

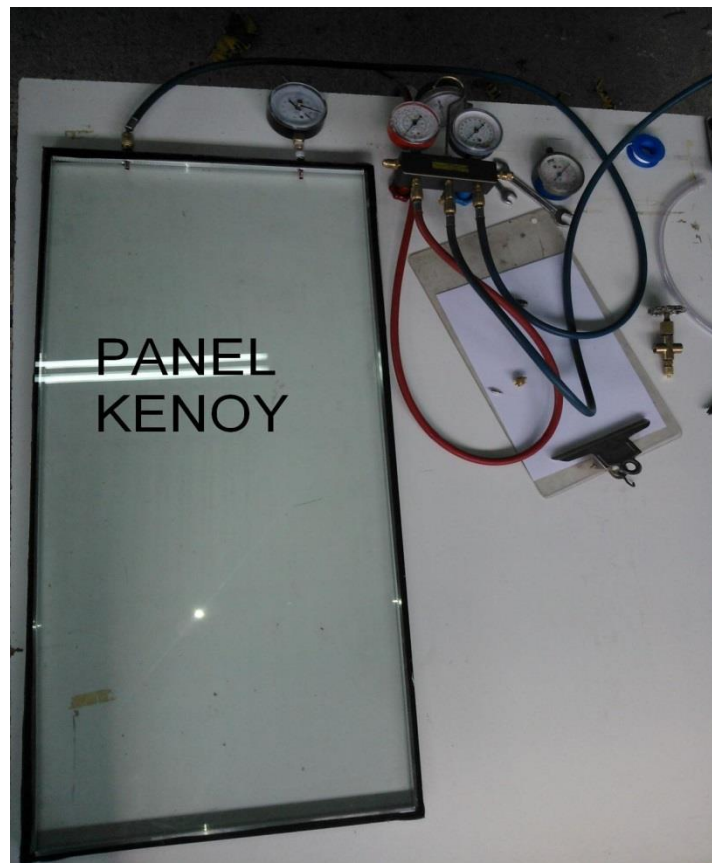
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ (ΠΑΝΕΛ) ΚΕΝΟΥ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΤΣΑΜΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (Α.Μ. 5618)

ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (Α.Μ. 6145)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΑΔΑΚΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδος και αναφέρεται στην κατασκευή και τη μέτρηση των θερμικών ιδιοτήτων ενός πλαισίου από διπλούς υαλοπίνακες σε υποπίεση. Ο χαρακτηρισμός γίνεται για να διακρίνουμε και να αναφέρουμε τυχόν διαφορές στις θερμικές ιδιότητες του πάνελ από τους συμβατικούς διπλούς υαλοπίνακες. Έτσι αν το πείραμα ολοκληρωθεί με επιτυχία, θα έχουμε σημαντικό όφελος ως προς τις θερμικές ιδιότητες του υλικού, με αποτέλεσμα την καλύτερη μόνωση στα πάνελ των διπλών υαλοπινάκων κάτι που μέχρι σήμερα δεν έχει υπάρξει.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

(Ονοματεπώνυμο)

(Ονοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρακάτω πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην μελέτη και την κατασκευή ενός πάνελ απο διπλούς υαλοπίνακες με αφαίρεση του ξηρού αέρος των υαλοπινάκων, χωρίς την πρόσθεση κάποιου αερίου, όπως υφίσταται μέχρι σήμερα αλλά με κενό αέρος. Σκοπός του πειράματος είναι η κατασκευή πάνελ κενού αέρος και η μέτρηση των θερμικών ιδιοτήτων του κατασκευασμένου πάνελ και η σύγκριση των τιμών με τα πρότυπα πάνελ διπλών υαλοπινάκων.

Στο πρώτο κεφάλαιο που είναι κυρίως εισαγωγικό γίνεται μια αναφορά για την μόνωση που έχουμε σήμερα στα κτήρια στην Ελλάδα και γενικά στα παλιά κτήρια. Επίσης ανεφερόμαστε στα κουφώματα αλουμινίου και στην σημασία αντικατάστασής τους απο τα παλαιά κουφώματα των κτηρίων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στις θερμικές ιδιότητες των υαλοπινάκων όπως είναι η θερμοαγωγιμότητα, η ακτινοβολία, η γραμμική διαστολή, κλπ. και δίνεται να εξηγηθεί η σημασία των λέξεων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τύποι των υαλοπινάκων που μπορούν να τοποθετηθούν στα πάνελ των αλουμινίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύουμε τη διαδικασία του πειράματος για την κατασκευή του πάνελ κενού. Επίσης περιγράφουμε τι διαδικασία των μετρήσεων που έγιναν στην πειραματική συσκευή και καταγράφουμε τα αποτελέσματα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφουμε διάφορες παρατηρήσεις-συμπεράσματα που προέκυψαν απο το πείραμα που πραγματοποιήσαμε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
1.1 Η σημασία της μόνωσης στους υαλοπίνακες	4
2. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ	6
2.1 Θερμοπερατότητα.....	6
2.2. Ακτινοβολία.....	8
3. ΤΥΠΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ	10
3.1 Μονοί υαλοπίνακες	10
3.2 Διπλοί υαλοπίνακες	10
3.3 Διπλοί υαλοπίνακες με ευγενή αέρια	11
3.4 Τριπλοί υαλοπίνακες	13
4. ΠΕΙΡΑΜΑ	
4.1 Σκοπός.....	13
4.2 Πειραματική διαταξη.....	13
4.3 Θεωρία.....	14
4.4 Πειραματική διαδικασία	15
4.4.1 Κατασκευή του πάνελ.....	16
4.4.2 Μετρήσεις για προσδιορισμό του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ ..	22

4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	26
5. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	29
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	30

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας κ. Γιανναδάκη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας έδειξε για την επίλυση διαφόρων θεμάτων, καθώς επίσης για την εμπιστοσύνη και την επιμονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τον κ. Κακκαβά για την βοήθεια που μας έδωσε για την επίλυση της εργασίας στο πειραματικό μέρος της, καθώς με τις γνώσεις του και την εμπειρία του στο συγκεκριμένο τομέα μας βοήθησε να κατανοήσουμε και να εμπεδώσουμε καλύτερα το πείραμά μας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κτήρια στην Ελλάδα ευθύνονται περίπου στο 36% της συνολικής τους ενεργειακής κατανάλωσης. Κατά την περίοδο 2000-2005 έχουν αυξήσει την ενεργειακή τους κατανάλωση κατά περίπου 24%. Αυτό δυστυχώς μας κατατάσσει στα πιο ενεργοβόρα κτήρια όλης της Ευρώπης. Ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους τα ελληνικά κτήρια είναι ιδιαίτερος ενεργοβόρα είναι η παλαιότητά τους και η μη ενσωμάτωση της σύγχρονης τεχνολογίας σε αυτά, λόγω έλλειψης σχετικής νομοθεσίας τα τελευταία 30 χρόνια.

Τα περισσότερα από αυτά τα κτήρια που κατασκευάστηκαν πριν το 1980 αντιμετωπίζουν προβλήματα όπως είναι:

- η μερική ή παντελής έλλειψη θερμομόνωσης.
- παλαιά τεχνολογία στα κουφώματα (πλαίσια/μονοί υαλοπίνακες).
- ελλιπής ηλιοπροστασία των νότιων και δυτικών όψεών τους.
- μη επαρκής αξιοποίηση του υψηλού ηλιακού δυναμικού της χώρας.
- ανεπαρκής συντήρηση των συστημάτων θέρμανσης/κλιματισμού με αποτέλεσμα την χαμηλή απόδοσή τους.

Στην Ελλάδα λαμβάνονται ήδη θεσμικά μέτρα για την εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια, όπως η εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των Κτηρίων (KENAK). Με τον KENAK θεσμοθετείται ο ολοκληρωμένος ενεργειακός σχεδιασμός στα κτήρια με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσής τους, της εξοικονόμησης ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, με συγκεκριμένες δράσεις. Ο πρωταρχικός στόχος του ενεργειακού σχεδιασμού είναι η επίτευξη της θερμικής και οπτικής άνεσης στο χώρο διαμονής. Η έννοια της θερμικής άνεσης σε ένα χώρο σχετίζεται με το ενεργειακό ισοζύγιο των ενοίκων. Κάθε άτομο δέχεται, λαμβάνει και παράγει θερμότητα κυρίως με διαδικασίες μεταφοράς, εκπομπής και εξάτμισης.

Η αύξηση της εισερχόμενης στο κτήριο ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου συντελεί στη βελτίωση του θερμικού ισοζυγίου του και στην μείωση των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση. Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτήριο μέσω των διάφανων ανοιγμάτων, αποθηκεύεται στη μάζα του κτιρίου, την οποία επανεκπέμπει με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας που πλέον δεν μπορεί να διαφύγει από το κτήριο (φαινόμενο θερμοκηπίου). Η δε οπτική άνεση σε ένα χώρο, απαιτεί την εξασφάλιση τεσσάρων επιμέρους προϋποθέσεων:

- Τον απαραίτητο ηλεκτρικό φωτισμό για το είδος των εργασιών που θα γίνονται στο χώρο.
- Την αποφυγή οπτικής θάμβωσης.
- Την εξασφάλιση οπτικής επαφής με τον εξωτερικό χώρο.
- Την οπτική επαφή με ευχάριστα εξωτερικά στοιχεία στον άνθρωπο.

