{--}0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) και ο ορυκτοβάμβακας προσφέρουν καλύτερες επιδόσεις. Ωστόσο, η ικανότητα του γύψου να απορροφά και να απελευθερώνει υγρασία βοηθά στη σταθεροποίηση του κλίματος εσωτερικών χώρων, μειώνοντας έμμεσα την ενεργειακή ζήτηση για θερμοκρασιακό έλεγχο. Αυτή η ιδιότητα τον κάνει χρήσιμο σε συνδυασμό με άλλα υλικά. [38]

Συχνά ενσωματώνεται σε πολυστρωματικά συστήματα θερμομόνωσης, συνδυαζόμενος με υλικά όπως η αφροπολυστερίνη, για να ενισχύσει τη δομική ακεραιότητα. Παράλληλα, η ιδιότητά του να ρυθμίζει την υγρασία ελαχιστοποιεί τη συμπύκνωση υδρατμών, υποστηρίζοντας τη μακροζωία των κατασκευών. Παρόλο που δεν είναι η πρώτη επιλογή για μόνωση, η πολυλειτουργικότητά του τον καθιστά απαραίτητο συστατικό σε ολοκληρωμένες λύσεις κατασκευής. [39]

Στον τομέα των κατασκευών, ο γύψος χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της ταχείας σκλήρυνσης και της ευκολίας επεξεργασίας. Μεταξύ των κύριων χρήσεων του συγκαταλέγονται: [40], [41]

- Επενδύσεις τοίχων και οροφών: Οι γυψοσανίδες δημιουργούν λείες και ανθεκτικές επιφάνειες σε εσωτερικούς χώρους.
- Εξομάλυνση υποβάθρων: Στρώσεις γυψομάζας χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία επιφανειών πριν από την τελική επίστρωση.
- Διακοσμητικά στοιχεία: Λόγω της πλαστικότητάς του, κατασκευάζονται κορνίζες, καλούπια και άλλα διακοσμητικά μοτίβα.
- Προστασία από υγρασία: Επιφανειακές επενδύσεις με γύψο μειώνουν τον κίνδυνο υγρασίας σε συγκεκριμένες δομές.

3.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Δείγματα και Υλικά

Για την διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματος χρειάστηκε να γίνει πρώτα επεξεργασία των φυσικών ινών που χρησιμοποιήθηκαν. Τα φυσικά υλικά, ως βασικές ίνες για θερμομόνωση, που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- **Τα Ποσειδωνία φύκια**, τα οποία ξεπλύθηκαν για την απομάκρυνση του αλατιού, της άμμου και στη συνέχεια αποξηράθηκαν, με φυσικό τρόπο για την απομάκρυνση της υγρασίας.
- **Το καλάμι Arundo Donax**, το οποίο τεμαχίστηκε σε μικρά μεγέθη και αποξηράθηκε σε φούρνο.
- **Τα φύλλα ελιάς**, τα οποία τεμαχίστηκαν σε 3 ίσα μέρη το κάθε φύλλο και αποξηράθηκαν επίσης σε φούρνο.

Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν μείγματα με πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως συνδετικά υλικά και τοποθετήθηκαν μέσα σε καλούπια μεγέθους 9 cm x 9 cm x 3 cm με σκοπό την κατασκευή δύο στερεών πλακών για το κάθε δείγμα. Τα πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο αβεστοπολτός, ο γύψος, η ποζολάνη (θηραϊκή γαία), ο άργιλος και το νερό, όπου διαχρονικά αυτά τα υλικά έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στις οικοδομικές κατασκευές από τα αρχαία χρόνια. Δημιουργήθηκαν διάφορες συνταγές χρησιμοποιώντας τα παραπάνω υλικά συνδυαστικά μαζί με τις ίνες. Για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκαν και μελετήθηκαν 34 δείγματα, επομένως 68 στερεές πλάκες.

3.1.1 Διαδικασία κατασκευής των πάνελ

Η διαδικασία κατασκευής των πάνελ για όλα τα δείγματα έγινε με συγκεκριμένο τρόπο. Τα μείγματα δημιουργήθηκαν από τον συνδυασμό των παρακάτω υλικών:

1. Φυσική ίνα – Αβεστοπολτός – Ποζολάνη - Νερό
2. Φυσική ίνα – Αβεστοπολτός – Γύψος - Νερό
3. Φυσική ίνα – Αβεστοπολτός – Ποζολάνη – Γύψος – Νερό
4. Φυσική ίνα – Άργιλος – Γύψος - Νερό
5. Φυσική ίνα – Άργιλος – Νερό

Η φυσική ίνα αντιπροσώπευε το 70% ή 75% ή το 80% του κάθε μείγματος.

Αρχικά, σε ένα μπολ ρίχναμε μέσα την ποσότητα των φυσικών ινών που επιλέγαμε ανάλογα με την συνταγή. Στη συνέχεια, ρίχναμε μέσα στο μπολ την επί της % ποσότητα των συνδετικών υλικών και του νερού που επιλέξαμε. Για παράδειγμα, σε ένα μείγμα των 1200 ml, το 80% ήταν φυσική ίνα δηλαδή 960 ml, το 10% πιθανόν να ήταν αβεστοπολτός δηλαδή 120 ml, το 6% Ποζολάνη δηλαδή 72 ml και το 4% νερό δηλαδή 48 ml. Τα χαρακτηριστικά της κάθε συνταγής διαφέρανε με σκοπό να δημιουργηθούν πάνελ με καλή δομική αντοχή και καλή θερμική αγωγιμότητα. Έπειτα αναδεύαμε το μείγμα πολύ καλά ώστε να ομογενοποιηθούν όλα τα υλικά. Τέλος τοποθετήσαμε το μείγμα σε δύο καλούπια με όγκο $V = 0,000243 \text{ m}^3$ (0,09m πλάτος, 0,09m μήκος, 0,03m ύψος). Η τοποθέτηση του μείγματος στα 2 καλούπια έγινε με συγκεκριμένη ποσότητα γραμμαρίων σε μικρές δόσεις ώστε να επιτευχθεί το ίδιο βάρος και πυκνότητα

στις δύο μας πλάκες. Μετά από 24 ώρες ξεκαλουπώναμε τα δείγματα μας και τα αφήναμε να στεγνώσουν.



Εικόνα 3.1.1.1: Ομογενοποιημένο μείγμα μέσα στο καλούπι

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες με τα υπό μελέτη δείγματα που δημιουργήθηκαν:

Πίνακας 3.1.1: Χαρακτηριστικά και ονομασία δειγμάτων για καλάμια με συνδετικό Ασβεστοπολτό - Θηραϊκή Γη ΠΡΟΛΑΤ

	Ονομασία Δείγματος	%Σύνθεση Δείγματος	Πυκνότητα kg/m ³	Ποιότητα δείγματος (συντήρηση, φούσκωμα, ευθραυστότητα κλπ.)
1	Καλάμια 70% -1500ml	15 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 9 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 6 Νερό, 70 Arundo Donax	817	Πολύ βαρύ
2	Καλάμια 75% -1500ml	12.5 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 7.5 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 4 Νερό, 75 Arundo Donax	794	Καλή
3	Καλάμια 80% - 1500ml	10 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 6 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 4 Νερό, 80 Arundo Donax	632	Καλή
4	Καλάμια 75% - 1000ml	12.5 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 7.5 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 5 Νερό, 75 Arundo Donax	548	Καλή
5	Καλάμια 80% -1000ml	10 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 6 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 4 Νερό, 80 Arundo Donax	440	Πολύ εύθραυστο
6	Καλάμια 70% - 1200ml	15 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 9 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 6 Νερό, 70 Arundo Donax	669	Καλή
7	Καλάμια 75% - 1200 ml	12.5 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 7.5 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 5 Νερό, 75 Arundo Donax	634	Καλή
8	Καλάμια 80% - 1200ml	10 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 6 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 4 Νερό, 80 Arundo Donax	525	Καλή

Πίνακας 3.1.2: Χαρακτηριστικά και ονομασία δειγμάτων για καλάμια με συνθετικό Ασβεστοπολτό - Γύψο – Άργιλο

