



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Διπλωματική Εργασία

**« Αξιολόγηση Απόδοσης και Έρευνας Εναλλακτικής
Θερμικής Μόνωσης Βασισμένη σε Απόβλητα Πολυεστερικών
Ινών »**

**« Performance Evaluation and Research of Alternative
Thermal Insulation Based on Waste Polyester Fibers »**



Λέλκου Αλεξάνδρα

Εξεταστική επιτροπή:

Κολοκοτσά Διονυσία, Καθηγήτρια (επιβλέπουσα)

Τσούτσος Θεοχάρης

Λαζαρίδης Μιχάλης

"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."

Περίληψη:

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η «*Αξιολόγηση Απόδοσης και Έρευνας Εναλλακτικής Θερμικής Μόνωσης Βασισμένη σε Απόβλητα Πολυεστερικών Ινών*». Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη για την απόδοση νέων μονωτικών υλικών σε κτηριακές εγκαταστάσεις. Η δευτερογενής πολυεστερική ίνα αποτελεί το μελετώμενο υλικό της εργασίας και προέρχεται από ανακυκλωμένα μπουκάλια τύπου PET.

Η ανάγκη για μόνωση έχει αναπτυχθεί εδώ και αιώνες και εστιάζει στην διατήρηση μίας μέσης θερμοκρασίας εντός των κτηρίων. Ο πολυεστέρας αποτελεί ένα υλικό ευρέως χρησιμοποιούμενο στην καθημερινότητα των ανθρώπων με εξαιρετικά μεγάλο βαθμό κατανάλωσής καθημερινά. Η αποσύνθεση του πολυεστέρα είναι δύσκολη, με αποτέλεσμα τα πολυεστερικά απόβλητα να αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα επιβάρυνσης του πλανήτη. Έτσι η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίησή του αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω αναγκών οδήγησε στην κατασκευή των πολυεστερικών πλακών, προερχόμενες από αναγεννημένη πολυεστερική ίνα.

Τα στάδια κατασκευής της πολυεστερικής ίνας και στη συνέχεια των πολυεστερικών πλακών που μελετήθηκαν φέρουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Οι πολυεστερικές πλάκες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των πειραματικών μετρήσεων αποτελούνταν από μίξη πρωτογενούς και δευτερογενούς πολυεστερικής ίνας. Κύριος λόγος της μίξης αυτής αποτελεί το γεγονός πως η πρωτογενής ίνα συντελεί στη διαδικασία συγκόλλησης των ινών μεταξύ τους, αποφεύγοντας έτσι την χρήση ρητίνης.

Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με δύο διαφορετικά μηχανήματα το Hot Disk και το TLP 300. Το Hot Disk χρησιμοποιεί την μέθοδο TSP (Transient Plane Source). Αποτελείται από έναν αισθητήρα ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος ανάμεσα από δύο πλάκες του ίδιου δείγματος, και εκπέμπει θερμότητα. Οι μετρήσεις βασίζονται στην εναλλαγή θερμότητας συναρτήσεως του χρόνου. Το δεύτερο μηχανήμα χρησιμοποιεί την μέθοδο της guarded hot-plate. Τα μελετώμενα υλικά βρίσκονται μέσα σε ένα καλά μονωμένο κουτί. Ανάμεσα από τα δύο δείγματα τοποθετείται μία θερμική πλάκα, η οποία εκπέμπει θερμότητα, και από τις εξωτερικές πλευρές των δειγμάτων τοποθετούνται ψυχρές πλάκες. Η διαδικασία ολοκληρώνεται την στιγμή που επέλθει ισορροπία στο σύστημα και η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας υπολογίζεται από την άνοδο την θερμοκρασίας των ψυχρών πλακών.

Ο αριθμός των δειγμάτων που μελετήθηκαν είναι οκτώ. Το καθένα από αυτά είχε διαφορετική σύσταση ως προς την κύρια και την αναγεννημένη ίνα, καθώς επίσης διέφεραν στην πυκνότητα και στο πάχος τους.

Για την μέθοδο TSP πραγματοποιήθηκε ανάλυση των αποτελεσμάτων με δύο διαφορετικούς τρόπους. Τη Fine Tune Analysis και τη Standard Analysis. Με τη μέθοδο TSP Fine Tune Analysis υπολογίστηκε ένα εύρος τιμών θερμικής αγωγιμότητας $0.03317-0.05273 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, με τη μέθοδο TSP Standard Analysis υπολογίστηκε εύρος τιμών θερμικής αγωγιμότητας $0.01527-0.02414 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ και με τη μέθοδο guarded hot-plate $0.0342-0.0495 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Abstract:

The topic of this thesis is "Evaluation of Performance and Research of Alternative Thermal Insulation Based on Waste Polyester Fibers ". The purpose of the project is to study the performance of new insulation materials in building installations. Secondary polyester fiber is the study material and comes from recycled PET bottles.

The need for insulation has been developed for centuries and focuses on maintaining an average temperature inside buildings. Polyester is a material widely used in the daily lives of people with extremely high daily consumption. It is difficult to decompose polyester, making polyester waste one of the biggest problems for the planet. Recycling and reuse are therefore a prerequisite. The combination of the above two needs led to the manufacture of polyester plates, derived from regenerated polyester fiber.

The stages of fabrication of the polyester fiber followed by the polyester plates studied are of particular interest. The polyester plates used to perform the experimental measurements consisted of mixing primary and secondary polyester fibers. The main reason for this mixing is that the primary fiber contributes to the bonding process of the fibers, thus avoiding the use of resin.

Measurements were made with two different machines: the Hot Disk and the TLP 300. The Hot Disk uses the TSP (Transient Plane Source) method. It consists of a sensor located between two plates of the same sample, which emits heat. The measurements are based on the heat exchange over time. The second machine uses the guarded hot-plate method. The materials studied are housed in a well insulated box. Between the two specimens is placed a thermal plate, which radiates heat, and on the outer sides of the specimens are placed cold plates. The process is completed when the system is in equilibrium and the value of the thermal conductivity is calculated from the temperature rise of the cold plates.

The number of samples studied is eight. Each of them had a different composition with respect to the main and regenerated fiber, as well as differing in their density and thickness.

For the TSP method the results were analyzed in two different ways. Fine Tune Analysis and Standard Analysis. The TSP Fine Tune Analysis method calculated a thermal conductivity range of $0.03317\text{--}0.05273\text{ W / (m * K)}$, the TSP Standard Analysis method calculated a thermal conductivity value range of $0.01527\text{--}0.02414\text{ W / (m * K)}$ and the guarded method hot-plate $0.0342\text{--}0.0495\text{ W / (m * K)}$.

Ευχαριστίες

Επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, Κα. Διονυσία Κολοκοτσά, Καθηγήτρια της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγηση για την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Ακόμη, ευχαριστώ τον υποψήφιο Διδάκτορα Κ. Κώστα Γομπάκη για την πολύτιμη συνεχή βοήθειά του καθώς ήταν διαθέσιμος οποιαδήποτε στιγμή ακόμη και εξ αποστάσεως να με βοηθήσει και να με καθοδηγήσει με πληροφορίες και χρήσιμες συμβουλές για την διεξαγωγή του πειράματος.

Ένα ακόμη άτομο το οποίο και ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου είναι η αξιότιμη κυρία Ελένη Παπάζογλου όπου χωρίς την πολύτιμη εξυπηρέτησή της δεν θα είχε ολοκληρωθεί με επιτυχία η παρούσα διπλωματική εργασία. Η κυρία Ελένη Παπάζογλου προθυμοποιήθηκε να πραγματοποιηθούν μερικές μετρήσεις δειγμάτων στο εργαστήριο που εργάζεται στην Αθήνα.

Ένα μεγάλο Ευχαριστώ αξίζει να πω στην εταιρία Fibraco και στα στελέχη της καθώς από την πρώτη στιγμή που τηλεφώνησα προθυμοποιήθηκαν να με εξοπλίσουν με δείγματα και να με στηρίξουν στην διπλωματική μου εργασία μέχρι την ολοκλήρωσή της. Τους είμαι πραγματικά ευγνώμων.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να πω στους γονείς μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν όλα τα χρόνια κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη:.....	iv
Abstract:.....	v
Ευχαριστίες.....	vi
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό μέρος.....	3
2.1 Θερμική Μόνωση.....	3
2.1.1 Ροή Θερμότητας.....	3
2.1.2 Μονωτική Ικανότητα Υλικού.....	3
2.2 Θερμομόνωση Κτηρίων.....	3
2.2.1 Οφέλη Θερμικής Μόνωσης Κτηρίων.....	4
2.3 Πολυεστέρας.....	5
2.3.1 Ορισμός Πολυεστέρα.....	6
2.3.2 Ρόλος Πολυεστέρα στην Καθημερινή Ζωή του Ανθρώπου.....	7
2.3.3 Οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις του Πολυεστέρα.....	9
2.3.4 Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες Πολυεστέρα.....	10
2.3.5 Ανακυκλωσιμότητα Πολυεστέρα.....	11
2.3.3 Πολυεστερική Ίνα.....	12
2.3.4 Άνευ Υφάνσεως Ίνα.....	13
2.3.5 Στάδια Κατασκευής Άνευ Υφάνσεως Πλακών.....	13
Κεφάλαιο 3: Πειραματικό Μέρος.....	19
3.1 Δείγματα και Υλικά.....	19
3.2 Μηχάνημα Εκτέλεσης Μετρήσεων: Hot Disk.....	19
3.2.1 Υλικά Εξαρτήματα Μηχανήματος.....	20
3.3 Μηχάνημα Εκτέλεσης Μετρήσεων: TLP 300.....	23
3.4 Στάδια Πειραματικής Διαδικασίας.....	25
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα και Σχόλια.....	30
4.1 Μέθοδοι Ανάλυσης Αποτελεσμάτων.....	30
4.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....	32

4.3 Σύγκριση Αποτελεσμάτων με Χρήση Ψηφιακού Μοντέλου	46
4.3.1 Υπολογισμός Πυκνότητας (Density) των Υλικών	47
4.3.2 Ειδικής Θερμότητας (Specific Heat)	49
4.3.3: Εφαρμογή Δεδομένων σε Ψηφιακό Μοντέλο	50
4.4 Δείκτης R-Value	51
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	55
Κεφάλαιο 6: Προτάσεις για Μελλοντική Μελέτη.	57
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η θερμική μόνωση των κτηρίων έχει καταστεί ένα από τα πιο σημαντικά θέματα σήμερα. Ένας λόγος αποτελεί η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη των κτηρίων με σκοπό την εξασφάλιση μιας άνετης ατμόσφαιρας.[1] Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), τα κτήρια είναι υπεύθυνα για το 40% περίπου της ενεργειακής κατανάλωσης και του 36% των εκπομπών CO₂, καθιστώντας τα, τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας.[2][6]

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) υπήρξε διεθνής πρωταγωνιστής στις προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Τον Μάρτιο του 2015, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) υπέβαλε στη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος (UNFCCC), την προβλεπόμενη εθνικά καθορισμένη συνεισφορά (INDC), ενόψει της διάσκεψης των συμβαλλομένων μερών (COP21) των Παρισίων. Ο δεσμευτικός στόχος είναι η μείωση των οικιακών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 20% (σε σύγκριση με τη χρήση ενέργειας το 1990) έως το 2020 και κατά 50% το 2050.[3]

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μείωσης των ενεργειακών απωλειών και κατά συνέπεια της ενεργειακής κατανάλωσης. Ορισμένοι από αυτούς είναι η αντικατάσταση του φωτισμού και των παλαιών ηλεκτρικών συσκευών με νέες χαμηλότερης κατανάλωσης. Την μεγαλύτερη όμως απόδοση στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτήρια φέρει η εγκατάσταση θερμομονωτικών υλικών. Η χρήση θερμομονωτικών υλικών σε κτηριακές κατασκευές μπορεί να χαρακτηριστεί ως μέσω μείωσης των ενεργειακών απωλειών.[1] Το αποτέλεσμα της μείωσης των ενεργειακών απωλειών συνεπάγεται ταυτόχρονα και με την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη. Από την άλλη πλευρά με την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας συνεπάγεται και μείωση στη παραγωγή ενέργειας με αποτέλεσμα και την ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών CO₂. [1][4]

Υπάρχουν διάφοροι τύποι θερμομόνωσης που χρησιμοποιούνται στα κτίρια, και μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες.[1][5]

- Οργανικά υλικά
 - ο Τα ινώδη υλικά όπως το γυαλί και ο βράχος
 - ο Κυψελοειδή υλικά όπως πυριτικό ασβέστιο, συνδεδεμένο περλίτη, βερμικουλίτη και κεραμικά προϊόντα.

- Ανόργανα υλικά
 - ο Ινώδη υλικά, όπως κυτταρίνη, βαμβάκι, ξύλο, πολτό, ζαχαροκάλαμο ή συνθετικές ίνες.
 - ο Κυψελοειδή υλικά όπως φελλός, αφρώδες ελαστικό, πολυστυρένιο, πολυαιθυλένιο, πολυουρεθάνη, πολυισοκυανουρικό και άλλα πολυμερή.
- Μεταλλικές ή μεταλλοποιημένες αντανakλαστικές μεμβράνες (νανοϋλικά)
- Aerogels
- Θερμικοί μονωτές από απόβλητα.
- Σύνθετα πολυμερή υλικά

Η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση όμως δεν περιορίζεται μόνο στην εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και στην οικολογική υγιή κατασκευή, δηλαδή την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και πόρων και την παραγωγή ρύπανσης, η οποία θα πρέπει να αποτελεί μέρος της παραγωγής, εγκατάστασης και χρήσης μονωτικών υλικών. [22][9] Μεγάλη έμφαση δίνεται στα μη τοξικά υλικά και στην ανακυκλωσιμότητα τους, καθώς μπορεί να γίνει χρήση ακίνδυνων αποβλήτων αντί για την υγειονομική ταφή. [9][17][24] Ένα τέτοιο υλικό είναι τα πλαστικά μπουκάλια PET, τα οποία είναι κατασκευασμένα από πολυεστέρα.

Σκοπός λοιπόν αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη ενός οικολογικού, βιώσιμου και οικονομικά αποδοτικού μονωτικού υλικού προερχόμενο από πολυεστερικά απόβλητα. Τα μπουκάλια τύπου PET (PolyEthylene Terephthalate ή αλλιώς Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο) είναι ένα από αυτά. Έτσι πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση απόδοσης θερμικής μόνωσης άνευ υφάνσεως πλακών, κατασκευασμένες από πρωτογενή και δευτερογενή πολυεστερική ίνα.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό μέρος

2.1 Θερμική Μόνωση

Η θερμομόνωση είναι στην ουσία, η μείωση της μεταφοράς θερμότητας μεταξύ αντικειμένων που βρίσκονται σε θερμική επαφή ή σε περιοχή επιρροής ακτινοβολίας. Η θερμομόνωση μπορεί να επιτευχθεί με ειδικά σχεδιασμένες μεθόδους ή διαδικασίες, καθώς και με κατάλληλα σχήματα αντικειμένων και υλικά. [26]

2.1.1 Ροή Θερμότητας

Η ροή θερμότητας είναι μια αναπόφευκτη συνέπεια της επαφής μεταξύ αντικειμένων διαφορετικής θερμοκρασίας. Η θερμομόνωση παρέχει μια περιοχή μόνωσης, στην οποία η θερμική αγωγιμότητα μειώνεται και η θερμική ακτινοβολία ανακλάται περισσότερο παρά απορροφάται από το σώμα χαμηλής θερμοκρασίας.[26]

2.1.2 Μονωτική Ικανότητα Υλικού

Η μονωτική ικανότητα, λοιπόν, ενός υλικού μετράται ως το αντίστροφο της θερμικής αγωγιμότητας (k). Η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα ισοδυναμεί με υψηλή θερμομονωτική ικανότητα (αντίσταση).

Άλλες σημαντικές ιδιότητες των μονωτικών υλικών είναι η πυκνότητα του υλικού (ρ) και η ειδική θερμική ικανότητα (c). Η θερμομόνωση βρίσκει εφαρμογή σε μηχανικά συστήματα, όπως η μόνωση σωλήνων στη ψύξη. Μόνωση χρησιμοποιείται επίσης στα διαστημόπλοια, στα αεροσκάφη, στα αυτοκίνητα και στα κτήρια. [26]

2.2 Θερμομόνωση Κτηρίων

Για τη διατήρηση αποδεκτών θερμοκρασιών στο εσωτερικό των κτηρίων (με θέρμανση και ψύξη) χρησιμοποιείται σχεδόν το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Μόνο στην ΕΕ τα κτήρια καταναλώνουν το 40% της ενεργειακής κατανάλωσης. [2][6]

Τα θερμομονωτικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως σε οικοδομικές μονώσεις, διαθέτουν την αρχή των μικρών παγιδευμένων κυψελίδων αέρα, π.χ. υαλοβάμβακας, κυτταρίνη, πετροβάμβακας, αφρός πολυστυρενίου, αφρός

ουρεθάνης, βερμικουλίτης, περλίτης, φελλός κλπ. Πολλές μορφές θερμομόνωσης διαθέτουν συγχρόνως και ηχομονωτικές ιδιότητες δημιουργώντας έτσι ένα ακόμη πιο άνετο περιβάλλον στο εσωτερικό των κτηρίων.[26]

2.2.1 Οφέλη Θερμικής Μόνωσης Κτηρίων

[5][25]

Η θερμομόνωση προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα στις κτηριακές κατασκευές, τα οποία συνειδητοποιούνται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Ορισμένα οφέλη αυτής της χρήσης συνοψίζονται παρακάτω.

Η μείωση του ενεργειακού και οικονομικού κόστους για θέρμανση ή ψύξη αποτελεί ένα από τα πλεονεκτήματα της μόνωσης. Για τη δημιουργία άνετων συνθηκών διαβίωσης στους εσωτερικούς χώρους των κτηρίων προϋποθέτεται η θέρμανση ή η ψύξη τους για να καλυφθούν οι θερμικές απώλειες στο περιβάλλον. Μία θερμικά μονωμένη επιφάνεια (κέλυφος κτηρίου) φέρει λιγότερες απώλειες και, ως εκ τούτου, η ανάγκη για θέρμανση και ψύξη είναι μικρότερη, εξοικονομώντας έτσι χρήματα και ενέργεια.

Ένα ακόμη όφελος αποτελεί η **δημιουργία της κατάστασης της θερμικής άνεσης**. Η αίσθηση της θερμικής άνεσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα στο χώρο και τη θερμοκρασία των γύρω επιφανειών. Σε μη μονωμένα δωμάτια είναι φυσιολογικό να αισθάνεται κανείς κρύο, ακόμα και αν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλή. Ο λόγος για αυτό έγκειται στα ρεύματα που δημιουργούνται, όταν ο αέρας διέρχεται από ψυχρές επιφάνειες και γίνεται κρύος. Κατά την μόνωση ενός κτηρίου, οι επιφάνειές του (τοίχοι κ.λπ.) έχουν μικρή διαφορά θερμοκρασίας με τον αέρα, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει τόσο έντονα η μεταφορά θερμοκρασίας μεταξύ αυτών και του αέρα και να επέρχεται εύκολα μία ισορροπία μεταξύ τους. Έτσι, η θέρμανση που απαιτείται για την επίτευξη άνετων συνθηκών σε ένα μονωμένο κτήριο, είναι μόνο ένα κλάσμα από αυτό που απαιτείται σε ένα μη μονωμένο. Συνεπώς, παρέχονται πιο ομοιόμορφες θερμοκρασίες σε όλο το χώρο. Αυτό συνεπάγεται ότι η **κλίση θερμοκρασίας είναι μικρότερη** τόσο κατακόρυφα (μεταξύ ύψους αστραγάλου και ύψους κεφαλής) όσο και οριζόντια από εξωτερικούς τοίχους, οροφές και παράθυρα προς τους εσωτερικούς τοίχους, δημιουργώντας έτσι ένα πιο άνετο περιβάλλον επιβατών όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι εξαιρετικά κρύες ή ζεστές.[25]

Με την σωστή μόνωση **αποφεύγεται η δημιουργία συμπυκνώσεων στα εσωτερικά κυρίως στοιχεία των κτηρίων**. Το φαινόμενο των συμπυκνώσεων στους τοίχους, εμφανίζεται σε κτήρια που δεν διαθέτουν θερμική μόνωση. Ουσιαστικά πραγματοποιείται συμπύκνωση της υγρασίας στην επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τις ψυχρές τοιχοποιίες. Αυτό το φαινόμενο αποφεύγεται εντελώς με την εφαρμογή εξωτερικής θερμικής μόνωσης.