Σύμφωνα με έρευνες στην Ελλάδα έχει διαπιστωθεί ότι η μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση είναι από 130 έως 180 KW/ m²a, ενώ θα μπορούσε να ήταν μικρότερη αν τα κτήρια διέθεταν μια στοιχειώδη θερμομόνωση. Αξίζει να σημειώσουμε ότι αν ένα κτήριο διέθετε τις σύγχρονες μεθόδους τεχνολογίας και τεχνολογίας που υπάρχουν για την εξοικονόμηση θερμότητας, η κατανάλωση δεν θα υπερέβαινε τις 50 KW/ m²·a. Σε αυτήν την περίπτωση θα μιλούσαμε για ένα κτήριο με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, όπου το κόστος παραγωγής θα αυξανόταν περίπου στο 3 με 5% σε σχέση με ένα απλό κτήριο.

Τα τελευταία χρόνια, το θέμα της αντικατάστασης των κουφωμάτων έχει εναχθεί σε μείζονος σημασίας, λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας που προσφέρει. Έρευνες έχουν δείξει πως το 35% των ενεργειακών απωλειών ενός κτηρίου προέρχονται από τα παλιά κουφώματα. Εκτός από την υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία φτάνει έως και 65% σε σύγκριση με τα παλαιά κουφώματα αλουμινίου ή ξύλου (με μονό πλαίσιο), τα κουφώματα νέας γενιάς προσφέρουν επιπλέον μεγαλύτερη ασφάλεια, ηχομόνωση, αντοχή και ανθεκτικότητα στις καιρικές συνθήκες.

Τα κουφώματα αλουμινίου αυτήν τη στιγμή είναι ό,τι καλύτερο για την αντικατάσταση των παλαιών κουφωμάτων ξύλου ή παλαιού τύπου αλουμινίου και υπάρχουν διάφοροι τύποι κουφωμάτων. Οι κατηγορίες που χωρίζονται τα κουφώματα είναι το υλικό κατασκευής τους και ο τρόπος λειτουργίας τους, δηλαδή το πώς ανοίγουν. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και ο αριθμός των υαλοπινάκων που θα υπάρχει στο κούφωμα για τη μόνωση καθώς το τζάμι αποτελεί περίπου το 90% του κουφώματος. Μπορούμε να διακρίνουμε διάφορους τύπους και κατηγορίες υαλοπινάκων που υπάρχουν στην αγορά για την τοποθέτησή τους όπως: μονά τζάμια (συμβατικά), triplex, security, ενεργειακά (low-e), διπλά τζάμια, τριπλά τζάμια όπου θα αναλύσουμε παιρεταιίρω το κάθε ένα.

Μέχρι σήμερα αυτό που έχει βρεθεί για καλύτερη μόνωση και οικονομία στους υαλοπίνακες είναι η πλήρωση του ενδιάμεσου κενού των υαλοπινάκων με ξηρό αέρα με ευγενές αέριο όπως το Argon που έχει επιπλέον μονωτικές ιδιότητες έως και 30% από το ξηρο αέρα.

Εμείς κατασκευάσαμε ενά πλαίσιο διπλών υαλοπινάκων όπου για την πλήρωση του κενού των υαλοπινάκων, έχουμε κάνει αναρρόφηση και δημιουργούμε υποπίεση στο πλαίσιο αυτό. Έτσι, παίρνουμε μετρήσεις και παρατηρούμε τις διαφορές στις θερμικές ιδιότητες του πλαισίου σε σχέση με τους κοινούς υαλοπίνακες. Παρατηρούμε συμπεριφορές και καταγράφουμε τα αποτελέσματα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1.1Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΟΥΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ.

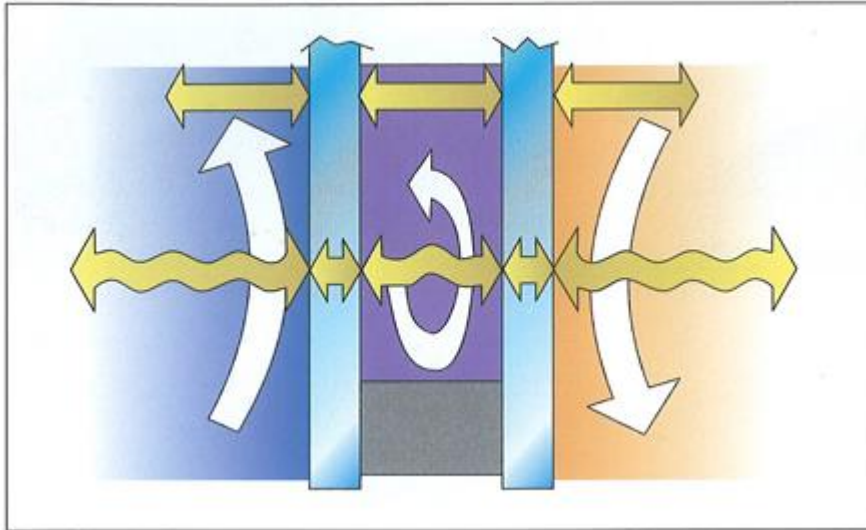
Οι σημαντικότεροι κατασκευαστικοί παράγοντες που επιδρούν στο επίπεδο της κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια είναι η μόνωση με χαρακτηριστικά το πάχος και τη θερμική αγωγιμότητα, καθώς και οι υαλοπίνακες με χαρακτηριστικά το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας, το ποσοστό επιφανείας επί του κελύφους και τον προσανατολισμό. Επίσης, οι υαλοπίνακες επιτρέπουν την είσοδο ηλιακών φορτίων υπό τη μορφή της ακτινοβολίας, καθώς σχετίζονται και με το φωτισμό του κτηρίου, όπου κατά την καλοκαιρινή περίοδο παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα φορτία κέρδους. Η λειτουργία της μόνωσης και πολύ περισσότερο των υαλοπινάκων είναι διαφορετική κατά την χειμερινή και τη θερινή περίοδο λόγω της επιθυμητής ηλιακής ενέργειας το χειμώνα, της οποίας την είσοδο δυσκολεύει η μόνωση, ενώ αντίθετως επιτρέπει ο υαλοπίνακας. Αντίθετα, περισσότερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι υαλοπίνακες και λιγότερο η μόνωση κατά τους χειμερινούς μήνες, καθώς επιτρέπουν την είσοδο τόσο των θετικών φορτίων, π.χ. η ηλιακή ακτινοβολία, όσο και των αρνητικών φορτίων π.χ. η αγωγή θερμότητας λόγω διαφοράς θερμοκρασίας.

Οι υαλοπίνακες αποτελούν ένα από τα βασικότερα υλικά στις αρχιτεκτονικές μελέτες καθώς στον κτηριακό τομέα το γυαλί, καλείται να διαδραματίσει σπουδαίο ρόλο στη διαχείριση του φωτός, αλλά κυρίως και της ροής θερμότητας. Προτεραιότητα κατά το σχεδιασμό ενός κτηρίου είναι η κατασκευή ανοιγμάτων, τόσο για τη διέλευση ηλιακής ακτινοβολίας όσο και για λόγους οπτικής άνεσης και αισθητικής. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσίπτει στον υαλοπίνακα ενός κτηρίου, ένα ποσοστό ανακλάται προς το περιβάλλον, ένα ποσοστό απορροφάται από το γυαλί και ένα ποσοστό διαπερνά το γυαλί και εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο. Η ηλιακή ακτινοβολία που τελικά εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο, απορροφάται από τα διάφορα υλικά αυξάνοντας τη θερμοκρασία τους. Τα υλικά αυτά στη συνέχεια εκπέμπουν ακτινοβολία που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία τους.

Όπως γίνεται αντιληπτό τα ανοίγματα των κτηρίων (παράθυρα), παίζουν σημαντικό ρόλο στη ενεργειακή κατανάλωση για τη θέρμανση και την ψύξη στο χώρο, διότι από αυτά μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Το χειμώνα χάνεται θερμότητα από μέσα προς τα έξω, ενώ αντίστοιχα το καλοκαίρι εισέρχεται θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον στον εσωτερικό χώρο.

Η μετάδοση της θερμότητας από τη μια πλευρά ενός παραθύρου στην άλλη, γίνεται με τρεις τρόπους: μέσω του στερεού πλαισίου (αγωγή), μέσω της κυκλοφορίας του αερίου που μεσολαβεί (συναγωγή) και με απευθείας εκπομπή (ακτινοβολία), όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.1. Επειδή ο υαλοπίνακας αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη επιφάνεια ενός κουφώματος (περίπου το 90%), οι θερμικές απώλειες βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση με την

επιφάνεια του υαλοπίνακα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση κατάλληλα κατασκευασμένων, ενεργειακά αποδοτικών παραθύρων. Τα παράθυρα αυτά πρέπει να έχουν υαλοπίνακες και κουφώματα με καλές θερμομονωτικές ιδιότητες και επιπλέον, θα πρέπει να είναι αεροστεγανά, ώστε να εμποδίζουν τη διαφυγή θερμότητας από χαραμάδες, οι οποίες μπορεί να επιφέρουν σημαντικές απώλειες θερμότητας, όπως παρατηρείται σε παλαιά κτήρια ή σε κτήρια κακής κατασκευής.