	Ονομασία Δείγματος	Σύνθεση Δείγματος %	Πυκνότητα kg/m ³	Ποιότητα δείγματος (συντήρηση, φούσκωμα, ευθραυστότητα κλπ.)
1	Καλάμια 80%-1200-Γ00	10 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 6 Γύψος, 4 Νερό, 80 Arundo Donax	531	Καλή
2	Καλάμια 80%-1200ml-Γ01	8 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 8 Γύψος, 4 Νερό, 80 Arundo Donax	-	Πολύ εύθραυστο
3	Καλάμια 80%-1200ml-Γ02	10 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 6 Γύψος, 4 Νερό, 80 Arundo Donax	-	Πολύ εύθραυστο
4	Καλάμια 80%-1200ml-Γ03	6 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 8 Γύψος, 6 Νερό, 80 Arundo Donax	-	Πολύ εύθραυστο
5	Καλάμια 80%-1200ml-Γ04	7 Άργιλος, 6 Γύψος, 7 Νερό, 80 Αγριοκάλαμο	-	Πολύ εύθραυστο
6	Καλάμια 80%-1200ml-Γ05	12 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 4 Γύψος, 4 Νερό, 80 Arundo Donax	506	Καλή
7	Καλάμια 75%-1200ml-Γ06	9 Άργιλος, 7 Γύψος, 9 Νερό, 75 Arundo Donax	823	Πολύ βαρύ
8	Καλάμια 70%-1200ml-Γ07	10 Άργιλος, 10 Γύψος , 10 Νερό, 70 Arundo Donax	887	Πολύ βαρύ
9	Καλάμια 80%-1200ml-Γ08	13 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 3 Γύψος , 4 Νερό, 80 Arundo Donax	521	Καλή

10	Καλάμια 80%-1200ml-F09	10 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 3 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 3 Γύψος, 4 Νερό, 80 Arundo Donax	553	Καλή
11	Καλάμια 80%-1200ml-X00	10 Άργιλο, 10 Νερό, 80 Arundo Donax	463	Καλή

Πίνακας 3.1.3: Χαρακτηριστικά και ονομασία δειγμάτων για φύκια με συνθετικό Ασβεστοπολτό - Γύψο – Άργιλο
– Θηραϊκή Γη ΠΡΟΛΑΤ

	Ονομασία Δείγματος	Σύνθεση Δείγματος %	Πυκνότητα kg/m ³	Ποιότητα δείγματος (συντήρηση, φούσκωμα, ευθραυστότητα κλπ.)
1	Φύκια 70%-1500ml	15 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 9 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 6 Νερό, 70 Φύκια	698	Φούσκωμα
2	Φύκια 75%-1500ml	12.5 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 7.5 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 5 Νερό, 75 Φύκια	658	Φούσκωμα
3	Φύκια 80%-1500m	10 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 6 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 4 Νερό, 80 Φύκια	490	Φούσκωμα
4	Φύκια 70%-1200ml	15 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 9 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 6 Νερό, 70 Φύκια	634	Καλή
5	Φύκια 75%-1200ml	12.5 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 7.5 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 5 Νερό, 75 Φύκια	547	Καλή
6	Φύκια 80% - 1200ml	10 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 6 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 4 Νερό, 80 Φύκια	389	Φούσκωμα
7	Φύκια 80% -1200ml-F00	10 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 6 Γύψος, 4 Νερό, 80 Φύκια	-	Φούσκωμα

8	Φύκια 80% -1200ml-Γ01	7 Άργιλο, 6 Γύψος, 6 Νερό, 80 Φύκια	-	Φούσκωμα
9	Φύκια 80% -1200ml-Γ02	10 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 6 Γύψος, 4 Νερό, 80 Φύκια	-	Φούσκωμα
10	Φύκια 80% -1200ml-Χ00	10 Άργιλος, 10 Νερό, 80 Φύκια	379	Καλή

Πίνακας 3.1.4: Χαρακτηριστικά και ονομασία δειγμάτων για φύλλα ελιάς με συνθετικό Ασβεστοπολτό - Θηραϊκή Γη ΠΡΟΛΑΤ

Ονομασία Δείγματος		Σύνθεση Δείγματος %	Πυκνότητα kg/m ³	Ποιότητα δείγματος (συντήρηση, φούσκωμα, ευθραυστότητα κλπ.)
1	Ελιά 70%-895ml	15 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 9 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 6 Νερό, 70 Ελιά	584	Καλή
2	Ελιά 75%-895ml	12.5 Ασβεστοπολτός ΑΣΒΕΚ, 7.5 Ποζολάνη ΠΡΟΛΑΤ, 5 Νερό, 75 Ελιά	490	Πολύ εύθραυστο

3.2 Μηχάνημα εκτέλεσης μετρήσεων: Hot Disk

[42]

Πραγματοποιήθηκαν δειγματοληπτικές μετρήσεις χρησιμοποιώντας τη συσκευή Hot Disk και τη μέθοδο TPS1500. Η μέθοδος TPS είναι μία από εκείνες τις τεχνικές που προσφέρουν έναν αξιόπιστο και εύκολο τρόπο μελέτης των ιδιοτήτων θερμικής μεταφοράς. Αυτή η συγκεκριμένη μέθοδος επιτρέπει τον προσδιορισμό πληροφοριών σχετικά με την θερμική αγωγιμότητα, τη θερμική διάχυση και την ποσότητα ειδικής θερμότητας ανά μονάδα όγκου που πρέπει να ληφθούν με βάση το πρότυπο ISO 22007-2.

Για τον προσδιορισμό των παραπάνω πληροφοριών η μέθοδος TPS χρησιμοποιεί τον παροδικά θερμαινόμενο ανιχνευτή επιπέδου Hot Disk Thermal Constants Analyzer, ο οποίος περιέχει έναν αισθητήρα ηλεκτρικά αγωγίμου νικελίου με ενίσχυση μονωτικού φιλμ και στις δύο όψεις (Kapton). Όταν γίνονται οι μετρήσεις, ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος ανάμεσα στις επιφάνειες των δύο δειγμάτων (πλακών), έτσι ώστε να μπορεί να μετρήσει τις θερμικές ιδιότητες των υπό δοκιμή υλικών. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής δοκιμής, διέρχεται ρεύμα στον αισθητήρα με αποτέλεσμα να παράγει θερμότητα και ταυτόχρονα να παρακολουθούνται η εναλλαγή της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου.



Εικόνα 3.2.1: Μηχάνημα Hot Disk

3.2.1 Εξαρτήματα Μηχανήματος Hot Disk

[42]

➤ Hot Disk Sensor:

Η επιφάνεια του αισθητήρα αποτελείται από ένα διπλό σπειρωτό μοτίβο, ηλεκτρικά αγωγίμο, το οποίο έχει χαραχθεί από ένα λεπτό φύλλο νικελίου. Το φύλλο νικελίου επιλέγεται λόγω του υψηλού αναγνωρισμένου συντελεστή αντίστασης στη θερμοκρασία. Το αγωγίμο μοτίβο περικλείεται από ένα φιλμ Polyimide (Kapton) πάχους 12,7 μm ή 25

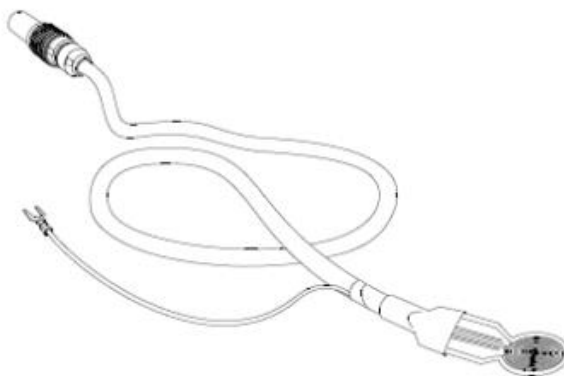
μm, μονώνοντας το νικέλιο. Το συνολικό πάχος του αισθητήρα είναι μεταξύ 60 και 80 μm (συμπεριλαμβανομένου του πάχους της κόλλας). Το φιλμ Kapton έχει εύρος αντοχής στη θερμοκρασία από -243 °C έως 300 °C. Καθώς το πείραμα διεξήχθη σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος το φύλλο της Kapton ήταν η πιο ωφέλιμη επιλογή λόγω του πολύ μικρότερου πάχους μόνωσης από τα άλλα διαθέσιμα φιλμ.



Εικόνα 3.2.1.1: Αισθητήρας Hot Disk με μόνωση Kapton

➤ **Προεκτάσεις καλωδίων και υποδοχές αισθητήρων:**

Χρησιμοποιήθηκε καλώδιο επέκτασης του αισθητήρα λόγω ότι το πείραμα έγινε σε θερμοκρασία δωματίου και γνωρίζοντας ότι η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του είναι οι 50 °C. Επίσης, υπάρχει ένα καλώδιο που προεξέχει του οποίου η λειτουργία είναι για την σταθεροποίηση του αισθητήρα.