Μειώνεται, επίσης, η πιθανότητα εμφάνισης υγρασίας μέσα στα στοιχεία (τοιχώματα) του κτηρίου. Όταν ένας τοίχος δεν είναι μονωμένος και συνεπώς είναι κρύος τον χειμώνα, ο ατμός μπορεί να ρευστοποιηθεί στο εσωτερικό του προκαλώντας σοβαρές ζημιές στη συνολική του αντοχή. Η εξωτερική θερμομόνωση είναι το κατάλληλο προληπτικό μέτρο κατά του φαινομένου αυτού.[25]

Πέρα από θερμομόνωση μπορεί ταυτόχρονα να επιτευχθεί και **ηχομόνωση**. Αυτό επιτυγχάνεται, όταν χρησιμοποιείται ινώδες μονωτικό υλικό. Σε κτήρια με ηχομονωτικά προβλήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ινώδη μονωτικά υλικά, τα οποία εκτός από τη θερμομόνωση προσθέτουν στη βελτίωση της ηχομόνωσης των δομικών στοιχείων.[25]

Τέλος, ένα από τα πιο σημαντικά οφέλη που προσφέρει η θερμομόνωση αποτελεί **η προστασία του περιβάλλοντος**. Η εφαρμογή θερμικής μόνωσης σε ένα κτήριο οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και συνεπώς κατανάλωση καύσιμου. Το γεγονός ότι χρειάζονται λιγότερα καύσιμα οδηγεί σε μικρότερη ρύπανση για το περιβάλλον.[25] Έχει υπολογιστεί ότι τα εκπεμπόμενα αέρια CO₂ για τη θέρμανση ενός μονωμένου κτηρίου είναι κατά 45% λιγότερα από αυτά που εκπέμπονται από μη μονωμένο κτήριο. [1]

2.3 Πολυεστέρας

[22][23][26]

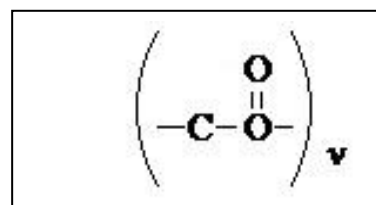
Το 1926, η ΗΠΑ βασισμένη στην εταιρία El du Pont de Nemours and Company (κοινώς αναφερόμενο ως DuPont, είναι ένας αμερικανικός όμιλος που ιδρύθηκε τον Ιούλιο του 1802 στο Wilmington, Delaware, ως μύλος πυροβόλων όπλων του Γάλλο-Αμερικανικού χημικού και βιομηχάνου Éleuthère Irénée du Pont), ξεκίνησε έρευνα σε πολύ μεγάλα μόρια και συνθετικές ίνες. Αυτή η πρώιμη έρευνα, είχε επικεφαλής τον W.H. Carothers, ο οποίος ανακάλυψε ότι οι αλκοόλες και τα καρβοξυλικά οξέα θα

μπορούσαν να αναμιχθούν με επιτυχία για να δημιουργήσουν ίνες. Δυστυχώς, όμως ο πολυεστέρας πήγε ένα βήμα πίσω όταν ανακαλύφθηκε το νάιλον. Η ελλιπής έρευνα του Carother, λοιπόν δεν προχώρησε στη διερεύνηση του πολυεστέρα που σχηματίστηκε από την ανάμιξη της αιθυλενογλυκόλης και του τереφθαλικού οξέος. Σύντομα, τα έτη 1939-41, οι Βρετανοί ερευνητικοί χημικοί Whinfield και Dickson έδειξαν ενδιαφέρον για τις μελέτες του du Pont και διεξήγαγαν τη δική τους έρευνα στα εργαστήρια της Calico Printers Association Ltd. Η εργασία αυτή είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της πολυεστερικής ίνας γνωστής στην Αγγλία ως Terylene .

Το 1946, η du Pont αγόρασε το δικαίωμα παραγωγής αυτών των ινών πολυεστέρα στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η εταιρεία πραγματοποίησε περαιτέρω αναπτυξιακές εργασίες και το 1951 άρχισε να εμπορεύεται την ίνα με το όνομα Dacron. Κατά τα επόμενα χρόνια, αρκετές εταιρείες ενδιαφέρθηκαν για ίνες πολυεστέρα και παρήγαγαν τις δικές τους εκδόσεις του προϊόντος για διαφορετικές χρήσεις. Σήμερα, υπάρχουν δύο κύριοι τύποι πολυεστέρα, PET (τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο) και PCDT (τερεφθαλικό πολυ-1,4-κυκλοεξυλένιο-διμεθυλένιο). Το PET, ο πιο δημοφιλής τύπος, εφαρμόζεται σε μια ευρύτερη ποικιλία χρήσεων. Είναι ισχυρότερο από το PCDT, αν και το PCDT είναι πιο ελαστικό και ανθεκτικό. Το PCDT είναι κατάλληλο για βαρύτερες χρήσεις των καταναλωτών, όπως κουρτίνες και καλύμματα επίπλων.

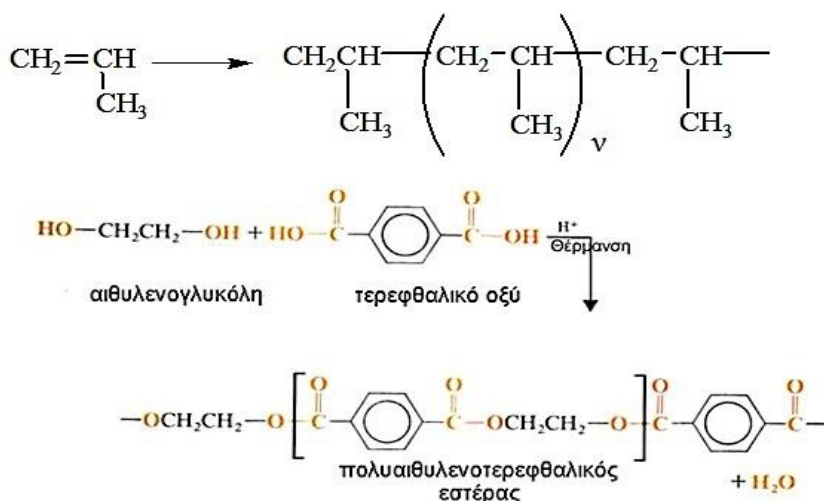
2.3.1 Ορισμός Πολυεστέρα

Ο πολυεστέρας είναι μια συνθετική, ανθρωπογενής ίνα που προέρχεται από τον άνθρακα, τον αέρα, το νερό και το πετρέλαιο. Οι ίνες πολυεστέρα σχηματίζονται από χημική αντίδραση μεταξύ οξέος και αλκοόλης. Στην αντίδραση αυτή, δύο ή περισσότερα μόρια συνδυάζονται για να δημιουργήσουν ένα μεγάλο μόριο, του οποίου η δομή επαναλαμβάνεται καθ' όλο το μήκος του. Οι ίνες πολυεστέρα μπορούν να σχηματίσουν σε πολύ μεγάλο βαθμό μόρια ιονισμού, τα οποία είναι πολύ σταθερά και ισχυρά. [10-11-12-13-14-15-26]



Ένας από τους σπουδαιότερους πολυεστέρες είναι και ο ο πολυαιθυλενοτερεφθαλικός, ο οποίος δόθηκε ως παράδειγμα πολυμερούς

συμπύκνωσης. Ο πολυεστέρας αυτός μπορεί να παρασκευαστεί με αντίδραση *μετεστεροποίησης* και μετά πολυμερισμό του νέου εστέρα. Έτσι, αρχικά θερμαίνεται ($\approx 200^{\circ}\text{C}$) διμέθυλοтереφθαλικός εστέρας με περίσσεια αιθυλενογλυκόλης (το γνωστό και ως αντιψυκτικό στα ψυγεία των αυτοκινήτων). Έτσι, προκύπτει ο νέος εστέρας, ο οποίος στη συνέχεια πολυμερίζεται προς τον πολυαιθυλοτερεφθαλικό πολυεστέρα. Με μορφή υφάνσιμων, συνθετικών ινών είναι γνωστός με τα ονόματα Dacron και Terylene. [35]



Εικόνα 2.3.1.1 πολυμερισμός πολυεστέρα [35]

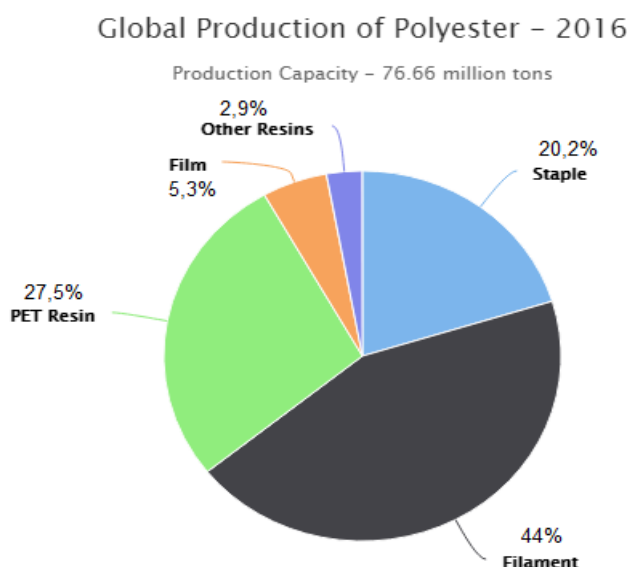
Ο πολυεστέρας είναι μια κατηγορία πολυμερών τα οποία περιέχουν τη λειτουργική ομάδα του εστέρα στην κύρια αλυσίδα τους. Παρόλο που υπάρχουν πολλοί πολυεστέρες, ο όρος "πολυεστέρας" ως ειδικό υλικό συνηθέστερα αναφέρεται σε τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET). Οι φυσικοί πολυεστέρες και λίγοι συνθετικοί είναι βιοδιασπώμενοι, αλλά οι περισσότεροι συνθετικοί πολυεστέρες δεν είναι.

Ανάλογα με τη χημική του δομή, ο πολυεστέρας μπορεί να είναι θερμοπλαστικό ή θερμοσκληρυνόμενο. Ωστόσο, οι πιο συνηθισμένοι είναι θερμοπλαστικοί.[26][27][28] Ένα **θερμοπλαστικό** είναι ένα πλαστικό υλικό, συνήθως ένα πολυμερές, που γίνεται ευλύγιστο ή εύπλαστο πάνω από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία και στερεοποιείται με ψύξη. [26]

2.3.2 Ρόλος Πολυεστέρα στην Καθημερινή Ζωή του Ανθρώπου

Ο πολυεστέρας αποτελεί ένα υλικό το οποίο διαθέτει μεγάλη χρήση, καθώς χρησιμοποιείται στην κατασκευή πολλών προϊόντων. Μόνο για το έτος 2016 η παραγωγή πολυεστέρα έφτασε την ποσότητα των 76.66 εκατομμύρια τόνων. Αυτή η

τιμή δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να θεωρηθεί αμελητέα. Προϊόντα που παράγονται από τον πολυεστέρα, όπως φαίνονται και στο *Διάγραμμα 2.3.2.1* για το έτος 2016, είναι το νήμα σε ποσοστό 44%, κύριο προϊόν 20,2%, πλαστικά PET με ποσοστό 27,5%, ταινία 5,3% και άλλα προϊόντα ρητίνης με ποσοστό 2,9%. Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα ανακύκλωσής του σε ποσοστά μέχρι και 100% [29]



Διάγραμμα 2.3.2.1 Παγκόσμια παραγωγή πολυεστέρα για το 2016 [29]

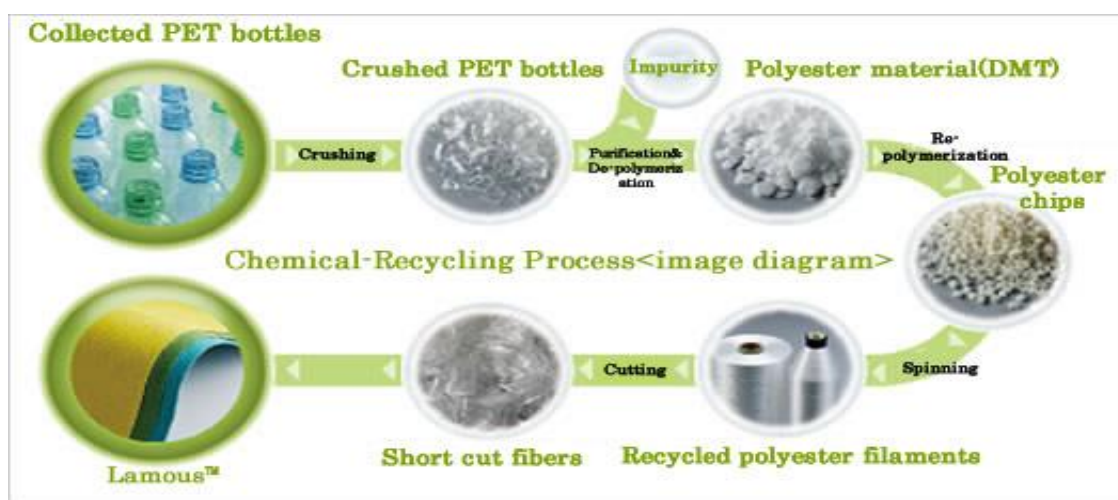
Πιο συγκεκριμένα η χρήση της ταινίας υπάρχει στην ηλεκτρική μόνωση καλωδίων. Το νήμα χρησιμοποιείται για ρούχα, έπιπλα σπιτιού, βιομηχανικά υφάσματα, σε κατασκευές πολυεστερικών πλακών κ.α. Ο πολυεστέρας έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά υφάσματα, όπως το βαμβάκι. Δεν απορροφά την υγρασία, αλλά απορροφά το πετρέλαιο. Αυτή η ποιότητα καθιστά τον πολυεστέρα το τέλειο ύφασμα για την εφαρμογή υδατικών, εδαφικών και πυρίμαχων τελειωμάτων. Η χαμηλή απορροφητικότητα του το καθιστά ανθεκτικό στους λεκέδες. Οι υφαντικές ίνες από πολυεστέρα είναι **ένας αποτελεσματικός μη αλλεργιογόνος μονωτής**, οπότε το υλικό χρησιμοποιείται σε φίλτρα, σε στρώματα, για την πλήρωση μαξιλαριών και λούτρινων παιχνιδιών, εξωτερικών ενδυμάτων και υπνόσακων. Επίσης για τη κατασκευή μπουκαλιών, μεμβρανών, μουςαμά, καναλιών, οθονών υγρών κρυστάλλων, ολογραμμάτων, φίλτρων, διηλεκτρικού φιλμ για πυκνωτές, στη μόνωση μεμβράνης για καλώδια και μονωτικές ταινίες.[22][23] [26]

Τι γίνεται, όμως, όταν πλέον όλα αυτά τα προϊόντα φθαρούν και αντικατασταθούν από καινούρια; Τα πολυεστερικά απόβλητα αποτελούν εύκολα ανακυκλώσιμα απόβλητα, και με ελάχιστη έως και μηδενική σε ορισμένες περιπτώσεις απώλεια της

τελικής ποιότητας των προϊόντων της. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εστιάζει στην ανακύκλωση των μπουκαλιών PET για την κατασκευή άνευ υφάνσεως πολυεστερικής ίνας, η οποία στην συνέχεια χρησιμοποιείται για την κατασκευή πολυεστερικών πλακών κατάλληλων για χρήση ως θερμομονωτικές πλάκες. Η ανακύκλωση των μπουκαλιών PET αναλύεται στη συνέχεια.

2.3.3 Οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις του Πολυεστέρα

Ο πολυεστέρας είναι φθηνός και ευέλικτος, ωστόσο οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του είναι επίσης σημαντικές. Ο πολυεστέρας είναι μια συνθετική ίνα με πετροβάμβακα, άρα κατασκευάζεται από έναν μη ανανεώσιμο πόρο υψηλής έντασης άνθρακα, καθιστώντας την μακροπρόθεσμη παραγωγή αυτής της ίνας αβέβαιη. Τα προϊόντα πετρελαίου χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη (πρώτη ύλη για την παραγωγή των ινών) και αξιοποιούνται, επίσης, για την παραγωγή της ενέργειας που απαιτείται για την κατασκευή. Περισσότερα από 70 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου χρησιμοποιούνται στην παραγωγή πολυεστέρα κάθε χρόνο. Η παραγωγική διαδικασία περιλαμβάνει εισροές υψηλής ενέργειας, οι οποίες, αν δεν προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παράγουν αργότερα μεγάλες ποσότητες σωματιδίων, CO₂, οξείδια του αζώτου, υδρογονάνθρακες, οξείδια του θείου και μονοξείδιο του άνθρακα, ως ατμοσφαιρικές εκπομπές (Laursen and Hansen, 1997). Επίσης, δεν είναι βιοαποικοδομήσιμο και θα παραμείνει στο οικολογικό σύστημα. [16]



Εικόνα 2.3.3.1 Στάδια επεξεργασίας μπουκαλιών PET για την κατασκευή ανακυκλωμένων ινών.

Μία από τις πλέον θετικές πτυχές του πολυεστέρα είναι η απόλυτη ανακυκλωσιμότητά του και η δυνατότητα κατασκευής πολυεστέρα από ανακυκλωμένα πλαστικά. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης στα οφέλη του πολυεστέρα, χωρίς να χρειάζεται η κατασκευή από παρθένα αποθέματα πετρελαίου. [16]

Φυσικά υπάρχουν και πολλοί άλλοι λόγοι για την ύπαρξη του πολυεστέρα και την σημασία του στην καθημερινή του χρήση. Πρόκειται για ένα «προϊόν», το οποίο για την κατασκευή του διαθέτει σχετικά εύκολα προσβάσιμες πρώτες ύλες PTA (purified terephthalic acid ή διαφορετικά καθαρισμένο τερεφθαλικό οξύ) ή DMT (dimethyl ester dimethyl terephthalate ή τερεφθαλικό διμεθυλεστέρα διμεθυλεστέρα) και MEG (monoethylene glycol ή αλλιώς μονοαιθυλενογλυκόλη). Η σύνθεσή του αποτελεί μία πολύ καλά κατανοητή και απλή χημική διαδικασία. Το χαμηλό επίπεδο τοξικότητας όλων των πρώτων υλών και των παραπροϊόντων κατά την παραγωγή και επεξεργασία πολυεστέρα, καθώς και η μεγάλη ποικιλία των ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων οδηγούν στην εμβάθυνση του πολυεστέρα στην ζωή των ανθρώπων. Οι εξαιρετικές μηχανικές και χημικές ιδιότητες του έχουν ωθήσει την εκτενή ένταξή του στην καθημερινότητά του μέσου ανθρώπου. Καθώς, όπως έχει αναφερθεί, ο πολυεστέρας βρίσκεται σε ότι αποκαλείται πλαστικό προϊόν, είτε αυτό είναι πλαστικό μπουκάλι PET, είτε πλαστικές συσκευασίες τροφίμων και πλαστικά δοχεία αποθήκευσης έως και ρούχα από πολυεστέρα. [27]

2.3.4 Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες Πολυεστέρα

[30]

Φυσικές ιδιότητες πολυεστέρα

Όπως το βαμβάκι ή άλλες ίνες, η πολυεστερική ίνα αποτελείται από ορισμένες σημαντικές φυσικές ιδιότητες. Ορισμένες από τις πιο σημαντικές δίνονται παρακάτω:

- Επιμονή (tenacity): 5-7 gm/den
- Επιμήκυνση κατά το σπάσιμο (elongation at break): 15-30%
- Μέτρο ελαστικότητας (elastic modulus): 90
- Ελαστικότητα (elasticity): Καλή
- Ξαναβρίσκουν την υγρασία (moisture regain) (MR%): 0.40%
- Ειδικού βάρους (specific gravity): 1.38
- Σημείο τήξης (melting point): 250°C
- Ογκομετρική διόγκωση (volumetric swelling): Καμία
- Ικανότητα να διαμαρτύρονται για την τριβή (ability to protest friction): Άριστη

- Χρώμα (color): Λευκό
- Ικανότητα αντανάκλασης φωτός (light reflection ability): Καλή

Χημικές ιδιότητες πολυεστέρα:

- 1) Οξέα: Διαθέτει καλή αντοχή σε οξέα σε κρύα κατάσταση, αλλά ο πολυεστέρας αποικοδομείται από H_2SO_4 σε υψηλή θερμοκρασία.
- 2) Βάση: Διαθέτει καλή αντοχή σε βασικές και κρύες συνθήκες αλλά δυνατό $NaOH$ διαλύει τον πολυεστέρα στον βρασμό.
- 3) Αποτέλεσμα της λεύκανσης: Ο πολυεστέρας δεν επηρεάζεται από την διαδικασία λεύκανσης
- 4) Οργανικό διαλύτη: Ο οργανικός διαλύτης δεν επηρεάζει την πολυεστερική ίνα.
- 5) Προστατευτική ικανότητα κατά της μούχλας: Καλή
- 6) Προστασία από τα έντομα: Καλή
- 7) Βαφές: Ο πολυεστέρας μπορεί να είναι βαφή με διασπορά, αζωικό χρώμα και μερικές χρωστικές ουσίες.
- 8) Διαλύτες από πολυεστέρα: (solvents of polyester) : Παρακάτω παρατίθενται οι διαλύτες από πολυεστέρα:
 - i) Χλωριωμένος υδρογονάνθρακας
 - ii) F_3COOH
 - iii) Φαινόλη (σε θερμή κατάσταση)

2.3.5 Ανακυκλωσιμότητα Πολυεστέρα

Ο πολυεστέρας, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, είναι πλήρως ανακυκλώσιμο υλικό. Το PET ή PETE (τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο) είναι μια πλαστική ρητίνη και μια μορφή πολυεστέρα. Το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο είναι ένα πολυμερές, που δημιουργείται από τον συνδυασμό δύο μονομερών: την τροποποιημένη αιθυλενογλυκόλη και του καθαρού τερεφθαλικού οξέως. Χάρη στην αντοχή, τη θερμοσταθερότητα και τη διαφάνεια, το PET είναι μια δημοφιλή επιλογή για τη συσκευασία. Το PET είναι επίσης φθινό, ελαφρύ, επανασφραγίσιμο, ανθεκτικό στη θραύση και ανακυκλώσιμο.