Εικόνα 1.1: Μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας: αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία

2. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

Οι θερμικές ιδιότητες των υαλοπινάκων περιλαμβάνουν την ειδική θερμότητα του υαλοπίνακα C, τη γραμμική διαστολή υαλοπίνακα, τις θερμικές τάσεις και τέλος τα θερμομονωτικά χαρακτηριστικά. Αναλυτικότερα: η ειδική θερμότητα ισούται με την απαραίτητη ποσότητα θερμότητας για να ανυψωθεί κατά 1°C η μονάδα της μάζας του υλικού. Ισούται $C=0,22 \text{ Wh /Kg } ^\circ\text{C}$. Ενώ γραμμική διαστολή του υαλοπίνακα πρόκειται για τον συντελεστή με τον οποίο μετράται η επιμήκυνση της μονάδας μήκους για μια διαφορά θερμοκρασίας ίση 1°C για περιοχές θερμοκρασίας μεταξύ 20 και 300 °C. Ισούται με 9×10^{-6} . Έτσι π.χ. ένας υαλοπίνακας 2,0 m (2000mm) που θερμαίνεται στους 30°C θα επιμηκυνθεί κατά $2000 \times 10^{-6} \times 30 = 0,54 \text{ mm}$. Για κάθε τύπο υαλοπίνακα υπάρχουν διαφορετικοί συντελεστές γραμμικής διαστολής που είναι η παρακάτω: ξύλου 4×10^{-6} , σιδήρου 12×10^{-6} , αλουμινίου 23×10^{-6} , P.V.C 70×10^{-6} . Οι θερμικές τάσεις δημιουργούνται στον υαλοπίνακα έπειτα από μερική θέρμανση ή ψύξη που μπορεί να οδηγήσει στη θραύση. Τέλος, τα θερμομονωτικά χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα είναι ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας $\lambda=1,16 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ και ο συντελεστής θερμοπερατότητας K που είναι $K=5,70 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$.

Οι θερμικές απώλειες συσχετίζονται με την τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας, ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ρυθμό απωλειών θερμότητας ανά τετραγωνικό μέτρο, σε σταθερές συνθήκες, για θερμοκρασιακή διαφορά εσωτερικού –εξωτερικού χώρου ίση με ένα Κελβιν.

2.1 Θερμοπερατότητα.

Η ικανότητα ενός τζαμιού να μην επιτρέπει τη διακίνηση θερμότητας από τη μια πλευρά στην άλλη, καθορίζεται από ένα μέγεθος που ονομάζεται συντελεστής θερμοπερατότητας (U_g). Μετριέται σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο και είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος, εκφρασμένη σε βαθμούς της κλίμακας Kelvin. Όσο πιο μικρός είναι ο συντελεστής U_g τόσο καλύτερη θερμομόνωση επιτυγχάνεται. Η θερμομόνωση εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το διάκενο που υπάρχει μεταξύ των τζαμιών (και όχι από το πάχος του υαλοπίνακα). Ένα απλό (μονό) τζάμι οποιουδήποτε πάχους έχει ένα συντελεστή θερμοπερατότητας της τάξης των $U_g = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, ενώ ένα διπλό θερμομονωτικό τζάμι με διάκενο 12 mm έχει συντελεστή θερμοπερατότητας $U_g = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, που σημαίνει ότι οι απώλειες θερμότητας περιορίζονται κάτω από το μισό. Οι θερμομονωτικές ιδιότητες ενός κουφώματος καθορίζονται τόσο από την ικανότητά του να εμποδίζει το πέρασμα ζεστού ή κρύου αέρα μέσω των αρθρώσεων του όσο και από την ικανότητά του να εμποδίζει τη διάδοση της θερμότητας μέσω των υλικών

από τα οποία είναι κατασκευασμένο. Η θερμική μόνωση ενός κουφώματος εξαρτάται από: α) Το βαθμό αεροπερατότητας της επιφάνειας του κουφώματος: Αν ένα παράθυρο επιτρέπει την διέλευση μεγάλης ποσότητας αέρα μέσα από τις αρθρώσεις του, θα προκαλέσει την έξοδο ζεστού αέρα ή την είσοδο κρύου αέρα ανάλογα με τις διαφορετικές πιέσεις, με αποτέλεσμα την ψύξη του χώρου και επομένως αυξημένες απαιτήσεις θέρμανσης για να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου. β) Τον τύπο του τζαμιού: Οι θερμικές απώλειες, λόγω μετάδοσης βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση με την επιφάνεια, οπότε το γυαλί, που αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος ενός κουφώματος, παίζει σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση των θερμικών απωλειών. γ) Τον τύπο του προφίλ αλουμινίου: Θερμικές απώλειες έχουμε όχι μόνο μέσω του γυαλιού, αλλά επίσης και από το πλαίσιο του κουφώματος. Επομένως ένα προφίλ με μικρότερη θερμική αγωγιμότητα θα μειώσει τις απώλειες μέσα από το πλαίσιο.

Οι παράγοντες που επιδρούν στην διαμόρφωση του συντελεστή θερμοπερατότητας U είναι: α) οι επιφανειακές εναλλαγές θερμότητας όπου για τους απλούς υαλοπίνακες επηρεάζεται κυρίως από τις θερμικές αντιστάσεις (εσωτερικές και εξωτερικές) επιφανειακής εναλλαγής και σχεδόν καθόλου από τη θερμική αντίσταση του υαλοπίνακα που είναι αμελητέα. Ο συντελεστής εξωτερικής θερμικής αντίστασης επιφανειακής εναλλαγής δεν είναι σταθερός αν και λαμβάνεται πάντα συμβατικά $0,06 \text{ m}^2\text{C/W}$. Τέλος, ο συντελεστής εσωτερικής και εξωτερικής θερμικής αντίστασης επιφανειακής εναλλαγής εξαρτάται από την εκπεμπτικότητα ϵ του υαλοπίνακα. Στους διπλούς υαλοπίνακες επεμβαίνει η θερμική αντίσταση της ενδιάμεσης στρώσης του αέρα και εξαρτάται από το: α) το πάχος της στρώσης β) την εκπεμπτικότητα των απέναντι εσωτερικών επιφανειών του ενδιάμεσου κενού και γ) από την αγωγιμότητα των υλικών που διαμορφώνουν το περιμετρικό πλαίσιο της ενδιάμεσης στρώσης αέρα.

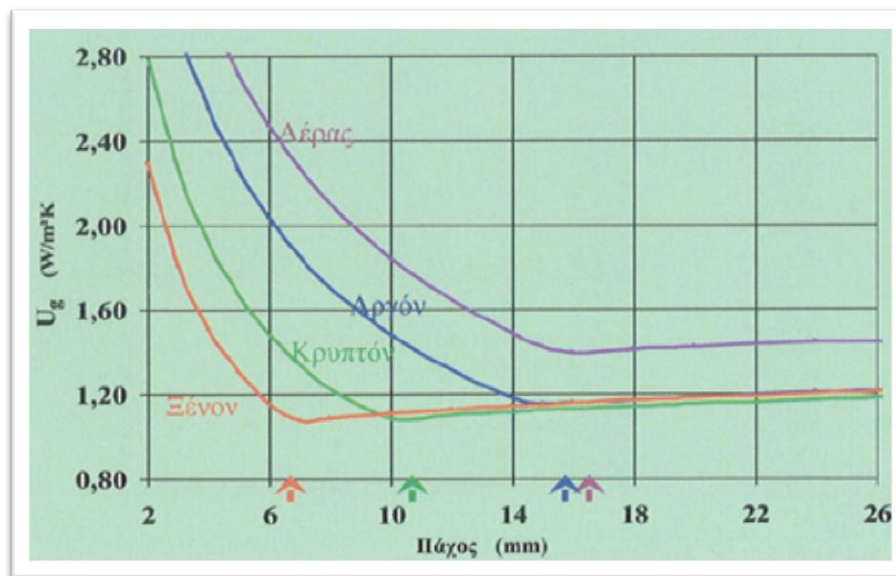
Ενδεικτικά, στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας για κοινά απλά τζάμια και για κοινά διπλά τζάμια με διάκενο έως 12 mm.

Τύπος τζαμιού	$U(\text{W/m}^2\text{K})$
Απλό 4 mm	5,8
Απλό 6 mm	5,7
Απλό 10 mm	5,6
Απλό 12 mm	5,5
Διπλό 4-12-4 mm	2,9
Διπλό 6-12-6 mm	2,8
Διπλό 10-12-6 mm	2,8
Διπλό 12-12-6 mm	2,8

Πίνακας 2.1. Θερμομονωτικές επιδόσεις υαλοπινάκων.

Η πλήρωση του διάκενου των τζαμιών με ευγενή αέρια (Κρυπτό, Ξένο, κλπ.) βελτιώνει περαιτέρω τις θερμομονωτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων. Το Αργό (Ar) είναι καλύτερο μονωτικό από τον αέρα και το Κρυπτό (Kr) ακόμη καλύτερο και ακριβότερο από το αργό (βλ. Εικόνα 2.2). Συνιστώνται σε κτήρια με μεγάλα ανοίγματα, όπου απαιτείται υψηλή θερμομόνωση του κελύφους.