Εικόνα 3.2.1.2: Επέκταση καλωδίου για θερμοκρασίες δωματίου με αισθητήρα Hot Disk

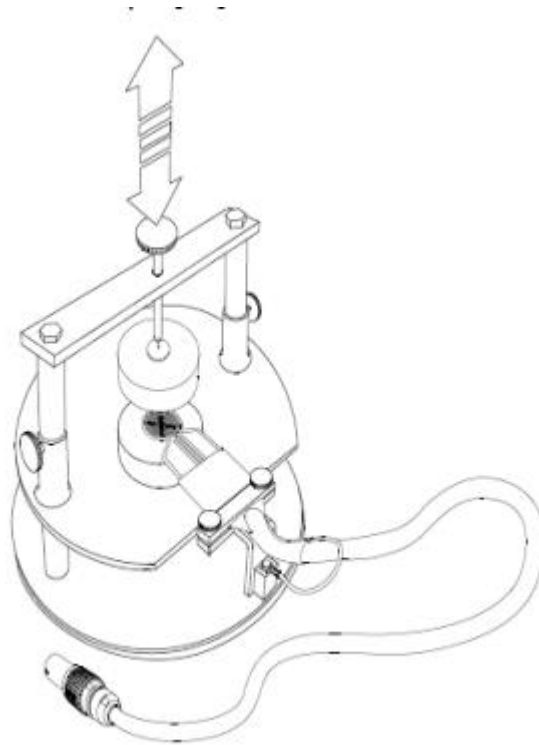
➤ **Επιλογή ακτίνας του αισθητήρα:**

Για την ορθή διεξαγωγή των μετρήσεων και την αξιοπιστία τους χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας με ακτίνα 14,61 mm που είναι κατάλληλος για ομοιογενή υλικά σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του μηχανήματος

➤ **Υποστήριξη δειγμάτων σε θερμοκρασία δωματίου.**

Η υποστήριξη δειγμάτων είναι μία κατασκευή από ανοξείδωτο χάλυβα και αποτελείται από:

- Την θήκη υποδοχής των δειγμάτων στην οποία μπορούν να τοποθετηθούν πλάκες μεγέθους 45mm η καθεμία και διάμετρο 70 mm.
- Ένα κυλινδρικό κάλυμμα από ανοξείδωτο χάλυβα ύψους 150 mm και 170mm διάμετρο με σκοπό την προστασία των δειγμάτων από διαταραχές της θερμοκρασίας μέσω της ροής του αέρα.



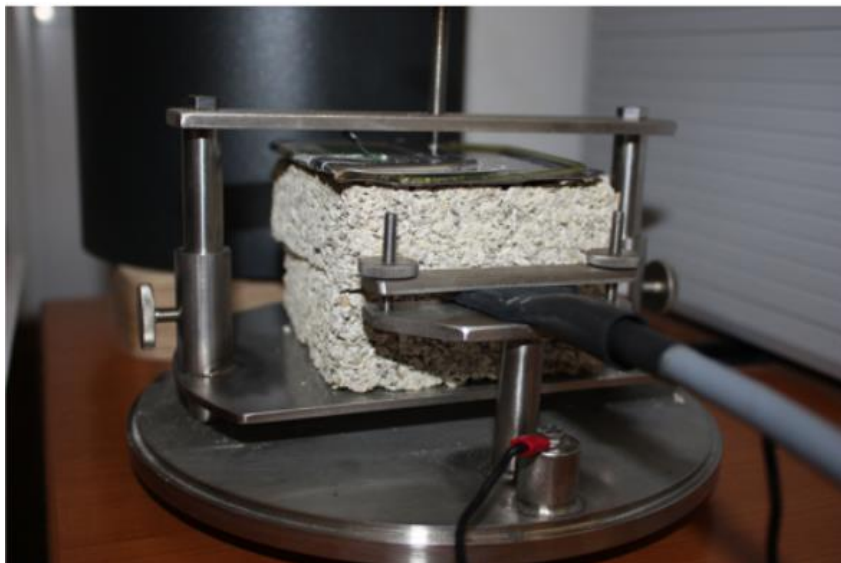
Εικόνα 3.2.1.3: Εσωτερικό υποστηρικτή δείγματος για μετρήσεις σε θερμοκρασία δωματίου



Εικόνα 3.2.1.4: Προστατευτικό περίβλημα υποστηρικτή δείγματος για μετρήσεις σε θερμοκρασία δωματίου

3.3 Στάδια πειραματικής διαδικασίας στο μηχάνημα Hot Disk

Για την εκπόνηση του συγκεκριμένου πειράματος και τη σωστή χρησιμοποίηση του μηχανήματος Hot Disk ακολουθήθηκαν κάποια βήματα. Αρχικά, τοποθετήθηκαν τα δείγματα (πλάκες) και ο αισθητήρας στο σύστημα στήριξης. Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε ανάμεσα στα τα δύο δείγματα, των οποίων οι διαστάσεις είναι μεγαλύτερες από την διάμετρο του αισθητήρα. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μέτρηση της φέρουσας θερμοκρασίας του κάθε δείγματος, η οποία αντιστοιχεί στη θερμοκρασία δωματίου. Έπειτα, τοποθετήθηκαν τα δεδομένα στο πρόγραμμα του μηχανήματος ώστε να ξεκινήσουν οι μετρήσεις της θερμικής αγωγιμότητας των δειγμάτων. Τα δείγματα δεν συμπίεστηκαν στο μηχάνημα στήριξης για να μην τροποποιηθούν οι ιδιότητες τους.



Εικόνα 3.3.1: Τοποθέτηση δείγματος στο σύστημα στήριξης.

Για την διαδικασία των μετρήσεων είναι γνωστές όλες οι αναγκαίες παράμετροι, πέρα από την παρεχόμενη θερμότητα του αισθητήρα (heating power) και του χρόνου μέτρησης (measurement time). Παρακάτω παρουσιάζονται οι γνωστές παράμετροι που τοποθετήθηκαν στο πρόγραμμα:

1. Ο αισθητήρας Hot Disk 4922 με διάμετρο 14,611mm που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις.
2. Το πάχος του υλικού το οποίο μετρήθηκε με παχύμετρο σε mm.
3. Η θερμοκρασία του υλικού, η οποία μετρήθηκε με θερμομέτρο laser.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν διάφορες τιμές παρεχόμενης θερμότητας (heating power) και χρόνου μέτρησης (measurement time), με στόχο την αποκόμιση της βέλτιστης τιμής της θερμικής αγωγιμότητας. Σημαντικό να αναφερθεί ότι η παρεχόμενη θερμότητα επηρεάζεται από την θερμική αγωγιμότητα. Επομένως, αν ασκηθεί μεγάλη παρεχόμενη θερμότητα σε υλικά με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα υπάρχει κίνδυνος να προκληθεί μόνιμη βλάβη στον αισθητήρα, άρα κατά συνέπεια τα αποτελέσματα θα είναι λανθασμένα.

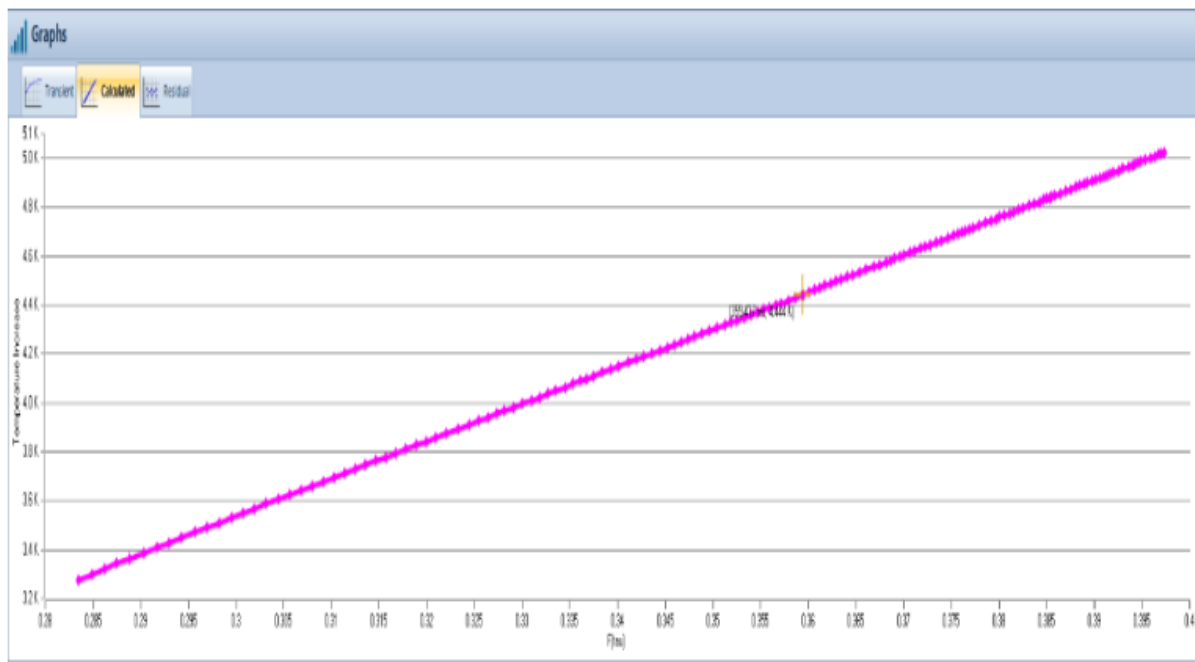
Η αναλυτική διαδικασία που ακολουθήθηκε για κάθε δείγμα ήταν η εξής. Αρχικά εφαρμόστηκαν μικρές τιμές heating power, 20 mW στα 20 sec (τα 20 seconds είναι η ελάχιστη τιμή measurement time, που μπορεί να επιλεγεί με βάση τις προδιαγραφές του αισθητήρα). Έγινε έλεγχος αν οι τιμές των μετρήσεων ήταν αποδεκτές, δηλαδή αν οι τιμές αύξησης της θερμοκρασίας και τα συνολικά χαρακτηριστικά είναι αποδεκτές ή εκτός ορίων. Εφ' όσον είναι μη αποδεκτές προχωρήσαμε στο επόμενο βήμα, δηλαδή στην αύξηση της παροχής θερμότητας (heating power) ή στην αύξηση του χρόνου μέτρησης (measurement time) ή στην αύξηση και των δύο παραπάνω, με σκοπό την