Το ανακυκλωμένο τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο είναι γνωστό ως RPET και είναι το πιο ευρέως ανακυκλωμένο πλαστικό στον κόσμο. Η χρήση RPET αντί της παρθένας ρητίνης συνήθως έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, χαμηλότερο κόστος και μειωμένο περιβαλλοντικό αντίκτυπο. [18]

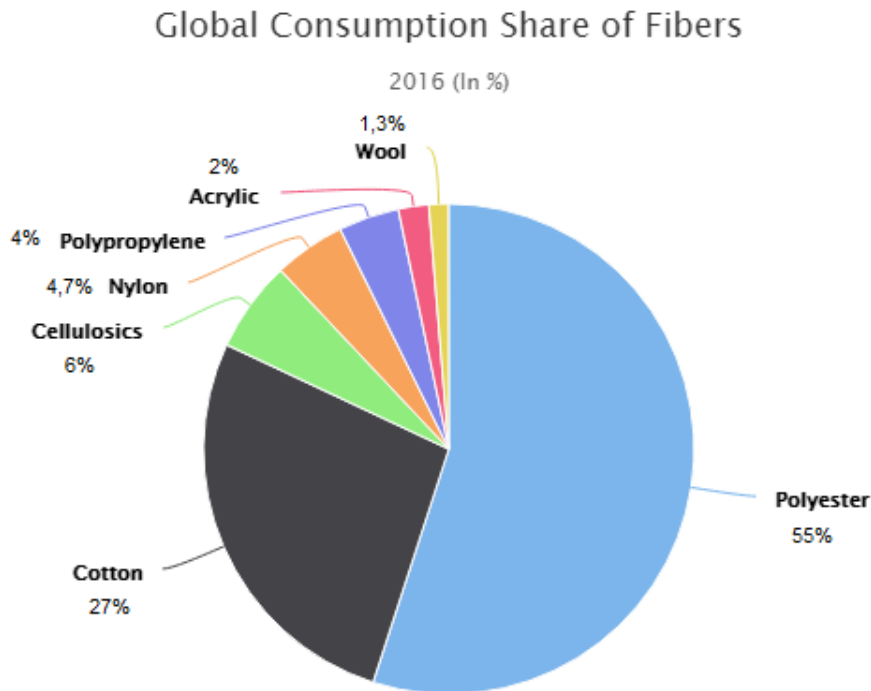


Εικόνα 2.3.5.1: Στάδια επεξεργασίας μπουκαλιών PET, για παραγωγή άνευ υφάνσεως πολυεστερικών πλακών

2.3.3 Πολυεστερική Ίνα

Μέχρι στιγμής πραγματοποιήθηκε αναφορά στον πολυεστέρα γενικά και όχι στην πολυεστερική ίνα καθαυτή. Αιτία είναι το γεγονός πως ο πολυεστέρας αποτελεί τη πρώτη ύλη για την κατασκευή της πολυεστερικής ίνας.

Η παγκόσμια παραγωγή πολυεστέρα, συμπεριλαμβανομένου του τμήματος ανακύκλωσης για το έτος 2016, ήταν 76,66 εκατομμύρια τόνοι. Στην παγκόσμια αγορά κυριαρχούσαν τα νήματα που αντιστοιχούσαν στο 44% της συνολικής παραγωγής τους. Η πολυεστερική ίνα καταλαμβάνει το 55% της παγκόσμιας παραγωγής ινών, όντας επίσης η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη ίνα στον κλάδο των ενδυμάτων.[19][29] Σύμφωνα και με το *Διάγραμμα 2.3.3.1*, η πολυεστερική ίνα έχει την μεγαλύτερη κατανάλωση παγκοσμίως σε σύγκριση με άλλες ίνες. Βέβαια οι πολυεστερικές ίνες, αλλά και άλλες ίνες δεν βρίσκουν εφαρμογή μόνο στον ρουχισμό, αλλά και στην κατασκευή μονωτικών πλακών, και άλλων προϊόντων. Μπορεί να ανακυκλωθεί μηχανικά ή χημικά, με πρώτη ύλη που αποτελείται είτε από απόβλητα, είτε από τον καταναλωτή που δεν μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν για τον προορισμό τους. Αυτό περιλαμβάνει την επιστροφή υλικών από την αλυσίδα διανομής. [19]



Διάγραμμα 2.3.3.1 Συνολικό μερίδιο κατανάλωσης ινών [29]

2.3.4 Άνευ Υφάνσεως Ίνα

Τα μη υφαντά υφάσματα (nonwoven fabric) αποτελούν προϊόντα, των οποίων οι ίνες είναι παράλληλες, σταυρωτές ή τυχαία πλεγμένες μεταξύ τους και συνδέονται με εφαρμογή κόλλας ή θερμοπλαστικών ινών υπό εφαρμογή θερμότητας και πίεσης. Οι ιδιότητες των μη υφαντών υφασμάτων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή των ινών, την τεχνολογία την οποία καθορίζει το πώς πρέπει να διατάσσονται οι ίνες, την διαδικασία συγκόλλησης καθώς και τον συνδετικό παράγοντα. [31]

2.3.5 Στάδια Κατασκευής Άνευ Υφάνσεως Πλακών

[36][37]

Πριν τη διαδικασία κατασκευής των άνευ υφάνσεως πλακών προηγούνται ορισμένες ακόμη διαδικασίες, οι οποίες πραγματοποιούνται σε διαφορετικά εργοστάσια. Αυτές αποτελούν την συλλογή των ανακυκλωμένων μπουκαλιών PET, τον τεμαχισμό τους και την μετατροπή τους σε άνευ υφάνσεως ίνα. Το αρχικό

αποτέλεσμα του πρώτου τεμαχισμού των μπουκαλιών παρουσιάζεται στην παρακάτω *Εικόνα 2.3.5.1*.



εικόνα 2.3.5.1: 1^ο αποτέλεσμα τεμαχισμού μπουκαλιών PET

Έπειτα ακολουθεί και δεύτερος τεμαχισμός και στην συνέχεια μέσω μίας σειράς διεργασιών, η διαδικασία φτάνει στην κατασκευή της άνευ υφάνσεως ίνας, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 2.3.5.2*. Επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση των ινών αυτών σε τετραγωνισμένα δέματα.

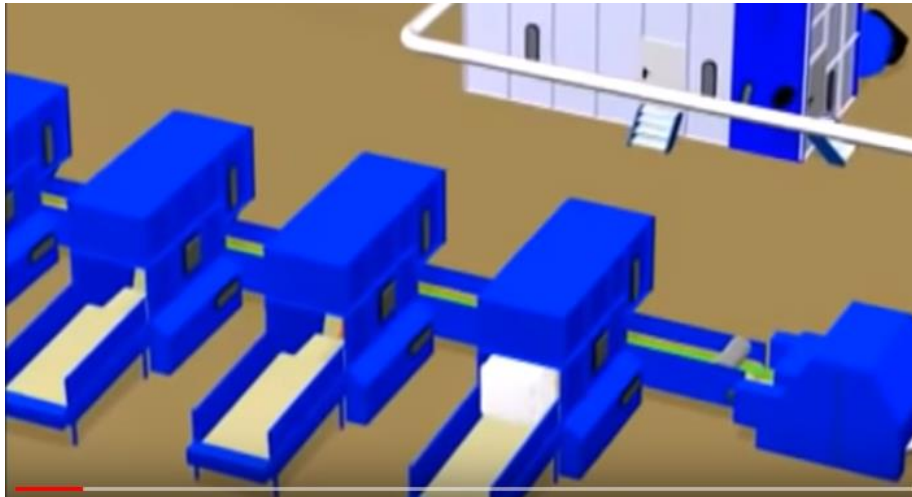


εικόνα 2.3.5.2: Άνευ υφάνσεως ίνα.

Αυτά τα δέματα στην συνέχεια μεταφέρονται σε εργοστάσιο όπου γίνεται η μετατροπή τους, στην δεδομένη περίπτωση, σε άνευ υφάνσεως πολυεστερικές πλάκες.

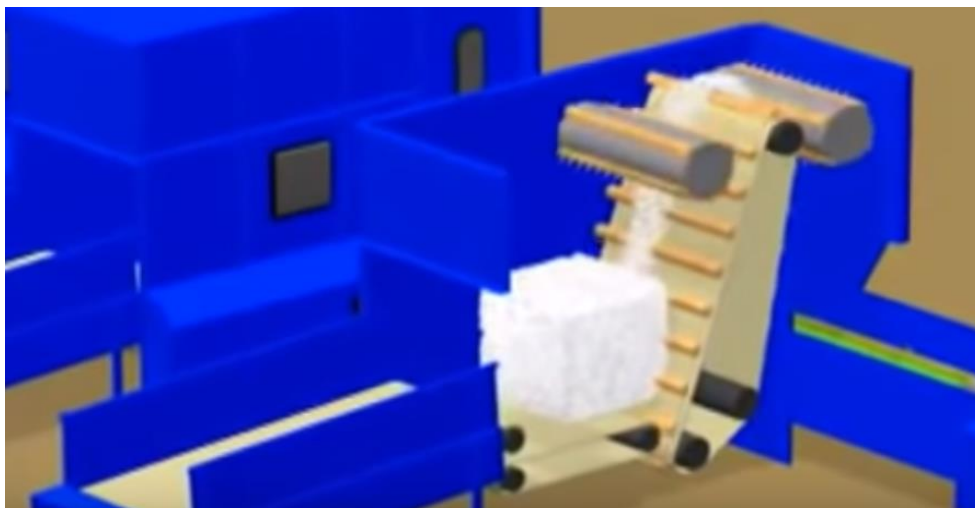
Το πρώτο στάδιο αποτελεί την εισαγωγή των δεμάτων αυτών σε ειδικές υποδοχές και το άνοιγμα των ινών. Συνήθως υπάρχουν τρεις με τέσσερις υποδοχές. Εδώ υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης σε κάθε υποδοχή διαφορετικού υλικού. Για παράδειγμα, μπορούν να τοποθετηθούν σε 2 υποδοχές ανακυκλωμένη άνευ υφάνσεως ίνα και στους άλλους δύο πρωτογενής άνευ υφάνσεως ίνα. Στην συνέχεια, ενδέχεται να ρυθμιστεί στο μηχάνημα η ποσότητα των ινών που θα απελευθερώνει

κάθε υποδοχέας, ώστε να υπάρχει η θεμιτή αντιστοιχία πρωτογενούς και δευτερογενούς ίνας.



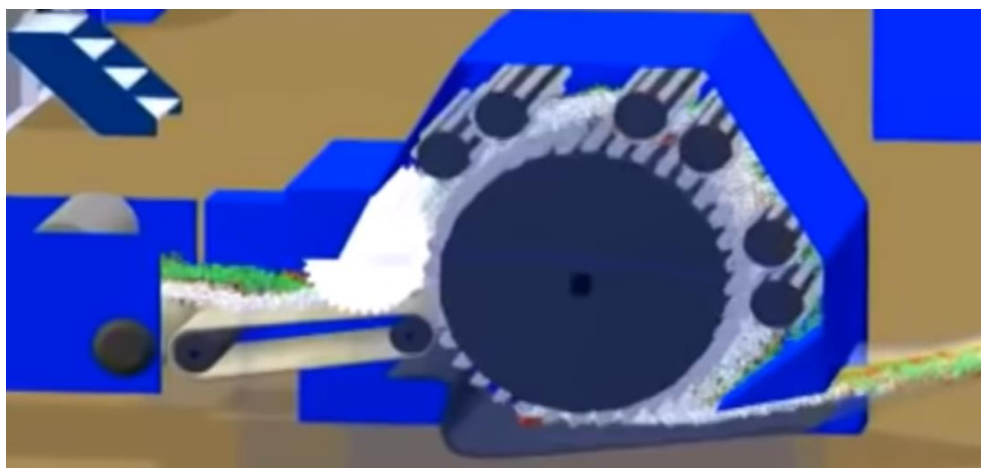
εικόνα 2.3.5.3: Υποδοχείς δεμάτων άνευ υφάνσεως πολυεστερικής ίνας

Το άνοιγμα των ινών πραγματοποιείται με «ξύστρες», οι οποίες ξεμπλέκουν και απομακρύνουν σταδιακά τις ίνες από το αρχικό δέμα.



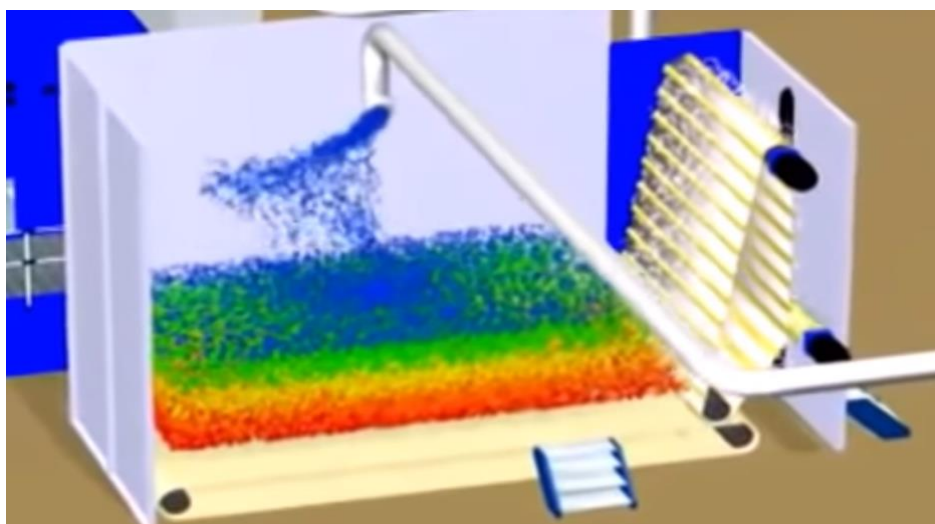
εικόνα 2.3.5.4: Άνοιγμα ινών με χρήση «ξύστρας».

Στη συνέχεια, οι ίνες με την βοήθεια ενός ιμάντα οδηγούνται στην μηχανή λαναρίσματος (Carding Machine), όπου σκοπός είναι, όσο το δυνατόν καλύτερο άνοιγμα των ινών, με επόμενο στόχο την άριστη ομογενοποίησή τους. Στην *Εικόνα 2.3.5.5* μπορεί να παρατηρηθεί ο μηχανισμός λαναρίσματος, όπου οι άξονες περιστροφής των μικρών γραναζιών έχουν αντίθετη φορά από το μεγάλο κεντρικό γρανάτζι έτσι ώστε να επιτευχθεί καλύτερο αποτέλεσμα.



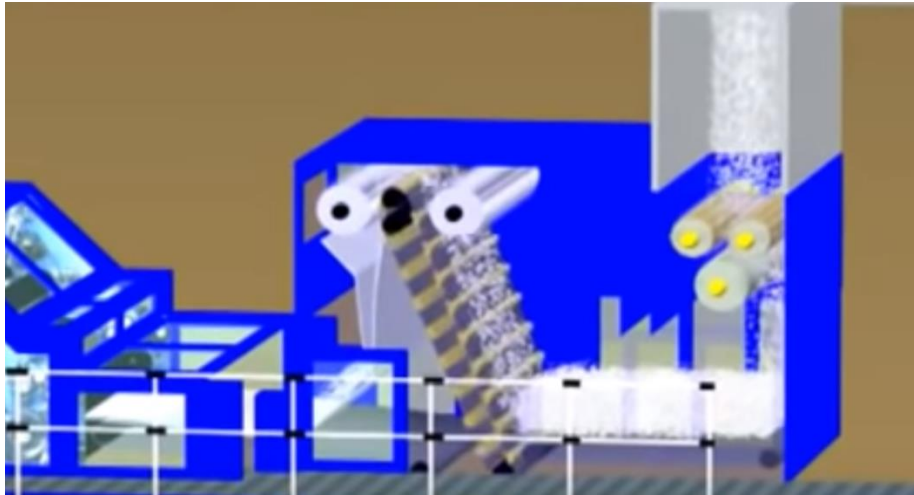
εικόνα 2.3.5.5: Μηχανισμός λαναρίσματος των ινών.

Οι λαναρισμένες πλέον ίνες οδηγούνται μέσω ενός συστήματος σωληνώσεων σε ένα μεγάλο δοχείο μέσα στο οποίο γίνεται η ανάδευση των ινών μεταξύ τους. Στη συνέχεια, όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην *Εικόνα 2.3.5.6* υπάρχει μία «ξύστρα», η οποία απομακρύνει σταδιακά τις ομογενοποιημένες ίνες στις επόμενες διεργασίες.

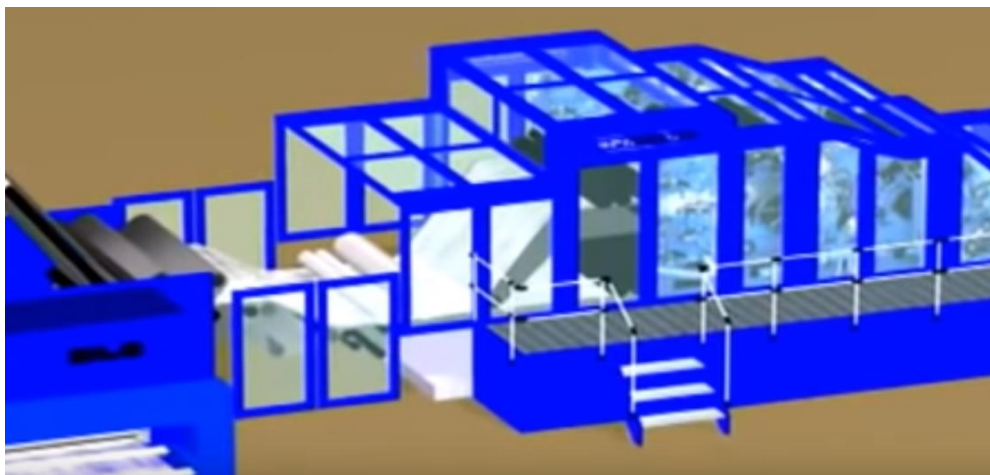


εικόνα 2.3.5.6: Δοχείο ανάμειξης και ομογενοποίησης ινών.

Για καλύτερη ομογενοποίηση, οι ίνες περνάνε εκ νέου από ένα μικρότερο σύστημα με γρανάζια παρόμοιο με τον αρχικό μηχανισμό λαναρίσματος. Έπειτα, οδηγούνται σε ένα μικρότερο δοχείο ανάμειξης και στην συνέχεια με την βοήθεια μίας «ξύστρας» οδηγούνται σε ένα σύστημα με κυλίνδρους για την δημιουργία ενός λεπτού φύλλου από άνευ υφάνσεως πολυεστερικές ίνες.



Εικόνα 2.3.5.7: Τελευταίο στάδιο για βέλτιστη ομογενοποίηση του υλικού μας.



Εικόνα 2.3.5.8: Σύστημα κυλίνδρων για την δημιουργία λεπτού άνευ υφάνσεως πολυεστερικού φύλλου

Στη συνέχεια, ακολουθεί το στάδιο αναδίπλωσης πάνω σε ιμάντα, ο οποίος κινείται με σταθερή μικρή ταχύτητα σύμφωνα με το θεμιτό πάχος κατασκευής της άνευ υφάνσεως πλάκας. Στη συνέχεια, το υλικό συμπιέζεται για να αποκτήσει την εκάστοτε ζητούμενη πυκνότητα.



Εικόνα 2.3.5.9: Σύστημα αναδίπλωσης των άνευ υφάνσεως πολυεστερικών φύλλων.

Τέλος, το υλικό που κατασκευάστηκε εισέρχεται μέσα σε φούρνο και ψήνεται στους 80°C με 120°C και εν συνεχεία ψύχεται για να σταθεροποιηθεί. Αξίζει να σημειωθεί πως η θερμοκρασία ψησίματος πρέπει να βρίσκεται κάτω από 200°C, καθώς σε αυτή την τιμή πραγματοποιείται η τήξη της ίνας.

Κεφάλαιο 3: Πειραματικό Μέρος

3.1 Δείγματα και Υλικά

Για την διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματός χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί διαδικτυακή έρευνα για την εύρεση των υλικών. Τα δείγματα λήφθηκαν απευθείας στην τελική τους μορφή ως πλάκες κατασκευασμένες από άνευ υφάνσεως πολυεστερική ίνα. Ο συνολικός αριθμός δειγμάτων που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι 8. Η κάθε πολυεστερική πλάκα διαφέρει από την άλλη τόσο στη πυκνότητα όσο και στην σύνθεσή τους. Στον Πίνακα 3.1.1 αναφέρονται χαρακτηριστικά η πυκνότητα και η σύνθεση του κάθε δείγματος ξεχωριστά.