Με την εφαρμογή ειδικών επιστρώσεων μπορούν να βελτιωθούν ακόμη περισσότερο οι θερμομονωτικές ιδιότητες. Υπάρχουν, για παράδειγμα, τριπλά τζάμια που επιτυγχάνουν $U_g = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$, συντελεστής που είναι ισοδύναμος με ένα θερμομονωμένο τοίχο τούβλων.



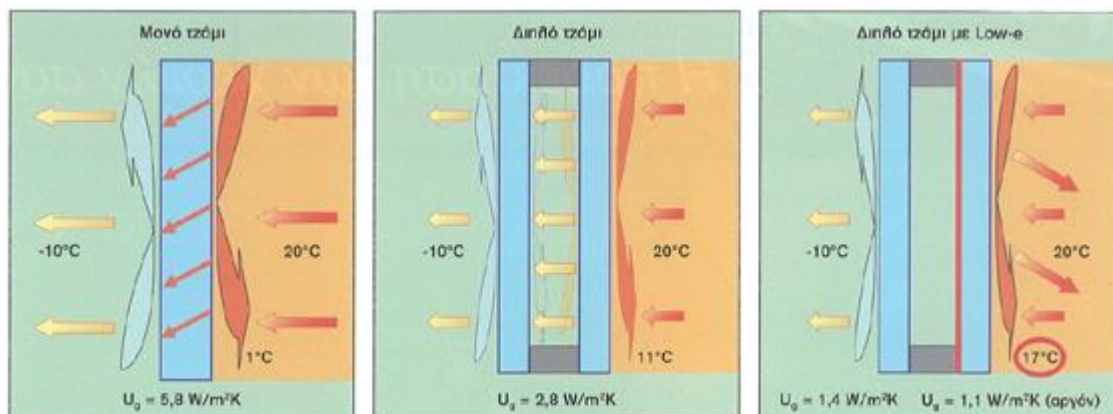
Εικόνα 2.2. Επίπεδα θερμομόνωσης ανάλογα με το αέριο που επιλέγεται για το διάκενο.

2.2 Ακτινοβολία

Ένας από τους μηχανισμούς απώλειας θερμότητας είναι η ακτινοβολία, η οποία δημιουργεί πρόσθετα προβλήματα που απαιτούν νέες τεχνολογίας τζάμια για την επιτυχή αντιμετώπισή τους. Έτσι, όταν ο καλοκαιρινός ήλιος το απόγευμα βάζει κυριολεκτικά «φωτιά» στο σπίτι, δημιουργούνται ειδικές απαιτήσεις κυρίως όσον αφορά στα δυτικά παράθυρα. Από τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία περισσότερη από τη μισή είναι αόρατη, με το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό της να ανήκει στην υπέρυθη.

Τα παράθυρα με διπλά τζάμια έχουν φτιαχτεί κυρίως για να μη διαρρέει θερμότητα από το ζεστό εσωτερικό του σπιτιού στη διάρκεια του χειμώνα προς τα έξω. Υπάρχουν όμως ειδικά επιστρώματα που κάνουν όλη την επιφάνεια του παραθύρου να επιτρέπει μόνο στο ορατό φως να περνά μέσα και έτσι, να φωτίζονται αλλά να μη ζεσταίνονται οι χώροι. Τα τζάμια αυτά ονομάζονται ηλιακού ελέγχου και είναι προϊόντα υψηλής τεχνολογίας που αναπτύχθηκαν από τη βιομηχανία γυαλιού ώστε να επιτρέπουν στο ηλιακό φως να διαπερνά ένα παράθυρο ή μια πρόσοψη, ενώ ταυτόχρονα να διαχέουν και να αντανακλούν ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής θερμότητας. Αποτέλεσμα είναι ο εσωτερικός χώρος να παραμένει φωτεινός και κατά πολύ δροσερότερος απ' ό,τι θα ήταν αν είχε χρησιμοποιηθεί απλό γυαλί, περιορίζοντας σημαντικά τις ανάγκες κλιματισμού το καλοκαίρι. Σε ένα τζάμι ηλιακού ελέγχου, οι αόρατες στρώσεις από ειδικά υλικά που είναι ενσωματωμένες σε αυτό, παρέχουν το διπλό πλεονέκτημα να επιτρέπουν την είσοδο του φωτός, αλλά και να απωθούν την ηλιακή θερμότητα. Τα τζάμια ηλιακού ελέγχου εν γένει είναι και διπλά, πράγμα που σημαίνει ότι παρέχουν και καλή μόνωση.

Για θερμομόνωση υψηλού επιπέδου, μία άριστη επιλογή είναι τα τζάμια χαμηλής εκπομπής, γνωστά και ως Low-e. Όταν η ακτινοβολία με μορφή διαδοχικών κυμάτων πέφτει πάνω στο τζάμι, ένα μέρος της ανακλάται, ένα μέρος της απορροφάται από αυτό και το υπόλοιπο το διαπερνά. Η ενέργεια της ακτινοβολίας που απορροφάται κατά ένα μέρος θερμαίνει το αέριο που βρίσκεται ανάμεσα στις δύο γυάλινες επιφάνειες, αν πρόκειται για διπλό τζάμι, και το υπόλοιπο (που φτάνει το 84%) εκπέμπεται. Στους υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (Low-e) το ποσοστό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας δεν ξεπερνάει το 4%, ενώ το 96% της θερμικής ενέργειας ανακλάται. Το πλεονέκτημα στην περίπτωση αυτή είναι ότι το χειμώνα ωθείται πάλι προς τα μέσα η ζέστη που δημιουργείται στο εσωτερικό του σπιτιού, κάτι που είναι ιδιαίτερα επιθυμητό. Σημειώνεται ότι τα τζάμια Low-e εμφανίζουν εξαιρετικά χαμηλούς συντελεστές θερμοπερατότητας (μία ενδεικτική τιμή είναι $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3: Συγκριτικές θερμομονωτικές επιδόσεις διαφορετικών τύπων τζαμιών

3. ΤΥΠΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ.

Όπως έχει αναφερθεί υπάρχουν διαφορετικοί τύποι υαλοπινάκων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την τοποθέτηση σε κτήρια και άλλες κατασκευές ανάλογα με τις απαιτήσεις. Έτσι έχουμε:

- μονούς υαλοπίνακες(συμβατικούς)
- διπλούς υαλοπίνακες
- διπλούς υαλοπίνακες με ευγενή αέρια
- τριπλούς υαλοπίνακες

3.1 Μονοί υαλοπίνακες

Πρόκειται για την πιο απλή μορφή υαλοπίνακα. Στους υαλοπίνακες αυτούς ο συντελεστής θερμοπερατότητας U-Value μειώνεται όσο αυξάνεται το πάχος του γυαλιού. Για παράδειγμα ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός απλού υαλοπίνακα πάχους 4mm είναι ίσος με 5.8 (W/m² K) ενώ για ένα απλό υαλοπίνακα πάχους 19 mm ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι ίσος με 5.4 W/(m² K).

3.2 Διπλοί υαλοπίνακες

Οι διπλοί υαλοπίνακες αποτελούνται από δυο υαλοπετάσματα τα οποία διαχωρίζονται από ένα στρώμα αέρα. Σε σύγκριση με τους απλούς μονολιθικούς υαλοπίνακες, οι διπλοί υαλοπίνακες περιορίζουν τις θερμικές απώλειες. Στους συμβατικούς διπλούς υαλοπίνακες τα 2/3 της απώλειας θερμότητας οφείλονται σε θερμική ακτινοβολία ,ενώ το υπόλοιπο 1/3 οφείλεται σε θερμότητα διά επαφής και θερμικά ρεύματα (φαινόμενο συναγωγής), βάσει του 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Δομικών Υλικών και Στοιχείων Τ.Ε.Ε. με τεχνικό σύμβουλο τον κύριο Αντώνη Ν. Μαλεφάκη ΑΕΒΕ.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός απλού διπλού υαλοπίνακα ο οποίος αποτελείται από δύο υαλοπίνακες πάχους 4mm ο καθένας με διάκενο 12mm μεταξύ τους είναι 2.9 W/(m² K). Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U-Value) μειώνεται όσο αυξάνεται το πάχος του διάκενου σε ένα διπλό υαλοπίνακα μέχρι πάχους διάκενου ίσο με 16mm. Για

πάχος διάκενου μεγαλύτερου από 16 mm ο συντελεστής θερμοπερατότητας αυξάνεται ελάχιστα.