εύρεση τιμών χωρίς αποκλίσεις. Για όλα τα δείγματα εφαρμόστηκαν μια σειρά από διαφορετικές εκδοχές heating power και measurement time, ώστε να επιτευχθούν το όσο δυνατόν βέλτιστα αποτελέσματα. Οι εκδοχές που δοκιμάστηκαν ήταν:

1. 20 mW στα 20 sec
2. 20 mW στα 40 sec
3. 40 mW στα 40 sec
4. 60 mW στα 40 sec
5. 80 mW στα 40 sec
6. 20 mW στα 80 sec
7. 40 mW στα 80 sec
8. 60 mW στα 80 sec
9. 80 mW στα 80 sec

Μετά το πέρας της κάθε μέτρησης αφέθηκε χρόνος αναμονής 20 λεπτών για να επανέλθει σε θερμοκρασιακή ισορροπία το δείγμα μέχρι να ξεκινήσει η επόμενη μέτρηση. Αυτό εξυπηρετεί στην μείωση των σφαλμάτων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και στην λήψη βέλτιστων αποτελεσμάτων.

Τέλος, πρέπει να ληφθεί η παράμετρος του διαγράμματος **Αύξησης της θερμοκρασίας (temperature increase) συναρτήσει του χρόνου χαλάρωσης F (τ)**. Αν το διάγραμμα είναι μία ευθεία γραμμή τότε οι υπολογισμοί είναι καλοί, αν όχι τότε μειώνεται το εύρος των τιμών που δίνεται ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για κάθε δείγμα το εύρος των τιμών διαφέρει και προσαρμόζεται ανάλογα. Το μέγιστο εύρος τιμών που μπορεί να οριστεί, είναι 0 – 200.



Εικόνα 3.3.1: Διάγραμμα ορθού εύρους μετρήσεων Temperature Increase – F (τ)

3.4 Αποτελέσματα και Σχόλια

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της των δειγμάτων που δημιουργήθηκαν, σύμφωνα με τις μεθόδους Standard Analysis και Fine Tune Analysis που μας προσέφερε το μηχάνημα μετρήσεων Hot Disk. Στη συνέχεια αναλύονται περισσότερο οι δύο μέθοδοι αυτοί και γίνεται επιλογή των καλύτερων δειγμάτων για περαιτέρω μελλοντική μελέτη και διερεύνηση.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με όλα τα υπό μελέτη δείγματα. Σε αυτόν τον πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πυκνότητας των υλικών καθώς επίσης και η θερμική αγωγιμότητα, η θερμοχωρητικότητα και η θερμική διάχυση για τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 3.4.1: Παρουσίαση αποτελεσμάτων					From Hot disk Technic - Standard Analysis			From Hot disk Technic - Fine Tune Analysis		
Ονομασία Δειγμάτων	V (m ³)	M kg	ρ kg/m ³	average ρ kg/m ³	thermal conductivity λ (W/mK)	volumic heat capacity ρC (MJ/m ³ K)	thermal diffusivity (mm ² /s)	thermal conductivity λ (W/mK)	volumic heat capacity ρC (MJ/m ³ K)	thermal diffusivity (mm ² /s)
Καλάμια με συνδετικό Ασβεστοπολλτό ΑΣΒΕΚ- Θηραϊκή Γη ΠΡΟΛΑΤ										
καλάμια 70% - 1500	0,000243	0,1980	815	817	πολύ μεγάλη πυκνότητα					
καλάμια 70% - 1500	0,000243	0,199	819							
καλάμια 75% - 1500	0,000243	0,182	749	794	0,097	0,068	1,426	0,109	0,092	1,186
καλάμια 75% - 1500	0,000243	0,204	840							
καλάμια 80% - 1500	0,000243	0,157	646	632	0,071	0,073	1.173	0,077	0,079	0,973
καλάμια 80% - 1500	0,000243	0,15	617							
καλάμια 75% - 1000	0,000203	0,11	543	548	0,066	0,043	1,536	0,071	0,049	1,457
καλάμια 75% - 1000	0,000203	0,112	553							
καλάμια 80% - 1000	0,000203	0,088	435	440	πολύ εύθραυστο					
καλάμια 80% - 1000	0,000203	0,09	444							
καλάμια 70% - 1200	0,000243	0,165	679	669	0,084	0,0470	1,782	0,100	0,078	1,276
καλάμια 70% - 1200	0,000243	0,16	658							
καλάμια 75% - 1200	0,000243	0,1556	640	634	0,064	0,035	1,852	0,078	0,053	1,49
καλάμια 75% - 1200	0,000243	0,15256	628							
καλάμια 80% - 1200	0,000243	0,128	527	525	0,056	0,040	1,408	0,065	0,054	1,193
καλάμια 80% - 1200	0,000243	0,127	523							
καλάμια 80% - 1200-02	0,000243	0,138	568	562	0,064	0,043	1,514	0,072	0,057	1,212
καλάμια 80% - 1200-02	0,000243	0,135	556							

Καλάμια με συνθετικό Ασβεστοπολτό ΑΣΒΕΚ - Γύψο – Άργιλο

Καλάμια 80% - 1200 - Γ00	0,000243	0,127	523	531	0,072	0,053	1,357	0,083	0,078	1,064							
Καλάμια 80% - 1200 - Γ00	0,000243	0,131	539														
Καλάμια 80% - 1200 - Γ01	πολύ εύθραυστο																
Καλάμια 80% - 1200 - Γ01																	
Καλάμια 80% - 1200 - Γ02	πολύ εύθραυστο																
Καλάμια 80% - 1200 - Γ02																	
Καλάμια 80% - 1200 - Γ03	πολύ εύθραυστο																
Καλάμια 80% - 1200 - Γ03																	
Καλάμια 80% - 1200 - Γ04	πολύ εύθραυστο																
Καλάμια 80% - 1200 - Γ04																	
Καλάμια 80% - 1200 - Γ05	0,000243	0,125	514	506	0,056	0,048	1,173	0,064	0,061	1,040							
Καλάμια 80% - 1200 - Γ05	0,000243	0,121	498														
Καλάμια 80% - 1200 - Γ05-02	0,000243	0,133	547	537	0,071	0,056	1,232	0,079	0,077	1,084							
Καλάμια 80% - 1200 - Γ05-02	0,000243	0,128	527														
Καλάμια 75% - 1200 - Γ06	0,000243	0,203	835	823	πολύ μεγάλη πυκνότητα												
Καλάμια 75% - 1200 - Γ06	0,000243	0,197	811														
Καλάμια 70% - 1200 - Γ07	0,000243	0,213	877	887													
Καλάμια 70% - 1200 - Γ07	0,000243	0,218	897														
Καλάμια 80% - 1200 - Χ00	0,000243	0,114	469	463	0,071	0,052	1,385	0,082	0,073	1,127							
Καλάμια 80% - 1200 - Χ00	0,000243	0,111	457														
Καλάμια 80% - 1200 - Γ08	0,000243	0,129	531	521	0,074	0,058	1,275	0,085	0,084	1,014							
Καλάμια 80% - 1200 - Γ08	0,000243	0,124	510														
Καλάμια 80% - 1200 - Γ09	0,000243	0,132	543	553	0,075	0,056	1,321	0,084	0,079	1,093							
Καλάμια 80% - 1200 - Γ09	0,000243	0,137	564														