Πίνακας 3.1.1: Χαρακτηριστικά και ονομασία δειγμάτων

Αρίθμηση Δειγμάτων	Ονομασία Δείγματος	% Σύνθεση	Πυκνότητα (kg/m ³)
1	20% κοκοφοίνικα άνευ υφάνσεως	20% coco fiber - 80% Πρωτογενές πολυεστερική ίνα	124,90
2	άνευ υφάνσεως 10mm	100% Πρωτογενές πολυεστερική ίνα	20,94
3	Γκρι- πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα	40 % Πρωτογενές πολυεστερική ίνα - 60% Δευτερογενές ανακυκλωμένη ίνα	17,44
4	Λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα	100% Πρωτογενές πολυεστερική ίνα	65,00
5	μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα	100% Πρωτογενές πολυεστερική ίνα	62,77
6	Γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα	40 % Πρωτογενές πολυεστερική ίνα - 60% Δευτερογενές ανακυκλωμένη ίνα	99,51
7	Πράσινο άνευ υφάνσεως πλάκα	70 % Πρωτογενές πολυεστερική ίνα - 30% Δευτερογενές ανακυκλωμένη ίνα	110,78
8	άνευ υφάνσεως πάπλωμα	70 % Πρωτογενές πολυεστερική ίνα - 30% Δευτερογενές ανακυκλωμένη ίνα	15,07

3.2 Μηχάνημα Εκτέλεσης Μετρήσεων: Hot Disk

Οι μετρήσεις των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν με το μηχάνημα Hot Disk (Θερμικός Δίσκος) και πιο συγκεκριμένα με την μέθοδο TSP1500. Η μέθοδος TSP (Transient Plane Source) αποτελεί μία ακριβή και βολική τεχνική για τη μελέτη ιδιοτήτων θερμικής μεταφοράς. Η συγκεκριμένη τεχνική παρέχει την δυνατότητα

συλλογής πληροφοριών σχετικά με τη θερμική αγωγιμότητα, τη θερμική διάχυση, καθώς και την ειδική θερμότητα ανά μονάδα όγκου του υπό μελέτη υλικού, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 22007-2. [32]

Η μέθοδος TPS βασίζεται στη χρήση ενός παροδικά θερμαινόμενου ανιχνευτή επιπέδου και αναφέρεται ως Hot Disk Thermal Constants Analyzer. Ο ανιχνευτής επιπέδου αποτελεί έναν αισθητήρα ηλεκτρικά αγωγίμου νικελίου, το οποίο είναι ενισχυμένο και από τις δύο πλευρές του με στρώμα μονωτικού φιλμ, Kapton. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ο αισθητήρας τοποθετείται ανάμεσα σε δύο κομμάτια δείγματος, όπου η κάθε επιφάνεια βλέπει τον αισθητήρα. Στη συνέχεια, ο αισθητήρας τροφοδοτείται με ρεύμα, ο οποίος με την σειρά του παράγει θερμότητα και συγχρόνως παρακολουθείται η εναλλαγή θερμοκρασίας εν συναρτήσει του χρόνου. Με τη συγκεκριμένη διαδικασία παρακολούθησης, καταγραφής δεδομένων και με το διάγραμμα που προκύπτει από την εναλλαγή θερμοκρασίας, εν συναρτήσει του χρόνου, προσδιορίζεται η θερμική αγωγιμότητα του υλικού.[40]



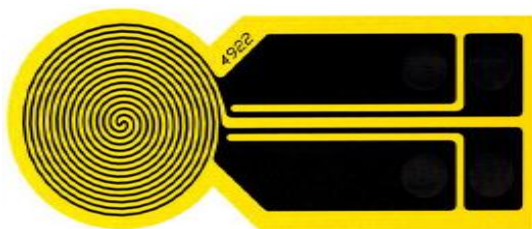
Εικόνα 3.2.1: Μηχάνημα Hot Disk

3.2.1 Υλικά Εξαρτήματα Μηχανήματος

- Hot Disk sensor:

Όπως έχει προαναφερθεί, ο αισθητήρας διαθέτει πάνω του ένα ηλεκτρικά αγωγίμο διπλό σπειρωτό μοτίβο, το οποίο είναι χαραγμένο από ένα λεπτό φύλλο νικελίου. Η επιλογή του φύλλου νικελίου γίνεται λόγω του υψηλού και πολύ γνωστού του συντελεστή θερμοκρασιακής αντίστασης. Το αγωγίμο μοτίβο νικελίου περικλείεται από ένα λεπτό φιλμ Polyimide (Kapton) πάχους 12,7μm ή 25μm. Το συγκεκριμένο φιλμ ουσιαστικά μονώνει το νικέλιο. Αυτό δίνει ένα συνολικό πάχος του αισθητήρα μεταξύ 60 και 80μm

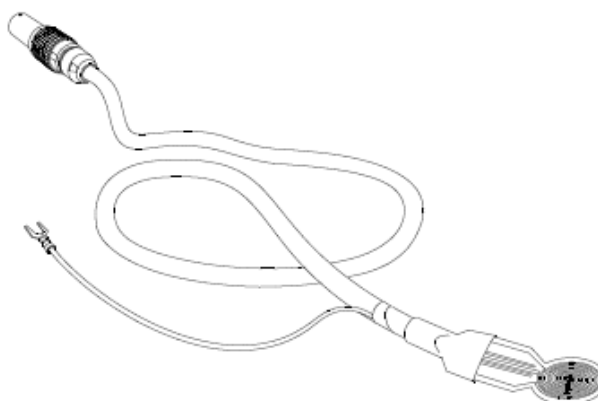
(συμπεριλαμβανομένου του πάχους της κόλλας). Υπάρχουν και άλλα είδη φιλμ μεγαλύτερου πάχους, στα οποία δεν θα γίνει αναφορά καθώς δεν χρειάστηκαν για στο συγκεκριμένο πείραμα. Το φιλμ Kapton διαθέτει αντοχή σε ένα εύρος θερμοκρασιακών μετρήσεων από -243°C μέχρι τους 300°C . Καθώς το πείραμα διεξάχθηκε σε περιβαλλοντικές θερμοκρασίες, το φύλλο Kapton ήταν η ιδανική επιλογή, δεδομένου ότι παρέχει ακριβέστερα αποτελέσματα λόγω της πολύ λεπτότερης μόνωσής του συγκριτικά με τα υπόλοιπα υπάρχοντα. [40]



Εικόνα 3.2.1.1: Αισθητήρας Hot Disk με μόνωση Kapton.

- Προεκτάσεις καλωδίων και υποδοχές αισθητήρων

Σε θερμοκρασίες δωματίου υπάρχει η δυνατότητα χρήσης καλωδίου επέκτασης του αισθητήρα. Η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του είναι οι 50°C . Το μικρό καλώδιο που φαίνεται στην Εικόνα 3.2.1.2 να προεξέχει, αποσκοπεί μόνο στην σταθεροποίηση του αισθητήρα.[40]



Εικόνα 3.2.1.2: Hot disk αισθητήρας με μόνωση Kapton, με επέκταση καλωδίου για θερμοκρασίες δωματίου.

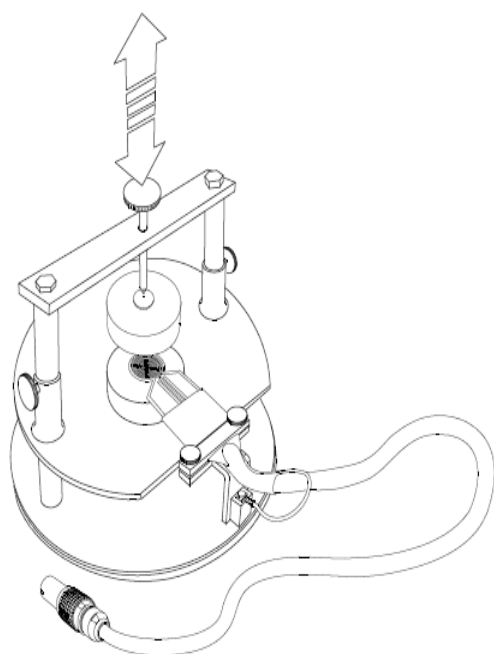
- Επιλογή ακτίνας του αισθητήρα

Η επιλογή της ακτίνας του αισθητήρα αποτελεί ακόμη μία πολύ σημαντική παράμετρο για την ορθή διεξαγωγή των μετρήσεων και για την αξιοπιστία των

αποτελεσμάτων. Σύμφωνα, λοιπόν, με τον οδηγό χρήσης του μηχανήματος για ομοιογενή υλικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί αισθητήρας με ακτίνα 3,2 έως 15mm. Πιο συγκεκριμένα, στη συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς αναφερόμαστε σε ομοιογενή υλικά χρησιμοποιήθηκε αισθητήρα με ακτίνα 14,61mm.[40]

- Υποστήριξη δειγμάτων (σε θερμοκρασία δωματίου)

Η υποστήριξη των δειγμάτων αποτελεί έναν ειδικά σχεδιασμένο χώρο κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα και κατάλληλο για την χρήση αισθητήρων με μόνωση Karton. Η θήκη υποδοχής των δειγμάτων μπορεί να φιλοξενήσει τεμάχια δείγματος μεγέθους 45mm (το καθένα) σε ύψος και 70mm σε διάμετρο. Ακόμη, η συσκευή διαθέτει και ένα κυλινδρικό γυαλισμένο κάλυμμα από ανοξείδωτο χάλυβα ύψους 150mm και διάμετρο 170mm. Σκοπός του είναι η προστασία των δειγμάτων κατά την διάρκεια της καταγραφής από τις διαταραχές της θερμοκρασίας μέσω της ροής του αέρα.[40]



A)



B)

Εικόνα 3.2.1.3 : Υποστηρικτής δείγματος για μετρήσεις που πραγματοποιούνται σε θερμοκρασία δωματίου. Στην εικόνα A) βλέπουμε το εσωτερικό του υποστηρικτή και στην εικόνα B) βλέπουμε το Περίβλημα.

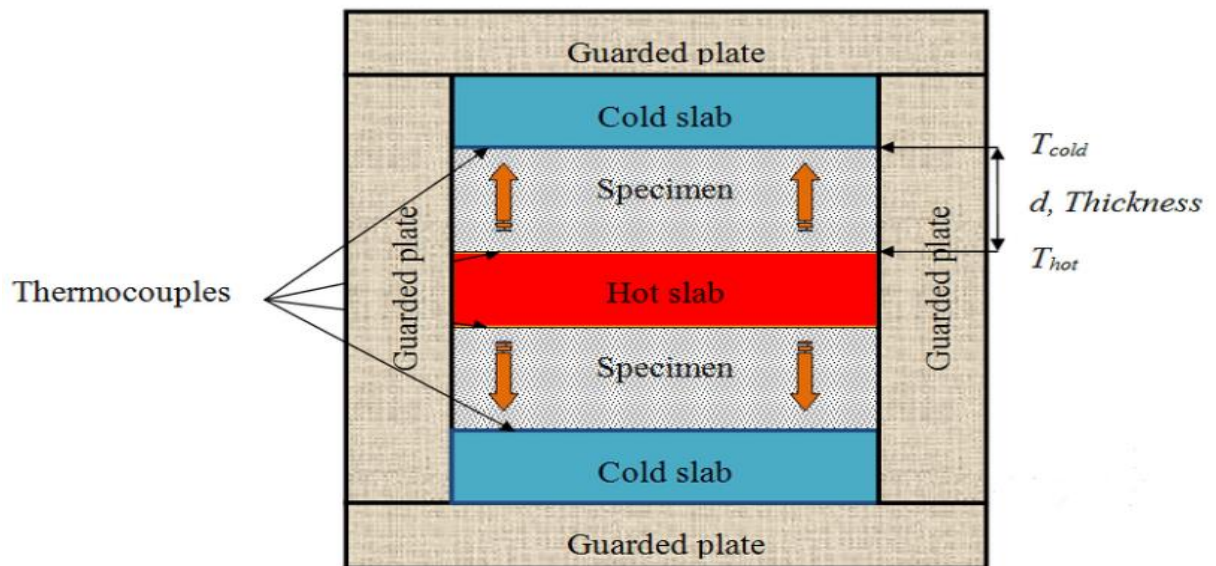
3.3 Μηχάνημα Εκτέλεσης Μετρήσεων: TLP 300

Με το μηχάνημα TLP 300, το οποίο διαθέτει τεχνολογία guarded hot plate (προστατευμένης θερμής πλάκας), πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις σε εργαστήριο της Αθήνας. Η μέθοδος **guarded hot plate**, για να υπολογίσει την θερμική αγωγιμότητα ενός μονωτικού υλικού χρησιμοποιεί μια μέθοδο σταθερής κατάστασης (steady-state method). Απαιτείται ουσιαστικά το μονωτικό υλικό να βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον του, δηλαδή σε σταθερή κατάσταση. [20]



Εικόνα 3.3.1: Μηχάνημα TLP 300.

Η συσκευή αυτή αποτελείται από μία θερμική πλάκα, η οποία τοποθετείται ανάμεσα από δύο δείγματα ίδιων διαστάσεων. Στις εξωτερικές πλευρές των δειγμάτων τοποθετούνται μη θερμαινόμενες “ψυχρές πλάκες”. Φυσικά και στις δύο πλευρές των δειγμάτων, τόσο στην επαφή τους με τη θερμή πλάκα όσο και στο σημείο επαφής τους με την ψυχρή πλάκα, τοποθετούνται αισθητήρες θερμότητας. Τέλος, το όλο σύστημα βρίσκεται σε ένα καλά μονωμένο καλούπι.



Εικόνα 3.3.2: Πειραματική συσκευή η λειτουργία της οποίας πραγματοποιείται με τη μέθοδο της guarded hot-plate.



Εικόνα 3.3.3: φύλλο αισθητήρων Μηχανήματος TLP 300.

Η μέθοδος της guarded hot-plate καθιερώνει μια μονοδιάστατη ροή θερμότητας μέσω ενός ζεύγους δειγμάτων. Η πλάκα θέρμανσης, η οποία, όπως μπορεί να δει κανείς και στην Εικόνα 3.3.2, είναι τοποθετημένη στο κέντρο του όλου συστήματος και αρχίζει να εκπέμπει θερμότητα. Μόλις το σύστημα επέλθει σε ισορροπία, υπολογίζεται η θερμική αγωγιμότητα από την άνοδο της θερμοκρασίας των ψυχρών πλακών.

3.4 Στάδια Πειραματικής Διαδικασίας.

Για την εκπόνηση του συγκεκριμένου πειράματος ή για την ακρίβεια των συγκεκριμένων μετρήσεων ακολουθήθηκε μία σειρά βημάτων. Το πρώτο βήμα ήταν η τοποθέτηση των δειγμάτων και του αισθητήρα στο σύστημα στήριξης όπως απεικονίζεται στην *Εικόνα 3.4.1*. Από την εικόνα, αλλά και από όσα έχουν αναφερθεί και μέχρι τώρα, ο αισθητήρας βρίσκεται τοποθετημένος ανάμεσα σε δύο δείγματα, των οποίων οι διαστάσεις πρέπει να είναι μεγαλύτερες από την διάμετρο του αισθητήρα. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνταν η μέτρηση της φέρουσας θερμοκρασίας του δείγματος, η οποία θερμοκρασία αποτελεί αντίστοιχα και τη θερμοκρασία δωματίου. Αφού ολοκληρώθηκε το πρώτο στάδιο, επόμενο βήμα αποτελούσε η τοποθέτηση των δεδομένων στο πρόγραμμα του μηχανήματος, ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας του υλικού. Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως τα δείγματα δεν συμπίεστηκαν στο μηχανήμα στήριξης, ώστε να μην τροποποιηθούν οι ιδιότητές τους.



Εικόνα 3.4.1: Τοποθέτηση δείγματος στο σύστημα στήριξης. (το χαρτόνι δεν επηρεάζει τις μετρήσεις τοποθετήθηκε μόνο για την καλύτερη σταθεροποίηση του δείγματος)

Για την διαδικασία των μετρήσεων όλες οι απαραίτητες παράμετροι, οι οποίες χρειάστηκαν είναι γνωστές, πέρα από την παρεχόμενη θερμότητα (heating power) του αισθητήρα και του χρόνου μέτρησης (measurement time). Είναι σημαντικό να κατανοηθεί, ότι η θερμική αγωγιμότητα των υλικών επηρεάζει το heating power που χρειάστηκε να εφαρμοστεί. Υλικά με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα απαιτούν μικρή επίδραση, στο εύρος των mW, δηλαδή μικρό heating power. Μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό πως αν ασκηθεί μεγάλο heating power σε μονωτικά υλικά με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα υπάρχει ο κίνδυνος να προκληθεί μόνιμη βλάβη του αισθητήρα

λόγω υπερθέρμανσης, καθώς και τα αποτελέσματά που θα λαμβάνονταν θα ήταν λανθασμένα. Μία αποδεκτή τιμή λοιπόν της συνολικής αύξησης της θερμοκρασίας (total temperature increase) αποτελεί τυπικά 2-5K. Έτσι, εφαρμόστηκε μία διαδικασία δοκιμής και σφάλματος ώσπου να εντοπιστούν οι τιμές του heating power και measurement time που πρέπει να εφαρμοστούν.

Οι γνωστοί παράμετροι είναι οι παρακάτω:

- Το είδος του αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις. Ο οποίος είναι: Hot Disk 4922 με διάμετρο αισθητήρα 14,61mm, Kapton Sensor, με επέκταση καλωδίου Grey Cable το οποίο έχει αντοχή σε θερμοκρασίες έως 50°C.
- Το πάχος του υλικού ή διαφορετικά το Probing Depth, με μονάδα μέτρησης τα mm, το οποίο μετράται με παχύμετρο ακριβείας δύο δεκαδικών ψηφίων.
- Και η θερμοκρασία του υλικού, η οποία υπολογίστηκε με την βοήθεια θερμόμετρου Laser την χρονική στιγμή που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν διάφορες τιμές του heating power και για διάφορα measurement time, ώστε να εντοπιστούν οι κατάλληλες τιμές που δίνουν το βέλτιστο αποτέλεσμα της θερμικής αγωγιμότητας που αναζητάται.

Ξεκινώντας παραδειγματικά με ένα συγκεκριμένο δείγμα, από το πράσινο μονωτικό μπλοκ, αναφέρεται αναλυτικά όλη η διαδικασία που ακολουθήθηκε. Η ίδια διαδικασία αντίστοιχα ακολουθήθηκε και για τα υπόλοιπα δείγματα. Για να γίνει απόλυτα κατανοητή η διαδικασία, επισυνάπτεται παρακάτω ένας πίνακας των αποτελεσμάτων.

Συνεπώς, όπως αναφέρθηκε είναι συνετό η αρχή να πραγματοποιηθεί από μικρές τιμές heating power, στις οποίες εφαρμόστηκαν αρχικά οι τιμές 20mW στα 20s. (Η τιμή των 20s για το measurement time, αποτελεί την ελάχιστη που γίνεται να επιλεγεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε). Λαμβάνοντας το αποτέλεσμα των συγκεκριμένων τιμών, όπως μπορεί να δει κανείς στον Πίνακα 3.4.1, παρατηρείται πως οι τιμές αύξησης της θερμοκρασίας (temperature increase) και τα συνολικά χαρακτηριστικά (total to characteristic) του δείγματος είναι εξαιρετικά χαμηλές και εκτός ορίων. Έτσι, κάνοντας ένα βήμα την φορά, για την ίδια τιμή του measurement time στα 20s πραγματοποιήθηκε αύξηση της παροχής της θερμότητας που εκπέμπει ο αισθητήρας, δηλαδή το heating power, στα 40mW. Κάνοντας αυτή την αλλαγή, παρατηρήθηκε αύξηση του total to characteristic, αλλά ακόμη μεγαλύτερη μείωση του temperature increase.

Συμπερασματικά, λοιπόν, αλλάζοντας μόνο το heating power δε βελτιώνονται τα αποτελέσματα. Επομένως, για την επόμενη μέτρηση χρειάστηκε να οριστούν οι τιμές 20mW στα 40s.

Σε αυτό το σημείο, λοιπόν, παρατηρείται πως όλες οι παράμετροι βρίσκονται στα αποδεκτά όρια, εκτός από τη μέση απόκλιση (mean deviation). Δύο είναι τα πιθανά αίτια για την συγκεκριμένη απόκλιση. Πρώτον, το δείγμα να μην είναι ισοτροπικό, δηλαδή να μην είναι ομοιογενές σε όλο τον όγκο του και δεύτερον, να υπάρχουν εξωτερικές παρεμβολές στο μηχάνημα που να επηρεάζουν τις μετρήσεις. Καθώς είναι γνωστό πως τα δείγματά είναι ισότροπα, αποκλείστηκε το πρώτο ενδεχόμενο και παρατηρήθηκαν οι πιθανές παρεμβολές που επηρεάζουν τις μετρήσεις. Τα αποδεκτά όρια της συγκεκριμένης παραμέτρου είναι για τιμές μικρότερες ή ίσες με 10^{-4} . Σύμφωνα, λοιπόν, και με μετρήσεις των υπόλοιπων δειγμάτων παρατηρήθηκε, πως η διαφορά στην τιμή της θερμικής αγωγιμότητας στην περίπτωση που το mean deviation είναι 10^{-3} με αυτήν που είναι 10^{-4} , για τις ίδιες πάντα συνθήκες και δεδομένα μετρήσεων, βρίσκεται μέσα σε αποδεκτά πλαίσια, καθώς δεν έχει μεγάλη ή και καθόλου απόκλιση στην τελική τιμή. Επομένως, τιμές των 20mW στα 40s για το heating power και measurement time αντίστοιχα, αποτελούν τις ζητούμενες τιμές.