3.3 Διπλοί υαλοπίνακες με ευγενή αέρια

Στους διπλούς υαλοπίνακες μπορεί αντί για αέρα στο διάκενο να χρησιμοποιηθεί ένα ευγενές αέριο όπως Αργό (Ar) ή Κρυπτό (Kr). Στην περίπτωση αυτή η τιμή του συντελεστή θερμοπερατότητας μπορεί να μειωθεί μέχρι τα $1.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, στην περίπτωση διπλού υαλοπίνακα ο οποίος αποτελείται από δύο υαλοπίνακες πάχους 4mm ο καθένας με διάκενο 16mm και περιέχει Αργό. Επιπλέον με τη χρήση θερμομονωτικού πηχακίου μπορεί να επιτευχθεί ακόμα καλύτερη θερμομόνωση. Επίσης υπάρχει και μια ξεχωριστή κατηγορία με κενό αέρος το οποίο είναι δύσκολο να επιτευχθεί τεχνικά και για αυτό το λόγο είναι ακριβότερο από τα τρία. Συνιστώνται σε κτήρια με μεγάλα ανοίγματα, όπου απαιτείται υψηλή θερμομόνωση του κελύφους όπως βιβλιοθήκες, σχολεία, εμπορικά κέντρα, κ.α. Παρακάτω δίνονται διάφοροι τύποι υαλοπινάκων με ευγενές αέριο:

	LIGHT TRANSMISSION (%)	LIGHT REFLECTION (%)	SOLAR FACTOR EN – 410	U- VALUE EN 673	
	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ	ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΗ	ΗΛΙΑΚΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ	(W/m ² K)	
				ΘΕΡΜΟΧΩΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑ	
				Dry Air ΑΕΡΑΣ	ARGO GAS ΓΚΑΖΙ
TOP N. 6 MM - 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ CLEAR 4 MM	78	13	59	1.4	1.1
W.G. 'D' 6 MM 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ CLEAR 4 MM	73	12	54	1.6	1.4
SOLAR CONTROL70 6MM 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ CLEAR 4 MM	69	12	41	1.3	1.0
SOLAR CONTROL60 6MM 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ CLEAR 4 MM	64	26	42	1.3	1.0
SUNERGY CLEAR 6 MM - 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ CLEAR 4 MM	61	12	52	2.0	1.8
PLANIBEL LOW-E G. 4MM 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ CLEAR 4 MM	74	16	66	1.7	1.5
PLANITHERM ONE 6MM 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ CLEAR 4 MM	70	23	46	1.2	1.0
SKN 174 6MM 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ CLEAR 4 MM	67	10	41	1.4	1.1
ΦΟΥΜΕ 4 MM 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ CLEAR 5 MM	60	7	58	2.8	2.6
CLEAR 4 MM 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ CLEAR 5 MM	80	14	74	2.8	2.6
SOLAR STOP 6 MM 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ PLANITHERM ONE 4 MM	18	32	17	1.2	1.0
DARK GREY 8 MM 16 MM ΔΙΑΚΕΝΟ TOP N. 4 MM	3	4	8	1.4	1.1

Εικόνα 3.1 : Τύποι διπλών ενεργειακών υαλοπινάκων(low-e)

3.4 Τριπλοί υαλοπίνακες

Οι τριπλοί υαλοπίνακες αποτελούν ένα σύστημα τριών από απλούς ή ανακλαστικούς υαλοπίνακες, οι οποίοι διατηρούνται σε απόσταση μεταξύ τους μέσω μεταλλικής κατασκευής με συνήθη απόσταση 12 mm. Ο εγκλωβισμένος στο διάκενο αέρας βελτιώνει τη θερμομονωτική συμπεριφορά του υαλοπίνακα. Οι θερμομονωτικοί υαλοπίνακες προσφέρουν μια αύξηση της θερμομόνωσης κατά 30% (περίπου συντελεστής θερμομόνωσης $K= 1,5\sim 1,7$ $W/m^2\cdot K$), και μειώνουν κατά 75% τη διέλευση ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος.

4. ΠΕΙΡΑΜΑ

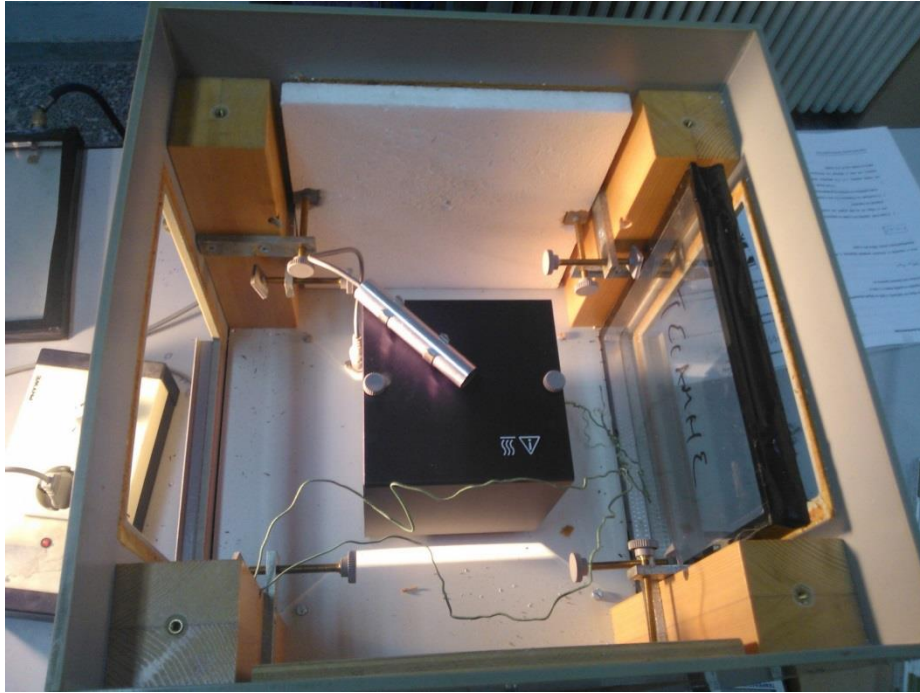
4.1 ΣΚΟΠΟΣ

Το πείραμα έγινε στο τμήμα Έργων Υποδομής του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδος και αποσκοπεί στη μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας λ των υαλοπινάκων με κενό αέρος και η σύγκριση των τιμών με αυτές του πάνελ της ατμοσφαιρικής πίεσης. Ο προσδιορισμός του συντελεστή λ , βασίζεται στο νόμο διάδοσης της θερμότητας στον αέρα και μέσα από την ύλη των δομικών υλικών.

4.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Για το πείραμα χρειάστηκε να χρησιμοποιήσουμε τα εξής υλικά:

- τη συσκευή προσδιορισμού του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ
- Δύο ηλεκτρονικά θερμόμετρα με δυνατότητα λήψης δύο θερμοκρασιών το κάθε ένα
- ένα διαμορφωμένο ξύλινο μονωμένο κουτί όπου έχει κατάλληλες υποδοχές για να τοποθετούνται τα πάνελ του πειράματος
- ένα μικρόμετρο για την μέτρηση του πάχους των πάνελ
- μια μονωτική ταινία, για την στερέωση των αισθητήρων των θερμομέτρων
- Ένα λαμπτήρα 70Watt με μαύρο κάλυμμα για τη παραγωγή θερμότητας
- Μια αντλία κενού για την αναρρόφηση του αέρος
- Μανόμετρα για τη μέτρηση των πιέσεων



Εικόνα 4.1 Συσσκευή προσδιορισμού του συντελεστή λ

4.3 ΘΕΩΡΙΑ

Η ροή θερμότητας Q/A μέσω ενός ομογενούς επίπεδου τοίχου, όταν βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας προσδιορίζεται από τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ αέρα-τοιχώματος και τη θερμική αγωγιμότητα του τοιχώματος. Η ροή της θερμότητας προσδιορίζεται από την επιφάνεια του υαλοπίνακα A , και τη διαφορά θερμοκρασίας.

Η μεταφορά θερμότητας από τον αέρα προς τα τοιχώματα εσωτερικά δίνεται από την σχέση:

$$Q = a_{\varepsilon\sigma} \cdot A(\theta_{\pi\eta\gamma\eta} - \theta_{\varepsilon\sigma}) \quad (1)$$

Όπου: $a_{\varepsilon\sigma}$ είναι ο εσωτερικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας.

Εφόσον η θερμότητα δεν δημιουργείται ούτε χάνεται κατά την πορεία της από την πηγή προς το σώμα ισχύει:

$$Q = \frac{\lambda}{d} * A(\theta_{\varepsilon\sigma} - \theta_{\varepsilon\xi}) \quad (2)$$

Όπου: d είναι το πάχος του τοιχώματος, το λ ορίζει την θερμική αγωγιμότητα του υλικού και εκφράζεται σε μονάδες $\text{Kcal/m}^*\text{h}^* \text{ } ^\circ\text{C}$ ή $\text{W/m}^*\text{K}$.

Η μεταφορά θερμότητας από τα τοιχώματα προς τον αέρα εξωτερικά δίνεται από την σχέση:

$$Q = a_{εξ} \cdot A (\theta_{εξ} - \theta_{περιβ.}) \quad (3)$$

Όπου $a_{εξ}$ είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στον αέρα που βρίσκεται εξωτερικά της θερμοκυψελίδας.

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι:

$$Q = k \cdot A \cdot (\theta_{πηγης} - \theta_{περιβ.}) \quad (4)$$

Όπου το k παριστάνει το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας ή συντελεστή θερμοπερατότητας και δίνεται από την σχέση

$$k^{-1} = \alpha_i^{-1} + \alpha_a^{-1} + \frac{d}{\lambda} \quad (5)$$

Ο λόγος $\Lambda = d/\lambda$ εξαρτάται από τη φύση του τοιχώματος του υλικού και από το πάχος του και είναι γνωστός σα συντελεστής θερμικής μεταφοράς του τοιχώματος.