Φύκια με συνθετικό Ασβεστοπολτό ΑΣΒΕΚ- Γύψο – Άργιλο – Θηραϊκή Γη ΠΡΟΛΑΤ

φύκια 70% - 1500	0,000243	0,16	658	698	παραμόρφωση δείγματος					
φύκια 70% - 1500	0,000243	0,179	737							
φύκια 75% - 1500	0,000243	0,179	737	658	παραμόρφωση δείγματος					
φύκια 75% - 1500	0,000243	0,141	580							
φύκια 80% - 1500	0,000243	0,098	403	490	παραμόρφωση δείγματος					
φύκια 80% - 1500	0,000243	0,14	576							
φύκια 70% - 1200	0,000243	0,169	695	634	0,083	0,046	1,81	0,100	0,0784	1,2695
φύκια 70% - 1200	0,000243	0,139	572							
φύκια 75% - 1200	0,000243	0,133	547	547	0,091	0,077	1.193	0,096	0,1909	0,485
φύκια 75% - 1200	0,000243	0,133	547							
φύκια 80% - 1200	0,000243	0,099	407	389	0,055	0,031	1.805	0,069	0,043	1,610
φύκια 80% - 1200	0,000243	0,09	370							
Φύκια 80% - 1200 - Γ00	παραμόρφωση δείγματος									
Φύκια 80% - 1200 - Γ00										
Φύκια 80% - 1200 - Γ01	παραμόρφωση δείγματος									
Φύκια 80% - 1200 - Γ01										
Φύκια 80% - 1200 - Γ02	παραμόρφωση δείγματος									
Φύκια 80% - 1200 - Γ02										
Φύκια 80% - 1200 - Χ 00	0,000243	0,094	387	379	0,065	0,031	2,078	0,086	0,070	1,230
Φύκια 80% - 1200 - Χ 00	0,000243	0,09	370							
Ελιά με συνθετικό Ασβεστοπολτό ΑΣΒΕΚ - Θηραϊκή Γη ΠΡΟΛΑΤ										
ελιά 70% - 895	0,000243	0,135	556	584	0,068	0,059	1,154	0,079	0,089	0,885
ελιά 70% - 895	0,000243	0,149	613							
ελιά 75% - 895	0,000243	0,112	461	490	0,054	0,044	1.231	0,061	0,804	0,076
ελιά 75% - 895	0,000243	0,126	519							

Τα αποτελέσματα της θερμικής αγωγιμότητας, της θερμοχωρητικότητας και της θερμικής διάχυσης αποτυπώνουν το μέσο όρο των αποτελεσμάτων που πάρθηκαν από τις επαναλήψεις των δύο μεθόδων.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στον προηγούμενο πίνακα, πολλά δείγματα που δημιουργήθηκαν, είτε ήταν πολύ εύθραυστα είτε παραμορφώθηκαν. Για παράδειγμα τα δείγματα που περιείχαν γύψο ήταν πιο εύθραυστα, παρ' όλα που βοηθούσε με τις θερμομονωτικές του ικανότητες να δημιουργηθούν καλύτερα θερμομονωτικά πάνελ. Επιπλέον, τα δείγματα που περιείχαν φύκια παραμορφώθηκαν, πέρα από αυτό που περιείχε μόνο άργιλο και νερό. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε αντιδράσεις που συμβαίνουν μεταξύ των συνδετικών υλικών και της υγρασίας. Τα δείγματα αυτά αυτομάτως απορρίφθηκαν και δεν μετρήθηκαν οι θερμικές τους ιδιότητες. Επίσης, τα δείγματα που οι θερμική τους αγωγιμότητα ήταν κοντά ή πάνω από $0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ δεν επιλέχθηκαν. Τέλος, κάποια δείγματα, όπως το Γ06 και Γ07, λόγω της μεγάλης πυκνότητας που είχαν, θεωρήθηκε ότι θα επηρεαζόταν η θερμική τους αγωγιμότητα και απορρίφθηκαν χωρίς να μετρηθούν οι θερμικές τους ιδιότητες.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τα τελικά δείγματα που θεωρήσαμε ως καταλληλότερα για θερμική μόνωση.

Πίνακας 3.4.2: Καταλληλότερα δείγματα για θερμομόνωση

	Συνταγή (%)	Πυκνότητα (kg/m^3)	Thermal Conductivity λ ($\text{W/m}\cdot\text{K}$) Hot disk Technic Standard Analysis	Thermal Conductivity λ ($\text{W/m}\cdot\text{K}$) Hot disk Technic Fine Tune Analysis
Καλάμια				
Kal75 - 1200	Ασβέστη 12.5, Θ.Γ ΠΡΟΛΑΤ 7.5, Νερό 5	635	0,064	0,078
Kal75 - 1000	Ασβέστη 12.5, Θ.Γ ΠΡΟΛΑΤ 7.5, Νερό 5	548	0,066	0,071
Kal80 - 1200	Ασβέστη 10, Θ.Γ ΠΡΟΛΑΤ 6, Νερό 4	525	0,056	0,065
Kal80 - 1200 - 02	Ασβέστη 10, Θ.Γ ΠΡΟΛΑΤ 6, Νερό 4	562	0,064	0,072
Kal80 - 1200 - Γ00	Ασβέστη 10, Γύψο 6, Νερό 4	531	0,072	0,083
Kal80 - 1200 - Γ05	Ασβέστη 12, Γύψο 4, Νερό 4	506	0,056	0,064
Kal80 - 1200 - Γ08	Ασβέστη 13, Γύψο 3, Νερό 4	521	0,074	0,085
Kal80 - 1200 - Γ09	Ασβέστη 10, Θ.Γ ΠΡΟΛΑΤ 3, Γύψο 3, Νερό 4	553	0,075	0,084
Kal80 - 1200 - Χ00	Άργιλος 10, Νερό 10	463	0,071	0,082
Φύκια				
Fik80 - 1200 - Χ00	Άργιλος 10, Νερό 10	379	0,065	0,086

Ελιά				
ΕΙ70 - 895	Ασβέστη 15, Θ.Γ ΠΡΟΛΑΤ 9, Νερό 6	584	0,068	0,079

➤ **Δείγμα Kal75 -1200:**

Το παρόν δείγμα είχε σχετικά υψηλή πυκνότητα σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Αυτό αποτυπώθηκε στο βάρος και στην στιβαρότητα που είχε το δείγμα. Παρ' όλο την υψηλή πυκνότητα που είχε, παρουσίασε καλές θερμικές ιδιότητες στις δύο μεθόδους ανάλυσης χωρίς πολύ μεγάλη απόκλιση.



Εικόνα 3.4.1: Δείγμα **Kal75 – 1200**

➤ **Δείγμα Kal75 – 1000:**

Αυτό το δείγμα δεν είχε μεγάλη πυκνότητα αλλά ήταν επιρρεπές στην ευθραυστότητα. Παρουσίασε μικρότερη θερμική αγωγιμότητα από το προηγούμενο δείγμα το οποίο οφείλεται στην σύνθεσή του, δηλαδή χρησιμοποιήθηκε η ίδια συνταγή για να φτιαχτεί αλλά για 1000 ml μείγματος. Επίσης τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων ανάλυσης ήταν αρκετά κοντά.



Εικόνα 3.4.2: Δείγμα **Kal75 – 1000**

➤ Δείγμα **Kal80-1200**:

Το συγκεκριμένο δείγμα φτιάχτηκε δύο φορές για επανέλεγχο, διότι την πρώτη φορά παρουσίασε εξαιρετικές θερμομονωτικές ιδιότητες . Την πρώτη φορά η πυκνότητά του μετρήθηκε στα 525 kg/m^3 και την δεύτερη φορά στα 562 kg/m^3 . Αυτό οφείλεται ότι το μείγμα καθώς τοποθετούταν στα καλούπια πιθανόν να συμπιέστηκε παραπάνω τη δεύτερη φορά με συνέπεια να αυξηθήκε η μάζα του. Επιπλέον ήταν ένα δείγμα στιβαρό, χωρίς να θρυμματίζεται και να σπάει εύκολα και οι μέθοδοι ανάλυσης του έδωσαν μετρήσεις με μικρή απόκλιση.



Εικόνα 3.4.3: Δείγμα **Kal80-1200**

➤ Δείγμα **Kal80 – 1200 Γ00**

Το δείγμα αυτό περιείχε γύψο. Σε αντίθεση με το ότι ο γύψος στα πλείστα δείγματα παρουσίασε θρυμματισμό, στη συγκεκριμένη συνταγή είχε καλή συμπεριφορά. Η πυκνότητά του ήταν από τις μικρότερες αλλά τα αποτελέσματα της θερμικής αγωγιμότητας στις δύο μεθόδους ανάλυσης δεν ήταν τα καλύτερα. Επίσης η απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων ήταν από τις μεγαλύτερες.