Παρά το γεγονός, όμως, ότι εντοπίστηκαν οι ζητούμενες τιμές, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν ορισμένες ακόμη δοκιμές, ώστε να εντοπιστεί πιθανό σύνολο τιμών heating power και measurement time, που να προσφέρουν βέλτιστα αποτελέσματα. Έτσι, εισήχθησαν οι παρακάτω τιμές για κάθε μια από τις επόμενες 7 εκδοχές.

- I. 40mW στα 40s
- II. 60mW στα 40s
- III. 80mW στα 40s
- IV. 20mW στα 80s
- V. 40mW στα 80s
- VI. 60mW στα 80s
- VII. 80mW στα 80s

Έπειτα από την ολοκλήρωση της κάθε μέτρησης αφέθηκε ένας χρόνος αναμονής ίσος με 20 λεπτά, ώστε να δοθεί η δυνατότητα στο δείγμα να επανέλθει σε θερμοκρασιακή ισορροπία πριν από την επόμενη μέτρηση. Αυτός ο χρόνος αναμονής εξυπηρετεί στο να αποφευχθούν σφάλματα κατά την διάρκεια των

μετρήσεων και να ληφθούν τα βέλτιστα δυνατά αποτελέσματα, αποσκοπώντας παράλληλα και στην ασφάλεια του αισθητήρα.

Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από τις τελευταίες δοκιμές επιβεβαιώνουν το αρχικό συμπέρασμα. Τα εμφανιζόμενα σφάλματα οδηγούν και αυτά με την σειρά τους στο συμπέρασμα πως πρέπει να εφαρμοστούν μικρότερες τιμές heating power. Έτσι, για την πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα εφαρμόστηκαν τιμές 20mW στα 40s, αντίστοιχα.

Πίνακας 3.4.1: Εφαρμογή διάφορων τιμών παρεχόμενης θερμότητας και χρόνου μέτρησης σε ένα δείγμα

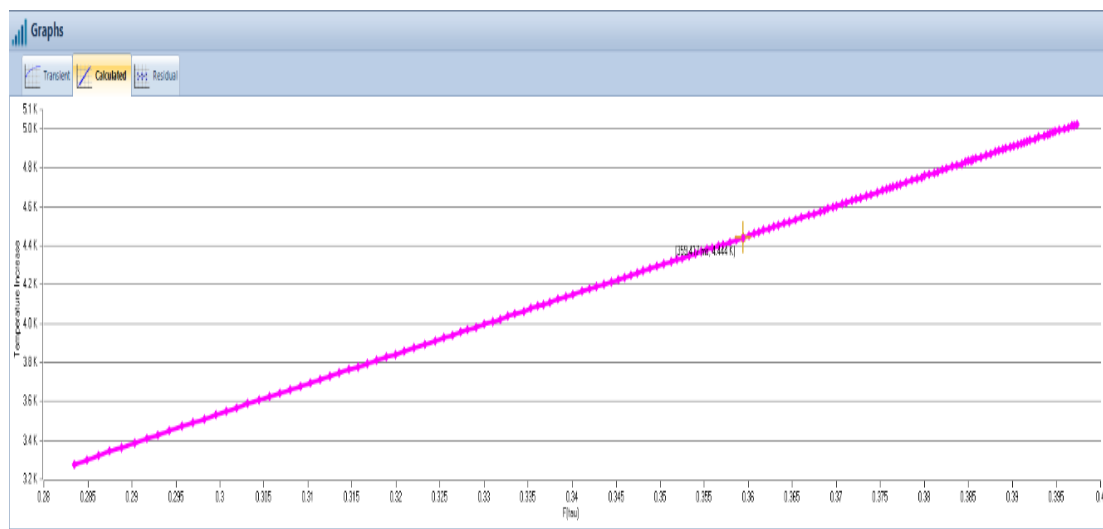
Outp. power (mW)	Meas. time (s)	Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (MJ/m ³ K)	Probing Depth (mm)	Temp. Increase (K)	Total to Charac. Time	Total Temp. Increase (K)	Time Correction (s)	Mean Deviation (K)	Sensor Resistance (Ω)
20	20	0,01078	0,8186	0,01317	8,09	-2,04	0,0768	2,42	0,1	1,33E-02	12,3865
40	20	0,01263	1.264	0,00999	10,1	-3,84	0,119	4,88	0,1	2,09E-02	12,4703
20	40	0,01914	2.490	0,00768	20	1,25	0,467	3,64	0,1	7,40E-03	12,5267
40	40	0,01927	2.453	0,00785	19,8	2,48	0,46	7,33	0,1	1,16E-02	12,4803
60	40	0,01899	2.436	0,00779	19,7	3,55	0,457	11,00	0,1	1,46E-02	12,4180
80	40	0,01907	2.447	0,00779	19,8	4,74	0,459	14,60	0,1	2,09E-02	12,4507
20	80	0,02124	2.081	0,01021	25,8	2,19	0,781	4,80	0,1	2,35E-03	12,3848
40	80	0,02112	2.077	0,01017	25,8	4,41	0,779	9,58	0,1	5,41E-03	12,4560
60	80	0,02156	2.087	0,01033	25,8	6,65	0,783	14,30	0,1	8,71E-03	12,4753
80	80	0,02134	2.089	0,01021	25,9	8,8	0,784	19,00	0,1	1,11E-02	12,4518

Προκειμένου, όμως, να ληφθεί η συγκεκριμένη τιμή ως έγκυρη, απαιτήθηκε να πραγματοποιηθούν ορισμένες επαναλήψεις των μετρήσεων με τα προεπιλεγμένα δεδομένα. Στον παρακάτω Πίνακα 3.4.2 μπορεί κανείς να δει τα αποτελέσματα των 7 επαναλήψεων, τα οποία και επιβεβαιώνουν την εγκυρότητα των επιλεγμένων τιμών, καθώς όλες οι παράμετροι έχουν τιμές εντός των ορίων.

Πίνακας 3.4.2: Επανάληψη μετρήσεων για τιμές 20mW και 40s

Outp power (mW)	Meas time (s)	Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (MJ/m ³ K)	Probing Depth (mm)	Temp Increase (K)	Total to Charac, Time	Total Temp Increase (K)	Time Correction (s)	Mean Deviation (K)	Sensor Resistance (Ω)
20	40	0,01928	2,416	0,00798	19,4	0,844	0,442	4,1	0,1	2,54E-04	12,3157
20	40	0,01939	2,504	0,007745	19,8	0,841	0,458	4,14	8,14E-12	2,48E-04	12,2652
20	40	0,01976	2,540	0,00778	19,9	0,833	0,465	4,03	0,1	2,35E-04	12,2825
20	40	0,01960	2,552	0,007683	20,0	0,841	0,467	4,04	0,1	2,72E-04	12,2887
20	40	0,01931	2,585	0,007468	20,1	0,837	0,473	4,09	0,1	2,61E-04	12,2957
20	40	0,01929	2,430	0,007938	19,5	0,842	0,445	4,13	4,66E-05	2,77E-04	12,3319
20	40	0,01942	2,451	0,007924	19,6	0,833	0,448	4,08	0,1	3,71E-04	12,2965

Αυτό το οποίο έχει παραληφθεί μέχρι στιγμής να αναφερθεί και αποτελεί πολύ σημαντικό κομμάτι των αποτελεσμάτων αυτών, είναι η τελευταία παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Έπειτα, από την ολοκλήρωση των υπολογισμών εξετάζονται τα διαγράμματα αύξησης θερμοκρασίας (temperature increase) έναντι F(tau). Εάν οι υπολογισμοί είναι καλοί, τότε το διάγραμμα πρέπει να δείχνει μία ευθεία γραμμή. Σε περίπτωση λοιπόν που δεν είναι ευθεία γραμμή, πραγματοποιείται μείωση του εύρους των τιμών που δίνεται, ώσπου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το μέγιστο εύρος τιμών που μπορεί να οριστεί είναι 0-200. Για κάθε δείγμα από το οποίο λήφθηκαν μετρήσεις, το εύρος τιμών διαφέρει. Για παράδειγμα, στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για την πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα, έχει επιλεγεί ένα εύρος τιμών 80-195. Αυτό σημαίνει πως αποκλείστηκαν τιμές οι οποίες παρέκκλιναν σημαντικά από την ευθεία τροποποιώντας, έτσι, σημαντικά τα τελικά αποτελέσματα.



Εικόνα 3.4.2: Παράδειγμα ορθού διαγράμματος temperature increase- F(tau)

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα και Σχόλια

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μία επισκόπηση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία και συγχρόνως πραγματοποιείται η αναλυτική περιγραφή και ο σχολιασμός τους. Οι τρόποι υπολογισμού των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν με δύο μεθόδους, την standard analysis και την fine tune analysis. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο μεθόδων αναλύεται περισσότερο στη συνέχεια. Παρακάτω εμφανίζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων της θερμικής αγωγιμότητας των υλικών.

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων Θερμικής Αγωγιμότητας

Sample ID	TSP method - FINE TUNE ANALYSIS	Guarded Hot-Plate Method	TSP Method - STANDARD ANALYSIS
20% κοκοφοίνικα άνευ υφάνσεως	0,03367	0,0342	0,02231
άνευ υφάνσεως πλάκα 10mm	0,04146	0,0407	0,02414
Γκρι- πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα	0,05273	0,0495	0,02394
Λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα	0,03317	0,0465	0,01527
Μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα	0,03416	0,0367	0,01594
Γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα	0,03352		0,01879
Πράσινο άνευ υφάνσεως πλάκα	0,03323		0,01944
άνευ υφάνσεως πάπλωμα	0,04734		0,01766

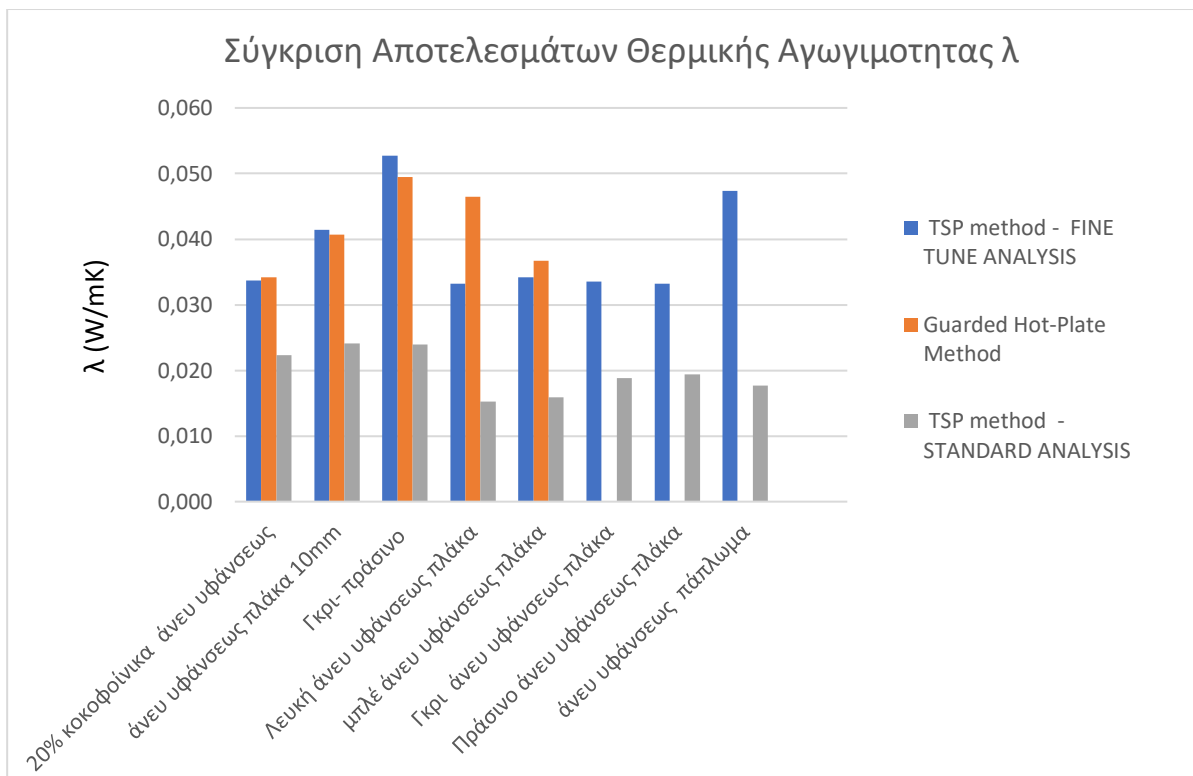
4.1 Μέθοδοι Ανάλυσης Αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1, όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει, για κάθε ένα από τα δείγματά υπάρχουν παραπάνω από μία τιμή θερμικής αγωγιμότητας (Thermal Conductivity). Αυτό οφείλεται στο γεγονός, πως στην αρχή των μετρήσεων αντιμετωπίστηκαν ορισμένα προβλήματα στα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας που εξήχθησαν για κάθε ένα από τα υλικά ήταν εξαιρετικά χαμηλές (0.01527-0.02414W/mK) και εκτός βιβλιογραφικών δεδομένων (0,03-0,05 W/mK). Καθώς είχαν εκτελεστεί σωστά όλα τα πειραματικά στάδια και αποκλείστηκαν τυχόν λάθη κατά την εκτέλεση των μετρήσεων βρέθηκε λύση να πραγματοποιηθούν ορισμένες μετρήσεις σε εργαστήριο στην Αθήνα και πιο

συγκεκριμένα στο EDUCATIONAL SYSTEMS LT ώστε να αποκτηθεί ένα μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων, το οποίο στη συνέχεια να διεξαχθούν σωστά συμπεράσματα.

Για την εκτέλεση των πειραματικών μετρήσεων από το εργαστήριο EDUCATIONAL SYSTEMS LT ζητήθηκαν οι διαστάσεις των δειγμάτων να είναι 300mm * 300mm. Οι διαστάσεις των είδη υπάρχων δειγμάτων δεν ικανοποιούσαν τις νέες απαιτήσεις, με αποτέλεσμα την προμήθεια νέων δειγμάτων. Τα νέα αυτά δείγματα διαθέτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από τα πρώτα και όπως είναι φυσικό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις εκ νέου για τα νέα αυτά δείγματα και με την μέθοδο TSP.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων της μεθόδου TSP χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι ανάλυσης. Η Fine Tune Analysis και η Standard Analysis. Σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του μηχανήματος Hot Disk, η Standard Analysis χρησιμοποιείται όταν το υλικό που μελετάται διαθέτει θερμική αγωγιμότητα μικρότερη από 1 W/mK. Στην αντίθετη περίπτωση, που το υλικό άγει την θερμότητα πολύ εύκολα και σε μεγάλο βαθμό, δηλαδή έχει θερμική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 1 W/mK, τότε χρησιμοποιείται η Fine Tune Analysis. Είναι γνωστό πως τα δείγματά που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις προέρχονται από ανάμιξη πρωτογενούς και δευτερογενούς πολυεστερικής ίνας και αποτελούν καλά μονωτικά υλικά. Διαθέτουν μικρή θερμική αγωγιμότητα με αποτέλεσμα να απαιτείται η χρήση της μεθόδου standard analysis. Γίνονται όμως, εύκολα αντιληπτές οι μικρές τιμές που λήφθηκαν, χρησιμοποιώντας την συγκεκριμένη μέθοδο. Πραγματοποιώντας μία δοκιμή και στην μέθοδο Fine Tune Analysis παρατηρήθηκε πως οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας που εξήχθησαν είναι αποδεκτές και φυσιολογικές και μέσα στα πλαίσια των βιβλιογραφικών δεδομένων, καθώς τα αποτελέσματά ήταν πολύ κοντά στα αποτελέσματα τα οποία λήφθηκαν και από το εργαστήριο Educational System LT. Παρακάτω στο *Διάγραμμα 4.1* παρατηρούνται ακόμα πιο ξεκάθαρα οι διαφορές στις τιμές που λήφθηκαν από κάθε μέθοδο ξεχωριστά. Αξίζει να αναφερθεί πως οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με την μέθοδο guarded hot-plate είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες, καθώς με την συγκεκριμένη μέθοδο το δείγμα σφραγίζεται αεροστεγώς, με αποτέλεσμα να αποτρέπονται παρεμβολές στο σύστημα από εξωτερικούς παράγοντες.



Διάγραμμα 4.1.1: Σύγκριση αποτελεσμάτων θερμικής αγωγιμότητας με χρήση τριών μεθόδων ανάλυσης

4.2 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Για να αξιολογηθούν σωστά τα αποτελέσματα που εξήχθησαν απαιτήθηκε να πραγματοποιηθεί ένας αξιοπρεπής αριθμός επαναληπτικών μετρήσεων, με σκοπό να οριστεί σωστά η ορθότητα και η ακρίβειά των αποτελεσμάτων. Έτσι, έπειτα από τον εντοπισμό των τιμών του heating power και measurement time που εφαρμόζονται σε κάθε δείγμα ξεχωριστά, και σύμφωνα με την διαδικασία που έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3.4, πραγματοποιήθηκαν ορισμένες ακόμη επαναλήψεις των μετρήσεων. Παρακάτω επισυνάπτονται οι πίνακες με τις επαναληπτικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για κάθε δείγμα ξεχωριστά.

Αρχικά, πραγματοποιείται ανάλυση του τρόπου αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, δηλαδή αν αυτά είναι σωστά και έμπιστα. Για να θεωρηθεί ένα αποτέλεσμα σωστό απαιτείται να διαθέτει τόσο άριστη ορθότητα όσο και άριστη ακρίβεια των τιμών της. Όπως μπορεί κανείς να δει στην *Εικόνα 4.2.1*, η ορθότητα πρόκειται για έναν θεμελιώδη όρο που εμπλέκεται σε κάθε διαδικασία μετρήσεων. Αποτελεί ουσιαστικά το μέτρο εγγύτητας μίας πειραματικής τιμής προς την πραγματική. Η ακρίβεια από την άλλη εκφράζει την εγγύτητα μεταξύ ανεξάρτητων μετρήσεων οι οποίες

ελήφθησαν με τον ίδιο τρόπο, ασχέτως με την εγγύτητα αυτών προς την αληθινή τιμή.[39]



Εικόνα 4.2.1 Αναπαράσταση συνδυασμού ορθότητας και ακρίβειας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα των επαναλήψεων που εφαρμόστηκαν στο εκάστοτε δείγμα.

Ο Πίνακας 4.2.1 αναφέρεται στο δείγμα 1 το οποίο διαθέτει σύσταση από 20% ίνες κοκοφοίνικα και 80% πρωτογενή πολυεστερική ίνα. Πραγματοποιήθηκαν 10 επαναλήψεις των μετρήσεων για δεδομένες τιμές του specific heat και measurement time ίσες με 20mW και 80s αντίστοιχα. Η επικρατούσα θερμοκρασία την μέρα εκτέλεσης των μετρήσεων στο δωμάτιο αντιστοιχούσε στους 23°C, άρα αποτελούσε και την θερμοκρασία εκτέλεσης των μετρήσεων. Από τον Πίνακα 4.2.1 μπορεί κανείς να παρατηρήσει, πως οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας που εξήχθησαν είναι πολύ κοντά η μία στην άλλη. Μπορεί να ειπωθεί λοιπόν, πως οι τιμές διαθέτουν άριστη ακρίβεια. Για να μπορέσει να ειπωθεί, όμως, πως το δείγμα διαθέτει άριστα και έμπιστα αποτελέσματα απαιτείται να διαθέτει και άριστη ορθότητα των τιμών του. Συγκρίνοντας λοιπόν τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από την μέθοδο TSP – Fine Tune Analysis με εκείνα που λήφθηκαν από την μέθοδο guarded hot-plate (Πίνακα 4.1 και Διάγραμμα 4.1.1), καθώς και το γεγονός ότι βρίσκονται εντός βιβλιογραφικών

δεδομένων που έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα για την πολυεστερική ίνα, μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα πως διαθέτει και άριστη ορθότητα των τιμών του. Αντιθέτως με την μέθοδο TSP – Standard Analysis, ενώ οι τιμές διαθέτουν άριστη ακρίβεια δεν διαθέτουν άριστη ορθότητα.