Τα αντίστροφα των παραμέτρων α, k, Λ είναι οι θερμικές αντιστάσεις, οι οποίες σχεδιάζουν την αντίσταση της μεταφοράς της θερμότητας.

Τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας δια μέσου μιας στρώσης αέρος είναι η αγωγή, η μεταφορά και η ακτινοβολία.

4.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ:

4.4.1 Κατασκευή του Πάνελ.

Για την κατασκευή του πάνελ κάναμε μια έρευνα αγοράς και καταλήξαμε στο εργοστάσιο παραγωγής υαλοπινάκων Γαρουφάλης όπου τον ευχαριστούμε θερμά για τη βοήθεια και την κατανόηση που μας έδειξε. Στο εργοστάσιο παρακολουθήσαμε όλη τη διαδικασία παραγωγής των υαλοπινάκων στις συγκεκριμένες διαστάσεις που επιθυμούσαμε

και ήταν μια πρωτόγνωρη εμπειρία. Για την κοπή των τζαμιών ορίσαμε τις επιθυμητές διαστάσεις στην αυτοματοποιημένη CNC μηχανή όπου και κόπηκαν. Το πάνελ που κατασκευάστηκε είχε διαστάσεις 16 mm και αποτελείται από δύο υαλοπίνακες των 5 mm ο καθένας με ενδιάμεσο κενό 6mm.

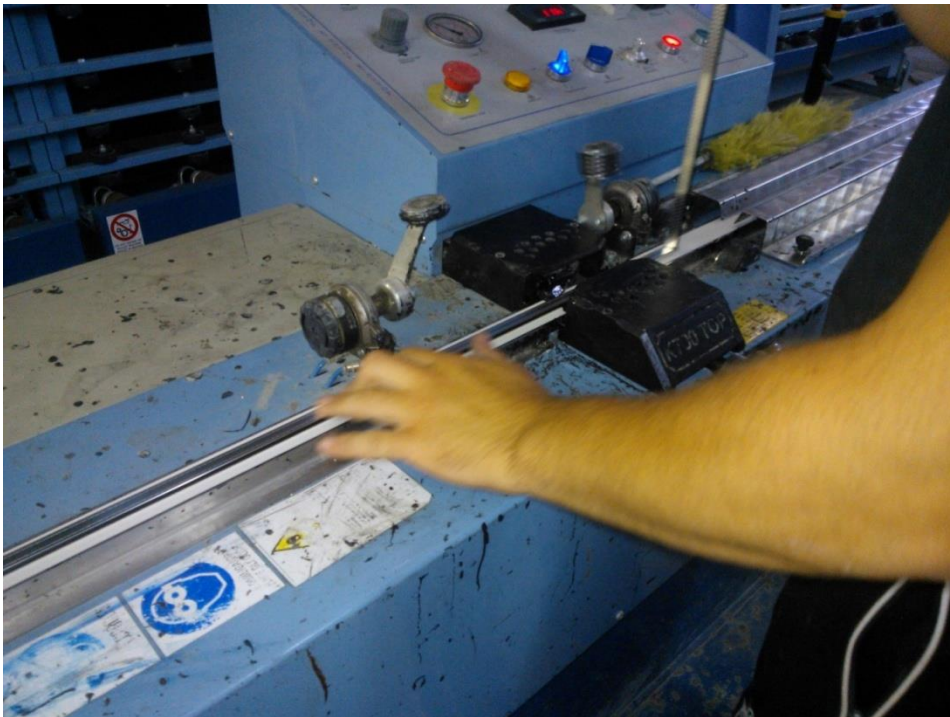


Εικόνα 4.2 Μηχάνημα κοπής των υαλοπινάκων



Στη συνέχεια για να επιτύχουμε την ένωση των τζαμιών δημιουργήσαμε ένα τελάρο, το υλικό του οποίου ήταν από αλουμίνιο. Επίσης οι υαλοπίνακες περάστηκαν από ειδικά πλυντήρια για να καθαρίσουν και να μην έχουν σημάδια. Τα τζάμια τοποθετήθηκαν στο τελάρο και μια ειδική κόλλα (θειόκολλα) κολλήθηκαν επάνω σε αυτό.

Στην επόμενη φάση της δημιουργίας του πάνελ, τοποθετήθηκε ολόκληρο το πάνελ σε κατάλληλους διαμορφωμένους φούρνους για να μπορέσει να γίνει σωστά η κόλληση με την κατάλληλη θερμοκρασία και να σφραγίσει το πάνελ. Ύστερα από αυτή τη διαδικασία παρέλαβε το πάνελ ο τεχνικός και το επόμενο βήμα ήταν να τοποθετήσει περιμετρικά από το πάνελ κρύα θειόκολλα για την στεγανοποίησή του. Αφήσαμε το πάνελ για ένα μικρό χρονικό διάστημα μέχρι να παγώσει η κόλλα και στη συνέχεια το παραλάβαμε για να τροποποιήσουμε το πάνελ σε πάνελ κενού.



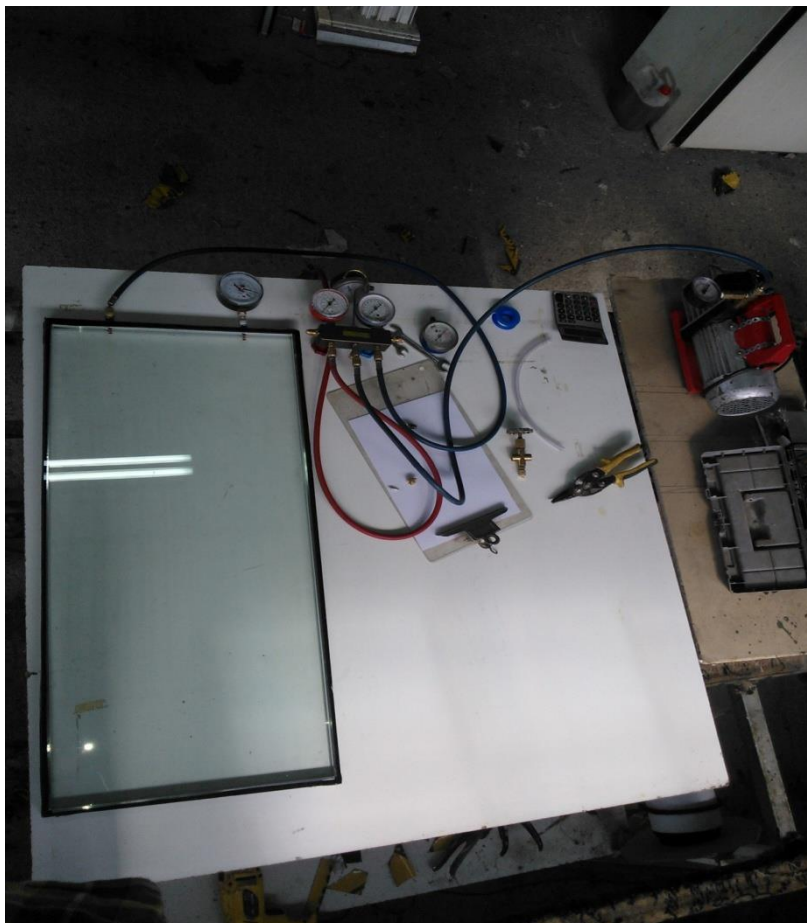
Εικόνα 4.4 Κατασκευή τελάρου πάνελ



Εικόνα 4.6 Τοποθέτηση θειόκολλας περιμετρικά

Μετά την παραλαβή των πάνελ από το εργοστάσιο αρχίσαμε τη διαδικασία τροποποίησης τους σε πάνελ κενού. Τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε ήταν: ένας τριχοειδής σωλήνας, 2 μανόμετρα για τη ρύθμιση του κενού, μία αντλία κενού, βαλβίδες αναρρόφησης, ειδική κόλλα για την κόλληση των βαλβιδών στο πάνελ, πένσα, κατσαβίδα.

Για να μετατρέψουμε τον απλό διπλό υαλοπίνακα σε πάνελ κενού ξεκίνησαμε με τις εξής δραστηριότητες: Στην αρχή δημιουργήσαμε δύο οπές στο πλάι του υαλοπίνακα, όπου στην μια τοποθετήσαμε ένα κενόμετρο για να μετρούμε την υποπίεση στο εσωτερικό του πάνελ και στην άλλη οπή τοποθετήσαμε μία βαλβίδα αναρρόφησης ασφαλείας. Τοποθετήσαμε έναν τριχοειδή σωλήνα στο κενόμετρο και το συνδέσαμε με το πάνελ και αφήσαμε από ένα σωλήνα να εισέρχεται ατμοσφαιρικός αέρας, ώστε να μπορούμε να ρυθμίζουμε την υποπίεση στο πάνελ.



Εικόνα 4.7 Αναρρόφηση του πάνελ με την αντλία.

Μόλις έγινε ο έλεγχος ότι όλα έχουν μπει στη θέση τους, άρχισε η διαδικασία αναρρόφησης του αέρα ώστε να παρατηρήσουμε τυχόν απώλειες στο πάνελ ή στις οπές, αν δηλαδή το πάνελ αντέχει την υποπίεση και το όριο θραύσης του.