Εικόνα 3.4.4: Δείγμα **Kal80 – 1200 Γ00**

➤ Δείγμα **Kal80 – 1200 Γ05**

Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρήσαμε ένα δείγμα που περιείχε γύψο και παρουσίαζε την χαμηλότερη πυκνότητα από όλα τα επιλεγμένα δείγματα με βασικό συστατικό το καλάμι. Το δείγμα παρουσίασε αρκετά ποιοτικά χαρακτηριστικά, καθώς δεν θρυμματίστηκε και δεν έσπαγε εύκολα, ενώ τα θερμομονωτικά χαρακτηριστικά που παρουσίασε ήταν αρκετά ελπιδοφόρα. Βέβαια, τα αποτελέσματα των θερμικών ιδιοτήτων του έρχονται σε αντίθεση με τα προηγούμενο δείγμα που η συνταγή του είναι παρόμοια. Για τα συγκεκριμένα δύο δείγματα καλό είναι να γίνει μελέτη πάλι.



Εικόνα 3.4.5: Δείγμα **Kal80-1200-Γ05**

➤ Δείγμα **Kal80-1200 Γ08:**

Το παρόν δείγμα έδειξε να έχει καλά δομικά στοιχεία και η πυκνότητά του ήταν χαμηλή. Παρ' όλα αυτά τα αποτελέσματα της θερμικής του αγωγιμότητας δεν ήταν τα καλύτερα δυνατά σε σχέση με άλλες συνταγές.



Εικόνα 3.4.5: Δείγμα **Kal80-1200 Γ08**

➤ Δείγμα **Kal80-1200 Γ09:**

Αντίστοιχα, και σε αυτό το δείγμα ενώ είναι ένα δείγμα με καλά δομικά στοιχεία και πυκνότητα, ενισχυμένο με ποζολάνη και γύψο, η θερμικές του ικανότητες δεν μπορούν να χαρακτηριστούν οι ιδανικότερες.



Εικόνα 3.4.6: Δείγμα **Kal80-1200 Γ09**

➤ Δείγμα **Kal80-1200 X00**:

Ως το αρχαιότερο συνδετικό και δομικό φυσικό υλικό, το μείγμα που περιείχε άργιλο ήταν πολύ ομοιογενές και με πολύ χαμηλή πυκνότητα. Επίσης δεν ήταν εύθραυστο και δεν είχε τάσεις διάλυσης. Οι θερμικές ιδιότητες που μετρήσαμε δεν ήταν οι ιδανικότερες και υπήρχε απόκλιση ανάμεσα στις δύο μεθόδους ανάλυσης.



Εικόνα 3.4.8: Δείγμα **Kal80-1200-X00**

➤ Δείγμα **Fik80-1200 X00**:

Από όλα τα δείγματα που δημιουργήθηκαν με ποσειδωνία φύκια, ήταν το μοναδικό δείγμα που δεν αντέδρασε το συνδετικό υλικό με τα φύκια και δεν παραμορφωποιήθηκε ή φούσκωσε το πάνελ. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο ότι ο άργιλος που χρησιμοποιήθηκε είναι φυσικό προϊόν χωρίς καμία επεξεργασία που να αντιδρά με την ίνα. Το δείγμα επίσης δεν ήταν εύθραυστο και η πυκνότητα του ήταν αρκετά χαμηλή. Οι θερμικές ιδιότητες που παρουσίασε δεν ήταν καθόλου ενθαρρυντικές. Υπήρξε πολύ μεγάλη απόκλιση μεταξύ των δύο μεθόδων ανάλυσης και η μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας που πήραμε από την Fine Tune Analysis, ήταν η μεγαλύτερη από όλα τα τελικά δείγματα.



Εικόνα 3.4.9: Δείγμα **Fik80-1200-X00**

➤ Δείγμα **EI70-895**:

Σε αυτό το δείγμα παρατηρήθηκε καλή δομική ομοιογένεια χωρίς να είναι εύθραυστο, χωρίς να παραμορφώνεται, ενώ η πυκνότητά του ήταν σχετικά μεγάλη. Με τη μέθοδο Fine Tune Analysis η μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας που είναι λίγο κάτω από το $0,08 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ μπορεί να χαρακτηριστεί και ελπιδοφόρα, αν πάρουμε υπόψη ότι τα φύλλα ελιάς ως βασικό συστατικό δεν ερευνήθηκαν σε μεγάλο βαθμό και δεν δοκιμάστηκαν διαφορετικές συνταγές.



Εικόνα 3.4.10: Δείγμα **EI70-895**

3.4.1 Σύγκριση μεθόδων Standard Analysis και Fine Tune Analysis

Για την λήψη των αποτελεσμάτων θερμικής αγωγιμότητας της μεθόδου TPS χρησιμοποιήθηκαν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι μέθοδοι ανάλυσης Standard Analysis και Fine Tune Analysis. Κάθε μέθοδος έχει συγκεκριμένες εφαρμογές και χρησιμοποιείται ανάλογα με τις απαιτήσεις της ανάλυσης.

Standard Analysis

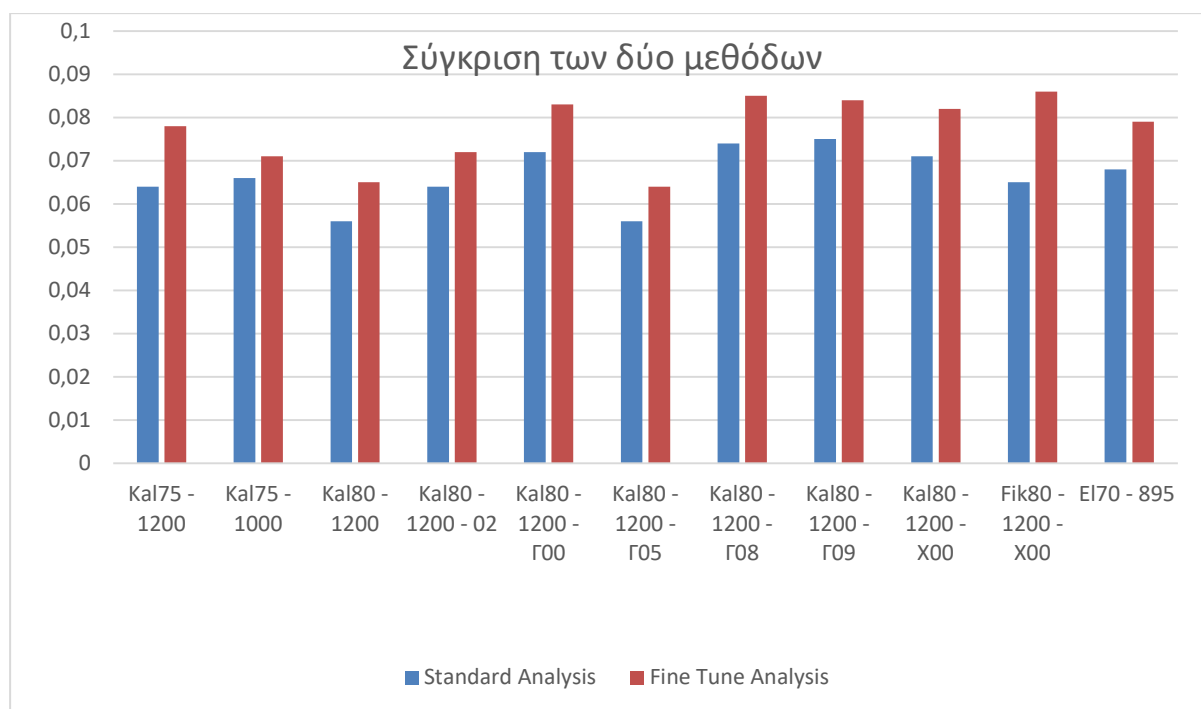
Χρησιμοποιείται για τις περισσότερες τυπικές μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας. Και είναι κατάλληλη για μια ευρεία γκάμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων στερεών, υγρών, και ημιστερεών υλικών. Προσφέρει αρκετά καλή ακρίβεια για τις περισσότερες εφαρμογές χωρίς την ανάγκη λεπτομερούς προσαρμογής των παραμέτρων. Πλεονέκτημά της είναι η απλούστερη χρήση και το ότι είναι η πιο γρήγορη μέθοδος λόγω της απλούστερης διαδικασίας ανάλυσης.