Εικόνα 4.2.2: Άνευ υφάνσεως πλάκα με σύσταση 20% κοκοφοίνικα

Πίνακας 4.2.1: Αποτελέσματα επαναλήψεων για το δείγμα 1

20% κοκοφοίνικα - 20mW 80s							
		FINE TUNE ANALYSIS			STANDARD ANALYSIS		
		Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)	Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)
(35-160,tc,td) 20mW 80s	1	0,03385	1,1450	236,7494	0,02252	1,9690	91,5933
	2	0,03391	1,1790	230,2642	0,02237	2,0200	88,6309
	3	0,03354	1,1300	237,5500	0,02233	1,9760	90,4724
	4	0,03352	1,1530	232,8263	0,02225	1,9870	89,6717
	5	0,03352	1,1290	237,7902	0,02222	1,9880	89,5116
	6	0,03346	1,1370	235,6285	0,02214	1,9940	88,9512

	7	0,03379	1,1690	231,4652	0,02239	1,9920	89,9920
	8	0,03424	1,1740	233,4668	0,02258	2,0610	87,6701
	9	0,03325	1,1190	237,8703	0,02214	1,9610	90,3923
	10	0,03357	1,1480	234,1873	0,02220	2,0020	88,7910
	AVERAGE	0,03367	1,1483	234,7798	0,02231	1,9950	89,5677

Ο παρακάτω Πίνακα 4.2.2 αντίστοιχα αναφέρεται στο δεύτερο δείγμα που μελετήθηκε, την άνευ υφάνσεως πλάκα 10mm. Για το συγκεκριμένο δείγμα, όπως και για ορισμένα ακόμη στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν επαναλήψεις για παραπάνω από ένα σύνολο τιμών του specific heat και measurement time. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως παραπάνω από ένα σύνολο τιμών έδινε καλά αποτελέσματα. Όσον αφορά όμως το συγκεκριμένο δείγμα δεν μπορεί να ειπωθεί με σιγουριά πως τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι σωστά.

Αρχικά στον Πίνακα 4.2.2 με την μέθοδο TSP-fine tune analysis παρατηρούνται πως οι τιμές τόσο της θερμικής αγωγιμότητας όσο και της θερμικής διάχυσης και της ειδικής θερμότητας του υλικού δεν διαθέτουν άριστη ακρίβεια μεταξύ τους. Κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων με την μέθοδο TSP δεν υπήρχε η δυνατότητα να αποφευχθούν σε μεγάλο βαθμό τα σφάλματα. Όπως έχει αναφερθεί και στην ενότητα 3.4, για να θεωρηθεί ένα αποτέλεσμα σωστό απαιτείται όλες οι παράμετροι να βρίσκονται εντός ορίων. Για την άνευ υφάνσεως πλάκα 10mm η παράμετρος total to characteristic διαθέτει τιμές χαμηλότερες από το όριο κατά περίπου 2 τάξεις μεγέθους. Στον Πίνακα 4.2.2, μπορούν να παρατηρηθούν επίσης τρεις τιμές που είναι επιλεγμένες. Τα αποτελέσματα αυτά δεν έχουν συμπεριληφθεί στον υπολογισμό του μέσου όρου. Πέρα από την μεγάλη απόκλισή τους από τις υπόλοιπες τιμές, σημαντικός λόγος αποτελεί και το γεγονός πως κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων που λήφθηκαν η παράμετρος probing depth, δηλαδή αυτή που μας δείχνει το απαιτούμενο βάθος (πάχος) της πλάκας, ήταν αρκετά πάνω από τα όρια των 10mm. Παρόλα αυτά, η μέση τιμή της θερμικής αγωγιμότητας που λήφθηκε $\lambda=0,04146 \text{ W/mK}$ έχει πολύ μικρή απόκλιση από την τιμή $\lambda=0,0407 \text{ W/mK}$ που ήταν η τιμή που εξήχθησαν από την χρήση της μεθόδου guarded hot-plate.

Με την χρήση της μεθόδου TSP-standard analysis, μπορεί να παρατηρηθεί από τον Πίνακα 4.2.2 πως διαθέτουν άριστη ακρίβεια μεταξύ τους. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται σε αυτή τη μέθοδο ανάλυσης είναι, πως οι τιμές είναι σχετικά χαμηλές και εκτός βιβλιογραφικών δεδομένων. Σημαντικό πρόβλημα που οδηγεί επίσης στην αναξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι η παράμετρος probing depth, η

οποία έχει τιμή μεγαλύτερη από την διπλάσια τιμή του πάχους του υλικού. Δηλαδή, δίνει τιμές κοντά στα 22mm όταν το πάχος του υλικού είναι μόλις 10mm.

Υπάρχει βέβαια μία λογική εξήγηση για την αιτία ύπαρξης αυτών των σφαλμάτων. Όπως έχει αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 3.2.1 για να διεξαχθούν σωστά οι μετρήσεις, απαιτείται η ακτίνα του αισθητήρα που χρησιμοποιείται για την μέτρηση να μην ξεπερνάει το πάχος του υλικού μας. Η ακτίνα του αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε διαθέτει ακτίνα ίση με 14,61mm, ενώ το πάχος του δείγματός είναι μόλις 10mm. Συνεπώς, είναι λογικό και τα αποτελέσματα να μην είναι τα επιθυμητά.



Εικόνα 4.2.3: Άνευ υφάνσεως πλάκα 10mm

Πίνακας 4.2.2: Αποτελέσματα επαναλήψεων για το δείγμα 2

άνευ υφάνσεως πλάκα 10 mm							
		FINE TUNE ANALYSIS			STANDARD ANALYSIS		
		Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)	Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)
(70-195, tc, td) 15mW 40s	1	0,04044	0,35510	5439,3505	0,02426	3,404	340,4011
	2	0,05175	0,69200	3571,6332	0,02345	3,511	318,9112
	3	0,03888	0,33600	5525,3104	0,02398	3,294	347,6600
	4	0,05619	0,84770	3165,2340	0,02397	3,492	327,7459
	5	0,03706	0,28160	6284,6227	0,02425	3,354	345,3200
	6	0,04159	0,38910	5105,0621	0,0239	3,32	343,6963
	7	0,04562	0,49150	4433,1423	0,02375	3,411	332,5215
	8	0,04859	0,55530	4179,0831	0,02436	3,517	330,8023
	9	0,04943	0,56790	4157,1156	0,02401	3,509	326,8386
	10	0,04586	0,47680	4593,6008	0,02409	3,554	323,7822

(66-195, t _c , t _d) 20mW 40s	11	0,04091	0,36960	5286,5330	0,02401	3,263	351,4327
	12	0,03502	0,25230	6628,4623	0,02418	3,156	365,9026
	13	0,04341	0,42090	4923,5912	0,02402	3,311	346,3706
	14	0,03231	0,20710	7449,8567	0,02429	3,182	364,4699
	15	0,03912	0,32490	5749,7612	0,02424	3,224	359,0735
	16	0,03633	0,28040	6189,1117	0,024	3,196	358,5482
	17	0,04363	0,42900	4856,7335	0,02407	3,305	347,8032
	18	0,04682	0,50130	4460,3629	0,02412	3,301	348,9494
	19	0,03985	0,32960	5773,6390	0,02444	3,255	358,6437
	20	0,02805	0,14730	9097,4212	0,02447	3,236	361,1270
AVERAG E		0,04146	0,3864	5355,0199	0,02412	3,3268	346,6009

Το τρίτο δείγμα είναι η γκρι-πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα και αποτελεί το δείγμα που διαθέτει την δεύτερη μικρότερη πυκνότητα $\rho=17,44 \text{ Kg/m}^3$ και πάχος περίπου 44,5mm. Τα αποτελέσματα των επαναλήψεων που πραγματοποιήθηκαν ήταν εξαιρετικά καλά. Από τον Πίνακα 4.2.3 μπορεί κανείς να δει πως και με τις δύο μεθόδους TSP ανάλυσης των αποτελεσμάτων υπάρχει άριστη ακρίβεια στις τιμές. Σε καμία από τις δύο περιπτώσεις, όμως, δεν υπάρχει και άριστη ορθότητα στις τιμές, καθώς τα αποτελέσματα βρίσκονται εκτός βιβλιογραφικών δεδομένων. Η μέθοδος TSP-Fine Tune Analysis αν και έχει μέση τιμή θερμικής αγωγιμότητας ίση με $\lambda=0,05273 \text{ W/mK}$ διαφέρει σημαντικά από την τιμή που λήφθηκε από την μέθοδο guarded hot-plate, η οποία έδωσε τιμή ίση με $\lambda=0,0495 \text{ W/mK}$ όπως μπορεί να παρατηρηθεί και στον Πίνακα 4.1.



Εικόνα 4.2.4: Γκρι-Πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα

Πίνακας 4.2.3: Αποτελέσματα επαναλήψεων για το δείγμα 3

Γκρι- πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα							
		FINE TUNE ANALYSIS			STANDARD ANALYSIS		
		Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)	Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)
(35-195,tc,td) 15Mw 80s	1	0,05228	0,8933	3356,0780	0,02415	3,684	375,9174
	2	0,05355	1,0080	3045,8716	0,02406	3,662	376,6628
	3	0,05278	0,9691	3122,7064	0,02395	3,722	368,9220
	4	0,05346	0,9648	3177,1789	0,02432	3,715	375,3440
	5	0,05191	0,9228	3225,3440	0,02379	3,660	372,7064
	6	0,05360	0,9768	3146,2156	0,02428	3,656	380,7913
	7	0,05247	0,9654	3116,3991	0,02366	3,766	360,1491
	8	0,05255	0,9373	3215,0229	0,02384	3,693	370,1261
	9	0,05215	0,9292	3217,8899	0,02359	3,745	361,2959
	10	0,05317	0,9416	3237,9587	0,02431	3,753	371,3876
(35-190,tc,td) 20mW 80s	11	0,05379	1,0420	2960,4358	0,02370	3,590	378,6124
	12	0,05314	0,9985	3051,6055	0,02376	3,732	365,0229
	13	0,05266	0,9899	3049,8853	0,02363	3,746	361,6972
	14	0,05296	0,9765	3110,0917	0,02383	3,724	366,8578
	15	0,05086	0,8202	3555,0459	0,02409	3,613	382,3394
	16	0,05204	0,9188	3247,7064	0,02395	3,717	369,4381
	17	0,05262	0,9616	3137,6147	0,02377	3,690	369,3234
	18	0,05232	0,9322	3217,8899	0,02376	3,633	375,0000
	19	0,05243	0,9253	3248,8532	0,02410	3,659	377,7523
	20	0,05387	1,0000	3087,7294	0,02418	3,715	373,1651
AVERAGE		0,05273	0,9537	3176,3761	0,02394	3,6938	371,6256

Όσον αφορά το τέταρτο δείγμα, η λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα, φαίνεται τόσο από τον Πίνακα 4.1 όσο και από το Διάγραμμα 4.1.1 οι μεγάλες αποκλίσεις που υπάρχουν στις τιμές από την μία μέθοδο στην άλλη. Από την μέθοδο TSP-standard analysis ήταν αναμενόμενο τα αποτελέσματά να είναι ιδιαίτερα χαμηλά, καθώς αυτό παρατηρήθηκε και στα υπόλοιπα δείγματα. Σε αντίθεση, βέβαια, με όσα παρατηρήθηκαν μέχρι τώρα στα υπόλοιπα δείγματα, γίνεται εύκολα αντιληπτή η σχετικά μεγάλη διαφορά των τιμών μεταξύ της μεθόδου TSP- Fine Tune Analysis $\lambda=0,03317$ W/mK και της μεθόδου guarded hot-plate $\lambda=0,0465$ W/mK

Παρά το γεγονός πως η διαδικασία υπολογισμού της θερμικής αγωγιμότητας με την μέθοδο guarded hot-plate θεωρείται ιδιαίτερα έμπιστη, κανείς δεν μπορεί να πει πως ακόμα και εκεί δεν υπάρχουν αποκλίσεις σε ορισμένες τιμές. Με την μέθοδο

guarded hot-plate πραγματοποιήθηκε μία μόνο μέτρηση για κάθε ένα από τα δείγματα. Με την έλλειψη επαναλήψεων, δεν υπάρχει η δυνατότητα να πει κανείς με σιγουριά πως οι τιμές που εξήχθησαν είναι ακριβείς. Οι επαναλήψεις που πραγματοποιήθηκαν με την μέθοδο TSP τόσο για την μέθοδο ανάλυσης Fine Tune όσο και για την Standard μπορεί να ειπωθεί πως λήφθηκαν άριστα αποτελέσματα.

Όσον αφορά την μέθοδο TSP-Fine Tune Analysis παρατηρείται πως η παράμετρος mean deviation βρίσκεται ελάχιστα κάτω από το όριο, αλλά όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, αυτό δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα, συνεπώς να μην ληφθεί σοβαρά υπόψιν. Όσο για την μέθοδο TSP-Standard Analysis παρατηρείται απόλυτη ορθότητα μεταξύ των τιμών.

Έτσι, μπορεί κανείς να οδηγηθεί στο συμπέρασμα πως οι τιμές που εξήχθησαν από την μέθοδο TSP-Fine Tune Analysis διαθέτουν τόσο άριστη ακρίβεια όσο και άριστη ορθότητα. Αντιθέτως, οι τιμές που λήφθηκαν με την μέθοδο TSP-Standard Analysis ενώ διαθέτουν άριστη ακρίβεια δεν διαθέτουν άριστη ορθότητα.



Εικόνα 4.2.7: Λευκή άνευ υφάνσεων πλάκα

Πίνακας 4.2.4: Αποτελέσματα επαναλήψεων για το δείγμα 4

Λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα							
		FINE TUNE ANALYSIS			STANDARD ANALYSIS		
		Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)	Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)
(80-195,tc,td) 10mW - 40s	1	0,03428	2,2810	231,2308	0,01530	3,5680	65,9692
	2	0,03261	1,9560	256,4615	0,01512	3,3870	68,6923
	3	0,03286	1,9550	258,6154	0,01531	3,4020	69,2462
	4	0,03368	2,0950	247,3846	0,01535	3,4840	67,7846
	5	0,03356	1,9900	259,3846	0,01541	3,5790	66,2462
	6	0,03395	2,2480	232,3077	0,01531	3,5190	66,9231
	7	0,03270	2,0210	248,9231	0,01506	3,4640	66,8769
	8	0,03344	2,0760	247,8462	0,01548	3,3740	70,5692
	9	0,03370	2,0560	252,1538	0,01551	3,4540	69,0923
	10	0,03361	2,0310	254,6154	0,01562	3,4070	70,5385
(80-195,tc,td) 15mW - 40s	11	0,03302	2,0250	250,9231	0,01509	3,5520	65,3538
	12	0,03269	1,9380	259,5385	0,01532	3,3860	69,6308
	13	0,03361	2,0720	249,5385	0,01510	3,8230	60,7692
	14	0,03329	1,9830	258,3077	0,01506	3,6890	62,8000
	15	0,03303	1,8570	273,5385	0,01577	3,2940	73,6769
	16	0,03347	1,9170	268,6154	0,01554	3,5210	67,9077
	17	0,03316	1,8190	280,4615	0,01594	3,3120	74,0462
	18	0,03283	1,8400	274,4615	0,01511	3,6910	62,9692
	19	0,03292	1,8440	274,7692	0,01513	3,6060	64,5692
	20	0,03367	2,2090	234,4615	0,01516	3,5690	65,3231
(80-195,tc,td) 20mW - 40s	21	0,03269	1,8720	268,6154	0,01524	3,3980	69,0154
	22	0,03214	1,6640	297,0769	0,01529	3,5900	65,5077
	23	0,03316	2,2890	222,9231	0,01450	3,8150	58,4769
	24	0,03282	1,8180	277,6923	0,01535	3,5200	67,1077
	25	0,03302	1,8910	268,6154	0,01500	3,7700	61,2308
	26	0,03294	1,8790	269,6923	0,01518	3,4940	66,8615
	27	0,03341	2,0320	252,9231	0,01550	3,3000	72,2769
	28	0,03338	1,9900	258,1538	0,01515	3,6130	64,5231
	29	0,03272	1,8580	270,9231	0,01515	3,4310	67,9385
	30	0,03283	1,9160	263,6923	0,01512	3,4620	67,2000
AVERAGE		0,03317	1,9807	258,79487	0,01527	3,5158	66,97077

Η μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα αποτελεί επίσης ένα δείγμα το οποίο έδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα. Αποτελείται από 100% πρωτογενή ύλη και έχει πυκνότητα ίση με $\rho=62,77 \text{ Kg/m}^3$. Όπως και στα προηγούμενα δείγματα, έτσι και σε αυτό, η

άνευ υφάνσεως πλάκα διαθέτει άριστη ακρίβεια στις τιμές τις, αλλά μόνο η μέθοδος TSP- Fine Tune Analysis διαθέτει και την άριστη ορθότητα. Παρακάτω στον Πίνακα 4.2.5 μπορεί κανείς να δει τις τιμές που λήφθηκαν για τις 15 επαναλήψεις που πραγματοποιήθηκαν και μάλιστα για δύο σύνολα τιμών του specific heat και measurement time, 20mW 40s και 15mW 40s. Φυσικά, για οποιαδήποτε άλλη τιμή του specific heat που θα εφαρμόζονταν μεταξύ των τιμών 15 και 20 mW, πρέπει να περιμένει κανείς εξίσου καλά αποτελέσματα. Η διαφορά μεταξύ των τιμών θερμικής αγωγιμότητας που λήφθηκαν από την μέθοδο TSP- Fine Tune Analysis και Guarded hot-plate είναι σχεδόν αμελητέα, όπως μπορεί να παρατηρηθεί και στο Διάγραμμα 4.1.1.



Εικόνα 4.2.8: Μπλε άνευ υφάνσεων πλάκα

Πίνακας 4.2.5: Αποτελέσματα επαναλήψεων για το δείγμα 5

μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα							
		FINE TUNE ANALYSIS			STANDARD ANALYSIS		
		Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)	Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)
(85-195,tc,td) 20mW - 40s	1	0,03403	1,485	365,1426	0,01596	3,799	66,9269
	2	0,03361	1,454	368,3288	0,01567	3,827	65,2382
	3	0,03379	1,458	369,1254	0,01532	3,935	62,0360
	4	0,03464	1,639	336,6258	0,01561	3,930	63,2786
	5	0,03312	1,373	384,2600	0,01600	3,787	67,2933
	6	0,03359	1,494	358,2922	0,01550	3,847	64,1867
	7	0,03411	1,497	362,9122	0,01609	3,733	68,6474
	8	0,03364	1,458	367,5323	0,01581	3,731	67,5163
	9	0,03481	1,691	327,8636	0,01605	3,685	69,3803
	10	0,03435	1,502	364,3460	0,01599	3,873	65,7639
	11	0,03337	1,357	391,7477	0,01599	3,691	69,0139

	12	0,03437	1,538	356,0618	0,01600	3,737	68,1854
	13	0,03367	1,353	396,5270	0,01638	3,603	72,4231
	14	0,03405	1,496	362,5936	0,01612	3,580	71,7540
	15	0,03348	1,385	385,2159	0,01611	3,705	69,2688
(85-195, tc, td) 15mW - 40s	16	0,03469	1,530	361,3191	0,01632	3,514	74,0003
	17	0,03423	1,435	380,1179	0,01566	4,012	62,2112
	18	0,03397	1,363	396,8456	0,01648	3,553	73,8888
	19	0,03469	1,532	360,6819	0,01613	3,707	69,3325
	20	0,03476	1,604	345,2286	0,01571	3,808	65,7161
	21	0,03414	1,465	371,3557	0,01578	3,751	67,0225
	22	0,03428	1,470	371,5151	0,01600	3,699	68,9183
	23	0,03404	1,480	366,4171	0,01573	3,754	66,7516
	24	0,03532	1,692	332,6430	0,01570	3,857	64,8399
	25	0,03278	1,274	409,7499	0,01615	3,471	74,1278
	26	0,03399	1,440	376,1351	0,01611	3,628	70,7185
	27	0,03543	1,675	337,1037	0,01601	3,743	68,1217
	28	0,03476	1,537	360,3632	0,01609	3,796	67,5004
	29	0,03393	1,419	380,9144	0,01594	3,650	69,5555
	30	0,03530	1,659	339,0155	0,01568	3,918	63,7406
AVERAGE		0,03416	1,492	366,1994	0,01594	3,744	67,9120

Πλέον για τα επόμενα δείγματα δεν διατίθενται μετρήσεις με την μέθοδο guarded hot-plate, αλλά μόνο με την μέθοδο TSP. Ο λόγος, όπως έχει εξηγηθεί στην αρχή του κεφαλαίου, αποτελεί το γεγονός πως για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις με την μέθοδο guarded hot-plate χρειάστηκε η προμήθεια νέων δειγμάτων. Τα παρακάτω δείγματα 6, 7 και 8 αποτελούν τα αρχικά δείγματα που μελετήθηκαν.

Το παρακάτω έκτο δείγμα αποτελεί την γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα, η οποία συντίθεται από 40% πρωτογενή ύλη και 60% δευτερογενή ύλη, δηλαδή από αναγεννημένη πολυεστερική ίνα. Για το συγκεκριμένο υλικό πραγματοποιήθηκαν 11 επαναλήψεις με μέση τιμή θερμικής αγωγιμότητας ίση με $\lambda=0,03352 \text{ W/mK}$. Οι τιμές που λήφθηκαν με την μέθοδο TSP-Fine Tune Analysis έχουν άριστη ακρίβεια μεταξύ τους, αλλά και άριστη ορθότητα, καθώς επίσης βρίσκονται και εντός βιβλιογραφικών δεδομένων.