Όταν αποσυνδέουμε τον τριχοειδή έχουμε απώλειες τις τάξεως των 2 kPa, όταν η υποπίεση μέσα στο πάνελ είναι 10 kPa. Όταν έχουμε υποπίεση 5 kPa οι απώλειες είναι στο 1 kPa. Παρατηρήσαμε ότι στα 10 kPa δημιουργείται μία γραμμή παραμόρφωσης στο κέντρο ακριβώς του πάνελ που όσο μεγαλώνει η υποπίεση, τόσο μεγαλώνει και η γραμμή, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία. Η υποπίεση που άντεξε το πάνελ τελικά είναι στα 30 kPa. Στη διαδικασία αστοχίας του δημιουργεί μία γραμμή όπου συνεχίζει κάθετα μετά πλαταίνει και στο τέλος έρχεται η θραύση. Τοποθετήσαμε και δεύτερο πάνελ όπου με την σειρά του έσπασε στα 10 kPa.



Εικόνα 4.8 Εμφάνιση γραμμής στο μέσο του πάνελ.



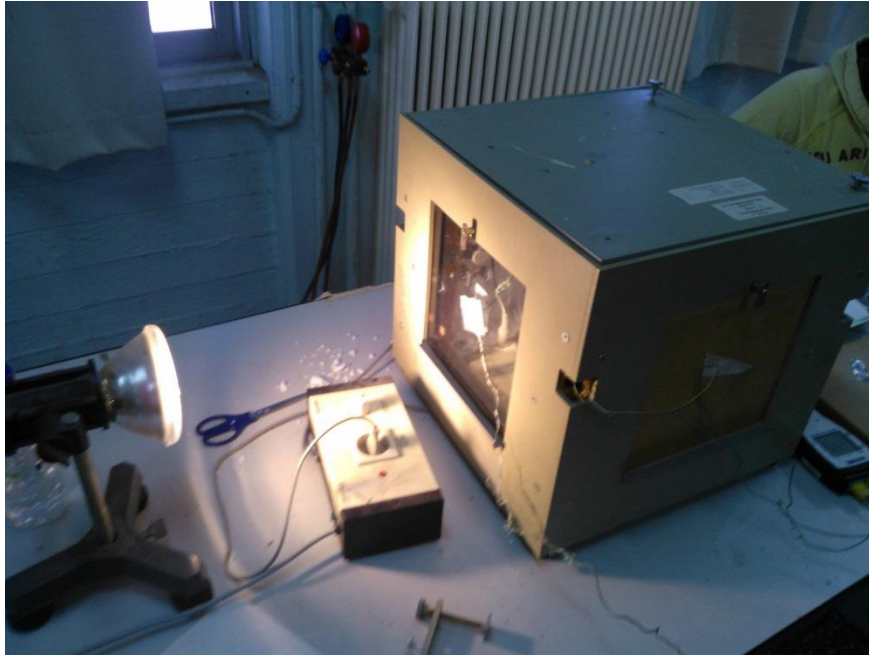
Εικόνα 4.9 Θραύση του πάνελ

Στη συνέχεια τοποθετήσαμε δύο άλλα πάνελ για μια εβδομάδα στα 0,3 inhg για να δούμε εάν υπάρχουν απώλειες.

Ύστερα από το χρονικό διάστημα που είχαμε ορίσει στις δύο εβδομάδες κάναμε τις μετρήσεις μας στο πάνελ που είχαμε κατασκευάσει και είδαμε ότι η πίεση είχε μειωθεί, αλλά όχι πολύ σημαντικά. Βέβαια παρατηρούμε ότι ο τρόπος αυτός δεν είναι και πολύ πρακτικός διότι δεν μπορούμε να κρατήσουμε το πάνελ σταθερό σε υποπίεση για μεγάλο χρονικό διάστημα.

4.4.2 Μετρήσεις για προσδιορισμό του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η πειραματική συσκευή με τα παρελκόμενά της για τη μέτρηση του συντελεστή θερμοαγωγιμότητας λ του πάνελ.



Εικόνα 4.10:Συσκευή για τη μέτρηση του συντελεστή θερμοαγωγιμότητας.

Οι μετρούμενες διαφορές θερμοκρασίας παίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό των πειραματικών μετρήσεων. Μία λάμπα 70 watt με μαύρο κάλυμμα χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας με τη βοήθεια ενός θερμοστάτη για να παραμένει η εσωτερική θερμοκρασία σταθερή. Ο μετρητής θερμοκρασίας του θερμοστάτη ασφαλιζεται με το κάλυμμα της λάμπας και συνδέεται με το θερμοστάτη με τη βοήθεια μίας μικρής πρίζας στο δάπεδο. Στα τοιχώματα της θερμοκυψέλης ο διακόπτης θερμοκρασίας τοποθετείται στην κατάλληλη θέση για να παράγει σε κατάσταση ισορροπίας μία εσωτερική θερμοκρασία περίπου 70 βαθμούς °C.

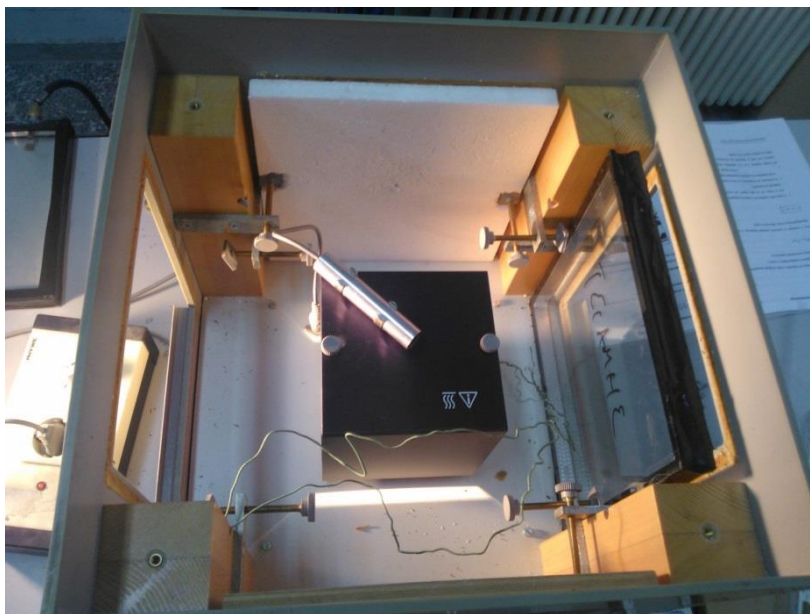
Για τις μετρήσεις που πήραμε χρησιμοποιήσαμε τα εξής υλικά ως τοιχώματα στην συσκευή: Το πρώτο ήταν ένας διπλός υαλοπίνακας με πάχος τζαμιού 5mm και διάκενο 15mm, σε κατάσταση υποπίεσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Το δεύτερο υλικό ήταν και αυτός ένας διπλός υαλοπίνακας που είχε τις ίδιες διαστάσεις και σχήμα, η μόνη διαφορά ήταν ότι βρίσκονταν σε κατάσταση ατμοσφαιρικής πίεσης.



Εικόνα 4.11: Πάνελ διπλού υαλοπίνακα με υποπίεση

Για τη μέτρηση των πάνελ ακολουθήσαμε τα παρακάτω βήματα:

- 1) Τοποθετήσαμε τα πάνελ στη βάση της πειραματικής συσκευής (εικόνα 4.12).



Εικόνα 4.12: Τοποθέτηση των πάνελ στην συσκευή.

2) Κάναμε αναρρόφηση του ατμοσφαιρικού αέρα και μειώσαμε την πίεση σταδιακά στο πάνελ.

3) Καταγράψαμε τα αποτελέσματα από τη διαφορά θερμοκρασίας μέσα στην πειραματική συσκευή και στο εξωτερικό τοίχωμα του πάνελ μετά από 15min όπου το σύστημα είχε έρθει σε ισορροπία.

4) Έπειτα κάναμε μετρήσεις ανα 5min.

5) Παράλληλα μετρούμε και τις θερμοκρασίες του αέρα μέσα και έξω από την συσκευή. Όπως είναι φανερό, όλες οι μετρήσεις αναφέρονται σε τέσσερα σημεία, δύο στα τοιχώματα του εκάστοτε υλικού και δύο με τη θερμοκρασία του αέρα μέσα και έξω από τη συσκευή.

Παρατήρηση:

Έχουμε τοποθετήσει τη λάμπα για να πετύχουμε ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας εντός της συσκευής μέτρησης της θερμοαγωγιμότητας του υλικού (θερμοχάους). Η συσκευή διαθέτει θερμοστάτη για να σταματάει τη θερμοκρασία εντός της συσκευής περίπου στους 70 °C.



Εικόνα 4.13: Τοποθέτηση του πάνελ στην συσκευή

4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.