Fine Tune Analysis

Χρησιμοποιείται όταν απαιτείται εξαιρετικά υψηλή ακρίβεια και λεπτομέρεια στις μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας και είναι κατάλληλη για υλικά με ιδιότητες που μπορεί να προκαλέσουν αστάθειες ή ιδιαιτερότητες κατά τη μέτρηση (π.χ., ανισότροπα υλικά, σύνθετα υλικά, υλικά με πολύ υψηλή ή χαμηλή θερμική αγωγιμότητα). Χρησιμοποιείται όταν οι συνθήκες της μέτρησης είναι πολύ συγκεκριμένες και απαιτούν λεπτομερή προσαρμογή των παραμέτρων του μοντέλου. Πλεονέκτημά της είναι ότι προσφέρει βελτιωμένη ακρίβεια και δυνατότητα προσαρμογής στις ιδιαιτερότητες του υλικού. Επιπλέον δίνει τη δυνατότητα λεπτομερούς προσαρμογής των παραμέτρων μέτρησης για τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

Ανάλογα με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις της μέτρησης, επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη ακρίβεια και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Πραγματοποιώντας μετρήσεις και με τις δύο μεθόδους παρατηρήθηκε ότι τα αποτελέσματα και των δύο ήταν σχετικά κοντά. Βέβαια, η μέθοδος Fine Tune Analysis είναι πιο λεπτομερής μέθοδος και τα αποτελέσματά της είναι πιο αξιόπιστα για τα δείγματά μας, τα οποία είναι σύνθετα.



Διάγραμμα 3.4.1: Σύγκριση μεθόδων ανάλυσης

3.4.2 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στη δημιουργία θερμομονωτικών πάνελ από φυσικά οργανικά υλικά, με τη χρήση ποσειδωνίων φυκιών, καλαμιού *Arundo Donax* και φύλλων ελιάς ως βασικά συστατικά. Στόχος ήταν η αξιολόγηση της αποδοτικότητας αυτών των υλικών ως θερμομονωτικά πάνελ, καθώς και η εξέταση της δυνατότητας χρήσης τους ως βιώσιμες και οικολογικές εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τα συμβατικά θερμομονωτικά υλικά.

Αποτελέσματα και Παρατηρήσεις:

- **Θερμομονωτικές Ιδιότητες:** Τα δείγματα που δημιουργήθηκαν παρουσίασαν ικανοποιητικές θερμομονωτικές ιδιότητες. Η χρήση των φυσικών οργανικών υλικών, σε συνδυασμό με τα συνδετικά υλικά όπως ο ασβεστόπολτος, η ποζολάνη, ο γύψος, το νερό και ο άργιλος, συνέβαλε στη βελτίωση της θερμικής απόδοσης των πάνελ. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο μηχάνημα Hot Disk με την TPS 1500 και μεθόδους ανάλυσης την Standard Analysis και την Fine Tune Analysis ανέδειξαν ότι τα πάνελ είχαν καλές θερμομονωτικές ιδιότητες, μικρότερες από $0,1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, για τη χρήση τους σε κτιριακές εφαρμογές, επομένως μπορούν να θεωρηθούν τα δείγματά μας θερμομονωτικά.
- **Μηχανικές Ιδιότητες:** Τα δείγματα μας, δε είχαν όλα καλές μηχανικές ιδιότητες. Κάποια θρυμματίζονταν εύκολα, κάποια έσπαγαν εύκολα ή παραμορφωνόντουσαν. Σε αυτό έπαιξαν ρόλο και τα συνδετικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν. Σε συνέχεια του πειράματος των θερμομονωτικών πάνελ, μπορεί να γίνει περαιτέρω μελέτη στις μηχανικές ιδιότητες των δειγμάτων, όπως

στην μηχανική αντοχή τους, στην απορρόφησης υγρασίας και νερού. Για τον περιορισμό του θρυμματισμού και την αύξηση της μηχανικής αντοχής θα μπορούσε να ερευνηθεί κάποιο φυσικό υλικό που με την κατάλληλη επεξεργασία να χρησιμοποιηθεί σαν επικάλυψη στα δείγματα μας.

Αντίστοιχα χρειάζεται να γίνει περαιτέρω μελέτη για το φούσκωμα που αποτυπώθηκε στα πλείστα δείγματα των ποσειδωνίων φυκιών και στο ένα δείγμα με φύλλα ελιάς. Πιθανόν να χρειάζεται να δημιουργηθούν νέα πάνελ με διαφορετικά συνδετικά υλικά που να μην αντιδρούν με το συγκεκριμένο προϊόν. Τέλος, θα μπορούσαν τα δείγματα αυτά να κοπούν σε μπλέντερ για να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ομοιογένεια στα πάνελ.

- **Περιβαλλοντική Επίπτωση:** Η επιλογή των ποσειδωνίων φυκιών, του καλαμιού και των φύλλων ελιάς, που είναι άφθονα και ανανεώσιμα υλικά, ενισχύει τη βιωσιμότητα και μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των παραγόμενων πάνελ. Τα υλικά αυτά μπορούν να συλλεχθούν και να επεξεργαστούν με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθιστώντας τα μια οικολογική εναλλακτική λύση.
- **Κόστος και Διαθεσιμότητα:** Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης των προτεινόμενων υλικών είναι το χαμηλό κόστος και η ευρεία διαθεσιμότητά τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τα υλικά αυτά ιδιαίτερα ελκυστικά για ευρεία υιοθέτηση στην κατασκευή θερμομονωτικών συστημάτων. Παρόλο που το κόστος και η διαθεσιμότητα είναι άφθονη χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις τα υλικά αυτά για να συλλεχθούν χρειάζεται συνεργασία σε διάφορους τομείς της κοινωνίας. Για παράδειγμα τα φύλλα ελιάς μπορούν να συλλεχθούν μόνο την περίοδο του μαζώματος, ώστε να μην υπάρξει περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Για να συμβεί αυτό χρειάζεται συνεργασία του κρατικού μηχανισμού ή των ιδιωτών με τους τοπικούς παραγωγούς και τα ελαιουργία. Αντίστοιχα τα καλάμια και τα ποσειδωνία φύκια για να συλλεχθούν χρειάζεται να λειτουργήσει ο κρατικός μηχανισμός ή κάποιος ιδιώτης. Αυτή η διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί ως επιπλέον κόστος, παρ' όλα αυτά μπορεί να αποτελέσει μια καλή φθηνή εναλλακτική λύση.
- **Προοπτικές και Προκλήσεις:** Παρά τα θετικά αποτελέσματα, προέκυψαν ορισμένες προκλήσεις, όπως η μεταβολή των ιδιοτήτων των φυσικών υλικών λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών και της διαφορετικής προέλευσης των πρώτων υλών. Αυτές οι προκλήσεις απαιτούν περαιτέρω έρευνα και βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής για την εξασφάλιση της ομοιογένειας και της ποιότητας των τελικών προϊόντων. Επιπλέον, θα πρέπει να δρομολογηθεί βαθύτερη έρευνα για να δημιουργηθούν δείγματα με φύλλα ελιάς ως βασική ίνα, καθώς στα δείγματα που δημιουργήθηκαν παρουσιάστηκαν ελπιδοφόρα αποτελέσματα.

Συμπερασματικά, η εργασία αυτή κατέδειξε ότι τα θερμομονωτικά πάνελ από φυσικά οργανικά υλικά, όπως τα φύκια ποσειδωνιάς, το άγριο καλάμι και τα φύλλα ελιάς, αποτελούν μια βιώσιμη και αποδοτική λύση για τη θερμομόνωση των κτιρίων. Η χρήση αυτών των υλικών μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση του περιβαλλοντικού

αποτυπώματος της κατασκευαστικής βιομηχανίας, ενώ ταυτόχρονα παρέχει υψηλή απόδοση και χαμηλό κόστος. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την αντιμετώπιση των προκλήσεων και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τα πιο ελπιδοφόρα δείγματα που προτείνονται για περαιτέρω έρευνα και αξιοποίηση:

Πίνακας 3.4.2.1: Προτεινόμενα δείγματα για περαιτέρω διερεύνηση

Ονομασία Δειγμάτων	Συνταγή (%)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Thermal Conductivity λ (W/m·K) Hot disk Technic Standard Analysis	Thermal Conductivity λ (W/m·K) Hot disk Technic Fine Tune Analysis
Kal75 - 1200	Ασβέστη 12.5, Θ.Γ ΠΡΟΛΑΤ 7.5, Νερό 5	635	0,064	0,078
Kal80 - 1200	Ασβέστη 10, Θ.Γ ΠΡΟΛΑΤ 6, Νερό 4	525	0,056	0,065
EI70 - 895	Ασβέστη 15, Θ.Γ ΠΡΟΛΑΤ 9, Νερό 6	584	0,068	0,079