Εικόνα 4.2.8: Γκρι άνευ υφάνσεων πλάκα

Πίνακας 4.2.6: Αποτελέσματα επαναλήψεων για το δείγμα 6

Γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα							
		FINE TUNE ANALYSIS			STANDARD ANALYSIS		
		Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)	Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)
20mW 40s	1	0,03368	1,348	251,231	0,01899	2,807	68,0032
	2	0,03338	1,325	253,2409	0,01887	2,819	67,2495
	3	0,03422	1,451	236,9611	0,01866	2,903	64,5865
	4	0,03252	1,207	270,8271	0,01887	2,711	69,9528
	5	0,03364	1,344	251,5325	0,01880	2,819	66,9983
	6	0,03327	1,304	256,2557	0,01858	2,896	64,4659
	7	0,03334	1,306	256,5571	0,01889	2,754	68,9478
	8	0,03405	1,403	243,8951	0,01903	2,840	67,3500
	9	0,03404	1,378	248,2163	0,01873	2,885	65,2196
	10	0,03343	1,325	253,4419	0,01868	2,876	65,2698
	11	0,03315	1,296	257,0596	0,01864	2,815	66,5461
AVERAGE		0,03352	1,335	252,6562	0,01879	2,830	66,7809

Παρακάτω παρουσιάζεται την πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα, η οποία αποτελεί το έβδομο δείγμα που μελετήθηκε. Η σύνθεσή της αποτελείται από 70% πρωτογενή ύλη και 30% δευτερογενή. Η μέση τιμή των επτά επαναλήψεων της θερμικής

αγωγιμότητας που μετρήθηκαν ισούται με $\lambda=0,03320 \text{ W/mK}$. Οι τιμές διαθέτουν άριστη ακρίβεια μεταξύ τους και σύμφωνα τόσο με τα βιβλιογραφικά δεδομένα όσο και από τα αποτελέσματα των υπόλοιπων δειγμάτων οι τιμές που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο TSP-Fine Tune Analysis διαθέτουν και άριστη ορθότητα.



Εικόνα 4.2.9: Πράσινη άνευ υφάνσεων πλάκα

Πίνακας 4.2.7: Αποτελέσματα επαναλήψεων για το δείγμα 7

Πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα							
		FINE TUNE ANALYSIS			STANDARD ANALYSIS		
		Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)	Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)
(80-195,tc,td) 20mW 40s	1	0,03271	1,408	209,6949	0,01928	2,416	72,0347
	2	0,03325	1,458	205,8133	0,01939	2,504	69,9133
	3	0,03382	1,497	203,9177	0,01976	2,54	70,2293
	4	0,03373	1,531	198,7723	0,0196	2,552	69,3537
	5	0,03348	1,483	203,8274	0,01931	2,585	67,4129
	6	0,03286	1,406	210,9587	0,01929	2,43	71,6555
	7	0,03275	1,38	214,2986	0,01942	2,451	71,5292
AVERAGE		0,0332	1,4519	206,7547	0,0194	2,4969	70,3041

Παρακάτω παρουσιάζεται το όγδοο και τελευταίο δείγμα που μελετήθηκε, το άνευ υφάνσεως πάπλωμα. Όσον αφορά την μέθοδο TSP-Fine Tune Analysis, λήφθηκαν εξαιρετικά αποτελέσματα τόσο από την άποψη της μη ύπαρξης σφαλμάτων στην εκτέλεση των μετρήσεων όσο και των τιμών θερμικής αγωγιμότητας που εξήχθησαν.

Παρόλα αυτά, οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας είναι ιδιαίτερα υψηλές σε σύγκριση με τα υπόλοιπα υλικά που μελετήθηκαν. Στον *Πίνακα 4.1* μπορεί κανείς να δει αυτή την διαφορά. Φυσικά αυτό οφείλεται στην πολύ μικρή πυκνότητα που διαθέτει το υλικό. Επαναλήψεις πραγματοποιήθηκαν για δύο σύνολα τιμών, 8mW 40s και 12mW 40s, τα αποτελέσματα των οποίων βγήκαν εξαιρετικά καλά. Στον παρακάτω *Πίνακα 4.2.8* μπορεί κανείς να παρατηρήσει τα αποτελέσματα των επαναλήψεων που πραγματοποιήθηκαν για τις δεδομένες τιμές του specific heat και measurement time. Αντίθετα με την μέθοδο TSP-Standard Analysis, τόσο οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας είναι εξαιρετικά μικρές όσο και η παράμετρος probing depth, η οποία δείχνει το απαραίτητο πάχος του υλικού, δίνει διπλάσιες τιμές. Με αποτέλεσμα ακόμη και αυτές τις χαμηλές τιμές θερμικής αγωγιμότητας που μετρήθηκαν να μην υπάρχει δυνατότητα να θεωρηθούν έστω ως σχετικά σωστές.



Εικόνα 4.2.10: Άνευ υφάνσεων πάπλωμα

Πίνακας 4.2.8: Αποτελέσματα επαναλήψεων για το δείγμα 8

άνευ υφάνσεως πάπλωμα							
		FINE TUNE ANALYSIS			STANDARD ANALYSIS		
		Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)	Thermal Conductivity (W/mK)	Thermal Diffusivity (mm ² /s)	Specific Heat (J/kgK)
(85-195,tc,td) 8mW 40s	1	0,04835	1,533	2092,9	0,01783	4,332	273,1254
	2	0,05261	1,976	1766,423	0,01729	4,977	230,5242
	3	0,0447	1,151	2577,969	0,01766	4,415	265,4944
	4	0,04815	1,531	2086,928	0,01751	4,618	251,5594
	5	0,04535	1,153	2609,821	0,01779	4,554	259,1904
	6	0,04265	1,003	2822,163	0,01785	4,376	270,6038

	7	0,05032	1,528	2185,136	0,01756	4,931	236,2973
	8	0,04657	1,241	2490,378	0,01782	4,532	260,9821
	AVERAGE	0,047338	1,3895	2328,965	0,017664	4,591875	255,9721
(70-195, tc, td) 12mW 40s	1	0,04415	1,436	2039,814			
	2	0,04616	1,733	1767,75			
	3	0,04543	1,681	1793,63			
	4	0,04618	1,78	1721,964			
	5	0,04631	1,744	1761,778			
	AVERAGE	0,045646	1,6748	1816,987			

4.3 Σύγκριση Αποτελεσμάτων με Χρήση Ψηφιακού Μοντέλου

Σε αυτό το στάδιο της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο μίας κτηριακής εγκατάστασης, η οποία φιλοξενεί γραφεία μίας εταιρίας. Σε αυτό τοποθετήθηκαν τα δεδομένα και υπολογίστηκε η ετήσια ενεργειακή του κατανάλωση. Η ίδια διαδικασία εκτελέστηκε για κάθε δείγμα ξεχωριστά τροποποιώντας ουσιαστικά μόνο τα δεδομένα του μονωτικού υλικού που χρησιμοποιήθηκαν. Μην αλλάζοντας κανένα άλλο δεδομένο στο μοντέλο, είναι εύκολο να γίνει εντοπισμός και σύγκριση της διαφοράς στην συνολική ενεργειακή ανάγκη του κτηρίου ώστε να εξαχθεί το συμπέρασμα για το ποια δείγματα είναι πιο αποδοτικά και συνεπώς κατάλληλα για χρήση τους ως μονωτικά υλικά. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα EnergyPlus, μέσω της πλατφόρμας του OpenStudio. Η κτηριακή εγκατάσταση σχεδιάστηκε με το πρόγραμμα SketchUp.

Μέσω του προγράμματος EnergyPlus δύναται κανείς να δει τόσο τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου στο σύνολό του όσο και μεμονωμένα. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ελήφθησαν από το διαδίκτυο [29] και πραγματοποιήθηκε χρήση των καιρικών δεδομένων για την περιοχή της Αθήνας.

Για να μπορέσει να γίνει χρήση αυτού του ψηφιακού μοντέλου απαιτείται να οριστούν ορισμένα ακόμη δεδομένα πέρα από την θερμική αγωγιμότητα των υλικών. Αυτά είναι η πυκνότητα, η ειδική θερμότητα (specific heat), το πάχος των υλικών και η θερμική αγωγιμότητα. Το πάχος και την θερμική αγωγιμότητα αποτελούν γνωστά δεδομένα, οπότε στη συνέχεια πραγματοποιείται ο υπολογισμός της πυκνότητας και της ειδικής θερμότητας.

4.3.1 Υπολογισμός Πυκνότητας (Density) των Υλικών

Η πυκνότητα αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την απόδοση των υλικών. Συνήθως όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα ενός υλικού τόσο καλύτερη απόδοση έχει ως προς την ικανότητα μόνωσής του. Ένας ακόμη λόγος που η πυκνότητα διαθέτει τόσο σημαντικό ρόλο για την τελική επιλογή ενός μονωτικού υλικού είναι, πως για να πετύχουμε αποτελέσματα θερμικής αγωγιμότητας ενός λιγότερου συμπαγούς υλικού ίδια με αυτήν ενός πιο πυκνού υλικού, απαιτείται το πάχος της στρώσης που πρέπει να τοποθετηθεί στις κτηριακές κατασκευές να είναι σημαντικά μεγαλύτερο. Με αποτέλεσμα, ένα υλικό το οποίο διαθέτει μεγάλη πυκνότητα πιθανόν να παρέχει την δυνατότητα κέρδους στον εσωτερικό χώρο των δωματίων, καθώς συγχρόνως παρέχει εξίσου καλή μόνωση με ένα μικρότερης πυκνότητας αλλά μεγαλύτερου πάχους υλικό.

Στον *Πίνακα 4.3.1.1* παρουσιάζονται οι διαστάσεις των δειγμάτων την χρονική στιγμή που ζυγίστηκαν, με σκοπό τον υπολογισμό αρχικά του όγκου τους και στην συνέχεια της πυκνότητάς τους. Τα πρώτα πέντε δείγματα που παρουσιάζονται στον πίνακα μετρήθηκαν και κόπηκαν σε διαστάσεις 300mm*300mm, στις απαραίτητες διαστάσεις που έπρεπε να διαθέτουν για την εκτέλεση των μετρήσεων με την μέθοδο guarded hot-plate. Χωρίς περαιτέρω επεξεργασία τους τα δείγματα αυτά ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας 2 δεκαδικών μονάδων, τα αποτελέσματα των οποίων μπορεί κανείς να δει στον *Πίνακα 4.3.1.2*.

Για το έκτο, έβδομο και όγδοο δείγμα, των οποίων το αρχικό τους σχήμα ήταν ακανόνιστο, έπειτα από την ολοκλήρωση των πειραματικών μετρήσεων, πραγματοποιήθηκε τεμαχισμός των δειγμάτων σε διαστάσεις περίπου 5cm*5cm. Έπειτα τον τεμαχισμό των δειγμάτων μετρήθηκαν εκ νέου οι διαστάσεις με παχύμετρο ώστε να αποφευχθούν τα σφάλματα, καθώς ο τεμαχισμός πραγματοποιήθηκε με το χέρι και όχι με μηχάνημα ακριβείας. Στην συνέχεια, λόγο του προφανούς μικρού τους όγκου, ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας 5 δεκαδικών μονάδων. Οι τιμές της μάζας παρουσιάζονται εξίσου στον *Πίνακα 4.3.1.2*.

Ο υπολογισμός του όγκου πραγματοποιήθηκε βάσει της παρακάτω εξίσωσης:

$$V(m^3) = L(m) * W(m) * H(m) \quad (4.3.1)$$

Πίνακας 4.3.1.1: Υπολογισμός του όγκου των δειγμάτων μας

Sample ID	μήκος L (m)	πλάτος W (m)	Πάχος H (m)	όγκος V (m ³)
20% κοκοφοίνικα άνευ υφάνσεως	0,3	0,3	0,02377	0,0021393
άνευ υφάνσεως πλάκα 10mm	0,3	0,3	0,01255	0,0011295
Γκρι- πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα	0,3	0,3	0,04457	0,0040113
Λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα	0,3	0,3	0,02735	0,0024615
Μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα	0,3	0,3	0,02134	0,0019206
Γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα	0,05193	0,05246	0,0206	5,61195E-05
Πράσινο άνευ υφάνσεως πλάκα	0,05128	0,04966	0,0206	5,24592E-05
άνευ υφάνσεως πάπλωμα	0,04938	0,04991	0,047	0,000115834



Εικόνα 4.3.1.1 Τεμαχισμένοι κύβοι των δειγμάτων 6,7,8.

Στην συνέχεια, για τον υπολογισμό της πυκνότητας πραγματοποιήθηκε διαίρεση της μάζας ως προς τον όγκο σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση 4.3.2.

$$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{m (kg)}{V (m^3)} \quad (4.3.2)$$

Πίνακας 4.3.1.2: Υπολογισμός της πυκνότητας των δειγμάτων μας

Sample ID	Όγκος V (m ³)	Μάζα m (gr)	Μάζα m (kg)	πυκνότητα ρ (kg/m ³)
20% κοκοφοίνικα άνευ υφάνσεως	0,0021393	267,20	0,2672	124,90
άνευ υφάνσεως πλάκα 10mm	0,0011295	23,65	0,02365	20,94
Γκρι- πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα	0,0040113	69,95	0,06995	17,44
Λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα	0,0024615	159,99	0,15999	65,00
Μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα	0,0019206	120,55	0,12055	62,77
Γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα	5,612E-05	5,58459	0,00558459	99,51
Πράσινο άνευ υφάνσεως πλάκα	5,2459E-05	5,81164	0,00581164	110,78
άνευ υφάνσεως πάπλωμα	0,00011583	1,7459	0,0017459	15,07

4.3.2 Ειδικής Θερμότητας (Specific Heat)

Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ορθά το πρόγραμμα EnergyPlus απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η χρήση κατάλληλων μονάδων μέτρησης. Οι τιμές του specific heat οι οποίες εξήχθησαν με την μέθοδο TSP ήταν υπολογισμένες σε μονάδες μέτρησης MJ/(m³*K), ενώ για την ορθή εκτέλεση του προγράμματος χρειάστηκε να μετατραπούν σε J/(kg*K). Γίνονται εύκολα αντιληπτές οι μονάδες όγκου που βρίσκονται στις αρχικές τους τιμές. Για να μπορέσουν να μετατραπούν στις ζητούμενες μονάδες μάζας, τα Kg, πραγματοποιήθηκε διαίρεση της αρχικής τιμή με τις τιμές της πυκνότητας που υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 4.3.1. Τα αποτελέσματα αυτών των διαιρέσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.2.1 και 4.3.2.2, για τις δύο μεθόδους TSP – Fine Tune Analysis και TSP – Standard Analysis αντίστοιχα, με μονάδες μέτρησης MJ/(kg*K). Στη συνέχεια, εκτελέστηκε πολλαπλασιασμός επί 10⁶ και λήφθηκαν οι τελικές τιμές στις ζητούμενες μονάδες μέτρησης J/(kg*K).

Πίνακας 4.3.2.1: Μετατροπή μονάδων ειδικής θερμότητας για τις τιμές που λήφθηκαν με την μέθοδο TSP-Fine Tune Analysis

Τιμές ειδικής θερμότητας για την μέθοδο TSP-fine tune analysis				
Sample ID	Density (kg/m ³)	Specific Heat (MJ/m ³ K)	Specific Heat (MJ/kgK)	Specific Heat (J/kgK)
20% κοκοφοίνικα άνευ υφάνσεως	124,90	0,0293	0,0002348	234,7798
άνευ υφάνσεως πλάκα 10mm	20,94	0,1121	0,0053550	5355,0199
Γκρι- πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα	17,44	0,0554	0,0031764	3176,3761
Λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα	65,00	0,0168	0,0002588	258,7949
Μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα	62,77	0,0230	0,0003662	366,1994
Γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα	99,51	0,0251	0,0002527	252,6562
Πράσινο άνευ υφάνσεως πλάκα	110,78	0,0229	0,0002068	206,7547
άνευ υφάνσεως πάπλωμα	15,07	0,0351	0,0023290	2328,9648

Πίνακας 4.3.2.2: Μετατροπή μονάδων ειδικής θερμότητας για τις τιμές που λήφθηκαν με την μέθοδο TSP- Standard Analysis

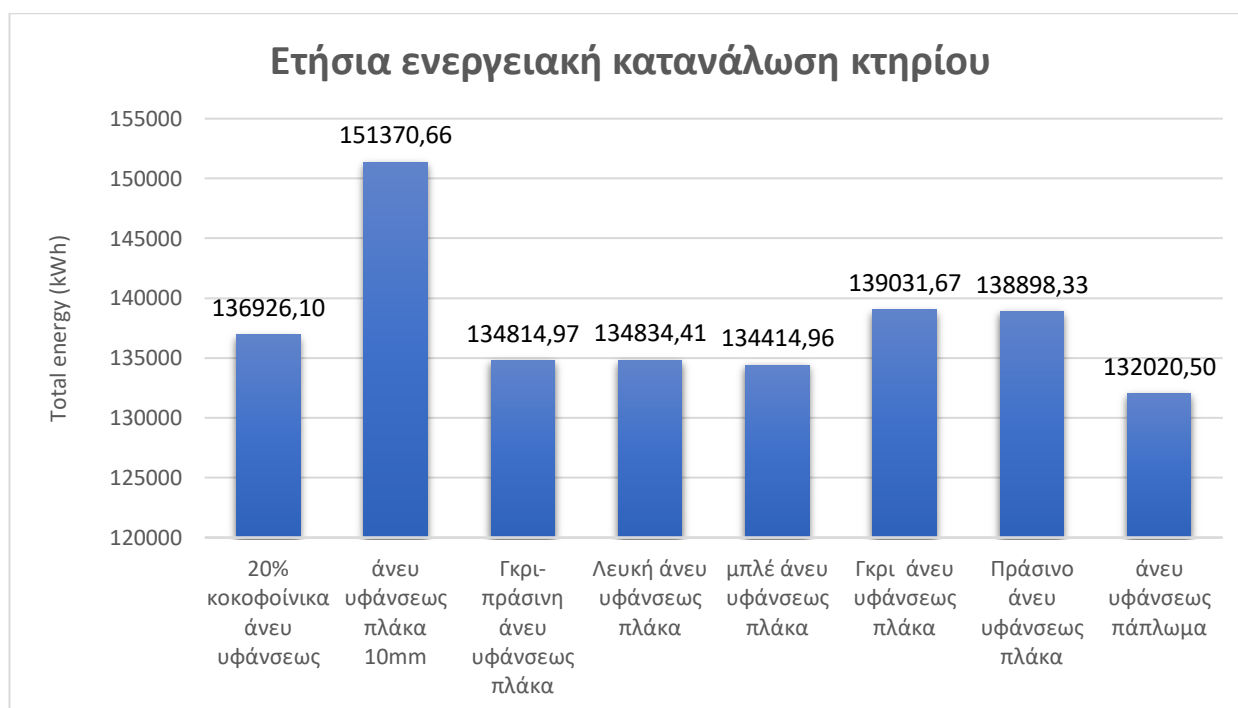
standard analysis				
Sample ID	Density (kg/m ³)	Specific Heat (MJ/m ³ K)	Specific Heat (MJ/kgK)	Specific Heat (J/kgK)
20% κοκοφοίνικα άνευ υφάνσεως	124,90	0,0112	8,957E-05	89,5677
άνευ υφάνσεως πλάκα 10mm	20,94	0,0073	3,474E-04	347,4079
Γκρι- πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα	17,44	0,0065	3,716E-04	371,6256
Λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα	65,00	0,0044	6,697E-05	66,9708
Μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα	62,77	0,0043	6,791E-05	67,9120
Γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα	99,51	0,0066	6,678E-05	66,7809
Πράσινο άνευ υφάνσεως πλάκα	110,78	0,0078	7,030E-05	70,3041
άνευ υφάνσεως πάπλωμα	15,07	0,0039	2,560E-04	255,9721

4.3.3: Εφαρμογή Δεδομένων σε Ψηφιακό Μοντέλο

Για κάθε ένα από τα δείγματα, εφαρμόστηκαν οι τιμές του πάχους του υλικού με μονάδα μέτρησης τα m, της θερμικής αγωγιμότητάς του με μονάδα μέτρησης W/(m*K), της πυκνότητας του υλικού με μονάδα μέτρησης kg/m³ και της ειδική θερμότητα του υλικού με μονάδες μέτρησης J/(kg*K). Το μοντέλο εκτέλεσε υπολογισμούς για κάθε ένα από τα δείγματα ξεχωριστά για τις τιμές που υπολογίστηκαν με την μέθοδο TSP – Fine Tune Analysis. Για τις τιμές που

υπολογίστηκαν από την μέθοδο TSP- Standard Analysis για τα περισσότερα δείγματα δεν υπήρχε η δυνατότητα εκτέλεσης του μοντέλου. Στον Πίνακα 4.3.2.2 μπορούν να παρατηρηθούν πέντε επιλεγμένες τιμές της ειδικής θερμότητας, οι οποίες είναι μικρότερες από 100 J/(kg*K), η οποία τιμή των 100 J/(kg*K) αποτελεί την μικρότερη που μπορεί να εφαρμοστεί στο μοντέλο.

Παρακάτω στο Διάγραμμα 4.3.3.1, απεικονίζεται η ετήσια κατανάλωση ενέργειας σε kWh που απαιτείται για την ορθή λειτουργία του κτηρίου. Μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί πως πέρα από ένα δείγμα, την άνευ υφάνσεως πλάκα πάχους 10mm, όπου αναφέρθηκε ότι τα αποτελέσματά του δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά και εμπεριέχουν σημαντικά σφάλματα, όλα τα υπόλοιπα δείγματα διαθέτουν κοντινά αποτελέσματα με βέλτιστο όλων αυτό του δείγματος άνευ υφάνσεως πάπλωμα.