Μετά τη μέτρηση των τεσσάρων απαιτούμενων θερμοκρασιών, με τη βοήθεια δύο θερμοζευγών και για τον υπολογισμό του συντελεστή λ , ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

Επιλύουμε τις εξισώσεις (2) , (3) ως προς λ και έχουμε:

$$\lambda = \frac{(\theta_{εξ} - \theta_{περιβ.}) \cdot \alpha_{εξ} \cdot d}{(\theta_{εσ} - \theta_{εξ})} \quad \text{εξ. 6}$$

$$\text{όπου: } \alpha_{εξ} = 8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Καταγράφουμε όλες τις τιμές σε πίνακα: Σημειώνεται ότι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην περίπτωση της φυσικής ροής του αέρα σε κλειστά δωμάτια ισούται με:

$$\alpha_{εξ} = 8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Πίεση(atm)	1	0,966	0,932	0,898	0,864	0,83
Θερμοκρασίες (°C)						
Θλάμπας	71,4	71,1	71,3	71,3	71,7	71,4
Θ _{εσ.}	57,4	56,2	56,6	56	57,3	57
Θ _{περιβ.}	22,4	22,5	22,5	22	22,1	22,4
Θ _{εξ.}	25,6	25,6	25,2	24,6	24,6	25,1
λ (W/mK)	0,02	0,019	0,0161	0,0145	0,0132	0,0135
d τζαμιού(mm)	25	24	23,5	22	21	20
διάκενο αέρα(mm)	15	14	13,5	12	11	10

Πίνακας :Μετρήσεις

Όπου : $\Theta_{\lambda\acute{\alpha}\mu\pi\alpha\varsigma}$, η θερμοκρασία που βρίσκεται στο κουτί όπου είναι η λάμπα

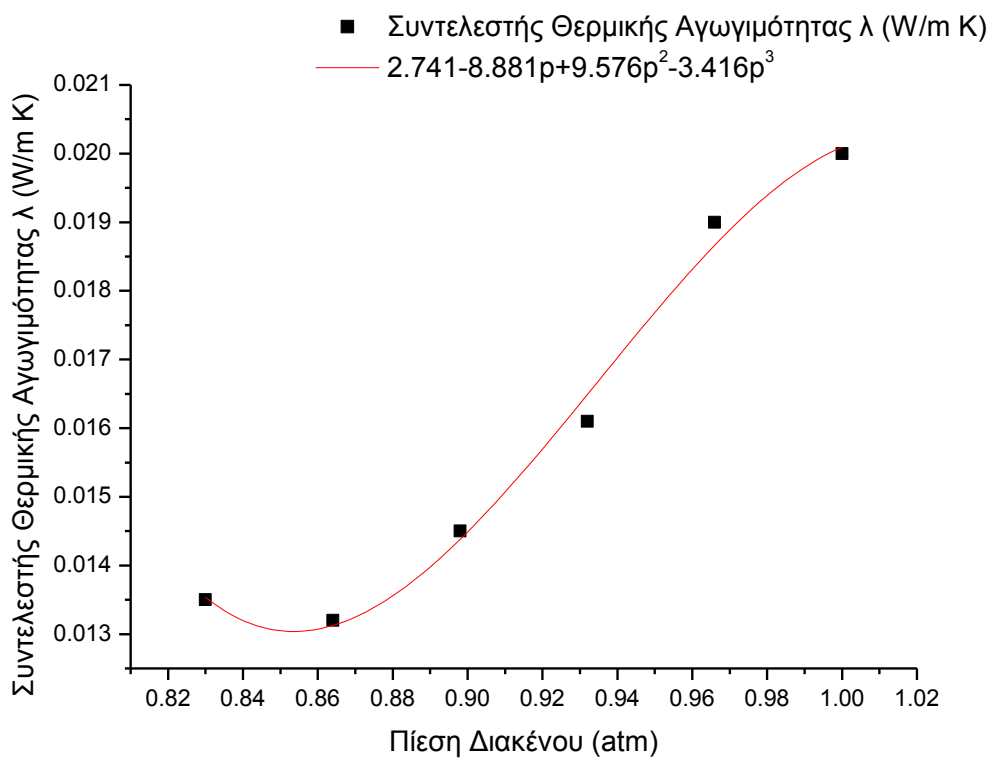
$\Theta_{\epsilon\varsigma.}$, η θερμοκρασία που βρίσκεται στο εσωτερικό μέρος της συσκευής

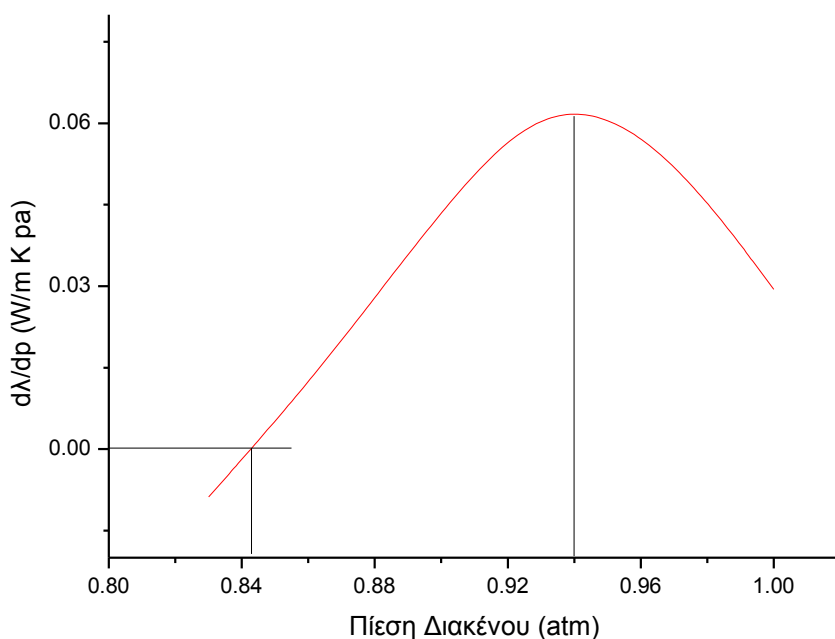
$\Theta_{\text{περιβ.}}$, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου

$\Theta_{\epsilon\zeta.}$, η θερμοκρασία που έχει το πάνελ στην εξωτερική μεριά και

$d_{\tau\zeta\alpha\mu\iota\acute{o}\upsilon}$, η απόσταση που υπάρχει μεταξύ των δύο υαλοπινάκων στο πάνελ

Μετά από τον πίνακα με τις μετρήσεις κατασκευάζουμε τις γραφικές παραστάσεις όπου έχουν τις εξής μορφές:





Σχόλια

Στην πρώτη γραφική παράσταση παρατηρούμε ότι όσο μειώνεται η ατμοσφαιρική πίεση τόσο ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ μειώνεται κλιμακωτά μέχρι η πίεση του διακένου να φτάσει 0,86 atm. Στο σημείο αυτό ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας έχει ένα όριο και από εκεί και πέρα δεν μπορεί να πέσει άλλο.

Στην δεύτερη γραφική παράσταση υπάρχουν δύο όρια όπου μας δείχνει ότι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, δεν έχει νόημα να είναι κάτω από το κατώτερο όριο και πάνω από το ανώτερο όριο. Τα όρια αυτά συμβολίζονται στη γραφική παράσταση, όπου το ένα όριο είναι η οριζόντια γραμμή (ανώτατο όριο) και το δεύτερο όριο είναι η κάθετη γραμμή (κατώτατο). Έτσι, μπορούμε να μειώσουμε την πίεση αλλά μέχρι το ανώτατο όριο όπου είναι περίπου στις 0,84 atm για να έχουμε ένα επιθυμητό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

5. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια του πειράματος παρατηρούμε ότι πράγματι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ μειώνεται ασθητά. Επίσης βλέπουμε ότι όσο μειώνουμε την πίεση στο πάνελ, τόσο και το λ μειώνεται. Με τους υαλοπίνακες έχουμε ένα όριο στη μείωση της πίεσης λόγω θραύσης και οι αποστάσεις του διακένου λόγω της υποπίεσης μειώνονται, με αποτέλεσμα η απόσταση του εξωτερικού με εσωτερικού πάνελ να μικραίνει. Αυτό οδηγεί στη μείωση του χρόνου μετάδοσης της θερμότητας από το εσωτερικό στο εξωτερικό τοίχωμα του πάνελ.

Συμπεραίνουμε ότι αφού στη διαδικασία του πειράματος δείξαμε ότι όσο μειώνουμε την ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, τότε μπορούμε χρησιμοποιώντας διαφορετικά υλικά να κατασκευάσουμε ένα πάνελ όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να κρατάει την υποπίεση στο εσωτερικό του πάνελ, ούτως ώστε αυτό να μας εγγυηθεί το καλύτερο μονωτικό υλικό για κτήρια. Έαν δεν καταφέρουμε να κρατήσουμε σταθερή την υποπίεση, ένας εύκολος τρόπος θα ήταν τα πάνελ να ελέγχονταν ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και να ρυθμίζουμε την πίεσή τους, κάνοντας αναρρόφηση.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας , Εκπαίδευση Ενεργειακών Επιθεωρητών , εκπαιδευτικό υλικό (i) ΔΕ1. Εισαγωγή στον τομέα της ενέργειας , 2011
2. Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010
3. <http://www.chapglass.com>
4. <http://www.aluminium.gr>
5. <http://www.iene.gr>
6. <http://www.ktizontastomellon.gr>
7. <http://el.wikipedia.org>