3.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Basim Abu-Jdayli, Abdel-Hamid Mourad, Waseem Hittini, Muzamil Hassan, Suhaib Hameedi, Traditional, state-of-the art and renewable thermal building insulation materials: An overview, Construction and Building Materials Volume 214, 30 July 2019, Pages 709-735
2. European Commission report, Energy: Energy Efficiency Buildings – European Commission.
https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
3. Theocharis Tsoutsos, Stavroula Tournaki, Carmen Avellaner de Santos, Roberto Vercellotti, Nearly Zero Energy Buildings. Application in Mediterranean hotels, Energy Procedia, 42, 230-238. November 2013
4. P. Fragkos, N. Tasios, L. Paroussos, P. Capros, S. Tsani, Energy system impacts and policy implications of the European Intended Nationally Determined Contribution and low-carbon pathway to 2050, Energy Policy, 100 (2017), pp. 216-226

5. D.M.S. Al-Homoud Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials, Build. Environ., 40 (2005), pp. 353-366
6. Ι. Νικολός Σημειώσεις μαθήματος «Μεταφοράς Θερμότητας» (2007) του τμήματος Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.
http://users.uoi.gr/vkalpak/files/Notes_Heat-Transfer_Nikolos.pdf
7. Γ. Φούντας, (1980), Θερμομόνωση κτιρίων, Εκδόσεις Πλαίσιο, Αθήνα.
8. Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, Άρθρο 3 – Ορισμοί.
<https://www.opengov.gr/minenv/?p=200>
9. Χ. Αθανασόπουλος, (2005), Προστασία κτιρίων: θερμομόνωση, ηχομόνωση – ηχοπροστασία, γ' έκδοση, Αθήνα
10. Σ. Καρέκος, (2001), Μετάδοση θερμότητας, θερμομόνωση, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα
11. Χ. Αθανασόπουλος, (2003), Κατασκευή κτιρίων, σύνθεση και τεχνολογία, στ' έκδοση, Αθήνα
12. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Α'80/07.05.2018, pp.7885-7895
13. Δ. Μπόζης, (1995), Μετάδοση θερμότητας σε στοιχεία κελύφους κτιρίων, θερμομονωτικά υλικά και τρόποι θερμομόνωσης, κώδικες θερμομόνωσης, Πρόγραμμα κατάρτισης μηχανικών με τίτλο: Σύγχρονες ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις κτιρίων, ΤΕΕ
14. Μ. Παπαδόπουλος, (1984), Θερμομόνωση κτιρίων από σκυρόδεμα εξωτερικών στοιχείων του φέροντα οργανισμού στα κτίρια, απόσπασμα από περιοδικό Τεχνικά Χρονικά, τόμος 4, τεύχος 3, pp.215-239
15. Μ. Παπαδόπουλος (1979), Θερμομόνωση κτιρίων, Τεχνικές εκδόσεις ΜΟΝΥΑΛ ΑΒΕ
16. Δ. Αραβαντινός, (2005), Θερμομόνωση και στεγανοποίηση κτιρίων: διάγνωση, ευαίσθητα σημεία, επιλογή λύσης, υλικά, εφαρμογή, Κτίριο, Θεσσαλονίκη
17. Ν. Χρυσομαλλίδου, (2003), Κατασκευαστικές λεπτομέρειες εξωτερικών δομικών στοιχείων, θερμομόνωση κελύφους, σημειώσεις για τις απαιτήσεις του μαθήματος Οικοδομική ΙΙ, Θεσσαλονίκη

- 18.Δ. Αραβαντινός, (2000), Η θερμομόνωση των κτιρίων και τα θερμομονωτικά υλικά, Σημειώσεις για τις απαιτήσεις του μαθήματος Οικοδομική ΙΙ, Θεσσαλονίκη
19. Γ. Καλύβας, (1991), Ιδιότητες θερμομονωτικών υλικών, Α. Υλικά με βάση πολυστερίνη, Β. Ινώδη υλικά: υαλοβάμβακας – πετροβάμβακας, Σεμινάριο Μονώσεις: θερμομονώσεις, ηχομονώσεις, στεγανοποιήσεις, ΤΕΕ
20. Κ. Παπαϊωάννου, (2005), Η τεχνολογία της τοιχοποιίας, Εκδόσεις University studio press, 2^η έκδοση, Θεσσαλονίκη
21. Ν. Οικονόμου, Μ. Στεφανίδου, Σ. Μαυρίδου, Ειδικά θέματα δομικών υλικών, Ενότητα 9: Μονωτικά υλικά, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ <https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS106/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82%20M%CE%BF%CE%BD%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC-2.pdf>
22. Γ. Ν. Χώτος, Σημειώσεις μαθήματος «Βιολογία των Φυκών» (2018), Τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας – Υδατοκαλλιεργειών, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/AS123/ALGAE-BASICS-1-HOTOS-read%20only.pdf?utm_source
23. Ons Hamdaoui, Laurent Ibos, Atef Mazioud, Mohamed Safi, Qualid Limam, Thermophysical characterization of Posidonia Oceanica marine fibers intended to be used as an insulation material in Mediterranean building (2018).
24. Eleonora Cintura ,Paulina Faria, Luisa Molari, Luca Barbaresi, Dario D’Orazio, Lina Nunes, Characterization of an Arundo donax-based composite: A solution to improve indoor comfort, Science Direct
25. Ε. Σχοινά, (2018), Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακού: «Φυσικά Πάνελ Δόμησης με φέρουσα ικανότητα», Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
26. Antonio Ferrandez-Garcia, Maria Teresa Ferrandez-Garcia, Teresa Garcia Ortuño, Francisco Mata-Cabrera, Manuel Ferrandez-Villena, 2022, Analysis of

the Manufacturing Variables of Binderless Panels Made of Leaves of Olive Tree (*Olea europaea* L.) Pruning Waste

27. Vitruvius, "The Ten Books on Architecture", M.H. Morgan Trans. Dover Publications, New York, 1964.
28. Davey, N. (1961). A history of Building Materials, London: Phoenix house
29. M. Jackson, F. Marra, D. Deocampo, A. Vella, C. Kosso, R. Hay, "Geological Observations of Excavated Sand (*harenae fossiciae*) used as Fine Aggregate in Roman Pozzolan Mortars", *Journal of Roman Archaeology* 20 (2007) 25-53
30. Α. Μοροπούλου, "Δομικά υλικά, κονίες, ιστορικά κονιάματα", Σχολή Χημικών Μηχανικών, 9ο εξαμ. Χ-Μ Δομικά Υλικά.
31. Ι. Παπαγιάννη, Ν. Οικονόμου, Μ. Στεφανίδου, "Δομικά υλικά Ι-ενότητα 3 κονίες & κονιάματα", Διαλέξεις προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών "Προστασία συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων πολιτισμού", Θεσσαλονίκη, 2018
32. Boynton, R.S. (1980, *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*. Wiley-Interscience.
33. Hughes, J.J., & Callebaut, K. (2002), *Practical Conservation: Lime and Lime Mortars**. Donhead Publishing
34. Ι. Παπαγιάννη, Μ. Στεφανίδου, (2006), Strength–porosity relationships in lime–pozzolan mortars, *Construction and Building Materials*, 20(9), 700-705
35. Elsen, J., Van Balen, K., & Mertens, G. (2012), Hydraulicity in Historic Lime Mortars: A Review, In *Historic Mortars* (pp. 125-139), Springer
36. Bentur, A., & Mindess, S, (2006), *Cement and Concrete: Chemistry and Materials Science*, Taylor & Francis
37. Singh M., & Garg M., (1996), Hydration of calcium sulphate hemihydrate (gypsum plaster), *Thermochimica Acta*, 288(1-2), 1-14
38. Α. Παπαδόπουλος, (2005), State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77-86.
39. Sabbà M. F., et al. (2020). Gypsum-based composites for sustainable construction: A review. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122819.

40. Lanzón, M., & García-Ruiz, P. A. (2008). Lightweight gypsum composites: Design strategies for multifunctional performance. *Construction and Building Materials*, 22(8), 1780-1785.
41. Schiavoni, S., et al. (2016). Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 988-1011.
42. Hot Disk Thermal Constants Analyser, Instruction Manual, Revision date 2018-03-28
43. <https://www.decobook.gr/texnika-arthra/diafora/i-simasia-tis-thermomonosis-sta-ktiria>
44. <https://www.metaxiotis.gr/en/21-thermal-insulation/70-articles/88-the-benefits-of-thermal-insulation.html>
45. https://grylliswaterlilies.gr/Arundo_donax
46. <https://www.cretanmagazine.gr/oi-palioi-kalamiones-sti-mesara/>
47. <https://e-vassalos.gr/istoria/>
48. <https://www.ilida.gr/istoria-tis-elias/>
49. <https://www.lafarge.gr/pozolani>
50. <https://www.wikipedia.org/>
51. www.sciencedirect.com
52. <https://scholar.google.com/>