Διάγραμμα 4.3.3.1: Σύγκριση ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας για κάθε δείγμα που μελετήθηκε με την μέθοδο TSP- Fine Tune Analysis.

4.4 Δείκτης R-Value

Η τιμή του R-Value αποτελεί έναν τρόπο μέτρησης για το πόσο ικανοποιητικά ένας συγκεκριμένος τύπος μόνωσης μπορεί να αντισταθεί στην ροή θερμότητας. [34] Η τιμή R-Value είναι ουσιαστικά η διαφορά θερμότητας ανά μονάδα ροής θερμότητας

που απαιτείται για την διατήρηση μίας μονάδας ροής θερμότητας μεταξύ της θερμής και της ψυχρής επιφάνειας.[26]

Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του R-Value, τόσο πιο αποτελεσματικό είναι το υλικό στην αποτροπή της μεταφοράς θερμότητας, και επομένως τόσο καλύτερες είναι και οι μονωτικές του ιδιότητες. [33][34]

$$R_{value} = \frac{\Delta T}{\Phi_q} \quad \left[\frac{Km^2}{W} \right] \quad (4.4.1)$$

Με Φ_q : η ροή θερμότητας

Η ροή θερμότητας είναι η ροή ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας ανά μονάδα χρόνου. Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) έχει μονάδες μέτρησης (W/m^2). Έχει μία κατεύθυνση και ένα μέγεθος και έτσι είναι μία διανυσματική ποσότητα. Για να οριστεί η ροή θερμότητας σε ένα συγκεκριμένο σημείο στο διάστημα, μπορεί να θεωρηθεί η περίπτωση όπου το μέγεθος της επιφάνειας γίνεται άπειρα μικρό, δηλαδή σημειακό. [26]

$$\Phi_q = -\lambda \frac{dT(x)}{dx} \quad (4.4.2)$$

Στην εξίσωση (4.4.2) το αρνητικό πρόσημο στην ροή θερμότητας δείχνει ότι η ροή θερμότητας κινείται από την υψηλή στην χαμηλή θερμοκρασία. Επίσης αναφέρεται σε μονοδιάστατη ροή.

Τα μελετώμενα δείγματα είναι σε όλη την έκτασή τους ομοιογενής, με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα θεώρησης της παρακάτω ισότητας. Έτσι λοιπόν, από την εξίσωση 4.4.1 και 4.4.2 προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα:

$$R_{value} = \frac{\Delta T}{\lambda \frac{dT(x)}{dx}} = \frac{\Delta T}{\lambda \frac{\Delta T}{x}} = \frac{x}{\lambda} \quad \rightarrow \quad R_{value} = \frac{x}{\lambda} \quad (4.4.3)$$

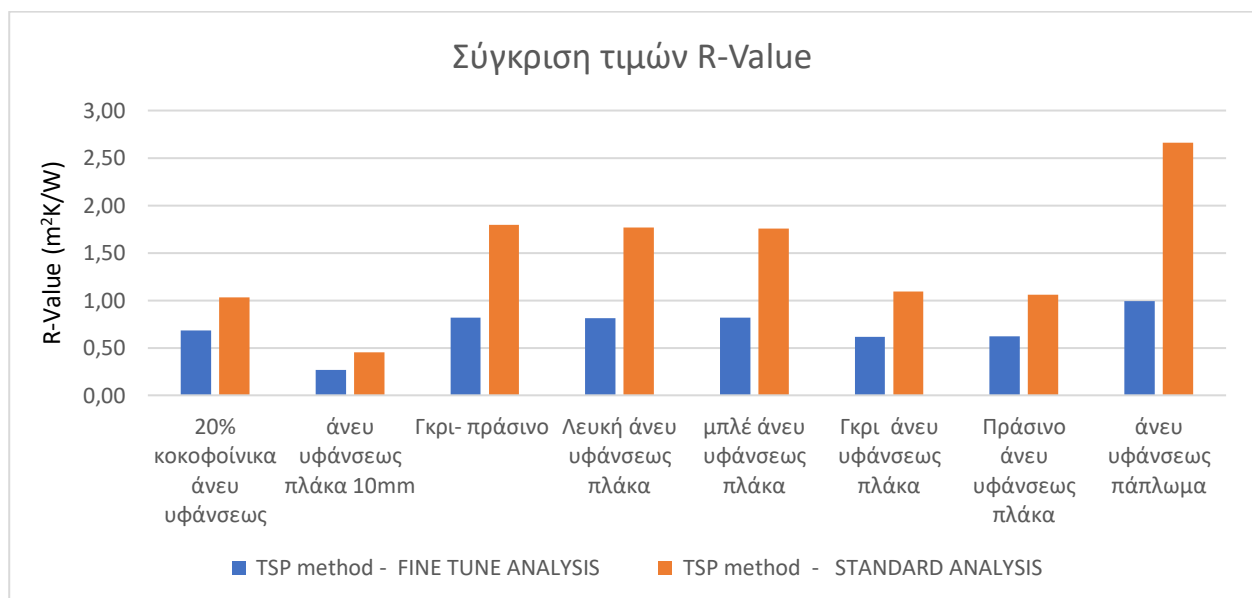
Όπου x : το πάχος του υλικού

λ : η θερμική αγωγιμότητα του υλικού

Σύμφωνα λοιπόν με την εξίσωση (4.4.3) εξήχθησαν αποτελέσματα R-Value που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.1

Πίνακας 4.4.1: Τιμές R-Value των δειγμάτων σύμφωνα με την κάθε μέθοδο ξεχωριστά

Sample ID	R-value TSP method - FINE TUNE ANALYSIS	R-value Guarded Hot-Plate Method	R-value TSP method - STANDARD ANALYSIS
20% κοκοφοίνικα άνευ υφάνσεως	0,6832	0,6725	1,0307
άνευ υφάνσεως πλάκα 10mm	0,2653	0,2703	0,4558
Γκρι- πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα	0,8155	0,8687	1,7965
Λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα	0,8139	0,5806	1,7679
Μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα	0,8196	0,7629	1,7570
Γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα	0,6146		1,0961
Πράσινο άνευ υφάνσεως πλάκα	0,6199		1,0599
άνευ υφάνσεως πάπλωμα	0,9929		2,6608



Διάγραμμα 4.4.1: Σύγκριση τιμών R-Value

Εύκολα γίνονται αντιληπτές οι κοντινές τιμές του R-Value για τις μεθόδους TSP – Fine Tune Analysis και Guarded Hot-Plate, με εξαίρεση το τέταρτο δείγμα (λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα), όπου όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 4.2 αμφισβητείται η εγκυρότητα της τιμής που λήφθηκε με την μέθοδο Guarded Hot-Plate. Όσον αφορά

την μέθοδο TSP- Standard Analysis, αν και οι τιμές του R-Value είναι υψηλότερες, δυστυχώς οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας είναι ιδιαίτερα χαμηλές, με αποτέλεσμα να μην υπάρξει η δυνατότητα λήψης των αποτελεσμάτων ως έγκυρα. Έτσι, από την μέθοδο TSP – Fine Tune Analysis παρατηρείται πως την μεγαλύτερη τιμή R-Value την έχει το όγδοο δείγμα (άνευ υφάνσεως πάπλωμα). Από τον *Πίνακα 4.1* παρατηρείται, πως δεν διαθέτει της βέλτιστη τιμή θερμικής αγωγιμότητας, αλλά τόσο το ψηφιακό μοντέλο που εκτελέστηκε όσο και τα αποτελέσματα του R-Value δείχνουν πως αποτελεί την καλύτερη επιλογή ως μονωτικό υλικό. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά του αποτελεί το γεγονός πως συντίθεται από 30% ανακυκλωμένη πολυεστερική ίνα. Το γκρι-πράσινο, η λευκή και η μπλε άνευ υφάνσεως πλάκες που αποτελούνται από 100% καθαρή πρώτη ύλη δίνουν εξίσου καλά αποτελέσματα, όχι όμως τα βέλτιστα.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων και της πειραματικής διαδικασίας.

Αρχικά πριν ακόμη ολοκληρωθεί η μελέτη των υλικών παρατηρήθηκε για ένα από τα δείγματα, το άνευ υφάνσεως 10mm, ότι δεν θα δίνονταν έγκυρα αποτελέσματα καθώς το πάχος του ήταν μόλις 10 mm ενώ η διάμετρος του αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις ήταν 14,61mm. Ανεξάρτητα από το γεγονός πως οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας με την μέθοδο TSP-Fine Tune Analysis $\lambda=0,04146 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ και της μεθόδου Guarded Hot-Plate $\lambda=0,0407 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ είναι πολύ κοντινές, και πάλι δεν μπορούν να θεωρηθούν έγκυρες καθώς τα αποτελέσματα διέθεταν πλήθος σφαλμάτων.

Η σύγκριση και ο σχολιασμός περιορίστηκαν στις τιμές που λήφθηκαν από την χρήση της μεθόδου TSP - Fine Tune Analysis, (αναλυτικότερα πραγματοποιήθηκε αναφορά σε αυτό στην Ενότητα 4.2.). Σύμφωνα λοιπόν με τον Πίνακα 4.1 μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις σχεδόν ίδιες τιμές θερμικής αγωγιμότητας οι οποίες πάρθηκαν από πέντε δείγματα το 20% κοκοφοίνικα άνευ υφάνσεως, την λευκή άνευ υφάνσεως πλάκα, την μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα την γκρι και την πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκες. Οι τιμές θερμικής αγωγιμότητας που έχουν ληφθεί είναι $\lambda_1=0,03367 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$, $\lambda_4=0,03317 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$, $\lambda_5=0,03416 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$, $\lambda_6=0,03352 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ και $\lambda_7=0,03323 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ αντίστοιχα. Σύμφωνα, όμως, και με τον Πίνακα 3.1.1, ο οποίος αποτυπώνει τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε δείγματος, μπορεί να παρατηρηθεί πως η γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα και η πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα περιέχουν στην σύστασή τους 60% και 30% αντίστοιχα δευτερογενή ανακυκλώσιμη πολυεστερική ίνα, αναγεννημένη από πλαστικά μπουκάλια PET. Εύκολα γίνεται αντιληπτή η μεγαλύτερη αξία των δύο αυτών πλακών, η οποία διαθέτει ίδια απόδοση με τις υπόλοιπες, αλλά επιφέρει μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα στο πλανήτη και ταυτόχρονα πραγματοποιείται οικονομία στην πρώτη ύλη.

Παρόλα αυτά, η θερμική αγωγιμότητα δεν αποτελεί τον μοναδικό παράγοντα για να μπορέσει ένα υλικό να θεωρηθεί κατάλληλο για χρήση ως θερμομονωτικό σε κτηριακές εγκαταστάσεις. Η πυκνότητα και το πάχος αποτελούν παράγοντες για τον υπολογισμό του R-Value, ο οποίος όσο μεγαλύτερη τιμή έχει τόσο πιο δύσκολα το υλικό άγει την θερμότητα. Από το Διάγραμμα 4.4.1 παρατηρείται πως τις δύο μεγαλύτερες τιμές R-Value τις διαθέτουν υλικά που έχουν στην σύνθεσή τους ποσοστό δευτερογενούς ανακυκλωμένης ίνας. Αυτά είναι η γκρι-πράσινη άνευ υφάνσεως πλάκα και το άνευ υφάνσεως πάπλωμα με τιμές ίσες με 0,8155 και 0,9929

αντίστοιχα. Το άνευ υφάνσεως πάπλωμα αποτελεί και το υλικό, το οποίο έδωσε και την μεγαλύτερη τιμή R-Value σε σύγκριση με όλα τα υπόλοιπα δείγματα. Τα δύο αυτά δείγματα συντίθενται από 60% και 30% δευτερογενή ανακυκλωμένη πολυεστερική ίνα, η οποία αποτελεί και το επίκεντρο της μελέτης. Οι επόμενες καλύτερες τιμές R-Value, είναι πολύ κοντινές μεταξύ τους και λαμβάνονται από την λευκή και την μπλε άνευ υφάνσεως πλάκα, οι οποίες όμως αποτελούνται από 100% πρωτογενή ύλη.

Τέλος, με την ολοκλήρωση των μετρήσεων τοποθετήθηκαν οι τιμές που λήφθηκαν σε ένα κτηριακό μοντέλο. Τα *Διαγράμματα 4.3.3.1* και *4.4.1*, μπορεί κανείς να δει πως είναι αντίστροφα. Δηλαδή για τα δείγματα που είχαν υψηλές τιμές R-Value, η τιμές την συνολικής ετήσιας ενέργειας, που απαιτείται για την ορθή χρήση του κτηρίου, είναι χαμηλότερες. Έτσι, από το *Διάγραμμα 4.3.3.1* διαπιστώνεται πως την ελάχιστη ετήσια κατανάλωση ενέργειας την προσφέρει το άνευ υφάνσεως πάπλωμα με τιμή 132020,5 kWh ετησίως και δεν έχει ιδιαίτερα μεγάλη διαφορά σε σύγκριση με την μέγιστη η οποία ήταν 139031,67 kWh για την γκρι άνευ υφάνσεως πλάκα. Το άνευ υφάνσεως 10mm έδωσε τιμή ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης ίση με 151370,66 kWh.

Οδηγούμαστε λοιπόν, στο τελικό συμπέρασμα πως για να συγκριθούν αποτελεσματικά περισσότερα υλικά μεταξύ τους δεν αρκούν οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας του εκάστοτε υλικού, αλλά απαιτείται και η εύρεση του R-Value των υλικών. Έτσι λοιπόν, το βέλτιστο υλικό και το πιο κατάλληλο από αυτά που μελετήθηκαν για χρήση τους ως μονωτικά υλικά, αποτελεί το άνευ υφάνσεως πάπλωμα με πάχος $L=0,04770\text{m}$, πυκνότητα $\rho=15.07\text{kg/m}^3$ και θερμική αγωγιμότητα $\lambda_8=0,04734\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Παρόλα αυτά μπορεί να παρατηρηθεί πως στη τελική ετήσια ενεργειακή κατανάλωση δεν υπήρξε τεράστια διαφορά σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μελετώμενα υλικά. Διαλέγεται όμως ως βέλτιστο υλικό το άνευ υφάνσεως πάπλωμα για έναν ακόμη λόγο. Στη σύνθεσή του περιλαμβάνεται δευτερογενή πολυεστερική ίνα, προερχόμενη από ανακυκλωμένα μπουκάλια PET. Συνεπώς, πέρα από την μείωση των αποβλήτων στο περιβάλλον, πραγματοποιείται και εξοικονόμηση ενέργειας καθώς υπάρχει πρόσβαση στον πολυεστέρα χωρίς να χρειάζεται να κατασκευάζεται από παρθένα αποθέματα πετρελαίου.

Κεφάλαιο 6: Προτάσεις για Μελλοντική Μελέτη

Η χρήση των θερμομονωτικών υλικών στα κτίρια χρησιμοποιείται τις τελευταίες δεκαετίες. Ο πολυεστέρας μπήκε σημαντικά στην ζωή των ανθρώπων τον τελευταίο αιώνα, με αποτέλεσμα την εξαιρετικά εκτεταμένη χρήση του. Έτσι, η ανακύκλωσή του και επαναχρησιμοποίησή του αποτελεί ένα ζήτημα που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Ο ανακυκλωμένος πολυεστέρας, αλλά και οι πολυεστερικές ίνες διαθέτουν μεγάλο εύρος εφαρμογής. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες προτάσεις για μελλοντική μελέτη της άνευ υφάνσεως πολυεστερικής ίνας/πλάκας.

- Μελέτη των άνευ υφάνσεως πολυεστερικών πλακών για χρήση τους και ως ηχομονωτικό.
- Μελέτη για μείωση πάχους άνευ υφάνσεως πολυεστερικής πλάκας, διατηρώντας τα ίδια όμως αποτελέσματα βέλτιστης απόδοσης, με σκοπό την εξοικονόμηση χώρου.
- Έρευνα για συνδυασμό αναγεννημένης πολυεστερικής ίνας με ίνα διαφορετικού υλικού και μελέτη για την εύρεση νέων μειωμένων τιμών θερμικής αγωγιμότητας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Basim Abu-Jdayil, 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:EnergyEfficiencyinBuildings—EuropeanCommission.
<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/overview>
3. 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
4. B. Abu-Jdayil, K. Al-Malah, *Jordanian clay-based heat insulator composites: mechanical properties*, Journal of Reinforced Plastics Composites, volume 27, issue 14, pages 1559-1568, September 2008
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. 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
7. Ioannis Petidis, Maria Aryblia, Tryfon Daras, Theocharakis Tsoutsos, *Energy saving and thermal comfort interventions based on occupants' needs: A students' residence building case*, Energy and Buildings, Volume 174, 1 September 2018, Pages 347-364
8. Ifigenia Farrou, Maria Kolokotroni, Mat Santamouris, *A method for energy classification of hotels: A case-study of Greece*, Energy and Buildings, 55:553-562, December 2012
9. Rostislav Drochytka, Michaela Dvorakova, Jana Hodna, *Performance Performance Evaluation and Research of Alternative Thermal Insulation Based on Waste Polyester Fibers*, Procedia Engineering, Volume 195, pages 236-243, 2017
10. Corbman, Bernard P. Textiles: Fiber to Fabric. 6th ed. Gregg Division, McGraw-Hill, 1983, pp. 374-92

11. Encyclopedia of Textiles. 3rd ed. Prentice-Hall, Inc., 1980, pp. 28-33
12. Polyester: Fifty Years of Achievement. State Mutual Book & Periodical Service, 1993
13. Fellingham, Christine. "Will You Learn to Love Polyester?" Glamour, April 1992, p. 204.
14. Templeton, Fleur. "Show Me a Bulletproof Leisure Suit, In Pink." Business Week, July 6, 1992, p. 65.
15. Thomas, Marita. "At 50 Years, Polyester Gains New Fashion Vitality." Textile World, December 1993, p. 62+
16. Summer Edwards, *The Environmental Impacts of Polyester*, in Sustainable Fashion Tips & Knowledge, Textile Reviews, Why Buy Sustainable Fashion, August 29, 2016
17. A. Briga-Sá, D. Nascimento, N. Teixeira, J. Pinto, F. Caldeira, H. Varum, A. Paiva, *Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution*, Construction and Building Materials, vol. 38, 2013, pp 155-160
18. Rick Leblanc, *Recycling Polyethylene Terephthalate*, Sustainable Businesses, Paper and plastic, Juny 13, 2019
19. Textile Exchange, Recycled Polyester, 2016, https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2017/05/TE-PFM-Recycled_Polyester.pdf
20. Thermal instruments, History.2 – The Guarded Hot Plate Method, Blog, History, Jun 23, 2015, <https://thermtest.com/history-2-the-guarded-hot-plate-method>
21. Margit, Pfundstein, *Insulating materials: principles, materials, applications*, Basel : Birkhauser, 2008 Munich: Edition Detail, 2008
22. How polyester is made-material, manufacture, making, history, used, structure, steps, product, History, www.madehow.com. Retrieved 2018-12-04 <http://www.madehow.com/Volume-2/Polyester.html>
23. History of Polyester | What is Polyester, www.whatispolyester.com. Retrieved 2018-12-04. <http://www.whatispolyester.com/history.html>
24. Azra Korjenic, Vit Petrenek, Jiri Zach, Jitca Hroudova, *Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources*, Energy and Buildings, Volume 43, Issue 9, September 2011, Pages 2518-2523
25. <http://www.metaxiotis.gr/en/21-thermal-insulation/70-articles/88-the-benefits-of-thermal-insulation.html>
26. <https://el.wikipedia.org/wiki>
27. <http://www.absoluteastronomy.com/topics/Polyester>
28. <https://www.encyclopedia.com/>

29. Plastics Insight, *Polyester Properties, Production, Price, Market and Uses*,
<https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polyester/>
30. <http://textilefashionstudy.com/polyester-physical-and-chemical-properties-of-polyester/>
31. <http://www.fibralco.gr/proionta-aneu-yfansews/>
32. TAL (Thermal Analysis Labs), *Transient Plane Source (TPS)*,
<http://thermalanalysislabs.com/thermal-conductivity/transient-plane-source-tps/>
33. Bethel Afework, Jordan Hanania, Kailyn Stenhouse, Jason Donev, R-value, Energy Education, May 18, 2018, <https://energyeducation.ca/encyclopedia/R-value>
34. The green Age, *Thermal Conductivity, R-Value and U-Value simplified*,
<https://www.thegreenage.co.uk/article/thermal-conductivity-r-values-and-u-values-simplified/>
35. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL111/482/3167,12787/>
36. <https://www.youtube.com/watch?v=tS5Fo6oaTs0>
37. <https://www.youtube.com/watch?v=6BBgEo0Y24o>
38. <https://energyplus.net/weather>
39. Ε. Ψυλλάκη, Τμήμα ΜΗΠΕΡ Πολυτεχνείο Κρήτης. Eclass.tuc, Έλεγχος Ρύπανσης Νερών, Κεφάλαιο 3 Χημειομετρία.
40. Hot Disk Thermal Constants Analyzer, Instruction Manual, Revision date 2018-03-28